

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თამაზ ხმელიძე

კომპოზიციური კონსტრუქციები

(მეორე შევსებული და გადამუშავებული გამოცემა)



თბილისი

2024

უაკ 621.002.3–419.8–20–03.82

კომპოზიციური კონსტრუქციები/თამაზ ხმელიძე, თბილისი, გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2024. – 455 გვ.

ნაშრომში განხილულია კომპოზიციური მასალების შექმნის, წარმოებაში და-
ნერგვისა და განვითარების ტენდენციის საკითხები, მათი მშენებლობაში გამო-
ყენების აქტუალობა, თანამედროვე მდგომარეობა და პერსპექტივები. გადმოცე-
მულია კომპოზიციური სამშენებლო კონსტრუქციების ძირითადი სახეობები, დეტა-
ლების, შეერთებების კონსტრუირებისა და გაანგარიშების მეთოდები, ექსპლუა-
ტაცია, ეკონომიკური ასპექტები. გაშუქებულია რკინაბეტონის ღუნვადი და კუმშვა-
დი ელემენტების გარე დაარმირების სისტემები, პოლიმერული კომპოზიციური
არმატურები, კობიაქსის სისტემები, კომპოზიტების რღვევის მექანიკის საკითხე-
ბი. მოცემულია გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითები.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლების,
უნივერსიტეტების ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერების ფაკულტეტების
სამივე საფეხურის სტუდენტებისათვის, ასევე, დამპროექტებლების, ინჟინრების,
მეცნიერ-თანამშრომლებისა და ამ საქმით დაინტერესებული ყველა პირისათვის.

რეცენზენტები:

ნოდარ მარდალეიშვილი – პროფესორი, ქუთაისის აკაკი წერეთლის
სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ია ხართიშვილი – პროფესორი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თამაზ ხმელიძე, 2024

ISBN

Georgian Technical University

Tamaz Khmelidze

Compozite Constructions

(Second Completed and Revised Edition)



Tbilisi

2024

UDC 621.002.3–419.8–20–03.82

Compozit Constructions/Tamaz Khmelidze, Tbilisi, Publishing House „UNIVERSAL“, 2024. – 455 p.

Following work represents the issues of introduction and directions of future development for composite materials, their production technologies, abilities and possibilities to use as building material in the construction projects. It gives description for general types of construction projects, methods of structural modeling and calculation, different types of joint connections and financial aspects related to construction management. Covered: external structural reinforcement systems for flexural and compressive elements in reinforced concrete, polymer composite reinforcements, Cobiax systems, fracture mechanics of composite materials with numerical data examples.

Publication is considered to be used as a guidebook for students of the faculties of exact and natural sciences of universities, as well as for designers and engineers on all three levels of degree, also for scientific workers and all individuals with interest in the following direction.

Reviewers:

Nodar Mardaleishvili – professor, Akaki Tsereteli State University of Kutaisi

Ia Khartishvili - professor, Georgian Technical University

T. Khmelidze, 2024

ISBN

წინასიტყვაობა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის ძირითადი სპეციალობის („სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობა“) მაგისტრანტი სტუდენტებისათვის, საგამანათლებლო პროგრამის სასწავლო სილაბუსის შესაბამისად, იკითხება კურსები: „კომპოზიტური კონსტრუქციები მშენებლობაში“ და „შენობა-ნაგებობების ელემენტების გაძლიერება კომპოზიტების გამოყენებით“, რომელთაგან თითოეული დისციპლინა სემესტრში მოიცავს 45 საკონტაქტო საათს.

თანამედროვე სამშენებლო ინდუსტრიის განვითარების ანალიზი ნათლად აჩვენებს ახალი ტექნოლოგიებით მიღებული საშენი მასალების (მოდიფიცირებული მერქანი, ნანომასალები, კომპოზიტები და სხვ.) საფუძველზე დამზადებული მზიდი და შემომზღუდავი კონსტრუქციების წილის განუზრელად ზრდას მშენებლობაში. ამ მასალებიდან განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს პოლიმერებისა და ბოჭკოვანი შემავსებლების საფუძველზე მიღებულ კომპოზიტებს.

სახელმძღვანელოს მიზანია, დაეხმაროს მომავალ სპეციალისტს, შეიძინოს ცოდნა მშენებლობაში კომპოზიტური მასალებისა და კონსტრუქციების გამოყენებისათვის, შეძლოს ასეთი ელემენტების, კონსტრუქციების, ნაგებობების გაანგარიშება, დაპროექტება და სხვადასხვა ტიპის კონსტრუქციათა ხარისხის კონტროლი, მდგომარეობის შეფასება, ექსპლუატაცია, რეაბილიტაცია და ა. შ. ძირითადი აქცენტი გაკეთებულია მშენებლობისთვის საჭირო კონსტრუქციების განხილვაზე, აგრეთვე თეორიული ცოდნის გაღრმავებაზე წიგნში რიცხვითი მაგალითების ჩართვის გზით. მასალა გადმოცემულია მეცნიერებისა და ტექნიკის თანამედროვე მიღწევების გათვალისწინებით კონსტრუქციების წარმოების, დამზადების ტექნოლოგიის, პრაქტიკული გამოყენების, ტრანსპორტირების, მონტაჟის, ცეცხლმდებობის, ხანგამძლეობისა და კომერციის თვალსაზრისით.

მშენებლობაში კომპოზიტური მასალების გამოყენებით შესაძლებელია გადაიჭრას ისეთი მნიშვნელოვანი საკითხები, როგორიცაა: შენობა-ნაგებობათა საექსპლუატაციო ხარჯებისა და მასის შემცირება, კონსტრუქციების ტექნიკური მახასიათებლების, სიმტკიცის, დეფორმაციულობის, თბოსაიზოლაციო და საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესება და სხვ.

კომპოზიტების უპირატესობაა მისგან დამზადდეს სამშენებლო კონსტრუქციები, ელემენტები, დეტალები წინასწარ განსაზღვრული თვისებებით, რომლებიც შეესაბამება მუშაობის პირობებსა და წაყენებულ მოთხოვნებს. ბოჭკოებისა და მატრიცის მასალების მრავალფეროვნება, დაარმირების სქემების ოპტიმიზაცია გამოყენებული კომპოზიტური კონსტრუქციების შესაქმნელად, სრულ თავისუფლებას აძლევს ინჟინრებს საჭიროებისამებრ არეგულირონ კომპოზიტური მასალის სიმტკიცე, სიხისტე, თბოგამტარობა და სხვა თვისებები კომპონენტების თანაფარდობისა და მაკროსტრუქტურის ცვლილებების ხარჯზე.

თანამედროვე სამშენებლო ინდუსტრიის განვითარების დონე საშუალებას იძლევა შენობების სარეკონსტრუქციო და სარემონტო სამუშაოების ჩატარებისას ტრადიციული მასალისგან დამზადებული ზოგი ელემენტი შევცვალოთ უმნიშვნელოდ მოდიფიცირებული კომპოზიტური ელემენტით.

თანამედროვე მშენებელს ხშირად უწევს შეხება პოლიმერულ მასალებთან არა მარტო ტექნიკაში, არამედ ყოველდღიურ პრაქტიკაში, ამიტომ ასეთი მასალების ძირითადი თვისებების ცოდნა და მათი მართებული გამოყენების უნარის გამო-მუშავება აუცილებელი ხდება. შემოთავაზებული სახელმძღვანელოს მიზანიც ესაა – მიაწოდოს მკითხველს საფუძვლიანი ცოდნა პოლიმერული კომპოზიტური მასალებისა და კონსტრუქციების შესახებ.

კომპოზიტური მასალებისა და კონსტრუქციების შესწავლისა და კვლევის საქ-მეში გარკვეული წვლილი მიუძღვით ქართველ მეცნიერებსაც, რომელთა შორის შეიძლება დავასახელოთ გურამ აბაშიძე, აკაკი დუმბაძე, მიხეილ ნიქაბაძე, ნოდარ მარდალეიშვილი, ელგუჯა მეძმარიაშვილი, მიხეილ ჯანიკაშვილი, შოთა წეროძე, ნოდარ წიგნაძე, მამუკა სანიკიძე, გურამ ბედუკაძე, ლერი დათაშვილი, სეით ბლიაძე, ანზორ კვარაცხელია, ია ხართიშვილი, პაატა გოგოლაძე, ფატიმა ვერუ-ლაშვილი და სხვ.

დიდი მალობა გვინდა გადავუხადოთ რეცენზენტებს, პროფესორ **ნოდარ მარ-დალეიშვილსა** და პროფესორ **ია ხართიშვილს** საქმიანი შენიშვნებისათვის, სა-ქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო მანქანების დეპარტამენტის უფროს სპეციალისტს **მედეა რჩეულიშვილს** ტექსტის კორექტირებისათვის.

წინამდებარე სახელმძღვანელო 2022 წელს გამოცემული სახელმძღვანელოს შევსებული და გადამუშავებული ვარიანტია, რაც გამოიწვია მკითხველთა დიდმა დაინტერესებამ და რჩევა-რეკომენდაციებმა. ყველა საგნობრივი შენიშვნა და წინადადება მაღლიერებით იქნება მიღებული და გათვალისწინებული.

შესავალი

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ სამშენებლო ინდუსტრიის განვითარების დონეს უპირობოდ განსაზღვრავს ახალი ეფექტური საშენი მასალებისა და მათ საფუძველზე დამზადებული კონსტრუქციების არსებობა. ამის ნათელი მაგალითია ძველი ცივილიზაციები, როცა ახალი პროგრესული მასალის შექმნა პირდაპირ უკავშირდებოდა ტექნიკისა და ცივილიზაციის განვითარებას. ასე ხდებოდა ქვის (პალეოლითი (ძველი ქვის ხანა – დაიწყო 2,5 მლნ. წლის წინ, დამთავრდა დაახლოებით 10 ათასი წლის წინ), მეზოლითი (შუა ქვის ხანა – დაახლოებით ძვ. წ. 12-დან 5 ათას წლამდე) და ნეოლითი (ახალი ქვის ხანა – დაახლოებით ძვ. წ. მე-8-დან მე-5 ათასწლეულამდე)), ბრინჯაოს (დაახლოებით მე-3 ათასწლეულიდან I ათასწლეულამდე), რკინის ხანაში (ძვ. წ. 1200 წ. – ახ. წ. 340 წ.), შუა საუკუნეებში (V-XVI სს., ზოგიერთი მკვლევრის აზრით V- XVIII სს.) და შემდეგაც. XXI საუკუნეს მეცნიერთა ერთი ნაწილი სამართლიანად უწოდებს „კომპოზიტების საუკუნეს“, თუმცა კომპოზიტური მასალების წარმოება ჩაისახა არა ახლა, არამედ უძველესი დროიდან. ასე მაგალითად, 5000 წლის წინანდელი პირველი აგური (თიხაბზის აგური) და სამეთუნეო ნაკეთობანი, შეიცავდა დაქუცმაცებულ ქვასა და მარმირებელ ჩალას. ძველი მეთუნეები არეგულირებდნენ თავიანთი ნაკეთობების ფორიანობასაც კი. ასეთი მასალები ნახსენებია ბიბლიაში. მეცნიერებისა და ტექნიკის სწრაფმა განვითარებამ ძვ. წ. 3000-2500 წლებში, კაცობრიობას დაუტოვა ეგვიპტური ნავები (სამდინარო ნავები ბამბუკისაგან, გაჟღენთილი ბიტუმიტით), პაპირუსი (დაწნეხილი და ფისით გაჟღენთილი საწერი ფურცლები), მუმიფიცირების ხელოვნება (ლენტური გადახვევის პირველი ნიმუში – მიცვალებულის სხეულს ახვევდნენ ქსოვილის ლენტებში და ჟღენთდნენ ბუნებრივ ფისში). ჩვ. წ.-მდე 1000 წლის წინ ასირიელები ამზადებდნენ პონტონურ ხიდებს, რისთვისაც იყენებდნენ წნულ ნავებს (გუფასი), გაჟღენთილს წყალმდეგი ფისებით. ინდოელები მშენებლობაში იყენებდნენ სალესი ქვის ნაფხვენისა და შელაქის (ბუნებრივი ფისი) ნარევს. ახ. წ. დასაწყისში რომაელებმა გამოიგონეს ბეტონი, რომელმაც უდიდესი როლი ითამაშა სამშენებლო საქმის განვითარებაში. XIX-XX საუკუნეებში მიღებული იქნა კლასიკური სინთეზური პოლიმერი – რეზინი, სხვადასხვა დაწნეხილი მასალები ფენოლფორმალდეჰიდურ ფისებზე, პლასტმასები და ა. შ.

მინის ბოჭკოების მიღებისთანავე დაიწყეს მისი გამოყენება პოლიმერულ კომპოზიტებში (ავიაციაში). XX საუკუნის 60-იანი წლებიდან გამოჩნდა ბაზალტის ბოჭკოებით დაარმირებული კომპოზიტები, აგრეთვე ბორის, არამიდის ბოჭკოები (ფირმა „დიუპინი“, აშშ), 70-იან წლებში კი – სილანური აპრეტები, ორგანული ტიტანატები და ცირკონატები. ფართო ფრონტით გაიშალა ემპირიული და სამეცნიერო კვლევები. ღრმად იქნა შესწავლილი საკითხები, რომლებიც დაკავშირებული იყო უწყვეტი ბოჭკოებით დაარმირებულ კომპოზიტებთან. სხვადასხვა ფორმის მოკლე ბოჭკოებითა და ნაწილაკებით შევსებული კომპოზიტებისათვის, უმეტეს შემთხვე-

ვაში, თავდაპირველად მიიღება ნახევარფაბრიკატები პრეპრეგის (ინგლ. pre-preg ანუ pre-impregnated material), გრანულების, ფხვნილის სახით და მხოლოდ შემდეგ ამზადებენ ნაკეთობებს.

ამჟამად, წარმოების ყველა მიმართულებით შეინიშნება სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის სწრაფი განვითარება, რაც მოითხოვს დიდი რაოდენობით ახალ მასალებს გამიზნული თვისებებით. იზრდება მოთხოვნები ზემალაღი სიმტკიცის, სიმაგრის, მხურვალმედვე, კოროზიამედვე მასალებზე, აგრეთვე მასალებზე, რომლებშიც ეს თვისებები ერთმანეთთანაა შეთავსებული. დღესდღეობით ცნობილია ასი ათასობით ბუნებრივი (არაკომპოზიტური) და ხელოვნური მასალა, რომლებიც ვეღარ პასუხობენ გაზრდილ მოთხოვნებს. ამასთანავე, ახალი მასალის აღმოჩენა იშვიათად ხდება. ყოველივე ეს მიუთითებს იმაზე, რომ „ჩვეულებრივი“ მასალების უმეტესობა უკვე აღმოჩენილია და ამ მიმართულებით რაიმე ახლის მოლოდინი პრაქტიკულად განულებულია. სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი კი მოითხოვს ახალ კონსტრუქციულ მასალებს, ამიტომ, ბუნებრივია, დღის წესრიგში დგას უკვე არსებულის გამოყენებით შეიქმნას თანამედროვე ლითონური და პოლიმერული კომპოზიტური მასალები.

არსებული პოლიმერების მოდიფიკაცია და კომბინირება ერთმანეთთან ან სხვა ნივთიერებებთან ახალი პოლიმერული მასალების მიღების ძირითადი მეთოდია. მრეწველობის მსოფლიო პრაქტიკა კი ნათლად გვაჩვენებს პოლიმერული კომპოზიტური მასალების წილობრივ ზრდას სხვა მასალებთან (ლითონი, კერამიკა, მერქანი და სხვ.) მიმართებით, რასაც განაპირობებს კომპოზიტების რიგი უპირატესობები: უნიკალური ერთობლიობა თვისებებისა, რომელიც არა აქვთ სხვა მასალებს (სიმტკიცე, დეფორმადობა, დარტყმითი და ტემპერატურული მდგობა, რეოლოგიური, ადჰეზიური, ელექტრული, ფრიქციული, თბოგამტარული და სხვა გამორჩეული მახასიათებლები); მასალის თვისებების მართვის შესაძლებლობა შედგენილობის მარტივი ცვლით; პოლიმერების ძირითადი დადებითი თვისებების (გადამუშავების სიმარტივე, დაბალი სიმკვრივე) შენარჩუნება და სხვ. მართალია ერთი რომელიმე თვისებით კომპოზიტი ვერ აღემატება სხვა, ანალოგიური თვისების მქონე მასალას, მაგრამ საუკეთესოა მრავალი თვისების ერთობლიობით. მაგ., რეზინი გამოირჩევა მაღალი სტაბილურობით შექცევითი დეფორმაციის მიმართ, თუმცა კაუჩუკს შეუძლია უფრო მეტი დეფორმაციის განვითარება. მაგრამ, თუ ერთად განვიხილავთ სიმტკიცესა და დეფორმაციის უნარს, მაშინ რეზინზე უკეთესი მაჩვენებელი არცერთ მასალას არ აქვს; მინაპლასტიკი და ნახშირბადპლასტიკი არ მიეკუთვნებიან ყველაზე მტკიცე მასალებს, არც სიმსუბუქით გამოირჩევიან, მაგრამ ყველაზე საუკეთესო მასალებია ხვედრითი სიმტკიცის (სიმტკიცის ფარდობა სიმკვრივესთან) მიხედვით.

გასათვალისწინებელია ისიც, რომ კომპოზიტის ფიზიკურ-მექანიკური და ქიმიური თვისებები პირდაპირ არ იმეორებს მის შედგენილობაში შემავალი ნივთიერებების თვისებებს – მრავალკომპონენტიანი მასალის თვისება, როგორც წესი,

ძალიან რთულია და დამოკიდებულია შედგენილობასა და მიღების პირობებზე. სწორედ ამ პროცესებს შეისწავლის XX საუკუნის შუა წლებში ჩამოყალიბებული მეცნიერება კომპოზიტური მასალების შესახებ. მას საფუძველი ჩაეყარა აშშ-ში, როცა დაიწყო ავიამშენებლობასა და კოსმონავტიკაში მასალების ახალი კლასის – ბორისა და ნახშირბადის მაღალი სიმტკიცის მქონე ბოჭკოების ბაზაზე წარმოებული კომპოზიტური მასალების გამოყენება. მოკლე დროში მიღებულია სრულიად ახალი მასალები, დამუშავდა ტექნოლოგიები და მათ საფუძველზე დამზადებული კონსტრუქციების გაანგარიშების მეთოდები და თეორიები. სწორედ თვითმფრინავმშენებლობა, მანქანათმშენებლობა და რაკეტმშენებლობა გახდა მომავალში კომპოზიტური მასალების ძირითადი მომხმარებელი. რაც შეეხება მშენებლობას, მხოლოდ რამდენიმე ათეული წელია ინტენსიურად დაიწყო ბოჭკოებით დაარმირებული პლასტიკატების, ნაკეთობების, დეტალების, ფენოვანი კონსტრუქციების წარმოება, გარე დაარმირების სისტემების, მინაპლასტიკის ღეროვანი არმატურის, კომპოზიტური ბეტონებისა და სხვათა გამოყენება.

თანამედროვე კომპოზიტური მასალების შექმნას ჰქონდა რამდენიმე ძირითადი საფეხური:

1. კომპოზიტური მასალების სტიქიურად შექმნა ჯერ კიდევ ნეოლითის ხანაში, როდესაც დაიწყო სამენი მასალის - აგურის დამზადება დაქუცმაცებული ქვისა და ბზის ღეროების მეშვეობით (თიხაბზის აგური). ამავე პერიოდს მიეკუთვნება სამეთუნეო ნაკეთობები, ბიტუმში გაჟღენთილი ბამბუკი, ფისით გაჟღენთილი ჰაპირუსი, მიცვალებულების მუმფიფიცირება (მეარმირებელი – ქსოვილური ლენტი, მატრიცა – ბუნებრივი ფისი) და სხვ.

2. საავიაციო დანიშნულების ფანერის შექმნა (დელტა-მერქანი), რომელიც წარმოადგენდა ხელოვნურ კომპოზიტურ მასალას – მერქანფენოვან პლასტიკის სახეობას, რომელიც მიიღებოდა ფენოლის ან კრეზოლ-ფორმალდეჰიდურ ფისში გაჟღენთილი ხის შპონის (ძირითადად არყის ხის) ფურცლების მაღალი ტემპერატურისა და წნევის ქვეშ დაწნეხით ან შეწებებით. ამ მასალამ დიდი როლი ითამაშა XX საუკუნის პირველ ნახევარში საფრენი აპარატების (თვითმფრინავების) წარმოებაში.

3. მყიფე რღვევის თეორიის შექმნა ინგლისელი მეცნიერის ა. გრიფიტის მიერ (გრიფიტის თეორია). მან დაამტკიცა, რომ მასალის სიმტკიცე მით მეტია, რაც უფრო ნაკლები დეფექტები აქვს მას. შესაბამისად მიხვდა, რომ ძალიან წვრილ ბოჭკოებს არ შეიძლება ჰქონდეს ხელშესახები დეფექტები და დაიწყო მდნარი მინისგან ბოჭკოების მიღება.

4. კომპოზიტური მინაბოჭკოს მიღება (ა. ბუროვი).

5. სინთეზური ბოჭკოვანი ანიზოტროპიული მასალის (ერთმიმართულებიანი მინაპლასტიკი – CBAM) წარმოება, რომელიც შედგებოდა მინაბოჭკოსა და პოლიმერული მატრიცისგან.

6. პოლიესტერის და ეპოქსიდის ფისების მიღება (1936-1938 წწ.), რომლებიც თანამედროვე კომპოზიტებისთვის მატრიცის ძირითად სახეობებს წარმოადგენენ.

7. ბორის, ნახშირბადის, არამიდისა და სხვა ორგანული ბოჭკოების მიღების სამრეწველო წარმოების დაწყება.

8. დაარმირებული კომპოზიტური ნახშირბადპლასტიკების წარმოება.

9. სამშენებლო კონსტრუქციების გაძლიერების გარე დაარმირების სისტემების შექმნა და გაანგარიშების მეთოდების დამუშავება.

კომპოზიტური მასალის თვისებები დიდადაა დამოკიდებული ადჰეზიურ სიმტკიცესთან ბოჭკოებსა და მატრიცას შორის. დატვირთვის გადასაცემად მატრიციდან ბოჭკოზე (მაარმირებელზე), მათ შორის აუცილებელია ასეთი კავშირის საიმედოობა. ამიტომ, კომპოზიტის დასამზადებლად ბოჭკოზე დააქვთ აპრეტი (სახამებელი, საპონი, ცხიმი, ცელულოზის ეთერი, სინთეზური ფისი და სხვ.), რომლის მოლეკულები შედის ქიმიურ რეაქციაში ბოჭკოს ზედაპირთან და მატრიცის ნივთიერებასთან, რის შედეგადაც ბოჭკო ქიმიურად უერთდება მატრიცას.

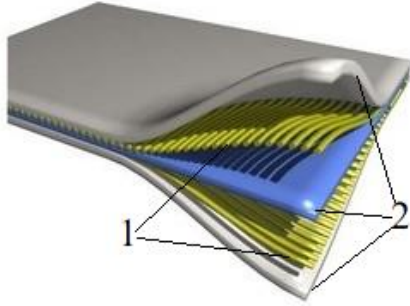
თავი 1. კომპოზიტი, როგორც კონსტრუქციული საშენი მასალა

1.1. კომპოზიტების შედგენილობა და სტრუქტურა

კომპოზიტი ხელოვნურად შექმნილი არაერთგვაროვანი უწყვეტი მყარი მასალაა, რომელიც შედგება ორი ან მეტი კომპონენტისგან, რომლებიც ზუსტი საზღვრებითაა ერთმანეთთან დაკავშირებული. კომპოზიტების უმრავლესობაში კომპონენტები შეიძლება დაიყოს მატრიცად (შემკვრელი) და მარმირებელ ელემენტებად (შემვსები) (სურ. 1.1). კონსტრუქციული დანიშნულების კომპოზიტებში მარმირებელი ელემენტები უზრუნველყოფს მასალის მექანიკურ მახასიათებლებს (სიმტკიცე, სიხისტე და ა. შ.), ხოლო მატრიცა – დაარმირებული ელემენტების ერთობლივ მუშაობას და მათ დაცვას მექანიკური დაზიანებისა და ქიმიურად აგრესიული გარემოსაგან.

კომპოზიტური მასალისგან დამზადებული ნაკეთობის მახასიათებლები და თვისებები დამოკიდებულია საწყისი კომპონენტების შერჩევასა და მათი შეერთების ტექნოლოგიაზე. კომპოზიტის შესაქმნელად გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის მარმირებელი შემვსები და მატრიცები. ესენია: გეტინაქსი და ტექსტოლითი (ფენოვანი პლასტიკები ქაღალდისა და ქსოვილისგან შეწებებული თერმორეაქტიული წებოთი), მინა- და გრაფიტოპლასტი (ქსოვილი ან მინისა და გრაფიტისგან დახვეული ბოჭკო, შეერთებული ეპოქსიდური წებოთი), ფანერი, ბულატი (ერთ-ერთი უძველესი კომპოზიტური მასალა, რომელშიც მაღალნახშირბადიანი ფოლადის უთხელესი ფენები ან უწვრილესი ძაფები "შეწებებულია" რბილ მცირენახშირბადიან რკინასთან). არსებობს აგრეთვე მასალები, რომლებშიც მაღალი სიმტკიცის შენადნობების წვრილი ბოჭკოები ამოვსებულია თხევადი ალუმინის მასით.

გავრცელებულია კომპოზიტური მასალის შემდეგი სახეები: ბოჭკოვანი, ფენოვანი, პოლიმერული, კერამიკული, ლითონის (ალუმინის, მაგნიუმის, ნიკელის ან მათი შენადნობების) მატრიცით (სურ. 1.2) და სხვ.



სურ. 1.1. პოლიმერული მრავალფენიანი კომპოზიტური მასალა: 1-მარმირებელი, 2-მატრიცა



სურ. 1.2. ალუმინის კომპოზიტური პანელები: სისქე - 3 მმ; ალუმინის შრის სისქე - 0,21 მმ

დადებითი თვისებები: მაღალი ხვედრითი სიმტკიცე, სიხისტე, ცვეთამდეგობა, დადლილობითი მახასიათებლები და სიმსუბუქე. კომპოზიტური მასალისგან შეიძლება დამზადდეს სტაბილური გომეტრიული ზომების კონსტრუქციები.

ნაკლოვანებები: მაღალი ფასი, ანიზოტროპიულობა, დაბალი დარტყმითი სიბლანტე, მაღალი ხვედრითი მოცულობა, ჰიგროსკოპულობა, ტოქსიკურობა, დაბალი საექსპლუატაციო ტექნოლოგიურობა და სხვ.

გამოყენების სფერო: რკინაბეტონის კონსტრუქციები, მინაპლასტიკის ნაკეთობები, საავტომობილო საბურავები, ლითონ-კომპოზიტები, სპორტული ველოსიპედები, თხილამურები, ჰოკეიჯოხები (ჰოკეის, გოლფის), ციგურები, კანოე, ბაიდარკები, სარბოლო ავტომობილებისა და მოტოციკლების ძარის დეტალები, მუზარადები, შიგაწვის ძრავის დგუშები, ბარბაცები, შეჯავშნილი ავტოტრანსპორტი და სხვ.

სტრუქტურის მიხედვით კომპოზიტები იყოფა რამდენიმე კლასად: ბოჭკოვანი, ფენოვანი, დისპერსიულად განმტკიცებული, გაძლიერებული ნაწილაკებითა და ნანოკომპოზიტები. ბოჭკოვანი კომპოზიტები დაარმირებულია ბოჭკოებით ან ძაფისებრი კრისტალებით. ასეთი ტიპის კომპოზიტში შემავსებლის მცირე რაოდენობაც კი უზრუნველყოფს ხარისხობრივად ახალი მექანიკური თვისებების მქონე მასალის მიღებას, ხოლო ბოჭკოების ორიენტაციისა და კონცენტრაციის ცვლილება, შესაბამისად, ცვლის მასალის თვისებებს. გარდა ამისა, ბოჭკოებით დაარმირება ერთგვაროვან მასალას აძლევს ანიზოტროპიულ თვისებებს. თუ დაარმირებისათვის გამოვიყენებთ ლითონისა და ნახშირბადის ბოჭკოებს, მაშინ ასეთი კომპოზიტური მასალა გახდება ელექტროგამტარი ბოჭკოების მიმართულებით.

ფენოვან კომპოზიტურ მასალებში მატრიცა და შემავსებელი განლაგებულია შრეებად, ისევე, როგორც, მაგალითად, განსაკუთრებულად მაგარ მინაში, სადაც მინა დაარმირებულია რამდენიმე ფენა პოლიმერული აფსკით.

დანარჩენი კლასის კომპოზიტიური მასალების მიკროსტრუქტურა ხასიათდება იმით, რომ მატრიცა ივსება მარმირებელი ნივთიერების ნაწილაკებით – განსხვავება გამოიხატება მხოლოდ ამ ნაწილაკების ზომებით. მაგალითად, ნაწილაკებით განმტკიცებულ კომპოზიტებში ამ ნაწილაკების ზომები მეტია 1 მკმ-ზე, ხოლო მათი შემცველობა (მოცულობის მიხედვით) შეადგენს 20-25%-ს; დისპერსიულად განმტკიცებულ კომპოზიტებში (ზომები 0,01-0,1 მკმ), კი – 1-15%-ს; ნანოკომპოზიტებში შემავალი ნაწილაკების ზომები კიდევ უფრო ნაკლებია და შეადგენს 10-100 ნმ-ს.

კონსტრუქციული კომპოზიტიური მასალებისათვის დამახასიათებელია შემდეგი ნიშნები:

- მასალის შედგენილობა და ფორმა განისაზღვრება წინასწარ;
- კომპონენტების რაოდენობა უზრუნველყოფს მასალის მოცემულ თვისებებს;
- მასალა წარმოადგენს ერთგვაროვანს მაკრომასშტაბით და არაერთგვაროვანს – მიკრომასშტაბით (კომპონენტები განსხვავდება თვისებებით და მათ შორის არსებობს გამყოფი საზღვარი).

კომპოზიტის მექანიკური თვისებები განისაზღვრება სამი ძირითადი პარამეტრით: მარმირებელი ბოჭკოს მაღალი სიმტკიცით, მატრიცის სიხისტითა და მატრიცა-ბოჭკოს საზღვარზე კავშირის სიმტკიცით. ამ პარამეტრების თანაფარდობა ახასიათებს მასალის მექანიკური თვისებებისა და რღვევის მექანიზმის მთელ კომპლექსს. კომპოზიტის სამუშაოუნარიანობა უზრუნველყოფილია როგორც საწყისი მასალის სწორი შერჩევით, ისე წარმოების რაციონალური ტექნოლოგიით, რომელიც აწესრიგებს კომპონენტებს შორის მტკიცე კავშირს თავდაპირველი თვისებების შენარჩუნებით.

გამყოფი საზღვრის თვისება, პირველ რიგში ბოჭკოებისა და მატრიცის ადჰეზიური ურთიერთქმედება, განსაზღვრავს კომპოზიტის თვისებების ღონესა და მის შენარჩუნებას ექსპლუატაციის პირობებში. ლოკალური დაბზა მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს გამყოფ საზღვართან ან მის სიახლოვეს, სადაც, როგორც წესი, ხდება მასალის რღვევა. ადჰეზიური კავშირი გამყოფ საზღვარზე არ უნდა დაირღვეს თერმული და ჯდომის დაბზების გავლენით, რომლებიც წარმოიშობა მატრიცისა და მარმირებლის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტების სხვაობით ან შემკრავის ქიმიური ჯდომით გამკვრივების პროცესში.

ბოჭკოვანი სტრუქტურის უმარტივესი შემთხვევაა, როცა პლასტიკურ მატრიცაში განლაგებულია ერთგვაროვანი (ერთი მიმართულების) ბოჭკოები და შესაბამისად, ასეთი კომპოზიტი თვისებრივად ანიზოტროპიულია. მისი სიმტკიცე და სიხისტე მაქსიმალურია სწორედ ბოჭკოების განლაგების მიმართულებით, ხოლო მეორე მიმართულებით – მინიმალური.

როგორც აღნიშნული იყო, კომპოზიტის მთავარი უპირატესობაა შექმნათ მისგან კონსტრუქციული ელემენტები წინასწარ განსაზღვრული თვისებებით, რომე-

ლიც სრულად პასუხობს მუშაობის პირობებს. ბოჭკოებისა და მატრიცული მასალების მრავალფეროვნება საშუალებას იძლევა საჭიროებისამებრ ვარეგულიროთ კომპოზიტის სიმტკიცე, სიხისტე, სამუშაო ტემპერატურის დონე და სხვა თვისებები შედგენილობის შერჩევით, კომპონენტების თანაფარდობითა და მაკროსტრუქტურული ცვლილებით. მატრიცასა და მარმირებელ ელემენტებს შორის გამოყოფი საზღვრის არსებობა ზრდის მასალის ბზარმდეგობას. ცნობილია, რომ ნებისმიერი მყარი ტანის მდგრადობა ბზარების გავრცელების მიმართ, განისაზღვრება მზარდი ბზარის წვეროში ენერგიის შთანთქმის მექანიზმით. კომპოზიტებში განივმა გამჭიმავმა დაბეჭდვა მზარდი ბზარების ბოლოში შეიძლება გამოიწვიოს ბოჭკოების განშრევა მატრიცისგან, ხოლო ძვრის დაბეჭდვა გაყოფის საზღვარზე – განშრევებული ფენის ზრდა ბოჭკოების გასწვრივ. განშრევაზე იხარჯება გარკვეული ენერგია, რადგან ბოჭკო გადაადგილდება მატრიცის მიმართ. გარდა ამისა, დატვირთვის ზრდისას ბოჭკოების რღვევა შეიძლება მოხდეს ბზარებისგან მოშორებით მატრიცაში. ამიტომ დაარმირებული მასალებისთვის დამახასიათებელია ბლანტი რღვევის მექანიზმი, განსხვავებით ჰომოგენური (შემადგენლობით, წარმოშობით, თვისებებით ერთგვარი) მასალებისგან.

ეს მექანიზმები დაკავშირებულია კომპოზიტურ ბოჭკოვან მასალებში გაყოფის ზედაპირების დიდ რაოდენობასთან, რომლებიც შეიძლება იყოს შემაფერხებელი წინაღობა ბზარების განვითარების გზაზე. ბზარების განვითარების პროცესში ენერგიის ინტენსიური დისიპაცია (გაბნევა) ხდება მატრიციდან ბოჭკოების გამოქაჩვით და მათ შორის საზღვრის რღვევის შედეგად. დამატებით წინაღობას ქმნის, აგრეთვე, ხახუნის ძალები ბოჭკოებსა და მატრიცას შორის. ბოჭკოვან მასალებში, ბზარების გაჩენის მიუხედავად, კომპოზიტი მაინც განაგრძობს მუშაობას დაზიანებების მნიშვნელოვანი დაგროვების შემთხვევაშიც კი.

კომპოზიტებისთვის დამახასიათებელი მაღალი წინაღობა დადლილობისადმი დაკავშირებულია იმასთან, რომ მაღალმოდულური მყიფე ბოჭკოები, რომლებიც იღებენ ძირითად დატვირთვებს, ინარჩუნებენ მზიდუნარიანობას ციკლური დატვირთვებისას, პლასტიკური დეფორმირებადი მასალებისგან განსხვავებით.

თანამედროვე კომპოზიტებს აქვთ არა მარტო ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ფართო სპექტრი, არამედ მიმართულად მათი შეცვლის უნარიც, მაგალითად, აამაღლოს რღვევის სიბლანტე, დაარეგულიროს სიხისტე, სიმტკიცე და სხვა თვისებები. ეს შესაძლებლობები ფართოვდება სხვადასხვა ბუნებისა და გეომეტრიის ბოჭკოების გამოყენებით, ანუ ჰიბრიდული (კომბინირებული) კომპოზიტების შექმნით. გარდა ამისა, კომპოზიტებისადმი დამახასიათებელია სინერგიზმის (ერთი მიმართულებით რამდენიმე ფაქტორის შეთანხმებული ერთობლივი მოქმედება) ეფექტი, რომელიც ჰიბრიდულ (ჰიბრიდი – ორგანიზმი ან უჯრედი, წარმოქმნილი გენეტიკურად განსხვავებული ფორმების შეჯვარების შედეგად) კომპოზიტებში დაკავშირებულია ბოჭკოების სიმტკიცის სტატიკურ ბუნებასთან და რღვევისას დაბეჭდვის სპეციფიკურ კონცენტრაციასთან.

1.2. კლასიფიკაციის პრინციპები

კომპოზიციური მასალების კლასიფიკაციაში ჩადებულია საერთო პრინციპები:

- მასალათამცოდნეობის – არმატურის ან მატრიცის მასალისა და მათი თვისებების მიხედვით;
- კონსტრუქციული – არმატურის ტიპისა და მატრიცაში მისი განლაგების მიხედვით;
- ტექნოლოგიური – კომპოზიციური მასალის გადამუშავებით ნაკეთობის მიღების მიხედვით.

გადამუშავების მეთოდი მართალია მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მასალის თვისებაზე, მაგრამ არ იძლევა სრულ ინფორმაციას მის შესახებ. კომპოზიციური მასალების მექანიკური თვისებების მიმართ გარკვეულ ინფორმაციას გვაწვდის კლასიფიკაცია მატრიცის სახეობის მიხედვით. დღეისათვის გამოყენებული ფისების და პოლიმერების ასორტიმენტი და მოდიფიკაცია საკმაოდ მრავალფეროვანია, მაგრამ მათი მნიშვნელობა კომპოზიტების თვისებების ფორმირებაში საკმარისად არ არის შესწავლილი. ამიტომ მატრიცის თვისებების მიხედვით კლასიფიკაციას ახდენენ დეფორმირებადი მყარი ტანის მექანიკის საანგარიშო მოდელების შინაარსის გამოსავლენად (დრეკადი, დრეკადპლასტიკური, დრეკადბლანტი თვისებების ასახვა) და მეთოდოლოგიური მიზნების მისაღწევად.

თანამედროვე კონსტრუქციული კომპოზიტების დაარმირებისათვის გამოყენებული ძირითადი მასალებია მინის, ნახშირბადის, ორგანული და ბორის ბოჭკოები. მათ საფუძველზე მუშავდება, აგრეთვე, მრავალკომპონენტური მასალები, რომლებშიც გამოიყენება სხვადასხვა არმატურა (მაგ., ორგანული და ბორის, მინისა და ნახშირბადის და სხვა კომბინაციები), რაც ართულებს კლასიფიკაციას არმატურის ტიპის მიხედვით.

მაარმირებელი კომპონენტის სახეობაზე დამოკიდებულებით კომპოზიტები შეიძლება დაიყოს ორ ძირითად ჯგუფად: დისპერსიულად განმტკიცებული და ბოჭკოვანი, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდებიან სტრუქტურითა და მაღალი სიმტკიცის მასალის შექმნის მექანიზმით.

დისპერსიულად განმტკიცებული კომპოზიტი ისეთი მასალაა, რომლის მატრიცაში თანაბრად განაწილებულია მეორე მასალის წვრილდისპერსიული ნაწილაკები. ასეთ კომპოზიტებში მთელ დატვირთვას ღებულობს მატრიცა, რომელშიც პრაქტიკულად გაუხსნელი მეორე ფაზის ნაწილაკების სიმრავლით იქმნება სტრუქტურა, რომელიც ეფექტურად ეწინააღმდეგება პლასტიკურ დეფორმაციებს.

ბოჭკოვანი პლასტიკური კომპოზიტის მატრიცის დაარმირება ხდება ბოჭკოებით, მავთულით ან ძაფისებრი კრისტალებით. ბოჭკოებით დაარმირებული

სტრუქტურის შექმნის იდეა ითვალისწინებს არა მატრიცულ მასალაში პლასტიკური დეფორმაციების გამორიცხვას, არამედ დეფორმაციის პროცესში ბოჭკოების მაქსიმალურ დატვირთვას და მისი მაღალი სიმტკიცის გამოყენებას.

ბოჭკოვანი კომპოზიტური სტრუქტურის განსაკუთრებულობა ისაა, რომ პლასტიკურ მატრიცაში თანაბრადაა განაწილებული მაღალი სიმტკიცის, მაღალმოდულური ბოჭკოები, რომელთა მოცულობითმა წილმა შეიძლება მიაღწიოს 75%-ს. მეორე განსხვავებული თვისებაა – ანიზოტროპიულობა (ანიზოტროპია – ნივთიერების ფიზიკურ თვისებათა არაერთგვაროვნება სხვადასხვა მიმართულებით), რასაც იწვევს ბოჭკოების ორიენტაცია ერთი მიმართულებით. დისპერსიულად განმტკიცებულ მასალებს კი ერთნაირი თვისებები აქვთ ყველა მიმართულებით.

არმატურის ტიპი და მისი განლაგების სახე იძლევა დიდ ინფორმაციას კომპოზიტური მასალების თვისებებზე, რადგან არმატურის ბოჭკოების სიხისტისა და სიმტკიცის მახასიათებლები სხვადასხვა ტიპის არმატურის ბოჭკოებისათვის (მინა, ნახშირბადი, ბორი) მნიშვნელოვნად განსხვავებულია, შესაბამისად, განსხვავებულია კომპოზიტების თვისებები არმატურის განლაგების მიმართულებით.

კომპოზიტური მასალის თვისებებს განსაზღვრავს არა მარტო არმატურის სახეობა, არამედ მისი კონსტრუქციაში განლაგებაც. მიმართულების კუთხის ცვალებადობით შესაძლებელია საჭირო ანიზოტროპიული თვისებების მიღება, ხოლო შრეების განლაგების თანამიმდევრობის და კუთხის (დახრილობის) ცვალებადობით, შესაძლებელია ეფექტურად ვმართოთ მასალის დუნვითი და მგრეხი სიხისტეები.

ზემოთ ჩამოთვლილზე დამოკიდებულებით კომპოზიტური სტრუქტურები შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: ფენოვანი და სივრცითად დაარმირებულად.

ფენოვანი სტრუქტურა მიიღება შემკვრელში გაჟღენთილი ერთმიმართულებიანი მონოფენების (მონოშრეების) ერთ სიბრტყეში თანამიმდევრობით დალაგებით. ტექნოლოგიურად იგი ხორციელდება „სველი“ მეთოდით ან დაწნეხვით.

ერთ სიბრტყეში დალაგებული მაარმირებელი ბოჭკოების ორიენტაციაზე დამოკიდებულებით ფენოვანი სტრუქტურები იყოფა შემდეგ ძირითად ჯგუფებად: ერთმიმართულებიანი, ორთოგონალურად დაარმირებული, ჯვარედინად დაარმირებული და ქაოტურად (უწესრიგოდ) დაარმირებული. თუ ერთმიმართულებიან მასალაში ბოჭკოები განლაგებულია თანაბრად, მაშინ მას ეწოდება **ტრანსვერსალურად იზოტროპიული** (მონოტროპიული, ანუ მასალა, რომლის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები მნიშვნელოვნად განსხვავდება ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით) სიბრტყეში, რომელიც მართობულია დაარმირების მიმართულების. თუ მასალას აქვს მკვეთრად გამოხატული ფენოვანი სტრუქტურა, მაშინ იგი არის **ორთოტროპიული** კომპოზიტური მასალა.

ფენოვანი მასალა შეიძლება დაარმირდეს აფსკებით ან ძაფით. აფსკებით დაარმირებისას მასალა იზოტროპიული (იზოტროპია – სხეულში ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ერთგვაროვნება სხეულის ნებისმიერ წერტილში, ნებისმიერი

მიმართულებით) იქნება სიბრტყეში, რომელიც მხებია ამ ფირის ზედაპირის, ანუ საქმე გვექნება ტრანსვერსალურ იზოტროპიასთან. დაფებით დაარმირებისას კი შესაძლებლობა ჩნდება შევქმნათ კომპოზიტი სხვა ტიპის ანიზოტროპიით.

ორთოგონალურად (მართკუთხოვნად) დაარმირებული კომპოზიტი ორთოტროპიულია ღერძებში, რომლებიც ემთხვევა დაარმირების მიმართულებას. გრძივი და განივი ფენების რიცხვი შეიძლება იყოს შემდეგი თანაფარდობით: 1:1, 1:3, 1:5, 2:5 და სხვ.

ჯვარედინად დაარმირებულ მასალაში ორივე მიმართულებით ფენების რაოდენობა ერთნაირია. ქაოტურად დაარმირებულ მასალაში გამოიყენება ერთ სიბრტყეში ქაოტურად განლაგებული მოკლე ბოჭკოები. თუ არმატურის დანიშნულებით გამოყენებულია ერთფენიანი ქსოვილი, მაშინ მიიღება კომპოზიტი ფენოვანი სტრუქტურით (ტექსტოლით). მასში ფენების მიმართულების კუთხე და მასალის სისქეში ფენების რაოდენობა შეიძლება ცვალებადი იყოს. ამის მიხედვით არსებობს ფენოვანი სტრუქტურის სამი სახე: სიმეტრიული, ანტისიმეტრიული და არასიმეტრიული. პირველს მიეკუთვნება მასალები, რომლებსაც აქვთ ფიზიკური და გეომეტრიული თვისებების სიმეტრია შუა სიბრტყის მიმართ, მეორეს – მასალები, რომლებსაც აქვთ ერთნაირი სისქის ფენების განაწილების სიმეტრია, მაგრამ ბოჭკოების (ფენის) განლაგების (განფენის) კუთხე ეცვლება საწინააღმდეგოდ შუა სიბრტყიდან თანაბარ მანძილზე. არასიმეტრიულ სტრუქტურებს მიეკუთვნება მასალები, რომლებსაც არა აქვთ ზემოთ ჩამოთვლილი თვისებები.

ცნობილია სივრცითად დაარმირებული სტრუქტურების შექმნის სხვადასხვა მეთოდი. სივრცითი კავშირების წარმოქმნის მიხედვით კომპოზიტური მასალები იყოფა ოთხ ჯგუფად:

1. მასალები, სივრცითი კავშირები რომლებშიც წარმოიქმნება ერთი მიმართულების ბოჭკოების (ყველა ან ნაწილის) გამრუდებით. ასეთი მასალები ტრადიციულად მზადდება სწორი ძირითადი და მისაქსელის (ქსოვილის დამხმარე განივი ძაფი) გამრუდებული ბოჭკოების (ან პირიქით) ერთობლიობით;
2. მასალები, სივრცითი კავშირები რომლებშიც წარმოიქმნება ქსოვილში მესამე მიმართულების ბოჭკოების ჩართვით. ასეთი კომპოზიტები მზადდება სამი ბოჭკოს ერთობლიობით მართკუთხა ან ცილინდრულ კოორდინატთა სისტემაში. ბოჭკოები შეიძლება განლაგდეს ორთოგონალურად სამი მიმართულებით ან რაღაც კუთხით დაარმირების ერთ სიბრტყეში;
3. მასალები, სივრცითი კავშირები რომლებშიც წარმოიქმნება n რაოდენობის ბოჭკოებით. მათი ნაწილი შეიძლება განლაგდეს ურთიერთ ორთოგონალურად სამი მიმართულებით, ნაწილი კი – რაღაც კუთხით სიბრტყეებში;
4. მასალები, სივრცითი კავშირები რომლებშიც წარმოიქმნება ძაფისებრი კრისტალებით ან სხვა დისკრეტული ელემენტებით, რომლებიც მიიღება

მატრიცის წინასწარი თერმოდამუშავების ან სხვა ტექნოლოგიების გამოყენებით. ასეთი მასალების წარმოებისას ძირითადი კარკასი იქმნება უწყვეტი ბოჭკოებით, ლენტით ან ქსოვილით. ამ კომპოზიტების განსაკუთრებულობას განსაზღვრავს კრისტალების ან დისკრეტული ელემენტების განლაგება ძირითადი არმატურის მიმართ, რომელიც დამოკიდებულია კომპოზიტის დამზადების ტექნოლოგიურ რეჟიმზე.

სივრცითად დაარმირებული სტრუქტურების დასამზადებლად ძირითადად გამოიყენება მინისა და ნახშირბადის მაღალმოდულური ბოჭკოები. ორი ძაფის საფუძველზე დამზადებულ კომპოზიტებში უმჯობესია გამოყენებული იქნას ნახშირბადისა და ბორის მაღალმოდულური ბოჭკოები, რომლებიც განლაგდება ძირითადი და მისაქსელის მიმართულებით. დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული შემკვრელის შერჩევა, რადგან იგი დაკავშირებულია მაარმირებელი ბოჭკოების გაჟღენთვასთან. მატრიცაში ჰაერი რომ არ დარჩეს, გაჟღენთას აწარმოებენ სპეციალურ ფორმებში ვაკუუმსა და წნევის ქვეშ. შემკვრელად ძირითადად გამოიყენება მცირე სიბლანტის თერმორეაქტიული ფისები, რომლებიც ნორმალურ ტექნოლოგიურ პროცესში პრაქტიკულად უზრუნველყოფენ კომპოზიტის სიმკვრივეს თეორიული მოთხოვნების დონეზე.

1.3. მშენებლობაში გამოყენებული კომპოზიტები

1.3.1. ბოჭკოვანი კომპოზიტი

ბოჭკოვანი კომპოზიტი ფენოვანი სტრუქტურის ნაკეთობაა, რომელშიც თითოეული ფენა (შრე) დაარმირებულია დიდი რაოდენობის უწყვეტი ბოჭკოთი ან ქსოვილით, რომელთა სიგანე და სიგრძე ემთხვევა საბოლოო პროდუქტის ზომებს. კომპოზიტების გამოყენება ამბლლებს კონსტრუქციების სიხისტეს და ერთდროულად ამცირებს მათ ლითონტევადობას. მასალა გამოირჩევა დრეკადობის მოდულის, დროებითი წინაღობის, სიმტკიცის ზღვრის მნიშვნელობების გაზრდითა და ბზარწარმოქმნისადმი დაბალი მიდრეკილებით.

ბოჭკოვანი კომპოზიტის სიმტკიცეს განსაზღვრავს მაარმირებელი ბოჭკოების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, ხოლო მატრიცა ძირითადად ახდენს ძაბვების გადანაწილებას მაარმირებელ ბოჭკოებს შორის; ამიტომ ბოჭკოების სიმტკიცე და დრეკადობის მოდული მეტი უნდა იყოს მატრიცის მასალის სიმტკიცესა და დრეკადობის მოდულზე. ბოჭკოები თანაბრადაა განაწილებული პლასტიკურ მატრიცაში.

ალუმინის, მაგნიუმისა და მათი შენადნობების განმტკიცებისთვის გამოიყენება ბორის, აგრეთვე ძნელდნობადი შენაერთების (ჟანგულების, კარბიდების, ბორიდებისა და ნიტრიდების) ბოჭკოები, ზოგჯერ – მაღალი სიმტკიცის ფოლადის მავთული. ტიტანისა და მისი შენადნობებისათვის გამოიყენება მოლიბდენის მავ-

თული ან საფირონის, სილიციუმის კარბიდისა და ტიტანის ბორიდის ბოჭკოები. ნიკელის შენადნობების მხურვალმდეგობის ასამაღლებლად – ვოლფრამისა და მოლიბდენის მავთული. ზოგადად, მეტალის ბოჭკოებს იყენებენ იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა კომპოზიტის თბო- და ელექტროგამტარობის თვისების ამაღლება.

ზოგადად, კომპოზიტებში მარმირებლად გამოიყენება მავთული, მონობოჭკოს ძაფი, ჩალიჩი, ლენტი, ბადე, ტილო, ქსოვილი და მისთ. ბოჭკოვანი კომპოზიტები მიეკუთვნება ანიზოტოპიულ მასალებს, რაც გაითვალისწინება დეტალებისა და კონსტრუქციების დაპროექტებისას.

1.3.2. დისპერსიულ-განმტკიცებული კომპოზიტი

დისპერსიულ-განმტკიცებული კომპოზიტის ძირითად მზიდ ელემენტს შეადგენს მატრიცა (შემკვრელი), ხოლო შემავსებელის – ჟანგეულები, ნიტრიდები, ბორიდები, კარბიდები და სხვ. ძნელდნობადი ფაზის დისპერსიული ნაწილაკები ამუხრუჭებს (ანელებს) მათ დისლოკაციას მასალაში. ძნელდნობადი ნაერთებისთვის დამახასიათებელია მაღალი დრეკადობის მოდული, დაბალი სიმკვრივე, პასიურობა მატრიცის მასალებთან, აგრეთვე, როგორც ალუმინისა და სილიციუმის ჟანგეულები, – ბუნებაში ფართოდ გავრცელება და მათგან შემდგარი ელემენტების დაბალი ღირებულება.

დისპერსიულად განმტკიცებული კომპოზიტის მიღება ძირითადად ხდება ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდებით, თუმცა არსებობს სხვა გზებიც, მაგალითად, თხევად ლითონში ან შენადნობში შემავსებლის უშუალოდ შეყვანა. ასეთი კომპოზიტის მისაღებად პრაქტიკულად შესაძლებელია ნებისმიერი ლითონის გამოყენება. პრაქტიკაში ყველაზე მეტადაა გავრცელებული კომპოზიტები ალუმინის საფუძველზე (სურ. 1.3). დიდი პერსპექტივები აქვს აგრეთვე ნიკელის საფუძველზე მიღებულ დისპერსიულ-განმტკიცებულ კომპოზიტებს.



სურ. 1.3. ალუმინის კომპოზიტური დისპერსიულ-განმტკიცებული პანელები

დისპერსიულად განმტკიცებულ კომპოზიტურ მასალებში ძირითად დატვირთვას ღებულობს მატრიცა, ხოლო განმამტკიცებელი დისპერსიული ნაწილაკები წინააღმდეგობას უწევენ მასალაში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას, ანუ ხელს უშლიან განმამტკიცებლის დისლოკაციურ მოძრაობას. რაც მეტია ეს წინააღმდეგობა, მით მეტია სიმტკიცე. ამიტომ, ბუნებრივია, სიმტკიცე დამოკიდებულია კომპოზიტური მასალის სტრუქტურულ დისლოკაციაზე, რომელიც ფორმირდება პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში (პლასტიკური დეფორმაცია – დეფორმაცია, რომელიც მთლიანად არ ქრება

მისი გამომწვევი დატვირთვის მოხსნის შემდეგ. მას ზოგჯერ ნარჩენ ლეფორ-მაციასაც უწოდებენ). გარდა აღნიშნულისა, დისპერსიული ნაწილაკები „ირიბად“ ხელს უწყობენ მასალის განმტკიცებას – ქმნიან მრავალფეროვან დაძაბულ მდგომარეობას და ნაწილობრივ ან სრულად ეწინააღმდეგებიან რეკრისტალიზაციის (რეკრისტალიზაცია – პოლიკრისტალებში ცალკეული კრისტალური მარცვლების წარმოქმნა ან ზრდა ფაზების ხარჯზე) პროცესს.

მასალის სიმტკიცე დამოკიდებულია განმტკიცების ფაზების რაოდენობაზე, მისი განაწილების თანაბრობაზე, დისპერსიულობის ხარისხსზე, ნაწილაკებს შორის მანძილზე და განისაზღვრება ოროვანის ფორმულით:

$$\sigma = \frac{Gb}{l},$$

სადაც G არის მასალის დრეკადობის მოდული; b – დისპერსიული ნაწილაკების ატომთშორის დაშორება; l – დისპერსიულ ნაწილაკებს შორის დაშორება.

ფორმულის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ წინააღმდეგობა ძვრაზე იზრდება დისპერსიულ ნაწილაკებს შორის მანძილის შემცირების პროპორციულად.

მაქსიმალური სიმტკიცე მიიღწევა ნაწილაკების თანაბარი განაწილებისას მატრიცაში, როცა ნაწილაკების ზომებია 10-500 ნმ, ხოლო მათ შორის დაცილებაა 100-500 ნმ; ნაწილაკების შემცველობა განმტკიცების მეორე ფაზაში შეადგენს მოცულობის 5-10%-ს.

ალუმინისა და ალუმინის ჟანგის საფუძველზე დამზადებული დისპერსიულად განმტკიცებული კომპოზიტი გამოირჩევა მაღალი სიმტკიცით, მხურვალმდეგობით, კოროზიამდეგობითა და თერმული თვისებების სტაბილურობით. იგი მიიღება ზედაპირულად დაქანებული ალუმინის პუდრის თანდათანობითი დაბრიკეტებით, შეცხობითა და დაწნებით. ალუმინის ნაწილაკების (ზომით 10-50 მკმ) უხსნადობა და წვრილდისპერსიული ნაწილაკების კოაგულაციისადმი (კოაგულაცია – კოლოიდურ ხსნარში დისპერსიულობის შემცირების ფიზიკურ-ქიმიური პროცესი, რასაც თან ახლავს ნივთიერების ნაწილაკების ნალექად გამოყოფის, შედეგების პროცესი) არამიდრეკილობა, უზრუნველყოფს სტრუქტურის სტაბილურობასა და მაღალ სიმტკიცეს 500°C ტემპერატურამდე. ასეთი კომპოზიტები ადვილად ექვემდებარება ჭრას, შედუღებას (კონტაქტური, არგონ-რკალური), მსუბუქია, აქვს მაღალი ხვედრითი სიმტკიცე და სხვ. მისგან მზადდება: ფურცლები, პროფილები, ტვიფრული ნაკეთობები, მილები, ფოლგა, ტურბინის, კომპრესორისა და ვენტლატორის ფრთები, ტრანსფორმატორის გულანები, კონდენსატორები და სხვ.

დისპერსიულად განმტკიცებულ შენადნობებს ნიკელისა (80%) და ქრომის (20%) საფუძველზე ახასიათებთ ძალიან მაღალი მხურვალმდეგობა. მასში განმტკიცებლად გამოიყენება თორიუმისა და ჰაფნიუმის ჟანგულების დისპერსიული ნაწილაკები. მაქსიმალური სიმტკიცე ($\sigma = 750-850$ მპა) მიიღწევა, როცა HfO₂ -ის შემცველობა ნადნობში არის 3,5-4%. ნიკელის მატრიცის ლეგირება ვანადიუმით,

ტიტანიტა და ალუმინით დამატებით ანმტკიცებს მასალას მატრიცის დისპერსიული გამყარების შედეგად, რომელიც მიმდინარეობს შეცხოების ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ. ტექნოლოგიურად ეს პროცესი საკმაოდ რთულია და სახელმძღვანელოში განხილული არ არის.

1.3.3. მერქან-პოლიმერული კომპოზიტი

მერქან-პოლიმერული ერთგვაროვანი მასის კომპოზიტი (თხევადი მერქანი, პოლიმერული ფიცარი, მერქანპოლიმერი, მერქანპლასტიკი), მიიღება პოლიმერისა და ხის ფევილის (ან წვრილფრაქციული მერქნის) შერევით. ასეთი მასალისგან დამზადებული ნაკეთობა პრაქტიკულად არ განსხვავდება ნატურალური მერქნისგან არც გარეგნობითა და არც სუნით; გამოირჩევა მაღალი სიმტკიცით, ცვეთამდეგობით, არ ლპება, არ ედება ობი და სოკო, ხანგრძლივი დროით ინარჩუნებს გეომეტრიულ ფორმასა და ფერს; არ კარგავს საექსპლუატაციო თვისებებს არც ძალიან მაღალი და არც ძალიან დაბალი ტემპერატურის პირობებში. მერქან-პოლიმერული კომპოზიტისგან ამზადებენ სატერასე ფიცრებს – საიდინგს (შენობის კედლების მოსაპირკეთებელი მასალა), საბაღე ფილებს, თამასოვან ღობესა და სხვადასხვა პროფილს (სურ. 1.4). მისი წარმოება პირველად დაიწყო შვედეთში 1977 წელს. მერქან-პოლიმერული კომპოზიტების საფუძველ მასალად უპირატესობა ენიჭება პოლიეთილენს, პოლიპროპილენსა და პოლივინილქლორიდს. ასეთი კომპოზიტის გამოყენება ძირითადად მიზანშეწონილია ღია ცის ქვეშ განთავსებულ ნაგებობებში, როგორცაა: ტერასა (სურ. 1.5), ვერანდა, აივანი, პავილიონი, ფანჩატური, კიბე, საბაღე ბილიკი და სხვ.

ბოლო პერიოდში სამშენებლო ბაზარზე გამოჩნდა მერქან-პოლიმერული კომპოზიტური მასალების ახალი ჯგუფი – თერმოპლასტიკური მერქან-პოლიმერული კომპოზიტი, რომელშიც პოლიმერულ მატრიცად გამოყენებულია ნაკლებადწვადი და უსაფრთხო მასალა თერმოპლასტი. ზოგჯერ მას თხევად მერქანსაც უწოდებენ. ასეთი მასალის კომპაუნდისაგან (კომპაუნდი – რაიმე ნივთიერებათა ნარევი, რომელიც არ წარმოადგენს ქიმიურ ნაერთს) ექსტრუზიის (პოლიმერული მასალების



სურ. 1.4. მერქან-პოლიმერული კომპოზიტური პროფილები



სურ. 1.5. მერქან-პოლიმერული ფიცრული კომპოზიტური იატაკი

ექსტრუდერში გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი), ჩამოსხმის, დაწნეხვის ან როტაციული ფორმირების მეთოდით ღებულობენ მაღალი ხარისხის მოსაპირკეთებელ და საბურულე მასალებს.

თუ კომპოზიტში ხის ფევილისა და პოლიმერის თანაფარდობაა 70/30 (კეთდება გაიაფების მიზნით), მაშინ დეკინგი (ფილის მოდული ხის ზედაპირით) ავლენს ჰიდროფობულ თვისებებს და იწოვს ტენს, რის შედეგად მასალა განიცდის გაჯირჯვებას და ექსპლუატაციის ვადა მცირდება 5-7 წლამდე; თუ თანაფარდობაა 40/60, მაშინ მასალა (ფიცარი) კარგავს ესთეტიკურ სახეს და ზედაპირი ხდება მოლიპული. ყველაზე კარგი მასალა მიიღება თანაფარდობისას 50/50, როცა მასალას აქვს შესანიშნავი ფაქტურა, ესთეტიკური ზედაპირი, მაღალი ტენმედეგობა და ექსპლუატაციის ვადა (15-20 წელი).

1.3.4. ტიტან-ტანტალ-ვოლფრამის კომპოზიტი

ლითონკერამიკული მაგარი შენადნობების ერთ-ერთი სახეობა – სამფაზა კომპოზიტური მასალა მზადდება კობალტის მატრიცისა (შემკვრელით) და ვოლფრამის, ტანტალისა და ტიტანის კარბიდის შერევით (კობალტში შერეული მყარი ხსნარი სამი მეტალით). მიიღება კერამიკული მდგენელის, ტიტანის, ტანტალისა და ვოლფრამის ფხვნილების შერევით, დაწნეხითა და შეცხობით მაღალ ტემპერატურაზე. შემკვრელად გამოყენებულია კობალტი. ლითონების შერევა კერამიკულ ნაწილაკებთან უზრუნველყოფს მასალის ნაწილობრივ პლასტიკურობას.

კომპოზიტი ხასიათდება მაღალი სისალით, სიმტკიცით მაღალ ტემპერატურაზე, წინაღობით ჟანგვისადმი, აბრაზიული მდგრადობით, თბო და ცვეთამედეგობით; ყველა შენადნობისგან გამოირჩევა საჭრელი ინსტრუმენტის ნაწიბურის სიმტკიცით, ამიტომ დიდი გამოყენება აქვს ჭაბურღილების გახსნითი სამუშაოებისას.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ეს კომპოზიტი მიეკუთვნება დეფიციტური შენადნობების კატეგორიას, რადგან ძირითადი კომპონენტი – ვოლფრამი, რომელიც განსაზღვრავს კომპოზიტის მაღალ ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს, თავის მხრივ ძლიერ დეფიციტური ნედლეულია. პრაქტიკაში ხშირად მიმართავენ მოლიბდენის შეცვლას ნიკელით, მაგრამ ასეთი შენადნობი უფრო მყიფე გამოდის და სიმტკიცეც ღუნვაზე ნაკლები აქვს, თუმცა მხურვალმედეგობის კუთხით უკეთესი მაჩვენებლები აქვს.

1.3.5. კომპოზიტური ბამბუკის პარკეტი

კომპოზიტური ბამბუკის პარკეტი მზადდება ე. წ. OSB (ორიენტირებული ხის ფილა) ტექნოლოგიით ბამბუკის ბოჭკოს გამოყენებით, რომლის საშუალებით მიიღება ეკოლოგიურად სუფთა, ლამაზი და მტკიცე პროდუქტი (სურ. 1.6). თავიდან ბამბუკის მელები (მერქნის, ხის შპონის, მემბრანის, ქსოვილის, ძვლის ან

სხვა ნივთიერების თხელი ფენა) ბოჭკოს დონემდე ნაწევრდება. მიღებული მასა მუშავდება ნაჯერი ორთქლით, შრება (ტენიანობის 6-8%-მდე) და იჟლინთება ბამბუკის ბუნებრივი ფისისმაგვარი ეკოლოგიურად სუფთა კომპოზიტური შენაერთით. კომპოზიტი ავსებს ბოჭკოების არსებსა და არხთაშორის სივრცეს. დაწნეხვის შემდეგ მიიღება მდგრადი და ტენმედეგი მასალა, რომლისგან მზადდება პარკეტი. ლაქით დაფარვა ხდება ქარხნული წესით, რისთვისაც გამოიყენება ურეთან-შემცველი ლაქი. ეს პროცესი საგრძნობლად აიაფებს პარკეტის დაგების ხარჯებს, რადგან დაგებული პარკეტი არ საჭიროებს მოხვეწასა და ლაქის წასმას. კომპოზიტური პარკეტის დაგება მიმდინარეობს იმავე ტექნოლოგიითა და დამხმარე მასალებით, როგორც ჩვეულებრივი პარკეტის (ცემენტი – წებო – პარკეტი; ცემენტი – ხის ძელები – პარკეტი დალურსმნით და ცემენტი – ჰიდროიზოლაცია – ფანერა – წებო – პარკეტი დალურსმნით).



სურ. 1.6. კომპოზიტური ბამბუკის პარკეტი

1.3.6. კომპოზიტური ბამბუკის ფიცარი

ინოვაციური პროდუქტი, რომელიც მიიღება ბამბუკის დანაწევრებული ბოჭკოების (60%) შერევით მაღალი წნევის პოლიეთილენთან (30%) საღებავისა და სხვა სპეციალური დანამატებით. წარმოების პროცესში კომპოზიტურ ნარევს ამუშავებენ მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში და ამზადებენ პროფილს მოცემული მახასიათებლებით. ასეთი მასალა გამოირჩევა მაღალი მედეგობით ულტრაიისფერი სხივების, ატმოსფერული ზემოქმედების, ტენის, ლპობის, ბიომავნებლების მიმართ; არ საჭიროებს დამატებით დამცავ მასალებსა და გახეხვას. იწარმოება გერმანიაში. გამოდის ზომებით 21×140×2900 მმ. გამოიყენება ღია ცის ქვეშ ტერასების, ეზოების, ფანჩატურების, ბილიკების, სკვერებისა და მისთ. მოსაწყობად (სურ. 1.7).

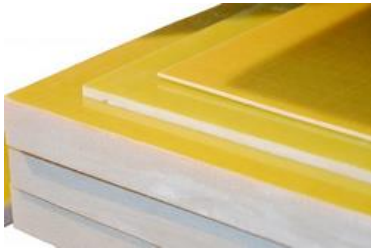


სურ. 1.7. კომპოზიტური ბამბუკის ფიცრები

1.3.7. მინატექსტოლიტი

მინაქსოვილის საფუძველზე დამზადებული ტექსტოლიტი, დრეკადი ფენოვანი პლასტიკი (სურ. 1.8, სურ. 1.9), რომელიც მიიღება ეპოქსიდურ და ფენოლ-ფორმალდეჰიდურ ფისებში გაჟღენთილი მინაქსოვილის ცხელი დაწნეხის მეთოდით. გამოირჩევა მაღალი მექანიკური სიმტკიცით, ატმოსფერული და ქიმიური მედეგობით, მაღალი დიელექტრიკული და ელექტროსაიზოლაციო თვისებებით, აგრესიული გარემოს მიმართ მდგრადობითა და სხვ.

მინატექსტოლიტი გამოიყენება დინამიკურ დატვირთვებზე მომუშავე სამშენებლო კონსტრუქციებში, საფანჯრე პროფილებში, ქიმიურად აგრესიული სითხეების შესანახ ტევადობებში, რადიო და ელექტროტექნიკაში, მანქანა-, გემთ- და თვითმფრინავშენებლობაში (რეაქტიული ძრავის საქმენები, სურ. 1.10; პროპელერი, სურ. 1.11), საკვამლე მილებში, სადაწნეო კოლექტორებში, ხელსაწყოების კორპუსების დასამზადებლად და სხვ. იგი საკმაოდ რთული დასამუშავებელი მასალაა, ამიტომ, ამ მიზნით გამოიყენება კორუნდის ან ალმასის კბილებიანი წრიული საჭრელი დისკები (სურ. 1.12).



სურ. 1.8. მინატექსტოლიტი



სურ. 1.9. ფურცლოვანი მინატექსტოლიტი

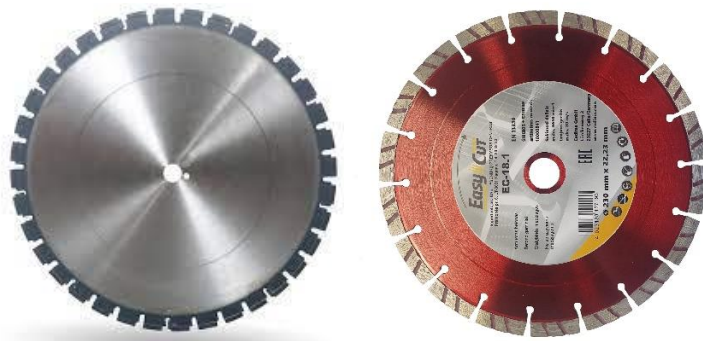


სურ. 1.10. რეაქტიული თვითმფრინავის ძრავის საქმენი



სურ. 1.11. საფრენი აპარატის „დრონი“ პროპელერები

1.3.8.



სურ. 1.12. ალმასის კბილებიანი წრიული საჭრელი დისკები

მინაპლასტიკი

მინაპლასტიკი პლასტმასის ნაირსახეობაა, რომელიც შედგება შემკვრელისა და მარმირებლისგან. მარმირებლად ძირითადად მინის ბოჭკო, მინის ძაფი, მინის ქსოვილი და კვარცის ბოჭკო გამოიყენება, ხოლო შემკვრელად – თერმო-რეაქტიული ფისები (პოლიესტერი, ეპოქსიდი, ფენოლფორმალდეჰიდი, პოლი-იმიდი), აგრეთვე თერმულად მდგრადი თერმოპლასტები (არომატული პოლიამი-დი, პოლისულფონი, პოლიკარბონატი). იშვიათად იყენებენ პოლიოლეფინების ტიპის დაბალდნობად თერმოპლასტებს, რადგან მათ მინაბოჭკოებთან შედარე-ბით დაბალი ადჰეზიური თვისებები გააჩნიათ, რაც საშუალებას არ იძლევა, სრუ-ლად გამოვიყენოთ მინაბოჭკოვანი შემავსებლის დადებითი თვისებები. ელექ-ტროტექნიკური დანიშნულების მინაპლასტიკებში შემკვრელად უმჯობესია გამო-ყენებული იყოს მასალები მაღალი დიელექტრიკული მახასიათებლებით, როგო-რიცაა, მაგალითად, სილიციუმორგანული და ეპოქსიდური ფისები.

მინაპლასტიკები გვხვდება გამჭვირვალე და გაუმჭვირი სახით. სიმკვრივე – 1500-1900 კგ/მ³. მიეკუთვნება ძნელად წვადი მასალების ჯგუფს. სამშენებლო კონსტრუქციების დასამზადებლად არსებობს სამი ტიპის მინაპლასტიკი: უწყვეტი მინის ბოჭკოთი, ქაოსურად განლაგებული დანაწევრებული მინაბოჭკოთი და მინის ბოჭკოსაგან დამზადებული უხეში ტილოთი დაარმირებული (გლაკრეზიტი). მშენებლობაში განსაკუთრებით გავრცელებულია მინის ბოჭკოთი დაარმირებული პოლიესტერული მინაპლასტიკი. მისგან ამზადებენ კარისა და ფანჯრის პროფილებს (სურ. 1.13), არმატურას (სურ. 1.14), სამფენოვან ფილებს და პანელებს, საკედლე ბლოკებს, კიბის სახელურებს, ბრტყელ და ტალღოვან ფურცლებს (სურ. 1.15), ელექტრობის გაუმტარ კიბეებს, დიდი წნევის მილებს, ასევე საწყლოსნო ნავეებს (სურ. 1.16), კანოეებს, ტელეფონის (ტაქსოფონის) კაბინებს, სათევზაო ანკესის ჯოხებს, მყარ საწვავზე მომუშავე რაკეტის ძრავის კორპუსებს, მსუბუქი ავტომობილების ძარას, სიმაღლეზე სახტომ სპორტულ ჭოკებს (სურ. 1.17) და სხვ. მინაპლასტიკს საწყის ეტაპზე შეიძლება მიეცეს ნებისმიერი ფორმა, ფერი და სისქე. მისი ინგლისური სახელია „ფიბერგლასი“ (fiberglass – აშშ-ში და fibreglass გაერთიანებულ სამეფოში).

გარდა ხისტი მინაპლასტიკისა, პრაქტიკაში გავრცელებულია რულონური მინაპლასტიკებიც, რომლებიც წარმოადგენენ თხელ მოქნილ ფურცლოვან მასალას, დამზადებულს მინაბოჭკოვანი ქსოვილური ან არაქსოვილური მასალებისგან, რომელთა მასა ფართობის ერთეულზე შეადგენს 100-850 გ/მ³. ძირითადად გამოიყენება მილსადენების თბოსაიზოლაციოდ.



სურ. 1.13. ფანჯრის ფერადი პროფილი



სურ. 1.14. კომპოზიტიური არმატურა



სურ. 1.15. მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლები



სურ. 1.16. მინაპლასტიკის
საწყლოსნო ნავი



სურ. 1.17. ფიბერგლასის
სპორტული ჭოკი

მინაპლასტიკის უარყოფით თვისებას მიეკუთვნება კოროზია დაბვის ქვეშ, დაბ-
ვების რელაქსაცია, მგრძნობელობა ტენისა და ტუტეების მიმართ. ეს ნაკლოვა-
ნებები ძირითადად გამოვლინდება ალუმინბორსილიკატურ მინაბოჭკოებში, ამი-
ტომ ამ ბოჭკოების გამოყენებისას პოლიმერულ შემკრავს (მატრიცას) წაყენება
მაღალი მედეგობის მოთხოვნა ქიმიურად აგრესიული გარემოს მიმართ, რასაც
სრულად პასუხობს ეპოქსიდფენოლური პოლიმერული მატრიცა.

1.3.9. ქაფპლასტი

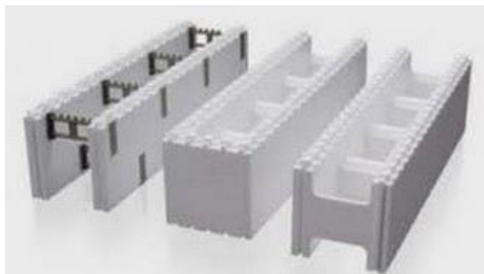
ქაფპლასტი თეთრი ფერის, ხისტი, ზემსუბუქი, ეფექტური თბოსაიზოლაციო
კონსტრუქციული კომპოზიტური მასალაა (სურ. 1.18). მიიღება ძირითადად პო-
ლისტირენის ორგანული ფისის და დანამატების (კატალიზატორი, შემვსები) ნა-
რევის ცხელ მდგომარეობაში აქაფებით. იშვიათად გამოიყენება სხვა ორგანული
ფისები ფენოლფორმალდეჰიდის, პოლივინილქლორიდის, პოლიურეთანისა და
კაჟის სახით. მასალა შეიცავს 98% ჰაერსა და 2% ხისტ ქაფს.

დამზადება მიმდინარეობს ჩვეულებრივი ატმოსფერული წნევის პირობებში
პოლისტირენის გრანულების დამუშავებით ცხელ ორთქლში. პროცესს იმეორებენ
რამდენჯერმე, რის შედეგად მნიშვნელოვნად მცირდება მასალის სიმკვრივის
მახასიათებლები და, შესაბამისად, მისი წონა. მომზადებულ მასას აშრობენ სპე-
ციალურ კამერებში და სასურველი კომპაქტური ფორმის ნაკეთობას დებულობენ
დაწნევის მეთოდით.

ქაფპლასტი დაბალი სიმტკიცის, მაგრამ მაღალი თბო და ბერასაიზოლაციო
თვისებების მქონე ძალზე იაფი მასალაა. სიმკვრივე – 30-100 კგ/მ³. შეიძლება იყოს
წვადი, ძნელად წვადი და თვითჩაქრობადი. ეფექტურად გამოიყენება ბლოკების
(სურ. 1.19), სამფენოვანი გადახურვის ფილებისა და საკედლე პანელების დასამ-
ზადებლად. სრულად ინარჩუნებს სიმტკიცის მაჩვენებლებს –60°C ტემპერატურა-
ზეც კი.



სურ. 1.18. ქაფპლასტი



სურ. 1.19. ქაფპლასტის ბლოკები

ყველა საშენ მასალასთან შედარებით ქაფპლასტის უპირობო უპირატესობაა უნიკალური თბოსაიზოლაციო თვისებები, რაც აიხსნება იმით, რომ მასალა წარმოადგენს ჰაერის უჯრედების ჩაკეტილ ჯაჭვს, რომელიც ამცირებს თბოცვლას და შესაბამისად ხელს უშლის სათავსში სიცივის შეღწევას. ამავე დროს შენობის ბერაიზოლაციისათვის საკმარისია გარე კედლებს გაუკეთდეს 2-3 სმ სისქის ქაფპლასტის შრე.

მიუხედავად ფოროვანი სტრუქტურისა, ქაფპლასტს ახასიათებს დაბალი ჰიგროსკოპულობა (წყალშთანთქმა); ფილა ინარჩუნებს ფიზიკურ თვისებებს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, არ დეფორმირდება, არ ირღვევა და უძლებს საკმაოდ დიდ დაწნევას. ამის ნათელი დადასტურებაა აეროდრომების ასაფრენდასაჯდომი ზოლები, სადაც ქაფპლასტის გამოყენება ჩვეულებრივი მოვლენა გახდა. კომპოზიტი მდგრადია ქიმიურად აგრესიული გარემოს მიმართ (მარილხსნარები, ტუტეები, მარილმჟავა, კირი, ზღვის წყალი, ცემენტი, ბიტუმი, სილიკონი), თუმცა ზოგიერთი ნივთიერების (ცხოველური და მცენარეული ზეთები, ბენზინი, დიზელის საწვავი) ხანგრძლივი მოქმედება იწვევს ქაფპლასტის კოროზიასა და დაშლას. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ საშენ მასალად ქაფპლასტის გამოყენებისას იგი უნდა მოვარიდოთ ორგანულ გამხსნელებს (სკიპიდარი, ძმარეთილის ეთერი, აცეტონი), გაჯერებულ ნახშირწყალბადებს (სპირტები) და ნავთობის გადამუშავების პროდუქტებს (ბენზინი, ნავთი, მაზუთი, სოლიარი).

ქაფპლასტის ნაკეთობანი მსუბუქია, ადვილად მუშავდება ჩვეულებრივი ინსტრუმენტებით, მონტაჟდება ხელით, ეკოლოგიურად სუფთაა, თვითჩაქრობადია და მიეკუთვნება შედარებით ცეცხლმედეგი მასალების ჯგუფს.

რუსეთის ფედერაციაში გავრცელებული ქაფპლასტის მარკებია: ППТ-10, ППТ-15, ППТ-20А, ППТ-25, ППТ-35.

1.3.10. პოლიურეთანი

პოლიურეთანი კომპოზიტური სინთეზური ჰეტეროჯაჭვური პოლიმერია, რომელიც მიეკუთვნება სინთეზურ ელასტომერებს. მიიღო 1937 წელს გერმანელმა ქი-

მიკოს-ტექნოლოგმა ოტტო ვილგელმმა. წარმოადგენს პოლიიზოციანატების (პოლიამინების ფოსგენირების პროდუქტი, რომელიც წარმოიქმნება ანილინის კონდენსაციით ფორმალდეჰიდთან მჟავა კატალიზატორის მონაწილეობით) ნაერთს ჰიდროქსილის ჯგუფის რთულ ან მარტივ პოლიესტერებთან.

პოლიურეთანის შედგენილობაში, იზოციანატისა და პოლიესტერის (პოლიოლის) გარდა, შედის კატალიზატორი, ამაქაფებელი და სტაბილიზატორი. მათი შერევით თხევად მდგომარეობაში მიიღება ელასტიკური პოლიურეთანი. დანამატების რაოდენობის მიხედვით, მასალა შეიძლება იყოს შემდეგ მდგომარეობაში: ბლანტ-თხევადი, ამორფული, მყარი, მალაელელასტიკური, დაბალელასტიკური, რბილი რეზინი და მყარი კრისტალური პლასტიკის სახით, ნახევრადგამჭვირვალე მოყვითალო ელფერით (სურ. 1.20) ან შეღებილი სხვადასხვა ფერად (სურ. 1.21). მისი მექანიკური მახასიათებლები იცვლება რბილი რეზინიდან ხისტი პლასტიკის თვისებებამდე. მიეკუთვნება კონსტრუქციულ მასალებს.



სურ. 1.20.
პოლიურეთანი

პოლიურეთანულ პროდუქტებს ხშირად უწოდებენ "ურეთანს", თუმცა არ უნდა ავურიოთ ეთილკარბამატებთან, რომელსაც დასავლეთში ასევე უწოდებენ "ურეთანს".



სურ. 1.21. ფერადი პოლიურეთანი

პოლიურეთანული ნაკეთობის საწყისი ფორმა არ იცვლება თბური ზემოქმედებისას, რჩება უცვლელი ჰიდრაზლიკურ მოწყობილობებში გამოყენებულ ტექნიკურ ზეთებთან და სითხეებთან კონტაქტისას.

გამოიყენება ხისტი ქაფსაიზოლაციო პანელების, მანქანათა ნაწილებისა და დეტალების, წებოების, ლაქების, საღებრების, ჰერმეტიკების, იზოლატორების, ბურთულ-საკისრების (სურ. 1.22), დამცავი საფენების, საღებების, შემამჭიდროებლების, მალაელეფექტური ადჰეზივების, სინთეზური ბოჭკოების (მაგ., სპანდექსი), შლანგების (სურ. 1.23), ღეროების, სასპორტო საბურავების, დეკორატიული ქვების ჩამოსასხამი ფორმების, ფენსაცმლის ლანჩებისა (სურ. 1.24) და სხვ. დასამზადებლად. აღსანიშნავია, რომ პოლიურეთანის გამოყენება შეზღუდულია დადებითი ტემპერატურული დიაპაზონით (+80°C-მდე), თუმცა მასალა შესანიშნავად მუშაობს დაბალ ტემპერატურაზე (-60°C-მდე), რის გამოც წარმატებით გამოიყენება უკიდურესი ჩრდილოეთის რაიონებში და არქტიკაში. ალიფატური (ნაერთი, რომელიც არ შეიცავს არომატულ კავშირებს)



სურ. 1.22. პოლიურეთანის ბურთულ-საკისარი

პოლიურეთანი მდგრადია ულტრაიისფერი გამოსხივებისადმი, რაც საშუალებას იძლევა გამოყენებული იყოს კოსმოსურ ტექნიკაშიც.



სურ. 1.23. პოლიურეთანის მლანგები



სურ. 1.24. სპორტული ფეხსაცმლის პოლიურეთანული ლანჩა

პოლიურეთანის ფიზიკური თვისებები დამოკიდებულია გადამამუშავების ტექნოლოგიურ პირობებზე. სინთეტიკის თითოეული სახეობა მიიღება ექსტრუზიის, დაწნევის, ჩამოსხმის ან ჩასხმის მეთოდით. წარმოების ასეთი მრავალფეროვნება, უამრავ დადებით თვისებასთან ერთად, გახდა მიზეზი იმისა, რომ პოლიურეთანმა თადათან შეავიწროვა მსოფლიო ბაზარზე ისეთი მასალები, როგორცაა პოლიეთილენი, პოლივინილქლორიდი და პოლისტირენი.

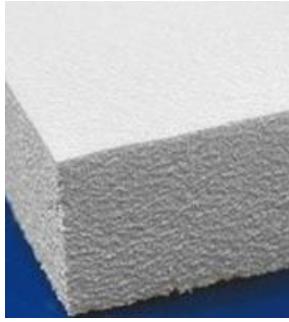
1.3.11. პოლისტირენი

პოლისტირენი სინთეზური არომატული პოლიმერია, რომელიც წარმოადგენს სტირენის (ვინილბენზოლის) პოლიმერიზაციის პროდუქტს. იგი მაგარი, მყიფე, გამჭვირვალე თერმოპლასტიკური პლასტმასაა მასალაა ფერების ფართო gamით. შეიძლება იყოს მაგარ ან აფუებულ მდგომარეობაში (სურ. 1.25); ბლანტი, საშუალო ან მაღალი დარტყმითი სიმტკიცის (ქიმიური ფორმულა – $(C_8 \cdot H_8)_n$; სიმკვრივე – 960-1040 კგ/მ³; დნობის ტემპერატურა – დაახლოებით 240°C. თერმულად მდგრადია 105°C ტემპერატურამდე. გრანულებისგან ამზადებენ თბოსაიზოლაციო ფილებს (სურ. 1.26), ექსტრუზიის მეთოდით – უჯრედოვან ქაფპოლისტირენს.

გამოყენების სფეროა: თბოსაიზოლაციო (სურ. 1.27; სურ. 1.28), მოსაპირკეთებელი (სურ. 1.29), დეკორატიული, საფილტრავი მასალები, სენდვიჩ-პანელები, ყალიბები, საყოფაცხოვრებო ნივთები (ჭურჭელი, შესაფუთი მასალები, ბავშვის სათამაშოები და სხვ.), მედიცინა, ელექტროტექნიკა (დიელექტრული ანტენები, კოაქსიალური კაბელები, კონდენსატორები, ელექტროხელსაწყოების კორპუსები), სამხედრო საქმე (ნაპალმის წარმოება), შესაფუთი მასალა, ქაფპლასტების წარმოება და ა. შ.



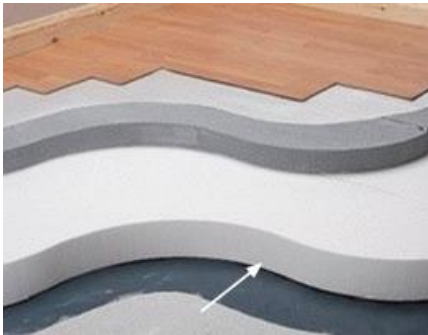
სურ. 1.25. აფუებული პოლისტირენი



სურ. 1.26. პოლისტირენის ფილა



სურ. 1.27. პოლისტირენის თბოიზოლაცია



სურ. 1.28. იატაკის თბოსაიზოლაციო ფენა



სურ. 1.29. ფურცლოვანი პოლისტირენი

პოლისტირენი იხსნება კეტონებში (კარბონილის ჯგუფის ნაერთი. მაგ., აცეტონი), არომატულ ნახშირწყალბადებში, ალდეჰიდებსა და ეთერებში, არ იხსნება სპირტებში, ძლიერ მედეგია მჟავების, ტუტეებისა და წყლის მიმართ, ადვილად იღებება, წებდება, მუშავდება მექანიკური მეთოდებით, გამოირჩევა წყალ და ცინკამედეგობით, თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ პოლისტირენი წვადი მასალაა და ხანძრის პირობებში გამოყოფს ადამიანის ჯანმრთელობისათვის მავნე ნივთიერებებს.

მსოფლიოში გავრცელებულია პოლისტირენის შემდეგი აბრევიატურები: PS – polystyrene (პოლისტირენი), GPPS – general purpose polystyrene (საერთო დანიშნულების პოლისტირენი, არადარტყმამედეგი); MIPS – medium-impact polystyrene (საშუალო დარტყმამედეგი); HIPS – high-impact polystyrene (დარტყმამედეგი პოლისტირენი); EPS – expanded polystyrene (აფუებადი პოლისტირენი).

უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოსა და ყოფილ საბჭოთა კავშირის ქვეყნებში პოლისტირენის სახელწოდებად მიღებულია „პოლისტიროლი“. მიგვაჩინია, რომ რუსულ პოლიტიკურ სივრცეში გავრცელებული ეს ტერმინი არ შესაბამება მის პირველსაწყის დასახელებას.

1.3.12. პოლიკარბონატი

თერმოპლასტიკური პლასტმასა, რომელიც მიიღება ფენოლისა და აცეტონის კონდენსატის ბისფენოლ A-სთან სინთეზით. მიღებულია 1953 წელს გერმანელი გერმან შნელისა და ამერიკელი დენიელ ფოკსის მიერ (ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად), ხოლო მისი სამრეწველო წარმოება უჯრედოვანი გამჭვირვალე ფურცლოვანი პოლიკარბონატის სახით 1976 წელს დაიწყო ისრაელში (სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების სათბურების გადასახურად).

მაღალი სიმტკიცისა და დარტყმითი სიბლანტის გამო პოლიკარბონატს იყენებენ მრეწველობის სხვადასხვა დარგში კონსტრუქციულ მასალად; ხშირად მისი მექანიკური თვისებების გასაუმჯობესებლად ამატებენ მინაბოჭკოს; ფურცლოვან-ფოროვანი ხისტი კომპოზიტური პოლიკარბონატი ფართოდ გამოიყენება მშენებლობაში შუქგამტარი მასალის სახით (სურ. 1.30, 1.31, 1.32, 1.33). გამოიყენება, აგრეთვე, ლინზების, სათვალეების, კომპაქტ-დისკების, შუქფანრების, კომპიუტერების, შუქტექნიკური ნაკეთობების და სხვ. დასამზადებლად.



სურ. 1.30. ფერადი უჯრედოვანი პოლიკარბონატი



სურ. 1.31. შუქგამტარი უჯრედოვანი პოლიკარბონატი



სურ. 1.32. გადახურვა გამჭვირვალე ფურცლოვანი პოლიკარბონატით



სურ. 1.33. გადახურვა უჯრედოვანი პოლიკარბონატის ფურცლებით

1.3.13. პოლივინილქლორიდი

თეთრი ფერის თერმოპლასტიკური სინთეზური პლასტიკი, რომელიც მიიღება ვინილქლორიდის სუსპენზიური ან ემულსიური პოლიმერიზაციით [ქიმიური ფორმულა $(C_2H_3CL)_n$]; სიმკვრივე – 1350-1430 კგ/მ³; დარბილების ტემპერატურა – 75-80°C; დნობის ტემპერატურა – 150-220°C; სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე – 40-50 მპა, ღუნვაზე – 80-120 მპა). მედეგია წყლის, მჟავების, ტუტეების, გახსნილი მარილების, ბენზინის, ნავთის, ქონის, სპირტების მიმართ. არის კარგი დიელექტრიკული მასალა.

იწარმოება ნავთობის პროდუქტ ეთილენისა (57%) და ქლორისგან (43%), რომელთა შერევით მიიღება ორქლორიანი ეთილენი, მისგან კი – პოლივინილქლორიდის (პვქ) საწარმოებელი ბაზური ელემენტი – ვინილქლორიდის მონომერი. შემდეგ ეტაპზე ნივთიერებისათვის სხვადასხვა თვისებების მისაცემად აძლევენ დანამატებს.

მრეწველობაში პვქ-ს პოლიმერიზაციისათვის გამოიყენება სუსპენზიის, ბლოკური (პოლიმერიზაცია მასაში) და ემულსიის მეთოდები, ხოლო ნაკეთობების მასობრივი წარმოებისათვის – ვალცვის, ექსტრუზიისა და დაწნეხის მეთოდები.

პოლივინილქლორიდი არსებობს ორი სახის: პლასტიფიცირებული და არაპლასტიფიცირებული. გარეგნულად წარმოადგენს თეთრი ფერის ფხვნილს გემოსა და სუნის გარეშე. არ იხსნება წყალში, მდგრადია მჟავების, ტუტეების, სპირტების, მინერალური ზეთების მიმართ, იჯირჯვება და იხსნება კეტონებში, ეთერებში, ქლორირებულ და არომატულ ნახშირწყალბადებში, არ იჟანგება და პრაქტიკულად უწვადი მასალაა. ხანგრძლივი ექსპლუატაციის მაქსიმალური ტემპერატურაა 60°C, ხოლო მინიმალური – -60°C. აქვს მაღალი სიმტკიცე და სიხისტე.

ამჟამად პვქ-ს ძირითადად იყენებენ წყლის, გაზისა და საკანალიზაციო მილების (სურ. 1.34), კარ-ფანჯრების (სურ. 1.35), ვიტრინების, ვიტრაჟების, შუკიდებული ქერების, ფურცლების, პიროტექნიკის, ხელთათმანების, მაცივრის კარის მამჭიდროების, ლინოლეუმის, ხელოვნური ტყავის, პვქ-ს ბოჭკოს, სამზარეულოს ჭურჭლის (სურ. 1.36), საყოფაცხოვრებო ნივთების (სურ. 1.37), სკეიბორდის ბორბლებისა და გორგოლაჭების გარსაცმის დასამზადებლად, მავთულებისა და კაბელების ელექტროსაიზოლაციოდ, ავეჯის წარმოებაში და სხვ.

ძირითადი პრობლემა, რომელიც დაკავშირებულია პოლივინილქლორიდის გამოყენებასთან, უტილიზაციაა – დაწვისას გამოიყოფა მაღალტოქსიკური ორგანული ქლორის შენაერთი (დიოქსინი), რომელიც ადამიანის ჯანმრთელობისათვის საზიანოა. პოლივინილქლორიდის სინონიმებია: პვქ, პოლიქლორვინილი, ვინილი, ვესტოლიტი, ხოსტალიტი, ვინოლი, კორვიკი, სიკრონი, დჟეონი, ნიპეონი, სუმილიტი, ლუკოვილი, ხელვიკი, ნორვიკი.



სურ. 1.34. პოლივინილქლორიდის საკანალიზაციო მილი



სურ. 1.35. პოლივინილქლორიდის ფანჯრები



სურ. 1.36. პოლივინილქლორიდის ჭურჭელი



სურ. 1.36. პოლივინილქლორიდის სააბაზანო ფარდა

1.4. ბაზალტპლასტიკი

ბაზალტპლასტიკი ინოვაციური კომპოზიტური მასალაა, რომელიც შედგება მინისებრი შემავსებლისა (ბაზალტის) და პოლიმერული სინთეზური შემკვრელისაგან (მატრიცა). ბაზალტი მასალაში წარმოდგენილია ბოჭკოს, ძაფის, ქსოვილის, ღეროს, ჩალიჩის სახით, ხოლო შემკვრელი – სინთეზური ფისია, რომელიც უზრუნველყოფს მასალის ყველა კომპონენტის ერთობლივ მუშაობას, შემავსებლის დაცვას მექანიკური დაზიანებებისგან, მაღალ სიმტკიცეს ძვრაზე და მედეგობას კოროზიისა და ქიმიურად აგრესიული ნივთიერებების მიმართ.

თანამედროვე კომპოზიტური კონსტრუქციული მასალების წარმოებაში ძირითადად გამოიყენება მინის, ორგანული და ნახშირბადის ბოჭკოები. თითოეულ მათგანს თავისი დადებითი და უარყოფითი თვისებები გააჩნია. მაგალითად, ორგანული ბოჭკო ნაკეთობას აძლევს მასიმალურ სიმტკიცეს, ნახშირბადის – სიხისტეს. ფასის მიხედვითაც განსხვავება საკმაოდ დიდია.

კომპოზიტური მასალისგან დამზადებული სამშენებლო კონსტრუქციის სიმტკიცეს განსაზღვრავს არა მარტო მასალა, არამედ დამზადების ტექნოლოგიური პროცესიც: დაწნევა, გადახვევა, ფომირება, პულტრუზია და სხვ. (იხ. თავი 5).

ამჟამად შეინიშნება სამშენებლო კონსტრუქციების მომხმარებელი ფირმების ამადლებული ინტერესი არა მარტო მინის, არამედ ბაზალტის ბოჭკოების საფუძველზე დამზადებული კომპოზიტური მასალების მიმართ, რაზეც მეტყველებს ბოლო 20 წლის განმავლობაში პლასტიკური არმატურის წარმოებაზე მიღებული სტანდარტები და რეკომენდაციები: CAN/CSA-S6-06 (1996); CAN/CSA-S806-02 (კანადა); 440.1R-06; 440.2R-08; 440.3R-04 (აშშ); Recommendations for design and construction of concrete structures using continuous fiber reinforcing materials, Research Committee on Continuous Fiber Reinforcing Materials, Tokyo, 1997 (იაპონია); CNR-DT 203/2006 (იტალიის რესპუბლიკა); FIP Task Group 9.3 (ევროპა); JG/T 406-2013; JT/T 776.4-2010 (ჩინეთის სახალხო რესპუბლიკა); ДСТУ-Н Б В.2.6-XXXX:2011 (დამოუკიდებელ სახელმწიფოთა თანამეგობრობა, დსთ).

ბაზალტისადმი ინტერესს განაპირობებს ორი ძირითადი მიზეზი. პირველი – სიმტკიცის, სიხისტის, მედეგობით ტემპერატურის ცვლილებებისა და აგრესიული გარემოს მიმართ, ბაზალტპლასტიკის მახასიათებლები აჭარბებს მინაპლასტიკისას და მეორე – ფასი. პოსტსაბჭოთა სივრცეში ბაზალტის ბოჭკოს საწარმოები უკვე ფუნქციონირებს რუსეთის ფედერაციაში, უკრაინაში, საქართველოში და მიმდინარეობს მნიშვნელოვანი თეორიული და ექსპერიმენტული სამუშაოები ბაზალტკომპოზიტური მასალების ფასის მისაახლოებლად კონკურენტუნარიან დონესთან.

1.4.1. საერთო ცნობები ბაზალტის შესახებ

ბაზალტი (ლათ. basaltēs, basanites < ბერძ. basanos სასინჯი ქვა, რკინისშემსურ. 1.36. **პოლივინილქლორიდის** ცველი ქვა) ფართოდ გავრცელებული კაინოტიპური (სადი), ბოჭკოვანი სტრუქტურის, შავი (მონაცისფრო, მომწვანო) ფერის ფუძველკანური ქანია. ძირითადი კომპონენტია სილიციუმის დიოქსიდი – SiO_2 . დნობის ტემპერატურა – 1150-1350°C; სიმკვრივე 2,6-3,1 გ/სმ³; ფორიანობა – 0,5-1,5%; წყალმთანთქმა – 0,2-0,4% წონის მიხედვით, 0,5-1,1 მოცულობის მიხედვით; სიმტკიცე კუმშვაზე – 264-320 მპა (მშრალი ბაზალტის), 250 მპა (სველი ბაზალტის), 180-270 მპა მდნარი ბაზალტის; დროებითი წინაღობა გაგლეჯაზე მდნარი ბაზალტის – 45-52 მპა. მედეგია მჟავების და ტუტეების მიმართ. ჩვეულებრივ ბაზალტში ამა თუ იმ რაოდენობით გვხვდება ვულკანური მინა. ბაზალტის მინით მდიდარ სახესხვაობას **ჰიალობაზალტი** ეწოდება, ხოლო სრულკრისტალურს და რამდენადმე მსხვილმარცვლოვანს – **დოლერიტი**. ბაზალტი ადვილად ლღვება. ლღობილ ბაზალტს იყენებენ მჟავაგამძლე ქიმიური აპარატურის, მიღების, ძლიერი დენის ელექტროიზოლატორების დამზადებისათვის და სხვ. ნორმალური რიგის ბაზალტში ორ ტიპს გამოყოფენ: ოლივიანიანს და უოლივინოს, ანუ ტოლეიტურს. ბაზალტი კარგი საშენი მასალაა (სურ. 1.38). იყენებენ ღორღისა და საცალო (ბორდიურის) ქვის დასამზადებლად, იატაკის ფილებად, საავტომობილო გზების

საფარად, რკინიგზების ბალასტად, სადრენაჟო სამუშაოებში, ასევე ნაგებობათა მოსაპირკეთებლად და მონუმენტების გამოსათლელად; მკვრივია, კარგად იხეხება, რის გამოც მას ძველი დროიდან (ეგვიპტე, ასურეთი, გვიანდელი რომი, ბიზანტია) იყენებდნენ ქანდაკებებისთვის. საქართველოში საშენ ქვად ბაზალტს ძველთაგანვე ხმარობდნენ (ბრინჯაოს ხანის მეგალითური ნაგებობანი). შუა საუკუნეების ქართლში, მესხეთ-ჯავახეთში ძირითადი საშენი ქვა ბაზალტი იყო. ბაზალტითაა აგებული სამშვილდისა და დმანისის ციხესიმაგრეები, მანგლისის ტაძარი, რუისის, წუნდის, აბელიის ეკლესიები, თირის მონასტერი, ნადარბაზევის კომპლექსი და სხვ. მისგან ამზადებდნენ ეკლესიათა და სხვა ნაგებობათა სახურავის ფილებს.



სურ. 1.38. ბაზალტის ქვა

საქართველოში გავრცელებული შედარებით ძველი (იურული, ცარცული, პალეოგენური) მადნები (ბაზალტური პორფირიტები) ცნობილია მთიან აფხაზეთში, სამეგრელოში, ლეჩხუმ-იმერეთსა და აჭარა-გურიაში; ახალგაზრდა ბაზალტი (ზედამესამეულ-მეოთხეული) გვხვდება სამხრეთ საქართველოში ასპინძა-ახალქალაქის, ნინოწმინდა-წალკისა და დმანის-თეთრი წყაროს რაიონებში. ბაზალტისაგან მიიღება საწარმოო ტექნოლოგიური საქსოვი ბოჭკო, უნიკალური ძაფი, რომელიც კარგი კარგი მდგრადობით გამოირჩევა. მისგან შეიძლება დამზადდეს კოროზიამედეგი არმატურა, ნებისმიერი სახის მილი, შიფერი, კრამიტი, მატარებლის ხუნდები, შვერილები და სხვ.

სამუშაოები ბაზალტის ბოჭკოს მისაღებად პირველად დაიწყო აშშ-ში 1923 წელს. მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ გაგრძელდა აშშ-სი, ევროპასა და რუსეთის ფედერაციაში და უკავშირდებოდა სამხედრო და კოსმოსურ მიზნებს. ბაზალტის უწყვეტი ძაფის ინდუსტრიული წარმოება განხორციელდა უკრაინაში 1985 წელს. ამ მიზნით 2000 წელს დაფუძნდა უკრაინულ-იაპონური გაერთიანება. ამჟამად ბაზალტის ბოჭკოს წარმოების კვლევითი პროგრამები მუშაობს აშშ-ში, იაპონიაში, სამხრეთ კორეაში, ჩინეთის სახალხო რესპუბლიკასა და ევროკავშირის მრავალ ქვეყანაში.

სილიციუმის დიოქსიდის შემცველობის მიხედვით არსებობს ბაზალტის სამი ჯგუფი: ძირითადი, ნეიტრალური და მჟავე. ძირითადს მიეკუთვნება ოლივინური მელილტიტი, მელილტიტი, ოლივინური ნეფელინიტი, ნეფელინიტი, ლიმბურგიტი და ავგიტიტი, რომლებიც დნობის პროცესში ხასიათდებიან მინისებრი ფაზის არსებობით. ქიმიური შედგენილობით ამ ჯგუფს მიეკუთვნება ბაზალტის ქანები, რომელთა შემადგენლობაში დიოქსიდის შემცველობა <42%-ზე. აღსანიშნავია, რომ ამ ჯგუფში შედის აგრეთვე პლანეტა მთვარიდან ჩამოტანილი ბაზალტის ქვის ნიმუშები, რომელთა შედგენილობაშია 40-42% SiO₂. ნეიტრალურში შედის

ბაზალტი SiO_2 -ის შემცველობით 43-46%: ბაზანიტი, ლეიციტიტი და ოლივინური ლეიციტიტი. მათ შემცველობაშია ასევე მინდვრის შპატი. მკავე ბაზალტების ჯგუფს მიეკუთვნება ჩვეულებრივი, ოლივინური ბაზალტები და ტეფრიტები (>56% SiO_2).

ბაზალტის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრ. 1.1-ში.

ცხრილი 1.1

ბაზალტის ქიმიური შედგენილობა

№	ბაზალტში შემავალი ქანგულები	შემცველობა, %
1	SiO_2	48-52
2	TiO_2	0,2-2,0
3	Al_2O_3	14-18
4	Fe_2O_3	7-11
5	FeO	6-10
6	MnO	>0,2
7	MgO	3,5-8,5
8	CaO	8-11
9	Na_2O	2,5-6
10	K_2O	2,5-6
11	P_2O_5	0,2-0,5

1.4.2. ბაზალტკომპოზიციური არმატურა

ბაზალტკომპოზიციური არმატურა სამშენებლო კომპოზიციური არმატურის ერთ-ერთი სახეობაა, რომელიც დამზადებულია ბაზალტის ბოჭკოსა და პოლიეთერის (ან ეპოქსიდის) ფისის საფუძველზე. ბეტონთან კარგი შეჭიდულობის მიზნით ზედაპირზე უკეთდება სპირალური ხვეულები დაპროფილებული ფოლადის არმატურის მსგავსად ან ზედაპირი იფარება ქვიშის მარცვლებით (სურ. 1.39). ნაკეთობა არ ძველდება, არ იჟანგება, არ ირღვევა ბეტონთან კონტაქტისას, აქვს მაღალი მედეგობა აგრესიული გარემოს მიმართ. ფასის მიხედვით ეკონომიკურია ფოლადის არმატურასთან შედარებით. აგრეთვე ფოლადის არმატურას აღემატება საექსპლუატაციო ხანგრძლივობით. იტანს 2,5-ჯერ მეტ დატვირთვას გა-გლეჯაზე. ფიზი-



სურ. 1.39. ბაზალტკომპოზიციური არმატურა

კურ-მექანიკური მახასიათებლებით ანალოგიურია მინაკომპოზიტური არმატურის. უარყოფითი თვისებებიდან აღსანიშნავია სიმყიფე (ახასიათებს მსხვრევა-დობა), დაბალი დრეკადობა, არ იღუნება, რის გამოც განივი არმატურის ცალულები საჭიროა დამზადდეს საწარმოში წინასწარ განსაზღვრული ზომებით და სხვ.

ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები:

- სიმკვრივე – 2000 კგ/მ³;
- სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე – 1200 მპა;
- დრეკადობის მოდული – 50000-55000 მპა;
- თბოგამტარობის კოეფიციენტი – 0,46 ვტ/(მ·°C);
- თბომედგობა – <300°C;
- ფარდობითი წაგრძელება – 2,5%;
- გეომეტრიული ზომები: დიამეტრი – 4-28 მმ, სიგრძე – <12 მ.

გამოყენების სფერო:

- საძირკვლების დაარმირება;
- საინჟინრო ქსელები – კოლექტორები, წყალსარინები, წყალდამლექი და სხვ.;
- ნაპირგამაგრება – ნავმისადგომი, საპორტო ნაგებობები, შენობები სანაპირო ზონაში;
- საგზაო საფრის, ხიდებისა და აეროპორტის მოედნების დატვირთული უბნების დაარმირება;
- ბეტონის ნაკეთობების დამზადება – საგზაო და გადახურვის ფილები, დიდი მოცულობის ტევადობები; ბლოკები;
- გარე გაძლიერება, აჭდგენა-რეკონსტრუქცია, რემონტი.

ბაზალტკომპოზიტური არმატურა საშუალებას იძლევა შემცირდეს ობიექტის კაპიტალური დაბანდება, რადგან ბაზალტის არმატურის ფასი 20-30%-ით ნაკლებია ფოლადის არმატურის მიმართ, სიმსუბუქე ამცირებს ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის ხარჯებს, შედულების სამუშაოების არქონა ასევე ამცირებს ენერგოტევადობას და სხვ.

არსებული სტანდარტებისა და ლიტერატურული მონაცემები გვაჩვენებს, რომ ბაზალტკომპოზიტური არმატურის გამოყენება ბეტონის კონსტრუქციებში შესაძლებელია, ჩატარებული თეორიული და პრაქტიკული კვლევები იმედისმომცემია და სულ მალე კომპოზიტური არმატურებიც გარკვეულ სეგმენტს დაიკავებენ დაარმირებული სამშენებლო კონსტრუქციების სივრცეში. მით უმეტეს, რომ აშშ-ში National Cooperative Highway Research Program-ის (NCHRP) დაფინანსებით, ფირმა Transportation research Board-ის დასკვნის საფუძველზე, შესაძლებელია რკინაბეტონის კოჭების დამზადება ბაზალტკომპოზიტური არმატურით იმ პირობით, რომ გაიზარდოს არმატურასა და ბეტონს შორის შეჭიდულობა, რაც გაზრდის კოჭის მზიდუნარიანობას.

საინტერესოა ქართული წარმოების ბაზალტკომპოზიციური არმატურის ქიმიური შედგენილობის მაჩვენებლები (ცხრ. 1.2), რომელიც მოგვანოდა ფირმამ „ბაზალტ ფაიბერი“ (საქართველო, ქ. რუსთავი).

ცხრილი 1.2

ქართული ბაზალტკომპოზიციური არმატურის
ქიმიური შედგენილობა

№	ბაზალტში შემავალი ქანგულები	შემცველობა, %
1	SiO ₂	58,7
2	TiO ₂	1,16
3	Al ₂ O ₃	17,2
4	Fe ₂ O ₃	10,3
5	Cr ₂ O ₃	1,16
6	MnO	0,16
7	MgO	3,82
8	CaO	8,04
9	Na ₂ O	3,34
10	K ₂ O	0,82
11	P ₂ O ₅	0,28

თავი 2. კომპოზიტური მატრიცული მასალები

2.1. მატრიცული მასალებისადმი წაყენებული მოთხოვნები

მატრიცული მასალის სიმტკიცის მახასიათებლები განმსაზღვრელია ძვრის დეფორმაციების დროს, როდესაც კომპოზიტური ელემენტის დატვირთვის მიმართულება არ ემთხვევა ბოჭკოების განლაგების მიმართულებას, აგრეთვე ციკლური დატვირთვების მოქმედებისას. მატრიცის ბუნება არეგულირებს კომპოზიტის სამუშაო ტემპერატურის დონეს, ატმოსფერული და სხვა ფაქტორების ზემოქმედებისას – თვისებების ცვლილების ხასიათს და სხვ. ტემპერატურის მატებისას მატრიცული მასალების სიმტკიცის, დრეკადობისა და მდგრადობის მახასიათებლები, აგრეთვე ადჰეზია ბოჭკოებთან, მცირდება. გარკვეული ტემპერატურული ზღვრის მიღწევისას იზრდება პლასტიკური დეფორმაციები, უარესდება კომპოზიტის მზიდუნარიანობა, განსაკუთრებით კუმშვისა და ძვრის დეფორმაციების პირობებში. მატრიცის შედგენილობაზეა დამოკიდებული მასალის მდგრადობა გარემოს მიმართ, ქიმიური მედეგობა, ნაწილობრივ, – თბოფიზიკური, ელექტრული და სხვა თვისებები. მატრიცა უზრუნველყოფს კომპოზიტის მონოლითურობას, აფიქსირებს კონსტრუქციის ფორმას, მაარმირებელი ბოჭკოების ურთიერთგანლაგებას, ძაბვების გადანაწილებას მოცულობაში, დატვირთვების თანაბარ განაწილებას ბოჭკოებზე, ხოლო რღვევის დროს – გადანაწილებას ბოჭკოების ნაწილზე, განსაზღვრავს ნაკეთობის გაბარიტებისა და ზომების შესაძლებლობას, ტექნოლოგიური პროცესების პარამეტრებს და ა. შ.

კომპოზიტურ მასალებში მატრიცას წაყენება საექსპლუატაციო და ტექნოლოგიური მოთხოვნები. საექსპლუატაციოს მიეკუთვნება მოთხოვნები, დაკავშირებული მატრიცის მასალის მექანიკურ, ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებთან, რომელიც განაპირობებს კომპოზიტის მუშაუნარიანობას სხვადასხვა საექსპლუატაციო ფაქტორების მოქმედებისას. მატრიცის მექანიკური თვისებები უზრუნველყოფს მაარმირებელი ბოჭკოების ერთობლივ მუშაობას დატვირთვების სხვადასხვა სახისათვის; სიმტკიცის მახასიათებლები გადამწყვეტია ძვრის დეფორმაციის დროს დატვირთვის მოქმედებისას ბოჭკოების მიმართულებისადმი არათახვდენილად, აგრეთვე ციკლური დატვირთვების მოქმედებისას და სხვ.

მატრიცის ტექნოლოგიური მოთხოვნები განისაზღვრება კომპოზიტისა და ნაკეთობის დასამზადებელი პროცესის მიმდინარეობასთან ერთად, ანუ მაარმირებელი ბოჭკოების მატრიცასთან შეერთებისა და ნაკეთობის საბოლოო ფორმის მიღების პროცესებთან ერთად. ტექნოლოგიური პროცესის მიზანია უზრუნველყოს ბოჭკოების თანაბარი განლაგება მატრიცის მოცულობაში, მაქსიმალურად შეუნარჩუნოს ბოჭკოებს სიმტკიცის მახასიათებლები და შექმნას მაქსიმალური შეჭიდულობა ბოჭკო-მატრიცის გაყოფის საზღვარზე. ამის მისაღწევად საჭიროა: გაჟღენთვის პროცესში თხევად მატრიცაში იყოს კარგი პირობები ბოჭკოების გასაპოხად, მოხდეს ფორმირების პროცესში კომპოზიტის ფენების ხარისხიანი შე-

ერთება, ნაკეთობის ფორმარმოქმნის ტექნოლოგიური პროცესის მისაღები ინტენსივობა (მაგ., ტემპერატურა, წნევა და სხვ.), ბოჭკოებისა და მატრიცის შეჭიდულობის მაღალი სიმტკიცის უზრუნველყოფა და სხვ.

ამჟამად, ყველაზე მეტადაა გავრცელებული ბოჭკოვანი კომპოზიტური მასალები ლითონური ან პოლიმერული მატრიცით.

2.2. ლითონური მატრიცები

კომპოზიტებში ლითონური მატრიცით გაერთიანებულია კონსტრუქციული ლითონის მასალებისა და ზოგადად, კომპოზიტების უპირატესობანი სხვა მასალებთან მიმართებით. მისთვის დამახასიათებელია სიმტკიცის, დრეკადობის მოდულის, ბლანტი რღვევის, დარტყმითი სიბლანტის (მასალის თვისება წინააღმდეგობა გაუწიოს მსხვრევას დარტყმითი დატვირთვის დროს) მაღალი მნიშვნელობები; ინარჩუნებენ მახასიათებლების სტაბილურობას მაღალი ტემპერატურის პირობებში; აქვთ მაღალი თბო- და ელექტროგამტარობა, მცირე მგრნობიარობა თბურ დარტყმებზე და ზედაპირული დეფექტების მიმართ; მაღალი დროებითი წინაღობა გაჭიმვაზე მარმირებელი ბოჭკოების ნორმალის გასწვრივ, რაც საშუალებას იძლევა წარმატებით გამოვიყენოთ დაარმირების მარტივი ერთდერდა სქემა (ჯვარედინად, ორთოგონალურად დაარმირების რთული სქემის ნაცვლად) და სხვ.

ლითონური მატრიცები გამოირჩევა მაღალი რეაქციული უნარით თხევადფაზური მდგომარეობისას და მაღალი წინაღობით დეფორმაციებისადმი მყარფაზური მდგომარეობისას, ამიტომ ასეთ კომპოზიტებში კომპონენტების ფიზიკური და ქიმიური შეთავსების საკითხი საკმაოდ სერიოზულია და მისი გადაწყვეტა მოითხოვს ამ პროცესების კომპლექსურ შესწავლასა და ღრმა სამეცნიერო და პრაქტიკულ კვლევებს.

კონსტრუქციული კომპოზიტებისთვის უპირატესია მყარფაზური პროცესები, როცა მატრიცა იმყოფება მაღალი პლასტიკურობის მდგომარეობაში და რეაქციული უნარი შეზღუდული აქვს. ასეთ კომპოზიტების მატრიცის კომპონენტებად ძირითადად გამოიყენება ალუმინი, ტიტანი, შენადნობები მათ საფუძველზე და აგრეთვე, მაგნიუმის შენადნობები.

ქიმიური ელემენტი **ალუმინი** მოვერცხლისფრო-თეთრი, მსუბუქი, ქიმიურად აქტიური ლითონია. სიმბოლო – Al; ატომური ნომერი – 13; სიმკვრივე – 2700 კგ/მ³; დნობის ტემპერატურა – 660,32°C; დუღილის ტემპერატურა – 2470°C. გამოირჩევა პლასტიკურობით, ჭედადობით, მაღალი ელექტრო და თბოგამტარობით, ადვილად იჟანგება და იფარება Al₂O₃ -ის მკვრივი აფსკით, რაც განაპირობებს მის კოროზიამდეგობას. ალუმინის მტვერი (ფხვნილი) ფეთქებადსაშიშია, მტვრის ფეთქებადობის ქვედა ზღვარია 40-50 მგ/ლ. ალუმინის მიღების თანამედროვე მეთოდი

შემუშავებულ იქნა ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად 1886 წელს ამერიკელი ჩარლზ მარტინ ჰოლისა და ფრანგი პოლ ლუი ტუსენ ერუს მიერ. ალუმინი ქმნის შენადნობს ლითონებთან, რომელთაგან ყველაზე ცნობილი შენადნობებია: მაგნიუმთან და სპილენძთან (**დურალუმინი**) და სილიციუმთან (**სილუმინი**). ბუნებაში გავრცელების მიხედვით პირველი ადგილი უჭირავს ლითონებს შორის და მე-3 ადგილი ელემენტებს შორის. ალუმინის შემცველობა დედამიწის ქერქში შეადგენს მისი მასის 7,45-8,14%-ს. ძირითადად გვხვდება სხვა ელემენტებთან ნაერთების სახით, როგორებიცაა: ბოქსიტი, ალუმინიტი, ნეფელინი, თიხამიწა, კორუნდი, მინდვრის შპატი, კაოლინიტი, ბერილი, ქრიზობერილი და სხვ. ალუმინი ადვილად რეაგირებს მარტივ ნივთიერებებთან – ჟანგბადთან, აზოტთან, ჰალოგენებთან, გოგირდთან, ნახშირბადთან; აგრეთვე რთულ ნივთიერებებთან – წყალთან, ტუტეებთან, მჟავებთან და სხვ. 1825 წელს დანიელმა ფიზიკოსმა ჰანს ქრისტიან ერსტედმა თიხამიწიდან მიიღო რამდენიმე მილიგრამი ალუმინი, ხოლო 1827 წ. ფრიდრიხ ვიოლერმა შეძლო ალუმინის ნაწილაკების გამოყოფა, რომლებიც ჰაერზე სწრაფად იფარებოდა ალუმინის ჟანგის თხელი აპკით; 1854 წ. ფრანგმა ფიზიკოსმა და ქიმიკოსმა ენრი ეტიენ სენტ-კლერ დევილიმ გამოიგონა ალუმინის სამრეწველო წარმოების პირველი ხერხი.

ალუმინი გამოიყენება სხვადასხვა მალეგირებულ დანამატად ფოლადის წარმოებაში, მშენებლობაში, ქიმიური აპარატურისა და ტარის, ელექტროგამტარების, კონდენსატორების დასამზადებლად, ლითონების მისაღებად ელექტროთერმული მეთოდით და ალუმინოთერმიაში ლითონების შესაღებლად, სარაკეტო საწვავად სარაკეტო ტექნიკაში, საყოფაცხოვრებო (სამზარეულო ჭურჭელი), მხატვრული და დეკორატიული ნაკეთობების დასამზადებლად, გემების, საავიაციო და საავტომობილო მრეწველობაში, ელექტროტექნიკაში, რადიოტექნიკასა და მეტალურგიაში, კონსტრუქციული კომპოზიტების წარმოებაში, როგორც მატრიცული კომპონენტი და სხვ.

კომპოზიტური მასალების წარმოებაში ძირითადად გამოიყენება ტექნიკური ალუმინი შენადნობების სახით, როგორიცაა: AM₄, AMr₂, AMr₆, AD33, AB, 1201, D20, D16, B95 და სხვ.

ტექნოლოგიური ნიშნების მიხედვით ალუმინის მატრიცები შეიძლება დავყოთ შემდეგ ტიპებად: დეფორმირებადი, სხმული და ფხვნილური. დეფორმირებადს მიეკუთვნება შენადნობები, რომლებიც თერმულად არ არიან განმტკიცებული, მაგ., AM₄, AMr და სხვ. ეს შენადნობები გამოირჩევა პლასტიკურობით, კოროზიამდეგობით, მაგრამ დაბალი სიმტკიცით. მაღალი მექანიკური სიმტკიცე აქვთ თერმულად განმტკიცებულ დურალუმინს (D1, D16 და სხვ.) და AB, AK, B95 ჯგუფის შენადნობებს. ყველაზე მეტად გავრცელებული ალუმინის შენადნობები – სილუმინები, ნაკლებად პლასტიკურია, აქვთ დაბალი დარტყმითი სიბლანტე და მხურვალგამძლეობა.

კომპოზიტების ტიტანურ და მაგნიუმის მატრიცის კომპონენტებს გააჩნიათ რიგი დადებითი თვისებები (მაგ., მაგნიუმის მატრიცები ნაკლებად მკვრივია, ტიტანის – ინარჩუნებენ სიმტკიცეს მაღალი ტემპერატურის პირობებში), მაგრამ ტექნოლოგიურობაში მნიშვნელოვნად ჩამორჩებიან ალუმინის მატრიცებს. მაგნიუმის მატრიცებში გამოიყენება მაგნიუმის შენადნობები: MA2-1, MA5, MA8 და სხვ. ტიტანის მატრიცები, მართალია, კარგად მუშაობენ მაღალი ტემპერატურის პირობებში, მაგრამ მაღალ ტექნოლოგიურ ტემპერატურაზე ინარჩუნებენ დიდ წინაღობას დეფორმაციისადმი, რაც აძნელებს ტიტანის კომპოზიტის დამზადებას (საჭიროებს დეფორმაციის ზეპლასტიკური რეჟიმის გამოყენებას).

ტიტანისა და მისი შენადნობების მატრიცის განსამტკიცებლად გამოიყენება მოლიბდენის, ვოლფრამის, ბერილიუმის, ტანტალის და სხვ. ბოჭკოები. კომპოზიტი მიიღება ნაკეთობის დინამიკური ცხელი დაწნეხვის მეთოდით („სენდვიჩის“ ტიპის) ავტოკლავის ან კონტინერის ვაკუუმურ პირობებში. უძლებს ძალიან მაღალ ტემპერატურას და გამოირჩევა ხანგრძლივი სიმტკიცით. უარყოფითი მხარეა დიდი სიმკვრივე, რაც ამცირებს მასალის ხვედრით სიმტკიცეს.

ბოლო წლებში გაიზარდა ინტერესი კომპოზიტებისა ტიტანის ინტერმეტალიდების ($TiAl$, Ti_3Al) საფუძველზე, რომლებიც გამოირჩევიან დაბალი სიმკვრივითა და მაღალი სიმტკიცით $>600^{\circ}C$ ტემპერატურაზე, აგრეთვე მდგრადობით კოროზიისა და ცოცვადობის მიმართ.

2.3. პოლიმერული მატრიცები

პოლიმერი (ბერძ. polymers მრავალგვარი < poly- ბევრი და -mer ნაწილი) არის მაღალმოლეკულური მასის ქიმიური ნაერთი, რომლის მოლეკულები შედგება განმეორებადი მრავალრიცხოვანი რგოლებისაგან. პოლიმერი შეიძლება იყოს არაორგანული, ორგანული, ამორფული ან კრისტალური ნივთიერებების სახით, შედგენილი „მონომერული ჯაჭვის რგოლებისგან“, რომლებიც დაკავშირებული არიან ქიმიური ან კოორდინაციული ბმებით და ქმნიან გრძელ მაკრომოლეკულას. მონომერული რგოლების რაოდენობა პოლიმერში (პოლიმერიზაციის დონე) უნდა იყოს საკმარისად დიდი (წინააღმდეგ შემთხვევაში ნაერთი წარმოადგენს ოლიგომერს [ბერძ. oligos მცირე, პატარა და meros ნაწილი – დაბალი მოლური მასის პოლიმერი (ჩვეულებრივ არაუმეტეს რამდენიმე ათასეულისა), რომლებშიც ჯერ კიდევ არ დაწყებულია მაკრომოლეკულების მოქნილობასთან დაკავშირებული სპეციფიკური თვისებების გამოვლენა. გადამუშავების პროცესში ოლიგომერებისგან მიიღება მაღალმოლეკულური პოლიმერები]. მოლეკულა რომ პოლიმერს მივაკუთვნოთ, ხშირ შემთხვევაში რგოლების რაოდენობა შეიძლება საკმარისად ჩავთვალოთ, თუკი მორიგი მონომერული რგოლის დამატებისას ნივთიერების მოლეკულური თვისებები არ იცვლება. როგორც წესი, პოლიმერის მოლეკულური მასა რამდენიმე ათასიდან რამდენიმე მილიონამდე აღწევს. შესაბამისად, მაღა-

ლი მოლეკულური მასა იძლევა უნიკალურ ფიზიკურ თვისებებს, როგორცაა სიბლანტე, ბლანტდრეკადობა, მინის წარმოქმნა და მიდრეკილება ნახევრდკრისტალური სტრუქტურების (და არა კრისტალების) შექმნისადმი. მექანიკური სიმტკიცის, ელასტიკურობის, ელექტროსაიზოლაციო და სხვა ძვირფასი თვისებების გამო პოლიმერისგან დამზადებულ ნაწარმს იყენებენ მრეწველობაში, მშენებლობაში, ყოფაცხოვრების მრავალ სფეროში და სხვ. პოლიმერები ნივთიერებებია, რომელთაც ერთნაირი ქიმიური შედგენილობა აქვთ, მაგრამ განსხვავდებიან მოლეკულაში ატომების სხვადასხვა რაოდენობით.

პოლიმერული მატრიცა კომპოზიტურ მასალას ანიჭებს მონოლითურობასა და აუცილებელ ფორმას. აერთიანებს მარმირებელ ბოჭკოებს ერთ მთლიანად და კომპოზიტს აძლევს საშუალებას მიიღოს გაჭიმვის, კუმშვის, ღუნვის, ძვრის დაბრუნება. გარდა ამისა მატრიცა მონაწილეობს კომპოზიტის მზიდუნარიანობის ჩამოყალიბებაში და უზრუნველყოფს ძაღვების გადაცემას ბოჭკოებისათვის. მატრიცის პლასტიკურობის გამო არ ხდება ნაკეთობაში დეფექტების ირგვლივ დაბრუნების კონცენტრაცია (ხდება დაბრუნების გადანაწილება), რაც დადებითად მოქმედებს მზიდუნარიანობაზე. პოლიმერულ მატრიცაზე დამოკიდებული კომპოზიტური მასალის თბო- და ტენმდეგობა, აგრეთვე მედეგობა აგრესიული გარემოს მიმართ, სიმტკიცის, დიელექტრიკული და სხვა თვისებები. ყოველივე ზემოთ ჩამოთვლილის გამო, კომპოზიტში მატრიცას შეარჩევენ ნაკეთობის საექსპლუატაციო პირობების მიხედვით.

საერთოდ, რაოდენობრივად რაც ნაკლებია შემკრავი (იგივე მატრიცა, იგივე ფისი) კომპოზიტში (სრული გაქუნთვის პირობიდან), მით მეტია მზა პროდუქციის სიმტკიცე და ნაკლებია მისი წონა.

პოლიმერულ კომპოზიტებში მატრიცულ მასალებად გამოიყენება თერმორეაქტიული და თერმოპლასტიკური შემკვრელები (პლასტმასები).

თერმორეაქტიული პლასტმასი (რეაქტოპლასტი) პლასტმასის ისეთი სახეობაა, რომელიც პლასტიკურობას იღებს მხოლოდ დამზადების პროცესში და გაცივებისას მყარდება, ხოლო ხელმეორედ გახურებისას ინარჩუნებს სტრუქტურასა და ფორმას თვით დაშლისა და წვის პროცესშიც კი, ანუ ხელმეორედ გახურებისას აღარ გადადის პლასტიკურ მდგომარეობაში. არსებობს მაღალი სიმტკიცის თერმორეაქტიული პლასტმასის შემდეგი ჯგუფები: ფენოპლასტი (ფენოლფორმალდეჰიდური ფისის საფუძველზე), ამინოპლასტი (შარლოვანა და მელამინო-ფორმალდეჰიდური ფისის საფუძველზე), ეპოქსიპლასტი (ეპოქსიდური ფისის საფუძველზე), ეთეროპლასტი (აკრილური ოლიგომერების საფუძველზე), იმიდოპლასტი (ოლიგომიდების საფუძველზე). მსუბუქი თერმორეაქტიული პლასტმასის ყველაზე გავრცელებული მასალებია ქაფფენოპლასტი და ქაფპოლიურეთანი. თერმორეაქტიული პლასტმასის დადებითი თვისებებია: მაღალი სიმტკიცე (50-100 მპა), რომელიც ზოგი ტიპის პლასტმასისთვის აღემატება ფოლადის სიმტკიცეს (1000 მპა); მცირე სიმკვრივე, რომელიც იცვლება 20 კგ/მ³-დან (ქაფპლასტი) 2000 კგ/მ³-

მდე (მინაპლასტიკი); ელექტრომაგნიტური სხივების დაუბრკოლებელი გატარება; ანტიმაგნიტურობა, მაღალი ელექტროიზოლაცია, ქიმიური და ბიომედეგობა, გადამუშავების სიმარტივე, ელემენტისათვის სხვადასხვა ფორმის მიცემის შედარებითი სიადვილე, აფსკებისა და ქსოვილების წარმოება, წებოვანი და შედუღებით შეერთების განხორციელების სიმარტივე და სხვ. ტექნოლოგიური თვისებების რეგულირებისთვის ფართოდ გამოიყენება გამხსნელი, გამამყარებელი და საპოხი მასალები, აგრეთვე პლასტიფიკატორები და ელასტიკურობის მიმნიჭებელი დანამატები. კომპოზიტებში გამოყენებული თერმორეაქტიული შემკვრელი წარმოადგენს ადვილადხსნად პროდუქტებს (ფისებს), რომლებსაც თვისება აქვთ გაცხელებისას გამამყარებლებისა და კატალიზატორების ზემოქმედებით მიიღოს შეუქცევადი ბადისებრი სტრუქტურა. თერმორეაქტიულ პოლიმერულ მატრიცებში ფართოდ გამოიყენება ფენოლფორმალდეჰიდური, პოლიეთერული, სილიციუმ-ორგანული, ეპოქსიდური შემკვრელები (ფისები), აგრეთვე შემკვრელი ციკლური ოლიგომერების საფუძველზე (პოლიიმიდური).

თერმოპლასტიკური პლასტმასი პლასტმასის ისეთი სახეობაა, რომელიც გახურებისას რბილდება, ხოლო გაცივებისას გადადის მყარ მდგომარეობაში. ასეთი პლასტმასა ადვილად ჯირჯვდება და იხსნება სხვადასხვა ორგანულ გამხსნელში. მშენებლობაში გამოყენებული თერმოპლასტიკური პლასტმასის სახეებია: პოლიმეთილმეტაკრილატი (ორგანული მინა, პლექსიგლასი), ვინილპლასტი, პოლისტირენი, პოლიეთილენი, დაბალი და მაღალი სიმკვრივის პოლიეთილენი, ნეილონი, აცეტილცელულოზა, პოლივინილაცეტატი, აცეტალთანაპოლიმერი, პოლიტეტრაფთორეთილენი, აკრილნიტრილბუტადიენსტირენი, პოლივინილფთორიდი, პოლიკარბონატი, ეთილცელულოზა და სხვ. კომპოზიტებში გამოყენებული თერმოპლასტიკური შემკვრელი წარმოადგენს მაღალმოლეკულურ ხაზოვან პოლიმერებს (ბოჭკო, აფსკი, ფხვნილი), რომლებიც გახურებისას ღვება, ხოლო გამყარებისას იბრუნებს თავდაპირველ თვისებებს.

ფენოლფორმალდეჰიდური ფისი წარმოადგენს სინთეზურ ფისს, რომელიც გამყარებულ მდგომარეობაში გამოირჩევა მაღალი ელექტროსაიზოლაციო და მექანიკური თვისებებით. მისი გამყარების პროცესი მიმდინარეობს 160-200°C ტემპერატურის ინტერვალში (წნევა 30-40 მპა და მეტი). შესაბამისად მდგრადია ამ ტემპერატურაზე ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, მაგრამ უარყოფითი აქვს ის, რომ გამყარებისას ახასიათებს დიდი მოცულობითი შეკლება (15-25%), რაც დაკავშირებულია დიდი რაოდენობით აქროლადი ნივთიერებების გამოყოფასთან. ნაკლები ფორიანობის მასალის მისაღებად აუცილებელი ხდება ფორმაწარმოქმნა მაღალი წნევის ქვეშ. გარდა აღნიშნულისა, ფენოლფორმალდეჰიდური ფისი მყიფეა, რადგან გამყარების პროცესში მასალაში რჩება მნიშვნელოვანი შიგა ძაბვები.

პოლიეთერული ფისი წარმოადგენს გაჯერებულ რთულ ეთერს, მათ ნარევეს ერთმანეთში ან დაბალმოლეკულურ მონომერებთან. შემკვრელები პოლიეთერუ-

ლი ფისის საფუძველზე მყარდება როგორც ოთახის, ისე მაღალ ტემპერატურაზე. პოლიეთერებს მყარ მდგომარეობაში ახასიათებთ მაღალი მედეგობა წყლის, მინერალური ზეთების, არაორგანული მჟავების, ორგანული გამხსნელების მიმართ; კარგი დიელექტრიკული თვისებები. პოლიეთერული შემკვრელები სხვა მასალებისგან განსხვავებით, გამოირჩევა პოლიმერის დაბალი სიბლანტით, გამყარებით ტემპერატურის ფართო ინტერვალში, სხვა ფისებით მოდიფიცირების სიმარტივით და სხვ. უარყოფითი თვისებებია: მყარ მდგომარეობაში მექანიკური მახასიათებლების დაბალი დონე; მცირე ადჰეზია შემკვრელთან; შემკვრელის დაბალი ცხოველუნარიანობა; დიდი ჯდენადობა გამყარებისას; ტოქსიკური მონომერების (მაგ., სტირენი) არსებობა შედგენილობაში და სხვ.

სილიციუმორგანული ფისები მკვეთრად განსხვავდება სხვა შემკვრელებისგან მუშაუნარიანობით ტემპერატურის ფართო დიაპაზონში (200-350°C), მდგრადობით ორგანული გამხსნელებისა და მინერალური მჟავების მიმართ, მაღალი დიელექტრიკული თვისებებით. უარყოფითი თვისებებია: დაბალი მექანიკური მახასიათებლები 100°C ტემპერატურაზე ქვევით, ფორმაწარმოქმნისას შედარებით მაღალი წნევის საჭიროება, გამყარების დიდი დრო და სხვ.

ეპოქსიდური ფისები ბევრი დადებითი თვისების გამო ყველაზე ფართოდ გამოიყენება კომპოზიტურ კონსტრუქციებში. ეპოქსიდი წარმოადგენს გაჯერებულ სამწევრა ჰეტეროციკლს [ჰეტერო (ბერძ. *heteros* სხვა, განსხვავებული, ორიდან ერთი) – რთული სიტყვის პირველი შემადგენელი ნაწილი (წინსართი), ნიშნავს სხვას (ჰომო-ს საპირისპირო)], რომელიც ციკლში შეიცავს ჟანგბადის ერთ ატომს. ნორმალურ პირობებში იგი არის ეთილენის ჟანგი – სითხე ეთერის სუნით, კარგად იხსნება ორგანულ გამხსნელებში, დუდილის ტემპერატურა მეტი აქვს, ვიდრე მარტივ ეთერებს, რომლებიც მოლეკულური მასით ახლოს არიან ეპოქსიდთან. ეპოქსიდური ფისების გამყარება მატრიცებში ხდება გამამყარებლისა და კატალიზატორის თანხლებით და მიმდინარეობს დაბალმოლეკულური ნივთიერებების გამოყოფის გარეშე და მცირე მოცულობითი ჯდენებით (1-5%). ეპოქსიდურ შემკვრელებს ახასიათებთ: მაღალი მექანიკური და ადჰეზიური თვისებები, რაც საშუალებას იძლევა თითქმის სრულად იქნას გამოყენებული მარმირებელი ბოჭკოს მახასიათებლები; ტექნოლოგიურობის მაღალი მაჩვენებელი უზრუნველყოფს მარმირებელი ბოჭკოების გაქდენთვის, ნაკეთობის ფორმირებასა და მის საბოლოო გამყარებას. ეპოქსიდური შემკვრელების ექსპლუატაციის ტემპერატურაა 150-200°C. უარყოფით თვისებებს მიეკუთვნება დაბალი თბომედეგობა.

ოლიგოციკლური შემკვრელები მიეკუთვნება ძირითადად პოლიიმიდების (პოლიმერების კლასი, რომელიც ძირითად ჯაჭვში შეიცავს იმიდურ ციკლებს, როგორც წესი, კონდენსირებულს არომატული ან სხვა ციკლებით) ჯგუფს. გამოიყენება მატრიცებში, რომელთა საშუალო ტემპერატურაა 300-350°C, ხოლო ფორიანობა არ აღემატება 1-3%-ს. მათ გამოარჩევენ მაღალი თბო და თერმომედეგობა,

მექანიკური მახასიათებლები, წინაღობა აგრესიული გარემოს მიმართ, ზომების სტაბილურობა და სხვ. უარყოფით თვისებებს მიეკუთვნება ნაკეთობის დამზადების მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური სირთულეები.

ფენოლოფორმალდეჰიდურ, სილიციუმორგანულ და პოლიიმიდურ შემკვრელებს აქვთ დაბალი დრეკადობის მოდული და დეფორმაციებისადმი მაღალი მდგრადობა, ხოლო სიმტკიცე სამიჯეს თითქმის ერთნაირი აქვს.

კონსტრუქციული მოსაზრებით პრაქტიკულად უმჯობესია თერმოპლასტიკური შემკვრელების გამოყენება, რადგან მათ არ ახასიათებთ მოცულობაში ნარჩენი ძაბვების არსებობა, რაც აადვილებს ნაკეთობის დამზადების ტექნოლოგიურ პროცესს, ამცირებს ფორმალწარმოქმნის ციკლებს და ა. შ. საბოლოო ჯამში ასეთი კომპოზიტების გამოყენება საგრძნობლად ამცირებს მზა პროდუქციის ღირებულებას. თუმცა, უნდა გავითვალისწინოთ, რომ თერმოპლასტიკური კომპოზიტების გამოყენება მიზანშეუწონელია ნორმალურზე მაღალი ტემპერატურის პირობებში.

კომპოზიტური კომპონენტების შეთავსება მატრიცაში მიმდინარეობს თხევადფაზური ან მყარფაზური მეთოდებით [ფაზა – შენადნობის სტრუქტურული მდგენელი, რომელსაც აქვს ერთგვაროვანი (ჰომოგენური) კრისტალური აგებულება და აგრეგატული მდგომარეობა, გამოყოფილი სხვა ნაწილებისაგან ზედაპირული საზღვრით, რომლის დარღვევისას შემადგენლობა და თვისებები იცვლება ნახტომისებურად].

2.4. ნახშირბადოვანი მატრიცები

ნახშირბადოვანი მატრიცა უზრუნველყოფს კომპოზიტური მასალის თერმომედეგობას და შესაძლებლობას იძლევა კომპოზიტში სრულად გამოვიყენოთ ნახშირბადის ბოჭკოს უნიკალური თვისებები. ნახშირბადოვანი მატრიცის მიღების მეთოდი განსაზღვრავს მის სტრუქტურასა და თვისებებს.

პრაქტიკაში ყველაზე მეტად გამოიყენება ნახშირბადოვანი მატრიცის მიღების ორი მეთოდი:

1. პოლიმერული მატრიცის კარბონიზაცია წინასწარ ფორმირებული ნახშირბადპლასტიკური ნამზადისა, უქანგავ გარემოში მაღალტემპერატურული დამუშავების გზით;
2. პიროლიზური ნახშირბადის (პირონახშირბადი) დალევა აირულ ფაზაში.

კარბონიზებული პლასტიკებისა და კომპოზიტების სტრუქტურა პირონახშირბადოვანი მატრიცით (დამატებითი გამკვრივების შემდეგ, რომელიც ტარდება თერმულად სტაბილური მასალის მიღების მიზნით) ყალიბდება მაღალტემპერატურული დამუშავების – გრაფიტიზაციის [გრაფიტიზაცია – გრაფიტის წარმოქმნა (გამოყოფა) რკინანახშირბადოვან შენადნობებში (თუჯი, ფოლადი), მაღალი ტემპერატურის პირობებში] ხარჯზე. თერმოდამუშავების საბოლოო ტემპერატურა განი-

საზღვრება ექსპლუატაციის პირობებით, მაგრამ ლიმიტირდება მასალის სუბლიმაციით [(ინგლ. Sublimation < ლათ. sublimis აწეული, მაღალი, ამაღლებული) – გაცხელებისას ნივთიერების უშუალო გადასვლა მყარი მდგომარეობიდან აირადში თხევადი ფაზის გვერდის ავლით], რომელიც ინტენსიურად მიმდინარეობს 2999,85°C ტემპერატურის ზევით.

2.5. კერამიკული მატრიცები

კერამიკა არის არაორგანული მასალის ნაკეთობა (მაგ., თიხა) მინერალური დანამატებით, რომელიც მზადდება მაღალი ტემპერატურის პირობებში შემდგომი გაცივებით. ვიწრო გაგებით სიტყვა კერამიკა ნიშნავს გამომწვარ თიხას. თანამედროვე მაღალტემპერატურული ზეგამტარი მასალები აგრეთვე მიეკუთვნება კერამიკას. მასალის სტრუქტურის მიხედვით კერამიკა არსებობს: ნატიფი (ფაიფური, ნახევრადფაიფური, ქვის, ქაშანურის, მაიოლიკა), უხეში (სამეთუნეო კერამიკა), კარბიდული (ვოლფრამის კარბიდი, სილიციუმის კარბიდი), ალუმინის ჟანგის, ცირკონიუმის და სხვ.

თანამედროვე პირობებში განასხვავებენ ჩვეულებრივ და ტექნიკურ კერამიკას. ჩვეულებრივში შედის სილიკატები (SiO_2), ამიტომ ჩვეულებრივ კერამიკას, რომელსაც აწარმოებს მრეწველობა, უწოდებენ სილიკატურს, ხოლო ტექნიკური – სპეციალური დანიშნულების კერამიკაა, რომლის შედგენილობაში შედის სხვადასხვა ჟანგულები, კარბიდები, ნიტრიდები, ბორიდები, სილიციდები და სულფიდები.

ცნობილია შერეული ტიპის კერამიკაც. მაგ., ორი ტიპის კერამიკის (ალუმინის იონური ჟანგული AlO_3 და კოვალენტური უჟანგბადო Si_3N) საფუძველზე შექმნილი ეფექტური მასალა „სიალონი“, რომლისგანაც ამზადებენ შიგაწვის ძრავის ცილინდრის ბლოკებს.

ზოგიერთ შემთხვევაში კერამიკული კლასის მასალებს პირობითად აკუთვნებენ „კერმეტამებს“ – „ალუმინი-ქრომის“ ტიპის ლითონკერამიკის მასალებს. ალუმინის ჟანგის ნაცვლად შეიძლება მაგნიუმის, ბერილიუმის, ტიტანის, ცირკონიუმის, ქრომისა და სხვ. ელემენტების ჟანგულების გამოყენება. ლითონურ მდგენელად კი შესაძლებელია გამოყენებული იყოს ნიკელი, კობალტი, რკინა და ზოგიერთი ლითონური შენადნობი.

ფუნქციური დანიშნულების მიხედვით განასხვავებენ თერმო, მექანიკურ, ელექტრო, მაგნეტო, ოპტიკურ, ჰემო, ბიო, ატომურ და ზეგამტარ კერამიკას. მექანიკური კერამიკის ძირითადი დადებითი თვისებებია: მაღალი სიმაგრე, სიმტკიცე, დრეკადობის მოდული, რღვევის სიბლანტე, ცვეთამედეგობა, ტრიბოტექნიკური თვისებები (ტრიბოტექნიკური ნაერთი – ნივთიერება, რომლის შეტანა ორი სხეულის ხახუნის სიბრტყეში ძირულად ცვლის იქ მიმდინარე პროცესებს კონტაქტში მყოფი ზედაპირების თვისებების შეცვლით. ტრიბოტექნიკური ნაერთი არ წარმოად-

გენს საპოხ ნივთიერებას, რომელიც აცალკევებს ხახუნის ზედაპირებს), თერმული გაფართოების ხაზოვანი კოეფიციენტი, თბომდეგობა. ამ თვისებების უზრუნველყოფა ხდება შენაერთებით: Si_3N_4 , ZrO_2 , SiC , TiB_2 , ZrB_2 , TiC , TiN , WC , B_4C , Al_2O_3 , BN . თერმული კერამიკისათვის დამახასიათებელია: მხურვალმტკიცობა, მხურვალმდეგობა, ცეცხლგამძლეობა. მასალაში კერამიკულ მდგენელად გამოიყენება: SiC , TiC , B_4C , TiB_2 , ZrB_2 , Si_3N_4 , BeS , CeS , BeO , MgO , ZrO_2 , Al_2O_3 , TiO .

კომპოზიტების კერამიკული მასალების ძირითადი უპირატესობებია: დნობის მაღალი ტემპერატურა, მაღალი სიმტკიცე მკუმშავი დაბჯების მოქმედების პირობებში, ქიმიური მდეგობა აგრესიული გარემოს მიმართ, ხოლო უარყოფითი – ბზარწარმოქმნა, რომელსაც იწვევს მაღალი ქიმიური (კოვალენტური) კავშირები.

2.6. პოლიმერული აფსკური მასალები

აფსკი (ფირი) ეწოდება რაიმე ზედაპირზე სხვა ნივთიერებისაგან წარმოქმნილ თხელ ფენას ან ბუნებრივი ან ხელოვნური მასალისაგან დამზადებულ რულონური (ფურცლოვანი) სახის მასალას, რომელიც სხეულის ზედაპირის დასაფარავად გამოიყენება. ფორმალურად აფსკებს მიეკუთვნება ფურცლოვანი და რულონური მასალები სისქით 0,25 მმ-მდე და სიგანით მეტი 100 მმ-ზე. ნაკლები სიგანის აფსკს ლენტი ეწოდება [ლენტი – 1. სხვადასხვა მოქნილი მასალისგან (ქსოვილი, რეზინი, რეზინ-ქსოვილი და სხვ.) დამზადებული გრძელი ვიწრო ზოლი]. აფსკის სპეციფიკურ მაჩვენებლად ითვლება თანაფარდობა მასასა და ზედაპირს შორის.

თხელი ფურცლოვანი მოქნილი აფსკური მასალები ბუნებრივი (ცხოველის ბუშტები, ნაწლავის აფსკი) ან სინთეზური (პოლისტირენი, პოლიამიდი) წარმოშობისაა. შეიძლება იყოს ორგანული და არაორგანული წარმოშობის. ორგანული აფსკური მასალები განსხვავდება იმავე პოლიმერის საფუძველზე დამზადებული ქსოვილებისგან უფრო მაღალი წყალმდეგობით, ჰაერგაუმტარებლობით, შუქგამტარობით, ელექტროსაიზოლაციო თვისებებით, არ აქვს ფორები, იაფია.

სინთეზური აფსკები მიიღება თერმოპლასტიკური პოლიმერებისაგან: 1) ლითონის გლუვ ზედაპირზე პოლიმერის ხსნარის დასხმით, შემდეგში ზედაპირიდან გამხსნელის აორთქლებით (ეთერცელულოზას აფსკი); 2) ლითონის გლუვ ზედაპირზე პოლიმერის ხსნარის დასხმითა და გადნობით (პოლიამიდური აფსკები); 3) მილში დაწნეხის გზით, რომელიც სწრაფად გამოედინება ფილერში (ნახვრეტში) და დაიტანება ლითონის ან მერქნის ზედაპირზე დაჭირხნილი ჰაერის დახმარებით (პოლიეთილენური, პოლისტირენული აფსკები); 4) პლასტიფიცირებული პოლიმერის კალანდრით (აფსკური ვინიპლასტი) [კალანდრი (ფრანგ. Calandre < calandrier – დაჯანდვრა, გატარება, გაპრიალება, გაკრიალება) – წნეხი, რომელიც ლილვებს შორის ატარებს ქსოვილს, ქაღალდს, რეზინს და სხვ. სიგლუვის მისაცემად, გასაპრიალებლად ან მოსახატად]; 5) ნამზადისაგან თხელი აფსკის მექანი-

კური ჩამოთლით (მპონი) შემდგომი კალანდვრით (პოლიტეტრაფთორეთილენური აფსკი); 6) პოლიმერის ხსნარების კოაგულაციით (ცელოფანი) და სხვ.

მოლეკულების სტრუქტურისა და უნარის – გამოშრობისას შევიდნენ ქიმიურ რეაქციაში, აფსკური მასალები იყოფა ორ ჯგუფად: გარდაქმნადი და არაგარდაქმნადი. გარდაქმნად აფსკურ მასალებს მიეკუთვნება სინთეზური რეაქციული ოლიგომერები (ალკიდური, ეპოქსიდური, ფენოლ-ალდეჰიდური, პოლიეთერული ფისები) და მცენარეული ზეთები, რომლებსაც თვისება აქვთ გაცხელების, დაჟანგვის, კატალიზატორების ზემოქმედებით ან სხვ. ფაქტორებით, გამყარდეს მტკიცე და არადნობადი აფსკების სახით. არაგარდაქმნადი აფსკური მასალები (ცელულოზას ეთერები, ზოგი პოლიაკრილატი, პერქლორვინილური ფისები, ბიტუმი) ქმნის აფსკებს გამხსნელის აორთქლების ან მდნობელის გაცივების შედეგად. არაგარდაქმნადი აფსკური მასალების უპირატესობა გარდაქმნადებთან შედარებით არის ფორმირების დიდი სისწრაფე და გამოშრობის დაბალი ტემპერატურა, ხოლო ნაკლი – დაბალი ქიმიური მედეგობა.

აფსკი, როგორც წესი, მიიღება ორი გზით: ხსნარის თხელი ფენიდან გამხსნელის აორთქლებით ან ნარევის მექანიკური დაწნეხვითა და შემდეგი გაცივებით. აფსკის მისაღებად გამოიყენება ხაზოვანი აგებულების პოლიმერები. მათი მაკრო-მოლეკულები წარმოადგენს ერთნაირი მონომერის რგოლების ერთობლიობას, რომლებიც ქიმიურად გრძელ ჯაჭვადაა შეკავშირებული. ერთი ტიპის რგოლების რაოდენობა (პოლიმერიზაციის ხარისხი), შემავალი პოლიმერის ჯაჭვში, განსაზღვრავს პოლიმერის მოლეკულურ მასას.

აფსკის მოქნილი მდგომარეობა მიიღწევა პოლიმერული აფსკის მოლეკულური მასის კრიტიკული მნიშვნელობით.

აფსკურ პოლიმერულ მასალებს მიეკუთვნება: პოლიესტერი, პოლიეთილენი, პოლიეთილენი დაბალი წნევის, პოლიეთილენი საშუალო წნევის, პოლიეთილენი მაღალი წნევის, პოლიიზობუტილენი, პოლიკაპროლაქტონი, პოლიპროპილენი, პოლიაკრილატი, პოლიეთილენტერეფთალატი, პოლიიმიდეები, პოლიაკრილნიტრილი, პოლიამიდი, პოლიეთერმიდი, პოლივინილაცეტატი, პოლიფორმალდეჰიდი და სხვ.

2.6.1. პოლიესტერი

პოლიესტერი მაღალმოლეკულური კომპოზიტური ნაერთია, მიღებული მრავალფუძიანი მჟავების ან მათი ანჰიდრიდების პოლიკონდენსაციით მრავალატომიან სპირტებთან. არსებობს ბუნებრივი (ქარვა, ხის ფისი, შელაქი) და ხელოვნური (გლიფტალის ფისი, პოლიეთილენტერეფთალატი, პოლიეთერმალეინატი, ოლიეთერკრილატი). პოლიეთილენტერეფთალატის ნაღობისაგან მიიღება სინთეზური ბოჭკო, რომელიც ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა ქსოვილების (სურ. 2.1),

ბეწვეულის, ბაგირების დასამზადებლად, ავტომობილის საბურავების დასაარმირებლად, თბოსაიზოლაციო მასალად და სხვ. მისი სავაჭრო მარკებია: ლავსანი, ტერილენი, დაკრონი, ტეტრონი, ტერგალი, ტესილი. პოლიესტერისაგან დამზადებული ქსოვილები შეუცვლელი მასალაა პნევმატიკური კონსტრუქციების საწარმოებლად.



სურ. 2.1. პოლიესტერის ქსოვილები

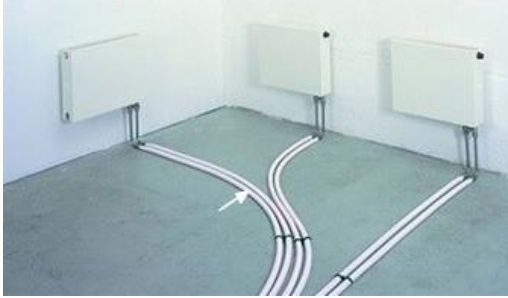
პოლიესტერს უწოდებენ აგრეთვე ლითონის თხელ ფურცელს სისქით 0,5 მმ, რომლის ზედა მხარეზე დატანილია 35 მკმ სისქის პოლიმერი, გრუნტის, პასივატორისა და თუთიის ფენები.

2.6.2. პოლიეთილენი

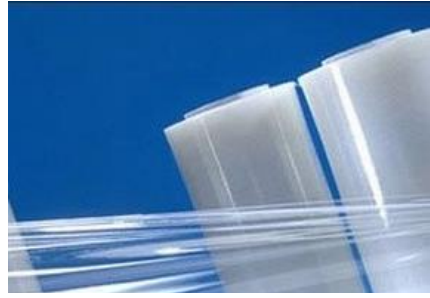
პოლიეთილენი თერმოპლასტიკური პლასტმასია, რომელიც მიიღება ეთილენის პოლიმერისგან. იგი მსოფლიოში ყველაზე მეტად გავრცელებული პლასტიკია (ქიმიური ფორმულა – $(C_2H_4)_n$). წარმოადგენს თეთრი ფერის ცვილისმაგვარ მასას (თხელი ფურცლები გამჭვირვალე და უფეროა), კარგი იზოლატორია, ყინვადა დარტყმამდედგია, გახურებისას რბილდება ($80-120^{\circ}C$), გაცივებისას მყარდება, აქვს ადჰეზიის ძალიან დაბალი უნარი. მომხმარებელს მიეწოდება გრანულების სახით (სურ. 2.2). ცხოვრებაში აიგივებენ ცელოფანთან, რაც მცდარი შეხედულებაა. პოლიეთილენზე არ მოქმედებს წყალი, ტუტეები, მარილები – გარდა აზოტმჟავასი და თხევადი ან აქროლადი ქლორისა და ფთორისა. პოლიეთილენი არსებობს სამი სახის: მაღალი, საშუალო და დაბალი წნევით მიღებული. დაბალი წნევის პოლიეთილენი გამოიყენება ნარჩენების გადასამუშავებელი პოლიგონის მშენებლობაზე ნიადაგის დაბინძურებისგან დასაცავად, აგრეთვე წყალ და გაზომმარაგების (სურ. 2.3), საკანალიზაციო მილების წარმოებაში, დრენაჟის მოსაწყობად, ელექტროსაიზოლაციო მასალებისთვის, ნავებისა და ყველგანმავლების კორპუსების დასამზადებლად და სხვ.; საშუალო წნევით მიღებული – ჩვეულებრივი და თერმულადმუკლებადი აფსკების (სურ. 2.4), ტომრების, ხელჩანთებისა და ხრახნიანი თავსახურავების დასამზადებლად; მაღალი წნევით მიღებული – შესაფუთ მასალად.



სურ. 2.2. პოლიეთილენის გრანულები



სურ. 2.3. გათბობის წყალმომარაგების პოლიეთილენის მილები



სურ. 2.4. პოლიეთილენის თერმულადშეკლებადი აფსკი

2.6.3. დაბალი წნევის პოლიეთილენი

დაბალი წნევის პოლიეთილენი (მაღალი სიმკვრივის) დაბალი წნევით მიღებული პლასტმასია. არსებობს მისი მილების სამი მეთოდი: სუსპენზიური რეაქცია, რეაქცია ხსნარში და პოლიმერიზაცია აირად ფაზაში. სუსპენზიური პოლიეთილენი მზადდება დანამატის გარეშე და კომპოზიტის სახით საღებრებისა [ფერადი (იისფერი, ლურჯი, მწვანე, ყვითელი, ნარინჯისფერი, წითელი, ყავისფერი და შავი) ორგანული ნაერთი, რომელსაც უნარი აქვს გაჟღენთოს შესაღები მასალა დიფუზიის პროცესის გამოყენებით და მისცეს მის მთელ მოცულობას განსაზღვრული ფერი] და სტაბილიზატორების საფუძველზე. აირულფაზიანი – კომპოზიტის სახით მასტაბილიზებული დანამატი. დაბალი წნევის პოლიეთილენი არის ელასტიკური მსუბუქი მასალა კრისტალიზაციის უნარით. ხასიათდება მაღალი დარტყმითი სიმტკიცით, თბომდეგობით (110°C -მდე), დიელექტრიკული თვისებებით. ადვილი დასამუშავებელია. დასაშვებია მისი გაცივება -80°C -მდე. იგი უფრო ხისტი და მკვრივი მასალაა, ვიდრე მაღალი წნევის პოლიეთილენი (სიმკვრივე – $940-950$ კგ/მ³). გამოიყენება ტექნიკური ნაკეთობების, საყოფაცხოვრებო ნივთებისა და სათამაშოების დასამზადებლად.

2.6.4. საშუალო წნევის პოლიეთილენი

საშუალო წნევის პოლიეთილენი ხისტი პროდუქტია, რომელიც შედგება მკაცრად გარკვეული პროპორციით აღებული დაბალი და მაღალი წნევით მიღებული პოლიეთილენების ნარევისაგან [სიმკვრივე – $960-970$ კგ/მ³; დნობის ტემპერატურა – $130-135^{\circ}\text{C}$; დარბილების ტემპერატურა – $80-100^{\circ}\text{C}$; დრეკადობის მოდული (დუნვისას) – $1070-1100$ მპა; სიმაგრე ბრინელის მიხედვით – $55-60$ მპა]. გამოირჩევა კარგი დარტყმამდეგობით. მდგრადია ნაკაწრებისა და ტკეჩადობის მიმართ. გა-

მოიყენება ჩვეულებრივი და თერმულადშეკლებადი აფსკების, ტომრების, ხელჩანთებისა და ხრახნიანი თავსახურავების დასამზადებლად.

2.6.5. მაღალი წნევის პოლიეთილენი

მაღალი წნევის პოლიეთილენი (დაბალი სიმკვრივის) პოლიეთილენის ერთ-ერთი სახეობაა. იგი ყველაზე მეტად გავრცელებული შესაფუთი მასალაა. დაბალი კრისტალურობის გამო არსებობს მოქნილი და რბილი პოლიმერი. მიიღება ეთილენის პოლიმერიზაციით ავტოკლავებში ან მილისებრ რეაქტორებში [სიმკვრივე – 900-939 კგ/მ³; დნობის ტემპერატურა – 103-110°C; დრეკადობის მოდული – 900-2150 მპა (სიმკვრივის მიხედვით)]. იწვის მოლურჯო ნათელი ალით დნობითა და ანთებული პოლიმერის ჩამოდვენით. წვისას ხდება გამჭვირვალე. ეს თვისება შენარჩუნდება დიდხანს ალის ჩაქრობის შემდეგაც, იწვის კვამლის გარეშე. ცეცხლმოდებული გამდნარი წვეთები გარკვეული სიმაღლიდან ($\approx 1,5$ მ) იატაკზე დაცემისას გამოსცემენ თავისებურ ხმას; გაცივების შემდეგ ეს წვეთები ჩამოჰგავს მყარ პარაფინს, რბილია. თითებით გასრესისას იწვევს ცხიმის შეგრძნებას. ჩამქრალი პოლიეთილენის ბოლს პარაფინის სუნი აქვს.

2.6.6. პოლიიზობუტილენი

პოლიიზობუტილენი ელასტიკური სინთეზური თეთრი ან ნაცრისფერი პოლიმერია. მაღალმოლეკულური პოლიიზობუტილენი კაუჩუკისებრი პროდუქტია; დაბალმოლეკულური – ბლანტი სითხე. მიიღება იზობუტილენის პოლიმერიზაციით (პირველად მოახდინა რუსმა მეცნიერმა ა. ბუტლეროვმა 1873 წელს) დაბალ ტემპერატურაზე კატალიზატორის მეშვეობით.

მაღალმოლეკულურ პოლიიზობუტილენს ახასიათებს ქიმიური მდგრადობა და მჟავა, ტუტე და წყალმდეგობა, ცივდენადობა, აგრეთვე დიელექტრიკული თვისებები. თითქმის არ ატარებს აირებს. უარყოფითი თვისებებიდან გამოსაყოფია დაბალი სიმტკიცე და ცოცვალობა. არ იხსნება სპირტებში, კეტონებსა და რთულ ეთერებში, ნაწილობრივ იხსნება ნავთობსა და არომატულ და ქლორირებულ ნახშირწყალბადებში.

იგი წვადი მასალაა (აფეთქების ტემპერატურა – 231°C, აალების ტემპერატურა – 276°C, თვითაალების – 405°C). სამუშაო ზონაში პოლიიზობუტილენის ორთქლის კონცენტრაცია ჰაერში არ უნდა აღემატებოდეს 100 მგ/მ³-ს.

ძირითადად გამოიყენება ელექტრო და ანტიკოროზიულ მასალად (პოლიეთილენთან, პოლისტირენთან ან ნატურალურ კაუჩუკთან ნარევიში), საპოხი ზეთების გასასქვლებლად, კონსისტენტური საპოხი მასალის დასამზადებლად, ლითონის აპარატურის დასაცავად კოროზიისაგან, ფოლადის მიღების, სარკინიგზო ცისტე-

რნებისა და მჟავების შესანახი ტევადობების შემონაფენად, როგორც ჰიდროსაი-ზოლაციო მასალა, ელექტროკაბელების შესაფუთად და სხვ.

2.6.7. პოლიკაპროლაქტონი

პოლიკაპროლაქტონი თერმოპლასტიკური პლასტმასია, ბიოხრწნადი პოლიეთერი ლღობის დაბალი ტემპერატურით (59-64°C). წარმოადგენს ε-კაპროლაქტონის პოლიმერს (კაპროლაქტონი – უფერო სითხე, ციკლური ეთერი; სახელი დაკავშირებულია კაპრონის მჟავასთან. გამოიყენება კაპროლაქტამის საწყის პროდუქტად).

კაპროლაქტონი უსაფრთხო ეკოლოგიურად სუფთა მასალაა, მდგრადი წყლის, გამხსნელებისა და ზეთების მიმართ. შეუცვლელი მასალაა სპეციალური პოლიურეთანისა და კომპოზიტური მასალების წარმოებაში. ყოფაცხოვრებაში გამოიყენება საძერწ მასალად, სათამაშოების, მოდელების, რობოტების წარმოებაში, ნაკეთობის პირველსახის აღსადგენად და სხვ. კაპროლაქტონის დასარბილებლად საკმარისია მისი მოთავსება ცხელ წყალში ან მიკროტალღურ ღუმელში და მივიღებთ გამჭვირვალე (სურ. 2.5), საძერწად ვარგის, მასალას. იგი ადვილად იცვლის ფორმას, არ ეკვრის ხელებზე და ხანგრძლივად ინარჩუნებს სირბილეს. გამოყენების შემდეგ ნაძერწი ოთახის ტემპერატურაზე მყარდება, ღებულობს თეთრ ფერს, ემსგავსება ჩვეულებრივ პლასტმასას და ემორჩილება მექანიკურ დამუშავებას (ბურღვა, ხერხვა, გათლა).



სურ. 2.5.
გამჭვირვალე

პოლიკაპროლაქტონის მსოფლიოში გავრცელებული მარკებია: Hand Moldable Plastic, Mold-Your-Own Grips, InstaMorph, Shapelock, Friendly Plastic, Plastimake, Polymorph, პოლიმორფუსი, ეკოფორმაქსი, პოლიკაპროლაქტანი, პროტოპლასტი.

2.6.8. პოლიპროპილენი (პოლიპროპენი)

პოლიპროპილენი სინთეზური თერმოპლასტიკური პოლიოლეფინების კლასის პოლიმერია, რომელიც მიიღება პროპილენის პოლიმერიზაციით კომპლექსური ლითონის კატალიზატორების თანხლებით. გამოდის თეთრი ფერის ფხვნილის ან გრანულების სახით (სურ. 2.6) (სიმკვრივე – 910 კგ/მ³, რაც ყველა ტიპის პლასტმასებს შორის მინიმალური მაჩვენებელია. ქიმიური ფორმულა – (C₃H₆)_n; სიმკვრივე კრისტალურ მდგომარეობაში – 946 კგ/მ³; სიმკვრივე ამორფულ მდგომარეობაში – 855 კგ/მ³; დნობის ტემპერატურა – 160-171°C; გამინების ტემპერატურა – -10-20°C;

სიმტკიცის ზღვარი გაგლეჯაზე – 2,6-4,0 კნ/სმ²; ფარდობითი წაგრძელება გაგლეჯისას – 200-700%; მოცულობითი გაფართოების კოეფიციენტი 20°C-ზე – 0,00033; წყალშთანთქმა 30 დღეღამის განმავლობაში – 0,03%).

არსებობს პოლიპროპილენი (პპ) იზოტაქტიკური, სინდიოტაქტიკური, ატაქტიკური და სტერეობლოკური სტრუქტურით, რომელთაგან ყველაზე მეტად გავრცელებულია – იზოტაქტიკური. იგი წარმოადგენს ბლანტ პროდუქტს მაღალი დრეკადობის მოდულით და გამოირჩევა კრისტალურობის ხარისხით, სიმტკიცით, სიმაგრითა და თბომდეგობით.



სურ. 2.6. პოლიპროპილენის გრანულები

პოლიპროპილენი მდგრადია მჟავების, ტუტეების, მარილების ხსნარებისა და სხვა არაორგანული აგრესიული გარემოს მიმართ. ოთახის ტემპერატურაზე არ იხსნება ორგანულ სითხეებში; მაღალ ტემპერატურაზე იჯირჯვება და იხსნება ზოგიერთ გამხსნელში (მაგ., ბენზოლში, ეთერში, ოთხქლორიან ნახშირბაღში). აქვს დაბალი წყალშთანთქმის მაჩვენებელი, კარგი ელექტროსაიზოლაციო თვისებები. მისი წარმოება დიდი ტემპებით ფართოვდება და თანდათან იპყრობს მსოფლიო ბაზარს, რასაც განაპირობებს ეკოლოგიურობა და დაბალი ფასი.

გამოყენების სფერო: პოლიმერული კომპოზიტური მასალები, ვიბრო- და ბგერასაიზოლაციო სართულშუა გადახურვების მოწყობა სისტემაში "მცურავი იატაკი", დეკორატიული პროფილები ქაფპოლიპროპილენისგან, შესაფუთი მასალა, ქსოვილები, საკანცელარიო ნაკეთობები, პლასტმასის დეტალები, მრავალჯერადი გამოყენების კვების კონტეინერები, მილები (სურ. 2.7), ფიტინგები (სურ. 2.8), ტომრები (სურ. 2.9), ტარა (სურ. 2.10), გვარლები, ფიჭაპოლიპროპილენის ფურცლები (2.11), ტექნიკური აპარატურის დეტალები, ტელევიზორების კორპუსები, სატელეფონო აპარატები, საავტომობილო მრეწველობა და სხვ. ექსპლუატაციის მაქსიმალური ტემპერატურაა 120-140°C. აღსანიშნავია, რომ პოლიპროპილენი პოლიეთილენისა და პოლივინილქლორიდის შემდეგ, მსოფლიოში ყველაზე მეტად გავრცელებული სინთეზური პლასტმასაა [წარმოება წელიწადში დაახლოებით 60 მლნ ტონას შეადგენს (2015 წლის მონაცემებით)].



სურ. 2.7. პოლიპროპილენის მილები



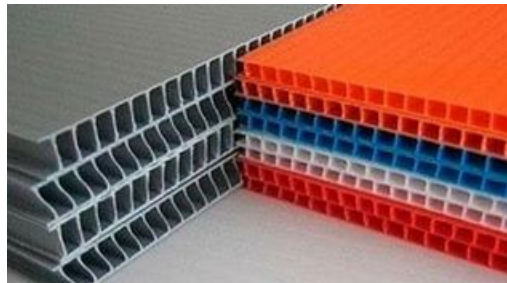
სურ. 2.8. პოლიპროპილენის ფიტინგები



სურ. 2.9. პოლიპროპილენის ტომრები



სურ. 2.10. პოლიპროპილენის ტარა



სურ. 2.11. ფიჭაპოლიპროპილენის ფურცლები

2.6.9. პოლიაკრილატი

პოლიაკრილატი თერმოპლასტიკური გამჭვირვალე პლასტმასია, რომელიც აკრილის, მეტაკრილის ან ციანაკრილის რთული ეთერების მჟავების პოლიმერია. მისი ყველაზე მეტად გავრცელებული სახეობაა პოლიმეთილმეტაკრილატი (ორგანული მინა, პლექსიგლასი), პირველი სინთეზური პოლიმერი კარგი ოპტიკური თვისებებით, რის გამოც მასობრივად გამოიყენება მშენებლობაში კონსტრუქციულ მასალად (ტყვიაგაუმტარი ფანჯრები, ვიტრაჟები) და ავიამრეწველობაში (თვითმფრინავის ილუმინატორები). პოლიაკრილატის საფუძველზე მზადდება პოლიმერული კომპოზიტები – საღებავები და ლაქები, რომლებიც მყარ ზედაპირზე წასმისას სწრაფად შრება და წარმოქმნის მდგრად კოროზიასაწინააღმდეგო აფსკს, აგრეთვე ხისტი კომპოზიტები.

2.6.10. პოლიეთილენტერაფთალატი

პოლიეთილენტერაფთალატი მსუბუქი, მტკიცე და ხისტი პლასტმასია (სიმკვრივე 1360 კგ/მ³). გამოირჩევა თბომდეგობით -40-დან +200°C ტემპერატურის დიაპაზონში. დნობის ტემპერატურა – 250°C; ყინვამდეგობა – -155°C. მდგრადია განზავებული მჟავების, ზეთების, სპირტების, მინერალური მარილებისა და უმეტესი ორგანული ნაერთების მიმართ (ძლიერი ტუტეებისა და ზოგი გამხსნელების გარდა). იწვის ძლიერი კვამლის გამოყოფით. ცეცხლიდან მოცილების შემდეგ ახასიათებს თვითჩაქრობა. მიიღება ნაღობის გამოწეღვითა და თერმოდამუშავებით. მისი ტექნიკური მაჩვენებლები არ იცვლება 20-80°C ტემპერატურის დიაპაზონში. -50°C ტემპერატურამდე არ ახასიათებს სიმყიფე. ექსპლუატაცია შესაძლებელია ხანგრძლივად 170°C ტემპერატურამდე. უმეტესად გამოიყენება პოლიმერული კომპოზიტური მასალების დასამზადებლად.

2.6.11. პოლიიმიდები

პოლიიმიდები მიეკუთვნება პოლიმერების კლასს, რომელიც ძირითად ჯაჭვში შეი-ცავს იმიდურ ციკლებს, როგორც წესი, კონდენსირებულს არომატული ან სხვა ციკლებით. პოლიიმიდური აფსკები მიიღება ნაღობის მყარ ზედაპირზე დასხმითა და შემდეგი ბუნებრივი გაცივებით. ტექნიკური პარამეტრების მიხედვით ეს აფსკები შესანიშნავად მუშაობს დაბალ და მაღალ ტემპერატურებზე. გამოირჩევა თბო-, ყინვა- და რადიაციული მდგრადობით (მაგ., ზოგიერთი მარკის პოლიიმიდური აფსკები ინარჩუნებენ მოქნილობას 269°C ტემპერატურამდე). შეკლება 200°C ტემპერატურაზე შეადგენს მხოლოდ 0,03%-ს.

2.6.12. პოლიაკრილნიტრილი

სინთეზური პოლიმერი, თეთრი მაგარი ნივთიერება (სიმკვრივე – 1140-1150 კგ/მ³). მდგრადია გამხსნელების, ცხიმების მიმართ, არ იცვლის თვისებებს ატმოსფერულ პირობებში. გამოიყენება პოლიაკრილნიტრილის ბოჭკოს დასამზადებლად, რომელსაც წარმატებით მოიხმარენ კომპოზიტური მასალების წარმოებაში.

2.6.13. პოლიამიდი

კონსტრუქციული პოლიმერული მასალა, სინთეზური პოლიმერი, მაგარი, თეთრი რქისებრი ნივთიერება (სურ. 2.12). გამოირჩევა მაღალი სიმტკიცით, სიმაგრით, ელასტიკურობით, ცვეთა და თბომდეგობით; მდგრადია ქიმიური რეაგენტების მიმართ. გამოიყენება სინთეზური ბოჭკოების, ფირების, ქაღალდის, წებოების წა-

რმოებაში, აგრეთვე, ანტიფრიქციული (სურ. 2.13), ელექტრო და რადიოტექნიკური ნაკეთობების დასამზადებლად, საავტომობილო მრეწველობაში ელექტრონული ბლოკების, დამცავი ნაწილების, ჰიდრავლიკური მილების კორპუსებისა და ფიტინგებისათვის (სურ. 2.14), სამხედრო საქმეში (მაგ., კალაშნიკოვის ავტომატის კონდახი და ტყვიების მჭიდვე; სურ. 2.15), კომპოზიტურ მასალებში, სპეცტანსაცმლის წარმოებაში (სურ. 2.16) და სხვ. ყველაზე გავრცელებული პოლიამიდის სახეებია: პოლიამიდი-6, პოლიამიდი-12, პოლიამიდი-6.6, აგრეთვე პოლიამიდი-6.10, 6.12, 6/66-3, 6/66-4 და 6/66/610



სურ. 2.13. პოლიამიდის ანტი-ფრიქციული საკისრები



სურ. 2.14. პოლიამიდის ფიტინგი



სურ. 2.15. კალაშნიკოვის ავტომატის პოლიამიდის კონდახი და ტყვიების მჭიდვე



სურ. 2.16. პოლიამიდის სპეცტანსაცმელი

2.6.14. პოლიეთერმიდი

თერმოპლასტიკური პლასტმასის სახეობა, ამორფული გამჭვირვალე (ქარვისფერი) პოლიმერი მაღალი სიმტკიცითა და სიხისტით. გამოირჩევა ცეცხლმუდგო-

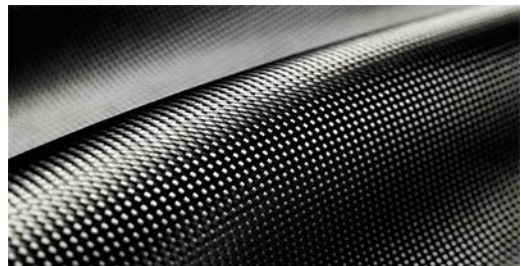
ბითა და დიელექტრიკული თვისებით, რის გამოც მისგან ამზადებენ ელექტრონიზოლატორებს, საკონტაქტო თამასებს, ნაპერწკალგამანაწილებლის ყუთებს და სხვა დეტალებს, რომლებიც საჭიროებენ სიმტკიცესა და მდგრადობას მაღალი ტემპერატურის პირობებში. მომხმარებელს მიეწოდება ღეროების სახით.

2.6.15. პოლივინილაცეტატი

სინთეზური პოლიმერი, მაგარი, გამჭვირვალე, უფერო არატოქსიკური ნივთიერება. ახასიათებს ცივდენადობა. კარგად იხსნება ორგანულ გამხსნელებში. არ იხსნება ბენზინში, ნავთში, სკიპიდარში, მინერალურ ზეთებში, წყალში. გამოიყენება წებოს, გამჟღენთი ნივთიერების, ემულსიური საღებავის დასამზადებლად, აგრეთვე, ბეტონის დანამატად ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით.

2.7. ბორპლასტიკი

ბორპლასტიკი კომპოზიტური მასალა, რომელშიც შემავსებლად გამოყენებულია ბორის ბოჭკოები, ჩანერგილი თერმორეაქტიულ პოლიმერულ მატრიცაში (სურ. 2.17). ეს ბოჭკოები შეიძლება იყოს მონოძაფის ან ჩალიჩის სახით, რომელიც გადახლართულია მინის ბოჭკოებით ან ლენტით, რომელშიც ბორის ძაფები გადახლართულია სხვა ძაფებით. ასეთი ძაფების დიდი სიმტკიცის გამო, მიღებული მასალა გამოირჩევა მაღალი მექანიკური თვისებებით (ბორის ბოჭკოს აქვთ ძალიან მაღალი სიმტკიცე კუმშვისას შედარებით სხვა მასალის ბოჭკოებთან) და მედეგობით აგრესიული გარემოს მიმართ, თუმცა დიდი სიმყიფის გამო ძნელდება მისი დამუშავება და შესაბამისად რთული ფორმის ნაკეთობების დამზადება.



სურ. 2.17. ბორპლასტიკის რულონი

გარდა აღნიშნულისა, ბორის ბოჭკოების გამოყენება ჩვეულებრივ კონსტრუქციებში შეზღუდულია სიძვირის გამო (დაახლოებით 400 ამერიკული დოლარი 1 კგ). ბორპლასტიკებს უმეტესად იყენებენ საავიაციო და კოსმოსურ ტექნიკაში.

თავი 3. მარმირებელი ბოჭკოვანი შემავსებლები

ბოჭკო წარმოადგენს მოქნილ, მტკიცე, გრძელ, დაფისმაგვარ ტანს, რომლის სიგრძე მნიშვნელოვნად აღემატება განიკვეთის ზომებს. არსებობს ნატურალური (ბუნებრივი), მცენარეული (ბამბა, სელი, ჯუთი), ცხოველური (მატყლი, აბრეშუმი), მინერალური (აზბესტი) წარმოშობის და ქიმიური ბოჭკოები, რომლებიც თავის მხრივ იყოფიან ხელოვნურ და სინთეზურ ბოჭკოებად. ხელოვნური მიიღება ღალ-მოლეკულური ბუნებრივი ნაერთის – ცელულოზასგან. ცელულოზა იწარმოება მერქნისგან ან ბამბეულის მრეწველობის ნარჩენებისგან, ცხოველური და მცენარეული ცილებისგან (ზეინი, კაზეინი). სინთეზური ბოჭკო მზადდება სინთეზური პოლიმერებისგან: პოლიეთილენტერეფთალატი, პოლიამიდი, პოლიაკრიონიტრილი, პოლიურეთანი, პოლივინილის სპირტი, პოლივინილქლორიდი, პოლიონეფილები და სხვ. ბოჭკო შეიძლება დამზადდეს როგორც გრძელი უწყვეტი დაფის სახით, ისე მოკლე ბოჭკოების სახით (შტაპელური). კონსტრუქციული პლასტმასების წარმოებაში (მინაპლასტიკი, მინატექსტოლიტი) მარმირებლად ფართოდ გამოიყენება მინის ბოჭკო.

არსებობს ბოჭკოს მრავალი სახეობა: აზბესტის, არამიდის, ბაზალტის, ბორის, კაპრონის, კიდური, მერქნის, მინერალური, მინის, მცენარეული, ნახშირბადის, ნეილონის, ორგანული, პოლიეთილენის, პოლისტირენის, საფეიქრო, საფირონის, სელის, სინთეზური, ტექნიკური, ქიმიური, ქოქოსის, შტაპელის, ცხოველური, წმინდა, ხელოვნური და სხვ.

ბოჭკოს შეიძლება ჰქონდეს სხვადასხვა დიამეტრი, თუმცა კომპოზიტებში ძირითადად გამოიყენება ბოჭკოები დიამეტრით 6-10 მკმ, რაც გაცილებით ნაკლებია ადამიანის თმის დიამეტრზე (50 მკმ). სამრეწველო მინის ბოჭკოს დიამეტრია ≈ 8 მკმ, მაღალი სიმტკიცის არამიდის – ≈ 13 მკმ, ზემაღალი სიმტკიცის ნახშირბადის – ≈ 6 მკმ. უფრო მსხვილია ბორის ბოჭკოები – ≈ 50 მკმ (გამოწვეულია მიღების განსაკუთრებულობით). რაც ნაკლებია ბოჭკოს დიამეტრი, მით მეტია მისი სიმტკიცე. დისპერსიულ კომპოზიტებში 10 მკმ დიამეტრის გამოყენებისას მაქსიმალურ სიმტკიცეს იძლევა 0,5-5 მმ სიგრძის ბოჭკოები. მაღალი სიმტკიცის კომპოზიტებში კი გამოიყენება უწყვეტი ბოჭკოები, რომელთა სიგრძე კილომეტრობით იზომება.

მარმირებელი ბოჭკოების ძირითადი ტიპები (ნახშირბადის, მინის), მზადდება წრიული, სამკუთხა, რომბული, კვადრატული და სხვ. ფორმის განიკვეთებით.

კომპოზიტის სიმტკიცეზე დიდ გავლენას ახდენს მასში ბოჭკოების შემცველობა. რაოდენობის გაზრდა იწვევს დრეკადობის მოდულისა და გაჭიმვაზე სიმტკიცის ზღვრის გაზრდას.

ბოჭკოვანი პოლიმერული კომპოზიტების თვისებები, განსაკუთრებით მექანიკური, განისაზღვრება, პირველ ყოვლისა, მარმირებელი ბოჭკოს ან დაფის სახე-

ობით, თვისებებით, განლაგებითა და ზომებით, ანუ მარმირებელი ბოჭკოვანი შემავსებლის აგებულებით. კონსტრუქციულ კომპოზიტურ მასალებში გამოყენებული მარმირებელი ბოჭკოები უნდა აკმაყოფილებდეს საექსპლუატაციო და ტექნოლოგიურ მოთხოვნებს. პირველს მიეკუთვნება მოთხოვნები, რომელიც უზრუნველყოფს მასალის სიმტკიცეს, სიხისტეს, სიმკვრივეს, სტაბილურობას განსაზღვრულ ტემპერატურულ ინტერვალში, ქიმიურ მედეგობას და ა. შ., ხოლო მეორეს – ბოჭკოების ტექნოლოგიურობა, რაც ითვალისწინებს მაღალტექნოლოგიური პროცესების საშუალებით დამზადდეს ძალოვანი კარკასი და მის საფუძველზე – ნაკეთობა.

მარმირებელ ბოჭკოებად გამოიყენება: ძაფი, მონობოჭკო, მავთული, ფიბრა, ჩალიჩი, ბადე, ლენტი, ქსოვილი, ტილო, ქაღალდი და სხვ. ამასთანავე უნდა გავითვალისწინოთ ის, რომ კომპოზიტის ხარისხი და თვისებები დამოკიდებულია არა მარტო ბოჭკოებისა და მატრიცის თვისებებზე, არამედ დაარმირების მეთოდზე. შესაბამისად შეიძლება გამოვყოთ შემდეგი ძირითადი ჯგუფები:

- ა) კომპოზიტები, შექმნილი ფენებისაგან, რომლებიც დაარმირებულია უწყვეტი, პარალელურად განლაგებული ბოჭკოებით;
- ბ) ქსოვილებით (ქსოვილური მასალებით) დაარმირებული კომპოზიტები;
- გ) კომპოზიტები, დაარმირებული მოცულობაში ქაოტურად განლაგებული დისკრეტული ბოჭკოებით.

კომპოზიტების დაარმირების სახეობა განისაზღვრება რამდენიმე ფაქტორით, როგორცაა:

- სივრცითი განლაგება, რაც საშუალებას იძლევა მარმირებელი კომპონენტი (ბოჭკო, ძაფი) განვალაგოთ მოქმედი ძალების მიმართულებით (მექანიკურად დატვირთულ კომპოზიტებში) ან თანაბრად (იზოტროპიულ კომპოზიტებში), შესაბამისად მაქსიმალურად გამოიყენება კომპოზიტისგან დამზადებული კონსტრუქციის მზიდუნარიანობა;
- მარმირებელი ელემენტების ოპტიმალური რაოდენობის შერჩევა (ხშირად მაქსიმალური);
- რთული ფორმის (მაგ., ორმაგი სიმრუდის) ნაკეთობის ზედაპირზე კომპოზიტური მასალის თანაბარი განაწილების შესაძლებლობა;
- ხელმისაწვდომობა და ეკონომიკური მოსაზრებები (არც თუ მაღალი თვისებების კომპოზიტებისათვის) და სხვ.

გასათვალისწინებელია ის, რომ ბოჭკოების სივრცითი განლაგებისას კომპოზიტურ სტრუქტურებში (ხაზოვანისაგან განსხვავებით), მექანიკური დატვირთვის მიმართულება ხშირად არ ემთხვევა ბოჭკოების მიმართულებას, რაც იწვევს ტრანსვერსალური (განივი) და ძვრის დაბეჭდვის გაჩენას, ადჰეზიური კონტაქტის რღვევას მატრიცასა და ბოჭკოს შორის და საბოლოო ჯამში – ლოკალურ დღვევას კონსტრუქციაში, რასაც ერთმნიშვნელოვნად მივყავართ კომპოზიტის მექანიკური თვისებების შემცირებისკენ. ამრიგად, კომპოზიტის დაპროექტებისას გადამწვეტი

მნიშვნელობა აქვს მარმირებელი ბოჭკოვანი შემავსებლის სტრუქტურის სწორ განსაზღვრასა და შესაბამისობას კონსტრუქციის საანგარიშო სქემასთან.

სტრუქტურული ელემენტების (ბოჭკო, ძაფი) განლაგების მიხედვით დაარმირებული ბოჭკოვანი შემავსებლები, პირობითად, შეიძლება დაიყოს რამდენიმე ჯგუფად:

- ა) ერთმიმართულებიანი;
- ბ) ორმიმართულებიანი;
- გ) სამმიმართულებიანი;
- დ) ირიბჯვარედინიანი;
- ე) ქაოსურად განლაგებული სიბრტყეში (შრეში);
- ვ) ქაოსურად განლაგებული სამგანზომილებიან სივრცეში.

კომპოზიტიური მასალის მარმირებელ შემვსებად, სინთეზური ფისის მატრიცით, გამოიყენება მინის, არამიდის, ნახშირბადისა და ბორის ბოჭკოები. მათი შედარებითი მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 3.1-ში

ცხრილი 3.1

თვისება	მინის	ბორის	ნახშირბადის	არამიდის
მექანიკური: კუთრი სიმტკიცე	მაღალი	მაღალი	საშუალო	ძალიან მაღალი
კუთრი მოდული	დაბალი	მაღალი	ძალიან მაღალი	საშუალო
წინაღობა დარტყმაზე	კარგი	დამაკმაყოფილებელი	ცუდი	კარგი
წაგრძელება		დაბალი	საშუალო	საშუალო
გაგლეჯის დროს სტაბილურობა	მაღალი	კარგი	საშუალო	კარგი
	კარგი			
თბოფიზიკური: თბოგამტარობა	დაბალი	საშუალო	მაღალი	დაბალი
ტემპერატურული გაფართოების კოეფიცი.	ი	საშუალო	ძალიან დაბალი	ძალიან დაბალი
	საშუალო			

დეფორმაცია საწარმოო- ტექნოლოგიურ ი: ლუნჯის რადიუსი	მაღალი	დამაკმ. დიდი	კარგი მცირე	ძალიან კარგი მცირე
მგრძობიარობა დაზიანებები- სადმი	მცირე	საშუალო	მაღალი	დაბალი
ლენტების და ქსოვილების გადამუშავების შესაძლებლობა	საშუალო	ცუდი	კარგი	კარგი
კარგი	კარგი	კარგი	კარგი	კარგი
დირეზულება	დაბალი	მაღალი	მისაღები	მისაღები

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილისა, გამოიყენება აგრეთვე ბაზალტის, საფირონის ბოჭკოები სილიციუმის კარბიდის საფუძველზე, პოლიეთილენის ბოჭკოები და სხვ. ლითონურ მატრიცის კომპოზიტებში გამოიყენება მავთული, დამზადებული ფოლადის, ვოლფრამის, ბერილიუმის, ტიტანის, ტანტალის, ნიობიუმისა და სხვა მეტალისგან. მარმირებელი ბოჭკო შეიძლება იყოს სტრუქტურით ერთგვაროვანი ან ანიზოტროპიული. მკვეთრად გამოსატყულები ანიზოტროპიული თვისებებით გამოირჩევა ორგანული, არამიდის, ნახშირბადისა და ბორის ბოჭკო, ხოლო მეტალური წარმოშობისა და მინის ბოჭკო ითვლება ერთგვაროვანად.

როდესაც საჭირო ხდება კომპოზიტის ან მის საფუძველზე დამზადებული ნაკეთობის მექანიკური მახასიათებლების უზრუნველყოფა, მიმართავენ კომბინირებულ და ჰიბრიდულ დაარმირებას. მაგ., ელექტროგამტარი კომპოზიტის დასამზადებლად, ძირითადი მარმირებელი ბოჭკოების პარალელურად, მატრიცას უმატებენ ელექტროობის გამტარ ნახშირბადის ბოჭკოებს ან ლითონის ძაფებს.

კონსტრუქციული, მაღალი სიმტკიცისა და მაღალმოდულური პოლიმერული კომპოზიტური მასალის შექმნაში დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მარმირებელი ბოჭკოს სიგრძეს, რომელიც ყველაზე მეტად გავრცელებულ მინის, ნახშირბადის, ბაზალტის, ბორისა და პოლიმერული ბოჭკოებისთვის შეადგენს 5-100 მკმ-ს, ხოლო მისი კრიტიკული სიგრძე იცვლება საზღვრებში 100 მკმ-დან (ნახშირბადის ბოჭკო) 400 მკმ-მდე (მინის ბოჭკო). სწორედ კრიტიკული სიგრძის სწორ შერჩევაზეა მნიშვნელოვნად დამოკიდებული კომპოზიტის ხარისხობრივი მახასიათებლები.

მოკლე ბოჭკოები სიგრძით 3-12 მმ გამოიყენება კონსტრუქციულ სხმულ და ექსტრუზიის მეთოდით მიღებულ მასალებში; სიგრძით 1-2 მმ – დასასხმელ კომპაუნდებში მცირე შეკლებით. გრძელი ბოჭკოები სიგრძით 15-70 მმ – წნეხ-მასალებად (ფენოლფორმალდეჰიდისა და პოლიეთერული ფისების საფუძველზე); უწყვეტი ბოჭკო – კონსტრუქციული პოლიმერული კომპოზიტური მასალებისათვის.

პოლიმერული კომპოზიტური მასალის ორგანული შემავსებელი წარმოადგენს მცენარეული წარმომავლობის დაბალფასიან ნივთიერებას, რომელიც პრაქტიკულად ხელმისაწვდომია ნებისმიერი რაოდენობით. მათ უმეტესობას, მაგ., ბამბასა და მცენარეულ ნარჩენებს, აქვთ ბოჭკოვანი სტრუქტურა და შედგება ძირითადად ცელულოზის, მცირე რაოდენობის ლიგნინისა და სხვა ნაერთებისგან. გარდა ბუნებრივისა, გამოყენებაშია, აგრეთვე, სინთეზური ორგანული მასალები (ორგანული ბოჭკოები).

როგორც სხვა სახის შემავსებლები, ისე ორგანული შემავსებლებიც, ანიჭებენ მათ საფუძველზე დამზადებულ პოლიმერულ კომპოზიტებს ახალ თვისებებს. მცენარეულ შემავსებლებს გაცილებით დაბალი ფასი აქვთ, ვიდრე პოლიმერულს, რომელთანაც ისინი ერევა, ამიტომ ეს დამატებითი სტიმულია მათი გამოყენებისა. მცენარეული შემავსებლები აუმჯობესებენ გადამუშავების პროცესებს და საშუალებას იძლევიან მოვანდინოთ საბოლოო პროდუქტის თვისებების მოდიფიცირება სასურველი მიმართულებით.

პლასტმასის მრეწველობის მოცულობის სწრაფმა ზრდამ, დღის წესრიგში დააყენა საკითხი რათა კომპოზიტური მასალების შემავსებლად გამოყენებული იქნას იაფი და ხელმისაწვდომი ორგანული მასალები. ასეთი კლასის მასალებს მიეკუთვნება: ხის ფქვილი, დაფქული თხილისა და კაკლის ნაჭუჭი, ბამბის ბოჭკოები, სახამებელი და ცილის შემცველი მცენარეული და ცხოველური წარმომავლობის მასალები და სხვ.

ორგანული შემავსებლის თითოეული კლასი განსხვავდება ნაწილაკების ფორმითა და შედგენილობით. ქვემოთ მოყვანილია ბუნებრივი და სინთეზური ორგანული შემავსებლების ჩამონათვალი:

ხის ფქვილი რბილი მერქნის: ფიჭვი ყვითელი, ფიჭვი თეთრი, ნაძვი ჩვეულებრივი, ღუგლასის სოჭი, კანადური სოჭი, სეკვოია; მაგარი მერქნის: კოპიტა, წიფელი, არყის ხე, ნეკერჩხალი, ნაძვის ქერქი; ნახერხი, ბურბუმულა, ნაფოტები; ნახერხი, დამუშავებული კაუჩუკით.

დაფქული კაკლის ნაჭუჭი: ნუში, გარგარის კურკა, ბრაზილიური კაკალი, კაკალი გუმბანგი, ქოქოსის კაკალი, ტყის თხილი, მიწის თხილი, ბერძნული კაკალი, კაკალი პეკანი.

მცენარეული ბოჭკოები: კანაფი, ქოქოსის კაკლის გული, ჩალიჩი; რამის ბოჭკო.

სხვა მასალები: სვიის ნარჩენი, ნახშირი, ანტრაციტის მტვერი, ტორფი, მურა ნახშირი, კოქსი; კორპი; სიმინდის ჩალა; ციტრუსების რბილუული (გამომშრალი); სახამებელი (სიმინდის, ბრინჯის, კარტოფილის, ხორბლის) და სხვ.

სინთეზური მასალები: აღდგენილი ცელულოზა [ვისკოზის ქსოვილი, ცელოფანი; პოლიაკრილნიტრილის ბოჭკო (ორლონი, დაინელი)]; ალიფატური (ნივთიერების ტიპი, რომელიც შედის არაარომატული კარბონატების ჯგუფში) პოლიამიდური (ნელონური) ბოჭკო; არომატული (არომატის მქონე, სურნელოვანი) პოლიამიდური (არამიდული) ბოჭკო; პოლიესტერის ბოჭკო (დაკრონი); პოლიტეტრაფთორეთილენის ბოჭკო (ტეფლონი); პოლივინილსპირტის ბოჭკო და სხვ.

ამჟამად მსოფლიო მრეწველობა აწარმოებს სხვადასხვა ტიპის ხელოვნურ ბოჭკოებს, რომელთა ნაწილის ტიპური მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 3.2-ში.

ცხრილი 3.2

ხელოვნული ბოჭკოების მახასიათებლები

ბოჭკოს დასახელება	სიმკვრივე ρ , კგ/მ ³	სიმტკიცე გაჭიმვაზე σ , მპა	კუთრი სიმტკიცე σ/ρ , (მპა·მ ³)/კგ	დრეკადობის მოდული E , მპა
E-მინა	2540	3400	1,34	70 000
S-მინა	2540	4200	1,65	90 000
ნახშირბადის (სტანდარტული მოდული)	1860	4100	2,2	230 000
ნახშირბადის (საშუალო მოდული)	1860	5400	2,9	280 000
ნახშირბადის მაღალმოდულური	1900	3400	1,8	440 000
არამიდული (სტანდარტული)	1450	4000	2,76	130 000
არამიდული (მაღალმოდულური)	1450	3400	2,34	185 000
ზემადალმოლეკულური პოლიეთილენის (სტანდარტული მოდული) (UHMW PE)	970	2600	2,68	120 000

ზემაღალმოლეკულური პოლიეთილენის (მაღალმოდულური) (UHMW PE)	970	3000	3,1	170 000
ბორის	2650	3500	1,32	390 000
კარბორუნდის (SiC)	3000	3400	1,13	414 000
ქსელის (აბლაბუდა)	1300	1000	0,77	95 000
ფოლადი	7850	1000	0,13	210 000
ალუმინი	2800	500	0,18	70 000
ტიტანი	4500	1150	0,26	172 000

ხელოვნური ბოჭკოების უმეტესობა დეფორმაციისას მუშაობს როგორც წრფივად დრეკადი მასალა.

3.1. მინის ბოჭკოები

მინა (შუშა) წარმოადგენს ხელოვნური ან მინერალური ნედლეულის დნობით მიღებულ მასალას, რომლის ყველაზე დამახასიათებელი თვისებებია შუქგამტარობა და სიხისტე. იგი პრივილეგირებული საშენი მასალაა, რომლის გამოყენების არეალი პრაქტიკულად ამოუწურავია. მინას ამზადებენ კვარციტის ქვიშისაგან, რომლის შემადგენლობა მინაში დაახლოებით 70 პროცენტია. ერთმანეთში არეული ქვიშა, კირქვა, დოლომიტი და შემაფერადებლები მინის ლეწთან ერთად თავდაპირველად თავსდება ბუნკერში, შემდეგ კი ავტომატური დანადგარის საშუალებით ღუმელში გასადნობად იყრება. არქიტექტურასა და მშენებლობაში მინა, როგორც წესი, გამოიყენება მასალად, რომელიც შუქს, სინათლეს ატარებს. არც ისე დიდი ხნის წინ მინას ამ მხრივ მეტოქე არ გააჩნდა, მაგრამ ახლაც, როცა გამოჩნდა ახალი შუქგამტარი პოლიმერული მასალები, მინა რჩება ძირითად მასალად სინათლის დიობებისათვის, ვინაიდან პოლიმერებისგან განსხვავებით იგი პრაქტიკულად არ ძველდება და არ იწვის. მინის, როგორც საშენი მასალის, ძირითად თვისებად ითვლება მისი ოპტიკური მახასიათებლები, რაც დაკავშირებულია ქიმიურ შემადგენლობასთან, სტრუქტურასთან, ზედაპირების მახასიათებლებთან და ასევე დამატებითი დამფარავი ფირების თვისებებთან. ამასთან, ყველაზე ძირითადად ითვლება სინათლის ოპტიკური დიაპაზონის გარდატეხის, გამტარობის, არეკვლისა და შთანთქმის მახასიათებლები და ასევე ფერადოვნება. იმისათვის, რომ მინას მივცეთ სასურველი ფერი, შემადგენლობაში ამატებენ მეტალის ჟანგულებს, მაგ., რკინის ჟანგის დამატებით იგი ხდება ცისფერი,

ურანის ჟანგის დამატებით – ღია ყვითელი, ნიკელის დამატებით – ყავისფერი. მინის უმთავრეს თვისებად ითვლება მის მიერ სინათლის გატარების უნარი. ეს თვისება ხასიათდება შუქგამტარობის კოეფიციენტით τ , რომელიც ტოლია მინაში გამავალი F_t და მასზე დაცემული F_i სინათლის ნაკადების ფარდობისა – $\tau = \frac{F_t}{F_i}$. შუქგამტარობის კოეფიციენტი პირდაპირაა დამოკიდებული მინის ზედაპირის ამრეკლავი და შთამნთქმელი თვისებისა, ამიტომ თეორიულად იდეალურ მინასაც კი არ შეუძლია გაატაროს სინათლის 92%-ზე მეტი, ვინაიდან მისი ორივე ზედაპირი აირეკლავს სინათლის სხივების მინიმუმ 8%-ს. მინის ბუნებრივ დაშლას სჭირდება დაახლოებით 1 მილიონი წელი. იგი არის ერთ-ერთი იმ იშვიათი მასალათაგანი, რომელიც გადამუშავების შემდეგ 100 პროცენტით ინარჩუნებს ხარისხს. მინა წარმოადგენს ამორფულ (კრისტალური აგებულების არმქონე) მასალას, რაც ნიშნავს იმას, რომ თუ ცხელ შუშას სწრაფად გავაცივებთ, იგი არ გამყარდება. როცა მინა ტყდება, ბზარი მოძრაობს 4828 კმ/სთ სიჩქარით. ყველაზე სქელი მინა გამოყენებულია სიდნის (ავსტრალია) აკვარიუმში. მისი სისქეა 26 სმ, ხოლო ეკრანის ზომებია 7×4 მ. თუმცა უფრო დიდი აკვარიუმებისათვის გამოიყენება პანელები აკრილისაგან. ყველაზე დიდი აკრილის პანელი, რომელიც შესულია გინესის რეკორდების წიგნში, არის ღუბაის აკვარიუმში და მისი ზომებია 8×32 მ., სისქე 75 სმ. მინის სიმტკიცეს ძალიან ამცირებს ნაკაწრები, რაზედაცაა დაფუძნებული მისი დაჭრა ალმასით. სიმტკიცე კუმშვაზე დიდი აქვს – 900-1000 მპა, ე.ი. თითქმის ისეთივე, როგორც ფოლადსა და თუჯს. მინის სამშობლოდ ითვლება არაბული სამყარო, კერძოდ, ეგვიპტე, სადაც მინის დამზადება დაიწყო 5000 წლის წინ. არსებობს მინის მრავალი სახეობა: ამნთები, აპლანატური, ამოზნექილი, აფსკური, აქრომატული, ბარიუმიანი, ბორ-სილიკატური, ბოჭკოვანი, ბოჰემის, ბროლის, ბრტყელჩაზნექილი, გამადიდებელი, გაუმჭვირი, გახეხილი, დაარმირებული, დაბურული, დარტყმამედეგი, დაფუჭვილი, დაყუჩებული (დამშვიდებული, დაწყნარებული), ერთნახევრიანი, ვულკანური, ზეთსაზომი, თეთრი, თხევადი, კალიუმის, კარის, კვარცის, კირის, კრიოლითის, ლალის, ლურჯი, მარმარილოსებრი, მიხეხილი, მოჯავშნული, მქრქალი, მწვანე, მხატვრული, ნაბერი, ნაზოლიანი, ნალუნი, ნახევრად თეთრი, ოპალის, ოპტიკური, ორგანული, ორმაგი, ორმხრივამოზნექილი, პრიზმული, რძისფერი, საავიაციო, საათის, საბოთლე, საკონტროლო, სამშენებლო, სარკის, სასაგნო, საჩუქურთმო, საჭვრეტი, საჭურჭლე, სახიანი, სმარტ-მინა, სოდა-პოტაშის, სხმული, ტალღოვანი, ტყვიაშეუღწევი, ტყვიანი, უბრალო, უვიოლური, უმტვრევი, უნამსხვრევო, უჯრედოვანი, ფანჯრის, ფასონური, ფერადი, ფილიგრანული, ფურცლოვანი, ქარსარიდი, ქაფმინა, შეფერილი, შრეული, შუქგამბნევი, ჩაზნექილი, ცალმაგი, ძნელდნობადი, წახნაგოვანი, წნეხილი, წყალმაჩვენებელი, წყალსაზომის, ჭირხლისებრი, ხსნადი და სხვ.

მინის ბოჭკო წარმოადგენს მასალას, შედგენილს მინის წვრილი ბოჭკოების ერთობლიობისაგან (სურ. 3.1). იგი პირველად მიიღო 1893 წელს ამერიკელმა მეცნიერმა ედუარდ დრამონდ ლიბიმ; ბოჭკოს ტექსტურა და დიამეტრი აბრეშუმის ძაფის ანალოგიური იყო.

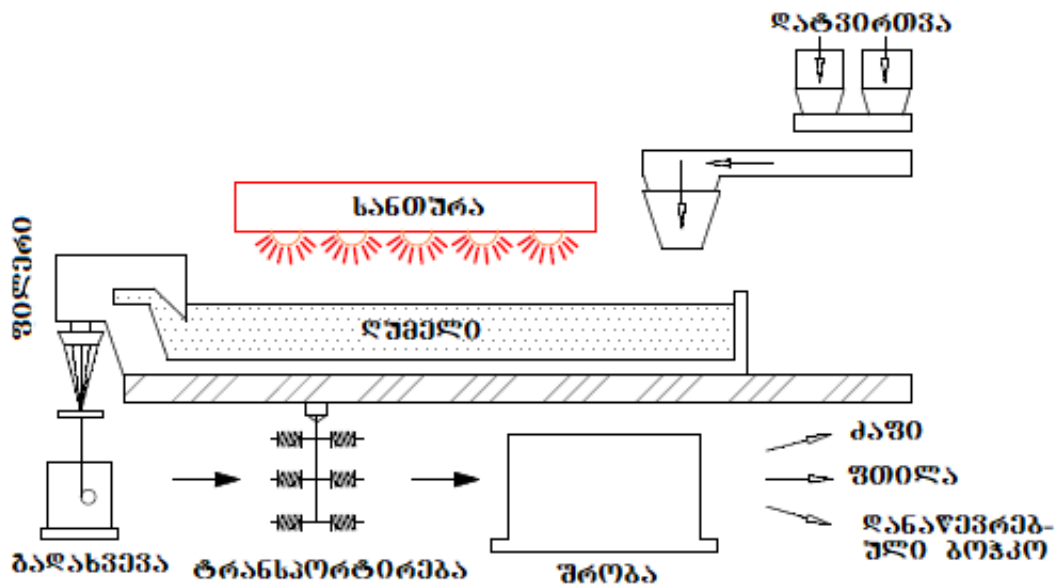


სურ. 3.1. მინის ბოჭკოები

მინის ბოჭკო ფართოდ გამოიყენება არალითონური კონსტრუქციული კომპოზიტის – მინაპლასტიკის წარმოებაში. მიუხედავად დაბალი სიმკვრივისა, აქვს მაღალი სიმტკიცე, მედეგობა ქიმიური და ბიოლოგიურად აგრესიული გარემოს მიმართ, გამოირჩევა დარტყმა და თბომედეგობითა, დაბალი თბოგამტარობით, სიიაფით, წარმოებისა და გადამუშავების სიმარტივით და სხვ.

უარყოფითი თვისებებიდან აღსანიშნავია დაბალი სიხისტე და ტენმედეგობა, რის გამოც ნაკეთობა არ იძლევა ბოჭკოების სიმტკიცის სრული რეალიზაციის შესაძლებლობას.

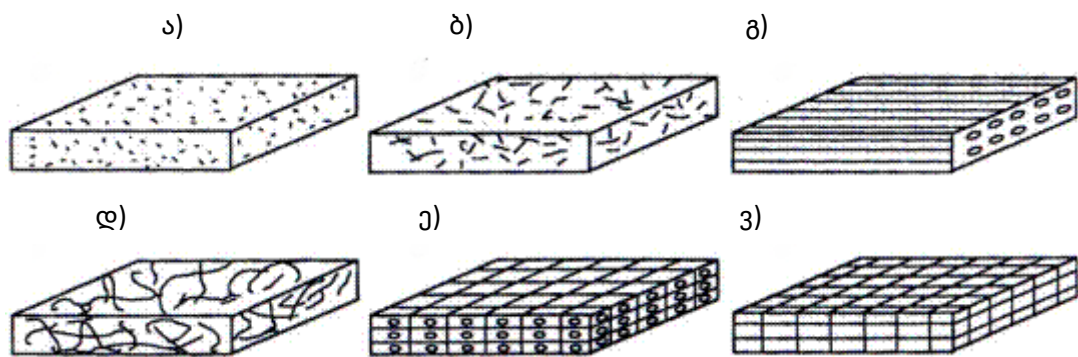
მინის ბოჭკოს საწყისი ნედლეულია სილიკატური (კვარცის) ქვიშა, ძირითადი დანამატი (კირქვა, ბორის მჟავა) და მეორეხარისხოვანი დანამატი (თიხა, ქვანახშირი და მლხობი შპატი). მათ ურევენ და ალღობენ. კვარცის დნობის ტემპერატურაა 1610°C, ხოლო კომპონენტების ნარევის უფრო დაბალია – 1200°C.



სურ. 3.1. უწყვეტი მინის ბოჭკოს მიღების სქემა

მინის ბოჭკოს მიღების ტექნოლოგია (სურ. 3.1) შემდეგია: ნედლეული მიეწოდება ჩასატვირთ ბუნკერს, აირევა და გადადის ღუმელში. გამდნარი მასა ტარდება

0,8-3 მმ ფილერში, რომელიც წარმოადგენს კოროზიამდე ლითონის ფირფიტას (როგორც წესი, პლათინისგან დამზადებულს) 200-1200 ნახვრეტით, რომლებშიც ჩამოედინება მდნარი მინა ძაფების სახით. შემდეგ ეს წაგრძელებული ძაფები ცივდება ჰაერის ნაკადით ან წყლის შხეფებით, გაიპოხება აპრეტით (უმეტესად პარაფინის ემულსიით) და დაეხვევა მბრუნავ დოლზე. ბოჭკოს დიამეტრი დაახლოებით 10 მიკრონის ტოლია, სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე – 3400-4200 მპა, დრეკადობის მოდული – 70000-90000 მპა. გამოიყენება უწყვეტი და დანაწევრებული სახით (სურ. 3.2. კომპოზიტის დაარმირების სქემები: ა-ერთმიმართულე-ბიანი; ბ-ორმიმართულებიანი; გ-ირიბჯვარედინიანი; დ-კომბინირებული; ე-ქაოსური). დანაწევრებული წარმოადგენს ქაოსურად განლაგებულ 50 მმ-მდე სიგრძის ბოჭკოების ერთობლიობას.



სურ. 3.2. კომპოზიტის განმტკიცების (დაარმირების) სქემები: ა – დისპერსიული შემავსებლით; ბ – დისკრეტული ბოჭკოებით; გ – ერთმიმართულებიანი ბოჭკოებით; დ – ქაოსურად განლაგებული ბოჭკოებით; ე – ფენოვანი შემავსებლით; ვ – მოცულობით-დაარმირებული ბოჭკოებით

კუმშვაზე მომუშავე კომპოზიტებისათვის ბოჭკოს დიამეტრი მიიღება 20 მკმ. უფრო მსხვილი ბოჭკოების გამოყენება მიზანშეუწონელია, რადგან ასეთი ბოჭკოები იმსხვრევიან გადაღუნვის დროს.

ერთმიმართულებიანი დაარმირების სქემის დროს ბოჭკოების მიმართულება ემთხვევა საანგარიშო ძალის მიმართულებას; **ორმიმართულებიანის** დროს – ბოჭკოები მიმართულია ორი ურთიერთმართობი მიმართულებით, რომლებიც ემთხვევა საანგარიშო ძალების მიმართულებებს (ამ შემთხვევაში დაარმირების პროცენტი სხვადასხვა მიმართულებით შეიძლება იყოს ერთნაირი ან განსხვავებული); **ქაოსურის** დროს – ბოჭკოები უწესრიგოდ არის განლაგებული; **დისპერსიულ** შემავსებლად გამოიყენება სულფატური ცელულოზა, გრაფიტი, სილიციუმის ორჟანგი, ალუმინის, კალციუმისა და მაგნიუმის ორჟანგები, ლითონული ფხვნილები; **ბოჭკოვანი** შემავსებლად გამოიყენება მინის, ბორის, ნახშირბადის, სინთეზური და სხვ. ბოჭკოები; **ფენოვანი** შემავსებლებიდან უპირატესობა ენიჭება მინისა და ნახშირბადგრეფიტის ქსოვილებს, ქაღალდს, ასევე გამოიყენება ალუ-

მინის, ტიტანის, სპილენძის, ნიკელის, კობალტის ფურცლები და ფოლგები; **მოცულობით-დაარმირებულ** მასალებს საკმაოდ რთული აგებულება აქვთ შემავსებლის სხვადასხვა განლაგებით. მასალად კი გამოიყენება ისეთივე მასალები, როგორც ბოჭკოვან კომპოზიტებში.

გვხვდება ასევე ბოჭკოების **ირიბჯვარედინი** განლაგება როდესაც ბოჭკოების მიმართულება კუთხეს ქმნის საანგარიშო ძალის მოქმედების მიმართულებასთან და **კომბინირებული** – ბოჭკოების ორიენტაციით სხვადასხვა მიმართულებით ისე, რომ მივიღოთ შედარებით თანაბარმტკიცე მასალა.

არსებობს მინის ბოჭკოს მიღების სამი ძირითადი ხერხი: ერთსტადიანი პროცესი – მინის გამდნარი მასიდან, ფილერების გავლით, ბოჭკოს წაგრძელება (გამოწელება, გამოქაჩვა) (იხ. სურ. 3.2); ორსტადიანი პროცესი – გაცხელებული მინის ღეროებიდან (ან ბურთულებიდან) ბოჭკოების წაგრძელება და შტაპელური ბოჭკოს მიღება მინამასის ჭავლზე ცენტრიდანული ძალების ან აირის, ორთქლის ნაკადის ზემოქმედების გზით.

ყველა კომპოზიციისათვის მინის ღრობის ტემპერატურა სხვადასხვაა, თუმცა, იგი საშუალოდ შეადგენს 1260°C.

მიღებული პირველადი მინის ძაფი შემდეგ ექვემდებარება საფეიქრო დამუშავებას – გასუფთავება, შეგრეხა კომპლექსურ ძაფად და სხვ.

ამჟამად, არსებობს ღიდი რაოდენობა სხვადასხვა მარკის მინისა, რომლისგან მიღებული მინაბოჭკოები ხასიათდება გაუმჯობესებული მახასიათებლებით – სიმტკიცით, სიმკვრივით, მაღალი ქიმიური, ბიო და ელექტრომედეგობითა და სხვ. მინაბოჭკოს ძირითადი მოცულობა იწარმოება ალუმინობორსილიკატური მინისგან მარკით „E“ (ბოჭკო E-glass), მაღალი სიმტკიცის მინისაგან მარკით „S“ (ბოჭკო S-2 glass) და მაღალმოდულური მინისგან მარკით „BM-1“. ამჟამად, დასავლეთის ქვეყნებში დამუშავებული იქნა ტუტემედეგი მინის ბოჭკო (AR) ცირკონიუმის საფუძველზე, რომელსაც წარმატებით იყენებენ ისეთი დეტალებისა და კონსტრუქციების დასამზადებლად, რომლებსაც ექსპლუატაცია უხდებათ ტუტე გარემოში.

3.2. ორგანული ბოჭკოები

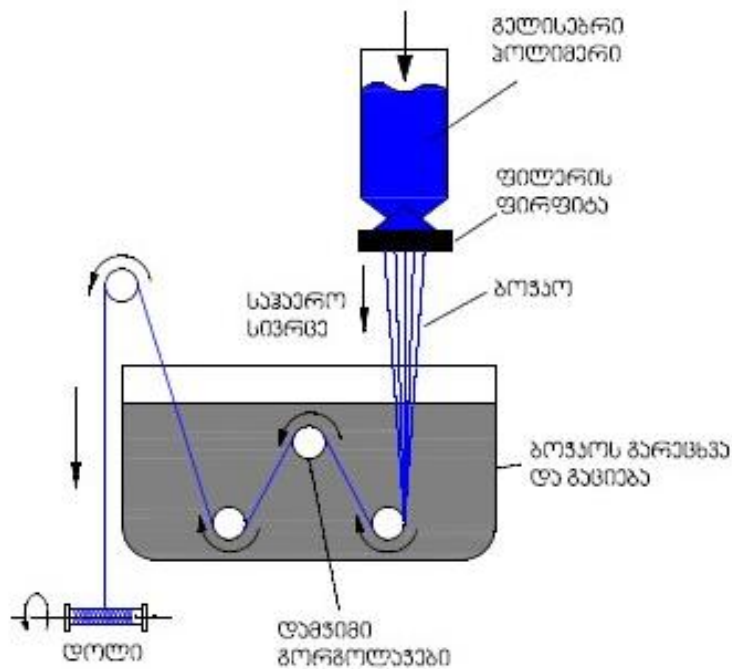
ახალი სინთეზური (ორგანული) მასალების შექმნაში მიღწეულმა პროგრესმა განაპირობა მათი ფართო გამოყენება მარმირებლად თანამედროვე პოლიმერულ კომპოზიტურ მასალებში, რასაც ხელი შეუწყო ორგანული მასალების სიაფემ ბუნებრივთან მიმართებით, მაღალმა ტექნოლოგიურობამ, სახეების მრავალფეროვნებამ, შესანიშნავმა ფიზიკურ-მაქანიკურმა თვისებებმა და ა. შ.

მაღალი სიმტკიცისა და მაღალმოდულურ ორგანულ ბოჭკოებს არომატული პოლიამიდების (არამიდი) საფუძველზე აქვთ უნიკალური თვისებების კომპლექსი: მაღალი სიმტკიცე და დრეკადობის მოდული, თერმოსტაბილურობა, რომელიც უზრუნველყოფს მათ ექსპლუატაციას ღიდ ტემპერატურულ ინტერვალში, კარგი

დარტყმამდეგობა, უწყადობა, ამაღლებული დაძველებითი და დიელექტრიკული თვისებები.

კომპოზიტურ მასალებში ორგანულს მიეკუთვნება არამიდული (სავაჭრო მარკები კევლარი, ტვარონი, რუსარი, არმოსი), ზემადალმოლეკულური პოლიეთილენი (UHMW PE – Ultra-high molecular weight polyethylene) და ნეილონური ბოჭკოები.

არამიდული ბოჭკოების (კევლარი და UHM - ზემადალმოლეკულური) წარმოება დაიწყო 1970-იანი წლების დასაწყისში აშშ-სა და საბჭოთა კავშირში. თავდაპირველად კევლარს იყენებდნენ საბურავების დაარმირებისათვის, შემდეგ კი ჯავშანჭილეთების დასამზადებლად. თანდათან დაიწყო არამიდული ქსოვილების გამოყენება ბალისტიკური რაკეტების კორპუსების, პარაშუტების, იახტის იალქნების, დამცავი ხეთათმანებისა და ტანსაცმლის წარმოებაში და სხვ.



სურ. 3.3. არამიდის ბოჭკოს წარმოების პროცესი

არამიდული ბოჭკოს მიღების ტექნოლოგია შემდეგია: არამიდის ბოჭკო მიიღება გელ-ფორმირების მეთოდით (სურ. 3.3), რომელიც წარმოადგენს ქიმიური ბოჭკოს ფორმირების კომპლექსურ პროცესს. იგი იწყება პოლიარამიდის სინთეზით. მიღებულ პოლიმერს რეცხავენ და ხსნიან კონცენტრირებულ გოგირდმჟავაში. წარმოიქმნება ხისტჯაჭვური პოლიმერი, რომლის მოლეკულები ისე განლაგდებიან, რომ მიიღება ხისტი ღეროები, რომლებიც ქმნიან გელისებურ ნივთიერებას მოლეკულური ურთიერთქმედების შედეგად. ფილერებში ამ ღეროების ორიენტაცია ემთხვევა ბლანტი მასის დენადობის მიმართულებას, ამასთანავე პოლიმერის

ხსნადობა უარესდება, იგი თავიდან იშორებს გოგირდმჟავას და წარმოქმნის უწყვეტ ბოჭკოს. ფორმირების შემდეგ ბოჭკოს ასუფთავებენ და აშრობენ. ხისტჯაჭვური სტრუქტურის გამო ბოჭკო ორიენტირებულ თერმოგაჭიმვას არ საჭიროებს. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ ამჟამად, ბოჭკოს ფორმირების ბოლო სტადიაზე დაიწყეს ეს პროცესი (20-30%), რომელიც ამაღლებს ბოჭკოს დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობასა და სიმტკიცეს (15-20%-ით). მხოლოდ ამის შემდეგ ახვევენ მას დოლზე.

მინისა და ნახშირბადის ბოჭკოებისგან განსხვავებით, არამიდის ბოჭკოები გაპოხვას არ საჭიროებენ. ადჰეზიის გასაუმჯობესებლად კველარის ბოჭკოებს ზოგჯერ ფარავენ აპრეტებით (ქსოვილის გასაჟღენთი ნივთიერება). რუსული წარმოების ბოჭკოებს (UHM, არმოს და რუსარ) პოლიმერულ მატრიცებთან კარგი ადჰეზიური თვისებები აქვთ და ამიტომ აპრეტირებას არ საჭიროებენ.

არამიდული ბოჭკოს კუთრი სიმტკიცე (მასალის სიმტკიცის მახასიათებლის ფარდობა ამ მასალის სიმკვრივესთან) დაბალი სიმკვრივის გამო აჭარბებს დღეისათვის ცნობილ ყველა მაარმირებელ ბოჭკოს და ლითონურ შენადნობს, თუმცა კუთრი დრეკადობის მოდულის (იუნგის მოდული, გამოსახული პასკალებში ან N/m^2 , გაყოფილი კუთრ წონაზე N/m^3 , გაზომილი $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ტემპერატურისა და $50 \pm 5\%$ ფარდობითი ტენიანობის პირობებში) მიხედვით ჩამორჩება ნახშირბადისა და ბორის ბოჭკოებს.

პოლიმერის შემადგენლობაზე და ფორმირების მეთოდზე დამოკიდებულებით მიიღება ორგანული ბოჭკო, რომელსაც აქვს სიმკვრივე $1410-1450 \text{ კგ/მ}^3$ და სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე – 2,6-5,9 გპა (2600-5900 მპა). ბოჭკო ინარჩუნებს საწყის მახასიათებლებს 180°C ტემპერატურამდე, ხოლო ტემპერატურის მატებისას კი არ დნება, არამედ განიცდის კარბონიზაციას. კრიოგენული ტემპერატურა (დაბალ ტემპერატურასთან, ვაკუუმთან, გაყინვასთან დაკავშირებული) არ იწვევს ბოჭკოს გამყიფებას. გაგლეჯისას ორგანული ბოჭკო მაღალი დრეკადობის მოდულითა და დიდი ზღვრული წაგრძელებით, გამოირჩევა მაღალი დარტყმითი სიბლანტით და დაზიანებებისადმი დაბალი მგრძობელობით. კუმშვაზე მუშაობის თვალსაზრისით, ორგანული ბოჭკოებით დაარმირებული კომპოზიტი მნიშვნელოვნად ჩამორჩება მინაბოჭკოთი დაარმირებულს. მიხედვად იმისა, რომ ორგანული ბოჭკო ტექნოლოგიურია, იგი უფრო ცუდად ეთავსება პოლიმერულ შემკვრელს, ვიდრე მინის.

ორგანული ბოჭკოების საერთო უარყოფითი მხარეა – ტენის სორბირება (შთანთქმა), რაც იწვევს თვისებების გაუარესებას 15-20%-ით.

ორგანული ბოჭკო გამოირჩევა კარგი საფეიქრო გადამუშავების უნარით, ინარჩუნებს რა ქსოვის შემდეგ ძაფის სიმტკიცის 90%-ს. ეს თვისება საშუალებას იძლევა ასეთი ბოჭკოები წარმატებით იქნას გამოყენებული მაარმირებლად სხვადასხვა ქსოვილურ მასალებში.

მე-20 საუკუნის 80-იან წლებში დამუშავებული იქნა ტექნოლოგია პოლიეთილენის მსუბუქი (სიმკრივე 970 კგ/მ³) ბოჭკოს მისაღებად, რომელსაც ჰქონდა არამიდული ბოჭკოს შესაბამისი დრეკადი და სიმტკიცის მახასიათებლები. ესენი იყო: სპექტრა (აშშ), დაინემა (ნიდერლანდების სამეფო), ტეკმილონი (იაპონია).

პოლიეთილენურ ბოჭკოს გააჩნია დაბალი თბომდეგობა (დაახლოებით 127°C ტემპერატურამდე), მაგრამ დაბალი სიმკვრივის, აგრესიული გარემოს მიმართ მდგრადობის, აბრაზიულობისა და სხვა დადებითი თვისებების გამო, წარმოადგენს პერსპექტიულ მაარმირებელ მასალას.

ორგანული ბოჭკოების საფუძველზე შექმნილი მასალები წარმატებით გამოიყენება ელექტროხელსაწყოების კორპუსების, წნევის ქვეშ მომუშავე ჭურჭლის, პლანერების, საყოფაცხოვრებო ნივთების დასამზადებლად და სხვ.

3.3. ნახშირბადის ბოჭკოები

ნახშირბადი ქიმიური ელემენტია, რომლის სიმბოლოა C; სიმკვრივე – 1800-2100 კგ/მ³ (გრაფიტი 2267 კგ/მ³; დიამონდი 3515 კგ/მ³); სუბლიმაციის (აქროლების) ტემპერატურა – 3642°C; დუდილის ტემპერატურა – 3506,85°C; კრიტიკული წერტილი – 3856,85°C. მიეკუთვნება არამეტალებს. ცნობილია მისი რამდენიმე ალოტროპიული სახეცვლილება – გრაფიტი, ალმასი და ამორფული ნახშირი. ალმასი ცნობილია, როგორც უფერო, გამჭვირვალე, ძალიან მაგარი ნივთიერება, გრაფიტი კი შავი ფერის, რბილი ნივთიერებაა, რომელიც ფურცელზე ტოვებს კვალს. არაორგანული ნახშირბადის უდიდესი წყაროა კირქვა, დოლომიტი და ნახშირბადის ორჟანგი (დიოქსიდი), თუმცა მნიშვნელოვანი რაოდენობა გვხვდება ქვანახშირის ორგანულ ფენებში, ნავთობში, ტორფში. მეოთხე ელემენტია მთელ სამყაროში გავრცელების მიხედვით – წყალბადის, ჰელიუმის და ჟანგბადის შემდეგ (მასის მიხედვით). ნახშირბადის უნიკალური თვისება – დედამიწაზე არსებულ ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე წარმოქმნას პოლიმერული ფორმები, მას ხდის სიცოცხლის ქიმიურ საწყისად ყველა სხვა ცნობილ ელემენტებს შორის. ნახშირბადი ქმნის ათ მილიონამდე სხვადასხვა ნაერთს! ნახშირბადთან დაკავშირებული წყალბადი იძლევა სხვადასხვა ნახშირწყალბადს, რომლებიც მნიშვნელოვანია ინდუსტრიაში, როგორც გამაცივებელი აგენტები, ასევე გამხსნელები, საცხი ნივთიერებები; ასევე წარმოადგენენ ქიმიურ წყაროს პლასტმასებისა და საწვავი ნივთიერებების წარმოებაში. ჟანგბადთან და წყალბადთან შეერთებით ნახშირბადს შეუძლია მოგვცეს მნიშვნელოვანი ბიოლოგიური ნაერთები, მათ შორის შაქარი, ლიგნინი, ხიტინი, ალკოჰოლი, ცხიმი და არომატული ეთერი, კაროტინოიდი და ტერპენი. აზოტთან იგი წარმოქმნის ალკალიიდებს (მცენარეული წარმოშობის ტუტე თვისებების აზოტმემცველი ნივთიერება) და გოგირდთან შეერთებით იძლევა ანტიბიოტიკებს, ამინომჟავებსა და რეზინის პროდუქტებს. ნახშირბადი აღ-

მოჩენილი იქნა დიდი ხნის წინ და ცნობილი იყო ადრეულ ცივილიზაციაში ქვარ-ტლისა და ქვანახშირის სახით. ალმასს ჩინეთში ჯერ კიდევ ახ. წ.-მდე 2500 წლით ადრე იცნობდნენ. ნახშირბადი ქვანახშირის სახით რომის იმპერიის დროიდან მიიღებოდა იმავებივით, რაც დღეს – ხის მშრალი გამოხდით. 1722 წელს რიმორმა აჩვენა, რომ რკინა შეიძლება გადაიქცეს ფოლადად ზოგი ნივთიერების შთანთქმისას და ეს ნივთიერება ცნობილია, რომ არის ნახშირბადი. 1722 წელს ა. ლავუაზიემ უჩვენა, რომ ალმასი არის ნახშირბადის ფორმა, როდესაც იგი იწვის. კ. შეელემ უჩვენა, რომ გრაფიტი, რომელზეც ფიქრობდნენ, რომ იგი არის ტყვიის ერთ-ერთი ფორმა, სინამდვილეში არის ნახშირბადი. 1786 წელს ფრანგმა მეცნიერებმა კ. ბერთოლემ, გ. მონგმა და ს. ვანდერმონდმა შემდგომში უჩვენეს, რომ ეს ნივთიერება ნახშირბადია. ალმასის უმნიშვნელოვანესი ნაწილი დეპოზირებულია აფრიკაში, უმეტესად სამხრეთ აფრიკაში, ნამიბიასა და კონგოში. იგი არის აგრეთვე კანადაში, ბრაზილიაში, რუსეთის არქტიკაში, ავსტრიაში. გრაფიტის კომერციული ბუნებრივი მარაგი გვხვდება დედამიწის ბევრ ნაწილში, მაგრამ ყველაზე მნიშვნელოვანი წყაროა ჩინეთში, ინდოეთში, ბრაზილიასა და ჩრდილოეთ კორეაში. ნახშირბადის და მისი ნაერთების გამოყენების სფერო განუსაზღვრელია. დღეისათვის წარმოუდგენელია ნახშირბადის გარეშე ისეთი წარმოებების ფუნქციონირება, როგორიცაა: მეტალურგია, ქიმიური ინდუსტრია, პლასტმასები, მინა, საშენი მასალები, მსუბუქი მრეწველობა, კვების მრეწველობა, მედიცინა და ა. შ.

ნახშირბადის ბოჭკოების წარმოება დაიწყო 1960-იან წლებიდან და ხარისხი თანდათან უმჯობესდებოდა. ამჟამად ნახშირბადის ბოჭკოების სიმტკიცე 6000 მპა-საც კი აღწევს, ხოლო კუთრი სიმტკიცე ჩამორჩება მხოლოდ რუსული წარმოების არამიდულ ბოჭკოებს რუსარსა და არმოსს.

ნახშირბადის ბოჭკოს რთული სამგანზომილებიანი სტრუქტურა აქვს, რომლის საფუძველია თხელი მოღუნული გრაფიტის კრისტალები, რომლებიც ორიენტირებულია ბოჭკოს გრძივი ღერძის გასწვრივ.

ნახშირბადის ბოჭკოს აქვს უნიკალური მექანიკური და ფიზიკური თვისებები: მაღალი თბომდეგობა, ხახუნისა და თერმული გაფართოების დაბალი კოეფიციენტი, მაღალი მედეგობა ატმოსფერული ზემოქმედებისა და თერმული გაფართოების მიმართ, განსხვავებული ელექტროფიზიკური თვისებები (ნახევარგამტარიდან გამტარამდე), მაღალი კუთრი მექანიკური მახასიათებლები.

დამუშავების პირობებზე დამოკიდებულებით ნახშირბადის ბოჭკოები შეიძლება იყოს კარბონიზებული და გრაფიტიზებული. კარბონიზებული ბოჭკოების თერმული დამუშავების ტემპერატურა შეადგენს 900-2000°C, ნახშირბადის შემცველობით ბოჭკოებში – 80-99%. გრაფიტიზებულისათვის კი ეს ციფრებია: 3000°C და მეტი 99%-ზე). გრაფიტიზაციის საწარმოებლად, როგორც წესი, გამოიყენება კარბონიზებული ბოჭკო.

ნახშირბადის ბოჭკოების საწარმოებლად გამოიყენება მხოლოდ ბოჭკოვანი პოლიმერები, რომლებიც არ დნება თერმული დამუშავებისას და საბოლოო პროდუ-

ქტში უზრუნველყოფენ ნახშირბადის მაღალ შემცველობასა და მექანიკურ თვისებებს. ასეთ პოლიმერებს მიეკუთვნება: ვისკოზა ან პოლიაკრილნიტრილის ქიმიური ბოჭკოები, ნახშირის სქელფისი, ჰიდრატცელულოზური ბოჭკოები და ფენოლის ფისის საფუძველზე მიღებული ორგანული ბოჭკოები.

პოლიაკრილნიტრილის ბოჭკოებისაგან მიიღება მტკიცე მათალმოდულური ნახშირბადის ბოჭკოები. ამ ნედლეულის უპირატესობაა მიღების მარტივი ტექნოლოგია და მასალაში ნახშირბადის დიდი პროცენტული შემცველობა. უარყოფითი კი იგი არის, რომ გამოყოფს მომწამლავ ნივთიერებას – სინილმჟავას. ჰიდრატცელულოზურ ბოჭკოებს ეს უარყოფითი თვისება არ ახასიათებს, იაფიცაა, ამიტომ ნახშირბადის ბოჭკოების წარმოებაში მას, გამოყენების თვალსაზრისით, დიდი უპირატესობა აქვს პოლიაკრილნიტრილის ბოჭკოებთან შედარებით.

ნახშირბადის ბოჭკოების მიღების ტექნოლოგიური პროცესი მოიცავს შემდეგ სტადიებს: მასალის საფექრო მომზადება, დაჟანგვა, კარბონიზაცია და გრაფიტიზაცია.

ცელულოზური მასალის საფექრო მომზადება ითვალისწინებს ტენის, არაორგანული მინარეკვების და ორგანული ნივთიერებების (საპოხი პრეპარატების ჩათვლით) მოშორებას, რომელიც ხორციელდება გამხსნელებისა და ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებების გამოყენებით, რის შემდეგ, 15 სთ-ის განმავლობაში 100°C ტემპერატურის პირობებში, მიმდინარეობს შრობა.

ცელულოზის დაჟანგვა ხდება 350-400°C ტემპერატურაზე. ამ სტადიაზე მიმდინარეობს ძირითადი ქიმიური რეაქციები, შეიმჩნევა მასალის მასის მაქსიმალური დანაკარგები და პიროლიზური პროცესის შემდეგ დარჩენილი მასალა შეიცავს მხოლოდ 60-70% ნახშირბადს.

კარბონიზაცია (ხსნარის ან სითხის გაჯერება ნახშირმჟავა აირით) მიმდინარეობს უფრო მაღალ ტემპერატურაზე (900-1500°C). ამ სტადიაზე გრძელდება ქიმიური პროცესები, რომლის შედეგად ნარჩენები მდიდრდება ნახშირბადით. გარდა ამისა, კარბონიზაციის დროს იცვლება ბოჭკოს ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია პრაქტიკული მიზნებისათვის. კარბონიზაციისას დიდი მნიშვნელობა აქვს დანამატების ნაირსახეობას, ღუმელში არსებული გარემოს თვისებებს, ტემპერატურულ-დროით და ძალურ რეჟიმებს (ბოჭკოს გამოწევა-წაგრძელება). დანამატი-კატალიზატორი (ფოსფატები, ქლორიდები, სულფატები და სხვ.) უშუალოდ შეჰყავთ საწყის ბოჭკოებში, ან მიეწოდება ღუმელში. მათი მეშვეობით მათლდება ნახშირბადის შემცველობა მასალაში და მცირდება კარბონიზაციის ხანგრძლივობა. კარბონიზაციის პროცესი მიმდინარეობს აზოტის ან არგონის ნეიტრალური აირის გარემოში, რაც გამორიცხავს ცელულოზაზე ჰაერული ჟანგბადის ზემოქმედებას.

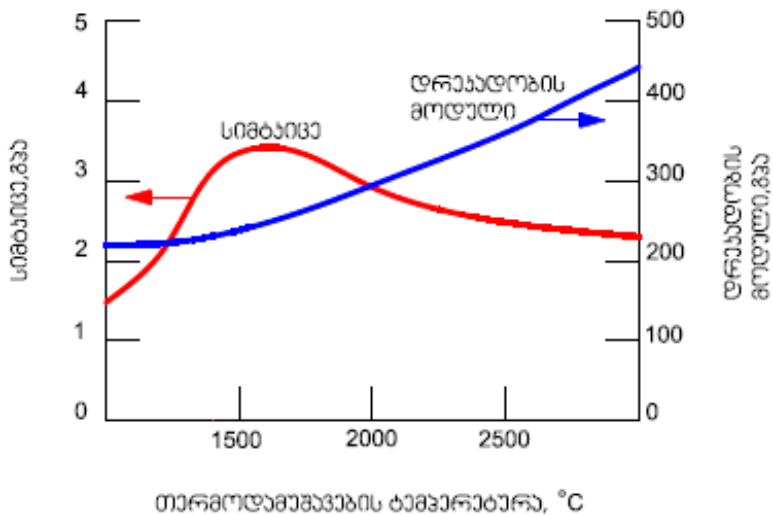
გრაფიტიზაცია არის გრაფიტის წარმოქმნა (გამოყოფა) რკინანახშირბადოვან მენადნობებში (თუჯი, ფოლადი) მაღალი ტემპერატურის პირობებში. ზრდის ნაკეთობის ცვეთამედგობას, მაგრამ, ზოგჯერ აუარესებს ლითონის სხვა საექსპ-

ლოატაციო თვისებებს. იგი არის თერმული დამუშავება გრაფიტირებული პროდუქციის წარმოებაში, როდესაც ხდება კარბონიზირებული ნახშირბადოვანი მასალის გაცხელება მაღალი ტემპერატურის რეჟიმში (>2200°C) მასში გრაფიტის სტრუქტურის მისაღებად.

გრაფიტიზაცია ტექნოლოგიური პროცესის სტადიაა, რომლის დროსაც ნახშირბადის ბოჭკოები არ ექვემდებარება მაღალტემპერატურულ დამუშავებას. მისი საწყისი ტემპერატურა განისაზღვრება კარბონიზაციის საბოლოო ტემპერატურით, რომელიც იცვლება საზღვრებში – 2600-2800°C. გრაფიტიზაციის პროცესში ხდება ბოჭკოების გამდიდრება შემცველობით მეტი 99%-ზე. ეს პროცესი მიმდინარეობს აზოტოვან გარემოში რამდენიმე წუთის განმავლობაში.

ნახშირბადის ბოჭკოების წარმოებაში მნიშვნელოვანი ეტაპია გამოწევა-წაგრძელება ცელულოზის ბოჭკოების ნახშირბადის ბოჭკოებად გარდაქმნის სტადიაზე, რომელიც საგრძნობლად აუმჯობესებს ბოჭკოს დრეკად თვისებებსა და სიმტკიცეს.

კარბონიზაციის პირველი სტადია მიმდინარეობს 200-300°C ტემპერატურაზე თავისუფალი შეკლების პირობებში. ამ ეტაპზე მასალა ნაკლებმტკიცეა და ფიზიკურად მისი გამოწევა შეუძლებელია. თერმული დამუშავების ხანგრძლივობა შეადგენს მაქსიმუმ 30 წუთს, ნახშირბადის შემცველობა მასალაში – 50-60%-ს. მეორე სტადიის დროს ტემპერატურა შეადგენს 500-1000°C, ნახშირბადის შემცველობა მასალაში იმატებს – 70-85%-მდე. მესამე სტადიაზე ტემპერატურა 1500°C-მდეა, ნახშირბადის შემცველობა ბოჭკოში კი უკვე აღწევს 100%-ს.



სურ. 3.4. ნახშირბადის გაჭიმული ბოჭკოების სიმტკიცისა და დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულება თერმოდამუშავების ტემპერატურაზე

ნახშირბადის ბოჭკოების სიმტკიცესა და დრეკადობის მოდულზე გავლენას ახდენს თერმოდამუშავების ტემპერატურა. ტემპერატურის მატებისას დრეკადობის მოდულის სიდიდე მონოტორულად იზრდება, ხოლო სიმტკიცე აღწევს რა მაქსიმუმს რაღაც ტემპერატურამდე, შემდეგ იწყებს კლებას (სურ. 3. 4), რაც აიხსნება იმით, რომ თერმოდამუშავების ტემპერატურის გაზრდით გრაფიტის კრისტალები ნაკლებად დეფექტური ხდება, კერძოდ იზრდება მისი ზომები. ეს კი იწვევს ძვრის დაბლების გაჩენასა და ბოჭკოს რღვევას.

ჰიდრატცელულოზური ბოჭკოების პარალელურად პოლიაკრილნიტრილის ბოჭკოებიც ნახშირბადის მასალების საწარმოებელი ერთ-ერთი ძირითადი ნედლეულია. მისგან მზადდება მაღალმტკიცე, მაღალმოდულური ნახშირბადის ბოჭკო, რომელშიც ნახშირბადის შემცველობა პოლიმერის მასის 40%-მდეა. პოლიაკრილნიტრილისგან ნახშირბადის ბოჭკოვანი მასალების მიღების პროცესი ისეთივეა, როგორც ვისკოზისგან.

ნახშირბადის ბოჭკოების წარმოების ყველაზე იაფ და ხელმისაწვდომ საწყის ნედლეულს წარმოადგენს, ოლიგომერული პროდუქტების რთული ნარევი, ნავთობისა და ქვანახშირის სქელფისი. მისგან ნახშირბადის ბოჭკოების მიღების პროცესი მოიცავს შემდეგ სტადიებს: სქელფისის (კუპრის ან ფისის გამოხდის მყარი ნარჩენი) მომზადება, ბოჭკოს ფორმირება, კარბონიზაცია და გრაფიტიზაცია. სქელფისის შედგენილობა და თვისებები დამოკიდებულია მის წარმომავლობასთან და იცვლება ფართო საზღვრებში, ამიტომ ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში სქელფისის მომზადება და გადამუშავება ბოჭკოს მისაღებად სხვადასხვაა.

კონსტრუქციული მასალების დაარმირებისათვის გამოყენებული ნახშირბადის ბოჭკოები პირობითად შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: მაღალმოდულური და მაღალმტკიცე.

ნახშირბადის ბოჭკოების საფუძველზე მიღებული კომპოზიტური მასალები-საგან მზადდება: სამფენოვანი პანელები, თვითმფრინავის მზიდი პანელები, აერო- და ჰიდროტურბინის ფრთები, კოსმოსური აპარატებისა და რაკეტების დეტალები, კონსტრუქციები, რომლებსაც მუშაობა უხდებათ ინტენსიური სითბური ზემოქმედების პირობებში და სხვ.

ნახშირბადის ბოჭკოებით დაარმირებული პოლიმერული კომპოზიტური მასალების წარმატებით გამოყენების მაგალითია მსოფლიოში ყველაზე მძლავრი საავიაციო ფირმა „ბოინგის“ (აშშ) მონაცემები, რომლის მიხედვით ბოინგ 787-ის კონსტრუქციებში ყველაზე დიდი წილი უჭირავს ნახშირბადპლასტიკებს (ცხრ. 3.3).

გასათვალისწინებელია ის, რომ მართალია ნახშირბადის ბოჭკოები არ განიცდიან კოროზიას, მაგრამ შეუძლიათ გამოიწვიონ ფოლადის ელექტროქიმიური კოროზია მასთან კონტაქტისას, გაუძლონ დიდ ციკლურ (პერიოდულ) დატვირთვებს, ხოლო დაბლების რელაქსაცია და თერმული გაფართოების კოეფიციენტი მათ ნაკლები აქვთ, ვიდრე წინასწარ დაძაბულ ბეტონებში გამოყენებულ ფოლადის ბაგირებს.

	მასალა	მასალის წილი მასის მიხედვით, %
1	კომპოზიტიური მასალები	50
2	ალუმინის შენადნობები	20
3	ტიტანის შენადნობები	15
4	ფოლადი	10
5	სხვა მასალები	5

3.4. ბორის ბოჭკოები

ბორი (ლათ. Borum) უფერო, რუხი, წითელი კრისტალური ან მუქი ამორფული ნივთიერებაა. ცნობილია მისი 10-ზე მეტი ალოტროპიული მოდიფიკაცია. ბორი წარმოადგენს ტრივიალურ მეტალოიდს, რომელიც დიდი რაოდენობით გვხვდება ბორაქსის და ალექსისტის აქროლად საბადოებში (სიმბოლო – B; სიმკვრივე – 2080 კგ/მ³; დნობის ტემპერატურა – 2076°C; დუღილის ტემპერატურა – 3928°C; სიმაგრე მოოსის სკალით 9,5). ამორფული ბორი მურა ფერის ფხვნილია, კრისტალური ბორი კი შავი ფერისაა, რომელიც საკმაოდ მძიმეა და ოთახის ტემპერატურაზე სუსტი გამტარია. ბორი მყიფე და ძალიან მაგარი ნივთიერებაა (ჩამორჩება მხოლოდ ალმასს, ნახშირბადის ნიტრიდს, ბორის ნიტრიდს, ბორის კარბიდს, ბორი-ნახშირბად-სილიციუმის შენადნობს, სკანდიუმ-ტიტანის კარბიდს). გამოიყენება დანამატების სახით ნახევარგამტარების ინდუსტრიაში, კომპოზიტიურ მასალებში, ხოლო მისი ნაერთები უმნიშვნელოვანეს როლს ასრულებენ როგორც მსუბუქი სტრუქტურული მასალები, ინსექტიციდები (მწერების საწინააღმდეგოდ), კონსერვანტები და რეაგენტები ორგანული სინთეზისათვის. პირველად მიღებულ იქნა 1808 წელს ფრანგი ფიზიკოსის ჟოზეფ ლუი გეი-ლუსაკის და ლუი ჟაკ ტენარის მიერ, ბორის ანჰიდრიდის B₂O₃-ის გახურებით ლითონურ კალიუმთან ერთად. ელემენტარული ბორი ბუნებაში არ გვხვდება. იგი შედის ბევრ ნაერთში და ფართოდაა გავრცელებული, განსაკუთრებით მცირე კონცენტრაციებით ბოროსილიკატების და ბორატების სახით, ასევე იზომორფული მინარევების სახით შედის ბევრი ამოფრქვეული და დანალექი ქანის მინერალებში. არის ნავთობში და ზღვის წყალში, მარილიან ტბებში, ცხელ წყაროებსა და ვულკანურ ტალახში. ბორის მინერალების ძირითადი ფორმებია: ბოროსილიკატები (დატოლიტი, დანბურიტი) და ბორატები (ბურა, ამარიტი, ჰიდრობორაციტი, ინიოიტი, კალიბორიტი). ბორის ბოჭკოები წარმატებით გამოიყენება თანამედროვე პოლიმერული კომპოზიტიური მასალების მატრიცების დაარმირებისათვის, სუფთა ბორი – მეტალურგიაში როგორც მიკრომალეგირებელი ელემენტი (მნიშვნელოვნად ზრდის ფოლადების გლინვა-

დობას), ბორის ნაერთები – გაზოდინამიკური საკისრების დასამზადებლად, ბორ-ნახშირბად-სილიციუმი – აბრაზიულ მასალად, ბორმჟავა – ატომურ ენერგეტიკაში, ბორწყალბადები – სარაკეტო საწვავად და სხვ.

ბორის ბოჭკოების წარმოება დაიწყო 1960-იან წლებში, რადგან მინის ბოჭკოებს დაბალი დრეკადობის მოდული გააჩნდა. მან ფართო გავრცელება ვერ პოვა ძალიან მაღალი ფასის გამო (1 კგ ბოჭკო 3000 ამერიკული დოლარი ღირს), მაგრამ მნიშვნელოვან როლს თამაშობს საავიაციო და კოსმოსურ მრეწველობაში. მისი გამოყენება კომპოზიტებში უზრუნველყოფს სიმტკიცის, დატლილობითი მახასიათებლებისა და დრეკადობის მოდულის მაღალ დონეს.

ბორის ბოჭკოების მიღების ტექნოლოგიას საფუძვლად უდევს ბორის დალექვა ვოლფრამის ძაფზე (დიამეტრი 10-12 მკმ), რომელიც მიმდინარეობს აირულ რეაქტორში (რეაქტორის სიგრძეა 2 მ-მდე). ვოლფრამის ძაფი ხურდება 1350°C ტემპერატურამდე მასში ელექტროდენის გატარებით. ბოჭკოს მისაღებად, წყალბადისა და ბორის ტრიქლორის (სამქლორიანი) ნარევიდან ბორი დაილექება ვოლფრამის მავთულზე, შემდეგი რეაქციით:



რეაქციის სიჩქარეა 0,9 კგ ბორი ერთ კვირაში. მიღებული ბორი რჩება ვოლფრამის მავთულზე, ხოლო ქლორწყალბადის აირი მიდის ატმოსფეროში ან ბრუნდება ახალ ტექნოლოგიურ ციკლში.

ასეთი ბოჭკოები მრეწველობაში მზადდება დიამეტრით 100, 140 და 200 მკმ. ბოჭკოში რომ იყოს ბორის მაქსიმალური შემცველობა და მექანიკური მახასიათებლების დონე, აუცილებელია რეაქტორში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესების ზუსტი დაცვა.

როდესაც საჭიროა მხურვალმედეგი თვისებების გაუმჯობესება, ბორის ბოჭკოს ზედაპირულად ფარავენ სილიციუმის კარბიდით.

სხვა მასალის ბოჭკოებისგან განსხვავებით ბორის ბოჭკოებს დიდი წინაღობა ახასიათებთ ძვრის დეფორმაციების წონააღმდეგ (ძვრის დრეკადობის მოდული 180 გპა), თუმცა აქვთ სიმტკიცის მნიშვნელოვანი სტატისტიკური გაბნევა (სიმტკიცის ვარიაციის კოეფიციენტი მერყეობს ზღვრებში 17-36%).

ბორის ბოჭკოები ძირითადად გამოიყენება კომპოზიტურ მასალებში ალუმინისა და პოლიმერული მატრიცებით.

ბორის ბოჭკოების უარყოფითი მხარეებია: სიძვრე, ექსპლუატაციის შეზღუდული ტემპერატურული რეჟიმი (400°C-მდე), სიმრუდის მცირე რადიუსი (მოითხოვს დიდი დიამეტრის გადასახვევ დოლებს) და სხვ.

თანამედროვე პირობებში ბორის ბოჭკოები ძირითადად გამოიყენება სარაკეტო და კოსმოსურ ტექნიკაში, ტენისისა და ბადმინტონის რაკეტების, ლიჟების, ჰოკეიკოხების, სათევზაო ანკესის ჯოხების დასამზადებლად, აგრეთვე მაღალი პასუხისმგებლობის კლასის მქონე შენობების ელემენტების რეკონსტრუქციისა და რემონტისათვის.

3.5. სილიციუმის კარბიდის ბოჭკოები

სილიციუმი [ლათ. *silex (silicis)* კაჟი] წარმოადგენს ოთხვალენტიან მეტალოიდს, ქიმიურ ელემენტს ატომური ნომრით 14, სიმბოლო – Si. სიმკვრივე – 2329 კგ/მ³ (თხევად მდგომარეობაში – 2570 კგ/მ³); დნობის ტემპერატურა – 1414°C; დუღილის ტემპერატურა – 3265°C; სიმაგრე მოოსის სკალით – 6,5. სილიციუმი სამყაროში გავრცელებით მერვე ელემენტია წონის მიხედვით, მაგრამ იგი ბუნებაში უძველესი დროიდან გვხვდება, როგორც თავისუფალი ელემენტი. ფართოდაა წარმოდგენილი ქვიშაში, მტვერში, პლანეტოიდებსა და პლანეტებში სილიციუმის დიოქსიდის სხვადასხვა ფორმით (კაჟმიწა) ან სილიკატების სახით. სილიციუმი დედამიწის ქერქში გავრცელებით მეორეა ჟანგბადის შემდეგ, რაც ქერქის 25,7%-ზე მეტს შეადგენს მასის მიხედვით. ოქსიდის ან სილიკატის ფორმით სილიციუმი გამოიყენება მინის, ცემენტისა და კერამიკის წარმოებაში. ბუნებრივი სილიციუმი ძლიერ ჰიგროსკოპული რუხი ფერის ფხვნილია და აქვს მეტალური ბზინვარება. იგი ერთადერთია იმ მცირერიცხოვან ნივთიერებებს შორის (მსგავსად წყლისა და გალიუმისა), რომელთა სიმკვრივე თხევად მდგომარეობაში მეტია, ვიდრე მყარ მდგომარეობში, რადგან იგი ფართოვდება გაყინვისას. სილიციუმი პირველად იდენტიფიცირებული იყო 1787 წელს ლაჟუაზიეს მიერ, როგორც კაჟის შემადგენელი კომპონენტი. ბუნებაში გვხვდება მხოლოდ ჟანგბადნაერთების სახით. სილიციუმის ორჟანგი – კაჟმიწა ცნობილია კვარცისა და მთის ბროლის სახელით. სხვადასხვა ოქსიდით შეფერილი SiO₂-ის კრისტალები ბუნებაში ძვირფასი ქვების სახით გვხვდება, როგორცაა – ამეთვისტო, აქატი, კვარცი, ქალკოდინი, იასპი (ეშმა), ოპალი და სხვ. სილიკატების შემადგენლობაში სილიციუმის და ჟანგბადის გარდა ხშირად გვხვდება მესამე ელემენტი – ალუმინი. ასეთ ნაერთებს ალუმინ-სილიკატები ეწოდებათ. ეს უკანასკნელი შეადგენს დედამიწის ქერქის ძირითად მასას. მას მიეკუთვნება ფართოდ გავრცელებული მინერალი მინდვრის შპატი (სილიციუმისა და ალუმინის ჟანგების გარდა შეიცავს კალიუმის, ნატრიუმის ან კალციუმის ჟანგებს). მინდვრის შპატიდან მიიღება თეთრი თიხა კაოლინი (Al₂O₃×2SiO₂×2H₂O). ჩვეულებრივი თიხა წარმოადგენს რკინის ჟანგებითა და სხვა მინარევებით შეფერილ კაოლინს. ბუნებაში გავრცელებული ალუმინსილიკატებისაგან ასევე მნიშვნელოვანია აზბესტი, ტალკი, თეთრი ქარსი. სილიციუმს იყენებენ მეტალურგიაში კოროზიისადმი მედეგი სილიციუმიანი ფოლადის წარმოებაში. 15-18% ს. შემცველი ფოლადები ცეცხლგამძლე და მჟავების მიმართ მედეგია, რის გამოც გამოიყენება ქიმიური აპარატურის დასამზადებლად. სილიციუმის შენადნობი რკინასთან ე. წ. ეროსილიციუმი, რომელიც მიიღება კოქსით კაჟმიწისა და რკინის ერთდროული აღდგენით, გამოიყენება ფოლადის წარმოებაში განმჯანგავად (გალდობილ ლითონში გახსნილი ჟანგბადის ან ლითონის ჟანგბადნაერთიდან ჟანგბადის მოსაცილებლად) და მჟავამედეგ ნაკეთობათა დასამზადებლად. მცირე რაოდენობით წყალთან თიხის შერევით მიღებული პლასტიკური მასისაგან ამზადებენ სხვადასხვა ფორმის ნაკეთობას, რომელიც მიღებულ ფორ-

მას ინარჩუნებს გამრობის შემდეგ და მაგრდება გამოწვისას. გამომწვარ თიხის ნაკეთობებს კერამიკული ეწოდება. გამოყენების მიხედვით განასხვავებენ სამშენებლო, ცეცხლგამძლე, ქიმიურად მედეგ, საყოფაცხოვრებო და ტექნიკურ კერამიკას. სამშენებლო კერამიკას მიეკუთვნება აგური, კრამიტი და სხვ. ქიმიურად მედეგი კერამიკა იხმარება ქიმიურ მრეწველობაში. საყოფაცხოვრებო კერამიკას მიეკუთვნება ფაიფურის ნაკეთობები, ხოლო ტექნიკური კერამიკა გამოიყენება იზოლატორების, კონდენსატორების, მაღალტემპერატურული ტიგლებისა და სხვათა დასამზადებლად.

სილიციუმის კარბიდის (SiC) ბოჭკოები (თერმომედეგი ბოჭკოები) მიიღება ვოლფრამის ან ნახშირბადის საფუძველზე. ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შესაბამისად, ეს ბოჭკოები უპირატესად გამოიყენება ლითონკომპოზიტებში, რომლებსაც მუშაობა ხანგრძლივად უხდებათ მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედების პირობებში. მიღების ტექნოლოგია ისეთივეა, როგორც ბორის ბოჭკოების, თუმცა აღსანიშნავია, რომ თანამედროვე პირობებში უპირატესობა ენიჭება ნახშირბადის ბოჭკოებს (ვოლფრამის ძაფის სანაცვლოდ). ასეთი ბოჭკოები უფრო იაფია, მაგრამ აქვთ შემცირებული სიმტკიცის მახასიათებლები და ამადლებული მგრძნობიარობა ზედაპირული დაზიანებების მიმართ, რაც განპირობებულია მასალის წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურით.

სილიციუმის კარბიდით დაარმირებული ალუმინისაგან ამზადებენ თვითმფრინავის ფრთის მზიდ ელემენტებს და მართვადი რაკეტების კორპუსებს, დაარმირებული ტიტანისაგან – ამძრავ ლილვებსა და საჰაერო ხრახნის ფრთებს. მეტად პერსპექტიულია სილიციუმის კარბიდით დაარმირებული კერამიკული ჯავშანი.

3.6. ლითონური ბოჭკოები

ლითონი (მეტალი) (ძვ. ფრანგ. metal ლითონი; მასალა, მატერია, ნივთიერება < ლათ. metallum კარიერი, ქვის სამტეხლო, ლითონი < ბერძ. μέταλλον მაღარო, საბადო, ქვის სამტეხლო; ლითონი, მადანი) ნებისმიერი ელემენტარული კლასის კრისტალური ნივთიერებაა, რომელსაც მაღალი თბო- და ელექტროგამტარობა, ქედვადობა, პლასტიკურობა, ბზინვა ახასიათებს, რაც განპირობებულია კრისტალურ მესერში თავისუფლად გადაადგილებადი ელექტრონების დიდი რაოდენობით. ამ თვისებებს ატარებს 80-ზე მეტი მარტივი ნივთიერება (ელემენტი) და ლითონის ბევრი შენადნობი. ქიმიური ელემენტების სამ-მეოთხედზე მეტი ლითონებია. ჩვეულებრივ პირობებში თითქმის ყველა ლითონი მყარია, მხოლოდ ვერცხლისწყალი გვხვდება თხევად მდგომარეობაში. მსგავსების გარდა ლითონებს შორის განსხვავებაც არსებობს. მაგ., კალა, ტყვია და ალუმინი, რკინისა და სპილენძისაგან განსხვავებით უფრო რბილი, სუსტი და შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე დნობადი ლითონებია. ზოგი ლითონი, როგორცაა კალიუმი და ნატრიუმი, აქტიური ნივთიერებებია და კარგად შედის რეაქციაში, ზოგი კი, მაგ., ოქრო

და პლატინა, პასიურია. ოქრო ბუნებაში სუფთა სახითაა აღმოჩენილი, დანარჩენი ლითონები კი ქანებში მინერალების სახით მოიპოვება, სადაც ისინი არალითონებთანაა ნაერთში. მაგ., რკინის ძირითადი მინერალები რკინისა და ჟანგბადის ნაერთებია. ლითონების გამყარება შესაძლებელია მათი გადნობითა და შენადნობების დამზადებით. ქიმიური აქტივობის მიხედვით დალაგებულ მწკრივს აქტივობის მწკრივი ეწოდება: li, K, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Cr, N, Fe, Sn, Pb, [H], Cu, Ag, Hg, Pt, Au. შუა საუკუნეებამდე ცნობილი იყო მხოლოდ 7 ლითონი: ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი, კალა, ტყვია, რკინა, ვერცხლისწყალი. 1789 წელს ცნობილმა მეცნიერმა ლაუაზიემ ლითონებს მიაკუთვნა იმ დროისათვის ცნობილი 17 მარტივი ნივთიერება – Sb, Ag, As, Bi, Co, Cu, Sn, Fe, Mn, Hg, Mo, Ni, Au, Pt, Pb, W. Zn. ლითონების საერთო ქიმიური თვისებაა ის, რომ მათი ატომები ადვილად გასცემენ ელექტრონებს და გარდაიქმებიან დადებითად დამუხტულ იონებად. რაც ადვილად გასცემს ლითონის ატომი ელექტრონს, მით მეტად აქტიურია იგი.

ლითონები რეაქციაში შედის არალითონებთან: ჟანგბადთან, გოგირდთან, ჰალოგენებთან, აზოტთან, ფოსფორთან, მჟავებთან და წყალთან. ლითონები და მათი შენადნობები იყოფა ორ ჯგუფად: შავი (რკინა და რკინის შენადნობები, რომელთა წილად მოდის მსოფლიოში წარმოებული ლითონპროდუქციის 95%) და ფერადი. პრაქტიკაში ლითონები გამოიყენება ძირითადად შენადნობების სახით (10 ათასზე მეტი). განსაკუთრებულად სუფთა ლითონები კი (99,999% და მეტი) გამოიყენება ატომურ ტექნიკაში.

თანამედროვე მშენებლობა წარმოდგენილია ლითონებისა და მისი შენადნობების (ფოლადი, დურალუმინი, ბრონზა, თითბერი და ა. შ.) გარეშე, რომლისგან დამზადებული ელემენტები და კონსტრუქციები (წამწები, კოჭები, კამარები, კოლონები, ჩარჩოები, სტრუქტურები, გარსები, ფურცლები, პროფილები და სხვ.) ფართოდ გამოიყენება სამოქალაქო და სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობებისათვის.

არსებობს ლითონის მრავალი სახეობა: ალვილდნობადი, ანტიკოროზიული, ანტიფრიქციული, არალეგირებული, გადამეტხურებული, გამყარებული, გარდამავალი, გაქრეული, გოგირდიანი, დარიშხანიანი, დიამაგნიტური, თეთრი, თვითნაბადი, თხევადი, იშვიათი, იშვიათ მიწათა, კაჟბადოვანი, კეთილშობილი, კოროზიამდედგი, კოროზიებადი, ლეგირებული, მაგნიტური, ლეგირებული, მაღალი სიმტკიცის, მაღალი სიწმინდის, მეორეული, მისადული, მრავალგოგირდოვანი, მსუბუქი, მსხვილკრისტალური, მსხვილმარცვლოვანი, მფარავი, მძიმე, მხურვალგამძლე, მხურვალმდედგი, ნახშირბადმცირე, პირველადი, რბილი, საზარე, სალი, სამონეტო, სასტამბო, სტიბიუმიანი, სქელდნობადი, სწრაფმჭრელი, ტუტე, ტუტემიწოვანი, უბრალო, უკმარხურებული, უხემმარცვლოვანი, ფურცლოვანი, ნადნობი, შესადულებელი, შეუკლები, შოთისებრი, ცვეთამდგრადი, ცივმსხვრევადი, ცივნაჭედი, ძნელდნობადი, წითელმსხვრევადი, ჭედადი და სხვ.

კონსტრუქციული კომპოზიტებისათვის ყველაზე ეფექტურ და ეკონომიკურ მარმირებელს წარმოადგენს მავთულოვანი ბოჭკო. მაგ., დაბალ ტემპერატურაზე მომუშავე კონსტრუქციებში გათვალისწინებულია ფოლადისა და ბერილიუმის ბოჭკო, მაღალ ტემპერატურაზე – ვოლფრამისა და მოლიბდენის.

3.7. ბოჭკოები ლითონის საფარვლით

კონსტრუქციულ კომპოზიტებში ზოგჯერ გამოიყენება ბოჭკოები საფარვლით, რომელსაც აქვს სხვადასხვა ფუნქცია: ბოჭკოს ზედაპირის დაცვა დაჟანგვისაგან ან ექსპლუატაციისას თბური ნაკადის შემოქმედებისაგან (აქტიური ქიმიური მოცულობითი შემოქმედება მატრიცის ზედაპირთან); კომპოზიტის ფორმირების პროცესში ბოჭკოს ზედაპირის დაცვა მომჭიმავი ძაბვებისაგან; ბოჭკოების ზედაპირული დეფექტების აღმოფხვრა; ბოჭკოების მედეგობის გაზრდა ცვეთისა და ღუნვისადმი.

ბოჭკოზე სხვადასხვა ლითონური საფარვლის დატანის ძირითად ტექნოლოგიურ მეთოდებს მიეკუთვნება: დაღეჟვა აირულ ფაზაში, მეტალიზაცია გაორთქვლის ფაზაში და მეტალიზაცია ნადნობით. გამოიყენება ლითონები: ნიკელი, რკინა, მოლიბდენი, ცირკონიუმი, ალუმინი, სპილენძი და სხვ. საფარვლის სისქე მერყობს მიკრონის ნაწილის რამდენიმე ათეულიდან რამდენიმე მიკრონამდე.

აირული და გაორთქვლის ფაზებში ბოჭკოს მეტალიზაციისათვის გამოიყენება ერთი და იმავე დანადგარი. პროცესი მიმდინარეობს ახლადფორმირებულ ბოჭკოზე.

მეტალიზებული ბოჭკოები წარმატებით გამოიყენება დრეკადი ფირფიტების, ფილტრების, აკუმულატორის ელექტროდების დასამზადებლად, თვითმფრინავ-მშენებლობაში, კოსმოსურ ტექნიკასა და სხვ.

3.8. მოკლე მარმირებელი ბოჭკოები

პოლიმერული მასალების მრეწველობაში გამოიყენება სხვადასხვა სახის მოკლე ბოჭკოებით შევსებული კომპოზიტები.

დანაწევრებული მინერალური ბოჭკოები მიიღება მინერალური ბამბის მექანიკური გადამუშავებით, რომელშიც შედის კალციუმის სილიკატი (75%) და მსუბუქი ლითონები (25%). ფხვნილის ნარევი შემაჯავალი ბოჭკოების საშუალო სიგრძეა 270 მმ, დიამეტრი – 1-10 მკმ. დანაწევრებული მინერალური ბოჭკოები გამოიყენება თერმოპლასტებისა და რეაქტოპლასტების წარმოებაში.

ბოჭკო „ფრანკლინი“ მიიღება კალციუმის სულფატის კრისტალიზაციით წყლის გარემოში მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში. გამოირჩევა მაღალი თბომდეგობითა და კარგი თბოსაიზოლაციო თვისებებით. გამოიყენება

პლასტმასებში შემავსებლად და ალუმინის მატრიცებში შემავსებლის გამაძლიერებლად.

ბოჭკო „ფაიბეკსი“ წარმოადგენს არაორგანული ტიტანის მონოკრისტალების ერთობლიობას, რომელიც მიიღება ნადნობის მარილების გადაკრისტალებით. გამოირჩევა მაღალი სიმტკიცითა და დრეკადობის მოდულით. გამოიყენება პლასტმასების წარმოებაში, როგორც შემავსებლის გამაძლიერებელი.

დაფისებრი კრისტალი წარმოადგენს მონოკრისტალურ ბოჭკოს, გამოყვანილს სპეციალურ პირობებში. დღეისათვის მიღებულია 100-ზე მეტი ტიპის ასეთი კრისტალი, დამზადებული ლითონების, კარბიდების, ლითონის ჟანგულების საფუძველზე. გამოირჩევა სტრუქტურის ერთგვაროვნებით, მექანიკური სიმტკიცითა და უდეფექტობით.

ჟანგულებისგან მიღებული მონოკრისტალური ბოჭკოების სიმტკიცე თითქმის ისეთივეა, როგორც ძირითადი მასალის თეორიული სიმტკიცე. მნიშვნელოვანია, რომ სიმტკიცე მცირდება ბოჭკოების დიამეტრისა და სიგრძის ზრდის შედეგად. საექსპლუატაციო ტემპერატურის მატებით მონოკრისტალური ბოჭკოების სიმტკიცე მცირედით კლებულობს (განსხვავებით პოლიკრისტალური ბოჭკოებისაგან).

მოკლე ბოჭკოების მიღების ერთ-ერთი ხერხია – ლითონების აღდგენა, რომლითაც გამოიყვანეს საფირონისა და სილიციუმის კარბიდის ბოჭკოები (პროცესი ჯერჯერობით მცირემწარმოებლურია და პრაქტიკაში ნაკლებად გამოიყენება). ამიტომ, დაფისებრი კრისტალების ფასი მაღალია და მიუხედავად შესანიშნავი მექანიკური მახასიათებლებისა, მისი წარმოება და გამოყენება შეზღუდულია. იგი აღიქმება, როგორც მომავლის მასალა, რომლისაგან პოტენციურად შესაძლებელი იქნება ახალი მხურვალმტკიცე მასალების დამზადება.

3.9. მაარმირებელი ბოჭკოების განლაგება შემავსებელსა და კომპოზიტურ მასალებში

ბოჭკოვანი პოლიმერული კომპოზიტური მასალებისათვის მაარმირებელი ბოჭკოების განლაგებას (მიმართულება, რაოდენობა) განმსაზღვრელი მნიშვნელობა აქვს. ბოჭკოები ისე უნდა განვალაგოთ, რომ მოხდეს მათი მექანიკური თვისებების სრული რეალიზაცია. ეს, რა თქმა უნდა, დამოკიდებულია მაარმირებელი ბოჭკოვანი შემავსებლის სახეზე, სტრუქტურასა და განლაგებაზე, აგრეთვე დაარმირების მოცულობით ხარისხზე (ბოჭკოების მოცულობითი წილი კომპოზიტში).

დაარმირების ხარისხის გაზრდით კომპოზიტის მექანიკური თვისებებიც იზრდება, თუმცა ეს დამოკიდებულება მართებულია გარკვეულ საზღვრებში, რადგან მცირე დაარმირებისას თვისებებზე დიდ გავლენას ახდენს ბოჭკოების დრეკადობის მოდული და სიმყიფე. მაგალითად, ნახშირბადის ბოჭკოებისათვის (დიდი დრეკადობის მოდულითა და სიმყიფით) ეს დამოკიდებულება არაპირდაპირ-პროპორციულია დაარმირების მცირე ხარისხისათვის, რადგან მატრიცა (შემკვ-

რელი) დეფორმაციისას თან წაიყოლებს ბოჭკოებს და გამოიწვევს მასალის რღვევას. დაარმირების დიდი ხარისხის დროს შემკვრელის უკმარისობას ბოჭკოებსშორისი სივრცის შესავსებად კრიტიკულ მნიშვნელობაზე მეტად (67-70%) მივყავართ კომპოზიტის მონოლითურობის რღვევამდე და, შესაბამისად, არათანაბარი დაბრუნების გაჩენამდე, რაც მიზეზია იმისა, რომ დაბალი მექანიკური დაბრუნების კოეფიციენტი გამოიწვევს კომპოზიტის რღვევას.

კომპოზიტის ან კომპოზიტური მასალისგან დამზადებული ნაკეთობის მონოლითურობისა და ბოჭკოების მაღალი ადჰეზიის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ბოჭკოები სრულად იყოს შემოზღუდული მატრიცის (შემკვრელის) ფენით. ოპტიმალური მექანიკური თვისებების მისაღებად გამოყენებულია დაარმირების მოცულობითი ხარისხის შემდეგი მნიშვნელობები (პროცენტებში):

- დაარმირება დისპერსიული შემავსებლით – 0,3-0,45;
- დაარმირება ერთმიმართულებიანი ბოჭკოვანი შემავსებლით – 0,6-0,75;
- დაარმირება ქსოვილებითა და ნაქსოვხლართებით – 0,45-0,55;
- დაარმირება ნაქსოვი სტრუქტურებით (ტრიკოტაჟი) – 0,3-0,35;
- დაარმირება არაქსოვილური მასალებით – 0,3-0,4;
- დაარმირება ქაღალდითა და მუყაოთი – 0,35-0,5.

არსებობს დაარმირების მოცულობითი ხარისხის ამაღლების მეთოდები: შევსებლად სხვადასხვა ნარევის გამოყენება, რომელიც უფრო მჭიდროდ შეავსებს მოცულობას; ერთმიმართულებიანი დაარმირებისას – სხვადასხვა განივკვეთის ელემენტარული ძაფების გამოყენება; ორგანული ბოჭკოების შემთხვევაში – მრავალწახნაგა ბოჭკოების გამოყენება და სხვ.

3.10. პოლიფორმალდეჰიდი

პოლიფორმალდეჰიდი (პოლიოქსიმეთილენი, პოლიაცეტალი) (ბერძ. polys ბევრი, მრავალი; ლათ. formica ჭიანჭველმკვავა და aldehydus ალდეჰიდი) წარმოადგენს თერმოპლასტიკურ პლასტმასას, ფორმალდეჰიდის პოლიმერიზაციის პროდუქტს, თეთრ კრისტალურ ფხვნილს ლღობის ტემპერატურით 180°C. მედეგია ცვეთის, დარტყმითი დატვირთვების, ორგანული გამხსნელებისა და ზეთების მიმართ; კარგად ემორჩილება დამუშავებას. პოლიმერს, საექსპლუატაციო თვისებების ასამაღლებლად, უმატებენ სხვადასხვა შემავსებელს (მინაბოჭკო, ელასტომერი, მოლიბდენის დისულფიდი, საპოხი მასალები). გამოიყენება ლითონის შენადნობების შემცვლელად, არმატურის, საყოფაცხოვრებო ტექნიკის კორპუსების, ელექტროტექნიკური დეტალებისა და სხვ. დასამზადებლად.

პოლიფორმალდეჰიდის ბოჭკოებით ხდება პოლიმერული კომპოზიტური მასალების დაარმირება.

თავი 4. მარმირებელი ფურცლოვანი შემავსებლები

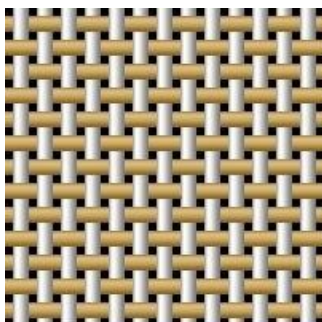
პოლიმერული კომპოზიტიური მასალების ფურცლოვან შემავსებლებს მიეკუთვნება: ქსოვილი, ტილო, ბადე, ქაღალდი, ფურცელი, ლენტი, ფოლგა, შპონი და სხვ.

4.1. ქსოვილური მარმირებელი მასალები

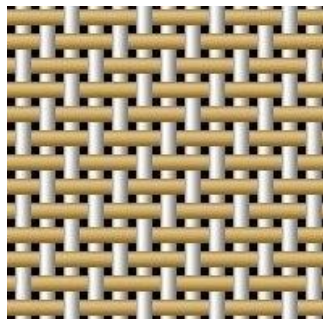
ქსოვილი (ტექსტილი) საფეიქრო ნაწარმია, რომელსაც იღებენ საქსოვ დაზგაზე ურთიერთმართობული და ერთმანეთთან ხლართებით შეერთებული გრძივი (ქსელი) და განივი (მისაქსელი) ძაფებისაგან. პრაქტიკული თვალსაზრისით მზიდ სამშენებლო ელემენტებში (მაგ., პნევმატიკურ კონსტრუქციებში) რეკომენდებულია მხოლოდ ჰაერგაუმტარი ქსოვილების გამოყენება. ქსოვილური მასალები მზადდება ბუნებრივი (ბამბა, სელი, ქერელი, აბრეშუმი, შალი), ხელოვნური (ვისკოზა, მინაბოჭკო) და სინთეზური ბოჭკოებისაგან. ეს უკანასკნელი ყველაზე ფართოდ გამოიყენება ქსოვილებში და იყოფა შემდეგ ჯგუფებად: პოლიამიდური (კაპრონი, ნეილონი, დედერონი, პერლონი, სილონი, სტილონი); პოლიეთერული (ლავსანი, დაკრონი, გრიზუტენი, დიოლენი, ტრევირა, ტეტერონი, ტერილენი); პოლიაკრილნიტრინული (ნიტრონი, ორდონი, დრალონი); პოლივინილსპირტული (ვინოლი, ვინილონი).

იმისათვის, რომ ქსოვილი გახდეს ჰაერ- და ტენგაუმტარი და, ამასთანავე, ნაქსოვი დაცული იქნეს გარე ზემოქმედებისაგან, მას ფარავენ სინთეზური კაუჩუკით ან პოლივინილქლორიდული ფისებით ერთი ან ორივე მხრიდან. სამშენებლო ნორმების თანახმად (აშშ) პნევმოქსოვილების სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტი 4-ის ტოლია.

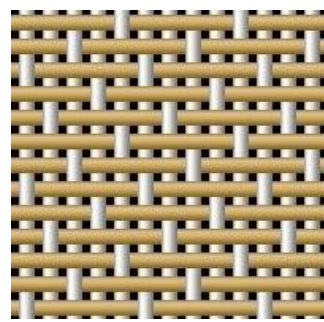
ძაფების გადახლართვის ხერხის მიხედვით განასხვავებენ ტილოს (სურ. 4.1), სარჯის (სურ. 4.2) და სატინის (სურ. 4.3) ქსოვილებს, აგრეთვე, განსაკუთრებულ შემთხვევაში, შეიძლება დამზადდეს მრავალფენიანი და ტრიკოტაჟული ქსოვილები.



სურ. 4.1. ძაფების გადახლართვის სქემა ტილოს ქსოვილში



სურ. 4.2. იგივე სარჯის ქსოვილში



სურ. 4.3. იგივე სატინის ქსოვილში

ქსოვილების ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლებია: ბოჭკოვანი შედგენილობა, ქსოვის სახეობა, ზედაპირის სახე, სიგანე, სისქე, ერთი კვადრატული მეტრის მასა, სითხის შეწოვის უნარი, დაფების რაოდენობა საფუძველსა და მისაქსელში სიგრძის ერთეულზე (ქსოვილის სიმკვრივე), გამგლეჯი დატვირთვა და წაგრძელება გაგლეჯისას.

ქსოვილები ძირითადად მზადდება გრეხილი დაფების ან მინისა და ნახშირბადის ჩალიჩისაგან (თასმების, თივისა და მისთანათაგან დაგრეხილი თოკი). ასეთი ქსოვილები კარგად ფორმირდება და ნაკეთობაში ადვილად არეგულირებს ანიზოტროპიულ თვისებებს საჭირო მიმართულებით.

სხვადასხვა სახის ნაკეთობების წარმოებაში გამოიყენება ქსოვილები, დამზადებული ბამბის, სელის, ბაზალტის, ნახშირბადის, ბორის, მინის ბოჭკოებისაგან, აგრეთვე სინთეზური მასალების საფუძველზე.

ფენოვანი ქსოვილური პლასტიკების თვისებებს განსაზღვრავს ქსოვილის სისქე, სიმტკიცე და მასში შემკვრელი ნივთიერების შეღწევის უნარი. ამიტომ, მაგ., ტექსტოლიტისა და მინატექსტოლიტის წარმოებაში, ხშირად გამოიყენება ტილოსა და სატინის ქსოვილები, ხოლო მრუდი ნაკეთობების დასამზადებლად – ატლასის ან ტრიკოტაჟის. ქსოვილის სიმკვრივის გაზრდა იწვევს სიმტკიცის ზრდას გაჭიმვაზე, მაგრამ ერთდროულად ამცირებს ფენებსშორის სიმტკიცეს, სადაც მიმდინარეობს ძვრის დეფორმაციები.

ყველაზე მეტად გავრცელებული ქსოვილები სიგანის მიხედვით, შემდეგია: 40-75 სმ – ვიწრო, 75-100 სმ – საშუალო სიგანის, 100-150 სმ – ფართე, 150-200 სმ და მეტი – ძალიან ფართე. ქსოვილებს სიგანით 0,5-7,5 სმ ეწოდება ლენტი.

ქსოვილი მასით 100 გ/მ²-მდე ითვლება მსუბუქად, მასით 100-დან 500 გ/სმ²-მდე – საშუალო მასის და მეტი 500 გ/სმ² – მძიმედ.

კომპოზიტური მასალების წარმოებაში ყველაზე დიდი მოთხოვნილებაა მინის, ნახშირბადისა და ორგანული ბოჭკოების საფუძველზე დამზადებულ ქსოვილებზე. შესაბამისად, მრეწველობაში ქსოვილური შემავსებლის ძირითადი მომხმარებლებია: ტექსტოლიტის, მინატექსტოლიტის, ორგანული პლასტიკების, მინა-და ნახშირბადპლასტიკების კონსტრუქციული კომპოზიტური ნაკეთობების დამამზადებელი საწარმოები.

4.2. მასალები ქაღალდის საფუძველზე

ქაღალდი თხელი ფურცლოვანი მასალაა, რომელიც ძირითადად შედგება დაქუცმაცებული მცენარეული ბოჭკოებისგან. ბოჭკოები უწესრიგოდაა განლაგებული და შეკრულია ერთმანეთთან ზედაპირული შეჭიდულობის ძალებით. საჭირო თვისებების მისანიჭებლად ქაღალდის მასაში ურევენ მინერალურ შემავსებლებს, შემკვრელ და სხვა ნივთიერებებს. ქაღალდი პირველად ჩინეთში, ძვ. წ. I საუკუნეში

გაჩნდა. ჩინურ ქაღალდს ბამბუკისგან, თუთის ხის ფოთლებისა და აბრეშუმის ბოჭკოებისაგან ამზადებდნენ. VII საუკუნეში არაბები ქაღალდის წარმოებაში უკვე სხვა ნედლეულს იყენებდნენ – ქსოვილსა და ბამბას. ევროპაში XIV საუკუნეში გავრცელდა. ქაღალდის დამამზადებელი პირველი ქარხანა საფრანგეთში 1350 წელს დაარსდა. XIX საუკუნეში ქაღალდისთვის საჭირო ნედლეულში ცელულოზის დამატება დაიწყო, რამაც მისი წარმოება მასობრივი გახადა. ამჟამად ქაღალდის 600-ზე მეტი სახეობა იწარმოება. ქაღალდის ძირითადი ტექნიკური მაჩვენებლებია: 1 მ²-ის წონა – 6-250 გ, სისქე – 40-400 მკმ, სითეთრე – 0-95%, ნაცრიანობა – 0-0,35%. არსებობს ქაღალდის სახეობები: ალექსანდრიის, ანტიადჰეზიური, ანტიკოროზიული, დაარმირებული, ასლგადასადები, ბიოციდური, დაბაკელიტებული, დეკორატიული, დაგრუნტული, დატვიფრული, ელექტროსაიზოლაციო, ვატმანის, ვერდოლის, ზუმფარის, თერმორეაქტიული, ტიპოგრაფიული, კალანდირებული, კარტოგრაფიული, მკვრივი, მალალხარისხიანი, მრავალშრიანი, ოფსეტური, საწერი, საბეჭდი, საგაზეთე, სააფიშე, საიზოლაციო, საკართოტეკე, სასიგარეტე, სამშალერე, სახაზავი, სახატავი, სახეხი, ფოტოგრაფიული, ტიპოგრაფიული, შესაფუთი, ცარცის, ცვილის, წყალშეუღწევადი, ხავერდოვანი, ჰიდროფილური (ნივთიერება, რომელიც ინტენსიურად შედის რეაქციაში წყალთან), ჰიგიენური და სხვ.

ქაღალდის საფუძველზე დამზადებული მასალის უპირატესობებია: დაბალი ღირებულება, გლუვი ზედაპირი, ადვილად რეგულირებადი სისქე, ფორმისა და ზომების ცვალებადობა და სხვ. კომპოზიტურ მასალებში გამოყენებული ქაღალდი ძირითადად იწარმოება სხვადასხვა სახის სულფატური (სულფატი – გოგირდმჟავას მარილი, გავრცელებული თაბამირის ან ანჰიდრიდის სახით) ცელულოზისგან; გარდა ამისა, ქაღალდის დასამზადებლად შეიძლება გამოყენებული იქნეს სულფიტური (სულფიტი – გოგირდოვანი მარილი; ნატრიუმის სულფიტი). ცელულოზა, ბამბის ცელულოზა და მერქანი.

ქაღალდს განასხვავებენ სისქის, სიმტკიცის, ტენის შთანთქმის უნარითა და მასით. როგორც შემავსებელი, ქაღალდი გამოიყენება დეკორატიული ქაღალდ-ფენოვანი პლასტიკების (სურ. 4.4) და ელექტროტექნიკური გეტინაქსის (სურ. 4.5) წარმოებაში, აგრეთვე თვითმფრინავ და გემთმშენებლობაში გამოყენებული სენდვიჩ-პანელების ფოროვანი შემავსებლების დასამზადებლად.

დეკორატიული ქაღალდ-ფენოვანი პლასტიკების წარმოებაში გამოიყენება ორი სახის ქაღალდი – შიდა შრისათვის (კრაფტ-ქაღალდი) და გარე დეკორატიული შრისათვის (ოვერ-ქაღალდი), რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება საწყისი ნედლეულითა და თვისებებით. ელექტროტექნიკური გეტინაქსისთვისაც გამოიყენება ორი სახის ქაღალდი, რაც დაკავშირებულია ფურცლოვანი მასალისა და ნაკეთობის დამზადებასთან მიღებისა და ცილინდრების სახით. ასეთს მიეკუთვნება გაჟღენთილი და დახვეული ქაღალდები, რომლებიც განსხვავდებიან შთანთქმის უნარით. ელექტროსაიზოლაციო ნაკეთობებისადმი თბომდეგობის

მოთხოვნების გაზრდასთან ერთად, ბოლო პერიოდში, გამოჩნდა ქაღალდის ახალი სორტი – ქაღალდი სინთეზური ბოჭკოების საფუძველზე.



სურ. 4.4. დეკორატიული ქაღალდ-ვენოვანი პლასტიკები



სურ. 4.5. ელექტროტექნიკური გეტინაქსი

პოლიმერული კომპოზიტური მასალების შემავსებლად, გარდა ქსოვილისა და ქაღალდისა, გამოიყენება ძაფისა და ბოჭკოს საფუძველზე მიღებული ქსოვილური ან არაქსოვილური მასალებიც, აგრეთვე ქსოვის ბადეები და სხვ.

4.3. მასალები ტილოს საფუძველზე

ტილო წარმოადგენს ბამბის, სელის ან კანაფის ძაფის უხეშ მტკიცე სქელ ქსოვილს, რომელშიც ძაფები ერთის გამოტოვებით ურთიერთმარობულად არის გადახლართული. იგი გამოირჩევა მაღალი ცვეთამდეგობით. გამოიყენება სათავსის ქერის მოსაწყობად, ზეთის საღებავებით სახატავად (ხის ჩარჩოზე გადაჭიმული), ტექნიკური მიზნებისთვის, იალქნების, კარვების, ზურგჩანთების, შალითების, ფეხსაცმლისა და სხვა ნაკეთობათა დასამზადებლად, სადაც საჭიროა მასალის დიდი სიმტკიცე.

კომპოზიტურ მასალებში გამოყენებული მარმირებელი ტილო არის დეზორიენტირებული დაკეპილი მინის ბოჭკოები, შეერთებული ერთმანეთთან პოლიმერული შემკვრელით. მშენებლობაში მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციების გასაძლიერებლად, პრაიმერების სახით, გამოიყენება მარმირებელი ტილოები (სურ. 4.6), დამზადებული ერთმიმართულებიანი არამიდის, ნახშირბადისა და მინის ბოჭკოების საფუძველზე, რომლებიც ამცირებენ გადახურვის ფილების დეფორმაციას (ჩაღუნვას), წინაღობას ღერძულ კუმშვაზე, ბზარწარმოქმნას სვეტებში, სვეტებისა და კედლების სეიმომდგრადობას, დაღლილობით დეფორ-



სურ. 4.6. მარმირებელი მინატილო

მაციებს კონსტრუქციებში, ზრდის დასაშვებ დერძულ დატვირთვებს სვეტებში და სხვ.

4.4. მინალენტი

მინალენტი (სურ. 4.7), როგორც კომპოზიტური მასალის მარმირებელი შემავსებელი, ხასათდება უნიკალური თვისებებით, რომელთაგან აღსანიშნავია მექანიკური (სიმტკიცე, სიხისტე), თბოფიზიკური (გაფართოების თერმული კოეფიციენტი), ქიმიური (კოროზიამდეგობა და მედეგობა ქიმიური რეაგენტების მიმართ) და დიფუზური მახასიათებლები (შეღწევადობის კოეფიციენტი).

ლენტის, როგორც მარმირებელი შემავსებლის, ყველაზე მიმზიდველი მხარე დასაბუთებულია მისი გეომეტრიით და ხასათდება ლენტის განთავსების სიბრტყეში სიმტკიცისა და სიხისტის გაზრდით. ეს თვისებები ანალოგიურია უწყსრიგოდ განლაგებული ბოჭკოებით დაარმირებული კომპოზიტებისა. მასალები, რომელთაც აქვთ ორგანოზომილებიანი სიხისტე და სიმტკიცე, გამოიყენება მშენებლობაში, აეროკოსმოსურ, გემთსაშენებელ, საავტომობილო და სხვა წარმოებებში. კერძოდ, ლენტურ კომპოზიტებს დიდი უპირატესობა აქვთ სამშენებლო კონსტრუქციების მარმი-



სურ. 4.7. მინალენტი

რებელ ელემენტებად, ავტომობილისა და გემის კორპუსების, საფრენი აპარატების, მილგაყვანილობების, ცისტერნების, რეზერვუარების, სილოსების, საბურავების, მანქანათა ნაწილების და სხვ. დასამზადებლად. ამ უპირატესობების გამო შესაძლებელი ხდება კომპოზიტში შემავსებლის წილის შემცირება, რაც საბოლოო ჯამში ამცირებს ნაკეთობის ღირებულებას. ეს მიიღწევა იმით, რომ ბოჭკოებისგან განსხვავებით ლენტს არ სჭირდება ორიენტაცია იზოტროპიული თვისებების მისაღწევად. გარდა ამისა, ლენტის მართკუთხა განიკვეთის გამო, შევსების ხარისხი მეტია, ვიდრე ბოჭკოვანის. ერთნაირი მექანიკური თვისებების პირობებში, ლენტურ კომპოზიტში შევსების ხარისხი 50-60%-ით მეტია, ვიდრე შევსების ხარისხი კომპოზიტში ბოჭკოების საფუძველზე. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ბოჭკოსთან შედარებით ორჯერ ნაკლები სიმტკიცის ლენტით შესაძლებელია კომპოზიტის ისეთივე სიმტკიცის მიღწევა, როგორც აქვს ბოჭკოვან კომპოზიტს, მათი კვაზიზოტროპიული განაწილებით (კვაზი – მოჩვენებითი, არანამდვილი).

ლენტურ კომპოზიტებს აქვთ ნაკლები თერმული გაფართოება და დიფუზური თვისებები ბოჭკოებით განმტკიცებულ კომპოზიტებთან შედარებით. მინის ლენტის მაღალი სიხისტის გამო, კომპოზიტში საკმარისია მისი საკმაოდ მცირე მოცუ-

ლობითი წილი (დაახლოებით 0,3%), რათა კომპოზიტის გაფართოების კოეფიციენტის მნიშვნელობა ათჯერ და მეტად შემცირდეს. ამას კი ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს ნაკეთობებში, სადაც მოითხოვება ზომების სტაბილურობა.

მინალენტის კომპოზიტების შეღწევადობის (გამტარობის) კოეფიციენტი დაბალმოლეკულური ნივთიერებებისათვის ასევე მნიშვნელოვნად მცირეა. დაბალი შეღწევადობა მნიშვნელოვანია იმ კომპოზიტური მასალებისთვის, რომლისგან დამზადებულია მილსადენები, კონტეინერები, მაღალი წნევის ჭურჭელი და მისთ.

ლენტური კომპოზიტების გამოყენების შესანიშნავი მაგალითია დაარმირებული პლასტმასის მილები (სურ. 4.8). მას ამზადებენ სპეციალურ დაზგებზე მილისებურად დახვეულ მინალენტზე მატრიცის დატანით. ასეთი სახით დამზადებული პლასტმასის მილები ყველა მახასიათებლით აჭარბებს ფოლადის მილებს (სიხისტის გარდა), თუმცა კუთრი სიხისტის მიხედვით ისინი ერთნაირია.

ერთ-ერთი ყველაზე პრინციპული ნაკლოვანება ლენტური კომპოზიტისა ისაა, რომ მას ახასიათებს მაღალი მგრძობიარობა დეფექტების მიმართ, ანუ ნახვრეტები, ნახეთქები, ბზარები, ღრეჩოები და მისთ. რომლებიც საგრძობლად ამცირებს ნაკეთობის სიმტკიცეს. მაგ., 50,8 მმ დიამეტრის მილის ტრანსვერსალური (განივი) სიმტკიცე, ურთიერთსაწინააღმდეგოდ განლაგებული ორი ნახვრეტით (დიამეტრი 3,175 მმ), დაახლოებით 2-5-ჯერ მცირეა უდეფექტო მილის სიმტკიცესთან შედარებით, რაც გამოწვეულია ნახვრეტის ირგვლივ ძაბვების კონცენტრაციითა და მის ირგვლივ მიკრობზარების გაჩენით.



სურ. 4.8. მინალენტით დაარმირებული პლასტმასის მილები

ბოლო პერიოდში წარმოებაში გამოჩნდა მაარმირებული ლენტები გრაფიტისა და ბორის საფუძველზე. შედარებით ფართოდ გამოიყენება ნახშირბადისა და მინის ბოჭკოების საფუძველზე დამზადებული ქსოვილური ლენტები, ასევე ლითონური ფოლგები.

4.5. ნაქსოვხლართული ტექსტილური მასალები

ტექსტილი (ლათ. textile ქსოვილი, მატერია) ნაკეთობაჲ, რომელსაც იღებენ საქსოვ დაზგაზე ურთიერთმართობული და ერთმანეთთან ხლართებით შეერთებული გრძივი (ქსელი) და განივი (მისაქსელი) ძაფებისგან (სურ. 4.9). ტექსტილი შეიძლება იყოს: ბამბის, შალის, აბრეშუმის, სელის, ქიმიური ბოჭკოსი და სხვ. საქსოვი დაზგიდან მოხსნილ ტექსტილს ეწოდება ხამი ქსოვილი, ხოლო ტექ-

სტილის მისაღები ტექნოლოგიური პროცესების ერთობლიობას – საფეიქრო წარმოება.

კომპოზიტურ მასალებში გამოყენების შემდეგ დაიწყო ტექსტილის ნაქსოვი სტრუქტურის შექმნა დაფების არა მარტო ურთიერთმართობული, არამედ მოცემული კუთხით განლაგებით ისე, რომ დაფის მიმართულება ემთხვეოდეს გარე ძალების მოქმედების მიმართულებას შემავსებელში. ეს საშუალებას იძლევა მაქსიმალურად იქნეს ათვისებული ტექსტილის დაფების მექანიკური მახასიათებლები. ბოჭკოების გარდა ტექსტილურ კომპოზიტებში გამოიყენებენ ლენტები და შნურებიც, რაც გამოიწვია კომპოზიტური დეტალებისა და ნაკეთობების მექანიკურმა თვისებებმა და პროფილის განსაკუთრებულობამ. უმეტეს შემთხვევებში ნაქსოვხლართული სტრუქტურები მზადდება მიზნობრივი დანიშნულების წინასწარი შეკვეთით.

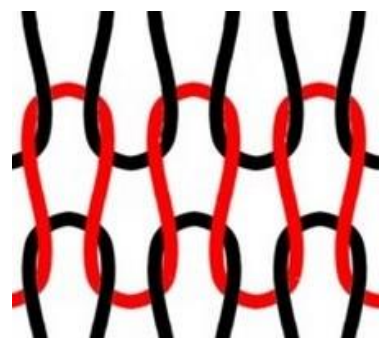


**სურ. 4.9. ვინილური ნაქსოვ-
ხლართული ტექსტილი**

4.6. ტრიკოტაჟული (ნაქსოვი) ტექსტილური მასალები

ტრიკოტაჟი (ფრანგ. tricotage ნაქსოვი ნაკეთობა) ტექსტილური მასალაა (ტრიკოტაჟის ტილო) ან ნაკეთობაა დამზადებული ტრიკოტაჟის ტილოსგან ან მთლიანად მოქსოვილი ნაკეთობაა, რომლის სტრუქტურა მარყუქებით შეერთებული დაფების ერთობლიობაა (სურ. 4.10). ტრიკოტაჟული ნაკეთობისათვის დამახასიათებელია გაჭიმვადობა, ელასტიკურობა და სირბილე.

ტრიკოტაჟული ტექსტილური მასალები და მათი მსგავსი სტრუქტურები ჯერჯერობით ნაკლებად გამოიყენება ტექსტოლიტების მასიურ წარმოებაში, თუმცა სტრუქტურების შექმნა მოცემული მიმართულებით განლაგებული დაფებით მნიშვნელოვანია მაღალი დატვირთვებით მომუშავე ტექსტოლიტური საპასუხისმგებლო დეტალებისა და ნაკეთობების დამზადების თვალსაზრისით. ტრიკოტაჟული ტექსტილური მარმირებელი მასალები, დიდი დამყოლობის გამო, საშუალებას იძლევა შეიქმნას მრუდ-ზედაპირული ხისტი კომპოზიტები.



**სურ. 4.10. ტრიკოტაჟის
მარყუქული ქსოვის სქემა**

სამგანზომილებიანი ქსოვილებისა და ნაქსოვხლართული სტრუქტურების გამოყენება უმჯობესია მაღალი მექანიკური დატვირთვებით მომუშავე პოლიმერული კომპოზიტური დეტალებისა და კონსტრუქციების დასამზადებლად. მარმირებლად ასეთ მასალებში გამოიყენება პარამიდუ-

რი, ნახშირბადისა და სხვადასხვა არაორგანული ძაფები. მოცულობით სტრუქტურებს კი დასამზადებელი ნაკეთობის გარეგნული ფორმა აქვთ, ხოლო ძაფების განლაგების მიმართულება აქაც უნდა ემთხვეოდეს მაქსიმალური მექანიკური ძაბვების მიმართულებას. ნაკეთობის საბოლოო სახე მიიღება მოცულობითი სტრუქტურის გაჟღენთვით რეაქტოპლასტის კომპონენტებითა და შემდეგ მატრიცის თანდათანობითი გამყარებით ბუნებრივ პირობებში.

თავი 5. კომპოზიტიური მასალების მიღების ტექნოლოგია

5.1. კომპოზიტიური მასალების მიღების თავისებურებანი

მოცემული მახასიათებლების მქონე კომპოზიტიური მასალების დამზადებას თან ახლავს შემდეგი ტექნოლოგიური თავისებურებანი:

- კომპოზიტიური მასალის თვისება ფორმირდება კონკრეტული კონსტრუქციის წარმოების პროცესში;
- ნაკეთობის დაპროექტების პროცესი იწყება მასალის კონსტრუირებით, რომელიც მოიცავს კომპონენტებისა და წარმოების ოპტიმალური რეჟიმების შერჩევას;
- კომპოზიტიური მასალისაგან კონსტრუქციის შექმნის მთავარი განსაკუთრებული ლობა, ტრადიციული კონსტრუქციებისაგან განსხვავებით ისაა, რომ იგი ითვალისწინებს მასალის კონსტრუირების, დამზადების ტექნოლოგიური პროცესისა და კონსტრუქციის დაპროექტების ერთიან ურთიერთდაკავშირებულ პროცესს, რომელშიც ერთი მდგენელი ავსებს და განსაზღვრავს მეორეს.

მარმირებელი ელემენტებისა და მატრიცის შეერთება სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესებით აყალიბებს კომპოზიტის ახალ თვისებებს, რომლებიც განსხვავებულია საწყისი კომპონენტების თვისებებისგან. კომპოზიტისათვის მნიშვნელოვანია ბოჭკოებისა და მატრიცის შეთავსებადობა. შეთავსებადად ითვლება კომპონენტები, რომელთა შეერთების საზღვარზე შესაძლებელია ისეთი მტკიცე კავშირის დამყარება, რომელიც ახლოსაა მატრიცის სიმტკიცესთან იმ პირობით, რომ შენარჩუნებული იქნეს საწყისი კომპონენტების თვისებები. შესაბამისად, კომპოზიტის მექანიკური თვისებები განისაზღვრება სამი ძირითადი პარამეტრით:

1. მარმირებელი ბოჭკოების მაღალი სიმტკიცით;
2. მატრიცის სიხისტით;
3. მატრიცა-ბოჭკოს საზღვარზე კავშირის სიმტკიცით.

ამ პარამეტრების ფარდობა ახასიათებს მასალის მექანიკური თვისებების მთელ კომპლექსსა და რღვევის მექანიზმს. კომპოზიტის მუშაუნარიანობას უზრუნველყოფს საწყისი კომპონენტების სწორი შერჩევა და რაციონალური წარმოების ტექნოლოგია.

კომპოზიტების ძირითადი უპირატესობაა – კონსტრუქციების ელემენტების შექმნის შესაძლებლობა წინასწარ განსაზღვრული თვისებებით. ამის საშუალებას იძლევა მარმირებელი ბოჭკოებისა და მატრიცული მასალების, აგრეთვე, დამირების სქემების მრავალფეროვნება. სწორედ ესაა საწყისი პირობა საჭიროებისამებრ მიმართულად ვარეგულიროთ კომპოზიტის სიმტკიცე, სიხისტე, სამუშაო ტემპერატურა და სხვა თვისებები კომპოზიტის შედგენილობის შერჩევის, მათი თანაფარდობის და მაკროსტრუქტურის ცვლილების გზით.

ბოჭკოვანი დაარმირება საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ ნაკეთობის დაპროექტებისა და დამზადების ახალი პრინციპები, კერძოდ, შესაძლებლობა ჩნდება მასალა და ნაკეთობა დამზადდეს ერთდროულად ერთ ტექნოლოგიურ ჩარჩოში. თანაც, კომპოზიტის თვისებები კომპონენტების თვისებებთან ერთად, დამატებით იძენს ახალ გაუმჯობესებულ თვისებებს. გამყოფი საზღვრის არსებობა ბოჭკოსა და მატრიცული შემკვრელის საზღვარზე კი საგრძნობლად ამცირებს ბზარების წარმოქმნის ალბათობას.

კიდევ უფრო უკეთესი მდგომარეობაა ფენოვანი მასალებით (ქსოვილი, ლენტი) დაარმირების დროს, რომელიც საშუალებას იძლევა შევამციროთ კომპოზიტური მასალის ფასი, გავამარტივოთ დამზადების ტექნოლოგია, გავზარდოთ სიხისტე, სიმტკიცე და წინაღობა ძვრის სიბრტყეში.

5.2. საერთო ტექნოლოგიური პროცესები

ტექნოლოგია (ბერძ. technē ხელოვნება, ოსტატობა და λόγος სიტყვა, გამონათქვამი, თანაფარდობა) მზა პროდუქციის წარმოების პროცესში გამოყენებული ნედლეული მასალებისა და ნახევარფაბრიკატების დამუშავების, ფიზიკური მდგომარეობის შეცვლის და სხვა მოქმედებათა ერთობლიობაა. იგი ორგანიზაციული ღონისძიებების, ოპერაციებისა და მეთოდების კომპლექსია, რომელიც მიმართულია ოპტიმალური დანახარჯებით ნომინალური ხარისხის ნაკეთობის დამზადებაზე, მომსახურებაზე, რემონტზე ან ექსპლუატაციაზე. ტექნოლოგიური პროცესი განისაზღვრება პარამეტრებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ მათ ნორმალურ მსვლელობას. ტექნოლოგიური პროცესი კი ნაკეთობის (პროდუქციის) დამზადების ყველა ტექნოლოგიურ ოპერაციას ითვალისწინებს.

პოლიმერული კომპოზიტური მასალების ელემენტების დამზადების განსაკუთრებულობა, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ისაა, რომ მასალა და ნაკეთობა მზადდება ერთდროულად – ნაკეთობას საწყის ეტაპზე აძლევენ საჭირო გეომეტრიულ ფორმასა და ზომებს, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს მის ღირებულებას და ამავე დროს, ამაღლებს კონკურენტუნარიანობას ტრადიციულ მასალებთან შედარებით, მიუხედავად პოლიმერული შემკვრელებისა და ბოჭკოვანი (ფურცლოვანი) შემავსებლების შედარებით სიძვირისა.

კომპოზიტური მასალების ფართო გამოყენებისათვის საჭიროა ახალი მაღალმწარმოებლური ტექნოლოგიური პროცესების შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფს ნაკეთობის უმაღლეს ხარისხს დამზადების მინიმალური შრომატევადობის პირობებში.

ლითონის კონსტრუქციების დამუშავების ტექნოლოგიებთან შედარებით, კომპოზიტების წარმოება საშუალებას იძლევა გავზარდოთ მასალის გამოყენების კოეფიციენტი 0,8-0,95-მდე, რადგან საკმაოდ ბევრი რთული ტექნოლოგიური ოპე-

რაცა (ჭრა, შედუღება, მოქლონებით შეერთება და ა. შ.) შეიძლება შეიცვალოს წებოთი და წებომექანიკური შეერთებებით, რომლებიც ხორციელდება კომპოზიტის ფორმირების პროცესში. შესაბამისად კომპოზიტების დამზადების შრომატევადობა 1,5-2,5-ჯერ დაბალია, ვიდრე ლითონკონსტრუქციებისა.

მართალია ნაკეთობის დამზადება კომპოზიტური მასალისგან ინდივიდუალურია, პრაქტიკაში შესაძლებელია ტექნოლოგიური პროცესების ელემენტების ტიპიზაცია, ასეთია: უნიფიცირებული მოწყობილობების გამოყენება, შემკრავის, შემავსებლის, წებოს, ხსნარის, ნაღობის და მისთ. ტიპური რეცეპტურა, ტექნოლოგიური რეჟიმის შემუშავება და სხვ.

კომპოზიტის ესა თუ იგი თვისება მკაცრად არის დაკავშირებული შესაბამის ტექნოლოგიურ ოპერაციასთან, რომლის ნორმიდან გადახრა იწვევს ამ თვისებების ცვალებადობას. კომპოზიტებისგან კონსტრუქციების წარმოების პროცესი – ესაა განსხვავებული ტექნოლოგიური პროცესების ნაკრები, ამიტომ ნაკეთობა დამზადების პროცესში გადის რა გარკვეულ ტექნოლოგიურ მარშრუტს ოპერაციიდან ოპერაციამდე, განიცდის რაოდენობრივ და ხარისხობრივ ცვლილებებს მანამ, ვიდრე მასალა არ მოვა შესაბამისობაში ტექნიკური დავალებით გათვალისწინებულ დონემდე.

პოლიმერული კომპოზიტური მასალის დეტალების დამზადების ტექნოლოგია მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

- მაარმირებელი შემავსებლის მომზადება;
- მატრიცული შემავსებლის მომზადება;
- არმატურის შეთავსება მატრიცასთან;
- დეტალის ფორმაწარმოქმნა;
- შემკვრელის გამაგრება კომპოზიტურ მასალაში;
- დეტალის დამატებითი მექანიკური დამუშავება;
- შუა პროდუქციის ხარისხის კონტროლი.

საწყისი კომპონენტების მომზადება ითვალისწინებს მათი თვისებების შემოწმებას ტექნიკური პირობების მოთხოვნათა შესაბამისად, აგრეთვე ბოჭკოების ზედაპირის დამუშავებას (გასუფთავებას) გაპოხვის პირობების გასაუმჯობესებლად და მატრიცულ მასალებთან კარგი შეჭიდულობის მისაღწევად. ბოჭკოების გაჟღენთვა შემკვრელში შეიძლება მოხდეს წინასწარ ან მასალის დამზადების ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობისას.

5.3. პოლიმერული კომპოზიტური მასალების ფორმაწარმოქმნის ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესები

პოლიმერული კომპოზიტური მასალების ფორმირების, კონფიგურაციისა და მიზნობრივი დანიშნულების ტექნოლოგიური პროცესები მოცემულია 5.1 ცხრილ-

ში. აქვეა მარმირებელი შემავსებლის და მატრიცული შემკრავის რეკომენდებული ტიპები.

ყველა ტექნოლოგიურ პროცესს აქვს თავისი განსაკუთრებულობა, უპირატესობა და ნაკლოვანებები. გარდა ამისა, ყველა პროცესში ჩადებულია ზღვრული ტექნოლოგიური შესაძლებლობანი, როგორცაა: ნაკეთობის ფორმაწარმოქმნა, პროცესის პარამეტრები (წნევა, ტემპერატურა, ფორმირების სიჩქარე და სხვ.), გომეტრია, ავტომატიზაციის ხარისხი და კომპონენტების საწყისი სიმტკიცის რეალიზაცია. ეს ზღვრული შესაძლებლობანი, ერთი მხრივ, ჩადებულია ფორმაწარმოქმნის მეთოდოლოგიაში, ხოლო მეორე მხრივ, შეზღუდულია დანადგარებისა და მოწყობილობების ტექნოლოგიური პარამეტრებით.

ცხრილი 5.1

ტექნოლოგიური პროცესი	რეკომენდებული კომპონენტები	
	მარმირებელი შემავსებლის ტიპი	შემკვრელის ტიპი
კონტაქტური ფორმირება: ხელით ამოწყობა	მოკლე ბოჭკო, ლენტი, ქსოვილი	პოლიესტერული, ეპოქსიდური, ფენოლური.
ამტვერება ავტომატიზებული ამოწყობა	ჭილობი ლენტი	ფურანული. თერმოპლასტიკური.
ფორმირება დრეკადი დიაფრაგმით: ვაკუუმური ვაკუუმ-ავტოკლავური ვაკუუმ-წნეხ-კამერული	ქსოვილი, ჭილობი, ლენტი	ეპოქსიდური, პოლიესტერული, პოლიამიდური, ფენოლური, პოლისულფონური.
ფორმაწარმოქმნა წნევით: გაჟღენთვა წნევით გაღენთვა ვაკუუმში	ქსოვილი, ჭილობი, ლენტი, მოკლე ბოჭკო	პოლიესტერული, ეპოქსიდური, ფენოლური, ფურანული, პოლიამიდური.
დაწნეხა ფორმებში: პირდაპირი	ქსოვილი, ჭილობი, ლენტი, მოკლე ბოჭკო.	პოლიესტერული, ეპოქსიდური, ფენოლური,

ჩამოსხმით თერმოკომპრესიული	ქსოვილი, ლენტი. ჭილობი.	სილიკონური, თერმოპლასტიკური.
გადახვევა: „სველი“	დაფი, ლენტი, ჩალიჩი, ქსოვილი, აფსკი	ეპოქსიდური, პოლიესტერული, ფენოლური, პოლიიმიდური, თერმოპლასტიკური
„მშრალი“	დაფი, ლენტი, ჩალიჩი.	თერმორეაქტიული, თერმოპლასტიკური
პულტრუზია	ქსოვილი.	
ნამზადისა და ნახჭის წინასწარი ფორმირება	დაფი, ჩალიჩი, ქსოვილური ლენტი, ნაქსოვხლართი	ტილის სპირტის წლიანი ხსნარი, ოთხქლორიანი.
	მოკლე დაჭრილი ბოჭკო, დაფისებრი კრისტალი.	ნახშირბადი, პოლიმერული შემკვრელი, ორგანულის სითხე.

5.3.1. კონტაქტური ფორმირება

ხელით ამოწმობა. კონტაქტური ფორმირების ეს პროცესი წარმოადგენს ერთი ან მრავალმრიანი კომპოზიტების მიღების ძირითად მეთოდს. იგი ერთადერთია საავიაციო და სხვა ტექნიკის რთული ფორმის დეტალების დასამზადებლად. ამოწმობის დროს კომპოზიტში მარტივად ეწყოფა მაარმირებელი. ნაკეთობის გაციება მიმდინარეობს ნორმალურ (ოთახის პირობებში) ან მაღალ ტემპერატურაზე. მეთოდი ეფექტურია მცირე რაოდენობის დეტალების დასამზადებლად (დიდი პარტიებისათვის საჭიროა დიდი დრო და ფორმების რაოდენობა).

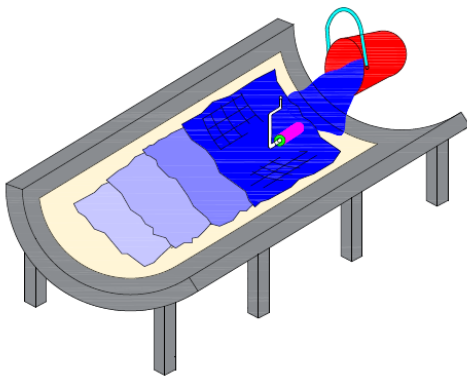
ხელით ამოწმობის დროს გამოიყენება პოლიეთერული, ვინილეთერული ან ეპოქსიდური ფისები, თუმცა ხშირად ამჯობინებენ იაფფასიან პოლიეთერულ ორთოფთალატურ ფისებს, რომელთა გაციება ხდება სტირენის მეშვეობით. დანამატები და შემავსებლები ფისში შეაქვს დამამზადებელს პროექტის შესაბამისად. ინიციატორის (ფისის) შერჩევა დამოკიდებულია კომპოზიტის გამყარების ტემპერატურასა და ტიპზე.

შრეობრივი ამოწყობის პროცესი მიმდინარეობს ღიად წნევის გარეშე. ყალიბი შეიძლება იყოს პოზიტიური ან ნაგატიური ნაკეთობის შიგა ან გარე ზედაპირის სიგლუვის მიხედვით.

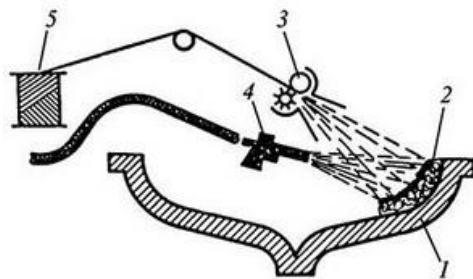
ნეგატიური ფორმა ზუსტად იმეორებს ფორმირებადი ნაკეთობის გარე კონტურს (სურ. 5.1), ხოლო პოზიტიური – შიგა კონტურს. ამ მეთოდისათვის დამახასიათებელია ის, რომ მიღებული ნაკეთობის მხოლოდ იგი ზედაპირია გლუვი (სუფთა), რომელიც უშუალოდ ეკვრის ყალიბს.

მარმირებელი მასალის ტიპზე დამოკიდებულებით, ნაკეთობაში, რომელიც დამზადებულია კონტაქტური მეთოდით, ბოჭკოების რაოდენობა მასალაში შეადგენს მთელი მოცულობის 35-50%.

კომპოზიტური მასალის მიღება ამ მეთოდით ხდება შემდეგნაირად: ბოჭკოს როვინგი (წნული, რომელიც შედგება ერთი ტიპის კომპლექსური ძაფებისაგან შეგრეხვის გარეშე) გადის საჭრელ მოწყობილობაში (სურ. 5.2), იჭრება (ქუცმაცდება) და გამფრქვევი პისტოლეტიდან გამოტყორცნილი ფისის მასით წარიტაცება ფორმის (1) ზედაპირზე. მიიღება დასამზადებლო ნაკეთობის ფორმის ლამინატი (შემკვრელი ფისისა და მარმირებელი მასალის ნარევი), რომელზეც პროცესის დამთავრების შემდეგ ხელით გადაატარებენ გორგოლაჭს (საგორავს) ნარევიდან ჰაერის მოცილების, ბოჭკოების შემკვრივების და გლუვი ზედაპირის მიღების მიზნით. ნაკეთობა გამყარების შემდეგ ინარჩუნებს საწყის ფორმას.



სურ. 5.1. კომპოზიტური მასალის კონტაქტური ფორმირების სქემა



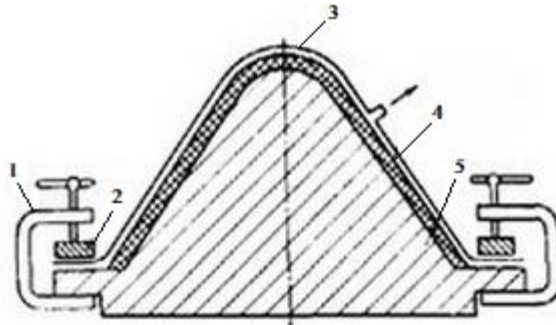
სურ. 5.2. ნაკეთობის დამზადების სქემა მინაპლასტიკისგან ამტვერების მეთოდით: 1-ყალიბი; 2-ლამინატი; 3-საჭრელი მოწყობილობა; 4-გამფრქვევი პისტოლეტი; 5-როვინგის ღოლი

გარე პოლიმერული საფარის (სურ. 5.1) დანიშნულებაა მისცეს ნაკეთობას დამცავი და დეკორატიული ფუნქცია. ნაკეთობის წნეხფორმიდან ამოღების შემდეგ ეს შრე მოცილდება სამუშაო ზედაპირს. იმისათვის, რომ პოლიმერული საფარი არ მიეკრას წნეხ-ფორმის სამუშაო ზედაპირს, მას პოხავენ ანტიადჰეზივით.

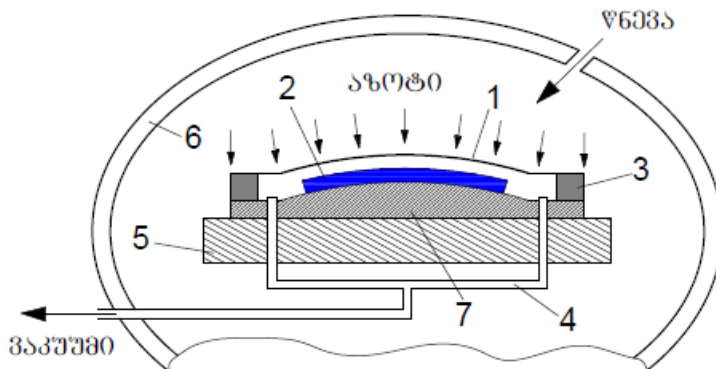
5.3.2. ფორმირება დრეკადი დიაფრაგმით

დრეკადი დიაფრაგმით (მემბრანით) ფორმირებისას კომპოზიტიური ნაკეთობის გარე და შიდა ზედაპირები იმეორებენ თვით ყალიბისა და დიაფრაგმის სტრუქტურას. ამ ჯგუფის მეთოდებს მიეკუთვნება ვაკუუმური, წნევით და ავტოკლავური ფორმირებები.

დიაფრაგმა წარმოადგენს სინთეზური კაუჩუკის თხელ ელასტიკურ მემბრანას (ტომარას), რომელიც ფორმირებად კომპოზიტს აცალკევებს მასალისაგან. იგი იმყოფება აირული წნევის ქვეშ გამყარების პროცესში. ფორმირებად კომპოზიტსა და დიაფრაგმას შორის არსებული სივრცის ფენიდან ამოიქაჩება ჰაერი ვაკუუმის შესაქმნელად, წარმოიქმნება წნევათა სხვაობა დიაფრაგმის მხარეებს შორის, რაც აიძულებს კომპოზიტს მჭიდროდ მიეკრას ხისტ ფორმას და მიიღოს მისი ფორმა. გამყარება ხდება ამ მდგომარეობაში ბუნებრივი ან ხელოვნური (გაცხელებით) მეთოდით. კომპოზიტის ელასტიკური დიაფრაგმით ფორმირების პროცესის სქემები ნაჩვენებია სურ. 5.1 და სურ. 5.2-ზე.



სურ. 5.1. კომპოზიტის ვაკუუმური ფორმირების სქემა: 1-ხრახნული მომჭერი; 2-მომჭერი რგოლი; 3-რეზინის გარსაცმი; 4-ფორმირებადი ნაკეთობა; 5-ყალიბი



სურ. 5.2. კომპოზიტის ავტოკლავური ფორმირების სქემა: 1-ელასტიკური დიაფრაგმა; 2-ნაკეთობა; 3-ჭერმეტიკი (პასტა, ჩალიჩი); 4-ვაკუუმური გამტარი; 5-ურიკა ნაკეთობით; 6-ავტოკლავის კედელი; 7-ფორმა-შაბლონი

ამ მეთოდებით მიიღება რთული ფორმის კომპოზიტიური ნაკეთობა, რომლის ერთი ზედაპირი რჩება ღია. ვაკუუმური ფორმირებისას მასალის შემჭიდროება (გამკვრივება) დრეკადი დიაფრაგმით შეიძლება მიიღწეს ატმოსფერული წნევის გამოყენებით, მინაპლასტიკის ფენების გამყარების პროცესში ვაკუუმირების გზით. წნევისა და ავტოკლავური (სურ. 5.2) ფორმირებისას კომპოზიტის კუმშვა გამყარების პროცესში ხდება ცხელი აირების გამოყენებით (ტემპერატურა 117-260°C, წნევა 1380-3450 კპა). ავტოკლავებს (ავტოკლავი – ჰერმეტიკულად დახურული ლითონის ჭურჭელი, რომელშიც ატარებენ სხვადასხვა პროცესს ორთქლის, მაღალი ტემპერატურისა და წნევის მეშვეობით) ყოველთვის უნდა გააჩნდეთ სავენტილაციო სარქველები აქროლადი პროდუქტების კამერიდან მოსაცილებლად, რათა ეს პროდუქტები არ შევიდნენ რეაქციაში გამყარების პროცესში მყოფ კომპოზიტთან.

ამ მეთოდით მიღებული კომპოზიტების გამყარების პროცესში, გარდა ცხელი აირებისა, გამოიყენება სხვა მეთოდებიც, როგორცაა: ინდუქციური, დიელექტრული, მაღალი სიხშირის დენები, ქსენონური აფეთქება (ნათება), ულტრაიისფერი სხივები, ელექტრონებისა და გამა-გამოსხივების ნაკადები და სხვ.

ვაკუუმური და ავტოკლავური ფორმირების უპირატესობაა პროცესის სიმარტივე და მცირე კაპიტალდაბანდება; რთული ფორმის დიდგაბარიტიანი თხელკედლიანი ნაკეთობების დამზადება და სხვ. ფორმის ღირებულება გაცილებით ნაკლებია დაწნევის მეთოდის წნეხფორმის ღირებულებაზე.

ამ მეთოდის განსაკუთრებულობაა ის, რომ დეტალი ფორმირდება ფორმის ნაწილზე, ამიტომ დეტალის მხოლოდ ერთი ზედაპირია ფორმის შესაბამისი (სუფთა ზედაპირი), ხოლო მეორე ზედაპირი, რომელიც მიმართულია მოქნილი დიაფრაგმისკენ – არათანაბარი და მქისეა.

ფორმებისათვის გამოიყენება თაბაშირი (რამდენიმე დეტალისათვის), დელტა-მერქანი (100 დეტალამდე), ალუმინის შენადნობები და ფოლადი (100-ზე მეტი დეტალისათვის). ავტოკლავის ზომები დამოკიდებულია დასამზადებელი ელემენტების გაბარიტებზე. მაგალითად, „ლოკჰიდის“ ფირმაში (ამერიკული სამხედრო-სამრეწველო კონცერნი) ექსპლუატაციაშია ავტოკლავი, რომლის დიამეტრია 6 მ და სიგრძე – 20 მ.



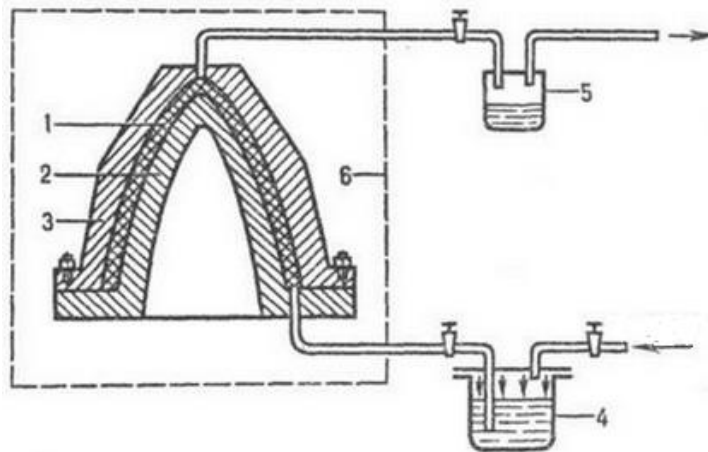
სურ. 5.3. ლირსებიანი ხის კარი

კომპოზიტების ფორმირება დრეკადი დიაფრაგმის მეთოდით წნევის ქვეშ ეფექტურია როგორც სქელი (ჰიდრო და რადიოლოკატორების, ანტენების გარსშემომდენები, გარსაცმი), ისე თხელი ნაკეთობების დასამზადებლად [არქიტექტურული პანელი, კარის ლირსი (სურ. 5.3. ლირსი – კედლის, პილასტრის ან კარის ზედაპირის მოჩარჩოებული ან ჩაღრმავებული დე-

კორატიული ნაწილი; კარის, ტიხრის ან კარადის და სხვა სახის ავეჯის კარის სიბრტყის ნაწილში ჩასმული მოჩარჩოებული შემავსებელი თხელი ფიცარი, ფანერი ან სხვა სახის მასალა) და სხვ.]. ავტოკლავური ფორმირების მეთოდით შეიძლება დამზადდეს ნებისმიერი კონფიგურაციისა და ზომის (ნორმალურობის ფარგლებში) კომპოზიტური ნაკეთობა.

5.3.3. ფორმაწარმოქმნა წნევით

პოლიმერული კომპოზიტური მასალის წნევით ფორმაწარმოქმნის მეთოდი საშუალებას იძლევა მივიღოთ ზუსტი გეომეტრიული ზომების ნაკეთობა, კედლის პრაქტიკულად უცვლელი მოცულობითი სიმკვრივით სიცარიელებებისა და ადგილობრივი განშრევევების გარეშე. მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდეგში: შემკვრელი მასალა ყალიბის ქვედა ნახვრეტიდან წნევით მიეწოდება დანადგარს, თანდათან ავსებს სივრცეს მატრიცასა და პუანსონს შორის და იქედან აძევებს ჰაერს (სურ. 5.3). ამ პროცესს სჭირდება გაცილებით რთული ყალიბი, კონტაქტურ ფორმაწარმოქმნის ყალიბთან შედარებით, რადგან აუცილებელია დრეჩო მატრიცასა და პუანსონს შორის ზუსტად შეესაბამებოდეს დასამზადებელი ნაკეთობის კედლის სისქეს. მატრიცისა და პუანსონის კედლების სისქე კონკრეტული ნაკეთობისთვის განისაზღვრება ექსპერიმენტული გზით.



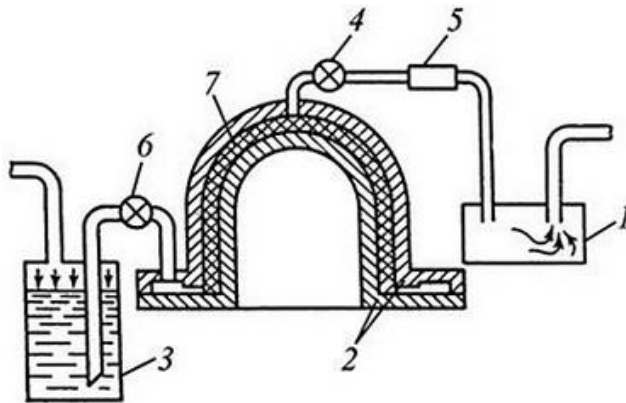
სურ. 5.3. მატრიცის შემავსებლის შემკვრელით გაჟღენთვის სქემა: 1-ნამზადი; 2-პუანსონი; 3-მატრიცა; 4-ჭურჭელი შემკვრელით; 5-დამჭერი მოწყობილობა ორგანული თბომატარებლის შესაცხელებლად; 6-თერმოკარადა

ნაკეთობის ფორმირების პროცესი ვაკუუმში გაჟღენთვით, კერძოდ, ყალიბის მომზადების ტექნოლოგია და მომზადებული მასალის ჩაწყობა ანალოგიურია წნევის მეშვეობით ფორმირების. აუცილებელია ყალიბის ელემენტების მაღალი სიხისტე, რომ არ მოხდეს მარმირებელი მასალის არათანაბარი დაწნევა და

ფისის თავისუფალი მოძრაობის რეჟიმის დარღვევა (გამოიწვევს არათანაბარ გაქვინთვას).

ბოლო წლებში ძალიან გავრცელდა დაარმირებული პლასტიკების ფორმირება RTM-პროცესის (resin transfer moulding) მიხედვით, რომლის დროს გამოიყენება ვაკუუმური ფორმირება და ორი ნაწილისაგან შემდგარი დახურული ფორმები (ყალიბები) (სურ. 5.4)

ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა მივიღოთ დაარმირებული კომპოზიტური მასალა ზუსტი გეომეტრიული ზომებით, ზედაპირის უნაკლო ხარისხითა და ფაქტურით.



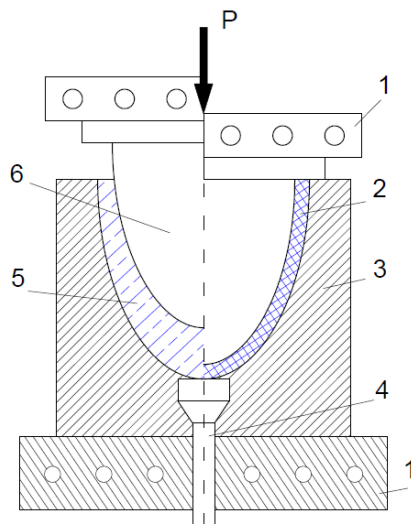
სურ. 5.4. კომპოზიტური ნაკეთობის ფორმირების სქემა RTM-პროცესის მიხედვით: 1-წყლის ფილტრი; 2-ფორმა (ყალიბი); 3-ჭურჭელი შემკვრელით; 4-ვაკუუმის ხაზის ონკანი; 5-ვაკუუმ-კომპრესორი; 6-შემკვრელის მისაწოდებელი ხაზის ონკანი; 7-მაარმირებელი შემავსებელი

5.3.4. ფორმაწარმოქმნა დაწნხით

ნაკეთობის ფორმირების მეთოდი დაწნხით წარმოადგენს პროცესს, რომლის დროს მასალა წნეხფორმაში ღებულობს საჭირო კონფიგურაციას მატრიცისა და პუნსონის მეშვეობით (სურ. 5.5). გამყარება მიმდინარეობს ყალიბში (ფორმაში). დღეისათვის ყველა დაარმირებული კომპოზიტური მასალის (პლასტმასების) 50%-ზე მეტი მზადდება ამ მეთოდით. მას იყენებენ იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა დეტალების დიდი სიზუსტე, მაღალი მწარმოებლობა, ადგენა და დაბალი ფასი. ეკონომიკური გაანგარიშებით დადგენილია, რომ მცირე წარმოებებშიც კი, როცა საჭიროა ნაკეთობათა მაღალი საექსპლუატაციო თვისებები და სიზუსტის მოთხოვნა, წნეხფორმის მეთოდით კომპოზიტების დამზადება მაინც მომგებიანი და მისაღებია.

გამოყენებული მარმირებელი მასალის სახეობის და ყალიბების ფორმის მიხედვით განასხვავებენ ფორმაწარმოქმნის სამ ძირითად მეთოდს: პირდაპირი დაწნეხა, ნადნობის დაწნეხა და თერმოკომპრესიული დაწნეხა.

პირდაპირი დაწნეხის მეთოდი ყველაზე გავრცელებული მეთოდია დაწნეხით ნაკეთობების წარმოებაში. ამ მეთოდით დაარმირებული კომპოზიტების წარმოება პრაქტიკულად არ განსხვავდება პლასტიმასების ფორმირებისგან. მთავარი განსხვავება თვით მასალის ბუნებაშია, რომლიდანაც წნეხენ დეტალებს. თავისუფლად დენადი ფისის ან ფხვნილის სანაცვლოდ, ფორმირებისთვის გამოიყენება წებვადი ბოჭკოვანი მასა, ტაბლეტირებული პოლიმერული კომპოზიტური მასალა, გაქლენთილი ჭილობი, ქსოვილი, წინასწარ გაფორმებული ნამზადი ან ბოჭკოებით დაარმირებული თერმორეაქტიული კომპოზიტი, რომელსაც მიღების შემდეგ არ ჭირდება გამყარება და მისი ფორმირება ხდება წნევით.

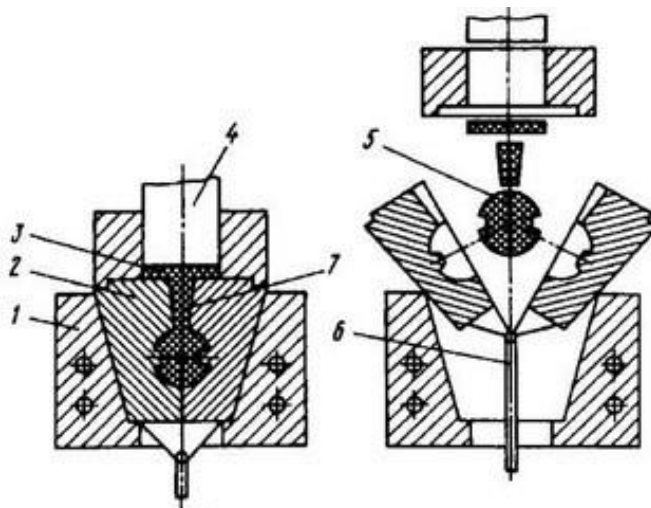


სურ. 5.5. წნეხფორმა: 1-სანთურა; 2-დაწნეხილი დეტალის ფრაგმენტი;

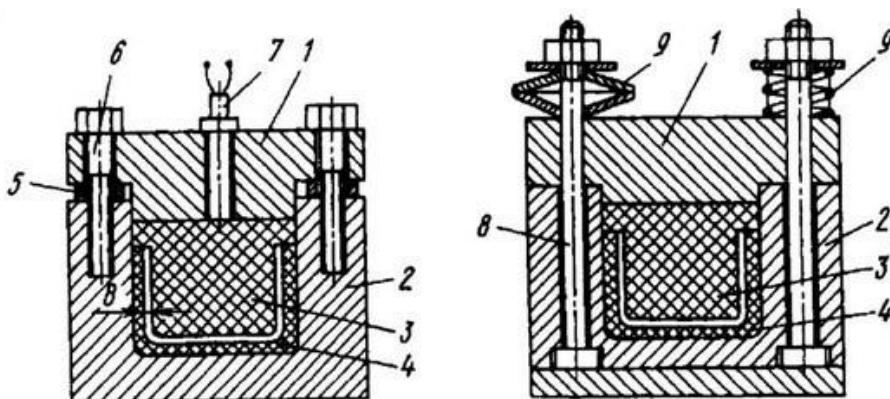
კომპოზიტური ნაკეთობის დაწნეხისათვის უპირატესად გამოიყენება ჰიდრაულიკური წნეხი, რომელიც საიმედოა და ხანგრძლივად ინარჩუნებს სამუშაო წნევას. პროცესის ძირითად ტექნოლოგიურ ელემენტს შეადგენს წნეხფორმა, რომლის სირთულესა და ღირებულებაზეა დამოკიდებული ნაკეთობის ხარისხი და ფასი. პროცესის ძირითადი პარამეტრებია ტემპერატურა, წნევა და დრო.

ნადნობის დაწნეხის მეთოდის გამოყენების დროს ნადნობი (სხმული) თავსდება წნეხფორმის ჩასატვირთ კამერაში, ცხელდება პლასტიკურობის მიღწევამდე და შემდეგ პუანსონის დაწოლით ავსებს წნეხფორმას. გაცივების შემდეგ ფორმა იხსნება და ამოაქვთ მზა ნაკეთობა (სურ. 5.6).

ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა სწრაფად დამზადდეს დეტალები, რომლებსაც აქვთ მცირე დიამეტრის გამჭოლი ნახვრეტები, მაღალი სიზუსტე, არ საჭიროებს მნიშვნელოვან მექანიკურ დამუშავებას. თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ საჭიროებს ნედლეულის მეტ რაოდენობას, ვიდრე პირდაპირი დაწნეხა, აგრეთვე ღირებულებაც მეტი აქვს (წნეხფორმის სირთულის გამო), მაგრამ მის გამოყენებას განაპირობებს რთული ფორმის დეტალების დამზადების შესაძლებლობა.



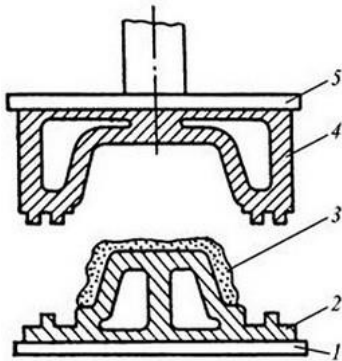
სურ. 5.6. წნეხფორმის სქემა სხმულების დაწნეხისათვის ერთცილინდრიანი წნეხით: 1-მატრიცის კონუსური მჭიდუ; 2-სოლისებრი მატრიცა; 3-ჩასატვირთი კამერა; 4-ჰუანსონი; 5-ფორმირებული ნაკეთობა; 6-გამომგდები; 7-ნადნობის არხი



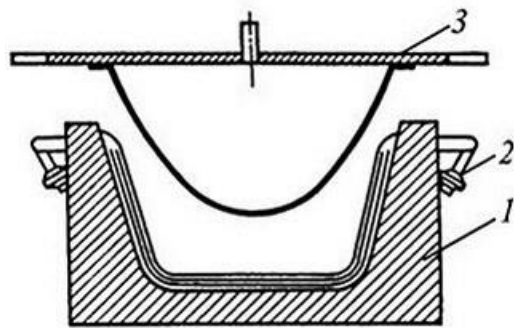
სურ. 5.7. თერმოკომპრესიული დაწნეხა მუდმივი (მარცხნივ) და ცვლადი (მარჯვნივ) მოცულობითი აღჭურვილობით: 1-ლითონის ჰუანსონი; 2-ლითონის მატრიცა; 3-ელასტიკური ფორმირებადი ელემენტი; 4-მაჭიდრობელი პაკეტი; 5-საყრდენი თამასები; 6-ფიქსირებული ელემენტები; 7-წნევის გადამწოდი; 8-მიმმართველი სვეტი-ფიქსატორი; 9-დრეკადი ტარირებული ელემენტები

დიდი ზომისა და გართულებული კონფიგურაციის თერმოპლასტიკური კომპოზიტების დამზადებისას გამოიყენება **თერმოკომპრესიული დაწნეხის მეთოდი**, რომელიც ხორციელდება ორნაირი – მუდმივი და ცვლადი მოცულობითი აღჭურვილობით (სურ. 5.7).

გარდა ზემოთ განხილული მეთოდებისა, დაწნეხილი კომპოზიტების წარმოებაში გამოიყენება ყველაზე ძველი მეთოდი – **დაწნეხა ჩაკეტილ მოცულობაში**. პროცესი მიმდინარეობს ოთახის ან მაღალ ტემპერატურაზე. ჩაკეტილი მოცულობა, რომელიც შეესაბამება ნაკეთობის გეომეტრიას, შეიძლება იყოს გასახსნელი ფორმის (სურ. 5.8) ან მომარჯვებული დრეკადი დიაფრაგმით (სურ. 5.9).



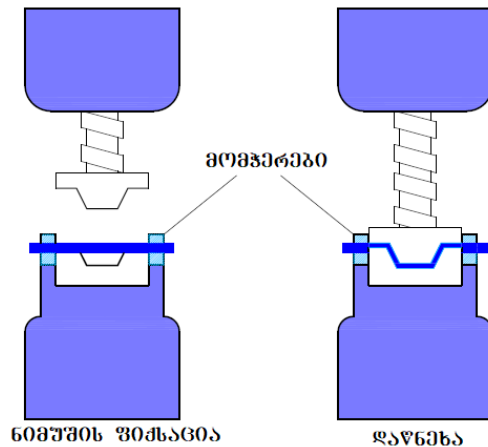
სურ. 5.8. ნაკეთობის დაწნეხის სქემა ჩაკეტილ ფორმაში: 1-წნეხის უძრავი ფილა; 2-პუნსონი; 3-ნამზადი; 4-წნეხფორმის მატრიცა; 5-წნეხის მოძრავი ფილა



სურ. 5.9. ნაკეთობის დაწნეხის სქემა დრეკადი დიაფრაგმით: 1-ყალიბი; 2-დასახშობი მოწყობილობა; 3-ზედა ფილა

5.3.5. თერმოპლასტიკური კომპოზიტების დაწნეხა

თერმოპლასტიკური კომპოზიტის დაწნეხის სქემა ნაჩვენებია სურ. 5.10-ზე. პროცესი იწყება პრეპრეგის (წინასწარ გაჟღენთილი კომპოზიტი) ამოწყობით ჩალაგების სქემის შესაბამისად. მომზადებული ნამზადი რბილდება (ცხელდება) და ასეთი სახით მიეწოდება დანადგარის ორმხრივ ფორმას, რომლის ტემპერატურა ნაკლებია პრეპრეგის დარბილების ტემპერატურაზე. შემდეგ წნეხფორმას ხურავენ და მასალას წნეხავენ. ამ მეთოდით ძირითადად ამზადებენ მარტივი ფორმის, დანაწევრებული ბოჭკოებით დაარმირებულ, კომპოზიტებს. რთული ფორმის ნაკეთობების დამზადებას ხელს უშლის იგი გარემოება, რომ დაწნეხის პროცესში უწყვეტი ბოჭკოები იჭიმება (ნორმატიულზე მეტად), მთლიანობა ირღვევა და ნაკეთობა აღარ პასუხობს საპროექტო მოთხოვნებს.



სურ. 5.10. წინასწარ გაცხელებული თერმოპლასტიკური

წნებფორმის ორივე ნაწილი შეიძლება იყოს ხისტი ან ერთი ხისტი და მეორე მოქნილი. მეორე კომბინაცია უზრუნველყოფს კომპოზიტის კარგ დაწნებას. ზოგჯერ ორივე ნაწილს ამზადებენ მოქნილი მასალისგან (სიიაფის გამო). წნებფორმის ტემპერატურის მიხედვით ერთი ნაკეთობის დამზადება საჭიროებს დროს რამდენიმე წამიდან 10 წუთამდე, ხოლო ტიპური წნევა, მაგალითად 6 მმ სისქის ნახშირბადის ფილისათვის შეადგენს 0,7-1,7 მპა-ს.

თერმოპლასტიკური კომპოზიტებისგან დიდი ზომის დეტალების დასამზადებლად გამოიყენება თანდათანობითი ფორმირება არა მთელი დეტალის, არამედ მისი ნაწილების, რაც საშუალებას გვაძლევს შემცირდეს დანადგარის ზომები. ცნობილია აგრეთვე ორსტადიანი ფორმირება, გლინვა (გრძელი ელემენტებისათვის) და სხვ.

5.3.6. ფორმარმოქმნა დახვევით

დახვევა ტექნოლოგიური პროცესია, რომლის დროსაც უწყვეტი მარმირებელი შემავსებელი ძაფის, ჩალიჩის, ლენტის, ქსოვილის, აფსკის სახით იყვინთება პოლიმერული შემკვრელით, მიეწოდება მბრუნავ სამარჯვს (ტექნიკური აღჭურვილობის ნაწილი, რომელიც გამოიყენება ნამზადისა და მჭრელი იარაღის დასამაგრებლად საჭირო მდგომარეობაში, აგრეთვე საამწყობო ოპერაციის საწარმოებლად), რომელსაც აქვს ნაკეთობის შიდა ზედაპირის კონფიგურაცია და ეხვევა მის ზედაპირზე მოცემული მიმართულებით (სურ. 5.11). მასალის გამყარების შემდეგ მოაცილებენ სამარჯვს და მიიღება საჭირო ნაკეთობა. ზოგჯერ სამარჯვი კონსტრუქციის ნაწილია და ტოვებენ ნაკეთობის შემადგენლობაში (მაგ., როგორც მაჭერმეტიზებელი გარსი).

მარმირებელი შემავსებლის დახვევა სამარჯვზე ხორციელდება სხვადასხვა სქემით მზა პროდუქციის მუშაობის პირობებზე დამოკიდებულებით, ესენია: რგოლური, ორბიტალური, გრძივ-განივი და სპირალური. ამ მეთოდებით ამზადებენ დიდი დიამეტრის მილებს (5 მ-მდე), სარკინიგზო და საავტომობილო ცისტერნებს ქიმიური პროდუქტების გადასაზიდად, წყალქვეშა აპარატებს, რაკეტის კორპუსებს, მაგისტრალურ მილსადენებს, მრუდ მილებს და სხვა დეტალებს, რომელთაც ბრუნვითი ტანის ზედაპირი აქვთ. დახვევის პროცესი მიმდინარეობს ავტომატურ რეჟიმში პროგრამული მართვის პირობებში.



სურ. 5.11. ფორმაწარმოქმნა დახვევით

5.3.7. ფორმაწარმოქმნა პულტრუსიით

პულტრუსია წარმოადგენს მუდმივი განივკვეთის კომპოზიტური ნაკეთობის დამზადების საწარმოო პროცესს შემკვრელში გაჟღენთილი მარმირებელი მასალის უწყვეტი გამოწევის გზით, რომელიც ხორციელდება ფორმაწარმოქმნელი გაცხელებული ფილერის (წვრილი ნახვრეტი) მეშვეობით (სურ. 5.12).

პულტრუსიის ტექნოლოგიის პარალელურად, მინა- და ბაზალტ-პლასტიკური კომპოზიტური არმატურის დასამზადებლად გამოიყენება აგრეთვე, პულტრუსიის უფილერო ტექნოლოგიაც, როგორცაა ნიდლტრუსია (პლენიტრუსია). ნიდლტრუსია (პლენიტრუსია, უფილერო პულტრუსია) არის კომპოზიტური არმატურის



სურ. 5.12. ფორმაწარმოქმნა პულტრუსიით

გამოწევა (წაგრძელება) პოლიმერიზაციული კამერის გავლით ფილერების გამოყენების გარეშე. ამ ტექნოლოგიის დროს ხდება არმატურის ზედაპირზე შემკვრელში გაჟღენთილი ბოჭკოს დახვევა, რაც უზრუნველყოფს მზა ნაკეთობის რელიეფური ზედაპირის მიღებას.

ნიდლტრუსიული მეთოდით მომუშავე ტექნოლოგიური ხაზის მწარმოებლობა ბევრად აჭარბებს პულტრუსიული დანადგარის მწარმოებლობას და შეადგენს 120 მ/სთ.

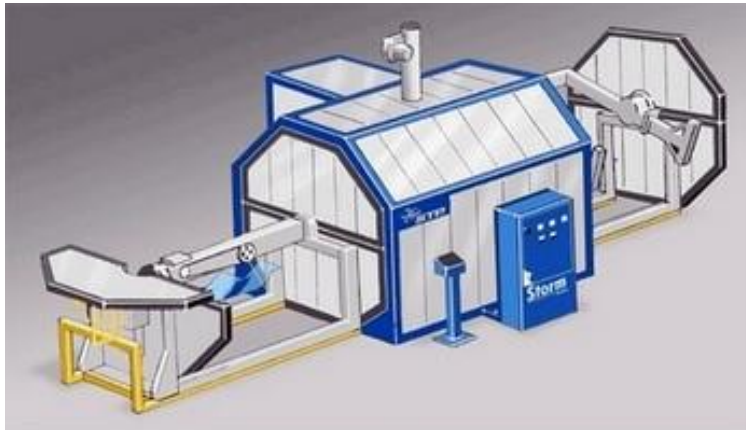
5.3.8. როტაციული ფორმაწარმოქმნა

როტაციული (როტაცია – წრიული, ბრუნვითი მოძრაობა) ფორმაწარმოქმნა მიეკუთვნება ნაღობისგან პლასტმასების გადამუშავების მეთოდს, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დაფუძელი (ან პასტისებრი) თერმოპლასტიკური მასალებისგან მივიღოთ სხვადასხვა ფორმისა და ზომის ცალობითი ღრუ ნაკეთობა.

პროცესის ტექნოლოგია შემდეგია: თერმოპლასტიკური მასალის გარკვეული რაოდენობა ჩაიტვირთება ღრუ ლითონის ფორმაში, რომელსაც ხურავენ და მოყავთ ბრუნვით მოძრაობაში ორ ურთიერთმართობ სიბრტყეში. შემდეგ ნარევს აცხელებენ პოლიმერის ღნობის ტემპერატურამდე და რთავენ წრიული ბრუნვის (როტაციის) რეჟიმს. ბრუნვისას პოლიმერის ნარევი თანაბრად მიეკვრება ფორმის კედელს, შემკვრივდება და შექმნის განსაზღვრული სისქის მონოლითურ ფენას. გაცივების შემდეგ ფორმას გახსნიან და ამოიღებენ მზა ნაკეთობას (მასალა – პოლივინილქლორიდის ან პოლიეთილენის პასტა; ან პოლიეთილენის და პოლიამიდის ფხვნილი).

საწარმოო მოწყობილობა შეირჩევა წარმოების მოცულობის მიხედვით. დიდ საწარმოებში გამოიყენება კარუსელის ტიპის მაღალმწარმოებლური მანქანები (სურ. 5.13), რომელშიც შეიძლება ერთდროულად მოთავსდეს 50-მდე ფორმა.

გამოშვებული პროდუქციის ასორტიმენტი საკმაოდ ფართოა: მცირე და დიდი ზომის ჭურჭელი ტევადობით 50 ტ-მდე და კედლის სისქით 16 მმ-მდე, ხელსაწყოების მცირეგაბარიტული დეტალები, სათამაშოები, მანეკენები, ქაფპლასტის ნაკეთობები, სამზარეულო ინვენტარი პლასტმასის საფარვლით და სხვ.



სურ. 5.13. დანადგარი როტაციული ფორმირებისთვის

თავი 6. პოლიმერული კომპოზიტური მასალების მექანიკური დამუშავება

6.1. დამუშავება ჭრით

პოლიმერული კომპოზიტური მასალების დამუშავება ჭრით მნიშვნელოვნად განსხვავდება ლითონების ჭრით დამუშავებისაგან, რაც განპირობებულია დასამუშავებელი მასალის დამახასიათებელი თვისებებითა და სტრუქტურით. ზოგჯერ, წარმოდგენილია კი შეიძლება მოგვეჩვენოს ლითონთან შედარებით რბილი პლასტიკის დამუშავებისას საჭრელი ინსტრუმენტის ინტენსიური ცვეთა. ეს გამოწვეულია ჭრის ზონაში მიმდინარე განსაკუთრებული პროცესებით, როგორცაა:

1. **კომპოზიტური მასალის მკვეთრად გამოხატული ანიზოტროპიული თვისებები.** ლითონი კრისტალური სტრუქტურის გამო შეიძლება ჩაითვალოს იზოტროპიულ მასალად, ხოლო კომპოზიტი, რომლის შემავსებელს წარმოადგენს სხვადასხვა მასალის ბოჭკო, არის ანიზოტროპიული თვისებების მასალა. სწორედ ეს თვისებები განსაზღვრავს ჭრის სხვადასხვა პროცესს, კერძოდ, დამუშებას ბოჭკოების მიმართულებით ან მის განივად. დაარმირების სქემა გავლენას ახდენს არა მარტო კომპოზიტის თვისებებზე, არამედ მიღებული ზედაპირის ხარისხზეც, ამიტომ მექანიკური დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესისას ყურადღება ექცევა ზედაპირის დამუშავების მიმართულებას დაარმირების მიმართულების მხედველობაში მიხედვით.

2. **მაღალი ხარისხის ზედაპირის მიღების შედარებითი სირთულე.** პოლიმერული კომპოზიტური მასალის შედარებით დაბალი სიმტკიცის, ფენოვანი სტრუქტურისა და რიგ შემთხვევაში შემკვრელსა და შემავსებელს შორის დაბალი ადჰეზიური კავშირის გამო, მათი მექანიკური დამუშავება წარმოებს წვერწამახვილებული ინსტრუმენტით. ბლაგვი ინსტრუმენტის ხმარების შემთხვევაში, მაარმირებელ ბოჭკოსა და შემკვრელს შორის დაბალი ადჰეზიის გამო, ჭრის ძალები წარმოქმნიან ბზარებს ადჰეზიის სიბრტყეში (განსაკუთრებით ინსტრუმენტის შესვლისა და გამოსვლის ადგილებში), რაც საბოლოო ჯამში აისახება მექანიკური დამუშავების ხარისხზე. ფენოვანი სტრუქტურის გამო, კი ბლაგვი ინსტრუმენტი გამოიწვევს მასალის განშრევებას. გარდა ამისა, მაარმირებელი ბოჭკოების გადაჭრის გამო (განსაკუთრებით ურთიერთჯვარიდანა დაარმირებისას) შეიმჩნევა ხიწვების დარჩენა, რაც მოითხოვს ზედაპირის დამატებით დამუშავებას (მაგ., ზუმფარით გახეხვას და სხვ.).

3. **შემავსებლის სიმაგრე.** პოლიმერული კომპოზიტური მასალის შემავსებლის სიმაგრე, ხშირ შემთხვევაში იწვევს ზოგიერთი ტიპის კომპოზიტის დამუშავების სირთულეს. მაგ., ბორის ბოჭკოებზე დამზადებული კომპოზიტის მიკროსიმაგრეა 40-43 გპა (40000-43000 მპა), რომელიც აჭარბებს ინსტრუმენტალური სწრაფმჭრელი ფოლადისა და სხვა მაგარი შენადნობების სიმაგრეს, აგრეთვე

უახლოვდება ზემადალი სიმაგრის მასალებს, როგორებიცაა: ბუნებრივი ალმასი (98,1 გპა), სინთეზური ალმასი AC6 (89 გპა) და ელბორი-P (84 გპა), ამიტომ ასეთი კომპოზიტიური მასალების დამუშავებისათვის გამოიყენება მხოლოდ ზემადალი სიმაგრის საჭრელი ინსტრუმენტები, თუმცა დამუშავების სირთულის ბოლომდე აღმოფხვრა შეუძლებელია, რადგან საჭრელი ინსტრუმენტის მიკროსიმაგრის ფარდობა დასამუშავებელი კომპოზიტის მიკროსიმაგრესთან შეადგენს 2,5, მაშინ როცა ჭრის ეფექტური პროცესისათვის ეს ფარდობა უნდა იყოს 4-დან 6-მდე.

4. **კომპოზიტის დაბალი თბოგამტარობა.** კომპოზიტის თბოგამტარობა (ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ახასიათებს ნივთიერების ტემპერატურის ცვლილების სიჩქარეს არათანაბარ სითბურ მოვლენებში) მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მასალის საერთო თბურ ბალანსზე. კომპოზიტის თბოგამტარობა რამდენჯერმე ნაკლებია ლითონის თბოგამტარობაზე, რის გამოც, კომპოზიტის დამუშავების დროს გამოყოფილი ტემპერატურა ძირითადად საჭრელი ინსტრუმენტით სცილდება საჭრელ ზონას და არა ბურბუშელასა და მასალის საშუალებით. კვლევებით დადგენილია, რომ კომპოზიტის ჭრის ზონიდან სითბოს მოცილება ხდება შემდეგნაირად: ინსტრუმენტი – 90%, ბურბუშელა – 5% და დასამუშავებელი დეტალი – 5%, მაშინ როდესაც ლითონების დამუშავებისას სითბოს 90% მიაქვს ბურბუშელას და მხოლოდ 10% მოდის ინსტრუმენტსა და მასალაზე. შესაბამისად კომპოზიტებში თბური ბალანსის ძირითადი ნაწილი მოდის საჭრელ ინსტრუმენტზე, რაც დამატებით სირთულეებს უქმნის ჭრის პროცესს.

5. **შემვსების აბრაზიული ზემოქმედება.** დაარმირებული კომპოზიტი გაცილებით რთული დასამუშავებელია, ვიდრე ნებისმიერი სხვა პლასტმასი, რადგან ბორის, ნახშირბადისა და მინის ბოჭკოები გამოირჩევიან მაღალი სიმაგრითა და აბრაზიული (აბრაზიულობა – გადასამუშავებელი მასალის უნარი გაცვითოს მასზე მოხახუნე სამუშაო ორგანოს ზედაპირი) თვისებებით. ჭრის ზონაში მაგარი ბოჭკოების არსებობა იწვევს საჭრელი ინსტრუმენტის სწრაფ ცვეთას, რაც საბოლოო ჯამში ზრდის მასალის დამუშავების ღირებულებასა და დროს.

6. **პოლიმერული შემკვრელის დესტრუქცია.** ჭრის პროცესში კომპოზიტში შემავალი შემკვრელი (მატრიცა), ლოკალური (ადგილობრივი) ძაბვებისა და მაღალი ტემპერატურის გავლენით, რომელიც აჭარბებს პოლიმერის თბომედეგობას, რბილდება, ხდება ბლანტი და მიმდინარეობს პოლიმერის მოლეკულური ჯაჭვის ქიმიური კავშირების მასობრივი რღვევა. ბლანტი (მოსქო, წებოვანი სითხე; წვეადი, ჭიმვადი; მწებვარე, წებვადი, წებოიანი; შემწოვი; საფლობი) შემკვრელი ედება საჭრელი ინსტრუმენტის ზედაპირს და იწვევს მაკრო და მიკროდეფექტების წარმოქმნას (ამცირებს ლითონის ზედაპირულ ენერგიას). შედეგად ხდება ინსტრუმენტის მექანიკურ-ქიმიური ადსორბციული (ადსორბცია – აირის ან სითხის შთანთქმა მყარი ნივთიერების ან სითხის ზედაპირის მიერ) ცვეთა. ცვეთის ეს სახეობა დამახასიათებელია მხოლოდ პოლიმერული კომპოზიტებისთვის.

7. **კომპოზიტის მაღალი დრეკადი თვისებები.** კომპოზიტის დამუშავების პროცესში მაღალი დრეკადობა ზრდის საკონტაქტო ზედაპირს, შესაბამისად იზრდება ჭრის ძალა და მცირდება ნაკეთობის დამუშავების სიზუსტე. ამ მოვლენის აღმოსაფხვრელად მიმართავენ „ჩარხი-მოწყობილობა-ინსტრუმენტი“-ის სისტემის გახისტებას.

8. **კომპოზიტის დაბალი თბომდეგობა.** შემკვრელის ტიპზე დამოკიდებულებით კომპოზიტური ნაკეთობების მუშაობის მაქსიმალური ტემპერატურული დიაპაზონია 160-300°C. უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ხდება შემკვრელის ამოწვა და დამუშავებელი დეტალის ზედაპირზე ჩნდება მუქი ფერის ლაქები ნამწვის სახით. შესაბამისად ჭრის ზონაში ტემპერატურა უფრო დაბალი უნდა იყოს, ვიდრე კომპოზიტური მასალის თბომდეგობაა. ეს მოვლენა ხშირად ძალიან ართულებს დამუშავების პროცესს, რადგან სითბოს ამრთმევად წყლის გამოყენება ყოველთვის მიზანშეწონილი არ არის (კომპოზიტებს ახასიათებთ ტენშთანთქმა).

ჩამოთვლილი, ბოჭკოებით დაარმირებული პოლიმერული კომპოზიტური მასალების ჭრით დამუშავების განსაკუთრებულობა, ხაზგასმით აჩვენებს, რომ ლითონების ჭრით დამუშავების მეთოდების პირდაპირი გადატანა კომპოზიტებზე არ შეიძლება. ჭრის პროცესის ოპტიმიზაციისთვის გასათვალისწინებელია: ბურბუმე-ლაწარმოქმნის პროცესი, ინსტრუმენტის ცვეთა, ძალური და თბური მოვლენების მხედველობაში მიღება, დამუშავებული ზედაპირის ხარისხის მოთხოვნები და სხვ. მხოლოდ ამ ჩამონათვლის გათვალისწინებით შესაძლებელია სხვადასხვა კომპოზიტის ჭრით დამუშავების ნორმატიული რეჟიმის დადგენა.

6.2. საზეინკლო დამუშავება

საზეინკლო დამუშავებას იყენებენ გარსის, მილისის, რგოლის, სახშობის ტიპის დეტალებს დასამზადებლად. მათი დამუშავება ხდება სპეციალურ საზეინკლო ჩარხებზე. ტექნოლოგიური პროცესის რაციონალური მოწყობისათვის აუცილებელია დამუშავების პროცესის სტრუქტურული მდგენელების ოპტიმიზაცია, რომელიც ეხება: საჭრელ ინსტრუმენტს (გეომეტრიული პარამეტრები და ინსტრუმენტული მასალის თვისებები), ჭრის რეჟიმებს (სიჩქარე, სიღრმე) და დამუშავებული ზედაპირის ხარისხს.

მაგალითად, დადგენილია, რომ მინაპლასტიკის დასამუშავებლად უმჯობესია ერთკარბიდიანი მაგარი შენადნობის გამოყენება. მინაპლასტიკი (მინაკომპოზიტი) პლასტმასის ნაირსახეობაა, რომელიც შედგება შემკვრელისა და მაარმირებლისაგან. შემკვრელად ძირითადად თერმორეაქტიული ფისები (პოლიეთერი, ეპოქსიდი, ფენოლოფორმალდეჰიდი) გამოიყენება, ხოლო მაარმირებლად – მინის ბოჭკო, მინის ძაფი, მინის ქსოვილი, კვარცის ბოჭკო. გვხვდება გამჭვირვალე და გაუმჭვირი სახით (სიმტკიცე – 1500-1900 კგ/მ³. იგი მიეკუთვნება ძნელად წვადი

მასალების ჯგუფს. სამშენებლო კონსტრუქციების დასამზადებლად არსებობს სამი ტიპის მინაპლასტიკი: უწყვეტი მინის ბოჭკოთი, ქაოსურად განლაგებული დანაწევრებული მინაბოჭკოთი და მინის ბოჭკოსგან დამზადებული უხეში ტილოთი დაარმირებული ("გლაკრეზიტი"). მშენებლობაში განსაკუთრებით გავრცელებულია მინის ბოჭკოთი დაარმირებული პოლიეთერული მინაპლასტიკები. მისგან ამზადებენ კარისა და ფანჯრის პროფილებს, სამფენოვან ფილებს და პანელებს, საკედლე ბლოკებს, კიბის სახელურებს, ბრტყელ და ტალღოვან ფურცლებს, ელექტრობის არგამტარ კიბეებს, დიდი წნევის მილებს; აგრეთვე წყლის ნავებს, კანოებს, ტელეფონის (ტაქსოფონის) კაბინებს, მყარ საწვავზე მომუშავე რაკეტის ძრავის კორპუსებს, მსუბუქი ავტომობილების ძარასა და სხვ. მინაპლასტიკს შეიძლება მიეცეს ნებისმიერი ფორმა, ფერი და სისქე. მინაპლასტიკის ინგლისური სახელია „ფიბერგლასი“ (fiberglass – აშშ-ში და fibreglass – გაერთიანებულ სამეფოში).

მინაპლასტიკი თერმორეაქტიული პლასტმასაა დაბალი თბოგამტარობით. ჭრის ზონაში ტემპერატურა არ უნდა იყოს 300°C-ზე მეტი, რადგან უფრო მაღალ ტემპერატურაზე იწყება მასალის დარბილება და ამოწვა, აგრეთვე შემკვრელის ინტენსიური თერმოდესტრუქცია, ამიტომ, მითითებული ტემპერატურული ღონის შენარჩუნებისათვის საჭრელ ინსტრუმენტულ მასალას უნდა ჰქონდეს მაღალი თბოგამტარობა, რათა ტემპერატურა სწრაფად მოცილდეს ჭრის ზონას. რეკომენდებულია ერთკარბიდიანი ვოლფრამკობალტის მაგარი შენადნობების გამოყენება.

6.3. დამუშავება ბურღით

ბურღი წარმოადგენს გრძივი ღერძის მქონე საჭრელ ინსტრუმენტს ბრუნვითი მოძრაობით მასალაში ნახვრეტების გასაკეთებლად ან არსებული ნახვრეტის გასაფართოებლად. სამუშაო ნაწილის კონსტრუქციის მიხედვით არსებობს: ნული (სპირალური) – ყველაზე გავრცელებული სახეობა, დიამეტრით 0,1-80 მმ, სამუშაო ნაწილის სიგრძით 275 მმ-მდე; ბრტყელი (ფრთეულა) – დიდი დიამეტრისა და სიღრმის ნახვრეტებისათვის; ფორსტნერის – ბრტყელის გაუმჯობესებული ვერსია საჭრისი-ფრეზის დამატებით; საცენტრებელი (ღრმა ბურღვისათვის, ცალმხრივი ჭრის, საზარბაზნე, საიარაღე, რგოლური). დასამუშავებელი მასალის მიხედვით: უნივერსალური, ლითონებისა და შენადნობების; ბეტონის, აგურის, ქვის; კომპოზიტური მასალების; მინის, კერამიკისა და ხის დასამუშავებელი. გასაბურღი ნახვრეტის ფორმის მიხედვით: ცილინდრული და კონუსური. კუდის ნაწილის კონსტრუქციის მიხედვით: ცილინდრული, კონუსური, სამ-, ოთხ- და ექვსწახნაგა, SDS (სურ. 6.1). დამზადების მიხედვით: მთლიანი, შენადნული, მყარშენადნობიანი ფირფიტებით (ან შესაცვლელი ფირფიტებით) და მყარშენადნობიანი თავით

(საჭრეთელით). ბურღვის ხარისხზე გავლენას ახდენს ბურღვის სპირალის დახრის კუთხე, მასალა, პროცესის ტექნოლოგია, გარემო და სხვ.

ბურღებს მიეკუთვნება აგრეთვე პერფორატორების საბურღი იარაღი – წამოსაცმელი მჭრელი თავი (ბუნიკი), რომელიც წარმოადგენს ოთხწახნაგა ღეროს ღერძული ხვრეტიტ დიამეტრით 6-12 მმ, დამზადებული სპეციალური ფოლადისაგან და თერმულად დამუშავებული.

ბურღის მრავალი სახეობა არსებობს: ალმასის, გასაშლელი, გვირგვინა, ელექტრული, ზარბაზნის, თერმული, თოფის, კალმისებრი, კოვზა, მიწის, მრავალსაჭრისიანი, პირამიდული, პნევმატიკური, სამთო, სამსხვრევი, სარტყამი, სახენისებრი, სვეტიანი, სპირალური, ტურბინული, ფრეზ-ფრთეულა, ღრუ, შედგენილი, შტაბგური, ჩარხის, ცენტრული ფრთეულა, ცილინდრული, ხრახნული, ხუროსა და სხვ.



სურ. 6.1. ბურღის სახეობები: A-ლითონის; B-ხის; C-ბეტონის; D-ხის პირველი (უძველესი) ბურღი; E-უნივერსალური ლითონის და ბეტონის; F-ფურცლოვანი ლითონის; G-უნივერსალური ლითონის, ხის და პლასტმასის. ბოლოები: 1, 2-ცილინდრული; 3-SDS-plus; 4-ექვსწახნაგა; 5-ოთხწახნაგა; 6-სამწახნაგა; 7-სჭვალსახრახნისთვის

პოლიმერული კომპოზიტის ბურღვით დამუშავება ერთ-ერთი რთული და შრომატევადი პროცესია. იგი ზოგიერთ კომპოზიტში მექანიკური დამუშავების 70-80%-ს აღწევს, ამიტომ, ბუნებრივია, საჭრელი ინსტრუმენტის – ბურღის შერჩევა, კომპოზიტების მექანიკური დამუშავების პროცესში მეტად მნიშვნელოვანია.

მასალის ბურღვითი სამუშაოები შეიძლება განხორციელდეს მაარმირებელი ბოჭკოების მიმართულებით, მართობულად ან რაღაც კუთხით. ნახვრეტი არსებობს გამჭოლი ან ყრუ. ყრუ ნახვრეტის ტორსული სიბრტყე უნდა იყოს ნახვრეტის ღერძის მართობული. ძირითადად გამოიყენება მყარშენადნობიანი სწრაფმჭრე-

ლი ფოლადის ბურღები, გარდა კომპოზიტებისა, რომლებიც დამზადებულია ბორის მაარმირებელი ბოჭკოების გამოყენებით (ამ დროს გამოიყენება ზემაღალი სიმტკიცის მასალებისაგან დამზადებული ბურღები).

კომპოზიტების მექანიკური დამუშავების მწარმოებლობის ასამაღლებლად საუკეთესოა ალმასის ბურღები, რომლებიც მკვეთრად აუმჯობესებენ დამუშავების ხარისხს სხვა ტიპის ბურღებთან შედარებით. ალმასის ბურღის საჭრელი ნაწილი შედგება ლითონის ჩარჩოზე დატანილი ალმასის ფენისგან – ალმასის ფხვნილი გალვანოსტეგიის (გალვანოსტეგია – ნაკეთობაზე დამცავი ან დეკორატიული ლითონის საფარების დატანა ელექტროლიტური მეთოდით) გამოყენებით დაიტანება საჭრელი ინსტრუმენტის სამუშაო ზედაპირზე და განსაზღვრავს საჭრელი ინსტრუმენტის მარკას დატანილი ფენის სისქისა და ხორკლიანობის მიხედვით.

6.4. დამუშავება გაჭრით

კომპოზიტური ნაკეთობის (ფურცლოვანი მასალა, ფილა, გარსი და სხვ.) გაჭრას მიმართავენ ნაკეთობისათვის საჭირო ზომებისა და ფორმის მისაცემად, რისთვისაც გამოიყენება ლენტური და დისკური ხერხი, აბრაზიული და ალმასის რგოლი, მაღალი წნევის სითხის ქავლი, ლაზერის სხივი, ულტრაბგერა და სხვ. ლენტური და დისკური ხერხები და ფრეზები დაბალი გამძლეობითა და მედეგობით გამოირჩევა, ამიტომ კომპოზიტის დამუშავება მათი მეშვეობით ნაკლებად მწარმოებლურია და ვერ უზრუნველყოფს ჭრის საჭირო ხარისხს. ყველაზე ეფექტური მეთოდია – გაჭრა აბრაზიული და ალმასის რგოლებით.

კომპოზიტების გასაჭრელად გამოიყენება კარბორუნდის აბრაზიული რგოლები კედლის სისქით 1-4 მმ და ბრუნვის სიჩქარით 2500-3500 ბრუნი წთ-ში. მუშაობის პროცესში ხდება აბრაზიული დისკოდან კარბორუნდის მარცვლების ამოცვენა, დისკის დაბინძურება (გადაგლეხვა) მატრიცული შემკრავითა და პოლიმერის დესტრუქციული (დესტრუქცია – რისამე ნორმალური სტრუქტურის დაშლა, დარღვევა) პროდუქტებით, ტემპერატურის აწევა ჭრის ზონაში, რაც ზღუდავს ამ მეთოდის გამოყენებას, ამიტომ უპირატესობა ენიჭება ალმასის რგოლებს, თუმცა ალმასის რგოლები გაცილებით ძვირია კარბორუნდის აბრაზიულ რგოლებთან შედარებით.

ალმასი (ანდამანტი, ადამატი, ადამასი, პატიოსანი თვალი) (სპარს. almâs ალმასი, ბრილიანტი < ძვ. ბერძ. adâmas უცვლელი, უმტვრევი, უდრეკი, უძლეველი, მოუთვინიერებელი, მტკიცე ნივთიერება) წარმოადგენს ნახშირბადის სუფთა ან ნახევრად სუფთა, გამჭვირვალე ან ნახევრადგამჭვირვალე, უკიდურესად მტკიცე ფორმას, რომელიც ბუნებრივადაა კრისტალიზებული იზომეტრიულ სისტემაში; იგი ნახშირბადის მეტასტაბილური ალოტროპიაა [ალოტროპია (ბერძ. állos სხვა, განსხვავებული და trópos მობრუნება, მოსახვევი) – 1. ერთი და იმავე ქიმიური ელემენტის არსებობა სხვადასხვა მარტივი ნივთიერების სახით; 2. ლითონის

უნარი მყარ მდგომარეობაში ჰქონდეს სხვადასხვა კრისტალური აგებულება და შესაბამისად თვისება, სხვადასხვა ტემპერატურის პირობებში]. სიმკვრივე – 3500...3530 კგ/მ³; სიმაგრე მოოსის სკალით – 10. ვაკუუმში ან ინერტულ აირში, მაღალი ტემპერატურის პირობებში, ალმასი თანდათანობით გრაფიტის ფორმაში გადადის. აღსანიშნავია, რომ იგი ნაკლებად სტაბილურია, ვიდრე გრაფიტი, მაგრამ მისი გრაფიტში გადასვლის ინტენსივობა სტანდარტულ, ნორმალურ პირობებში უმნიშვნელოა; ითვლება, რომ ალმასი პირველად აღმოაჩინეს და მოიპოვეს ინდოეთში, სადაც მრავალი საუკუნის წინ რამდენიმე მდინარის (მაგ. კრიშნა, გოდავარი) გასწვრივ ამ ძვირფასი ქვის მნიშვნელოვანი რაოდენობის ალუვიური (ბუნებრივად მონატანი, მონარიყი) დანალექები აღმოჩნდა. ინდოეთში ალმასს 3000, შესაძლოა 6000 წლის წინათაც იცნობდნენ.

ალმასი უძვირფასეს ქვად იქცა მას შემდეგ, რაც ინდოეთში მისი რელიგიური დანიშნულებით გამოყენება დაიწყო. საინტერესოა, რომ 1772 წელს ფრანგმა მეცნიერმა ანტუან ლორან ლავუაზიემ, ჟანგბადის გარემოში, გამადიდებელი შუშის მეშვეობით მზის კონცენტრირებული სხივების ალმასზე მიმართვისას შენიშნა, რომ ძვირფასი ქვის წვის ერთადერთი პროდუქტი ნახშირბადის დიოქსიდი იყო. ამით მან დაამტკიცა, რომ ალმასი ნახშირბადისგან (მოლეკულური ფორმულა – C) შედგება.

ალმასი ფართოდ გამოიყენებოდა ქართულ საიუველირო ხელოვნებაში. ალმასით არის შემკული მცხეთის ნეკროპოლში აღმოჩენილი ნივთები, შუა საუკუნეების ხატები და ხელნაწერთა ყდები. ალმასი ჩვენში ტექნიკური მიზნებისთვისაც გამოიყენებოდა. კერძოდ, ალმასით იხვრიტებოდა ძვირფასი ქვებისგან დამზადებული მძივები. აღსანიშნავია, რომ საქართველოში ალმასის დამზადება არ ხდებოდა, იგი შემოჰქონდათ ინდოეთიდან, შემდეგ კი ევროპიდან. ალმასი გამოიყენება ასევე მინის საჭრელად. ძველ ქართულ მწერლობაში ალმასის სინონიმია "ანდამატი". ალმასი არის უფერო ან თეთრი, ყვითელი (სურ. 6.2. 2,93 კარატიანი, რვაწახნაგოვანი ყვითელი ალმასი ქალაქ კიმბერლიდან, ფრენსის ბაარდის ოლქი, ჩრდილოეთ კაპლანდის პროვინცია, სამხრეთ აფრიკის რესპუბლიკა), ნარინჯისფერი, ვარდისფერ-მწვანე, წითელი, მწვანე, ლურჯი, ყავისფერი, ფოლადისფერ-რუხი, რუხი, შავი. ყველაზე ძვირფასია შავი ფერის ალმასი. გარკვეული წესით ხელოვნურად დაწახნაგებულ ალმასს ბრილიანტი ეწოდება.



სურ. 6.2. ალმასი

კარბორუნდი (ლათ. carbo ნახშირი და გერმ. rund მრგვალი) – კაჟბადისა და ნახშირბადის ნაერთი. უფერო, მაგარი კრისტალური ნივთიერება (ტექნიკური კარბორუნდი შავი ან მწვანე ფერისაა). გამოიყენება ქვების, ფოლადის სახეხად, აგრეთვე, როგორც აბრაზიული (პოლიმერული კომპოზიტური მასალების დასაჭრე-

ლად) და ცეცხლგამძლე მასალა, ქიმიური აპარატებისა და მეტალურგიული დუმლების შიგა ზედაპირების ამოსაგებ-მოსაპირკეთებლად.

6.5. დამუშავება ულტრაბგერით

ულტრაბგერა 16-20 კჰც-ზე მაღალი სიხშირის რხევებია, რომლებსაც ადამიანის ყური ვერ აღიქვამს. ულტრაბგერის სიმძლავრე რამდენიმე კილოვატს აღწევს. ხშირად გვხვდება ბუნებაში – ახლავს ფოთლების შრიალს, ზღვის მოქცევის ხმაურს, შედის ქარის ხმაურში, მას გამოსცემენ ღამურები, თევზები, მწერები. ულტრაბგერას შეიცავს მანქანის ხმაური. ცხოველთა სამყაროში მისი დახმარებით სრულდება მთელი რიგი სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანი ფუნქციები: ღამურების ექოლოკაცია, მწერების სიგნალები და სხვ. ულტრაბგერული რხევა ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში (მყარ და მსხვრევად მასალათა მექანიკური დამუშავება, შედუღება, მოკალვა, ლითონის ზედაპირიდან ჭუჭყისა და ცხიმის მოშორება, შენადნობთა მიღება, რჩილვა, კომპოზიტური მასალების მექანიკური დამუშავება, დეფექტოსკოპია, აირთა ანალიზი, ტექნოლოგიური პროცესების ტექნიკური კონტროლი, გაზომვები და ა. შ.) და მედიცინაში. ზოგჯერ ულტრაბგერის წარმოქმნა თან ახლავს ზოგი მოწყობილობის (რეაქტიული ძრავის, აირტურბინის, მძლავრი პნევმოძრავის და სხვ.) მუშაობას, როგორც თანაური პროცესი. დაბალსიხშირული ულტრაბგერა მაღალსიხშირულ ხმაურთან ერთად კარგად ვრცელდება ჰაერში, მაგრამ სმენადი ბგერითი ტალღებისაგან განსხვავებით მნიშვნელოვნად სუსტდება რხევის წყაროდან დაშორებასთან ერთად და ახასიათებს საჰაერო სივრცეში არათანაბარი ინტენსივობა.

კონსტრუქციული მასალების დამუშავების მაღალეფექტური მეთოდების შემუშავება ყოველთვის წარმოადგენდა და წარმოადგენს მეცნიერებისა და სამრეწველო წარმოების კვლევის საგანს. იქმნება ახალი პოლიმერული კომპოზიტური მასალები, დაარმირებული ბორის, ნახშირბადის, ბაზალტის, მინის, ტანტალის, ტიტანის, მოლიბდენის, ვოლფრამის და სხვა მაღალი სიმტკიცის ბოჭკოებით. ამ მასალებით დამზადებული ნაკეთობები მოითხოვს მექანიკურ დამუშავებას, რისთვისაც არსებული ძველი მეთოდები და ინსტრუმენტები უკვე ვეღარ პასუხობს გაზრდილ მოთხოვნებს.

საჭრელი ინსტრუმენტების განახლების მიმართულებით, დიდ ინტერესს იწვევს შედეგები, რომელიც მიღებული იყო პოლიმერული კომპოზიტებისა და სხვა მაგარი მასალებისგან დამზადებული დეტალების ულტრაბგერითი მექანიკური დამუშავებით. იგი დაფუძნებულია მოვლენაზე, რომელიც თან ახლავს სამუშაო გარემოში ან დასამუშავებელი მასალისა და საჭრელი ინსტრუმენტის კონტაქტის ზონაში ულტრაბგერითი რხევების გავრცელებას. ამ მეთოდის რეალიზაციის ბაზად მიღებულია არსებული ტექნოლოგიური პროცესები: გამოჩარხვა, გალესვა, ბურღვა, ფრეზირება, გაჭრა და სხვ.

ულტრაბგერითი დამუშავების პროცესების ოპტიმიზაცია ხდება სამი პარამეტრის მიხედვით, ესენია: სისუფთავე, რხევის ამპლიტუდა და მისი მიმართულება ჭრის მიმართულებისა და სიჩქარის მიმართ. ულტრაბგერა ეფექტურად ზრდის მასალის კრისტალების შიგა ენერგიას. თბური ენერგიისგან განსხვავებით, რომელიც თანაბრად ნაწილდება მოცულობაში, ულტრაბგერის ჩაქრობა ხდება ძირითადად დეფექტების ადგილზე, ამიტომ ულტრაბგერა მნიშვნელოვნად ზრდის დისლოკაციის ენერგიას და აქტივიზაციას უკეთებს მისი წარმოშობის წყაროებს.

სტატიკური და დინამიკური დატვირთვების ერთდროული მოქმედებისას მნიშვნელოვნად მცირდება პლასტიკური დეფორმაციისას მასალის წინაღობა. ულტრაბგერითი ეფექტის გამოყენებით კი, ამ პირობებში, იგი რეალობდება ნაკლებად ხისტი, თხელკედლიანი და რბილზედაპირიანი დეტალების ზედაპირული ფენების განსამტკიცებლად.

მასალების ულტრაბგერითი დამუშავების პროცესები დაფუძნებულია რთულ ფიზიკურ-ქიმიურ მოვლენებზე, როგორცაა: ვიბრირებული ინსტრუმენტის კონტაქტი დასამუშავებელ ზედაპირთან; ზედაპირული ფენების პლასტიკური დეფორმაციები და მყიფე რღვევა, ხახუნის ძალების ცვალებადობა, სითბოს გამოყოფა და საკონტაქტო ტემპერატურის ზრდა – სასაზღვრო დისიპაცია (დისიპაცია – მოწესრიგებული პროცესების ენერგიის ნაწილის გადასვლა მოუწესრიგებელი პროცესების ენერგიაში, საბოლოო ჯამში – სითბოში); ულტრაბგერის გავლენით მასალაში პროცესების გააქტიურება: დიფუზია, ცოცვადობა, რელაქსაცია, პლასტიკური დეფორმაციის წინააღობის შემცირება, ენერგიის მოცულობითი დისიპაცია.

საჭრელი ინსტრუმენტისათვის ულტრაბგერითი რხევების მინიჭება იწვევს რთულ ზემოქმედებას ჭრის პროცესებზე, კერძოდ: ცვლის დრეკადობის მოდულს, ჭრის სიჩქარის ვექტორის მიმართულებას, ინსტრუმენტის კინემატიკურ კუთხეს, ზედაპირული ფენის ფორმირების პირობებს, აუმჯობესებს დეტალის ზედაპირის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს, ამადლებს დინამიკური სისტემის (ჩარხი-ინსტრუმენტი-დეტალი) მდგრადობას და სხვ.

კვლევებით დადგენილია, რომ პოლიმერული კომპოზიტიური და კერამიკული ნაკეთობების დამუშავება ეფექტურია ვაწარმოთ ულტრაბგერითი მეთოდით სპეციალური აღმასის ინსტრუმენტების გამოყენებით. მიზანშეწონილია ამ მეთოდით მოხდეს შედარებით მცირე დიამეტრის (2-8 მმ) და დიდი სიგრძის ნახვრეტების ბურღვა.

6.6. დამუშავება ლაზერის სხივებით

ლაზერი (ოპტიკური კვანტური გენერატორი) (ინგლ. Laser < აბრევიატურა ინგლისური დასახელების მიხედვით: Light Amplification by Stimulated Emission Radiation სინათლის გაძლიერება იძულებითი გამოსხივების შედეგად) მოწყობილობაა,

რომელშიც ენერგია (სითბური, ქიმიური, ელექტრული) გარდაქმნება ელექტრო-მაგნიტური ველის ენერგიად – ლაზერულ სხივად. ასეთი გარდაქმნისას, ენერგიის გარკვეული ნაწილი იკარგება, მაგრამ მთავარი ისაა, რომ მიღებული ლაზერული ენერგია მაღალი ხარისხისაა. ლაზერული ენერგიის ხარისხი განისაზღვრება მისი კონცენტრაციით სივრცეში და იმით, თუ რამდენად შორ მანძილებზე შეიძლება გადაგზავნა. ლაზერი წარმოადგენს სინათლის ყველაზე მძლავრ წყაროს, რომელსაც შეუძლია შექმნას ძალიან მცირე გაშლის კუთხის მქონე სინათლის კონა (დაახლოებით 10^{-5} რად). დედამიწიდან მთვარეზე გაშვებული ასეთი კონა მთვარის ზედაპირზე შექმნის 2 კმ დიამეტრის ლაქას. ჩვეულებრივი სინათლის წყაროსაგან განსხვავებით, სადაც ატომები დამოუკიდებლად ასხივებენ სინათლეს, ლაზერებში ატომები სინათლეს შეთანხმებულად ასხივებენ. ამიტომ ტალღების ფაზები არ განიცდის არარეგულარულ ცვალებადობას. ლაზერების გამოყენების პერსპექტიული მიმართულებებია: კომუნიკაცია, განსაკუთრებით კოსმოსურ სივრცეში, სადაც არაა სინათლის შთანთქმელი დრუბლები; ინფორმაციის ჩაწერა და შენახვა (ლაზერული დისკები, სკანერები, პრინტერები); მძლავრი სხივებით სხვადასხვა ნივთიერების აორთქლება, შედუღება; ქირურგიული ოპერაციების ჩატარება; მოცულობითი გამოსახულების მიღება (ჰოლოგრამა); შუქლოკატორები, რომელთა დახმარებითაც საგნამდე მანძილის გაზომა ხდება რამდენიმე მილიმეტრის სიზუსტით; ატომებისა და მოლეკულების აღგზნება ქიმიური რეაქციების ჩასატარებლად; ძლიერი სხივების გამოყენება თერმობირთვული რეაქციების წარმართვისათვის და სხვ. ლაზერის სხივების პირველ აღმომჩენებად ითვლებიან, ნობელის პრემიის ლაურეატები: ნ. ბასოვი, ა. პროხოროვი (რუსეთი) და ჩ. ტაუნსი (აშშ).

პოლიმერული კომპოზიტური მასალების ჭრა ლაზერის სხივების გამოყენებით ამ მასალების დამუშავების შედარებით ახალ მეთოდს მიეკუთვნება. ლაზერის სხივების კონა უზრუნველყოფს სუფთა და ზუსტ ჭრას სიჩქარით, რომელიც ბევრად აჭარბებს სხვადასხვა სახის მექანიკური ჭრის სიჩქარებს. მისი უპირატესობებია: ჭრის პროცესში ძალების, დეფორმაციების, დაბზების, განშრევების, ბზარების არარსებობა, ჭრის თხელი სიბრტყე (0,2 მმ), სამუშაო გარემოს განსაკუთრებული პირობები, თერმული დესტრუქციის მცირე ზონა, მაღალი სიჩქარე, სიზუსტე და სხვ. კომპოზიტის ჭრის ლაზერული დანადგარის (სურ. 6.3) შემადგენლობაში შედის: ლაზერი (გამომსხივებელი გენერატორი), ოპტიკური სისტემა, ჭრის პროდუქტების სავაკუაციო სისტემა, ტექნოლოგიური აირის მიწოდების სისტემა და მოწყობილობა დასამუშავებელი ობიექტის სამონტაჟოდ და გადასაადგილებლად. ტექნოლოგიურად ლაზერის სხივით ჭრის ოპერაციული სისტემა შეიძლება იყოს ოთხგვარი: 1. ლაზერის გენერატორი



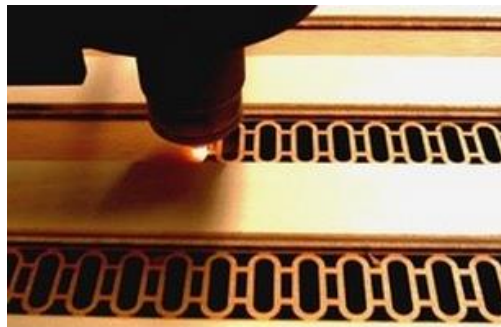
სურ. 6.2. ლაზერული საჭრელი დანადგარი

უძრავია და გადაადგილდება ობიექტი; 2. ლაზერის გენერატორი მოძრავია, ობიექტი – უძრავი; 3. გენერატორიც და ობიექტიც უზრავია, გადაადგილდება მარტო ლაზერის სხივების კონა სარკეების სისტემის დახმარებით საჭირო ტრაექტორიით; 4. კომბინირებული.

ჭრა ფართოდ არის გავრცელებული მრეწველობის ყველა დარგში. პრაქტიკულად წარმოუდგენელია თანამედროვე ტექნიკური წარმოება მის გარეშე, განსაკუთრებით მანქანათმშენებლობა, კოსმოსური ტექნიკა, თვითმფრინავთმშენებლობა, გემთმშენებლობა, ლითონის სამშენებლო კონსტრუქციების წარმოება, მეტალურგია და სხვ. მშენებლობაში ლაზერის დახმარებით ჭრიან ფოლადის, ალუმინის, პლასტიკატის ფურცლებს, გაგლინულ პროფილებს, ამზადებენ იდეალური ზომისა და ერთნაირი ფორმის მხატვრულ დეტალებს (სურ. 6.4; სურ. 6.5) და ა. შ.



სურ. 6.4. პოლიაკრილის ფურცლებიდან ამოჭრილი ფიგურები



სურ. 6.5. ლითონის ნაკეთობის დანაწევრება პროგრამული ლაზერული დანადგარით

6.7. დამუშავება წყლის ჭავლით

წყალი ანუ წყალბადის ჟანგი, H_2O – ჩვეულებრივ მარტივი მდგრადი ქიმიური ნაერთია წყალბადისა ჟანგბადთან (მასის მიხედვით 11,19% წყალბადი და 88,81% – ჟანგბადი); მოლური მასა – 18,0160; უფერო, უსუნო, უგემო სითხე. სიმკვრივე $0^{\circ}C$ ტემპერატურაზე 999,87 კგ/მ³; $+3,98^{\circ}C$ -ზე – 1000 კგ/მ³. ყინულის სიმკვრივე $0^{\circ}C$ -ზე - 916,8 კგ/მ³; დნობის ტემპერატურა – $0^{\circ}C$; დუღილის ტემპერატურა – $100^{\circ}C$. წყალს ეკუთვნის უდიდესი როლი დედამიწის გეოლოგიურ ისტორიაში, სიცოცხლის წარმომობაში, ფიზიკური და ქიმიური გარემოს, კლიმატისა და ამინდის ფორმირებაში. არცერთი ნივთიერება არ გამოიყენება ბუნებაში ისე ფართოდ, როგორც წყალი. იგი წარმოადგენს ქიმიურ რეაგენტს ჟანგბადის, წყალბადის, ტუტეების, აზოტ-ჟავას, სპირტების, ალდეჰიდების, ჩამქრალი კირისა და სხვა უამრავი საჭირო ქიმიური პროდუქტის, სამშენებლო მჭიდვ მასალის შემკვრელის, ბეტონის, რკინა-ბეტონისა და ხის კონსტრუქციების წარმოებაში. ტექნიკაში გამოიყენება, როგორც

ენერგიაშემცველი, სითბოტევადი (ორთქლით გათბობა, წყლით გაცივება) სამუშაო ნივთიერება გათბობის მანქანებსა და ორთქლის ტურბინებში და სხვ. წყლის გარეშე წარმოდგენილია მრეწველობისა და სოფლის მეურნეობის, ქვეყნის ინფრასტრუქტურის, მედიცინის, ატომური ტექნიკის, სპორტის, კულტურის განვითარება და სხვ. სადაც წყალია, იქ სიცოცხლეა და სადაც მისი ნაკლებობაა, იქ არსებობისათვის ბრძოლა მიდის. წყალს უწოდებენ "უნივერსალურ გამსხნელს", ვინაიდან იგი ხსნის ბევრად უფრო მეტ ნივთიერებას, ვიდრე სხვა სითხეები. ეს კი ნიშნავს, რომ წყალს ახასიათებს მინერალების, ქიმიური და მკვებავი ნივთიერებების გადამტანი ფუნქცია როგორც მიწაში, ასევე ცოცხალ ორგანიზმში. წყალი უნიკალურია იმით, რომ იგი არის ერთადერთი ბუნებრივი სუბსტანცია ბუნებაში, რომელიც არსებობს სამ მდგომარეობაში: სითხე (წყალი), მყარი (ყინული) და აირი (ორთქლი). წყალი უჩვეულოა იმითაც, რომ მისი მყარი ფორმა – ყინული, ნაკლებად მკვრივია, ვიდრე სითხე. ამიტომაც არის, რომ ყინული წყლის ზედაპირზე ტივტივებს. წყალს ახასიათებს მაღალი თბოტევადობა (მასალის თვისება მთანეთქოს სითბო გაცხელებისას). ეს კი გულისხმობს, რომ წყალს შეუძლია მთანეთქოს დიდი რაოდენობით სითბო, ამიტომაც არის, რომ იგი ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში, მშენებლობაში გათბობის სისტემების მოსაწყობად, მანქანათმშენებლობაში – ავტომანქანების რადიატორებში. 100°C-ზე მაღლა წყალი გადადის აირად მდგომარეობაში ანუ ორთქლის ფაზაში. აღსანიშნავია, რომ წყლის მოცულობა ორთქლებსას იმატებს 1670-ჯერ. 100°C-ზე დაბალ ტემპერატურაზე ორთქლი უბრუნდება საწყის (თხევად) მდგომარეობას და ამ პროცესს კონდენსაცია ეწოდება. წყალი მყარ მდგომარეობაში გადადის, როცა ტემპერატურა °C-ზე დაბალია და ამ პროცესს კოაგულაცია ეწოდება. წყლის სხვა სპეციფიკური ფორმებია: წვიმა, სეტყვა, თოვლი, ნამი. დედამიწის 70% წყალს უკავია, რის გამოც მას ხშირად "ლურჯ" პლანეტას უწოდებენ. იგი გვხვდება ყველგან – ოკეანეების, მდინარეების, ტბების, ნაკადულებისა და მიწიქვეშა წყლის სახით. დედამიწის წყლის 97,2% მლაშეა, დანარჩენი 2,8% – მტკნარი წყლებია. მოიხმარება დედამიწის ბუნებრივი ფუნქციონირებისათვის და საბოლოოდ ზღვებსა და ოკეანეებში ჩაედინება.

პოლიმერული კომპოზიტიური მასალების მექანიკური დამუშავების (ჭრის) ერთ-ერთი სახეობაა წყლის ჭავლის გამოყენება. მეთოდის არსი შემდეგია: სპეციალურ ტუმბოში შეკუმშული წყალი წნევით 4000 ატმ და მეტი, გაივლის წყლის საქმენში დიამეტრით 0,08-0,5 მმ, სიჩქარით დაახლოებით 1000 მ/წმ და წარმოქმნის წყლის ჭავლს დიამეტრით 0,5 მმ-მდე. წყლის ხარჯია – 1,04-1,4 ლ/წთ, ჭრის სიჩქარე – 100-4000 მმ/წთ. მანძილი საქმენის ბოლოდან ნაკეთობის ზედაპირამდე მცირეა (რამდენიმე მმ), ამიტომ ჭავლის წნევა მეტია მასალის სიმტკიცის ზღვარზე და ამის ხარჯზე მიმდინარეობს მასალის ჰიდროჭრა. რა თქმა უნდა, ჭავლის პარამეტრების სიდიდე დამოკიდებულია დასამუშავებელი მასალის მექანიკურ მახასიათებლებზე. თუ წლის ჭავლში შევურევთ აბრაზიულ ნაწილაკებს, მაშინ ადგილი ექნება ჰიდროაბრაზიულ ჭრას (სურ. 6.6).

წყლის ჭავლით შეიძლება დამუშავდეს ნებისმიერი მასალა: მინა და კერამიკა, გრანიტი და მარმარილო, ქაღალდი და მუყაო, ბეტონი და რკინაბეტონი, რეზინი და ტყავი, პოლიმერული მასალები (მათ შორის კომპოზიტურიც), ფოლადი და თუჯი, ნადნობები და შენადნობები და ა. შ.



**სურ. 6.6. კერამიკაგრანიტის
ჰიდროაბრაზიული ჭრა**

ჭრის პროცესი ტარდება სამკოორდინატო-ან მაგიდაზე, რომელიც საშუალებას იძლევა საქმენის თავი გადაადგილდეს სივრცეში მაღალი სიზუსტით და დაჭრას მასალა სამივე კოორდინატის შესაბამისად, ანუ ასეთი დანადგარით შეიძლება დაიჭრას, როგორც ბრტყელი, ისე მოცულობითი ნაკეთობა.

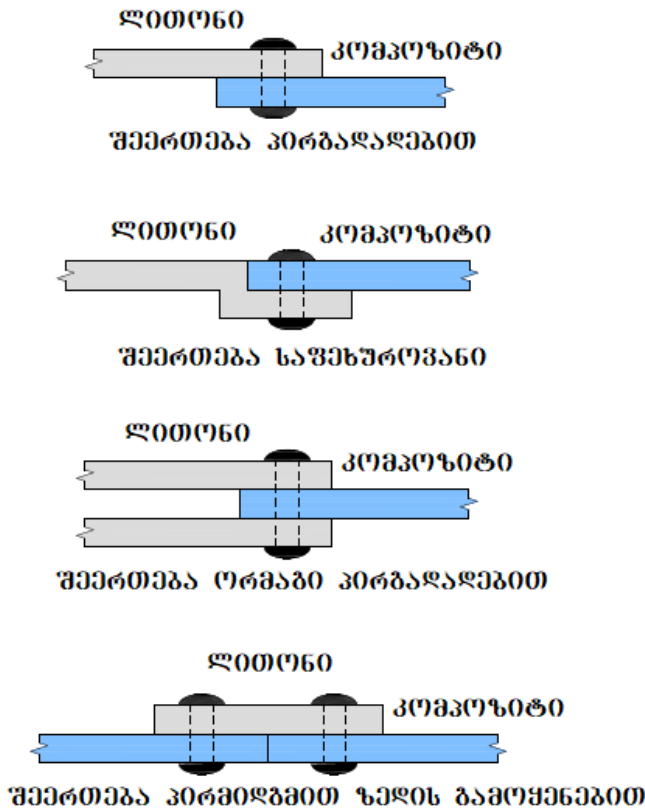
6.8. კომპოზიტური დეტალების შეერთებანი

სამშენებლო საქმის წარმოებაში უმნიშვნელოვანესია ცალკეული დეტალების, ელემენტების, კონსტრუქციების შეერთება, რაც საშუალებას იძლევა საჭიროებისამებრ გავზარდოთ ელემენტის სისქე, სიგანე თუ სიგრძე. ამიტომ ბუნებრივია, რომ კომპოზიტების შეერთების მეთოდები ერთმანეთთან და სხვა მასალებთან მუდმივად ვითარდება და უმჯობესდება.

არსებობს კომპოზიტების შეერთების ორი ძირითადი მეთოდი: პირველი – მექანიკური, მოქლონებისა და ჭანჭიკების გამოყენებით და მეორე – შედუღების ტიპის, რომელიც ითვალისწინებს ლიფუზურ შედუღებასა და დაწებებას.

6.8.1. მექანიკური შეერთება

კომპოზიტებში მექანიკური შეერთებები ხორციელდება მოქლონების, ჭანჭიკებისა და ხრახნების მეშვეობით, რომლებიც გამჭოლად გადიან შესაერთებელ დეტალებში (სურ. 6.7). შეერთების ყველაზე მარტივი სახეობაა შეერთება პირგადადებით. მისი უარყოფითი მხარეა ასიმეტრიულობა, რაც იწვევს ძვრის ძალების გაჩენას, რომლებმაც შეიძლება გამოიწვიოს სამაგრი ელემენტების რღვევა და კომპოზიტის რეაქცია დატვირთვებზე. ამის საწინააღმდეგოდ აკეთებენ ორმაგ პირგადადებას ან საფეხუროვან შეერთებას, თუმცა ასეთ შეერთებებს მეტი მასალა სჭირდება. თუ აუცილებელია შესაერთებელი კომპოზიტების სისქეების თანაბრობა, მაშინ მიმართავენ შეერთებას პირმიდგმით ზელების გამოყენებით.



სურ. 6.7. კომპოზიტების მექანიკური შეერთების სახეები

დიდი მნიშვნელობა აქვს სამაგრ დეტალებს ნახშირბადის კომპოზიტების შეერთებისას. ნახშირბადის ბოჭკოების ელექტროგამტარობის გამო შესაძლებელია მოხდეს სამაგრი დეტალების (ალუმინის ან კადმიუმის საფარვლიანი ალუმინის) ელექტროკოროზია. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად მიმართავენ ნახშირბადულასტიკით იზოლირებული ტიტანის ან კომპოზიტის სამაგრი ელემენტების გამოყენებას.

მნიშვნელოვანია ისიც, რომ სამაგრმა ელემენტმა არ უნდა დააზიანოს (არ მოთელოს) კომპოზიტი. ამისათვის შეერთებებში გამოიყენება დიდი დიამეტრის ქანჩები, საყელურები და მოქლონის თავები.

6.8.2. წებოთი შეერთება

წებოთი შეერთება ყველაზე გავრცელებული მეთოდია კომპოზიტებში. მისი ეფექტურობა დამოკიდებულია მთელ რიგ ფაქტორებზე, როგორცაა შესაწებებელი ზედაპირების მომზადება, მასალების მახასიათებლები, შესაერთებელი დეტალების გეომეტრია, შეერთების კონსტრუქცია, წებოს შედგენილობა, წასმის მეთოდი, გამყარების დრო, გარემო პირობები და სხვ.

ზედაპირის მომზადება განსაზღვრავს შეერთების ხანგამძლეობასა და ხარისხს. კომპოზიტის ზედაპირი თავისუფალი უნდა იყოს ცხიმისა და ქუჭყისგან. კერძოდ, აუცილებელია ანტიადჰეზივის მოცილება, რომელიც აიოლებს წნეხფორმიდან ნაკეთობის ამოღებას და ნაწილობრივ რჩება კომპოზიტის ზედაპირზე.

ზედაპირის გასუფთავების პროცესი ითვალისწინებს გაუცხიმოვნებას, გაჟღენთვას გამხსნელით, წყლით ან ტუტის ხსნარით გარეცხვას, ქვიშაჭავლურ დამუშავებას ან დამუშავებას აბრაზიული დისკოთი (ზუმფარით), ხელახალ გაჟღენთვას გამხსნელით, დეიონიზებული წყლის გარეცხვას და გამრობას (ჰაერზე ან ღუმელში).

ქვიშაჭავლური ან ზუმფარით დამუშავება ხელს უწყობს ზედაპირის სიმქისის გაზრდას, რითაც უმჯობესდება შეწებების უნარი. მისი ალტერნატიული მეთოდია ზედაპირზე სპეციალური შრის დატანა, რომლის მოშორების შემდეგ ზედაპირი ხორკლიანი ხდება.

თუ კომპოზიტის მატრიცა პოლიეთერული ფისია, მაშინ უნდა დავრწმუნდეთ, რომ გარე ფენა სრულადაა გამყარებული და მერე დავაწებოთ, რადგან ჟანგბადი და პოლიეთერის ზედაპირული აორთქლება აფერხებს კომპოზიტის გამყარების პროცესს. ამის ნიშანია ზედაპირის ოდნავი სირბილე. აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ნაწილობრივმა გაუმყარებლობამ შეიძლება გააუმჯობესოს ფენოვანი კომპოზიტის დაწებების უნარი წებოს მოლეკულების კომპოზიტის ზედაპირში მიგრირების გამო (ასეთ პროცესს თანაგამყარება ეწოდება).

შერეული დაწებების დროს ლითონურ ზედაპირებსაც სჭირდებათ მომზადება. მაგალითად, ალუმინის ზედაპირს ამუშავებენ ფოსფორმჟავათი, შემდეგ კი გრუნტავენ. ტიტანს უკეთებენ ანოდირებას ან ასუფთავებენ ფთორიდ-ფოსფატის ხსნარით და სხვ.

სურ. 6.8-ზე სქემატურად ნაჩვენებია კომპოზიტების ტიპური წებოვანი შეერთებები. მათი უმეტესობა ჩამოგავს მექანიკურ შეერთებებს ნახვრეტებისა და მაკავშირებლების გარეშე. ნახაზზე მოცემული ბოლო ორი ტიპის შეერთება – ირიბი და საფეხუროვანი – წარმატებით გამოიყენება მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციების ელემენტებისა და დეტალების, რიგელების, სვეტების, ხიდების გარე გაძლიერების სისტემებში.

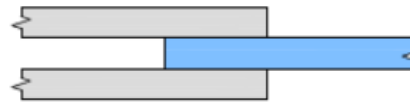
კომპოზიტების დასაწებებლად გამოყენებული წებოს სახეობებია: ეპოქსიდური, პოლიურეთანული, აკრილური ფისი, ციანაკრილი, სილიციუმორგანული ნაერთები, ფენოლური და სხვა თერმომდგრადი პოლიმერები.

განხილული შეერთებების გარდა, თერმოპლასტიკური კომპოზიტების შესაერთებლად იყენებენ შედუღებას – ზედაპირები სუფთავდება, ხურდება ღღობის ტემპერატურამდე, აბჯენენ ერთმანეთს და გაციების შემდეგ შეერთება მზადაა. ასეთ შეერთებას არ სჭირდება დამატებითი შესადუღებელი მასალა (როგორც ელექტროშედუღებისას – ელექტროდი). დამატებითი შესადუღებელი პოლიმერი საჭიროა დაარმირებული პლასტიკების შესადუღებლად. თბური გახურების ნაცვლად

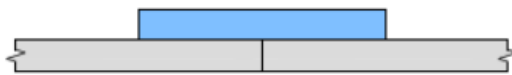
ზოგჯერ მიმართავენ ულტრაბგერის ან მაღალი სიხშირის გამოსხივების გამოყენებასაც.



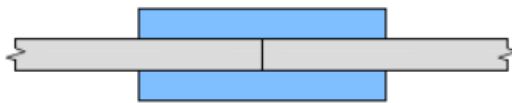
შეერთება პირბადადებით



შეერთება ორმაგი პირბადადებით



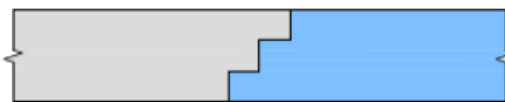
შეერთება პირმოდგმით ერთი ზედათ



შეერთება პირმოდგმით ორი ზედათ



შეერთება ორივე წახრით



საშახურტმანო შეერთება

სურ. 6.8. კომპოზიტების წებოვანი შეერთების სქემები

თავი 7. კომპოზიტური ხის კონსტრუქციები

7.1. დაწებებული ხის კონსტრუქციები

დაწებებულს მიეკუთვნება კონსტრუქციები, რომელთა წარმოების საფუძველია ორი ან მეტი ელემენტის შეერთების ტექნოლოგია წებოს გამოყენებით. ყველაზე დიდი ეფექტი მას ხისა და კომპოზიტურ კონსტრუქციებში აქვს, რადგან ასეთი კონსტრუქციები გამოირჩევა სიმტკიცის მაღალი მახასიათებლებით, საიმედოობით, მარტივი ტექნოლოგიითა და სიიაფით.

წებვადობის მაღალი ხარისხით გამოირჩევა ლარიქსი, თეთრი სოჭი, კიპარისი, თელა, წაბლი, ფიჭვი, ნაძვი, კედარი, ცაცხვი, მაგნოლია, წითელი ხე, კოპიტი, ნეკერჩხალი, მუხა. ცუდად წებდება არყის ხე, ამერიკული წიფელი, მაგარი ნეკერჩხალი.

წებოვან ნაკერს უმაღლესი სიმტკიცე ახასიათებს იმ შემთხვევაში, როცა შესაწებებელი ელემენტების ზედაპირები პარალელურია მერქნის ბოჭკოების მიმართულებისა. რეკომენდებული არ არის ხის ელემენტების კუთხური შეერთება დაწებების საშუალებით, აგრეთვე შედგენილი კოჭის ტესებრი ან ორტესებრი განივკვეთი.

შეწებების სიმტკიცეზე დიდ გავლენას ახდენს მერქნის სიმკვრივე - რაც უფრო მეტია სიმკვრივე, მით უფრო მტკიცედ ეწებება ხის ელემენტები ერთმანეთს. ყველაზე გავრცელებული წიწვოვანი ჯიშებისათვის შეწებების სიმტკიცე იცვლება 8-12 მპა-ის ფარგლებში.

ზეთოვანი ანტისეპტიკებით გაჟღენთილი ხის ელემენტების შეწებებისას წყალში ხსნადი წებოებით ცუდად სველდება ზედაპირი, ამიტომ ასეთ შემთხვევებში გამოიყენება მაღალი კოცენტრაციის ან ორგანულ გამხსნელებზე დამზადებული წებოები. ზეთოვანი ანტისეპტიკების წვეთების მოსაცილებლად მერქანი შეწებებამდე კარგად უნდა გაიწმინდოს აცეტონით ან დიქლორეთანით.

შეწებების სიმტკიცეზე დიდ გავლენას ახდენს მერქნის სიმკვრივე - რაც მეტია სიმკვრივე, მით მეტია შეწებების სიმტკიცე. შეწებებისას გამოიყენება მხოლოდ მშრალი მერქანი ტენიანობით $W = 10-20\%$. რაც უფრო თხელია წებოს ფენა, მით უფრო მტკიცეა შეერთება და პირიქით. ხის ელემენტების შეწებებისას წებოს ფენის სისქეა 0,2-0,5 მმ, ხოლო წებოს ხარჯი შეადგენს 220-300 გ/მ²-ზე.

ხის კონსტრუქციებში დაწებების ნაკერის კონტროლისათვის გამოიყენება ულტრაბგერითი დეფექტოსკოპიის მეთოდი, აგრეთვე რენტგენის და გამასხივები.

7.1.1. დაარმირებული ხის კოჭები

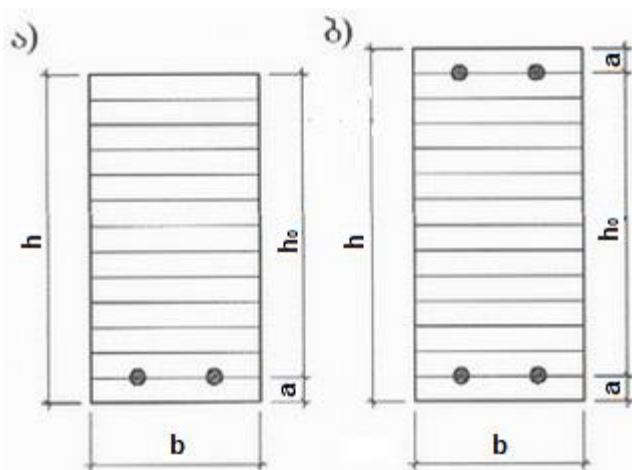
დაარმირებულ კოჭებში საექსპლუატაციო ზემოქმედებათა მიმართ სტაბილური მექანიკური თვისებების წიწვოვანი ჯიშის მასალა და ფოლადისა და პლასტი-

მასის (მინაპლასტიკი) არმატურა გამოიყენება. არმატურის შერჩევასა გაითვალისწინება მასალის სიმტკიცე და დრეკადი მახასიათებლები, რასაც განაპირობებს ის, რომ ნორმალური დაბჯების ფარდობა არმატურასა და მერქანში მათი ერთობლივი მუშაობისას, დამოკიდებულია დრეკადობის მოდულების თანაფარდობასთან. თუ არმატურისა და მერქნის ფარდობითი დეფორმაციები ტოლია $\varepsilon_s = \varepsilon_{\theta}$, მაშინ დაბჯა არმატურაში $\sigma_s = \frac{E_s \cdot \sigma_{\theta}}{E_{\theta}}$, სადაც σ_s და σ_{θ} არმატურასა და მერქანში განვითარებული ნორმალური დაბჯებია; E_s და E_{θ} – შესაბამისი დრეკადობის მოდულები.

მშენებლობაში გამოყენებული მასალებიდან ასეთ მოთხოვნებს პასუხობს ფოლადის, ალუმინის შენადნობები და კომპოზიტური მინაპლასტიკი, თუმცა ფოლადის არმატურის გამოყენება უფრო ეფექტურია. ყველაზე რაციონალურია პერიოდული პროფილის A – II (A300) და A – III (A500) კლასის არმატურების გამოყენება.

არმატურის ღეროების განთავსება კოჭის ზედა და ქვედა ზონის ორ განაპირა ფიცარზე წინასწარ ამოჭრილ ცილინდრული ფორმის ღარებში (სურ. 7.1), რომელთა დიამეტრი არმატურის დიამეტრზე 1 მმ-ით მეტია. ეს 1 მმ-იანი ღრეჩო საჭიროა წებოს მასის განთავსებისათვის.

არმატურის ღეროს მერქანში ჩაწებებისათვის ძირითადად გამოიყენება ეპოქსიდური წებოები, ცხოველუნარიანობით 45-80 წთ.



სურ. 7.1. დაარმირებული ხის კოჭები: ა – ცალფა არმირებით; ბ – ორფა არმირებით

დაარმირებული კოჭის მზიდუნარიანობა ბევრად აღემატება ფიცრული დაწებებული კოჭის მზიდუნარიანობას და საიმედოობითაც გამოირჩევა, რადგან გაჭიმულ ზონაში როკების (როკი – მერქნის მანკი, ხის ტოტის ჩანაზარდი ტანში) მოხვედრა დიდ გავლენას ვერ ახდენს კონსტრუქციის მუშაობაზე.

ფოლადის არმატურასა და მერქანს შორის წებოვან ნაკერს უნდა გააჩნდეს მაღალი მექანიკური სიმტკიცე და საკმარისი სიხისტე, დასველება-გაშრობის მრავალჯერადი ციკლისადმი მდგრადობა, ხანმედეგობა, დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას მცირე ცოცვადობა, ტექნოლოგიურობა და საიმედოობა.

დაარმირებული ხის კონსტრუქციების რღვევა შეიძლება მოხდეს დრეკად, დრეკად-პლასტიკურ და რღვევის სტადიაში. საინტერესო ფაქტია: რღვევა უმეტეს შემთხვევაში ხდება მერქანზე და არა არმატურისა და მერქნის შეწყობების სიბრტყეში (მათ შორის კავშირი პრაქტიკულად იდეალურია). რღვევის გამომწვევი პირობაა მერქნის გაჭიმული ბოჭკოების გაგლეჯა.

ღუნვასა და კუმშვაზე მომუშავე დაარმირებული ხის კონსტრუქციები გაანგარიშდება ზღვრული მდგომარეობის ორი ჯგუფის მიხედვით: I - სიმტკიცესა და მდგრადობაზე; II - დეფორმაციებზე (ჩაღუნვებზე).

განგარიშებებში გამოიყენება კონსტრუქციის ძირითად მასალაზე – მერქანზე დაყვანილი განიკვეთის გეომეტრიული მახასიათებლები:

$$J_{დაყ} = bh^3_0(1+3n\mu)/12; \quad (7.1)$$

$$W_{დაყ} = bh^2_0(1+3n\mu)/6; \quad (7.2)$$

$$S_{დაყ} = bh^2_0(1+3n\mu)/8, \quad (7.3)$$

სადაც $h_0 = h - 2a$ არის განიკვეთის სამუშაო სიმაღლე;

h – განიკვეთის სრული სიმაღლე;

a – დამცავი ფენის სისქე;

b – განიკვეთის სიგანე;

$n = E_s/E_\theta = 21 \cdot 10^4 / 10^4 = 21$ – არმატურისა და მერქნის დრეკადობის მოდულების ფარდობა;

$\mu = A_s/bh_0$ – დაარმირების კოეფიციენტი;

A_s – არმატურის განიკვეთის ფართობი.

სხვა მახასიათებლები:

მერქნის დრეკადობის მოდული $E_\theta = 10^4$ მპა;

არმატურის დრეკადობის მოდული $E_s = 21 \cdot 10^4$ მპა;

განიკვეთის ფართობი $A = bh$.

შემოწმება სიმტკიცესა და სიხისტეზე:

$$\sigma = 6M(1+3n\mu)/bh^2_0 \leq R_\sigma; \quad (7.4)$$

$$f/l = 5 \cdot q^6 \cdot l^3 / 384 \cdot E_\theta \cdot (1+n) bh^3_0 \leq [f/l]. \quad (7.5)$$

მაგალითი 7.1. შევარჩიოთ ხის დაწებებული ორქანობიანი კოჭის განიკვეთი ორფა არმირებით (სურ. 7.1, ბ) შემდეგი მონაცემების მიხედვით: მალი $l = 12$ მ; ზედა წახნაგის ქანობი $i = 1 : 12$. კოჭზე მოქმედებს თანაბარგანაწილებული დატვირთვა კოჭისა და სახურავის საკუთარი წონისა და თოვლისაგან: ნორმატიული $q^6_1 = 8,42$ კნ/მ; საანგარიშო $q_1 = 13,68$ კნ/მ.

კონსტრუქცია მიეკუთვნება პასუხისმგებლობის II კლასსა და საექსპლუატაციო პირობების ბ ჯგუფს. მერქანი I, II და III ხარისხისაა.

ამოხსნა. დაარმირებული კოჭის ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასებისათვის, ჯერ გავიანგარიშოთ ჩვეულებრივი დაწებებული ხის კოჭი.

პასუხისმგებლობის კლასის (II) შესაბამისად და დანიშნულების მიხედვით საიმედოობის კოეფიციენტის ($\gamma_n = 0,95$) გათვალისწინებით, დატვირთვები ღებულობს მნიშვნელობებს:

$$q^6 = q^6 \cdot \gamma_n = 8,42 \cdot 0,95 = 8 \text{ კნ/მ} = 0,08 \text{ კნ/სმ};$$

$$q = q_1 \cdot \gamma_n = 13,68 \cdot 0,95 = 13 \text{ კნ/მ} = 0,13 \text{ კნ/სმ}.$$

კოჭის განიკვეთი შევადგინოთ ფიცრებისაგან, რომელთა განიკვეთი ჩამოხერხვისა და გარანდვის შემდეგ ტოლი იქნება $b_1 \times h_1 = 16,5 \times 2,6$ სმ. მერქნის საანგარიშო წინააღობები ([1], დანართი, ცხრ. 7):

ღუნვაზე – $R_{\text{ღ}} = 15$ მპა; ახლეჩაზე – $R_{\text{ახ}} = 1,5$ მპა.

კოჭის განიკვეთის საჭირო სიმაღლე საყრდენებზე განისაზღვრება სიმტკიცის პირობიდან ახლეჩაზე:

$$h_{0\text{საჭ}} = 3Q/2 \cdot b \cdot R_{\text{ახ}} = 3 \cdot 78/2 \cdot 16,5 \cdot 0,15 = 47,3 \text{ სმ},$$

სადაც განივი ძალა საყრდენზე $Q = q\ell/2 = 13 \cdot 12/2 = 78$ კნ.

მივიღოთ $h_0 = 50$ სმ = 0,5 მ.

კოჭის სიმაღლე მალის შუაში:

$$h = h_0 + \ell/2 \cdot 12 = 0,5 + 12/2 \cdot 12 = 1 \text{ მ}.$$

განვსაზღვროთ სახიფათო ზონის მდებარეობა და შესაბამისი განიკვეთი შევამოწმოთ სიმტკიცეზე. გაანგარიშება განვახორციელოთ შემდეგი თანამიმდევრობით:

$$x = \ell \cdot h_0/2h = 12 \cdot 0,5/2 \cdot 1 = 3 \text{ მ};$$

$$M_x = q \cdot x(\ell - x)/2 = 13 \cdot 3(12 - 3)/2 = 175 \text{ კნმ} = 17500 \text{ კნსმ};$$

$$h_x = h_0 + (h - h_0) \cdot 2x/\ell = 0,5 + (1 - 0,5) \cdot 2 \cdot 3/12 = 0,75 \text{ მ};$$

$$W_x = bh^2_x/6 = 16,5 \cdot 75^2/6 = 15500 \text{ სმ}^3.$$

დაბვა

$$M_x/W_x = 17500/15500 = 1,13 \text{ კნ/სმ}^2 = 11,3 \text{ მპა} < R = 12,97 \text{ მპა},$$

სადაც $R = R_{\text{ღ}} \cdot m_{\text{სწ}} \cdot m_{\text{ფ}} \cdot m_{\text{ექს}} = 15 \cdot 0,915 \cdot 1,05 \cdot 0,9 = 12,97$ მპა; $m_{\text{სწ}}$, $m_{\text{ფ}}$ და $m_{\text{ექს}}$ კოეფიციენტების მნიშვნელობები აღებულია ცხრილებიდან ([1], დანართი, ცხრ. 9, 11, 12).

შევამოწმოთ კოჭი ჩაღუნვაზე მალის შუაში, რისთვისაც განვსაზღვროთ განიკვეთის ცვალებადობისა და ძვრაზე დამყოლობის გამთვალისწინებელი k და c კოეფიციენტები და ინერციის მომენტი:

$$k = 0,15 + 0,85 \cdot h_0/h = 0,15 + 0,85 \cdot 0,5/1 = 0,57;$$

$$c = 15,4 + 3,8 \cdot h_0/h = 15,4 + 3,8 \cdot 0,5/1 = 17,3;$$

$$J = b \cdot h^3/12 = 16,5 \cdot 100^3/12 = 13,75 \cdot 10^5 \text{ სმ}^4.$$

ჩაღუნვა განიკვეთის ცვალებადობისა და ძვრაზე დამყოლობის კოეფიციენტების გაუთვალისწინებლად

$$f = 5 \cdot q^6 \cdot \ell^4 / 384 \cdot E \cdot J = 5 \cdot 0,08 \cdot 1200^4 / 384 \cdot 1000 \cdot 13,75 \cdot 10^5 = 1,57 \text{ სმ,}$$

სადაც $E = 10\,000 \text{ მპა} = 100\,000 \text{ კგძ/სმ}^2 = 1000 \text{ კნ/სმ} - \text{მერქნის დრეკადობის მოდული.}$

ფარდობითი ჩაღუნვა:

$$f/\ell = \{f_0[1+c(h/\ell)^2]\}/k \cdot \ell = \{1,55[1+17,3(100/1200)^2]\}/0,57 \cdot 1200 = \\ = 1/395 < [f/\ell] = 1/300.$$

გავიანგარიშოთ დაარმირებული კოჭი.

არმატურისა და მერქნის დრეკადობის მოდულების ფარდობა:

$$n = E_s/E_\theta = 2,1 \cdot 10^5/10^4 = 21.$$

ორფა არმირებისას განიკვეთის არმირების კოეფიციენტი:

$$\mu = A_s/A = 0,03.$$

განიკვეთის საჭირო მაქსიმალური სიმაღლე:

$$h_{საჭ} = \sqrt[3]{\frac{12 J}{b(1+3n\mu)}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 13,75 \cdot 10^5}{16,5(1+3 \cdot 21 \cdot 0,03)}} = 70,2 \text{ სმ.}$$

კოჭის განიკვეთი შევადგინოთ 21 ცალი $\delta = 40 \text{ მმ}$ სისქის ფიცრისაგან. გვექნება:

$$h = 21 \cdot 40 = 840 \text{ მმ} = 84 \text{ სმ.}$$

საყრდენზე კოჭის სიმაღლე გამოვთვალოთ $i = 1:12$ (0,08%) ქანობის გათვალისწინებით:

$$h_{საჭ} = 84 - 0,08 \cdot 1200/2 = 36 \text{ სმ.}$$

შევამოწმოთ მიღებული განიკვეთი სიმტკიცეზე სახიფათო განიკვეთიში:

$$x = 12 \cdot 0,36/2 \cdot 0,84 = 2,57 \text{ მ} = 257 \text{ სმ;}$$

$$h_x = 36 + 257 \cdot 0,08 = 57 \text{ სმ;}$$

$$J_{დაყ,x} = bh^3_x(1+3n\mu) / 12 = 16,5 \cdot 57^3(1+3 \cdot 21 \cdot 0,03) / 12 = 735910 \text{ სმ}^4;$$

$$M_x = q \cdot x(\ell - x) / 2 = 13 \cdot 2,57(12 - 2,57) / 2 = 157,5 \text{ კნმ} = 15750 \text{ კნსმ.}$$

დაბვა:

$$\sigma_x = M_x \cdot h_x / 2 \cdot J_{დაყ,x} = 15750 \cdot 57 / 2 \cdot 735910 = 0,61 \text{ კნ/სმ}^2 =$$

$$= 6,1 \text{ მპა} < R_{ლ} \cdot m_{სწ} \cdot m_{ფ} \cdot m_{ექს} = 15 \cdot 0,915 \cdot 0,95 \cdot 0,9 = 11,7 \text{ მპა,}$$

სადაც $m_{სწ}$, $m_{ფ}$, $m_{ექს}$ კოეფიციენტების მნიშვნელობები აღებულია ცხრილებიდან ([2], დანართი, ცხრ. 9,11,12).

განივი ძალა საყრდენზე:

$$Q = q \ell / 2 = 13 \cdot 12 / 2 = 78 \text{ კნ.}$$

სტატიკური მომენტი საყრდენზე:

$$S_{დაყ,საყ} = bh^2_{საყ}(1+2n\mu) / 8 = 16,5 \cdot 36^2(1+2 \cdot 21 \cdot 0,03) / 8 = 6040 \text{ სმ}^3.$$

ინერციის მომენტი საყრდენზე:

$$J_{დაყ,საყ} = bh^3_{საყ}(1+3n\mu) / 12 = 16,5 \cdot 36^3(1+3 \cdot 21 \cdot 0,03) / 12 = 185400 \text{ სმ}^4.$$

შევამოწმოთ შეწებების ნაკერის სიმტკიცე საყრდენზე მხები ძაბვების მიხედვით:

$$\tau = Q \cdot S_{\text{დაყ.საყ}} / 0,6 \cdot b \cdot J_{\text{დაყ.საყ}} = 78 \cdot 6040 / 0,6 \cdot 16,5 \cdot 185400 = 0,256 \text{ კნ/სმ}^2 = 2,56 \text{ მპა} > R_{\text{ახ}} = 2,4 \text{ მპა.}$$

პირობა არ არის დაკმაყოფილებული, ამიტომ გავზარდოთ განივკვეთი. ავიღოთ 22 ცალი $\delta = 40$ მმ სისქის ფიცრისაგან შედგენილი განივკვეთი. გვექნება:

$$h = 22 \cdot 40 = 880 \text{ მმ} = 88 \text{ სმ.}$$

შესაბამისად:

$$\begin{aligned} h_{\text{საყ}} &= 88 - 0,08 \cdot 1200 / 2 = 40 \text{ სმ;} \\ x &= 12 \cdot 0,4 \cdot 4 / 2 \cdot 0,88 = 61,84 \text{ სმ;} \\ h_x &= 40 + 273 \cdot 0,08 = 61,84 \text{ სმ;} \\ J_{\text{დაყ.საყ}} &= 16,5 \cdot 61,84^3 (1 + 3 \cdot 21 \cdot 0,03) / 12 = 939743 \text{ სმ}^4; \\ M_x &= 13 \cdot 2,73 \cdot (12 - 2,73) / 2 = 164,5 \text{ კნმ} = 16450 \text{ კნსმ.} \end{aligned}$$

ძაბვა:

$$\sigma_x = 16450 \cdot 61,84 / 2 \cdot 939743 = 0,54 \text{ კნ/სმ}^2 = 5,4 \text{ მპა} < R_{\text{ლ}} \cdot m_{\text{სწ}} \cdot m_{\text{ფ}} \cdot m_{\text{ეს}} = 11,73 \text{ მპა.}$$

$$Q = 78 \text{ კნ.}$$

$$S_{\text{დაყ.საყ}} = 16,5 \cdot 40^2 (1 + 2 \cdot 21 \cdot 0,03) / 8 = 7359 \text{ სმ}^3.$$

$$J_{\text{დაყ.საყ}} = 16,5 \cdot 40^3 (1 + 3 \cdot 21 \cdot 0,03) / 12 = 255200 \text{ სმ}^4.$$

$$\tau = 78 \cdot 7359 / 0,6 \cdot 16,5 \cdot 255200 = 0,23 \text{ კნ/სმ}^2 = 2,3 \text{ მპა} > R_{\text{ახ}} = 2,4 \text{ მპა.}$$

თუ შევადარებთ გაანგარიშებით მიღებულ განივკვეთებს, დავინახავთ, რომ დაარმირებულ კოჭში მერქნის ხარჯი 13%-ით ნაკლებია, ვიდრე ჩვეულებრივი კოჭის (ჩვეულებრივ კოჭს სჭირდება 2,57 მ³ მერქანი, ხოლო დაარმირებულს - 2,05 მ³) შემთხვევაში.

7.1.2. დაწებებული ხის კოჭები

დაწებებული კოჭი (ძელი) ნატურალური მერქნის წარმოების კანონზომიერი განვითარების შედეგია, რომელმაც მთლიანკვეთიანი კოჭი შეცვალა უფრო ხარისხიანი, ესთეტიკურად მიმზიდველი, შესანიშნავი ფიზიკური მახასიათებლების მქონე კონსტრუქციით.

XX საუკუნის 90-იანი წლებიდან დაწებებული ძელების წარმოება ინტენსიურად ვითარდებოდა ჩრდილოეთ ამერიკაში, სადაც ინდივიდუალური საცხოვრებელი სახლების 85% შენდებოდა და შენდება მერქნისაგან. ამასთანავე, დაწებებული კონსტრუქციების დასამზადებლად აშშ-ში ნებადართული იყო შედარებით დაბალი ხარისხისა და იაფი მერქნის გამოყენება (არყი ხე, ვერხვი, ნეკერჩხალი). შემდეგ დაიწყო კოჭების დამზადება დაწებებული შპონისაგან (LVL). ჩრდილოეთ ამერიკაში 2004 წელს ფიცრულ-დაწებებული ძელების რაოდენობამ მთლიანი დაწებებული კონსტრუქციების მოცულობაში შეადგინა 35-40%, მათ შორის LVL-მა – 60-

65%. LVL-ს ძირითადად იყენებენ საბინაო მშენებლობაში ორტესებრი კოჭების თარობად (50%) და კონსტრუქციულ კოჭებად (43%) რიგელების სახით გარაჟის კარებებისათვის, გრძივებად, საყრდენ კოჭებად და სხვ.

დღეისათვის აშშ-ში სართულშუა გადახურვებში (მე-2 და შემდეგი სართულები) დაწებებული კოჭების წილია 45%, თუმცა მსოფლიო ექსპერტების პროგნოზით ეს პროცენტი მალე მიაღწევს 80%-ს.

საინტერესოა ფაქტი: ჩრდილოეთ ამერიკაში დაწებებული კოჭების იმპორტი პრაქტიკულად არ ხდება. ამას განაპირობებს არა ამერიკელების გადაწყვეტილება, თავის ბაზარზე არ შეუშვან სხვა ქვეყნის საწარმოო ფირმების პროდუქცია, არამედ ის, რომ იმპორტულ მასალაზე აუცილებელია დამდა „ხარისხი მოწონებული“, რომელსაც გასცემს ხის კონსტრუქციების ინსტიტუტი და მისი მიღება ძალზე რთულია, რადგან ჩრდილოეთ ამერიკის კონტინენტზე ხის მასალის ხარისხზე მსოფლიოში ყველაზე მკაცრი მოთხოვნებია.

დაწებებული კოჭების წარმოება ევროპაში შედარებით გვიან დაიწყო, მაგრამ 2002 წელს უკვე 3,4 მლნ მ³-ს მიაღწია. 1995-2005 წლებში მატებამ შეადგინა 12% წელიწადში. 1996-2000 წლებში მოთხოვნა იყო 8%, მაგრამ 2001-2004 წლებში აიწია 13,2%-მდე და შემდეგ ყოველწლიურად მატულობს, როგორც დამზადება, ისე მოთხოვნა.

2018 წლისათვის ხე-ტყის მასალების დამზადებისა (მრიცხველი) და დახერხილი ხის მასალის (მნიშვნელი) მოცულობები მსოფლიოს წამყვანი ქვეყნებისათვის ასეთია:

- აშშ – 550/100 მლნ მ³;
- კანადა – 240/65 მლნ მ³;
- EC – 280/87 მლნ მ³;
- რუსეთი – 130/22 მლნ მ³;
- შვედეთი – 75/19 მლნ მ³;
- ფინეთი – 58/18,3 მლნ მ³.

გერმანია, რომლის ტერიტორია რუსეთის ტერიტორიაზე 48-ჯერ ნაკლებია, ყოველწლიურად ამზადებს დაახლოებით 2 მლნ მ³ დაწებებულ კონსტრუქციებს, რუსეთი კი – 200 ათას მ³-ს.

დაწებებული ძელების ევროპიდან ექსპორტი ყოველწლიურად იზრდება იაპონიასთან მიმართებაში – ბოლო 9 წელიწადში იგი გაიზარდა 10-ჯერ.

დაწებებული ძელების წარმოებაში ევროპაში წინა პოზიციებზეა ისეთი ქვეყნები, როგორცაა ავსტრია (28%), გერმანია (26%), იტალია, საფრანგეთი, შვეცია, ფინეთი და დანია. ევროპელი მწარმოებლების ძირითადი პროდუქციაა ფიცრულ-დაწებებული ძელი, რომელსაც იყენებენ მზიდი კონსტრუქციების (კოჭი, ნივნივი, კამარა, მაუერლატი, გრძივი, სვეტი) ძირითადი ელემენტებისათვის.

სამრეწველო და სავაჭრო ობიექტების აშენებისას დაწებებული ძელის ყველაზე მსხვილი მომხმარებელი, ერთ სულ მოსახლეზე გადაანგარიშებით, გერმანიაა,

რომელიც გამოიყენებს ევროპაში დამზადებული დაწებებული ძელების 33%-ს, იტალია – 27%-ს.

აზია-წყნარი ოკეანის რეგიონში დაწებებული ძელის უმსხვილესი მწარმოებელი და მომხმარებელია იაპონია, სადაც საცხოვრებელი სახლების დაახლოებით ნახევარი ამ მასალით შენდება. დაწებებული ძელები ძირითადად გამოიყენება კარკასის რიგელებად, დგარებად და ქვედა საყრდენ ძელებად.

იაპონიაში ექსპორტული დაწებებული ძელების რაოდენობის მიხედვით პირველ სამ ადგილს იკავებენ ავსტრია (27%), ფინეთი (21%) და ჩინეთი (19%). ბოლო წლებში დაწებებული ძელების ექსპორტის მოცულობა გაიზარდა ავსტრიაში 37%-ით, ფინეთში 38%-ით, ხოლო ჩინეთში – 8-ჯერ.

რუსეთში დაწებებული ძელების წარმოებამ მნიშვნელოვანი ზრდა დაიწყო 2003 წლიდან, ამ წელს დამზადდა დაახლოებით 1 მლნ მ³ მასალა (1990 წელს - 95,9 ათასი მ³), რაც განაპირობა ექსპორტის გაზრდამ იაპონიაში. უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ რუსეთის დიდი ქალაქების გარეუბნებში და სოფლებში მასობრივად დაიწყო ეკოლოგიური და ენერგოდამზოგავი 1-2 სართულიანი საცხოვრებელი ხის სახლების მშენებლობა, სადაც წარმატებით იყენებენ დაწებებულ კოჭებსა და ძელებს, თუმცა მსოფლიოში ხე-ტყით ყველაზე მდიდარ ქვეყანაში ასეთი სახლების წილი ჯერ მხოლოდ 30%-ია (აშშ-ში 85%, განვითარებულ ქვეყნებში – 60%).

გერმანული კომპანია Weining Group-ის მონაცემებით, დაწებებული ძელების წარმოება ევროპაში ყოველწლიურად მატულობს 310%-ით და ასეთი ტემპით განვითარდება უახლოეს 20-30 წლის განმავლობაში, მით უმეტეს, რომ პრაქტიკაში შემოდის ახალი, ნანოტექნოლოგიით დამზადებული დაწებებული კონსტრუქციები.

ფიცრებისგან **შედგენილი დაწებებული კოჭები** ინდუსტრიული წესით დამზადებული ხის კონსტრუქციების ძირითადი სახეობაა (სურ. 7.2).

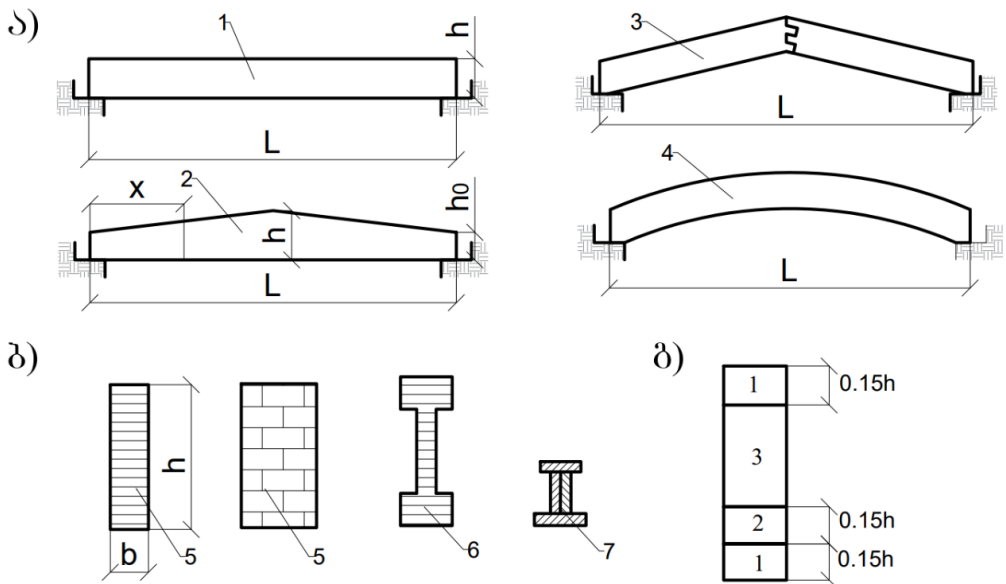
დაწებებული კოჭი შეწებებული თხელი ფიცრების პაკეტია, რომლის გეომეტრიული ზომები და განივკვეთის ფორმა პრაქტიკულად ნებისმიერი შეიძლება იყოს და დამოკიდებული არ არის დახერხილი ხის მასალის სორტამენტის შეზღუდვებზე. ისინი ფაქტობრივად მონოლითური (მთლიანკვეთიანი) კონსტრუქციებია.

კოჭის განივკვეთის სიმაღლე მიიღება (0,08-0,12)ლ, ხოლო სიგანე შეიძლება იყოს 40 სმ-მდე, თუმცა პრაქტიკაში დაწებებული კოჭის სიგანე მიიღება 17 სმ-მდე, რაც საშუალებას იძლევა, ასეთი კოჭები დავამზადოთ სიგანეში მთლიანი ფიცრებისგან.

ფიცრების შეწებებისათვის გამოიყენება სინთეზური წებოები. მერქნის ტენიანობა $W \leq 15\%$. კოჭის განივკვეთის სიმაღლე საყრდენზე არ შეიძლება იყოს 40 სმ-ზე ნაკლები. ფიცრების სისქე სწორხაზოვან ელემენტებში $\delta_{\text{ფ}} \leq 42$ მმ, ხოლო მრუდხაზოვანში – $\delta_{\text{ფ}} \leq 33$ მმ.

7 მეტრამდე მალის შემთხვევაში იყენებენ ორტესებრ ან რელსისმაგვარი განივკვეთის დაწებებულ კოჭებს, რომელთა კედელი განხორციელებულია წიბოზე დაყრდნობილი ფიცრებისაგან. ასეთი კოჭების ნაკლად ითვლება წიბოსთან თაროს შეწებების სირთულე და ნაკლები საიმედოობა.

15 მ სიგრძის მალეების შემთხვევაში გამოიყენება შედგენილი კოჭები, რომლებიც სიბრტყეებით შეწებებული ფიცრებით არის დამზადებული. სიგრძეში ფიცრები ერთმანეთს უკავშირდება კბილა პირაპირებით, რომლებიც ეწყობა ხტულად (განცალკევებით). მათ შორის დამორება უნდა იყოს არანაკლებ ფიცრის 20 სისქისა.



სურ. 7.2. ხის დაწებებული კოჭები: ა – კოჭის ტიპები; ბ – განივკვეთის ტიპები; გ – ფიცრების ხარისხი; 1-ერთქანობიანი კოჭი; 2-ორქანობიანი; 3-ტენილი მოხაზულობის კეხში კბილა პირაპირით; 4-მოდუნული; 5-მართკუთხა განივკვეთით; 6-ორტესებრი განივკვეთით; 7-რელსისმაგვარი განივკვეთით

15 მეტრზე მეტი მალეების შემთხვევაში უმჯობესია გამოვიყენოთ ტენილი მოხაზულობის ან მოდუნული კამაროვანი ან გამჭოლი ხის კონსტრუქციები. ხის კოჭის მაქსიმალური სიგრძე შეიძლება იყოს 24 მ

დაწებებული კოჭების მდგრადობის უზრუნველყოფისათვის კოჭის h სიმაღლის შეფარდება b სიგანესთან შეზღუდულია და დაცული უნდა იყოს პირობა $h/b \leq 6$. ორტესებრი განივკვეთის კოჭის კედლის სიგანე (სისქე) მიიღება არანაკლებ კოჭის თაროს სიგანის ნახევრი და არანაკლებ 80 მმ. დატენიანების საწინააღმდეგოდ კოჭის ზედა ფენა იხურება 2,5 სმ სისქის ანტისეპტირებული ფიცრით.

დაწებებული კოჭების სიმტკიცეზე გაანგარიშება მთლიანკვეთიანი კოჭების ანალოგიურია; სახსროვნად დაყრდნობილი მუდმივი ან ცვლადგანიკვეთიანი კოჭების მაქსიმალური ჩაღუნვა, მხები ძაბვების გავლენის გათვალისწინებით, განისაზღვრება ფორმულით:

$$f = f_0 / k \cdot [1 + c(h/\ell)^2] \leq [f], \quad (7.6)$$

სადაც $f_0 = 5 \cdot q^6 \cdot \ell^4 / 384 \cdot E \cdot J$ არის მუდმივი განიკვეთის h სიმაღლის მქონე კოჭის ჩაღუნვა ნორმატიული დატვირთვისაგან ძვრის დეფორმაციის გათვალისწინებულად;

h – განიკვეთის მაქსიმალური სიმაღლე;

ℓ – კოჭის მალი;

E – მერქნის დრეკადობის მოდული;

J – კოჭის განიკვეთის ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ;

$k = (0,15 + 0,85h_0/h)$ – განიკვეთის ცვალებადობის კოეფიციენტი (მუდმივი განიკვეთის კოჭისათვის $k = 1$);

h_0 – კოჭის განიკვეთის სიმაღლე საყრდენზე;

$c = 15,4 + 3,8 \cdot h_0/h$ – ძვრის დეფორმაციის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი ([18], დანართი 4, ცხრ. 3).

7.1.3. დაწებებული ხე-ფანერის კოჭები

ხე-ფანერის დაწებებული კოჭი შედგება ერთმანეთთან შეწებებული წყალმდეგი ფანერის კედლის, ფიცრული სარტყლების და წიბოებისგან. განიკვეთის ფორმის მიხედვით კოჭი არსებობს ორტესებრი ან ყუთისმაგვარი, ხოლო კონტურის მოხაზულობის მიხედვით – სწვრივსარტყლებიანი, ორქანობიანი და მრუდი მოხაზულობის ზედა სარტყლით. ასეთ კოჭებს აქვს საკმაოდ მცირე მასა და დიდი მზიდუნარიანობა.

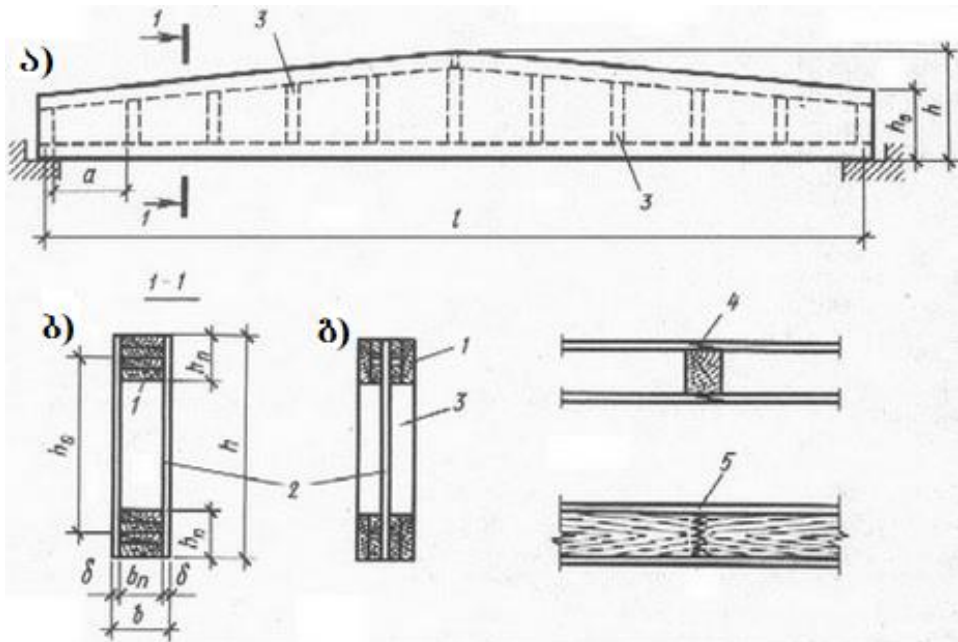
საკედლე ფანერის სისქე აიღება 10-12 მმ, კოჭის სიმაღლე – $h = (0,12-0,08)\ell$. ფანერის კედლის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად კოჭის მალის ყოველ $(0,12-0,08)\ell$ მანძილზე ფიცრებისაგან ეწყობა სიხისტის წიბოები, რომელთა ადგილმდებარეობა კედლის ფანერის პირაპირებს უთავსდება (სურ. 7.3). გაჭიმული ქვედა სარტყლის ფიცრებში ეწყობა კბილა პირაპირები, ხოლო შეკუმშულ ზედა სარტყელში – პირმიდგმითი. კედლის ფანერის პირაპირები ორივე მხრიდან გადაიხურება ფანერის ზედადით და დაწებდება კედელთან. ხე-ფანერის დაწებებული კოჭების მალი არ აღემატება 15 მ-ს.

კოჭის სარტყლის ფიცრები განლაგებულია ჰორიზონტალურად ან ვერტიკალურად. სარტყლების კედელთან მისაწებებლად სარტყლებს უკეთდება ჩაჭრები (ღარები) იმ ანგარიშით, რომ შეწებების ფენის სიგანე არ აღემატებოდეს 10 სმ-ს, რათა კოჭის მუშაობის პროცესში მერქნის დეფორმაციისას ბოჭკოების განივად მერქნის ნაკერებში ძაბვების კონცენტრაცია არ მოხდეს. შეკუმშული ზედა სარ-

ტყელი მზადდება II ხარისხის მასალისაგან, ქვედა გაჭიმული სარტყელი კი – I ხარისხისაგან.

მართალია, ხე-ფანერის დაწებებული კოჭები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს 15 მ-მდე მალით, თუმცა მსოფლიო სამშენებლო პრაქტიკაში გვხვდება 45 მ მალის მქონე კოჭებიც.

წიბოვანი კოჭების გაანგარიშება ხდება ღუნვაზე კედლისა და სარტყლების ერთობლივი მუშაობის გათვალისწინებით (დამყოლობა მხედველობაში არ მიიღება). გაანგარიშებისას აუცილებელია მერქნისა და ფანერის დრეკადობის მოდულების განსხვავების გათვალისწინებაც ($E_{ფ} = 0,9E_{ა} = 9000$ მპა). შესაბამისად ხდება გეომეტრიული მახასიათებლების დაყვანა იმ მასალაზე, რომელშიც ვეძებთ ძაბვას.



სურ. 7.3. ხე-ფანერის დაწებებული წიბოვანი კოჭი: ა - წინხედი; ბ, გ - ყუთისმაგვარი და ორტესებრი განივკვეთი; 1 - სარტყელი; 2 - ფანერის კედელი; 3 - ფიცრული წიბოები; 4 - სარტყლის პირაპირი; 5 - კედლის პირაპირი

სარტყლებში (მერქანში) ძაბვების განსაზღვრისათვის განივკვეთის გეომეტრიული მახასიათებლები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$A_{დაყ.მერქ} = A_{მერქ} + A_{ფ} (E_{ფ} / E_{მერქ}); \quad (7.7)$$

$$J_{დაყ.მერქ} = J_{მერქ} + J_{ფ} (E_{ფ} / E_{მერქ}); \quad (7.8)$$

$$S_{დაყ.მერქ} = S_{მერქ} + S_{ფ} (E_{ფ} / E_{მერქ}); \quad (7.9)$$

$$W_{დაყ.მერქ} = 2J_{დაყ.მერქ} / h, \quad (7.10)$$

სადაც $A_{მერქ}$, $J_{მერქ}$, $S_{მერქ}$ არის სარტყლების განივკვეთის ფართობი, ინერციისა და სტატიკური მომენტები;

$A_{ფ}, J_{ფ}, S_{ფ}$ – იგივე, ფანერის კედლისათვის;
 $E_{ფ}, E_{მერქ}$ – ფანერისა და მერქნის დრეკადობის მოდულები;
 h – კოჭის განივკვეთის სიმაღლე.

კოჭის ფანერის კედელი მოწმდება ჭრაზე საყრდენზე მოქმედი მაქსიმალური განივი ძალის მიხედვით:

$$\tau = Q \cdot S_{დაყ.ფ} / J_{დაყ.ფ} \cdot \delta_{ფ} \leq R_{ჭრ.ფ} \quad (6 \text{ მპა}), \quad (7.11)$$

სადაც $\delta_{ფ}$ არის კედლის ფანერის სისქე.

იმავე ფორმულით შემოწმდება ფანერისა და სარტყლების შეწყობების სიმტკიცე. ამ დროს ახლერის ფართობის სიგანე აიღება სარტყლების გაორმაგებული სიმაღლის ტოლი, ხოლო მრიცხველში ფანერის ნაცვლად ჩაისმება მერქნის (სარტყლების) სტატიკური მომენტი – $S_{დაყ.მერქ}$.

გრძივი მიმართულებით ფანერის კედლის მდგრადობის უზრუნველყოფისათვის კედლის სისქე $\delta \geq h_{კედ} / 50$. თუ კედლის სისქე ამ სიდიდეზე ნაკლებია, საჭირო ხდება მისი შემოწმება ნორმალური და მხები ძაბვების მოქმედებაზე.

ხე-ფანერის კოჭის ჩაღუნვა დამოკიდებულია მერქნის სარტყლის, ფანერის კედლის ინერციის მომენტებისა და დრეკადობის მოდულების სიდიდეებზე, სარტყლების ღერძებს შორის განივკვეთის სიმაღლეზე (მალის შუაში – h^1 , საყრდენებზე – h^1_0), აგრეთვე კედლებში მხები ძაბვებზე. მაქსიმალური ჩაღუნვა განისაზღვრება ფორმულით:

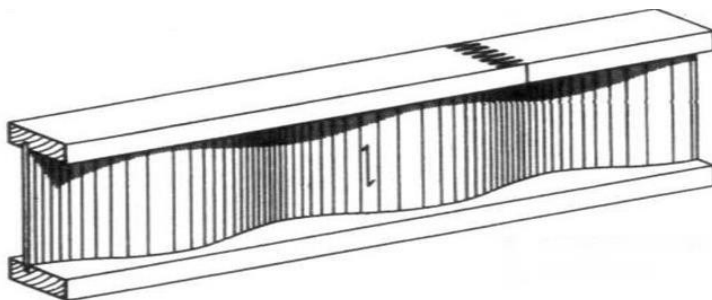
$$f = 5 \cdot q^6 \cdot l^4 / 384 (E_{მერქ} \cdot J_{მერქ} + E_{ფ} \cdot J_{ფ}) \cdot k_{ფ} \cdot k_{\tau} \leq [f] = 1/300, \quad (7.12)$$

სადაც $k_{ფ}$ არის ორქანობიანი კოჭის განივკვეთის ცვალებადობის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი:

$$k_{ფ} = 0,4 + 0,6 \cdot h^1_0 / h^1;$$

ხოლო კოეფიციენტი:

$$k_{\tau} = 1 / [1 + 100(h/l)^2].$$



სურ. 7.4. ხე-ფანერის კოჭი ტალღოვანი ფანერის კედლით

მცირემალიანი კოჭების შემთხვევაში წარმატებით გამოიყენება ხე-ფანერის ორტესებრი კოჭები ტალღოვანი ფანერის კედლით (სურ. 7.4). ისინი მუდმივი სიმაღლის ორტესებრი განივკვეთის კონსტრუქციებია. სარტყლებში გამოყენებულია II ხარისხის ცალკეული ფიცრები, რომლებშიც სპეციალური მოწყობილობის

დახმარებით კეთდება სინუსოიდური მოხაზულობის ღარები, სადაც ჩაისმება ან ჩაწებდება ტალღოვანი ფანერა. ასეთ ფანერას საკმარისი განივი სიხისტე გააჩნია, რაც გამორიცხავს სიხისტის წიბოების მოწყობის აუცილებლობას.

ასეთი კოჭების გაანგარიშებისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის, რომ კედელი პრაქტიკულად არ მუშაობს ნორმალურ დაბევებზე ღუნვისას და ამ დაბევებს თავის თავზე იღებენ სარტყლები. გარდა ამისა, თავისი ფორმის გამო, კედელი არის დამყოლი ელემენტი, ამიტომ სიმტკიცესა და დეფორმაციებზე გაანგარიშებას აწარმოებენ ისევე, როგორც შედგენილ კოჭს დამყოლი კედლით.

კედლის სარტყლებთან შეერთების წებოვანი ნაკერი მოწმდება ამხლეჩი დაბევებზე, კედელი – მდგრადობაზე, ხოლო მთლიანად კოჭის განივკვეთი – სიმტკიცესა და ჩაღუნვებზე.

ხე-ფანერის დაწებებული კოჭების დაპროექტება მიმდინარეობს შემდეგი თანამიმდევრებით:

1. კოჭის განივკვეთის შერჩევა

კოჭის სრული სიმაღლე h აიღება მალის $1/12$ და მრგვალდება ფანერის სდან-დარტული ზომების შესაბამისად. საყრდენზე კოჭის სიმაღლე $h_0 = h - 0,5i$ -ს. ფანერის კედლის სისქე $\delta_{ფ} \geq h_0/130$. წინასწარ ვნიშნავთ სარტყელთა ფიცრების სიგანეს ($b_{στ} = 16$ მმ).

ქვედა სარტყლის განივკვეთის ზომები შეირჩევა სიმტკიცის პირობიდან გაჭიმვაზე

$$\sigma = M/W_{დაყ} < R_6, \quad (7.13)$$

სადაც M არის ყველაზე საშიშ განივკვეთში მოქმედი მღუნავი მომენტი; $W_{დაყ}$ – წინაღობის მომენტი, დაყვანილი მერქანზე; R_6 – მერქნის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე.

ყველაზე საშიში კვეთი კოჭში განლაგებულია საყრდენიდან მანძილზე:

$$x = \left(\sqrt{\gamma \cdot (1 + \gamma)} - \gamma \right) \cdot \ell; \quad \gamma = h_0/i \cdot \ell, \quad (7.14)$$

სადაც i არის კოჭის ზედა სარტყლის ქანობი; h_0 – კოჭის სიმაღლე საყრდენზე; ℓ – კოჭის მალი.

ზედა სარტყლის განივკვეთი მიიღება ქვედას ანალოგიურად.

2. მიღებული განივკვეთის შემოწმება

– ქვედა სარტყლის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ყველაზე საშიშ განივკვეთში (7.13) ფორმულით მოწმდება;

– ზედა სარტყლის სიმტკიცე კუმშვაზე ღუნვით კოჭის სიბრტყიდან მდგრადობის გათვალისწინებით

$$\sigma = M/W_{დაყ} \cdot \phi \leq R_3, \quad (7.15)$$

სადაც ϕ არის მდგრადობის კოეფიციენტი ზედა სარტყლისათვის კოჭის საბრტყიდან (მიიღება მოქნილობა $\lambda = \ell_s / 0.29b$ - ზე დამოკიდებულებით [1]); R_3 – მერქნის

საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე; ϵ_s – ზედა სარტყლის ჩამაგრებებს შორის მანძილი (სახურავის მოსაწყობად); b განივკვეთის სიგანე;

– ფანერის კედლის სიმტკიცის მიხედვით

$$\sigma = M/W_{დაყ.ფ} \leq R_{ფ.ფ} \cdot m_{ფ}, \quad (7.16)$$

სადაც $W_{დაყ.ფ}$ არის ფანერაზე დაყვანილი წინაღობის მომენტი; $R_{ფ.ფ}$ – ფანერის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე; $m_{ფ} = 0,8$ – პირაპირში ფანერის საანგარიშო წინაღობის შემამცირებელი კოეფიციენტი;

– კედლის სიმტკიცე საშიშ განივკვეთში მთავარი გამჭიმი ძალების მოქმედებისას საყრდენიდან ფანერის კედლის პირველ პირაპირამდე (ან პირველი შეყურსული ძალის მოდების წერტილამდე)

$$\frac{\sigma_{კედ}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{კედ}}{2}\right)^2 + \tau_{კედ}^2} \leq R_{ფ.ფ.ა} \cdot m_{ფ}; \quad (7.17)$$

სადაც $R_{ფ.ფ.ა}$ არის ფანერის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე α კუთხით ([1], დანართი 5, სურ.17);

$\sigma_{კედ}$ – ნორმალური ძაბვა კედელში ღუნვისაგან სარტყლების შიდა ნაწიბურის დონეზე; $\tau_{კედ}$ – მხები ძაბვები კედელში სარტყლების შიდა ნაწიბურის დონეზე;

α – კუთხე ფანერის გარე ფენების ბოჭკოების მიმართულებისადმი. განისაზღვრება და მოკიდებულებიდან

$$\operatorname{tg} 2\alpha = 2\tau_{კედ}/\sigma_{კედ}; \quad (7.18)$$

– კედლის ადგილობრივი მდგრადობა მოწმდება $h_{კედ}/\delta_{ფ} > 50$ პირობის გათვალისწინებით (როცა ფანერის გარე ფენების ბოჭკოების მიმართულება ემთხვევა მალის მიმართულებას):

$$\left[\sigma_{კედ}/K_u(100\delta_{ფ}/h_{კედ})^2\right] + \left[\tau_{კედ}/K_\tau(100\delta_{ფ}/h_{საანგ})^2\right] \leq 1, \quad (7.19)$$

სადაც K_u და K_τ არის კოეფიციენტები, რომლებიც განისაზღვრება გრაფიკებიდან ([18], დანართი 5, სურ.18; 19);

$h_{საანგ}$ – კედლის საანგარიშო სიმაღლე. თუ განივ წიბოებს შორის მანძილი $a \geq h_{კედ}$, მაშინ $h_{საანგ} = h_{კედ}$; თუ $a < h_{კედ}$, მაშინ $h_{საანგ} = a$;

– მოწმდება ფანერის კედელი ჭრაზე ფორმულით:

$$\tau = Q \cdot S_{დაყ.ფ} / J_{დაყ.ფ} \cdot \delta_{ფ} \leq R_{ფ.ჭრ.}, \quad (7.20)$$

სადაც Q არის განივი ძალა;

$S_{დაყ.ფ}$ და $J_{დაყ.ფ}$ – სტატიკური და ინერციის დაყვანილი მომენტები ფანერაზე;

$\delta_{ფ}$ – ფანერის კედლების ჯამური სისქე;

$R_{ფ.ჭრ.}$ – ფანერის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე;

– ფანერის სიმტკიცე წებოვანი ნაკერის მიმართ მოწმდება (7.20) ფორმულით.

ფანერის კედლის სისქის ($\delta_{ფ}$) ნაცვლად იღებენ წებოვანი ნაკერების ჯამურ სისქეს ($\Sigma h_{წკ}$);

– მოწმდება წებოფანერის კოჭის სიხისტე ფორმულით:

$$f/l = \{ f_0[1+c(h/l)^2] \} / k \cdot l \leq [f/l], \quad (7.21)$$

სადაც $f_0 = 5 \cdot d^6 \cdot l^4 / 384 \cdot E \cdot J$ არის კოჭის ჩაღუნვა ნორმატიული დატვირთვის დროს;
 $K = 0,15 + 0,85 h_0 / h$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს განიკვეთის ცვალებადობას;

$C = 15,4 + 3,8 h_0 / h$ – ძვრის დეფორმაციის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი;

h_0 – კოჭის განიკვეთის სიმაღლე საყრდენზე;

h – კოჭის განიკვეთის მაქსიმალური სიმაღლე.

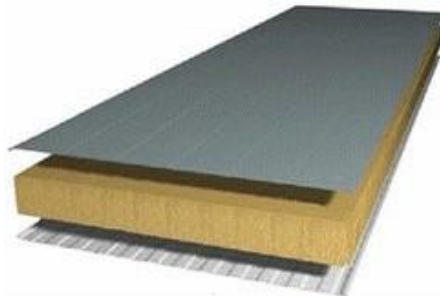
დაწებებული ხე-ფანერის კოჭის გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითები იხ. [1], მაგალითი 6.5 და 6.6.

7.1.4. წებო-ფანერის სამფენოვანი პანელები

სამფენოვანი (სამფენიანი) პანელი თანამედროვე სამშენებლო კონსტრუქციაა, რომელიც წარმოადგენს ორი ხისტი ფენის (ალუმინი, ფანერა, კომპოზიტი, ფოლადი, მინაპლასტიკი, მინატექსტოლიტი და სხვ.) და ერთი შუა დამათბუნებელი ფენის (ქაფპლასტი, ქაფპოლისტირენი, ქაფპოლიურეთანი, მინერალური ბამბა და სხვ.) ერთობლიობას. კონსტრუქციის მიხედვით არსებობს: ხე-ფანერის, ალუმინის, ფოლადის, პლასტმასის, ბეტონის (სურ. 7.5. გარე ფენა – ფოლადის ბადით დაარმირებული და დეკორატიული მასალით მოპირკეთებული ბეტონი, შუა ფენა – მინერალური ბამბა ან ქაფპოლისტირენი, შიდა ფენა – ალუმინი ან დეკორატიული პლასტიკი) და სენდვიჩ-პანელი (სურ. 7.6. შემოსვები – ძირითადად ფოლადის ფურცლების, შუა ფენა – ქაფპოლიურეთანი ან ქაფპოლისტირენი).



სურ. 7.5. ბეტონის სამფენოვანი პანელი



სურ. 7.6. სენდვიჩ-პანელი

გადახურვის წებო-ფანერის სამფენოვანი პანელი შედგება ერთმანეთთან დაკავშირებული ხის მზიდი კარკასისა და წყალმდეგი ფანერის შემოსვისაგან, რომლებიც ქმნიან კოლოფისმაგვარ განიკვეთს. ფანერის სისქე აიღება არანაკლებ 8 მმ; წიბოების სისქე – 33-43 მმ. აუცილებლობის შემთხვევაში წიბოები შეიძლება იყოს დაწებებულ-ფიცრული.

ასეთი ტიპის ხე-ფანერის პანელები ფართოდ გამოიყენება სახურავისა თუ კედლების შემომფარგვლელ კონსტრუქციებად, რასაც განაპირობებს მათი მაღალი მზიდუნარიანობა საკმაოდ მცირე მასის პირობებში. იგი საშუალებას აძლევს ფანერის შემოსვებს შეითავსოს შემომფარგვლელი და მზიდი ფუნქციები.

შუა ფენისათვის გამოსაყენებელ მასალებს უნდა ჰქონდეთ მცირე სიმკვრივე, საკმარისი სიმტკიცე კუმშვასა და ძვრაზე, იყოს ბიო- და ცეცხლმედეგი. ამ მოთხოვნებს ყველაზე კარგად აკმაყოფილებს ქაფპლასტი და მინერალური ბამბა, რომლებსაც დამატებით შესანიშნავი თბოსაიზოლაციო თვისებები ახასიათებთ. შუა ფენის სისქე აიღება თბოტექნიკური და კონსტრუქციული მოთხოვნების გათვალისწინებით.

საქარხნო პირობებში პანელის დამზადებისას ფანერის ზედა შემოსვაზე ეკვრება ერთი ფენა რუბეროიდი, ხოლო ადგილზე მონტაჟის შემდეგ – დანარჩენი ორი ფენა.

ხე-ფანერის დაწებებული პანელებით შეიძლება გადაიხუროს 3-6 მ სიგრძის მალი, ხოლო თუ გრძივ წიბოებს დავამზადებთ დაწებებულს – 9 მ-მდე, პანელის სიგანე აიღება ფანერის ფურცლის სიგანის შესაბამისი (1525 მმ), სიმაღლე კი შეადგენს მალის 1/30-1/40 ნაწილს. ფანერის გარე ფენის ბოჭკოების მიმართულება უნდა ემთხვეოდეს პანელის სიგრძის (მალის) მიმართულებას, რაც იმით არის განპირობებული, რომ სიგრძეში ფანერის ფურცლები გადაებას ერთმანეთს „უღვაშისებურად“ და იმავდროულად უკეთესად გამოვიყენოთ ფანერის სიმტკიცე.

სტანდარტული ზომის (1,5×6 მ) სამფენოვანი პანელის კონსტრუქცია იხ. [1] სურ. 6.40.

პანელში გრძივი წიბოების რაოდენობას განსაზღვრავს ფანერის ზედა შემოსვის ღუნვაზე მუშაობის პირობა შეყურსული დატვირთვის მოქმედებისას (აღამიანის წონა ინსტრუმენტებით $P^6 = 1$ კნ; $P = P^6 \cdot 1,2 = 1 \cdot 1,2 = 1,2$ კნ). ამავე დროს ითვლება, რომ ეს შეყურსული დატვირთვა ნაწილდება 100 სმ სიგანის ზოლზე.

წიბოებიანი სამფენოვანი პანელის გაანგარიშება სიმტკიცესა და დეფორმაციებზე მიმდინარეობს სამშენებლო მექანიკის ცნობილი მეთოდებით შემოსვებისა და წიბოების სიხისტეთა ფარდობის გათვალისწინებით, რადგანაც მერქნისა და ფანერის დრეკადობის მოდულები მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისგან. გეომეტრიული მახასიათებლების დაყვანა ხდება იმ მასალაზე, რომელშიც საჭიროა დაბრუნების განსაზღვრა. შემოსვებში ნორმალური დაბრუნების განაწილება დამოკიდებულია წიბოებს შორის დაშორებაზე – რაც მეტია დაშორება, მით მეტია დაბრუნება.

საერთოდ ხე-ფანერის დაწებებულ კონსტრუქციებში დაბრუნების განსაზღვრება დრეკადობის თეორიის მეთოდების გამოყენებით. რაც შეეხება სამფენოვან პანელებს, მათი გაანგარიშება საკმაოდ რთულია და იგი გაშუქებულია ლიტერატურაში [13, 14].

სახურავის ხე-ფანერის დაწებებული სამფენოვანი პანელის გაანგარიშება მოცემულია ლიტერატურაში ([1], მაგალითი 6.6).

7.2. ხის კონსტრუქციების შეერთებები ჩაწებებული ღეროებით

შეერთებები ჩაწებებული ფოლადის ან მინაპლასტიკის ღეროებით დაწებებული ხის ელემენტების წებოთი შეერთების ნაირსახეობაა, რომელიც ხორციელდება პერიოდული პროფილის ლითონის A-II (A300) და A-III (A500) კლასის მოკლე ფოლადის ან მინაკომპოზიტური არმატურის ღეროებით, რომელთა დიამეტრია 12-25 მმ. ისინი ჩაწებება მართკუთხა ღარებში ზედით ან მრგვალ ნახვრეტებში და უზრუნველყოფენ შეერთების პირაპირის სიმტკიცეს (სურ. 7.7, სურ. 7.8). ჩასაწებებელად ძირითადად გამოიყენება ეპოქსიდურ-ცემენტის წებო. მერქნის ტენიანობა ასეთ შეერთებებში არ უნდა აღემატებოდეს 12%.

ღარის ან ნახვრეტის ზომა არმატურის ღეროს დიამეტრზე 5 მმ-ით მეტი უნდა იყოს.

ჩასაწებებელი არმატურის ღეროს მზიდუნარიანობა ამოძრობაზე ან ჩაჭყლელაზე, ბოჭკოების გრძივად და განივად, გაჭიმულ და შეკუმშულ ხის ელემენტებში (ნადვი, ფიჭვი) განისაზღვრება ფორმულით:

$$T = \pi l(d+0,005)R_{sb}K_{sb}, \quad (7.22)$$

სადაც l არის ჩაწებების სიღრმე;

d – ღეროს დიამეტრი; $R_{sb} = 2,1$ მპა – მერქნის მაქსიმალური საანგარიშო წინაღობა ახლეჩაზე შეერთებებში ბოჭკოების გრძივად;

K_{sb} – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჩაწებების სიგრძეში ახლეჩის ძაბვის განაწილებას და განისაზღვრება ფორმულით:

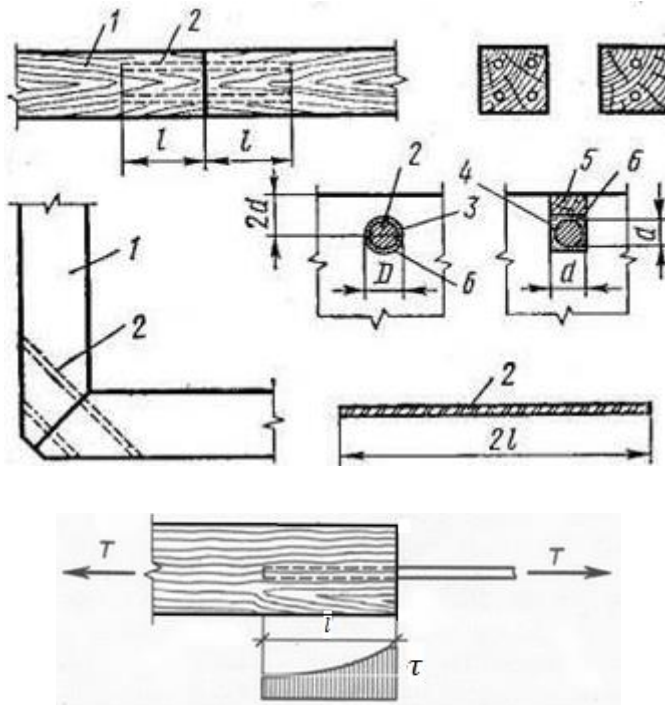
$$K_{sb} = (1,2-0,02)l/d. \quad (7.23)$$

გრძივად ჩაწებებული ღეროების საჭირო რაოდენობა, რომელზეც მოქმედებს გამჭიმავი ან მკუმშავი N ძალა, განისაზღვრება ფორმულით:

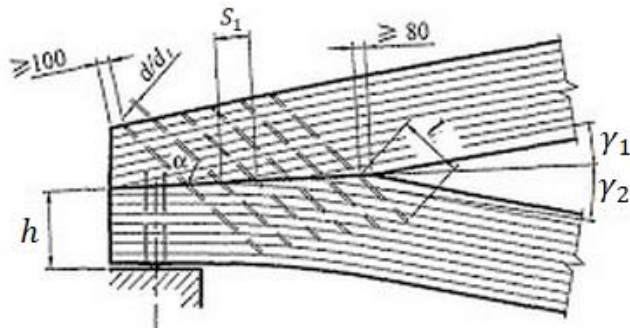
$$N_{საჭ} = N/T. \quad (7.24)$$

დახრილად ჩაწებებული ღეროები მუშაობენ ძვრაზე, ხოლო მერქანი – თელვზე ბოჭკოების განივად. დასაწყისში მუშაობას ღრეკადი ხასიათი აქვს, შემდეგ გადადის პლასტიკურში და შეერთება ირღვევა დიდი დეფორმაციების განვითარებით მერქნის ადგილობრივი თელვის გამო. ასეთი შეერთების მზიდუნარიანობა უფრო მეტია, ვიდრე გრძივად ჩაწებებული ღეროებისა. ძაბვის არათანაბარი განაწილების კოეფიციენტის მნიშვნელობაც საგრძნობლად მეტია.

შეერთებები დახრილად ჩაწებებული ფოლადის (მინაპლასტიკის) ღეროებით ეფექტურად გამოიყენება კონსტრუქციების საყრდენებსა და შუალედ კვანძებში.



სურ. 7.7. შეერთებები ჩაწებებული ფოლადის ღეროებით: ა - გრძივად ჩაწებებული; ბ - დახრილად ჩაწებებული; 1-შესაერთებელი ელემენტი; 2-არმატურის (მინაპლასტიკის) ღერო; 3-ხვრეტი; 4-დარი; 5-ძელაკი (ზელი); 6-წებო



სურ. 7.8. ლინზისებრი წამწის საყრდენი კვანძი

ს. ტურკოვსკის (რუსეთის ფედერაცია, მოსკოვი) მიერ ჩატარებულმა თეორიულ-ექსპერიმენტულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ დახრილად ჩაწებებულ ღეროებს აქვს საკმარისი სიმტკიცე და წარმატებით შეიძლება მათი გამოყენება დოღგაბარიტიანი დაწებებულ ხის კონსტრუქციებში გრძივი ძალების მისაღებად, მაგალითად, დგარების ხისტ დამაგრებაში, გაჭიმული ელემენტების პირაპირებში, ჩარჩოების ხისტ კვანძებსა და სხვ.

მაგალითი 7.2. შევარჩიოთ გრძივად ჩაწებებული არმატურის ღეროების რაოდენობა, განიკვეთი და ჩაწებების სიღრმე ორი ძელის შეერთების პირაპირისათვის. ძელების განიკვეთია 17,5×17,5 სმ, რომლებშიც მოქმედებს საანგარიშო დატვირთვებისაგან გამოწვეული გრძივი გამჭიმი ძალა $N = 125$ კნ (სურ. 7.3, ა).

ამოხსნა. წყვილად განთავსებული ღეროების მაქსიმალური დიამეტრი $d = b/7 = 17,5/7 = 2,5$ სმ. ავიღოთ ღერო დიამეტრით $d = 2,2$ სმ. ჩაწებების სიღრმე $\ell = 10d = 10 \cdot 2,2 = 22$ სმ. ახლეჩის ძაბვის უთანაბრობის კოეფიციენტი $K_{\alpha\beta} = 1,2 - 0,02 \cdot \ell/d = 1,2 - 0,02 \cdot 22/2,2 = 1$.

მერქნის საანგარიშო წინაღობა ახლეჩაზე $R_{\alpha\beta} = 2,1$ მპა = 0,21 კნ/სმ².

ერთი ღეროს საანგარიშო მზიდუნარიანობა

$$T = \pi \ell (d+0,005) R_{\alpha\beta} K_{\alpha\beta} = 3,14 \cdot 2,22(2,2+0,005) \cdot 0,21 \cdot 1,0 = 32 \text{ კნ.}$$

ღეროების საჭირო რაოდენობა

$$n_{საჭ} = N/T_{მინ} \cdot n_{ჭრ} = 125/32,1 = 3,9 \text{ ცალი.}$$

ავიღოთ 4 ცალი ღერო, თითოეული დიამეტრით $d = 2,2$ სმ, $A = 3,8$ სმ², $A-II$ კლასის, $R = 280$ მპა = 28 კნ/სმ².

4 ღეროს განიკვეთის ჯამური ფართობი $A = 3,8 \cdot 4 = 15,2$ სმ².

შევამოწმოთ ღეროების სიმტკიცე გაჭიმვაზე

$$\sigma = N/A = 125/15,2 = 8,2 \text{ კნ/სმ}^2 < R = 28 \text{ კნ/სმ}^2.$$

7.3. ულტრალამი (ლვლ)

ულტრალამი (ინგლ. LVL – Laminated Veneer Lumber, დახერხილი მასალა დაწებებული შპონისაგან) წარმოადგენს კონსტრუქციულ კომპოზიტურ მასალას, რომელიც დამზადებულია 3 მმ-მდე სისქის ანათალი ხის (ფიჭვი, ნაძვი, ლარიქსი) შპონების დაწებებით და მიეკუთვნება დაწებებული ხის კონსტრუქციების ერთ-ერთ ტიპს (სურ. 7.9). ფანერისგან განსხვავებით მასში შპონების ბოჭკოების მიმართულება პარალელურია. მზადდება შეუზღუდავი სისქისა და სიგრძის ძელებისა და ფილების სახით. ადვილად ემორჩილება მექანიკურ დამუშავებას, აქვს მაღალი სიმტკიცე. გამოირჩევა ეკოლოგიურობითა და ბიომედეგობით.



სურ. 7.9. ულტრალამის მასალა

ულტრალამი პირველად შეიქმნა აშშ-ის ტყითსარგებლობის ფედერალურ ლაბორატორიაში 1935 წელს, ხოლო მისი კომერციული წარმოება დაიწყო 60-იან წლებში (კომპანია „ვეიზერჰაუზერი“). ევროპაში LVL -ის დამზადება, სავაჭრო მარკით Kerto, პირველად დაიწყო ფინურმა კომპანიამ Metsa Wood და ამჟამად წელიწადში ნაწარმის მოცულობა დაახლოებით შეადგენს 200 ათას მ³-

ს. 2009 წლიდან ქარხანა (Талион Теппа) მუშაობს რუსეთშიც (ქ. ტორჟოკი) წარმადობით 150 ათასი მ³ პროდუქცია წელიწადში, შემდეგ ანალოგიური ქარხანა ამუშავდა ქ. ნიაგანშიც (ЛВЛ Юрга).

LVL-ის ძელი კარგად მუშაობს ძალებზე, რომლებიც მოდებულია ბოჭკოების გასწვრივ (კუმშვა, გაჭიმვა), ამიტომ ჩრდილოეთ ამერიკის სამშენებლო გამოცდილების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ უმჯობესია ასეთი ძელები გამოვიყენოთ შენობის კარკასის ელემენტების, კერძოდ, სანივნივე ფეხების, კეხისა და სართულშუა გადახურვის კოჭების დასამზადებლად. სიგრძეში შეუზღუდაობა საშუალებას იძლევა LVL -ის კოჭები გამოყენებულ იქნეს დიდმალიან (24-36 მ) გადახურვებში.

LVL მაღალი სიმტკიცის კომპოზიტური კონსტრუქციული მასალაა ბუნებრივი მერქნის საფუძველზე, რომელიც ტექნოლოგიურადაა გაძლიერებული და გაუმჯობესებული. დამზადების რთული ტექნოლოგიური პროცესის შედეგად მიიღება ერთგვაროვანი მასალა უნიკალური თვისებებით. მისი ტექნოლოგიური მახასიათებლები მნიშვნელოვნად აჭარბებს მთლიანკვეთიანი ძელის, დაწებებული მერქნისა და მაღალი კლასის დახერხილი მასალის ტექნიკურ მახასიათებლებს. ცნობილია ულტრალამის 5 სახეობა: Ultralam Rb, Ultralam Rs, Ultralam R, Ultralam X და Ultralam I. მათი ტექნიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 7.1-ში, ხოლო დრეკადობის მოდულის (E) მნიშვნელობები შემდეგია:

- Ultralam Rb – 16000 მპა;
- Ultralam Rs – 15600 მპა;
- Ultralam R – 14000 მპა;
- Ultralam X – 11000 მპა;
- Ultralam I – 12700 მპა.

შენობა-ნაგებობათა ექსპლუატაციის პასუხისმგებლობის კლასის მიხედვით მასალის ტენიანობა უნდა იყოს:

- კლასი I – 10±2%;
- კლასი II – 20±2%;
- კლასი III – > 22%.

დაწებებულ ძელებსა და ფილებში გამოყენებული თანამედროვე კომპოზიტური მასალა ულტრამის შემადგენლობა და გამოყენების სფეროები მოცემულია ცხრ. 7.2-ში.

ცხრილი 7.1

დაძაბული მდგომარეობა	ბოჭკოების მიმართულება	Rb მპა	Rs მპა	R მპა	X მპა	I მპა
ღუნვა	ბოჭკოების გასწვრივ ნაწიბურზე	39	27	26,5	19,5	23,5

ღუნვა	ბოჭკოების გასწვრივ ფენაზე	45	35,5	27,5	24	22,5
კუმშვა	ბოჭკოების გასწვრივ ნაწიბურზე	30	25,5	23,5	19,5	22
კუმშვა	ბოჭკოების განივად	5	4,3	3,5	6,8	3,8
კუმშვა	შპონის სიბრტყის მართობულად	5	1,9	1,7	1,9	1,7
გაჭიმვა	ბოჭკოების გასწვრივ ნაწიბურზე	25	26,5	22,5	17,5	16,5
გაჭიმვა	ბოჭკოების განივად	-	-	0,7	-	-
ახლეჩა	ბოჭკოების გასწვრივ ნაწიბურზე	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
ახლეჩა	ბოჭკოების განივად	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

ცხრილი 7.2

მასალის სახეობა	შედგენილობა	გამოყენების სფერო
Ultralam Rb	არყის ხის შპონი; შპონის ფენების ბოჭკოების მიმართულება პარალელურია	მზიდი კონსტრუქციები
Ultralam Rs	ხის შპონი სორტიტ G1, G2 (უპირატესად G1); შპონის ფენების ბოჭკოების მიმართულება პარალელურია	მზიდი კონსტრუქციები
Ultralam R	ხის შპონი სორტიტ G1, G2 (უპირატესად G1); შპონის ფენების ბოჭკოების მიმართულება პარალელურია	მზიდი კონსტრუქციები

Ultralam X	ხის შპონი სორტიტ G2, G3; შპონის ფენების ბოჭკოების მიმართულება ურთიერთმართობულია	მზიდი და შემომზღუდავი კონსტრუქციები
Ultralam I	ხის შპონი სორტიტ G3, G4; შპონის ფენების ბოჭკოების მიმართულება პარალელურია ან მართობულია	შემომზღუდავი კონსტრუქციები; კარ-ფანჯრები; ავეჯი და სხვ.

ულტრალამის კომპოზიტური მასალის ძირითადი დადებითი თვისებები:

- ეკოლოგიურად სუფთა მასალა ბუნებრივი მერქნის საფუძველზე;
- ხანმედეგობა; არ იცვლის ფაქტურასა და მიმზიდველობას ხანგრძლივი დროის განმავლობაში;
- არ იცვლის თვისებებს ექსპლუატაციის მთელი დროის განმავლობაში;
- მასალა ერთგვაროვანია. ფიზიკური თვისებები უცვლელია კონსტრუქციის მთელ სიგრძეზე;
- მასალის გეომეტრიულ ზომებსა და ფიზიკურ თვისებებზე გავლენას არ ახდენს სეზონური ფაქტორები, გარემო და კლიმატური პირობები;
- შეერთებების მაღალი სიზუსტე;
- მაღალი მზიდუნარიანობა;
- მედეგობა ქიმიურად აგრესიული გარემოს მიმართ;
- გააჩნია სიმტკიცისა და წონითი მაჩვენებლების ოპტიმალური თანაფარდობა;
- მაღალი ბიო- და ცეცხლმედეგობა;
- მაღალი თბოსაინჰოლაციო და აკუსტიკური მახასიათებლები;
- ადვილად მუშავდება ნებისმიერი საჭრელი ინსტრუმენტით;
- შეშრობის დაბალი მაჩვენებელი; არ განიცდის დეფორმაციასა და დაბრუნებას მაღალი ტენიანობის (სინესტე) პირობებში;
- პრაქტიკულად არ გააჩნია საექსპლუატაციო ხარჯი;
- კონსტრუქციების მონტაჟის სისწრაფე, სიმარტივე და მოხერხებულობა;
- არ საჭიროებს გაძლიერებული საძირკვლების მოწყობას;
- ღვლ ძელის გრძივი მეტრის ღირებულება დამოკიდებული არ არის კონსტრუქციის სიგრძესა და განიკვვეთზე;
- დამუშავება დამცავი ხსნარებითა და ლაქ-საღებავებით დაკავშირებული არ არის რაიმე სირთულეებთან;
- ბუნებრივი მერქნის სტრუქტურისა და ტექსტურის შენარჩუნება საშუალებას იძლევა ულტრალამის მასალა წარმატებით იქნეს გამოყენებული შენობების ინტერიერებში დამატებითი მოპირკეთების გარეშე;

- დასამზადებელი მასალა (მშონი) პრაქტიკულად ხელმისაწვდომია მსოფლიოს ნებისმიერი ქვეყნისა და რეგიონისათვის;
- ულტრალამისგან დამზადებული კონსტრუქციების ღირებულება მცირედით აღემატება ჩვეულებრივი დაწებებული ხის კონსტრუქციების ღირებულებას, თუმცა ეს განსხვავება იფარება ექსპლუატაციის პროცესში.

ულტრალამის კონსტრუქციებს ფართოდ იყენებენ აშშ-ში, კანადაში, ფინეთში, გერმანიაში, რუსეთსა და იაპონიაში, თუმცა ბოლო წლებში თანდათან იპყრობს ჩინეთის, დასავლეთ ევროპისა და სხვა ქვეყნების სამშენებლო ბაზარს. მისი გამოყენების სფეროებია: სასოფლო დანიშნულების შენობები (სურ. 7.10), კანოე, ბაიდარკები და იახტები (სურ. 7.11), კარკასული სახლები (სურ. 7.12), საცხენოსნო-სპორტული კომპლექსები, მრავალბინიანი სახლები (სურ. 7.13), კარის კარკასები, სართულშუა გადახურვები, კარკასულ-პანელური სახლები (სურ. 7.14), ხიდები (სურ. 7.15), სამშენებლო სისტემები (სურ. 7.16), მანსარდები, დაშენებები, დროებითი ნაგებობები (სურ. 7.17), სტრუქტურული კონსტრუქციები (სურ. 7.18), გუმბათები (სურ. 7.19), ენერგოეფექტური სახლები და სხვ.



სურ. 7.10. სასოფლო დანიშნულების ნაგებობა



სურ. 7.11. მშენებარე იახტა



სურ. 7.12. კარკასული სახლი



სურ. 7.13. მრავალბინიანი სახლი



სურ. 7.14. კარკასულ-პანელური სახლი



სურ. 7.15. ხის (ულტრალამის) ხიდი



**სურ. 7.16. სამშენებლო
სისტემები**



**სურ. 7.17. დროებითი
ნაგებობა**



**სურ. 7.18. სტრუქტურული
კონსტრუქცია**



**სურ. 7.19. ხის წიბოვანი
გუმბათი**

მაგალითი 7.3. გავიანგარიშოთ ხის დაწებებული ორქანობიანი კოჭი (სურ. 7.20) შემდეგი მონაცემების მიხედვით:

მალი – $l = 12$ მ;

ზედა წახნაგის ქანობი – $i = 1 : 12$.

კოჭზე მოქმედებს თანაბარგანაწილებული დატვირთვა კოჭისა და სახურავის საკუთარი წონისა და თოვლისაგან: ნორმატიული $q_1^b = 8,42$ კნ/მ; საანგარიშო $q_1 = 13,68$ კნ/მ;

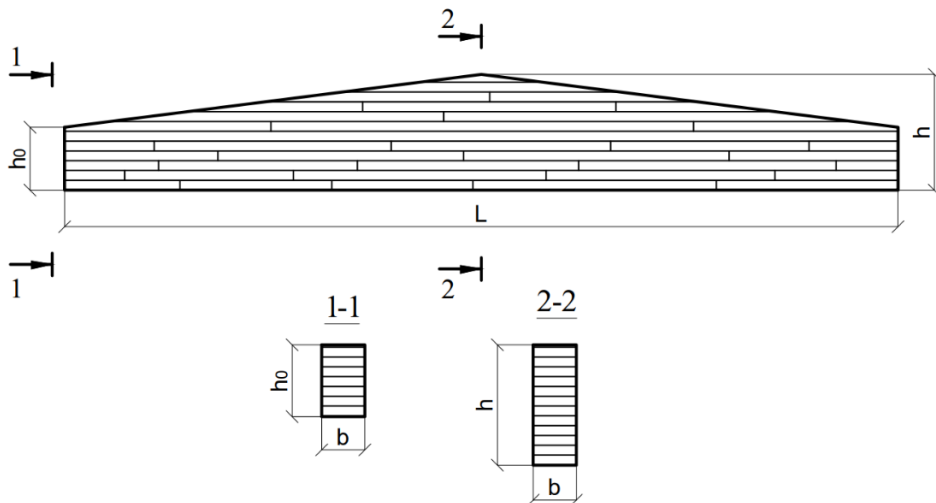
მასალა – ულტრალამი (Ultralam Rs) II ხარისხის;

მასალის საანგარიშო წინაღობა ღუნვაზე ბოჭკოების გასწვრივ – 27 მპა;

მასალის საანგარიშო წინაღობა ახლეჩაზე – 2,6 მპა;

მასალის დრეკადობის მოდული – 15600 მპა;

კონსტრუქცია მიეკუთვნება პასუხისმგებლობის II კლასსა და საექსპლუატაციო პირობების ბ ჯგუფს.



სურ. 7.20. ხის დაწებებული ორქანობიანი კოჭი

ამოხსნა.

გავიანგარიშოთ ულტრალამისგან დამზადებული კოჭი.

დატვირთვები ავიღოთ მაგალითი 7.1-დან

$$q^b = 0,08 \text{ კნ/სმ};$$

$$q = 0,13 \text{ კნ/სმ}.$$

კოჭის განიკვეთის სიგანე $b = 16,5$ სმ.

ულტრალამის მერქნის საანგარიშო წინაღობები:

ღუნვაზე – $R_{\phi} = 27$ მპა; ახლეჩაზე – $R_{ახ} = 2,6$ მპა.

კოჭის განივკვეთის სიმაღლე საყრდენებზე განისაზღვრება სიმტკიცის პირობიდან ახლეჩაზე

$$h_{0საჭ} = 3Q/2bR_{ახ} = 3 \cdot 78/2 \cdot 16,5 \cdot 0,26 = 27,27 \text{ სმ},$$

სადაც განივი ძალა საყრდენზე $Q = q\ell/2 = 13 \cdot 12/2 = 78 \text{ კნ}$.

$$\text{მივიღოთ } h_0 = 30 \text{ სმ} = 0,3 \text{ მ}.$$

კოჭის სიმაღლე მალის შუაში

$$h = h_0 + \ell/2 \cdot 12 = 0,3 + 12/2 \cdot 12 = 0,8 \text{ მ}.$$

განვსაზღვროთ სახიფათო ზონის მდებარეობა და შესაბამისი განივკვეთი შევამოწმოთ სიმტკიცეზე. გაანგარიშება განვახორციელოთ შემდეგი თანამიმდევრობით:

$$x = \ell \cdot h_0/2h = 12 \cdot 0,3/2 \cdot 0,8 = 2,25 \text{ მ};$$

$$M_x = q \cdot x(\ell - x)/2 = 13 \cdot 2,25(12 - 2,25)/2 = 143 \text{ კნმ} = 14300 \text{ კნსმ};$$

$$h_x = h_0 + (h - h_0) \cdot 2x/\ell = 0,3 + [(0,8 - 0,3) \cdot 2 \cdot 2,25/12] = 0,49 \text{ მ};$$

$$W_x = bh^2_x/6 = 16,5 \cdot 49^2/6 = 6603 \text{ სმ}^3.$$

დაბვა

$$M_x/W_x = 14300/6603 = 2,16 \text{ კნ/სმ}^2 = 21,6 \text{ მპა} < R = 23,35 \text{ მპა},$$

სადაც $R = R_{ტ} \cdot m_{\theta} \cdot m_{\phi} \cdot m_{\psi} = 27 \cdot 0,915 \cdot 1,05 \cdot 0,9 = 23,35 \text{ მპა}$.

აქ m_{θ} , m_{ϕ} და m_{ψ} კოეფიციენტების მნიშვნელობები აღებულია ნორმატიული ლიტერატურიდან ([1], დანართი, ცხრილი 9, 11, 12).

შევამოწმოთ კოჭი ჩაღუნვაზე მალის შუაში, რისთვისაც განვსაზღვროთ განივკვეთის ცვალებადობისა და ძვრაზე დამყოლობის გამთვალისწინებელი k და c კოეფიციენტები და ინერციის მომენტი:

$$k = 0,15 + 0,85h_0/h = 0,15 + [0,85 \cdot 0,3/0,8] = 0,47;$$

$$c = 15,4 + 3,8h_0/h = 15,4 + [3,8 \cdot 0,3/0,8] = 16,8;$$

$$J = bh^3/12 = 16,5 \cdot 80^3/12 = 5,87 \cdot 10^5 \text{ სმ}^4.$$

ჩაღუნვა განივკვეთის ცვალებადობისა და ძვრაზე დამყოლობის კოეფიციენტების გაუთვალისწინებლად

$$f = 5 \cdot q^6 \cdot \ell^4 / 384 \cdot E \cdot J = 5 \cdot 0,08 \cdot 1200^4 / 384 \cdot 1560 \cdot 5,87 \cdot 10^5 = 2,36 \text{ სმ},$$

სადაც $E = 15600 \text{ მპა} = 156 \text{ 000 კგძ/სმ}^2 = 1560 \text{ კნ/სმ}$ – მერქნის დრეკადობის მოდული.

ფარდობითი ჩაღუნვა

$$f/\ell = \{f_0[1+c(h/\ell)^2]\}/k \cdot \ell = \{1,55[1+16,8(100/1200)^2]\}/0,47 \cdot 1200 = 1/326 < [f/\ell] = 1/300.$$

კოჭის ჩაღუნვის პირობა დაკმაყოფილებულია.

გაანგარიშებული კოჭის მასალის ხარჯია:

$$[(h_0+h)/2] \cdot \ell \cdot b = [(0,3+0,8)/2] \cdot 12 \cdot 0,165 = 1,09 \text{ მ}^3.$$

ანალოგიური მალისა და დატვირთვების ქვეშ, ჩვეულებრივი ფიცრებისგან შედგენილი დაწებებული კოჭის მასალის ხარჯია:

$$[(h_0+h)/2] \cdot \ell \cdot b = [(0,5+1)/2] \cdot 12 \cdot 0,165 = 1,48 \text{ მ}^3 \text{ (იხ. მაგალითი 7.1),}$$

რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ულტრალამისგან დამზადებულ დაწებებულ კოჭში მასალის პირდაპირი ხარჯი 36%-ით ნაკლებია, ვიდრე ჩვეულებრივ ფიცრულ დაწებებულ კოჭში.

შევადართო ღირებულებები:

საქართველოს ბაზარზე 1 მ^3 წინვოვანი ჯიშის მშრალი ხის მასალის ფასია 550 ლარი (2019 წლის მონაცემებით), ე. ი. ერთი კოჭის მასალის ფასი = 814 ლარი. 1 მ^3 კომპოზიტური ხის მასალა ულტრალამის საერთაშორისო ფასია 488 ამერიკული დოლარი, ანუ 1195 ლარი, ე. ი. ერთი კოჭის მასალის ღირებულებაა – $1,09 \times 1195 = 1300$ ლარი, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ულტრალამისგან დამზადებულ დაწებებულ კოჭში მასალის ღირებულება 38%-ით მეტია, ვიდრე ჩვეულებრივ ფიცრულ დაწებებულ კოჭში. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ულტრალამისგან დამზადებული კოჭის საექსპლუატაციის ვადა 3-ჯერ მეტია ჩვეულებრივ შედგენილ ხის კოჭთან შედარებით, მაშინ ადვილად დავინახავთ კომპოზიტური კოჭის დიდ უპირატესობას.

მაგალითი 7.4. კოლოფისებრი განიკვეთის კომპოზიტური ხე-ფანერის კოჭის გაანგარიშება

გაანგარიშების საფუძვლად გამოყენებულია კოლოფისებრი განიკვეთის დაწებებული ხე-ფანერის კოჭის გაანგარიშება ([1], § 6.7.3, მაგალითი 6.5, გვ. 218) და ალგორითმი, რომელიც მოცემულია რუსულ სამშენებლო ნორმებში [119].

გასაანგარიშებელია კოლოფისებრი განიკვეთის დაწებებული კომპოზიტური კოჭი, რომლის მალაია $l_0 = 6 \text{ მ}$, განიკვეთის სიმაღლე $h = (1/10 - 1/15) l_0 = 6/12 = 0,5 \text{ მ}$, სიგანე $b = 0,2 \text{ მ}$. კოჭის კედლები დამზადებულია კომპოზიტური ორიენტირებული ხის ფილა OSB-სგან (Oriented Strand Board) სისქით 15 მმ. ზედა და ქვედა სარტყლებისათვის გამოყენებულია II ხარისხის კომპოზიტური ხის მასალა ულტრალამი (Ultralam Rs) განიკვეთით $170 \times 60 \text{ მმ}$. საყრდენი და განივი სიხისტის წიბოებისთვისაც გამოყენებულია კომპოზიტური ხის მასალა ულტრალამი. განივი სიხისტის წიბოების სისქე ავიდოთ 40 მმ, სიგანე - 170 მმ, სიმაღლე – 380 მმ, ერთმანეთისგან დაშორება (სინათლეში) კი – 454,5 მმ. საყრდენი სიხისტის წიბოს ზომებია – $40 \times 200 \times 600 \text{ მმ}$ (სურ. 7.21).

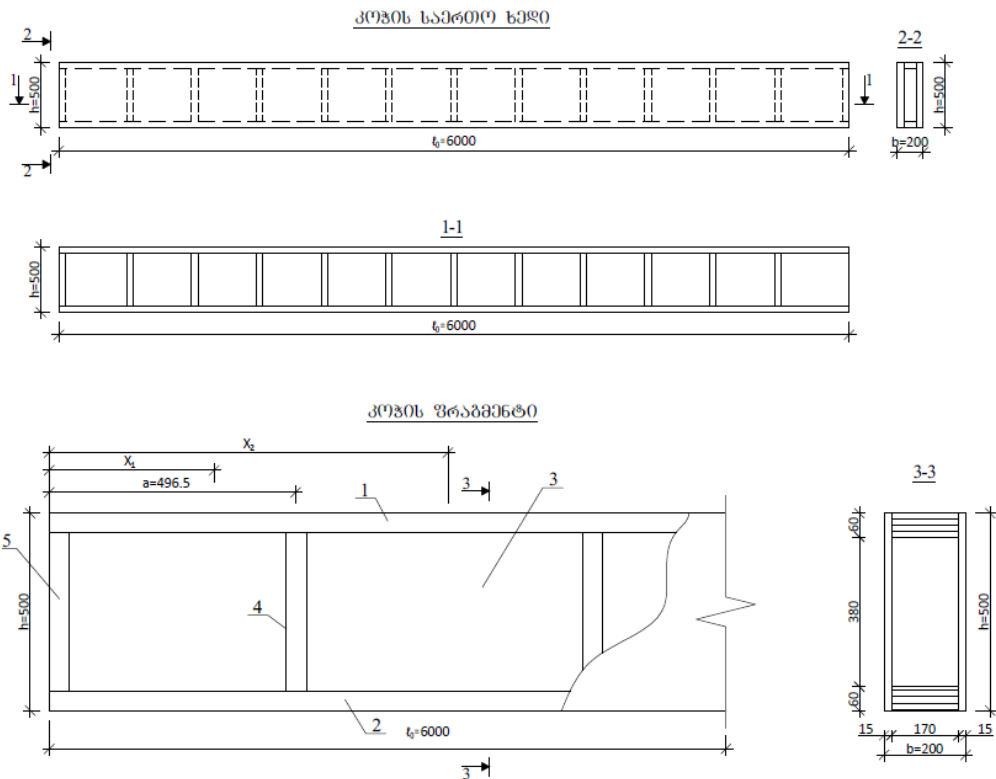
ავიდოთ კოჭზე მოქმედი დატვირთვები:

ნორმატიული $q^b = 3,0 \text{ კნ/მ}$.

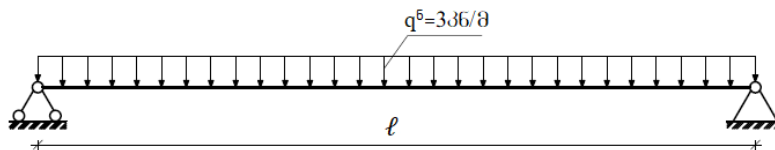
საანგარიშო $q^s = q^b \cdot \gamma = 3,0 \cdot 1,2 = 3,6 \text{ კნ/მ}$,

სადაც $\gamma = 1,2$ არის დატვირთვის საიმედოობის კოეფიციენტი [10].

კოჭის საანგარიშო სქემა მოცემულია სურ. 7.22-ზე.



სურ. 7.21. კოლოფისებრი განივკვეთის კომპოზიტური შედგენილი დაწებებული ხის კოჭი: 1 - ზედა სარტყელი; 2 - ქვედა სარტყელი; 3 - კედელი OSB ფილის $\delta = 15$ მმ; 4 - განივი სიხისტის წიბოები; 5 - საყრდენი წიბო (ზომები მმ-ში)



სურ. 7.22. კოჭის საანგარიშო სქემა

კოჭი დაყრდნობილია 20 სმ სისქის აგურის კედელზე, ამიტომ კოჭის საანგარიშო მალი იქნება

$$l = l_0 - 20 \text{ სმ} = 600 - 20 = 580 \text{ სმ} = 5,8 \text{ მ.}$$

კოჭში მოქმედი მაქსიმალური მდუნავი მომენტი

$$M = q l^2 / 8 = 3,6 \cdot 5,8^2 / 8 = 15,14 \text{ კნმ.}$$

მანძილი მარცხენა საყრდენი წიბოს ღერძიდან პირველ განივ სიხისტის წიბოს ღერძამდე:

$$a = 454,5 + 40 = 494,5 \text{ მმ} = 0,4945 \text{ მ.}$$

მანძილი მარცხენა საყრდენი წიბოს ღერძიდან პირველი და მეორე პანელების შუამდე:

$$x_1 = 0,04/2 + 0,4545/2 = 0,248 \text{ მ};$$

$$x_2 = 0,04/2 + 0,4545 + 0,4545/2 = 0,7 \text{ მ}.$$

განვსაზღვროთ მღუნავი მომენტები ამ კვეთებში:

$$M_1 = q x_1 (\ell - x_1) / 2 = 3,6 \cdot 0,248 \cdot (5,8 - 0,248) / 2 = 2,478 \text{ კნმ};$$

$$M_2 = q x_2 (\ell - x_2) / 2 = 3,6 \cdot 0,7 \cdot (5,8 - 0,703) / 2 = 6,45 \text{ კნმ}.$$

კოჭის განივკვეთის გეომეტრიული მახასიათებლები:

დაყვანილი ინერციის მომენტი

$$J_{\text{დაყ}} = J_B + J_{\text{ფ}} \cdot E_{\text{ფ}} / E_B \text{ მ}^4,$$

სადაც: $E_{\text{ფ}} = 3500$ მპა - OSB ფილის დრეკადობის მოდული სტატიკური ღუნვის დროს;

$E_B = 15\,600$ მპა - ულტრალამის დრეკადობის მოდული.

OSB ფილის კედლების ინერციის მომენტი

$$J_{\text{ფ}} = 2 \cdot \delta_{\text{ფ}} \cdot h_{\text{ფ}}^3 / 12 = 2 \cdot 0,015 \cdot 0,5^3 / 12 = 0,000078 \text{ მ}^4 = 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^4;$$

სარტყლების ინერციის მომენტი

$$J_B = (b_{\text{ს}} \cdot h_{\text{ს}}^3 / 12) + b_{\text{ს}} \cdot h_{\text{ს}} \cdot [(h/2) - (h_{\text{ს}}/2)]^2 =$$

$$= (0,17 \cdot 0,06^3 / 12) + 0,17 \cdot 0,06 [(0,5/2) - (0,06/2)]^2 = 49,66 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^4;$$

$$J_{\text{დაყ}} = 49,66 \cdot 10^{-5} + 7,8 \cdot 10^{-5} \cdot (3500/15600) = 51,41 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^4.$$

ფილაზე დაყვანილი ინერციის მომენტი

$$J_{\text{დაყ.ფ}} = J_{\text{ფ}} + J_B \cdot E_B / E_{\text{ფ}} = 7,8 \cdot 10^{-5} + 49,66 \cdot 10^{-5} \cdot (15600/3500) = 229,14 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^4;$$

დაყვანილი წინაღობის მომენტი

$$W_{\text{დაყ}} = 2 \cdot J_{\text{დაყ}} / h = 2 \cdot 51,41 \cdot 10^{-5} / 0,5 = 205,64 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^3;$$

ფანერაზე დაყვანილი წინაღობის მომენტი

$$W_{\text{დაყ.ფ}} = 2 \cdot J_{\text{დაყ.ფ}} / h = 2 \cdot 229,14 \cdot 10^{-5} / 0,5 = 916,56 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^3;$$

კედლისა და სარტყლების სტატიკური მომენტები:

$$S_{\text{ფ}} = 2 \cdot \delta_{\text{ფ}} \cdot h^2 / 8 = 2 \cdot 0,015 \cdot 0,5^2 / 8 = 93,75 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^3;$$

$$S_B = b_{\text{ს}} \cdot h_{\text{ს}} \cdot [(h/2) - (h_{\text{ს}}/2)] = 0,17 \cdot 0,06 \cdot [(0,5/2) - (0,06/2)] = 224,4 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^3.$$

ფილაზე დაყვანილი სტატიკური მომენტი

$$S_{\text{დაყ.ფ}} = S_{\text{ფ}} + S_B \cdot E_B / E_{\text{ფ}} = 93,75 \cdot 10^{-5} + 224,4 \cdot 10^{-5} \cdot (10000/9000) = 1093,9 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^3.$$

შევამოწმოთ კოჭი (ქვედა გაჭიმული სარტყელი) სიმტკიცეზე ([1], ფორმ. 6.29) ფორმულით:

$$\sigma = M / W_{\text{დაყ}} = 15,14 / 205,64 \cdot 10^{-5} = 7362 \text{ კნ/მ}^2 = 7,36 \text{ მპა} < R_B = 26,5 \text{ მპა}$$

სადაც R_B არის ულტრალამის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე, როცა ფურცლის სისქეა 10-18 მმ (ცხრ. 7.2).

კოჭის კედლის ნეიტრალური ღერძის გასწვრივ განივკვეთს ვამოწმებთ მხებ დაბევებზე ([1], ფორმ. 6.36):

$$\tau = Q \cdot S_{\text{დაყ.ფ}} / J_{\text{დაყ.ფ}} \cdot \delta_{\text{ფ}} = 10,44 \cdot 1093,9 \cdot 10^{-5} / 229,14 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 0,015 = 1661 \text{ კნ/მ}^2 = 1,66 \text{ მპა} < R_{\text{ფ.ჭრ}} = 6 \text{ მპა},$$

სადაც განივი ძალა $Q = q\ell/2 = 3,6 \cdot 5,8/2 = 10,44 \text{ კნ}$; $R_{\text{ფ.ჭრ}} = 6 \text{ მპა}$ - OSB ფილის საანგარიშო წინაღობაა ჭრაზე ფურცლის სიბრტყის მართობულად, რომელიც ანალოგურია სამშენებლო ფანერის ([1], ცხრ. 10).

შევამოწმოთ მაქსიმალური მხები დაბევები ფილისა და მერქნის (კედლებისა და სარტყლების) შეწებების სიბრტყეში:

$$\tau = Q \cdot S_{\text{ფ.საანგ}} / J_{\text{დაყ.ფ}} = 10,44 \cdot 224,4 \cdot 10^{-5} / 2 \cdot 0,06 \cdot 229,14 \cdot 10^{-5} = 85,2 \text{ კნ/მ}^2 = 0,09 \text{ მპა} < R^{\text{ნაპ}} = 0,8 \text{ მპა},$$

სადაც $R^{\text{ნაპ}} = 0,8 \text{ მპა}$ - წებოვანი ნაკერის საანგარიშო წინაღობა.

შევამოწმოთ კედლის მდგრადობა ნორმალური და მხები დაბევების მოქმედებისას პირველი პანელის შუაში $x_1 = 0,248 \text{ მ}$, კოჭის კედლის სიმაღლე სარტყლებს შორის $h^1_{\text{კედ}} = 0,5 - 0,06 \cdot 2 = 0,48 \text{ მ}$.

რადგანაც $h^1_{\text{კედ}} / \delta_{\text{ფ}} = 0,48 / 0,015 = 32 < 50$, ამიტომ კედლის მდგრადობა უზრუნველყოფილია ([1], ფორმ. 47).

შევამოწმოთ კედლები მდგრადობაზე კედლის სიბრტყიდან მეორე პანელის შუაში $x_2 = 0,7 \text{ მ}$:

განივი ძალა

$$Q_2 = q(0,5 \ell - x_2) = 3,6 \cdot (0,5 \cdot 5,8 - 0,7) = 7,91 \text{ კნ}.$$

ნორმალური დაბვა

$$\sigma_{\text{კედ}} = M_2 / W_{\text{დაყ.ფ}} = 6,45 / 916,56 \cdot 10^{-5} = 704 \text{ კნ/მ}^2 = 0,704 \text{ მპა}.$$

მხები დაბვა

$$\tau_{\text{კედ}} = Q_2 \cdot S_{\text{დაყ.ფ}} / 2 \delta_{\text{ფ}} \cdot J_{\text{დაყ.ფ}} = 7,91 \cdot 1093,9 \cdot 10^{-5} / 2 \cdot 0,015 \cdot 229,14 \cdot 10^{-5} = 1259 \text{ კნ/მ}^2 = 1,26 \text{ მპა}.$$

$$h_{\text{კედ}} = 0,48 \text{ მ და } \gamma_2 = a_0 / h_{\text{კედ}} = 0,4545 / 0,48 = 0,95, \text{ მაშინ } K_u = 22 \text{ (მპა);}$$

$$\gamma = h_{\text{კედ}} / a_0 = 0,48 / 0,4545 = 1,06, \text{ შესაბამისი } K_{\tau} = 3,7 \text{ (მპა)}.$$

შევამოწმოთ კედლის ადგილობრივი მდგრადობა ([1], ფორმ. 6.35):

$$\sigma_{\text{კედ}} / K_u (100 \delta_{\text{ფ}} / h_{\text{კედ}})^2 + \tau_{\text{კედ}} / K_{\tau} (100 \delta_{\text{ფ}} / h_{\text{საანგ}})^2 = 0,704 / 22 (100 \cdot 0,015 / 0,48)^2 + 1,26 / 3,7 (100 \cdot 0,015 / 0,48)^2 = 0,068 < 1.$$

შევამოწმოთ მეორე პანელის შუაში კედლის მდგრადობა მთავარი გამჭიმავი დაბევების მოქმედებაზე ([1], ფორმ. 6.33). ამისათვის ჯერ განვსაზღვროთ კუთხე $\text{tg} 2\alpha$

$= 2 \tau_{კვლ} / \sigma_{კვლ} = 2 \cdot 1,26 / 0,704 = 3,5795$, შესაბამისად $2\alpha = 74^{\circ}36'$, $\alpha = 37^{\circ}18'$ და $R_{ფ.გ.ა} = 4,9$ მპა ([1], დანართი 5, სურ. 17).

$$\frac{\sigma_{კვლ}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{კვლ}}{2}\right)^2 + \tau_{კვლ}^2} = \frac{0,704}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,704}{2}\right)^2 + 1,26^2} = 1,662 \text{ მპა} < R_{ფ.გ.ა}$$

$$= 4,9 \text{ მპა};$$

შევამოწმოთ კოჭის სიხისტე ([1], ფორმ. 6.37):

ჯერ გამოვთვალოთ კოჭის ჩადუნვა:

$$f_0 = 5 \cdot d^6 \cdot E^4 / 384 \cdot E \cdot J = 5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 5,8^4 / 384 \cdot 15,6 \cdot 10^4 \cdot 51,41 \cdot 10^{-5} = 0,000552 \text{ მ};$$

კოეფიციენტები: $C = 15,4 + 3,8 \cdot h_0 / h = 15,4 + 3,8 \cdot 0,48 / 0,5 = 19,05$;

$$K = 0,15 + 0,85 \cdot h_0 / h = 0,15 + 0,85 \cdot 0,48 / 0,5 = 0,996.$$

$$f/l = f_0 \cdot [1 + c(h/l)^2] / k \cdot E = 0,000552 \cdot [1 + 19,05 \cdot (0,5/5,8)^2] / 1 \cdot 5,8 =$$

$$= 1/9206 < [f/l] = 1/250.$$

სიმტკიცის, სიხისტისა და მდგრადობის ყველა პირობა საკმაოდ დიდი მარაგითაა დაკმაყოფილებული, ამიტომ რეალური კონსტრუქციის გაანგარიშებისას საჭირო იქნება მიღებული განიკვეთის ზომების შემცირება და ხელახალი გადაანგარიშება.

თავი 8. კომპოზიტური პლასტმასის კონსტრუქციები

8.1. ზოგადი ცნობები პლასტმასების შესახებ

პლასტმასი (პლასტიკი, პლასტიკური მასა) წარმოადგენს მასალას, რომლის საფუძველს შეადგენს ხელოვნური ან ბუნებრივი მაღალმოლეკულური სინთეზური პოლიმერი, რომელიც მაღალი ტემპერატურისა და წნევის გავლენით იღებს ების-მიერ ფორმას და გაცივების შემდეგ ინარჩუნებს მას ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში. იწარმოება ფხვნილის ან გრანულების სახით (სურ. 8.1).

პლასტმასი კომპოზიტური მასალაა და მისი შემადგენელი კომპონენტებია: შემკვრელი, შემავსებელი, მარმირებელი, პლასტიფიკატორი, გამამაგრებელი, სტაბილიზატორი, შემაფერადებელი, კატალიზატორი, ფორმარმომქმნელი, ანტისტატიკი და სხვ. პოლიმერული მასალები საშუალებას იძლევა მივიღოთ მსუბუქი, მტკიცე, ხისტი, კოროზიამედეგი, ცვეთამედეგი ნაკეთობები (სურ. 8.2. პლასტმასის ნაკეთობანი). ეს მასალები ძირითადად შედგება ნახშირბადის (C), წყალბადის (H), ჟანგბადის (O) და აზოტის (N) ატომებისაგან. ბუნებრივ ნედლეულს წარმოადგენს ცელულოზა, კაუჩუკი და კანიფოლი. პლასტმასის შემადგენლობისა და ტემპერატურის გავლენის მიხედვით განირჩევა ორი ჯგუფი: თერმოპლასტიკური და თერმორეაქტიული. თერმოპლასტიკური პლასტმასი გახურებისას რბილდება, ხოლო გაცივებისას გადადის მყარ მდგომარეობაში. თერმორეაქტიული იღებს პლასტიკურობას მხოლოდ დამზადების პროცესში და გაცივებისას მყარდება, ხელმეორედ გახურებისას კი აღარ გადადის პლასტიკურ მდგომარეობაში.



სურ. 8.1. პლასტმასის გრანულები



სურ. 8.2. პლასტმასის ნაკეთობანი

მშენებლობასა და მრეწველობაში გამოყენებული პლასტმასის სახეობებია: მინაპლასტიკი (გადახურვები, სამფენოვანი პანელები, საკედლე ბლოკები, კიბის სახელურები, ლავგარდნის საჩეხი, წყალშემკრები მილები, დარები, შველერი, კუთხედი, ფასადების შემოსვა, რკ.ბ.-ისა და ლითონის კონსტრუქციების დამცავი ფენა, ქიმიურად აგრესიული გარემო, თავისუფალი ფორმის გარსები და სხვ.); მინატექსტოლიტი (დინამიკურ დატვირთვებზე მომუშავე კონსტრუქციები); პოლიმე-

თილმეტაკრილატი ანუ ორგანული მინა (გადახურვები, საკედლე პანელები, მზის აბაზანების მისაღები სათავსები სანატორიუმებში, თალები, კამარები, გარსები, შუქფარნები, გასანათებელი ხელსაწყოები, ლინზები, შუქფილტრები, სათვალეები, მანათობელი პანელები, ტაბლო და სხვ.); ვინიპლასტი (თვითმზიდი პანელები, წყალშემკრები მილები და ღარები, სანტექნიკა, იატაკი, კიბის საფეხურების ზედაფენები, კიბის მოაჯირის გარსაცმები, ანტიკოროზიული მასალა, საფანჯრე ბლოკები მოქნილი შემამჭიდროებელი თამასებიურთ და სხვ.); აფუებადი ზემსუბუქი თბოსაიზოლაციო მასალები (ქაფპლასტი, ფოროპლასტი, ფიჭაპლასტი); მერქანფენოვანი პლასტიკები; მერქანბოჭკოვანი ფილები; მერქანბურბუშელოვანი ფილები (შიგა კედლების მოპირკეთება, სახურავის ბურულისქვეშა ფენილი, პარკეტისქვეშა იატაკი, ავეჯის წარმოება, ვაგონთმშენებლობა და სხვ.); კაუჩუკი (რეზინი, ავტომობილის საბურავები, იზოლაცია, საყოფაცხოვრებო ტექნიკა, ელექტროიზოლაცია, სამედიცინო ხელსაწყოები); ცელოფანი (ერთ-ერთი ძირითადი შესაფუთი მასალა); ეთილენვინილაცეტატი (ფირები, ფილები, საკაბელო გარსაცმი, მილები, ფეხსაცმლის ლანჩები, სათამაშოები, წებო და სხვ.); პოლიამიდი (მაღალი წნევის მილები); პოლიკარბონატი (ჩამრთველ-გამომრთველები, ლაქები, გამჭვირვალე და დარტყმამდეგი ვიტრინები, კომპაქტ-დისკები და სხვ.); თეფლონი ანუ ფთოროპლასტი (გადახურვები, შემამჭიდროებლები, საიზოლაციო ფოლგა, მოქნილი მილები და სხვ.); არამიდი ანუ კევლარი, რომლის სიმტკიცე უახლოვდება ფოლადის სიმტკიცეს (დიდმალიანი გადახურვები, დაკიდებული სისტემები, გარსები). პლასტმასის ძირითადი უპირატესობა ლითონთან შედარებით ისაა, რომ მისი თვისებები ადვილად რეგულირდება, ამიტომ იგი მარტივად შეიძლება მოვარგოთ მრეწველობის ნებისმიერ მოთხოვნებს. პლასტმასი კოროზია, ტუტე და მჟავამდეგია, შეიძლება მივცეთ ნებისმიერი ფორმა, ადვილად იღებება და საუკეთესო ელექტრო და თბოსაიზოლაციო თვისებებით ხასიათდება.

პლასტმასის შემადგენელი კომპონენტებისაგან ძირითადია შემკვრელი ნივთიერება – პოლიმერი, რომელიც ბუნებრივი ან ხელოვნური სინთეზური მასალაა და იგი პლასტმასის საფუძველს წარმოადგენს. ბუნებრივი პოლიმერის ნიმუშია მერქნის ცელულოზა ($C_6H_{10}O_5$) ხოლო სინთეზურ (ხელოვნურ) პოლიმერებს, რომლებიც მიიღება პოლიმერიზაციის რეაქციის შედეგად, მიეკუთვნება: პოლივინილაცეტატი, პოლივინილქლორიდი, პოლიმეთილმეტაკრილატი, პოლიპროპილენი, პოლისტიროლი, პოლიეთილენი და სხვ. პოლიკონდენსაციის რეაქციის დახმარებით კი მიიღება ფენოლფორმალდეჰიდური პოლიმერები: რეზორცინულ-ფორმალდეჰიდური, კარბამიდული, პოლიეთერული, პოლიურეტანული, ეპოქსიდური, კაჟბადორგანული და სხვ.

შემავსებელი თავისებურ კარკასს წარმოადგენს და პლასტმასში შეიტანება მასალის ეკონომიისა და სიმტკიცის უზრუნველსაყოფად. ფორმის მიხედვით იგი შეიძლება იყოს მარცვლოვანი, ბოჭკოვანი, ფენოვანი და სხვ. შემავსებლის სახეობია: აზბესტი, მერქნის ბოჭკო, მინის ბოჭკო, ხის ფქვილი, ტალკი, კვარცული

ფქვილი, ბარიტი, ცარცი, ქაღალდი, ბამბულისა და მინის ბოჭკოვანი ქსოვილები, ხის შპონი, მუყაო და სხვ.

პლასტიფიკატორი პლასტმასას ანიჭებს მოქნილობასა და ელასტიურობას. აადვილებს მის გადამუშავებას, ადიდებს სითბო- და ყინვამდეგობას, ამცირებს სიხისტესა და სიფიცხეს. პლასტმასაში პლასტიფიკატორის რაოდენობამ შეიძლება მიაღწიოს პოლიმერის მასის 30-50%, იგი უნდა იყოს ქიმიურად ინერტული, მცირეაქროლადი და უვნებელი ნივთიერება. პლასტიფიკატორებად გამოიყენება გლიცერინი, დიოქტილფთალაგი და სხვა უმაღლესი სპირტების ფტალატები.

მარმირებელი ძირითადად გამოიყენება ფენოვანი პლასტმასებისათვის. მისი სახეობია: ქაღალდი, მინის ბოჭკო, ბოჭკოვანი ქსოვილის ნაირსახეობები, შპონი და სხვ.

გამამაგრებლის დანიშნულებაა დამზადების პროცესში ტექნოლოგიურად დააჩქაროს პლასტმასის გამყარების დრო, თუმცა ზოგიერთი ტიპის პლასტმასების წარმოებაში გამოიყენება ინგიბიტორიც, რომელიც პირიქით, ანელებს პლასტმასის გამყარების პროცესს.

სტაბილიზატორი ხელს უწყობს პლასტმასის თავდაპირველი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შენარჩუნებას ხანგრძლივი ექსპლუატაციის პირობებში, ანუ ამცირებს დესტრუქციის პროცესების სიჩქარეს სხვადასხვა ფაქტორების მოქმედებისას (ტემპერატურა, მზის რადიაცია და სხვ.).

შემაფერადებლის (პიგმენტის) დანიშნულებაა მიცეს პლასტმასას გარკვეული ფერი. იგი მინერალური ან ორგანული სინთეზური ნივთიერებაა, რომელიც კარგად იხსნება შემკვრელ მასალაში და სითბომდეგია პლასტმასის წარმოებისათვის საჭირო ტემპერატურის ზღვრებში.

კატალიზატორი (დამაჩქარებელი) თვითონ არ მონაწილეობს გამყარების პროცესში, მაგრამ მისი არსებობა ხელს უწყობს გამყარებას. მაგალითად ფენოლ-ფორმალდეჰიდური პოლიმერებისათვის კატალიზატორად გამოიყენება კირი და უროტრიპინი.

ფორაწარმოქმნელი დანამატები გამოიყენება ქაფპლასტების წარმოებაში. იგი ხელს უწყობს თერმოპლასტიკური ან თერმორეაქტიული ფისის აქაფებას ცხელ მდგომარეობაში.

ანტისტატიკი ამცირებს პოლიმერული მასალების ელექტრიზაციას მათი გადამუშავების და ექსპლუატაციის დროს. პლასტმასების დიდი ნაწილი (პოლივინილქლორიდი, პოლისტიროლი, პოლიონეფილი და სხვ.) ადვილად აგროვებს ელექტრულ მუხტს, რადგანაც ისინი ბუნებით დიელექტრიკებია, ანუ ელექტრობის ცუდი გამტარებია, ამიტომ ასეთი პლასტმასები ითხოვენ ანტისეპტიკების დამა-

ტებას. ისინი შეიძლება იყოს ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები და ელექტროობის გამტარი შემავსებლები (ჭვარტლი, გრაფიტი, ლითონის ფხვნილი და სხვ.).

სპეციალური ქიმიური დანამატი ფუნგიციდების სახით (ფუნგიციდი – ძლიერი ორგანული წარმოშობის მხამი), რომელიც გამოიყენება პლასტმასის დასაცავად ობისა და მწერებისაგან ტროპიკულ ქვეყნებში.

საპოხი ნივთიერება (სტეარინი, ოლეინმჟავა) გამოიყენება პლასტმასების წარმოების პროცესში, რათა ნაკეთობა არ მიეკრას საწარმოო მოწყობილობას.

პლასტმასების დამუშავება დაიწყო ბუნებრივი პლასტიკური მასალების გამოყენებიდან (საღებო რეზინი, შელაქი) ქიმიურად მოდიფიცირებული ბუნებრივი მასალების (კაუჩუკი, ნიტროცელულოზა, კოლაჰენი, გალალიტი) და სინთეზური ფისების (ბაკელიტი, ეპოქსიდური ფისი, პოლივინილქლორიდი) გამოყენებამდე, და ბოლოს, პირველი პლასტმასები იყო ბიოპროდუქტები, რადგან მის დასამზადებლად გამოიყენებოდა კვერცხსა და სისხლში შემავალი ორგანული პოლიმერები – ცილები. ძვ. წ. 1600 წლიდან ამერიკის კონტინენტზე მცხოვრები ადამიანები ყოფაცხოვრებაში იყენებდნენ კაუჩუკის ბურთებსა და ფიგურებს [14].

სამრეწველო პლასტმასების წარმოება დაიწყო მე-19 საუკუნის პირველ ნახევარში, როდესაც ამერიკელმა ჩარლზ გუდიერმა (1800-1860 წწ.) აღმოაჩინა ბუნებრივი კაუჩუკისგან მიღებული თერმორეაქტიული მასალების ვულკანიზაცია (კაუჩუკისა და მავულკანიზებული აგენტის ურთიერთქმედების პროცესი, როცა ხდება კაუჩუკის მოლეკულების ჩართვა ერთიან სივრცით ბადეში და მიიღება რეზინი), თომას ჰენკოკმა (გუდიერის ნიშნების შესწავლის საფუძველზე) გამოიგონა კაუჩუკის გადამამუშავებელი თანამედროვე მოწყობილობების პროტოტიპები (1820 წ.), გერმანელმა იუსტუს ლიბიხმა (1803-1873 წწ.) და ფრანგმა ანრი რენომ (1810-1878 წწ.) აღმოაჩინეს ვინილქლორიდი (1835 წ.), რუსმა ალექსანდრე ბუტლეროვმა (1828-1886 წწ.) აღწერა ფორმალდეჰიდის პოლიმერები (1859 წ.), ინგლისელმა ალექსანდრე პარკსმა (1813-1890 წწ.) მიიღო პარკსაინი (1862 წ.) და სხვ. აღსანიშნავია, რომ ამ საუკუნეში იქნა მიღებული ისეთი პლასტმასები, როგორიცაა სტირენი, ცელულოიდი, აკრილი, მეტაკრილატი, ვისკოზას აბრეშუმი, პოლიკარბონატი, შარდონის აბრეშუმი (პირველი ხელოვნური აბრეშუმი), ნიტროცელულოზა, გალატიტი და სხვ., ხოლო მე-20 საუკუნეში პლასტმასების წარმოება საოცრად სწრაფად განვითარდა, რამაც გამოიწვია მათი ფართო გამოყენება მშენებლობაში, გემთმშენებლობაში, თვითმფრინავთმშენებლობაში, მანქანათმშენებლობაში, სასპორტო მრეწველობასა და სხვ. ამ საუკუნის პირმშოა ბაკელიტი, ნეოპრენი, ორგანული მინა, პოლიურეთანი, ეპოქსიდი, პოლიეთილენი, პოლიპროპილენი, პოლიკარბონატი, პოლიფორმალდეჰიდი და ასეულობით სხვა დასახელების პლასტმასები (ჩამოთვლილი მასალების დახასიათება იხ. [5]). განსაკუ-

თრებით უნდა აღინიშნოს მაღალი სიმტკიცის თანამედროვე პლასტმასების (კევლარი, არამიდი) მიღება, რომელთა სიმტკიცე აღემატება ფოლადის სიმტკიცეს.

პლასტმასების უმეტესობა შეიცავს ორგანულ პოლიმერებს, რომლებიც მიიღება ნახშირბადის ატომების „სუფთა“ ჯაჭვისაგან ან ჟანგბადის, აზოტის ან გოგირდის დანამატით. ჯაჭვი შეიცავს მონომერების ბევრ განმეორებად რგოლებს. ყოველ პოლიმერულ ჯაჭვს აქვს რამდენიმე ათასი განმეორებადი ერთეული. პლასტმასის თვისება დამოკიდებულია მონომერული ჯაჭვის სტრუქტურაზე.

სამშენებლო საქმეში გამოყენებულ კონსტრუქციულ პლასტმასებს გააჩნიათ როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი თვისებები.

დადებითი თვისებები:

- მაღალი სიმტკიცე: სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე – 120-200 მპა, სიმტკიცის ზღვარი ღუნვაზე – 120-200 მპა (ფხვნილისებრი ან ბოჭკოვანი შემავსებლით), სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე – 150 მპა-მდე (ფურცლოვანი შემავსებლით) და 480-950 მპა (მინაბოჭკოთი დაარმირებული);
- მცირე სიმკვრივე, რომელიც იცვლება 10 კგ/მ³-დან (ქაფპლასტი) 2200 კგ/მ³-მდე (მინაპლასტიკი);
- რადიოგამჭირვალობა;
- ანტიმაგნიტურობა;
- მაღალი ელექტროიზოლაცია;
- ქიმიური და ბიომედეგობა;
- დამუშავების სიმარტივე;
- ელემენტებისათვის სხვადასხვა ფორმის მიცემის შედარებითი სიაღვრე;
- აფსკებისა და ქსოვილების წარმოება;
- წებოვანი და შეღებებით შეერთების განხორციელების საშუალება.

უარყოფითი თვისებები:

- მაღალი დეფორმაცია (დაბალი დრეკადობის მოდული);
- სიმტკიცის შემცირება დატვირთვების ხანგრძლივად მოქმედებისას; პლასტიკური დენადობა;
- დაბალი ზედაპირული სიმაგრე;
- დაძველება, ანუ საექსპლუატაციო თვისებების გაუარესება ატმოსფერული ზემოქმედების შედეგად (ჰაერი, ტემპერატურა, სინათლის სხივები);
- წვადობა ტოქსიკური გაზების გამოყოფის თანხლებით;
- დაბალი თბომედეგობა (70-200°C);
- მაღალი თერმული გაფართოების კოეფიციენტი.

არსებობს პლასტმასების უარყოფითი თვისებების გავლენის შემცირების გზები და საშუალებები. მაგალითად, დეფორმაციის შესამცირებლად მიმართავენ სამფენოვანი და მილოვანი ელემენტებისა და სივრცითი კონსტრუქციების გარსე-

ბის გამოყენებას. დაძველება და ცეცხლსამიშროება შეიძლება შემცირებულ იქნას პლასტმასში სპეციალური დანამატების შეტანით და ზედაპირული დამცველი ფენის გამოყენებით. პრაქტიკულად მიზანშეწონილია პლასტმასის ელემენტები ვამუშაოთ ხისა და ლითონის კონსტრუქციებთან კომბინაციაში.

8.2 კონსტრუქციული პლასტმასები

8.2.1. ზოგადი ცნობები

კონსტრუქციული ეწოდება ისეთ პლასტმასს, რომელიც სამშენებლო კონსტრუქციებისა და დეტალების დასამზადებლად გამოიყენება. მას მოეთხოვება მაღალი სიმტკიცე, სიხისტე და საკმარისი წინაღობა ატმოსფერული ზემოქმედებისა და ცეცხლისადმი. ამ მოთხოვნებს ძირითადად აკმაყოფილებს პლასტმასის შემდეგი ნაირსახეობები: მინატექსტოლიტი, მინაპლასტიკი, ქაფპლასტი, პოლიურეთანი, პოლისტირენი, პოლიკარბონატი, პოლივინილქლორიდი, ორგანული მინა, ფოროპლასტი, ფიჭაპლასტი, მერქანფენოვანი პლასტიკები, მერქანბოჭკოვანი ფილები, მერქანბურბუშელოვანი ფილები, პლასტმასის აფსკები და ჰაერგაუმტარი ქსოვილები, სინთეზური წებოები, მაღალი სიმკვრივის პოლიეთილენი [5] და სხვ.

ქვემოთ წარმოდგენილ 8.1 ცხრილში, საზღვარგარეთულ მონაცემებზე დაყრდნობით, მოყვანილია დღეისათვის არსებული ძირითადი პოლიმერული მასალების დასახელებები, მათი საერთაშორისო ასოითი აღნიშვნები, აგრეთვე მითითებულია თუ რომელ ჯგუფს ეკუთვნის ესა თუ იგი მასალა – თერმოპლასტიკურს თუ თერმორეაქტიულს.

კონსტრუქციული პლასტმასის ზოგიერთი სახეობა (მინატექსტოლიტი, მინაპლასტიკი, ქაფპლასტი, პოლიურეთანი, პოლისტირენი, პოლიკარბონატი და პოლივინილქლორიდი) განხილულია წინამდებარე სახელმძღვანელოს პირველ თავში (§1.3.7 – 1.3.13)

ცხრილი 8.1

ძირითადი პოლიმერული მასალები, მათი საერთაშორისო აღნიშვნა და ჯგუფები (თერმოპლასტიკური თუ თერმორეაქტიული)

დასახელება	შემოკლებული აღნიშვნები	თერმოპლასტიკური	თერმორეაქტიული
1	2	3	4
აკრილნიტრილბუტადიენსტირენული პლასტმასები	ABS	–	
ცელულოზის კარბოქსილმეთილი	CMC	–	

კაზეინი	CS	-	
ცელულოზის აცეტატი	CA	-	
ცელულოზის ბუტირატი აცეტატი	CAB	-	
ცელულოზის პროპიონატი აცეტატი	CAP	-	
ცელულოზის ნიტრატი	CN	-	
ცელულოზის პროპიონატი	CP	-	
კრეზოლ-ფორმალდეჰიდი	CF		-
დიალილის ფთალატი	PDAP		-
ეპოქსიდი	EP		-
ეთილცელულოზა	EC	-	
მელამინფორმალდეჰიდი	MF		-
ეთილენპროპილენი	FEP	-	
ფენოლფორმალდეჰიდი	PF		-
პოლიაკრილის მჟავა	PAA	-	
პოლიაკრილნიტრილი	PAN	-	
ნეილონი (პოლიამიდი)	PA	-	
პოლიბუტადიენაკრილნიტრილი	PBAN	-	
პოლიბუტადიენსტირენი	PBS	-	
პოლიკარბონატი	PS	-	
პოლიდიალილფთალატი	PDAP		-
პოლიეთილენი	PE	-	
ტერეფთალატის პოლიეთილენი	PETP	-	
პოლიმეთილქლორაკრილატი	PMCA	-	
პოლიმეთილმეტაკრილატი (ორგანული მინა)	PMMA	-	
პოლიმონოქლორტრიფთორეთილენი	PCTFE	-	
პოლიაცეტალი (პოლიოქსიმეთილენი)	POM	-	
პოლიპროპილენი	PP	-	
პოლისტირენი	PS	-	
პოლიტეტრაფთორეთილენი	PTFE	-	
პოლივინილაცეტატი	PVAc	-	
პოლივინილის სპირტი	PVAL	-	
პოლივინილბუტირალი	PVB	-	
პოლივინილქლორიდი (პვექ)	PVC	-	
პოლივინილქლორიდაცეტატი	PVCAc	-	
პოლივინილფთორიდი	PVF	-	
პოლივინილფორმალი	PVFM	-	

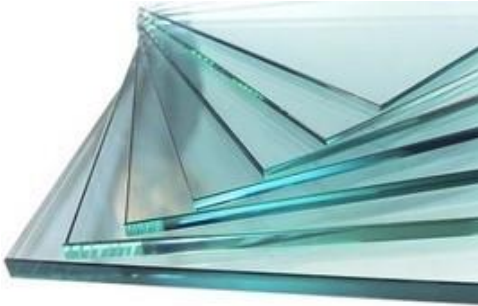
სილიკონური პლასტმასები	SJ		–
სტირენაკრილნიტრატი	SAN	–	
სტირენბუტადიენური პლასტმასები	SBP	–	
სტირენკაუჩუკის პლასტმასები	SRP		–
შარდოვანაფორმალდეჰიდი	UF		–
ურეთანული პლასტმასები	UP		–

8.2.2. ორგანული მინა

ორგანული მინა (პოლიმეთილმეტაკრილატი, პლექსიგლასი, აკრიმა, კარბოგლასი, ნოვატრო, პლექსიმა, ლიმაკრილი, პლაზკრილი, აკრილექსი, აკრილაიტი, აკრილპლასტი, აკრილის მინა, აკრილი, მეთაპლექსი) კონსტრუქციული პლასტმასია, რომელიც მთლიანად შედგება თერმოპლასტიკური ვინილური პოლიმერ პოლიმეთილმეტაკრილატის ფისისაგან დანამატების გარეშე (სურ. 8.3). იგი გამჭვირველ მსუბუქი მასალაა სიმკვრივით 1180-1190 კგ/მ³, სინათლის სხივგამტარობით – 90%, ულტრაიისფერი მზის სხივების გატარებით – 75%. ქიმიური ფორმულა – (C₅O₂H₈)_n; დნობის ტემპერატურა – 160°C; დუდილის ტემპერატურა 200°C; აალების ტემპერატურა – 260°C; დრეკადობის მოდული – 3000 მპა; სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე – 70 მპა; ფარდობითი წაგრძელება – 4-5%; ექსპლუატაციის მაქსიმალური ტემპერატურა – 80°C. ადვილი დასამუშავებელია, წებვადია და კარგად დუღდება. აქვს მაღალი სიმტკიცე ღუნვაზე (10 მპა), სიმაგრის, სიხისტისა და თბომედეგობის დაბალი მაჩვენებლები. თბომედეგობის ასამაღლებლად უმატებენ ფოტო და თერმომასტაბილიზებელ დანამატებს.

ფანჯრის ჩვეულებრივ (სილიკატურ) მინასთან შედარებით ორგანული მინა არ არის მსხვრევადი. მშენებლობაში წარმატებით გამოიყენება გადახურვებში, საკედლე პანელებში, ისეთი სათავსების ასაგებად, სადაც საჭიროა გამაჯანსაღებელი მიკროკლიმატის შექმნა (მზის აბაზანების მისაღები, სათავსები სანატორიუმებში, სასტუმროებსა და დასასვენებელ სახლებში და სხვ.), ხოლო ფორმის მიღების სიმარტივე და ნორმალური თბომედეგობა საშუალებას იძლევა მისგან დავამზადოთ გადახურვის მრუდი მოხაზულობის კონსტრუქციები (თაღები, კამარები, გარსები, შუქფარნები და სხვ.). გამოიყენება, აგრეთვე, საკონტაქტე ლინზების, შუქის ფლუორესცენციური გამბნევეების, სატრანსპორტო საშუალებების უკანა მაშუქების, კალათბურთის ფარების (სურ. 8.4), აკრილური საღებავების დასამზადებლად და სხვ. თუ ორგანული მინისგან დამზადებული კონსტრუქცია განთავსებულია ტენიან ან ცხელ (40-50°C) გარემოში, მაშინ მასალის საანგარიშო მახასიათებლები მცირდება 20-25%-ით. მშენებლობაში გამოყენებული ორგანული მი-

ნის ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები მოცემულია ლიტერატურაში ([2], დანართი, ცხრ. 29).



სურ. 8.3. აკრილური ორგანული მინა



სურ. 8.4. ორგანული მინის კალათბურთის ფარი

ორგანული მინა პირველად მიღებული იქნა გერმანიაში ოტტო რიემის მიერ. მისი წარმოება და მოხმარება დაკავშირებულია 1930-იან წლებში ავიაციის სწრაფ განვითარებასთან (იყენებდნენ პილოტის კაბინის შესამინად). თანამედროვე ავიაციაში (ზებგერთი სიჩქარეები, მაღალი წნევა და ტემპერატურა) მისი გამოყენება დაშვებულია მხოლოდ კომპოზიტების სახით.

ორგანული მინის შემადგენლობა პრაქტიკულად ერთნაირია, თუმცა მასალისათვის სხვადასხვა სპეციფიკური თვისებების მინიჭებისათვის მიმართავენ დანამატების გამოყენებას, რაც საშუალებას იძლევა მივიღოთ დარტყმამდეგი, სხივგამაბნეველი, სხივგამტარი, ბგერადამცავი, ულტრაიისფერი სხივებისაგან დამცავი, თბომდეგი და სხვა თვისებების პროდუქცია.

დადებითი თვისებები:

- მცირე თბოგამტარობა [0,2-0,3 ვტ/(მ·კ)] სილიკატურ მინასთან შედარებით [0,7-13,5 ვტ/(მ·კ)];
- მაღალი სხივგამტარობა (92%);
- მაღალი დარტყმითი წინაღობა (5-ჯერ მეტი ვიდრე სილიკატურ მინას);
- სიმსუბუქე (წონა 2,5-ჯერ ნაკლებია ვიდრე სილიკატური მინის);
- წებვალობა;
- მედეგია ტენის, ბაქტერიებისა და მიკროორგანიზმების მიმართ, ამიტომ მიზანშეწონილია მისი გამოყენება აკვარიუმებში, აგრეთვე იახტის კაბინის მოსაწყობად;
- ეკოლოგიურად სუფთა ნივთიერებაა, წვისას არ გამოყოფს მომწამლავ აირებს;
- კარგად ემორჩილება თერმოფორმირებას ოპტიკური თვისებების შეუცვლელად;
- მექანიკურად ადვილი დასამუშავებელია;

- ახასიათებს ქიმიური და ყინვამედევობა, გარემოსადმი მდგრადობა;
- ატარებს ულტრაიისფერი სხივების 73%-ს;
- გამოირჩევა კარგი ელექტროსაიზოლაციო თვისებებით;
- ექვემდებარება უტილიზაციას.

უარყოფითი თვისებები:

- პიროლიზის დროს გამოყოფს მავნე ნივთიერება – მეთილმეტაკრილატს;
- ზედაპირი ადვილად იხაზება და იფხაჭნება;
- ნაკეთობის თერმო და ვაკუუმფორმირების დროს ადგილი აქვს ტექნოლოგიურ სირთულეებს – შიგა ძაბვების კონცენტრაციას გადაღუნვის წერტილებში, რასაც თან ახლავს არასასურველი ბზარების გაჩენა;
- ადვილად აალებადობა.

თანამედროვე პირობებში ორგანული მინის დამუშავება (ჭრა) ძირითადად წარმოებს ლაზერის სხივების გამოყენებით. რადგან ლაზერის სხივის ტალღის სიგრძე (9,4-10,6 მკმ) ემთხვევა ორგანული მინის მიერ ამ სხივების შთანთქმის პიკს, ამიტომ გაჭრილი ზედაპირი იდეალურად სუფთაა (წვის პროდუქტების კვალის გარეშე).

მშენებლობაში გამოყენებული ორგანული მინის სახეებია: გამჭვირვალე, გამჭვირვალე ფერადი, გამჭვირვალე დაღარული, მქრქალი თეთრი, ფერადი მქრქალი, დაღარული მქრქალი თეთრი და დაღარული მქრქალი ფერადი.

8.2.3. ვინიპლასტი

ვინიპლასტი (არაპლასტიფიცირებული პოლივინილქლორიდი) სინთეზური გაუმჭვირი ხისტი თერმოპლასტიკური მასაა, მიღებული პოლივინილქლორიდისა და პერქლორვინილის საფუძველზე (სურ. 8.5). მასში შედის აგრეთვე თერმო- და შუქსტაბილიზატორი, ანტიოქსიდანტები (ნივთიერებები, რომლებიც ხელს უშლიან მასალის რღვევას ექსპლუატაციისა და გადამუშავების დროს), საპოხი მასალები (ამსუბუქებენ დამუშავებისა და გადამუშავების პროცესს), პიგმენტები (ფერადი ნაკეთობების მისაღებად). არ შედის პლასტიფიკატორი. ვინიპლასტი უწყვეტი მასალაა, არ აქვს სუნი, კარგად ექვემდებარება მექანიკურ დამუშავებას, შედუღებას, შეწებებას, მედეგია მჟავებისა და ტუტეების მიმართ, მაგრამ არამედგია არომატული და დაქლორილი ნახშირწყალბადებისადმი. შესანიშნავად ეკვრის ხის, ლითონისა და ბეტონის ზედაპირებს (სიმკვრივე – 1380-1400 კგ/მ³; დრეკადობის მოდული – 3000-4000 მპა; სიმაგრე ბრინელის მიხედვით – 13-16 მპა; ყინვამედევობა – -15°C; ფარდობითი წაგრძელება გაგლეჯაზე – 17%; დენადობის ზღვარი გაჭიმვაზე 59,0 – მპა; დარბილების ტემპერატურა – 86°C).

ვინიპლასტი შეიძლება იყოს გამჭვირვალეც და გაუმჭვირი, რეზინივით მოქნილი და ამავე დროს მყარიც. მისი სიმაგრე დამოკიდებულია პლასტიფიკატორის

დანამატის რაოდენობაზე. იგი მცირე სიმკვრივით, კარგი ელასტიკურობით, მაღალი სიმტკიცითა და ქიმიურად აგრესიული გარემოს მიმართ მედეგობით ხასიათდება. გამოშვებული ფურცლოვანი ვინიპლასტის გეომეტრიული ზომები – სიგრძე 1300 მმ, სიგანე 500 მმ, სისქე 1,0 მმ-დან 20 მმ-მდე (0,5 მმ-ის გრადაციით).

ხისტი ვინიპლასტი (სურ. 8.6) ყველაზე გავრცელებული და იაფი საშენი მასალაა. მიიღება თერმოპლასტიკური პოლივინილქლორიდის ფისის საფუძველზე, წინასწარ დამზადებულ ფირთა ფენების შეწებებისა და დაწნეხის შედეგად.



სურ. 8.5. ფურცლოვანი ვინიპლასტი



სურ. 8.6. ხისტი ვინიპლასტი

ვინიპლასტი ცუდად იწვის, მაგრამ 75°C ტემპერატურაზე იწყებს დარბილებას, გახურებისას კი იშლება. მისი გადამუშავებისათვის იყენებენ ექსტრუზიის (პოლიმერული მასალების ექსტრუდერში გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესი), პნევმოფორმირების (ბოთლების დასამზადებლად), ვაკუუმ-ფორმირების, წნევის ჩამოსხმის, კალანდრის, ქსოვილზე ზედაპირული დატანის (გამოიყენება პნევმატიკურ და ტენტოვან კონსტრუქციებში) და ცენტრიდანული ჩამოსხმის მეთოდებს. იგი გამოყენებას პოულობს აფუებულ მდგომარეობაშიც (ქაფპლასტი). ვინიპლასტი შემდგომი ქლორირებით იძენს ამალელებული თბომედეგობის თვისებას და ამიტომ შესაძლებელია მისგან ცხელი წყლის მილების დამზადებაც.

ვინიპლასტის ტექნიკური მახასიათებლები მოცემულია ლიტერატურაში ([2], დანართი, ცხრ. 30).

ვინიპლასტი გამოიყენება მილგაყვანილობის (სურ. 8.7) ჭურჭლის, ფურცლების, პროფილების, იატაკისა და კედლების მოსაპირკეთებელი ფილების დასამზადებლად. მშენებლობისათვის განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს ფურცლოვანი ვინიპლასტი, რომელიც ქიმიურად მდგრადი პოლიმერული მასალაა. გამოყენების ფართო არე აქვს ხისტ ვინიპლასტსაც –



სურ. 8.7. ვინიპლასტის საკანალიზაციო მილები

თვითმზიდი პანელები, წყალშემკრები მილები და ღარები, სანტექნიკური მოწყობილობები, იატაკის საფარი, კედლების მოპირკეთება და სხვ. მისგან ამზადებენ შველერებს, კუთხედებს, კიბის საფეხურების ზედაფენებს, კიბის მოაჯირისა და ელექტროკაბელების გარსაცმებს. ხშირად იყენებენ როგორც ანტიკოროზიულ მასალასაც, რადგანაც კარგად ეწინააღმდეგება სხვადასხვა მჟავების, ტუტეების, მარილების ხსნარების ზემოქმედებას. დასავლეთის ბევრ ქვეყანაში (აშშ, კანადა, ინგლისი, საფრანგეთი, გერმანია, უნგრეთი, შვედეთი) ხისტი ვინიპლასტისგან დაწნებით ამზადებენ საფანჯრე ბლოკებს მოქნილი შემამჭიდროებელი თამასებითურთ.

განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს ვინიპლასტის გამოყენება თანამედროვე მეტალოპლასტმასის კარ-ფანჯრების პროფილების დამზადებისას. დიდი პერსპექტივები აქვს, აგრეთვე, ლითონის ბადეებით დაარმირებული ვინიპლასტის სამშენებლო კონსტრუქციების დანერგვას თანამედროვე მშენებლობაში.

8.2.4. ფოროპლასტი

ფოროპლასტი ღრუბლისებრი სტრუქტურის მსუბუქი თბოსაიზოლაციო მასალაა, რომელიც ძალიან ჩამოჰგავს ქაფპლასტს, მაგრამ განსხვავდება მისგან უფრო მაღალი ტენ- და წყალშთანთქმის უნარით, ამდლებული თბოგამტარობითა და დაბალი ელექტროსაიზოლაციო თვისებებით (სურ. 8.8) (სიმკვრივე – 3-50 კგ/მ³; ფორიანობა – 95%-მდე; თბოგამტარობა – 0,025-0,05 კკალ/მ·სთ·გრად). ფოროპლასტის მისაღებად გამოიყენება სხვადასხვა სინთეზური ფისები, როგორცაა:

- შარდოვანაფორმალდეჰიდი;
- ფენოლფორმალდეჰიდი;
- პოლივინილქლორიდი;
- პოლიურეთანი;
- პოლისტირენი.

ფორების წარმოსაქმნელად კი ძირითადად გამოიყენება ასაფუებელი ნივთიერებები ამონიუმის კარბონატის ან ნატრიუმის ბიკარბონატის სახით.

ფოროპლასტის ნაკეთობები მზადდება დაწნების მეთოდით: თავდაპირველად საწყისი ნივთიერება დაიწნება წნეხფორმაში და გაცხელდება ფორმაწარმომქმნელის დაშლის ტემპერატურამდე. შემდეგ წნეხფორმის პუანსონი აიწევა ზევით, პლასტმასი აფუვდება, შეავსებს ფორმას და გაცივების შემდეგ ამოიღება ფორმიდან.

ქაფპლასტისაგან განსხვავებით ფოროპლასტს ახასიათებს მაღალი აირგამტარობა და წყალშთანთქმა. ხისტი ფოროპლასტი ქაფპოლივინილქლორიდის, ქაფპოლიურეთანის ან ქაფპოლისტირენის საფუძველზე მშენებლობაში გამოიყენება,

როგორც ბგერამმთანთქავი და თბოსაიზოლაციო მასალა. ელასტიკური ფოროპლასტიკისგან ამზადებენ რბილ ავეჯს. დიდი გამოყენება აქვს ყოფაცხოვრებაშიც სხვადასხვა წვრილმანი ნივთების დასამზადებლად.



ადაპტური
ფოროლასტი

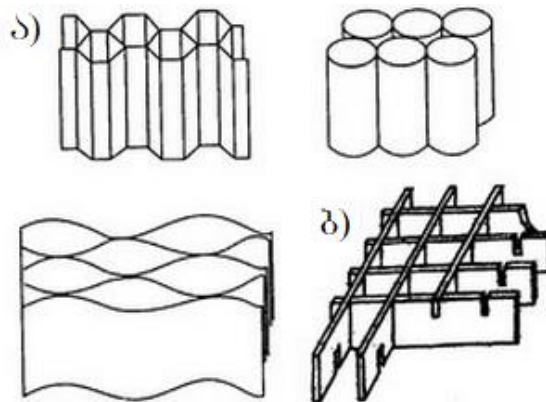


დრუბლისებრი
ფოროლასტი

სურ. 8.8. ფოროლასტი

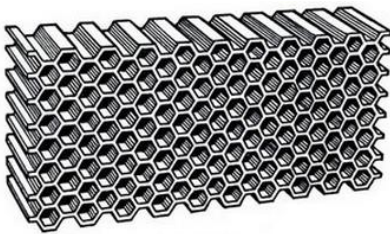
8.2.5. ფიჭაპლასტი

ფიჭაპლასტი მსუბუქი ტიპის პლასტმასაა შედგენილი რეგულარულად განმეორებადი გამჭოლი უჯრედებისგან, რომლებიც მიმართული არიან პანელის ან ფილის ზედაპირის მართობულად (სურ.8.9; სურ. 8.10).



სურ. 8.9. ფიჭაპლასტები: ა - ექვსკუთხა, ტალღოვანი და წრიული ფორმის გაპოხილი ქადალდის ან ქსოვილის ფიჭებით; ბ - ხისტი ფურცლოვანი მასალის ფიჭებით

უჯრედების კედლები მზადდება თერმორეაქტიულ პოლიმერებში გაყდენითი მოქნილი ან ხისტი ფურცლოვანი მასალის (ქაღალდი, კრაფტ-ქაღალდი, ბამბის ქსოვილი, მინაქსოვილი, ფანერის შპონი, ალუმინის ფოლგა, მერქანბოჭკოვანი ფილა და სხვ.) ცხელი დაწნებით. უპირატესობა ეძლევა არაწვად მასალებს. უჯრედების აგებულება ძალიან ჩამოჰგავს ფუტკრის ფიჭების აგებულებას სურ. 8.11), საიდანაცაა წარმოშობილი ამ პლასტმასების დასახელებაც. ფიჭაპლასტმასებისათვის მაღალი თბო- და ბგერასაიზოლაციო თვისებების მისაცემად უჯრედებს ავსებენ ფხვნილისებრი ქაფპლასტიტით და კონსტრუქციის წახნაგებს შემოაწებებენ სხვადასხვა ტიპის ფურცლოვან უწვად მასალებს, რათა კონსტრუქციას მიეცეს დამთავრებული სახე.



სურ. 8.10. ფიჭაპლასტის აგებულების სქემა



სურ. 8.11. ფუტკრის ფიჭის აგებულება

სინთეზური ფოროვანი მასალების დასამზადებლად ძირითადად გამოიყენება მარდოვანაფორმალდეჰიდის, ფენოლფორმალდეჰიდის, პოლისტირენის, პოლიქლოროვინილის, პოლიურეთანისა და სხვ. ფისები. ფიჭაპლასტის მისაღებად წარმოებს ნარევის აქაფება სპეციალურ აპარატში, რომელსაც აქვს ძალიან მაღალი ბრუნვათა რიცხვი. ასაქაფებელი ნარევის შემადგენლობაა: ფისი, ფოსფორმჟავა, რეზორცინი (უფერული მოტკბო კრისტალები, რომელიც ადვილად იხსნება ეთანოლში, დიეთილურ ეთერში, აცეტონში, წყალში; გამოიყენება ფეთქებად ნივთიერებათა დასამზადებლად, სინთეზური საღებავებისა და პლასტიფიკატორების წარმოებაში, ზოგიერთი პოლიმერის მისაღებად და სხვ.), ემულგატორი (ქიმიური ნივთიერება, რომელიც ემატება ემულსიას, რათა შეაფერხოს წყალში კუპრის, ბიტუმისა და სხვ. შეერთება) და წყალი. ფორმებში ჩასხულ თხევად ქაფს აჩერებენ 2 საათს და შემდეგ აშრობენ 40-60°C ტემპერატურაზე 6 დღის განმავლობაში.

ფიჭაპლასტების, როგორც კონსტრუქციული მასალების ღირსება იგი არის, რომ მცირე სიმკვრივის (10-60კგ/მ³) პირობებში შეუძლიათ აიტანონ საკმაოდ დიდი დატვირთვები.

ფიჭაპლასტი შეიძლება შეგვხვდეს სხვა დასახელებითაც, როგორიცაა: იზოშაუმი, პიათერმი, სტიროფორი და სხვ.

ფიჭაპლასტს ქაფ და ფოროპლასტთან შედარებით აქვს უჯრედების წესიერი გეომეტრიული განლაგება, რომლებსაც შეიძლება ჰქონდეთ კვადრატის, ექვსკუთხედის, რომბის, სინუსოიდის ფორმა და სხვ.

მშენებლობაში ძირითადად გამოიყენება ფიჭაპლასტები ქაღალდისა და ბამბის ქსოვილების საფუძველზე. მისგან ამზადებენ ყრუ და გამჭირვალე საკედლე პანელებს, გადახურვის ფილებს, კარებს და ა. შ.

8.2.6. მერქანფენოვანი პლასტიკი

მერქანფენოვანი პლასტიკი (რუსულად ДСП – Древесно-слийстый пластик) საკმაოდ გავრცელებული საშენი მასალაა, რომელიც წარმოადგენს ანათალი შპონის ფურცლებისგან (სურ. 8.12) დამზადებულ მერქან-პოლიმერულ კომპოზიტს. ეს ფურცლები მაღალი წნევისა (20 მპა-მდე) და ტემპერატურის (150°C) პირობებში ერთმანეთთანაა შეწებებული რეზოლური ტიპის სინთეზური წებოებით ან ფენო-ლფორმალდეჰიდური ფისით. წარმოებაში საუკეთესოა არყის ხის შპონი სისქით 0,35-0,65 მმ, ტენიანობით – 6-10%. მექანიკური თვისებები: სიმკვრივე – 1300 კგ/მ³; სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე – 140-280 მპა, კუმშვაზე – 100-180 მპა, ღუნვაზე – 150-280 მპა; სიმტკიცე ახლეჩაზე ნაკერის მიმართულებით – 11-15 მპა; სიმაგრე ბრინჯლის

მიხედვით – 250 მპა; წყლის შთანთქმა 24 სთ-ის განმავლობაში – 5-15%. მშენებლობაში გამოიყენება ფურცლების (სურ. 8.13) (სისქე 15 მმ-მდე) ან ფილების (სურ. 8.14) (სისქე 15-60 მმ) სახით. ნამზადის სიგრძეა 700-5600 მმ, სიგანე – 950-1500 მმ. ახასიათებთ მაღალი ტენ და ბიომედეგობა, სტაბილურობა ზედაბალ (-270°C) ტემპერატურაზე, მაღალი მექანიკური სიმტკიცე, დიელექტრიკული თვისებები, მედეგობა აგრესიული გარემოს მიმართ და სხვ.



სურ. 8.12. ანათალი შპონი



სურ. 8.13. ფურცლოვანი მერქანფენოვანი პლასტიკები



სურ. 8.14. მერქანფენოვანი პლასტიკის ფილები

ფენებში შპონის ბოჭკოების მიმართულებების მიხედვით მერქანფენოვანი პლასტიკი მზადდება ოთხი სახის (რუსული წყაროების მიხედვით): A) ფენებში მერქნის ბოჭკოების მიმართულება ერთნაირია ან ყოველი მე-4 ფენა მობრუნებულია 20-25° კუთხით. მარკა ДСП-А; Б) ყოველ 8-12 ფენას პარალელური მიმართულების ბოჭკოებით ენაცვლება ერთი ფენა მართობი მიმართულებით. მარკა ДСП-Б, ДСП-Б-а, ДСП-Б-м, ДСП-Б-т, ДСП-Б-о; В) ყოველ მოსაზღვრე ფენაში ბოჭკოების მიმართულება ურთიერთმართობულია. მარკა ДСП-В, ДСП-В-а, ДСП-В-м; Г) ყოველ შემდეგ ფენაში ბოჭკოების მიმართულება მობრუნებულია წინას მიმართ 45°-იანი კუთხით. მარკა ДСП-Г, ДСП-Г-м. (A, Б, В, Г ასოები უჩვენებს პლასტიკში შპონების განლაგების მიმართულებას, ხოლო а, м, т და о – მასალის დანიშნულებას).

მერქანფენოვანი პლასტიკების გამოყენების სფეროებია: მშენებლობა, ჰიდროტექნიკური მშენებლობა, ელექტროტექნიკური მრეწველობა, ტყვიაგამტარი კონსტრუქციები, ფრიქციული დეტალები, კრიოგენული (დაბალ ტემპერატურასთან, ვაკუუმთან, გაყინვასთან დაკავშირებული) და კოსმოსური ტექნიკა, მეტალურგიული და სამთომომპოვებელი წარმოების მოწყობილობები, სატრანსპორტო მანქანათმშენებლობა, ხის კონსტრუქციების შეერთებები და სხვ.

მერქანფენოვანი პლასტიკი შეიძლება შეგვხვდეს სხვა დასახელებითაც, როგორცაა დელტა-მერქანი ან დაბაკელიტებული ფანერა).

8.2.7. მერქანბოჭკოვანი ფილა

მერქანბოჭკოვანი ფილა [რუსულად – *Древесноволокнистая плита (ДВП)*] ფურცლოვანი მასალაა და მიიღება დაქუცმაცებული მერქნის ნარჩენების, სინთეზური პოლიმერის (ან კანიფოლის ემულსიის) და ტექნოლოგიური დანამატის ცხელი დაწნეხით. დამზადების ტექნოლოგია შეიძლება იყოს მშრალი ან სველი.



სურ. 8.15. საერთო დანიშნულების მერქანბოჭკოვანი ფილა

სიმკვრივის მიხედვით შეიძლება იყოს ზემაგარი (950კგ/მ³), მაგარი (800-950კგ/მ³), დაბალი სიმტკიცის ანუ ნახევრადმაგარი (400-800კგ/მ³) და რბილი (400კგ/მ³). მზადდება სტანდარტული ზომების – სისქით 3-6 მმ, სიგანით 1200-1800 მმ, სიგრძით 1200-3600 მმ. სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოიყენება მხოლოდ მაგარი და ზემაგარი ფილები აუცილებელი ანტიესპიტირებით, რადგანაც ჩვეულებრივ მდგომარეობაში ისინი წყალსაშიშია.

მერქანბოჭკოვანი ფილები არსებობს საერთო (სურ. 8.15) და სპეციალური დანიშნულების. სპეციალური თავის მხრივ შეიძლება იყოს ბიტუმში გაჟღენთილი,

ბიომდგრადი, ძნელად წვადი და პირნაკეთი. დანიშნულების მიხედვით – რბილი და მაგარი. გამოიყენება მშენებლობაში, ვაგონმშენებლობაში, ავეჯის წარმოებაში და სხვ.



სურ. 8.16. HDF – გაუმჯობესებული თვისებების მერქანბოჭკოვანი ფილა



სურ. 8.17. ლამინირებული MDF – საშუალო სიმკვრივის ფილა

ინგლისურენოვან ქვეყნებში გავრცელებულია მერქანბოჭკოვანი ფილების შემდეგი დასახელებები: HDF (სურ. 8.16), MDF (სურ. 8.17), **მაზონიტი** (სურ. 8.18), LDF (Low density fiberboard) (სურ. 8.19), **ორგალიტი** (სურ.8.20) და **ფიბროლიტი** (სურ. 8.21).



სურ. 8.18. მაზონიტი – ბადისებრი ფაქტურის საშუალო სიმკვრივის ფილა



სურ. 8.19. LDF – დაბალი სიმკვრივის ფილა



სურ. 8.20. ორგალიტი – ფილა დეკორატიული ზედაპირით



სურ. 8.21. ფიბროლიტი – დაბალი სიმკვრივის ფილა მერქნის ნარჩენებისგან

8.2.8. მერქანბურბუშელოვანი ფილა

მერქანბურბუშელოვანი ფილა (რუსულად ДСП – Древесно-стружечная плита) ფურცლოვანი კომპოზიტური მასალაა, რომელიც მზადდება თერმორეაქტიული სინთეზურ ფისში გაქენთილი მერქნის ბურბუშელისგან. გამოყენებულია ცხელი დაწნენის მეთოდი (ტემპერატურა 120-190°C, წნევა – 0,2-5 მპა). ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები შემდეგია: სიმკვრივე – 500-1000 კგ/მ³; ტენიანობა – 5-12%; გაჯირჯვება წყალში – 5-30%; სიმტკიცის ზღვარი: გაჭიმვაზე – 0,2-0,5 მპა, ღუნვაზე – 10-25 მპა. ფილა XX საუკუნის 30-იან წლებში გამოიგონა გერმანელმა მეცნიერმა მაქს ჰიმელჰებერმა. ასეთი ფილები ნებისმიერი მიმართულებით მაღალი სიმტკიცით ხასიათდება, კარგი კონსტრუქციული მასალაა (სურ. 8.22) და ამავე დროს კარგ თბოტექნიკურ და აკუსტიკურ თვისებებს ამჟღავნებს. თუ შემკვრელად გამოიყენებენ ფენოლფორმალდეჰიდურ ფისს, მაშინ მიიღება წყალმდეგი ფილები, ხოლო კარბამიდული ფისის გამოყენების შემთხვევაში – დაბალი წყალმდეგობის. სტრუქტურის მიხედვით ეს ფილები შეიძლება იყოს ერთფენიანი, როდესაც სისქეში ერთგვაროვანი აგებულება აქვს, და 3, 5 და მრავალფენიანი, როდესაც სისქეში მერქნის ნაწილაკები და შემკვრელი განთავსებულია ფენებად.

მერქანბურბუშელოვანი ფილის სამუშაო ზედაპირი უმეტეს შემთხვევაში სუფთაა, ზოგჯერ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ფანერის შპონი, ქალაღის ფენოვანი პლასტიკი, აფსკი და სხვ. ფილის სისქეა 10-26 მმ, სიგანე – 1200-2440 მმ, სიგრძე – 2400-5500 მმ.

გამოიყენება მშენებლობაში შიდა კედლების მოსაპირკეთებლად, სახურავის ბურულისქვეშა ფენილის მოსაწყობად, პარკეტისქვეშა იატაკისთვის, აგრეთვე ავეჯის წარმოებაში, ტარის დასამზადებლად და სხვ.



სურ. 8.22. მერქანბურბუშელოვანი ფილები



სურ. 8.23. მერქანბურბუშელოვანი ფილების სამაგრი კონფორმატები

მერქანბურბუშელოვანი ფილები არ მიეკუთვნება ეკოლოგიურად სუფთა სამენ მასალას, რადგან ექსპლუატაციაში გამოყოფს ადამიანებისათვის საშიშ ფორმალდეჰიდს; ტენის მიმართ არ ახასიათებს მედეგობა; ცუდად იჭერს ლურსმნებსა

და ხრახნებს, რის გამოც მონტაჟის პირობებში სამაგრებად გამოიყენება შედარებით მაღალფასიანი კონფირმატები (კონფირმატი – სპეციალური ევროხრახნი და-მაღული თავითა და გლუვი ბოლოთი) (სურ. 8.23).

8.2.9. ცემენტბურბუშელოვანი ფილა

ცემენტბურბუშელოვანი ფილა (რუსულად ЦСП – Цементно-стружечная плита) კომპოზიტური ფურცლოვანი საშენი მასალაა (სურ. 18.24), რომელიც მზადდება ჩვეულებრივ პირობებში მერქნის ბურბუშელის, პორტლანდცემენტისა და ქიმიური დანამატებისგან, რომლებიც ამცირებენ მერქნის ექსტრატების მავნე ზემოქმედებას ცემენტზე. სიმკვრივე – 1100-1400კგ/მ³; გეომეტრიული ზომები: სისქე 8-40 მმ, სიგანე 1200-1250 მმ, სიგრძე 3200-3600 მმ. გამოიჩევა კარგი ტენ-, ბგერა- და თბოიზოლაციით, ცეცხლმდებლობით (50 წთ), ნულოვანი ალის გავრცელების ინდექსით, ექსპლუატაციის ხანგრძლივი ვადით (50 წელი).

მშენებლობაში გამოიყენება შიდა არამზიდი შემომზღუდავი კონსტრუქციებისთვის, ვენტილირებად ფასადებში, სენდვიჩ-პანელების, ყალიბების, თაბამირ-მუყაოს, თაბამირბოჭკოვანი ფილების დასამზადებლად და სხვ.



სურ. 8.24. ცემენტბურბუშელოვანი ფილა

8.3. პლასტმასის კონსტრუქციების ელემენტების გაანგარიშების საფუძვლები

პოლიმერული კომპოზიტური სამშენებლო კონსტრუქციების ელემენტების გაანგარიშება, ტრადიციულ სამშენებლო კონსტრუქციების ანალოგიურად, I და II ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით ხორციელდება. პლასტმასები გამოირჩევა მაღალი კუთრი სიმტკიცით (მასალის სიმტკიცის მახასიათებლის ფარდობა ამ მასალის სიმკვრივესთან) და შედარებით მცირე დრეკადობის მოდულით [ფიზიკური სიდიდე, რომელიც ახასიათებს მყარი სხეულის (მასალა, ნივთიერება) უნარს, ძალის მოდებისას განიცადოს დრეკადი დეფორმაცია], ამიტომ პლასტმასის კონსტრუქციებისათვის გადამწყვეტია მეორე ზღვრული მდგომარეობა, ანუ გაანგარიშება დეფორმაციებზე. ყურადსაღებია ისიც, რომ გაანგარიშების ნებისმიერ შემთხვევაში, უნდა გავითვალისწინოთ პლასტმასის ცოცვადობა (მყარი სხეულის ნელი, უწყვეტი პლასტიკური დეფორმაცია, გამოწვეული მუდმივი დატვირთვით ან მექანიკური დაზიანებით) და დაძველება (ფიზიკურ-მექანიკური, ესთეტიკური, გარეგნული თვისებებისა და სხვა მაჩვენებლების ცვლის პროცესი დროის გარკ-

ვეულ მონაკვეთში), რის გამოც კონსტრუქციაზე მოქმედი დატვირთვები იყოფა მუდმივ, დროებით ხანგრძლივ და დროებით ხანმოკლე სახეებად.

დროებით ხანგრძლივს მიეკუთვნება დატვირთვა, რომელშიც მოიაზრება: სტაციონარული დანადგარების წონა, ხანგრძლივი ტემპერატურული ზემოქმედება, წიგნების წონა ბიბლიოთეკაში, სამკითხველოებსა და არქივებში, საწყობებისა და მაცივრების იატაკზე მოსული პროდუქციის წონა, სითხეების, აირების, ფხვიერი მასალების დაწოლა და ა. შ. დატვირთვის ეს სახე კონსტრუქციაზე მოქმედებს რამდენიმე დღიდან რამდენიმე თვემდე პერიოდში.

დროებით ხანმოკლეს მიეკუთვნება დატვირთვა, რომელიც მოქმედებს ერთი დღელამის ფარგლებში (ქარი, თოვლი, ჰაერის ტემპერატურის ცვალებადობა, მზის რადიაციის სითბური ზემოქმედება, ადამიანების, ინსტრუმენტების და მასალების წონა სამონტაჟო და სარემონტო სამუშაოებისას, ავეჯის წონა, დატვირთვები ამწე-სატრანსპორტო მოწყობილობებისაგან და სხვ.).

პლასტმასის კონსტრუქციების გაანგარიშება რეკომენდებულია ჩატარდეს ხანგრძლივი R საანგარიშო წინაღობის, ხანგრძლივი E დრეკადობის და G ძვრის მოდულების მიხედვით, მაგრამ თუ ხანმოკლე დატვირთვებისგან გამოწვეული ძაღვები შეადგენს მთლიანი ჯამური დატვირთვის ზემოქმედებით გამოწვეული ძაღვების 50%-ზე მეტს, მაშინ მასალის საანგარიშო მახასიათებლები უნდა გამრავლდეს 1,3 კოეფიციენტზე, ე.ი. $R' = 1,3R$, $E' = 1,3E$, $G' = 1,3G$.

პლასტმასის კონსტრუქციული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება (გაჭიმვა, კუმშვა, განივი ღუნვა) ხორციელდება ხის კონსტრუქციების ელემენტების გაანგარიშების ანალოგიურად ([1], თავი 3), ხოლო ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება მდგრადობაზე, ღუნვადი ელემენტებისა დეფორმაციებზე (სიხიტეზე) და შეკუმშულ-მოდუნული ელემენტებისა სიმტკიცესა და დეფორმაციებზე ხორციელდება პლასტმასის თვისებების თავისებურებათა გათვალისწინებით, რაც ქვემოთ არის მოცემული.

8.3.1. პლასტმასების ხანგრძლივი წინაღობა

პლასტმასის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დატვირთვების ხანგრძლივი ზემოქმედება. პლასტმასის ხანგრძლივი წინაღობის ხასიათი ისეთივეა, როგორც მერქნის. თუ ელემენტში დაბვა არ აღემატება გარკვეულ ზღვარს, მაშინ დეფორმაციებს აქვს მიღვევადი ხასიათი, ხოლო თუ დაბვა აჭარბებს ამ ზღვარს, მაშინ დეფორმაციები დროში იზრდება და პლასტმასის ელემენტი ირღვევა.

მუდმივი დატვირთვის ზემოქმედებისას დაბვის მაქსიმალურ მნიშვნელობას $\sigma_{\text{ბ}}$, რომლის ატანაც განუსაზღვრელი დროით შეუძლია პლასტმასის ელემენტს, ეწოდება ხანგრძლივი წინაღობის ზღვარი. იგი განისაზღვრება პლასტმასის თითოეული სახეობისთვის და თითოეული დაბაბული მდგომარეობისთვის

ხანგრძლივი წინაღობის დიაგრამის (მრუდის) დახმარებით, რომელიც აიგება სტანდარტული ნიმუშების გამოცდით ხანმოკლე და ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვების ზემოქმედებისას. ხანგრძლივი წინაღობის ფარდობას სიმტკიცის ზღვართან ეწოდება პლასტმასის ხანგრძლივი წინაღობის კოეფიციენტი და განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_{b\sigma} = \frac{\sigma_{b\sigma}}{\sigma_{s,\text{ზღ.}}}, \quad (8.1)$$

სადაც $\sigma_{b\sigma}$ არის პლასტმასის ხანგრძლივი წინაღობა; $\sigma_{s,\text{ზღ.}}$ – პლასტმასის სიმტკიცის ზღვარი (დროებითი წინაღობა).

პლასტმასის ელემენტების გაანგარიშებაში დატვირთვების ხანგრძლივი ზემოქმედება გაითვალისწინება ხანგრძლივი წინაღობის $k_{b\sigma}$ კოეფიციენტის დახმარებით. ამ კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობები ზოგიერთი სახეობის პლასტმასისათვის შემდეგია: პოლიესტერული მინაპლასტიკი – 0,2-0,4; მინაპლასტიკი მარკით CBAM – 0,6-0,7; მინაპლასტიკი მარკით AF-4C – 0,75; კონსტრუქციული პლასტმასები – 0,3; ჰაერგაუმტარი კაპრონის ქსოვილები – 0,5 და სხვ.

8.3.2. ტენიანობის, ტემპერატურისა და ატმოსფერული ზემოქმედების გავლენა პლასტმასის სიმტკიცესა და დეფორმაციულობაზე

სუფთა პოლიმერი წყალში ხანგრძლივად მოთავსების შემდეგ, როგორც წესი, არ იცვლის თავის სიმტკიცესა და დრეკადობის მახასიათებლებს, გამონაკლისს შეადგენს შარდოვანაფორმალდეჰიდური პოლიმერები. კონსტრუქციული პლასტმასები კი, რომელთა შემადგენლობაში აუცილებლად შედის შემავსებელი, წყალში მოთავსების შემდეგ იცვლის თავის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს. მაგალითად, მინის ბოჭკოს შემავსებელზე დამზადებული მინაპლასტიკის თვისებების ცვალებადობა ტენის გავლენით განპირობებულია იმით, რომ ტენის გავლენით ხდება მინის ბოჭკოს მექანიკური რღვევა, აგრეთვე მინის ქიმიური დესტრუქცია (რისამე ნორმალური სტრუქტურის დაშლა, დარღვევა). წყალი აგრეთვე ამცირებს ადჰეზიას (მასალის თვისება, მიეწებოს მეორეს) მინის ბოჭკოსა და შემკვრელს შორის. ტენიანობის ამადლება ყველაზე მეტად გავლენას ახდენს პოლიეთერული მინაპლასტიკის სიმტკიცეზე და დეფორმადობაზე, ხოლო ყველაზე ნაკლებად – ფენოლფორმალდეჰიდური ფისის შემკვრელზე დამზადებულ მინაპლასტიკზე. მინაპლასტიკების მიერ წყლის შთანთქმის შემცირება შეიძლება მიღწეულ იქნას მინის ბოჭკოს დამუშავებით ჰიდროფობურ (ჰიდროფობურობა – ნივთიერების თვისება არ დასველდეს წყალში) ნარევებში.

ტემპერატურის ამადლება ერთმნიშვნელოდ ამცირებს პლასტმასების სიმტკიცესა და დრეკად თვისებებს. საერთოდ პლასტმასების გამოყენება რეკომენდებულია გარემოში, სადაც ტემპერატურა იცვლება დიაპაზონში 0-60°C. უარყოფით ტემპერატურაზე პლასტმასი ხდება მყიფე.

ატმოსფერული გარემოს, ამალღებული ტემპერატურისა და ტენიანობის ზემოქმედებით მომუშავე პლასტმასების საანგარიშო წინაღობები განისაზღვრება ნორმალურ პირობებში მომუშავე მასალების საანგარიშო წინაღობების გადამრავლებით მუშაობის პირობების კოეფიციენტებზე:

$$R^t = R \cdot m_t; \quad (8.2)$$

$$R^w = R \cdot m_w; \quad (8.3)$$

$$R^{t,w} = R \cdot m_t \cdot m_w; \quad (8.4)$$

$$R^f = R \cdot m_f, \quad (8.5)$$

სადაც R^t არის მაღალ ტემპერატურაზე მომუშავე მასალების საანგარიშო წინაღობა;

$R^{t,w}$ – საანგარიშო წინაღობა მაღალი ტემპერატურისა და ტენიანობის პირობებში;

R^f – იგივე, ატმოსფეროს პირობებში;

m_t – პლასმასის კონსტრუქციების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი მაღალ ტემპერატურაზე ([2], დანართი, ცხრ. 33);

m_w – პლასმასის კონსტრუქციების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი მაღალი ტენიანობისას ([2], დანართი, ცხრ. 34);

m_f – მინაპლასტიკის კონსტრუქციების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი ატმოსფერული ზემოქმედებისას ([2], დანართი, ცხრ. 35).

ატმოსფერული და ტემპერატურულ-ტენიანობითი რეჟიმის ზეგავლენა პლასტმასის დრეკადობისა და ძვრის მოდულების მნიშვნელობებზე ისეთივეა, როგორც საანგარიშო წინაღობისთვის.

დეფორმაციებზე გაანგარიშებისას მხედველობაში მიიღება ხანმოკლე და ხანგრძლივი დრეკადობის და ძვრის მოდულები $E_{b\gamma}$, $G_{b\gamma}$ და E , G . ხანმოკლე დრეკადობის და ძვრის მოდულების მნიშვნელობები განისაზღვრება სტანდარტული ნიმუშების ხანმოკლე სტატიკური გამოცდების შედეგად, როგორც ნიმუშის დაბვის ნაზრდისა და ფარდობითი დეფორმაციის ნაზრდის ფარდობა. ხანგრძლივი დრეკადობისა და ძვრის მოდულების მნიშვნელობები კი განისაზღვრება სტანდარტული ნიმუშების ხანგრძლივი სტატიკური გამოცდების შედეგად დაბვის იმ დონისთვის, რომელიც შეესაბამება მასალის ხანგრძლივ საანგარიშო წინაღობას. იგი წარმოადგენს ნიმუშის დაბვის ფარდობას ფარდობითი დეფორმაციის მაქსიმალურ მნიშვნელობასთან (დენადობის დეფორმაციის ჩაქრობისას).

8.3.3. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება მდგრადობაზე

პლასტმასის ცენტრალურად შეკუმშული მართკუთხა განივკვეთის ელემენტის გაანგარიშება მდგრადობაზე ხდება ფორმულით:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{\text{საანგ}}} \leq R_{\text{კ}}, \quad (8.6)$$

სადაც φ არის გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი;

$A_{\text{საანგ}}$ – ელემენტის განივკვეთის საანგარიშო ფართობი და როდესაც განივკვეთში შესუსტებები არ არის, მაშინ $A_{\text{საანგ}} = A_{\text{ბრ}}$, ხოლო სიმეტრიული შესუსტებებისას $A_{\text{საანგ}} = A_{\text{ნეტო}}$;

$R_{\text{კ}}$ – მასალის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე ([2], დანართი, ცხრ. 25).

გრძივი ღუნვის φ კოეფიციენტის მნიშვნელობა მასალის დრეკადი მუშაობის ფარგლებში:

$$\varphi = \frac{\sigma_{\text{კრ}}}{\sigma_{\text{კ}}^{\text{ს.ბ.}}}, \quad (8.7)$$

სადაც $\sigma_{\text{კ}}^{\text{ს.ბ.}}$ არის ელემენტის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას; $\sigma_{\text{კრ}}$ – დაბვის კრიტიკული მნიშვნელობა, რომელიც განისაზღვრება ეილერის ცნობილი ფორმულით:

$$\sigma_{\text{კრ}} = \frac{\pi^2 E^k}{\lambda^2}, \quad (8.8)$$

სადაც E^k არის პლასტმასის დრეკადობის მოდული ძალის მოქმედების მიმართულულებით; $l_{\text{საანგ}}$ – ელემენტის საანგარიშო სიგრძე, რომელიც დამოკიდებულია მისი ბოლოების ჩამაგრების ხასიათზე.

საბოლოოდ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი:

$$\varphi = \frac{\sigma_{\text{კრ}}}{\sigma_{\text{კ}}^{\text{ს.ბ.}}} = \frac{\pi^2 E^k}{\lambda^2 \sigma_{\text{კ}}^{\text{ს.ბ.}}}. \quad (8.9)$$

ელემენტის მუშაობა დრეკადობის ფარგლებში ხასიათდება იმით, რომ კრიტიკული დაბვეები პროპორციულობის ზღვარზე ნაკლებია ან მისი ტოლია, ე.ი.

$$\sigma_{\text{კრ}} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \sigma_{\text{კ}}^{\text{პრ}}, \quad (8.10)$$

საიდანაც

$$\lambda = \sqrt[2]{\frac{\pi^2 E^k}{\sigma_{\text{კ}}^{\text{პრ}}}}, \quad (8.11)$$

სადაც $\sigma_{\text{კ}}^{\text{პრ}}$ არის პლასტმასის ელემენტის კუმშვაზე პროპორციულობის პირობითი ზღვრის შესაბამისი დაბვა.

საერთოდ, საინჟინრო გაანგარიშებებში, პროპორციულობის ზღვრები ხანმოკლე და ხანგრძლივი დატვირთვებისას პირობითად ერთნაირი მიიღება.

გაანგარიშების დროს ითვალისწინებენ დატვირთვების მოქმედების ხანგრძლივობას და ბუნებრივია, რომ პლასტმასის ყველა მექანიკური მახასიათებლები ამ ფაქტორის მხედველობაში მიღებით უნდა იქნას განსაზღვრული, ე.ი.

$$\varphi = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 \sigma_{\text{ბგ}}^{\text{ს.ზ.}}}, \quad (8.12)$$

$$\lambda_{\text{ხღვრ}} \geq \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{\text{ბგ}}^{\text{ს.ზ.}} k_{\text{პრ}}}}, \quad (8.13)$$

სადაც $\sigma_{\text{ბგ}}^{\text{ს.ზ.}}$ არის კუმშვაზე სიმტკიცის ზღვარი დატვირთვის ხანგრძლივად მოქმედებისას; $k_{\text{პრ}}$ – პროპორციულობის კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება პროპორციულობის ზღვრის შეფარდებით სიმტკიცის ზღვართან.

პლასტმასის ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების ზღვრული მოქნილობის მინიმალური მნიშვნელობები და სხვა მახასიათებლები მოცემულია ცხრილ 8.2-ში.

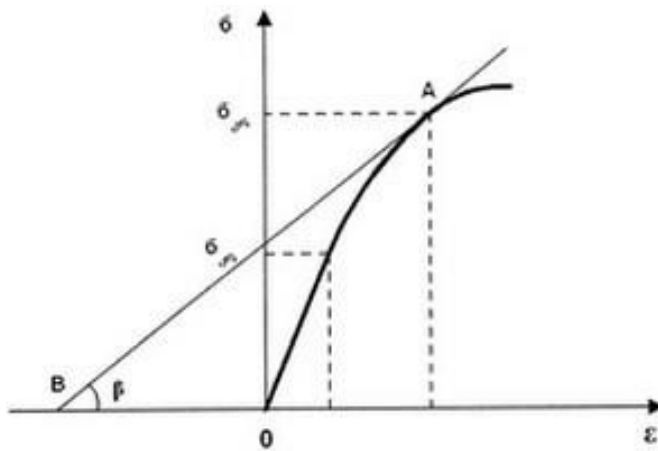
ცხრილი 8.2

მასალა	$R_{\text{კ}}^{\text{ზ}}$ მპა	$\sigma_{\text{ბგ}}^{\text{ს.ზ.}} = R_{\text{ბგ}}^{\text{ზ}}$ მპა	E , მპა	$k_{\text{პრ}}$	φ	$\lambda_{\text{ხღ}}$
მინაპლასტიკი პოლიეთერული	90	27	3000	0.6	$\frac{1097}{\lambda^2}$	43
მინაპლასტიკი მარკით KACT-B	95	57	19000	0.8	$\frac{3295}{\lambda^2}$	64
მინაპლასტიკი მარკით CBAM	400	200	24000	0.8	$\frac{1189}{\lambda^2}$	39
მინაპლასტიკი მარკით AГ-4C	200	120	15000	0.8	$\frac{1230}{\lambda^2}$	39
ორგანული მინა	80	24	1400	0.3	$\frac{580}{\lambda^2}$	44
ვინიპლასტი	75	22,5	1600	0.55	$\frac{703}{\lambda^2}$	36

იმ შემთხვევაში, როდესაც მასალას მუშაობა უხდება დრეკადობის ზღვრებს იქეთ, ანუ პროპორციულობის ზღვრებს გარეთ, მაშინ ელემენტის მოქნილობა $\lambda < \sqrt{\pi^2 E^k / \sigma_j^{ლბ}}$, რაც იმას ნიშნავს რომ კრიტიკული დაბვები ელემენტში აღემატება პროპორციულობის ზღვარს. ამ დროს მასალის მოდული ცვალებადი ხდება, ამიტომ გაანგარიშებაში შემოაქვთ ე. წ. დაყვანილი დრეკადობის მოდულის ცნება, რომელიც ელემენტის განივი კვეთისათვის ტოლია:

$$E_{\text{დაყ}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{E^k}{E_{\text{გ3}}} + 1}} \cdot E, \quad (8.14)$$

სადაც E^k არის დრეკადობის მოდული პროპორციულობის ზღვრებში;
 $E_{\text{გ3}}$ – დრეკადობის ცვალებადი მოდული, რომელიც პლასტმასის თითოეული სახეობისათვის ცალკე უნდა იქნას გამოთვლილი.



სურ. 8.25. პლასტმასის ელემენტის კუმშვის დიაგრამა

თუ განვიხილავთ ელემენტის კუმშვის დიაგრამას (სურ. 8.25), მაშინ წერტილში დრეკადობის ცვალებადი მოდული, რომელიც შეესაბამება კრიტიკულ დაბვას, განისაზღვრება ფორმულით:

$$E_{\text{გ3}} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \text{tg } \beta. \quad (8.15)$$

ამ შემთხვევაში კრიტიკული ძალისა და გრძივი ღუნვის კოეფიციენტის მნიშვნელობები განისაზღვრება ფორმულებით:

$$N_{\text{კრ}} = \frac{\pi^2 E_{\text{დაყ}} J}{l_{\text{საანგ}}^2}, \quad (8.16)$$

$$\varphi = \frac{\pi^2 E_{\text{დსფ}}}{\lambda^2 \sigma_j^{\text{სწ}}}. \quad (8.17)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ კონსტრუქციული პლასტმასების ზოგიერთი მასალი-სთვის შედგენილია ღეროს მოქნილობის (λ) გრძივი ღუნვის კოეფიციენტთან (ϕ) დამოკიდებულების გრაფიკები, რომლითაც სარგებლობა თავიდან აგვაცილებს ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში რიცხვით გაანგარიშებებს.

8.3.4. ღუნვაზე მომუშავე პლასტმასის ელემენტის გაანგარიშება სიხისტეზე

ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება სიხისტეზე (დეფორმაციებზე) ხორციელდება ნორმატიული დატვირთვების (ნაგებობაზე მისი ნორმალური ექსპლუატაციისას მოქმედი დატვირთვების მაქსიმალური მნიშვნელობა) ყველაზე არახელსაყრელი ვარიანტის მიხედვით. გაანგარიშების არსი იმაში მდგომარეობს, რომ კონსტრუქციის რეალური ჩაღუნვა არ უნდა აღემატებოდეს ნორმებით დადგენილ ზღვრული ჩაღუნვის მნიშვნელობას. დრეკადი წირის დიფერენციალური განტოლებიდან გამომდინარე, ძვრის ძალების მოქმედების გათვალისწინებით, მიღებულია ჩაღუნვების განსაზღვრის შემდეგი საანგარიშო ფორმულები:

– ორ საყრდენზე სახსროვნად დაყრდნობილი კოჭისათვის, როდესაც მთელ მალზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა:

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q l^4}{EJ} \left(1 + \frac{9,6\beta^2}{l^2} \right), \quad (8.18)$$

– ორ საყრდენზე სახსროვნად დაყრდნობილი კოჭისათვის, როდესაც მალის შუაში მოქმედებს შეყურსული დატვირთვა:

$$f = \frac{Pl^2}{48EJ} \cdot \left(1 + \frac{12\beta^2}{l^2} \right), \quad (8.19)$$

– ცალი ბოლოთი ხისტად ჩამაგრებული კონსოლური კოჭისათვის, როდესაც მთელ მალზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა:

$$f = \frac{Pl^4}{2,83EJ} \cdot \left(1 + \frac{8,5\beta^2}{l^2} \right), \quad (8.20)$$

სადაც E დრეკადობის მოდულია დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედების გათვალისწინებით; l – კოჭის განივკვეთის ინერციის მომენტი; l – კოჭის საანგარიშო მალი; β^2 – იგი მნიშვნელობა განისაზღვრება შემდეგი მარტივი გამოსახულებებიდან:

1. მართკუთხა განივკვეთისას:

$$\beta^2 = 0,25 \cdot (1 + \mu) h^2, \quad (8.21)$$

2. წრიული განივკვეთისას:

$$\beta^2 = 0,17 \cdot (1 + \mu) d^2, \quad (8.22)$$

3. ორტესებრი განივკვეთისას:

$$\beta^2 = 1,24 \cdot (1 + \mu) h^2, \quad (8.23)$$

სადაც h არის განივკვეთის სიმაღლე;

d – კოჭის წრიული განივკვეთის დიამეტრი;

μ – პუასონის კოეფიციენტი $\mu = \epsilon_{გან} / \epsilon_{გრძ}$;

$\epsilon = \Delta l / l$ – ფარდობითი დეფორმაცია.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულების ანალიზი აჩვენებს, რომ მხები ძაბვების მიერ გამოწვეული ძვრები ყველაზე მეტ გავლენას ახდენს ორტესებრი განივკვეთის კოჭების, ასევე მცირემალისანი და შედარებით მაღალი განივკვეთის მქონე კოჭების ჩალუნვებზე.

8.4. მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლები

მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლები გამოიყენება როგორც ცალკე, ისე სხვა მასალებთან კომბინაციაში, რადგანაც მათი ტალღის ზომები ემთხვევა სხვა საბურთულე მასალის ტალღოვანი ფურცლების ზომებს. იგი კარგი მასალაა სხივგამტარი სახურავების ან ღიობების მოსაწყობად, შვეული გარე მოპირკეთებისათვის, ფასადების არქიტექტურაში, ტიხრებისა და მანათობელი ჭერის მოსაწყობად, კიბისა და ლიფტის შახტების შემოსაღობად, სამფენოვანი პანელების დასამზადებლად, საზაფხულო კაფე-სასადილოების, პავილიონების, ფარდულების, სავაჭრო ობიექტების, ზღვისპირა ნაგებობების, სატრანსპორტო მაგისტრალებზე სწრაფი მომსახურების ობიექტების გადასახურავად და სხვ.

ტალღოვანი ანუ დაპროფილებული, მინაპლასტიკების წარმოების განვითარებას ხელი შეუწყო მათი დამზადების სიმარტივემ და ტრადიციული საშენი მასალების ღირებულებასთან სიახლოვემ. მათი უპირატესობაა მცირე მასა, კოროზიისა და ატმოსფერომდეგობა, ფორმის მიცემის სიმარტივე, ფერებისა და ფერადონების დიდი გამა. თუ შევაჯერებთ საზღვარგარეთული გამოცდილების შედეგებს, ვნახავთ, რომ გამჭირვალე მინაპლასტიკების გამოყენების წილი ყველა ტიპის მინაპლასტიკების მიმართ შეადგენს 83-91%-ს.

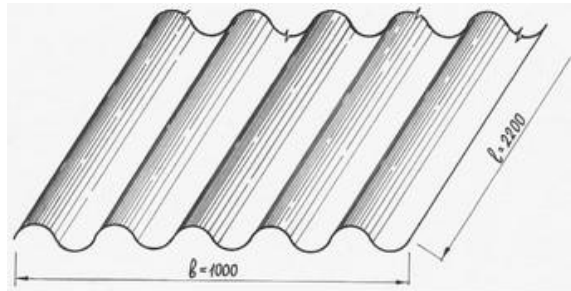
ტალღოვანი ფურცლები ცივი სახურავის დახრილი მზა ელემენტებია. ისინი ეწყობა სახურავის ქანობის მიმართულებით ხის ან ლითონის გრძივებზე. ასეთ სახურავებში ქანობის სიდიდე არ უნდა იყოს ნაკლები 1:10. ფურცლების ერთმანეთზე გადადების სიდიდე მიიღება 200-250 მმ. რადგანაც ამ ფურცლებს დაბალი სიმტკიცე და სიხისტე აქვთ, ამიტომ გრძივებს შორის დაშორება არ უნდა

აღმატებოდეს 150 სმ-ს, ხოლო ყოველი ფურცელი უნდა ეყრდნობოდეს მინიმუმ ორ გრძივს მაინც.

გამჭირვალე მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლები (სურ. 8.26; სურ. 8.27) გაანგარიშდება ღუნვაზე თოვლისაგან გადმოცემულ თანაბრად განაწილებულ დატვირთვაზე (საკუთარი წონა სიმცირის გამო მხედველობაში არ მიიღება), როგორც ერთი ან ორმალიანი სახსროვნად დაყრდნობილი კოჭი. შეყურსული დატვირთვა მასზე არ უნდა მოქმედებდეს. საანგარიშო მალად მიიღება მანძილი საყრდენ გრძივებს შორის.



სურ. 8.26. მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლები



სურ. 8.27. გამჭირვალე მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლის გეომეტრიული ზომები

ტალღოვანი ფურცლები გაანგარიშდება მასალათა გამძლეობის ცნობილი ფორმულებით, რომლებიც მიესადაგება განიკვეთის ერთი ტალღის ან სიგანის ერთეულს. გეომეტრიული მახასიათებლები მოსახერხებელია გამოითვალოს, როცა ფურცლის სიგანე $b = 1$ მ, შემდეგი ფორმულებით:

ტალღების საანგარიშო რაოდენობა:

$$n_{\text{ტ}} = b/b_{\text{ტ}}; \quad (8.24)$$

განიკვეთის ინერციის მომენტი:

$$J = 0,125 \cdot n_{\text{ტ}} \cdot b_{\text{ტ}} \cdot \delta_{\text{ტ}} \cdot h_{\text{ტ}}^2 \cdot (1 + \pi^2 \cdot h_{\text{ტ}}^2 / 8 \cdot b_{\text{ტ}}^2); \quad (8.25)$$

განიკვეთის წინალობის მომენტი:

$$W = 2J / (h_{\text{ტ}} + \delta_{\text{ტ}}). \quad (8.26)$$

ტალღოვანი ფურცლების შემოწმება მზიდუნარიანობასა და მდგრადობაზე, ღუნვის პირობიდან გამომდინარე, ხდება ფორმულით:

$$\sigma = M / \phi \cdot W, \quad (8.27)$$

სადაც $M = q\ell^2/8$ არის მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა, როდესაც ფურცლის საანგარიშო სქემას წარმოადგენს ერთი ან ორმალიანი სახსროვნად დაყრდნობილი კოჭი;

ϕ – ფურცლის მდგრადობის კოეფიციენტი:

$$\phi = 1,92 \cdot \delta_{\text{ტ}} \cdot h_{\text{ტ}} \cdot E / R_{\text{ღ}} \cdot (4 \cdot h_{\text{ტ}}^2 + b_{\text{ტ}}^2), \quad (8.28)$$

სადაც E არის მასალის დრეკადობის მოდული;

$R_{\text{ღ}}$ – მასალის საანგარიშო წინალობა ღუნვაზე.

ფურცლის მზიდუნარიანობის შემოწმება ჭრაზე წარმოებს ფორმულით:

$$\tau = Q/2 \cdot n_{\text{ტ}} \cdot d_{\text{ტ}} \cdot h_{\text{ტ}} \leq R_{\text{ჭრ}}, \quad (8.29)$$

სადაც $R_{\text{ჭრ}}$ არის მასალის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე; $Q = 0,5q \cdot l$ – განივი ძალა ერთმალისანი სქემისათვის და $Q = 0,625q \cdot l$ – ორმალისანი სქემისათვის.

მუშაობის ორმალისანი სქემისათვის ფურცლის ჩაღუნვაზე შემოწმება წარმოებს ფორმულით:

$$f/l = (2,13q^6 \cdot l^3)/(384E \cdot J) \leq [f/l] = 1/75. \quad (8.30)$$

თუ ფურცლის საანგარიშო სქემა ერთმალისანია, მაშინ (8.30) ფორმულაში 2,13 - კოეფიციენტის ნაცვლად შევა კოეფიციენტი 5.

მაგალითი 8.1. შევარჩიოთ და შევამოწმოთ დახრილი სახურავის ბურულისათვის გამოყენებული გამჭვირვალე მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლის განიკვეთი. ფურცლის სიგრძეა $L = 2$ მ, სიგანე – $b = 1$ მ. ფურცლები ეწყობა ხის გრძივებზე, რომელთა შორისაც ბიჯია $l = 1$ მ. ფენილზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული თოვლის დატვირთვა:

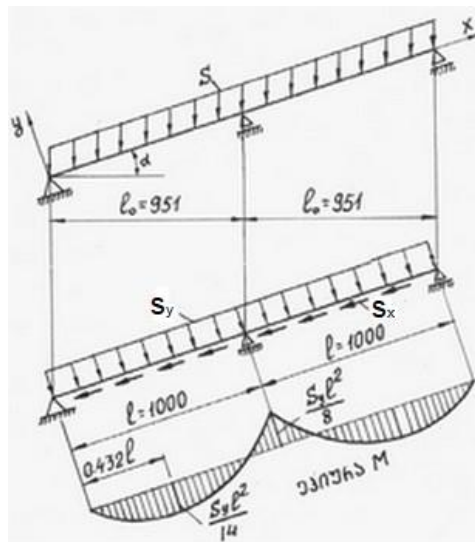
$$\text{ნორმატიული } S^6 = 120 \text{ კგ/მ} = 1,2 \text{ კნ/მ} = 0,012 \text{ კნ/სმ};$$

$$\text{საანგარიშო } S = S^6 \cdot \gamma_i = 1,2 \cdot 1,6 = 1,92 \text{ კნ/მ} = 0,0192 \text{ კნ/სმ},$$

სადაც $\gamma_i = 1,6$ არის დატვირთვის საიმედოობის კოეფიციენტი თოვლისათვის.

ფენილის საკუთარი წონა მხედველობაში არ მიიღება მისი სიმცირის გამო.

ფენილის საანგარიშო სქემას წარმოადგენს ორმალისანი სახსროვნად დაყრდნობილი უჭრი კოჭი მალით $l = 1$ მ (სურ. 8.3).



სურ.8.28. ფენილის საანგარიშო სქემა

სახურავის ქანობი:

$$i = 1:3 = \operatorname{tg} \alpha ; \alpha = 18^\circ ; \sin \alpha = 0,309 . \cos \alpha = 0,9511 .$$

საანგარიშო დატვირთვის შემდეგნები:

$$S_x = S \sin \alpha = 1,92 \cdot 0,309 = 0,59 \text{ კნ/მ} = 0,0059 \text{ კნ/სმ} ;$$

$$S_y = S \cos \alpha = 1,92 \cdot 0,9511 = 1,83 \text{ კნ/მ} = 0,0183 \text{ კნ/სმ} .$$

განიკვეთის შერჩევა ხდება S_y შემდეგნის მოქმედებაზე, რომელიც იწვევს ფურცლის ღუნვის დეფორმაციებს, რაც შეეხება S_x შემდეგნს, რომელიც იწვევს ფურცელში გრძივ ძალებს, მისი სიმცირის გამო მხედველობაში არ მიიღება.

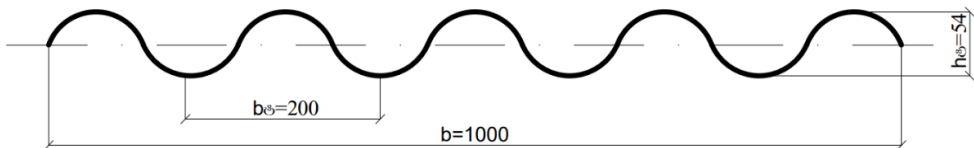
მაქსიმალური საანგარიშო მღუნავი მომენტი და განივი ძალები წარმოიშობიან შუა საყრდენზე:

$$M = \frac{S_y \cdot 1^2}{8} = \frac{0,0183 \cdot 100^2}{8} = 22,88 \text{ კნ.სმ};$$

$$Q = \frac{5 \cdot S_y \cdot 1^2}{8} = \frac{5 \cdot 0,0183 \cdot 100^2}{8} = 1,14 \text{ კნ} .$$

ავიღოთ პოლიეთერული მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცელი შემდეგი ზომების (სურ. 8.29):

სისქე $-\delta_g = 2\text{მმ}$; ტალღების ბიჯი $-\ b_\phi = 20\text{სმ}$; ტალღის სიმაღლე $-\ h_\phi = 5,4\text{სმ}$; ფურცლის სიგანე $-\ b = 1\text{მ}$; ტალღების რაოდენობა $-\ n = b/b_\phi = 100/20 = 5$ ([2], დანართი, ცხრ. 36).



სურ. 8.29. გამჭვირვალე მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლის გეომეტრიული ზომები

პოლიეთერული მინაპლასტიკის საანგარიშო წინაღობები ღუნვასა და ქრაზე (ახლეჩაზე) ნორმალური საექსპლუატაციო პირობებისათვის

$$R_{\sigma} = 15\text{მპა} = 150 \text{ კგძ/სმ}^2 \text{ და } R_{\beta\sigma} = 9\text{მპა} = 90 \text{ კგძ/სმ}^2 \text{ ([2], დანართი, ცხრ. 25).}$$

იმავე ატმოსფერული პირობებისათვის:

$$R_{\sigma}^{\circ} = R_{\sigma} \cdot k_1 = 15 \cdot 0,65 = 9,75\text{მპა} = 97,5 \text{ კგძ/სმ}^2 ;$$

$$R_{\beta\sigma}^{\circ} = R_{\beta\sigma} \cdot k_1 = 9 \cdot 0,65 = 5,85\text{მპა} = 58,5 \text{ კგძ/სმ}^2 .$$

დრეკადობის მოდული $E = 3000\text{მპა} = 30000 \text{ კგძ/სმ}^2 ;$

$$E^{\circ} = E \cdot k_2 = 3000 \cdot 0,8 = 2400\text{მპა} = 24000 \text{ კგძ/სმ}^2 ,$$

სადაც k_1 და k_2 – საანგარიშო წინაღობის შემამცირებელი კოეფიციენტები ატმოსფერულ პირობებში მასალის ექსპლუატაციის დროს.

ფურცლის განიკვეთის ინერციის მომენტის და წინაღობის მომენტის მნიშვნელობები ამოვიწეროთ ცხრილიდან ([2], დანართი, ცხრ. 36), რომელშიც მოცემული ეს სიდიდეები ფურცლის ერთი ტალღისათვის არის გათვალისწინებული. ჩვენს შემთხვევაში ფურცელს 1 მ სიგანეზე აქვს 5 ტალღა, ამიტომ როცა $b_\phi = 20\text{ მ}$, $h_\phi = 5,4\text{ მ}$ და $\delta_\phi = 2\text{ მმ}$, მაშინ

$$J = 5 \cdot 15,8 = 79\text{ მ}^4,$$

$$W = 5 \cdot 5,65 = 28,25\text{ მ}^3.$$

ფურცლის მდგრადობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ღუნვისას:

$$\varphi = \frac{1,92 \cdot \delta_\phi \cdot h_\phi \cdot E}{R_{\text{ფ}}^{\circ} (4h_\phi^2 + b_\phi^2)} = \frac{1,92 \cdot 0,2 \cdot 5,4 \cdot 24000}{97,5 (4 \cdot 5,4^2 + 20^2)} = 0,99,$$

სიმტკიცის პირობაზე შემოწმება:

$$\sigma = \frac{M}{\varphi W} = \frac{22,88}{0,99 \cdot 28,25} = 0,82\text{ კნ/მ}^2 = 8,2\text{ მპა} < R_{\text{ფ}}^{\circ} = 9,75\text{ მპა},$$

რაც იმას ნიშნავს, რომ პირობა დაკმაყოფილებულია.

ფურცლის შემოწმება ჭრაზე:

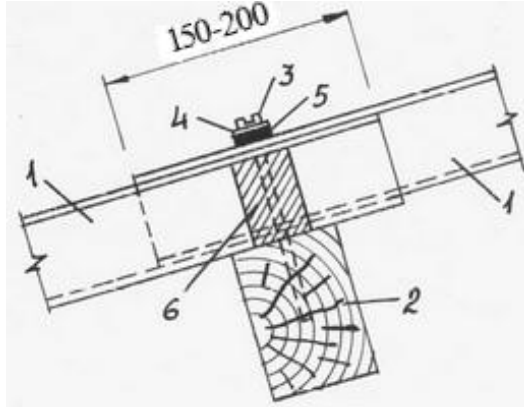
$$\tau = \frac{Q}{2n_\phi h_\phi \delta_\phi} = \frac{1,14}{2 \cdot 5 \cdot 5,4 \cdot 0,2} = 0,11\text{ კნ/მ}^2 = 1,1\text{ მპა} < R_{\text{ჭ}}^{\circ} = 5,85\text{ მპა}.$$

ფურცლის შემოწმება სიხისტეზე ნორმატიული დატვირთვის ქვეშ:

$$\frac{f}{l} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{q l^3}{EJ} = \frac{2,13 \cdot 0,012 \cdot 100^3}{384 \cdot 240 \cdot 79} = \frac{1}{285} < \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{75}.$$

გამჭირვალე მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლის ხის გრძივთან მიმაგრების დეტალი ნაჩვენებია ნახაზზე (სურ. 8.30).

შვეული გარე კედლის შუქგამტარი ნაწილისათვის გამოყენებული გამჭირვალე მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლის გაანგარიშება მოცემულია ლიტერატურაში ([2], თავი 7, მაგ. 7.2).

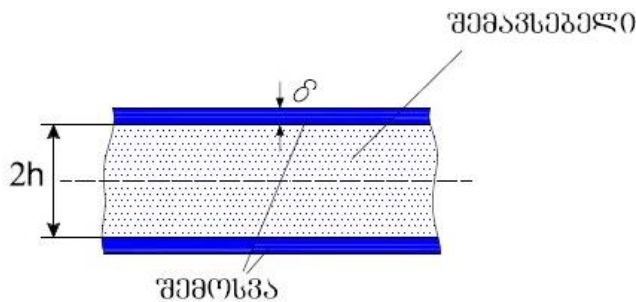


სურ. 8.30. გამჭვირვალე მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლის ხის გრძივთან მიმაგრების კვანძი: 1-ტალღოვანი ფურცელი; 2-გრძივი; 3-შურუპი; 4-ლითონის საყელური; 5-რეზინის საყელური; 6-ხის ნაჭრის ქვესაღები

8.5. სამფენოვანი პლასტმასის კონსტრუქციები

სამფენოვანი პლასტმასის კონსტრუქცია ფორმითა და კონსტრუქციული გადაწყვეტით ბრტყელი ან მცირე სიმრუდის მქონე ფილაა, რომელშიც ფენები ერთობლივად მუშაობს (სურ. 8.31). თითოეული ფენა ერთდროულად ასრულებს მზიდ და საიზოლაციო ფუნქციას. ფენოვანი კონსტრუქციები შეიძლება იყოს ერთ, ორ ან სამფენოვანი და ძირითადად გამოიყენება სახურავის, საკედლე და სართულშუა გადახურვის პანელებად. პრაქტიკაში ყველაზე მასიური გავრცელება მოიპოვა სამფენოვანმა პანელებმა (სურ. 8.32).

სამფენოვანი პანელი სამი ძირითადი ნაწილისგან შედგება: შემოსვის ორი გარე ფენისგან, შუა ფენისგან (შუალი, შემავსებელი) და მოჩარჩოებისგან, რომელიც პერიმეტრზე გარს აკრავს პანელს, უზრუნველყოფს მის საიმედო სიმტკიცეს და მზიდ კონსტრუქციასთან მიმაგრებას.



სურ. 8.31. სამფენოვანი კონსტრუქცია

შემოსვისათვის, რომელიც ძირითად მზიდ ელემენტს წარმოადგენს, გამოიყენება ფოლადის ფურცლოვანი მასალა, მინაპლასტიკი, ფანერი, ალუმინი, აგრეთვე მაღალი კუთრი სიხისტის მქონე კომპოზიტური მასალები.

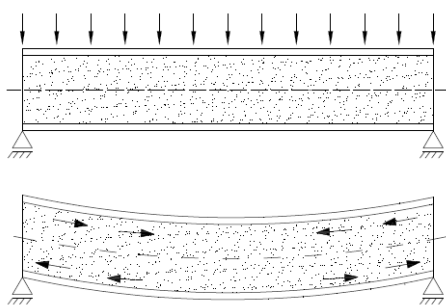
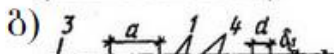
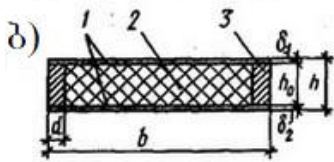
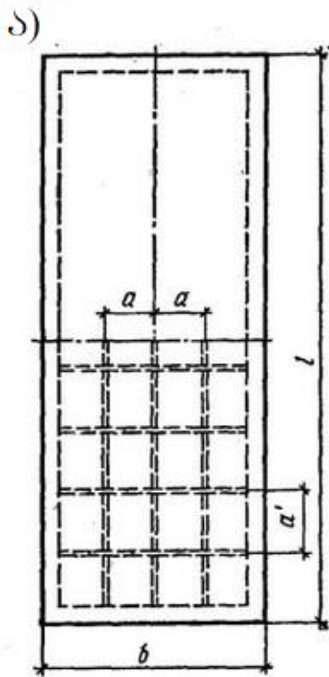
შუა ფენისათვის იყენებენ მცირე სიმკვრივისა და კუმშვაზე საკმარისი სიმტკიცის ბიო-, თბო- და ცეცხლმდეგ მასალებს – სხვადასხვა სახის ქაფპლასტს, ფიჭაპლასტს, მინერალური ბამბის ფილებს, ლითონური ფოლგის ფიჭებს, პოლიმერულ ქადალდს, გოფრეს, უჯრედებს და სხვ., ხოლო სისქე მიიღება თბოტექნიკური და კონსტრუქციული მოთხოვნების შესაბამისად. მასალის ეკონომიის მიზნით ზოგჯერ გამოიყენება სიღრუეებიანი ქაფპლასტიკი.

მოჩარჩობისათვის იმავემასალა გამოიყენება, რაც შემოსვისათვის, რითაც მიიღწევა კონსტრუქციაში ტემპერატურული დაბევის მაქსიმალური შემცირება. მოჩარჩობად შეიძლება გამოყენებულ იქნას მინაპლასტიკი, სამშენებლო ფანერი, ალუმინი, მერქანფენოვანი პლასტიკი, მაღალი სიმტკიცის მერქანი, მერქანბოჭკოვანი ფილები და სხვ. მერქნის გამოყენების შემთხვევაში უპირატესობა ეძლევა მოჩარჩობას, დამზადებულს დაწებებული ძელაკებისაგან, რადგანაც ამ დროს მიიღწევა ელემენტის მეტი ერთგვაროვნება და შესაბამისად მცირდება ძელის დაბრეცის შესაძლებლობა ტენიანობის გავლენით.

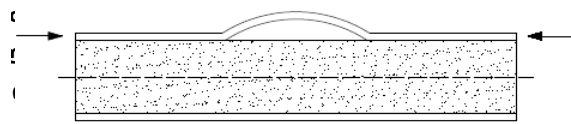
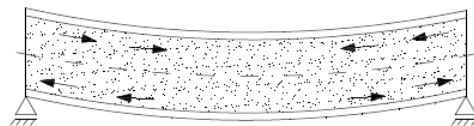
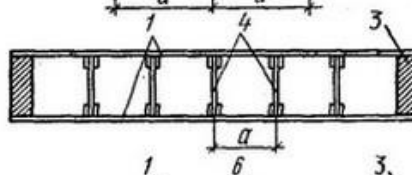
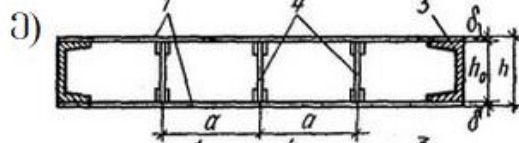
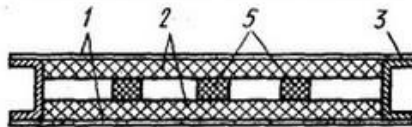
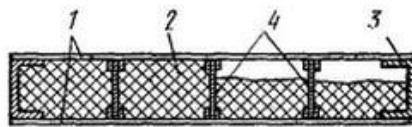
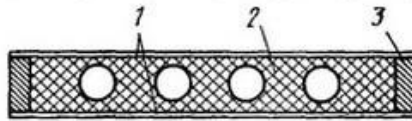
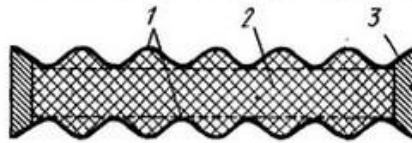
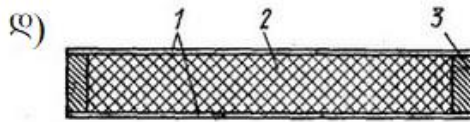
კონსტრუქციული ელემენტების შესაერთებლად გამოიყენება მაღალი სიმტკიცის წებოები, ან წებო და ხრახნები (შურუპები) ერთდროულად.

სამფენოვანი კონსტრუქციების ეფექტურობა შეიძლება შეფასდეს ძალიან მარტივად. ავიღოთ სამფენოვანი პანელი (სურ. 8.6). მისი 2δ სისქის შემოსვების ინერციის მომენტი ტოლი იქნება $I = (2\delta)^3/12 = 2\delta^3/3$, შემოსვების ერთეულის მასა – $2\rho\delta$, სადაც ρ მასალის სიმკვრივეა. ახლა თუ ორივე შემოსვას განვათავსებთ ერთმანეთისგან $2h$ მანძილზე და მათ შორის სივრცეს შევავსებთ მცირე სიმკვრივის ρ_0 შემავსებელით (შუალით), როცა $h \gg \delta$ მივიღებთ ინერციის მომენტის სიდიდეს $2\delta h$, მასა კი ტოლი იქნება $2(\rho\delta + \rho_0 h)$. აქედან ვღებულობთ, რომ, მაგალითად, თუ $\delta = 0,1h$ და $\rho_0 = 0,1\rho$, მაშინ მეორე შემთხვევისათვის ინერციის მომენტი გაიზრდება 300-ჯერ, ხოლო მასა მხოლოდ 2-ჯერ.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ეს ეფექტი ნაკლებია ლითონის შემოსვებით, ხოლო მაქსიმალურს აღწევს კომპოზიტების გამოყენებისას, რადგან ეს უკანასკნელი გამოირჩევა კარგი დეფორმადობით და ბუნებრივია ღუნვადი კონსტრუქციის დეფორმაციისას შუალსა და შემოსვას შორის ღრეჩო არ წარმოიშობა ანუ შემავსებელსა და შემოსვას შორის ნაკლებად მოსალოდნელია მოხდეს განშრევა. სწორედ ტექნოლოგიური და სიმტკიცის მახასიათებლების კარგი თანაფარდობა მაღალი ღუნვითი სიხისტის მქონე კომპოზიტურ სამფენოვან კონსტრუქციებში, განსაზღვრავს მათი ფართო გამოყენების პერსპექტივებს მშენებლობაში.



სურ. 8.33. სამფენოვანი კონსტრუქციის ღუნვა



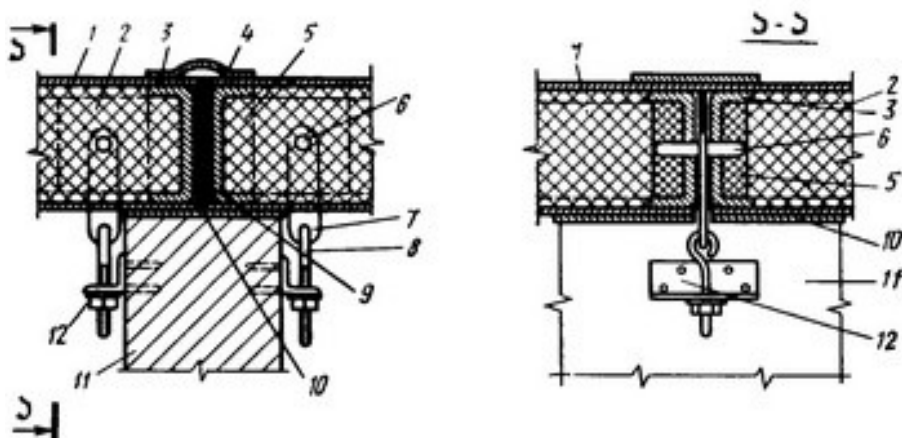
სურ. 8.34. სამფენოვანი კონსტრუქცია მსუბუქი შუალით

ერთი შეხედვით შეიძლება მოგვეჩვენოს, რომ რაც უფრო მსუბუქია შემავსებელი, მით მეტია სამფენოვანი კონსტრუქციის ეფექტურობა, მაგრამ სინამდვილეში ასე არ არის. შემავსებლის დრეკადობის შემცირება გამოიწვევს იმას, რომ იგი ვეღარ უზრუნველყოფს სამივე ფენის ერთობლივ მუშაობას (შემცირდება მანძილი

შემოსვებს ორის, აგრეთვე კონსტრუქციის სიხისტე). მოყვანილი მოსაზრების დასადასტურებლად განვიხილოთ ღუნვაზე მომუშავე სამფენოვანი კონსტრუქცია (სურ. 8.33). ამ შემთხვევაში შუალსა და შემოსვებს შორის მოქმედი მხები ძაბვები გამოიწვევს ზედა შემოსვის კუმშვასა და ქვედას – გაჭიმვას. განსახილველი სქემისათვის გავიხსენოთ კირხოფის წრფივი ნორმალის ჰიპოტეზა, რომელიც ფირფიტების გაანგარიშებებში უგულვებელყოფს განივი ძვრის მოდულის გათვალისწინებას (თვლის რომ ეს სიდიდე უსასრულოდ დიდია), აგრეთვე თვლის, რომ ნებისმიერი წრფივი ელემენტი, ნორმალური შუა ზედაპირის მიმართ, ფირფიტის დეფორმირების შემდეგ რჩება წრფივი და მართობული შუა ზედაპირის მიმართ და მისი სიგრძე არ იცვლება. ჩვენს შემთხვევაში ეს ჰიპოტეზა მიუღებელია, რადგან მსუბუქ შემავსებელში ძვრის დეფორმაციის უგულვებელყოფა დაუშვებელია და არც ნორმალური ელემენტი დარჩება დეფორმირებული შუა ზედაპირის მიმართ მართობული. ამიტომ, ბუნებრივია, სამფენოვანი ფილების გაანგარიშებისას მსუბუქი შემავსებლით გათვალისწინებული უნდა იქნას შემავსებლის განივი ძვრის დეფორმაცია. თუ შემავსებლის ძვრის მოდულის სიდიდე ძალიან მცირეა, მაშინ ფენები მუშაობენ დამოუკიდებლად და მოსალოდნელია ზედა შეკუმშული შემოსვის განშრევა შუალისაგან და მდგრადობის დაკარგვა (სურ. 8.34). ამიტომ, როდესაც შუალისათვის გამოყენებულია ძალიან მსუბუქი მასალა, მიზანშეწონილია იგი დაარმირებული იყოს კომპოზიტური ბოჭკოებით ან მავთულოვანი არმატურით.

სამფენოვანი პანელის შენობის მზიდ კონსტრუქციასთან მიმაგრების ერთ-ერთი სახეობა ნაჩვენებია ნახაზზე (სურ. 8.35).

კონსტრუქციული გადაწყვეტის მიხედვით სამფენოვანი პანელების ოთხი ტიპი არსებობს:



სურ. 8.35. სამფენოვანი ფილის შენობის მზიდ კონსტრუქციასთან მიმაგრების ვარიანტი: 1-შემოსვა; 2-შუალი; 3-მოჩარჩოება; 4-საჭვრიტული; 5-პვე; 6-მანჭვალი; 7-თამასა; 8-ჭიმი; 9-ნაკურის შევსება; 10-რეზინის შუასადები; 11-მზიდი კონსტრუქცია; 12-სამაგრი კუთხელი

I ტიპის პანელი. ასეთ პანელში მღუნავი მომენტისაგან გამოწვეული ნორმალურ ძალებს თავის თავზე ღებულობს ხისტი წიბოები და შემოსვა. ამ დროს წიბოების ჯამური სიხისტის ფარდობა ორივე შემოსვის სიხისტესთან მეტია $0,8a/1$

$$\frac{\sum E_{\text{წ}} J_{\text{წ}}}{E_{\text{დაყ}} J_{\text{შემ}}} > 0,8 \frac{a}{1}, \quad (8.31)$$

სადაც I არის პანელის საანგარიშო მალი; a – გრძივი წიბოების ბიჯი; EJ – წიბოების და შემოსვის სიხისტე.

II ტიპის პანელი. ასეთს მიეკუთვნება წიბოებიანი პანელები წიბოების მცირე ღუნვითი სიხისტით, რომლისათვისაც წიბოების ჯამური სიხისტის ფარდობა შემოსვების სიხისტესთან ტოლია ან ნაკლებია

$$\frac{\sum E_{\text{წ}} J_{\text{წ}}}{E_{\text{დაყ}} J_{\text{შემ}}} \leq 0,8 \frac{a}{1} \quad (8.32)$$

ასეთი ტიპის პანელის გაანგარიშებისას შეიძლება დავუშვათ, რომ ნორმალურ ძალებს თავის თავზე ღებულობს მხოლოდ შემოსვები და წიბოები მუშაობაში არ მონაწილეობენ.

III ტიპის პანელი. ასეთი ტიპის პანელები შედგება შემოსვებისაგან, წიბოებისაგან და სრულად შევსებული შუა ფენისაგან (ქაფპლასტი), რომელიც შეწებებულია ზედა და ქვედა შემოსვებთან.

IV ტიპის პანელი. ასეთი ტიპის პანელის კონსტრუქციული ელემენტებია შემოსვები და უწყვეტი შუა ფენა. სხვანაირად ასეთ პანელებს „სენდვიჩებსაც“ უწოდებენ. მათ ახასიათებთ დიდი დეფორმადობა.

I, II და III ტიპის პანელებში ძვრის ძალებს ღებულობენ წიბოები, ხოლო IV ტიპის პანელებში – უწყვეტი შუა ფენა.

III და IV ტიპის პანელებში მღუნავი მომენტისაგან გამოწვეულ ნორმალურ ძაბვებს ღებულობენ შემოსვები, გარდა ამისა ამ პანელებში, რომლებიც მუშაობენ მარტივი კოჭის სქემით, ზედა შემოსვა იკუმშება, ხოლო ქვედა იჭიმება.

პოლიეთერული მინაპლასტიკის გამჭირვალე პანელი გაანგარიშდება, როგორც I და II ტიპის პანელები. ისინი გამოირჩევიან დაბალი დეფორმადობით, რადგანაც ამ მასალას გააჩნია დაბალი დრეკადობის მოდული.

სამფენოვანი პანელების გაანგარიშება წარმოებს სამშენებლო მექანიკის ცნობილი მეთოდებით. გაითვალისწინება შემოსვებისა და წიბოების სიხისტეების ფარდობა. გაანგარიშებისას განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა შემოსვებში ნორმალური ძაბვების არათანაბარ განაწილებას. დრეკადობის თეორიით განსაზ-

ღვრული ნორმალური ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობა აღემატება საშუალო მნიშვნელობას. ეს განსახვავება მით მეტია, რაც მეტია წიბოების ბიჯი.

სამფენოვანი პანელების გაანგარიშება წარმოებს I და II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით (გაანგარიშება სიმტკიცეზე და დეფორმაციებზე). I ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობაზე გაანგარიშება წარმოებს საანგარიშო დატვირთვების, ხოლო მეორე ჯგუფის – ნორმატიულ დატვირთვებზე. გადახურვის პანელებისათვის საანგარიშო დატვირთვებს წარმოადგენს საკუთარი წონა და თოვლი, ხოლო საკედლე პანელებისათვის საკუთარი წონა და ქარი.

პანელის ზედა შემოსვა მოწმდება მდგრადობაზე და ადგილობრივ ღუნვაზე ხანმოკლედ მოქმედ შეყურსულ დატვირთვაზე, რომელიც ტოლია 1 კნ. მუშაობის პირობების კოეფიციენტი მიიღება 1,2; ხოლო შეყურსული ძალა (მემონტაჟის წონა ინსტრუმენტებით) მოქმედებს პანელის ზედა შემოსვის ფართობის ნაწილზე 10×10 სმ თანაბრად განაწილებულად. მაშინ ადგილობრივი დატვირთვის ინტენსივობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{\text{აღ}} = \frac{1000 \cdot 1,2}{10 \cdot 10} = 126/\text{სმ}^2. \quad (8.33)$$

განივ ღუნვაზე გაანგარიშებისას სამფენოვანი პანელი განიხილება, როგორც ფილა, თავისუფლად დაყრდნობილი ორმხრივად ან კონტურით.

თუ განვიხილავთ IV ტიპის პანელს ლითონის შემოსვებით და დაყრდნობილს კონტურით და თუ სრულდება პირობა

$$\left(\frac{1}{c}\right)^2 \geq \frac{8G}{q} \cdot \sqrt[3]{\frac{\delta}{c}}, \quad (8.34)$$

სადაც q არის თანაბრად განაწილებული დატვირთვა;

G – შუა ფენის მასალის დრეკადობის მოდული;

$c = c_0 + \delta$ – განივკვეთის საანგარიშო სიმაღლე;

δ – შემოსვის სისქე,

მაშინ ასეთი პანელი გაანგარიშდება, როგორც მოქნილი ფირფიტა.

რაც შეეხება გეომეტრიულ ზომებს, ყველა ტიპის პანელის გაანგარიშებისას დაცული უნდა იყოს შემდეგი პირობები:

$$\frac{\bar{E}_{\text{დოჟ}}}{G} \leq 1000; \quad 200 \geq \frac{c_0}{\delta} \geq 4; \quad \frac{1}{c} \geq 10. \quad (8.35)$$

სადაც $\bar{E}_{\text{დოჟ}} = E / (1 - \mu^2)$ არის შემოსვის მასალის დაყვანილი დრეკადობის მოდული; μ – შემოსვის მასალის პუასონის კოეფიციენტი; G – შუა ფენის მასალის ძვრის მოდული; E – შემოსვის მასალის დრეკადობის მოდული.

სამფენოვანი პანელების მუშაობის ხასიათი, ასევე მისი შემადგენელი ნაწილების მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების სხვადასხვაობა გაითვალის-

წინება დაყვანილი გეომეტრიული მახასიათებლების ($E_{\text{დაყ}}, J_{\text{დაყ}}, w_{\text{დაყ}}$) შემოტანით, რომელიც გამოიყენება გაანგარიშებებში. გარდა ამისა, გათვალისწინებული უნდა იქნას ტემპერატურულ-ტენიანობის ფაქტორების ზემოქმედებისაგან პანელებში აღძრული ძალები, აგრეთვე დაშვებულია, რომ ზედა და ქვედა შემოსვები ერთნაირი სისქისაა (სინამდვილეში განსახვავებულია) და განხორციელებულია ერთნაირი მასალისგან, მოჩარჩოების და შიგა გრძივი წიბოების დრეკადობის მოდულები ერთნაირია. ინერციის (J) და წინაღობის (w) მომენტების მნიშვნელობები განისაზღვრება დაყვანილი მახასიათებლების მიხედვით.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას გაითვალისწინება ძაბვები, რომლებიც აღიძვრებიან პანელის ელემენტებში გარე დატვირთვებისაგან (σ_q) და ტენიანობისა ($\sigma_{\text{ტენ}}$) და ტემპერატურის ($\sigma_{\text{ტემ}}$) ცვლილები-საგან. სიმტკიცის პირობას ექნება სახე:

$$\sigma_{\text{სრული}} = \sigma_q + \sigma_{\text{ტენ}} + \sigma_{\text{ტემ}} \leq R_{\text{საანგ}} \quad (8.36)$$

ტენიანობისა და ტემპერატურული ცვალებადობისაგან გამოწვეული ძაბვების გაჩენას ხელს უწყობს ის, რომ პანელები დაკავშირებული არიან ერთმანეთთან და ემაგრებიან მზიდ კონსტრუქციებს, რაც ზღუდავს მათ თავისუფალ დეფორმაციებს.

პანელის შემოსვებში საშუალო ნორმალური ძაბვები საანგარიშო დატვირთვებისაგან (I, II და III ტიპის პანელები) განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{\text{საშ}} = \frac{M}{w_{\text{დაყ}}} \leq R_{\text{საანგ}}, \quad (8.37)$$

სადაც M არის მდუნავი მომენტი პანელის სიგანის ერთეულზე;

$w_{\text{დაყ}}$ – წინაღობის მომენტი პანელის განივკვეთის სიგანის ერთეულზე;

$R_{\text{საანგ}}$ – პანელის შემოსვის მასალის საანგარიშო წინაღობა.

ძვრის ძაბვები წიბოებში განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau = \frac{QS}{JB} \leq R_{\text{ჭრ}}, \quad (8.38)$$

სადაც Q არის განივი ძალა; S – წიბოს განივკვეთის სტატიკური მომენტი; J – ინერციის მომენტი; b – წიბოს სიგანე; $R_{\text{ჭრ}}$ – მასალის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე.

პანელის ჩაღუნვა, რომლითაც განისაზღვრება სიხისტე ნორმალური დატვირთვისა და ტემპერატურულ-ტენიანობის ზემოქმედების შედეგად მათი არახელსაყრელი შეთანწყობის დროს, არ უნდა აღემატებოდეს ზღვრულ ჩაღუნვას:

$$f_{\text{მსჯ}} = f' + f_{\text{მსჯ}}^{\text{ტემპ,ტენ}} \leq f_{\text{ზღ}} \quad \text{ან} \quad f_{\text{მსჯ}} = \frac{f_{\text{მსჯ}}}{1} \leq \left[\frac{f}{1} \right], \quad (8.39)$$

სადაც $\left[\frac{f}{1} \right]$ არის ზღვრული ჩაღუნვის ნორმირებული სიდიდე. f' ჩაღუნვა თანაბრად განაწილებული ნორმატიული დატვირთვისაგან პანელის ოთხივე ტიპისათვის, როდესაც იგი ორმხრივ თავისუფლად არის დაყრდნობილი და გამოითვლება ფორმულით:

$$f' = \frac{5}{384} \cdot \frac{q^6 l^4}{D}, \quad (8.40)$$

სადაც q^6 არის დატვირთვის ნორმატიული მნიშვნელობა;

D – პანელის ღუნვითი სიხისტე (პანელის სიგანის ერთეულზე) საანგარიშო მასალის მიმართულებით და, მაგალითად I ტიპის პანელისათვის $D = E_{\varphi} J$.

გარსები პლასტმასის ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური კონსტრუქციებია, რომლებშიც კარგად კომპენსირდება პლასტმასის ისეთი ნაკლი, როგორცაა დიდი დეფორმადობა და ამავე დროს ხდება მზიდი და შემომფარგვლელი ფუნქციების შეთავსება. მცირე სისქის პირობებში გარსს შეიძლება ჰქონდეს ნებისმიერი სივრცითი ფორმა და საკმაოდ დიდი მალი, რასაც განაპირობებს სივრცითი მუშაობის ეფექტი. პლასტმასის გარსებს ახასიათებთ ისეთი დადებითი თვისებები, როგორცაა სიმსუბუქე, სინათლეგამტარობა, მდგრადობა, რადიო ტალღების დაუბრკოლებლად შეღწევადობა, მშენებლობის ინდუსტრიალიზაცია, ფერთა ფართო გამა, ატმოსფერომდეგობა, ბიომდეგობა, დაბალი მასალატევადობა და სხვ.

გარსები გამოიყენება ისეთ შენობა-ნაგებობებში, სადაც დაუშვებელია შუალედი საყრდენების არსებობა. გარსების, როგორც სივრცითი კონსტრუქციების ერთ-ერთი ძირითადი სახეობის, კლასიფიკაცია შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა ნიშნის მიხედვით. ასეთებია: მასალა, გეომეტრია, დაყრდნობის სახეობა, კონსტრუქციული განსაკუთრებულობა, მუშაობის ხასიათი, შენობის გეგმის მოხაზულობა, განმბჯენის არსებობა, თავისუფალი მალი და სხვ. ამ მრავალსახეობიდან გეომეტრიული ფორმის მიხედვით პლასტმასის გარსები იყოფა სამ ჯგუფად: სტრუქტურული, ერთმაგი და ორმაგი სიმრუდის.

სტრუქტურული გარსი შედგება ერთ სიბრტყეში განლაგებული თხელკედლიანი სივრცითი ელემენტებისაგან (პირამიდული, ტრაპეციული, თაღოვანი, ჰიპერბოლური), რომლებიც ერთმანეთთან შეეთებულია მექანიკური საშუალებებით ან წებოთი. ასეთი გარსი მუშაობს, როგორც კონტურით ან ცალკეული ნაწილებით დაყრდნობილი ფილა. ამიტომ მათ სხვანაირად სივრცითი ფილის ტიპის გარსსაც უწოდებენ.

ერთმაგი სიმრუდის გარსს მიეკუთვნება ცილინდრული და მუშაობის ხასიათის მიხედვით მათთან ახლოს მდგომი პრიზმული გარსი და თაღი. ამ ჯგუფის ნაირსახეობას წარმოადგენს დაკიდებული ცილინდრული გარსი. ელემენტებს, რომლებისგანაც აწყობენ ცილინდრულ გარსს და თაღს აქვს ოთხნახნაგა პირამიდის

ფორმა; შეიძლება ასევე გამოყენებულ იქნას ორი და სამფენოვანი მართკუთხა განივკვეთის რომბული უჯრედები, ბრტყელი სამფენოვანი ელემენტები და სხვ., რომლებიც ერთმანეთთან მექანიკური საშუალებებით არიან დაკავშირებული.

ორმაგი სიმრუდის გარსები შეიძლება იყოს დადებითი და უარყოფითი გაუსის სიმრუდის და ამ ნიშან-თვისების მიხედვით იყოფიან ორ ქვეჯგუფად. პირველში შედის ელიფსური ამოზნექილი და დაკიდებული გარსები, სფერული და სხვა სახის ამოზნექილი გუმბათები, აგრეთვე მათი მსგავსი ამოზნექილი მრავალწახნაგა გარსები, კარვები და გუმბათები. ასაწყობ-სამონტაჟო ერთეულად გამოიყენება სამფენოვანი სამკუთხა ან მრავალწახნაგა მოხაზულობის ელემენტები. აშენებენ აგრეთვე მთლიანპლასტმასის (მონოლითურ) გარსებს. მეორეს მიეკუთვნება სხვადასხვა ტიპის ჰიპერბოლური გარსები – კარვისებრი, ძაბრისებრი, ქოლგისებრი, უნაგირისებრი. ასეთი გარსები ძირითადად მზადდება მონოლითური პლასტმასისაგან.

პლასტმასის გარსებით გადახურული მალეები ხშირად 3-30 მ-ის ფარგლებშია, თუმცა ცნობილია მსოფლიო პრაქტიკაში აშენებული პლასტმასის გარსები, მალეით 220 მ-მდე. გარსების კონსტრუქციული სისქე იცვლება 15-30 სმ-ის ფარგლებში, ხოლო სახურავის ფართობის 1 მ² წონაა 7-20 კგ.

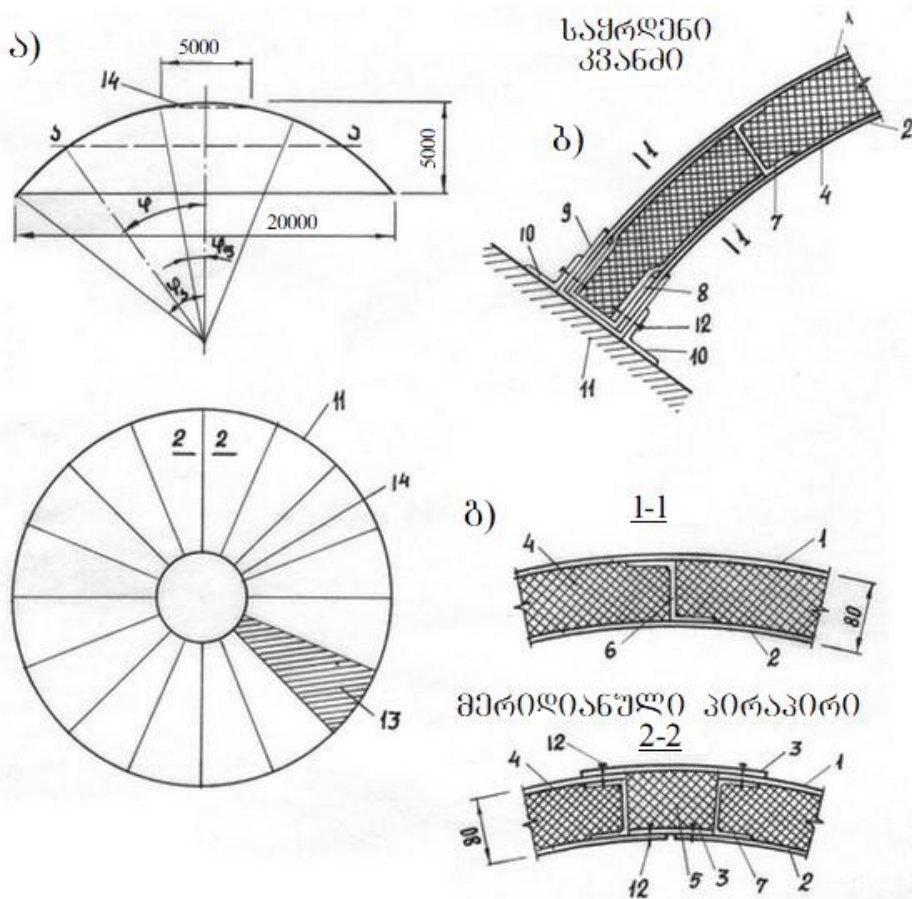
8.6. სფერული გუმბათ-გარსები

გუმბათ-გარსი შეიძლება იყოს ერთფენიანი და მრავალფენიანი. ერთფენიანი გუმბათებისათვის ძირითად კონსტრუქციულ მასალას წარმოადგენს მინაპლასტიკი ან ორგანული მინა. ეს უკანასკნელი გამოიყენება მცირე დიამეტრის გუმბათებისათვის.

მრავალფენოვანი გუმბათები ძირითადად შედგება სამი ფენისაგან – განაპირა შემოსვისა და შუალისაგან. შემოსვისათვის გამოიყენება მინაპლასტიკი, ხოლო შუალისათვის – ქაფპლასტი ან ფიჭაპლასტი. ფანერის შემოსვის შემთხვევაში შუალედ გამოიყენება მინერალური ბოჭკო, მინერალური ბამბა და სხვ.

პლასტმასის გუმბათ-გარსებს ამზადებენ მონოლითურს და ასაწყობს. მონოლითური გუმბათები გამოიყენება მცირე მალეებში, ძირითადად სახურავის შუქფარნისათვის, ხოლო რაც შეეხება ასაწყობ გუმბათებს, აქ მეტად საპასუხისმგებლო ეტაპს წარმოადგენს ასაწყობი ელემენტების მოხაზულობის, ზომებისა და პირაპირების განხორციელების ტექნოლოგიის შერჩევა (სურ. 8. 36).

სექტორ-ჰანელისა (13) და ხუფის (14) კონსტრუქცია სამფენოვანია, სადაც შემოსვისათვის გამოყენებულია II ჯგუფის პოლიეთერული მინაპლასტიკი, ხოლო შუა ფენად (შუალად) სექტორში – ქაფპოლისტიროლი (4), ხუფში კი – ფიჭაპლასტი ცარიელი ფიჭებით (შუქგამტარობისათვის).



სურ. 8. 36. 20 მ დიამეტრის პლასტმასის სფერული გუმბათ-გარსი: ა - გეომეტრიული სქემა; ბ - საყრდენი კვანძი; გ - მერიდიანული პირაპირი; 1-ზედა შემოსვა; 2-ქვედა შემოსვა; 3-პირაპირის ზედი; 4,5-ქაფპოლისტიროლი; 6-ზის მაგვარი პროფილის მინაპლასტიკის გადანაჭერი; 7-შველერი; 8-შიგა მოსაარშიებელი შველერი; 9-გარე მოსაარშიებელი შველერი; 10-ლითონის კუთხოვანები; 11-რკინაბეტონის საყრდენი რგოლი; 12-თვითკუთხვილი ხრახნი; 13-სექტორ-პანელი; 14-ზედა გამჭირვალე ხუფი

ქარის დატვირთვის მოქმედებისას გუმბათის მცირე საკუთარი წონის გამო შესაძლებელია მისი მოწყვეტა საყრდენი რგოლისაგან, რის გამოც საჭიროა შემოწმდეს გუმბათის შეერთება საყრდენ რგოლთან მომწყვეტ დატვირთვაზე, ხოლო რგოლი, რომელიც ჩვენს შემთხვევაში შეკუმშულია, უნდა შემოწმდეს მდგრადობაზე.

გუმბათი შედგება გაუმჭირი სექტორ-პანლებისა (13) და ზედა შუქგამტარი ხუფისგან (14). ამგვარად, მოცემულ გუმბათში მხოლოდ ორი ტიპის ასაწყობი ელემენტია.

გუმბათის გაანგარიშება ხდება უმომენტო თეორიის გამოყენებით, რომელიც რეალურად აღწერს გარსის მუშაობას. სიმეტრიული დატვირთვის დროს გუმბათის

ელემენტარული ფართობი წონასწორობაში იმყოფება მერიდიანული T_1 და რგოლური T_2 ძალების მოქმედებით, მათგან T_2 ძალა ჰორიზონტალური კვეთის მიმართულებით მუდმივია, ხოლო T_1 – ცვლადი.

მინაპლასტიკის სამფენოვანი სფერული გუმბათ-გარსის თეორიული გაანგარიშება და რიცხვითი მაგალითი იხ. [2], § 7.9.1, მაგალითი 7.3.

8.7. მოთხოვნები, წაყენებული პოლიმერული მასალებისადმი

პოლიმერულ საშენ მასალებს წაყენებათ საექსპლუატაციო-ტექნიკური, ხანმედევობის, ესთეტიკურობის, ინდუსტრიულობის, ტექნოლოგიურობის, სანიტარულ – ჰიგიენური და ეკონომიკური უფექტურობის მოთხოვნები.

საექსპლუატაციო-ტექნიკური მოთხოვნები ითვალისწინებს მასალისა და ნაკეთობის შესაბამისი საჭირო ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების დაკმაყოფილებას. იგი მკაცრად რეგლამენტირებულია სახელმწიფო სტანდარტებითა და ნორმატიული დოკუმენტებით. ამ მოთხოვნების დასაბუთებისათვის ხდება მასალების გამოცდა მისი მექანიკური, თბოტექნიკური, ელექტროფიზიკური და სპეციფიკური თვისებების დასადგენად. გამოცდა შეიძლება იყოს ხანმოკლე – ლაბორატორიულ პირობებში, ან ხანგრძლივი, რომელიც ტარდება ნატურალურ კონსტრუქციებზე.

ხანმედევობის მოთხოვნები განისაზღვრება მასალისა და ნაკეთობის საექსპლუატაციო და ფუნქციური დანიშნულების პირობებით და ზოგიერთი ჯგუფის პლასტმასებისათვის რეგლამენტირებულია. პლასტმასის ხანმედევობის განსაზღვრის მეთოდებს მიეკუთვნება ატმოსფერომედევობისა და შუქთბომედევობის განსაზღვრის მეთოდი, რომელიც არ ითვალისწინებს მასალების გამოცდას დაძაბულ მდგომარეობაში და აგრესიულ გარემოში. არსებობს მისი ორი მოდიფიკაცია – გამოცდა ბუნებრივ კლიმატურ პირობებში სპეციალურ სტენდებზე და გამოცდა ლაბორატორიულ კლიმატურ პირობებში. ამ გამოცდებით შეიძლება დავადგინოთ ისეთი თვისებები, როგორცაა: ზედაპირის ელვარების დაკარგვა, ფერის შეცვლა, ბზარის გაჩენა, ეროზია, დაბრეცა, განშრევა, ობის წარმოქმნა, შემაფერადების მიგრაცია, პლასტიფიკატორის გამოძევება ზედაპირზე, აბსოლუტური და ფარდობითი მასის ცვლილება, დიელექტრიკული შეღწევადობა, ელექტრული სიმტკიცე, კუთრი ზედაპირული და მოცულობითი ელექტროწინაღობა და სხვ.

ესთეტიკური მოთხოვნები განისაზღვრება მასალის დანიშნულების მიხედვით. ნორმატიულ დოკუმენტებში რეგლამენტირებულია ფერთა გამა და მასალის ასორტიმენტი ფაქტურისა და ფორმის მიხედვით.

ინდუსტრიალობისა და ტექნოლოგიურობის მოთხოვნები ითვალისწინებს პლასტმასის კონსტრუქციების დამზადების შესაბამისობას თანამედროვე სამშენებლო წარმოების ინდუსტრიულ მეთოდებთან. ამაში იგულისხმება სიმსუბუქე,

მსხვილზომიანობა, ქარხნული წესით დამზადების შესაძლებლობა, მექანიკური დამუშავების შესაძლებლობა, წებვადობა და სხვ.

სანიტარიულ-ჰიგიენურ მოთხოვნებს მიეკუთვნება სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობაში გამოყენებული მასალებისა და ნაკეთობების შეფასების შემდეგი კრიტერიუმები:

- მასალები არ უნდა გამოყოფდეს შენობაში მდგრად სპეციფიკურ სუნს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში; აქროლად ნივთიერებებს და გამორიცხული უნდა იყოს მათი აკუმულაციის შესაძლებლობა;
- მასალისაგან გამოყოფილ ნივთიერებას არ უნდა გააჩნდეს კანცეროგენული, მუტაგენური და ტერატოგენური თვისებები;
- მასალა ხელს არ უნდა უწყობდეს მიმდებარე ჰაერის მასაში მიკროფლორის ზრდას;
- მასალის ზედაპირზე აკუმულირებული ელექტრული მუხტის სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს 200 ვოლტს;
- მასალა არ უნდა აუარესებდეს სათავსის მიკროკლიმატს და არ უნდა ცვლიდეს ადამიანის ფიზიოლოგიურ რეაქციებს;
- მასალის ფერი უნდა შეესაბამებოდეს ფიზიოლოგიურ და ჰიგიენურ მოთხოვნებს.

ეკონომიკური ეფექტურობის მოთხოვნები განსაზღვრავს პოლიმერული მასალების მშენებლობაში გამოყენების მიზანშეწონილობას. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ მსხვილპანელიანი 9-სართულიანი საცხოვრებელი სახლის მშენებლობა გრძელდება 1-2 თვე, ხოლო მისი მოპირკეთების სამუშაოები – 3-6 თვე (ეს იმ დროს, როცა მოპირკეთების სამუშაოების ღირებულება შენობის სახარჯთაღრიცხვო ღირებულების 12-15%-ს შეადგენს) და ამ სამუშაოების შრომატევადობაა 20-25%. პოლიმერული მასალების გამოყენება ზრდის მოპირკეთების სამუშაოების ინდუსტრიულიზაციას და საგრძნობლად ამცირებს მის ღირებულებას. პოლიმერული იატაკების მოწყობის შემთხვევაში მუშის შრომის ნაყოფიერება იზრდება 50-60%.

პოლიმერული მასალები საშუალებას გვაძლევს მივაღწიოთ სხვა უფრო დეფიციტური ნედლეულის საგრძნობ ეკონომიას. ასე, მაგალითად, 1000 მ² პოლიმერული იატაკის შემთხვევაში მიიღწევა 60-70 მ³ დახერხილი ხის მასალის ეკონომია; ყოველი ტონა პლასტმასის სანტექნიკური ნაკეთობები ცვლის 5 ტ თუჯისა და 0,2 ტ ფერად ლითონს. თბოსაიზოლაციო თვისებების მიხედვით 5 სმ სისქის ქაფპოლისტიროლი 50 სმ სისქის აგურის კედლის ეკვივალენტურია.

8.8. პოლიმერულ მასალებთან მუშაობის უსაფრთხოების ტექნიკა

პოლიმერულ მასალებთან მუშაობას უსაფრთხოების წესები ითვალისწინებს ამ მასალების სპეციფიკურობას და რეგლამენტირებულია შესაბამისი ინსტრუქციებით, მითითებებით და ა. შ.

პოლიმერულ ლაქსადებავებთან და ფისებთან მუშაობის დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ:

- გამხსნელად აკრძალულია ბენზოლის გამოყენება;
- არ შეიძლება ისეთი ლაქსადებავების გამოყენება, რომელთა შემადგენლობაში შედის ქლორირებული ნახშირწყალბადები და მეთანოლი; სამუშაოების წარმოებისას პერსონალი აღჭურვილი უნდა იყოს სპეციალური დამცავი საშუალებებით (პირბადე, აირწინალი და სხვ.) და სათავსში მუშაობდეს გამწოვი ვენტილაცია, განსაკუთრებით იმ შემთხვევაში თუ მასალა შეიცავს პოლიურეტანულ ან ეპოქსიდურ ფისებს, ტყვიის შენაერთებს ან არომატულ გამხსნელებს;

– სამუშაოების დამთავრების შემდეგ აუცილებელია შიგა სათავსის ოთხჯერადი სრული განიავება;

რულონურ, ფურცლოვან ან ფილოვან მასალებთან მუშაობის დროს:

– რულონი და ფურცლები უნდა დაიშალოს შენობაში 18-25°C ტემპერატურის დროს, ხოლო სამუშაო ადგილის განათება არ უნდა იყოს 25 ლუქსზე ნაკლები; იმ შენობაში, სადაც ლინოლიუმის შედუღება ხდება მაღალი სიხშირის ელექტროდენით ან ცხელი ჰაერით – არანაკლები 40 ლუქსისა;

– იმ შენობაში, სადაც მიმდინარეობს ლინოლიუმის შედუღება, ყოველ საათში უნდა მოხდეს ჰაერის სამჯერადი შეცვლა-განიავება, ხოლო უშუალოდ შესადუღებელი სამუშაო ადგილი უზრუნველყოფილი უნდა იყოს უწყვეტად მომუშავე გამწოვი სისტემით;

– მაღალი სიხშირის გენერატორების ქვეშ და უშუალოდ მის სიახლოვეს იატაკზე დაფენილი უნდა იყოს რეზინის ხალიჩა.

შესადუღებელ მასტიკებთან მუშაობის დროს:

– აუცილებელია სამუშაოები მიმდინარეობდეს სხვა სამუშაოებისაგან იზოლირებულად შენობაში, რომელიც კარგად ნიაკდება;

– აკრძალულია ორგანული გამხსნელების შემცველი მასტიკების ძლიერ გაცხელება და ცეცხლის ალით სარგებლობა;

– ცივ მასტიკებთან მუშაობისას ხელების დასაცავად რეკომენდებულია დამცველი პასტის, სხვადასხვა საცხის ან რეზინის ხელთათმანების გამოყენება.

უწყვეტი იატაკების მოწყობისას შენობაში, რომელიც ცუდად ნიაკდება, სასუნთქი ორგანოების დასაცავად გამოიყენება ჩვეულებრივი აირწინალი ან მილოვანი აირწინალი.

კატეგორიულად აკრძალულია საკვები პროდუქტების შენახვა, სიგარეტის მოწევა და ღია ცეცხლის გამოყენება იმ შენობაში, სადაც მიმდინარეობს მუშაობა პოლიმერული მასალების გამოყენებით.

პლასტმასების ხანძარსამიშროების საკითხებიც, ანალოგიურად, უსაფრთხოების ტექნიკასთან რეგლამენტირებულია შესაბამისი ინსტრუქციებითა და მითითებებით.

ყველა ტიპის ლაქი, ემალი, საღებავი, მასტიკა, რომლებიც შეიცავენ ორგანულ გამხსნელებს, ადვილად აალებადია, ამიტომ საჭიროა ვიცოდეთ მათგან წარმოქმნილი ხანძრის ჩაქრობის საშუალებები. ესენია: რუსული წარმოების ტეტრაქლორული ცეცხლმაქრი ОП-1 (სურ. 8.37), ОП-2, ОП-3 და ОП-4; ქიმიური ქაფი, აირ-მექანიკური ქაფი, წყლის ორთქლი, გაფრქვეული წყალი, ინერტული გაზები და სხვ.



სურ. 8.37. ცეცხლ-მაქრი მარკით ОП-1

8.10. პოლიმერული კონსტრუქციული და კომპოზიტური მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

პოლიმერული კონსტრუქციული კომპოზიტური მასალები გამოიყენება კომპოზიტურ კონსტრუქციებში შემავსებლად უწყვეტი ბოჭკოს სახით, ძაბვების გადასანაწილებლად, სტრუქტურისა და თვისებების დასარეგულირებლად და სხვ.

კომპოზიტური მასალები (კმ) ჰეტეროფაზური მასალებია (ჰეტერო ნიშნავს სხვას), რომელიც შედგება უწყვეტი ფაზისგან (შემკვრელი, მატრიცა), რომელიც ღებულობს გარე დატვირთვებს და ანაწილებს მას სხვა (განმამტკიცებელ) ფაზაზე (შემავსებელი). ამ ფაზებს შორის ყოველთვის არსებობს ორგანიზებული ხასიათის ურთიერთმოქმედება.

პოლიმერული კომპოზიტური მასალების (კკმ) თვისებათა კომპლექსი განისაზღვრება კომპონენტების თვისებებით (მატრიცა, შემავსებელი), მათი მიკრო და მაკროსტრუქტურით, ფაზების გაყოფის საზღვრით, ამ სტრუქტურების რეაქციით გარე ზემოქმედებებზე. კკმ ჰეტეროფაზური მასალაა, რომელშიც უწყვეტი მატრიცა, ურთიერთქმედებს რა შემავსებელთან (1 მმ³ კკმ-ში, როცა შემავსებლის რაოდენობაა მოცულობის 50%, მატრიცის შემავსებელთან საკონტაქტო ზედაპირი შეადგენს 450-600 მმ²-ს), თავის თავზე ღებულობს გარე დატვირთვებს და ანაწილებს მას შემავსებელზე. მაქსიმალური კონსტრუქციული თვისებები აქვს ისეთ კკმ-ს, რომელშიც შემავსებლად გამოყენებულია ერთმიმართულებიანი უწყვეტი ბოჭკოები, წინასწარ დაგეგმილი ანიზოტროპიით.

ბოჭკოვანი პოლიმერული კომპოზიტური მასალები (ბპკმ) ჰეტეროფაზური კომპოზიტებია, რომელთა სტრუქტურა თანამედროვე გამოთვლითი აპარატის გამოყენებით შესაძლებელია დაექვემდებაროს ოპტიმიზაციას გარე ზემოქმედების ხასიათის მიმართ და დაკონსტრუირდეს ანიზოტროპიული თვისებების საჭირო დონის მოთხოვნების მიხედვით. ბპკმ მრავალფუნქციური დანიშნულების ისეთი მასალებია, რომლებიც შემადგენელი კომპონენტების თვისებებზე დამოკიდებულებით, შესაძლებელია ითავსებდეს რადიოგამჭვირვალობის, ქიმიური მედეგობის, რადიაციული მედეგობის, რადიოტალღების შთანთქმის და სხვა კონსტრუქციულ თვისებებს, ანუ უწყვეტი ბოჭკოებით მიმართული დაარმირება შესაძლებლობას აძლევს მასალას, და შესაბამისად მისგან დამზადებულ კონსტრუქციულ ელემენტს, მიიღოს წინასწარ განსაზღვრული თვისებები ბოჭკოების მიზნობრივად გადანაწილების გზით, რასაც უდიდესი მნიშვნელობა აქვს თანამედროვე კოსმოსური აპარატების კონსტრუქციების დაპროექტების საქმეში.

ბპკმ-ის თვისებები განისაზღვრება არა მარტო მატრიცისა და შემავსებლის ბუნებით, არამედ ამ მასალის სტრუქტურითაც. ბპკმ-ის თვისებების რეგულირება (ოპტიმიზაცია) მიიღწევა შემდეგი გზებით:

- სხვადასხვა ქიმიური ბუნების ბოჭკოებისა და მატრიცის გამოყენებით, რომლებიც განსაზღვრავენ მასალის დრეკად, სიმტკიცის და სხვა თვისებებს კომპონენტების განსხვავებული შემცველობით;
- ოპტიმალური დაარმირებით, როცა კონსტრუქციაში ძაბვების გადანაწილებით მიიღება საჭირო თვისებების კმ. ეს ხდება ანიზოტროპიული სტრუქტურის შექმნით ანუ ბოჭკოებით დაარმირების მიმართულება ემთხვევა მაქსიმალური ძაბვების მიმართულებას, რაც აერთიანებს მოქმედი ძაბვებისა და მასალის წინააღმდეგობის მოქმედ ველებს;
- დაარმირების სქემების ცვალებადობითა (ბოჭკოების გამრუდებით) და სხვადასხვა ტექსტურის შემავსებლის გამოყენებით;
- ნაკეთობის ფორმირების სხვადასხვა ტექნოლოგიური მეთოდების გამოყენებით;
- სხვადასხვა ქიმიური ბუნების ბოჭკოების გამოყენებით და მათი განლაგებით კომპოზიტის ფენებს შორის და ფენებს შიდა სიბრცეში;
- სხვადასხვა ქიმიური ბუნების მასალების შეთავსებით (ფენოვანი, მრავალფენოვანი სუპერჰიბრიდული, მეტალ-პოლიმერული, პოლიმერულ-კერამიკული და სხვა მასალები).

საზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა ტიპის პოლიმერულ მასალებში დაარმირების სქემა დამოკიდებულია კონსტრუქციის (ელემენტის, დეტალის, ნაკეთობის) დატვირთვის სახესა (სატატიკური, დინამიკური, ციკლური, განაწილებული, შეყურსული და ა. შ.) და პირობებზე.

ერთ მასალაში სხვადასხვა ბუნების, ფორმის, ზომის კომპონენტების თავმოყრა, საშუალებას იძლევა დარეგულირდეს მათი შემცველობა, მიღებულ იქნას განუსაზღვრული

ღვრელი რაოდენობის ჰკმ და ფართო მასშტაბით შეიცვალოს მასალის თვისებები. ჰკმ-ის მახასიათებლების ცვალებადობა, ძირითადად, განისაზღვრება თვისებების ზედა და ქვედა მნიშვნელობებით, რომელიც დამახასიათებელია მასალების ძირითადი კლასებისათვის (მეტალი, კერამიკა, პოლიმერი), ასევე, ნივთიერების აგრეგატული მდგომარეობით (აირისებრი, თხევადი, მყარი). ჰკმ-ის მთავარი უპირატესობაა ისეთი მასალის მიღება, რომლის თვისებები მნიშვნელოვნად აჭარბებს საწყისი კომპონენტების თვისებების ზედა და ქვედა საზღვრებს (ცხრ. 8.3).

კონსტრუქციული კომპოზიტური მასალების ტექნოლოგიური, საექსპლუატაციო და მექანიკური თვისებების შესაფასებლად გამოიყენება კრიტერიუმები, რომლებიც საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ მასალების მიზანმიმართული შერჩევა, რომელთა თვისებები უმეტესად სრულად პასუხობს იმ მოთხოვნებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონსტრუქციის მზიდუნარიანობას. პოლიმერული მასალებისა და პროდუქციის ტერმინოლოგიის, გამოცდის მეთოდების, ტექნიკური პირობების სტანდარტიზაციის მიზნით, სამშენებლო სივრცეში გამოიყენება სტანდარტების საერთაშორისო სისტემა ISO (International Standard Organizations).

ცხრილი 8.3

პოლიმერული და პოლიმერული კომპოზიტური მასალების თვისებები და თვისებების ცვლილების დიაპაზონი პოლიმერულიდან პოლემერულ კომპოზიტურ მასალებზე გადასვლისას [120].

№	მახასიათებლები	პოლიმერული მასალები	პოლიმერული კომპოზიტური მასალები
1	სიმკვრივე, კგ/მ ³	800-1800	5-22000
2	სიმტკიცე გაჭიმვაზე, მპა	8-250	0,1-4000
3	დრეკადობის მოდული, გპა	0,1-10	0,01-1000
4	ფარდობითი წაგრძელება, %	0,5-1000	0,1-1000
5	კუთრი მოცულობითი ელექტროწინაღობა, ომ·მ	10 ⁸ -10 ²⁰	10 ⁵ -10 ²⁰
6	თბოგამტარობა, ვტ/მ·K	0,12-2,9	0,02-400
7	ხაზოვანი თბური გაფართოების კოეფიციენტი, 1/°C	(2-30)·10 ⁻⁵	104-5·10 ⁻⁵
8	პუასონის კოეფიციენტი	0,3-0,5	0,1-0,5

ვითვალისწინებთ რა მზარდ ინტერესს კომპოზიტური მასალებისა და კონსტრუქციების მიმართ, ქვემოთ მოცემულია ISO სტანდარტები კომპოზიტური (კმ), პოლიმერული კომპოზიტური (ჰკმ) და ბოჭკოვანი პოლიმერული კომპოზიტური მასალებისთვის (ბჰკმ).

ტექნოლოგიური თვისებები:

1. დენადობის მაჩვენებელი:

ა) ISO 1133. ნადნობის (ნალხობის) ინდექსი, დენადობის მოცულობითი ინდექსი (MVR, the meet volume-flow rate), მლ/10 წმ, სმ³/10 წმ, გამოიყენება MVR 250/5, 265/2, 190/2,16, სადაც მრიცხველში – ტემპერატურა, °C; მნიშვნელში – წნევა, პა.

ბ) ISO 1133. ნადნობის დენადობის მაჩვენებელი (MFR, the melt mass-flow rate), გ/10 წთ; განზომილების ერთეული SI სისტემაში პა⁻¹·წმ⁻¹.

2. სიბლანტის მაჩვენებელი:

ა) ISO 1628, part 1-6. თერმოპლასტიკების ნარევის სიბლანტის განსაზღვრა კაპილარული ვისკოზიმეტრით;

ბ) ISO 1675. თხევადი პოლიმერების (ფისების) სიბლანტის განსაზღვრა პიკნომეტრული მეთოდით. 1 პუაზი (n) = 0,1 პა·წმ.

3. ISO 294, part 1-5. თერმოპლასტიკების წნევით ჩამოსხმის ტექნოლოგიური მაჩვენებლები (injection moulding): ჩამოსხმის ტემპერატურა, ფორმები, შრობის ხანგრძლივობა, შეკლება;

4. ISO 295. რეაქტოპლასტიკების დაწნეხით გადამუშავების ტექნოლოგიური მაჩვენებლები (compression moulding).

5. ISO 8987. ფენოლური ფისების ტექნოლოგიური მაჩვენებლები (B-transformation test plate).

6. ISO 9396. ფენოლური ფისების გელისებრ მდგომარეობაში გადასვლის დროის განსაზღვრა (on the gel time of rezoles).

7. ISO 15040. პრე-პრეგებში შემკვრელის გელისებრ მდგომარეობაში გადასვლის დროის განსაზღვრა. (რუსული სტანდარტია ГОСТ 22 181-76).

8. ISO 11359, part 1,2. თერმომექანიკური ანალიზი (TMA).

9. ISO 11357, part 1,2,3,4. დიფერენციალური მასკანირებელი კალორიმეტრია (DSC)ი

10. ISO 6721, part 1-10. ჰემორეოლოგიური მახასიათებლების განსაზღვრა (Determination of dynamic mechanical properties) ტორსიონული ქანქარის მეთოდით. (ტორსიონული ქანქარის ვარიანტები სხვადასხვა ვიბრატორით: გრეხა, ღუნვა, ძვრა, გაჭიმვა და სხვ.).

საექსპლუატაციო თვისებები:

მექანიკური თვისებები:

- 1) **ISO 527**, part 1 and 2. დაბვა გაგლეჯისას, მრღვევი დაბვა გაჭიმვისას (Tensile strength, Bruchspannung), (σ^+) მპა, ნიმუშები **ISO 3167**, ASTM D 638-ის მიხედვით.
- 2) წაგრძელება გაგლეჯისას, ფარდობითი წაგრძელება გაჭიმვისას (elongation at break, bruchdehnung), (ϵ^+ , %), **ISO 527** (50 მმ/მინ), DIN 53455-ის მიხედვით.
- 3) სიმტკიცე კუმშვაზე (compressive strength, Druckfestigkeit), (σ^-), მპა, ASTM D695, ГОСТ 4651-68-ის მიხედვით.
- 4) სიმტკიცე ძვრაზე (Shear strength, Scherfestigkeit), (τ_{d3}), მპა, ASTM D 732; **ISO 14129**, 14130-ის მიხედვით (ძვრაზე ფენებშორისი სიმტკიცის განსაზღვრა მოკლე კოჭის მეთოდით, by shot-beam method).
- 5) დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას (Tensile modulus, Zug-E-Modul), (E^+), მპა, **ISO 5271-1/2**, ნიმუშები **ISO 3167**-ის მიხედვით, 1მმ/წთ, DIN 53457.
- 6) 3,5 %-იანი დაბვა ღუნვისას მაქსიმალური მოქმედი ძალის დროს (Flexural stress at 3,5% strain at maximum force; 3,5% - Biegespg. / Biegespg. Bei Hochstkraft), მპა, **ISO 178**-ის მიხედვით, ნიმუშები 80x10x4 მმ.
- 7) დრეკადობის მოდული ღუნვისას (Flexural modulus, Biege – E-Modul), (E_{Bi}), მპა, **ISO 178**, σ_{Bi} ASTM D 790-ის მიხედვით.
- 8) დაღლილობის ზღვარი (σ_{XN}), პოლიმერული კომპოზიტიური მასალის (პკმ) დაღლილობის ზღვარი, რომლის დროსაც პკმ უძლებს დატვირთვის ციკლების განსაზღვრულ რაოდენობას ($N \times 10^7$, $2N \times 10^7$):

$$\sigma_{XN} = \sigma_M \cdot V_B \cdot \frac{E_B \cdot \epsilon_{NM}}{E_M \cdot \epsilon_M},$$

სადაც ϵ_{NM} არის მატრიცის ზღვრული დეფორმაცია, რომლის დროსაც მიმდინარეობს პკმ-ის დაღლილობითი რღვევა.

9) რხევის ჩაქრობის ლოგარითმული დეკრემენტი (θ) – კონსტრუქციის მასალის დემპფირული უნარის ზომა, რომელზეც მოქმედებს მაღალი სიხშირის დინამიკური დატვირთვა. განსაზღვრავს პკ და პკმ-ის დაღლილობითი რღვევის მექანიზმს (მექანიკურს ან თბურს).

10) ვიბრომდგრადობა, ($\sigma_N \cdot \theta$) განსაზღვრავს საკუთარ რხევის სიხშირეს და იცვლება ბოჭკოების ორიენტაციის შესაბამისად.

11) მასალის თერმოდატვირთულობა ($E \cdot \alpha$). სხვა ასეთივე შემთხვევებში დეტალების კონტაქტური თერმული დაბვეები განისაზღვრება ხაზოვანი თერმული გაფართოების კოეფიციენტის დონით.

α არის ხაზოვანი თერმული გაფართოების კოეფიციენტი (coefficient of linear thermal expansion between 23 and 80°C, Langenausdehnungskoeffizient zwischen 23 и 80°C), K

¹ DIN 53752-A-ის მიხედვით, ნიმუში 25x4x4 ან ნიმუში 30x10x4 მმ; σ_T -50°-დან 140°C-მდე – ASTM D 906-ის მიხედვით; გასწვრივ – ASTM-ის, განივად – **ISO E831**; ГОСТ 15173-70-ის მიხედვით.

12) დენადობის ზღვარი (yield stress), (σ_T) მპა; დენადობის ზღვრის შესაბამისი წაგრძელება (elongation at yield), %, DIN 53455, ISO 527-ის მიხედვით, (ϵ_T).

13) ცოცვადობის მოდული (tensile creep modulus), DIN 53444, **ISO 899**-ს მიხედვით.

14) ძვრის მოდული (G) (shear modulus by the plate twist method), მპა, **ISO 15310**-ის მიხედვით. 15) პმ და პკმ-ის სიმაგრე.

ა) სიმაგრე როკველის მიხედვით (იშვიათად გამოიყენება სიმაგრის მნიშვნელობა შორის მიხედვით DIN 53505), შკალა M, R, **ISO 02039/2**-ის მიხედვით, Rockwell hardness (skale M), Rockwell Harte (skale M) ASTM D 785-ის მიხედვით.

ბ) სიმაგრე ბურთულის ჩაწნევით Ball-ის მეთოდით (გამოცდის ძალა 358 ნ), ნ/მმ², მნიშვნელობა 30 წმ-ის შემდეგ **ISO 02039-1:2001**-ის მიხედვით მნა-ში, ნიმუში 50x15x4 მმ. (რუსული სტანდარტით ГОСТ 4670-67).

გ) ISO 14577. სიმაგრე ბურთულის ჩაწნევით ბრინელის მეთოდით (Metallic Materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 1: Test method).

16) ცვეთა ტაბერის მიხედვით (Taber abrasion, abried nach Taber), მგ/1000 მოცულობის. ASTM D 1044-ის მიხედვით.

17) ISO 6603, часть 2. მუშაობა დაზიანების. χ , დეფორმაცია, მმ, გამოცდა გამოწრთობაზე (გავარჯერებაზე), ნიმუში 60x60x3 მმ მაჩვენებლის ელექტრონული რეგისტრაციით.

პკ და პკმ-ის შერჩევის საწყის ეტაპზე კონსტრუქციული მიზნებისათვის მთავარი პარამეტრებია სიმტკიცე, დრეკადობის მოდული, კუთრი სიმტკიცე (σ/ρ) და კუთრი დრეკადობის მოდული (E/ρ).

სიმკვრივე (density, dichte), (ρ), გ/სმ³, განისაზღვრება პიკნომეტრული მეთოდით, ISO 1183-3:1999, ASTM D 792-ის მიხედვით, ნიმუში 10x10x4 მმ, DIN 53497.

პკ და პკმ-ის საექსპლუატაციო თვისებებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს წყლის ადსორბცია.

წყალშთანთქმა 24 სთ-ის შემდეგ (23°C – გაჯერებული), water absorption after 24 h (immersion at 23°C); Wasseraufnahme nach 24h (lagerung bei 23°C), % განისაზღვრება ISO 62-ის მიხედვით.

წყალშთანთქმა (Moisture absorption (23°C, 50% R.H.) saturation; Feuchtigkeitsaufnahme (23°C, 50% R.F.) Sattigung), % განისაზღვრება ASTM D570-ის მიხედვით.

ბზარმედეგობა

1. ხარისხობრივი კრიტერიუმები – კუთრი დარტყმითი სიბლანტე.

ა) იზოდის მიხედვით ჩანაჭერის გარეშე (Izod impact strength, schlagzahigkeit nach Izod), ჯ/მ ISO 180/1U; 180:2000-ის მიხედვით;

ბ) იზოდის მიხედვით ჩანაჭერით (Izod notched impact strength, Kerbschlagzahigkeit nach Izod), ჯ/მ , ISO 180/1A, ASTM D 256-ის მიხედვით;

გ) შარპის მიხედვით ჩანაჭერის გარეშე (Charpy impact strength, schlagzahigkeit nach Charpy), კჯ/მ^2 , ISO 179/1eU; DIN 53453-ის მიხედვით;

დ) შარპის მიხედვით ჩანაჭერით (Charpy notched impact strength, Kerbschlagzahigkeit nach Charpy), კჯ/მ^2 , ISO 179/1eA-ის მიხედვით; ა, ბ, გ, დ – ნიმუშები $80 \times 10 \times 4$ მმ, a_K -ს განსაზღვრა, როცა ტემპერატურაა 23°C და -30°C ;

ე) სიბლანტე დარტყმითი გაჭიმვისას (tensile impact strength, schlagzugzahigkeit), მჯ/მ^2 , ASTM D 1822, ISO 974:2000-ის მიხედვით.

2. დარტყმითი სიბლანტის, ბზარმედეგობის, მატრიცის რღვევის ანალიზისა და ჰკმ-ისათვის გამოიყენება რღვევის ხაზოვანი დრეკადი მექანიკის კონცეფცია (ხდმკ).

ხდმკ-ის მიხედვით ბზარმედეგობის კრიტერიუმების განსაზღვრა ხდება ISO 13586 (Determination of fracture toughness G_{Ic} , K_{Ic}) და ISO 15024 (ერთმიმართულეზიანი ჰკმ-ისათვის განისაზღვრება G_{Ic} და ინტეგრალი P_{aIc} , mode I). (კრიტერიუმებისათვის მხედველობაში მიიღება ბზარების გაჭიმვა ნაწიბურს იქით, ბზარის კიდეების წინსვლითი ძვრა ბზარის სიბრტყეში, ბზარის კიდეების წინსვლითი ძვრა ანტისიბრტყეში, რაც საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ მაქსიმალური დატვირთვების გაანგარიშება, რომელსაც უძლებს მოცემული კონსტრუქცია დეფექტებისა და ბზარების მხედველობაში მიღებით.

პრაქტიკული მიზნებისათვის გამოიყენება ბზარმედეგობის მაჩვენებელი, რომელიც ახასიათებს ჰკ და ჰკმ-ის ნარჩენ სიმტკიცეს კუმშვისას დარტყმითი დატვირთვის შემდეგ (CAI – compression after impact) ენერგიით 3,3; 4,5; 6,7; 9,0 კჯ/მ ($CAI_{3,3}$, $CAI_{4,5}$, $CAI_{6,7}$, CAI_9 , - ბოინგის ფირმის სტანდარტი 7260, აშშ) და 265ჯ/მ^2 (ბოინგისა და ნორტრონის ფირმის სტანდარტი, აშშ).

თბომედეგობა

თბომედეგობა – ჰკ, ჰკმ, ბჰკმ-ის დეფორმაციული მდგრადობა გახურებისას ხასიათდება ტემპერატურებითა და დატვირთვებით, რომლის დროსაც პოლიმერი ჰმ-ში გადადის ელასტიკურ მდგომარეობაში (გამინების ტემპერატურა $T_{გამ}$, დნობის ტემპერატურა $T_{დნ}$, ტემპერატურა თბომედეგობის, HDT, VST/B), კარგავს რა დეფორმაციულ მდგრადობას დრეკადობის მოდულის რამდენიმე რიგით შემცირების გამო.

თბომედეგობის კრიტერიუმები:

1. დეფორმაციული თბომედეგობა (HDT) (ცხრ. 8.4):

ცხრილი 8.4

კრიტერიუმი	დატვირთვა, მკა	კრიტერიუმის აღნიშვნა	
		აშშ, გფრ	რუსეთი
ა) Heat deflection temperature, HDT, °C	1,8	HDT/A	T _{18,5}
DIN 53461, ISO 75-1:1993 Part 1; -2:1993	0,45	HDT/B	T _{4,6}
Part 2; -3:1993, Part 3 ASTM D648	8,0	HDT/C	–
ნაწილი 1 и 2, ნიმუში 30x10x4 მმ, თბომდეგობა ღუნვისას GOCT 12021-75 (T _{18,5} ; T _{4,6} ; T ₅₀)	5,0	–	T ₅₀
ბ) Vicat softening point, თბომდეგობა ვიკის მიხედვით, °C, ISO 306:1994, GOCT 15065-69, ნიმუში 10x10x4 მმ,	50H	VST/B/5	T _B
გ) თბომდეგობა მარტენსის მიხედვით, T°C	–	–	T _M

2) ხურებამდეგობის კლასები (ფრჩხილებში მოცემულია კლასის შესაბამისი სამუშაო ტემპერატურა): Y(90), A(105), E(120), B(130), F(155), H(180), C(>180);

ხურებამდეგობის კლასების კორელაცია ხდება ტემპერატურული ინდექსით, ტემპერატურით, რომლის დროსაც მასალის სამსახურის ვადა ტოლია 2000 სთ (რუსული სტანდარტის GOCT 10519-76-ის მიხედვით);

3) ტემპერატურული ინდექსი. პოლიმერული ნაკეთობის ექსპლუატაციისას ადგილი აქვს თვისებების შექცევად და შეუქცევად ცვალებადობას, რომელსაც განსაზღვრავს პოლიმერის თბო- და თერმომდეგობა. ამ კრიტერიუმის გამოყენება შემოთავაზებული იყო Underwriters Laboratories (UL)-ის მიერ, რომელიც ითვლება საექსპლუატაციო თბომდეგობის შეფასების წამყვან ორგანიზაციად.

ტემპერატურული ინდექსი UL-RTI, UL 746B-ის მიხედვით — თვისებების 50%-ით შენარჩუნების ტემპერატურა (a_k , \square_{Bi} и dp) 100 000 საათის განმავლობაში (დაახლოებით 11,5 წელი). ტემპერატურული ინდექსი TI, IEC (VDE 0304)-ის მიხედვით — თვისებების 50%-ით შენარჩუნების ტემპერატურა \square_{Bi} 20 000 საათის შემდეგ (TI ანალოგიურია ASTM D 038-ის მოთხოვნების). ასეთივე მოთხოვნები გამოყენებულია სტანდარტში CSA (Canadian Standarts Assosiation) და GOCT 10519-76-ში.

შემაჯსებელი მნიშვნელოვნად ამადლებს პოლიმერის დეფორმაციულ თბომდეგობას. მაგალითად, შეუვსებელ პოლიეთერეთერკეტონსა და პოლიამიდს PA 46 აქვთ HDT/A 160°C, ხოლო ნახშირბადის ბოჭკოებით 30%-ით შევსებულს, შესაბამისად, 310°C и 280°C.

დამატებით უნდა აღინიშნოს, რომ დეფორმაციული თბომდეგობის მაჩვენებლები შესაძლებელია განისაზღვროს სხვა სტანდარტებითაც:

1. ISO 6721, Part 1-10. თავისუფალი გრეხითი რხევების მეთოდი;
2. ISO 11359, Part 2. თერმომექანიკური ანალიზის მეთოდი, TMA (thermomechanical analysis).

8.11. ინტელექტუალური პოლიმერული კომპოზიტური მასალები (იპკმ)

მშენებლობაში, მრეწველობასა და ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში ყველანაირი პროგრესი დაკავშირებულია მეცნიერებატევადი ტექნოლოგიების გამოყენებასთან. კონსტრუქციულ და სპეციალურ მასალებზე მოთხოვნამ, რომლებიც სრულად პასუხობენ თანამედროვე ტექნიკურ მოთხოვნებს, განაპირობა პოლიმერული, კომპოზიტურ პოლიმერული, ბოჭკოვანი კომპოზიტურ პოლიმერული კონსტრუქციული მასალების მეცნიერული კვლევა, დამუშავება და ფართო გამოყენება.

პოლიმერული სტრუქტურების იპტიმიზაციის საკითხების გადაწყვეტისას კომპოზიტურ მასალებს ენიჭება ინტელექტუალობის განსაზღვრული დონე, მართალია მასალის პასიური, მაგრამ ეფექტური რეაქციისა გარე ზემოქმედებებისადმი, რაც გამოიხატება ენერჯის დისიპაციაში ბოჭკოების რღვევისას, ბლანტ-დრეკადი რეაგირება და რხევების ჩაქრობა ვიბრაციული დატვირთვებისას (მათ შორის კერამიკული შემავსებლისას), ბზარების ზრდის შეჩერება და სხვ.

მასალის ინტელექტუალიზაცია მიმართულია კონსტრუქციული კომპოზიტის თვისებების სტაბილურობისაკენ კომპონენტების მოდიფიკაციის ხარჯზე, გამოიყენებს რა მიკრო და ნანოტექნოლოგიის მიღწევებს, მას საშუალება აქვს გადაიყვანოს კმ თვითდიანოსტიკისა და ადაპტირების მდგომარეობაში გარე დატვირთვების მიმართ და აამაღლოს სამშენებლო კონსტრუქციის, დეტალის, ელემენტის საიმედოობა და ხანგამძლეობა, მათ შორის სპეციალური დანიშნულების ნაკეთობებისაგ.

კონსტრუქციული და სპეციალური დანიშნულების ინტელექტუალური მასალების საფუძველია ბოჭკოებით ოპტიმალურად დაარმირებულ კომპოზიტებს, პლასტიკებს, ცალკეულ ნაკეთობებს მისცეს დაგეგმილი, წინასწარ განსაზღვრული ანიზოტროპიული თვისებები დამზადების ტექნოლოგიური პროცესის სრული დაცვით. კმ-ის, პკმ-ის, ბპკმ-ის „ინტელექტუალური“ დონის განსაზღვრისათვის გადამწყვეტია მასალათმცოდნის, ტექნოლოგის და კონსტრუქტორის ინტელექტი. ოპტიმალურად დაარმირებული კონსტრუქციული კომპოზიტი ადეკვატურად რეაგირებს გარე ფაქტორებზე განსაზღვრული ღრობით და უზრუნველყოფს ნაკეთობის ხანგრძლივ ამტანუნარიანობას.

„ინტელექტუალური“ მასალებს ახალი დატვირთვების ადეკვატურად შეუძლიათ შეიცალონ თვისობრივი მახასიათებლები, ფორმა და დამოუკიდებლად არეგულირონ თავისი რეაქციის ხარისხი ახალი სამუშაო პირობების შესაბამისად.

თანამედროვე „ინტელექტუალური“ მასალების ტექნოლოგია დაფუძნებულია მათ სტრუქტურაში ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდების ჩანერგვაზე, რომლებიც ფორმირებისას აკონტროლებენ ტანში მიმდინარე პროცესებს და შემდეგ, ექსპლუა-

ტაციის პერიოდშიც, აფიქსირებენ ნაკეთობის მდგომარეობას და ადეკვატურად რეაგირებენ გარემო პირობების ცვალებადობაზე.

ასეთი გადამწოდები საშუალებას იძლევა დროის რელურ რეჟიმში მივიღოთ ინფორმაცია მასალის მდგომარეობის შესახებ, საწყის ეტაპზე აღმოვაჩინოთ სტრუქტურის ცვლილება და მივიღოთ სათანადო ზომები კონსტრუქციაში შეუქცევადი დეფორმაციებისა და პროცესების სალიკვიდაციოდ.

გარდა ბოჭკოვან-ოპტიკური გადამწოდებისა, „ინტელექტუალურ“ კომპოზიტებში მიმართავენ 1 მკმ ზომის მაგნიტური, ელექტრორეოლოგიური სითხით ავსებული კაფსულების, ლითონისა და კერამიკის „ჭკვიანი“ ბოჭკოების, აქტივატორების და სხვ. ჩანერგვას.

მიკრო და ნანოტექნოლოგიების (მიკროსენსორები, მაკროსენსორები, პროცესორები, აქტივატორები და სხვ.) გამოყენებამ საშუალება მისცა კონსტრუქტორ-ტექნოლოგებს, შეექმნათ უნიკალური თვისებების, მაღალი საიმედოობის კომპოზიტური მასალები, რომლისგან დამზადებული კონსტრუქციები წარმატებით გამოიყენება თანამედროვე ავიაკოსმოსურ ტექნიკაში, გემთმშენებლობაში, მანქანათმშენებლობასა და სამშენებლო საქმეში.

8.12. სამშენებლო მასტიკები

8.12.1. საერთო ცნობები

სამშენებლო მასტიკა წარმოადგენს საგოზავს, სხვადასხვა ნივთიერების ნარევს ელემენტების დასაწებებლად, დასაცემენტებლად, ბზარების შესავსებად. იგი უზრუნველყოფს დაფარული ზედაპირის, ნაკერებისა და შეერთებების წყალუქონალობას, გამრობის შედეგად ინარჩუნებს მოქნილობას (ელასტიკურობას). მასტიკის გამყარება მიმდინარეობს გამხსნელის აორთქლებით ან შერეული ნივთიერებების ქიმიური რეაქციით. მისი დამზადებისათვის გამოყენებული მასალებია: ცარცი, კირი, თაბაშირი, ქვიშა, მინა, ფერფლი, მურდასანგი, თეთრა, სურინჯი, გოგირდი, ცილა, თიხა, სახამებელი, ცვილი, რეზინის გრანულების, პოლიმერები და სხვ. იგი ძირითადად მზადდება ზეთზე (საფანჯრე, სურინჯის და თუთიის საგოზავები) ფისებთან და გუმფისთან, კაუჩუკთან, კაზეინთან, წებოსთან, ხსნად მინასთან და წყალთან ერთად.

მასტიკა ინარჩუნებს ზედაპირის გარე სახეს და ახანგრძლივებს ექსპლუატაციის ვადას. გამოიყენება სამშენებლო, მოსაპირკეთებელი, სარემონტო, ტევადობების ამოსაგები სამუშაოების შესასრულებლად, ლითონების კოროზიისაფან დასაცავად, სამშენებლო კონსტრუქციებში ბზარების, ნაპრალების, ნახეთქების ჰერმეტიზაციისათვის და სხვ.

8.12.2. ბიტუმის მასტიკები

ბიტუმის მასტიკა ბიტუმის საფუძველზე მომზადებული პლასტიკური მასალაა, რომელიც გამოიყენება სამშენებლო, სარემონტო, მოსაპირკეთებელი სამუშაოების შესასრულებლად, სახურავის ჰიდროსაიზოლაციო ბურულის, საგზაო საფარის, საძირკვლების ჰიდრო და ორთქლიზალაციის, სართულშუა გადახურვების, საცურაო აუზების მოსაწყობად. გამოირჩევა მაღალი ადჰეზიური თვისებებითა და მედეგობით ულტრაიისფერი სხივების ზემოქმედებისადმი.

თანამედროვე სამშენებლო საქმეში ბიტუმის მასტიკა ბაზრის სეგმენტის ერთ-ერთი მასალატევადი, პოპულარული ნაწილია და კონკურენციას უწევს ცემენტისა და პოლიმერების საფუძველზე დამზადებულ მასალებს. შესანიშნავად მუშაობს დინამიკური დატვირთვების სიტუაციებში (ჰიდროსაიზოლაციო ნაკერების კუმშვა-გაფართოება ტემპერატურის ცვალებადობის დროს).

ბიტუმის მასტიკის გარდა, სამშენებლო ბაზარი დატვირთულია სხვადასხვა პრაიმერებით, საფითხნებით, ჰერმეტიკებით და მისთ., რაც იწვევს მომხმარებლის დაბნეულობას საჭირო მასალის შერჩევასა და ხშირად უწევს გაუცნობიერებული გადაწყვეტილებების მიღება, ამიტომ მნიშვნელოვანია მშენებელი კარგად ერკვეოდეს ამ მასალების თვისებებსა და გამოყენების სფეროებში.

ბურულებისათვის გამოყენებული მასტიკა პლასტიკური ჰიდროსაიზოლაციო მასალაა, რომელიც იწარმოება სინთეზური და ორგანული ნაერთების საფუძველზე დანამატებით, ანუ იგი მოდიფიცირებულია ქიმიური საშუალებებით და კარგად იტანს სიციხესა და ყინვას. გასულ წლებში დაშვებული იყო ჰიდროსაიზოლაციო მასტიკები დატანილი ყოფილიყო დაჟანგულ და ტენიან ზედაპირებზე, ხოლო თანამედროვე მაღალხარისხიანი მასტიკები გამოიყენება მხოლოდ მშრალ ზედაპირებზე, რადგან სრავად შრებიან და შეიცავენ მაარმირებელ ბოჭკოებს, თანაც კომპენსაციას უკეთებენ ძლიერ რხევებს.

სამშენებლო ბაზარზე წარმოდგენილი მასტიკები შედგენილობის მიხედვით შეიძლება დაიყოს შემდეგ სახეებად:

- საწყისი მასალის მიხედვით – ბიტუმის, ბიტუმ-რეზინის, ბიტუმ-ემულსიური, ბიტუმ-პოლიმერული;
- გამზავებლის მიხედვით – წყლის, ორგანული გამხსნელის, თხევადი ორგანული ნივთიერების;
- გამყარების ხასიათის მიხედვით – გამყარებადი, გაუმყარებელი;
- დანიშნულების მიხედვით – რულონური ბურულის გასაწყობი, ჰიდროსაიზოლაციო;
- ზედაპირზე დატანის მიხედვით – ცხელი (ან წინასწარ გაცხელებული) დატანის და ცივი დატანის, რომელიც გაცხელებას არ საჭიროებს მასში არსებული აქროლადი (მფრინავი) ემულსიური მინარევების გამო. ასეთ შემადგე-

ნლობებში გამოიყენება მაზუთი, ნავთობის ზეთი, ნავთი, ბენზინი, ლიგროინი და სხვ.

ეს ინფორმაცია სასარგებლოა არა მარტო სპეციალისტების, არამედ რიგითი მოქალაქეებისთვისაც, რომლებიც თავისი ხელით აპირებენ საკუთარი საცხოვრებელი სახლის სახურავის ბურულის რემონტს.

ცხელი მასტიკა გამოიყენება ბიტუმის ან კუპრის საფუძველზე დამზადებული საბურულე მასალებისა და მრავალფენიანი საბურულე ხალიჩის დასაწებებლად, ამიტომ მათ მოეთხოვებათ ერთგვაროვნება და სიმყარე ნორმალური ტემპერატურის დიაპაზონში. გარდა ამისა, 100°C ტემპერატურაზე მან უნდა შეინარჩუნოს ერთგვაროვნება და არ უნდა აქაფდეს, ხოლო მონტაჟის დროს 160-180°C ტემპერატურაზე თავისუფლად გაიშალოს ზედაპირზე (სურ. 8.38) და შექმნას ფენა სისქით 2 მმ.

ცხელ მასტიკას სახურავის ვერტიკალურ ელემენტებზე არ ასხამენ (გამყარებამდე ჩამოედინება ქვევით და თავის დანიშნულებას ვერ შეასრულებს), ამიტომ ასეთ უბნებზე გამოიყენება ბიტუმის პასტაზე და თხევად შემკვრელზე დამზადებული ცივი მასტიკები (ასფალტის მასტიკებისთვის ესაა წყალი, საბურულე მასტიკებისათვის – ზეთი, ლიგროინი ან ნავთი).



სურ. 8.38. ცხელი მასტიკის ზედაპირზე დატანა საგორავით



სურ. 8.39. ცივი მასტიკის ზედაპირზე დატანა საგორავით

ცივი მასტიკები (სურ. 8.39) იყოფა ფიზიკური და ქიმიური გამყარების პროდუქტებად. პირველ შემთხვევაში პროცესი მიმდინარეობს წყლის ან შემკვრელის აორთქლების ხარჯზე, მეორეში – შიდა ქიმიური რეაქციებით (შეიცნობა მკვეთრი სუნით).

წყალზე და გამხსნელებზე დამზადებული ცივი მასტიკები მომხმარებელს მიეწოდება მზა სახით და განსაკუთრებით ძვირად ფასობს ჰიდროსაიზოლაციო სამუშაოების შესასრულებლად, ასევე უარყოფითი ტემპერატურის პირობებში. თუმცა აქვე ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ უარყოფითი ტემპერატურა იწვევს მასტიკის გადასვლას ბლანტ მდგომარეობაში, რაც ართულებს მის დატანას ზედაპირზე. ხარისხს

აუარესებს ისიც, რომ უარყოფით ტემპერატურაზე შედაპირზე ჩნდება თვალით უხილავი ყინულის შრე და უარესდება მასტიკის ადჰეზია შედაპირთან. ერთდროულად იზრდება მასტიკის გამრობის დროც.

ცხელი მასტიკებისგან განსხვავებით, ცივი მასტიკის ფენის სისქეა 1 მმ. იგი ეკოლოგიურად შედარებით სუფთა მასაა, ამიტომ დასაშვებია მისი გამოყენება ინტერიერის სამუშაოებშიც.

ცხელი და ცივი ბიტუმის მასტიკების ზოგიერთი ძირითადი ფიზიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 8.5-ში.

მასტიკის ხარისხი დამოკიდებულია შედგენილობაზე. როგორც წესი, მის შედგენილობაში ბიტუმის გარდა შედის: ფისები, მინერალური ზეთი, პარაფინი, კარბოიდები (კარბოიდი – ნახშირწყალბადების შემჭიდროებითა და პოლიმერიზაციით მიღებული პროდუქტი ზეთებისა და საწვავის თერმული დაშლის პროცესში) ან ასფალტოგენური მჟავები.

დღევანდელ სამშენებლო სივრცეში ყველაზე პოპულარული მასტიკებია: ბიტუმ-კაუჩუკის, ელასტიკური ბიტუმ-კაუჩუკის, ბიტუმ-პოლიმერის, ბიტუმ-ალუმინის.

ბიტუმის ნაერთი ფისთან ბიტუმის მასტიკის ტიქსოტროპული (იხ. [5]) ნარევი, რომელსაც გააჩნია შესანიშნავი ანტიკოროზიული თვისებები, ასევე ნარევი პრაქტიკულად არ ჩნდება მარცვლოვანი (ღორღისებრი) წარმონაქმნები, რაც აადვილებს მასტიკით დაფარული შედაპირის თანაბრობას და შესრულებულ სამუშაოს აძლევს კარგ ესთეტიკურ გამომსახველობას. გარდა ამისა, მნიშვნელოვანია ისიც, რომ ტიქსოტროპული თვისებებით აღჭურვილი მასტიკა არ ჩამოედინება ვერტიკალური შედაპირებიდან, ამიტომ ხშირად მას იყენებენ ბურულის პრობლემური და არათანაბარი ადგილების დასაფარავად (პარაპეტთან, სავენტილაციო არხის ამოსასვლელთან, ლიფტის შახტებთან და მისთ.). ასეთ მასტიკას უნარი აქვთ გარედან ჩაურევლად შეავსოს (შეკრას) 5 მმ-მდე სისქის ბზარები და „გააცოცხლოს“ სახურავი.

ცხრილი 8.5

ბიტუმის მასტიკების ფიზიკური მახასიათებლები

მახასიათებლები	ბიტუმის მასტიკები					
	ცივი მასტიკა გამხსნელზე		ცივი მასტიკა წყალზე		ცხელი მასტიკა	ბიტუმი
	ბურული	საძირკველი	ბურული	საძირკველი	ბურული	საძირკველი
ფენის სისქე, მმ	1	0,5-1,0	1	0,5-1,0	2	1
ხარჯი ერთ ფენაზე, კგ/მ ²	1,0-2,0	1,0-1,5	1,5	1,0-1,5	2,0-2,5	1
გამრობის დრო +20°C-ზე,	24		5		4	

ტენიანობა 50%			
ტემპერატურა, °C	-10...+40	+5...+40	-10...+40
საფუძვლის ტენიანობა არაუმეტეს, %	4	8	4

თანამედროვე მშენებლობაში პოპულარობას იძენს ბიტუმ-კაუჩუკის მასტიკა, რომელიც მომხმარებელს მიეწოდება სქელი საგოზავის სახით ბალონებში (სურ. 8.40). იგი არ შეიცავს გამხსნელს და ამიტომ უფრო მოსახერხებელია სამუშაოების წარმოებისას. ძირითადად გამოიყენება სარდაფების მიძიმე ჰიდროსაინჟოლაციოდ (ევროპული კლასიფიკაციით) და გარაჟების მოსაწყობად, სადაც საჭიროება მოითხოვს შედარებით მსუბუქ ჰიდროინჟოლაციას. კაუჩუკის შემცველობა ზედაპირს აძლევს ელასტიკურობას და შესაბამისად ადვილად ხდება ზედაპირის მოძრაობის კომპენსაცია (5 მმ-მდე)



სურ. 8.40. ბიტუმ-კაუჩუკის მასტიკა

ბიტუმ-პოლიმერულ მასტიკას (სურ. 8.41) სხვანაირად „ცოცხალ რეზინასაც“ ეძახიან, რაც, ჩვენი აზრით, მცდარი სახელია, რადგან ამ მასალას აქვს აბსულუტურად სხვა შემადგენლობა (არც რეზინი და არც კაუჩუკი მასში არ შედის). გამოყენების ძირითადი სფეროა – ნაკერები, პირაპირები, ღრეჩოები, ბზარები, ნახეთქები და მისთ. ეს მასტიკა გამოირჩევა ელასტიკური თვისებებით და შესანიშნავად მუშაობს გაჭიმვაზე, რაც ნათლად ფიქსირდება გამყარებამდე (ნელდ მდგომარეობაში).



სურ. 8.41. ბიტუმ-პოლიმერული მასტიკა

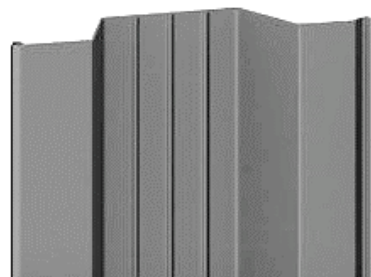
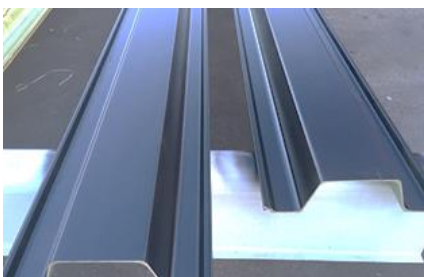
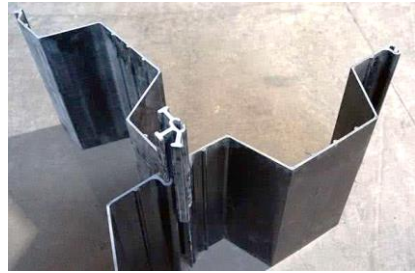
სამშენებლო ბაზრის სიახლეა ბიტუმ-ალუმინის მასტიკა, რომელიც წარმოადგენს კაუჩუკის ემულსიას, შევსებულს ალუმინის ფხვნილით (პიგმენტით). გამოირჩევა ულტრაიისფერი სხივების არეკვლის უნარით, რის გამოც ამ მავნე გამოსხივებისგან იცავს თვით მასტიკასა და იმ მასალასაც, რომელზედაც იგია დატანილი. ფართოდ გამოიყენება ფოლადის კონსტრუქციების ანტიკოროზიულ საფარვლად. ხარჯი შეადგენს 0,4-0,7 კგ/მ².

8.13. პოლიმერულ-კომპოზიტური მჭუნტური ხიმინჯები

პოლიმერულ-კომპოზიტური მჭუნტური ხიმინჯი (პროფილი) პულტრუზიის გზით მიღებული კონსტრუქციული დანიშნულების ნაკეთობაა სხვადასხვა ფორმის განივი კვეთით (სურ. 8.42). ელემენტების ერთმანეთთან შესაერთებლად მიმართავენ კლიტით შეერთებას, რაც რაციონალური გადაწყვეტაა გრუნტის დაწოლისგან აღძრული გვერდითი დატვირთვების მისაღებად. მასალის დასამზადებლად გამოიყენება მარმირებელი შემავსებელი (მინაბოქო, ბაზალტბოქო ან ნახშირბადბოქო) და პოლიმერული მატრიცა სინთეზური ფისების საფუძველზე (პოლიურეთანი, ეპოქსიდი, პოლიეთერი, ფენოლფორმალდეჰიდი და სხვ.). თვით ნაკეთობა მზადდება პრაქტიკული თვალსაზრისით მეტად ეფექტური და მაღალტექნოლოგიური მაღალი წნევის ინექციური პულტრუზიის მეთოდით.

გამოყენების სფერო:

- ფილტრაციასაწინაღო ფარდის მოწყობა ნებისმიერ გრუნტულ პირობებში (სურ. 8.43);
- პოლიგონის პერიმეტრის დაცვა ნებისმიერი სახის (ჩვეულებრივი, სამრეწველო, საყოფაცხოვრებო, ტოქსიკური, ფარმაცევტული და სხვ.) ნარჩენებისგან;
- წყალსატევების ნაპირგამაგრება (სურ. 8.44);
- ნაკადის (ჭავლის) მიმმართველი ჯებირები;
- წყალდიდობის საწინააღმდეგო დამცავი ნაგებობები;
- პირსების, გემთმისადგომების, ხელოვნური არხების, ტბორების, საგუბრებისა და მისთ. სანაპირო ზოლების დამცავი კედლების მშენებლობა (სურ. 8.45);
- გრუნტის წყლების დინების გადაღობვა ან მიმართულების შეცვლა;
- მიწის ქვაბულის კედლების გამაგრება და დაცვა წყლების მოდინებისაგან;
- ხელოვნური არხის, ტბორის, საგუბრის სანაპირო ზოლების დამცავი კედლების მშენებლობა.

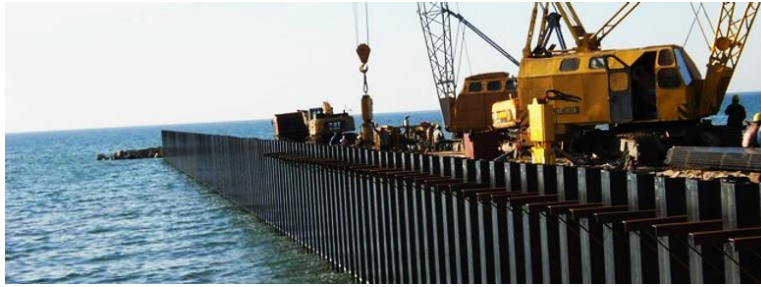




სურ. 8.43. ფილტრაციასაწინაღო ფარდის მოწყობა

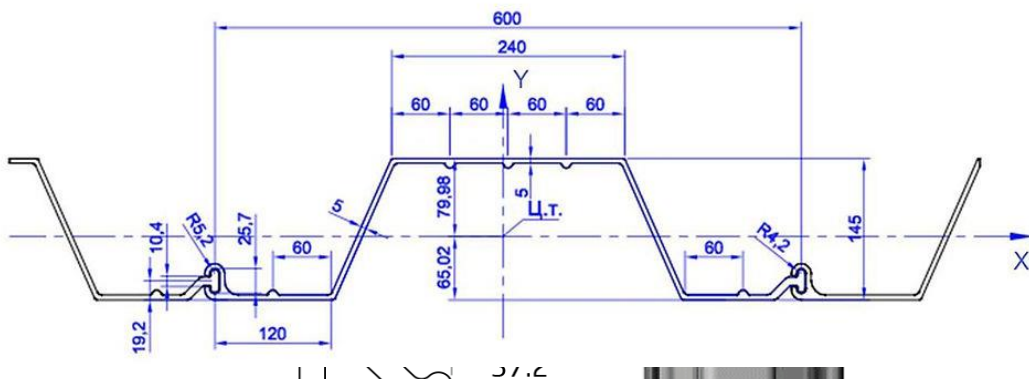


სურ. 8.44. წყალსატევეების ნაპირგამაგრება მპუნტებით



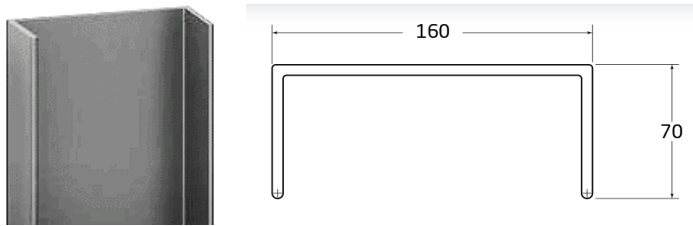
სურ. 8.45. წყალსატევების ნაპირგამაგრება შპუნტებით

კომპოზიციური შპუნტური ხიმინჯების დამზადების ტექნოლოგია შესაძლებლობას იძლევა დამზადდეს პროექტით გათვალისწინებული სიგრძის ხიმინჯები. მისი სიგრძე დამოკიდებულია მხოლოდ ტრანსპორტირების შესაძლებლობაზე და, როგორც წესი, მიიღება 22 მ-მდე. სურ. 8.46-ზე ნაჩვენებია ერთ-ერთი რუსული ფირმის (“Перспектива”) მიერ წარმოებული ხიმინჯის განივკვეთის გეომეტრიული ზომები. სისტემის დასამონტაჟებლად ასევე საჭიროა დამატებითი სამონტაჟო დეტალები, კერძოდ, კუთხური მართებელი (სურ. 8.47) და საქუდე კოჭი (სათავე) (სურ. 8.48).



სურ. 8.46. პოლიმერულ-კომპოზიციური შპუნტის განივკვეთი (ფირმა “Перспектива”, რუსეთის ფედერაცია)

სურ. 8.47. შპუნტების სამონტაჟო ელემენტი – კუთხური მართებელი



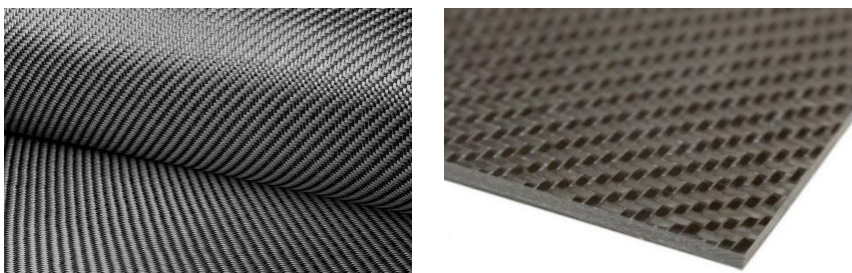
სურ. 8.48. მპუნტების სამონტაჟო ელემენტი – საქულე კოჭი (სათავე)

კომპოზიტური მპუნტური ხიმინჯების ძირითადი უპირატესობა ფოლადის ხიმინჯებთან მიმართებით ისაა, რომ იძლევა ღირებულების ეკონომიას 20%-ით, ექსპლუატაცია შესაძლებელია $+60^{\circ}\text{C}$ -დან -60°C ტემპერატურის ზღვრებში, კონსტრუქციების მონტაჟს არ სჭირდება მძიმე სამშენებლო ტექნიკა, სამსახურის ვადა მეტია 50 წელზე, მედეგია კოროზიის მიმართ, აქვს უნიკალური ჩამკეტი (წყალგაუმტარი) სისტემა, ეკოლოგიურად უსაფრთხოა, დაახლოებით ოთხჯერ მსუბუქია, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს სატრანსპორტო ხარჯებს და სხვ.

აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ასეთი ხიმინჯების ჩასობა გრუნტში მიზანშეუწონელია, რადგან მასალის სიმტკიცის მახასიათებლები არ იძლევა უსაფრთხოების სრულ გარანტიას.

8.14. ნახშირბადპლასტიკი

ნახშირბადპლასტიკი (კარბონი, ნახშირბადპლასტი) კომპოზიტური მრავალფენიანი მასალაა, შედგენილი ურთიერთგადახლართული ნახშირბადის ბოჭკოებისა და პოლიმერული ფისის მატრიცისაგან (carbon-fiber-reinforced polymer) (სურ. 8.49). გამოირჩევა მაღალი ტემპერატურამედეგობით, ასევე სიმტკიცით, სიხისტით, სიმსუბუქითა (სიმკვრივით) და შედარებით მაღალი დრეკადობის მოდულით. უარყოფითი თვისებებიდან შეიძლება დავასახელოთ სიმყიფე და მაღალი ფასი.



სურ. 8.49. ნახშირბადპლასტიკი

ნახშირბადის ბოჭკოები მიიღება ცელულოზის, აკროლნიტრილის თანაპოლი მერების, ნავთობისა და ევანახშირის სინთეზური ან ბუნებრივი სქელფისისაგან. ბოჭკოს თერმული დამუშავება, როგორც წესი, ხდება სამ ეტაპად: დაჟანგვა – 220°C, კარბონიზაცია 1000-1500°C და გრაფიტიზაცია – 1800-3000°C, რის შემდეგაც წარმოიქმნება ბოჭკო ნახშირბადის მაღალი (99,5%-მდე) შემცველობით. საწყისი მასალისა და დამუშავების რეჟიმის მიხედვით მიღებულ ნახშირბადის ბოჭკოს აქვს სხვადასხვა სტრუქტურა და მახასიათებლები. კარბონის მისაღებად, მინაპლასტიკების ანალოგიურად, მატრიცისათვის გამოიყენება თერმორეაქტიული და თერმოპლასტიკური პოლიმერები. უფრო გავრცელებულია თერმორეაქტიული ფისები (ეპოქსიდური, პოლიეთერული და ვინილეთერული), რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი სიმტკიცითა და ხამგამძლეობით.

ნახშირბადპლასტიკის პლასტიკის სიმტკიცე უტოლდება ფოლადის სიმტკიცეს, მასა კი დაახლოებით ცნობილი პლასტიკების შესაბამისია. ამრიგად, სიმტკიცისა და წონის ფარდობა (კუთრი სიმტკიცე) ნახშირბადპლასტიკს გაცილებით მაღალი აქვს ფოლადთან მიმართებით, ამიტომ ამ მასალის გამოყენება ეფექტურია იქ, სადაც საჭიროა მაღალი სიმტკიცე და დაბალი წონა.

ნახშირბადპლასტიკებსა და ნახშირბადის ბოჭკოებს პრაქტიკულად ნულოვანი გაფართოების კოეფიციენტი აქვთ. კარგად ატარებენ ელექტროობას, რაც ბუნებრივია ზღუდავს მის ფართოდ გამოყენებას სამშენებლო საქმეში. სამაგიეროდ დიდი წარმატებით გამოიყენებენ ავიაციაში, რაკეტმშენებლობაში, მანქანათმშენებლობაში. მედტექნიკაში, კოსმოსური ტექნიკის წარმოებაში, მსუბუქი ველოსიპედების, ჰოკიჯოხების, შლემების, ანკესების თუ სხვა სპორტული ინვენტარის დასამზადებლად და ა. შ.

ნახშირბადის ბოჭკოებისა და ნახშირბადოვანი მატრიცის საფუძველზე ამზადებენ ნახშირბადგრაფიტულ მასალებს, რომელთაგან გამოსარჩევია თერმომდგრადი კომპოზიტი ნახშირბადნახშირბადპლასტიკი, რომელსაც უნარი აქვს ინერტულ გარემოში გაუძლოს 3000°C-მდე ტემპერატურას. ამ მასალას წარმატებით იყენებენ სარაკეტო ტექნიკისა და ზებგერითი თვითმფრინავების კვანძების, სამუხრუჭო ხუნდების, დისკების და სხვ. დასამზადებლად.

მშენებლობაში გამოყენებული კარბონის (ნახშირბადპლასტიკის) სახეებია: წრიული განივკვეთის ღეროები (სურ. 8.50), კვადრატული განივკვეთის მილკვადრატები (სურ. 8.51), შავი და ფერადი მილები (სურ. 8.52, 8.53), ზოლები (სურ. 8.54), ძაფი (სურ. 8.55) და სხვ.



სურ. 8.50. ნახშირბადპლასტიკის დეროები



სურ. 8.51. ნახშირბადპლასტიკის მილკვადრატები



სურ. 8.52. ნახშირბადპლასტიკის შავი მილები



სურ. 8.53. ნახშირბადპლასტიკის ფერადი მილები

8.15. კერამიკული კომპოზიტები

კერამიკული კომპოზიტი მიიღება მჟანგავი, კარბიდული, ნიტრიდული ან სხვა არაორგანული, არალითონური თბომედეგი (ანუ კერამიკული) მატრიცის საფუძველზე (არაკერამიკულ მასალებს მიეკუთვნება ლითონთა დაწნეხილი ფხვნილები, მინა, ამორფული მასალები, აეროგელები, სიტალები, მინაბამბა, აზბესტი, მონოკრისტალები, პლასტმასები და ა. შ.). ამ მასალის დაარმირება ხდება ბოჭკოებით, არალითონური ან ლითონური დისპერსიული ნაწილაკებით, რაც საშუალებას იძლევა მივიღოთ მაღალი სიმტკიცის კომპოზიტი (სურ. 8.56).



სურ. 8.54. ნახშირბადპლასტიკი



სურ. 8.55. კარბონის ძაფი



სურ. 8.56. კერამიკული კომპოზიტები

კომპოზიტური კომპოზიტის დასაარმირებელი ბოჭკოების ასორტიმენტი შეზღუდულია და დამოკიდებულია საწყის მასალაზე. ყველაზე ხშირად გამოიყენება ვოლფრამის, მოლიბდენის, ნიობიუმისა და ფოლადის ლითონური ბოჭკოების ბადეები. ნაკეთობის დასამზადებლად უპირატესობა ენიჭება ცხელი დაწნების მეთოდს.

კერამიკის დაარმირებისას დისპერსიული მეტალური ნაწილაკებით დებულობენ ახალ მასალას – კერმეტს (კერამიკულ-მეტალური) მაღალი მედეგობითა და მდგრადობით თბური ზემოქმედების მიმართ (სურ. 8.57). მის დასამზადებლად გამოიყენება ფხვნილთა მეტალურგია. საწყისი ნედლეულია ნიკელის, კობალტის, ქრომის ფხვნილები. თუ კონსტრუქციას მუშაობა უხდება 430-630°C ტემპერატურაზე, მაშინ მათ ემეტება ალუმინის ჟანგი (Al_2O_3), ხოლო 1000°C-ზე მეტი ტემპერატურისას, კერმეტის საფუძვლად აიღება ტიტანის კარბიდი. უფრო მაღალ ტემპერატურებზე – ბორისა და სილიციუმის კარბიდები.

ბორის საფუძველზე დამზადებული კერმეტები (ბორმეტები) გამოირჩევა მაღალი მხურვალმტკიცობით და გამოიყენება სარაკეტო ძრავების დეტალების დასამზადებლად.

მრეწველობაში ფართოდ გამოიყენება ფხვნილთა მეტალურგით მიღებული მაგნიტური, ფოროვანი და კონტაქტური მასალები. მათი გამოყენების სფეროა: გა-



სურ. 8.57. კერამიკულ-კომპოზიტური დეტალები (კერმეტები)



სურ. 8.58. კერამიკულ-კომპოზიტური ფილა

ზის ტურბინები, ელექტროდუმლები არმატურა, რაკეტული და რეაქტიული ტექნიკა, ატომური რეაქტორების სითბოგამომყოფი ელემენტები და სხვ. მაგარი ცვე-

თამედეგი კერამეტიები კი გამოიყენება საჭრელი ინსტრუმენტებისა და დეტალების დასამზადებლად.

მაღალტემპერატურულ რეჟიმში (2000°C-მდე) მომუშავე დეტალებისა და ელემენტების დასამზადებლად მეტად პერსპექტიულია ნახშირბადის მოჭკოების საფუძველზე მიღებული კერამიკული კომპოზიტური მასალები და მასალა „**კერამიკა-კერამიკა**“, რომლის მატრიცისა და შემავსებლის მასალათა დრეკადობის მოდულუებისა და ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტების მნიშვნელობები თითქმის ერთნაირია.

კერამიკულ კომპოზიტებს მიეკუთვნება **მინერალურ-კერამიკული** მასალები (სურ. 8.58), რომლებიც შედგება სინთეზური წებოთი შეკრული სინთეზური მინერალებისაგან (მაგ., მიკროლიტი).



სურ. 8.59. ჰექსანიტის საჭრელი ინსტრუმენტები



სურ. 8.60. ჰექსანიტის დეტალები

მრეწველობაში გამოიყენება, ასევე, ბორის ნიტრიდზე დამზადებული კერამიკული მასალები (**ბორაზონი, ელბორი**), რომელთა საფუძველზე მიღებული შენადნობი **ჰექსანიტი** (სურ. 8.59, სურ. 8.60) სიმაგრით აჭარბებს ალმასს, უძლებს 1930°C ტემპერატურას და უნიკალური მასალაა საჭრელი ინსტრუმენტების დასამზადებლად (ალმასთან მიმართებით 10-ჯერ ეფექტურია).

სამშენებლო მიმართულებით პერსპექტიულია მინა-კერამიკული და ნახშირბად-კერამიკული კონსტრუქციული და თბოსაიზოლაციო კომპოზიტური მასალები.

თავი 9. კომპოზიტური ბეტონის კონსტრუქციები

9.1. საერთო ცნობები ბეტონების შესახებ

9.1.1. ბეტონი

ბეტონი (ფრანგ. béton ბეტონი < ლათ. bitūmen მინერალური ფისი; ასფალტი) ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საშენი მასალაა, რომელიც მზადდება ღორღის (ხრეშის), ქვიშის, ცემენტისა და წყლის ნარევისაგან. სიმკვრივის მიხედვით არის – განსაკუთრებით მძიმე (ზემძიმე), მძიმე, მსუბუქი და ზემსუბუქი; შემკვრელი მასალის მიხედვით – ცემენტის, კირის, წიღის, სილიკატური, თაბაშირის, ასფალტბეტონი, პოლიმერბეტონი და სხვ.; დანიშნულების მიხედვით – ჩვეულებრივი (სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობა), ჰიდროტექნიკური, საგზაო, თბოსაინჟოლაციო, დეკორატიული, სპეციალური (ქიმიურად მდგრადი, ცეცხლმედეგი, ყინვამედეგი, წყალშეუღწევი, გამოსხივებისგან დასაცავი და სხვ.); შემვსების მიხედვით – მკვრივი (მძიმე ბეტონები), ფოროვანი (მსუბუქი ბეტონები) და სპეციალური (მხურვალმედეგი ან ქიმიური გარემოსადმი მედეგი); სტრუქტურის მიხედვით – მკვრივი სტრუქტურის (შემვსებებს შორის სივრცე მთლიანად შევსებულია გამყარებული მჭიდა მასალით), ფოროვანი, დაფოროვებული, უჯრედოვანი და მსხვილფოროვანი; გამყარების პირობების მიხედვით – ბუნებრივი გამყარების, თბური დამუშავების (ატმოსფერული წნევისას), ავტოკლავური დამუშავების (მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში); შემვსების სისხოს მიხედვით – ჩვეულებრივი მსხვილ და წვრილ შემვსებებზე და წვრილმარცვლოვანი, მკვრივი სტრუქტურის, დამზადებული ცემენტის მჭიდა მასალისა და წვრილი, მკვრივი შემვსების – ქვიშის გამოყენებით. მზიდი რკ.ბ.-ის კონსტრუქციებისათვის გამოყენებული ბეტონი შემოკლებულად იწოდება: მძიმე ბეტონი (მჭიდა მასალა – ცემენტი, შემვსებები – მკვრივი სტრუქტურის დამსხვრეული მთის ქანი, ღორღი ან მდინარის ხრეში და კვარცის ქვიშა); მსუბუქი ბეტონი (მჭიდა მასალა – ცემენტი, შემვსებები – ფოროვანი, ბუნებრივი (პეშა, ტუფი, ნიჟარქვა), ხელოვნური (კერამიტი, წიდა და სხვ.) მსხვილი და წვრილი.

ბეტონის ხარისხის ძირითადი მაჩვენებელია მისი სიმტკიცე კუმშვაზე, რომლის მიხედვითაც დადგინდება ბეტონის კლასი და მარკა. ბეტონი ხისტი მასალაა, მისი სიმტკიცე კუმშვაზე რამდენჯერმე მეტია გაჭიმვის სიმტკიცეზე. გამჭიმვი ძაბვების მისაღებად ახდენენ ბეტონის დაარმირებას ფოლადის ღეროებით და მიიღება რკინაბეტონი. რკინაბეტონში არმატურას აწყობენ ისე, რომ გამჭიმვი ძაბვები გადაეცეს არმატურას, მკუმშავი კი – ბეტონს. ბეტონისა და არმატურის ერთობლივი მუშაობა განპირობებულია მათი კარგი შეჭიდულობითა და ტემპერატურული გაფართოების თითქმის ერთნაირი კოეფიციენტით. ამასთან ბეტონი იცავს არმატურას კოროზიისაგან. თუმცა ამ ბოლო წლებში გამოჩნდა და გამოიყენება არალითონური არმატურა (ძირითადად პოლიმერული კომპოზიტი), რომელსაც კოროზია არ ემუქრება. უშუალოდ მშენებლობაზე დამზადებულ კონსტრუქციას მო-

ნოლითური ეწოდება, ხოლო ქარხანასა და პოლიგონზე დამზადებულსა და შემდგომ დამონტაჟებულს სამშენებლო მოედანზე – ანაკრები.

9.1.2. ბეტონების კლასიფიკაცია

ბეტონების კლასიფიკაცია ხდება ოთხი ძირითადი თვისების მიხედვით: 1. სიმკვრივის (მოცულობითი მასის); 2. სიმტკიცის; 3. დანიშნულების; 4. შემკვრელი ნივთიერების სახეობის. ყველაზე ფართოდაა გავრცელებული ბეტონების კლასიფიკაცია სიმკვრივის მიხედვით: 1) განსაკუთრებით მძიმე ანუ ზემძიმე ბეტონი სიმკვრივით 2500 კგ/მ³ და მეტი; 2) მძიმე (ჩვეულებრივი) ბეტონი – 1800-2500 კგ/მ³; 3) მსუბუქი – 500-1800 კგ/მ³ (ზოგჯერ შემსუბუქებული – 1800-2200 კგ/მ³); 4) თბოსაიზოლაციო ანუ განსაკუთრებით მსუბუქი ბეტონი 500 კგ/მ³-მდე. ბეტონის სიმკვრივე დიდადაა დამოკიდებული შემკვრელებზე. მაგ., ზემძიმე ბეტონში გამოიყენება ბარიტი, მაგნეზიტი, თუჯის და ტყვიის საფანტი, ფოლადის ბურბუშეა და ღერო. ჩვეულებრივ ანუ მძიმე ბეტონში შემკვრელებად გამოიყენება მკვრივი ქანი: გრანიტი, ბაზალტი, კირქვა და ა. შ. მსუბუქ ბეტონში გამოიყენება ბუნებრივი ან ხელოვნური ფოროვანი მსუბუქი მასალა. მსუბუქი ბეტონის დამზადება შეიძლება უქვიშოდ, მარტო მსხვილი შემკვრელებით (მსხვილფოროვანი ბეტონი); განსაკუთრებით მსუბუქ ბეტონს მიეკუთვნება უჯრედოვანი ბეტონი (აირბეტონი, ქაფბეტონი), რომელიც მიიღება შემკვრელის, დაფქული დანამატის და წყლის ნარევის სპეციალური მეთოდით აფუების შედეგად. უჯრედოვან ბეტონში შემკვრელებად რეალურად გამოდის ხელოვნურად შექმნილ უჯრედებში მყოფი ჰაერი.

ევრონორმების (EN 206-1) შესაბამისად ბეტონების კლასიფიკაცია სიმკვრივის მიხედვით შემდეგია: 1) მძიმე ბეტონი, აღნიშვნა C, სიმკვრივე 2000-2600 კგ/მ³; 2) განსაკუთრებით მძიმე, აღნიშვნა HC, სიმკვრივე 2600 კგ/მ³-ზე მეტი და 3) მსუბუქი, აღნიშვნა LC (LC 1,0; LC 1,2; LC 1,4; LC 1,6; LC 1,8 და LC 2,0), სიმკვრივე 800-2000 კგ/მ³. სიმტკიცის მიხედვით (კუმშვაზე) ბეტონი იყოფა შემდეგ მარკებად: ზემძიმე – 100-200 კგd/სმ² (10-20 მპა); მძიმე – 100-800 კგd/სმ² (10-80 მპა); მსუბუქი – 10-400 კგd/სმ² (1-40 მპა) და თბოსაიზოლაციო ბეტონი – 10-200 კგd/სმ² (1-20 მპა).

ევრონორმების (EN 206-1) შესაბამისად ბეტონების კლასიფიკაცია სიმტკიცის მიხედვით შემდეგია: მძიმე და ზემძიმე ბეტონის სიმტკიცის კლასები: C 8/10, C 12/15, C 16/20, C 20/25, C 25/30, C 30/37, C 35/45, C 40/50, C 45/55, C 50/60, C 55/67, C 60/75, C 70/85, C 80/95, C 90/105, C 100/115. მსუბუქი ბეტონის სიმტკიცის კლასები: LC 8/9, LC 12/13, LC 16/18, LC 20/22, LC 25/28, LC 30/33, LC 35/38, LC 40/44, LC 45/50, LC 50/55, LC 55/60, LC 60/66, LC 70/77, LC 80/88 (შენიშვნა: ინდექსებში მეორე ციფრი აღნიშნავს ბეტონის კუბურ სიმტკიცეს მპა-ში).

დანიშნულების მიხედვით ბეტონი არსებობს: 1) მძიმე (ჩვეულებრივი) – შენობებისა და ნაგებობების ბეტონის და რკინაბეტონის მზიდი კონსტრუქციების დასამზადებლად; 2) ჰიდროტექნიკური – ჰიდროტექნიკური ნაგებობისათვის; 3) საგზაო

– საგზაო ნაგებობისათვის; 4) ბიოლოგიური – გამოსხივებისაგან დამცავი; 5) ცეცხლმედეგი; 6) დეკორატიული; 7) ქიმიური – მჟავა- და ტუტეგამძლე; 8) სწრაფმყარებადი და სხვ. შემკვრელი ნივთიერების მიხედვით ბეტონი არის: 1) ცემენტისანი – ჰიდრავლიკურ შემკვრელზე; 2) თაბაშირიანი – თაბაშირის შემკვრელზე; 3) სილიკატური – ჰაერულ ან ჰიდრავლიკურ კირზე; 4) პოლიმერბეტონი – ორგანულ პოლიმერზე ან ფისზე.

გარდა სიმტკიცისა, ბეტონის სხვა მახასიათებლებისათვის შემოღებულია ტერმინი **ბეტონის მარკა** – სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავს ბეტონის ხარისხს ყინვამედეგობის, წყალმუდგეგობის, საშუალო სიმკვრივისა და თვითდაძაბვის თვისებების მიხედვით: **ბეტონის მარკა ყინვამედეგობის მიხედვით** – F50-დან F500-მდე. აქ რიცხვი უჩვენებს გაყინვა-გალხობის ციკლების იმ რაოდენობას, რომლის შემდეგ ბეტონის სიმტკიცე შედარებით უმნიშვნელოდ მცირდება (15%-მდე). ამ მარკის გათვალისწინება ხდება კონსტრუქციებისათვის, რომელთაც მუშაობა უხდებათ ტენიან გარემოში;

ბეტონის მარკა წყალმუდგეგობის მიხედვით – W2-დან W12-მდე. რიცხვი აღნიშნავს წყლის ჰიდროსტატიკურ დაწნევას კგ/სმ²-ობით, რომლის დროსაც 150 მმ სისქის ნიმუშში არ აღინიშნება წყლის გაჟონვა. ამ მარკის გათვალისწინება ხდება ისეთი კონსტრუქციებისათვის, რომელთაც მუშაობა უხდებათ წყლის დაწნევის ქვეშ (რუხერვუარები, სადაწნევო მილები და სხვ.);

ბეტონის მარკა საშუალო სიმკვრივის მიხედვით – D800-დან D2500 კგ/მ³-მდე. ამ მარკის გათვალისწინება ხდება კონსტრუქციებისათვის, რომელთაც სხვა მოთხოვნებთან ერთად წაყენებათ თბოიზოლაციის მოთხოვნებიც;

ბეტონის მარკა თვითდაძაბვის მიხედვით – Sp0,6 ...Sp4. რიცხვები უჩვენებს გაფართოებადი ბეტონისაგან გაჭიმული არმატურის მიერ ბეტონში აღძრულ წინასწარი მკუმშავი ძაბვის სიდიდეს მპა-ში. ეს მარკა ინიშნება თვითდაძაბვად კონსტრუქციებში წაყენებული ბზარმედეგობისა და სინისტის მოთხოვნების მიხედვით.

ბეტონებში ცემენტის ეკონომიისა და ნარევის თვისებების რეგულირებისათვის მიმართავენ სხვადასხვა ნივთიერების დანამატების გამოყენებას, რომელიც ძირითადად ორი სახისაა: ქიმიური დანამატი, რომელიც ემატება ბეტონს მცირე რაოდენობით (0,1-2% ცემენტის მასიდან) და მიზანშეწონილად ცვლის ბეტონის ნარევის და ბეტონის თვისებას და წმინდად დაფუძელი დანამატი (5-20%) ცემენტის ეკონომიისა და ბეტონის მკვრივი მასის მისაღებად. ქიმიური დანამატის გამოყენება ყველაზე უნივერსალური, ხელმისაწვდომი და მოქნილი მეთოდია ბეტონის ტექნოლოგიის მართვისა და მისი თვისების რეგულირებისათვის. თუ ადრე მშენებლობაში დანამატად გამოიყენებოდა ცალკეული ქიმიური პროდუქტი და წარმოების მოდიფიცირებული ნარჩენი, ამჟამად უფრო პრიოტეტულია სპეციალურად ბეტონისათვის დამზადებული დანამატები, როგორცაა, მაგ.: პლასტიფიკატორი, სუპერპლასტიფიკატორი, ჰიპერპლასტიფიკატორი, ჰაერჩამთრევი,

ჰიდროფობულ-მაპლასტიფიცირებული, გაყინვის საწინააღმდეგო, აირწარმომქმნელი, შეკვრის შემანელებელი, მინერალური, ორგანულ-მინერალური, ინერტული, კაჟმიწა, კალმატრონი და სხვ. ერთი და იმავე დანამატი სხვადასხვა დოზირების დროს იწვევს სხვადასხვა მოქმედებას, შეუძლია დააჩქაროს ან შეანელოს ბეტონის გამაგრება. მაგ., სუპერპლასტიფიკატორის ზედმეტი რაოდენობა, აყოვნებს ბეტონის გამაგრებას. ბეტონის გამაგრების დამაჩქარებელი დანამატის $CaCl_2$ -ის დიდი დოზა იწვევს არმატურის კოროზიას, ამიტომ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში მისი რაოდენობა იზღუდება 2%-მდე. ზოგიერთ დანამატს აქვს მრავალფუნქციური მოქმედება, მაგ., მაპლასტიფიცირებული და ჰაერჩამთრევი, აირწარმომქმნელი და მაპლასტიფიცირებული და სხვ. ამ შემთხვევაში დანამატის კლასიფიცირებას ახდენენ უფრო მეტად გამოსახული მოქმედების ეფექტის მიხედვით. ბეტონის დანამატების შერჩევა ხდება სამშენებლო ლაბორატორიაში გამოცდების გზით.

არსებობს **ბეტონის დანამატის** სახეები: **აირწარმომქმნელი** [ალუმინის ფხვნილი, ქაფსტრომი (სინთეზური ქაფწარმომქმნელი), პოლიჰიდროსილოქსანი], **დამაფორიზებელი** (ფისი, წებო, სულფონოლი, კანიფოლის საპონი, ადიმენტი, პერამინი), **კოლმატრონული** (დიეთილენგლიკოლის, ტრიეთილენგილოლის, პოლიამინის ფისები; ბიტუმის ემულსია, რკინის სულფატი, რკინის ქლორიდი, რკინის ნიტრატი, კალციუმის ნიტრატი, ალუმინის სულფატი), **მაპლასტიფიცირებული** (პლასტიფიკატორები, ლიგნოსულფონატები), **მასტაბილიზირებული** (გიპანი, მეთილცელულოზა წყალხსნადი, ბენტონიტური თიხა, ადიმენტი, ზიკა პუმპი), **ქაფწარმომქმნელი** (სულფონოლი, საპონინი SDO-L, Mapeplast LA, მერქნის საპნიანი ფისი), **ყინვასაწინააღმდეგო** (პოტაში, ლიგნოპანი, ამიაკის წყალი, ბეტონსანი, ცემენტოლი, შარდოვანა, ნატრიუმის ნიტრატი), **წყალდამჭერი** (თიხა, გიპანი, მეთილცელულოზა, პოლიოქსიეთილენი, პოლიეთილენოქსიდი), **წყალმარედუცირებელი** (სუპერპლასტიფიკატორი და კომპლექსური დანამატები მის საფუძველზე), **ჰაერჩამთრევი** (აეროპლასტი, პოლიპლასტი, ადიმენტი, ვინსოლი, მეგალიტი), **ჰიდროფობული** (ფენილეთოქსისოლოქსანი, ნატრიუმის ალუმინმეთილსილიკონატი, ადიმენტი, ზიკაგარდი, თუთიის სტეარატი, სემენტოლი, ნატრიუმის ეთილსილიკონატი) და სხვ.

ბეტონების უამრავი სახეობა არსებობს. სახელმძღვანელოს შინაარსიდან გამომდინარე, მხოლოდ მოკლედ მიმოვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი, რომელიც შედარებით მეტადაა გამოყენებული მშენებლობაში.

9.1.3. მძიმე ბეტონი

მძიმე ბეტონი (ჩვეულებრივი ბეტონი) მკვრივი აგებულების, ცემენტის შემკვრელსა და მკვრივ შემსვლებზე (ქვიშა, ხრეში, ღორღი, გრანიტი, ბაზალტი, კირქვა და

სხვ.) შედგენილი, მსხვილმარცვლოვანი, გამყარების ყოველგვარ პირობებში დამზადებული ბეტონია (სურ. 9.1. მძიმე). სიმკვრივე – 2200-2500 კგ/მ³; სიმტკიცე – 10-80 მპა. შედგენილობის და ნედლეულის შერჩევით შეიძლება მივიღოთ საჭირო წყალუჟონადობის, ყინვამედეგი, სწრაფგამაგრებადი, მაღალი სიმტკიცისა და სხვა კომპლექსური თვისებების ბეტონი, რომელიც შეესაბამება პროექტის მოთხოვნას. მძიმე ბეტონი გამოიყენება სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის სხვადასხვა ნაკეთობასა და კონსტრუქციაში, ჰიდროტექნიკურსა და საგზაო მშენებლობაში, საინჟინრო და სპეციალურ ნაგებობებში. ნაკეთობა და კონსტრუქცია შეიძლება დამზადდეს ქარხანაში ან დაბეტონდეს უშუალოდ სამშენებლო ობიექტზე (მონოლითური ბეტონი). როგორც წესი, ბეტონში იყენებენ ადგილობრივ შემკვებს. მათ არჩევენ იმ თვალსაზრისით, რომ მიიღონ საჭირო თვისების ბეტონი ცემენტის მინიმალური ხარჯით. ბეტონის ნარევის სათანადო ადვილჩაწყობადობას უზრუნველყოფენ წყლის ოპტიმალური ხარჯით, ბეტონის სიმტკიცეს კი – წყალცემენტის ფარდობისა და ცემენტის ხარჯის სწორი შერჩევით.



სურ. 9.1. მძიმე (ჩვეულებრივი) ბეტონი

9.1.4. ზემძიმე ბეტონი

ზემძიმე ბეტონი მკვრივი აგებულების, ცემენტის შემკვრელსა და მკვრივ შემკვებს (ქვიშა, ბარიტი, მაგნეზიტი, ლიმონიტი, თუჯი, ტყვიის საფანტი და სხვ.) შედგენილი, მსხვილმარცვლოვანი, გამყარების ყოველგვარ პირობებში დამზადებული ბეტონია. სიმკვრივე – მეტი 2500 კგ/მ³-ზე; სიმტკიცე – 10-20 მპა. ზემძიმე ბეტონებში გამოყენებული შემკვები იშვიათი და ძვირადღირებული მასალებია, ამიტომ ასეთი ბეტონი გამოიყენება მხოლოდ სამრეწველო მშენებლობაში და ჩვეულებრივ სამშენებლო ობიექტებზე მათი გამოყენება რენტაბელური არაა.

9.1.5. მსუბუქი ბეტონი

მსუბუქი ბეტონი მკვრივი აგებულების, ცემენტის შემკვრელზე და მსუბუქ მსხვილ ან წვრილ შემკვებსზე (ტუფი, პერლიტი, კერამიტი, ვერმიკულიტი, არბოლიტი და სხვ.) შედგენილი, მსხვილმარცვლოვანი, გამყარების ყოველგვარ პირობებში დამზადებული ბეტონია (სურ. 9.2). სიმკვრივე – 500-1800 კგ/მ³; სიმტკიცე – 1-40 მპა. ფორიანობის შექმნის მეთოდის მიხედვით ცნობილია მსუბუქი ბეტონის შემდეგი სახეები: მსუბუქი ბეტონი მსუბუქ (ფოროვანი) შემკვებსზე; მსხვილფორო-

ვანი უქვიშო ბეტონი, რომელიც მზადდება ერთფრაქციულ მკვრივ ან ფოროვან შემვსებზე უქვიშოდ; უჯრედოვანი ბეტონი, რომლის სტრუქტურა შექმნილია ხელოვნური უჯრედებით (0,2-2 მმ). დანიშნულების მიხედვით მსუბუქი ბეტონი არსებობს: თბოსაიზოლაციო (მისი დანიშნულებაა თერმული წინააღმდეგობა მიანიჭოს გადამღობ კონსტრუქციას); კონსტრუქციული (იღებს დატვირთვებს) და კონსტრუქციულ-თბოსაიზოლაციო (აერთიანებს წინა ორ თვისებას). მსუბუქი ბეტონი ჩვეულებრივი მძიმე ბეტონისგან განსხვავდება მსუბუქი შემვსების გამო, რომელსაც აქვს ნაკლები სიმკვრივე და სიმტკიცე.



სურ. 9.2. მსუბუქი ბეტონის სამშენებლო ბლოკები

შემვსებზე დამოკიდებულებით (მსუბუქი, მკვრივი) მკვეთრად იცვლება ბეტონის ნარევის წყალმომთხოვნილება და წყალშემცველობა, იცვლება მსუბუქი ბეტონის ძირითადი თვისებებიც. მსუბუქ ბეტონში წ/ც ფარდობა 1-მდეა (ზოგჯერ შეიძლება მეტიც იყოს). მსუბუქი ბეტონის სიმტკიცე დამოკიდებულია წყლის ხარჯზე. წყლის რაოდენობის მატება ოპტიმალურამდე ზრდის ბეტონის სიმტკიცეს, შემდგომი ზრდა კი – ამცირებს. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ წყლის ზედმეტი ხარჯი ნაკლებ მავნეა, ვიდრე მისი დაკლება. წყლის ოპტიმალური რაოდენობა დამოკიდებულია შემვსებისა და შემკვრელის წყალმომთხოვნილებაზე, ნარევის შემკვრივების ინტენსიურობასა და ბეტონის შედგენილობაზე. შემვსების წყალმომთხოვნილება კი დამოკიდებულია მის მარცვლოვან შემადგენლობასა და ღია ფორების რაოდენობაზე. ბეტონის სიმკვრივე დამოკიდებულია: შემვსების სიმკვრივეზე და მის მარცვლოვან შემადგენლობაზე, წყლისა და ცემენტის ხარჯსა და შემკვრივების მეთოდზე. თბოსაიზოლაციო თვისება კი – შემვსების ფორიანობასა და მის ხასიათზე მსუბუქი ბეტონის დიდი ფორიანობის გამო, ნაკლებად ყინვამდეგია, მაგრამ მაინც საკმარისი იმისათვის, რომ მისგან ავანგოთ შენობანაგებობანი. ყინვამდეგობის ასამაღლებლად ბეტონში შეჰყავთ ჰიდროფობული დანამატი. შემკვრელის სახეობის შერჩევა ხდება გამაგრებისა და სხვა პირობის გათვალისწინებით, მაგრამ საერთო კრიტერიუმი არის მაღალი მარკის ცემენტის გამოყენება, რომელიც საშუალებას იძლევა შევამციროთ სიმკვრივე. შემვსებად გამოიყენება ბუნებრივი ან ხელოვნური ფოროვანი მასალა სიმკვრივით არაუმეტეს 1200 კგ/მ³ ქვიშისათვის (მარცვლების სიმსხო 5 მმ-მდე) და არაუმეტეს 1000 კგ/მ³ ხრეშის ან ღორღისათვის (მარცვლების სიმსხო 5-40 მმ). მსუბუქი ბეტონი ბუნებრივი ფოროვანი შემვსები მიიღება ფოროვანი ქვის ქანების – პემზის, ვულკანური წიღისა და ტუფის, ფოროვანი და ნიჟაროვანი კირქვისა და სხვათა დამტვრევით. ხელოვნური ფოროვანი შემვსები კი მიიღება წარმოების ნარჩენების (მაგ., წიღის) ან სილიკატური მასალების თერმული დამუშავებით. შემვსების სახეობა:

თერმოზიტი, აგროპოლიტი, კერამზიტი, პერლიტი, ვერმიკულიტი და სხვ. მსუბუქ ბეტონს დიდი გამოყენება აქვს მშენებლობაში. მისგან ამზადებენ შენობის კედლებს და გადახურვებს, დაძაბული რკინაბეტონისაგან – ხიდის მალეებს, წამწეებს, სავალი ნაწილის ფილებს და სხვ., თუმცა უნდა გვახსოვდეს, რომ მსუბუქი ბეტონებში ფორების არსებობა ხელს უწყობს არმატურის კოროზიას და მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციების დასამზადებლად უმჯობესია მძიმე ბეტონების გამოყენება.

9.1.6. შემსუბუქებული ბეტონი

შემსუბუქებული ბეტონი იგივეა, რაც მსუბუქი ბეტონი. სიმკვრივე 1800-2200 კგ/მ³, შემვსებად გამოყენებულია როგორც მკვრივი, ასევე ფოროვანი საშენი მასალა.

9.1.7. დეკორატიული ბეტონი

დეკორატიული ბეტონი შენობის ან ნაგებობის მოსაპირკეთებელი სპეციალური ბეტონია. მიიღება ჩვეულებრივი ბეტონის ნარევიში პიგმენტის (ოხრა, მუშია, სურინჯი და სხვ.) დამატებით ან ფერადი ცემენტის გამოყენებით. ზოგიერთ შემთხვევაში გამოიყენება ფერადი შემვსები – ტუფი, წითელი კვარციტი, ფერადი მარმარილო, გრანიტი, კირქვა და სხვ. დეკორატიული ბეტონის სიმტკიცეა 15-20 მპა. პიგმენტი საშუალებას იძლევა მივიღოთ ბეტონის ფერის ფართო გამა: წითელი (რკინის ქანგი), მწვანე (ქრომის ქანგი), იისფერი (მანგანუმის ქანგი), შავი (მაგნიუმის ზეჟანგი, მური), თეთრი (ცარცი, კირქვა), ყვითელი (ოხრა) და სხვ. სიმკვრივის გასაზრდელად და ზედაპირის ფერის გამომსახველობისათვის დეკორატიული ბეტონი, ჩვეულებრივთან შედარებით, ზრდის ცემენტის ხარჯს. მაგ., 10 მმ-მდე სიმსხოს შემვსებისათვის ცემენტის ხარჯი შეადგენს 450-500 კგ/მ³.

ზედაპირის ფაქტურის შენარჩუნებისათვის იყენებენ ჰიდროფობიზატორს [ჰიდროფობიზატორი – სილიციუმორგანული შენაერთები (სილოქსანი, სილიკონატი) გახსნილი წყალში ან ორგანულ გამხსნელებში, რომელიც იცავს აგურის, ქვის, ბეტონის კედლის ზედაპირს ტენის შეღწევისაგან, ობის გაჩენისაგან, აგრეთვე მტვრისა და სმოგის ნაწილაკების მიკვრისაგან] და წმინდად დაფუძულ დანამატებს. ზოგჯერ ბეტონის ზედაპირს ჟღენტენ პოლიმერით. დეკორატიული ბეტონში წვრილ შემვსებად გამოიყენება სუფთა კვარცის ქვიშა, მსხვილ შემვსებად – ღია ფერის კირქვა და დოლომიტი (უფერო, თეთრი, ნაცრისფერი, ყვითელი ან მოყავისფრო კარბონატების ჯგუფის მინერალი), ასევე იყენებენ მარმარილოს, ღორღის, გრანიტის, ტუფისა და სხვა ქანის ნამსხვრევ ქვიშას. ბეტონის ფერზე გავლენას ახდენს შემვსების მხოლოდ წვრილი ნაწილაკი, რომლის ზომა არ აღემატება 0,3 მმ-ს. შემვსები უნდა იყოს ატმოსფერომედეგი, ჰქონდეს კარგი შეჭიდუ-

ლობა ცემენტის ქვასთან. მოზაიკური ბეტონის შემკვრები გარდა ამისა, უნდა იყოს ცვეთამედეგი. დეკორატიულ ბეტონს, გარდა ფერისა და ფაქტურის შენარჩუნებისა, მოეთხოვება სიმკვრივე, სიმტკიცე, ყინვამედეგობა. დეკორატიული ბეტონები გამოიყენება შენობა-ნაგებობათა კონსტრუქციული ელემენტების არქიტექტურული მოპირკეთებისათვის, როგორცაა კედელი, იატაკი, კიბე, ბადისა და პარკის გზა და ბილიკი, ლანდშაფტის დიზაინი (სურ. 9.3), ფეხით მოსიარულეთა გადასასვლელი, ბარელიეფი (სკულპტურული გამოსახულება სიბრტყეზე, რომლის ყველა ნაწილი სიბრტყიდან თავისი მოცულობის ნახევარზე ნაკლებად არის ამოწეული), ძეგლი (ქანდაკება, კერპი, გამოსახულება, შენობა, არქიტექტურული ნაგებობა (ობელისკი, მემორიალი, მონუმენტი, სატრიუმფო თალი და ა. შ.) ან სხვა სტრუქტურა, აგებული ცნობილი ადამიანის, ადამიანთა ჯგუფის ან რაიმე მოვლენის უკვდავსაყოფად), სპეციალური დანიშნულების ნაკეთობა და სხვ.



სურ. 9.3. დეკორატიული ბეტონის ფილები ლანდშაფტურ დიზაინში

9.1.8. ბეტონი მაგნეზიურ შემკვრელზე

ბეტონი მაგნეზიურ შემკვრელზე მაგნიუმის ოქსიქლორიდზე მიღებული ბეტონის სახეობაა. იგი არ საჭიროებს გამაგრების დროს ტენიან გარემოს, აქვს ძალიან მაღალი ცვეცლმედეგობა და დაბალი თბოგამტარობა, კარგი ცვეთამედეგობა და სიმტკიცე კუმშვასა და ღუნვაზე. ასეთი ბეტონი ადვილად მიიღება სხვადასხვა სახეობის, არაორგანული (ლორდი, ქვიშა, მარმარილოს ფხვნილი, კირქვა, კაოლინი, გრანულირებული წიდა, მაგნიუმის სულფატი და პიგმენტი) და ორგანული (ნახერხი, ბურბუშელა, დაფქული რეზინი, პლასტმასისა და მუყაოს ნარჩენები და სხვ.) შემავსებლისაგან. მაგნეზიურ ბეტონს ახასიათებს ელასტიკურობა, მაღალი ადრეული სიმტკიცე, სიმსუბუქე, მედეგობა სხვადასხვა ზეთის, ლაქისა და საღებავის, ორგანული გამხსნელის, ტუტეებისა და მარილების (სულფატების ჩათვლით) მიმართ, აქვს ბაქტერიოციდული თვისება. არამდგრადია წყლისა და ზოგი მჟავას მიმართ. იწვევს ფოლადისა და ალუმინის კოროზიას. გამოიყენება ინდუსტრიულ, სავაჭრო და საცხოვრებელი შენობის იატაკის მოჭიმვისათვის ხალიჩოვანი მასალისა და ლინოლეუმის ქვეშ, კედლების თბოსაიზოლაციოდ, საბათქაშე მასალად და სხვ.

9.1.9. მაღალი სიმტკიცის ბეტონი

მაღალი სიმტკიცის ბეტონი განსაკუთრებით მკვრივი, მტკიცე და მონოლითური ბეტონია სიმტკიცით 50-100 მპა. ასეთი ბეტონის მისაღებად გამოიყენება: მაღალი სიმტკიცის ცემენტი და შემსვები, დაბალი წყალცემენტის ფარდობა, ცემენტის ზღვრულად დასაშვები ხარჯი, სუპერპლასტიფიკატორი და კომპლექსური დანამატები, ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების ხარისხიანი არევა და შემკვრივება და ბეტონის გამაგრებისათვის საუკეთესო პირობების შექმნა. შემსვები უნდა იყოს სუფთა, კარგი გრანულომეტრიული (მარცვლოვანი) შედგენილობით და ნაკლები სიცარიელით (სიცარიელების შემცველობა მასალაში, რომელიც განისაზღვრება სიცარიელთა მოცულობის ფარდობით მასალის მოცულობასთან), არ უნდა შეიცავდეს სუსტ მარცვლებს. მსხვილი შემსვების სიმტკიცე 20%-ით მეტი უნდა იყოს ბეტონის სიმტკიცეზე. ბეტონის სიმტკიცის ზრდასთან ერთად შემსვების გავლენა მის სტრუქტურასა და თვისებებზე იზრდება. ყველა შემსვებს აქვს ზღვარი, უფრო მეტი სიმტკიცის მიღება ძნელი და ეკონომიურად გაუმართლებელია, რადგან ბეტონის სიმტკიცის მცირე მატებისათვის საჭიროა ცემენტის ხარჯის მნიშვნელოვანი გაზრდა. ჩვეულებრივ ეს ხდება, როდესაც ბეტონის სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე უახლოვდება შემსვების სიმტკიცეს. განსაკუთრებით მტკიცე ბეტონებისათვის უნდა გამოვიყენოთ მაღალი სიმტკიცის შემსვები ღიაბაზის, ბაზალტის, გრანიტის და სხვა ქანებიდან. წყალცემენტის ფარდობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,4-ს. მაღალი მარკის ბეტონებში გარანტირებული მკვრივი და მტკიცე სტრუქტურის შექმნისათვის ცემენტის ხარჯი იზღუდება: მასიურ ნაგებობებში – 500 კგ/მ³-მდე, ანაკრებ რკინაბეტონის მცირე ზომის ნაკეთობაში – 600 კგ/მ³-მდე. ცემენტის ხარჯს ეფექტურად ამცირებს სუპერპლასტიფიკატორის გამოყენება, რომელიც ამადლებს ბეტონის ნარევის ძვრადობას (პლასტიკურობას) და შემკვრივების ხარისხს. ბეტონის გამაგრების დასაჩქარებლად გამოიყენება ტემპერატურის აწევის და დაწევის რბილი რეჟიმი (50-60°C) და გარემოს მაღალი ფარდობითი ტენიანობა (100%). მაღალი მარკის ბეტონის გამოყენება ამცირებს რკინაბეტონის ნაკეთობის (კონსტრუქციის) მასასა და მასალატევადობას, არმატურის ხარჯს, საძირკვლის მოცულობას, ხანგამძლეობას, ხანძარმდეგობას და სხვ.

9.1.10. ბეტონი მონოლითური

მონოლითური ბეტონი ბეტონის კონსტრუქციაა, დამზადებული უშუალოდ მისი განლაგების ადგილზე (სურ. 9.4). მის მოსამზადებლად საჭიროა ყალიბის დამზადება, რომელიც სივრცეში ჰქმნის მომავალი კონსტრუქციის მოხაზულობას, არმატურის ჩაწყობა, კონსტრუქციის დაბეტონება და გამაგრებადი ბეტონის მოვლა.

მონოლითური ბეტონი და რკინაბეტონი, როგორც წესი, ეკონომიურია, განსაკუთრებით შენობისა და ნაგებობის მიწისქვეშა ნაწილში, მასიური კედლის კონსტრუქციაში, საგზაო და ჰიდროტექნიკურ მშენებლობაში. იგი ხელსაყრელია საქართველოში – სეისმურ რეგიონში, რადგან მონოლითურ-კარკასული მშენებლობა გაცილებით სეისმომდებია, ვიდრე ასაწყობი. მონოლითური მშენებლობა არქიტექტორ-მშენებელს აძლევს დიდ შემოქმედებით თავისუფლებას, დააპროექტოსა და ააშენოს ორიგინალური ფორმის შენობა-ნაგებობა. ყალიბი შეიძლება იყოს მერქნის (ფიცრის, ფანერის), ლითონის, პოლიმერსაფარიანი მერქნის, რკინაბეტონის. ზოგჯერ ყალიბად გამოიყენება რკინაბეტონის ფილა, რომელიც შემდეგ ხდება მონოლითური კონსტრუქციის ნაწილი.



**სურ. 9.4. მონოლითური ბეტონის
ლენტური საძირკველი**

არმატურა ეწყობა პროექტის შესაბამისად. მის შესაერთებლად გამოიყენება შედუღება. რიგ შემთხვევაში იხმარება წინასწარ დამზადებული არმატურის კარკასი. საპასუხისმგებლო კონსტრუქციაში იყენებენ ე. წ. ხისტ არმატურას – კუთხედის, შველერის, ორტესებრის და სხვ. სპეციალური ნაგლინის სახით. ხშირ შემთხვევაში არმატურის კარკასი იკრება წვრილი სანასკვი მავთულის საშუალებით. დიდი ნაკეთობის ან კონსტრუქციის დაბეტონება ხდება ცალკეულ ბლოკებად, მათ შორის სამუშაო ნაკერების მოწყობით. ბლოკი დაბეტონდება უწყვეტად, ამ შემთხვევაში ბეტონის ყოველი მომდევნო ულუფა ეწყობა და შემკვრივდება მანამ, სანამ შეიკვრება წინა ჩაწყობილი ბეტონი. ბეტონის ნარევი მზადდება ბეტონსარევი კვანძში ან ქარხანაში და მიაქვთ ჩაწყობის ადგილზე.

ბეტონის ნარევის ტრანსპორტირება, ჩაწყობა და შემდგომი მოვლა განსაზღვრავს ბეტონის ხარისხს, სამშენებლო-ტექნიკურ თვისებებს და კონსტრუქციის ხანმედგობას. ბეტონის ნარევის ტრანსპორტირება ხორციელდება ღარების დახმარებით, ტრანსპორტიორებით, ბადიებით, ვაგონეტებით, ავტოთვითმცლელებით, ავტობეტონსარევიტა და მილსატუმბით. ღარებით, ტრანსპორტიორებით და მილსადენებით ბეტონის ნარევის გადატანა ხდება მცირე მანძილზე. დიდ მანძილზე ნარევის გადასატანად გამოიყენება ბადიები და ავტომანქანები. ბადის ტრანსპორტირება ხორციელდება რკინიგზის პლატფორმით, ავტომანქანით, ამწით ან ამ საშუალებების კომბინაციით.

ჩვეულებრივ პირობებში ბეტონის ნარევი კომპაქტურად ეწყობა და შემკვრივდება სიღრმული ან ზედაპირული ვიბრატორის დახმარებით. ვიბრაციის გამოყენებით მიიღება უკეთესი ზედაპირის ბეტონი და მტკიცე სამუშაო ნაკერი. ახალჩაწყობილ ბეტონს იცავენ გამაგრების ადრეულ სტადიაზე ტენიანობის დაკარგვისაგან და ინახავენ იმ ტემპერატურაზე რომელიც ხელს შეუწყობს ცემენტის ჰიდ-

რატაციას (წყლის მოლეკულების შეერთება სხვა ნივთიერების მოლეკულებთან ან იონებთან).

9.1.11. მხურვალმედეგი ბეტონი

მხურვალმედეგი ბეტონი ბეტონის სახეობაა, რომელსაც შეუძლია მაღალი ტემპერატურის პირობებში შეინარჩუნოს თავისი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები. შემვსებად იყენებენ ცეცხლმედეგ მასალებს: შამოტს, ანდეზიტს, დიაბაზს, ბრძმედის წიდას, კორუნდს, ქრომის მადნებს, მაგნეზიტურ და თიხის აგურის ნამტვრევებს, ფოსფორულ და სილიკატურ დანამატებს და სხვ. შემკვრელად გამოიყენება პორტლანდცემენტი, წიდაპორტლანდცემენტი, თიხამიწიანი ცემენტი და თხევადი მინა. მხურვალმედეგობის ხარისხის მიხედვით მხურვალმედეგი ბეტონი იყოფა შემდეგ ჯგუფებად: 1. მაღალმხურვალმედეგი (უძლებს 1770°C და მეტ ტემპერატურას); 2. მხურვალმედეგი (ცეცხლგამძლეობა 1580-1770°C); 3. მხურვალგამძლე (უძლებს 1580°C-ზე ნაკლებ ტემპერატურას).

მხურვალმედეგი ბეტონი შემვსების სახეობაზე დამოკიდებულებით, შეიძლება იყოს განსაკუთრებით მძიმე (სიმკვრივით 3200 კგ/მდე), მძიმე (2500-2800 კგ/) და მსუბუქი (ნაკლები 2500 კგ/მ³-ზე). ბეტონის დამზადებისას აუცილებელი პირობაა წყლის ან თხევადი მინის რაოდენობის მინიმალურობა. კონუსის ჯდომა აიღება არაუმეტეს 2 სმ-ისა. აღუდაბებისათვის ჩვეულებრივ საჭიროა 170-190 ლიტრი წყალი 1 მ³ ბეტონზე. გამოიყენება საცეცხლე ღუმლების (სურ. 9.5.



სურ. 9.5. მხურვალმედეგი ბეტონის ნაკეთობები

მხურვალმედეგი ბეტონი ფოსფორულ და სილიკატურ შემკვრელზე საცეცხლე ღუმლების ასაგებად), ორთქლის ქვაბების, ატომური რეაქტორების, საკვამლე მილებისა და სხვ. ასაგებად.

9.1.12. რომაული ბეტონი

რომაული ბეტონი (ინგლ. Roman concrete ან opus caementicium) უძველესი საშენი მასალაა, რომელიც გამოიყენებოდა მშენებლობაში პორტლანდცემენტზე დამზადებული ბეტონისგან განსხვავებით, რომაული ბეტონისთვის გამოიყენებოდა ჰიდრავლიკური ცემენტი, შემკვრელად – წყალთან შერეული, შეძლებისდაგვარად წვრილად დაფქული ვულკანური ფერფლი (პუცოლანი), თაბაშირი, კირი ბუნებრივი ან ხელოვნური კერამიკის (პემზა, აგური) დანამატი; შემავსებლად –

გარეცხილი ქვიშა და ღორღი. რომაული ბეტონი გამოირჩეოდა საკმარისი სიმტკიცით, რასაც პირველ რიგში განაპირობებდა ვულკანური ფერფლი, რომელიც ხელს უშლიდა ბეტონის მასივში ბზარების განვითარებას. სწორედ ასეთი ბეტონის გამოყენებით გახდა შესაძლებელი იმ პერიოდისათვის მსოფლიოში ყველაზე დიდი დიამეტრის (≈ 43 მ.), რომის პანთეონის დაუარმირებელი, ნახევარწრიული ფორმის, გუმბათის მშენებლობა (117-128 წწ.) (სურ. 9.6). რომაული ბეტონის შემავსებლად გამოიყენებოდა მსხვილმარცვლოვანი ღორღი, რის გამოც ობიექტზე მას აწყობდნენ და არა ასხამდნენ. როგორც წესი, ბეტონის ზედაპირს აპირკეთებდნენ ქვით, აგურით, ხოლო ინტერიერებს დამატებით ალამაზებდნენ ნაძერწით, მარმარილოთი. გვიანდელი რომის რესპუბლიკის ეპოქაში (ძვ. წ. 133-27 წწ.), დასავლეთ რომის იმპერიის დაცემამდე (476 წ.) – თანამედროვე თხელი ფილებით, ფრესკებითა და სხვ.



სურ. 9.6. რომის პანთეონის ბეტონის გუმბათი

9.1.13. საგზაო ბეტონი

საგზაო ბეტონი არის ბეტონის სახეობას, რომელსაც იყენებენ საავტომობილო გზების მშენებლობაში (სურ. 9.7). საგზაო ბეტონი უნდა იყოს მტკიცე, ცვეთა-, ყინვა- და ატმოსფერომედეგი. ერთფენიანი და ორფენიანი ბეტონის საფარისთვის გამოიყენება არანაკლებ 400 მარკის საგზაო პორტლანდცემენტი (სამკალციუმო-ანი ალუმინატის 10%-ზე ნაკლები შემცველობით), ბეტონის გზების საფუძვლისათვის – არანაკლებ 300 მარკის. სასურველია საგზაო პლასტიფიცირებული ან ჰიდროფობული ცემენტის გამოყენება. ზედა ფენისათვის გამოიყენება მხოლოდ გარეცხილი ღორღი ან ხრეში, რომელშიც თიხოვანი, მტვროვანი და ლამიანი ნაწილაკების წონითი რაოდენობა არ აღემატება 1,5%-ს (ქვედა ფენისათვის – 2%-ს). ღორღი აუცილებელია იყოს მაღალი სიმტკიცის: ამოფრქვეული ქანიდან – არანაკლებ 120 მპა, დანალექი ქანიდან – არანაკლებ 80 მპა, ქვედა ფენისა და საფუძვლისათვის ამოფრქვეული ქანიდან – 80 მპა-ზე მეტი, დანალექი ქანიდან – 60 მპა-ზე მეტი. ხრეშის ან ღორღის მარცვლების უდიდესი ზომაა ზედა ფენისათვის არანაკლებ 20 მმ, ქვედა ფენისთვის – 40 მმ, საფუძვლისათვის – 70 მმ.



სურ. 9.7. საგზაო ბეტონი

საგზაო ბეტონში ყინვამედეგობისა და ნარევის ხარისხის ასამაღლებლად შეჰყავთ ზედაპი-

რულად აქტიური დანამატი: სუპერპლასტიფიკატორი, ორგანულ-მინერალური, ჰაერჩამთრევი და სხვ. დანამატის ხარჯი ისეთია, რომ უზრუნველყოს ბეტონის ნარევი საჭირო რაოდენობის ჰაერის ჩართვა. რეკომენდებულია ჩათრეული ჰაერის შემდეგი შემცველობა (მოცულობითი): შემვსების მაქსიმალური სიმსხოს (40-70 მმ) დროს – $(4,5 \pm 1)\%$, მარცვლების უმცირესი (10-20 მმ) სიმსხოს დროს – $(5,5 \pm 1)\%$. საგზაო საფარის დეკორატიული მიზნისათვის ფეხით მოსიარულეთა გადასასვლელების, გამყოფი ზოლების, პარკის ბილიკებისა და ქალაქის კეთილმოწყობის ელემენტების დასამზადებლად გამოიყენება ფერადი ბეტონი. ასეთი ბეტონი მიიღება ნარევი ტუტე და შუქმდეგი პიგმენტის (ცემენტის მასის 8-10%) დამატებით (ოხრა, მუმია, სურინჯი და სხვ.) ან ფერადი ცემენტის გამოყენებით. ზოგიერთ შემთხვევაში გამოიყენება ფერადი შემვსები, მაგ., ტუფი, წითელი კვარციტი, მარმარილო და სხვ.

9.1.14. სადრენაჟო ბეტონი

სადრენაჟო ბეტონი (ფორებიანი, წყალჟონადი, ეკოლოგიური) ბეტონის სახეობაა, დამზადებული მსხვილ შემვსებზე, რომელშიც წვრილი შემვსები საერთოდ არ შედის ან მცირე რაოდენობითაა, ხოლო ცემენტის რაოდენობა საპროექტოზე ნაკლებია, რათა ცემენტის ცომმა მთლიანად არ შეავსოს ფორები და სიცარიელები ბეტონის მასივში. ასეთი ბეტონი თავისუფლად ატარებს წყალს (სურ. 9.8). ფორების რაოდენობაა მოცულობის 20-30%. გამოიყენება მონოლითური საძირკვლების, საბაღე ბილიკების, ტროტუარების, მოედნების მოსაწყობად. სასაქონლო მარკებია: W4, W6, W8.



სურ. 9.8. სადრენაჟო ბეტონი

9.1.15. სასაქონლო ბეტონი

ბეტონი, რომელიც იწარმოება საქარხნო პირობებში და მიეწოდება სამშენებლო ობიექტს მზა სახით. იგი არის ბეტონი გასაცემი (ნაწილობრივი) სიმტკიცით, რომლის დროსაც ნაკეთობა შეიძლება მიეწოდოს მომხმარებელს მშენებლობის პერიოდში საპროექტომდე ზრდადი სიმტკიცის ანგარიშით. ბეტონის გასაცემი სიმტკიცე წლის თბილ დროში შეადგენს საპროექტო სიმტკიცის 50-70%-ს, ცივში – 70-90%-ს.

9.1.16. სწრაფმყარებადი ბეტონი

სწრაფმყარებადი ბეტონი ბეტონის სახეობაა, რომელიც ნორმალურ პირობებში გამაგრებისას შედარებით მაღალ სიმტკიცეს აღწევს სწრაფად – 1-3 დღეში. იგი მიიღწევა სწრაფმყარებადი ცემენტის გამოყენებით ან ცემენტის გამაგრების დაჩქარების სხვა ხერხით. ბეტონის სიმტკიცის ზრდაზე ადრეულ ასაკში ყველაზე მეტი გავლენა აქვს შემკვრელის თვისებებს და წყალცემენტის ფარდობას, აგრეთვე ნარევის მომზადების ტექნოლოგიას. ბეტონის გამაგრების დამაჩქარებელი დანამატებიდან ყველაზე მეტად გავრცელებულია კალციუმის ქლორიდი, რომელიც უზრუნველყოფს უკეთეს შედეგს, სხვა დანამატებთან შედარებით. მისი გამოყენება რეკომენდებულია პუცოლანურ, წიდაპორტლანდცემენტსა და ნელამაგრებად პორტლანდცემენტზე დამზადებულ ბეტონებში.

9.1.17. ჰიდროტექნიკური ბეტონი

ჰიდროტექნიკური ბეტონი მძიმე, ჩვეულებრივი ბეტონის სახესხვაობაა (სურ. 9.9). ახასიათებს წყალუქონადობა, დაბალი სითბოგამოყოფა, წყალ, ყინვა და ქიმიურმედგობა. გამოიყენება ნაგებობებისათვის, რომლებიც პერიოდულად ან მუდმივად წყალშია. ჰიდროტექნიკური ბეტონი მძიმე ბეტონის სახესხვაობაა, რომელიც, ჰიდროტექნიკური ნაგებობის კონსტრუქციის ექსპლუატაციის პირობებიდან გამომდინარე, რამდენიმე სახედ კლასიფიცირდება. წყლის დონის მიხედვით არსებობს ჰიდროტექნიკური ბეტონის სახეები: წყალქვეშა ბეტონი (მუდმივად იმყოფება წყალში); ცვალებადი ზონის ბეტონი (პერიოდულად განიცდის წყლით შემორეცხვას); წყალზედა ბეტონი (მდებარეობს წყლის ცვალებადი ზონის ზევით).



სურ. 9.9. ჰიდროტექნიკური ბეტონი

კონსტრუქციის ზედაპირის ფართობის მიხედვით ჰიდროტექნიკური ბეტონი შეიძლება იყოს მასიური და არამასიური. კონსტრუქციაში მდებარეობის ადგილის მიხედვით დაბალი სითბოგამოყოფით გარეთა და შიდა ზონის. მასიური ნაგებობის შიდა ზონის ბეტონი, რომელიც არ განიცდის წყლის დაწნევას და განლაგებულია გარე ზედაპირიდან არანაკლებ 2 მ-ზე, წარმოადგენს ჩვეულებრივ მძიმე ბეტონს. კონსტრუქციაზე წყლის წნევის მოქმედების მიხედვით განირჩევა სადაწნევო და ჩვეულებრივი (უდაწნევო) ჰიდროტექნიკური ბეტონი. ჰიდროტექნიკური ნაგებობის დაპროექტებისას ზემოთ ჩამოთვლილი მოთხოვნები გაითვალისწინება. თუ კონსტრუქცია რამდენიმე ზონაშია განლაგებული, მაშინ მოთხოვნები ბეტონზე მიიღება ყველაზე ცუდი ზონისათვის. მუშაობის პირობებისა და

სახეობების მიხედვით ჰიდროტექნიკურ ბეტონს წაეყენება ტექნიკური მოთხოვნები: სიმტკიცეზე (კუმშვა, ღერძული გაჭიმვა), ყინვამდეგობაზე, წყალუქონალობაზე, წყალმთანთქმადობაზე, ხაზობრივ ჯდომასა და გაჯირჯვებაზე, ცვეთამდეგობასა და ბზარმდეგობაზე. ბეტონის გამაგრების ასაკი, რომელიც აკმაყოფილებს სიმტკიცის მოთხოვნას კუმშვისა და გაჭიმვის კლასზე და წყალუქონალობაზე, მასიური ჰიდრომელიორაციული ნაგებობისათვის და მდინარის ჰიდროტექნიკური კონსტრუქციებისათვის არის 180 დღე, საზღვაო და სამდინარე სატრანსპორტო ანაკრები ან მონოლითური და თხელკედლიანი ჰიდრომელიორაციული კონსტრუქციებისათვის – 28 დღე, საპროექტო მარკის ყინვამდეგობისათვის მიიღება 28 დღე, მასიური ნაგებობებისათვის "თბილ" ყალიბში – 60 დღე. ჰიდროტექნიკური ბეტონის კლასი კუმშვაზე (რუსული ნორმებისათვის) შემდეგია: B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B35; B40; B45; B50; B55; B60; შეიძლება შუალედური B22,5 და B27,5 კლასის ბეტონის გამოყენებაც. კლასი ღერძულ გაჭიმვაზე: B(t)0,4; B(t)0,8; B(t)1,2; B(t)1,6; B(t)2,0; დაძაბული, წვრილმარცვლოვანი და მსუბუქი ბეტონებისათვის – B(t)2,4; B(t)2,8; B(t)3,2; მარკა ყინვამდეგობაზე: F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500; F600; F800; F1000 (ყინვამდეგობაზე მოთხოვნა წაეყენება მხოლოდ იმ ბეტონს, რომელიც იმყოფება წყლის დონის ცვალებად ზონაში, ან წყლის დონიდან 2 მ სიმაღლეზე და აგრეთვე წყალზედა ზედაპირულ ბეტონს); მარკა წყალუქონალობაზე: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20. სადაწნევო კონსტრუქციის ბეტონისათვის მარკა ინიშნება იმ ანგარიშით, რომ მივიღოთ წყალუქონადი ბეტონი. წყალქვეშა ბეტონისათვის გამოიყენება ყველაზე წყალმდეგი პუცოლანური და წიდაპორტლანდცემენტი. წყლის ცვალებადი ზონის ბეტონისათვის, რომელიც ყველაზე მძიმე საექსპლუატაციო პირობებშია, საუკეთესოა სულფატმდეგი პორტლანდცემენტი. წყალზედა ბეტონისათვის რეკომენდებულია პორტლანდცემენტი, დანამატიანი პორტლანდცემენტი და წიდაპორტლანდცემენტი. შიდა ზონის ბეტონისთვის გამოიყენება დაბალთერმული პუცოლანური და წიდაპორტლანდცემენტი. შეიძლება პორტლანდცემენტისა და დანამატიანი პორტლანდცემენტის გამოყენებაც. სულფატურ-აგრესიული წყლისათვის აუცილებელია სულფატმდეგი პორტლანდცემენტის გამოყენება. ინერტულ შემვსებად გამოიყენება: ბუნებრივი ან ხელოვნური ქვიშა სიმსხოს მოდულით 1,5-3,5 მმ; ამოფრქვეულ ან დანალექ ქანებიდან მიღებული ღორღი მარცვლების ზომებით 5-220 მმ, სიმტკიცით 60-100 მპა. ბეტონის ხანგამძლეობა დამოკიდებულია წ/ც ფაქტორზე, რომელიც მიიღება 0,5-0,7-ის ფარგლებში.

9.2. მშენებლობაში გამოყენებული კომპოზიტური ბეტონები

9.2.1. პოლიმერბეტონი

ჩამოსხმული ქვა, ჩამოსხმული მარმარილო (სურ. 9.10.), კომპოზიტური მასალა (სურ. 9.11), პოლიმერულ შემკვრელზე დამზადებული ბეტონი (ცემენტისა და

წყლის გარეშე), რომლის საფუძველია სინთეზური ფისები (ეპოქსიდური, პოლიეთერის, აკრილის, კარბამიდის, ფორმალდეჰიდის, ფურანისა და სხვ.) ან მონომერი (ფურფურულაცეტონური და სხვ.) და რომელიც ბეტონში მაგრდება სპეციალური დანამატის მეშვეობით. შემვსებია ქვიშა და ღორღი.

ბეტონის თვისებების გასაუმჯობესებლად და ფისის ეკონომიისათვის, მასში ზოგჯერ შეჰყავთ წმინდად დაფუქული შემავსებელი. გამაგრების დაჩქარებისა და თვისების გასაუმჯობესებლად იყენებენ გამამაგრებელს, პლასტიფიკატორს და სხვა სპეციალურ დანამატს.



სურ. 9.10. ჩამოსხმული მარმარილო



სურ. 9.11. კომპოზიტური მასალა

პოლიმერბეტონის თვისება დამოკიდებულია ფისის სახეობაზე, ბეტონის შედგენილობასა და ტექნოლოგიაზე. პოლიმერბეტონის შედგენილობა მასის მიხედვით დაახლოებით შემდეგია: მარმარილოს ღორღი – 50%; კვარცის ქვიშა – 20-25%; დანამატები – 10-15%; სინთეზური ფისი – 10-13% და გამამაგრებელი – 0,5-1%. მისგან შესაძლებელია დამზადდეს ნებისმიერი ფერისა და ფაქტურის კომპოზიციები [ინტერიერის ელემენტები (სურ. 9.12), ფანჯრის თაროები, სავაჭრო ფარდულებისა და მაღაზიების დახლები, სამზარეულოს ავეჯის სამაგიდო ფილების ზედაპირები (სურ. 9.13; სურ. 9.14) და სხვ.]. კარგად ეწინააღმდეგება მჟავების, მარილების, ორგანული გამხსნელებისა და ნავთობპროდუქტების მოქმედებას. ქიმიურად მედეგი პოლიმერბეტონი გამოიყენება დეფექტების (ფორები, კაპილარები, მიკროდეფექტები) ამოსავსებად, აგრეთვე აგრესიულ გარემოში, სადაც ჩვეულებრივი ბეტონი სწრაფად იშლება (მჟავების, მინერალური სასუქების, ხელოვნური ბოჭკოს, ცელულოზის, შაქრისა და სხვ. წარმოება). გაჟღენთვა ზრდის ბეტონის სიმტკიცეს. პოლიმერბეტონის გამოყენება მიზანშეწონილია ისეთ კონსტრუქციებში, სადაც სრულად ვლინდება მისი დადებითი თვისებები; მაგ., კონსტრუქცია, რომელიც განიცდის ძლიერ ცვეთას (ჰიდროტექნიკური ნაგებობა, ზოგი მილსადენი), ქიმიური მრეწველობის კოროზიამედეგი კონსტრუქციები, დინამიკურ დატვირთვებზე მომუშავე ელემენტები, სანტექნიკური ნაკეთობანი (სურ. 9.15) და სხვ. მაღალი ცოცვადობა, დაჯდომა, დაძველება, დაბალი თბომედეგობა (100-200°C)

და სხვ. უარყოფითი თვისებები ზღუდავს პოლიმერბეტონის გამოყენებას შენობის მზიდ კონსტრუქციებში.



სურ. 9.12. ინტერიერის ელემენტები



სურ. 9.13. სამაგიდო ფილები



სურ. 9.14. სამზარეულოს ავეჯის სამაგიდო ფილის ზედაპირი



სურ. 9.15. სანტექნიკური ნაკეთობანი

9.2.2. ბეტონპოლიმერი

ბეტონპოლიმერი არის მონომერებით ან თხევადი ოლიგომერებით გაჟღენთილი ბეტონი, რომლებიც შესაბამისი დამუშავების შემდეგ (მაგ., გახურება), გადადის მყარ პოლიმერებში და ავსებს ბეტონში არსებულ ფორებსა და დეფექტებს. ჩვეულებრივი ბეტონის დიდი ნაკლია მასში ფორების, ბზარების, კაპილარებისა და სხვადასხვა მიკროდეფექტების არსებობა, რომელიც ამცირებს ბეტონის სიმტკიცეს, ხანმდეგობასა და მედეგობას აგრესიულ გარემოსადმი. ბეტონის თვისებები შეიძლება გავაუმჯობესოთ, თუ ფორებსა და კაპილარებს შევავსებთ სხვა მასალით, ამისათვის ბეტონის ან რკინაბეტონის ნაკეთობა სპეციალურად უნდა დავამუშაოთ. ეს ითვალისწინებს ნაკეთობის გამოშრობას, ვაკუუმირებას, სპეციალური მასალით გაჟღენთას და პოლიმერიზაციას. ბეტონის შრობა საჭიროა იმიტომ, რომ მასალის დეფექტები გავათავისუფლოთ წყლისგან, რათა უკეთ შე-

ვავსოთ ისინი. ვაკუუმირება ბეტონიდან ღვეზის ჰაერს, რომელიც უარყოფითად მოქმედებს ზოგი მონომერის პოლიმერიზაციაზე. ზოგ შემთხვევაში სასურველ შედეგს აღწევნ ვაკუუმირების გარეშეც. გაჟღენთისათვის გამოიყენება პეტროლატუმი, განზავებული ფისი, ორგანული ზეთი, გოგირდი, ბიტუმი და სინთეზური ფისით მოდიფიცირებული ბიტუმი. ამ ნივთიერებიდან ბევრი არ მოითხოვს შემდგომ დამუშავებას და ნაკეთობა მყისიერად შეიძლება გამოვიყენოთ.

ბეტონის სტრუქტურისა და თვისების საფუძვლიანი შეცვლისათვის გამოიყენება თხევადი მონომერი (მეთილმეტაკრილატი ან სტირენი), პოლიმერი (ეპოქსიდური და პოლიეთერის ფისი) და სხვადასხვა კომპოზიცია მათ საფუძველზე. გაჟღენთის სიღრმე დამოკიდებულია გამჟღენთი ნივთიერების შემადგენლობაზე, კერძოდ, სიბლანტესა და ბეტონის გაჟღენთის მიმართულებაზე. ბლანტი ნივთიერებანი (ბიტუმი, პეტროლატუმი) ბეტონს ჟღენთენ 1-3 სმ სიღრმეზე, თხევადი მონომერები (სტირენი, მეთილმეტაკრილატი – 10-20 სმ-ზე. ბეტონის გასაჟღენთი მონომერის რაოდენობა დამოკიდებულია მის ფორიანობაზე. მკვრივი ბეტონის სრული გაჟღენთისათვის საჭიროა მასის 2-5% მონომერი (ამა თუ იმ ნივთიერების უმარტივესი მოლეკულური ფორმა), მოცულობის – 4-10%. ღუღაბის გასაჟღენთად 30-70%-ით მეტი მონომერია საჭირო, ვიდრე ბეტონისათვის. მსუბუქი ფორიანი ბეტონი კი გაცილებით მეტ (30-50%) მონომერს მოითხოვს გასაჟღენთად. თხევადი მონომერის გამოყენებისას ახდენენ მის პოლიმერიზაციას უშუალოდ ბეტონში. პოლიმერიზაცია (რეაქცია, რომლის საშუალებითაც მონომერიდან მიიღება პოლიმერი) ხორციელდება სხვადასხვა მეთოდით, მონომერის ბუნების გათვალისწინებით. ყველაზე გავრცელებულია თერმოკატალიზური მეთოდი, როდესაც მონომერში შეჰყავთ პოლიმერიზაციის ინიციატორი ნივთიერება, შემდეგ ნაკეთობას ახურებენ 70-120°C-მდე (მონომერის სახეობის მიხედვით), იგი მჭიდროდ შეავსებს ყველა ფორს, ღეფექტს და რამდენიმე საათის შემდეგ გარდაიქმნება მყარ პოლიმერად. ამ დამუშავების შედეგად პირველ შემთხვევაში ვაღწევთ ბეტონის ხანმდეგობის და უჟონადობის გაზრდას, თუ მას ვჟღენთთ ბლანტი მასალით, პოლიმერიზაციის გარეშე, მაგ., ბიტუმით; მეორე შემთხვევაში ვიღებთ ახალ მასალას, რომელიც თავისი თვისებებით საგრძნობლად სჯობს საწყის ბეტონს, თუ მას ვჟღენთთ მონომერით, რომელიც პოლიმერიზაციას განიცდის ბეტონის მასაში და ავსებს ყველა ღეფექტს. ასეთმა მასალამ მიიღო სახელწოდება ბეტონპოლიმერი (სურ. 9.16; სურ. 9.17). მისი თვისება დამოკიდებულია ბეტონისა და პოლიმერის თვისებასა და დამუშავების ტექნოლოგიაზე – რაც მტკიცეა პოლიმერი და რაც მეტია მისი რაოდენობა ბეტონში, მით მეტია ბეტონპოლიმერის სიმტკიცე, რომელიც აღწევს 200 მპა-ს და მეტს.

გაჟღენთის დროს, პოლიმერი და ცემენტის ქვა არ ურთიერთქმედებენ, მაგრამ ცალკეული პოლიმერი ქიმიურ რეაქციაში შედის ბეტონის კომპონენტთან. პოლიმერი ავსებს ცემენტის ქვის სტრუქტურას (სურ. 9.18), შემვსების კონტაქტის ზონას და ათასობით ძაფით აკავშირებს ბეტონის უბნებს, ზრდის ბზარმდეგობასა და

სიმტკიცეს. ბეტონში წარმოქმნილი პოლიმერის ბადე შეიძლება განვიხილოთ როგორც დისპერსიული დაარმირება. პოლიმერიზაციის დროს მონომერი ცდილობს შემცირდეს მოცულობაში, რაც იწვევს მასალის მინერალური ნაწილის მოჭიმვას. შედეგად იქმნება მასალის წინასწარ დაძაბვის სახესხვაობა, რაც ასევე ხელს უწყობს მისი სიმტკიცისა და ბზარმდეგობის გაზრდას.



სურ. 9.16. ბეტონპოლიმერის იატაკი



სურ. 9.17. ბეტონპოლიმერის იატაკი პოლიურეთანის საფუძველზე

ბეტონის თანამიმდევრული დამუშავება პოლიმერით საშუალებას იძლევა დავარეგულიროთ მისი დეფორმაცია, არსებითად გავზარდოთ ხანმდეგობა, ცვეთამდეგობა და სხვა თვისებები. განსაკუთრებით იზრდება ბეტონის მედეგობა აგრესიულ გარემოში. პოლიმერბეტონის გამოყენება, პირველ რიგში, მიზანშეწონილია ისეთი კონსტრუქციებისათვის, რომლებსაც მუშაობა უხდებათ მკაცრ კლიმატურ ან აგრესიულ გარემოში ან იმ შემთხვევაში, როდესაც ბეტონისთვის საჭიროა განსაკუთრებული თვისება (აირმუელწვალობა, ცვეთამდეგობა, ელექტროიზოლაცია, ელექტროგამტარობა, დეკორატიული სახე და სხვ.). ბეტონპოლიმერი ფართოდ გამოიყენება ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციების აღდგენისა და სარემონტო სამუშაოების დროს (სურ. 9.19).



სურ.9.18. ბეტონპოლიმერის ქვის კუბური ბლოკები



სურ. 9.19. ბეტონპოლიმერის წყლის საწრეტი დარი

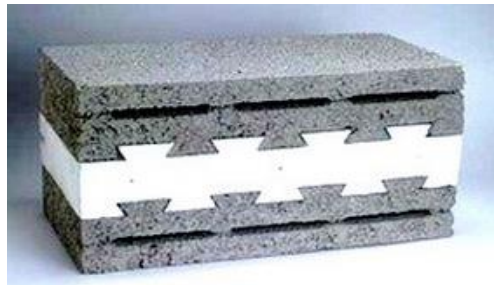
9.2.3. პოლისტირენბეტონი

მსუბუქი ბეტონის სახეობა – პოლისტირენბეტონი კომპოზიციური მასალაა, რომლის შედგენილობაში შედის პორტლანდცემენტი, ფორებიანი შემვსები და ჰაერჩამთრევი დანამატები (სურ. 9.20).

თვით პოლისტირენი სინთეზური არომატული პოლიმერია, (თერმოპლასტიკური პლასტმასა), რომელიც წარმოადგენს სტირენის (ვინილბენზოლის) პოლიმერიზაციის პროდუქტს. იგი მაგარი, მყიფე, გამჭვირვალე მასალაა ფერების ფართო გამით. შეიძლება იყოს მაგარი ან აფუებულ მდგომარეობაში; ბლანტი, საშუალო ან მაღალი დარტყმითი სიმტკიცის. ქიმიური ფორმულა – $(C_8H_8)_n$; სიმკვრივე – 960-1040 კგ/მ³; დნობის ტემპერატურა – დაახლოებით 240°C. თერმულად მდგრადია 105°C ტემპერატურამდე, კარგად ექვემდებარება მექანიკურ დამუშავებას, წებვადია, წყალმდეგია. გრანულებისაგან აშუადებენ თბოსაიზოლაციო ფილებს, ექსტრუზიის მეთოდით – უჯრედოვან ქაფპოლისტირენს. გამოყენების სფეროა: თბოსაიზოლაციო, მოსაპირკეთებელი, დეკორატიული, საფილტრავი მასალები, სენდვიჩ-პანელები, ყალიბები, საყოფაცხოვრებო ნივთები (ჭურჭელი, შესაფუთი მასალები, ბავშვის სათამაშოები და სხვ.), მედიცინა, ელექტროტექნიკა (დიელექტრული ანტენები, კოაქსიალური კაბელები, კონდენსატორები, ელექტროხელსაწყოების კორპუსები), სამხედრო საქმე (ნაპალმის წარმოება) და ა. შ. მსოფლიოში გავრცელებულია პოლისტირენის შემდეგი აბრევიატურები: PS – polystyrene (პოლისტირენი), GPPS – general purpose polystyrene (საერთო დანიშნულების პოლისტირენი, არადარტყმამდეგი); MIPS – medium-impact polystyrene (საშუალო დარტყმამდეგი); HIPS – high-impact polystyrene (დარტყმამდეგი პოლისტირენი); EPS – expanded polystyrene (აფუებადი პოლისტირენი).



სურ. 9.20.
პოლისტირენბეტონი



სურ. 9.21. პოლისტირენბეტონისა და
ქაფპლასტის საკედლე ბლოკები

როდესაც საჭიროა მკვრივი პოლისტირენბეტონის მიღება, შედგენილობას უმატებენ მინერალურ შემვსებს (ქვიშა). ასეთი გზით წარმოებული ბეტონი გამოირჩევა ჰიდროფობულობით, თბოსაიზოლაციო თვისებებით, მაღალი მზიდუნარიანობით, ცეცხლ, ლპობა, ბგერა და ყინვამდეგობით, მაღალი კონსტრუქციული სიმტკიცით.

პოლისტირენბეტონის ნაკეთობებში შეთავსებულია მშენებლობაში გამოყენებული სხვადასხვა საშენი მასალის უპირატესობანი: ბეტონის სიმტკიცე, მერქნისა და ქაფპოლისტირენის სიმსუბუქე და დამუშავების სიმარტივე, მაღალი თბო- და ბგერასაიზოლაციო თვისებები და სხვ. პასუხობს ნორმებით გათვალისწინებულ სახანძრო უსაფრთხოების მოთხოვნებს. იყენებენ საკედლე ბლოკებად (სურ. 9.21 – სურ. 9.23) მონოლითურ ბინათმშენებლობაში (დაბალსართულიანი სახლები), კედლების (სურ. 9.24 – სურ. 9.26), სახურავების, იატაკების, გადახურვების თბო და ბგერასაიზოლაციოდ, ტიხრებად, ღობეებად, როსტვერკებად (სურ. 9.27), საკედლე პანელებად (სურ. 9.28. პოლისტირენბეტონის საკედლე პანელი), გარე კედლების მოსაპირკეთებლად (სურ. 9.29) და სხვ.



სურ.

და 3

სურ. 9.24. სახლის კედლების თბოიზოლაცია



სურ. 9.25. პოლისტირენბეტონის საკედლე პანელები



სურ. 9.26. კედლის კონსტრუქცია და ბეტონებამდე



სურ. 9.27. პოლისტირენბეტონის როსტვერკი



სურ. 9.28. პოლისტირენბეტონის საკედლე ფილები



სურ. 9.29. გარე კედლის ასაწყობი პანელი (სამონტაჟე ერთეული)

9.2.4. ფიბრობეტონი

ცემენტიანი ბეტონის ნაირსახეობა – ფიბრობეტონი ახალი კომპოზიტური კონსტრუქციული მასალაა, დაარმირებული წვრილი არაორგანული ან ორგანული ბოჭკოებით – ფიბრებით, რომლებიც თანაბრადაა განაწილებული ბეტონის მოცულობაში (სურ. 9.30). მთელ მოცულობაში თანაბრად განაწილებული დისპერსიული ფიბრა–მიკროარმატურა – ზრდის ბეტონის სიმტკიცეს (გაჭიმვასა და ღუნვაზე 50-200%-ით), დარტყმამდეგობას და ამცირებს ბზარწარმოქმნას. დისპერსიული დაარმირება ბეტონის მოცულობაში შეიძლება მიმართული იქნეს ორიენტირებულად ან გაბნეული ქაოსურად. ორიენტირებული დაარმირება ხორციელდება ნაქსოვი და უქსოვი ბადით, გაუნშოვებული ქსოვილით, ფოლადის ბოჭკოთი, როცა დაყალიბება ხდება მაგნიტურ ველში და სხვ. ყველაზე უკეთესი მაჩვენებელი აქვს 0,1-0,5 მმ დიამეტრის ფოლადის ფიბრით დაარმირებულ ბეტონს. ფიბრის სიგრძეა 10-50 მმ და იგი შეადგენს ბეტონის მასის 3-9%, რაც იძლევა 70-200 კგ-ს 1 მ³ ბეტონზე. ფიბრის სიგრძის გაზრდა იწვევს ბეტონის ნარევის ადვილჩაწყობადობის გაუარესებას.



სურ. 9.30. ბოჭკოებით დაარმირებული ფიბრობეტონი



სურ. 9.31. ფიბრობეტონის მავთულოვანი არმატურა

ფიბრის ბეტონთან შეჭიდულობის გაზრდის მიზნით იყენებენ პერიოდული პროფილის მავთულს და ფიბრას მოღუნული ბოლოებით (სურ. 9.31. ფიბრობეტონის მავთულოვანი არმატურა). ფიბრის ჩაწყობა ბეტონში ხდება დაბეტონებამდე უშუალოდ ობიექტზე ან ბეტონის ქარხანაში ბეტონის ნარევის მომზადებისას, რაც წარმოადგენს ოპტიმალურს ტექნოლოგიურობის თვალსაზრისით.

ფიბრობეტონის დაარმირებისათვის ასევე გამოიყენება მინის, ცელულოზის, ჯუთის (ერთწლიანი დეკორატიული მცენარე ცაცხვისებრთა ოჯახისა), ნეილონის, ბაილონის, პოლიეთილენისა და სხვ. ბოჭკო, რომელიც არ განიცდის კოროზიას ჰიდრატირებული ცემენტის ტუტე გარემოში. ფიბრობეტონს იყენებენ მონოლითურ და ასაწყობ კონსტრუქციაში, რომელსაც მუშაობა უხდება გაჭიმვაზე, ღუნვაზე, ცვეთაზე, განიცდის დარტყმას, აფეთქებასა და ვიბრაციულ დატვირთვას. დისპერსიული ბოჭკოს გამოყენება ყველაზე ეფექტურია წვრილმარცვლოვან ბეტონში, ექსპლუატაციის განსაკუთრებულ პირობებში, არის გამოცდილება მისი გამოყენებისა ხიმინჯის თავის დაბეტონებისათვის.

ფიბრობეტონებში ძირითადად გამოიყენება ფოლადის, ბაზალტის, მინისა და სინთეზური (პოლიპროპილენი, ნეილონი, პოლიეთილენი, პოლიაკრილნიტრილი) ფიბრები.

ფოლადის ფიბრის არმატურა გამოიყენება ქარხნული წარმოების მონოლითურ და ასაწყობ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში. ფიბრის დიამეტრია – 0,2-1,2 მმ, სიგრძე – 50-120 მმ. გამოყენებული ფიბრის დიამეტრი მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს კონსტრუქციაში ბზარწარმოქმნის ხასიათს. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ კომპოზიტში გამოყენებული ფიბრული ბოჭკოს დიამეტრი განსაზღვრავს ბზარების გახსნის საწყის სიგანეს: 0,3 მმ დიამეტრის ფოლადის ფიბრის გამოყენებისას ბზარის გახსნის საწყისი სიგანეა 1-3 მკმ, 0,9 მმ-ის დროს – 7-10 მმ და ა. შ.

ბაზალტის ბოჭკოებზე (სურ. 9.32) დამზადებული ბეტონები ყველა დაძაბული მდგომარეობისათვის გამოირჩევა მაღალი სიმტკიცითა და უნარით აიტანოს დიდი დეფორმაციები ღრეკად მდგომარეობაში (ბაზალტს აქვს მაღალი ღრეკადობის მოდული და სიმტკიცის კარგი მაჩვენებლები გაგლეჯაზე). იგი უკეთეს მაჩვენებლებს იძლევა ფოლადის ბადეებით დაარმირებულ ანალოგიურ არმოცემენტის კონსტრუქციებთან შედარებით, რადგან ბაზალტის ბოჭკო არა მარტო აჭარბებს ფოლადის ბოჭკოს მითითებული პარამეტრებით, არამედ უზრუნველყოფს ცემენტის ცომის დაარმირების დისპერსიულობის ხარისხს.



სურ. 9.32. ბაზალტის ბოჭკო

ჩვეულებრივი ალუმინბორსილიკატური მინა არ არის მედეგი ბეტონის ტუტე გარემოს მიმართ, ამიტომ მინაფიბრობეტონებში (სურ. 9.33) გამოიყენება ცირკონიუმის მინაბოჭკო დიამეტრით 8-10 მმ, რომელიც სიმტკიცით შეესაბამება მაღალნახშირბადიან ცივჭიმულ მავთულს, სიმკვრივით კი რამდენჯერმე ნაკლებია. დრეკადობის მოდული სამჯერ აჭარბებს კომპოზიტის მატრიცის დრეკადობის მოდულს. აღსანიშნავია ისიც, რომ ასეთი წვრილი ბოჭკოების წარმოებას და შემდეგ მის შეხვევას კომპლექსურ ძაფად, სჭირდება ძვირადღირებული მოწყობილობა. თვით ცირკონიუმის მინის წარმოება ძვირადღირებულია (სჭირდება მრავალკომპონენტური შიხტა), რაც საბოლოო ჯამში აისახება მინის ფიბრის ფასზე. მათი ბეტონში თანაბარი განთავსებაც რთული პროცესია (ამტვერება, კონტაქტური ფორმირება), რაც კიდევ უფრო ზრდის მინაფიბრობეტონის ღირებულებას, ამიტომ, მიუხედავად შესანიშნავი ტექნიკური მახასიათებლებისა, მინის ფიბრების გამოყენება ფიბრობეტონებში ჯერჯერობით შეზღუდულია, თუმცა ვხვდებით არაერთ არქიტექტურულად შესანიშნავად გაფორმებულ შენობის ფასადებს, სადაც წარმატებითაა გამოყენებული მინაფიბრობეტონის დადებითი მხარეები (სურ. 9.34).



სურ. 9.33. მინაფიბრობეტონი



სურ. 9.34. მინაფიბრობეტონით გაფორმებული მეჩეთის ფასადი

პოლიპროპილენის ბოჭკოებს ახასიათებთ კარგი შეჭიდულობა ბეტონის მატრიცასთან, თუმცა საკმარისად დეფორმატიულია, რადგან მისი დრეკადობის მოდული ოთხჯერ ნაკლებია მატრიცის დრეკადობის მოდულთან შედარებით. ამიტომ, ასეთი ბოჭკოების გამოყენება ეფექტურ მზიდ არმატურად მიზანშეუწონელია და ის, როგორც წესი, გამოიყენება დამატებითი (კონსტრუქციული) დაარმირებისათვის, რათა თავიდან იქნეს აცილებული კონსტრუქციის დაზიანებები ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს, ნაწილობრივ ამადლდეს დარტყმითი სიმტკიცე, წინაღობა ცვეთისადმი და სხვ. ცალკე აღნიშვნის ღირსია იგი ფაქტი, რომ მცირე გამჭიმავი ძაბვების არსებობისაგ კი, პოლიპროპილენის ბოჭკოებით დაარმირებული ელემენტები განიცდიან შედარებით დიდ დეფორმაციებს, რაც გამოწვეულია პოლიპროპილენის დაბალი ადჰეზიით ცემენტის მატრიცასთან. გარდა

ამისა, ნაკეთობა დროთა განმავლობაში კარგავს სიმტკიცეს და ზედაპირი ხდება ადვილცვეთადი.

9.2.5. ფიბროცემენტი

ფიბროცემენტი (ლათ. fibra ბოჭკო, ძარღვი და ძვ. ფრანგ. ciment საშენი ხსნარი, დუღაბი, ხის ფისი < ლათ. caementum სამტეხლოს ქვა, უხეში ქვა, დუღაბის მოსამზადებელი დამსხვრეული ქვა < caedere ჩეხა, პობა, ჭრა, დანამცეცება) საშენი მასალის სახეობაა, რომლის შედგენილობაში შედის ცემენტი (80-90%), მარმირებული ფიბრა (ბოჭკო) და მინერალური შემკვები.

დაარმირებული პროდუქტი ცემენტის საფუძველზე პირველად მიიღო ავსტრიელმა ლუდვიგ ჰაჩეკმა (1856-1914 წწ.) მე-19 საუკუნის 90-იან წლებში. მან მარმირებლად გამოიყენა აზბესტის ბოჭკო და შექმნა იმ დროისათვის შესანიშნავი იაფფასიანი ცეცხლ-, ტენ- და ცვეთამედეგი მასალა, რომელიც მთელ მსოფლიოში გახდა პოპულარული და ფართოდ გამოიყენებოდა მშენებლობებზე 1976 წლამდე, ვიდრე არ გავრცელდა აზრი აზბესტის მტვრის მავნებლობის შესახებ (იწვევს ონკოლოგიურ დაავადებებს). შემდეგ დაიწყო ფიბროცემენტში მარმირებლად ცელულოზის, არამიდის, ბაზალტის და სხვ. ბოჭკოების გამოყენება, რამაც ამერიკის, ევროპისა და აზიის სამშენებლო ბაზარზე გააჩინა უამრავი კონსტრუქცია, ნაკეთობა, დეტალი დამზადებული ფიბრებით დაარმირებული ცემენტის საფუძველზე.

კომპოზიტურ ცემენტში ქაოსურად განლაგებული ცელულოზის მოკლე ბოჭკოები მნიშვნელოვნად ზრდის ნაკეთობის (მაგ., ფილის) სიმტკიცეს, ტენმედეგობას, სიხისტეს ღუნვაზე, ამცირებს ტემპერატურული ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტის სიდიდეს და ასრულებს მარმირებული მასალის მოვალეობას. არამიდის ბოჭკო ზრდის ფიბროცემენტის სიმტკიცეს, თერმოსტაბილურობას, დარტყმა- და ცეცხლმედეგობას, დიელექტრიკულ თვისებებს და უზრუნველყოფს კონსტრუქციის ნორმალურ მუშაობას დიდ ტემპერატურულ დიაპაზონში; ხოლო ბაზალტის ბოჭკოები მკვეთრად აუმჯობესებს სიმტკიცის მახასიათებლებს და ზრდის დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობას. მინერალური დანამატები ამალაგებს ფიბროცემენტის ფილის შინაგან პლასტიკურობას, თვით ცემენტი კი კომპოზიტის მატრიცული (შემკვრელი) მასალაა.

ფიბროცემენტის ნაკეთობების, პირველ რიგში ფილების, წარმოებაში გამოიყენება ავტოკლავური დაწნების მეთოდი. ფილის დაწნების მომენტში წნევა შეადგენს 650 ნ/სმ². შემდეგ მის გამყარებას სჭირდება 6-8 სთ. ამის შემდეგ ნაკეთობას ათავსებენ ავტოკლავში (ტემპერატურა 175°C, წნევა 10 ატმ.) ტემპერატურა და ორთქლის წნევა საბოლოოდ ასრულებს გამყარების პროცესს. ასეთი ტექნოლოგიით დამზადებულ ნაკეთობას აქვს ერთგვაროვანი სტრუქტურა. ფიბროცემენტის ფი-

ლების დამზადება და გამოყენება რეგულირდება DIN EN 12467 ევროპული სტანდარტით.

თანამედროვე ფიბროცემენტი ეკოლოგიურად სუფთა მასალაა. მის შედგენილობაში არ შედის ადამიანის ჯანმრთელობაზე უარყოფითად მოქმედი კომპონენტები, ფიბროცემენტური მასალები (სურ. 9.35) არ ექვემდებარება კოროზიას, ღვობას, სოკოების გაჩენას; მდგრადია მზის სხივების პირდაპირი ზემოქმედებისადმი (ულტრაიისფერი გამოსხივება). აქვთ კარგი ბერა- და თბოსაიზოლაციო თვისებები, მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერ კლიმატურ პირობებში.



სურ. 9.35. ფიბროცემენტის ფურცლები



სურ. 9.36. ფასადი მოწყობილი ფიბროცემენტის ფილებით

ფიბროცემენტი გამოიყენება სამხედრო, სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობაში (სურ. 9.36), არქიტექტურაში ვენტილირებადი ფასადებისათვის, ისტორიული შენობების რესტავრაციაში, ავეჯის წარმოებაში, შენობების სარემონტო სამუშაოებში, საკედლე პანელების (სურ. 9.37), ტიხრებისა და მოსაპირკეთებელი ფილების (ფურცლების) დასამზადებლად. ფილებს აქვთ სასიამოვნო გარეგნობა და ფაქტურა, ფერთა დიდი გამა და ფაქტურა.



სურ. 9.37. ფიბროცემენტის საკედლე პანელები (ლატონიტი)



სურ. 9.38. ფიბროცემენტის საიდინგი

ფიბროცემენტის ნაკეთობების ერთ-ერთ სახეობას წარმოადგენს ფიბროცემენტის საიდინგი (სურ. 9.38) [საიდინგი – შენობის კედლების ჰორიზონტალურად განლაგებული ერთმანეთზე პირგადადებული მოსაპირკეთებელი მასალა, რომე-

ლიც ასრულებს უტილიტარულ (შენობის დაცვა ატმოსფერული ზემოქმედებისგან) და ესთეტიკურ (შენობის ფასადის მორთვა) ფუნქციებს]. გავრცელებულია ჩრდილოეთის ქვეყნებში.

9.2.6. მინაფიბრობეტონი

მინაფიბრობეტონი (არქიტექტურული ბეტონი) თანამედროვე კომპოზიტური მასალაა, რომელიც არის ფიბრობეტონის ნაირსახეობა და მზადდება წვრილმარცვლოვანი ბეტონისა (მატრიცა) და მაარმირებელი მინაბოჭკოს მოკლე ნაჭრებისგან (ფიბრებისგან), რომელიც თანაბრადაა განაწილებული ბეტონის ნაკეთობის მოცულობაში (სურ. 9.33). სიმკვრივე – 1700-2250 კგ/მ³; სიმტკიცე კუმშვაზე – 490-840 კგ/სმ²; სიმტკიცე გაჭიმვაზე ლუნვისას – 210-320 კგ/სმ²; დრეკადობის მოდული – (1-2,5)10⁴ მპა.

მინაფიბრობეტონის კომპოზიტური მასალის წარმოება ჯერ კიდევ უძველესი დროიდან იყო ცნობილი, როცა საცხოვრებელი სახლების მშენებლობაში იყენებდნენ თხევადი თიხისა და დაქუცმაცებული ჩალისგან დამზადებულ აგურს, ე. წ. სამანებს (სურ. 9.39). სხვათაშორის ეს საშენი მასალა ახლაც გამოიყენება ცენტრალურ ამერიკაში, ირანში, ჩრდილოეთ კავკასიაში, ალტაის მხარეში, აფრიკის ჩრდილოეთსა და აზიის ქვეყნებში.



სურ. 9.39. სამანის ბლოკები

ასევე უძველესი დროიდან იცნობდნენ მინაფიბრობეტონს (ინგლ. architectural concrete; ფრანგ. architectural en béton; გერმ. die architektonische Beton) დასავლეთსა და აშშ-ში. ყველაზე ადრეული წერილობითი წყაროებით კომპოზიტური ხელოვნური ქვების გამოყენება ევროპაში დაფიქსირებულია 1138 წლით. 1855 წელს ფრანგმა ჟან ლუი ლამბომ ცემენტის ხსნარისგან დაამზადა ნავი, რომელიც დაარმირებული იყო ლითონის ბადით. არქიტექტურული ბეტონის ფართოდ გამოყენება დაიწყო ლონდონში 1900-იან წლებში, ხოლო ამერიკაში – 1920-იანი წლებიდან („დიდი დეპრესიის“ პერიოდში).

მე-20 საუკუნის 70-იანი წლებიდან მსოფლიოში შეინიშნება მინაფიბრობეტონების სწრაფი განვითარება. 1988 წელს ამ მასალით მოხდა ორმალიანი ხიდის რეკონსტრუქცია ბერლინში (გერმანიის ფედერაციული რესპუბლიკა); 1992 წელს – ვანტური ხიდის მშენებლობა იაპონიაში; ლოს-ანჯელესსა და სანტა-მონიკაში (აშშ) სეისმომდებლობის ასამაღლებლად გამოიყენეს სვეტების დამცავი მოპირკეთება მინაფიბრობეტონის საფუძველზე დამზადებული მასალისაგან; შენობების

ფასადების დიდი ნაწილი მოპირკეთდა ლას-ვეგასში (აშშ); მეტროს სადგური „ტიუტიუსენი“ – იაპონიაში და ა. შ.

მინაფიბრობეტონის დამახასიათებელი თვისება ისაა, რომ მისგან შესაძლებელია მივიღოთ ნებისმიერი მასალის ფაქტურა (შამოტი, ქვიშაქვა, გრანიტი, მერქანი და სხვ.), ამიტომ ამ მასალის გამოყენება უფექტურია მსხვილმასშტაბიანი პროექტების განსახორციელებლად, კერძოდ, ასეთი ობიექტების ფასადებისა და ინტერიერების გასაფორმებლად [სვეტები (სურ. 9.40), კარნიზები, პილასტრები, ბალიასინები, კრონშტეინები, აივნები, მოაჯირები და სხვ.], არქიტექტურული ელემენტების დასამზადებლად (სურ. 9.41).



სურ. 9.40. მინაფიბრობეტონის სვეტები



სურ. 9.41. მინაფიბრობეტონის მაგიდა

გამზადებულ არქიტექტურულ ნაკეთობაში შედის: მაღალი მარკის პორტლანდცემენტი, ნახევრადფრაქციული გარეცხილი კვარცის ქვიშა, ტუტემედეგი მინაბოჭკო (მინაროვინგი) და წყალი. უპირატესობა ენიჭება მინაბოჭკოს ცირკონიუმის ორჟანგის შემცველობით 15% და მეტი. დისპერსიული ბოჭკოვანი დაარმირება კომპენსაციას უკეთებს ჩვეულებრივი ბეტონის უარყოფით თვისებებს – დაბალ სიმტკიცეს გაჭიმვისას და რღვევის სიმყიფეს. ფოლადის ღეროვანი არმატურისგან განსხვავებით, მინაბოჭკოებით დაარმირება იძლევა უფექტურობის მთელ კომპლექსს, კერძოდ, გამყარების პროცესში მაარმირებელი ბოჭკოები ხელს უშლიან შეკლების ბზარების გაჩენას, ხოლო ექსპლუატაციის პროცესში ღუნვაზე მომუშავე კონსტრუქციებში გაჩენილი ძაფისებრი ბზარები კონსტრუქციის მუშაობისათვის საშიში არაა. ბოჭკოებით დაარმირებულ არქიტექტურულ ნაკეთობებს აქვთ საუკეთესო ფასადური თვისებები – სიმსუბუქე, სიმტკიცე, ხანგამძლეობა, ფერთა ფართო გამა და კონკურენტული ღირებულება.

თანამედროვე ქიმიის განვითარებამ აქტიურად შეუწყო ხელი მინაფიბრობეტონების წარმოების ხარისხის გაუმჯობესებას (აღარ არის საჭირო ჰიდრატაციის გასაორთქლი კამერები). ქიმიური დანამატები (მაგ., BASF) საშუალებას იძლევა შეიქმნას წყალ-ცემენტის ფარდობა 0,33-0,38-ის ფარგლებში ბეტონის სწრაფი გამყარებით და ერთდროულად შემცირდეს ზედმეტი ტენის აორთქლების

პროცესი ბეტონის მატრიციდან, რაც საბოლოო ჯამში აუმჯობესებს ბეტონის რეოლოგიურ თვისებებს.

ფიბრობეტონებს სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე ისეთივე აქვს, როგორც ჩვეულებრივ ბეტონებს, მაგრამ 4-5-ჯერ აღემატება ღუნვასა და გაჭიმვაზე. ასევე მაღალი აქვს დარტყმითი სიმტკიცე (10-15-ჯერ), ყინვამედგობა (300 ციკლამდე), წყალუქონადობა (W14). გამოირჩევა ჩვეულებრივ ბეტონებთან კარგი შეჭიდულობით. ცემენტმემცველი სხვა საშენი მასალებისგან განსხვავებით, ფიბრობეტონები მიეკუთვნება ეკოლოგიურად სუფთა არაწვად მასალებს, გახურებისას არ გამოყოფენ მომწამლავ აირებს, მდგრადია ქიმიურად აგრესიული გარემოს მიმართ, არ ექვემდებარება კოროზიასა და ლპობას. ხისტ არმატურაზე უარის თქმა საშუალებას იძლევა მინაფიბრობეტონისგან დამზადდეს ნებისმიერი ფორმის დეტალი და ნაკეთობა და სხვ.

მინაფიბრობეტონისგან დამზადებული არქიტექტურული დეკორის ხარისხზე მოქმედი ფაქტორები შემდეგია:

1. ნარევში ბოჭკოების რაოდენობა აიღება მშრალი მასალის მასის მინიმუმ 3%. ბოჭკოების სწორედ ასეთი რაოდენობა უზრუნველყოფს ნაკეთობის მაქსიმალურ სიმტკიცეს. ბოჭკოების პროცენტული რაოდენობის ზრდა იწვევს ზედმეტ ჰაერჩათრევას, ნაკეთობაში „ბამბის ეფექტის“ წარმოქმნას და შესაბამისად სიმყიფის გაზრდას;
2. წყალ-ცემენტის ფარდობის საუკეთესო მაჩვენებელია: 17 კგ წყალი 100 კგ ცემენტისა და ქვიშის ნარევზე. მისი მატებით საჭირო გახდება არქიტექტურული ნაკეთობის გაორთქვლა 8 საათიანი ციკლით, რაც დამატებით ხარჯებთანაა დაკავშირებული;
3. აუცილებელია გარეცხილი (სუფთა) კვარცის ქვიშის გამოყენება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ვერ მივიღებს მაღალი ხარისხის ზედაპირს;
4. ბოჭკოების მაქსიმალური სიგრძეა 2 სმ. მათი რაოდენობა, სიგრძე და ორიენტაცია გავლენას ახდენს სიმტკიცის ზღვარზე გაჭიმვისა და ღუნვისას, აგრეთვე დარტყმით სიბლანტეზე;
5. გამყარება უნდა მიმდინარეობდეს ნორმალური წნევისა და ტემპერატურის პირობებში.

მინაფიბრობეტონის 1 მ² ფასადის მოწყობის ღირებულება 2023 წლის ფასებით დაახლოებით შეადგენს 100-130 ლარს.

9.2.7. ბაზალტფიბრობეტონი

ბაზალტი (ლათ. basalt, basanites < ბერძ. basanos სასინჯი ქვა, რკინისმემცველი ქვა) ფართოდ გავრცელებულ კაინოტიპური (სადი) შავი ფერის ფუძეულკანური ქანია. ძირითადი კომპონენტია სილიციუმის ორჟანგი SiO₂. სიმკვრივე – 2240 კგ/მ³.

მედეგია მჟავებისა და ტუტეების მიმართ. ჩვეულებრივ ბაზალტში ამა თუ იმ რაოდენობით გვხვდება ვულკანური მინა. ბაზალტის მინით მდიდარ სახესხაობას ჰიალობაზალტი ეწოდება, ხოლო სრულკრისტალურს და რამდენადმე მსხვილმარცვლოვანს – დოლერიტი. ბაზალტი ადვილად ლღვება. ლღობილ ბაზალტს იყენებენ მჟავაგამძლე ქიმიური აპარატურის, მილების, ძლიერი დენის ელექტროიზოლატორების დასამზადებლად.

ჩვეულებრივ ბაზალტში ორ ტიპს გამოყოფენ: ოლივიანიანს და უოლივინოს, ანუ ტოლეიტურს. ბაზალტი კარგი საშენი მასალაა (სურ. 9.42). იყენებენ ღორღისა და საცალო ქვის (ბორდიურის) დასამზადებლად, ასევე ნაგებობათა მოსაპირკეთებლად; მკვრივია, კარგად იხეხება, რის გამო მას ძველი დროიდან (ეგვიპტე, ასურეთი, გვიანდელი რომი, ბიზანტია) იყენებდნენ ქანდაკებებისთვის. საქართველოში ბაზალტს საშენ ქვად ძველთაგანვე ხმარობდნენ (ბრინჯაოს ხანის მეგალითური ნაგებობანი). შუა საუკუნეების ქართლსა და მესხეთ-ჯავახეთში ძირითადი საშენი ქვა ბაზალტი იყო. ბაზალტითაა აგებული სამშვილდისა და დმანისის ციხე-სიმაგრეები, მანგლისის ტაძარი, რუისის, წუნდის, აბელიის ეკლესიები, თირის მონასტერი, ნადარბაზევის კომპლექსი და სხვ. ბაზალტისგან ამზადებდნენ ეკლესიათა და სხვა ნაგებობათა სახურავის ფილებს.



სურ. 9.42. ბაზალტის ქვა



სურ. 9.43. ბაზალტი ბუნებაში

საქართველოში გავრცელებული შედარებით ძველი (იურული, ცარცული, პალეოგენური) ბაზალტის (ბაზალტური პორფირიტები) საბადოები (სურ. 9.43) ცნობილია მთიან აფხაზეთში, სამეგრელოში, ლეჩხუმ-იმერეთსა და აჭარა-გურიაში; ახალგაზრდა ბაზალტი (ზედამესამეულ-მეოთხეული პერიოდი) გვხვდება სამხრეთ საქართველოში ასპინდა-ახალქალაქის, ნინოწმინდა-წალკისა და დმანის-თეთრი წყაროს რაიონებში. ბაზალტისგან მიიღება საწარმოო ტექნოლოგიური საქსოვი ბოჭკო, უნიკალური ძაფი, რომელიც კარგი მდგრადობით გამოირჩევა. მისგან შეიძლება დამზადდეს კოროზიამედეგი არმატურა, ნებისმიერი სახის მილი, კრამიტი, მატარებლის ხუნდები, შვერილები და სხვ.

თანამედროვე მსოფლიოში ქალაქთმშენებლობისა და სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების სახეობების (ხილები, გვირაბები, დამცავი ნაგებობები, მრა-

ვალსართულიანი გზები, ჩქაროსნული სარკინიგზო ხაზები, აეროდრომების ასაფრენ-დასაფრენი ზოლები და სხვ.) გაფართოებამ დღის წესრიგში დააყენა ახალი ნომენკლატურის სპეციალური ბეტონის წარმოება, ბეტონისა, რომლებიც ძირეულად განსხვავდება ტრადიციულისგან ამალღებული საექსპლუატაციო მაჩვენებლებითა და ხარისხით. ამ მიმართულებით განსაკუთრებით საინტერესოა უქანგავი კომპოზიტური ბაზალტის ბოჭკოებით (სურ. 9.32) დაარმირებული ბეტონები, რომელთა შორის ყველაზე მეტად გავრცელებულია ბაზალტფიბრობეტონები. მათი ძირითადი უპირატესობებია: ბზარმედგეობა (შეკლების ბზარების რაოდენობა მცირდება 90%-ით), დარტყმითი სიმტკიცის ზრდა (500%-ით), წყალუქონადობა (იზრდება 30-50%-ით), ყინვამედგეობა (იზრდება 500 ციკლამდე) და იდეალური კოროზიამედგეობა. დაქუცმაცებულ ბაზალტის ფიბრებს უმატებენ ბეტონის ნარეუს მომზადების პროცესში და ისინი ნაწილდება მთელ მასივში თანაბრად. მნიშვნელოვანია ისიც, რომ ბაზალტის ფიბრებს ახასიათებთ შეთავსებადობა ყველა სახის ქიმიურ დანამატთან. ბაზალტფიბრობეტონს გაჭიმვაზე მუშაობისას 15-20-ჯერ მეტი მრღვევი ძაბვა სჭირდება, ვიდრე ჩვეულებრივ ბეტონს, რაც საგრძნობლად ზრდის კონსტრუქციის გაჭიმული ზონის საიმედოობას. მნიშვნელოვანია ისიც, რომ ხანძრის პირობებში არ ხდება ბეტონის ნაწილების ახეთქა მასივიდან.



სურ. 9.44. ბაზალტფიბრობეტონის საბილიკე ფილა



სურ. 9.45. ბაზალტფიბრობეტონის ტროტუარის ფილა

ბაზალტფიბრობეტონი ეკოლოგიურად სუფთა საშენი მასალაა, რადგან თვით ბაზალტი წარმოადგენს ბუნებრივ ქვას. ასეთი ბეტონით დამზადებული კონსტრუქციის, ნაკეთობის, დეტალის, ნაგებობის ექსპლუატაციის ვადა აჭარბებს 100 წელს. გამოირჩევა სწრაფი გამყარებით, მაღალი შეჭიდულობით, რაც საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ იგი დიდი ქანობის მქონე გზების, პანდუსების, დამცავი კედლების მოსაწყობად. მისგან აშენებენ კოტეჯებს, კარკასულ შენობებს, აგებენ გზებს, სახიდე გადასასვლელებს; ითავსებს მზიდ და ჰიდროსაინჟოლაციო თვისებებს, ამცირებს შრომის დანახარჯებს და აიაფებს მშენებლობას. მაღალი ხარისხით გამოირჩევა ფასადისა და ცოკოლის მოსაპირკეთებელი, იატაკის დასაგები,

ბილიკების (სურ. 9.44), ტროტუარების (სურ. 9.45), ეზოების მოსაკირწყლი ფილები.

9.2.8. გოგირდიანი ბეტონი

კომპოზიტიური მასალა, რომელშიც შემვსებად გამოყენებულია ჩვეულებრივი გოგირდით შეკრული ქვის ნატეხები. გოგირდის შემკვრელის ანუ მატრიცის მოდიფიცირებას ახდენენ პლასტიფიკატორით. გოგირდიანი ბეტონი სწრაფად მაგრდება, აქვს კარგი სიმტკიცე, ამიტომ იგი გამოიყენება მინერალური მჟავების ავზებისათვის, სამრეწველო შენობის იატაკებისათვის, მიწებისათვის (მათ შორის კანალიზაციის), ხიდის ფენილის სარემონტო სამუშაოებისათვის და ა. შ. იგი არასაკმარისად მდგრადია წყლიან გარემოში, ციკლური გაყინვა-გაღობის დროს. წვადი მასალაა – ჟანგბადთან ყოფნისას იწვის და გოგირდის დიოქსიდად გარდაიქმნება. ახასიათებს გაზრდილი ცოცვადობა (ორჯერ მეტი, ვიდრე ჩვეულებრივ ცემენტთან ბეტონებს). ყველაფერი ეს ხელს უშლის გოგირდიანი ბეტონის გამოყენებას საცხოვრებელ და საყოფაცხოვრებო შენობებში.

9.2.9. პოლიმერსილიკატური ბეტონი

თხევადი მინის საფუძველზე დამზადებული, პოლიმერის დამატებით მიღებული ბეტონი. გამოირჩევა მაღალი ქიმიური მედეგობით ნავთობპროდუქტებისა და ორგანული გამსხნელების (აცეტონი, ბენზოლი, ტოლუოლი) მიმართ. გამოიყენება მჟავების შესანახი რეზერვუარების დასამზადებლად, საძირკვლების სარემონტოდ, ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციებში პირაპირების, ბზარებისა და დეფექტების შესავსებად, სამშენებლო კონსტრუქციების, საკვამლე მიწებისა და სხვადასხვა აპარატურის ამონაგებად, კამარების, სახურავების, დიაფრაგმების კონსტრუქციულ მასალად, ქიმიურად მედეგი მონოლითური იატაკების მოსაწყობად და სხვ.

9.2.10. სპეციალური ბეტონი

ბეტონი, რომელიც მზადდება სპეციალური შემკვრელის, სპეციალური შემვსების, სპეციალური ქიმიური დანამატ-მოდიფიკატორისა და ზოგჯერ სპეციალური დაარმირების გამოყენებით. ამასთან ერთად, რიგ შემთხვევაში აუცილებელია ბეტონის დამზადების სპეციალური საშუალება და მეთოდი. ბეტონის მრავალგვარობა, როგორც კომპოზიტიური მასალისა, ყველაზე მეტად ვლინდება სპეციალურ ბეტონებში. ეს ბეტონები გამოირჩევა სამშენებლო-ტექნიკური თვისებების დიდი მრავალფეროვნებით: მაღალი სიმტკიცით, სწრაფგამაგრებადობით, მჟავა და ცეცხლმედეგობით, რადიოამრეკლი და რადიოიზოლატორის თვისებებითა და სხვ.

9.2.11. წვრილმარცვლოვანი კომპოზიტური ბეტონი

მაღალეფექტური მრავალკომპონენტიანი ბეტონი, რომელშიც გამოყენებულია კომპოზიტური შემკვრელი ნივთიერება – მასალის სტრუქტურის, თვისებისა და ტექნოლოგიის ქიმიური მოდიფიკატორების კომპლექსი; აქტიური მინერალური კომპონენტები – სუპერწმინდა გამაფართოებელი და სხვა სპეციალური დანამატი. შემადგენლობის მრავალკომპონენტიანობა საშუალებას იძლევა ეფექტურად ვმართოთ მასალის სტრუქტურის წარმოქმნა ტექნოლოგიის ყველა ეტაპზე, ვუზრუნველყოთ დამზადებული ნაკეთობისა და კონსტრუქციის მაღალი ხარისხი. კომპოზიტური შემკვრელი არის პორტლანდცემენტის ან სხვა შემკვრელის რეგლამენტირებულ პირობებში ფიზიკურ-ქიმიური აქტივიზაციის პროდუქტი, იმ ქიმიურ მოდიფიკატორთან ერთად, რომელიც შეიცავს წყალდამწვევ კომპონენტს, მინერალურ დანამატს და აუცილებლობის შემთხვევაში სპეციალურ დანამატს, რათა მივიღოთ განსაკუთრებული თვისების შემკვრელი. აქტიურ კომპონენტად გამოიყენება: ქიმიური მოდიფიკატორის კომპლექსი; დისპერსიული შემავსებელ-გამზავებელი; ულტრადისპერსიული შემავსებელ-შემამკვრივებელი და აქტივატორი; კომპონენტები, რომლებიც მართავენ სტრუქტურის მოცულობის ცვლილებას; კომპონენტები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევენ ვმართოთ ბეტონის ნარევის რეოლოგია და გამაგრების პროცესი, ქიმიურ მოდიფიკატორებთან ერთად; კომპონენტები, რომლებიც ბეტონს აძლევს სპეციალურ თვისებას; დისპერსიული ბოჭკოვანი კომპონენტი და კომპონენტები, რომლებიც არეგულირებს მასალის შინაგან სითბოგამოყოფას. კომპოზიტური შემკვრელის, მოდიფიკატორის შედგენილობისა და აქტიური კომპონენტის შერჩევა ხდება ბეტონის დანიშნულებისა და მასზე წაყენებული მოთხოვნების მიხედვით, ბეტონის შედგენილობისა და საწყისი შემადგენლების – შემკვრელისა და შემვსების თვისებების გათვალისწინებით. სიმტკიცე იზრდება კომპოზიტური შემკვრელის რაოდენობის გაზრდით. ყველაზე მეტი სიმტკიცე აქვს ცემენტის ქვას. მაგრამ ამ შემთხვევაში შესამჩნევად იზრდება მასალის შეკლება, რაც აძნელებს დიდი ზომის ნაკეთობის დამზადებას და მოითხოვს განსაკუთრებული ზომების მიღებას შეკლების კომპენსაციისათვის. ცემენტის ხარჯის გაზრდას მივყავართ მასალის გაძვირებისკენ; ამ ხარჯის შესამცირებლად ცემენტის ნაწილი უნდა შეიცვალოს აქტიური მინერალური შემავსებლებით: ნაცრით, დაფქული წიღით, მიკროკაჟმიწით და სხვა მსგავსი მასალით, რომელიც საშუალებას იძლევა დავარეგულიროთ გამაგრებად ბეტონში სტრუქტურაწარმოქმნა. ამ მასალების შეყვანა, შეჯერებული უნდა იყოს სხვა კომპლექსურ ქიმიურ მოდიფიკატორთან. შეკლების მნიშვნელოვანი შემცირება მიიღწევა კომპოზიტური შემკვრელით, განსაკუთრებით გაფართოებადი ნივთიერებით და წყალცემენტის ფარდობის შემცირებით, აგრეთვე მიკროკაჟმიწის დანამატის შეყვანით სუპერპლასტიფიკატორთან ერთად. მიკროკაჟმიწის შეყვანა ზრდის წვრილმარცვლოვანი ბეტონის გაჯირჯებას ტენიან გარემოში, ამიტომ, მიკროკაჟმიწიან წვრილმარცვლოვან ბეტონში უნდა ვერიდოთ ტენიანობის ციკლურ ცვლილებას,

რომ კონსტრუქციაში არ გაჩნდეს მიკრობზარები. საწყისი ნედლეულისა და ბეტონის რაციონალური შერჩევა საშუალებას იძლევა მივიღოთ შეუკლებადი წვრილმარცვლოვანი კომპოზიტიური ბეტონი, რომელსაც აქვს მაღალი ფიზიკურ-ტექნიკური მაჩვენებლები: სიმტკიცე 2 დღის ასაკში აღწევს 30-50 მპა-ს, 28-ე დღეს – 100-150 მპა-ს, წყალუქონადობა W12 და მეტს, წყალშთანთქმა 1-2%-ს და ყინვა-მედეგობა F300 და მეტს. ბეტონს აქვს დეფორმადობის რეგულირებადი მაჩვენებელი, მათ შორის 14-28 დღის ბუნებრივი გამაგრების დროს შეკლების კომპენსაცია, დაბალი ცვეთადობა და მაღალი აირუქონადობა. რეალურ პირობებში ასეთი ბეტონის ექსპლუატაციის ვადა აღემატება 100 წელს, მათ შორის მკაცრი კლიმატის პირობებშიც.

9.2.12. მრავალკომპონენტიანი ბეტონი

ბეტონი, რომელშიც ცემენტთან ერთად გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულების კომპლექსური ქიმიური დანამატი, აქტიური მინერალური შემავსებელი, გამაფართოებადი კომპონენტი. ნედლეულის ფართო ბაზა საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ სხვადასხვა სტრუქტურის, თვისებისა და დანიშნულების ბეტონი. მრავალკომპონენტიანი ბეტონის შესაძლებლობა ყველაზე მეტად მჟღავნდება, ე. წ. მაღალხარისხოვან ბეტონში, რომელიც მზადდება კომპოზიტიურ შემკვრელზე, დაბალი წყალცემენტის ფარდობით, სპეციალური კომპლექსური დანამატით, განსაკუთრებით წმინდა მინერალური შემვსებლით, გაფართოებადი კომპონენტით და რეგულირებადი ინტენსიური ტექნოლოგიით. ასეთი ბეტონი გამოირჩევა მაღალი სიმტკიცით, ხანმედეგობითა და ექსპლუატაციაში საიმედოობით.

9.2.13. პოლიმერცემენტის ბეტონი

ცემენტისა და პოლიმერული ნივთიერებისგან (ცემენტის მასის 5...15%) დამზადებული ბეტონი შერეული შემკვრელით. პოლიმერად გამოიყენება წყალში ხსნადი ფენოლფორმალდეჰიდური ფისი ან პოლიმერების წყლის დისპერსიები (პოლივინილაცეტატი, სინთეზური კაუჩუკი, აკრილი და სხვ.). შესანიშნავი მასალა სამრეწველო შენობების იატაკების მოსაწყობად, აეროდრომის ასაფრენ-დასაჯდომი ზოლის დასაბეტონებლად, მოსაპირკეთებელ სამუშაოებში (მათ შორის კერამიკული, მინისა და ქვის ფილების კედელზე მისაწებებლად), წყლისა და ნავთობპროდუქტების შესანახი რეზერვუარების მოსაწყობად და სხვ.

9.2.14. ფიბროასფალტი

კომპოზიტიური მასალის ერთ-ერთი სახეობა ფიბროასფალტში დასაარმირებელ მასალად გამოყენებულია სინთეზური ბოჭკო (ფიბრა). საგზაო მშენებლო-

ბაში ფიბრის გამოყენება მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს საგზაო საფარის სიმტკიცის მახასიათებლებს. პრაქტიკული ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ საგზაო საფარის გასაძლიერებლად ყველაზე კარგი მაჩვენებლები აქვს პოლიაკრილნიტრილის (პან-ბოჭკო) ფიბრას. მთელ მოცულობაში მისი დამატებით საგრძობლად უმჯობესდება ბეტონის, ასფალტბეტონის, ასფალტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, რადგან ამ მასალას გაჩნია შესანიშნავი ადჰეზიური თვისებები ბეტონთან და ასფალტთან მიმართებით. შედეგად მიიღება უნიკალური თვისებების საფარი გამორჩეული სიმტკიცით, ბზარმდეგობითა და სხვა მახასიათებლებით.

დრეკად-პლასტიკური თვისებების გამო ფიბროასფალტს არ უჩნდება ლიანდი [ავტომობილის, ტრაქტორის ან სხვა სახმელეთო სატრანსპორტო საშუალების თვლებს შორის მანძილი თითოეულ ღერძზე, რომელიც ახასიათებს მის მდგრადობას (გვერდითი გადაყირავების საწინააღმდეგოდ) სიმძიმის ცენტრის განსაზღვრული მდებარეობისას], ცვეთადობა მინიმუმამდეა დაყვანილი, კარგად უძლებს ტემპერატურულ და დაღლილობით დეფორმაციებს. პოლიმერული ბოჭკო მკვეთრად ამცირებს საექსპლუატაციო და ფინანსურ დანახარჯებს. იგი ზრდის მასალის დინამიკურ მოდულს, რაც საშუალებას იძლევა რემონტშიორისი დრო გაიზარდოს 20%-მდე.

საერთაშორისო გამოცდილებამ აჩვენა, რომ პოლიმერული შემავსებლები წარმატებით გამოიყენება არა მარტო ბეტონის, არამედ ბიტუმის საფარიანი გზების მოსაწყობად, აგრეთვე სპორტული სარბოლო ტრასების მშენებლობაში (სურ. 9.46), რომელსაც ყველა ტიპის საგზაო საფარვლისგან განსხვავებით განსაკუთრებული მოთხოვნები წაეყენება ბზარმდეგობის, სიმტკიცის, ძვრამდეგობის, საბურავების საფართან შეჭიდულობის თვალსაზრისით. პან-ბოჭკოებით დაარმირებულ გზის საფარზე ლიანდის სიდრმე საბურავის 20 000 გავლის შემდეგ თითქმის 2-ჯერ ნაკლებია, ვიდრე ჩვეულებ რივი ასფალტის საფარის (2,8 მმ 5,05 მმ-ის წინააღმდეგ).



სურ. 9.46. „ფორმულა-1“-ის სარბოლო ბოლიდების ტრასა

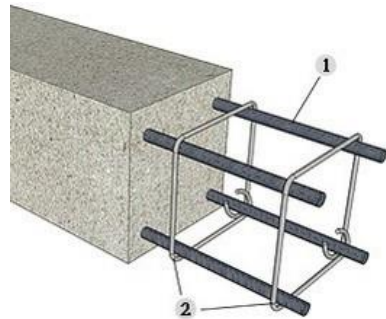
„FibArm Fiber WA“ ფიბრებით დაარმირებული ფიბროასფალტბეტონის მაჩვენებლები, ჩვეულებრივ ასფალტბეტონთან შედარებით, ასეთია:

- სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე იზრდება 30%-ით;
- წყალუქონადობა იზრდება 15%-ით;
- ძვრამდეგობა უმჯობესდება 15%-ით;
- უმჯობესდება გზის ბგერაშთანთქმადობა და მზიდუნარიანობა;
- საფარი შეიძლება გამოყენებული იქნეს ნებისმიერ გრუნტულ საფუძველზე და კლიმატურ პირობებში.

თავი 10. კომპოზიტური კონსტრუქციების გაანგარიშება პოლიმერული არმატურით

10.1. ზოგადი ნაწილი

არმატურა (ლათ. armātūra ჯავშანი, აბჯარი, აღჭურვილობა < armāre შეიარაღება < arma აბჯარი, იარაღი) რკინაბეტონის კონსტრუქციების შემადგენელ (განუყოფელ) ნაწილია (ფოლადის ღეროვანი ან მავთულოვანი), რომელიც დანიშნულების მიხედვით არის: ა) მუშა (საანგარიშო), რომელიც იღებს გამჭიმავ ძალებს; ბ) გამანაწილებელი (კონსტრუქციული), რომელიც აფიქსირებს არმატურის ცალკეულ ელემენტებს საჭირო მანძილზე და ხელს უწყობს ბეტონში ძალების თანაბრად გადანაწილებას; გ) სამონტაჟო, რომელიც გამოიყენება ნაკეთობების ასაწევად და ერთმანეთთან დასაკავშირებლად; დ) ცალუდები (საკიდები), რომლებიც გამოიყენება ღუნვად ელემენტებში ცალკეული ღეროების სახით, როგორც განივი არმატურა. რკინაბეტონის ელემენტების დასამზადებლად იყენებენ მოქნილი არმატურის ფოლადის ცხლადგლინულ ღეროებს (სურ. 10.1), ბაგირებს, ციფქიმულ და ცხლადგლინულ მავთულს გლუვი და პერიოდული პროფილით და ხისტ არმატურას – ფოლადის გაგლინული პროფილების სახით.



სურ. 10.1. არმატურა:
1-გრძივი; 2-განივი

ხის დაწებებულ კონსტრუქციებში, პლასტმასისა და კომპოზიტურ ნაკეთობებში გამოიყენება მინაპლასტიკის დაპროფილებული არმატურა. არსებობს არმატურის ბეტონთან კონტაქტის ხუთი სახე: შეერთება ძვრის მაკავშირებლებით, ხახუნი, შეჭიდულობა, ბეტონით მოჭიმვა შეკლებისას და ფოლადის არმატურისა და ცემენტის ცომის ელექტროქიმიური ურთიერთქმედება.

არმატურა კომპოზიტური პოლიმერული (აკპ) წარმოადგენს კომპოზიტურ მასალას, რომელიც შედგება შემკვრელისა (სინთეზური პოლიმერი) და მარმირებლისგან (დაფისებრი ბოჭკოები).

რეკომენდებულია აკპ გამოყენება ძირითადად ისეთი კონსტრუქციების დაარმირებისათვის, რომელთაც მუშაობა უხდებათ აგრესიულ გარემოში. კონსტრუქციების დაარმირებისათვის გამოყენებული არმატურის სახეებია (რუსული ნორმების ГОСТ 31938-2012-ის მიხედვით): მინაკომპოზიტური (ამკ), ბაზალტკომპოზიტური (აბკ), ნახშირბადკომპოზიტური (ანკ), არამიდკომპოზიტური (ააკ) და ოპგანოპლასტიკური, ანუ კომბინირებული (აკკ).

აკპ-ით დაარმირებული კონსტრუქციების ძირითადი უპირატესობებია:

- ხანგამძლეობა;
- კოროზიამედეგობა;

- ელექტრომაგნიტური ნეიტრალურობა და არმატურის დიელექტრიკული თვისებები;
- არმატურის მაღალი სიმტკიცე და დაბალი კუთრი წონა;
- დამზადების სიმარტივე სამშენებლო მოედანზე;
- კონსტრუქციაში ჩანაჭერების ადვილკეთებადობა.

კომპოზიტიური არმატურის უფექტური გამოყენების სფეროებია:

- ნაპირგამაგრებითი სამუშაოები;
- საზღვაო და საპორტე ნაგებობები;
- კანალიზაცია, მელიორაცია და წყალარინება;
- საგზაო საფარი და შემოღობვა, მათ შორის ხიდების;
- ქიმიური წარმოების ინფრასტრუქტურის ელემენტები;
- ბეტონის ნაკეთობები დაუძაბავი და დაძაბული არმატურით (განათების ბოძები, მაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენები და ტრავერსები; საგზაო და ტროტუარის ფილები, ღობის ფილები, ბოძები და საყრდენები; რკინიგზის შპალები; კოლექტორების, მილგაყვანილობების და ტრასისთანამდები კომუნალური სისტემების ფასონური დეტალები;
- მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფიის სათავსები, რადიოგამჭვირვალე კონსტრუქციები, კონსტრუქციები, რომლებსაც მოეთხოვებათ მაგნიტური ველების არარსებობა;
- დროებითი შენობები და ნაგებობანი დიობებით, რომელიც კეთდება ადგილზე.

არმატურის სახეობა მიიღება კონსტრუქციის ექსპლუატაციის პირობების, დატვირთვის ხასიათისა და ეკონომიკური მაჩვენებლების მიხედვით.

გაანგარიშება ეხება კონსტრუქციებს, დაარმირებულს კომპოზიტიური პოლიმერული არმატურით (აკპ – არმატურა კომპოზიტიური პოლიმერული).

კონსტრუქციები კომპოზიტიური არმატურით გაანგარიშდება I და II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით (შესაბამისად საანგარიშო და ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებისას).

I ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობაში შედის გაანგარიშება:

- სიმტკიცეზე;
- ფორმის მდგრადობაზე (თხელკედლიანი კონსტრუქციები);
- მდგომარეობის მდგრადობაზე (ამოყირავება, გასრიალება, ამოტივტივება).

II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობაში შედის გაანგარიშება:

- ბზარწარმოქმნაზე;
- ბზარების განსნაზე;
- დეფორმაციებზე.

განგარიშების მიმდინარეობის პროცესში გათვალისწინებული უნდა იყოს: 1) სხვადასხვა საანგარიშო სიტუაციები, კერძოდ: დამზადების, ტრანსპორტირების, აგების, ექსპლუატაციის, ავარიის, ხანძრის სტადიები; 2) ძალოვანი ფაქტორები – მღუნავი და მგრეხი მომენტები, გრძივი და განივი ძალები, აგრეთვე ადგილობრივი (შეყურსული) დატვირთვები.

ასაწყობი კონსტრუქციების განგარიშებისას აწევის, ტრანსპორტირების, მონტაჟისა და მისი მასის გათვალისწინებით, დინამიკურობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მიიღება: 1,6 – ტრანსპორტირებისას; 1,4 – აწევისა და მონტაჟისას. დასაშვებია ამ კოეფიციენტების სიდიდის შემცირება, მაგრამ არანაკლები 1,25-ისა.

ზოგადად, კონსტრუქციები კომპოზიტური არმატურით განგარიშდება ნორმალური (მღუნავი მომენტისა და გრძივი ძალის გათვალისწინებით), დახრილი (განივი ძალების გათვალისწინებით), სივრცითი (მგრეხი მომენტების გათვალისწინებით) კვეთების და ადგილობრივად მოქმედი (ადგილობრივი კუმშვა, ჩაჭყლელა) დატვირთვების მიხედვით.

10.2. კომპოზიტური არმატურის შექმნის მოკლე ისტორიული მიმოხილვა

ფოლადის არმატურის კომპოზიტური არმატურით შეცვლის იდეა გასული საუკუნის 50-იან წლებში გაჩნდა, რასაც განაპირობებდა შემდეგი მიზეზები:

1. მასობრივად დაიწყო გლობალური მშენებლობა ნაგებობებისა, რომლებსაც მუშაობა უხდებოდათ აგრესიულ გარემოში. რკინაბეტონისა და ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება ასეთ პირობებში არარენტაბელური გახდა დაბალი კოროზიამდეგობის გამო, ხოლო ხის კონსტრუქციების გამოყენება ყოველთვის ვერ ხერხდებოდა დიდი მალეებისა და დატვირთვების გამო;
2. გაჩნდა მოთხოვნილობა შენობებისა, რომელთაც არ ექნებოდათ მაგნიტური და დიელექტრიკული თვისებები: პირველ რიგში ეს ეხებოდა სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტებს, სამედიცინო ცენტრებს, აეროპორტების სადისპეტჩერო მომსახურების ობიექტებს და სხვ.;
3. დაიწყო რთული მატალტექნოლოგიური სამშენებლო პროექტების დამუშავება, რომლებიც მოითხოვდნენ ნაგებობის მაღალ სიმტკიცესა და ერთდროულად სიმსუბუქეს. ასეთი მასალა კი გახდა მაღალი სიმტკიცის პოლიმერბეტონი (ფიბრობეტონი) კომპოზიტური არმატურით;
4. მსოფლიო ბაზარზე ფოლადზე მოთხოვნილებისა და ფასის მკვეთრმა გაზრდამ (არსებული რკინის მადნების გაღარიბების გამო) და ფოლადისა და სხვა ლითონების (მალეგირებელი ელემენტების) დეფიციტმა, გამოი-

წვია სხვა არალითონური ალტერნატიული მასალების შექმნის აუცილებლობა.

ეს მიზეზები გახდა საფუძველი იმისა, რომ გასული საუკუნის 70-იანი წლებიდან აშშ-სა და დასავლეთ ევროპაში მასობრივად დაიწყო კომპოზიტური არმატურისა და მასალების გამოყენება მშენებლობაში.

კომპოზიტური არმატურის შექმნის სამუშაოების და გამოშვებული დოკუმენტების ქრონოლოგია შემდეგია:

1960-1970 – მინაპლასტიკის წარმოების დასაწყისი და გამოყენება მშენებლობაში; 1978 – მინაპლასტიკური არმატურის კონსტრუქციების გაანგარიშების რეკომენდაციები (P-16-78; СССР, НИИЖБ) [27].

1987 – შესაბამისი სპეციალიზებული კომიტეტების შექმნა იაპონიასა და კანადაში;

1991 – აკპ-ის შესახებ სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიშის მომზადება (კანადა); სპეციალიზებული კომიტეტის შექმნა (ACI 440, აშშ);

1992 – სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში აკპ-ის შესახებ (იაპონია);

1996 – სპეციალიზებული კომიტეტის შექმნა (TG 9.3, CEB/FIB); პირველი რეკომენდაციების დამუშავება (JSCE, იაპონია) [30] და EUROCRETE (European Committee for Concrete), ინგლისი [31];

1998 – ხიდების გაანგარიშების რეკომენდაციების დამუშავება კომპოზიტური არმატურით (CSCE, კანადა);

1999 – ISE (Institution of Structural Engineers) რეკომენდაციების დამუშავება; შვედეთის ნორმების (S2000 - Fib bulletin 10) დამუშავება განყოფილებით – არალითონური არმატურის დაანკრება; ხიდების გაანგარიშების რეკომენდაციების დამუშავება კომპოზიტური არმატურით (CAN/CSA S6-00, კანადა) [32];

2001 – Fib bulletin 14, აკპ-ის გარე დაარმირება (გაძლიერება), ACI 440.1R (აკპ-ით დაარმირებული კონსტრუქციები, აშშ);

2002 – ACI 440.2R, აკპ-ის გარე დაარმირება, აშშ; აკპ-ის დაარმირების რეკომენდაციები (ნიდერლანდების სამეფო); შენობებში აკპ-ის გამოყენების სამშენებლო ნორმები: CAN/CSA S806-02, 2003, კანადა და ACI 440.1R (მე-2 რედ.) [34], აშშ;

2004 – ACI 440.3R - მასალების გამოცდა, 440.4R - წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციები [36], აშშ; იტალიური სამშენებლო ნორმები (CNR-DT 200/2004) აკპ-ს გარე დაარმირებისათვის;

2006 – იტალიური სამშენებლო ნორმები (CNR-DT 203/2006) [37] აკპ-ის დაარმირებისათვის; ამერიკული სტანდარტი (ACI 440.1R) [38] აკპ-ის დაარმირებისათვის, მე-3 რედ., აშშ;

2007 – Fib bulletin 40, აკპ-ის არმატურა ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციებში [39], შვეიცარიის კონფედერაცია;

2010 – Fib bulletin 55, 56 – ModelCode, შვეიცარიის კონფედერაცია;

2010 – კონსტრუქციების დაპროექტების საერთო წესები, მათ შორის არალითონური არმატურით [40], ლოზანა, შვეიცარიის კონფედერაცია;

2011 – პროექტი ДСТУ-Н კომპოზიტური არმატურა (პირველი რედაქცია); არალითონური ბაზალტისა და მინის ბოჭკოების როვინგის საფუძველზე დამზადებული კომპოზიტური არმატურის ბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტებისა და დამზადების სახელმძღვანელო მითითებები, უკრაინა, [28];

2011 – ГОСТ-ის პროექტი: კომპოზიტური არალითონური არმატურა ბეტონის კონსტრუქციების დაარმირებისათვის, რუსეთის ფედერაცია, НИИЖБ, [42];

2012 – პროექტი СТО «Нострой» - 43: ბეტონისა და ჰიდროტექნიკურ სამშენებლო კონსტრუქციებში არალითონული კომპოზიტური არმატურის გამოყენება, რუსეთის ფედერაცია, ქ. მოსკოვი [43];

2012 – ГОСТ 31938-2012. Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия. რუსეთის ფედერაცია, ქ. მოსკოვი;

2014 – **СП 164.1325800.2014.** Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования. რუსეთის ფედერაცია, ქ. მოსკოვი;

2017 – СП 295.1325800.2017. «Конструкции бетонные армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования». რუსეთის ფედერაცია, ქ. მოსკოვი.

კომპოზიტური არმატურის საფუძველს შეადგენს პოლიეთერის ან ეპოქსიდის ფისის მატრიცა დაარმირებული მინის ან ბაზალტის, იშვიათად კი ნახშირბადის ან არამიდის ბოჭკოებით. ბეტონთან მაღალი შეჭიდულობის მიზნით არმატურას ზედაპირზე უკეთდება სპირალური ხვეულები დაპროფილებული ფოლადის არმატურის მსგავსად (სურ. 10.2) ან ზედაპირი იფარება ქვიშის მარცვლებით.



სურ. 10.2. კომპოზიტური არმატურა

კომპოზიტური არმატურის დადებითი თვისებებია: ტენმედეგობა, ქიმიური მდგრადობა დამჟანგველების მიმართ, დაბალი თბოგამტარობა, მცირე წონა, მაღალი სიმტკიცე გაგლეჯაზე (სამჯერ აღემატება ფოლადის სიმტკიცეს), დიელექტრიკული თვისებები (მოხეტიალე დენების არარსებობა), ექსპლუატაციის ფართო ტემპერატურული დიაპაზონი (-70°C -დან $+100^{\circ}\text{C}$ -მდე), ფოლადის არმატურასთან შედარებით დაბალი ფასი, ეკოლოგიურობა და სხვ., ხოლო უარყოფით თვისებებს მიეკუთვნება: დაბალი დრეკადობის მოდული (4-ჯერ ნაკლები ფოლადის დრეკადობის მოდულზე), დაბალი ცეცხლგამძლეობა, ობიექტზე არმატურის გადაღუნვისა და შედუღების შეუძლებლობა და სხვ.

კომპოზიციური არმატურა საუკეთესო მასალაა სამფენოვან კედლებში მოქნილი კავშირების მოსაწყობად, საძირკვლების დასაარმირებლად, რეზერვუარებისა და ტევადობების დასამზადებლად, რომელშიც ქიმიურად აგრესიული ნივთიერებები ინახება, რკინაბეტონის კონსტრუქციების სარემონტოდ, ხიდებისა და საზღვაო ნაგებობების ასაგებად და სხვ.

კომპოზიციური მასალა მიკრომასშტაბით არაერთგვაროვანია, ხოლო მაკრომასშტაბით – ერთგვაროვანი. მასალის თვისებას განსაზღვრავს შემადგენელი კომპონენტები. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, კომპონენტს, რომელიც უწყვეტად შედის მთელ მოცულობაში ეწოდება მატრიცა, ხოლო კომპოზიციის მოცულობაში გამყოფს – არმატურა, ან მარმირებელი ელემენტი.

პოლიმერი, დაარმირებული ბოჭკოებით – ანიზოტროპიული პოლიმერული კომპოზიციური მასალაა (პკმ), რომელიც შედგება პოლიმერული მატრიცისა და მაღალი სიმტკიცის ბოჭკოებისაგან. ბოჭკოები პკმ-ში წარმოადგენს ძირითად მზიდ ელემენტს, რომელსაც აქვს მაღალი სიმტკიცე გაჭიმვისას. ტიპური მრავალმრიანი პკმ შედგება რამდენიმე მილიონი წვრილი ძაფისებრი ბოჭკოსაგან. პოლიმერული მატრიცა (ფისი) იცავს ბოჭკოებს მექანიკური დაზიანებისაგან, უზრუნველყოფს თანაბრობას და დატვირთვებს ანაწილებს კომპოზიციის ცალკეულ ბოჭკოებს შორის. დაარმირებულ პკმ-ს ნახშირბადის ბოჭკოებით ეწოდება ნახშირბადპლასტიკი, მინის ბოჭკოთი – მინაპლასტიკი, ბაზალტით – ბაზალტპლასტიკი, ბორით – ბორპლასტიკი, არამიდით – ორგანოპლასტიკი.

პკმ-ის თვისებებს განსაზღვრავს ფისის სახეობა, მარმირებელი მასალის ტიპი, მისი ორიენტაცია და რაოდენობა. ბოჭკოების სახეობა და რაოდენობა დამოკიდებულია ნაკეთობის სიმტკიცეზე, სიხისტესა და ხანგამძლეობის მოთხოვნებზე, ხოლო მატრიცა შეირჩევა იმ გარემოს მიხედვით, სადაც მუშაობა უხდენა კომპოზიციურ ნაკეთებას.

კომპოზიტებში გამოყენებული ბოჭკოები იტანენ ფოლადზე მეტ დაძაბულობას და პრაქტიკულად რღვევამდე მუშაობს, როგორც იდეალურად დრეკადი მასალა (ემორჩილება ჰუკის კანონს). ყველაზე მაღალი სიმტკიცე გაჭიმვისას აქვს ბორის, ბაზალტის (4700-4800 მპა) და მინის (S) (4600 მპა) ბოჭკოებს, ხოლო დანარჩენის (ნახშირბადი, არამიდი, მინა (E), კველარი 49, კველარი 29, კველარი 149, ტეჩნორა და სხვ.) ახლოსაა 3500 მპა-თან ([15], სურ. 2.1 და ცხრ. 2.1).

კომპოზიციური მასალის მექანიკური თვისებები იზრდება მარმირებელი ბოჭკოების რაოდენობის პროპორციულად, თუმცა არსებობს ზღვარი, რომლის იქეთაც ბოჭკოების რაოდენობის გაზრდა უკუეფექტს იძლევა. ეს გამოწვეულია იმით, რომ პოლიმერული მატრიცა ბოჭკოების სიმჭიდროვის გამო სრულად ვერ შემოეკვრება ბოჭკოებს და ირღვევა პოლიმერის მუშაობის პრინციპული სქემა.

მასალაში მოცულობის მიხედვით ბოჭკოებისა და მატრიცის რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულებით:

$$V_f = v_f/v_c; \quad V_m = v_m/v_c, \quad (10.1)$$

სადაც V_f არის ბოჭკოების შემცველობა მოცულობის მიხედვით;
 V_m – მატრიცის შემცველობა მოცულობის მიხედვით;
 v_f – ბოჭკოების მოცულობა;
 v_c – კომპოზიტის მოცულობა;
 v_m – მატრიცის მოცულობა.

არაფოროვანი კომპოზიტური მასალებისათვის დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$V_f + V_m = 1. \quad (10.2)$$

პრაქტიკულად უფრო მოსახერხებელია გამოვიყენოთ ბოჭკოების შემცველობა მასის მიხედვით W_f , თუ ცნობილია კომპოზიტურ მასალაში შემავალი კომპონენტების სიმკვრივეები (ρ_f – ბოჭკოების, ρ_m – მატრიცის):

$$W_f = m_f/m_c; \quad W_m = (\rho_m/\rho_c) \cdot V_f. \quad (10.3)$$

10.3. კომპოზიტური არმატურის დამზადების ტექნოლოგია

მშენებლობაში კომპოზიტური არმატურის ყველაზე მეტად გავრცელებული სახეობაა მინაკომპოზიტური (მინაპლასტიკური) და ბაზალტკომპოზიტური (ბაზალტპლასტიკური) არმატურები. განვიხილოთ ერთ-ერთის, მაგალითად, მინაპლასტიკური ღეროს არმატურის მიღების ტექნოლოგიური პროცესი. ეს პროცესი ავტომატიზებულია, მიმდინარეობს მინიმალური რაოდენობის ადამიანების მონაწილეობით და მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

1. ნედლეულის მომზადება. ამ ეტაპზე ხდება ალუმინბორსილიკატური მინის (ტუტეების შემცველობით < 1%-ზე) გადნობა და შემდეგ მისი გამოწევა ძაფებად დიამეტრით 10-20 მიკრონი. მიღებულ ძაფებს ამუშავებენ ზეთში (პოლიეთერული, ეპოქსიდური, ფენოლფორმალდეჰიდური, თერმოპლასტიკური და სხვ.) და შეახვევენ შედარებით მსხვილ წნულად, რომელსაც **როვინგი** ეწოდება;

2. სპეციალური მექანიზმის მეშვეობით (სურ. 10.3), რომელსაც შეუძლია ერთდროულად როვინგის 60-მდე ძაფის მიწოდება, მინაბოჭკოები მიეწოდება დაჭიმვის მექანიზმს;

3. დაჭიმვის შემდეგ, გარკვეული წესრიგით განლაგებული ძაფები ექვემდებარება თერმულ დამუშავებას ცხელი ჰაერით, ტენის, ზეთისა და სხვადასხვა ჭუჭყის მოსაცილებლად;

4. გასუფთავებული როვინგი ჩაიძირება ცხელი ზეთის აბაზანაში საფუძვლიანი გაჟღენთვისათვის, საიდანაც ძაფი მიემართება ფილერებში ღეროს საჭირო დიამეტრის მისაღებად; დაპროფილებული ღეროს მისაღებად, მასზე სპირალურად ახვევენ საჭირო დიამეტრის როვინგის წნულს;

5. ფორმირებული ღერო თავსდება ღუმელში და მიმდინარეობს შემკვრელი ნივთიერების პოლიმერიზაცია;

6. მზა არმატურა ცივდება ჩვეულებრივი გამდინარე წყლით;

7. დიამეტრის მიხედვით მზა პროდუქციას ახვევენ დოლზე (სურ. 10.4), მორგვებად (სურ. 10.5) ან ჭრიან საჭირო სიგრძეზე (სურ. 10.6).



სურ. 10.3. როვინგის დაზგა მინაბოჭკოების შესახვევად



სურ. 10.4. დოლი მინაბოჭკოს დასახვევად



სურ. 10.5. მინაბოჭკოს მორგვი



სურ. 10.6. დაჭრილი კომპოზიტური არმატურა

ქ. რუსთავის ფირმა „ბაზალტ ფაიბერის“ საწარმოში (დამფუძნებელი პაატა გოგოლაძე) უკვე 10 წელზე მეტია დაიწყო ბაზალტის ბოჭკოების (შესაბამისად არმატური ღეროებისა და ბადეების) დამზადება, რომლის ტექნოლოგია ასეთია: ბაზალტის მოპოვება → ბაზალტის ქვის დნობა 1400°C ტემპერატურაზე → პირველადი ძაფის ასამბლირება როვინგად → დახვევა დოლზე. გამოშვებული პროდუქციის ნომენკლატურა: არმატურა დიამეტრით 4-28 მმ, არმატურის ბადე, დაჭრილი ბოჭკო, გეოგრიდი, ლენტი, ქეჩა.

10.4. კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო მახასიათებლები

კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ნორმატიული წინააღობა გაჭიმვაზე $R_{f,n}$ და დრეკადობის მოდული E_f განისაზღვრება უზრუნველყოფით 0,95 სუფთა

სტანდარტული ნიმუშების გამოცდით (ISO 10406-1:2008* Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete - Test methods).

ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე R_f განისაზღვრება ფორმულით:

$$R_f = \gamma_{f1} \cdot R_{f,n} / \gamma_f, \quad (10.4)$$

სადაც γ_f არის უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით, რომელიც მიიღება II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდის მიხედვით და ტოლია 1-ის, ხოლო I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაანგარიშებისას – ტოლია 1,5-ის;

γ_{f1} – ექსპლუატაციის პირობების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი აკპ-ით დაარმირებული კონსტრუქციებისთვის (მიიღება ცხრ. 10.1-ის მიხედვით).

ცხრილი 10.1

კონსტრუქციის ექსპლუატაციის პირობები	აკპ-ის სახეები				
	ამკ	აბკ	ანკ	ააკ	აკკ
სათავსის შიგნით	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9
ღია ჰაერზე	0,7	0,8	1,0	0,8	0,8

I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაანგარიშებისას მხოლოდ მუდმივი და დროებითი ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვებისათვის, აკპ-ის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე განისაზღვრება ფორმულით:

$$R_f = \gamma_{f2} \cdot R_{f,n}, \quad (10.5)$$

სადაც γ_{f2} არის გაჭიმვაზე არმატურის საანგარიშო წინაღობის შემამცირებელი კოეფიციენტი დატვირთვის ხანგრძლივი მოქმედებისას, რომელიც მიიღება ცხრ. 10.2-ის მონაცემების მიხედვით.

ცხრილი 10.2

დატვირთვის სახე	აკპ-ის სახეები				
	ამკ	აბკ	ანკ	ააკ	აკკ
ხანმოკლე	1	1	1	1	1
ხანგრძლივი	0,3	0,4	0,6	0,4	0,4

აკპ-ის ზღვრული ფარდობითი დეფორმაციის საანგარიშო მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\epsilon_{f,ult} = R_f / E_f \quad (10.6)$$

აკპ-ის საანგარიშო წინაღობის მნიშვნელობა მიიღება ნულის ტოლი.

აკპ-ის საანგარიშო წინაღობის მნიშვნელობა გაჭიმვაზე ელემენტის გრძივი ღერძის მიმართ დახრილ კვეთში (სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას) განისაზღვრება:

ა) როცა საკიდების მოღუნვის რადიუსია არანაკლები ნდ:

$$R_{fw} = 0,004E_f \leq 0,5R_f; \quad (10.7)$$

ბ) როცა საკიდების მოღუნვის რადიუსი ნაკლებია ნდ-ზე – აკპ-ის მწარმოებლის მონაცემებით, მაგრამ არაუმეტეს მნიშვნელობისა, რომელიც გამოთვლილია 10.4 ფორმულით.

ყველა შემთხვევაში R_{fw} საანგარიშო წინაღობის მნიშვნელობა გაჭიმვაზე აკპ-ისათვის მიიღება არაუმეტეს 300 მპა.

აკპ-ის დეფორმაციის (მდგომარეობის) საანგარიშო დიაგრამებზე, დამოკიდებულება ძაბვებსა და ფარდობით დეფორმაციებს შორის გაჭიმვისას, მიიღება წრფივი.

არალითონური კომპოზიტური არმატურის დამზადებისას გამოყენებული მატრიცის (ფისის) სახეები და ძირითადი თვისებები მოცემულია ცხრ. 10.3-ში.

ცხრილი 10.3.

აკპ-ის დასამზადებლად გამოყენებული ფისების თვისებები

მატრიცის (ფისის) სახე	სიმკვრივე კგ/მ ³	სიმტკიცე გაჭიმვაზე ე, მპა	დრეკადობის მოდული, მპა	ჰუასონის კოეფიციენტი	ტემპერატ. გაფართ. კოეფიცი. 10 ⁻⁶ /°C
პოლიესტერი	1200-1400	34,5-104	2,1-3,45	0,35-0,39	55-100
ეპოქსიდი	1200-1400	55-130	2,75-4,1	0,38-0,4	45-65
ვინილესტერი	1150-1350	73-81	3,0-3,5	0,36-0,39	50-75
პოლიეფირეფი რკეტონი (PEEK)	1320	100	3,24	0,40	47
პოლიფენილენ-სულფიდი (PPS)	1360	82,7	3,30	0,37	49
პოლისულფონი (PSUL)	1240	70,3	2,48	0,37	56

10.4.1. კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები

კომპოზიტური არმატურის სიმკვრივე დამოკიდებულია მისი კომპონენტების სიმკვრივეზე (მაარმირებელი ბოჭკოები და მატრიცა). როცა ბოჭკოების მოცულობითი წილი შეადგენს 0,5-0,75-ს (ყველაზე მეტად დამახასიათებელი კომპო-

ზიტური არმატურისთვის) ნახშირბადაპლასტიკური არმატურის სიმკვრივეა 1430-1670 კგ/მ³, მინაპლასტიკის – 1730-2180 კგ/მ³, ორგანოპლასტიკის – 1300-1450 კგ/მ³, რაც ნაკლებია ფოლადის არმატურის სიმკვრივეზე (3,6...6)-ჯერ.

ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრ. 10.4-ში.

ცხრილი 10.4

აკვ-ის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტები, $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

მიმართულება	ფოლადი	ბეტონი	ნახშირბადაპლასტიკი	ორგანოპლასტიკი	მინაპლასტიკი
ღეროს გასწვრივ (გრძივი)	11	7-13	-9 - 0	-2 - -6	6-10
ღეროს განივად (რადიალური)	11	7-13	74-104	60-80	21-23

კომპოზიტური არმატურის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ბეტონის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტისაგან (განსხვავებით ფოლადის არმატურისგან).

კონსტრუქციებში აკვ-ის გამოყენება შეზღუდულია პოლიმერული მატრიცის გამინების ტემპერატურით (ტემპერატურა, რომელზეც პოლიმერული მატრიცა შეუქცევადად იცვლის თავის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს). აკვ-ის გამინების ტემპერატურა დამოკიდებულია მატრიცის ტიპზე და მერყეობს დიაპაზონში 70-175°C. გამოკვლევებით დადგენილია ([39], [44], [45], [46]), რომ გამინების ტემპერატურის მიღწევისას აკვ-ის სიმტკიცისა და დეფორმაციის თვისებები მკვეთრად მცირდება, გარდა ამისა, ირღვევა არმატურის შეჭიდულობა ბეტონთან.

მაღალმა ტემპერატურამ შეიძლება გამოიწვიოს არა მარტო კომპოზიტური არმატურის სტრუქტურის რღვევა, არამედ არმატურის დამცავი ფენის განშრევებაც არმატურის განივი მიმართულებით გაფართოების გამო.

კომპოზიტური პოლიმერული ღეროვანი არმატურის სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოყენებაზე გარკვეულ შემაფერხებელ გავლენას ახდენს დაბალი ცეცხლმდეგობა და ისევე, როგორც ფოლადის არმატურის გამოყენებისას, საჭირო ხდება ცეცხლდაცვის დამატებითი ღონისძიებების განხორციელება.

დაბალმა ტემპერატურამაც შეიძლება გამოიწვიოს არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის რღვევა და კომპოზიტის შიგნით მიკროდაზიანებების გაჩენა. ამჟამად ინტენსიურად მიმდინარეობს ამ მოვლენის მეცნიერული შესწავლა, რისი დასტურია ის, რომ, მაგალითად, რუსეთის ფედერაციაში ჯერ კიდევ 2011 წელს მომზადებული იქნა შესაბამისი სახელმწიფო სტანდარტის პროექტი [42] და მიიღეს მოთხოვნები კომპოზიტური არმატურის სახეობის შესახებ კლიმატური რაიონების მიხედვით ГОСТ 15150-ის საფუძველზე.

კომპოზიტური მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები განისაზღვრება შემადგენლობაში არსებული მასალების (ბოჭკო და პოლიმერი) თვისებებითა და კომპოზიტში მათი მოცულობითი თანაფარდობით. მაგალითად, დრეკადობის მოდულისა E_c და გაჭიმვაზე სიმტკიცის R_c განსაზღვრა ხდება ფორმულებით:

$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m ,$$

$$R_c = R_f \cdot V_f + R_m \cdot V_m,$$

სადაც E_f , R_f , V_f არის დრეკადობის მოდული, სიმტკიცე გაჭიმვაზე და ბოჭკოების (არამიდის, ნახშირბადის, მინის) მოცულობითი თანაფარდობა კომპოზიტში;

E_m , R_m , V_m – იმავეგამამყარებელ მატრიცაში. ამასთანავე $V_f + V_m = 1$.

რადგან ბოჭკოების დრეკადობის მოდული და სიმტკიცე მეტია, ვიდრე მატრიცის პოლიმერის, ამიტომ კომპოზიტის მექანიკური თვისებები განისაზღვრება მხოლოდ ბოჭკოების თვისებებითა და განიკვეთით.

რუსული ნორმების მიხედვით (ГОСТ 31938-2012) სხვადასხვა კომპოზიტური არმატურის მექანიკური მახასიათებლების შედარება მოცემულია ცხრ. 10.5-ში.

სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე და დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას არ უნდა იყოს ნაკლები ცხრილში მოცემულ მაჩვენებლებზე. თუ არმატურის დამამზადებლის მიერ მოწოდებულ დოკუმენტაციაში ეს ორი მაჩვენებელი მეტია ცხრ.10.5-ში მოცემულ მაჩვენებლებზე, მაშინ გაანგარიშებებში ვიყენებთ დამამზებლის მიერ მოწოდებულ სიდიდეებს.

ამ ცხრილის მიხედვით ირკვევა, რომ მინაკომპოზიტური და ბაზალტკომპოზიტური არმატურის მექანიკური მახასიათებლები ჩამორჩება დანარჩები კომპოზიტური არმატურის მაჩვენებლებს, თუმცა, ისინი გაცილებით იაფია. ამიტომ „ფასი-ხარისხის“ თანაფარდობის მიხედვით, მინაკომპოზიტური და ბაზალტკომპოზიტური არმატურები ითვლება ოპტიმალურად, რაც განაპირობებს მათ ფართოდ გამოყენებას მშენებლობაში.

ცხრილი 10.5

დასახელება	ამკ	აბკ	ანპ	ააკ	აკკ
სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე, მპა	800	800	1400	1400	1000
სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა	300	300	300	300	300
სიმტკიცის ზღვარი განივ ჭრაზე, მპა, მპა	150	150	350	190	190
დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას, გპა	50	50	130	70	100

10.4.2. აკვ-ის თვისებები ხანმოკლე დატვირთვის მოქმედებისას

სიმტკიცის ზღვარი და დრეკადობის მოდული გაჭიმვაზე ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედებისას წარმოადგენს ძირითად ნორმირებულ და საკონტროლო მაჩვენებლებს. გამოცდის მეთოდები ასახულია შესაბამის დოკუმენტებში – ACI (American Concrete Institute, ამერიკის ბეტონის ინსტიტუტი), ASTM (American Society for Testing and Materials, ტესტირებისა და მასალების ამერიკული საზოგადოება), JSCE (Japan Society of Civil Engineers, სამოქალაქო ინჟინერიის იაპონური საზოგადოება), აგრეთვე რუსულ სტანდარტებში [29].

სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_b = P/F, \quad (10.8)$$

სადაც σ_b არის სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე, მპა; P – მრღვევი დატვირთვა გაჭიმვისას, ნ; F – ღეროს განივი კვეთის ეფექტური ფართობი, მმ².

დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$E = (P_1 - P_2) / (\epsilon_1 - \epsilon_2) \cdot F, \quad (10.9)$$

სადაც E – ღერძული (გრძივი) დრეკადობის მოდულია, მპა;

P₁ – დატვირთვა, რომელიც შეადგენს მრღვევი დატვირთვის 50±2%, ნ;

P₂ – დატვირთვა, რომელიც შეადგენს მრღვევი დატვირთვის 20±2%, ნ;

ϵ_1 – ფარდობითი დეფორმაცია, რომელიც შეადგენს ზღვრული დეფორმაციის 50±2%;

ϵ_2 – ფარდობითი დეფორმაცია, რომელიც შეადგენს ზღვრული დეფორმაციის 20±2%.

ფარდობითი დეფორმაცია მრღვევი დატვირთვისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$\epsilon_b = P/EF. \quad (10.10)$$

რუსული სტანდარტის პროექტში [29] მოცემულია კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების მინიმალური მნიშვნელობები უზრუნველყოფით 0,95 (ცხრ. 10.7), ხოლო 2012 წლის რუსული სტანდარტის პროექტში [43, დანართი Б, В, Г, Д, Е] – მინაპლასტიკური და ბაზალტპლასტიკური კომპოზიტური არმატურის ძირითადი პარამეტრები და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების სრული ჩამონათვალი.

ცხრილი 10.6

ფოლადის და კომპოზიტური არმატურის მახასიათებლები გაჭიმვისას

მაჩვენებლის დასახელება	განზომილება	ფოლადი	მინაპლასტიკი	ნახშირბადპლასტიკი	ორგანოპლასტიკი	ბაზალტპლასტიკი
სიმტკიცის	მპა	240-700		600-3500		800-1700

ზღვარი გაჭიმვისას			450- 1600		1000- 2500	
დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას	მპა, ·10 ³	200	35-60	100-580	40-125	60
ზღვრული ფარდობით დეფორმაცია	%	5-20	1,2-3,7	0,5-1,7	1,9-4,4	1,0

შენიშვნა: ბაზალტპლასტიკის არმატურის მახასიათებლები მოგვანოდა „ბაზალტ ფაიბერის“ ფირმამ (ქ. რუსთავი, საქართველო).

ცხრილი 10.7

კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის მინიმალური
ნორმატიული მახასიათებლები გაჭიმვისას

მაჩვენებლის დასახელება	განზომილება	მინაპლასტიკი	ბაზალტპლასტიკი	ნახშირბადპლასტიკი	ორგანოპლასტიკი	ჰიბრიდპლასტიკი
სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვისას	მპა	800	800	1600	1400	1000
დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას	მპა, ·10 ³	45	60	140	70	100

სამშენებლო კონსტრუქციებში აკვ გამოიყენება სწორი და აღუნული (იღუნება დამზადების პროცესში) ღეროების სახით. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ კომპოზიტის სიმტკიცე კუმშვაზე ნაკლებია, ვიდრე გაჭიმვაზე, რაც ემთხვევა კომპოზიტის რღვევის მექანიზმის მოსალოდნელ შედეგს – შეკუმშული ბოჭკოების მდგრადობის დაკარგვა მატრიცის შიგნით და გაგლეჯა განივი მიმართულებით. კომპოზიტის სიმტკიცე განსხვავდება შეკუმშული ელემენტის ფორმასა და ტიპზე დამოკიდებულებით. დრეკადობის მოდულიც კუმშვისას ნაკლებია, ვიდრე გაჭიმვისას. ამერიკის ბეტონის ინსტიტუტის მონაცემებით [38] მინაპლასტიკის დრეკადობის მოდული კუმშვისას 20%-ით ნაკლებია დრეკადობის მოდულზე გაჭიმვისას,

ორგანოპლასტიკებისთვის – 15%-ით, ხოლო ნახშირბადაპლასტიკებისათვის ერთნაირია. ამჟამად კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის დრეკადობის მოდულისა და კუმშვაზე სიმტკიცის განსაზღვრის მეთოდები შემუშავებული არ არის. რუსულ ნორმებში [42] მითითებულია, რომ არმატურის მწარმოებელი ვალდებულია მომხმარებელს მიაწოდოს არმატურის კუმშვაზე სიმტკიცის ზღვრის და დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობები, რომლებიც აუცილებელია კონსტრუქციის დაპროექტებისათვის.

კომპოზიტურ არმატურაზე მოქმედმა განივმა ან გადამჭრელმა ძალებმა შეიძლება გამოიწვიოს კომპოზიტის მატრიცის რღვევა. მაღალი სიმტკიცის გრძივად განლაგებულ ბოჭკოებს არ შეუძლიათ მნიშვნელოვანი გავლენა იქონიოს კომპოზიტის სიმტკიცის მაჩვენებლებზე. ამ შემთხვევაში სიმტკიცეს განსაზღვრავს ფისის (მატრიცის) სიმტკიცე (30-130 მპა). არმატურის სიმტკიცე შეიძლება გაიზარდოს განივი მიმართულებით დამატებითი ბოჭკოების განლაგებით. კომპოზიტური არმატურის ჭრაზე გაანგარიშების სპეციალური მეთოდები დამუშავებულია ამერიკელი და იაპონელი მეცნიერების მიერ (ACI, ASTM, JSCE).

10.4.3. აკპ-ის თვისებები ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებისას

კომპოზიტურ პოლიმერულ არმატურას ფოლადის არმატურისგან განასხვავებს ცოცვადობის თვისება, რის გამოც მისი ხანგრძლივი სიმტკიცე მცირდება. კვლევებით დადგენილია ([58], [59], [60]), რომ მინაპლასტიკისათვის ხანგრძლივი და ხანმოკლე სიმტკიცეების ფარდობა შეადგენს 0,29-0,55; ორგანოპლასტიკისთვის – 0,47-0,66; ნახშირბადაპლასტიკისთვის – 0,79-0,93.

ცოცვადობის დეფორმაცია დამოკიდებულია გარე პირობებზე (ტემპერატურა, ტენიანობა), არმატურის დიამეტრსა და კომპოზიტის ტიპზე. ცოცვადობის გავლენის ანალიზური მოდელი ჯერჯერობით შემოთავაზებული არ არის. იგი გაითვალისწინება სიმტკიცის მახასიათებლების განზოგადებული კოეფიციენტებით. მხოლოდ ამერიკის ბეტონის ინსტიტუტსა და სამოქალაქო ინჟინერიის იაპონურ საზოგადოებაში მიმდინარეობს გარკვეული სამუშაოები (ინტერნეტში განთავსებული მასალების მიხედვით) კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ხანგრძლივი სიმტკიცის განსაზღვრის მეთოდის შექმნის მიზნით, ხოლო დადლილობითი სიმტკიცის განსაზღვრის მეთოდები მათ მიერ უკვე შემუშავებულია და გამოიყენება პრაქტიკულ საქმიანობაში (რიცხობრივად იგი შეადგენს 50-80% არმატურის ტიპზე დამოკიდებულებით).

10.5. კონსტრუქციები დაუძაბავი კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით

10.5.1. გაანგარიშების ზოგადი პრინციპები

არსებული სამშენებლო ნორმები და რეკომენდაციები კონსტრუქციების გასაანგარიშებლად კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით, უმეტეს შემთხვევებში, წარმოადგენს ფოლადის არმატურით დაარმირებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ნორმების მოდიფიცირებას. ცვლილებები დაკავშირებულია არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ნორმირებასთან და ემპირიულ მონაცემებთან, რომლებიც მიღებულია ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად.

ყველა სამშენებლო ნორმისათვის საერთოა კონსტრუქციების გაანგარიშება ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით. არსებობს I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა (ULS – Ultimate Limit State) და II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა (SLS – Second Limit State). პირველით ხდება გაანგარიშება სიმტკიცესა და მდგრადობაზე საანგარიშო დატვირთვების მოქმედებისას და მეორეთი – გაანგარიშება დეფორმაციებზე (ნორმალური ექსპლუატაციის ვარგისობაზე) ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებისას. არსებობს გაანგარიშებისადმი ორი მიდგომა:

ევროპული – ზღვრული მდგომარეობის პირობა ჩაიწერება ფორმულით:

$$R \geq S, \quad (10.11)$$

სადაც R არის ღეროს განიკვეთის საანგარიშო წინაღობა, როგორც მასალის საანგარიშო მახასიათებლების ფუნქცია (ნორმატიული მნიშვნელობა გაყოფილი მასალის უსაფრთხოების კოეფიციენტზე); S – დაბვა განიკვეთში, აღძრული გარე საანგარიშო დატვირთვებისა და ზემოქმედებისაგან.

10.11 ფორმულა მიგვანიშნებს იმას, რომ ელემენტის განიკვეთში წარმოშობილი დაბვის სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს ამ ელემენტის მასალის საანგარიშო წინაღობას. წინააღმდეგ შემთხვევაში მოხდება მასალის (ელემენტის) რღვევა.

ჩრდილოამერიკული – ზღვრული მდგომარეობის პირობა ჩაიწერება ფორმულით:

$$\phi \cdot R_n \geq S, \quad (10.12)$$

სადაც R_n არის განიკვეთის ნომინალური წინაღობა, რომელიც მასალის ნორმატიული მახასიათებლის ფუნქციაა (მოცემული უზრუნველყოფით); ϕ – უსაფრთხოების განზოგადებული კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია რღვევის სახეზე (ამერიკის ბეტონის ინსტიტუტის მონაცემებით $\phi = 0,5-0,7$); S – დაბვა განიკვეთში, აღძრული გარე საანგარიშო დატვირთვებისა და ზემოქმედებისაგან.

ამგვარად, კომპოზიტური არმატურიანი სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშებებს შორის განსხვავება მდგომარეობს უსაფრთხოების უზრუნველყოფის პრინციპებში. ევროპულ ნორმებსა და რეკომენდაციებში ([45], [50], [51]) გაანგარიშების უსაფრთხოება (უტყუარობა) უზრუნველყოფილია მასალებისა და დატ-

ვირთვების კერძო კოეფიციენტების მეშვეობით, ხოლო ამერიკულ და კანადურ სამშენებლო ნორმებში ([45], [59], [62]) – უსაფრთხოების (მარაგის) განზოგადებული კოეფიციენტებით მზიდუნარიანობის მიხედვით და დატვირთვის უსაფრთხოების კოეფიციენტებით. იაპონური სამშენებლო ნორმებით [44] მიღებულია უსაფრთხოების ორი პრინციპი – მასალის უსაფრთხოება კერძო კოეფიციენტებით და მზიდუნარიანობა მარაგის დამატებითი კოეფიციენტებით.

უსაფრთხოებაზე გაანგარიშების რუსული ნორმები ისეთივეა, როგორც ევროპული, იმ განსხვავებით, რომ მასში დამატებულია სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხანგრძლივი და მრავალციკლური დატვირთვების ზემოქმედების პირობებში, ანუ I ზღვრული მდგომარეობის დროს გაანგარიშებისას სიმტკიცეზე განიხილება ორი საანგარიშო სქემა: გაანგარიშება ხანგრძლივ და მუდმივ ძალებზე და გაანგარიშება ხანმოკლე და ხანგრძლივი ჯამური ძალების მოქმედებაზე. ორივე შემთხვევაში დატვირთვები მიიღება დატვირთვის უსაფრთხოების კოეფიციენტების გათვალისწინებით.

დასავლეთის და ამერიკულ ნორმებში სიმტკიცეზე შემოწმება წარმოებს დატვირთვების ხანგრძლივი და მრავალციკლური ზემოქმედების გათვალისწინებით დასაშვები ძაბვების მეთოდით II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშების ჩარჩოში. იგი ითვალისწინებს ძალების განსაზღვრას ხანგრძლივი ნორმატიული დატვირთვებისაგან და მასალაში შესაბამისი ძაბვების გამოთვლას. დასაშვები ძაბვები განისაზღვრება მასალის უსაფრთხოების კოეფიციენტების გათვალისწინებით II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაანგარიშებისას ($\gamma = 1$) და შესაბამისი მუშაობის პირობების კოეფიციენტის მხედველობაში მიღებით.

აკ-სათვის უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით დადგენილია მხოლოდ ევროპულ ნორმებში. იტალიურ ნორმებში [24] დადგენილია $\gamma = 1,5$ – I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის და $\gamma = 1$ II ჯგუფისათვის. შვეიცარიული ნორმებით [39], [40] პირველი ზღვრული მდგომარეობისათვის უსაფრთხოების კოეფიციენტის მნიშვნელობა უნდა აღემატებოდეს 1,25-ს.

კომპოზიტური არმატურის სიმტკიცესა და დეფორმაციაზე გარემო პირობების გათვალისწინება ხდება მუშაობის პირობების კოეფიციენტით. ამერიკულ ნორმებში ACI 440 [35], [36] მოცემულია გარე პირობების ორი ტიპი: ექსპლუატაციის პირობები მშრალ და ტენიან გარემოში. ანალოგიურია იტალიურ ნორმებშიც. იაპონური [44] და ევროპული რეკომენდაციების უმეტეს ნაწილში [26, § 3.2] განიხილება მუშაობის პირობების განზოგადებული კოეფიციენტები. კანადური ნორმები ითვალისწინებს მასალის კლასს ხარისხის მიხედვით. ზოგიერთი ნორმა ითვალისწინებს მუშაობის პირობების კოეფიციენტს, დაკავშირებულს ელემენტის დატვირთვის ხასიათზე. ცნრ. 10.8-ში მოცემულია კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის მუშაობის პირობების კოეფიციენტის მნიშვნელობები გარემოს პირობებისა და დატვირთვის სახეების მიხედვით.

ცხრილი 10.8

კომპოზიტიური პოლიმერული არმატურის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი

გასათვალისწინებელი ფაქტორი	ACI440.1R-06 (აშშ)	NS3473 (ნორვეგ.)	CSA-S6-00 (კანადა)	JSCE (იაპონია)	IstructE (დიდი ბრიტანეთი)	CNR-DT203 (იტალ.)
გარემო პირობები (I და II ზღვრული მდგომარეობა)	მშრალი მპ-0,8 ოპ-0,9 ნპ-1,0 ტენიანი მპ-0,7 ოპ-0,8 ნპ-0,9	მპ-0,5 ოპ-0,9 ნპ-1,0	მპ-0,5 ოპ-0,6 ნპ-0,75	მპ-0,77 ოპ-0,8 ნპ-0,87		მშრალ. მპ-0,8 ოპ-0,9 ნპ-1,0 ტენიან. მპ-0,7 ოპ-0,8 ნპ-0,9
დატვირთვის ხანგრძლივობა და მრავალციკლოზობა (ნორმატიული დატვირთვები)	მპ-0,2 ოპ-0,3 ნპ-0,55	მპ-0,9 ოპ-0,85 ნპ-0,95	მპ-0,35 ოპ-0,45 ნპ-0,8		მპ-0,27 ოპ-0,45 ნპ-0,55	მპ-0,3 ოპ-0,5 ნპ-0,9

პირობითი აღნიშვნები: მპ - მინაპლასტიკი; ოპ - ორგანოპლასტიკი;
ნპ - ნახშირბადპლასტიკი.

რუსულ რეკომენდაციებში [22] მინაპლასტიკის არმატურისათვის მიღებულია მუშაობის პირობების კოეფიციენტები, რომლებიც ითვალისწინებს აკპ-ის არასრულ სიმტკიცეს ძაბვის ხანგრძლივად მოქმედებისას და ძაბვის არათანაბარ განაწილებას განიკვეთში:

$m_{ad} = 0,6$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვის ხანგრძლივ მოქმედებას დატვირთვების ნებისმიერი შეთანწყობისთვის;

$m_{at} = 0,9$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებას (ხანმოკლე გაცხელება 100°C-მდე; ტემპერატურის ხანგრძლივი ზემოქმედება 80°C-მდე; გაორთქვლა 60°C ტემპერატურამდე);

$m_{ak} = 0,7-0,8$ – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციაზე ექსპლუატაციის პერიოდში აგრესიული გარემოს ზემოქმედებას.

უსაფრთხოების კოეფიციენტის მნიშვნელობა რეკომენდაციებში (НИИЖБ) დადგენილია და მიიღება 1,3-ის ტოლი.

უკრაინულ ნორმებში DCTV [41] ბაზალტლასტიკური და მინაპლასტიკური არმატურებისთვის უსაფრთხოების კოეფიციენტის კონკრეტული მნიშვნელობები მოცემული არ არის. თუმცა პროექტში დაფიქსირებულია კომპოზიტური არმატურის სიმტკიცეების ფარდობა გაჭიმვაზე და კუმშვაზე, კერძოდ კომპოზიტის საანგარიშო სიმტკიცე გაჭიმვაზე 5-ჯერ მეტია, ვიდრე საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე.

10.5.2. გაანგარიშება I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით

კომპოზიტურარმატურიანი კონსტრუქციების გაანგარიშებაში ჩაღებულია ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშების ძირითადი ჰიპოთეზები:

- ბრტელი კვეთების ჰიპოთეზა;
- კომპოზიტისა და ბეტონის ერთობლივი მუშაობა;
- ბეტონის მუშაობა გაჭიმვაზე მხედველობაში არ მიიღება;
- კომპოზიტური არმატურის მუშაობა კუმშვაზე მხედველობაში არ მიიღება;
- კომპოზიტი რღვევამდე მუშაობს დრეკად სტადიაში;
- ბეტონის დეფორმაციის კანონზომიერებები შენარჩუნებულია (ისევე, როგორც რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშებებში).

კონსტრუქციების გაანგარიშება სიმტკიცეზე დაუდაბავი არმატურით I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდის მიხედვით, წარმოებს მღუნავი მომენტების, გრძივი ძალების, განივი ძალების, მგრეხი მომენტებისა და ადგილობრივი (შეყურსული, წერტილოვანი) დატვირთვების მოქმედების გათვალისწინებით (იხ. ევროკოდების საფუძველზე მომზადებული რუსული ნორმები: СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. თავი 8.1). უნდა გავითვალისწინოთ ის, რომ საანგარიშო ფორმულებში ფოლადის არმატურის მახასიათებლების და პარამეტრების ნაცვლად, ჩასმული იყოს კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის შესაბამისი მახასიათებლები და პარამეტრები, ხოლო განივკვეთის შეკუმშული ზონის ფართობის სიდიდეს ღებულობენ $A_f' = 0$ და მხედველობაში მიიღება ქვემოთ მოყვანილი მითითებები (მითითება 1 და 2).

ღუნვადი, არაცენტრალურად შეკუმშული, ცენტრალურად და არაცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გასაანგარიშებლად სიმტკიცეზე ნორმალური კვეთების მიხედვით, მხედველობაში მიიღება შემდეგი:

მითითება 1: განაპირა შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლის მნიშვნელობა ξ_R , რომლისთვისაც კონსტრუქციის ზღვრული მდგომარეობა დგება მაშინ, როცა გაჭიმულ არმატურაში დაბვა გაუტოლდება R_f საანგარიშო წინაღობას განისაზღვრება ფორმულით:

$$\xi_R = \frac{x}{h_0} = \frac{\omega}{1 + \frac{\varepsilon_{f,ult}}{\varepsilon_{b2}}}, \quad (10.13)$$

სადაც ω არის ბეტონის შეკუმშული ზონის მახასიათებელი, რომელიც მიიღება მძიმე ბეტონებისათვის კლასით B60-მდე 0,8-ის ტოლი, ხოლო B70 - B100 და წვრილმარცვლოვანი, მსუბუქი და უჯრედოვანი ბეტონებისათვის – 0,7;

$\mathcal{E}_{f,ult}$ – (10.6) ფორმულით გამოთვლილი კომპოზიტური არმატურის წაგრძელების ფარდობითი დეფორმაციის ზღვრული მნიშვნელობა;

\mathcal{E}_{b2} – შეკუმშული ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციები, რომელიც მიიღება სამშენებლო ნორმების მიხედვით და ტოლია:

1) დატვირთვების ხანმოკლე მოქმედებისას – კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით ბეტონის კლასისას B60 და უფრო ნაკლები $\mathcal{E}_{b2} = 0,0035$, იმავე ბეტონის კლასისას B70-B100 – წრფივი კანონით (ინტერპოლაციით) 0,0033-დან (B70) 0,0028-მდე (B100);

2) დატვირთვების ხანგრძლივი მოქმედებისას – ნორმების მიხედვით (იხ. [27], ცხრ. 6.10), კერძოდ: კუმშვისას, მძიმე, წვრილმარცვლოვანი და დაძაბული ბეტონებისათვის ჰაერის ფარდობითი ტენიანობით $W > 75\%$ – $\mathcal{E}_{b2} = 0,0042$, $W = 40-75\%$ – $\mathcal{E}_{b2} = 0,00428$, $W < 40\%$ – $\mathcal{E}_{b2} = 0,0056$, იმავეგაჭიმვისას 0,00027, 0,00031 და 0,00036.

მითითება 2: როცა $x > \xi_R h_0$, მაშინ შეკუმშული ზონის განივკვეთის სიმაღლე M_{ult} ზღვრული მღუნავი მომენტის განსაზღვრისას, მართკუთხა განივკვეთის ღუნვადი ელემენტისათვის განისაზღვრება ფორმულით:

$$x = \sqrt{(0,5\mu_f \cdot \alpha_{f2} \cdot h_0)^2 + \mu_f \cdot \alpha_{f2} \cdot \omega \cdot h_0^2} - 0,5\mu_f \cdot \alpha_{f2} \cdot h_0^2, \quad (10.14)$$

სადაც $\mu = \frac{A_f}{bh_0}$; $\alpha_{f2} = \frac{E_f}{E_{b2}}$; $E_{b2} = \frac{R_b}{\mathcal{E}_{b2}}$.

A_f – დეფორმაციული მოდელის საფუძველზე, გაჭიმულ ზონაში განლაგებული, კომპოზიტური არმატურის განივკვეთი.

შენიშვნა: ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე ტესტები (ორ-ტესტები) განივკვეთით, რომლის თარო მოთავსებულია შეკუმშულ ზონაში, როცა $x > \xi_R \cdot h_0$, ხორციელდება დეფორმაციული მოდელის საფუძველზე (იხ. [27], პ. 8.1.20...8.1.30) ქვევით მოყვანილი მე-3 მითითების გათვალისწინებით.

მითითება 3: კონსტრუქციის ნორმალური კვეთების გაანგარიშებისას სიმტკიცეზე დეფორმაციული მოდელის მეშვეობით, მხედველობაში მიიღება შემდეგი:

- ა) საანგარიშო დამოკიდებულებებში გაითვალისწინება $A'_f = 0$ და $\mathcal{V}_f = 1$;
- ბ) სიმტკიცეზე გაანგარიშება წარმოებს პირობებით:

$$\mathcal{E}_{b,max} \leq \mathcal{E}_{b,ult} \quad \text{და} \quad \mathcal{E}_{f,max} \leq \mathcal{E}_{f,ult}, \quad (10.15)$$

სადაც $\mathcal{E}_{b,max}$ არის ბეტონის ელემენტის ნორმალურ კვეთში ყველაზე შეკუმშული ბოჭკოს ფარდობითი დეფორმაცია, გამოწვეული გარე დატვირთვების ზემოქმედებით;

$E_{b,ult}$ – კუმშვისას ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციის ზღვრული მნიშვნელობა, მიიღება ნორმების მიხედვით (იხ. [27], პ. 8.1.30);

$E_{f,max}$ – ყველაზე მეტად გაჭიმული კომპოზიტური არმატურის ღეროს ფარდობითი დეფორმაცია კონსტრუქციის ნორმალურ კვეთში გარე დატვირთვების შემოქმედებისას; $E_{f,ult}$ – კომპოზიტური არმატურის წაგრძელების ფარდობითი დეფორმაციის ზღვრული მნიშვნელობა გამოთვლილი (10.3) ფორმულით.

აშშ-ის [22] და კანადის [21] სამშენებლო ნორმებით განიხილება გაანგარიშების ორი ძირითადი შემთხვევა: რღვევა ბეტონის შეკუმშული ზონის და რღვევა გაჭიმული კომპოზიტური არმატურის. საზღვარი ამ ორი შემთხვევისა დგინდება დაარმირების კოეფიციენტის სიდიდის მიხედვით:

$$\rho_{fb} = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot (f_c/f_{fu}) \cdot [E_f \cdot \epsilon_{cu} / (E_f \cdot \epsilon_{cu} + f_{fu})], \quad (10.16)$$

სადაც $0,85\beta_1$ არის აშშ-ის ნორმების [22] ემპირიული კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის შეკუმშული ზონის ეპიურის გადასვლას პირობით მართკუთხედოვან ეპიურაზე;

f_c – ბეტონის საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე;

f_{fu} – კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე გაჭიმვაზე;

ϵ_{cu} – ბეტონის ზღვრული ფარდობითი დეფორმაცია კუმშვისას.

მსგავსი ანალოგიური გამოსახულება მიღებულია სტატიაში [28] ევროკოდ 2-ის საანგარიშო დამოკიდებულებების ანალიზის საფუძველზე:

$$\rho_{fb} = 0,81 \cdot (f_{ck} + 8) \cdot \epsilon_{cu} / f_{fk} (f_{fk} / E_{fk} + \epsilon_{cu}). \quad (10.17)$$

თუ გაჭიმული არმატურის დაარმირების კოეფიციენტი $\rho_f > \rho_{fb}$, მაშინ განიკვეთი ითვლება ზედმეტად დაარმირებულად და რღვევა მოსალოდნელია ბეტონის შეკუმშულ ზონაში. თუ $\rho_f < \rho_{fb}$, მაშინ მოხდება გაჭიმული არმატურის რღვევა ($\rho_f = A_f/bh$).

მოსალოდნელი რღვევის მექანიზმზე დამოკიდებულებით შემოთავაზებულია მზიდუნარიანობის განსაზღვრის შესაბამისი ფორმულები, რომლებიც დაფუძნებულია ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზაზე და ბეტონის შეკუმშული ზონის ემპირიულ დამოკიდებულებებზე, მიღებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გამოცდების შედეგებზე. ბეტონის შეკუმშული წახნაგის (კიდის) ფარდობითი დეფორმაციის საანგარიშო ზღვრული სიდიდე მიიღება 0,003.

ასეთი მიდგომა ანალოგიურია რუსულ ნორმებში მოცემული გაანგარიშებისა ზღვრული ძალების მიხედვით, რომლებიც დამოკიდებულია ბეტონის შეკუმშული ზონის ფარდობით სიმაღლეზე ξ_r (იხ. ფორმ. 10.13).

შვეიცარიული ნორმების თანახმად [26] რკინაბეტონის ელემენტებში ფოლადის არმატურის დაარმირების კოეფიციენტის ზღვრული მნიშვნელობა მიიღება 2,5-3%; ხოლო კომპოზიტური პოლიმერული არმატურისათვის – $\rho_{fb} = 0,5\%$.

იტალიურ ნორმებში CNR [24] ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე ხორციელდება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მოქმედი ნორმებით რაიმე სპეციალური დაზუსტებების გარეშე, თუმცა შემოტანილია უსაფრთხო-

ების დამატებითი პირობა – კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ზღვრული დეფორმაციის შეზღუდვა:

$$\epsilon_{fd} = 0,9\eta \cdot \epsilon_{fk} / \gamma_R, \quad (10.18)$$

სადაც ϵ_{fk} არის ზღვრული დეფორმაციის ნორმატიული მნიშვნელობა (0.95 უზრუნველყოფით);

η – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;

γ_R – უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით;

0,9 – უსაფრთხოების დამატებითი კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს განსხვავებას ღუნვადი ელემენტის მუშაობის პირობებსა და არმატურის სტანდარტულ გამოცდას შორის.

ევროპული ნორმებისგან განსხვავებით ამერიკული ნორმები ACI ითვალისწინებს უსაფრთხოების (მარაგის) კოეფიციენტს მზიდუნარიანობის მიხედვით (იხ. §10.5.1). გაანგარიშების იმ შემთხვევისათვის, როცა $\rho_f > 1,4 \rho_{fb}$ (რღვევა ბეტონის შეკუმშული ზონის) მიიღება $\phi = 0,65$ (ნორმების 2003 წლის რედაქციით იყო 0,7) ისევე, როგორც რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ACI 318 ნორმებშია მოცემული [51]. როცა $\rho_f < \rho_{fb}$ (რღვევა გაჭიმული არმატურის) მიიღება $\phi = 0,55$ (ნორმების 2003 წლის რედაქციით იყო 0,5). ფოლადის არმატურისათვის ყველა შემთხვევაში $\phi = 0,9$ [51]. იაპონური JSCE ნორმებით გაანგარიშებებში გაითვალისწინება უსაფრთხოების განზოგადებული კოეფიციენტი 0,77.

ისევე, როგორც რუსულ ნორმებში (СП 52-101-2003, п. 6.2.4 [52]), ევროპულ და ამერიკულ ნორმებშიც არსებობს შეზღუდვები, დაკავშირებული **ღუნვადი ელემენტების** ზღვრული მზიდუნარიანობისა და ბზარწარმოქმნის მომენტის ფარდობასთან. მაგ., იტალიურ ნორმებში CNR [37], სადაც განხილულია ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე, შემოტანილია პირობა $M_{ult} \geq 1,5M_{cr}$. ამერიკულ ნორმებში ACI [35] პირობა $\phi M_{ult,n} \geq M_{cr}$ დაყვანილია გრძივი არმატურის მინიმალურ შეზღუდვაზე და გრძივი **გაჭიმული არმატურის** მინიმალური რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$A_{f,min} = 0,41f_c^{1/2} \cdot b_w \cdot d / f_{fu} \geq 2,26 b_w \cdot d / f_u, \quad (10.19)$$

სადაც f_c არის ბეტონის საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე;

f_{fu} – კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე გაჭიმვაზე;

b_w – ელემენტის განივკვეთის სიგანე;

d – ელემენტის განივკვეთის სამუშაო სიმაღლე.

გაანგარიშების ეს პირობები მიღებულია ამერიკულ ნორმებში ACI 318 [51] მოყვანილი ფოლადის არმატურის ანალოგური პირობების პარამეტრების გამრავლებით 1,8-ზე ($\phi_s / \phi_{frp} = 0,9/0,5 = 1,8$).

შვეიცარიული ნორმების [39] მიხედვით (ევროკოდ 2-ის საფუძველზე) გრძივი არმატურის მინიმალური რაოდენობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$A_{f,min} = 0,26f_{ctm} \cdot b \cdot d / f_{fk} \geq 0,0013 \cdot b \cdot d, \quad (10.20)$$

სადაც f_{ctm} არის ბეტონის საშუალო სიმტკიცე გაჭიმვაზე;

f_{fk} – კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ნორმატიული სიმტკიცე გაჭიმვაზე; b და d – განივკვეთის სიგანე და სამუშაო სიმაღლე.

ამ ნორმებით არ მოითხოვება გაანგარიშება ბზარმედგობაზე, რადგან ითვლება, რომ თუ კომპოზიტური არმატურის განივკვეთი შერჩეულია 10.17 ფორმულით, მაშინ ღუნვადი ელემენტის ბზარმედგობაც უზრუნველყოფილია.

მხედველობაში მიიღება რა კომპოზიტური არმატურიანი ბეტონის კონსტრუქციის მყიფე რღვევა, ამერიკული ნორმებით [35] მომენტების გადანაწილება სტატიკურად ურკვევ სისტემებში (მრავალმალიანი კოჭები, რიგელები, მრავალსართულიანი სვეტები, ჩარჩოები ხისტი კვანძებით და სხვ.) მხედველობაში არ მიიღება.

უკრაინული ნორმების პროექტით [41] კომპოზიტური არმატურიანი ბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება ხდება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების მოქმედი ნორმების მიხედვით იმ პირობით, რომ ფოლადის არმატურის მახასიათებლების ნაცვლად საანგარიშო ფორმულებში შეტანილი იქნეს კომპოზიტური არმატურის მახასიათებლები.

ამერიკული [35], იტალიური [37] და შვეიცარიული [39] ნორმების მიხედვით **შეკუმშულ ელემენტებში** გრძივ არმატურად კომპოზიტების გამოყენებისათვის საჭიროა არმატურის მასალის სპეციალური კვლევების ჩატარება, ხოლო უკრაინული ნორმების პროექტით [41], როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მინაპლასტიკური და ბაზალტპლასტიკური არმატურის სიმტკიცე კუმშვაზე მიიღება გაჭიმვაზე სიმტკიცის 20%.

განივ ძალებზე გაანგარიშების პრინციპი ნორმებში შენარჩუნებულია ფოლადის არმატურიანი კონსტრუქციების გაანგარიშების ანალოგიურად, თუმცა გათვალისწინებულია კომპოზიტური არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები და ბეტონთან მისი ერთობლივი მუშაობის თავისებურებები, როგორცაა: მასალის ანიზოტროპიულობა, დიდი ჩაღუნვები და ბზარების გახსნის სიგანე, განივკვეთში შეკუმშული ზონის მცირე სიმაღლე, მყიფე რღვევა, ძალების გადაუნაწილებლობა, გრძივი კომპოზიტური არმატურის წირწკიმალოვანი ეფექტის არარსებობა და სხვ.). სხვადასხვა ნაციონალური ნორმები კომპოზიტური არმატურიანი კონსტრუქციების განივ ძალებზე გაანგარიშებისას ძირითადად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან ემპირიული და თეორიული მოდელების სქემებით, მინაარსი კი პრაქტიკულად ერთნაირია.

განივ ძალებზე გაანგარიშებისას მნიშვნელოვანია განივი არმატურის აღუნული ღეროების ფაქტორი. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, აღუნული კომპოზიტური არმატურის სიმტკიცე 50-60%-ით შემცირებულია გრძივი არმატურის სიმტკიცესთან მიმართებით. იაპონური [30] და ამერიკული [35] ნორმების მიხედვით აღუნული კომპოზიტური არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე განისაზღვრება ფორმულით:

$$f_{fb} = (0,05r_b/d_b) \cdot f_{fu} \leq f_{fu}, \quad (10.21)$$

სადაც r_b არის ალუნვის რადიუსი (ელემენტის შიგა წახნაგის); d_b – ღეროს დიამეტრი; f_{fu} – კომპოზიტური არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე.

იტალიურ CNR ნორმებში [37] გათვალისწინებულია საკიდების ალუნვის დიამეტრი არანაკლებ $6d$, ხოლო საკიდის სიმტკიცე მიიღება $0,5R_f$ (თუ არ არის სხვა ექსპერიმენტული მონაცემები). ნაკლები რადიუსის შემთხვევაში კომპოზიტის სიმტკიცის მახასიათებლები და მუშაობის პირობების კოეფიციენტის სიდიდე მომხმარებელს უნდა მიაწოდოს არმატურის მწარმოებელმა.

ნაციონალური ნორმები გვთავაზობს განვივ ძალებზე გაანგარიშების საწყის ეტაპზე განვივ კომპოზიტური არმატურის ფარდობითი დეფორმაციები მივიღოთ ზღვრებში $0,2-0,45\%$. საანგარიშო ფორმულების გამოყვანისას გაითვალისწინება განვივ არმატურის დაყვანილი ფართობი, რომელიც ეფუძნება ფარდობითი დეფორმაციებისა და ძალების ტოლობის ჰიპოთეზას ფოლადისა და არალითონურ არმატურებში:

$$A_e = A_f \cdot E_f / E_s, \quad (10.22)$$

სადაც A_e არის ფოლადის არმატურის განიკვეთის დაყვანილი ფართობი;

A_f – კომპოზიტური არმატურის განიკვეთის ფართობი;

E_f და E_s – კომპოზიტური და ფოლადის არმატურის დრეკადობის მოდულები.

იაპონური JSCE ნორმებით [30] ელემენტის განვივ ძალის გამოთვლისას ბეტონის მიხედვით მზიდუნარიანობის მდგენელი განისაზღვრება რკინაბეტონის ელემენტის ანალოგიურად, მაგრამ განვივ არმატურის დაყვანილი ფართობის გათვალისწინებით. ემპირიულ ფორმულას აქვს სახე:

$$V_{cf} = 0,2(1/d)^{1/4} \cdot (100A_f \cdot E_f / b_w d \cdot E_s)^{1/3} \cdot (f_c)^{1/3} \cdot b_w d, \quad (10.23)$$

სადაც A_f არის კომპოზიტური არმატურის განიკვეთის ფართობი;

b_w – ელემენტის განიკვეთის სიგანე;

d – ელემენტის განიკვეთის სამუშაო სიმაღლე;

E_f და E_s – კომპოზიტური და ფოლადის არმატურის დრეკადობის მოდულები;

f_c – ბეტონის საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე.

იმავე კომპოზიტური არმატურის მიხედვით:

$$V_{sf} = (A_{fw} \cdot E_{fw} \cdot E_{fwd} / s) \cdot z, \quad (10.24)$$

$$E_{fwd} = [(h/0,3)^{-0,1} (f_c \cdot \rho_f \cdot E_f / \rho_{fw} \cdot E_{fw})]^{1/2} \cdot 10^{-4}, \quad (10.25)$$

სადაც E_{fwd} არის განვივ კომპოზიტური არმატურის საანგარიშო ზღვრული ფარდობითი დეფორმაცია;

ρ_f და ρ_{fw} – გრძივი და განვივ კომპოზიტური არმატურის დაარმირების პროცენტები;

E_f და E_{fw} – გრძივი და განვივ კომპოზიტური არმატურის დრეკადობის მოდულები;

h – ელემენტის განიკვეთის სიმაღლე;

z – ძალის მხარი;

s – განვივ არმატურის (საკიდების) ბიჯი.

ანალოგიური ფორმულები (მცირედი განსხვავებებით) მოყვანილია ბრიტანულ BSI 8110 [19], ამერიკულ [35], [38], [57], კანადურ [34], იაპონურ [30], იტალიურ [37], შვეიცარიულ [39] ნორმებში, აგრეთვე ევროკოდებში [53], [55], [56].

ყველა ნაციონალურ ნორმებში განხილულია შვეულად განლაგებული განივი არმატურა, გამონაკლისს შეადგენს ამერიკული ნორმები. აქ დახრილი განივი არმატურებიცაა განხილული და მზიდუნარიანობის მდგენელი განივი არმატურის გაანგარიშებებში მრავლდება სიდიდეზე ($\cos\alpha + \sin\alpha$), სადაც α არის განივი არმატურის დახრის კუთხე გრძივი არმატურის მიმართ.

აღსანიშნავია, რომ უკრაინული ნორმების პროექტში განივ არმატურად განიხილება მხოლოდ ფოლადის არმატურა. კომპოზიტური განივი არმატურის გამოყენების საანგარიშო პირობები ჯერჯერობით დამუშავებული არ არის.

10.5.3. გაანგარიშება II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით

II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით კონსტრუქციების გაანგარიშება ითვალისწინებს გაანგარიშებას ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებისას, დეფორმაციებზე, ბზარების წარმოქმნასა და გახსნაზე, რაც ხდება სამშენებლო ნორმების ([40], პ. 8.2) შესაბამისად იმ განსხვავებით, რომ საანგარიშო ფორმულებში ფოლადის არმატურის მახასიათებლების და პარამეტრების ნაცვლად, ჩასმული იყოს კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის შესაბამისი მახასიათებლები და პარამეტრები. განივკვეთის შეკუმშული ზონის ფართობის სიდიდეს ლებულობენ $A'_f = 0$ და მხედველობაში მიიღება ქვემოთ მოყვანილი მითითებები (მითითება 4 და 5).

მითითება 4. ბზარების გახსნაზე გაანგარიშებისას მნიშვნელობა $\alpha_{crc,ult}$ (იხ. [40], პირობა 8.118) მიიღება არაუმეტეს:

0,7 მმ – ბზარების ხანგრძლივი გახსნისას შენობის ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში (დახურული შენობების შიგნით);

0,5 მმ – ბზარების ხანგრძლივი ან ხანმოკლე გახსნისას, კონსტრუქციების ექსპლუატაციისას ამაღლებული ტენიანობისა (ღია ჰაერზე, გრუნტში) და აგრესიული გარემოს პირობებში.

მითითება 5. ნორმალური ბზარის გახსნის სიდიდის გაანგარიშებისას ([40], ფორმ. 8.128) ϕ_2 კოეფიციენტის მნიშვნელობა, რომელიც ითვალისწინებს გრძივი კომპოზიტური არმატურის პროფილს, მიიღება:

0,7 – პერიოდული პროფილის არმატურისთვის;

1,2 – გლუვი არმატურისთვის.

როგორც §10.1-ში იყო მითითებული II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაანგარიშებაში დამატებით ჩადებულია ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხანგრძლივი და მრავალციკლური ნორმატიული დატვირთვების მოქმედე-

ბისას დასაშვები დაბრუნების მეთოდით. ასეთი შემოწმება გათვალისწინებულია რკინაბეტონის კონსტრუქციებისთვისაც ამერიკული ნორმებითა [63] და ევროკოდებით [53]. მოთხოვნები ეფუძნება იმას, რომ დაუშვებელია განიკვეთის მუშაობა ხანგრძლივი ნორმატიული დატვირთვებისას არადრეკად (ნახევრადპლასტიკურ, პლასტიკურ) სტადიაში (იხ. [65], EN 1992-1-1). მასში შემოღებულია ბეტონში დაბრუნების შეზღუდვა $0,6f_{ck}$ -მდე (f_{ck} – ბეტონის ნორმატიული ცილინდრული სიმტკიცე), ხოლო ფოლადის არმატურისათვის დაბრუნება არ უნდა აღემატებოდეს $0,8f_{yk}$ -ს (f_{yk} – ფოლადის დენადობის ზღვრის ნორმატიული მნიშვნელობა).

იტალიური CNR ნორმების [37] თანახმად დაბრუნება კომპოზიტურ არმატურაში არ უნდა აღემატებოდეს სიმტკიცის საანგარიშო მნიშვნელობას, რომლის განსაზღვრისათვის გამოყენებულია უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით $\gamma = 1$ და მუშაობის პირობების კოეფიციენტი $\eta = 0,2-0,55$, მასალის სახეობაზე დამოკიდებულობით. ანალოგიური შეზღუდვები სხვა ნორმებისათვის მოცემულია ცხრ. 10.7-ში.

დეფორმაციებზე გაანგარიშება სრულდება პირობისათვის $f \leq f_{ult}$, სადაც f არის ელემენტის საანგარიშო ჩაღუნვა ნორმატიული დატვირთვების მოქმედებისას; f_{ult} – ჩაღუნვის ზღვრული სიდიდე. f_{ult} -ის მნიშვნელობა ნორმირდება კონსტრუქციის მალის მიხედვით. რუსულ СП 20 ნორმებში ზღვრული ჩაღუნვის სიდიდე მოცემულია მალის 1/150-1/250-ის ზღვრებში ([46], დანართი „Д“, ცხრ. Д.1, გვ.73) 3-24 მ მალისათვის ესთეტიკურ-ფსიქოლოგიური მოთხოვნების შესაბამისად და მალის 1/150 (ან 40 მმ) – კონსტრუქციული მოთხოვნებით. სხვა ქვეყნების ნორმატიული დოკუმენტებით კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული კონსტრუქციების დეფორმაციებს ისეთივე შეზღუდვები აქვთ, როგორც რკინაბეტონის კონსტრუქციებს. მოვიყვანოთ რამდენიმე მაგალითი: ევროკოდებითა [53] და უკრაინული ნორმების პროექტით [41] ზღვრული ჩაღუნვა ესთეტიკური მოსაზრებით შეადგენს $L/250$, ხოლო მოსაზღვრე არამზიდი ელემენტების (ტიხარი, ფასადი და სხვ.) – $L/500$; ამერიკული ნორმებით [51] თუ არსებობს მოსაზღვრე ელემენტები, რომლებიც შეიძლება დაზიანდეს მზიდი კონსტრუქციების დეფორმაციით (ჩაღუნვით) – $L/480$, თუ არ დაზიანდება – $L/240$. გადახურვის კონსტრუქციები, რომლებიც კავშირში არ არის მიმდებარე არამზიდ კონსტრუქციებთან – $L/360$, სახურავებისათვის – $L/180$.

ჯამური ჩაღუნვა ევროკოდების მიხედვით განისაზღვრება ფორმულით:

$$\delta = \delta_2 \cdot \xi + \delta_1 \cdot (1 - \xi), \quad (10.26)$$

სადაც δ_1 არის ჩაღუნვა, გამოთვლილი ბზარების გათვალისწინების გარეშე; δ_2 – ჩაღუნვა, გამოთვლილი განიკვეთის ინერციის მომენტის შემცირების გათვალისწინებით ბზარების მხედველობაში მიღებით; ბეტონის შეკუმშული ზონის სასაზღვრო სიმაღლის გამოთვალისწინებული კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\xi = 1 - \beta(M_{cr}/M_{max})^m, \quad (10.27)$$

სადაც M_{cr} და M_{max} არის ბზარწარმომქმნელი და მაქსიმალური საანგარიშო მომენტები;

$\beta = 1$; $m = 2$ – რკინაბეტონის კონსტრუქციების ემპირიული კოეფიციენტები, რომელთა გამოყენება კომპოზიტურ არმატურიან ბეტონის კონსტრუქციებში დასაშვებია კომპოზიტისა და ბეტონის ერთობლივი მუშაობის პირობებში, რაც დადგენილია ექსპერიმენტით [53]. თვით ჩაღუნვები კი განისაზღვრება სამშენებლო მექანიკის კანონებით.

იტალიური ნორმებით [37] ჩაღუნვის განსაზღვრა ხდება მომენტი-სიმრუდის დიაგრამის მეშვეობით.

ამერიკული ნორმები განიხილავს ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების ზემოქმედების შესაბამის ჩაღუნვებს. ჩაღუნვა ხანმოკლე დატვირთვებისაგან განისაზღვრება სამშენებლო მექანიკის კანონებით, ხოლო ჩაღუნვა ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვების დროს – ხანმოკლე დატვირთვების შესაბამისი ჩაღუნვის გამრავლებით სიდიდეზე: $\lambda = 0,6\xi$, სადაც ξ არის კოეფიციენტი, დამოკიდებული დატვირთვების მოქმედების ხანგრძლივობაზე (მაგ., როცა დატვირთვების ხანგრძლივობა მეტია 5 წელზე, მაშინ $\xi = 2$ [38]).

იაპონური და კანადური ნორმებით კომპოზიტური კონსტრუქციების ჩაღუნვის გაანგარიშება ხდება რკინაბეტონის კონსტრუქციების ანალოგიურად.

გაანგარიშება ბზარების გახსნაზე ხორციელდება ბზარების გაჩენის შესაძლებლობის პირობის შემოწმების შემდეგ – ბზარწარმომქმნელი M_{crc} მომენტის განსაზღვრით, რომელიც ხდება მასალის არადრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინების გარეშე. თვით გაანგარიშება ბზარების გახსნაზე მიმდინარეობს პირობიდან $a_{crc} \leq a_{crc,ult}$, სადაც a_{crc} არის ბზარების გახსნის საანგარიშო სიგანე ნორმატიული დატვირთვისათვის; $a_{crc,ult}$ – ბზარების გახსნის ზღვრული სიგანე, რომელიც სხვადასხვა ნორმებით ფოლადის არმატურით დაარმირებული ბეტონებისათვის საშუალოდ ტოლია 0,3-0,4 მმ-ის, ხოლო არალითონური არმატურით დაარმირებული ბეტონებისათვის – 0,5-0,8 მმ-ის.

ევროკოდებით (იხ. ევროკოდი 2 ან შვეიცარიული ნორმები [39]) ბზარების გახსნის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$w_{cr} = \beta \cdot s_{rm} \cdot \epsilon_{sm}, \quad (10.28)$$

სადაც $\beta = 1,3$; ϵ_{sm} – არმატურის ფარდობითი დეფორმაცია

$$\epsilon_{sm} = \sigma_s [1 - \beta_1 \cdot \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] / E_s, \quad (10.29)$$

სადაც σ_s არის ძაბვა არმატურაში;

β_1 – ემპირიული კოეფიციენტი: $\beta_1 = 1$ არმატურისათვის შეჭიდულობის მაღალი მაჩვენებლით (პერიოდული პროფილის არმატურა), $\beta_1 = 0,5$ გლუვზედაპირიანი არმატურისათვის;

β_2 – ემპირიული კოეფიციენტი: $\beta_2 = 1$ ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისათვის, $\beta_2 = 0,5$ ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვებისათვის;

s_{rm} – ბზარების ბიჯის საშუალო მნიშვნელობა:

$$s_{rm} = 50 + 0,25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot d / \rho_1, \quad (10.30)$$

სადაც k_1 არის ემპირიული კოეფიციენტი: $k_1 = 0,8$ დაპროფილებული არმატურისათვის შეჭიდულობის მაღალი მაჩვენებლით; $k_1 = 1,6$ გლუვი არმატურისათვის;

k_2 – ემპირიული კოეფიციენტი: $k_2 = 0,5$ ღუნვადი ელემენტებისათვის, $k_2 = 1$ ერთლერდა გაჭიმვისათვის;

d – არმატურის დიამეტრი;

ρ_1 – დაარმირების პროცენტი;

E_s – არმატურის დრეკადობის მოდული.

ბზარების გახსნაზე გაანგარიშების ანალოგიური მეთოდებია წარმოდგენილი სხვა ნაციონალურ ნორმებში მცირედი შესწორებებით. მაგ., ამერიკულ ნორმებში [51] გასაანგარიშებელ ფორმულაში შემოტანილია ბეტონის არმატურასთან შეჭიდულობის ხარისხის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი k_b , რომლის მნიშვნელობა მეტია 1-ზე. თუ შეჭიდულობის პარამეტრები ექსპერიმენტით არ არის დადგენილი, მაშინ ნორმები გვთავაზობს ამ კოეფიციენტის მნიშვნელობა ავიღოთ 1,4.

კანადური ნორმები ისეთივეა, როგორც ამერიკული.

იაპონური ნორმებიც იმეორებს ამერიკულს იმ განსხვავებით, რომ კოეფიციენტი k_b -ს სიდიდე აღებულია 1-ის ტოლი, ანუ ფოლადის არმატურის ანალოგიური.

რუსული ნორმებით [21; 22] მინაპლასტიკური არმატურისათვის დაუმუშავებელია ბზარების გაჩენა. ამიტომ ბზარწარმომქმნელი მომენტი განისაზღვრება რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ანალოგიურად დრეკად სტადიაში.

10.5.4. კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერებისა და ბეტონთან შეჭიდულობის გაანგარიშება

კანადური ნორმებით [33, 34] კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერების აუცილებელი სიგრძე განისაზღვრება ფოლადის არმატურის ჩაანკერების სიგრძის ანალოგიურად იმ განსხვავებით, რომ ფორმულაში შემოტანილია დამატებითი ემპირიული კოეფიციენტები:

$$l_d = 0,45 \cdot [k_1 \cdot k_4 / (d_{cs} + k_{tr} \cdot E_f / E_s)] (f_{ju} / f_{cr}) \cdot A, \quad (10.31)$$

სადაც l_d არის ჩაანკერების სიგრძე;

k_1 – არმატურის განლაგების კოეფიციენტი;

k_4 – კომპოზიტური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის დამატებითი მაჩვენებელი, რომელიც ტოლია კომპოზიტური არმატურის შეჭიდულობის სიმტკიცის ფარდობისა ფოლადის არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცესთან (ამ სიდიდეების ფარდობაა არაუმეტეს 1-ისა);

d_{cs} – მინიმალური მანძილი ღეროს სიმეტრიის ღერძიდან ბეტონის კიდემდე (წახნაგამდე) ან ღეროების ბიჯი;

k_{tr} – განივის დაარმირების ინდექსი;

E_f და E_s – კომპოზიტური და ფოლადის არმატურის დრეკადობის მოდულები;

f_{fu} – კომპოზიტური არმატურის საანგარიშო სიმტკიცე;

f_{cr} – ბეტონის საანგარიშო სიმტკიცე კუმშვაზე;

A – არმატურის განივკვეთის ფართობი.

იაპონური ნორმების მიხედვით ჩაანკერების ბაზური სიგრძე:

$$l_d = \alpha_1 \cdot (f_{fd}/f_{bod}) \cdot d > 20d, \quad (10.32)$$

სადაც კოეფიციენტი α_1 იცვლება ზღვრებში 0,6-1 (იხ. [17]); f_{bod} – შეჭიდულობის საანგარიშო სიმტკიცე:

$$f_{bod} = \alpha_2 \cdot (0,28f_{ck}^{2/3}/\gamma_c) < 3,2 \text{ მპა}, \quad (10.33)$$

სადაც $\gamma_c = 1,3$, როცა $f_{ck} < 50$ მპა და $\gamma_c = 1,5$, როცა $f_{ck} \geq 50$ მპა; α_2 – კოეფიციენტი, რომელიც გამოსატავს კომპოზიტური არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცის ფარდობას ფოლადის დაპროფილებული (ნაჭდევებიანი) არმატურის ბეტონთან შეჭიდულობის სიმტკიცესთან (არაუმეტეს 1-ისა). რეკომენდებულია ეს კოეფიციენტი განისაზღვროს ექსპერიმენტულად.

აქვე ნორმებში ხაზგასმულია, რომ კომპოზიტური არმატურის ბეტონში ჩაანკერების სიგრძე გაიზარდოს 30%-ით, თუ არმატურა განთავსებულია კონსტრუქციის განივკვეთის ზედა ნაწილში სიმაღლით 30 სმ ან 45⁰-იანი კუთხით, ხოლო შეკუმშულ ზონაში განთავსებული არმატურის ჩაანკერების სიგრძე შემცირდეს 20%-ით.

იტალიურ CNR ნორმებში [37] შემოთავაზებულია ჩაანკერების სიგრძის გამოსათვლელი გამარტივებული ფორმულა:

$$l_d = 0,1 \cdot \sigma_f \cdot d_b, \quad (10.34)$$

სადაც σ_f არის ჩაანკერებულ ღეროში ძაბვა, ნ/მმ²;

d_b – ღეროს დიამეტრი, მმ.

კონსტრუქციული მოსაზრებით ჩაანკერების მინიმალური სიგრძეა 400 მმ. გლუვი არმატურის ჩაანკერება დაუშვებელია, ხოლო შეკუმშულ ზონაში დაპროფილებული კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერების მინიმალური სიგრძეა 21d.

ანალოგიურად, მცირე შესწორებებით, ამერიკულ, ინგლისურ, შვეიცარიულ, უკრაინულ, რუსულ და სხვ. ნორმებშიც დაწვრილებითაა განხილული კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერებისა და ბეტონთან შეჭიდულობის გაანგარიშების საკითხები.

10.5.5. კონსტრუქციული მოთხოვნები

ნაციონალური ნორმების გაცნობის საფუძველზე, შესაძლებელია შემდეგი დასკვნის გაკეთება:

განივი კომპოზიტური არმატურა:

- ღეროს განივკვეთში მინიმალური არმატურის რაოდენობა (დაარმირების პროცენტი) უნდა ავიღოთ [32], [24], [37], [38], [54] ნორმების მიხედვით (ან [15], ცხრ. 3.3-ის მიხედვით, რომელშიც თავმოყრილია ნაციონალური ნორმების მონაცემები);
- განივი არმატურის (საკიდების) ბიჯი აიღება არაუმეტეს 0,5h და არაუმეტეს 600 მმ;
- აღუნული ღეროებისა და საკიდების თავისუფალი ბოლოების სიგრძე უნდა იყოს არანაკლები 12d;
- 900-ით აღუნული ღეროების მინიმალური შიგა რადიუსი მიიღება 3d;
- კოჭებში 1 გრძ. მ-ზე უნდა განლაგდეს მინიმუმ 3 საკიდი;
- საკიდების ბიჯი აიღება მაქსიმუმ 0,8h;
- კონსტრუქციების შეერთების უბნებში ან კვანძებში, სადაც ხდება ძაბვების კონცენტრაცია, განივი არმატურის მაქსიმალური ბიჯი აიღება: 0,25h, 12d_f, 150 მმ (d_f – გრძივი არმატურის დიამეტრი);
- ღეროს აღუნვის მინიმალური რადიუსია 6d.

გრძივი კომპოზიტური არმატურა:

- ბიჯი არაუმეტეს 3t (t – ფილის სისქე) და არაუმეტეს 300 მმ;
- დაარმირების მინიმალური პროცენტი: ნახშირბადაპლასტიკური არმატურისთვის – 0,3%; მინაპლასტიკური არმატურისთვის – 1,5%; ორგანოპლასტიკური არმატურისთვის – 0,8%;
- დამცავი შრე ღუნვალი ელემენტებისთვის 25 მმ; ფილებისათვის დაარმირებული ორი მიმართულებით 25 მმ; ფილებისათვის დაარმირებული ერთი მიმართულებით 30 მმ; შეკუმშული ელემენტებისათვის 35 მმ; ბეტონის კონსტრუქციებისათვის სიმტკიცით ნაკლები 25 მპა, დამცავი შრის მინიმალური სისქე უნდა გაიზარდოს 20%-ით.

10.6. კონსტრუქციები წინასწარ დაძაბული კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით

გაანგარიშება I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით

კონსტრუქციების გაანგარიშება წინასწარ დაძაბული კომპოზიტური არმატურით ხორციელდება სამშენებლო ნორმების ([40], თავი 9; [22]) შესაბამისად იმ განსხვავებით, რომ საანგარიშო ფორმულებში, ფოლადის არმატურის მახასიათებლების და პარამეტრების ნაცვლად, ჩასმული იყოს კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის შესაბამისი მახასიათებლები და პარამეტრები. განივკვეთის შეკუმშული ზონის ფართობის სიდიდეს ღებულობენ $A'_f = 0$ და მხედველობაში მიიღება ქვემოთ მოყვანილი მითითებები (მითითება 6 და 14);

მითითება 6. დაბვის სიდიდით σ_{fp} კომპოზიტურ არმატურაში დამჭიმავი ძალის მოხსნის შემდეგ მიიღება არაუმეტეს:

- 0,5R_{fn} – ააკ (არამიდული) არმატურისათვის;
- 0,65R_{fn} – ანკ (ნახშირბადიანი) არმატურისათვის;
- 0,25R_{fn} – ამკ (მინის) და აბკ (ბაზალტის) არმატურებისათვის;
- 0,35R_{fn} – აკკ (ორგანოპლასტიკური) არმატურისათვის.

მითითება 7. დაბვის დანაკარგები კომპოზიტურ არმატურაში რელაქსაციისაგან $\Delta\sigma_{fp1}$ განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\text{ამკ, აბკ და ააკ არმატურებისათვის} - \Delta\sigma_{fp1} = 0,2\sigma_{fp} \quad (10.35)$$

$$\text{ანკ არმატურისათვის} - \Delta\sigma_{fp1} = 0,15\sigma_{fp} \quad (10.36)$$

(10.35) და (10.36) ფორმულებში σ_{fp} მიიღება დანაკარგების გარეშე. თუ გვაქვს უფრო ზუსტი მონაცემები კომპოზიტური არმატურის დანაკარგების შესახებ რელაქსაციისაგან (მწარმოებლის მონაცემები), მაშინ შესაძლებელია ვისარგებლოთ შესაბამისი კოეფიციენტებით. აკკ არმატურისათვის σ_{fp} და $\Delta\sigma_{fp1}$ მნიშვნელობები მიიღება მწარმოებლის მონაცემების მიხედვით.

დანაკარგები რელაქსაციისაგან შედგება სამი მდგენელისაგან: რელაქსაცია პოლიმერულ მატრიცაში (0,6-1,2%); რელაქსაცია ბოჭკოების გასწორებისას (1-2%); რელაქსაცია საკუთრივ ბოჭკოებში (6-18%).

მითითება 8. კონსტრუქციის გაორთქვლის დროს ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობა არ უნდა იყოს მეტი კომპოზიტური არმატურის პოლიმერის მატრიცის გამინების (მინად გადაქცევის) ტემპერატურაზე.

მითითება 9. წინასწარი დაბვა ბეტონში σ_{bp} არ უნდა აჭარბებდეს:

წინასწარი მოჭიმვის $P_{(1)}$ ძალის გადაცემისას, განსაზღვრული პირველი დანაკარგების გათვალისწინებით – 0,6R_{bp};

ექსპლუატაციის სტადიაში წინასწარი მოჭიმვის $P_{(1)}$ ძალის მოქმედებისას, განსაზღვრული სრული დანაკარგების გათვალისწინებით, და ხანგრძლივად მოქმედი ნორმატიული დატვირთვისას – 0,45R_{bp};

ექსპლუატაციის სტადიაში წინასწარი მოჭიმვის $P_{(1)}$ ძალის მოქმედებისას, განსაზღვრული სრული დანაკარგების გათვალისწინებით, და მოქმედი სრული ნორმატიული დატვირთვისას – 0,6R_{bp};

მითითება 10. კომპოზიტური არმატურის წინასწარი დაბვის გადაცემის ზონის სიგრძე, დამატებითი საანკერო მოწყობილობების გარეშე, განისაზღვრება ფორმულით:

$$l_{o,an} = \frac{\sigma_{fp} \cdot A_f}{R_{bond} \cdot U_f'} \quad (10.37)$$

სადაც σ_{fp} არის წინასწარი დაბვა დაჭიმულ კომპოზიტურ არმატურაში პირველი დანაკარგების გათვალისწინებით;

R_{bond} – დაჭიმული კომპოზიტური არმატურის ბეტონთან შეჭიდების წინააღმდეგობა, რომელიც პასუხობს ბეტონის გადასაცემ სიმტკიცეს და განისაზღვრება მითითება კონსტრუქციული მოთხოვნების მე-6 პუნქტის შესაბამისად.

კომპოზიტური არმატურის წინასწარი დაბვის გადაცემის ზონის სიგრძეებია: ანკ ღეროვანი არმატურისათვის 60d, ანკ ბაგირებისათვის 20d, აკკ დიამეტრით 8-12 მმ – 50d, 13-16 მმ – 40d, მეტი 16 მმ-ზე – 35d.

მითითება 11. ნორმალური კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე ზღვრული ძალების მიხედვით ხორციელდება სამშენებლო ნორმების ([27], პ. 9.2) მიხედვით და ზემოთ მოყვანილი 1, 2 და 3 მითითების შესაბამისად. ამასთანავე, 12, 13 და 14 მითითებებში მოყვანილ ფორმულებში A_f განიკვეთის ფართობის მნიშვნელობები მიეკუთვნება როგორც დაჭიმულ, ისე დაუჭიმავ კომპოზიტურ არმატურას.

მითითება 12. \mathcal{E}_f ფარდობითი დეფორმაციის მნიშვნელობა გაჭიმულ ზონაში მოთავსებული კომპოზიტური არმატურის, ბეტონის შეკუმშული ზონის სასაზღვრო სიმაღლის განსაზღვრისას ξ_n , განისაზღვრება ფორმულით:

$$\mathcal{E}_f = \frac{R_f - \sigma_{fp}}{E_f}, \quad (10.38)$$

სადაც σ_{fp} არის წინასწარი დაბვა არმატურაში ყველა დანაკარგის გათვალისწინებით, რომელიც მიღებულია $\gamma_{fp} = 0,9$ კოეფიციენტის დროს.

მითითება 13. ელემენტის გაანგარიშებისას წინასწარი მოჭიმვის სტადიაში, ძალვის მნიშვნელობა დაჭიმულ კომპოზიტურ არმატურაში გაითვალისწინება გაანგარიშებაში, როგორც გარე გრძივი ძალა, ტოლი:

$$N_p = \sigma_{fp} \cdot A_{fp}, \quad (10.39)$$

სადაც A_{fp} არის დაჭიმული არმატურის განიკვეთის ფართობი; σ_{fp} – წინასწარი დაბვა პირველი დანაკარგებისა და $\gamma_{fp} = 1,1$ კოეფიციენტის გათვალისწინებით.

მითითება 14. ნორმალური კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშება დეფორმაციული მოდელის საფუძველზე, ხორციელდება სამშენებლო ნორმების ([27], პ. 9.2.13-9.2.15) მიხედვით და მე-3 მითითების გათვალისწინებით.

მითითება 15. ამერიკული ნორმებით [36] უსაფრთხოების განზოგადებული კოეფიციენტი: გაჭიმული არმატურის რღვევისას არის 0,7-0,85, ხოლო ბეტონის შეკუმშული ზონის რღვევისას – 0,65. კრიტერიუმს არმატურაზე რღვევისას წარმოადგენს არმატურის ფარდობითი წაგრძელება 0,005, ხოლო შეკუმშულ ბეტონზე რღვევისას – ისევ არმატურის ფარდობითი წაგრძელება 0,002.

გაანგარიშება II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით

II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით კონსტრუქციების გაანგარიშება ითვალისწინებს გაანგარიშებას დეფორმაციებზე, ბზარების წარმოქმნასა და გახსნაზე, რაც ხდება სამშენებლო ნორმების ([40], პ. 9.3) შესაბამისად იმ

განსხვავებით, რომ საანგარიშო ფორმულებში ფოლადის არმატურის მახასიათებლების და პარამეტრების ნაცვლად ჩასმული იყოს კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის შესაბამისი მახასიათებლები და პარამეტრები. განიკვეთის შეკუმშული ზონის ფართობის სიდიდეს დებულობენ $A_f' = 0$ და მხედველობაში მიიღება მე-4 და მე-5 მითითებები.

10.7. ბეტონის კონსტრუქციებში გამოყენებული კომპოზიტური არმატურისადმი წაყენებული ტექნიკური მოთხოვნები

10.7.1. მოთხოვნები ნედლეულსა და მასალებზე

კომპოზიტური არმატურის ღეროების დასამზადებლად გამოიყენება: 1. როვინგი ან თერმულად მტკიცე ბოჭკოვანი ძაფი. ბოჭკოს დარბილების საწყისი ტემპერატურა არ უნდა იყოს ნაკლები 120°C -ზე, ხოლო ძაფის მისაღებად საწყის ნედლეულად გამოიყენება მინა, ბაზალტი, ნახშირბადი, არამიდი, ბორი და სხვ.; 2. შემკვრელი პოლიმერული ფისების საფუძველზე (მაგ., ეპოქსიდი, პოლიესტერი, ფენოლური ეპოქსიდი და სხვ. და თერმოპლასტიკური პილიმერები (პოლიეთილენი, პოლისტირენი, პოლიპროპილენი, პოლიესტერი, პოლივინილქლორიდი, პოლიიზობუტილენი და სხვ.); 3. შემავსებელი და დანამატები პოლიმერულ შემკვრელზე ნაკეთობის თვისებების რეგულირებისათვის და აგრეთვე ზედაპირული რელიეფის შექმნისათვის. კომპოზიტური არმატურის მარკა, სერტიფიცირებული მარმირებელი და შემკვრელი მასალებისა და დანამატების სახეობა მითითებულია დამამზადებლის ნორმატიულ დოკუმენტაციაში, რომლის მიღება თავისუფლად შეუძლია მომხმარებელს პირველი მოთხოვნისთანავე. ყველა დამამზადებელ საწარმოს უნდა გააჩნდეს ლიცენზია კომპოზიტური არმატურის დამზადებაზე და გამოყენებული ძირითადი ნედლეული მასალების შესაბამისობის სერტიფიკატები (ძირითად მასალაში შედის არმატურის ღეროსა და ზედაპირის რელიეფის წარმოებისათვის გამოყენებული მასალები).

10.7.2. მოთხოვნები წარმოებაზე

კომპოზიტური არმატურის დამზადება ხდება დადგენილი ტექნიკური რეგლამენტის მიხედვით „პულტრუზიის“ (გრძელი მუდმივი განიკვეთის კომპოზიტური ნაკეთობის დამზადების საწარმოო პროცესი შემკვრელში გაყენებული მარმირებელი მასალის უწყვეტი გამოწევა, რომელიც ხორციელდება ფორმაწარმომქმნელი გაცხელებული ფილერის მეშვეობით), „ნიდლტრუზიის“ (კომპოზიტური არმატურის გამოწევა პოლიმერიზაციული კამერის გავლით ფილერების გამოყენების გარეშე), „პლენიტრუზიის“ (ნიდლტრუზიის სინონიმი) ან სხვა მეთოდ-

დების გამოყენებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ ასეთი არმატურის წარმოებას არსებული სტანდარტის შესაბამისად.

არმატურის სიგრძე შეიძლება იყოს 0,5-12 მ-მდე (ბიჯით 0,5 მ), თუმცა დამკვეთის მოთხოვნის შესაბამისად სიგრძეში შეზღუვა არ არსებობს. 3-10 მმ-მდე ნომინალური დიამეტრის ნაკეთობის მიწოდება მომხმარებლისათვის ხდება დოლზე დახვეული (სურ. 10.4) ან გორგალის (სურ. 10.5) სახით. სიგრძეში ზღვრული გადახრა დასაშვებია: 6 მ-მდე სიგრძის არმატურისათვის – 25 მმ; 6-12 მ-მდე – 35 მმ; 12 მ-ზე მეტი სიგრძისათვის – 50 მმ.

მწარმოებელი ფირმის ნორმატიულ დოკუმენტაციაში, მარკისა და შემადგენლობის გარდა, მითითებული უნდა იყოს: არმატურის ნომინალური დიამეტრი, სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე, დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას და სტანდარტის აღნიშვნა. მაგ.: აკ3-მ 12-1000-50, სასტ (ტპ), სიგრძე 12 მ – აღნიშვნას: არმატურა კომპოზიტური პოლიმერული მინაპლასტიკის სიმტკიცის ზღვრით გაჭიმვაზე – 1000 მპა, დრეკადობის მოდულით გაჭიმვისას – 50 გპა, შემდეგ სტანდარტის ნომერი და სიგრძე 12 მ. აღნიშვნის გარდა დამკვეთის მოთხოვნის პირობებში დამამზადებელი ვალდებულია გასცეს მონაცემები დამატებით საექსპლუატაციო მაჩვენებლებზე, როგორცაა: გამძლეობა, პლასტიკურობა, მდგრადობა კოროზიული განშრევების მიმართ, ტენმედეგობა, რელაქსაციური მდგრადობა, სიცივისა და ტემპერატურის მიმართ მდგრადობა, ფარდობითი წაგრძელება გაგლეჯისას, სიმტკიცისა და დეფორმაციულობის მახასიათებლები კუმშვაზე და სხვ. აგრეთვე უნდა მიეთითოს გამოცდისას გამოყენებული მეთოდები და სახელმწიფო სტანდარტები.

10.7.3. მოთხოვნები გარეგნულ სახეზე

არმატურის ზედაპირი უნდა იყოს რელიეფური ან ანკერული გაფართოებებით. ნორმატიულ დოკუმენტებში მითითებული უნდა იყოს სავაჭრო მარკა, მოთხოვნები რელიეფის მიმართ და ზედაპირის ფერი. ზედაპირზე დასაშვებია სხვადასხვა ტიპის ლაქებისა და ზოლების არსებობა, რომელსაც ზოგჯერ იძლევა კომპოზიტური შემკვრელი და რომლის ფერიც განსხვავდება არმატურის ძირითადი ფერისაგან.

არმატურის ზედაპირზე დაუშვებელია შენატყლეკების არსებობა მექანიკური ზემოქმედებებისაგან.

10.7.4. მოთხოვნები ძირითად მახასიათებლებზე

მინაპლასტიკის (ბაზალტპლასტიკის) კომპოზიტური არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები უნდა იყოს არანაკლები: სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე (σ_a) – 600 მპა (800 მპა); დრეკადობის მოდული გაჭიმვისას – 40 გპა (50 გპა);

თბოგამტარობის კოეფიციენტი – 0,35 ვტ/(მ·კ); B25 კლასის ბეტონთან შეჭიდულობის ზღვრული დაბვა – 10 მპა; ტუტე გარემოს მიმართ მედეგობა (მასის დაკარგვა) – $\pm 10\%$; სიმტკიცის ზღვრის ცვლილება გაჭიმვისას – $\pm 15\%$; ექსპლუატაციის ზღვრული ტემპერატურა – 80°C .

მწარმოებელი ვალდებულია გარანტირებულად დაიცვას ეს მაჩვენებლები (სარწმუნო ალბათობით 95%), აგრეთვე ყოველწლიურად ჩაატაროს ლაბორატორიული გამოცდები მიღებული შედეგების დამუშავებით მათემატიკური სტატისტიკის ანალიზის მეთოდების გამოყენებით. დამკვეთის მოთხოვნის შესაბამისად მიაწოდოს მას მონაცემები კუმშვაზე და ჭრაზე მომუშავე კონსტრუქციებისათვის (სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა; დრეკადობის მოდული კუმშვაზე, მპა; მრღვევი დაბვის სიდიდე ჭრაზე ბოჭკოების განივად, მპა; მრღვევი დაბვის სიდიდე ძვრაზე ბოჭკოების გასწვრივ; მასალის სიმკვრივე (კგ/მ³) და წრფივი თბური გაფართოების საშუალო კოეფიციენტი, $\alpha \cdot 10^{-6} \cdot \text{კ}^{-1}$.

10.7.5. მოთხოვნები ხარისხის კონტროლზე

ეს მოთხოვნები ითვალისწინებს საწარმოო კონტროლის შემდეგ სახეებს: 1. შემოსვლის კონტროლი – მასალების ხარისხი ნედლეულისა, რომლისგანაც მზადდება კომპოზიტური არმატურა, მათი შესაბამისობა ნორმატიულ დოკუმენტებთან და ტექნოლოგიურ რეგლამენტთან; 2. საოპერაციო კონტროლი – მოწყობილობების მუშაობისა და არმატურის დამზადების ტექნოლოგიური პროცესის პარამეტრები და მათი შესაბამისობა ტექნოლოგიურ რეგლამენტთან; 3. მიღების კონტროლი – სტანდარტში გათვალისწინებული კომპოზიტური არმატურის ხარისხის მაჩვენებელი. იგი ითვალისწინებს აგრეთვე მიღება-ჩაბარებისა და პერიოდულ გამოცდებს; 4. ტიპური გამოცდები.

ყველა ეს მოთხოვნა აისახება მწარმოებლის ტექნოლოგიურ რეგლამენტში.

ხარისხის კონტროლი მოითხოვს ნაკეთობათა პარტიიდან გამოიცადოს (შემოწმდეს) გარეგნულ სახეზე ნიმუშების რაოდენობა არანაკლები 10%-ისა; ერთ ცვლაში – მინიმუმ 3 ნიმუში გეომეტრიული სიგრძის, დიამეტრის, სიმტკიცის ზღვრისა და დრეკადობის მოდულის დასადგენად; მინიმუმ 6 ნიმუში – ბეტონთან შეჭიდულობის ზღვრული დაბვისა და ტუტეების მიმართ მედეგობის დასადგენად.

პერიოდული გამოცდები ტარდება იმ შემთხვევებში, როცა ნედლეულის წარმომავლობა უცნობია ან მოწოდებულია გამოცდილების არმქონე ქარხნიდან; როცა არმატურის დამზადების ტექნოლოგიაში მწარმოებელს შეაქვს ცვლილებები; როცა მწარმოებელი ცვლის ტექნოლოგიურ პროცესს; როცა ბოლო პერიოდული შემოწმებიდან გასულია 3 თვე ან კონტროლს მოითხოვს სერტიფიკაციის ორგანო.

პერიოდული გამოცდის შედეგები ვრცელდება არმატურის წარმოებაზე მომდევნო პერიოდულ გამოცდამდე.

თუ პერიოდული გამოცდის შედეგები მიუღებელია წარმოებისათვის, მაშინ ტარდება განმეორებითი გამოცდები (ნიმუშების გაორმაგებული რაოდენობით) არმატურის საცდელ პარტიაზე.

ტიპური გამოცდები ძირითადად ტარდება პროდუქციის სერტიფიცირების მიზნით სახელმწიფო ზედამხედველობის ორგანოს მოთხოვნით და მწარმოებელთან შეთანხმებით.

10.7.6. შეფუთვა და მარკირება

პროდუქციის შეფუთვა აუცილებელია დატვირთვის, ტრანსპორტირების, ჩამოტვირთვის, შენახვისა და ბოლოს, გამოყენების პროცესში არმატურის დასაცავად დაზიანებებისაგან. ძირითადად შეიკვრება ერთნაირი დიამეტრისა და სიგრძის არმატურების ძნული ყოველ 1-1,5 მ-ზე, მათ შორის ტორსიდან 10-20 სმ-ის დაშორებით.

10 მმ-ზე ნაკლები დიამეტრის კომპოზიტური არმატურა ეხვევა დოლზე ან ცალკეულ გორგლებად, რომელთა დიამეტრი შეიძლება გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$d_{\text{დ}} \geq 2dE/\sigma_{\text{ბ}}, \quad (10.40)$$

d არის კომპოზიტური არმატურის დიამეტრი; E – დრეკაობის მოდული გაჭიმვისას; $\sigma_{\text{ბ}}$ – სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე.

გორგალის შეკვრა ხდება თოკით ან ლენტით დიამეტრალურად განლაგებული ორი ან სამი სახვევით. მისი მასა ხელით დატვირთვა-განტვირთვის სამუშაოების დროს არ უნდა აღემატებოდეს 80 კგ-ს, ხოლო ამწის გამოყენებისას თანხმდება დამკვეთთან.

არმატურის მარკირება ხდება შესაფუთ ფურცელზე, რომელზეც უნდა დაფიქსირდეს შემდეგი ინფორმაცია:

- მწარმოებლის დასახელება და მისამართი;
- სტანდარტის ან ტექნიკური პირობების დასახელება, რომლის მიხედვითაც დამზადებულია პროდუქცია;
- არმატურის სახეობა;
- არმატურის პარტიის ნომერი, რომელიც შედის დაკვეთაში;
- ფუთების რაოდენობა;
- ფუთაში ღეროების რაოდენობა; პარტიის დამზადების თარიღი; ტექნიკური კონტროლის განყოფილების კონტროლიორისა და შემფუთველის გვარი;
- ტექნიკური კონტროლის განყოფილების შტამპი.

დოლს ან ცალკეულ გორგალს მიკრული უნდა ჰქონდეს მინიმუმ ორი შესაფუთი ფურცელი.

10.7.7. ტრანსპორტირებისა და მიწოდების წესი

- კომპოზიტური არმატურის ტრანსპორტირება ხდება ნებისმიერი სატრანსპორტო საშუალებით იმ მოთხოვნების დაცვით, რომ ტრანსპორტირების პროცესში გამოირიცხოს არმატურის მექანიკური დაზიანება;
- ტრანსპორტირება ხორციელდება ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში;
- დამკვეთი წინასწარ ათანხმებს მომწოდებელთან რიცხვს, დროსა და მიწოდების პერიოდულობას, აგრეთვე ტრანსპორტის ტიპს, ზომებს, მასას, გაბარიტებს და სხვ.;
- არმატურის შესანახად გათვალისწინებულია ცივი ან თბილი სათავსი იმ პირობით, რომ პროდუქტი 1 მ-ზე ახლოს არ უნდა იმყოფებოდეს გასათბობ ხელსაწყოებთან. დასაწყობება ხდება სტელაჟებზე იატაკიდან მინიმუმ 1 მ სიმაღლეზე, რათა გამოირიცხოს მექანიკური დაზიანებები და სათავსში წვიმის წყლის შემოდინების შემთხვევაში არმატურის დასველება;
- სტელაჟებზე დასაწყობება ხდება ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში;
- ტრანსპორტირების, დასაწყობებისა და შენახვის პროცესში დაუშვებელია არმატურაზე ულტრაიისფერი სხივების ზემოქმედება;
- დატვირთვა-განტვირთვის სამუშაოების დროს არმატურის შეკვრის (ფუთის) აწვევისათვის აუცილებელია სამონტაჟო სამკუთხედის ან ტრაპეციის გამოყენება, რათა ჩაბმა მოხდეს მინიმუმ ორ წერტილში;
- მიწოდების პროცესში პროდუქციას თან უნდა ახლდეს სასაქონლო ზედნაღები, თითოეული პარტიის პასპორტი და ხარისხის ნორმირებული მაჩვენებლების გამოცდის ოქმი.

10.8. ბეტონის კონსტრუქციებში გამოყენებული კომპოზიტური არმატურისადმი წაყენებული კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური მოთხოვნები

10.8.1. კონსტრუქციული მოთხოვნები

კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით დაარმირებულ კონსტრუქციებს წაყენებათ შედეგი მოთხოვნები:

1. კონსტრუქციის გეომეტრიული ზომები უნდა იძლეოდეს არმატურისა და ანკერების განლაგების საშუალებას ისე, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს მათი ერთობლივი მუშაობა ბეტონთან;

2. ექსცენტრულად შეკუმშული ელემენტების მოქნილობები არ უნდა აჭარბებდეს ზღვრულ მნიშვნელობებს, კერძოდ, რკინაბეტონის ელემენტები – 200; სვეტები – 150; ბეტონის ელემენტები – 90;

3. ბეტონის დამცავი შრის სისქე მიღება 25 მმ კონსტრუქციების ექსპლუატაციისას დახურულ შენობებში; 35 მმ – ღია ჰაერზე და გრუნტში. ყველა შემთხვევაში დამცავი შრის სისქე არ უნდა იყოს ნაკლები კომპოზიტური არმატურის დიამეტრზე;

4. დაარმირების პროცენტი $\mu = (A_f/bh_0) \cdot 100\%$, უნდა იყოს არანაკლები 0,13%-ისა ღუნვაზე, ექსცენტრულ გაჭიმვასა და ექსცენტრულ კუმშვაზე (მოქნილობა $\lambda \leq 17$; მართკუთხა კვეთებში $\lambda \leq 5$) მომუშავე ელემენტებში; 0,33% – ექსცენტრულად შეკუმშულ ელემენტებში მოქნილობისას $\lambda \geq 87$ (მართკუთხა კვეთებისათვის $\lambda \geq 25$). შუალედი მნიშვნელობებისათვის აიღება ინტერპოლაციით;

5. ხაზოვან კონსტრუქციებში თუ განიკვეთის სიმაღლე 150 მმ-ზე მეტია, გრძივი არმატურის ღეროების ღერძებს შორის დაშორება არ უნდა აღემატებოდეს 1,5h-ს; სხვა ყველა შემთხვევაში კი – 300 მმ-ს;

6. ჩაანკერების ბაზური (ძირითადი) სიგრძე, რომელიც საჭიროა, რათა კომპოზიტურმა არმატურამ სრულად გადასცეს მასში მოქმედი ძალა R_s საანგარიშო წინაღობის მქონე ბეტონს, განისაზღვრება ფორმულით:

$$l_{0,an} = \frac{R_f A_f}{R_{bond} \cdot U_f'} \quad (10.41)$$

სადაც R_{bond} მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით $R_{bond} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot R_{bt}$, რომელშიც η_1 და η_2 კოეფიციენტების მნიშვნელობანი მიიღება: $\eta_1 = 1,5$; $\eta_2 = 1$.

პერიოდული პროფილის კომპოზიტური არმატურისათვის η_1 კოეფიციენტის მნიშვნელობა ისეთივე მიიღება, როგორც ფოლადის არმატურისათვის [15];

7. კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერების საანგარიშო სიგრძე განისაზღვრება ფორმულით:

$$l_{an} = l_{0,an} \cdot \frac{A_{f,cal}}{A_{f,ef}}, \quad (10.42)$$

სადაც $l_{0,an}$ არის ჩაანკერების ბაზური სიგრძე (ფორმ. 10.14);

$A_{f,cal}$ – გაანგარიშებით საჭირო კომპოზიტური არმატურის განიკვეთის ფართობი;

$A_{f,ef}$ – ფაქტიურად დადგენილი კომპოზიტური არმატურის განიკვეთის ფართობი.

10.8.2. გამოყენებული ობიექტების კლასიფიკაცია

კოროზიამედეგი კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული ბეტონის კონსტრუქციების გამოყენება რაციონალურია ისეთ შენობა-ნაგებობებში, სადაც ქიმიურად აგრესიული გარემო გვაქვს, რაც საშუალებას იძლევა თავიდან ავიცილოთ ძვირადღირებული ანტიკოროზიული საღებავების გამოყენება.

10.8.3. ასაწყობი ბეტონის კონსტრუქციები

კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული ასაწყობი ბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტებისას მარმირებელი მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები მაქსიმალურად უნდა იყოს გამოყენებული. დასაშვებია ფოლადის არმატურა (ცხლადგლინული პერიოდული პროფილის A400 კლასის; სამონტაჟო A240, A300 კლასის და მავთულოვანი კლასით Bp, დიამეტრით 4,5 მმ) შეიცვალოს თანაბარ-მტკიცე ნაკლები დიამეტრის მქონე კომპოზიტური არმატურით.

კომპოზიტური არმატურით დაარმირება ყველაზე უფექტურია ისეთი ასაწყობი კონსტრუქციისათვის, როგორცაა საგზაო ფილა დრეკად ფუძეზე, რომელიც მუშაობს ღუნვაზე, ხოლო არმატურა – გაჭიმვაზე. ასეთი ფილების გაანგარიშება ხდება ექსპლუატაციის მაქსიმალური ვადის გათვალისწინებით მიმდინარე რემონტის გარეშე. მათი კონსტრუქციული გადაწყვეტები მოცემულია სურ. 47-ზე.

კომპოზიტური არმატურა შეიძლება გამოყენებული იყოს სუსტად დაარმირებულ მსხვილფოროვანი ბეტონისგან დამზადებულ შემომზღუდავ კონსტრუქციებში (საკედლე ბლოკები), აგრეთვე მსუბუქ საკედლე კონსტრუქციებში ფოროვან შემავსებელზე. გამართლებულია ასეთი არმატურის გამოყენება სამოქალაქო და სამრეწველო დანიშნულების შენობების აგურის ტიხრებსა და ფანჯრის (კარის) ზღუდარებში.

10.8.4. ბეტონი და ბეტონის ნარევი. მოთხოვნები კონსტრუქციული ბეტონისა და ბეტონის ნარევისადმი

ბეტონის კონსტრუქციებში, კომპოზიტური არმატურის გამოყენების პირობებში, მოთხოვნები მისი შემადგენელი კომპონენტების (ცემენტი, ქვიშა, ღორღი, ხრეში, დანამატები) შესახებ არ არსებობს. ასე რომ, წარმატებით შეიძლება არა მარტო პორტლანდცემენტის გამოყენება, არამედ სხვებისაც (მაგ., წიდაპორტლანდცემენტი, სულფატმედეგი, სულფოალუმინატური, ჰიდროფობული, პუცოლანისანი, თიხამიწიანი და სხვ.).

ბეტონის ნარევის და მათი მომზადების ტექნოლოგიამ უნდა უზრუნველყოს ისეთი ბეტონის კონსტრუქციის დამზადება, რომელიც აკმაყოფილებს სახელმწიფო სტანდარტის მოთხოვნებს; შესაბამისად, წყალცემენტის ფარდობა, ჩათრეული ჰაერის მოცულობა, ცემენტის მინიმალური ხარჯი და სხვა მონაცემები ბეტონის სხვადასხვა სახეებისათვის, დადგინდება კონსტრუქციის მუშაობის პირობების მიხედვით.

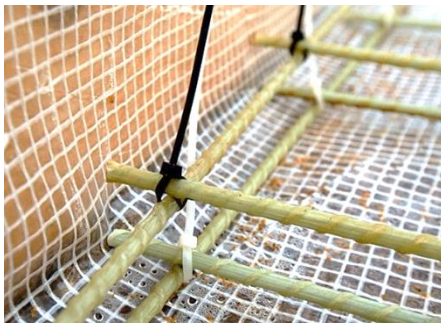
კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული ბეტონის კონსტრუქციების გამოყენება ობიექტზე დასაშვებია მხოლოდ ამ კონკრეტული ობიექტისათვის დამუშავებული ტექნოლოგიური დოკუმენტაციით. საპროექტო ვადაში ბეტონის დამასასიათებელ მაჩვენებლებში შედის: სიმტკიცის კლასი კუმშვაზე, ღერძულ გაჭი-

მვაზე, გაჭიმვაზე ღუნვისას, აგრეთვე მარკა ყინვამედეგობასა და წყალუჟონადობაზე სამშენებლო ნორმებისა და წესების შესაბამისად.

ბეტონის ხარისხის გასაუმჯობესებლად მიმართავენ მის შევსებას დანამატებით (პლასტიფიკატორი, ჰაერჩამთრევი, შეკვრისა და გამყარების დამაჩქარებელი და სხვ.), რომელთა რაოდენობა შეზღუდული არ არის.

10.8.5. მოთხოვნები ბეტონისა და საარმატურე სამუშაოების წარმოებისადმი. საარმატურე სამუშაოების მიღება და კონტროლი

კომპოზიტიური არმატურის გამოყენებით ბეტონის სამუშაოების მიმართ რაიმე სპეციალური მოთხოვნები არ არსებობს. ბეტონის ნარევი ეწყობა დასაბეტონებელ კონსტრუქციაში ერთნაირი სისქის ჰორიზონტალურ ფენებად წყვეტის გარეშე ყოველთვის ერთი მიმართულებით. ბრტყელი კონსტრუქციების დაბეტონებისას ბეტონის თავისუფალი ვარდნის სიმაღლე არ უნდა იყოს 0,5 მ-ზე მეტი.



სურ. 10.7. მინაპლასტიკის არმატურის შეკვრა სინთეზური თოკით



სურ. 10.8. მინაპლასტიკის არმატურის კვანძების შეკვრა ფოლადის მავთულით



სურ. 10.9. არმატურის კვანძების შესაკრავი ავტომატური ჰისტოლექტი

კომპოზიტური არმატურის სამუშაოები მიმდინარეობს შედუღების გარეშე ეპოქსიდურ ფისში გაქედნთილი სინთეზური თოკით (სურ. 10.7). დასაშვებია პლასტიკური წვრილი მცირენახშირბადიანი ფოლადის მავთულის გამოყენებაც ხელით (სურ.10.8) ან მექანიზებული მეთოდით (სურ. 10.9).

კომპოზიტური არმატურის ნაკეთობების (კარკასი, ბადე) დამზადებისას ხელმძღვანელობენ ობიექტის საპროექტო დოკუმენტაციით ან ჩვეულებრივი ფოლადის არმატურის სამუშაოების შესრულების ტექნიკური რეგლამენტით. არმატურის დამცავი შრის სისქე მიიღება ღეროს დიამეტრის მიხედვით, მაგრამ არანაკლები 10 მმ-ისა. თუ კონსტრუქციას მუშაობა უხდება 100-200°C ტემპერატურაზე, მაშინ დამცავი ფენის მინიმალური სისქეა 15 მმ ან $1,5d$, სადაც d კომპოზიტური არმატურის დიამეტრია.

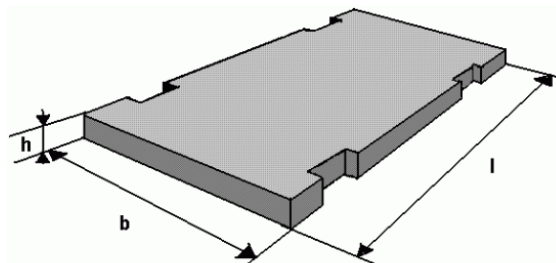
10.8.6. ბეტონის კონსტრუქციებში კომპოზიტური არმატურის გამოყენების კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტის მაგალითები

საგზაო ფილები

დანიშნულების მიხედვით საგზაო ფილა არსებობს დამხმარე (შიგაკვარტალური, შიგასაქარხნო, შიგასაობიექტო, შემოვლითი და სხვ.) და საქალაქო გზებისათვის (სურ. 10.10). დამხმარე გზებისათვის გამოიყენება ბაზალტის კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული ფილები ზომით $3 \times 1,75 \times 0,14$ მ, ხოლო საქალაქო გზებისათვის – ბაზალტის კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული მძიმე ბეტონის ფილები ზომებით: სიგრძე $l = 1,8$ მ; სიგანე $b = 1,5$ მ და სისქე $h = 0,16$ მ (სურ.10.11), რომლებიც გაანგარიშდება საავტომობილო დატვირთვაზე H-10.



სურ. 10.10. ბეტონის საგზაო კომპოზიტური ფილა



სურ. 10.11. საგზაო კომპოზიტური ფილა საქალაქო გზებისათვის

ფილების დაარმირება ხდება ბრტყელი ბადეებით, რომელთა გრძივი და განივი ღეროების დიამეტრებია 6, 8 და 10 მმ. ბიჯი ორივე მიმართულებით – 300 მმ. ბადეები განლაგდება ფილის ზედა და ქვედა ზონებში. დამცავი ფენის სისქეა 30 მმ. ზედა და ქვედა ბადეები ერთმანეთს უკავშირდება ბრტყელი შვეული კარკასებით. ბადეების საპროექტო მდებარეობა უზრუნველყოფილია პლასტმასის ფიქსატორებით.

ბეტონის კომპოზიტური ფილები გამოიყენება სამშენებლო ობიექტებზე დროებითი მისასვლელი გზებისათვის. ისინი გრუნტის მომზადების გარეშე ქვიშის ბალიშის მეშვეობით უშუალოდ ეწყობა გზაზე (სურ. 10.12) და მშენებლობის დამთავრების შემდეგ ადვილად ხდება მათი დემონტაჟი და გადატანა ახალ ობიექტზე. ეს ფილები ასევე წარმატებით გამოიყენება ასფალტბეტონის საფარიანი გზების აღსადგენად, ახალი საფარის მოსაწყობად (სურ. 10.12) და სხვ.



სურ. 10.12. საგზაო მობილური კომპოზიტური ფილების მონტაჟი

10.9. შემომზადვ კონსტრუქციებში კომპოზიტური არმატურის გამოყენების კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტები

კომპოზიტური არმატურა წარმატებით გამოიყენება, როგორც მოქნილი მაკავშირებელი სამფენოვან კონსტრუქციებში შიდა თბოსაიზოლაციო და გარე მოსაპირკეთებელ შრეებს შორის. მათი უპირატესობა ფოლადის არმატურის მიმართ ისაა, რომ კომპოზიტური არმატურა არ ქმნის ე. წ. „ცივ ბოგირებს“, ამცირებს თბოდანაკარგებს და ზრდის შენობის ენერგოეფექტურობას. მინაპლასტიკისა და ბაზალტის კომპოზიტური მოქნილი არმატურა ეფექტურია აგურით მოპირკეთებულ მონოლითურ ბეტონის კედლებში (სურ. 10.13). მათი რაოდენობა 1 მ სიგრძის დუღაბის ნაერთში შეადგენს 4 ცალს. „მოქნილი კავშირების“ ბიჯი შვეული მიმართულებით დამატებული ფილების სიმაღლის ტოლია (500-600 მმ), ხოლო ჰორიზონტალურად – 250 მმ. მონოლითური რკინაბეტონის კედლების დათბუნებისათვის ბიჯი „მოქნილ კავშირებს“ შორის მიიღება



სურ. 10.13. აგურის წყობა კომპოზიტური არმატურის „მოქნილი კავშირებით“

500 მმ, ხოლო სადებორმაციო ნაკერებთან, პარაპეტებთან, შენობის კუთხეებში – 300 მმ.

10.10. გეოტექნიკურ კონსტრუქციებში კომპოზიტური არმატურის გამოყენების კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტები

10.10.1. ობიექტების კლასიფიკაცია

გეოტექნიკურ კონსტრუქციებში კომპოზიტური არმატურის გამოყენების მიზანმიმართულებას განაპირობებს მისი მაღალი კოროზიამდეგობა აგრესიული გარემოს მიმართ და მაღალი სიმტკიცე გაჭიმვაზე. უნდა აღინიშნოს, რომ დროებით ნაგებობებში მისი გამოყენება მიზანსეწონილი არ არის, რადგან მექანიზებული წესით გვირაბგამყვან და მიწასათხრელ მოწყობილობებსა და მექანიზმებს ადვილად გამოჰყავს წყობიდან კომპოზიტური არმატურა ქრისა და ძვრის დეფორმაციებზე დაბალი წინაღობის გამო. ამიტომ ასეთ ნაგებობებში უპირატესობა ენიჭება ტრადიციულ ფოლადის არმატურას.

კომპოზიტური არმატურის გამოყენება საპასუხისმგებლო ნაგებობებში (ხიდი, გვირაბი, ესტაკადა, საძირკველი, საყრდენი კედელი, სხვადასხვა სახის გამაგრებები და სხვ.) მოითხოვს სპეციალურ გაანგარიშებებსა და დასაბუთებას. მსოფლიო მშენებლობის პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ ასეთ კონსტრუქციებში კომპოზიტური არმატურის ნაირსახეობები ძირითადად გამოიყენება დამატებითი (გასაძლიერებელი) არმატურის სახით.

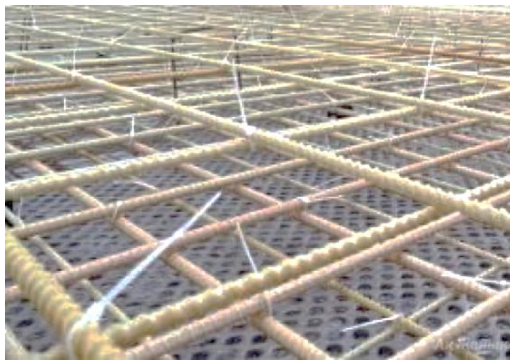
კომპოზიტური არალითონური არმატურა გამოყენება გეოტექნიკურ ნაგებობებსა და კონსტრუქციებში (კლასიფიკაცია: საყრდენი კედლები, გვირაბები, საძირკვლები, ნაპირდამცავი ნაგებობები, ფერდობები, მიწაყრილები, საავტომობილო გზების ვაკისი, აეროდრომის ასაფრენ-დასაფრენი ზოლები, სამთო გამონამუშევრები და სხვ.).

10.10.2. საძირკვლის კონსტრუქციები

კომპოზიტური არმატურით ფუძეებისა და საძირკვლების დაპროექტებისას მაქსიმალურად უნდა იყოს გამოყენებული მარმირებელი მასალის სიმტკიცე და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. საძირკვლების გაანგარიშებისას გაითვალისწინება ექსპლუატაციის მაქსიმალური ვადა მიმდინარე რემონტის გათვალისწინების გარეშე და მუშაობა ქიმიურად აგრესიულ გრუნტულ გარემოში.

მცირე ჩაღრმავების საძირკვლებს აკეთებენ მონოლითურს ან ასაწყობს. გასათვალისწინებელია იგი გარემოება, რომ ლენტური ან ფილისებრი საძირკვლის მოწყობისას სამშენებლო მოედანზე არ ხდება კომპოზიტური ღეროების მოღუნვა.

კომპოზიტური არმატურის გამოყენება ეფექტურია მცირე ჩაღრმავების საძირკვლის ბრტყელი (სურ. 10.14) ან საფეხუროვანი მოქნილი ფილის დასაარმირებლად (სურ. 10.15). ასეთი საძირკველი მუშაობს ღუნვაზე და წარმოშობილ გამჭიმავ ძალებს თავის თავზე ღებულობს არმატურა. გასათვალისწინებელია ის, რომ მოქნილ საძირკველში საფეხურის სიგანის ფარდობა მის სიმაღლესთან, აგრეთვე ბრტყელი ფილის კონსოლური ნაშვერის ფარდობა ფილის სისქესთან, არ უნდა იყოს 1,5-ზე ნაკლები.



სურ. 10.14. საძირკვლის ბრტყელი ფილის დაარმირება კომპოზიტური არმატურით

პრაქტიკული გამოცდილებით დადგენილია, რომ კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით შეიძლება შეიცვალოს შემდეგი სახის ფოლადის არმატურა:

- პერიოდული პროფილის გრძივი მუშა ცხლადგლინული საარმატურე ფოლადი კლასით A400;
- განივი და კონსტრუქციული სამონტაჟო საარმატურე ფოლადი კლასით A240 და A300;
- BII კლასის მავთული დიამეტრით 6-8 მმ.

მიწისქვეშა აგრესიული წყლების არსებობისას ბეტონის მოსამზადებლად გამოიყენება შესაბამისი ცემენტი და ეწყობა ზედაპირული ჰიდროიზოლაცია.

მონოლითური და ასაწყობი საძირკვლების მოსაწყობად გამოიყენება ბეტონი, რომლის სიმტკიცე კუმშვაზე არანაკლებია B15 კლასისა, ხოლო ყინვამედეგობის მიხედვით ბეტონის მარკებია:

- I კლასის ნაგებობებისათვის, როცა ტემპერატურა $t < -40^{\circ}\text{C}$ – F75-F150; II კლასის ნაგებობებისათვის – F50-F100; III კლასის ნაგებობებისათვის – F35-F70;

– I კლასის ნაგებობებისათვის, როცა ტემპერატურა $-40^{\circ}\text{C} \leq t < -20^{\circ}\text{C}$ – F50-F100; II კლასის ნაგებობებისათვის – F35-F75; III კლასის ნაგებობებისათვის – F25-F50;

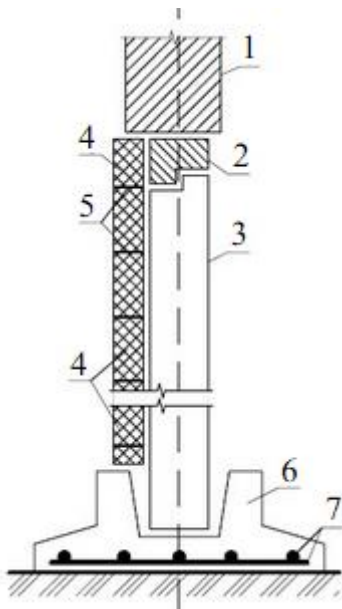
– I კლასის ნაგებობებისათვის, როცა ტემპერატურა $-20^{\circ}\text{C} \leq t < -5^{\circ}\text{C}$ – F35-F75; II კლასის ნაგებობებისათვის – F25-F50; III კლასის ნაგებობებისათვის – F25-F35;

– I კლასის ნაგებობებისათვის, როცა ტემპერატურა $t < -5^{\circ}\text{C}$ – F25-F50; II კლასის ნაგებობებისათვის – F25-F35; III კლასის ნაგებობებისათვის – F25;

ხელოვნური ქვის ან ყორე ქვის ლენტურ საძირკვლებში და სარდაფის კედლებში შესაძლებელია მოქნილი არმატურის გამოყენება.

სვეტისებრი საძირკველი

წერტილოვან ასაწყობ საძირკველში, რომელიც წარმოადგენს ბეტონის, ხელოვნური ქვის, ყორექვის, ცემენტგრუნტისა და მისთ. სვეტს (სურ. 10.15), კომპოზიტური არმატურა შეიძლება გამოვიყენოთ კედლის წყობის (შემომზღუდავი პანელის) გაჭიმულ მაკავშირებლად და საძირკვლის ფუძის დასაარმირებელ ბაღედ.



სურ. 10.15. კედლისქვეშა სვეტისებრი საძირკველი დაარმირებული კომპოზიტური არმატურით: 1-მიწისზედა კედელი; 2-საძირკვლის კოჭი (რანდკოჭი); 3-სვეტი; 4-შემომზღუდავი კედელი; 5-კომპოზიტური არმატურის მოქნილი კავშირები; 6-ჭიქისებრი საძირკველი; 7-საძირკვლის ფუძის ფილის დაარმირება კომპოზიტური არმატურის ბაღით

ლენტური საძირკველი

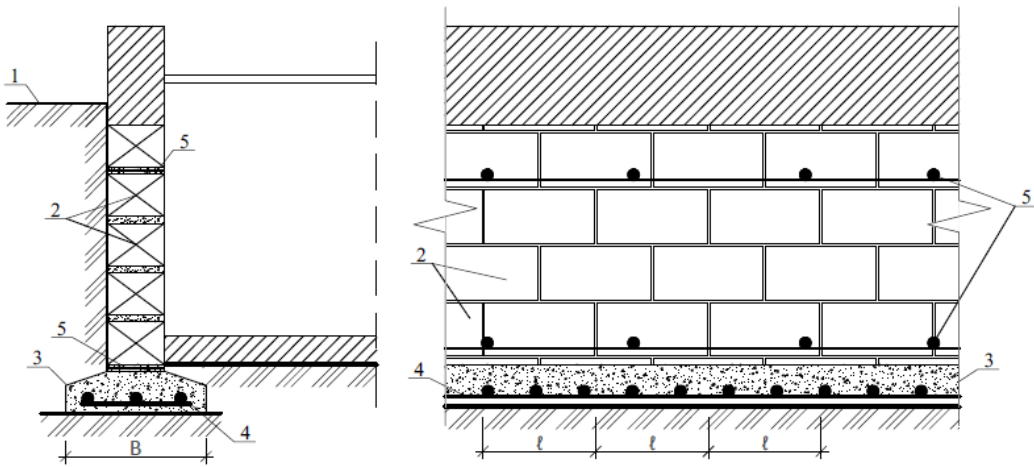
მონოლითურ ლენტურ საძირკველში მიზანშეწონილია კომპოზიტური არმატურით დაარმირდეს საძირკვლის ფუძეზე გაყოლებული ფილა-ლენტი, რომელზეც მოდის საძირკვლის დაუარმირებელი შვეული კედლის (მუშაობს კუმშვაზე და ამიტომ არ საჭიროებს დაარმირებას) დატვირთვა (სურ. 10.16).

ასაწყობ ლენტურ საძირკველში კომპოზიტურ არმატურას იყენებენ საძირკვლის ფუძის უწყვეტი ფილისა და ბეტონის საკედლე ბლოკების წყობის დასაარ-

მირებლად (სურ. 10.16). მაღალი კოროზიამდედგობის გამო, კომპოზიტური არმატურა შეიძლება საძირკვლებში განლაგდეს გრუნტის წყლების ჰირიზონტალური დონის ქვევით.

არამდგრადი გრუნტების შემთხვევაში (ჯდენადი, ლიოსისებრი, განშრევაბადი, ძლიერ კუმშვაზე მომუშავე და სხვ.) ასაწყობი საძირკვლის ბრტყელ ფილებში კომპოზიტური არმატურის გამოყენება რეკომენდებული არ არის. მათი გამოყენება უმჯობესია ნაკერებში, პირაპირებში, საძირკვლებსზედა ფილებში და ლენტურ საძირკვლებში შენობის მთელ პერიმეტრზე (სურ. 10.17).

უნდა გვახსოვდეს, რომ ნებისმიერი კონსტრუქციის დაარმირების დროს გამოყენებული კომპოზიტური სამუშაო არმატურის დიამეტრი უნდა იყოს არანაკლებ 10 მმ-ისა, ხოლო კლასი – A400.



სურ. 10.16. ლენტური საძირკველი: 1-გრუნტის ზედაპირი; 2-კედლის ბლოკები; 3-საძირკვლის ფილა; 4-კომპოზიტური არმატურის ბადე; 5-დეროვანი კომპოზიტური არმატურა

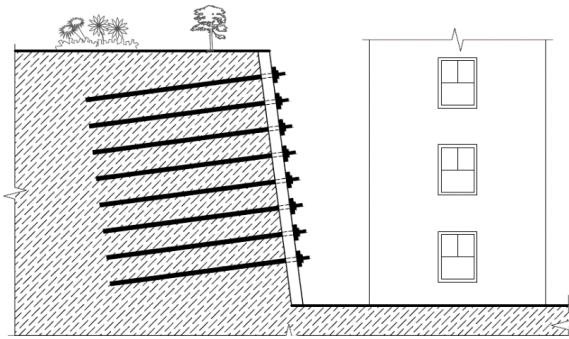


სურ. 10.17. ლენტური საძირკველი კომპოზიტური არმატურით

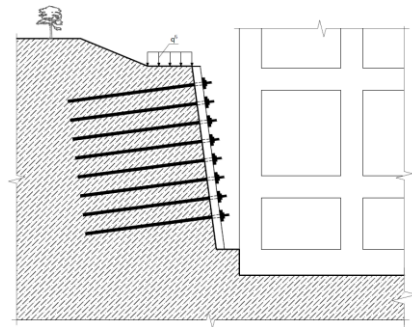
10.10.3. წირწკიმალოვანი გამაგრებები

წირწკიმალოვანმა გამაგრებამ კომპოზიტიური არმატურის გამოყენებით უნდა უზრუნველყოს შვეული კედლის, ქანობიანი გრუნტის მასივის ან სამშენებლო ქვაბულის ფერდობის მდგრადობა სიმაღლით 15 მ-მდე. ასეთი სამუშაოები ტარდება მარმირებელი ელემენტების სისტემის, მიკროსიმინჯების ან დამცავი ზედაპირის დახმარებით (სურ. 10.18-10.23).

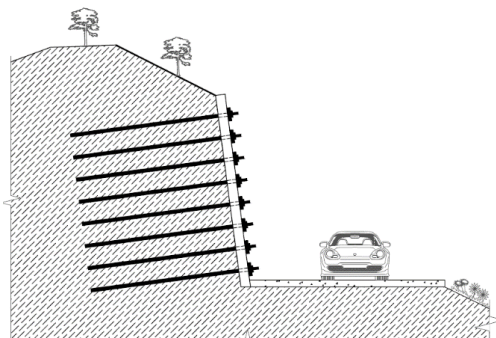
წირწკიმალოვანი გამაგრება მიეკუთვნება ეკონომიკურ მეთოდს, რადგან არ მოითხოვს ძვირადღირებული შემომზღუდავი საყრდენი კონსტრუქციების (ხიმინჯი, შპუნტი, რკინაბეტონის კედელი, კონტრფორტი და სხვ.) მოწყობას, გაძლიერებულს ჭიმებით, ანკრებით, განმბჯენებით და ა. შ., თუმცა ყოველთვის გასათვალისწინებელია ადგილის საინჟინრო და ჰიდროგეოლოგიური პირობები, აგრეთვე ობიექტის ტერიტორიის განაშენიანება, რადგან ეზოს ფართობი ყოველთვის არ იძლევა საშუალებას ბუნებრივგვერდებიანი (ქანობიანი) ქვაბულის ბისა.



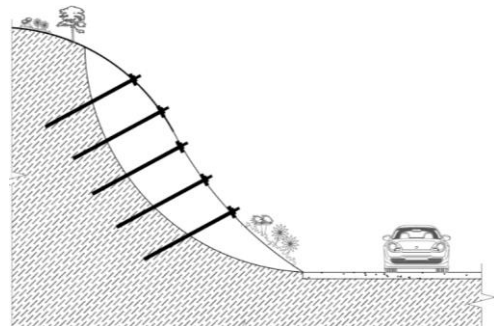
სურ. 10.18. ქვაბულის შვეული კედლის გამაგრება



სურ. 10.19. საყრდენი კედლის მუდმივი გამაგრება

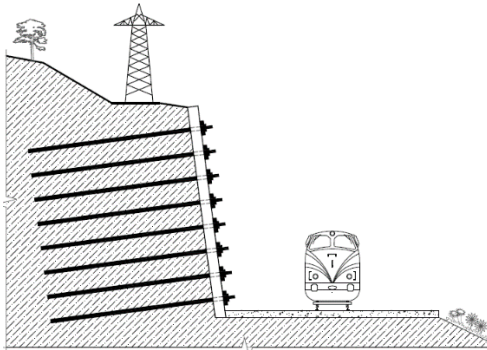


სურ. 10.20. საავტომობილო გზის მუდმივი გამაგრება

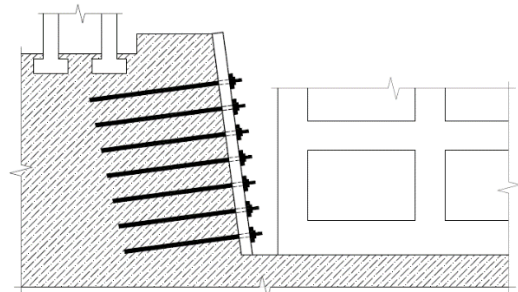


სურ. 10.21. საავტომობილო გზის მეწყერული ფერდოს მუდმივი გამაგრება

გასათვალისწინებელია ისიც, რომ გრუნტების გამაგრება კომპოზიტური ღეროვანი არმატურით ეფექტურია მხოლოდ მტვროვან-თიხოვანი შეკავშირებული მყარი (თიხა, თიხნარი, ქვიშნარი), ნახევრადმყარი და ძნელადპლასტიკური კონსისტენციის (გამონაკლისია ჯდენადი და გაჯირჯვებადი), აგრეთვე ხელოვნურად გამკვრივებული გრუნტებისათვის, ხოლო აგრესიულ გრუნტულ გარემოში კომპოზიტური არმატურის გამოყენება, გამაგრებითი სამუშაოების შესასრულებლად, პრაქტიკულად უკონკურენტოა.



სურ. 10.22. რკინიგზის ფერდოს მუდმივი გამაგრება



სურ. 10.23. სამშენებლო ქვაბულის ფერდოს გამაგრება

წირწკიმალოვანი გამაგრება კომპოზიტური არმატურით უმეტესად სრულდება მონოლითურ ვარიანტში ნაშხეფბეტონის საფარვლით ან ასაწყობი დამცავი კედლის ფილების გამოყენებით.

ნაბურღ-ინიექციურ მზიდ ელემენტებში (ძირითადად ხიმინჯები და შპუნტები) კომპოზიტური არმატურა გამოიყენება ფოლადის შემდეგი სახის არმატურის შემცველად:

- პერიოდული პროფილის ცხლადგლინული AIII კლასის საარმატურე ფოლადი A400, A600 და A800;
- პერიოდული პროფილის თერმულ-მექანიკურად განმტკიცებული საარმატურე ფოლადი კლასით AT400c, AT500c, AT600, AT600c და AT800;
- ხრახნული პროფილის საარმატურე ფოლადი.

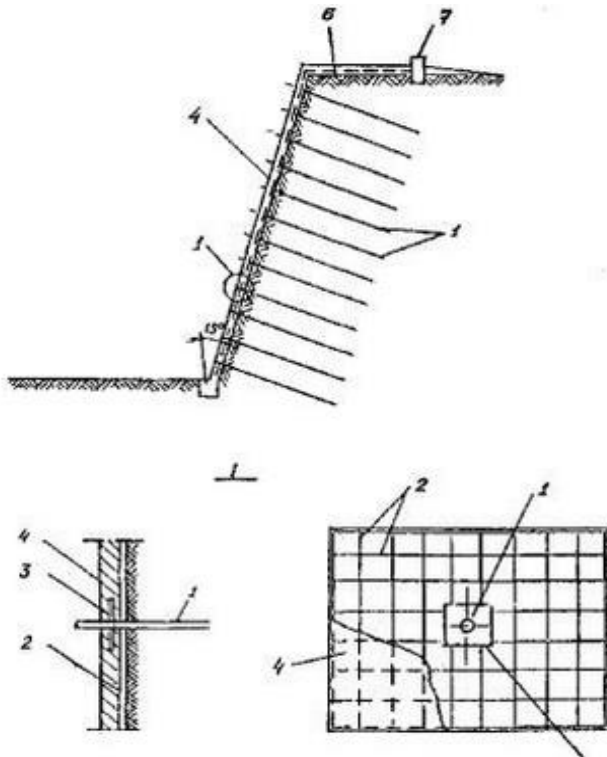
ფერდობების, შვეული კედლებისა და ასაწყობი ფილების ზედაპირის ნაშხეფბეტონით დაარმირებისას გამოიყენება კომპოზიტური არმატურის ბადეები (სურ. 10.24), რომელიც ცვლის თანაბარმტკიცე ფოლადის არმატურას.



სურ. 10.24. კომპოზიტური არმატურის ბადეები კედლის გასამაგრებლად ნაშხეფბეტონით

წირწვიმალოვანი გამაგრება ნაშხეფბეტონის საფარვლით

მეთოდი გამოიყენება დროებითი მდგრადი შეკავშირებული გრუნტებისათვის (თიხნარი, თიხა) ქვაბულებსა და ნათხარებში სიმაღლით 8 მ-მდე (სურ. 10.25).



სურ. 10.25. ქვაბულის ფერდოს გამაგრების ტიპური კონსტრუქცია ნაშხეფბეტონის საფარვლით:
 1-კომპოზიტური არმატურის ღეროები; 2-კომპოზიტური არმატურის ბადე; 3-საყელური; 4-ნაშხეფბეტონის შრე; 5-ბეტონის შრე; 6-ჩატკეპნილ გრუნტში ღორღის შრე; 7-ბორღიური

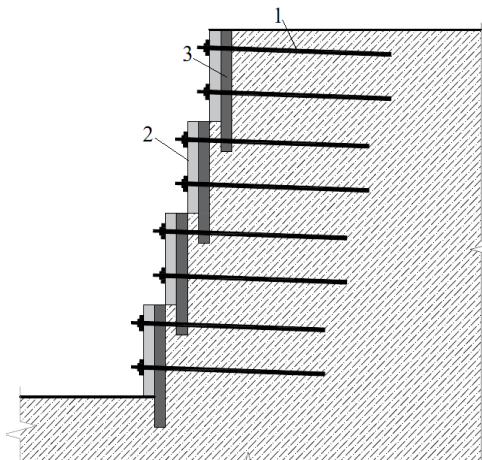
ქვაბულის ფერდოს გამაგრების ტექნიკური მახასიათებლები ნაშხეფბეტონის საფარვლისა და ნაბურღ-ინექციური წირწვიმალეების გამოყენებით შემდეგია:

- ქვაბულის გამაგრებული ფერდოს სიმაღლე – 7-15 მ;
- ქანობი – 70-90°;
- მიმართული ჭაბურღილის დიამეტრი – 6-17 სმ;
- კომპოზიტური წირწვიმალის სიგრძე – 5-12 მ;
- კომპოზიტური მზიდი ღეროს ტიპი – მთლიანკვეთიანი ან მილისებრი განივკვეთის პერიოდული პროფილის ან ანკურული გაფართოებებით;
- კომპოზიტური მზიდი ღეროს დიამეტრი – 12-36 მმ;
- კომპოზიტური მზიდი ღეროს სიმტკიცე გაჭიმვაზე – 50-360 კნჯ
- წირწვიმალეების დახრა ჰორიზონტთან – 0-30°C;
- ნაშხეფბეტონის საფარვლის სისქე – 60-150 მმ.

სამუშაოებში შედის შემდეგი ტექნოლოგიური ოპერაციები:

- გრუნტის მექანიზებული დამუშავება ერთ ან ორ იარუსზე (1-3 მ) მონაზომის სიგრძეზე, ფერდოს ქანობის საპროექტო მდგომარეობაში მოყვანით;
- კომპოზიტიური არმატურის ბადის მონტაჟი;
- გრუნტის ფერდოს დაბეტონება;
- გრუნტის ფერდოს დაბეტონება ნაშხეფბეტონით;
- ჭაბურღილების მომზადება;
- ჭაბურღილებში კომპოზიტიური არმატურის ჩალაგება;
- ჭაბურღილების შევსება ცემენტის ხსნარით საინექციო მილის მეშვეობით (ხსნარის წ/ც ფარდობა მიიღება 0,4-0,6);
- კომპოზიტიური არმატურის ფიქსაცია ნაშხეფბეტონის ზედაპირზე საყელურების მეშვეობით;
- აუცილებლობის შემთხვევაში ნაშხეფბეტონის მეორე ფენის დატანა;
- ყველა წაბურღილს თავზე უკეთდება დიამეტრის შესაბამისი ლითონის მილის გადანაჭერი, რათა ღეროების მონტაჟის დროს არ მოხდეს ჭაბურღილში გრუნტის ჩამოშლა
- გრუნტის მომზადება შემდეგ იარუსზე და ოპერაციის განმეორება.

ახალი იარუსის სამუშაოების მიმდინარეობისას ხდება უკვე დამონტაჟებული და ახალი არმატურის ბადეების (კარკასების) ერთმანეთთან გადაბმა მავთულის მეშვეობით.



სურ. 10.26. ქვაბულის ფერდოს გამაგრების ტიპური კონსტრუქცია ასაწყობი დამცავი კედლით: 1-კომპოზიტიური წირწკიმალები (არმატურა); 2-შემომზღუდავი ფილები დაარმირებული კომპოზიტიური არმატურით; 3-დგარი ხიმინჯები

წირწვიმალოვანი გამაგრება ასაწყობი დამცავი კედლით

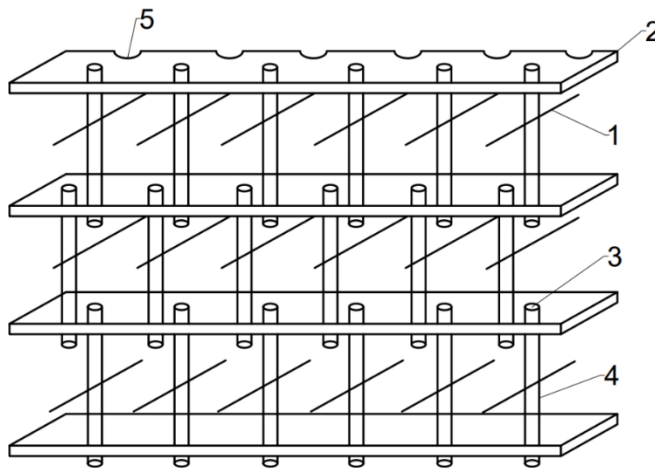
მეთოდი გამოიყენება დროებითი მდგრადი შეკავშირებული გრუნტებისათვის (თიხნარი, თიხა, ქვიშნარი) ქვაბულებსა და ნათხარებში სიმაღლით 15 მ-მდე (სურ. 10.26).

გამაგრების კონსტრუქცია წარმოადგენს იარუსებად მოწყობილ კედლებს შემომზღუდავი ჩარჩოებისა და ნაბურღ-ინიექციური წირწვიმალეების ერთობლიობას მზიდი კომპოზიტური არმატურის დეროებით (სურ. 10.27).

კედელი შედგება მზიდი შვეული დგარებისაგან, რომლებიც გაერთიანებულია გრძივი სარტყელების ჰორიზონტალურ კოჭებთან და შემომზღუდავ ფარებთან, რომლებიც ნაბურღ-ინიექციური წირწვიმალეების მეშვეობით ამაგრებს (იჭერს) გრუნტს. დგარები კოჭებში ჩამაგრებულია სპეციალური კონდუქტორების დახმარებით.

შემომზღუდავ ფარებად, როგორც წესი, გამოყენებულია კომპოზიტური არმატურის ბადით დაარმირებული თხელკედლიანი ბეტონის ფილები სისქით 60-80 მმ (შესაძლებელია რკინაბეტონის, ლითონის ფურცლების ან ხის ფარების გამოყენებაც). გამაგრების ტიპური კონსტრუქციის ტექნიკური მახასიათებლები კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული ასაწყობი დამცავი კედლით, შემდეგია:

- კედლის სიმაღლე – 5-15 მ;
- წირწვიმალეების სიგრძე – 4-12 მ;



სურ. 10.27. ქვაბულის ფერდოს წირწვიმალოვანი გამაგრების მზიდი კონსტრუქციის სქემა: 1-გრუნტული წირწვიმალეები კომპოზიტური მზიდი დეროებით; 2-გრძივი სარტყლის რკინაბეტონის (ლითონის, ხის) ჰორიზონტალური კოჭი; 3-დგარის დამჭერი კონდუქტორი; 4-შვეული დგარი; 5-პირაპირული დარი

- წირწვიმალეების ბიჯი – 1-1,5 მ;

- წირწკიმალეების დახრის კუთხე ჰორიზონტთან – 0-30°;
- შვეული დგარების (რკინაბეტონის, ლითონის, ხის) დიამეტრი – 80-160 მმ;
- შვეული დგარების სიგრძე – 2,9-3,9 მ;
- შემომზღუდავი ფარის ზომები – 1x2 ან 1,5x3 მ-ზე;
- ქვაბულის იარუსის მაქსიმალური სიგანე – 3 მ;
- სამუშაო ტემპერატურის დიაპაზონი – -10+40°C.

გამაგრების სამუშაოების ტექნოლოგიური ოპერაციები:

- გრუნტის მექანიზებული დამუშავება ფერდოს ქანობის საპროექტო მდგომარეობაში მოყვანით;
- პირველი იარუსის ზედა ჰორიზონტალური გრძივი კოჭის დაყენება და მიმამგრება გრუნტთან დახრილი წირწკიმალეებით;
- შვეული ქაბურღილების გაკეთება გრძივი სართყელის კონდუქტორების მეშვეობით, მზიდი დგარების მონტაჟი და ჩამონოლითება;
- გრუნტის ფერდოს დამუშავება ხელით და შემომზღუდავი ფარების დაყენება საპროექტო მდგომარეობაში;
- წირწკიმალეების დაყენება (ფიქსაცია) შემომზღუდავი ფარების გრუნტთან მისამაგრებლად;
- პირველი იარუსის ქვედა ჰორიზონტალური გრძივი კოჭის დაყენება და მიმამგრება დგარებთან;
- ქვედა კოჭის მიმამგრება გრუნტთან დახრილი წირწკიმალეებით;
- იმავე სამუშაოების ჩატარება II იარუსზე და ა. შ. ქვაბულის ძირამდე.

შვეული დგარების ჩარმავება გრუნტში შეადგენს იარუსის სიმაღლის 1/3-ს. დგარებად შეიძლება გამოყენებული იქნეს ფოლადის მილები, ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯები კომპოზიტურ არმატურიანი კარკასით ან შვეული ხიმინჯები „ტიტანი“ [52]. დგარები და წირწკიმალეები ყენდება ჭადრაკულად. შემომზღუდავი ფარების საპროექტო მდგომარეობაში დაყენების შემდეგ ხდება მათი მოჭიმვა გრუნტში ჩამონტაჟებული წირწკიმალეებით.

კომპოზიტური გრუნტის ანკერების და ანკერული ხიმინჯების გამოყენების სფეროა: საყრდენი კედლები, ქვაბულის შემომზღუდავები, დოკები, ჩასაშვები წები, განათებისა და ელექტროენერგიის გადასაცემი სადენების ანძების საყრდენები, საძირკვლები და სხვ.

ჭიმებიანი გრუნტის ანკერები გამოიყენება, როგორც წინასწარ დაძაბული. წინასწარი დაძაბვის ძალა (A_p) უნდა იყოს ზღვრებში:

$$0,8A_p \leq A_c \leq A_p,$$

სადაც A_p – საანგარიშო დატვირთვა ანკერზე.

წინასწარი დაძაბვის სიდიდე გაანგარიშდება პროექტით.

ანკერული წირწვიმალეები (ხიმინჯები) ჭიმებით, საყდენ კედელზე (ან სხვა ობიექტზე) დამაგრებამდე, საკონტროლოდ უნდა გამოიცადოს $0,2A_p$ გამჭიმავ ძალაზე.

ანკერული ჩამაგრების საიმედოობის უზრუნველყოფის თვალსაზრისით დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$A_p \leq \gamma_c \cdot \sigma_b \cdot F_m / \gamma_m \cdot K_m,$$

სადაც σ_b – კომპოზიტური არმატურის სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე;

F_m – ჭიმის განივკვეთის ფართობი;

$\gamma_c = 0,9$ – ჭიმის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას შეუმცირებელი განივკვეთით;

$\gamma_m = 1,1-1,2$ – ჭიმის მასალის საიმედოობის კოეფიციენტი მასალის მიხედვით პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაანგარიშებისას;

$K_m = 1,5$ – საიმედოობის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით.

დროებითი ანკერების მზიდი ჭიმების მასალად მიიღება აკპ-С და აკპ-В, საქალაქო მშენებლობის პირობებში – აკპ-С, მუდმივი ანკერებისათვის – აკპ-В (ყველაზე ხანგამძლე და მაღალი სიმტკიცის).

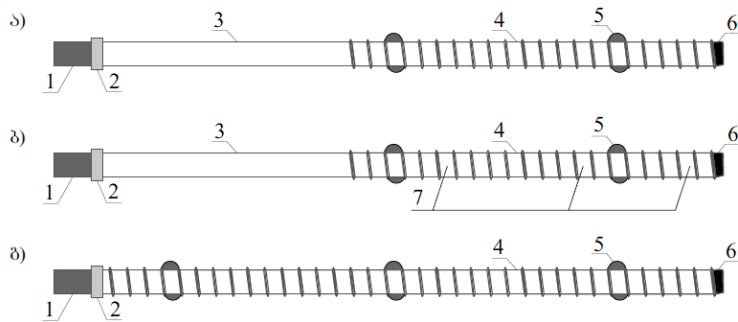
გრუნტის ანკერებისა და ანკერული წირწვიმალეებისათვის რეკომენდებულია მთლიანკვეთიანი და მილისებრი განივკვეთის კომპოზიტური არმატურის გამოყენება სიმტკიცით გაჭიმვაზე 300-900 კნ.

ანკერის გრუნტში ჩასამაგრებლად გამოიყენება ინექციური მეთოდი, რომლის დროსაც ჩამაგრება ხორციელდება სამუშაო ზონაში თხევადი პორტლანდცემენტის ცემენტის ხსნარის ჩაწნხით მარკით 400-500.

ანკერების მოწყობის ტექნოლოგიური სქემა შემდეგია:

- მიმართული ჭაბურღილის გაკეთება მთელ სიგრძეზე;
- ანკერის დაკომპლექტება სამშენებლო მოედანზე;
- დაკომპლექტებული ანკერის ჩასმა ჭაბურღილში;
- ანკერის ტანის ფორმირება ჭაბურღილში და მისი საპროექტო მდგომარეობაში მოყვანა;
- საკონტროლო გამოცდის ჩატარება;
- ცემენტის ხსნარის შეშვება ანკერში და დაბეტონება.

სურ. 10.28-ზე მოცემულია მილისებრი განივკვეთის ანკერის კონსტრუქცია, რომელიც წარმატებით გამოიყენება საყრდენი კედლებისა და ქვაბულების ფერდობების გასამაგრებლად.



სურ. 10.28. მილისებრი განიკვეთის კომპოზიტური ანკერისა და ანკერული წირწკი-მალის კონსტრუქცია: ა - ანკერი დაპროფილებული ზედაპირით სიგრძის ნაწილზე და ცემენტის ხსნარის გამოსაშვები ქვედა ბოლოთი; ბ - ანკერი დაპროფილებული ზედაპირით სიგრძის ნაწილზე და ცემენტის ხსნარის გამოსაშვები ხვრელებით სიგრძის ნაწილზე; გ - ანკერი დაპროფილებული ზედაპირით და ცემენტის ხსნარის გამოსაშვები ქვედა ბოლოთი: 1-ფოლადის ხრახნული თავსაცმი; 2-შესაერთებელი ქურო; 3-გლუვზედაპირიანი ანკერული ჭიმი (დეროს გლუვი ნაწილი); 4-დაპროფილებულზედაპირიანი ანკერული ჭიმი (დეროს დაპროფილებული ნაწილი წიბოს სიმაღლით 3-5 მმ); 5-პლასტმასის ფიქსატორი; 6-დროებითი საცობი; 7-საინიექციო ხვრელები დიამეტრით 5-8 მმ გადაკრული დამცავი სამაჯურებით; 8-ყრუ საცობი

10.10.4. რკინიგზისა და საავტომობილო გზების მიწის ვაკისის მოწყობა

რკინიგზისა და საავტომობილო გზების მიწის ვაკისის, მიწაყრილებისა და ნათხარების მოწყობისათვის კომპოზიტური პოლიმერული არმატურა გამოიყენება შემდეგი სამუშაოების ჩასატარებლად:

- მიწის ვაკისის საფუძვლის გამაგრება;
- მიწის ვაკისის, მიწაყრილისა და ნათხარის ტანის დაარმირება;
- მიწაყრილის, ნათხარის, წყალსარინის არხების და სხვ. ფერლების დაცვა და გამაგრება;
- გეოკარკასების სამონტაჟო და კონსტრუქციული სამაგრების მოწყობა გზა-გამტარებსა და პატარა ხიდების, მიწაყრილების, ნათხარების, წყალსარინი არხების კონუსებზე და სხვა მსგავს ნაგებობებზე.

დაჭაობებულ და სუსტ გრუნტებზე გზის ვაკისის მოსაწყობად ფართოდ გამოიყენება გეოსინთეზური მასალები (გეოსინთეზური მასალა – საშენი მასალების კლასი სინთეზური, მინერალური, მინის, ბაზალტის, არამიდის, ბორის, ნახშირბადის და სხვ. ბოჭკოების საფუძველზე) რულონური გეოტექსტილი (სურ. 10.29; სურ. 10.30).



სურ.10.29. გეოსინთეზური მასალა

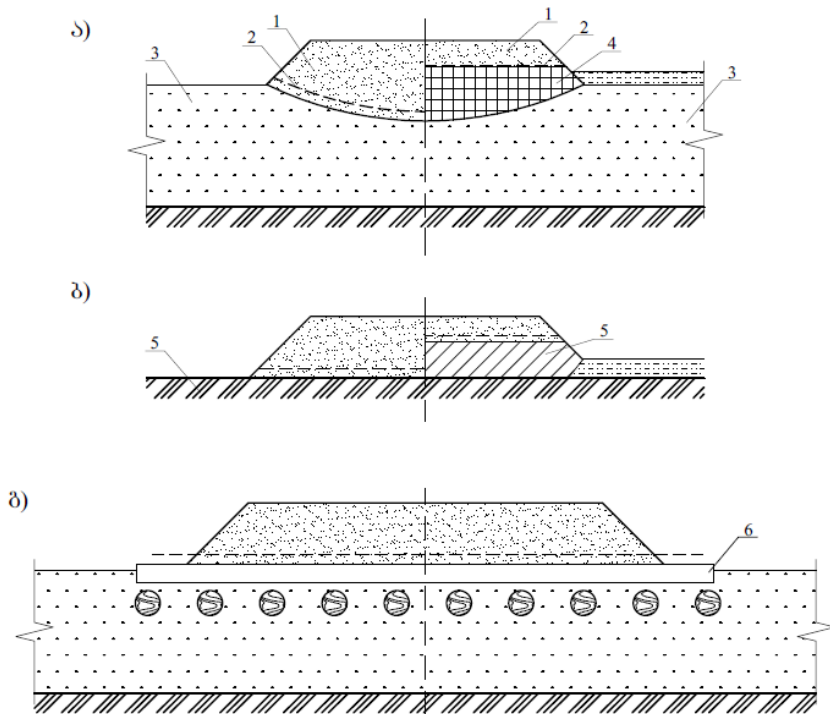


სურ. 10.30. რულონური გეოტექსტილი

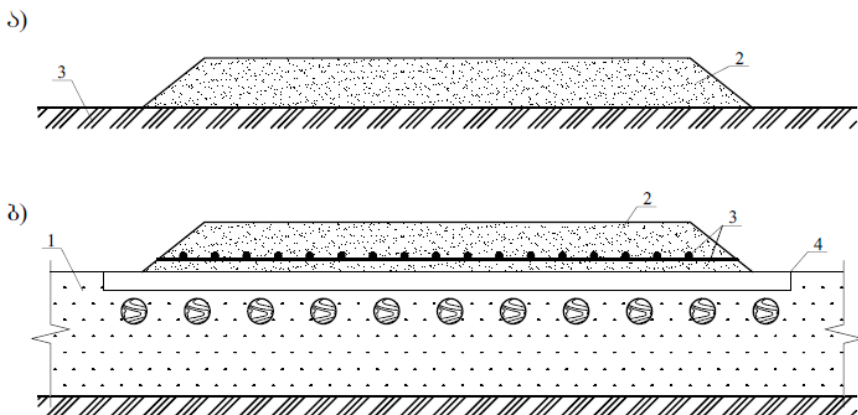
გეოსინთეზური მასალის შერჩევას კონსტრუქციული გადაწყვეტილების მისაღებად გაითვალისწინება გრუნტის ბუნებრივი ფუძის მზიდუნარიანობა, მასალის, გრუნტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები, ნაყარის სიმძლავრე და სატრანსპორტო დატვირთვის ინტენსივობა. დროებით გზებს კაპიტალური საფარვლის გარეშე არ აქვთ ლიანდი (ლიანდი – გრუნტის გზაზე ჩადრმავება, გამოწვეული სატრანსპორტო საშუალების ბორბლებისაგან ან სატრანსპორტო საშუალების ბორბლების განაპირა ნაწიბურებს შორის განივი დაშორება, ან ბეტონის, ხის, ლითონის გრძივი ხისტი ზოლები), ამიტომ გრუნტის ფუძის მზიდუნარიანობის კომპენსაცია ხდება გეოტექსტილური ბალებით. სწორედ ამის გათვალისწინებით გეოსინთეზური მასალების (ბალებების) გამოცდის ნორმატიულ დოკუმენტებში შეტანილია ცილინდრული შტამპით მასალის ჩაჭყლელტაზე გამოცდის ტესტი. შერჩეული გეოსინთეზური მასალა უნდა აკმაყოფილებდეს მინიმუმ სამ ფუნქციას: უზრუნველყოფდეს ტრანსპორტის მოძრაობას, ყოფდეს გრუნტის წყლებს და გააჩნდეს ფილტრაციის თვისებები. ხშირად ამ ფუნქციებს ემატება დაარმირების თვისება, რომელიც ძალზე აქტუალური გახდა საგზაო მშენებლობაში კომპოზიტური პოლიმერული არმატურისა და კომპოზიტური გეობალებების გამოჩენის შემდეგ. დროებითი გზის მიწის ვაკისის კონსტრუქცია არაქსოვილური კომპოზიტური მასალების გამოყენებით ნაჩვენებია სურ. 10. 31-ზე.

დროებითი გზის უმარტივესი სახეობაა თხელფენიანი მიწაყრილი სურ. 10.32), რომლის ფენის სიმაღლე გეოსინთეზური ბადის ჩათვლით განისაზღვრება შემდეგი პირობიდან: გზაზე ტრანსპორტისა და სატკეპნი მექანიზმების მოძრაობისას არ უნდა გაჩნდეს ლიანდები და ბუნებრივი ფუძის დატკეპნისას საჭირო სიმკვრივე უნდა მიიღწეოდეს ფაქტობრივი მდგომარეობით.

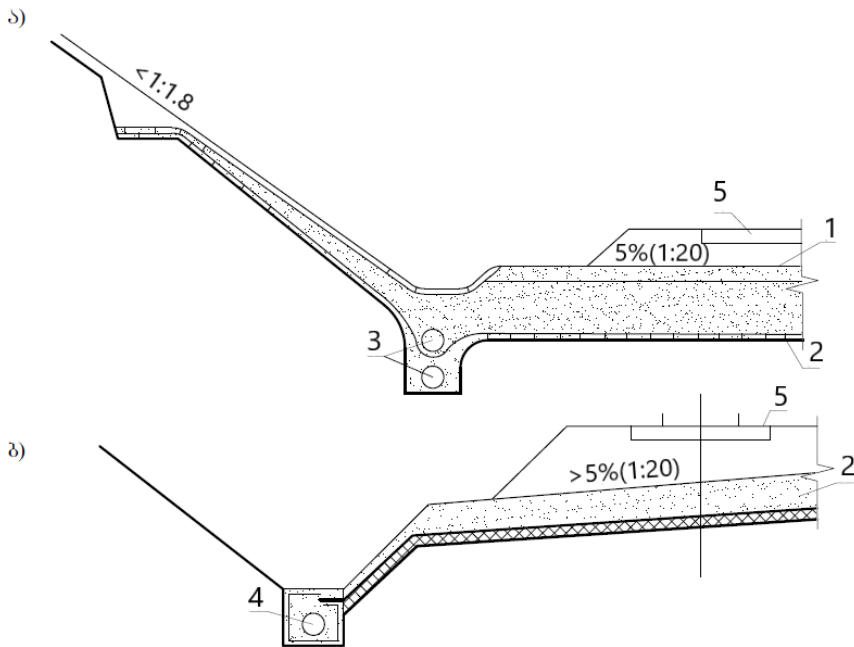
დროებითი გზების მოსაწყობად სველ ქვაბულებში, სადაც გრუნტის სამუშაო ფენა გაჯერებულია ტენით, ეფექტურია გეოსინთეზური მასალის გამოყენება სურ. 10.33).



სურ. 10. 31. დროებითი გზის კონსტრუქცია არაქსოვილური მასალების გამოყენებით: ა - I ტიპის ჭაობიანი ადგილებისათვის; ბ- მინერალური სველი გრუნტებისათვის; გ - II ტიპის ჭაობიანი ადგილებისათვის; 1- ყრილი; 2-გეოსინთეზური ბადეები; 3-სუსტი გრუნტი; 4-ტორფის ყრილის ქვედა ნაწილი; 5-თიხოვანი გრუნტი; 6-წოლანა ფენილი წიწვოვანი ჯიშის ხის მორებისაგან



სურ. 10. 32. დროებითი საგზაო კონსტრუქციის თხელფენიანი მიწაყრილი: ა - მინერალურ საფუძველზე (თიხოვანი გრუნტები); ბ - წოლანიან საფუძველზე ჭაობიანი ადგილებისათვის; 1-მიწის ვაკისის საფუძველი; 2-თხელფენიანი ქვიშა-ხრემის მიწის ვაკისი; 3-გეოსინთეზური მასალა გამყოფი ან მარამირებელი სახით; 4-წოლანა ფენილი წიწვოვანი ჯიშის ხის მორებისგან



სურ. 10.33. დროებითი გზის მოსაწყობი ქვაბულის კონსტრუქცია ტენით გაჯერებული გრუნტით: ა - ქვაბული ფერდოსა და ვაკისის პორიზონტალური დრენებით; ბ - ქვაბული კიუვეტქვეშა გეოსინთეზური მასალის დრენით გარსაცმში; 1-საფარის მიწის ვაკისი; 2-გეოსინთეზური სადრენაჟე მასალა; 3-პლასტმასის დრენი; 4-გეოსინთეზური დრენი გარსაცმში; 5-დროებითი გზა

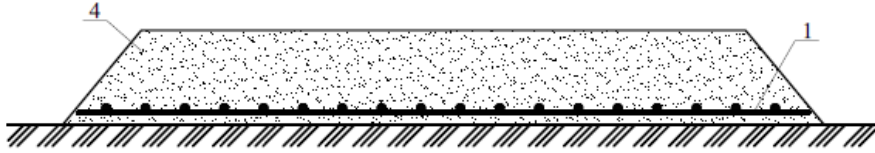
სხვადასხვა გრუნტულ პირობებში რკინიგზისა და საავტომობილო გზების მოწყობისათვის ფერდოსა (სურ. 10.34) და ყრილის ფუძის გასამაგრებლად წარმატებით გამოიყენება დეროვანი კომპოზიტური პოლიმერული არმატურა (მანაპლასტიკი, ბაზალტპლასტიკი, ნახშირბადაპლასტიკი, ორგანოპლასტიკი და სხვ.) (სურ. 10.35).

საშუალო სიმტკიცის გრუნტებისათვის (სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე 15-50 მპა) სადრენაჟე ფენის ქვედა ნაწილში ეწყობა კომპოზიტური არმატურის ბადე სურ. 10.35, ა), ნაკლები სიმტკიცის გრუნტებისათვის (5-15 მპა) კომპოზიტური არმატურის ბადე ეწყობა ყრილის ქვედა ნაწილში გოტექსტილურ მასალაზე სურ. 10.35, ბ), ხოლო სუსტი გრუნტებისათვის (3-5 მპა) დამატებით ნაყარის ზედა ნაწილში ეწყობა კომპოზიტური არმატურის ბადე სურ. 10.35, გ). სადრენაჟე გრუნტის ფენის სისქეა 50-100 სმ.

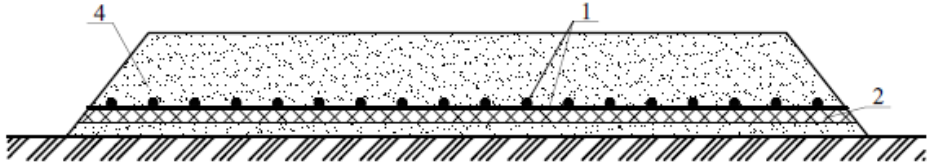


სურ. 10.34. რკინიგზის ფერდოს გამაგრება კომპოზიტური არმატურით

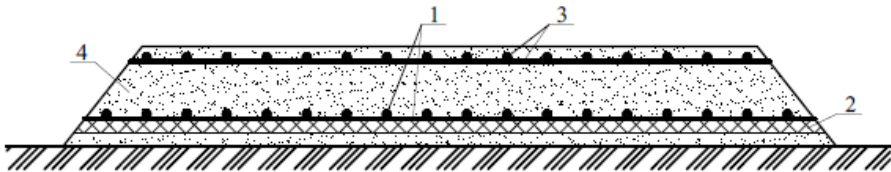
ა)



ბ)



ბ)



სურ. 10.35. კომპოზიტური არმატურის გამოყენება მიწაყრილის ასაგებად:
1-კომპოზიტური არმატურის ბადე; 2-გეოტექსტილური მასალა;
3-კომპოზიტური არმატურის დამატებითი ბადე; 4-სადრენაჟე გრუნტი

კომპოზიტური ბადის არმატურის დიამეტრია 8-12 მმ.

კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული (გამაგრებული) გრუნტის ტექნიკურ-ეკონომიკური უპირატესობებია:

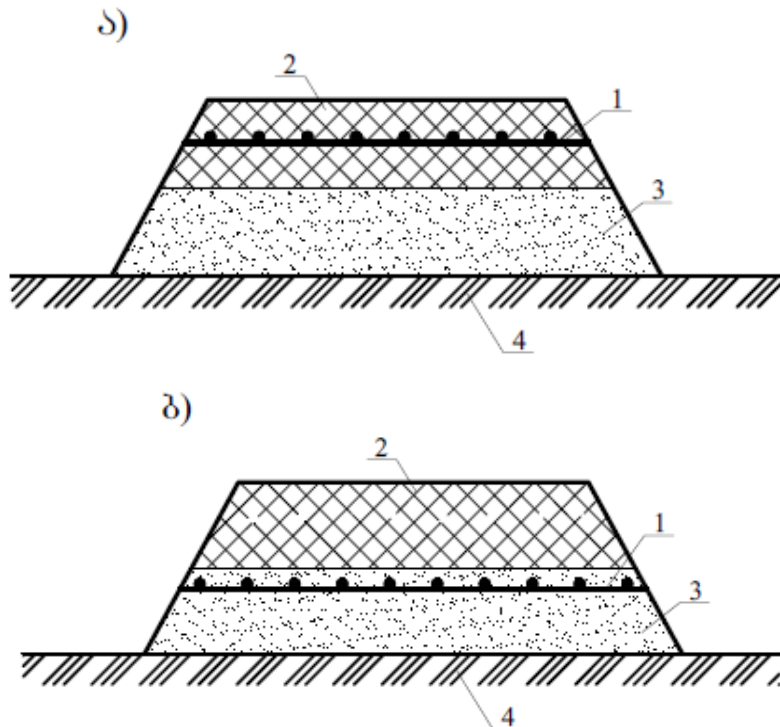
- მშენებლობის ვადების შემცირება;
- ღრმა საძირკვლის მოწყობის არა აუცილებლობა;
- ლითონტევადობის შემცირება;
- არსებული, ადგილობრივი გრუნტის გამოყენების შესაძლებლობა (საჭირო არ არის გრუნტის შეცვლა);
- სამშენებლო მექანიზმების ტიპების მკვეთრი სემცილება (საკმარისია ბულდოზერი და სატკეპნი);
- ღირებულებისა და სრომის დანახარჯების შემცირება;
- გზის სეისმომდგრადობის ამაღლება;
- გზაზე არათანაბარი დატვირთვების მიღების შესაძლებლობა;
- დაბალი მზიდუნარიანობის გრუნტების გამოყენების შესაძლებლობა;
- ქიმიურად აგრესიული გრუნტების გამოყენების შესაძლებლობა (კომპოზიტური არმატურა მდგრადია ქიმიურად აგრესიული გარემოს მიმართ), რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ქ. თბილისისათვის, სადაც გრუნტების უმეტესობა სულფატოვანი გრუნტებია;

- გეობადებისა და გეოკარკასების გრუნტთან დასამაგრებლად თავისუფლად გამოიყენება კომპოზიტური არმატური ღეროები;
- შიდასამშენებლო, დროებითი და შემოვლითი გზების მოსაწყობად წარმატებით გამოიყენება ბეტონის საგზაო ფილები დაარმირებული კომპოზიტური არმატურით;
- ასფალტბეტონის საგზაო ფენილის დაარმირება კომპოზიტური არმატურით (სურ. 10.36), რაც საგრძნობლად ზრდის გზის საფარის ხანგამძლეობას.

გრუნტის ტენიანობა უნდა იყოს 80-100%-ის ფარგლებში, ხოლო ფილტრაციის კოეფიციენტი 10^{-5} მ/წმ-მდე.

გზის საფარში კომპოზიტური არმატურის გამოყენებისას ყრილის გრუნტი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

- ორგანული მინარევების არარსებობა;
- 0,015 მმ ზომის ნაწილაკების შემცველობა მასის მიხედვით არ უნდა იყოს მეტი 15%-ზე;



სურ. 10.36. კომპოზიტური არმატურის გამოყენება საავტომობილო გზის ასფალტბეტონის საფარის დაარმირებისათვის: 1- კომპოზიტური არმატურის ბადე; 2-ასფალტბეტონი; 3-საგზაო ვაკისის ყრილი; 4- ბუნებრივი გრუნტი

არაქსოვილური გეოსინთეზური მასალები ხშირად გამოიყენება სუსტი ტენიანი (გაწყლოვებული) მინერალური ან ბიოგენური (ტორფი, საპროპელი) გრუნტის სადრენაჟე და ფილტრაციული ფუნქციის გასაუმჯობესებლად, რისთვისაც მიმართავენ შვეული ლენტური დრენების მოწყობას გრუნტის მასივში სიმაღლით 3-5 მ-ზე მეტი. ასეთ შემთხვევაში აუცილებელია გრუნტის მასივის ფუძე იყოს წყალგამტარი, წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭირო ხდება ჰორიზონტალური დრენების მოწყობაც. შვეული დრენების მოწყობის შემთხვევაში

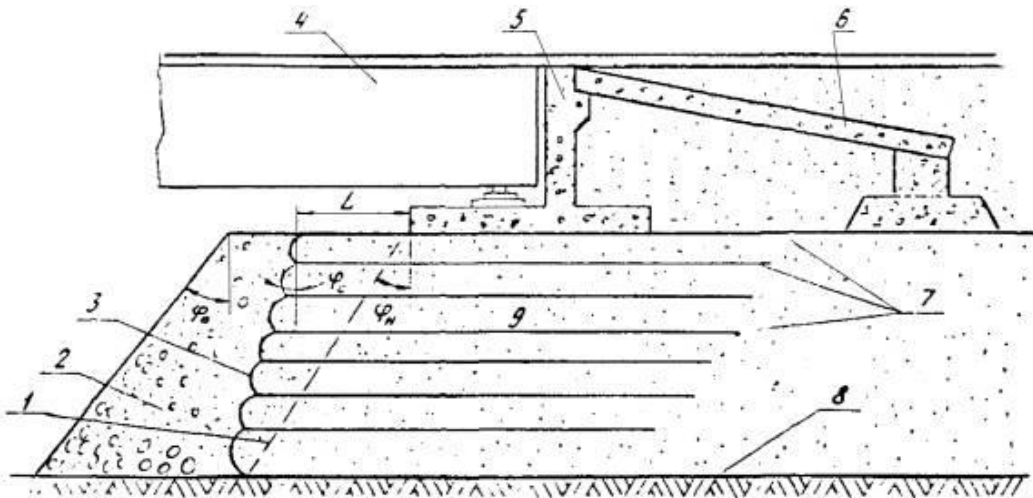
- 150 მმ-ზე დიდი ზომის ქვების შემცველობა მასის მიხედვით არ უნდა იყოს მეტი 25%-ზე;
- გრუნტში არ უნდა იყოს ჩანართები მეტი 350 მმ-ზე;
- დასაშვებია მიწაყრილის გრუნტში ქლორიდებისა და სულფატების არსებობა.

საგზაო ვაკისის დაარმირებული გრუნტის კონსტრუქციის მოწყობის ტექნოლო გიური სქემა ითვალისწინებს შემდეგი ოპერაციების შესრულებას:

- ფუძის მომზადება;
- კომპოზიტური არმატურის მონტაჟი;
- ფერდოს საფარის გარე მოსაპირკეთებელი ელემენტების პირველი რიგის მონტაჟი;
- მიწაყრილის გრუნტის მოტანა, დაყრა და პირველ რიგში ქვედა ფენის დატკეპნა, შემდეგი ფენების თანდათანობითი დამატებით საპროექტო ნიშნულამდე.
- ფერდოს საფარის გარე მოსაპირკეთებელი ელემენტების მეორე რიგის მონტაჟი.

სურ. 10.37-ზე ნაჩვენებია ტიპური გადაწყვეტა კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული მიწაყრილის მოწყობისა საგზაო ხიდის სანაპირო სავარძლისებრი ბურჯის საყრდენად ღხობილ (მდნარ) გრუნტზე.

გეოკარკასის (გეობადის) მიმაგრება გრუნტთან ხდება მინაპლასტიკის დაპროფილებული არმატურის ანკერით დიამეტრით 6-12 მმ, რომელიც მომარჯვებულია დარტყმამდეგი თავსაცმით (სურ. 10.38). ანკერის ჩასასობად გრუნტში ჩაქუჩის დარტყმა ხდება არა თავსაცმზე, არამედ უშუალოდ არმატურის ღეროზე (სურ. 10.39).



სურ. 10.37. საავტომობილო ხიდის სავარძლისებრი ბურჯის კონსტრუქცია კომპოზიტური არმატურით დაარმირებული მიწაყრილის მოწყობით: 1-სავარძლისებრი ბლოკიდან გადმოცემული წნევის განაწილების ხაზი; 2-დამცავი საფარი; 3-დაარმირებული გრუნტის საფუძვლის პირის ზედაპირი; 4-მალის ნაშენი; 5-სავარძლისებრი ბლოკი; 6-კომპოზიტურარმატურიანი ბეტონის ფილა სავარძლისებრი ბურჯის მდგრადობის გასაძლიერებლად; 7-მაარმირებული ელემენტები (გეოტექსტილის ფენა ან კომპოზიტური არმატურის ბადები); 8-ბუნებრივი ფუძე კომპოზიტური არმატურის ბადით; 9-დაარმირებული გრუნტი



სურ. 10.38. გეოკარკასის დასამაგებელი ანკერი



სურ. 10.39. გეოკარკასის დამაგრება ანკერით

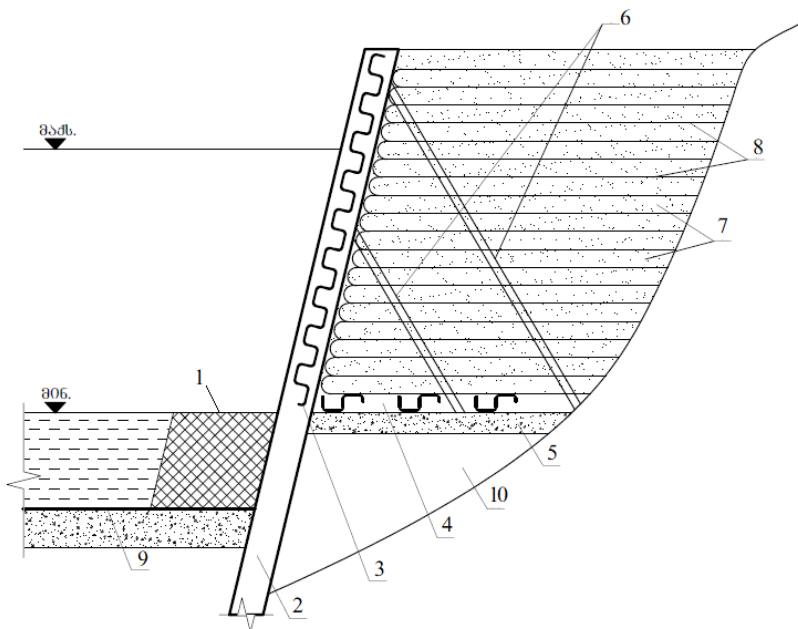
10.10.5. ნაპირდამცავი ნაგებობები

ნაპირდამცავი ნაგებობები მიეკუთვნება ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ჯგუფს, რომლის დანიშნულებაცაა სანაპირო ზოლის დაცვა ზღვის (ოკეანის, ტბის,

წყალსატევის, მდინარისა და მისთ.) ტალღების აგრესიული მოქმედებისაგან, ასევე .პლაჟებისა და სანაპიროების დაცვა წარეცხვისაგან. იგი სამი სახისაა: მძიმე, მსუბუქი და ვერტიკალური კედლებისა და ხიმინჯების სახით. მძიმეს მიეკუთვნება ბეტონისა და რკინაბეტონის ფილები, ქვის ლოდები (ზომით 15-70 სმ) და სხვ.; მსუბუქი ტიპის ნაგებობებს აშენებენ ქვიშის, ხრეშის, ღორღის, მცენარეულობის გამოყენებით. ვერტიკალურ დამცავ კონსტრუქციებს მიეკუთვნება კედლები, ხიმინჯები და შპუნტები, რომლებიც შეიძლება იყოს ჩაანკერებული ან მის გარეშე.

ნებისმიერი ტიპის ნაპირსამაგრი ნაგებობები უნდა იყოს მდგრადი, მტკიცე, მარტივი შესასრულებლად. სასურველია მშენებლობაში გამოვიყენოთ ადგილობრივი და იაფი საშენი მასალები.

სწორედ ამ მოთხოვნებს კარგად პასუხობს კოროზიამდეგი კომპოზიტური არმატურის გამოყენება ბეტონის საყრდენი კედლების, ტალღაჩამქრობი ბეგების, ბუნების, გრუნტული ჯებირებისა და გრავიტაციული ყრილების დასაარმირებლად, აგრეთვე მოცულობითი გაბიონებისა და მოქნილი გეომილების მოსაწყობად, დამცავი ნაგებობის ძირის გასამაგრებლად გამორეცხვისა და ჯდენის საწინააღმდეგოდ.



სურ. 10.40. საყრდენ-დამჭერი ნაპირსამაგრი კონსტრუქცია გაბიონებით აკვატორიის მხრიდან: 1-გაბიონი; 2-წინა ასაწყობი შვეული კედელი ფოლადის პროფილებისაგან; 3-წინა ასაწყობი შვეული კედელი ფოლადის გრძივი პროფილებისაგან; 4-მოდულური გაერთიანებული სექცია; 5-ხრემკენჭანარის გამასწორებელი ფენა; 6-დახრილი მისაბრჯენი დგარები; 7-სადრენაჟე გრუნტი; 8-კომპოზიტური ღეროვანი არმატურა გრუნტის დასაარმირებლად; 9-გეობაღე; 10-დრენაჟი

ნაპირდამცავ ნაგებობებში კომპოზიტიური არმატურის გამოყენების საილუსტრაციოდ სურ. 10.40-ზე მოცემულია ნაპირდამცავი კონსტრუქციის ვარიანტი, რომელიც გამოიყენება დახრილი ფერდოს გასამაგრებლად და ტალღების აქტიური მოქმედებისაგან დასაცავი საყრდენ-დამჭერი კონსტრუქციის გასაძლიერებლად (Стандарт организации СТО 83269053-001-2010 // Применение в транспортном строительстве неметаллической композитной арматуры периодического профиля).

დამცავი ნაგებობის ძირის გამორეცხვის საწინააღმდეგო გაბიონის სიმაღლე უნდა შეესაბამებოდეს წყლის დაბალ დონეს, ხოლო მთლიანად კედლის სიმაღლე მინიმუმ ერთი მეტრით მაინც მაღალი უნდა იყოს წყლის მაქსიმალურ დონეზე.

10.10.6. საყრდენი კედლები

საყრდენ კედლებში კომპოზიტიური არმატურის გამოყენება დამოკიდებულია მასალატევადობაზე, მშენებლობის ღირებულებასა და ექსპლუატაციის პირობებზე (აგრესიული გარემოს არსებობა, დიობების მოწყობის აუცილებლობა).

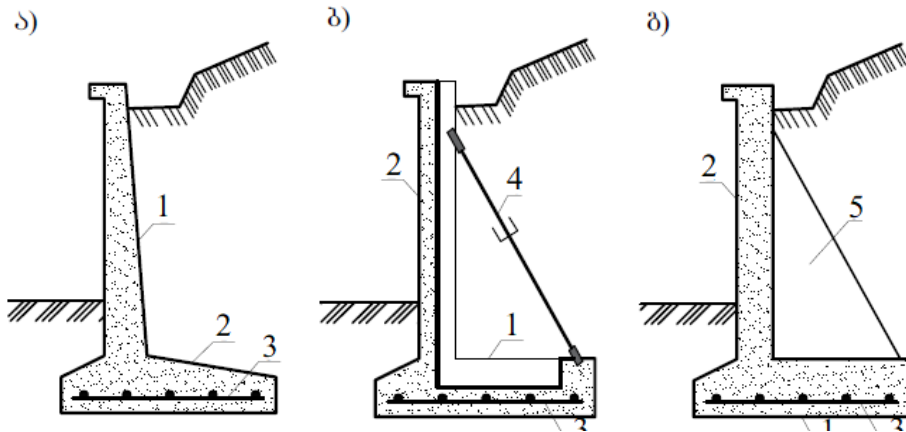
კომპოზიტიური ღეროვანი არმატურა გამოიყენება შემდეგი ტიპის საყრდენ კედლებში:

- თხელკედლიანი კუთხედის ტიპი (კონსოლური, ანკერული, კონტრფორტული);
- მოქნილი (კონსოლური, განმბჯენიანი ან ანკერული ჩამაგრებით);
- გრავიტაციული დაარმირებული გრუნტით.

კუთხედის ტიპის საყრდენი კედლისთვის, რომელიც შედგება ხისტად ან სახსროვნად შეერთებული პირის კედლისა და საძირკვლის ფილებისაგან (სურ. 10.41, ა), კომპოზიტიური პოლიმერული არმატურის გამოყენება მიზანშეწონილია კედლისქვეშა საძირკვლის ფილის დასაარმირებლად. ასაწყობ ვარიანტში ეს ორივე ფილა კეთდება მზა ელემენტებისგან. ასაწყობ-მონოლითურ ვარიანტში კი კედლის ფილა ასაწყობია, საძირკვლის – მონოლითური. შესაძლებელია მთლიანად მონოლითური ვარიანტიც.

საძირკვლის ფილის დაარმირება ხდება ბრტყელი კომპოზიტიური არმატურის ბადით. მონოლითური კედლის დაარმირებისათვის გამოიყენება ცალკეული კომპოზიტიური არმატურის ღეროები. ღეროვანი არმატურა გამოიყენება აგრეთვე კედლისა და საძირკვლის ფილების პირაპირების დამონოლითებისათვის, თუმცა შეერთების სიხისტის გასაზრდელად რეკომენდებულია ფოლადის არმატურის დამატებაც [53].

საანკერო ჭიმებისათვის (სურ. 10.41, ბ), რომელიც აერთებს საძირკვლისა და კედლის ფილებს, გამოიყენება მაღალი სიმტკიცის კომპოზიტიური არმატურა, რომელიც შეესაბამება საარმატურე ფოლადს კლასით A400, A600 და A800.



სურ. 10.41. კუთხედის ტიპის საყრდენი კედლები: ა- კონსოლური; ბ - ანკერული ჭიმებით; გ - კონტრფორტული: 1-საძირკვლის ფილა; 2-პირის (კედლის) ფილა; 3-კომპოზიტური არმატურის ბადე საძირკვლის ფილაში; 4-კომპოზიტური არმატურის ჭიმი; 5-კონტრფორტი

კუთხედის ტიპის საყრდენი კედლის კონსტრუქციებისათვის ბეტონის დამცავი ფენის სისქე მიიღება არანაკლებ 30 მმ-ისა და არანაკლები არმატურის ღეროს დიამეტრისა, ხოლო საძირკვლის ფილისათვის, თუ არა აქვს ბეტონის მომზადება – 50 მმ. ბეტონის კლასი (სიმტკიცე კუმშვაზე) უნდა იყოს მინიმუმ B20.

ღრობითი და მოქნილი საყრდენი კედლებისათვის გამოიყენება კომპოზიტური დაარმირებული კარკასები და ნაბურღ-ნატენი ხიმინჯები.

10.10.7. კომპოზიტურ არმატურასთან მუშაობის უსაფრთხოების წესები

სამშენებლო სამუშაოები კომპოზიტური არმატურის გამოყენებით სრულდება სამთავრობო, უწყებათმორისი და სპეციალიზებული ტექნიკური დოკუმენტების შესაბამისად.

ყველაზე მეტად გავრცელებული მინაპლასტიკი წარმოადგენს წვად მასალას, რომელიც წვისას გამოყოფს მომწამლავ ნახშირორჟანგის გაზს და ნახშირწყალბადებს, ამიტომ დიდი ყურადღება ექცევა სახანძრო უსაფრთხოების საკითხებს – სამშენებლო უბანი აღჭურვილი უნდა იყოს ცეცხლმაქრებით, წყლით, ქვიშითა და ქავით. მომსახურე პერსონალმა უნდა გამოიყენოს ინდივიდუალური დაცვის საშუალებები და სპეციალური ტანსაცმელი.

ჩვეულებრივ ნორმალურ პირობებში არალითონური არმატურა შენახვისა და ექსპლუატაციის პროცესში არ გამოყოფს არავითარ მავნე ნივთიერებებს და მიეკუთვნება უსაფრთხო მასალების ჯგუფს.

სააქროში მტვრის ზღვრული დასაშვები კონცენტრაციაა 4 მგ/მ³. ყველა სა-
თავსი, სადაც მიმდინარეობს კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის წარმოება,
აღჭურვილი უნდა იქნეს სტაციონარული გამწოვი სავენტილაციო სისტემით.

10.11. კომპოზიტურარმატურიანი ბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ნორმატიული დოკუმენტების ანალიზი და საერთო დასკვნები

განვიხილეთ რა ბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების თავისებურებები
კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით, შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი საერთო
დასკვნები:

- ძირითადი ნორმები და რეკომენდაციები დამუშავებულია აშშ-ში, კანა-
დაში, იაპონიაში, დიდ ბრიტანეთში, იტალიასა და შვეიცარიაში (ევრო-
კოდების საფუძველზე) ბოლო 15-20 წლის განმავლობაში;
- ნორმატიული დოკუმენტების პროექტი მომზადებულია რუსეთსა და უკრა-
ინაში;
- გაანგარიშების ძირითადი პრინციპები ისეთივეა, როგორც რკინაბეტონის
კონსტრუქციების კომპოზიტური არმატურის წრფივი მუშაობის გათვალის-
წინებით;
- კომპოზიტური პოლიმერული არმატურიანი კონსტრუქციების მუშაობის
სპეციფიკაში გათვალისწინებულია მუშაობის პირობებისა და მასალის მა-
ხასიათებლების ნორმირებული კოეფიციენტები;
- კომპოზიტური კონსტრუქციების საანგარიშო პარამეტრების გამოსათვლე-
ლი ფორმულები, ძირითადად, მცირე ცვლილებებით, ისეთივეა, როგორც
ტრადიციული რკინაბეტონის კონსტრუქციებისა. კონსტრუქციული მოთ-
ხოვნები უმეტეს შემთხვევაში მიღებულია უფრო მეტი სიფრთხილით,
ვიდრე რკინაბეტონის კონსტრუქციებში;
- ნორმირებულია კომპოზიტური კონსტრუქციები დაუძაბავი და დაძაბული
არმატურით;
- ძირითადად დამუშავებულია ნორმატიული მოთხოვნები მინა-. ორგანო-
და ნახშირბადპლასტიკური არმატურებისათვის, რაც შეეხება არამიდ-,
ბორ- და ბაზალტპლასტიკებს, მათ შესახებ ნორმებსა და რეკომენდაცი-
ებში მონაცემები უმნიშვნელოა და ნორმირებული არ არის;
- რუსულ და უკრაინულ ნორმების პროექტებში (სტანდარტებში) ძირითა-
დად წარმოდგენილია გეოტექნიკური ნაგებობების საერთო კონსტრუქ-
ციული გადაწყვეტები და ტექნოლოგიური პირობები. კომპოზიტური კონ-
სტრუქციების გაანგარიშების მეთოდოლოგია და კომპოზიტური არმატურის სა-

ანგარიშო მახასიათებლების ნორმირება დოკუმენტებში განხილული არ არის, თუმცა ინტერნეტში იძებნება რიგი შრომებისა, რომლებიც მიუთითებს უკრაინისა და რუსეთის სამეცნიერო წრეების (მშენებლების, ავია-მშენებლების, სამხედრო ინჟინერიის) დაინტერესებას, რომ აღნიშნული საკითხები შესწავლილი იყოს საფუძვლიანად და სამთავრობო დონეზე მომზადდეს შესაბამისი ნორმები, რეკომენდაციები და სტანდარტები.

10.12. ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ექსპერიმენტული კვლევა

ბაზალტკომპოზიტური პოლიმერული არმატურა (ბკპა) კომპოზიტური მასალაა, რომელიც შედგება ბაზალტის ბოჭკოებისა (მაარმირებელი) და სინთეზური პოლიმერისგან (შემკვრელი). რკინაბეტონის კონსტრუქციებში ფოლადის არმატურის კომპოზიტურით ჩანაცვლების იდეა გასული საუკუნის ბოლო ათწლეულებში გაჩნდა, რაც განაპირობა შემდეგმა ფაქტორებმა: ფოლადი ძალიან გაძვირდა და გადავიდა დეფიციტური საშენი მასალების კატეგორიაში, ერთდოულად მოიმატა ფოლადის მალეგირებელი ელემენტების ფასმა; მასობრივად დაიწყო მშენებლობა ისეთი საწარმოების, სადაც უპირველესი მოთხოვნებია მედეგობა ქიმიურად აგრესიული, ელექტრულად მაგნიტური და დიელექტრიკული გარემოს მიმართ; გაიზარდა მოთხოვნები დაბალი კუთრი წინაღობის (მაღალი სიმტკიცე + დაბალი წონა) მქონე მასალებზე; უფრო ინტენსიურად დაიწყო ადგილობრივი საშენი მასალების მოძიება, მოპოვება და გამოყენება სამშენებლო სექტორში და სხვ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტზე ინტენსიურად მიმდინარეობს თეორიული და ექსპერიმენტალური სამეცნიერო კვლევები ქართული ბაზალტისა და მისგან წარმოებული ნაკეთობების შესწავლის მიზნით, მით უმეტეს, რომ ქ. რუსთავში უკვე ორი ათწლეულია წარმატებით მუშაობს კომპანია „ბაზალტ ფაიბერსი“, რომლის გამოშვებული პროდუქცია წარმატებით გადის დასავლეთ ევროპის ქვეყნებში.

სამშენებლო ფაკულტეტის სასწავლო, სამეცნიერო, საექსპერტო საგამოცდო ლაბორატორიაში 2013 წელს ჩატარდა ქართული წარმოების ბაზალტკომპოზიტური არმატურის გამოცდები ამერიკული სტანდარტების **ISO 10406-1:2008. Fibre-reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete — Test methods — Part 1: FRP bars and grids** და **St ISO 834-14-2019** შესაბამისად. დადგენილი იყო ბკპა-ს სიმტკიცის ზღვრის მნიშვნელობები განივ ჭრავზე.

ექსპერიმენტის დაწყებამდე ხდება ბკპა-ის ნომინალური დიამეტრის განსაზღვრა. მეთოდი დაფუძნებულია საკონტროლო ნაკეთობიდან ამოჭრილი მოცემული სიგრძის ნიმუშის მოცულობის განსაზღვრასთან ჰიდროსტატიკური აწონვის გზით. ნიმუშების შერჩევის შემდეგ (ნიმუშების შერჩევა გამოცდების ყველა მეთოდისათვის ხდება შემთხვევითი შერჩევის მეთოდით საკონტროლო პარტიიდან და აუცი-

ლებლად თან ახლავს ნიმუშების შერჩევის აქტი), საცდელი ნიმუშები სტანდარტის შესაბამისად, ექვემდებარებიან დაყოვნებას სტანდარტულ ატმოსფერულ პირობებში. არატროპიკული ქვეყნებისთვის იგი შეადგენს:

- სტანდარტული ატმოსფეროს აღნიშვნა – 23/50;
- ჰაერის ტემპერატურა – 23°C. დასაშვები გადახრა I კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 1 ; II კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 2 ;
- ფარდობითი ტენიანობა – 50%. დასაშვები გადახრა I კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 5 ; II კლასის ატმოსფეროსთვის – ± 10 .

4-32 მმ დიამეტრის კომპოზიტური არმატურისათვის ნიმუშების კონდიციონირების პერიოდი მიიღება:

- 23/50 ატმოსფეროსათვის >88 სთ;
- ტემპერატურისათვის 18-28°C >4 სთ.

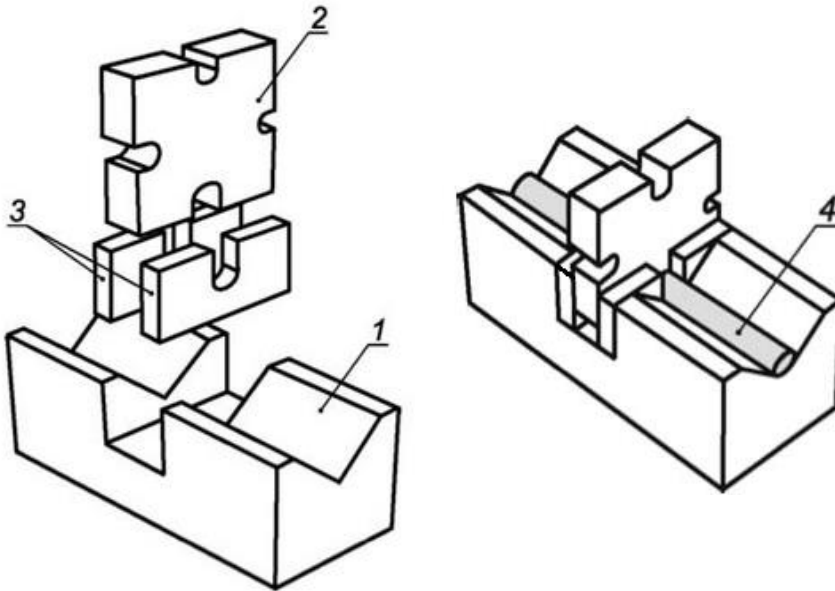
პლასტმასის ნიმუშებისთვის, რომლებიც წონასწორულ ტენიანობასა და ტემპერატურას აღწევენ ძალიან სწრაფად ან ძალიან ნელა, კონდიციონირების პერიოდი შესაძლებელია განისაზღვროს ISO 291:2008 (ან GOST 12423-2013) სტანდარტის „ა“ დანართის მიხედვით. ნიმუშების გამოცდები ტარდება სტანდარტის შესაბამის (GOST 15150, პ.3.15) ნორმალურ კლიმატურ პირობებში:

- ტემპერატურა – პლუს 25 \pm 10°C;
- ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა – 45-80%;
- ატმოსფერული წნევა – 84,0-106,7 კპა (630-800 მმ ვწყ. სვ.).

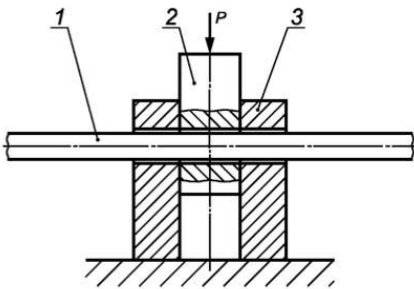
როდესაც შეუძლებელია გამოცდებისთვის უზრუნველყოთ ნორმალური კლიმატური პირობები, დასაშვებია გამოცდების ჩატარება ზომიერი და ცივი რაიონების გაერთიანებულ პირობებში, რომელიც ითვალისწინებს გამოცდების ჩატარებას დახურულ სათავსში გათბობითა და ხელოვნური ვენტილაციით (ტემპერატურა 1-35°C, ზღვრული ტემპერატურა 40°C, ფარდობითი ტენიანობა 60% 20°C ტემპერატურაზე). ამ შემთხვევაში შედეგები უნდა გადაანგარიშდეს ნორმალურ კლიმატურ პირობებზე. გადაანგარიშების მეთოდუკას აღგენს სტანდარტი, ტექნიკური პირობები ან სხვა ნორმატიული დოკუმენტი ნაკეთობაზე ან გამოცდის პროგრამაზე. გამოცდების ჩატარებისას 30°C ტემპერატურის ზევით, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა არ უნდა იყოს მეტი 70%.

გამოცდის შედეგები მუშავდება მათემატიკური სტატისტიკური მეთოდებით და დგება გამოცდის ოქმი გამოცდების ჩამტარებელი სპეციალისტების ხელმოწერებითა და მონაცემების ჩვენებით.

ჭრაზე გამოცდის მეთოდი დაფუძნებულია ნიმუშის დატვირთვაზე გადამჭრელი ძალით, რომელიც პირდაპირაა მოდებული ღეროზე და ახდენს მის ორმაგ ჭრას. ჭრა ხდება ღეროს უწყვეტი ბოჭკოების მიმართულების მართობულად სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად დამზადებულ სპეციალურ საჭრელ დანადგარზე ორი საჭრელი დანით (სურ. 10.42-10.46



სურ. 10.42. ნიმუშების ჭრაზე გამოსაცდელი მოწყობილობა: ა - ელემენტებად დაშლილი; ბ - აწყობილი (სამუშაო მდგომარეობაში). 1-დამჭერი; 2-ზედა დანა; 3-ქვედა დანები; 4-გამოსაცდელი ნიმუში



სურ. 10.43. მოწყობილობის სქემა გამჭოლი ნახვრეტებით: 1-გამოსაცდელი ნიმუში; 2-ზედა დანა; 3-ქვედა დანა



სურ. 10.44. ბჰკა-ის ჭრაზე გამოსაცდელი დანადგარი



სურ. 10.45. ბჰკა-ის ჭრაზე გამოსაცდელი წნეხი



სურ. 10.46. ჭრაზე გამოცდილი ბჰკა-ის ნიმუშები

განივ ჭრაზე გამოცდილი იყოს 10, 12, 14 და 16 მმ დიამეტრის ბაზალტკომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ღეროები თითოეულ პარტიაში 5 ღეროს რაოდენობით.

მოწყობილობა გამოცდებისათვის შედგება ნიმუშის დამჭერისგან V-ებრი ჩაღრმავებით (სურ. 10.42), მართკუთხა ამონაჭრით ზედა და ქვედა დანების განსათავსებლად. დანებს აქვთ S-ებრი ამონაჭრები ნიმუშის მოსათავსებლად დაკალიბრებული დიამეტრის შესაბამისად. ღრეჩოების ჯამი ერთ ზედა და ორ ქვედა დანას შორის არ უნდა იყოს ნაკლები 0,25 მმ.

ზღვრული ძაბვა განივ ჭრაზე τ_{sh} , მჰა, განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau_{sh} = \frac{P}{2A}, \quad (1)$$

სადაც არის მრღვევი დატვირთვა, ნ;

A – ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი, $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, მმ².

ექსპერიმენტის შედეგები მოცემულია 10.9-10.12 ცხრილებში.

ცხრილი 10.9

№	სიგრძე, ℓ მმ	არმატურის ღეროს ნორმალური დიამეტრი, d მმ	ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი, A მმ ²	მრღვევი დატვირთვა, P ნ	ზღვრული დაბჯანის განივი ჭრავი, τ _{sh} ნ/მმ ²	განივი ჭრავი ზღვრული დაბჯანის საშუალო მნიშვნელობა, τ _{sh} საშ, მპა
1	250	9.481	70.563	23100	163.68	169,82
2	250	9.481	70.563	26210	185.72	
3	250	9.481	70.563	24740	175.30	
4	250	9.481	70.563	22890	162.20	
5	250	9.481	70.563	22890	162.20	

ცხრილი 10.10

№	სიგრძე, ℓ მმ	არმატურის ღეროს ნორმალური დიამეტრი, d მმ	ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი, A მმ ²	მრღვევი დატვირთვა, P ნ	ზღვრული დაბჯანის განივი ჭრავი, τ _{sh} ნ/მმ ²	განივი ჭრავი ზღვრული დაბჯანის საშუალო მნიშვნელობა, τ _{sh} საშ, მპა
1	250	11.496	103.744	34970	168.54	163,59
2	250	11.496	103.744	36760	177.17	
3	250	11.496	103.744	31120	149.98	
4	250	11.496	103.744	35920	173.12	
5	250	11.496	103.744	30940	149.12	

ცხრილი 10.11

№	სიგრძე, ℓ მმ	არმატურის ღეროს ნორმალური დიამეტრი, d მმ	ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი, A მმ ²	მრღვევი დატვირთვა, P ნ	ზღვრული დაბჯანის განივი ჭრავი, τ _{sh} ნ/მმ ²	განივი ჭრავი ზღვრული დაბჯანის საშუალო მნიშვნელობა, τ _{sh} საშ, მპა
1	250	13.92	152.107	47380	155.75	142,46
2	250	13.92	152.107	43460	142.86	
3	250	13.92	152.107	38490	126.52	
4	250	13.92	152.107	40130	131.91	
5	250	13.92	152.107	47230	155.25	

ცხრილი 10.12

№	სიგრძე, ℓ მმ	არმატურის ს ღეროს ნორმა- ლური დია მე ტრი, d მმ	ნიმუშის განივი კვეთის ფართობი , A მმ ²	მრღვევი დატვი რ-თვა, P ნ	ზღვრული ძაბვა განივი ჭრაზე, τ_{sh} ნ/მმ ²	განივი ჭრაზე ზღვრული ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა, τ_{sh} საშ, მპა
1	250	15.398	186.122	66380	178.32	175,99
2	250	15.398	186.122	68730	184.64	
3	250	15.398	186.122	64930	174.43	
4	250	15.398	186.122	63140	169.62	
5	250	15.398	186.122	64370	172.92	

თავი 11. შენობა-ნაგებობების გაძლიერება-რეკონსტრუქცია კომპოზიტური მასალების გამოყენებით

11.1. ზოგადი ცნობები

საქართველოსა და მის დედაქალაქში, ამჟამად დაახლოებით 10 ათასზე მეტი საცხოვრებელი თუ საწარმოო შენობა მძიმე ავარიულ მდგომარეობაშია და მოითხოვს რეკონსტრუქცია-რეაბილიტაციას, რაც მილიარდობით ლარის კაპიტალ-დაბანდებას საჭიროებს. დანახარჯები შეიძლება მნიშვნელოვნად შემცირდეს რეკონსტრუქციის საწარმოო რეჟიმების ტექნოლოგიური პროცესების გაუმჯობესებითა და არსებული ფართობების მაქსიმალური გამოყენებით.

რეკონსტრუქციის ჩატარებას უმეტესად თან ახლავს სამშენებლო მზიდ კონსტრუქციებზე მოსული დატვირთვებისა და საწყისი საანგარიშო სქემების შეცვლა, რაც იწვევს კონსტრუქციის მზიდუნარიანობის გაზრდისა და შესაბამისად, მათი გაძლიერების აუცილებლობას. ექსპლუატაციის პროცესში სამშენებლო კონსტრუქციების გაძლიერების აუცილებლობას იწვევს არა მარტო რეკონსტრუქცია, არამედ ნაგებობების ცვეთაც, რომელიც გამოწვეულია პროექტით გათვალისწინებული ტექნოლოგიური პროცესების შეცვლით, სხვადასხვა დაზიანებებით, მუშაობის პირობების ცვლილებითა და სხვ.

რადგანაც საქართველოს პირობებში სამრეწველო და სამოქალაქო დანიშნულების შენობა-ნაგებობებში ძირითადად გამოყენებულია რკინაბეტონის სამშენებლო კონსტრუქციები, ამიტომ შემოთავაზებული წინადადების განზოგადებასა და ანალიზს, ასეთი კონსტრუქციების დაპროექტებისა და გაძლიერების ეფექტური მეთოდების გამოყენების მიზნით, დიდი სახელმწიფოებრივი მნიშვნელობა აქვს.

მაღალი სიმტკიცის ნახშირბადის, ბაზალტის, არამიდის, ბორის, მინის ბოჭკოების გამოჩენამ სამშენებლო ბაზარზე, საშუალება მისცა ინჟინრებს შეექმნათ თანამედროვე მეთოდები და ტექნოლოგიები, რომლებიც წარმატებით შეიძლება გამოვიყენოთ მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციების დაზიანებული ნაწილების აღსადგენად და მზიდუნარიანობის გასაზრდელად. მათი დახმარებით მოკლე დროში, მინიმალური შრომითი დანახარჯებით, შესაძლებელია გავზარდოთ კონსტრუქციების საექსპლუატაციო ვადა.

მიუხედავად კომპოზიტური მასალების მაღალი ღირებულებისა, მათი გამოყენება სამშენებლო კონსტრუქციების გასაძლიერებლად ხშირად ეკონომიკურად გამართლებულია, რადგან საშუალებას იძლევა რეკონსტრუქცია განვახორციელოთ ნაგებობის ექსპლუატაციის შეუჩერებლად, გამოვიყენოთ კოროზიამდეგი კომპოზიტური არმატურა, მინიმუმამდე შევამციროთ ობიექტზე ე. წ. „ჭუჭყიანი“ სამუშაოები, მნიშვნელოვნად შევამციროთ რეკონსტრუქციის ხანგრძლივობა, რაც, ბუნებრივია, უდიდესი მნიშვნელობა აქვს სამოქალაქო სექტორისათვის.

კონსტრუქციების გაძლიერება აუცილებელია იმ შემთხვევებში, როცა იცვლება ექსპლუატაციის საწყისი ტექნოლოგიური რეჟიმი; მნიშვნელოვნად იზრდება დატვირთვები მასალებისა და მოწყობილობებისგან; ამოწურულია კონსტრუქციის მზიდუნარიანობა დაპროექტებაში დაშვებული სერიოზული შეცდომის გამო; გამოყენებულია დაბალი ხარისხის საშენი მასალა ან შეერთებები განხორციელებულია ტექნოლოგიის დარღვევითა და სახიფათო დეფექტებით; კონსტრუქციების ექსპლუატაცია ხდება არანორმალურ პირობებში; აღინიშნება მნიშვნელოვანი გადატვირთვები, დატენიანება, დასველება, ლპობა, მექანიკური დაზიანება, რომლებიც იწვევს კონსტრუქციის ამტანუნარიანობის დაქვეითებას.

პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად გვხვდება უხარისხოდ დამზადებული და არანორმალური ექსპლუატაციის პირობებში მყოფი კონსტრუქციები.

კონსტრუქციის გაძლიერება ხდება შესაბამისი პროექტის დამუშავების შემდეგ, რომლის საფუძვლად მიიღება შემდეგი პრინციპები:

- გაძლიერებული კონსტრუქცია მთლიანად უნდა ასრულებდეს თავის პირვანდელ ფუნქციას. მეორე შემთხვევაში, პროექტში გათვალისწინებული უნდა იყოს გასაძლიერებელი ელემენტის საწყისი ფუნქციის ნაწილის გადაცემა სხვა არსებულ ან ახალ სამშენებლო კონსტრუქციაზე;
- კონსტრუქციის გაძლიერება ამტანუნარიანობის, დეფორმაციებისა და სხვათა მიხედვით უნდა აკმაყოფილებდეს პროექტის დამუშავების მომენტში მოქმედ სამშენებლო წესებსა და ნორმებს;
- გასაძლიერებელი ხის კონსტრუქციის მიზანშეწონილობა და ვარიანტების შერჩევა უნდა მოხდეს ეკონომიკური დასაბუთების შესაბამისად. მაქსიმალურად უნდა იქნეს შენარჩუნებული არსებული სამშენებლო კონსტრუქციები, ელემენტები, მოპირკეთება და ა. შ. სარემონტო სამუშაოები უნდა შესრულდეს შენობაში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესის შეუჩერებლად;
- ტიპური კონსტრუქციები, ტიპური დეფექტებით, უნდა გაძლიერდეს ერთი და იმავე მეთოდებით.

გაძლიერების სამუშაოების პირველი ეტაპი მოიცავს პროექტის დამუშავებას დეფექტობრივი უწყისის საფუძველზე. გასაძლიერებელი კონსტრუქციის მასალის სიმტკიცის განსაზღვრა ხდება ამ კონსტრუქციის დაუტვირთავი ნაწილიდან ამოჭრილი მცირე ზომის სტანდარტული ნიმუშების ლაბორატორიული გამოცდით. სახელმწიფო სტანდარტების შესაბამისად გაძლიერების პროექტში მოცემული უნდა იყოს გაძლიერების დეტალების მუშა ნახაზები, აგრეთვე გათვალისწინებული ექსპლუატაციის ნაირსახეობა.

გაძლიერების კონკრეტული მეთოდის შერჩევა დამოკიდებულია არაერთ ფაქტორზე, როგორებიცაა გაძლიერების ამოცანები, შენობის მთლიანი და ცალკეული კონსტრუქციების მდგომარეობა; საკმარისი სივრცისა და მოედნების არსებობა გასაძლიერებელი ელემენტების დასაწყობად; ექსპლუატაციის პირობები და სხვ.

კონსტრუქციების გაძლიერების მეთოდების კლასიფიკაცია ხდება სხვადასხვა ნიშნის მიხედვით. დანიშნულების მიხედვით იყოფა ორ ჯგუფად: დროებით გაძლიერებად და სტაციონარულ გაძლიერებად. გასაძლიერებელი კონსტრუქციების მუშაობის სქემაზე ახალი ელემენტების გავლენის თვალსაზრისითაც განიხილება გაძლიერების ორი სახეობა: კონსტრუქციების მუშაობა საწყისი სქემის შეუცვლელად და საწყისი სქემის შეცვლით.

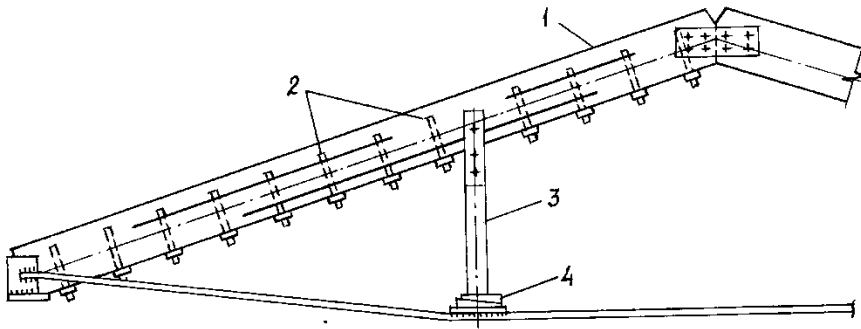
მუშაობის საწყისი სქემის შეუცვლელად კონსტრუქციების გაძლიერება ხდება:

- სამაგრი ელემენტების (ჭანჭიკები, ლურსმნები, სჭვალები, ზელები, ფირფიტები, არმატურა და სხვ.) დამატებით;
- გასაძლიერებელი კონსტრუქციის განმტვირთავი დამოუკიდებლად მომუშავე დამატებითი ელემენტების დაყენებით;
- დეფექტების შემცველი და გადაძაბვით მომუშავე კონსტრუქციების ელემენტების შეცვლით ან გაძლიერებით;
- კონსტრუქციების ან მისი ელემენტების გაძლიერება პროთეზებით.

პროთეზი არის სპეციალური კონსტრუქცია, რომელიც ერთვება გასაძლიერებელი კონსტრუქციის მუშაობაში დაზიანებული ნაწილის შესაცვლელად. პროთეზებით ახდენენ კოჭებისა და წამწეების დაზიანებული ნაწილების გაძლიერებას. მშენებლობის თანამედროვე პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება პროთეზები, დამზადებული პოლიმერული მასალების, წრიული განიკვეთის ღეროვანი მინაპლასტიკის არმატურის ან სამშენებლო მოედანზე მოდიფიცირებულ ეპოქსიდურ ფისებზე დამზადებული პოლიმერბეტონისაგან.

მუშაობის საწყისი სქემის შეცვლით კონსტრუქციების გაძლიერების მეთოდები მრავალგვარია და დამოკიდებულია სამშენებლო კონსტრუქციის ტიპზე, შენობის გაბარიტებზე, დატვირთვების სახეცვლილებებზე და სხვ. პრაქტიკაში უფრო ხშირად გამოიყენება შემდეგი ხერხები:

- ერთმალის კონსტრუქციის გადაკეთება მრავალმალისადა;
- ერთმალის კონსტრუქციის გადაკეთება რამდენიმე უფრო მცირე ერთმალის კონსტრუქციად;
- გისოსიან კონსტრუქციებში ცალკეული ელემენტების ადგილობრივი განტვირთვა (მუშაობიდან გამორიცხვა). მის მაგალითად შეიძლება დასახელებულ წამწეებში შემხვედრი ირიბნების მოწყობა, როდესაც შეკუმშული ირიბანა ითიშება მუშაობიდან შემხვედრი ლითონის ირიბანის დაყენების შედეგად;
- კოჭებისა და წამწეების გადაქცევა შპრენგელურ (სურ. 11. 1) სისტემად;
- კამარების გადაკეთება წამწეებად;
- სიბრტყითი კონსტრუქციების წყვილ-წყვილად დამაგრება სიხისტის სივრცითი კავშირების მეშვეობით;
- თხელკედლიანი გარსების გადაქცევა წიბოვნად და პირიქით;
- განმბჯენიანი თაღების გადაკეთება თაღ-გარსებად და ა. შ.



**სურ. 11.1. ხის სამკუთხა განმბჯენიანი სისტემის გაძლიერება განშრევე-
ბულ წებოვან ნაკერებში ქანჭიკების ჩაწებებით და შპრენგელურ სის-
ტემად გადაკეთების მეთოდით: 1-ფიცრულწებილი ბლოკი ნაწილობ-
რივ განშრევებული წებოვანი ნაკერებით; 2-ჩაწებებული ქანჭიკები;
3-შპრენგელური სისტემის დგარი; 4-სოლები**

შენობებისა და მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციების აუცილებელი გაძლიერების მიზეზები შემდეგია:

1. შენობის ტექნიკური მდგომარეობა გაუარესებულია; საიმედოობის პარამეტრები დარღვეულია, რის გამოც საჭიროა დაუყონებლივი რემონტის დაწყება ობიექტის უსაფრთხოების მიზნით;
2. ობიექტი ტექნიკურად ნორმალურ სამუშაო მდგომარეობაშია, მზიდი კონსტრუქციები ინარჩუნებენ ნორმატიულ სიმტკიცეს, მაგრამ საჭირო ხდება მათი გაძლიერება დატვირთვების გაზრდის გამო;
3. ობიექტმა შეიცვალა ფუნქციური დანიშნულება, რის გამოც საჭირო ხდება მზიდი სამშენებლო კონსტრუქციების გადაანგარიშება და შესაბამისად – გაძლიერება;
4. უხარისხო მშენებლობა.

სამშენებლო კონსტრუქციების გაძლიერების კომპოზიტურმა სისტემებმა, რომლებიც წარმატებით გამოიყენება ამერიკისა და დასავლეთ ევროპის ქვეყნებში, დადებითი შედეგები მოგვცა როგორც ჩვეულებრივ პირობებში, ისე სეისმურად აქტიურ რეგიონებში. ამ სისტემების დიდი უპირატესობაა – სიმარტივე და დაბალი შრომატევადობა. გასაძლიერებელი კონსტრუქციების გარე დაარმირება კომპოზიტური ფიბრებითა (ბოჭკოებით) და არმატურით ნახშირბადის, მინის, არამიდის, ბაზალტის ბოჭკოების საფუძველზე გამოიყენება ღეროვანი ელემენტების გრძივი და განივი დაარმირებისათვის; ხიდების და ესტაკადების კოლონებთან და საყრდენებთან შესაერთებელი გამაძლიერებელი გარსების მოსაწყობად; ფილების, გარსების, კოლონების, კონსოლების, წამწის ელემენტების და სხვა კონსტრუქციების გასაძლიერებლად. პროცენტულად კონსტრუქციების გაძლიერების ხარისხი შეადგენს გასაძლიერებელი ელემენტის მზიდუნარიანობის 10-60%-ს.

სამშენებლო კონსტრუქციებისა და შენობა-ნაგებობების გაძლიერება და აღდგენა გარე დაარმირებით, კომპოზიტური მასალების გამოყენებით, საშუალებას იძლევა:

- გარემონტდეს კონსტრუქცია ცვეთის ნებისმიერ საფეხურზე;
- გაიზარდოს კონსტრუქციის მზიდუნარიანობა საანგარიშო დატვირთვების გაზრდის შესაბამისად;
- ლიკვიდირებული იქნეს დაზიანებები, რომლებიც ართულებენ, ზოგჯერ კი შეუძლებელს ხდიან, ობიექტის ექსპლუატაციას;
- აღდგეს სამშენებლო კონსტრუქციის საწყისი ფიზიკური მახასიათებლები;
- საიმედოდ იქნეს დაცული მზიდი კონსტრუქციები ბუნებრივი ფაქტორების, აგრესიული გარემოს, დიდი დატვირთვების არასასურველი ზემოქმედებისაგან და მოხდეს მათი შედეგების ნეიტრალიზება;
- გაიზარდოს შენობის მზიდუნარიანობა მუშაობის კონსტრუქციული სქემის შეცვლის შემთხვევაში;
- გამოსწორდეს დაპროექტების პროცესში დამზებული შეცდომები და ხარვეზები მშენებლობის მიმდინარეობისას;
- შემცირდეს სარემონტო ხარჯები (30-40%-ით), რემონტის დრო და შრომითი დანახარჯები;
- მნიშვნელოვნად გაიზარდოს ობიექტის ექსპლუატაციის ვადა შედარებით მცირე დანახარჯების პირობებში.

გარე დაარმირების გამოყენების არეალია:

- ბეტონის და რკინაბეტონის კონსტრუქციები;
- ქვისა და დაარმირებული ქვის კონსტრუქციები;
- ხის კონსტრუქციები;
- ფოლადის კონსტრუქციები;
- შენობის კონსტრუქციული ელემენტები – ფანჯრისა და კარის დიობები, გადახურვის ფილები, კიბის უჯრედები, ლიფტის შანტები და სხვ.

გარე დაარმირების სამუშაოების ტექნოლოგია შემდეგია: პირველ ეტაპზე ხდება შენობის ფუნქციური მდგომარეობის გამოკვლევა, ტექნიკური მდგომარეობის საექსპერტო შეფასება და გაძლიერების ინდივიდუალური პროექტის შემუშავება. შემდეგ კი ტარდება შენობის (ნაგებობის) რეკონსტრუქციისა და გაძლიერების სამუშაოების კომპლექსი: ძველი ბეტონის ზედა შრის მოცილება გახეხვით, ფოლადის არმატურის გაწმენდა და დაფარვა ანტიკოროზიული ხსნარით, დაზიანებული უბნების წერტილოვანი აღდგენა, მომზადებულ ზედაპირზე ნახშიბადის (მინის, არამიდის, ბაზალტის) ბოჭკოების ჩალაგება პროექტის მიხედვით (თუ სვეტის გაძლიერება მიმდინარეობს, მაშინ კონსტრუქციის ირგვლივ კომპოზიტური ლენტის შემოხვევისა და ბოლოს სპეციალური წებოთი გაჟღენთილი კომპოზიტური

კარბონული ბადის მონტაჟის შემდეგ მასალა გამყარდება და მიიღება ახალგა-
რემონტებული კონსტრუქციის ადდგენილი სუფთა ზედაპირი).

11.2. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაძლიერება-რეკონსტრუქცია

რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაძლიერება-რეკონსტრუქციის ჩატარებისათ-
ვის საერთო მოთხოვნები შემდეგია:

- ადდგენა-გაძლიერება უნდა მოხდეს კონსტრუქციის (შენობა-ნაგებობის) ნატურული გამოკვლევებისა და სამოწმებელი გაანგარიშების შემდეგ;
- ნატურული დათვალიერებითა და გამოკვლევებით უნდა დადგინდეს მზი-
ლი კონსტრუქციების მდგომარეობა, გეომეტრიული ზომები, დაარძირების
სახეობა, არმატურის კლასი და ტექნიკური მდგომარეობა, ბეტონის სიმ-
ტკიცე, კონსტრუქციის ჩაღუნვის სიდიდე, ბზარების განლაგება და გახსნის
სიდიდეები, დეფექტებისა და დაზიანებების ზომები, განლაგება, მოქმედი
დატვირთვები და კონსტრუქციის მუშაობის სტატიკური სქემა;
- კონსტრუქციების სამოწმებელი გაანგარიშება ხდება საპროექტო მასალებ-
ის, ნატურული გამოკვლევების, კონსტრუქციისა და ცალკეული ელემენ-
ტების ფაქტობრივი ზომებისა და კონსტრუქციული გადახრების გათვალის-
წონებით;
- სამოწმებელი გაანგარიშებების ჩატარებისას მხედველობაში მიიღება გა-
მოვლენილი დეფექტები და დაზიანებები, როგორებიცაა: სიმტკიცის შემ-
ცირება, ბეტონის ადგილობრივი დაზიანებები და რღვევა, არმატურის გაგ-
ლეჯა, არმატურის კოროზია, ჩაანკერების დარღვევა და შეჭიდულობა ბე-
ტონთან, ბზარების გაჩენა და გახსნის სიდიდეები და სხვ.
- სამოწმებელი გაანგარიშებები ტარდება კონსტრუქციის მზიდუნარიანო-
ბის, დეფორმირების და ბზარწარმოქმნის მიხედვით;
- სამოწმებელი გაანგარიშებების საფუძველზე დგინდება კონსტრუქციის
ექსპლუატაციის ვარგისობა, გაძლიერების აუცილებლობა ან სრული უვარ-
გისობა. კონსტრუქციისათვის, რომელიც ვერ აკმაყოფილებს სამოწმებელი
გაანგარიშების მოთხოვნებს ნორმალური ექსპლუატაციისათვის, შესაძლე-
ბელია გათვალისწინებული არ იქნეს გაძლიერება, თუ ფაქტობრივი
ჩაღუნვა აჭარბებს დასაშვებს, მაგრამ ხელს არ უშლის ნორმალურ ექსპ-
ლუატაციას, აგრეთვე, თუ ბზარების ფაქტობრივი გახსნის სიდიდე აჭარ-
ბებს დასაშვებს, მაგრამ არ ქმნის რღვევის საშიშროებას;
- დასაშვებია კონსტრუქციის ადდგენისას არ ჩატარდეს საექსპლუატაციო ვა-
რგისობის დასადგენი სამოწმებელი გაანგარიშებები, თუ გადაადგილებე-
ბი და ბზარების გახსნის სიგანე არსებულ კონსტრუქციებში მაქსიმალური
ფაქტობრივი დატვირთვების მოქმედებისას არ აჭარბებს დასაშვებს, ხო-
ლო კონსტრუქციის განიკვეთებში საპროექტო დატვირთვებისას არ
აჭარბებს ძალების სიდიდეს ფაქტობრივი მოქმედი დატვირთვებისაგან;

- კომპოზიტიური მასალით გარე დაარმირების სისტემამ უნდა უზრუნველყოს სისტემაში ყველა შემადგენელი ნაწილის ჩართვა და მისი ერთობლივი მუშაობა გაძლიერებულ თუ აღდგენილ კონსტრუქციასთან;
- გასაძლიერებელი არსებული კონსტრუქციის ბეტონის კლასი უნდა იყოს: B15 – ღუნვადი ელემენტებისათვის და B10 – შეკუმშული ელემენტებისათვის;
- აკრძალულია რკინაბეტონის კონსტრუქციის აღდგენა კოროზიით დაზიანებული ფოლადის არმატურით მიზეზების აღმოფხვრის გარეშე;
- რეკომენდებული არ არის ღუნვაზე მომუშავე კონსტრუქციის აღდგენა-გაძლიერება, თუ სამოწმებელი გაანგარიშებით გასაძლიერებელი ელემენტის შეკუმშული ზონის სიმაღლე მეტია სასაზღვრო მნიშვნელობაზე დადგენილი სამშენებლო ნორმების, სტანდარტების ან რეგლამენტების მიხედვით;
- გაძლიერებული ელემენტის სამუშაო ტემპერატურა არ უნდა იყოს კომპოზიტის გამინების ტემპერატურაზე მეტი (გამინება – სითხის გადასვლა მინისებრ მდგომარეობაში);
- სასურველია გარე კომპოზიტიური დაარმირებით გაძლიერებული კონსტრუქცია პირდაპირ არ ხვდებოდეს მზის სხივების არეალში;
- სახანძრო უსაფრთხოების თვალსაზრისით გაძლიერებულ კონსტრუქციაზე ეწყობა დამცავი ფენა ცეცხლმედეგი მასალისაგან. კონსტრუქციის ცეცხლმედეგობაზე გაანგარიშება ტარდება გარე დაარმირების მხედველობაში მიუღებლად.

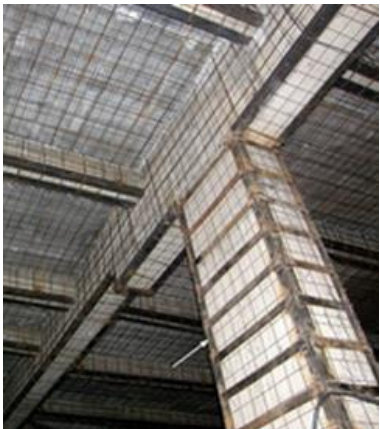
რკინაბეტონის კონსტრუქციებში კომპოზიტებით გაძლიერების სისტემა რეალურია გამოვიყენოთ, როცა კონსტრუქციაში ბეტონის ფაქტიური სიმტკიცე კუმშვაზე შეადგენს არანაკლებ 15 მპა. ძირითადად გამოიყენება ნახშირბადის და ბაზალტის ბოჭკოზე დამზადებული კომპოზიტები, რომლებიც ხასიათდებიან მაღალი სიმტკიცით გაჭიმვასა და კუმშვაზე, ხოლო დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობა ახლოსაა ფოლადის დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობასთან. მაგ., დღეისათვის დასავლეთის ქვეყნებში გამოდის ნახშირბადოვანი კომპოზიტიური ლენტები სიმტკიცით გაჭიმვაზე 3500 მპა და დრეკადობის მოდულით – 230-240 გპა, ანუ ეს მასალა დაახლოებით 8-ჯერ მტკიცეა და 5-ჯერ მსუბუქია A500 კლასის საარმატურე ფოლადზე. ანალოგიურია სხვა ბოჭკოებზე დამზადებული კომპოზიტებიც, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ არამიდულ კომპოზიტს ნაკლები სიმტკიცე ახასიათებს კუმშვაზე, მინაპლასტიკს – შედარებით დაბალი დრეკადობის მოდული და სხვ.

დრეკადობის მოდულის სიდიდეს დიდი მნიშვნელობა აქვს გარე დაარმირებისას დაუძაბავი არმატურით, რადგან იგი ძირითად არმატურაში ამცირებს გამჭიმავ ძაბვებს. მინისა და არამიდის ბოჭკოებზე დამზადებული გარე მაარმირებელი ელემენტის სისქე უფრო მეტია, ვიდრე ნახშირბადიანი კომპოზიტის ელემენტის სისქე (დრეკადობის მოდულების განსხვავების გამო), თუმცა სქელი გამა-

ძლიერებული ფილების (ელემენტების) გამოყენება მიზანშეწონილი არაა, რადგან წარმოშობს კომპოზიტის ბეტონთან ერთობლივი მუშაობის პრობლემას (ძვრის ძალების გავლენა ბეტონი – კომპოზიტის საზღვარზე). კვლევებით დადგინილია, რომ მინაპლასტიკის კომპოზიტურ სქელ ელემენტში არ მიიღწევა საანგარიშო სიმტკიცე, ხოლო ელემენტის სისქე არ უნდა აღემატებოდეს სიგანის 1/50-ს.

გასაძლიერებელ რკინაბეტონის კონსტრუქციაში თუ უკვე დაწყებულია არსებული არმატურის კოროზიული პროცესი, მაშინ კომპოზიტით გარე გაძლიერების დაწყებამდე აუცილებელია შემდეგი პროცედურების ჩატარება: როცა არმატურა გაშიშვლებულია, ხდება მისი გაწმენდა და დამუშავება ჟანგსაწინააღმდეგო გრუნტით, შემდეგ კი დაფარვა პოლიმერცემენტის სარემონტო ხსნარით, რომელიც უზრუნველყოფს ძველი ბეტონის ნორმალურ ადჰეზიას ახალთან; თუ არსებული არმატურა გაშიშვლებული არ არის, მაშინ მიმართავენ ბეტონის ზედაპირის დამუშავებას მიგრირებადი ინჰიბიტორით, რომელიც გაივლის ბეტონის დამცავ შრეს და დაიცავს არმატურას კოროზიისაგან.

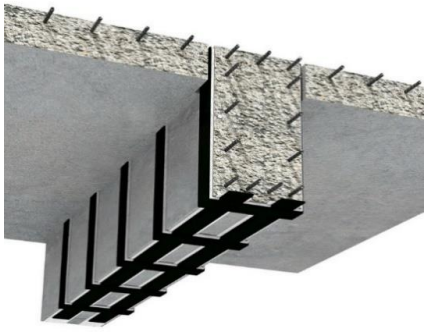
პრაქტიკაში საკმაოდ გავრცელებულია რკინაბეტონის კონსტრუქციების კომბინირებული გაძლიერება კომპოზიტითა და ფოლადის გარსაცმით (სურ. 11.2) ან ქსოვილური კომპოზიტური ლენტით (სურ. 11.3; სურ. 11.4). მაგ., რკინაბეტონის სვეტი ჩაისმება ფოლადის გარსაცმში და შემდეგ დაიფარება კომპოზიტური პოლიმერული შრით, რომელიც ეხმარება შეკუმშულ ფოლადის პროფილებს (კუთხედებს) მუშაობაში, აგრეთვე ზრდის ნაგებობის სეისმომდებლობას. კომპოზიტური ლენტი კი არ აძლევს ბზარებს გახსნის საშუალებას და იცავს არმატურას კოროზიისაგან.



სურ. 11.2. რკინაბეტონის კოჭებისა და სვეტების გაძლიერება გარსაცმით



სურ. 11.3. კოჭების, სვეტებისა და ქვრის გაძლიერება კომპოზიტური ლენტით



სურ. 11.4. რკინაბეტონის გადახურვის კოჭის გაძლიერება კომპოზიტური ლენტით

კომპოზიციური მასალები, დაარმირებული მინაქსოვილით, ნახშირბადის, ბაზალტის ან არამიდის ბოჭკოებით, შეიძლება გამოყენებული იყოს რკინაბეტონის სვეტების გარე ზედაპირზე დაკარგული მზიდუნარიანობის აღსადგენად. მზიდუნარიანობის დაკარგვას იწვევს სამუშაო არმატურის კოროზია, გარე მექანიკური დაზიანებები ან მოქმედი დატვირთვების გაზრდა. კუმშვაზე მომუშავე წრიული განიკვეთის სვეტზე დახვეული ლენტი ზღუდავს დეფორმაციებს განივი მიმართულებით და ზრდის სიმტკიცეს კუმშვაზე. საიმედო მუშაობისათვის ლენტის გარსაცმი მჭიდროდ უნდა იყოს კონტაქტში ბეტონთან, თუმცა შეჭიდულობის ძალის სიდიდეს გადამწყვეტი მნიშვნელობა არ აქვს.

ეს ტექნოლოგია გამოიყენება კონსტრუქციების რემონტისა და გაძლიერების შემდეგ შემთხვევებში:

- „ძველი“ კონსტრუქციების (ხიდეები, ავზები, კოჭები, სვეტები) რემონტი და გაძლიერება, რომელთაც სჭირდება მზიდუნარიანობის გაზრდა მასალების დაძველების ან საანგარიშო დატვირთვების ცვლილების გამო;
- საზოგადოებრივი შენობის გადაიარაღების ან პროფილის შეცვლის გამო;
- საგანგებო სიტუაციების (ხანძარი, აფეთქება, მეწყერი, გრიგალი და სხვ.) შედეგად მიყენებული დაზიანებების აღმოფხვრა;
- დაპროექტების ან მშენებლობის დეფექტების (დაარმირების არასაკმარისობა ღუნვად ელემენტებში, ბეტონის დაბალი სიმტკიცე კუმშვაზე სვეტებში და სხვ.) აღმოფხვრა;
- კონსტრუქციების გაძლიერება შენობის ან ნაგებობის სეიმომდგრადობის ასამაღლებლად;
- ქიმიურად აგრესიული გარემოს ზემოქმედების გავლენის შემცირების საჭიროება;
- კოჭების, ფილების, კონსოლების, პილონების გაძლიერება გაზრდილი მღუნავი მომენტების მოქმედებისას, რაც მიიღწევა გრძივი გაჭიმული არმატურის ზონების გაძლიერებით ნახშირბად, ბაზალტ ან მინაპლასტიკების მეშვეობით;
- კოჭების საყრდენების გაძლიერება გარე განივი არმატურით;
- გარსაცმებით სვეტების გაძლიერების აუცილებლობა;
- კონსტრუქციის ტანში რღვევის პროცესების შესაჩერებლად;
- რემონტისათვის გამოყოფილი შეზღუდული დრო;
- რემონტი წარმოების შეუჩერებლად;
- კონსტრუქციების საკუთარი წონისა და მოცულობის უმნიშვნელოდ გაზრდის შესაძლებლობა.

11.3. ლითონის კონსტრუქციების გაძლიერება-რეკონსტრუქცია

სამრეწველო, სამოქალაქო, სატრანსპორტო დანიშნულების ნაგებობების ლითონის კონსტრუქციები ექსპლუატაციის პროცესში ექვემდებარება სხვადასხვა ფაქტორების ზემოქმედებას – დატვირთვები, ტემპერატურა, ატმოსფერული ნალექები, აგრესიული გარემო და სხვ., რის გამოც ნაგებობის მზიდუნარიანობა და ხანგამძლეობა მცირდება. მის საწინააღმდეგოდ მიმართავენ აღდგენა-გაძლიერებას. შეიძლება ითქვას, რომ ექსპლუატაციის პროცესში გაძლიერება ლითონის კონსტრუქციების განუყოფელი ნაწილია.

ლითონის კონსტრუქციების გაძლიერების მიზეზებს მიეკუთვნება:

- დაზიანებები, რომლებიც იწვევენ კონსტრუქციების მზიდუნარიანობის, სინსტის, ბზარმდეგობის შემცირებას;
- ექსპლუატაციის პირობების შეცვლა;
- მექანიკური დაზიანებები;
- კოროზიული დაზიანებები;
- მასალის დაძველება;
- კონსტრუქციის საანგარიშო სქემის შეცვლა;
- უსაფრთხოებისა და ხანგამძლეობის გაზრდის აუცილებლობა;
- შეცდომები დაპროექტების, მონტაჟისა და ექსპლუატაციის დროს.

ლითონის კონსტრუქციების გასაძლიერებლად ტრადიციულის პარალელურად გამოიყენება თანამედროვე მეთოდები, დაფუძნებული ბოჭკოებით დაარმირებული პოლიმერული მასალების (კომპოზიტების) გამოყენებაზე. იგი ითვალისწინებს გაჭიმული და ღუნვადი ელემენტების გარე გაძლიერებას ელემენტის ირგვლივ გამაძლიერებელი გარსის შექმნით. ასეთებია: კოჭები, სვეტები, საყრდენები, წამწის ელემენტები, ესტაკადები, ფირფიტები, ფილები, გარსები და სხვ.

გაძლიერებული კონსტრუქციის გაანგარიშებისას ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით გაითვალისწინება გასაძლიერებელი ელემენტის ნარჩენი მზიდუნარიანობა და სიხისტე. I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით გაანგარიშებას ექვემდებარება ბოჭკოებით დაარმირებული პლასტიკატებით გაძლიერებული ყველა კონსტრუქცია, ხოლო II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით გაანგარიშება ხდება იმ შემთხვევაში, თუ გაძლიერების შემდეგ გაიზარდა კონსტრუქციაზე მოქმედი საანგარიშო დატვირთვა. გაძლიერებული კონსტრუქციების გაანგარიშებას უმეტესად ახდენენ იტერაციული მიდგომით – ჯერ საორიენტაციოდ ნიშნავენ გაძლიერებული ელემენტის კვეთს და შემდეგ აზუსტებენ განიკვეთის ფართობს ზღვრული მდგომარეობის შესაბამისი შემოწმებების შედეგად. გაანგარიშების პროცესში გასათვალისწინებელია ის, რომ ბოჭკოებით დაარმირებული კომპოზიტური მასალა რღვევამდე მუშაობს დრეკად სტადიაში (ემორჩილება ჰუკის კანონს), მასალა ორთოტროპიულია და ხაზოვანი გაფართოების კოე-

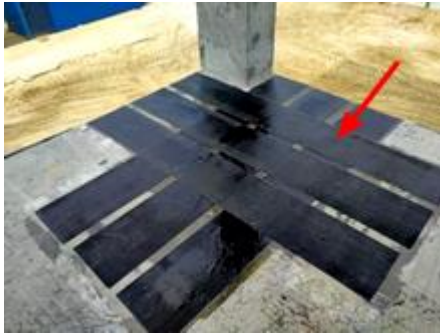
ფიციენტის სიდიდე განსხვავდება ლითონის ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტის სიდიდისაგან.

ლითონის კონსტრუქციების გასაძლიერებლად, ჩვეულებრივ, გამოიყენება ზოლოვანი ლითონი, ფირფიტა, პროფილები, რომელთა კონსტრუქციაზე მისამარებლად დამკვიდრებულია ჭანჭიკებითა და შედუღებით შეერთება, თუმცა ამ მეთოდს რიგი უარყოფითი მხარეები აქვს – წონის გაზრდა, კოროზიის გაძლიერება, ლითონის დადლილობა, მაღალი შრომატევადობა, სამუშაოების შესრულების სირთულე და სხვ. ხშირად ამ სამუშაოების შესრულება იწვევს შენობის თუნაგებობის ექსპლუატაციის შეჩერებას (მაგ., ხიდები, გზები, გზაგამტარები, ესტაკალები, ღოკები, რეზერვუარები). ლითონის კონსტრუქციების გასაძლიერებლად ამ სირთულეებს პრაქტიკულად მთლიანად გამორიცხავს ნახშირბადის, მინის, ბაზალტისა და არამიდის ბოჭკოებით დაარმირებული კომპოზიტური მასალების გამოყენება. ასეთ მასალებს აქვს უფრო მაღალი სიმტკიცე, ვიდრე ფოლადს, მცირე წონა (ანუ დიდი კუთრი სიმტკიცე), კოროზიამედეგია, ადვილად მუშავდება და მონტაჟისა და ტრანსპორტირების პროცესში არ საჭიროებს მძიმე მანქანა-მექანიზმებს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ლითონის კონსტრუქციების გაძლიერება კომპოზიტური მასალებით ნაკლებ ეფექტურია, ვიდრე ბეტონის, რკინაბეტონის და ქვის კონსტრუქციების. ლითონის კონსტრუქციების გასაძლიერებლად უპირატესობა ენიჭება ნახშირბადის ბოჭკოებით დაარმირებულ კომპოზიტებს, რადგან მათი დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობა თითქმის ისეთივეა, რაც ფოლადის, თანაც ნახშირბადპლასტიკის შეერთება (შეწებება) ლითონთან ხდება მაღალი ხარისხით, რასაც არც თუ ისე მცირე მნიშვნელობა აქვს. თუმცა ისიც უნდა ითქვას, რომ ნახშირბადოვან კომპოზიტს ლითონთან შესაერთებლად სჭირდება დამატებითი სპეციალური საიზოლაციო ფენა, რომ არ მოხდეს გასაძლიერებელი ელემენტის ელექტროქიმიური კოროზია.

11.4. გადახურვის რკინაბეტონის ფილების გაძლიერება

გადახურვის გაძლიერება – ავარიულ მდგომარეობაში მყოფი შენობის ადგენისა და მოდერნიზაციის მნიშვნელოვანი ეტაპია. იგი სრულდება ზედა (სურ. 11. 5) და ქვედა (სურ. 11.6) მხრიდან. ყველაზე ეფექტურად ითვლება გაძლიერება ქვედა მხრიდან გამჭიმავი ძაბვების მოქმედების ზონებში. ასეთი ტიპის სამუშაოების ჩატარების ძირითადი კრიტერიუმია რეალური საექსპლუატაციო დატვირთვების განსაზღვრა, რომლის საფუძველზე ხდება გაძლიერების პროექტის შედგენა. ზოგჯერ გაძლიერებას მიმართავენ ახლადამუშავებულ ობიექტზეც, თუ გადახურვაზე უნდა მოთავსდეს მძიმე კონსტრუქციები ან მანქანა-დანადგარები, რომლებიც თავდაპირველად პროექტის შედგენისას არ იყო გათვალისწინებული.



სურ. 11. 5. რკინაბეტონის გადახურვის გაძლიერება ზედა მხრიდან ნახშირბადბოჭკოვანი ლენტით



სურ. 11. 6. რკინაბეტონის გადახურვის გაძლიერება ქვედა მხრიდან ნახშირბადბოჭკოვანი ლენტით

რკინაბეტონის გადახურვები სხვადასხვა კონფიგურაციისაა:

- ასაწყობ-სიდრუებიანი – გამოიყენება საცხოვრებელ და სამოქალაქო შენობებში;
- ასაწყობ-წიბოვანი – გამოიყენება სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობებში;
- მონოლითური – უნივერსალური გადახურვა, რომელიც გამოიყენება ყველა ტიპის შენობა-ნაგებობაში.

ნებისმიერი ფილისათვის გაძლიერების უნივერსალურ საშუალებას წარმოადგენს ნახშირბადლენტა FibArm Tape და ნახშირბადბაღე FibArm Grid. ფილის ტიპზე დამოკიდებულებით ხორციელდება შემდეგი მოქმედებები:

□ სართულშუა რკინაბეტონის სიდრუებიანი ფილის გასაძლიერებად მასალა FibArm მიეწება ფილას ქვედა მხრიდან მალის მიმართულებით გარკვეული ბიჯით. იგი შეიძლება იყოს ერთ ან მრავალფენიანი იმის მიხედვით, თუ სიმტკიცის რა მაჩვენებელია საჭირო;

□ ანალოგიურად ხდება მონოლითური ფილის დაარმირებაც, ოღონდ ლენტით იფარება მთელი ზედაპირი, რაც ზრდის არა მარტო სიმტკიცეს, არამედ სენისმომედევობასაც;

□ წიბოვანი ფილის გასაძლიერებლად ნახშირბადკომპოზიტი ეწება წიბოების ქვედა მხარეზე (სურ. 11.7). აქაც კომპოზიტის ფენების რაოდენობას განსაზღვრავს სიმტკიცის გაზრდის ხარისხი.



სურ. 11. 7. წიბოვანი ფილის გაძლიერება ნახშირბადკომპოზიტით

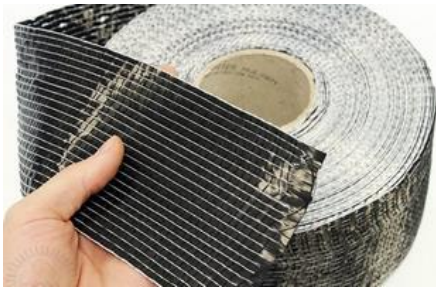
რკინაბეტონის ფილების გაძლიერებისას ყურადღება უნდა მიექცეს ფილაში ამოღებულ ღიობებსა და ხვრელებს. მაგ.,

სიღრუებიან ფილაში დასაშვებია ერთი ან ორი ხვრელის არსებობა დიამეტრით 15 სმ-მდე. თუ ხვრელების რაოდენობა მეტია, მაშინ აუცილებელია ფილის გადაანგარიშება. ღიობი ან ხვრელი ფილაში დამატებით უნდა გაძლიერდეს ნახშირბადბოჭკოვანი ლენტით ფილის ორივე ზედაპირზე. მონოლითური ვარიანტის დროს ხვრელის გასაძლიერებლად ლენტის პარალელურად გამოიყენება კომპოზიტური საკიდებიც.

11.5. ხის კოჭების გაძლიერება

ხშირ შემთხვევაში, ხის კოჭი სასხვენო, სართულშუა და სარდაფის გადახურვების ძირითადი მზიდი ელემენტია, რომელსაც უპირატესად ამზადებენ მასიური ხისგან, თუმცა ზოგჯერ სამოქალაქო და სამრეწველო დანიშნულების შენობებში გამოიყენება შედგენილი კოჭებიც (ფიცრულ-ლურსმნოვანი, ფირფიტოვან წირწკიმალებზე, დაწებებული, წებო-ფანერისა და სხვ.).

ხის კონსტრუქციების გაძლიერების ტრადიციულ მეთოდებთან ერთად (იხ. [1], §11.9) ფართოდ გამოიყენება გაძლიერების ინოვაციური მეთოდები, კერძოდ, გაძლიერება ნახშირბადბოჭკოვანი ლენტით (სურ. 11.8; სურ. 11.9). ეს მეთოდი გამოყენებადია იმ შემთხვევაში, თუ სხვადასხვა მიზეზის გამო კოჭის განივკვეთის გაზრდა შეუძლებელი ან უკიდურესად გართულებულია.



სურ. 11.8. ნახშირბად-
ბოჭკოვანი ლენტი



სურ. 11.9. ხის კოჭების გაძლიერება ნახშირბადბოჭკოვანი ლენტით

ნახშირბადბოჭკოვანი ლენტის ელემენტებით ხის კოჭების გაძლიერების უპირატესობაა ის, რომ არ საჭიროებს განივკვეთის გაზრდას გაბარიტული ხისა და ლითონის კომპონენტებით, აგრეთვე გამორიცხავს შრომატევადი სამუშაოების ჩატარებას. თანამედროვე ნახშირბადბოჭკოვანი მასალები (ნახშირბადპლასტიკები) ხასიათდება მაღალი სიმტკიცითა და მცირე წონით, კარგად ღებულობს მექანიკურ დატვირთვებს და მოსახმარად მარტივია, რადგან მომხმარებელს მიეწოდება სხვადასხვა სახით (ლენტი, ქსოვილი, ძაფი, რულონი, ფირფიტა, ფურცელი და სხვ.).

კომპოზიციებით გაძლიერება მიმდინარეობს კონსტრუქციაზე ან მის ნაწილზე, კომპოზიტის რამდენიმე ფენის თანდათანობითი დაწებების გზით (ეპოქსიდური, პოლიესტერული წებოები). წებოს გამყარების შემდეგ კომპოზიტის ფენა სიმტკიცით არ ჩამოუვარდება ფოლადს.

ამ მეთოდის დიდი უპირატესობაა ის, რომ გაძლიერება არ საჭიროებს კონსტრუქციის ირგვლივ სამუშაო სივრცის დაკავებას, რაც არც თუ ისე მცირე მნიშვნელობის ფაქტორია.

11.6. ხიდების გაძლიერება-რეკონსტრუქცია

თანამედროვე პირობებში სამშენებლო კონსტრუქციების გაძლიერება კომპოზიტური მასალებით ხშირად ნაკლებად შრომატევადი და ენერგოხარჯვადი პროცესია გაძლიერების ანალოგიურ მეთოდებთან შედარებით, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს საავტომობილო და რკინიგზის მაგისტრალზე ხიდების რემონტის დროს, რადგან ხიდის გარკვეული ღრობით დაკეტვა იწვევს საგრძნობ ფინანსურ დანახარჯებს.

გარდა აღნიშნულისა, ხიდის მზიდი კონსტრუქციების გაძლიერება მინის, ნახშირბადის ან ბაზალტის ბოჭკოებით დაარმირებული ფირფიტებით, საშუალებას იძლევა გაიზარდოს ხიდის მზიდუნარიანობა ზენორმატიული დატვირთვების შემთხვევაში (მძიმე სატრანსპორტო საშუალებები).

ხიდის ექსპლუატაციის ძირითადი ამოცანაა უზრუნველყოს მასზე საავტომობილო და რკინიგზის ტრანსპორტის, აგრეთვე ფეხით მოსიარულეთა უსაფრთხო გადაადგილება, რისთვისაც ნებისმიერი ხიდი საჭიროებს შესაბამისი სამსახურების მუდმივ ზედამხედველობას და აღმოჩენილი დეფექტებისა და დაზიანებების დროულად აღმოფხვრას.

ხიდს შეიძლება გააჩნდეს შემდეგი დაზიანებები: ბეტონის გამოტუტვა, ბზარების გაჩენა, ფოლადის კოროზია, მერქნის ლპობა, სავალი ნაწილის ელემენტების დეფორმაცია და რღვევა მოძრავი ტრანსპორტის გავლენით და სხვ., რაც თანდათანობით ამცირებს ხიდის მზიდუნარიანობასა და საექსპლუატაციო უსაფრთხოებას.

ძველი ხიდების უმეტესობა ტვირთამწეობის მიხედვით ვეღარ აკმაყოფილებს თანამედროვე მოთხოვნებს, რადგან საგრძნობლად არის გაზრდილი საავტომობილო თუ სარკინიგზო ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობა და ტონაჟი, ამიტომ დღის წესრიგში დგება მათი შეცვლა ახალი ხიდებით, რომლებსაც მეტი გაბარიტები და ტვირთამწეობა ექნებათ. ეს კი ფინანსების დიდ დანახარჯებთანა დაკავშირებულია. ხიდების ექსპლუატაციის რაციონალური ორგანიზაციის პრაქტიკამ გვიჩვენა, რომ სახელმწიფოსათვის მომგებიანია ხიდების არა მარტო მოვლა და გეგმური რემონტი, არამედ მათი გაძლიერება, აღდგენა და რეკონსტრუქცია.

გაძლიერება ეხება მთელ ხიდს ან მის ცალკეულ ელემენტს გაბარიტების შენარჩუნებით ან შეცვლით.

ხიდის სამსახურის ვადას განსაზღვრავს ფიზიკური და მორალური ცვეთა. **ფიზიკური ცვეთა** ნიშნავს ექსპლუატაციის პერიოდში გაჩენილი დეფექტებისა და დაზიანებების დაგროვებას, რის გამოც ხიდს აღარ შეუძლია აიტანოს მასზე მოქმედი საანგარიშო დატვირთვები, ხოლო **მორალური ცვეთა** ნიშნავს იმას, რომ ხიდი უკვე აღარ შეესაძლებება ტვირთამწეობის, ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობის, სიჩქარის და უსაფრთხოების მოთხოვნებს. ითვლება, რომ თანამედროვე პირობებში ნებისმიერი ხიდის მორალური ცვეთა იწყება 30 წლის ასაკიდან. რაც შეეხება ფიზიკურ ცვეთას, ნორმალურ კლიმატურ პირობებში (დედამიწის შუა სარტყელი) ხის ხიდებისათვის შეადგენს 15-20 (მოდულიფიცირებული და ნანომერქნის გამოყენებით 30-50) წელს, რკინაბეტონის ხიდებისათვის – 60-70 წელს, ფოლადის ხიდებისათვის – 80-90 წელს, შერეული მასალის ხიდებისათვის – 40-50 წელს.

ხიდების გაძლიერებისთვის გამოიყენება ახალი ეკონომიური მეთოდები, რომლებიც ითვალისწინებს საშიშ ზონებში დამატებით ფოლადისა და კომპოზიტური არმატურის დაყენებას. დამატებითი არმატურა არსებულ არმატურასა და ბეტონთან ერთობლივად ერთვება მუშაობაში ეპოქსიდური და პოლიეთერული ფისების საფუძველზე დამზადებული პოლიმერული ხსნარების მეშვეობით, რომლებსაც მაღალი ადჰეზიური თვისებები ახასიათებთ არმატურისა და ბეტონების მიმართ, თანაც სწრაფად მყარდება და საშუალებას იძლევა გაძლიერებული ობიექტი სწრაფადვე შევიდეს ექსპლუატაციაში. გარდა აღნიშნულია, პოლიმერხსნარებით შესაძლებელია ხიდებში არსებული სხვა ზედაპირული დეფექტების აღმოფხვრა.

ამჟამად დასავლეთის ბევრ ქვეყანაში ფართოდ გამოიყენება მინაფიბრობეტონის კონსტრუქციები ხიდის ვაკისის ფილის გასაძლიერებლად, აგრეთვე ტროტუარის ბლოკების დამცავი ფენის აღსადგენად. მიმდინარეობს სამუშაოები ამავე დანიშნულებით ბაზალტფიბრობეტონების გამოსაყენებლადაც.

ძველი ხიდების შეცვლა ახლით გამართლებულია იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა შეიცვალოს მალის ნაშენის მზიდი კოჭების უმეტესობა ან საჭირო ხდება საყდენი ბურჯების სერიოზული გადაკეთება ან იგეგმება ხიდის განლაგების შეცვლა; რეკონსტრუქციისას კი ცვლიან ან აძლიერებენ ცალკეულ მზიდ კოჭებს, ხოლო კონსტრუქციების ძირითადი ნაწილი ექსპლუატაციაში რჩება და თანაც არ საჭიროებს ხიდზე მოძრაობის გაჩერებას (საკმარისია შეზღუდვა). კომპოზიტური მასალების გამოყენება უზრუნველყოფს ხიდების აღდგენა-გაძლიერების სამუშაოების სწრაფად და ხარისხიანად ჩატარებას, საშენი მასალების ეკონომიასა და მინიმალურ შრომით დანახარჯებს.

ხიდის დათვალიერება და გამოკვლევა ტარდება იმ მიზნით, რომ შეფასდეს ფიზიკური მდგომარეობა, შემოწმდეს დადგენილ მოთხოვნებთა კონსტრუქციის შესაბამისობა, მოხდეს ნაგებობის მუშაობის პირობების ანალიზი, დადგინდეს

დაზიანებებისა და დეფექტების გაჩენის მიზეზები, მათი გავლენა ხიდის მზიდუნარიანობაზე (ტვირთამწეობაზე) და სხვ. ეს სამუშაოები სრულდება ხიდის გამოცდის ან ექსპლუატაციაში მიღების წინ, აგრეთვე ექსპლუატაციის პერიოდშიც. გამოკვლევის მოცულობა დამოკიდებულია ხიდის მალის ნაშენის და საყრდენების ფიზიკურ მდგომარეობაზე და საპროექტო დოკუმენტაციის არსებობა-არარსებობაზე. გამოკვლევის შედეგები ფორმდება ტექნიკური ანგარიშის სახით. ზოგადად გამოკვლევას ექვემდებარება: მალის ნაშენი, საყრდენები, მალის ნაშენის მთავარი და დამხმარე კოჭები, კონსოლები, ტროტუარები, მოაჯირები, გზის საფარი, შემომზღუდაბი ბორდიურები, სანაპიროები, მისასვლელები, მიწაყრილები და სხვა დამხმარე ელემენტები.

გამოკვლევის ჩატარებისას უნდა დადგინდეს ხიდის მშენებლობის წლები, საანგარიშო დატვირთები დაპროექტების სტადიაში, დაპროექტების ტექნიკური პირობები და მშენებლობაში გამოყენებული მასალების წარმომავლობა და ხარისხი. მოხდეს მალის ნაშენის ნახაზების შემოწმება ან ახლის შედგენა, ყველა დეფექტის დაფიქსირება და გამოყენებული ძირითადი საშენი მასალების (ბეტონი, ლითონი, ხე) ფაქტობრივი სიმტკიცე. საყალიბე ნახაზების მიმართებაში უნდა მოხდეს მალის ნაშენის გეომეტრიული ზომების შემოწმება.

რკინაბეტონის ხიდების შემოწმებისას, ბეტონის გარდა, უნდა მოხდეს არმატურის მდგომარეობის სრული გამოკვლევა.

ფოლადის ხიდებში ძირითადი ყურადღება ექცევა მოქლონებით და ჭანჭიკებით შეერთებებს, დაღლილობით ბზარებს, კოროზიასა და მექანიკურ დაზიანებებს, ხოლო ხის ხიდებში – ლჰობას, ბიო- და მექანიკურ დაზიანებებს.

რკინაბეტონის ხიდების კომპოზიტური მასალებით გაძლიერების მაგალითები მოცემულია სურ. 11.10 – 11.15-ზე.



სურ. 11.10. ხიდის მალის ნაშენის გაძლიერება ნახშირბადკომპოზიტური ლენტით



**სურ. 11.11. გრძივი მზიდი კოჭების
გაძლიერება ნახშირბადბოჭკოვანი
ლენტიტ**



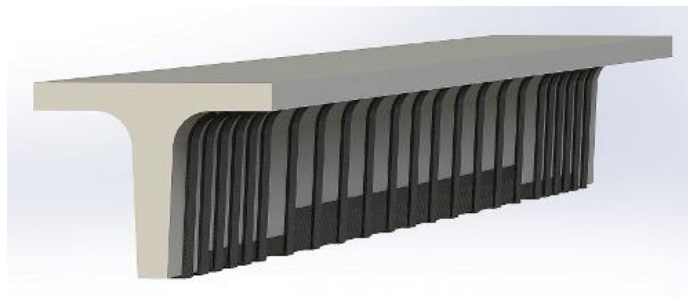
**სურ. 11.12. ავტოსაგზაო
ხიდის გრძივი წიბოების
გაძლიერება ნახშირბად-
ბოჭკოვანი ლენტიტ**



**სურ. 11.13. რკინაბეტონის ხიდის
მაღის ნაშენის მზიდი კოჭების
გაძლიერება ზოლოვანი ნახშირ-
ბადფიბროპლასტიკით**



**სურ. 11.14. რკინაბეტონის ხიდის
შუა საყრდენების გაძლიერება
ნახშირბადბოჭკოვანი ლენტიტ
FibArm (რუსეთის ფედერაცია)**



**სურ. 11.15. ხიდის მსლის ნაშენის კონსტრუქციული ელემენტის
გაძლიერება კომპოზიტური ლენტიტ ITCWRAP® BF1-016**

11.7. ქვის კონსტრუქციების გაძლიერება

ქვის კონსტრუქციებში მოიაზრება შენობები და კონსტრუქციები აგებული ბუნე-
ბრივი ქვის, აგურის, ბლოკის გამოყენებით. ასეთი კონსტრუქციების გაძლიერების

უძველესი და უმარტივესი სახეობაა ფოლადის კარკასების (სურ. 11.16) გამოყენება შებათქაშებით ან მოჭიმვა ფოლადის ჭიმების (ამატურა, ბაგირი, კუთხედი, შველერი) მეშვეობით (სურ. 11.17). კარკასების დასამზადებლად გამოიყენება ფოლადის ღეროვანი არმატურა, ბადეები და გაგლინული პროფილები. ქვის კონსტრუქციების გაძლიერება საჭიროა იმ შემთხვევაში, როცა:



სურ. 11.16. აგურის კედლების გაძლიერება ფოლადის არმატურის კარკასით



სურ. 11.17. აგურის კედლების გაძლიერება ფოლადის კუთხედებითა და ჭიმებით

- საძირკვლების დეფორმაციის შედეგად შეინიშნება კედლის რღვევა;
- დაძველების შედეგად კედლის ექსპლუატაციის გაგრძელება დაუშვებელია გაჩენილი დიდი დეფექტების გამო;
- ნაგებობის ელემენტები დარღვეულია ავარიის ან ბუნებრივი კატასტროფის შედეგად;
- შენობის ექსპლუატაცია გრძელდება მასში ჩადებული რესურსის ამოწურვის შემდეგაც.

ფოლადით დაარმირებული ბეტონის გარსაცმით ქვის კედლებისა და სვეტების გაძლიერება დაკავშირებულია დიდ მატერიალურ და შრომით დანახარჯებთან და კონსტრუქციის წონის მნიშვნელოვან ზრდასთან, რასაც უმეტეს შემთხვევაში თან სდევს საძირკვლების მზიდუნარიანობის გაზრდის აუცილებლობაც. ამ სირთულეების თავიდან აცილება შესაძლებელია, თუ გასაძლიერებლად გამოვიყენებთ ახალ ინოვაციურ მასალას – ნახშირბადბოჭკოვან კომპოზიტურ პლასტიკებს (სურ. 11.18; სურ. 11.19). მისი გამოყენება ითვალისწინებს შემდეგ ეტაპებს:

- ქვის წყობის დაზიანებული ნაწილების აღდგენა;
- აღდგენილ ზედაპირზე ნახშირბადბოჭკოვანი ლენტის ან ბადის აკვრა;
- ზედაპირზე ბათქამის თხელი ფენის დატანა ფასადის ესთეტიკური სახის შესანარჩუნებლად.

თუ აღსადგენ კედელში დეფორმირებულია დიობები და გასასვლელები, მაშინ მათი გაძლიერება ხდება ფოლადის ან რკინაბეტონის გარსაცმის მეშვეობით ან კომპოზიტური ლენტით (სურ. 11.20).



სურ. 11.18. აგურის მზიდი გარე კედლის გაძლიერება ნახშირბადბოჭკოვანი კომპოზიტიური ლენტით



სურ. 11.19. აგურის სვეტის გაძლიერება ნახშირბადბოჭკოვანი კომპოზიტიური გარსაცმით



სურ. 11.20. ქვის კედლის ღიობის გაძლიერება ნახშირბადბოჭკოვანი ლენტით

11.8. კობიასის სისტემები მონოლითურ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში

რკინაბეტონი ფართოდ გამოიყენება საცხოვრებელი და კომერციული დანიშნულების ობიექტების მშენებლობაში. მათ გამოარჩევთ მაღალი სიმტკიცე, სიხისტე, ტექნოლოგიურობა, ცეცხლმედეგობა, სიიაფე, ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა და სხვა უამრავი დადებითი თვისება. თუმცა რკინაბეტონს აქვს მნიშვნელოვანი ნაკლიც – დიდი წონა, რის გამოც შენობა-ნაგებობა მოითხოვს დიდი ზომის საძირკვლებს, საჭირო ხდება ბევრი მზიდი ელემენტისა და კონსტრუქციის დამატებითი გაძლიერება, ანტისეისმური ღონისძიებების ჩატარება, დაცვა აგრესიული გარემოს

ზემოქმედებისაგან და სხვ., რაც საბოლოო ჯამში მოქმედებს სახარჯთაღრიხვო დანახარჯებზე.

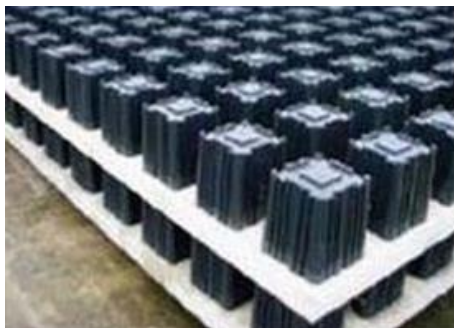
მშენებლობაში რკინაბეტონის გამოჩენის დღიდან მეცნიერები, ინჟინრები და კონსტრუქტორები მუდმივად ეძებდნენ და დღესაც ეძებენ რაციონალურ გზებს რკინაბეტონის ნაკეთობების წონის შესამცირებლად. ამის კარგი მაგალითია XIX საუკუნის 30-იან წლებში თბილისში შექმნილი სართულშუა გადახურვის მრავალსიბრტეობიანი ფილების – ე. წ. სიმკარების (სურ. 11.21) გავრცელება ყოფილ საბჭოთა კავშირსა და მსოფლიოს ბევრ ქვეყანაში.



სურ. 11.21. მრავალსიბრტეობიანი რკინაბეტონის ფილები

ამ მიმართულებით უდაოდ საინტერესოა შვეიცარიული სისტემა კობიაქსის ტექნოლოგია დაფუძნებული სისტემა „ბაბლდეკ“-ზე (იყენებს მეორადი პოლიმერული მასალების და პლასტიკების ნარჩენებს ბურთულების დასამზადებლად), რის შედეგადაც მცირდება რკინაბეტონის კონსტრუქციების წონა და უტილიზაციისათვის გაკუთვნილი პლასტმასის ნარჩენები კვლავ გამოიყენება ახალ მშენებლობაში გარემოს დაუზიანებლად.

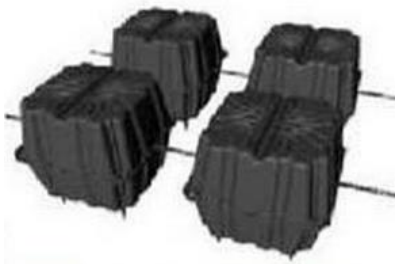
ბაბლდეკის სისტემა სამშენებლო სივრცეში გამოჩნდა 1992 წელს (ავტორი დანიელი ინჟინერ-მშენებელი იორგენ ბრიონინგი) და წარმოადგენს სიცარიელებიან რკინაბეტონის გადახურვას. კონსტრუქციული თვალთახედვით იგი შედგება მზა მოდულებისგან: ყალიბი, არმატურის კარკასი, ბალები და სხვადასხვა ფორმის (უპირატესად სფერული) სიცარიელეწარმომქმნელი სადებები (პლასტიკური ნაკეთობები). ცნობილია სიცარიელეწარმომქმნელი სადების (სს) სახეები: აირდეკი, ბაბლდეკი, ნაუტილუსი, კობიაქსი, ბიიპლეიტი, უ-ბუტ ბეტონი, უ-ბან ბეტონი, დონატ ტაიპი (სურ. 11.22 – სურ. 11.29).



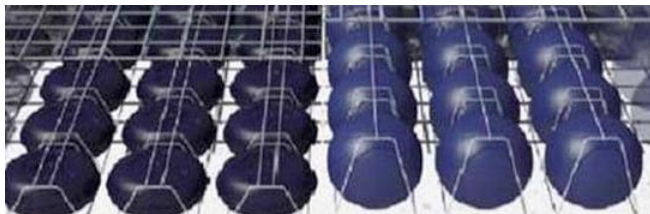
სურ. 11.22. სადები აირდეკი (Airdeck)



სურ. 11.23. სადები ბაბლდეკი (BubbleDeck)



სურ. 11.24. სადები ნაუტილუსი (Nautilus)



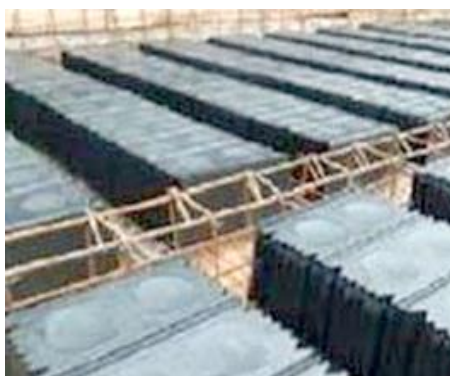
სურ. 11.25. სადები კობიაქსი (Cobiax)



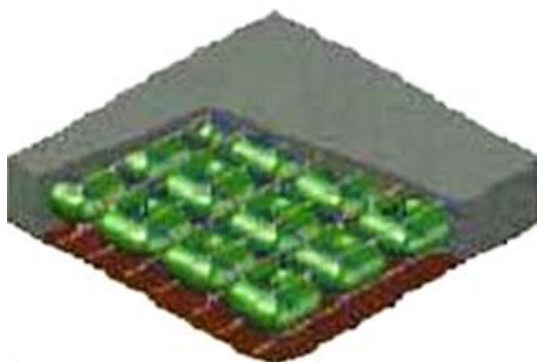
სურ. 11.26. სადები ბიიპლეტი (Beeplate)



სურ. 1.27. სადები უ-ბუტ ბეტონი (U-Boot Beton)



სურ. 11.28. სადები უ-ბან ბეტონი (U-Bahn Beton)



სურ. 11.29. სადები დონატ ტაიპი (Donut Type)

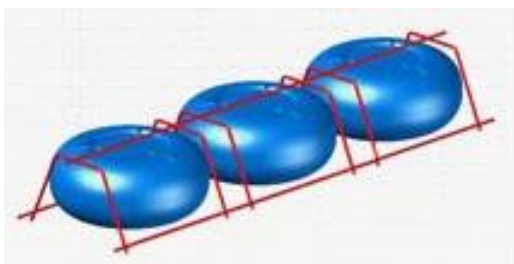
კობიაქსის სს სადები წარმოადგენს ჰაერით შევსებულ სფერულ ბურთს, რომლის გარსი დამზადებულია პოლიპროპილენის ნაკეთობების მეორადი ნარჩენებისგან. შესაძლებელია მისი დამზადება სხვა პოლემერებისგანაც (პოლიეთილენი, პოლივინილქლორიდი), რომლებიც ქიმიურ რეაქციაში არ შედიან ბეტონის მასასთან. მისი გამოყენების ტექნოლოგია შემდეგია: ყალიბის მოწყობა, ფილის ღეროვანი არმატურის ქვედა ბადის მონტაჟი, კობიაქსის ბურთუ-

ლების ჩაწობა (ბურთულების გარკვეული რაოდენობა წინასწარაა განთავსებული წვრილი არმატურის კარკასში), ფილის არმატურის ზედა ბადის მონტაჟი და ბოლოს გადახურვის ფილის დაბეტონება (სურ. 11.30 – სურ. 11.33).

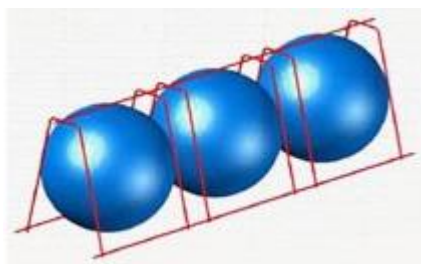


11.30. რკინაბეტონის მონოლითური მოედნის მოწყობა კობიაქსის სისტემის გამოყენებით

ა)



ბ)



სურ. 11.31. კობიაქსის სისტემის კარკასი სამი ბურთულით:
 ა – სისტემა სლაიმ-ლაინი; ბ – სისტემა ეკო-ლაინი



სურ. 11.32. კობიაქსის სისტემის მონტაჟი



სურ. 11.33. მონოლითური მოედნის დაბეტონების პროცესი

ასეთი ტექნოლოგიით შესაძლებელია მონოლითური რკინაბეტონის სართულ-შუა გადახურვების, გასართობი და სპორტული მოედნების, საფეხმავლო გადასასვლელებისა და პანდუსების, სამხედრო სააღლუმო და სასწავლო პლაცების მოწყობა, აგრეთვე დიდმალიანი კონსტრუქციების აგება და სხვ. მოედნის სისქე მიიღება 20-60 სმ-ის ფარგლებში. ბეტონის მარკა B20...B60.

კობიაქსის სისტემები არ გამოიყენება მაღალი პასუხისმგებლობის მქონე შენობებში, წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციებში, აგრეთვე მსუბუქ, დაფორმებულ და საშუალო სიმკვრივის ბეტონებში. მიღებულია, რომ გამოყენებული ბეტონის სიკვრივე უნდა იყოს 2200-დან 2500-მდე კგ/მ³.

კობიაქსის სიცარიელებიანი მოდულები იწარმოება ორი სახის:

- ეკო-ლაინი (Eco-Line) – სფერული ფორმის ნაკეთობები, რომლებიც გამოიყენება ფილებში სისქით 30...60 სმ (იხ. სურ. 11.31,ბ);
- სლაიმ-ლაინი (Slime-Line) – ბრტყელი (ბადროს) ფორმის ნაკეთობები, რომლებიც გამოიყენება ფილებში სისქით 20...35 სმ (იხ. სურ. 11.31,ა).

კობიაქსის სისტემა გადახურვებში პირველად გამოყენებული იყო XX საუკუნის ბოლოს არაკომერციული კერძო კოლეჯის Harvey Mudd-ის შენობის აგებისას ქ. კლერმონტი, აშშ (სურ. 11.34), ხოლო ამჟამად ასეთი სისტემები გამოიყენება 50-ზე მეტ ქვეყანაში.



სურ. 11.34. კოლეჯი Harvey Mudd, ქ. კლერმონტი, აშშ

კობიაქსის სისტემის დადებითი თვისებები:

- რკინაბეტონის ფილის წონის შემცირება (20...40%) ბეტონის ხარჯზე, რომელიც პრაქტიკულად მონაწილეობას არ ღებულობს ფილის მუშაობაში და ერთდროულად არ აუარესებს ნაკეთობის სიმტკიცის მახასიათებლებს;
- მთლიანკვეთიან ფილასთან შედარებით 20...35%-ით ზრდის ფილის მზიდუნარიანობასა და ღუნვით სიხისტეს.
- სარდაფისა და საძირკვლის კონსტრუქციებზე გადაცემული დატვირთვების შემცირება;
- ფილის საექსპლუატაციო მახასიათებლების სრული შენარჩუნება ხარისხის გაუარესების გარეშე;
- შედარებით დაბალი ტვირთამწეობის ამწეების გამოყენება სამონტაჟო სამუშაოების შესრულებისას;
- მეორადი გადამუშავების პოლიმერული ნარჩენების გამოყენება;
- მშენებლობის წარმოება შედარებით სუსტ გრუნტებზე;
- რკინაბეტონის გადახურვების მაღალი ბგერა- და თბოსაიზოლაციო თვისებები;
- მშენებლობის ვადების შემცირება;
- საგრძნობი ეკონომია ბეტონის მასისა და სატრანსპორტო ხარჯების შემცირების გამო.

კობიაქსის სისტემის უარყოფითი თვისებები:

- ❑ ჯერჯერობით არ არსებობს სისტემის გამოკვლევების სრული პაკეტი და შესაბამისი ნორმატიული დოკუმენტაცია, რაც მნიშვნელოვნად აფერხებს მის გამოყენებას მშენებლობაში;
- ❑ არ გამოიყენება მაღალი პასუხისმგებლობის დონის შენობებში;
- ❑ შეზღუდულია გამოყენების არე; დასაშვებია მისი გამოყენება ბეტონებში სიმკვრივით 2200...2500 კგ/მ³;
- ❑ დასამუშავებელია საექსპლუატაციო ხანგამძლეობისა და სიმტკიცის მახასიათებლების გაანგარიშების საკითხები.

კობიაქსის სისტემის ძირითადი იდეა ემყარება რკინაბეტონის კონსტრუქციის ელემენტების წონის შემცირებას სიცარიელეწარმომქმნელი სადების გამოყენებით, რომელიც დაბეტონების შემდეგ რჩება ნაკეთობაში. მნიშვნელოვანია ის, რომ კობიაქსის ბურთულები ზრდის ელემენტის სიხისტეს და არ ამცირებს სიმტკიცის მახასიათებლებს. ეს სისტემა ეფექტურია დიდმალიან კონსტრუქციებშიც.

რუსეთსა და პოსტსაბჭოთა ქვეყნებში მშენებლობის ეს მიმართულება შესწავლისა და დამუშავების პროცესშია. არსებობს მოსკოვის სახელმწიფო სამშენებლო უნივერსიტეტის რეკომენდაციები კობიაქსის ტექნოლოგიების გამოყენებაზე მშენებლობაში რუსეთის ფედერაციის სამშენებლო ნორმებისა და წესების მოთხოვნების გათვალისწინებით.

რკინაბეტონის კარკასული შენობის სართულშუა გადახურვის 2,5 მ სიგრძის კობიაქსის ბურთულებიანი არმატურის მოდულების მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 11.1...11.4-ში

ცხრილი 11.1

კობიაქსის ტექნოლოგიის არმატურის მოდულის ტიპები (Slime-Line)

ტიპი	გადახურვის სისქე, მმ	სადების სიმაღლე, მმ	არმატურის უჯრედის სიმაღლე, მმ	ბეტონის ხარჯის შემცირება, მ ³ /სმ ²
S-100	200	100	115	0,056
S-120	220	120	135	0,066
S-140	250	140	155	0,075
S-160	280	160	175	0,084
S-180	300	180	195	0,093
S-200	320	200	215	0,102
S-220	350	220	235	0,112
S-240	380	240	255	0,124
S-260	400	260	275	0,135

ცხრილი 11.2

კობიაქსის ტექნოლოგიის (Slime-Line) გადახურვის კონსტრუქციის
ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები

გადახურვის კონსტრუქციული სისქე, სმ	ერთი სადების მოცულობა, სმ ³	სადების ბიჯი, სმ	სადების რაოდენობა, ცალი	სადებების მოცულობა, მ ³ /მ ²	გადახურვის დაყვანილი სისქე, სმ
20	6364	35	8,8	0,056	14,4
22	7500	35	8,8	0,066	15,4
25	8523	35	8,8	0,075	17,5
28	9545	35	8,8	0,084	19,6
30	10568	35	8,8	0,093	20,7
32	11591	35	8,8	0,102	21,8
35	12727	35	8,8	0,112	23,8
38	14091	35	8,8	0,124	25,6
40	15341	35	8,8	0,135	26,5

ცხრილი 11.3

კობიაქსის ტექნოლოგიის არმატურის მოდულების ტიპები (Eco-Line)

ტიპი	გადახურვის სისქე, მმ	სადების დიამეტრი, მმ	არმატურის უჯრედის სიმაღლე, მმ	ბეტონის ხარჯის შემცირება, მ ³ /მ ²
E-270	400	270	280	0,115
E-315	450	315	325	0,134
E-360	500	360	371	0,153
E-405	550	405	416	0,172
E-450	600	450	462	0,191

ცხრილი 11.4

კობიაქსის ტექნოლოგიის (Eco-Line) გადახურვის კონსტრუქციის
ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები

გადახურვის კონსტრუქციული სისქე, სმ	ერთი სადების მოცულობა, სმ ³	სადების ბიჯი, სმ	სადების რაოდენობა, ცალი	სადებების მოცულობა, მ ³ /მ ²	გადახურვის დაყვანილი სისქე, სმ
------------------------------------	--	------------------	-------------------------	--	--------------------------------

40	6364	30	11.2	0,115	28,5
45	7500	35	8,3	0,134	31,6
50	8523	40	6.2	0,153	34,7
55	9545	45	5.1	0,172	37,8
60	10568	50	2.9	0,191	40,9

კონსტრუქციების დაპროექტება ღრუ სადებების (ეკო-ლაინი და სლაიმ ლაინი) გამოყენებით წარმოებს მასიური რკინაბეტონის ელემენტების ანალოგიურად მოქმედი სამშენებლო ნორმების მიხედვით. პირველ ეტაპზე ხდება კონსტრუქციის დაპროექტება და გაანგარიშება მოქმედ დატვირთვებზე და საჭირო არმატურის შერჩევა. როცა გვეცოდინება არმატურის დიამეტრები და განლაგების ბადე (ფილის ზედა და ქვედა ბადეები) ვირჩევთ კობიაქსის სისტემის კარკასს (სიგრძე, სიმაღლე) და ბურთულის ზომებს მოდულის სახეობის მიხედვით (სფერული, ბრტყელი), აგრეთვე მოდულების განთავსების ადგილებს. შემდეგ ფილის გაანგარიშებას ახდენენ როგორც ორტესებრი კოჭისას, რომლის ნეიტრალური ღერძი გადის შეკუმშული თაროს ფარგლებში.

ეკო-ლაინი და სლაიმ ლაინი სისტემის სადებების მონტაჟი მიმდინარეობს შემდეგი თანამიმდევრობით:

- გრძივი ან სივრცითი კობიაქს-მოდულების მიტანა ობიექტზე (მოდული შედგება არმატურის კარკასისა და ბურთულებისგან);
- პროექტის მიხედვით კობიაქს-მოდულების მონტაჟი და ფიქსაცია ფილის ქვედა არმატურის ბადის მოწყობის შემდეგ;
- დამონტაჟებული მოდულების ფიქსაციის კონტროლი;
- ფილის ზედა არმატურის ბადის მოწყობა;
- ფილის ქვედა და ზედა არმატურის ბადეების კავშირების მონტაჟი.

(ეკო-ლაინი და სლაიმ ლაინი)

გადახურვის ფილის დაარმირებისა და კობიაქსის სისტემის მონტაჟის შემდეგ ხდება ფილის დაბეტონება. პირველ ეტაპზე კეთდება ბეტონის შრე, რომელიც ფარავს ფილის ქვედა არმატურის ბადეს 3-5 სმ-ით, ყოვნდება 35 წთ (ბეტონის ნარევის შეკვრის დაწყებამდე) და შემდეგ ისხმება საპროექტო ნიშნულამდე. შრეობრივი დაბეტონების მიზანია მოახდინოს კობიაქსის ბურთულების ფიქსაცია და ამომგდები ძალის კომპენსაცია. ბეტონის მარკა მიიღება B20...B60.

11.9. კონსტრუქციების გაძლიერების კარბონვრაპის სისტემები (CarbonWrap)

ჩვენს ქვეყანაში, კერძოდ დიდ ქალაქებში, უამრავი საცხოვრებელი სახლი, სამრეწველო შენობა-ნაგებობა, ხიდი, გზაგამტარი, ესტაკადა, მაგისტრალური მილსა-

დენი და სხვა ობიექტია ავარიულ მდგომარეობაში და სასწრაფოდ აღდგენას, რეკონსტრუქციას, გაძლიერებას ექვემდებარება. ტრადიციული სარემონტო სამუშაოები კი დიდ ფინანსურ და მატერიალურ ხარჯთანაა დაკავშირებული, რისი საშუალებაც უმეტეს შემთხვევაში მუნიციპალურ სამსახურებს არა აქვთ.

ამ პრობლემის ნაწილობრივ გადასაჭრელად, უკვე სამი ათეული წელია, დასავლეთის ანალოგიურად პოსტსაბჭოთა ქვეყნებმაც აქტიურად დაიწყეს შენობა-ნაგებობების გაძლიერება და რემონტი კომპოზიტური მასალების გამოყენებით. ასეთ მასალებს პირველ რიგში მიეკუთვნება ნახშირბადის ბოჭკოზე დამზადებული გარე დაარმირების სისტემა „კარბონვრაპი“ (CarbonWrap), რომელსაც იყენებენ სამრეწველო და საცხოვრებელი შენობების და ნაგებობების სამშენებლო კონსტრუქციების, ატომური და ჰიდროენერგეტიკის ობიექტების, სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის, მილსადენების, რეზერვუარების და მისთ. სარემონტოდ და გასაძლიერებლად. მათი საშუალებით ხდება ბეტონის დაშლის და არმატურის კოროზიის პროცესის შეჩერება. ხშირად იყენებენ კონსტრუქციების სეისმურობის ასამაღლებლადაც.

სისტემის მთავარი კომპონენტია ნახშირბადის ბოჭკოზე დამზადებული ერთმიმართულებიანი ლენტები (სურ. 11.35) და ქსოვილები, რომლებიც ადჰეზივის (უმეტესად ეპოქსიდურის) მეშვეობით დაეკრება გასაძლიერებელ კონსტრუქციას და 15-20%-ით ამაღლებს მის მზიდუნარიანობას (სურ.11.36).



სურ. 11.35. ნახშირბადის კომპოზიტური ლენტი



სურ. 11.36. სისტემა კარბონვრაპით გაძლიერებული რკინაბეტონის ხიდის მალის ნაშენი

ნახშირბადის ლენტი მზადდება ორგანული ნახშირბადის ბოჭკოებისგან ინერტულ გარემოში მათალტემპერატურული ზემოქმედებით. სიმკვრივე 230...530 გ/მ².

კარბონვრაპის უპირატესობა კონსტრუქციების გაძლიერების სხვა ტრადიციულ მეთოდებთან შედარებით შემდეგია:

- სამშენებლო კონსტრუქციების რემონტის, გაძლიერების, დროებითი და შრომითი დანახარჯების შემცირება;
- სარემონტო სამუშაოების შესრულება წარმოების გაუჩერებლად;
- რემონტებს შორის ვადის გაზრდა;

- მცირე საკუთარი წონა და გასაძლიერებლად გამოყენებული მასალის ძალიან თხელი ფენა;
- რემონტისათვის მცირე სივრცის საკმარისობა;
- მედეგობა აგრესიული გარემოს და კოროზიისადმი;
- ნახშირბადოვანი მასალების მაღალი მექანიკური მახასიათებლები და ადჰეზიის შესანიშნავი უნარი;
- რემონტის მიმდინარეობა სუფთა გარემოში;
- არ საჭიროებს შედუღებით სამუშაოებს;
- კონკურენტული ფასი.

სხვადასხვა მარკის ნახშირბადის ლენტის მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 11.5-ში.

ცხრილი 11.5

ლენტის მარკა	პარამეტრები					
	სიგანე, მმ	ზედაპირის სიმკვრივე, გ/მ ²	წაგრძელებათვის გაგლეჯაზე, %	ლენტის მონოშრის საანგარიშო სისქე, მმ	დრეკადობის მოდული, $\cdot 10^3$, მპა	სიმტკიცე გაჭიმვაზე, $\cdot 10^3$, მპა
ერთმიმართულებიანი ნახშირბადის ლენტი						
CarbonWrap® Tape 230/150	150	230	1,8	0,128	245	4,9
CarbonWrap® Tape 230/300	300	230	1,8	0,128	245	4,9
CarbonWrap® Tape 230/600	600	230	1,8	0,128	245	4,9
CarbonWrap® Tape 530/150	150	530	1,8	0,294	245	4,9
CarbonWrap® Tape 530/300	300	530	1,8	0,294	245	4,9

CarbonWrap® Tape 530/600	600	530	1,8	0,294	245	4,9
--------------------------	-----	-----	-----	-------	-----	-----

კარბონვრაპის სისტემით კონსტრუქციების გაძლიერების ტექნოლოგია მოიცავს შემდეგ ეტაპებს:

- გასაძლიერებელი ელემენტის ზედაპირის აღდგენის სარემონტო სამუშაოები (ბზარების, დაზიანებების შელესვა);
- გასაძლიერებელი ელემენტის ზედაპირის მომზადება (გასუფთავება);
- გასაძლიერებელი ელემენტის ზედაპირის დაკვალვა პროექტის შესაბამისად;
- ადჰეზივის (შემკვრელის) მომზადება და დატანა ზედაპირზე (CarbonWrap® Resin+);
- ლენტის დაწებება გასაძლიერებელ ელემენტზე (CarbonWrap® Tape/CarbonWrap® Fabric);
- ადჰეზივის დატანა დაწებებულ ლენტზე (CarbonWrap® Resin+);
- დამცავი ფენის დატანა ზედაპირზე.

ამერიკული (FEMA 273), ევროპული (Eurocode-8), რუსული (СП 164.1325800.2014), ინდური ((SERC) და სხვა ქვეყნების სამშენებლო ნორმებითა და რეკომენდაციებით, რომლებიც შეეხება რკინაბეტონისა და ქვის კონსტრუქციებისგან აგებულ შენობებს, გათვალისწინებულია ელემენტების გაძლიერების სხვადასხვა მეთოდები, კერძოდ მოჩარჩოება ფოლადის პროფილებით, სარტყლებით, სპირალებით (სვეტები, კელღებსშორისები, ქვის წყობა), ფოლადის ფურცლების გამოყენება (კოჭები, ფილები), გარე გაძლიერება რკინაბეტონის ფენების დამატებით (რიგელები, კოჭები, საყრდენი კედლები, ხიდები, ესტაკადები), დაზიანებული კოჭების, სვეტების, კვანძების ლოკალური შეცვლა ფოლადის გარსაცმით ან ფიბრული მასალის საფარით დაფარვა, ბზარების ინექცია ცემენტის ან პოლიმერბეტონის ხსნარით, კონსტრუქციულ ელემენტებს შორის კავშირების გაუმჯობესება, ჰორიზონტალური დიაფრაგმების გახისტება, ქვის შენობებში ჭიმების გამოყენება, ტორკრეტირება, საძირკვლის ფუძის გაძლიერება ცემენტაციით ან გრუნტის კონსოლიდაციით, დაზიანებული განივი არმატურის შეცვლა ფოლადის თხელი ფირფიტების გარსაცმით და სხვ.

ყველა ჩამოთვლილი მეთოდი დაკავშირებულია საგრძნობ მატერიალურ და ფინანსურ დანახარჯებთან, ამასთანავე მათი დიდი ნაწილი მოითხოვს შენობის ექსპლუატაციის შეჩერებას, ამწე-სატრანსპორტო ტექნიკას, სამემდუღებლო აპარატურას, ნგრევით სამუშაოებს და ა. შ. ყოველივე ამის თავიდან ასაცილებლად, იმავე შედეგების მისაღწევად, სადაც ეს შესაძლებელია, უმჯობესია გარე დაარმირების სისტემის „კარბონვრაპის“ გამოყენება.

აღნიშნული სისტემის გამოყენებისთვის კი აუცილებელია გაგვარდეს გაძლიერებული კონსტრუქციის გაანგარიშების მექანიზმი, რომლის საფუძველზე უნდა შედგეს კონსტრუქციის გაძლიერების პროექტი და დამკვეთს ჰქონდეს სრული გარანტიები აღდგენილი ელემენტის მზიდუნარიანობისა და საექსპლუატაციო ვადის შესახებ. ამ მიზნის განსახორციელებლად, სხვადასხვა ქვეყნის ნორმატიულ დოკუმენტებზე დაყრდნობით, მოხდა რკინაბეტონის სვეტის გაძლიერების სქემის შემუშავება და მისი გაანგარიშების ალგორითმის (თანამიმდევრობის) შედგენა. მოვახდინეთ რეალური სვეტის გაანგარიშე ბა, რომლის შედეგების ანალიზი მოცემულია პარაგრაფის დასკვნით ნაწილში.

კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის სვეტის სიმტკიცეზე გაანგარიშების ალგორითმი:

გასაანგარიშებელია ნახშირბადის ბოჭკოებზე დამზადებული კომპოზიტური მასალით (CarbonWrap®) გაძლიერებული გარეცენტრალურად (ექსცენტრულად) შეკუმშული რკინაბეტონის სვეტი სიმტკიცეზე.

საწყისი მონაცემები:

რკინაბეტონის სვეტის განივკვეთი – $b \times h$ მმ;

სვეტის სიგრძე – l მ;

ბეტონის დამცავი შრის სისქე – $a = a'$ მმ;

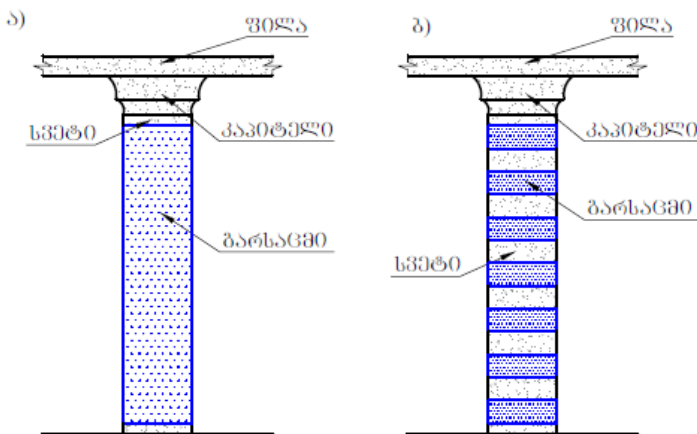
ბეტონის კლასი B15; საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე $R_b = 8,5$ მპა; დრეკადობის მოდული $E_b = 24000$ მპა;

გრძივი არმატურა – 4Ф12 A500; $A_s = 4 \cdot 1,131 = 4,52$ სმ² = 452 მმ²;

არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე $R_s = 435$ მპა; კუმშვაზე – $R_{sc} = 400$ მპა;

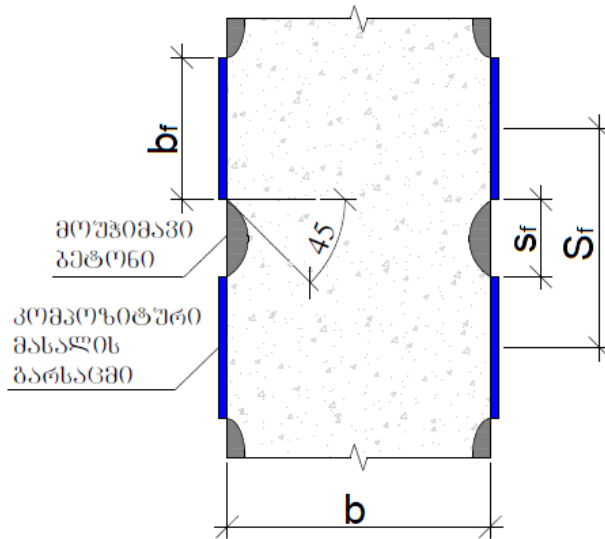
დრეკადობის მოდული – 200 000 მპა;

სვეტზე მოქმედი გრძივი ძალა – N კნ;



სურ. 11.37. რკინაბეტონის სვეტების გაძლიერება კომპოზიტური გარსაცმით: ა-უწყვეტად; ბ-წყვეტილად

სვეტზე მოქმედი მდუნავი მომენტი გაძლიერების შემდეგ – M კნმ.



სურ. 11.38. სვეტის გაძლიერება (ფრაგმენტი) ცალკეული კომპოზიტური გარსაცმებით

სვეტი გაძლიერებულია CarbonWrap® სისტემის კომპოზიტური მასალის რგოლური (წყვეტილი) გარსაცმებით სიმაღლეზე (სურ. 11.37, სურ. 11.38):

- კომპოზიტური მასალის სისქე – t_f , მმ;
- კომპოზიტური მასალის ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე – $R_{fi} = 3600$ მპა;
- კომპოზიტური მასალის ნორმატიული დრეკადობის მოდული – $E_{fi} = 245000$ მპა;
- კომპოზიტური მასალის შრეების რაოდენობა – $n = 2$;
- კომპოზიტური მასალის სიგანე – b_f , მ;
- კომპოზიტური მასალის ბიჯი – s_f , მ.

საჭიროა განისაზღვროს რკინაბეტონის სვეტის მზიდუნარიანობა გაძლიერების შემდეგ.

სვეტის საანგარიშო სქემა ნაჩვენებია სურ. 11.39-ზე.

გრძივი ძალის საწყისი ექსცენტრისიტეტი:

$$e_o = M/N \text{ მ.}$$

გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი:

სვეტის განივკვეთის ინერციის მომენტი:

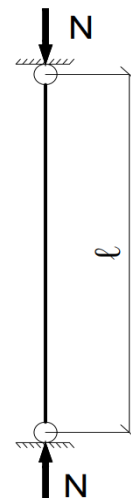
$$I = b \cdot h^3 / 12 \text{ სმ}^4;$$

სვეტის განივკვეთის ფარობი:

$$A = b \cdot h \text{ სმ}^2;$$

სვეტის განივკვეთის ინერციის რადიუსი:

$$r = \sqrt{I/A} \text{ სმ};$$



სურ. 11.39. სვეტის საანგარიშო სქემა

სვეტის მოქნილობა $\lambda = l_0/r$.

გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი ϕ მოქნილობაზე დამოკიდებულებით აიღება ცხრილებიდან ან გრაფიკებიდან.

კომპოზიტური მასალის განივკვეთის ფართობი:

$$A_{s,sh} = n \cdot t_f \cdot 2 \cdot (b + h) \text{ მ}^2.$$

კომპოზიტური მასალის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი – $\gamma_{f1} = 0,8$ (მინაკომპოზიტისათვის – $\gamma_{f1} = 0,8$; იხ. [6], ცხრ. 3);

ნახშირბადიანი კომპოზიტური მასალის უსაფრთხოების კოეფიციენტი – $\gamma_f = 1,2$ (მინაკომპოზიტისათვის – $\gamma_f = 1,8$; იხ. [6], პ. 5.2.5);

კომპოზიტური მასალის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე:

$$R_f = (\gamma_{f1}/\gamma_f) \cdot R_{fn} \text{ მპა.}$$

საანგარიშო ფარდობითი დეფორმაცია:

$$\epsilon_f = R_f / E_{fn} = 2400/245000 = 0,0098.$$

გარე დაარმირების სისტემის მაქსიმალური (ეფექტური) საანგარიშო დეფორმაცია, რომელიც მოიცავს რკინაბეტონის ელემენტის მთელ კვეთს (ირგვლივ უწყვეტად), განისაზღვრება პირობიდან:

$$\epsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,55 \cdot \epsilon_f = 0,55 \cdot 0,0098 = 0,00539.$$

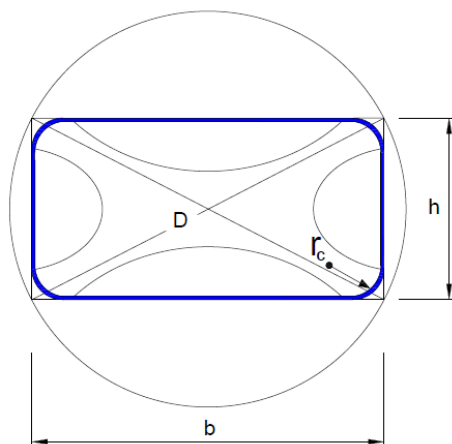
დაბვა კომპოზიტურ მასალაში:

$$\sigma_f = E_{fn} \cdot \epsilon_{fe} = 245000/0,004 = 980 \text{ მპა.}$$

შეკუმშული ბეტონის განივკვეთის ფართობი:

$$A_c = (A - A_{s,tot}) \text{ მ}^2;$$

მოჭიმული ბეტონის განივკვეთის ფართობი ნაზოლების (კუთხეებში მომრგვალებების) გათვალისწინებით (სურ. 11.40):



სურ. 11.40. სვეტის ეკვივალენტური მომრგვალებული განივკვეთი

$$A_e = A_c - 1/3 \cdot \{ [b \cdot (h - 2 \cdot r_c)^2 / h] + [h \cdot (b - 2 \cdot r_c)^2 / b] \},$$

სადაც h – მცირე გვერდი;

b – დიდი გვერდი;

r_c – კუთხეების მომრგვალების რადიუსი.

სვეტის სიმაღლეში გარსაცმებს შორის დაშორებების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი:

$$k_e = (1 - S_w / 2D)^2 = (1 - 0 / 2D)^2 = 1,$$

სადაც $S_w = 0$ – უწყვეტი გარსაცმისათვის; წრიული განიკვეთის სვეტისათვის კი S_w ტოლია დაშორებებისა ცალკეულ გრანგილებს შორის.

გარსაცმის ეფექტურობის კოეფიციენტი მართკუთხა (ჩვენს შემთხვევაში კვადრატული) განიკვეთის სვეტისათვის:

$$k_a = (A_e / A_c) \cdot (h/b)^2.$$

უნდა შესრულდეს პირობა $k_a \cdot k_e \leq 0,5$. თუ პირობა არ სრულდება, მაშინ მიიღება $k_a \cdot k_e = 0,5$.

შეკუმშული სვეტის ბეტონის მოჭიმვის მაქსიმალური მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_R = 2 \cdot n \cdot E_f \cdot \epsilon_f \cdot e / D \text{ მპა.}$$

სადაც $D^2 = b^2 + h^2 = 0,4^2 + 0,4^2$.

უნდა შესრულდეს პირობა:

$\sigma_R = \text{მპა} \geq 0,08 \cdot R_b = \text{მპა}$. პირობა დაკმაყოფილებულია (ან არაა დაკმაყოფილებული).

შენიშვნა: თუ ეს პირობა არ კმაყოფილდება, მაშინ გაანგარიშებებში გარსაცმის ეფექტი მხედველობაში არ მიიღება.

ნახშირბადის კომპოზიტური მასალის უწყვეტი გარსაცმით (რგოლით) გაძლიერებული ბეტონის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე:

$$R_{bc} = R_b + 3,3 \cdot \psi_f \cdot k_a \cdot k_e \cdot \sigma_R,$$

სადაც $\psi_f = 0,95$ – შემასწორებელი კოეფიციენტი, მიღებული ნატურული გამოცდების შედეგად.

მოჭიმული ბეტონის ზღვრული დეფორმაცია იზღუდება ფორმულით:

$$\epsilon_{ccu} = \epsilon_{bo} \cdot [1,5 + 12 \cdot k_b \cdot \sigma_R / R_b (\epsilon_f e / \epsilon_{bo})^{0,45}] \leq 0,01,$$

სადაც $k_b = (A_e / A_c) (b/h)^{0,5}$.

პირობა დაკმაყოფილებულია (ან არაა დაკმაყოფილებული).

საბოლოოდ, სვეტის მზიდუნარიანობამ შეადგინა (გრძივი ძალის მიხედვით):

$$N_{ult} = \phi \cdot (R_{bc} \cdot A_c + R_{sc} \cdot A_{s,tot}).$$

გაძლიერებამდე სვეტის მზიდუნარიანობა :

$$N = \phi \cdot R_b \cdot A.$$

შემოთავაზებული ალგორითმის მიხედვით ჩატარებული იყო რკინაბეტონის რეალური სვეტის გაანგარიშება შემდეგი საწყისი მონაცემებით: სვეტის განივკვეთი – $b \times h = 400 \times 400$ მმ; სიგრძე – $l = 3,0$ მ; გრძივი არმატურა – 4Ф12 A500; $A_s = 4 \cdot 1,131 = 4,52$ სმ² = 452 მმ²; სვეტზე მოქმედი გრძივი ძალა – $N = 550$ კნ; სვეტზე მოქმედი მღუნავი მომენტი გაძლიერების შემდეგ – $M = 15$ კნმ; კომპოზიტური მასალის სისქე – $t_f = 0,2$ მმ; შრეების რაოდენობა – $n = 2$; სიგანე – $b_f = 35$ სმ = 0,35 მ; ბიჯი – $s_f = 15$ სმ = 0,15 მ.

გაანგარიშებით მივიღეთ, რომ გაძლიერებამდე სვეტის მზიდუნარიანობა იყო 128,7 ტ, ხოლო კომპოზიტით გაძლიერების შემდეგ – 144,2 ტ.

დასკვნა:

1. ექსცენტრულად შეკუმშული კვადრატული განივკვეთის რკინაბეტონის სვეტის სიმტკიცე (მზიდუნარიანობა) CarbonWrap-ის სისტემის ნახშირბადის კომპოზიტური ერთმიმართულებიანი 0,2 მმ სისქის ლენტით გაძლიერების შემთხვევაში იზრდება 12,04%-ით. ლიტერატურული მონაცემებით ([7], ცხრ. B3) ეს მაჩვენებელი 0,234 მმ სისქის ტილოს კომპოზიტის გამოყენებისას შეადგენს: კვადრატული განივკვეთის სვეტისთვის 6,63%, წრიული განივკვეთისთვის – 21,86%, მართკუთხა განივკვეთისთვის – 10,04%.
2. უფრო მაღალი სიმკვრივის და სისქის (0,3 მმ-მდე) ნახშირბადკომპოზიტის (მაგ. CarbonWrap® Tape 530/300) გამოყენების შემთხვევაში სიმტკიცის ზრდის ეფექტი შესაძლებელია გაიზარდოს 20%-მდე.
3. რკინაბეტონის სვეტების გარდა, განხილული გაძლიერების სისტემა შესაძლებელია გამოვიყენოთ რიგელებში, კოჭებში, ფილებსა და ხიდის მალის ნაშენებში, აგრეთვე ქვის, ხისა და ლითონის კონსტრუქციებში.

მაგალითი 11.1. სართულშუა გადახურვის ბეტონის ფილის გაანგარიშება დეფორმაციებზე ფოლადისა და მინაკომპოზიტური არმატურით

1. საწყისი მონაცემები:

- შენობის ზომები გეგმაში – 9,0x6,0 მ;
- განივი კედლების ბიჯი – 3,0 მ;
- ფილის სისქე – 18,0 სმ;
- ფილის განივკვეთის სამუშაო სიმაღლე: ფოლადის არმატურის გამოყენების შემთხვევაში – $h_0 = 15,0$ სმ; კომპოზიტური არმატურის გამოყენების შემთხვევაში – $h_0 = 16,0$ სმ;
- კონსტრუქციის მასალა – მძიმე ბეტონი კლასით B20; საანგარიშო წინააღობა სიმტკიცის მიხედვით კუმშვაზე – $R_b = 117$ კგ/სმ² (I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა) ([12], ცხრ.11); ნორმატიული წინააღობა სიმტკიცის მიხედ-

ღვით კუმშვაზე – $R_{btн} = 14,3 \text{ კგ/სმ}^2$ (I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა) ([12], ცხრ. 10);

- ღრეკადობის მოდული კუმშვაზე და გაჭიმვაზე მძიმე ბეტონებისათვის – $E_b = 27,5 \cdot 10^{-3} \text{ მპა} = 2,75 \cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2$;
- ფოლადის არმატურის კლასი – A500c, საანგარიშო წინაღობა – $R_s = 4500 \text{ კგ/სმ}^2$ და ღრეკადობის მოდული – $E_a = 2 \cdot 10^6 \text{ კგ/სმ}^2$;
- კომპოზიტური არმატურის კლასი – არმატურა მინაკომპოზიტური (ამკ) – $R_s = 12000 \text{ კგ/სმ}^2$; $E_a = 5,5 \cdot 10^5 \text{ კგ/სმ}^2$.

2. დატვირთვების შეკრება

სართულშუა გადახურვის ფილაზე მოსული დატვირთვები მოცემულია 11.6. ცხრილში

ცხრილი 11.6

№	კონსტრუქციის დასახელება	საანგარიშო ფორმულა	დატვირთვა, კგ/მ ²		
			ნორმატ.	უსაფრ. კოეფიც.	საანგ.
1	გადახურვის ფილა სისქით 180 მმ	$q=0,18 \cdot 2,7=0,486 \text{ ტ/მ}^2$	486	1,1	535
2	ქვიშა-ცემენტის მოჭიმვა სისქით 30 მმ	$q=0,03 \cdot 1,8=0,054 \text{ ტ/მ}^2$	54	1,1	60
3	კერამიკული ფილა		27	1,1	30
4	ტიხრების წონა	СНП 2.01.07-85*	50	1,3	65
5	სასარგებლო დატვირთვა	СНП 2.01.07-85*	200	1,3	260
ს უ ლ:			817		950

3. გადახურვის ბეტონის ფილის გაანგარიშება დეფორმაციებზე (ჩადუნვაზე) ფოლადის არმატურით

ა) არმატურის განიკვეთის შერჩევა

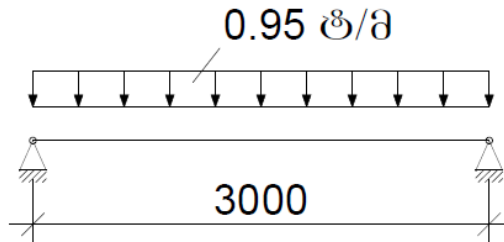
ფილიდან პირობითად ამოჰყრათ $b = 1 \text{ მ}$ სიგანის ზოლი, რომელზეც მოდებულია თანაბარგანაწილებული დატვირთვა $q = 950 \text{ კგ/მ} = 0,95 \text{ ტ/მ}$ (სურ. 11.41).

მაქსიმალური მღუნავი მომენტი

$$M = ql^2/8 = 0,95 \cdot 3^2/8 = 1,07 \text{ ტ.მ} = 107000 \text{ კგ.სმ.}$$

გამოვთვალოთ A_0 (როცა $b = 1$ მ):

$$A_0 = M \cdot \gamma_n / b \cdot h_0^2 \cdot R_b \cdot \gamma_{b2} = 107000 \cdot 0,95 / 100 \cdot 15^2 \cdot 117 \cdot 1 = 0,039.$$



სურ. 11.41. ფილის საანგარიშო სქემა

შესაბამისად ჩაღუნვის გამოვალისწინებელი კოეფიციენტი $\eta = 0,98$ ([11], ცხრ. VI.1); $\gamma_{b2} = 1$ – ბეტონის მუშაობის პირობების (უსაფრთხოების) კოეფიციენტი მუდმივი, ხანგრძლივი და ხანმოკლე დატვირთვების გამოვალისწინებით ([12], ცხრ.13); $\gamma_n = 0,95$ – საიმედოობის კოეფიციენტი კონსტრუქციების 95% უზრუნველყოფით მუშაობის დროს.

განვსაზღვროთ ფილაში სამუშაო (მუშა) არმატურის საჭირო განივკვეთის ფართობი ([11], ფორმ. VI.35):

$$A_s = M \cdot \gamma_n / \eta \cdot h_0 \cdot R_s = 107000 \cdot 0,95 / 0,98 \cdot 15 \cdot 3600 = 1,92 \text{ სმ}^2,$$

სადაც $R_s = 3600$ კგ/სმ² – არმატურის საანგარიშო წინაღობა I ზღვრული მდგომარეობის დროს, როცა არმატურის დიამეტრია 6-8 მმ ([12], ცხრ. 20).

მოვასწინოთ ფილის ქვედა შრის დაარმირება არმატურის ბადით $\Phi 7A500c$ არმატურის ბიჯით 200 მმ ანუ 1 მ ზოლში თავსდება 5 ღერო საერთო ფართობით $A_s = 0,385 \cdot 5 = 1,92 \text{ სმ}^2$ ([11], დანართი XXXII).

ბ) ფილის გაანგარიშება დეფორმაციაზე (ჩაღუნვაზე)

მუდმივი დატვირთვა სართულშუა გადახურვაზე $q_1 = 0,69$ ტ/მ² (ცხრ.11.5);

დროებითი დატვირთვა სართულშუა გადახურვაზე $q_2 = 0,26$ ტ/მ² (ცხრ.11.5).

მღუნავი მომენტი ხანგრძლივად მოქმედი დატვირთვებისგან:

$$M_{bანგ.} = q_1 \cdot l^2 / 8 = 0,69 \cdot 3^2 / 8 = 0,776 \text{ ტ.მ};$$

მღუნავი მომენტი ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისგან:

$$M_{bანგ.} = q_2 \cdot l^2 / 8 = 0,26 \cdot 3^2 / 8 = 0,293 \text{ ტ.მ}.$$

კოჭზე თანაბარგანაწილებული დატვირთვის მოქმედებისას დატვირთვის სახეობისა და საანგარიშო სქემის გამოვალისწინებელი კოეფიციენტი $S = 5/48$ ([11], დანართი XIX).

გრძივი არმატურის დაარმირების კოეფიციენტი

$$\mu_n = A_s \cdot E_a / b \cdot h_0 \cdot E_b = 1,92 \cdot 2 \cdot 10^6 / 100 \cdot 15 \cdot 2,75 \cdot 10^5 = 0,01;$$

დატვირთვების ხანმოკლედ და ხანგრძლივად მოქმედების გამოვალისწინებელი კოეფიციენტები $K_{1bანგ.}$, $K_{1ხანგ.}$ და $K_{2bანგ.}$ დამოკიდებულია საიმედოობის γ კოეფიციენტზე და ჩვენს შემთხვევაში $\gamma = \gamma' = 0$ ([20], ცხრ. 30). შესაბამისად: $K_{1bანგ.} = 0,64$;

$K_{1ხანგ.} = 0,43$ და $K_{2ხანგ.} = 0,1$. ფილის ღერძის სიმრუდის რადიუსი მუდმივი, დროებითი და ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$1/\rho = [1/(Ea \cdot As \cdot h_0^2)] \cdot [(M_{ხანგ.}/K_{1ხანგ.}) + (M_{ხანგ.} - K_{2ხანგ.} \cdot b \cdot h^2 \cdot R_{btn} / K_{1ხანგ.})] =$$

$$= [1/(2 \cdot 10^6 \cdot 1,92 \cdot 15^2)] \cdot [(29300/0,64) + (77600 - 0,1 \cdot 100 \cdot 18^2 \cdot 14,3 / 0,43)] = 0,000106 \text{ სმ.}$$

ფილის მაქსიმალური ჩაღუნვა მალის შუაში:

$$f = (1/\rho) \cdot S \cdot l^2 = 0,000106 \cdot (5/48) \cdot 300^2 = 0,99 \text{ სმ.}$$

ფილის ზღვრული ჩაღუნვა სამშენებლო ნორმების თანახმად:

$$f_{ზღვ.} = l/200 = 300/200 = 1,5 \text{ სმ.}$$

მივიღეთ, რომ $f_{\theta} = 0,99 \text{ სმ} < f_{ზღვ.} = 1,5 \text{ სმ}$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფილის ჩაღუნვის პირობა დაკმაყოფილებულია. ჩვენს მიერ დანიშნული დაარმირება ($\Phi 7A500c$ არმატურის ბიჯით 200 მმ) დეფორმაციის თვალსაზრისით მისაღებია.

4. გადახურვის ბეტონის ფილის გაანგარიშება დეფორმაციებზე (ჩაღუნვაზე) მინაკომპოზიტური (მინაპლასტიკური) არმატურით

დატვირთვები ფილაზე, გეომეტრიული ზომები და საანგარიშო სქემა იგივეა. დეფორმაციაზე გაანგარიშება მოვანდინოთ დაარმირების სხვადასხვა ვარიანტი-სათვის.

ა) მინაკომპოზიტური არმატურა $\Phi 14$, ბიჯი 200 მმ (1 მ სიგანის ზოლში – 5 ცალი). განივკვეთის ფართობი $A_s = 1,539 \times 5 = 7,69 \text{ სმ}^2$ ([11], დანართი XXXII).

დაარმირების კოეფიციენტი

$$\mu_n = A_s \cdot E_a / b \cdot h_0 \cdot E_b = 7,69 \cdot 5,5 \cdot 10^5 / 100 \cdot 16 \cdot 2,75 \cdot 10^5 = 0,0096.$$

შესაბამისი $K_{1ხანგ.} = 0,64$; $K_{1ხანგ.} = 0,43$ და $K_{2ხანგ.} = 0,1$.

ფილის ღერძის სიმრუდის რადიუსი მუდმივი, დროებითი და ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$1/\rho = [1/(Ea \cdot As \cdot h_0^2)] \cdot [(M_{ხანგ.}/K_{1ხანგ.}) + (M_{ხანგ.} - K_{2ხანგ.} \cdot b \cdot h^2 \cdot R_{btn} / K_{1ხანგ.})] =$$

$$= [1/(5,5 \cdot 10^5 \cdot 7,69 \cdot 16^2)] \cdot [(29300/0,64) + (77600 - 0,1 \cdot 100 \cdot 18^2 \cdot 14,3 / 0,43)] = 0,000109$$

სმ.

ფილის მაქსიმალური ჩაღუნვა მალის შუაში:

$$f_{\theta} = (1/\rho) \cdot S \cdot l^2 = 0,000109 \cdot (5/48) \cdot 300^2 = 1,022 \text{ სმ.}$$

ფილის ზღვრული ჩაღუნვა სამშენებლო ნორმების თანახმად:

$$f_{ზღვ.} = l/200 = 300/200 = 1,5 \text{ სმ.}$$

მივიღეთ, რომ $f_{\theta} = 1,022 \text{ სმ} < f_{ზღვ.} = 1,5 \text{ სმ}$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფილის ჩაღუნვის პირობა დაკმაყოფილებულია. ჩვენს მიერ დანიშნული დაარმირება ($\Phi 14$ არმატურა პოზიტური ბიჯით 200 მმ) დეფორმაციის თვალსაზრისით მისაღებია.

ბ) მინაკომპოზიტური არმატურა $\Phi 10$, ბიჯი 100 მმ (1 მ სიგანის ზოლში – 11 ცალი). განივკვეთის ფართობი $A_s = 0,785 \times 11 = 7,86 \text{ სმ}^2$ ([11], დანართი XXXII).

დაარმირების კოეფიციენტი

$$\mu_n = A_s \cdot E_a / b \cdot h_0 \cdot E_b = 7,86 \cdot 5,5 \cdot 10^5 / 100 \cdot 16 \cdot 2,75 \cdot 10^5 = 0,0098.$$

შესაბამისი $K_{1ხანგ.} = 0,64$; $K_{1ხანგ.} = 0,43$ და $K_{2ხანგ.} = 0,1$.

ფილის ღერძის სიმრუდის რადიუსი მუდმივი, ღროებითი და ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$1/\rho = 1/(Ea \cdot As \cdot h_0^2) [(M_{b_{\text{ნაგ.}}}/K_{1b_{\text{ნაგ.}}}) + (M_{b_{\text{ნაგ.}}} - K_{2b_{\text{ნაგ.}}} \cdot b \cdot h^2 \cdot R_{b_{\text{tn}}} / K_{1b_{\text{ნაგ.}}})] =$$

$$= 1/(5,5 \cdot 10^5 \cdot 7,86 \cdot 16^2) [(29300/0,64) + (77600 - 0,1 \cdot 100 \cdot 18^2 \cdot 14,3 / 0,43)] = 0,0001066$$

სმ.

ფილის მაქსიმალური ჩაღუნვა მალის შუაში:

$$f_{\theta} = (1/\rho) \cdot S \cdot l^2 = 0,0001066 \cdot (5/48) \cdot 300^2 = 0,999 \text{ სმ.}$$

ფილის ზღვრული ჩაღუნვა სამშენებლო ნორმების თანახმად:

$$f_{\text{ზღვ.}} = l/200 = 300/200 = 1,5 \text{ სმ.}$$

მივიღეთ, რომ $f_{\theta} = 0,999 \text{ სმ} < f_{\text{ზღვ.}} = 1,5 \text{ სმ}$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფილის ჩაღუნვის პირობა დაკმაყოფილებულია. ჩვენს მიერ დანიშნული დაარმირება (Φ10 არმატურა მინაკომპოზიტური ბიჯით 100 მმ) დეფორმაციის თვალსაზრისით მისაღებია.

გ) მინაკომპოზიტური არმატურა Φ8, ბიჯი 100 მმ (1 მ სიგანის ზოლში – 11 ცალი).

განიკვეთის ფართობი $As = 0,503 \times 11 = 5,05 \text{ სმ}^2$ ([11], დანართი XXXII).

დაარმირების კოეფიციენტი

$$\mu_n = As \cdot Ea / b \cdot h_0 \cdot E_b = 5,05 \cdot 5,5 \cdot 10^5 / 100 \cdot 16 \cdot 2,75 \cdot 10^5 = 0,0063.$$

შესაბამისი $K_{1b_{\text{ნაგ.}}} = 0,64$; $K_{1b_{\text{ნაგ.}}} = 0,43$ და $K_{2b_{\text{ნაგ.}}} = 0,1$.

ფილის ღერძის სიმრუდის რადიუსი მუდმივი, ღროებითი და ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$1/\rho = [1/(Ea \cdot As \cdot h_0^2)] [(M_{b_{\text{ნაგ.}}}/K_{1b_{\text{ნაგ.}}}) + (M_{b_{\text{ნაგ.}}} - K_{2b_{\text{ნაგ.}}} \cdot b \cdot h^2 \cdot R_{b_{\text{tn}}} / K_{1b_{\text{ნაგ.}}})] =$$

$$= [1/(5,5 \cdot 10^5 \cdot 5,05 \cdot 16^2)] [(29300/0,64) + (77600 - 0,1 \cdot 100 \cdot 18^2 \cdot 14,3 / 0,43)] = 0,0001659$$

სმ.

ფილის მაქსიმალური ჩაღუნვა მალის შუაში:

$$f_{\theta} = (1/\rho) \cdot S \cdot l^2 = 0,0001659 \cdot (5/48) \cdot 300^2 = 1,555 \text{ სმ.}$$

ფილის ზღვრული ჩაღუნვა სამშენებლო ნორმების თანახმად:

$$f_{\text{ზღვ.}} = l/200 = 300/200 = 1,5 \text{ სმ.}$$

მივიღეთ, რომ $f_{\theta} = 1,555 \text{ სმ} > f_{\text{ზღვ.}} = 1,5 \text{ სმ}$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ფილის ჩაღუნვის პირობა არ არის დაკმაყოფილებული, ანუ ჩვენს მიერ დანიშნული დაარმირება (Φ10 არმატურა მინაკომპოზიტური ბიჯით 100 მმ) დეფორმაციის თვალსაზრისით მისაღები არ არის, რადგან ვერ აკმაყოფილებს ჩაღუნვის პირობას.

5. დასკვნა

სართულშუა გადახურვის რკინაბეტონის ფილის (მალით 3 მ-მდე, სისქით 18 სმ-მდე) დაარმირებისათვის ფოლადის სამუშაო (მუშა) არმატურის მინიმალური დიამეტრი აიღება Φ7A500c არმატურის ბიჯით 200 მმ, ხოლო მინაკომპოზიტური არმატურის გამოყენებისას: Φ14 ბიჯით 200 მმ და Φ10 ბიჯით 100 მმ. მინაკომპოზიტური არმატურის გამოყენება დიამეტრით Φ8 მიზანშეწონილი არ არის, რადგან ასეთი დაარმირებისას არ კმაყოფილდება ჩაღუნვის პირობა.

ბეტონის ფილის დაარმირების ვარიანტების შედარება მოცემულია ცხრ.11.7-ში

ცხრილი 11.7

არმატურის კლასი	არმატურის დიამეტრი, მმ	არმატურის ბიჯი, მმ	As	ჩაღუნვა, სმ	ზღვრული ჩაღუნვა, სმ
A500c	7	200	1,92	1	1,5
მინაკომპო- ზიტური არმატურა	14	200	7,69	1,02	
	10	100	7,86	1	
	8	100	5,05	1,56	

თავი 12. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაძლიერება კომპოზიტური მასალებით

12.1. ზოგადი ცნობები და დაპროექტების მოთხოვნები

თანამედროვე ეტაპზე რკინაბეტონის კონსტრუქციების გასაძლიერებლად ყველაზე მეტად მისაღებია გარე დაარმირების სისტემა კომპოზიტური მასალებისგან, რომლებიც საკუთრივ წარმოდგენს ნახშირბადის ბოჭკოებით დაარმირებულ თერმორეაქტიულ ადჰეზივებს [ადჰეზივი – ბუნებრივი ან სინთეზური ნივთიერება, რომელსაც უნარი აქვს შეაერთოს ორი სხვადასხვა (ან ერთნაირი) მასალა ზედაპირული შეჭიდულობის გზით. მას მიეკუთვნება: სხვადასხვა სახის წებო, ფისი, ცემენტი, ლუღები, სახამებელი, აგარ-აგარი და სხვ.]. ასეთი გაძლიერების დანიშნულებაა ღუნვაზე, გრეხაზე, კუმშვაზე მომუშავე სამშენებლო კონსტრუქციების მზიდუნარიანობის, ბზარმდეგობისა და სიხისტის ამაღლება ან აღდგენა. ზოგჯერ ეს სამუშაოები სრულდება კონსტრუქციაზე აფეთქებითი და სეისმური დატვირთვების მოქმედების დროსაც.

ტექსტში გამოყენებული ასოითი აღნიშვნები:

გარე ძალები და ზემოქმედებები და ძალები ელემენტის განიკვეთში:

M – მღუნავი მომენტი;

M_0 – მღუნავი მომენტი კონსტრუქციის გაძლიერებამდე;

M_s – მზიდუნარიანობა ღუნვადი რკინაბეტონის ელემენტის;

M_f – მღუნავი მომენტი გასაძლიერებელ ელემენტში;

M_{ult} – ზღვრული მღუნავი მომენტი, რომელიც შეუძლია მიიღოს გაძლიერებული ელემენტის განიკვეთმა;

N – გრძივი ძალა;

N_{C_0} – გრძივი ძალა მოქმედი კომპოზიტურ გარსაცმში;

N_{an} – გამჭიმავი ძალა მოქმედი ჩაანკერებაში (ანკერში);

$N_{an,max}$ – მაქსიმალური გამჭიმავი ძალა მოქმედი ჩაანკერებაში (ანკერში);

N_f – გრძივი ძალა გასაძლიერებელ ელემენტში;

Q – განივი ძალა;

Q_b – განივი ძალა, რომელსაც იღებს ბეტონი;

Q_c – განივი ძალა, რომელსაც იღებს კომპოზიტური მასალა;

$Q_{s,inc}$ – განივი ძალა, რომელსაც იღებს აღუნული ღეროები

Q_{sw} – განივი ძალა, რომელსაც იღებს საკიდები;

Q_f – განივი ძალა გასაძლიერებელ ელემენტში;

q – თანაბრად განაწილებული გარე დატვირთვა.

მასალის სიმტკიცის მახასიათებლები:

R – ბეტონის კუბური სიმტკიცე კუმშვაზე;
 R_b – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;
 $R_{b,cer}$ – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;
 R_{bt} – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;
 $R_{bt,ser}$ – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;
 $R_{bt,l}$ – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე ღუნვისას;
 R_{b0} – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე, გაძლიერებული კომპოზიტური მასალის გარსაცმით;
 $R_{b,sh}$ – ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ძვრაზე;
 R_{bu} – ზღვრული წინაღობა კუმშვაზე ბეტონის, გაძლიერებული კომპოზიტური მასალის გარსაცმით;
 R_c – საანგარიშო სიმტკიცე გაჭიმვაზე კომპოზიტური მასალის;
 R_{cn} – კომპოზიტური მასალის სიმტკიცე გაჭიმვაზე დამამზადებლის მონაცემების მიხედვით;
 R_{fn} – ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე გამაძლიერებელი ელემენტის;
 R_f – საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე გამაძლიერებელი ელემენტის;
 R_s – საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე ფოლადის არმატურის I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;
 $R_{s,ser}$ – საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე ფოლადის არმატურის II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;
 R_{sc} – საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე ფოლადის არმატურის I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის;

დეფორმაციის მახასიათებლები:

E_b – ბეტონის საწყისი დრეკადობის მოდული კუმშვისა და გაჭიმვისას;
 E_c – საანგარიშო დრეკადობის მოდული კომპოზიტური მასალის;
 E_{cn} – საანგარიშო დრეკადობის მოდული კომპოზიტური მასალის დამამზადებლის მონაცემების მიხედვით;
 E_f – დრეკადობის მოდული გასაძლიერებელი ელემენტის მასალის (ბოჭკოების);
 E_m – დრეკადობის მოდული გამყარებადი პოლიმერული მასალის;
 E_0 – დრეკადობის მოდული პოლიმერული მასალის გარსაცმის;
 E_p – ბეტონის დეფორმაციის მოდული კომპოზიტური მასალის გარსაცმით; გაძლიერების შემდეგ რღვევის წინ;
 E_s – დრეკადობის მოდული ფოლადის არმატურის;
 E_{sec} – ბეტონის დეფორმაციის მკვეთი მოდული;

$E_{sec,u}$ – ბეტონის დეფორმაციის ზღვრული მკვეთი მოდული;
 E_I – ბეტონის დეფორმაციის მოდული გაძლიერებამდე;
 G_a – ძვრის მოდული წებოვანი ნივთიერების;
 G_c – ბეტონის რღვევის პოტენციალური ენერგია კომპოზიტურ მასალასთან შეხების საზღვარზე;
 E_b – დეფორმაცია ბეტონის განაპირა შეკუმშული ბოჭკოს;
 E_{ba} – ღერძული დეფორმაცია ბეტონის, გაძლიერებული კომპოზიტური მასალის გარსაცმით;
 E_{bau} – ზღვრული ღერძული დეფორმაცია ბეტონის, გაძლიერებული კომპოზიტური მასალის გარსაცმით;
 E_{bc0} – მაქსიმალური დეფორმაცია ბეტონის განაპირა შეკუმშული ბოჭკოსი გაძლიერებამდე;
 E_{b0} – ბეტონის კუმშვის დეფორმაცია მაქსიმალური სიმტკიცის დროს კუმშვაზე (R_{b0}), კომპოზიტური მასალის გარსაცმით გაძლიერების შემდეგ;
 E_{bru} – ბეტონის ტანგენციალური დეფორმაცია ზღვრული მდგომარეობის დროს;
 E_{bt} – დეფორმაცია ბეტონის განაპირა გაჭიმული ბოჭკოს;
 E_{btm} – საშუალო დეფორმაცია ბეტონის განაპირა გაჭიმული ბოჭკოს;
 E_{bt0} – მაქსიმალური დეფორმაცია ბეტონის განაპირა გაჭიმული ბოჭკოს გაძლიერებამდე;
 E_{bu} – ზღვრული დეფორმაცია ბეტონის კუმშვის;
 E'_b – ზღვრული დეფორმაცია ბეტონის კუმშვის კომპოზიტური მასალის გარსაცმით გაძლიერების შემდეგ;
 E_c – გაჭიმვის დეფორმაცია კომპოზიტური მასალის;
 E_{cd} – საანგარიშო საპროექტო გაჭიმვის დეფორმაცია კომპოზიტური მასალის;
 E_{cf} – ფაქტიური დეფორმაცია კომპოზიტური მასალის მისი რღვევისას განივი ძალების ზემოქმედებით;
 E_{cn} – ზღვრული გაჭიმვის დეფორმაცია კომპოზიტური მასალის დამამზადებლის მონაცემების მიხედვით;
 E_{cp} – ზღვრული დასაშვები დეფორმაცია კომპოზიტური მასალის განივი ძალების ზემოქმედებით;
 E_0 – ტანგენციალური დეფორმაცია კომპოზიტური მასალის გარსაცმის;
 E_{0u} – ზღვრული ტანგენციალური დეფორმაცია კომპოზიტური მასალის გარსაცმის;
 E_r – რადიალური დეფორმაცია;
 E_s – გაჭიმვის დეფორმაცია ფოლადის არმატურის;
 E'_s – კუმშვის დეფორმაცია ფოლადის არმატურის;
 E_f – ფარდობითი დეფორმაცია გაჭიმვისას გასაძლიერებელი ელემენტის;
 E_{fe} – ფარდობითი დეფორმაციის საანგარიშო მნიშვნელობა გაჭიმვისას გასაძლიერებელი ელემენტის;

E_{fmlt} – ზღვრული ფარდობითი დეფორმაციის საანგარიშო მნიშვნელობა გაჭიმვისას გასაძლიერებელი ელემენტის;
 v – პუასონის კოეფიციენტი ბეტონის.

დაბვა, მოქმედი ელემენტის განივკვეთში

- σ_b – დაბვა ბეტონში;
- σ_c – საანგარიშო გამჭიმავი დაბვა კომპოზიტურ მასალაში;
- σ_{ca} – საანგარიშო გამჭიმავი დაბვა კომპოზიტურ მასალაში დაანკერების ბოლოზე;
- $\sigma_{ca,max}$ – მაქსიმალური საანგარიშო გამჭიმავი დაბვა კომპოზიტურ მასალაში დაანკერების ბოლოზე;
- σ_{ck} – გამჭიმავი დაბვა კომპოზიტურ მასალაში;
- $\sigma_{ck,max}$ – მაქსიმალური გამჭიმავი დაბვა კომპოზიტურ მასალაში, რომელიც უშვებს ჩაანკერებას;
- σ_{mc} – მთავარი მკუმშავი დაბვა ბეტონში;
- σ_{mt} – მთავარი გამჭიმავი დაბვა ბეტონში;
- σ_0 – დაბვა კომპოზიტური მასალის გარსაცმში;
- σ_{ou} – ზღვრული დაბვა კომპოზიტური მასალის გარსაცმში;
- σ_r – რადიალური დაბვა კონსტრუქციაში, რომელიც გამოწვეულია კომპოზიტური მასალის გარსაცმით;
- σ_{ru} – მაქსიმალური რადიალური დაბვა კონსტრუქციაში, რომელიც გამოწვეულია კომპოზიტური მასალის გარსაცმით;
- σ_s – დაბვა ფოლადის არმატურაში;
- σ_{sto} – დაბვა ფოლადის გარსაცმში;
- σ_f – ღერძული დაბვის საანგარიშო მნიშვნელობა გაჭიმვისას გასაძლიერებელ ელემენტში;
- $\Delta\sigma_c$ – საანგარიშო მნიშვნელობა გამჭიმავი დაბვების შესაძლო გაზრდისას კომპოზიტურ მასალაში ორ მოსაზღვრე ბზარებს შორის უბანზე;
- τ – მხები დაბვები, გამოწვეული განივი ძალების ზემოქმედებით;
- τ_b – მხები დაბვები ბეტონში;
- τ_c – მაქსიმალური ძვრის დაბვა ზოლოვანი კომპოზიტური მასალის ბოლოზე;
- τ_{cl} – მაქსიმალური დასაშვები მხები დაბვა ბეტონისა და კომპოზიტური მასალის შეხების ზედაპირზე.

გეომეტრიული მახასიათებლები:

- b – სიგანე მართკუთხა კვეთის; ტესტური და ორტესტური განივკვეთის წიბოს სიგანე; მართკუთხა განივკვეთის სვეტის ერთ-ერთი გვერდის სიგანე;
- b_c – კომპოზიტური მასალის ზოლის სიგანე;
- b_f – გასაძლიერებელი ელემენტის სიგანე;

d – მართკუთხა სვეტის განივკვეთის გვერდის სიგანე; ღეროვანი ფოლადის არმატურის ნომინალური დიამეტრი;

d_0 – გარსაცმის დიამეტრი კომპოზიტური მასალის;

d_f – გასაძლიერებელი ელემენტის გვერდითი წახნაგის სიმაღლე;

h – სიმაღლე მართკუთხა, ტესებრი და ორტესებრი განივკვეთის;

h_{c0} – სამუშაო სიმაღლე ტესებრი განივკვეთის გაძლიერებული კომპოზიტური მასალით წიბოს გვერდით ზედაპირებზე;

h'_f – თაროს სიმაღლე ტესებრი კვეთის შეკუმშულ ზონაში;

a – მანძილი გაჭიმულ გრძივ არმატურებში მოქმედი ძალების ტოლქმედიდან განივკვეთის უახლოეს კიდეზე;

a' – მანძილი შეკუმშულ გრძივ არმატურებში მოქმედი ძალების ტოლქმედიდან განივკვეთის უახლოეს კიდეზე;

a_{crc} – ბზარების გახსნის სიგანე;

a_L – მანძილი საყრდენიდან მის მიმართ დახრილი ბზარების განაპირა საზღვრამდე;

ℓ_{crc} – მანძილი ბზარებს შორის ბეტონის გაჭიმულ ზონაში;

$h_0 = h - a$ – განივკვეთის სამუშაო სიმაღლე;

r – მრგვალი განივკვეთის სვეტის რადიუსი;

S – მანძილი გამაძლიერებელი კომპოზიტური მასალის ზოლების ღერძებს შორის;

S' – მანძილი გამაძლიერებელი კომპოზიტური მასალის ზოლებს შორის;

S_{ce} – ეფექტური სიგანე კომპოზიტური მასალის;

S_{cb} – გადაადგილება კომპოზიტური მასალისა და ბეტონის ზედაპირებისა ერთმანეთის მიმართ;

t – თეორიული სისქე ტილოს კომპოზიტური მასალის ერთი ფენის;

t_a – წებოვანი ნაკერის (ნივთიერების) სისქე;

t_0 – სისქე კომპოზიტური მასალის გარსაცმის;

t_c – სისქე კომპოზიტური მასალის ზოლის;

t_f – გასაძლიერებელი ელემენტის ნახშირბადის ბოჭკოების ერთი შრის სისქე (ლამელებისათვის – კომპოზიტური ნაკეთობის სისქე);

u_c – პერიმეტრი კომპოზიტური მასალის ზოლის;

u_s – პერიმეტრი ფოლადის არმატურის;

x – სიმაღლე ბეტონის შეკუმშული ზონის კონსტრუქციის კომპოზიტური მასალით გაძლიერების შემდეგ;

x_e – ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით სტატიკურ გაანგარიშებაში კონსტრუქციის კომპოზიტური მასალით გაძლიერების მხედველობაში მიღებით;

x_0 – სიმაღლე ბეტონის შეკუმშული ზონის კომპოზიტით გაძლიერებამდე;

$\square = x/h_0$ – ფარდობითი სიმაღლე ბეტონის შეკუმშული ზონის;

A_f – გასაძლიერებელი ელემენტის განივკვეთის ფართობი;

A_{fw} – გასაძლიერებელი ელემენტის იმ განივკვეთის ფართობი, რომელიც კვეთს დახრილ განივკვეთს;

$A = A_g - (A_s + A's)$ – ბეტონის ფართობი ელემენტის მთელ განივ კვეთში;

A_b – ბეტონის შეკუმშული ზონის კვეთის ფართობი;

A_{bt} – ბეტონის გაჭიმული ზონის კვეთის ფართობი;

A_{bu} – ბეტონის კვეთის სრული ფართობი, რომელიც დაკავებული არ არის გარსაცმით;

A_c – კომპოზიტური მასალის განივკვეთის ფართობი;

A_{oe} – ბეტონის გულის ეფექტურად გაძლიერებული ფართობი სვეტების გაძლიერების დროს;

$A_g = b \times h$ – მართკუთხა ელემენტის განივკვეთის სრული ფართობი;

A_{red} – ელემენტის დაყვანილი განივკვეთის ფართობი;

A_s – განივკვეთის ფართობი გაჭიმული დაუძაბავი ფოლადის არმატურის;

$A's$ – განივკვეთის ფართობი შეკუმშული დაუძაბავი ფოლადის არმატურის;

D – სვეტის დიამეტრი;

L – მანძილი საყრდენიდან გამაძლიერებელი კომპოზიტური მასალის ზოლამდე;

L_f – გასაძლიერებელი ელემენტის ჩაანკერების ეფექტური სიგრძე.

P_c – კომპოზიტური მასალის სპირალის ბიჯი;

R_c – კომპოზიტური მასალის სპირალის სიმრუდე;

S_{bo} – ბეტონის გაჭიმული ზონის განივკვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

S'_{bo} – ბეტონის შეკუმშული ზონის განივკვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

S_c – კომპოზიტური მასალის განივკვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

S_{red} – ელემენტის დაყვანილი კვეთის სტატიკური მომენტი განივკვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

S_{so} – გაჭიმული ფოლადის არმატურის განივკვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

S'_{so} – შეკუმშული ფოლადის არმატურის განივკვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

S_f – გასაძლიერებელი ელემენტის განივკვეთის ფართობის სტატიკური მომენტი;

I_{bo} – ბეტონის შეკუმშული ზონის განივკვეთის ფართობის ინერციის მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

I_c – კომპოზიტური მასალის განივკვეთის ფართობის ინერციის მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

I_{red} – ელემენტის დაყვანილი კვეთის ინერციის მომენტი განივკვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

I_{so} – გაჭიმული ფოლადის არმატურის განივკვეთის ფართობის ინერციის მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

I'_{so} – შეკუმშული ფოლადის არმატურის განივკვეთის ფართობის ინერციის მომენტი ნულოვანი ხაზის მიმართ;

I_f – გასაძლიერებელი ელემენტის განივკვეთის ინერციის მომენტი;

W_{pl} – ელემენტის დაყვანილი განივკვეთის წინაღობის მომენტი განაპირა გაჭიმული ბოჭკოებისათვის გაჭიმული ბეტონის არადრეკადი დეფორმაციის გათვალისწინებით;

W_{red} – ელემენტის დაყვანილი განივკვეთის წინაღობის მომენტი განაპირა გაჭიმული ბოჭკოებისათვის, რომელიც ისე განისაზღვრება, როგორც დრეკადი მასალის;

M_{crc} – მდუნავი მომენტი, რომელსაც დებულობს ელემენტის გრძივი ღერძის ნორმალური განივკვეთი ბზარების გახსნისას;

თანაფარდობები და კოეფიციენტები

$\alpha = E_s/E_b$ – ფოლადისა და ბეტონის არმატურების დრეკადობის მოდულების ფარდობა;

$\beta = E_c/E_b$ – კომპოზიტური მასალისა და ბეტონის დრეკადობის მოდულების ფარდობა;

γ_{bc} – ბეტონის უსაფრთხოების კოეფიციენტი კუმშვაზე;

γ_{bt} – ბეტონის უსაფრთხოების კოეფიციენტი გაჭიმვაზე;

γ_c – კომპოზიტური მასალის უსაფრთხოების კოეფიციენტი;

γ_{ce} – კომპოზიტური მასალის დრეკადობის მოდულის უსაფრთხოების კოეფიციენტი მასალის მიხედვით;

γ_{mn} – კომპოზიტური მასალის უსაფრთხოების კოეფიციენტი მისი ბეტონის ზედაპირზე დატანის ხერხის მიხედვით;

μ – კონსტრუქციის დაარმირების კოეფიციენტი ფოლადის არმატურით;

$\mu_{bt} = A_{bt}/A_g$ – გაჭიმული ბეტონის ფართის ფარდობა განივკვეთის მთელ ფართობთან;

μ_c – კონსტრუქციის დაარმირების კოეფიციენტი კომპოზიტური მასალით;

μ_o – კომპოზიტური გარსაცმით გაძლიერებული წრიული განივკვეთის სვეტის დაარმირების კოეფიციენტი;

μ_{od} – სვეტის დაარმირების კოეფიციენტი d გვერდის მიმართ;

μ_{ob} – სვეტის დაარმირების კოეფიციენტი b გვერდის მიმართ;

μ_s – ბეტონის დაარმირების კოეფიციენტი ფოლადის არმატურით;

μ_{sum} – კონსტრუქციის ჯამური დაარმირების კოეფიციენტი ფოლადის არმატურითა და კომპოზიტური მასალით გაჭიმულ ზონაში;

η – ძაბვის შეზღუდვის დონის კოეფიციენტი კომპოზიტურ მასალაში.

გარე დაარმირების სისტემის (გდს) მოწყობა გასაძლიერებელ კონსტრუქციაზე ხორციელდება სპეციალურად ამ მიზნისათვის დამუშავებული გაძლიერების პრო-

ექტის მიხედვით გრაფიკული ნაწილით, გაანგარიშებებით და სამუშაოთა წარმოების ტექნოლოგიის სრული დაცვით. პროექტი უნდა შეესაბამებოდეს ნორმატიულ მოთხოვნებსა და მოქმედ სტანდარტებს (იხ. [17], პ. 2. Нормативные ссылки; რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაძლიერებისადმი საერთო მოთხოვნები მოცემულია წინამდებარე სახელმძღვანელოს მე-11 თავში, პ. 11.2).

გარე დაარმირებისათვის, ღეროვანი მინაკომპოზიტური არმატურის პარალელურად, წარმატებით გამოიყენება ნახშირბადის ბოჭკოების საფუძველზე დამზადებული მარმირებელი მასალები, როგორებიცაა: ერთმიმართულებიანი (ლენტი, ლამინატი, საანკერო ჩალიჩი), ორმიმართულებიანი (ბადე, ქსოვილი) და მულტი-აქსიალური (ბადე, ქსოვილი) კომპოზიტები.



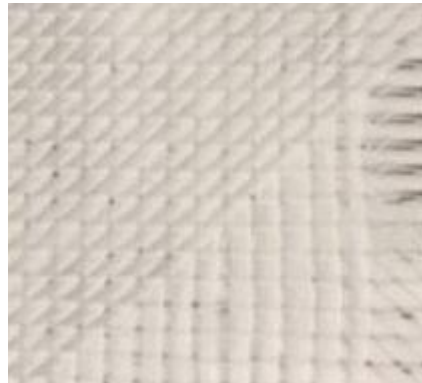
სურ. 12.1. მონოაქსიალური კომპოზიტი



სურ. 12.2. ბიაქსიალური კომპოზიტი



სურ. 12.3. ტრიაქსიალური კომპოზიტი



სურ. 12.4. კვადროაქსიალური კომპოზიტი

ფენების რაოდენობის მიხედვით არსებობს მულტი-აქსიალური ქსოვილის 4 სახეობა: მონოაქსიალური (სურ. 12.1), ბიაქსიალური (სურ. 12.2), ტრიაქსიალური (სურ. 12.3) და კვადროაქსიალური (სურ. 12.4).

გასაძლიერებელი კომპოზიტის კონსტრუქციაზე დაწებების ტექნოლოგიური ოპერაცია მიმდინარეობს გარემოს ტემპერატურაზე, რომლის ზღვრები მითითებულია ადჰეზივის მწარმოებლის სერტიფიკატზე. თუ სამუშაოების წარმოების პირობების ტემპერატურა ნაკლებია ადჰეზივის მომწოდებლის მიერ განსაზღვრულ ტემპერატურაზე, მაშინ საჭირო ხდება სპეციალური წებოების გამოყენება ან თბური კონტურის შექმნა სამუშაო ფრონტის მთელ სიგრძეზე. ნორმებით მიღებულია, რომ გდს-ის მოწყობა შეიძლება განხორციელდეს $+5 - +45^{\circ}\text{C}$ დადებითი ტემპერატურისა და ჰაერის 80%-მდე ფარდობითი ტენიანობის პირობებში. გასაძლიერებელი კონსტრუქციის ზედაპირის აბსოლუტური ტენიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 4%-ს. ისეთი კონსტრუქციისათვის, რომელსაც მუშაობა უხდება ამალღებული ტენიანობის პირობებში, რეკომენდებულია ეპოქსიდური ორკომპონენტიანი შემკვრელის CarbonWrap® Resin WS+ -ის გამოყენება, რომელთა მოხმარება მშრალ ზედაპირებზე აკრძალულია, ხოლო მაღალ ტემპერატურაზე (110°C -მდე) გამოიყენება CarbonWrap® Resin HT+. სამუშაოების დამთავრების შემდეგ დაუშვებელია უახლოესი 3 დღის განმავლობაში დაწებების უბნებზე წყლის მოხვედრა.

მაქსიმალური საექსპლუატაციო ტემპერატურა (ზედაპირის თბოდაცვის გარეშე) არ უნდა აღემატებოდეს ადჰეზივის პოლიმერული მატრიცის გამინების ტემპერატურას [გამინების ტემპერატურა – ზღვრული ტემპერატურა, რომლის ქვევითაც ნივთიერება ხდება მინისებრი (მყარი), ხოლო ამ ტემპერატურის ზევით – თხევადი].

რკინაბეტონის (ბეტონის) კონსტრუქციების გაძლიერებისა და აღდგენის დაპროექტება ტარდება ექსპერტის მიერ ტექნიკური მდგომარეობის ნატურული დათვალიერება-გამოკვლევის და გადასამოწმებელი გაანგარიშებების ჩატარების შემდეგ მომზადებული დასკვნის საფუძველზე. კონსტრუქციების გამოკვლევა ეფუძნება სახელმწიფო სტანდარტების მოთხოვნებს (მაგ., რუსეთის ფედერაციაში ასეთი სტანდარტებია: გამოკვლევებისათვის – GOST 18105, GOST 22904, GOST 28570, GOST 31937; გადაანგარიშებისათვის – GOST 54257, СП 63.13330).

12.2. მასალები

12.2.1. ბეტონი და ფოლადის არმატურა

გასაძლიერებელი სამშენებლო კონსტრუქციების ბეტონის ნორმატიული და საანგარიშო მახასიათებლები მიიღება ფაქტობრივი (პირობითი) კლასის მიხედვით (СП 63.13330) და ღუნვადი ელემენტებისათვის არ უნდა იყოს ნაკლები B15-ზე, კუმშვადი და შეკუმშულ-გაღუნული ელემენტებისათვის – B10-ზე. ბეტონის ფაქტობრივი კლასის დადგენა ხდება გადამყვანი კოეფიციენტის მეშვეობით (GOST 18105). იგი უზრუნველყოფს ბეტონის ფაქტობრივ საშუალო სიმტკიცეს, რომელიც დადგენილია ბეტონის გამოცდის არამრღვევი მეთოდებით ან კონსტრუქციიდან ამოჭრილი და შერჩეული ნიმუშების ლაბორატორიული გამოცდებით (GOST 28570).

მშენებლობაში გამოყენებული ჩვეულებრივი და კომპოზიტური ბეტონის სახეობების შესახებ მოკლე ცნობები მოცემულია წინამდებარე სახელმძღვანელოს მე-9 თავში.

ანალოგიურად ხდება ფოლადის არმატურის კლასის დადგენა (ГОСТ 18105). თუ საპროექტო მონაცემები არ არსებობს (დაკარგულია) და ნიმუშების ამოჭრაც კონსტრუქციიდან შეუძლებელია, მაშინ დასაშვებია არმატურის კლასის დადგენა პროფილის მიხედვით და მისი საანგარიშო წინაღობა აიღებინა ნორმატიულ დოკუმენტებში მოცემული სიდიდის ტოლი შემცირებული 20%-ით.

12.2.2. კომპოზიტური პოლიმერები ბოჭკოების საფუძველზე

სამშენებლო კონსტრუქციების კომპოზიტური მასალების სხვადასხვა სისტემით გაძლიერებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მასალის შერჩევას. მასალა შეიძლება იყოს ხისტი (ზოლი, ფირფიტა, ღერო, ლამინატი) ან მოქნილი (ნახშირბადის, ბაზალტის, პოლიესტერის, არამიდის, მინის, ბორის და სხვ. ბოჭკოები, ქსოვილი, ბადე, ტილო), რომელიც გარე დაარმირების სისტემაში უშუალოდ ეკვრის გასაძლიერებელი ელემენტის სპეციალურად მომზადებულ ზედაპირს პოლიმერული წებოვანი ნივთიერებით – მატრიცით. მატრიცა უზრუნველყოფს მასში ჩაძირული ბოჭკოების საიმედოდ მიკვრას გასაძლიერებელ ზედაპირზე, აგრეთვე ძაბვების თანაბრად განაწილებას ბოჭკოებს შორის და მექანიკური დაზიანებისაგან დაცვას.

მატრიცებად ძირითადად გამოიყენება თერმულად გამყარებადი პოლიმერები, როგორებიცაა: ეპოქსიდი, ვინილი და პოლიესტერული ნაერთები. ისინი მდგრადია ქიმიური და ატმოსფერული ზემოქმედების მიმართ. მათგან სიიაფით გამოირჩევა პოლიესტერი. კომპოზიტური პოლიმერების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შემდეგია (მწარმოებელი ფირმების შესაბამისად): სიმტკიცე გაჭიმვაზე – 17-81 მპა; სიმტკიცე ღუნვისას – 28-120 მპა; დრეკადობის მოდული ღუნვისას – $(2,5-5) \cdot 10^6$ პა; გამინების ტემპერატურა – 53-80°C. სამშენებლო პრაქტიკაში ყველაზე გავრცელებული ბოჭკოვანი მასალებია ნახშირბადი, არამიდი და მინა, რომელთა ბოჭკოების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები მოცემულია ცხრ.12.1-ში.

სამშენებლო კონსტრუქციების გასაძლიერებლად ყველაზე მეტად გავრცელდა წაგრძელებული ფორმის ბოჭკო, რომლის განივკვეთის დიამეტრია 5-20 მკმ. მინაბოჭკო (E, A და AR ტიპის) გამოირჩევა სიიაფით, თუმცა ნაკლებად მდგრადია ტუტე გარემოს მიმართ (მდგრადობისათვის მოითხოვს ცირკონიუმის დამატებას). მაღალი ამტანუნარიანობითა და სიხისტით გამოირჩევა ანიზოტროპიული სტრუქტურის მქონე არამიდის (კველარის) ბოჭკოები. ნახშირბადის ბოჭკოს საფუძველია გასუფთავებული ნავთობი ან ქვანახშირი (ბოჭკოს მისაღებად მათი გატარება ხდება საქმენში მაღალი წნევის ქვეშ შემდგომი თერმული დამუშავებით). აგრეთვე პოლიაკრილნიტრილი.

ცხრილი 12.1

ბოჭკოს სახეობა	სიმტკიცე გაჭიმვაზე, მპა	დრეკადობის მოდული, ·10 ³ მპა	წაგრძელების დეფორმაცია, %	სიმკვრივე, ტ/მ ³
ნახშირბადი მაღალი სიმტკიცის პოლიაკრილნიტრილის მატრიცაზე	4300-4900	230-240	1,9-2,1	1,8
ნახშირბადი მაღალი დრეკადობის მოდულით პოლიაკრილნიტრილის მატრიცაზე	740-5490	294-329	0,7-1,9	1,78-1,81
ნახშირბადი მაღალი დრეკადობის მოდულით ეპოქსიდური ფისის პოლიმერულ მატრიცაზე	2600-4020	540-640	0,4-0,8	1,91-2,12
არამიდი დაბალი დრეკადობის მოდულით	3200-3600	124-130	2,4	1,44
მინა	2400-3500	70-85	3,5-4,7	2,6

სამშენებლო კონსტრუქციების გაძლიერების გარე დაარმირების სისტემაში გამოყენებული ბოჭკოს სახეობა მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, რომელთა შორის უნდა გამოვყოთ: გასაძლიერებელი კონსტრუქციის ტიპი; ელემენტის მუშაობის პირობები; მოსალოდნელი დატვირთვა გაძლიერების შემდეგ; აგრესიული ფაქტორების ზემოქმედება და სხვ. ელემენტის გასაძლიერებელი ბოჭკოს (კომპოზიტის) შერჩევასა და მპროექტებელმა უნდა გაითვალისწინოს რიგი თვისებებისა, როგორებიცაა: ქიმიურად აგრესიული გარემოს მიმართ მდგრადობა; წინააღმდეგობა ულტრაიისფერი გამოსხივებისადმი; ელექტროგამტარობა; სიმტკიცე გაჭიმვაზე, კუმშვაზე, ღუნვაზე; სიხისტე; წინაღობა დარტყმით დატვირთვებზე; ცეცხლმედეგობა; უსაფრთხოება და სანიტარია.

სამშენებლო კონსტრუქციების გარე დაარმირებისათვის (იხ. წინამდებარე სახელმძღვანელოს მე-11 თავი) თანამედროვე სამშენებლო პრაქტიკაში წარმატებით გამოიყენება სისტემა CarbonWrap® (რუსული წარმოების მასალები, გამოყენებული სამშენებლო კონსტრუქციების გარე დაარმირებისათვის ნახშირბადის ბოჭკოებით), რომელშიც მარმირებელ მასალებად გამოყენებულია: ნახშირბადის ერთმიმართულებიანი ლენტები და ნახშირბადის ორმიმართულებიანი ქსოვილები CarbonWrap® Tape, ნახშირბადის ბადეები CarbonWrap® Grid, ნახშირბადპლასტიკის ლამელები CarbonWrap® Lamel, ნახშირბადის მულტიაქსიალური ქსოვილები, ნახშირბადის საანკრო ჩალიჩები CarbonWrap® Anchor და თერმორეაქტიული ადჰეზივები – ორკომპონენტიანი ჰიდრაულიკური შემკვრელები CarbonWrap® Resin 230,

CarbonWrap® Resin 230+, CarbonWrap® Resin 530+, CarbonWrap® Resin WS+, CarbonWrap® Resin HT+ და ორკომპონენტური ეპოქსიდური წებო CarbonWrap® Resin Laminate+.

თერმორეაქტიული ადჰეზივის სიმტკიცე ძვრაზე როგორც მშრალ, ისე ტენიან ზედაპირზე არ უნდა იყოს 10 მპა-ზე ნაკლები, ხოლო შეჭიდულობის (ადჰეზია) სიმტკიცე – არანაკლები 3,5 მპა, გამინების ტემპერატურა კი – არანაკლები +50 - 55°C.

გასაძლიერებელი ელემენტის ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე R_{fn} , დრეკადობის მოდული E_f , ფარდობითი დეფორმაცია გაჭიმვისას ϵ_f და განივი დეფორმაციის კოეფიციენტი μ_f მიიღება ამოჭრილი ნიმუშების მექანიკური ლაბორატორიული გამოცდის შედეგად უზრუნველყოფით 0,95.

CarbonWrap® გდს-ის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე R_f განისაზღვრება ფორმულით:

$$R_f = (\nu_{f1}/\nu_f) \cdot R_{fn}, \quad (12.1)$$

სადაც ν_f არის მასალის მიხედვით უსაფრთხოების კოეფიციენტი, რომელიც მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის დროს მიიღება 1-ის ტოლი ყველა ელემენტისათვის, რომელთა გაძლიერება ხდება ნახშირბადის ბოჭკოებით;

$\nu_f = 1,2$ – ერთმიმართულებიანი ნახშირბადის ლენტებისა და ლამელებისათვის;

$\nu_f = 1,8$ – ორმიმართულებიანი და მულტიექსიალური (მრავალღერძული) ნახშირბადის ქსოვილებისათვის;

$\nu_f = 2,0$ – ნახშირბადიანი და მულტიექსიალური ბადეებისათვის თერმორეაქტიულ ადჰეზივებზე. თუ ლენტის, ქსოვილის, ბადის დაწებება ხდება „სველი“ მეთოდით, მაშინ ν_f კოეფიციენტის მნიშვნელობა იზრდება 15%-ით;

ν_{f1} – გასაძლიერებელი ელემენტის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სამშენებლო კონსტრუქციის საექსპლუატაციო პირობებს და მიიღება: დახურულ შენობებში 0,95 – კომპოზიტური ლამელებისათვის და 0,9 – ლენტების, ბადეებისა და ქსოვილებისათვის; ღია ჰაერზე და აგრესიულ გარემოში 0,85 – კომპოზიტური ლამელებისათვის (ლამელი – მერქნის, ხის შპონის, მემბრანის, ქსოვილის, ძვლის, პლასტმასის ან სხვა ნივთიერების თხელი ფენა) და 0,8 – ლენტების, ბადეებისა და ქსოვილებისათვის.

მნიშვნელოვანია ისიც, რომ I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით გაანგარიშებისას მუდმივ და ხანგრძლივად მოქმედ დროებით დატვირთვებზე, გასაძლიერებელი ელემენტის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე მცირდება 20%-ით ანუ მრავლდება 0,8 კოეფიციენტზე.

გასაძლიერებელი ელემენტის ზღვრული ფარდობითი დეფორმაციის ϵ_{fmlt} საანგარიშო მნიშვნელობა გაჭიმვისას განისაზღვრება პირობით:

$$\epsilon_{fmlt} = 0,41 \cdot \sqrt{R_b/n} \cdot E_f \cdot \epsilon_f \leq 0,9 \cdot \epsilon_f, \quad (12.2)$$

სადაც ϵ_f არის გასაძლიერებელი ელემენტის ფარდობითი დეფორმაცია გაჭიმვისას, ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის წრფივი დამოკიდებულების ზღვრებში (დრეკადობის ფარგლებში) და განისაზღვრება ფორმულით:

$$\epsilon_f = R_f/E_f, \quad (12.3)$$

სადაც n არის გასაძლიერებელი ელემენტის ზედაპირზე დატანილი ნახშირბადის ბოჭკოებიანი შრეების რაოდენობა;

t_f – უგანზომილებო პარამეტრი, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა ტოლია გასაძლიერებელი ელემენტის ზედაპირზე დატანილი ერთი შრის სისქისა (მმ).

12.3. კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები

12.3.1. ძირითადი საანგარიშო მითითებები

რკინაბეტონის სამშენებლო კონსტრუქციების (კოჭი, თაღი, სვეტი, რიგელი, ხიდის სავალი და საყრდენი ნაწილები და სხვ.) გაძლიერება პოლიმერული კომპოზიტების გარე დაარმირების სისტემით წარმოებს იმ მიზნით, რომ არსებულ ბეტონის ზედაპირმა და მასზე დაწებებულმა კომპოზიტმა ერთობლივად მიიღონ გამჭიმავი ძალები, რომლებიც ჩნდება მათი ერთობლივი დეფორმაციის შედეგად, ვიდრე არ დადგება ერთ-ერთი ზღვრული მდგომარეობა. პოლიმერული კომპოზიტ CarbonWrap® -ით გაძლიერებული კონსტრუქციების გაანგარიშება ხდება ორივე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით, სიმტკიცეზე გაანგარიშება კი – გასაძლიერებელი და გაძლიერებული კონსტრუქციების ერთობლივი მუშაობის გათვალისწინებით. დასაშვებია არ ჩატარდეს გაანგარიშება მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით იმ შემთხვევაში, თუ გასაძლიერებელ კონსტრუქციაზე მოსალოდნელი არ არის დატვირთვების გაზრდა. კონსტრუქციის საწყისი დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა განისაზღვრება დრეკად სტადიაში გაჭიმულ ზონაში არსებული ბზარების მხედველობაში მიღებით ფაქტობრივ დატვირთვებზე. დატვირთვის უსაფრთხოების კოეფიციენტი მიიღება 1-ის ტოლი.

12.4. გაანგარიშება პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით

12.4.1. ზოგადი მითითებები

CarbonWrap® კომპოზიტური სისტემით გაძლიერებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშება სიმტკიცეზე ხდება გრძივი ღერძის მიმართ ნორმალურ კვეთებში მოქმედი მაქსიმალური მღუნავი მომენტებისა და გრძივი ძალების (გრძივი კუმშვა ან გაჭიმვა) გათვალისწინებით, აგრეთვე განივი ძალების მოქმედებაზე დახრილი კვეთების მოდელის საფუძველზე, ანუ გამოდის რომ გაანგარიშება ეფუძნება არაწრფივ დეფორმაციულ მოდელს. დასაშვებია ნორმალური კვეთების გაანგარიშება ზღვრული ძალების მიხედვით (იხ. §12.3.2).

ექსცენტრულად შეკუმშული კომპოზიციით გაძლიერებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშებისას მხედველობაში მიიღება ჩალუნვის გავლენა მზიდუნარიანობაზე, რისთვისაც გაანგარიშება ხდება დეფორმირებული სქემის მიხედვით (თუმცა ეს მიდგომა ყოველთვის აუცილებელი არ არის, რადგან ლიტერატურული მონაცემებით ავტორთა ნაწილი თვლის, რომ პრაქტიკისათვის საკმარისია კონსტრუქციის გაანგარიშება არადეფორმირებული სქემით).

კომპოზიციებით რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაძლიერების სამუშაოების ჩატარების მომენტში კონსტრუქციაზე არ უნდა მოქმედებდეს დატვირთვის საანგარიშო მნიშვნელობის 65%-ზე მეტი. თუ ეს პირობა არ კმაყოფილდება (მეტია დატვირთვა), მაშინ ბეტონისა და არმატურის საანგარიშო მახასიათებლები მრავლდება მუშაობის პირობების კოეფიციენტზე: ბეტონისთვის – $\gamma_{br1} = 0,9$; არმატურისთვის $\gamma_{sr1} = 0,9$.

გაანგარიშებებში ძალაშია ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზა.

ბეტონისა და არმატურის საანგარიშო მახასიათებლები (წინააღმდეგობები) არ შეიძლება იყოს სამშენებლო ნორმებითა და წესებით განსაზღვრულზე მეტი.

კომპოზიციის ზღვრული ფარდობითი დეფორმაციის ϵ_{fmlt} საანგარიშო მნიშვნელობა განისაზღვრება გასაძლიერებელი ელემენტის ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის წრფივი დამოკიდებულების გათვალისწინებით კონსტრუქციის რღვევამდე და ბეტონის ზედაპირიდან გამაძლიერებელი ნაკეთობის განშრევების პირობიდან, თანაც წებოვან ნაკერში მხედველობაში არ მიიღება ძვრის დეფორმაცია. ბეტონის შეკუმშული ზონის განაპირა ბოჭკოების ფარდობითი დეფორმაცია მიიღება – $\epsilon_{bmlt} = 0,0035$, რომლის დროსაც ელემენტში ზღვრული მდგომარეობა დგება მაშინ, როცა გამაძლიერებელ პოლიმერულ კომპოზიტი დეფორმაცია მიაღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას.

12.4.2. ღუნვალი ელემენტების გაანგარიშება

კომპოზიტი CarbonWrap®-ით გარე დაარმირების სისტემით გაძლიერებული რკინაბეტონის ღუნვალი ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე ნორმალური კვების მიხედვით, ხორციელდება პირობიდან:

$$M \leq M_{ult}, \tag{12.4}$$

სადაც M_{ult} არის ზღვრული მღუნავი მომენტი, რომელიც შეუძლია მიიღოს ლიერებული ელემენტის განივკვეთმა.

აქვე უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ღუნვალი ელემენტის ზღვრული მდგომარეობის დროს ძალებს შეკუმშულ ზონაში დებულობს ბეტონი და ღეროვანი არმატურა, ხოლო გაჭიმულში – ღეროვანი არმატურა და გარე გამაძლიერებელი პოლიმერული კომპოზიტი.

მართკუთხა განივკვეთის რკინაბეტონის ელემენტის წახნაგზე, რომელიც გაძლიერებულია პოლიმერული კომპოზიციით (სურ. 12.5), მღუნავი მომენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

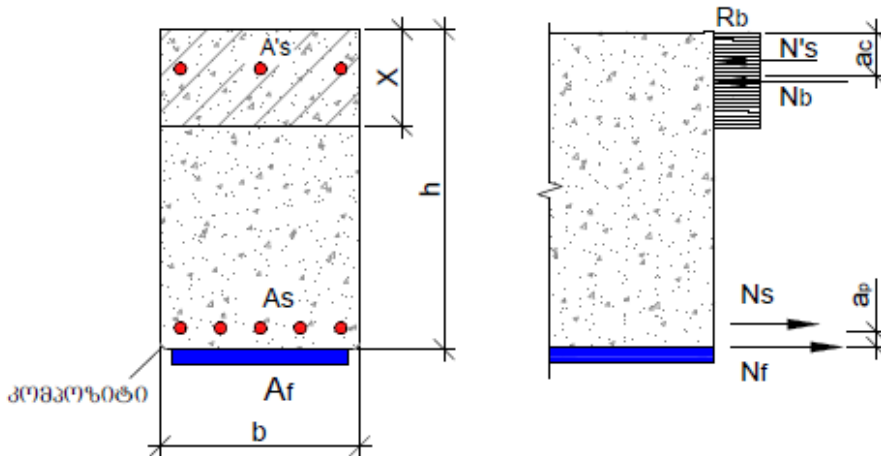
$$M_{ult} = N_s \cdot (h_0 - a_c) + N_f \cdot (h - a_c), \quad (12.5)$$

სადაც N_s და N_f არის ძალვა ფოლადის არმატურაში და კომპოზიტში შესაბამისად; a_c – მანძილი ბეტონის შეკუმშული ზონისა და შეკუმშული არმატურის ტოლქმედოდან სამშენებლო კონსტრუქციის განივი კვეთის განაპირა შეკუმშულ ბოჭკომდე და განისაზღვრება ფორმულით:

$$a_c = a' + [N \cdot (0,5 \cdot x - a') / (N'_s + N_b)], \quad (12.6)$$

N_b – ძალვა ბეტონის შეკუმშულ ზონაში:

$$N_b = \sigma_b \cdot b \cdot x \quad (12.7)$$



სურ. 12.5. გასაძლიერებული რკინაბეტონის კოჭის მართკუთხა განივკვეთის საანგარიშო სქემა

N'_s – ძალვა შეკუმშულ არმატურაში, რომელიც შესაძლებელია გათვალისწინებული იქნეს კონსტრუქციული მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, რათა არ მოხდეს გრძივი არმატურის ამობურცვა (იხ. СП 63.13330, პ.10.3):

$$N'_s = \sigma_b \cdot A'_s \quad (12.8)$$

x – ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი ტოლობის უზრუნველყოფის პირობებში:

$$(\sigma_b \cdot A_b + \sigma_{sc} \cdot A'_s) = (\sigma_s \cdot A_s + \sigma_f \cdot A_f), \quad (12.9)$$

სადაც $A_b = b \cdot x$; $A_f = n \cdot b_f \cdot t_f$.

პირველი მიახლოებით მიღებულია, რომ $x = 0,2h$.

ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლის დადგენის შემდეგ განისაზღვრება ფარდობითი დეფორმაციები და მოქმედი ძაბვები კომპოზიტის შრეში, ყველაზე მეტად შეკუმშულ ბეტონის ფენაში, გაჭიმულ და შეკუმშულ არმატურაში:

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{bmlt} \cdot [(h-x)/x] - \epsilon_{bt}^0 \leq \epsilon_{fmlt}; \quad \sigma_f = E_f \cdot \epsilon_{fe} \leq R_f; \quad (12.10)$$

$$\epsilon_b = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bt}^0) \cdot [x/(h-x)]; \quad \sigma_b = E_f \cdot \epsilon_b \leq R_b; \quad (12.11)$$

$$\epsilon_s = (\epsilon_{fe} + \epsilon_{bt}^0) \cdot [(h_0 - x)/(h - x)]; \quad \sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s \leq R_s; \quad (12.12)$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_b \cdot [(h - a')/x]; \quad \sigma_b = E_s \cdot \varepsilon'_s \leq R_{sc}. \quad (12.13)$$

სადაც ε^0_{bt} არის რკინაბეტონის ელემენტის გაჭიმული წახნაგის საწყისის ფარდობითი დეფორმაცია (იხ. ფორმ. 12.14).

12.9 ფორმულით გამოსახული ტოლობის შესრულებამდე საჭიროა ჩატარდეს ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლის კორექტირება.

გდს-ის პოლიმერული კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის ელემენტის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის გათვალისწინება ხდება საწყისი მღუნავი M_0 მომენტის მოქმედებისას, რომელიც სიდიდით აჭარბებს ბზარწარმოქმნის M_{crc} მომენტს. როცა $M_0 \geq M_{crc}$, მაშინ რკინაბეტონის ელემენტის გაანგარიშება პოლიმერული კომპოზიტით გაძლიერებამდე ხდება ისე, როგორც ბზარებიანი კვეთის. თუ $M_0 < M_{crc}$, მაშინ გდს-ის გავლენა მხედველობაში არ მიიღება.

რკინაბეტონის ელემენტის გაჭიმული წახნაგის საწყისი ფარდობითი დეფორმაცია, რომელიც მიღებული აქვს მას გაძლიერებამდე, საწყისი დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის მხედველობაში მიღებით, განისაზღვრება ფორმულით:

$$\varepsilon^0_{bt} = [M_0 \cdot (h - x_0) / E_{b,red} \cdot I_{red}], \quad (12.14)$$

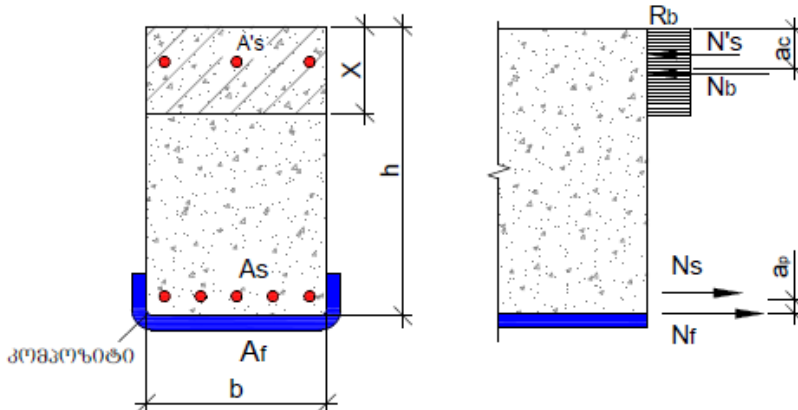
სადაც $E_{b,red} = R_b / \varepsilon_{b1,red}$ ბეტონის დეფორმაციის დაყვანილი მოდულია;

$\varepsilon_{b1,red} = 0,0015$ – ფარდობითი დეფორმაცია მძიმე ბეტონისათვის დატვირთვის ხანმოკლედ მოქმედების შემთხვევაში.

მართკუთხა განივკვეთისათვის ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე განისაზღვრება ფორმულით:

$$X_0 = h_0 \cdot \left[\sqrt{(\mu_s \cdot \alpha_s + \mu'_s \cdot \alpha'_s)^2 + \left(\mu_s \cdot \alpha_s + \mu'_s \cdot \alpha'_s \cdot \frac{\alpha'}{h_0} \right)} - (\mu_s \cdot \alpha_s + \mu'_s \cdot \alpha'_s) \right], \quad (12.15)$$

სადაც $\mu_s = A_s / bh_0$; $\mu'_s = A'_s / bh_0$; $\alpha_s = E_s / E_{b,red}$.



სურ. 12.6. გაძლიერებული კვეთის საანგარიშო სქემა კომპოზიტური ლენტის აღუნვისას წახნაგებზე

300 მმ-ზე ნაკლები სიგანის შემთხვევაში, როდესაც კოჭების (რიგელების, წიბოების) გასაძლიერებელი კომპოზიტიური ლენტი აღუნულია განაპირა წახნაგებზე (სურ. 12.6), გაანგარიშებაში გაითვალისწინება გარე დაარმირების ნაწილი, რომელიც დაწებებულია კოჭის მთელ სიგანეზე (ანუ აღუნული ნაწილები გაანგარიშებისას მხედველობაში არ მიიღება და გაძლიერება მიდის კონსტრუქციის მზიდუნარიანობის მარაგში).

12.4.3. შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

კუმშვა ეწოდება ღეროს გრძივ დეფორმაციას, რომელიც ხდება ღეროს გრძივი ღერძის გასწვრივ მკუმშავი ძალის მოდებისას. ამ დროს ღეროში გრძივი ძალების ზემოქმედებით ხდება ღეროს გეომეტრიული სიგრძის შემცირება. სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის ძირითადად კუმშვის ორი სახე არსებობს: ცენტრალური (ძალა მოდებულია ღეროს გრძივი ღერძის გასწვრივ) და ექსცენტრული (ძალა მოდებულია ღეროს გრძივი ღერძიდან გადანაცვლებულად). ზოგადად შეკუმშული ელემენტის გაანგარიშება სიმტკიცეზე ხდება ფორმულით: $\sigma = N_k/A_6 \leq R_k$, სადაც σ არის კუმშვის დაბჯა; N_k – მოქმედი მკუმშავი ძალა; A_6 – ღეროს განივკვეთის ნეტო ფართობი (შესუსტებების გათვალისწინებით); R_k – მასალის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე; 2. თერმოდინამიკაში – გაზის მოცულობის შემცირება გაცივებისას. კუმშვაზე მუშაობს სამშენებლო კონსტრუქციების მრავალი ელემენტი: სვეტი, კოლონა, საძირკველი, ნივნივი, წამწის გისოსის ელემენტები და სხვ.

რეალურად, რკინაბეტონის კონსტრუქციებიდან კომპოზიტიური პოლიმერებით გაძლიერებას ექვემდებარება სვეტები, რომელთა გაძლიერება ხდება გარსაცმების მეშვეობით (სურ. 12.7). კომპოზიტიური მასალის გარსაცმი უზრუნველყოფს ბეტონის მოცულობით-დაძაბული მდგომარეობის შექმნას და შესაბამისად ბეტონის სიმტკიცის გაზრდას (გარსაცმის ეფექტი). ეს მეთოდი გამოიყენება წრიული და კვადრატული განივკვეთის სვეტებისათვის, აგრეთვე მართკუთხა განივკვეთის სვეტებისათვის, რომელშიც გვერდების ფარდობა $b/h \leq 1,5$.

პოლიმერული კომპოზიტით გაძლიერებული მართკუთხა განივკვეთის რკინაბეტონის ელემენტის გაანგარიშება სიმტკიცეზე, როცა გრძივი ძალის ექსცენტრისიტეტი $e_0 \leq 0,1 \cdot h$ და $\xi_0 \leq 20 \cdot h$ (წრიული განივკვეთებისათვის $e_0 \leq 0,1 \cdot D$ და $\xi_0 \leq 20 \cdot D$), ხდება შიდა ძალებისა და გარე ძალების წონასწორობის პირობიდან გრძივი ღუნვის (ჩაღუნვის) გათვალისწინებით:



სურ. 12.7. რკინაბეტონის სვეტის გაძლიერება ნახშირბადოჭკვანი კომპოზიტით

$$N \leq \phi \cdot (R_{bc} \cdot A_c + R_{sc} \cdot A_{s,tot}), \quad (12.16)$$

სადაც ℓ_0 არის რკინაბეტონის ელემენტის საანგარიშო სიგრძე;

h – სვეტის განივკვეთის მინიმალური ზომა;

D – წრიული განივკვეთის სვეტის დიამეტრი;

$e_0 = M/N$ – გრძივი ძალის საწყისი ექსცენტრისიტეტი;

ϕ – გრძივი ღუნვის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი, რომელიც მიიღება წრფივი კანონის თანახმად: $\phi = 0,9$, როცა $\ell_0/h = 10$ და $\phi = 0,85$, როცა $\ell_0/h = 20$ (შუალედი მნიშვნელობების დროს აიღება ინტერპოლაციით);

$A_c = A - A_{s,tot}$ – რკინაბეტონის შეკუმშული ელემენტის განივკვეთის ფართობი არმატურის განივკვეთის ფართობის გამოკლებით;

$A_{s,tot}$ – ელემენტის განივკვეთში ყველა გრძივი არმატურის კვეთის ფართობი;

R_{bc} – ნახშირბადკომპოზიტის უწყვეტი გარსაცმით გაძლიერებული შეკუმშული ბეტონის ელემენტის საანგარიშო წინაღობა (სიმტკიცე), რომელიც განისაზღვრება ფორმულით:

$$R_{bc} = R_b + 3,3 \cdot \psi_f \cdot k_a \cdot k_e \cdot \sigma_R, \quad (12.17)$$

სადაც $\psi_f = 0,95$ არის შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დადგენილია ნატურული გამოცდებით;

k_a – გარსაცმის ეფექტურობის კოეფიციენტი, რომელიც წრიული განივკვეთის სვეტებისათვის ტოლია 1-ის, ხოლო მართკუთხა განივკვეთის სვეტებისათვის განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_a = (A_e/A_c) \cdot (h/b)^2, \quad (12.18)$$

სადაც A_e არის გარსაცმიანი ბეტონის განივკვეთის ფართობი (იხ. სურ. 11.15) კუთხეების მომრგვალების გათვალისწინებით. განისაზღვრება ფორმულით:

$$A_e = A_c - (1/3) \cdot [(b/h) \cdot (h - 2r_c)^2 + (h/b) \cdot (b - 2r_c)^2], \quad (12.19)$$

სადაც h არის მცირე გვერდის ზომა;

b – დიდი გვერდის ზომა;

r_c – მართკუთხა განივკვეთის კუთხეების მომრგვალების რადიუსი;

k_e – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გარსაცმლის სიმაღლეზე წყვეტებს (იხ. სურ. 11.16), რომელიც ტოლია: უწყვეტი გარსაცმისათვის – $Sw = 1$, ხოლო წრიული ელემენტის (სვეტის) წყვეტილი გარსაცმისათვის (გარსაცმი ზოლებისაგან, რომლის ხვეულები ერთმანეთისგან დაშორებულია) განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_e = [1 - (Sw/2D)]^2, \quad (12.20)$$

სადაც Sw დაშორებაა გარსაცმის ცალკეულ ხვეულებს შორის.

მართკუთხა განივკვეთის სვეტებისათვის სიდიდე $k_a \cdot k_e$ (ფორმ. 12.17) მიიღება არა უმეტეს 0,5-ისა.

σ_R , გარე დაარმირების სისტემის კომპოზიტური პოლიმერის გარსაცმით გაძლიერებული რკინაბეტონის სვეტის შეკუმშული ბეტონის მოჭიმვის მაქსიმალური მნიშვნელობა, განისაზღვრება პირობიდან:

$$\sigma_R = 2 \cdot n \cdot E_f \cdot t_f \cdot \epsilon_{fe} / D \geq 0,08 \cdot R_b, \quad (12.21)$$

სადაც D არის წრიული განივკვეთის შეკუმშული სვეტის დიამეტრი, $D = \sqrt{b^2 + h^2}$, სადაც ϵ_{fe} არის გარე დაარმირების სისტემის რღვევის ეფექტური ღონე, რომელიც ტოლია

$0,55 \cdot \epsilon_{fu}$ (კომპოზიტის ფარდობითი დეფორმაცია).

იმ შემთხვევაში, თუ პირობა (ფორმ. 12.21) არ სრულდება და გარსაცმით მოჭიმულ ბეტონში ძაბვების ღონე ნაკლებია $0,08 \cdot R_b$ -ზე, მაშინ გარსაცმის გაკეთება სვეტზე არაეფექტურია და იგი გაანგარიშებაში არ გაითვალისწინება.

12.4.4. გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე

გაჭიმვა არის ღეროს (ძელის) გრძივი დეფორმაციის სახე, რომელიც ხორციელდება ღეროს გრძივი ღერძის გასწვრივ გამჭიმავი ძალის მოდებისას. ამ დროს ღეროში გრძივი ძალების ზემოქმედებით იზრდება ღეროს გეომეტრიული სიგრძე. სამშენებლო კონსტრუქციებისათვის ძირითადად გაჭიმვის ორი სახე არსებობს: ცენტრალური (ძალა მოდებულია ღეროს გრძივი ღერძის გასწვრივ) და ექსცენტრული (ძალა მოდებულია ღეროს გრძივი ღერძიდან გადანაცვლებულად). ზოგადად შეკუმშული ელემენტის სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება ფორმულით: $\sigma = N_g/A_g \leq R_g$, სადაც σ არის გაჭიმვის ძაბვა; N_g – მოქმედი გამჭიმავი ძალა; A_g – ღეროს განივკვეთის ნეტო ფართობი (შესუსტებების გათვალისწინებით); R_g – მასალის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე. გაჭიმვაზე მუშაობს სამშენებლო კონსტრუქციების მრავალი ელემენტი: წამწის ქვედა სარტყელი და გისოსის ელემენტები, კამარის შემკრავი, კოჭის ქვედა სარტყელი, ბაგირები, ვანტები და სხვ.

ღერძულად გაჭიმული რკინაბეტონის ელემენტების მზიდუნარიანობის გაზრდა მიიღწევა გარე დაარმირების სისტემის გამოყენებით, როდესაც პოლიმერული კომპოზიტი ეწებება გასაძლიერებელ ელემენტს სიგრძეზე (და არა ღერძის მართობულად, როგორც შეკუმშული ელემენტების გაძლიერებისას იყო გამოყენებული).

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტის ნორმალური კვეთების სიმტკიცეზე გაანგარიშება წარმოებს პირობის მიხედვით:

$$N \leq N_{ult}, \tag{12.22}$$

სადაც N_{ult} გრძივი გამჭიმავი ძალის ზღვრული მნიშვნელობაა, რომელსაც იტანს ელემენტი. იგი განისაზღვრება ფორმულით:

$$N_{ult} = R_s \cdot A_s + \sigma_f \cdot A_f. \tag{12.23}$$

გამჭიმავი ძაბვა, რომელსაც ებულობს კომპოზიტი:

$$\sigma_f = \epsilon_{fe} \cdot E_f \leq R_f, \tag{12.24}$$

სადაც საანგარიშო დეფორმაცია ϵ_{fe} -ს გააჩნია უნარი, გადასცეს გასაძლიერებელ ზედაპირს ძაბვა ადჰეზივის მეშვეობით. იგი განისაზღვრება პირობიდან:

$$\epsilon_{fe} = k_v \cdot \epsilon_f \leq 0,004, \tag{12.25}$$

შეჭიდულობის მარაგის კოეფიციენტი k_v განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_v = k_1 \cdot k_2 \cdot L_f / 11900 \cdot \epsilon_f \leq 0,75, \tag{12.26}$$

სადაც $L_f = 23300/(n \cdot E_f \cdot t_f)^{0,58}$ ჩაანკერების ეფექტური სიგრძეა და განისაზღვრება ფორმულით:

$$L_f = 23300/(n \cdot E_f \cdot t_f)^{0,58}. \quad (12.27)$$

$k_1 = (R_b/27)^{2/3}$ – ელემენტის ბეტონის სიმტკიცის გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი (R_b მპა-ში);

k_2 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს კომპოზიტური მასალის გასაძლიერებელ რკინაბეტონის ელემენტზე დაწებების სქემას. განივი კომპოზიტური ცალულებით ჩაანკერების შემთხვევაში $k_2 = 1$, ხოლო ცალულების გარეშე განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_2 = (W_f - 2L_f)/W_f. \quad (12.28)$$

ექსცენტრულად გაჭიმული რკინაბეტონის ელემენტის გაანგარიშება სიმტკიცეზე ნორმალური კვეთების მიხედვით, ყველაზე მეტად და ნაკლებად გაჭიმული წახნაგების გაძლიერებით ნახშირბადობოჭკოს პოლიმერული კომპოზიტით, ხდება ისევე, როგორც ღუნვადი ელემენტების ნორმალური კვეთებისა, გამომდინარე შიდა ძაღვების და გარე ძაღვების წონასწორობის პირობიდან, გარე N გრძივი ძალის მდებარეობის მიხედვით, ფორმულით:

$$N \cdot e \leq M_{ult}. \quad (12.29)$$

თუ გარე გრძივი N ძალა განთავსებულია არმატურებში მოქმედი ძაღვების ტოლქმედსა და განიკვეთის ყველაზე მეტად გაჭიმულ ზონას შორის, მაშინ ელემენტის მზიდუნარიანობა განისაზღვრება გაჭიმული ფოლადის არმატურისა და გაჭიმულ ზონაში დაწებებული გარე დაარმირების კომპოზიტური სისტემის ერთობლივი მუშაობით. ზღვრული ძაღვა, რომლის ატანაც შეუძლია რკინაბეტონის ელემენტს, ტოლია:

$$M_{ult} = (R_s \cdot A_s + \sigma_f \cdot A_f) \cdot (h_0 - a'), \quad (12.30)$$

სადაც σ_f არის გამჭიმავი ძაღვა, რომელსაც ღებულობს პოლიმერული კომპოზიტი და განისაზღვრება (12.24) ფორმულით.

თუ გარე გრძივი N ძალა განთავსებულია არმატურებში მოქმედი ძაღვების ტოლქმედია და ყველაზე მეტად და ნაკლებად გაჭიმული წახნაგების ზონას შორის მანძილის გარეთ, მაშინ ელემენტის მზიდუნარიანობა განისაზღვრება შეკუმშული ბეტონისა და შეკუმშული ფოლადის არმატურის ერთობლივი მუშაობით განიკვეთის შეკუმშულ ზონაში, აგრეთვე გაჭიმული ფოლადის არმატურის და გარე დაარმირების კომპოზიტური სისტემის მუშაობით განიკვეთის გაჭიმულ ზონაში, ფორმულით:

$$M_{ult} = (N_b + N'_s)(h - a_c - a_p), \quad (12.31)$$

სადაც $N_b = \sigma_b \cdot b \cdot x$ არის ბეტონში მოქმედი ძაღვა;

$N'_s = \sigma_{sc} \cdot A'_s$ – შეკუმშულ ფოლადის არმატურაში მოქმედი ძაღვა;

$N_s = \sigma_s \cdot A_s$ – ძაღვა, მოქმედი გაჭიმულ ფოლადის არმატურაში;

$N_f = \sigma_f \cdot A_f$ – პოლიმერულ კომპოზიტში მოქმედი ძაღვა;

$a_c = a' + [N_b \cdot (0,5 \cdot x - a') / (N'_s + N_b)]$ – მანძილი განიკვეთის ყველაზე შეკუმშული ბოჭკოდან შეკუმშული ბეტონისა და შეკუმშული არმატურის ტოლქმედამდე;

$a_p = N_s \cdot a / (N_s + N_f)$ – მანძილი განიკვეთის ყველაზე გაჭიმული ბოჭკოდან გაჭიმული ფოლადის არმატურისა და პოლიმერული კომპოზიტის ტოლქმედამდე.

ელემენტზე მოქმედი დატვირთვები და დეფორმაციები გდს-ის კომპოზიტის შრეში, გაჭიმულ ფოლადის არმატურაში, შეკუმშულ ბეტონსა და შეკუმშულ არმატურაში განისაზღვრება §12.4.2-ის 12.10 – 12.13 ფორმულებში მოყვანილი პირობების მიხედვით.

ელემენტის განიკვეთის ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა განისაზღვრება მოყვანილი ტოლობის პირობიდან:

$$(\sigma_b \cdot A_b + \sigma_{sc} \cdot A'_s + N) = (\sigma_s \cdot A_s + \sigma_f \cdot A_f). \quad (12.32)$$

პირველი მიახლოებით მიიღება, რომ $x = 0,2h$, შემდეგ კი ხდება ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლის კორექტირება მანამ, ვიდრე არ შესრულდება (12.32) პირობა (იხ. §12.4.2, ფორმ. 12.14, 12.15).

12.5. გაანგარიშება მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით

12.5.1. გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნაზე

გარე დაარმირების სისტემით გაძლიერებული რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნაზე ტარდება პირობის დაცვით:

$$M > M_{crc}, \quad (12.33)$$

სადაც M არის მღუნავი მომენტი გარე დატვირთვებისგან იმ ღერძის მიმართ, რომელიც მომენტის მოქმედების სიბრტყის მართობულია და გადის ელემენტის დაყვანილი განივი კვეთის სიმძიმის ცენტრში;

M_{crc} – მღუნავი მომენტი, რომელსაც ღებულობს ელემენტის ნორმალური კვეთი ბზარების გაჩენის მომენტში.

ზოგადად, M_{crc} მღუნავი მომენტი ბზარების წარმოქმნისას განისაზღვრება დეფორმაციული მოდელით ბეტონის მუშაობის გათვალისწინებით ნორმალური კვეთის გაჭიმულ ზონაში. ამ შემთხვევაში მასალის საანგარიშო მახასიათებლები მიიღება მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის, ხოლო ბეტონის ფარდობითი დეფორმაციის ზღვრული მნიშვნელობა $\varepsilon_{bt,ult}$ დატვირთვის ხანმოკლე მოქმედების შემთხვევაში მიიღება 0,00015 (განისაზღვრება СП 63.13330, პ.8.1.30-ის მიხედვით).

აქვე გვინდა აღვნიშნოთ, რომ კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის ელემენტის ნორმალური და დახრილი კვეთების გაანგარიშება სიმტკიცის მიხედვით არაწრფივი დეფორმაციული მოდელის საფუძველზე, სახელმძღვანელოში

მოყვანილი არ არის რთული მათემატიკური აპარატის გამოყენების გამო. მსურველებს შეუძლიათ ისარგებლონ რუსული საცნობარო ლიტერატურით ([17; 18]).

მართკუთხა, ტესებრი და ორტესებრი განივკვეთის ელემენტებისათვის, არმატურის განლაგებით ქვედა და ზედა წახნაგებზე, ბზარების წარმოქმნის მომენტი არადრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინებით გაჭიმული ბეტონისათვის განისაზღვრება ფორმულით:

$$M_{crc} = R_{bt,ser} \cdot W_{pe} \pm N \cdot e_x, \quad (12.34)$$

სადაც W_{pe} არის განივკვეთის დრეკადლასტიკური წინაღობის მომენტი ბეტონის განაპირა გაჭიმული ბოჭკოებისათვის და განისაზღვრება ფორმულით

$$W_{pe} = \gamma \cdot W_{red}, \quad (12.35)$$

სადაც γ კოეფიციენტი, რომელიც მართკუთხა და ტესებრი კვეთებისთვის თაროთი შეკუმშულ ზონაში ტოლია 1,3-ის;

e_x – მანძილი გრძივი N ძალის მოდებიდან კვეთისგულის წერტილამდე, რომელიც ყველაზე მეტადაა დაშორებული გაჭიმული ზონიდან და რომლის ბზარწარმოქმნაც მოწმდება.

ფორმულა (12.32)-ში ნიშანი „+“ მიიღება მკუმშავი N გრძივი ძალის მოქმედების დროს, „-“ – გამჭიმავი ძალის მოქმედების დროს.

W_{red} – განივკვეთის გაჭიმული ზონის დაყვანილი განივკვეთის დრეკადი წინაღობის მომენტი:

$$W_{red} = I_{red}/\gamma_1; \quad (12.36)$$

γ_1 – მანძილი ბეტონის ყველაზე გაჭიმული ბოჭკოდან ელემენტის დაყვანილი განივკვეთის სიმძიმის ცენტრამდე:

$$\gamma_1 = S_{t,red}/A_{red}, \quad (12.37)$$

სადაც $S_{t,red}$ ელემენტის დაყვანილი განივკვეთის სტატიკური მომენტი ბეტონის ყველაზე გაჭიმული ბოჭკოს მიმართ;

I_{red} – დაყვანილი განივი კვეთის ინერციის მომენტი მისი სიმძიმის ცენტრის მიმართ, რომელიც განისაზღვრება ბზარების არსებობისა და გასაძლიერებელი კომპოზიტური მასალების გათვალისწინებით:

$$I_{red} = I_b + I_s \cdot \alpha_{s2} + I'_s \cdot \alpha_{s1} + I_f \cdot \alpha_f, \quad (12.38)$$

სადაც I_b , I_s , I'_s , I_f არის ინერციის მომენტები შესაბამისად: ბეტონის შეკუმშული ზონის, გაჭიმული არმატურის, შეკუმშული არმატურისა და გარე დაარმირების კომპოზიტური მასალის, ელემენტის დაყვანილი განივკვეთის (გაჭიმული ზონის ბეტონის მხედველობაში მიუღებლად) სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

α_{s2} , α_{s1} , α_f – გაჭიმული არმატურის, შეკუმშული არმატურის და გარე გაძლიერების კომპოზიტური მასალის ბეტონზე დაყვანის კოეფიციენტები.

I_s და I'_s მნიშვნელობები განისაზღვრება მასალათა გამძლეობის ზოგადი წესებით იმის გათვალისწინებით, რომ მანძილი ბეტონის ყველაზე შეკუმშული ბოჭკოდან დაყვანილი განივკვეთის სიმძიმის ცენტრამდე (დაყვანის კოეფიციენტები α_{s2} , α_{s1}) მიიღება ბეტონის გაჭიმული ზონის (γ_{cm}) მხედველობაში მიუღებლად.

მანძილი e_x განისაზღვრება ფორმულით:

$$e_x = W_{red}/A_{red}, \quad (12.39)$$

სადაც A_{red} – ელემენტის განივი კვეთის დაყვანილი ფართობი:

$$A_{red} = A + A_s \cdot \alpha + A'_s \cdot \alpha + A_f \cdot \alpha_f, \quad (12.40)$$

სადაც α და α_f – ფოლადის არმატურის და პოლიმერული კომპოზიტის არმატურის ბეტონზე დაყვანის კოეფიციენტები:

$$\alpha = E_s/E_b; \quad \alpha_f = E_f/E_b; \quad (12.41)$$

A , A_s , A'_s , A_f – ელემენტის განივიკვეთის ფართობები შესაბამისად: ბეტონის, გაჭიმული არმატურის, შეკუმშული არმატურის და პოლიმერული კომპოზიტური არმატურის.

12.5.2. გაანგარიშება ბზარების გახსნაზე

გარე დაარმირების სისტემით გაძლიერებული რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება ბზარების გახსნაზე ტარდება პირობის დაცვით:

$$a_{crc} \leq a_{crc,mlt}, \quad (12.42)$$

სადაც a_{crc} არის ბზარების გახსნის სიგანე გარე დატვირთვების ზემოქმედებით; $a_{crc,mlt}$ – ბზარების გახსნის ზღვრული დასაშვები სიგანე, რომლის მნიშვნელობები მიიღება:

ა) არმატურის შენახვის უზრუნველყოფის პირობიდან:

0,3 მმ – ბზარების ხანგრძლივად გახსნისას;

0,4 მმ – ბზარების ხანმოკლედ გახსნისას;

ბ) კონსტრუქციის შეღწევალობის შეზღუდვის პირობიდან:

0,2 მმ – ბზარების ხანგრძლივად გახსნისას;

0,3 მმ – ბზარების ხანმოკლედ გახსნისას.

რკინაბეტონის ელემენტი გაიანგარიშება ორივე შემთხვევაში ნორმალური და დახრილი ბზარებისათვის.

ბზარების ხანგრძლივად გახსნისას სიგანე განისაზღვრება ფორმულით:

$$a_{crc} = a_{crc1}. \quad (12.43)$$

ბზარების ხანმოკლედ გახსნისას სიგანე განისაზღვრება ფორმულით:

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3}, \quad (12.44)$$

სადაც a_{crc1} არის ბზარების გახსნის სიგანე მუდმივი და დროებითი (ხანგრძლივი და ხანმოკლე) დატვირთვების მოქმედებისას;

a_{crc3} – ბზარების გახსნის სიგანე ხანმოკლედ მოქმედი მუდმივი და დროებითი დატვირთვებისათვის.

ბზარების გახსნის სიგანის გაანგარიშება, როცა კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის ელემენტის ბზარი გრძივი ღერძის მიმართ ნორმალურ სიბრტყეშია, აუცილებელია საანგარიშო ფორმულებში ელემენტის განივიკვეთის გეომეტრიული

მახასიათებლებისა და გარე დაარმირების სისტემის პოლიმერული კომპოზიტის გათვალისწინებით:

$$a_{crc1} = \phi_1 \cdot \phi_2 \cdot \phi_3 \cdot \phi_4 \cdot \psi_s \cdot (\sigma_s / E_s) \cdot l_s, \quad (12.45)$$

სადაც σ_s არის დაბვა გრძივ გაჭიმულ არმატურაში, ნორმალურ კვეთში ბზარებით, შესაბამისი გარე დატვირთვისას;

l_s – ბაზური მანძილი მეზობელ ნორმალურ ბზარებს შორის (არმატურის ზედაპირის სახისგან დამოუკიდებლად);

ψ_s – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გაჭიმული არმატურის ფარდობითი დეფორმაციის არათანაბარ განაწილებას ბზარებს შორის და მიიღება 1-ის ტოლი. თუ $a_{cr} > a_{crc,mit}$, მაშინ ღუნვადი ელემენტებისათვის იგი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\psi_s = 1 - (0,8 \cdot M_{crc} / M); \quad (12.46)$$

ϕ_1 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობას და მიიღება ტოლი: $\phi_1 = 1,0$ – დატვირთვის ხანმოკლედ მოქმედებისას; $\phi_1 = 1,4$ – დატვირთვის ხანგრძლივად მოქმედებისას;

ϕ_2 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გრძივი არმატურის პროფილს და მიიღება ტოლი: $\phi_2 = 0,5$ – პერიოდული პროფილის არმატურისათვის; ტოლი: $\phi_2 = 0,8$ – გლუვი არმატურისათვის;

ϕ_3 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვის ხასიათს და მიიღება ტოლი: $\phi_3 = 1,0$ – ღუნვადი და ექსცენტრულად შეკუმშული ელემენტებისათვის; $\phi_3 = 1,2$ – გაჭიმული ელემენტებისათვის;

ϕ_4 – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს პოლიმერული კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის ელემენტების ერთობლივ მუშაობას და მიიღება 1,4-ის ტოლი.

ღუნვადი ელემენტების σ_s დაბვა გრძივ გაჭიმულ არმატურაში განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_s = [M \cdot (h_0 - y_c) / I_{red}] \cdot \alpha_{s1}, \quad (12.47)$$

სადაც I_{red} , y_c არის ინერციის მომენტი და ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე ელემენტის დაყვანილი განივი კვეთისა, რომელიც განისაზღვრება ბეტონის შეკუმშული ზონის, გაჭიმული და შეკუმშული არმატურების, კომპოზიტური მასალის ფართობების გათვალისწინებით; შესაბამის ფორმულებში ჩაისმება არმატურის ბეტონზე დაყვანის კოეფიციენტი:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = E_s / E_{b,red}, \quad (12.48)$$

სადაც $E_{b,red}$ შეკუმშული ბეტონის დაყვანილი დეფორმაციის მოდულია, რომელიც ითვალისწინებს შეკუმშული ბეტონის არადრეკად დეფორმაციებს:

$$E_{b,red} = R_{b,n} / \epsilon_{b1,red}, \quad (12.49)$$

გარე დაარმირების კომპოზიტური მასალის ბეტონზე დაყვანის კოეფიციენტი განისაზღვრება ფორმულით:

$$\alpha_f = E_f / E_{b,red}. \quad (12.50)$$

ღუნვადი რკინაბეტონის ელემენტებისათვის ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა (შეკუმშული ბეტონის ზონის საშუალო სიმაღლე) განისაზღვრება ფორმულიდან:

$$S_{b0} = \alpha_f \cdot S_{s0} - \alpha_f' \cdot S'_{s0} + \alpha_f \cdot S_f, \quad (12.51)$$

სადაც S_{b0} , S_{s0} , S'_{s0} , S_f არის სტატიკური მომენტები შესაბამისად ბეტონის შეკუმშული ზონის, გაჭიმული და შეკუმშული არმატურების, გარე დაარმირების კომპოზიტიური მასალის განიკვეთის ნეიტრალური ღერძის მიმართ.

მართკუთხა განიკვეთებისათვის ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე:

$$X_0 = h_0 \left\{ \sqrt{(\mu_s \cdot \alpha_{s2} + \mu'_s \cdot \alpha_{s1} + \mu_f \cdot \alpha_f)^2 + 2 \left[\mu_s \cdot \alpha_{s2} + \mu'_s \cdot \alpha_{s1} \cdot \left(\frac{\alpha'}{h_0} \right) + \mu_f \cdot \alpha_f \right]} - (\mu_s \cdot \alpha_{s2} + \mu'_s \cdot \alpha_{s1}) + \mu_f \cdot \alpha_f \right\}, \quad (12.52)$$

სადაც $\mu_s = A_s/b \cdot h_0$; $\mu'_s = A'_s/b \cdot h_0$; $\mu_f = A_f/b \cdot h_0$.

ბაზური მანძილი ბზარებს შორის განისაზღვრება ფორმულით:

$$l_s = 0,5 \cdot (A_{bt}/A_s) \cdot d_s \quad (12.53)$$

და მიიღება არ ნაკლები $10d_s$ და 100 მმ-ისა და არა უმეტეს $40d_s$ და 400 მმ-ისა,

სადაც A_{bt} გაჭიმული ბეტონის კვეთის ფართობია;

A_s – გაჭიმული არმატურის კვეთის ფართობი;

d_s – არმატურის ნომინალური დიამეტრი.

A_{bt} მნიშვნელობა განისაზღვრება ბეტონის გაჭიმული x_1 ზონის სიმაღლის მიხედვით, ბზარების წარმომქნელი მომენტის გაანგარიშების წესის გათვალისწინებით. ამ დროს ბეტონის გაჭიმული ზონის სიმაღლე მიიღება არა ნაკლები $2a$ და არა უმეტეს $0,5h$.

მართკუთხა, ტესებრი და ორტესებრი განიკვეთებისთვის გაჭიმული x_1 ზონის სიმაღლე განისაზღვრება ფორმულით:

$$x_1 = \gamma_1 \cdot k, \quad (12.54)$$

სადაც γ_1 არის ბეტონის გაჭიმული ზონის სიმაღლე, როგორც დრეკადი მასალის, როცა $a = E_s/E_b$;

k – შემასწორებელი კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია მართკუთხა და ტესებრი თაროიანი კვეთებისათვის შეკუმშულ ზონაში – $0,9$, ორტესებრი კვეთებისათვის – $0,95$.

12.5.3. გაანგარიშება დეფორმაციებზე

გარე დაარმირების სისტემით გაძლიერებული ღუნვადი რკინაბეტონის ელემენტების გაანგარიშება წარმოებს პირობის დაცვით:

$$f \leq f_{ult}, \quad (12.55)$$

სადაც f არის კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის ელემენტის საანგარიშო ჩაღუნვა გარე დატვირთვებისაგან;

f_{ult} – კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის ელემენტის ზღვრული დასაშვები ჩაღუნვა.

ზოგადად, რკინაბეტონის კონსტრუქციების ჩაღუნვებს განსაზღვრავენ სამშენებლო მექანიკის წესების მიხედვით ღუნვის, ძვრის და ღერძული დეფორმაციის მახასიათებლების გათვალისწინებით.

თავისუფლად დაყრდნობილ ან კონსოლურ მუდმივი განიკვეთის ღუნვად რკინაბეტონის კონსტრუქციებში, საანგარიშო ჩაღუნვა განისაზღვრება ფორმულით:

$$f = (1/r) \cdot k \cdot S \cdot l^2, \quad (12.56)$$

სადაც $(1/r)$ რკინაბეტონის ელემენტის სრული სიმრუდეა;

k – დაყვანის კოეფიციენტი, რომელიც ღუნვადი რკინაბეტონის კოჭებისათვის ტოლია 2,0-ის;

S – კოეფიციენტი, რომელიც თავისუფლად დაყრდნობილი კოჭებისათვის ტოლია 5/48-ის, კონსოლური კოჭებისათვის – 1/3;

l – კოჭის საანგარიშო მალი.

კომპოზიტებით გაძლიერებული რკინაბეტონის ელემენტების სიმრუდეები, ზოგადად, განისაზღვრება არაწრფივი დეფორმაციული მოდელის საფუძველზე. გამართივებულად. ბზარებიან უბანზე სრული სიმრუდე განისაზღვრება ფორმულით:

$$1/r = (1/r)_1 - (1/r)_2 + (1/r)_3, \quad (12.57)$$

სადაც $(1/r)_1$ არის ხანმოკლედ მოქმედი დატვირთვებით გამოწვეული სიმრუდე, რომლითაც ახდენენ გაანგარიშებას დეფორმაციებზე;

$(1/r)_2$ – ხანმოკლედ მოქმედი მუდმივი და ღროებითი დატვირთვებით გამოწვეული სიმრუდე;

$(1/r)_3$ – ხანგრძლივად მოქმედი მუდმივი და ღროებითი დატვირთვებით გამოწვეული სიმრუდე.

რკინაბეტონის ელემენტების $(1/r)$ სიმრუდე შესაბამისი დატვირთვების მოქმედებისას განისაზღვრება ფორმულით:

$$1/r = M/D, \quad (12.58)$$

სადაც M მღუნავი მომენტი გარე დატვირთვებისგან (გრძივი N ძალისგან გამოწვეული მომენტის მხედველობაში მიღებით) ღერძის მიმართ, რომელიც მართობულია მღუნავი მომენტის მოქმედების სიბრტყის და გადის ელემენტის დაყვანილი განიკვეთის სიმძიმის ცენტრში;

D – ელემენტის დაყვანილი განიკვეთის ღუნვითი სიხისტე:

$$D = E_{b1} \cdot I_{red}, \quad (12.59)$$

სადაც E_{b1} არის შეკუმშული ბეტონის დეფორმაციის მოდული, რომელიც განისაზღვრება დატვირთვების მოქმედების ხანგრძლივობითა და ბზარების არსებობის გათვალისწინებით, რომელიც ტოლია $E_{b,red}$;

I_{red} – დაყვანილი განიკვეთის ინერციის მომენტი მისი სიმძიმის ცენტრის მიმართ, რომელიც განისაზღვრება ბზარების არსებობის გათვალისწინებით და

შესრულებული გაძლიერებით კომპოზიტიური მასალებისგან. განისაზღვრება ფორმულით:

$$I_{red} = I_b + I_s \cdot \alpha_{s2} + I'_s \cdot \alpha_{s1} + I_f \cdot \alpha_f, \quad (12.60)$$

სადაც I_b , I_s , I'_s , I_f არის ინერციის მომენტები ბეტონის შეკუმშული ზონის, გაჭიმული და შეკუმშული არმატურების და გარე გაძლიერების ფართობების დაყვანილი განიკვეთის (ბეტონის გაჭიმული ზონის მხედველობაში მიუღებლად) სიმძიმის ცენტრის მიმართ;

α_{s2} , α_{s1} , α_f – გაჭიმული და შეკუმშული არმატურების და გარე გაძლიერების დაყვანის კოეფიციენტები ბეტონზე.

I_s და I'_s -ის მნიშვნელობები განისაზღვრება მასალათა გამძლეობის ზოგადი წესების შესაბამისად, იმის გათვალისწინებით, რომ მანძილი ბეტონის ყველაზე შეკუმშული ბოჭკოდან დაყვანილი განიკვეთის სიმძიმის ცენტრამდე (დაყვანის კოეფიციენტები α_{s2} , α_{s1}) მიიღება ბატონის გაჭიმული ზონის (y_{cm}) მხედველობაში მიუღებლად.

ღუნვადი ელემენტებისათვის:

$$y_{cm} = x_m, \quad (12.61)$$

სადაც x_m ბეტონის შეკუმშული ზონის საშუალო სიმაღლეა, რომელიც ითვალისწინებს ბზარებს შორის გაჭიმული ბეტონის მუშაობის გავლენას.

I_b და y_{cm} მნიშვნელობები განისაზღვრება ღრეკადი ელემენტების კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლების ზოგადი მეთოდებით.

გაჭიმული და შეკუმშული არმატურების დაყვანის კოეფიციენტები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\alpha_{s2} = \alpha_{s1} = E_s / E_{b,red}. \quad (12.62)$$

პოლიმერული კომპოზიტით გარე დაარმირების სისტემის დაყვანის კოეფიციენტი:

$$\alpha_f = E_f / E_{b,red}. \quad (12.63)$$

ღუნვადი ელემენტების ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა (ბეტონის შეკუმშული ზონის საშუალო სიმაღლე) განისაზღვრება განტოლებიდან:

$$S_{b0} = \alpha_{s2} \cdot S_{s0} - \alpha_{s1} \cdot S'_s + \alpha_f \cdot S_f, \quad (12.64)$$

სადაც S_{b0} , S_{s0} , S'_s , S_f სტატიკური მომენტებია შესაბამისად ბეტონის შეკუმშული ზონის, გაჭიმული და შეკუმშული არმატურების, გარე დაარმირების კომპოზიტიური მასალის განიკვეთის ნეიტრალური ღერძის მიმართ.

მართკუთხა განიკვეთებისათვის გაჭიმული და შეკუმშული არმატურის და კომპოზიტიური მასალით გარე დაარმირებული ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე:

$$X_0 = h_0 \left\{ \sqrt{(\mu_s \cdot \alpha_{s2} + \mu'_s \cdot \alpha_{s1} + \mu_f \cdot \alpha_f)^2 + 2 \left[\mu_s \cdot \alpha_{s2} + \mu'_s \cdot \alpha_{s1} \cdot \left(\frac{\alpha'}{h_0} \right) + \mu_f \cdot \alpha_f \right]} - (\mu_s \cdot \alpha_{s2} + \mu'_s \cdot \alpha_{s1}) + \mu_f \cdot \alpha_f \right\}, \quad (12.65)$$

სადაც $\mu_s = A_s / b \cdot h_0$; $\mu'_s = A'_s / b \cdot h_0$; $\mu_f = A_f / b \cdot h_0$.

მართკუთხა განივკვეთის ღუნვადი რკინაბეტონის ელემენტის დაყვანილი განივკვეთის ინერციის მომენტი:

$$I_{red} = (bx^3/12) + bx \cdot (x/2)^2 + \alpha_{s2} \cdot A_s (h - x - a)^2 + \alpha_{s1} \cdot A'_s (x - a')^2 + \alpha_f \cdot A_f \cdot (h - x)^2. \quad (12.66)$$

გაძლიერებული რკინაბეტონის ელემენტების სიმრუდე ნორმალური ბზარებით დაძაბული არმატურის გაჭიმულ ზონაში, რომელიც კვეთს ბზარებს, განისაზღვრება ფორმულით:

1) ფოლადის არმატურისათვის:

$$\sigma_{sj} = E_{sj} \cdot \nu_{sj} \cdot \epsilon_{sj} / \psi_{sj}, \quad (12.67)$$

$$\text{სადაც } \psi_{sj} = 1 - 1 / [(1 + (0,8 \cdot \epsilon_{sj,crc} / \epsilon_{sj})], \quad (12.68)$$

$\epsilon_{sj,crc}$ არის გაჭიმული არმატურის ფარდობითი დეფორმაცია კვეთში ბზარებით, რომლებიც ჩნდება მყისიერად ნორმალური ბზარების გაჩენის შემდეგ;

ϵ_{sj} – გაჭიმული არმატურის გასაშუალებული ფარდობითი დეფორმაცია, რომელიც კვეთს გაანგარიშების სტადიაზე განხილულ ბზარებს;

2) პოლიმერული კომპოზიტის არმატურისათვის:

$$\sigma_{fk} = E_f \cdot \epsilon_{fk} / \psi_{fk}, \quad (12.69)$$

$$\text{აქედან } \psi_{fk} = 1 - 1 / [(1 + (0,8 \cdot \epsilon_{fk,crc} / \epsilon_{fk})], \quad (12.70)$$

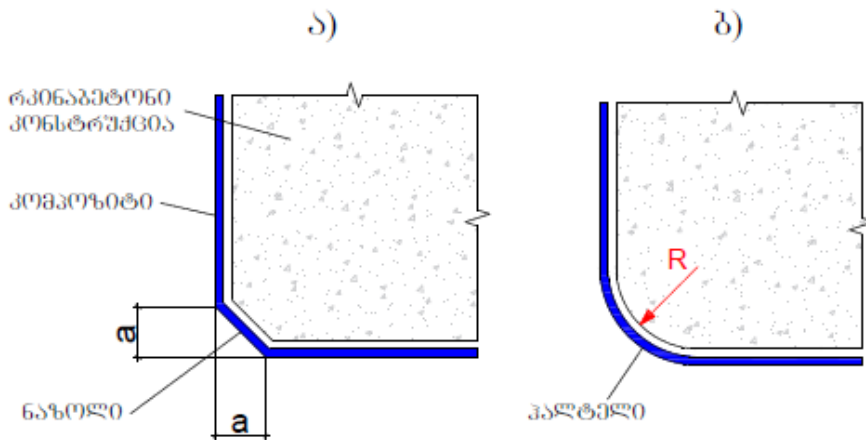
სადაც $\epsilon_{fk,crc}$ არის პოლიმერული კომპოზიტური არმატურის ფარდობითი დეფორმაცია ბზარებიან კვეთში, რომელიც ჩნდება ნორმალური ბზარების გაჩენის შემდეგ;

ϵ_{fk} – პოლიმერული კომპოზიტის არმატურის გასაშუალებული ფარდობითი დეფორმაცია.

12.5.4. გარე დაარმირების სისტემის კონსტრუქციული მოთხოვნები

სამშენებლო კონსტრუქციების CarbonWrap®-ის სისტემის გარე დაარმირებამ უნდა უზრუნველყოს ბეტონის მასივიდან ტენის მიგრაცია. ამისათვის ფილებში კომპოზიტური ლენტის (ქსოვილის) მიკვრა გასაძლიერებელ ზედაპირზე ხდება 150-200 მმ-იანი ინტერვალებით ერთი ან ორი მიმართულებით. თხელ ფილებში თუ ერთი ზედაპირი თავისუფალია, მაშინ მეორე ზედაპირზე დასაშვებია უწყვეტი დაარმირება. კოჭების გაძლიერებისას კომპოზიტმა შეიძლება დაიკავოს განივკვეთის პერიმეტრის 50%-მდე ზედაპირი. დაუშვებელია კომპოზიტის დაწებება შიდა კუთხეებსა და მრუდე ნაწილებში.

ლენტების, ბადეებისა და ქსოვილების გამოყენებით გარსაცმებისა და ცალულების მოწყობისას განივი მიმართულებით და კონსტრუქციის კუთხეებზე აღუნვით, აუცილებელია ნაზოლის მოწყობა კათეტის სიგრძით არა ნაკლები $a \geq 20$ მმ ან ჰალტელის მომრგვალება რადიუსით არა ნაკლები $R \geq 20$ მმ (სურ. 12.8).



სურ. 12.8. კონსტრუქციის კუთხეების დამუშავება პოლიმერული კომპოზიტით გაძლიერებისას: ა-ნაზოლი; ბ-პალიტელი

მრავალშრიანი კომპოზიტით დაარმირებისას რეკომენდებულია შრეების შემდეგი რაოდენობა: ლამინატისათვის – 1-3 შრე; ლენტების, ბადისა და ქსოვილის გამოყენებისას – 1-5 შრე.

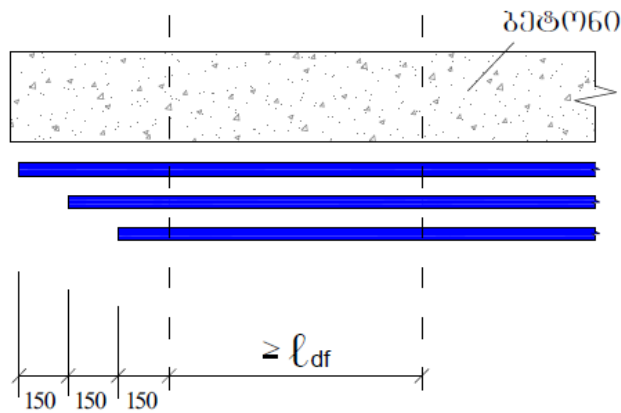
განივი დაარმირებისას გამაძლიერებელი მასალის სიგანეა $W_f = 50-600$ მმ, ხოლო ბიჯი სინათლეში S_f – არა ნაკლები W_f და არა უმეტეს $0,5h_0$ -ის ან $3W_f$ -ისა.

ღუნვადი ელემენტის გრძივი დაარმირებისას გამაძლიერებელი მასალის ელემენტებს შორის დაშორება სინათლეში $S_{f, max}$ მიიღება არა უმეტეს $0,2L$ და $5h$ სიდიდეებს შორის მინიმალურისა, სადაც L არის ღუნვადი ელემენტის მალი ან კონსოლის ორმაგი სიგრძე; h – ღუნვადი ელემენტის კვეთის სიმაღლე. კომპოზიტის შრის კიდის დაშორება კონსტრუქციის განაპირა კიდიდან მიიღება ფოლადის არმატურის დამცავი შრის სისქის ტოლი, მაგრამ არა უმეტეს 20 მმ-ისა. გაჭიმული ზონის მრავალშრიანი დაარმირებისას მეორე შრის კიდე დაშორებული უნდა იყოს პირველი შრის კიდიდან მინიმუმ 150 მმ-ით, ანალოგიურად მესამე შრე მეორისაგან და ა. შ. (სურ. 12.9). გამაძლიერებელი კომპოზიტის „ჩაანკერების“ l_{ef} სიგრძე დამოკიდებულია ბეტონის სიმტკიცეზე და მიიღება: 100 მმ – კუმშვაზე ბეტონის სიმტკიცე 25 მპა; 150 მმ – კუმშვაზე ბეტონის სიმტკიცე 25 მპა.

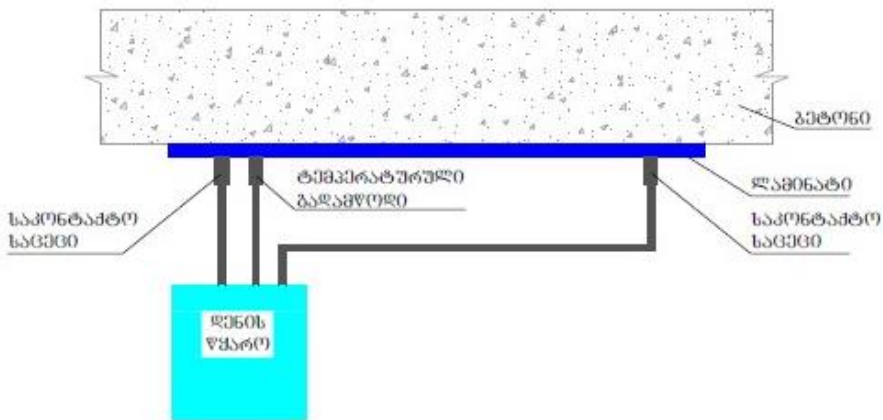
რკინაბეტონის ელემენტების პოლიმერული კომპოზიტური მასალების გარსაცმებით გაძლიერებისას ლენტის (ქსოვილის, ბადის) პირგადადების სიგრძე მიიღება არა ნაკლები 150 მმ-ისა.

ლამელებით (ან ლამინატით) გაძლიერების შემთხვევაში გრძივი მიმართულებით ლამელის სიგრძე უნდა ეთანადებოდეს გასაძლიერებელი ელემენტის სიგრძეს. დაუშვებელია ლამელების პირმიდგმა ან გადაბმა გრძივი მიმართულებით. თუ ლამელების პირაპირის მოწყობა აუცილებელია, მაშინ იგი უნდა შესრულდეს სტანდარტების დაცვით (ГОСТ 25.601). სამუშაოების დაბალ ტემპერატურაზე

წარმოების დროს, საჭირო ხდება გასაძლიერებელი ელემენტის ბეტონის ზედაპირის გათბობა სპეციალური მოწყობილობის გამოყენებით (სურ. 12.10).

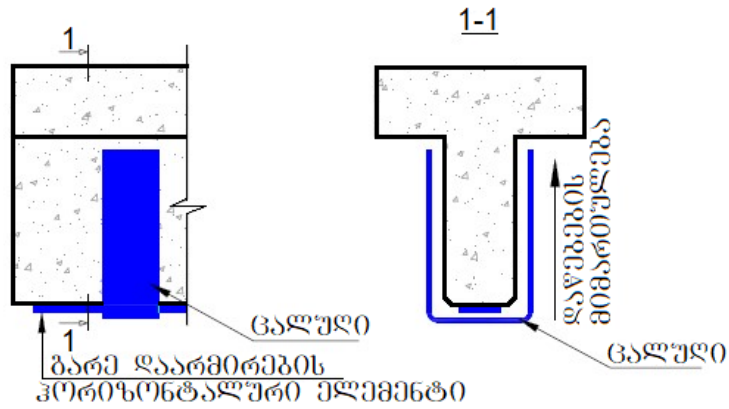


სურ. 12.9. დუნვადი კოჭის გაჭიმული ზონის მრავალშრეობრივი გაძლიერება პოლიმერული კომპოზიტით

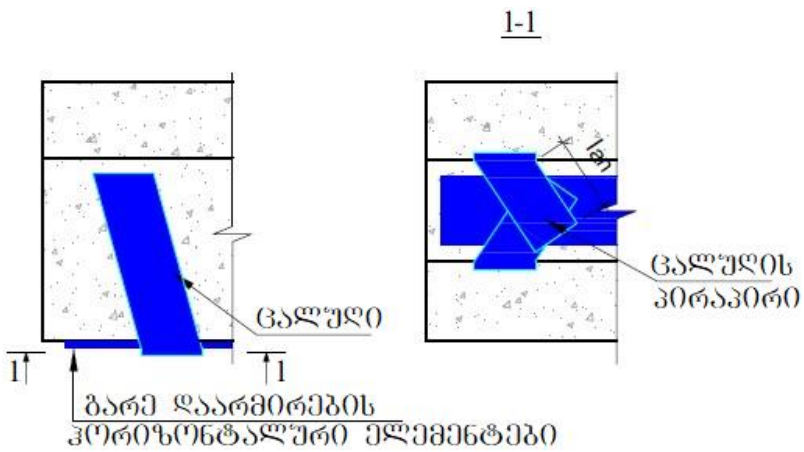


სურ. 12.10. ბეტონის ზედაპირის გასათბობი მოწყობილობა ლამინატის მიწებებამდე

განივი ცალულები წებდება გასაძლიერებელი გრძივი ელემენტის ზედაპირზე. შვეული ცალულები უნდა იყოს მთლიანი (სურ. 12.11), დახრილი – ორი ნაჭრერი, რომელთა პირაპირი განთავსდება კოჭის (კოჭის წიბოს) ქვედა ზედაპირზე (სურ. 12.12). ამასთანავე გასათვალისწინებელია ის, რომ მზიდუნარიანობის განსაზღვრისათვის დახრილი კვეთების მიხედვით, მხედველობაში მიიღება კომპოზიტის მხოლოდ სწორხაზოვანი ნაწილები და დახრილი ნაწილების გეგმილები.

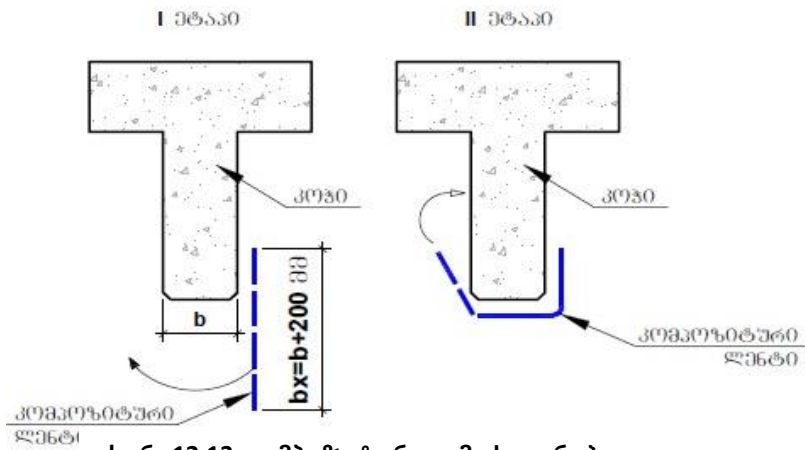


სურ. 12.11. კომპოზიტიური შვეული ცალუდების დაყენების სქემა კოჭოვან კონსტრუქციებში

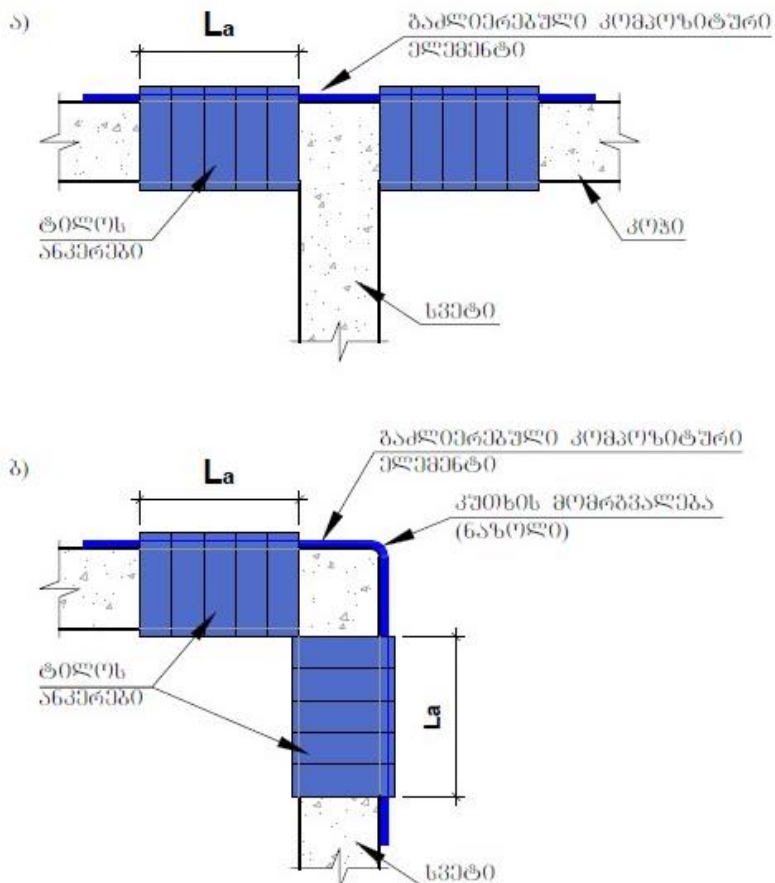


სურ. 12.12. კომპოზიტიური დახრილი ცალუდების განთავსების სქემა კოჭოვან კონსტრუქციებში

კოჭებისა და წიბოვანი ფილების წიბოების ნორმალური კვეთების გაძლიერებისას კომპოზიტის ჩაანკერების გასაუმჯობესებლად და კომპოზიტიური შრეების ბეტონის ზედაპირიდან განშრეების საწინააღმდეგოდ, რეკომენდებულია კომპოზიტიური მასალა აიღუნოს კოჭის გვერდით ზედაპირებზე სიგრძით 100 მმ (სურ. 12.13). გაძლიერების სქემა მოცემულია სურ. 12.14-ზე.



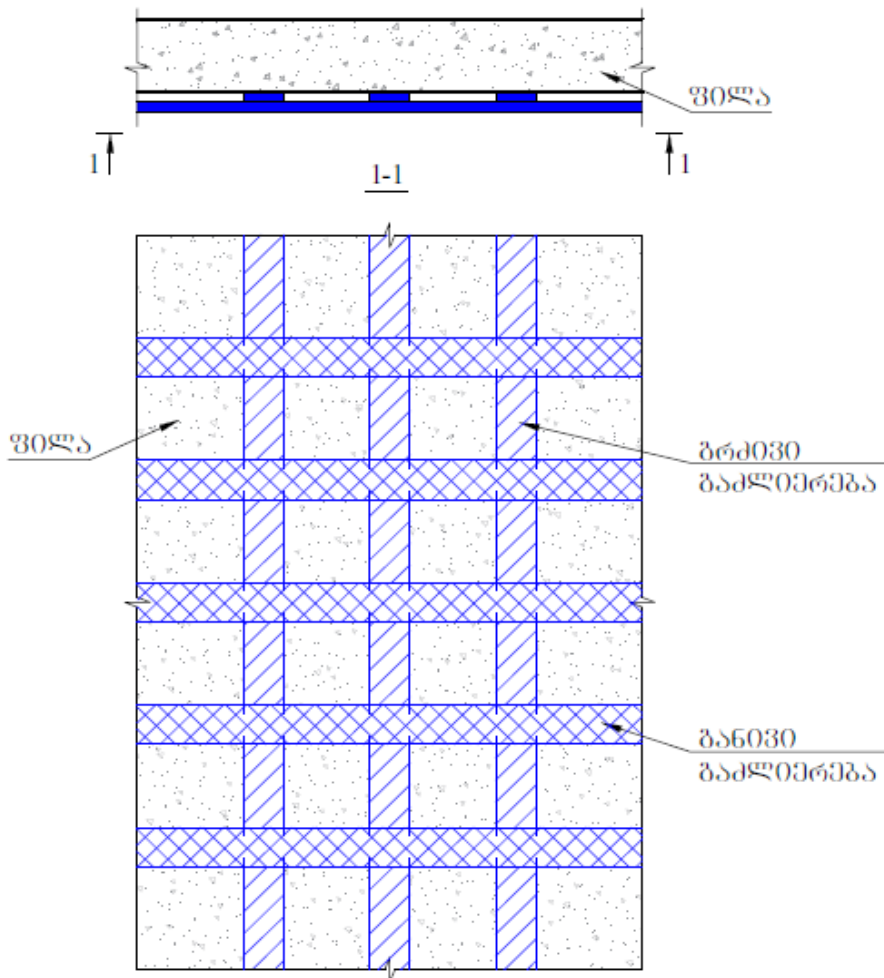
სურ. 12.13. კომპოზიტიური გამაძლიერებელი ლენტის დაწებება კოჭურ კონსტრუქციასზე



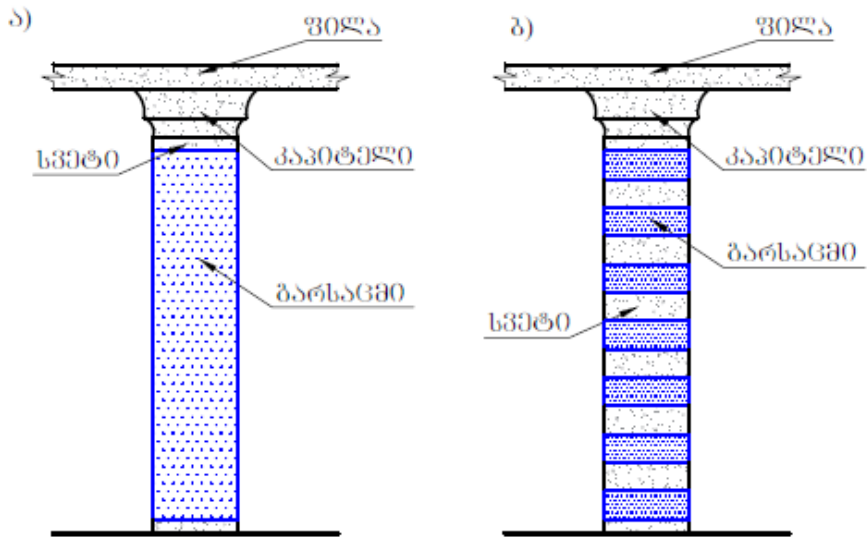
სურ. 12.14. რკინაბეტონის კონსტრუქციების ხისტი კვანძების დაანკერების სქემა კომპოზიტიური ლენტებითა და ქსოვილებით გამაძლიერებისას

რკინაბეტონის ფილის გაძლიერებისას ორი მიმართულებით, პირველ რიგში გამაძლიერებელი კომპოზიტური მასალა დაწებდება ფილის გრძელი გვერდის მიმართულებით (სურ. 12.15). გასაძლიერებლად გამოიყენება ლამინატი, ლენტი და ქსოვილი.

გარსაცმით შეკუმშული ელემენტების განივი მიმართულებით გასაძლიერებლად იგი კეთდება კონსტრუქციის განივკვეთის მთელ პერიმეტრზე. სვეტების გასაძლიერებლად კომპოზიტური მასალის გარსაცმი კეთდება სვეტის მთელ სიმაღლეზე უწყვეტად (სურ. 12.16, ა) ან წყვეტებით (სურ. 12.16, ბ). ტენიან გარემოში მყოფი სვეტებისათვის გარსაცმი დაშორებული უნდა იყოს გადახურვის კონსტრუქციიდან მინიმუმ 20 მმ-ით.

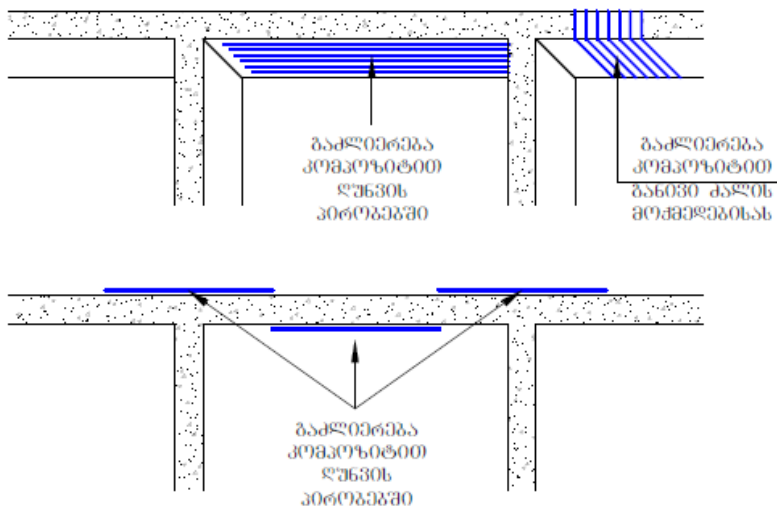


სურ. 12.15. რკინაბეტონის ფილის გაძლიერება კომპოზიტური მასალით ორი მიმართულებით

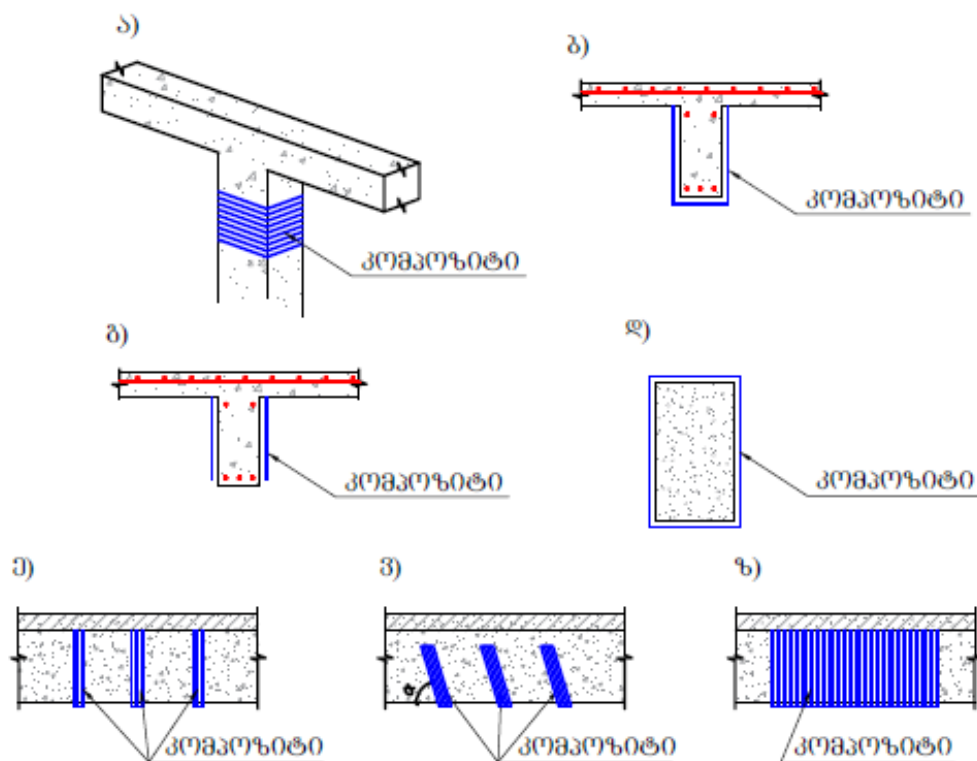


სურ. 12.16. რკინაბეტონის სვეტების გაძლიერება კომპოზიტური გარსაცმით: ა-უწყვეტად; ბ-წყვეტილად

რკინაბეტონის კონსტრუქციების CarbonWrap®-ით გაძლიერების მაგალითები მოცემულია სურ. 12.17 და სურ. 12.18-ზე.



სურ. 12.17. ღუნვადი რკინაბეტონის ელემენტების გაძლიერება



სურ. 12.18. სვეტებისა და კოჭების გაძლიერება: ა-სვეტის გაძლიერება; ბ-კოჭის გაძლიერება პერიმეტრზე; გ-კოჭის გაძლიერება გვერდით წახნაგებზე; დ-კოჭის გაძლიერება მთელ პერიმეტრზე; ე-კოჭის გაძლიერება შვეული ლენტით; ვ-კოჭის გაძლიერება დახრილი ლენტით; ზ-კოჭის გაძლიერება სიგრძეზე

12.5.5. ნახშირბადის საანკერო ჩალიჩების დაპროექტება

ნახშირბადის საანკერო ჩალიჩები მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ რკინაბეტონის კონსტრუქციების გარე დაარმირების CarbonWrap® Anchor-ის სისტემის მოსაწყობად კომპოზიტური მასალებისგან (ლამინატი, ნახშირბადიანი ლენტი, ქსოვილი, ბადე და სხვ.). ასეთი ჩალიჩების გამოყენება დასაშვებია გაძლიერებული ბეტონის ზედაპირიდან კომპოზიტური მასალის განშრევების საწინააღმდეგოდ, თუ ჩატარებული იქნება შესაბამისი ექსპერიმენტალური კვლევა.

კომპოზიტური მასალებით გაძლიერებისას ნახშირბადის საანკერო ჩალიჩების (სურ. 12.19) გამოყენებით, კონსტრუქციის მზიდუნარიანობა განისაზღვრება მუშაობის პირობების შემამცირებელი კოეფიციენტით, რომელიც ტოლია: ლამელისათვის – 0,85, ხოლო დანარჩენი მასალებისათვის – 0,9. საანკერო ჩალიჩის

დიამეტრი მიიღება 4-18 მმ. უფრო დიდი დიამეტრის ჩალიჩის გამოყენება არა-ეფექტურია.

არსებობს ჩაანკერების სამი სახე: ერთმაგი, ორმაგი და პარალელური ჩაანკერება (სურ. 12.20).

ერთმაგი ჩაანკერების დროს კონსტრუქცია კომპოზიტური შრიანად გაიხვრიტება რაღაც სიღრმეზე (პროექტის მიხედვით), რომელშიც ჩაწებდება (ჩაანკერდება) CarbonWrap® Anchor-ის ჩალიჩი, ხოლო ზედა დარჩენილი ბოლო გაიშლება წრიულად და ადჰეზივის მეშვეობით ჩაანკერდება კომპოზიტურ შრესთან. ნახვრეტის დიამეტრი 3-4 მმ-ით მეტი უნდა იყოს ჩალიჩის დიამეტრზე.



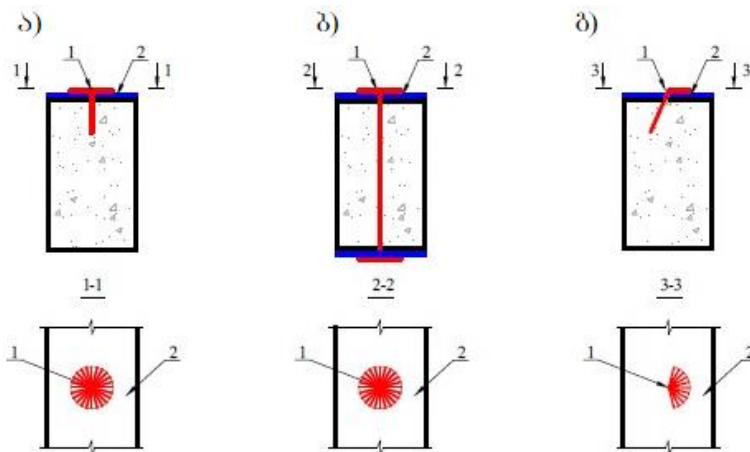
სურ. 12.19. ნახშირბადის საანკერო ჩალიჩი

ორმაგი ჩაანკერების დროს პროცესი მიმდინარეობს ორ მოპირდაპირე ზედაპირზე.

პარალელური ჩაანკერების დროს ჩალიჩის გარე დარჩენილი ნაწილი იშლება V-სებრად და ისე ჩაანკერდება კომპოზიტურ შრესთან.

ტექნოლოგიურად პროცესის მიმდინარეობა შემდეგია: ნახვრეტის მომზადება, ჩალიჩის დაჭრა და ჩასაანკერებლად მომზადება, გაჟღენთვა ადჰეზივში და ლითონის წკირით (დიამეტრით 1-3 მმ) ნახვრეტში ჩამონტაჟება, დარჩენილი თავისუფალი ნაწილის მარაოსებრად გამლა გამაძლიერებელ კომპოზიტზე და ხელის ფუნჯის მეშვეობით ადჰეზივით დაწებება. პროცესის ხანგრძლივობა არ უნდა აღემატებოდეს ადჰეზივის (წებოს) ცხოველუნარიანობას.

ჩაანკერებისათვის ჩალიჩის ნაცვლად დასაშვებია კომპოზიტური ქსოვილის ან ლენტის გამოყენებაც.

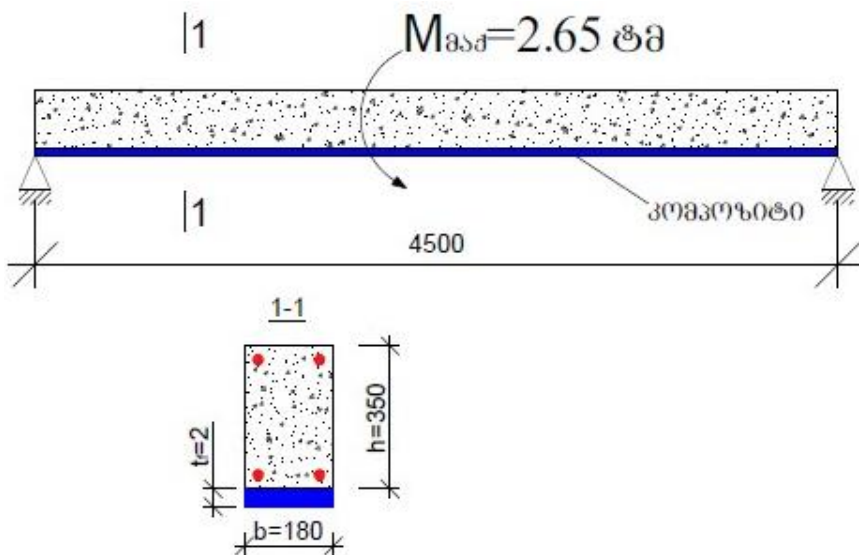


სურ. 12. 20. კომპოზიტური ჩალიჩის ჩაანკერების სქემები: ა-ერთმაგი; ბ-ორმაგი; გ-პარალელური. 1-1-ანკერი; 2-კომპოზიტური შრე

მაგალითი 12.1. გასაანგარიშებელია კომპოზიტური მასალით (ლამინატი CarbonWrap®) გაძლიერებული ღუნვადი რკინაბეტონის კოჭი (სურ. 12.21) სიმტკიცეზე ნორმალური კვეთების მიხედვით. გასაანგარიშებლად გამოყენებულია რუსული სამშენებლო წესები: СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003; СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования და СТО 38276489.001-2017. Стандарт организации. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Проектирование и технология производства работ.

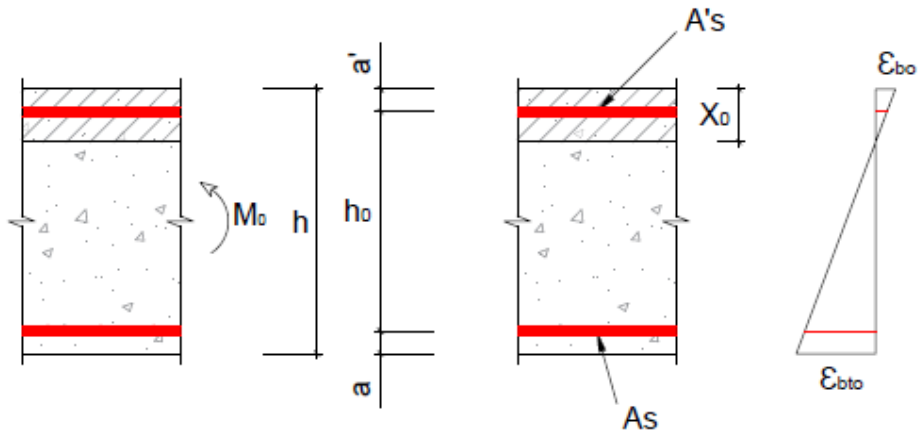
კოჭის გეომეტრიული მახასიათებლები:

- მალი $l = 4,5$ მ;
- განივკვეთი $b \times h = 18 \times 35$ სმ = $0,18 \times 0,35$ მ.
კომპოზიტური მასალის მახასიათებლები:
- შრეების რაოდენობა – 1;
- სიგანე – $b_f = 18$ სმ = $0,18$ მ;
- სისქე – $t_f = 2$ მმ;
- ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე – $R_{fm} = 2800$ მპა;
- ღრეკადობის მოდულის ნორმატიული მნიშვნელობა – $E_{fm} = 165000$ მპა;

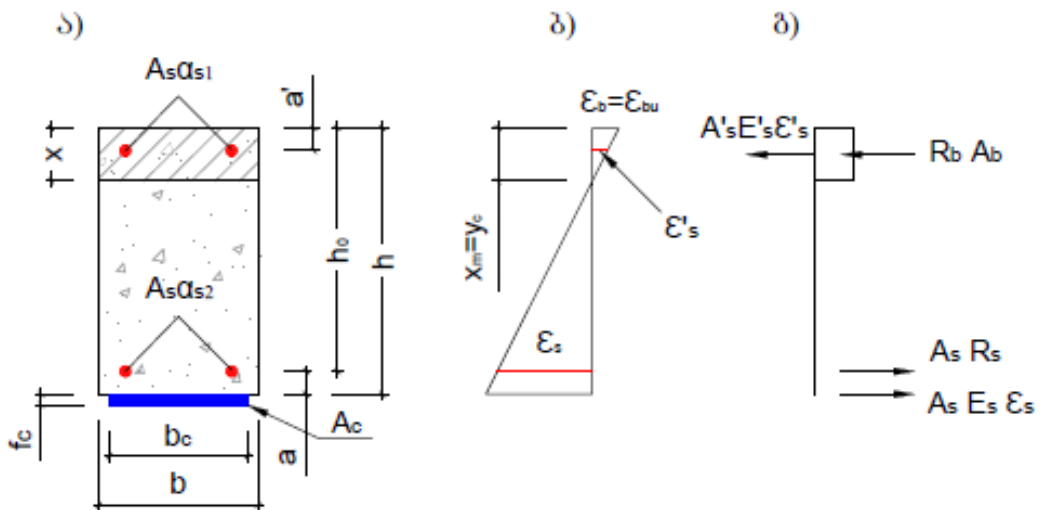


სურ. 12.21. კოჭის გეომეტრიული ზომები და საანგარიშო სქემა

კოჭის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა გაძლიერებამდე და გაძლიერების შემდეგ მოცემულია სურ. 12.22 და სურ. 12.23-ზე.



სურ. 12.22. კოჭის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა გაძლიერებამდე



სურ. 12.23. გარე დაარმირებით გაძლიერებული ღუნვადი რკინაბეტონის კოჭის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა გაძლიერების შემდეგ: ა-განივი კვეთი; ბ-დეფორმაციების განაწილება; გ-ძალების განაწილება

მანძილი ბეტონის განაპირა ბოჭკოდან ფოლადის არმატურის ტოლქმედამდე (ანუ ბეტონის დამცავი შრის სისქე გაჭიმული და შეკუმშული არმატურებისათვის ავიღოთ ერთნაირი):

$$as = a's = 3 \text{ სმ} = 0,03 \text{ მ.}$$

შეკუმშულ ზონაში ავიღოთ ფოლადის არმატურა 2Φ8 A500, რომლის განივკვეთის ფართობია ([11], დანართი XXXII):

$$A's = 2 \cdot 0,503 = 1,01 \text{ სმ}^2 = 0,000101 \text{ მ}^2.$$

გაჭიმულ ზონაში ავიღოთ ფოლადის არმატურა 2Φ10 A500, რომლის განივკვეთის ფართობია ([11], დანართი XXXII):

$$A_s = 2 \cdot 0,785 = 1,57 \text{ სმ}^2 = 0,000157 \text{ მ}^2.$$

კოჭზე მოქმედი დატვირთვებისგან გამოწვეული მაქსიმალური მღუნავი მომენტის საანგარიშო მნიშვნელობა პირობითად მივიღოთ

$$M = 2,65 \text{ ტმ} = 2,65/101,97 = 0,026 \text{ მნმ (მეგანიუტონმეტრი)}.$$

კოჭის დასამზადებლად გამოყენებულია ჩვეულებრივი მძიმე ბეტონი კლასით B15, რომლის მახასიათებლებია ([11], დანართი VII და VIII):

ნორმატიული წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის $R_{bn} = 11$ მპა;

ნორმატიული წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის $R_{bn} = 1,15$ მპა;

საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე $R_b = 8,5$ მპა;

საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე $R_{bt} = 0,75$ მპა.

ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვების ხანგრძლივი დროით მოქმედებას – $\gamma_{b1} = 1$.

ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის გაყინვასა და გაღებობას მორიგეობით – $\gamma_{b3} = 1$. თუ მიწისზედა კონსტრუქციისათვის ზამთრის ტემპერატურა არ აჭარბებს -40°C , მაშინ $\gamma_{b5} = 1$.

ბეტონის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის კონსტრუქციის რღვევის ხასიათს – $\gamma_{b4} = 1$.

ბეტონის მუშაობის პირობების დამატებითი კოეფიციენტი კონსტრუქციის სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, რომელიც ითვალისწინებს სამშენებლო მოედნის სეისმურობას (6 ბალი) (СНиП II-7-81 „Строительство в сейсмических районах, პ. 2.14, ცხრ. 7) – $m_{kp} = 1$.

ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე, როცა $m_{kp} = 1$:

$$R_b = m_{kp} \cdot \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b3} \cdot \gamma_{b4} \cdot \gamma_{b5} \cdot R_b = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 8,5 = 8,5 \text{ მპა};$$

ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე განივი ძალების მოქმედებისას:

$$R_{bt} = \gamma_{b1} \cdot R_{bt} = 1 \cdot 0,75 = 0,75 \text{ მპა}.$$

ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ღერძულ გაჭიმვაზე, როცა $m_{kp} = 1$:

$$R_{bt} = m_{kp} \cdot \gamma_{b1} \cdot R_{bt} = 1 \cdot 1 \cdot 0,75 = 0,75 \text{ მპა}.$$

ფოლადის არმატურის კლასი – A500. შესაბამისად საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე $R_s = 435$ მპა; კუმშვაზე – $R_{sc} = 400$ მპა (СП 63.13330, ცხრ. 6.14).

საიმედოობის კოეფიციენტი არმატურისთვის – $\gamma_s = 1,15$, მაშინ არმატურის ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე ტოლი იქნება:

$$R_{s,n} = m_{kp} \cdot \gamma_s \cdot R_s = 1 \cdot 1,15 \cdot 435 = 500,25 \text{ მპა}.$$

არმატურის ნორმატიული წინაღობა ღერძულ კუმშვაზე:

$$R_{sc,n} = m_{kp} \cdot \gamma_s \cdot R_{sc} = 1,15 \cdot 400 = 460 \text{ მპა.}$$

არმატურის დრეკადობის მოდული – $E_s = 200\,000 \text{ მპა}$;

ბეტონის საწყისი დრეკადობის მოდული (СП 63.13330, ცხრ. 6.11) – $E_b = 24\,000 \text{ მპა}$;

კომპოზიტური მასალის სახეობა – ნახშირბადის ბოჭკოებზე დამზადებული ქსოვილური კომპოზიტი. ექსპლუატაცია ხდება ღია ჰაერზე ბუნებრივ პირობებში. შესაბამისი მუშაობის პირობების კოეფიციენტი – $\gamma_{f1} = 0,8$ (СП 164.1325800.2014, პ. 5.2.5, ცხრ. 3).

კომპოზიტური მასალის საიმედოობის კოეფიციენტი – $\gamma_f = 1,2$.

კომპოზიტური მასალის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონთან კომპოზიტური მასალის შეჭიდულობას მივიღოთ – $\gamma_{f2} = 1$.

კომპოზიტური მასალის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე ([54], პ. 5.2.5, ფორმ. 5.1):

$$R_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot R_{fn} / \gamma_f = 0,8 \cdot 1 \cdot 2800 / 1,2 = 1867 \text{ მპა.}$$

გარე დაარმირების სისტემის კომპოზიტური მასალის ზღვრული ფარდობითი დეფორმაცია:

$$\epsilon_{f,ult} = R_f / E_f = 1867 / 165000 = 0,011.$$

ფარდობითი დეფორმაციის გათვალისწინებით გამოვთვალოთ კომპოზიტური მასალის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონთან კომპოზიტური მასალის შეჭიდულობას:

$$\gamma_{f2} = [1 / (2,5 \cdot \epsilon_{f,ult})] \cdot \sqrt{R_b} / (n \cdot E_s \cdot t_f) = 1 / (2,5 \cdot 0,011 \cdot \sqrt{8,5} / (1 \cdot 165000 \cdot 2)) = 0,222,$$

სადაც t_f – უგანზომილებო პარამეტრი, რომელიც რიცხობრივად ტოლია კომპოზიტური მასალის ერთი ფენის სისქის.

კომპოზიტური მასალის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე ბეტონთან შეჭიდულობის γ_{f2} კოეფიციენტის გათვალისწინებით ([54], პ. 5.2.5, ფორმ. 5.1):

$$R_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot R_{fn} / \gamma_f = 0,8 \cdot 0,22 \cdot 2800 / 1,2 = 411 \text{ მპა.}$$

გარე დაარმირების სისტემის კომპოზიტური მასალის ზღვრული ფარდობითი დეფორმაცია ([54], პ. 5.2.5, ფორმ. 5.4):

$$\epsilon_{f,ult} = R_f / E_f = 411 / 165000 = 0,0025.$$

სამშენებლო ნორმების თანახმად ([54], პ.4.10) კომპოზიტებით გაძლიერებული რკინაბეტონის ღუნვადი კონსტრუქციების ბეტონის მინიმალური დასაშვები ფაქტურული კლასი არ უნდა იყოს B15-ზე ნაკლები (კუმშვისას B10). განსახილველ მაგალითში ჩვენ ეს პირობა დაცული გვაქვს.

გაჭიმული არმატურის დამცავი შრის დაყვანილი სისქე:

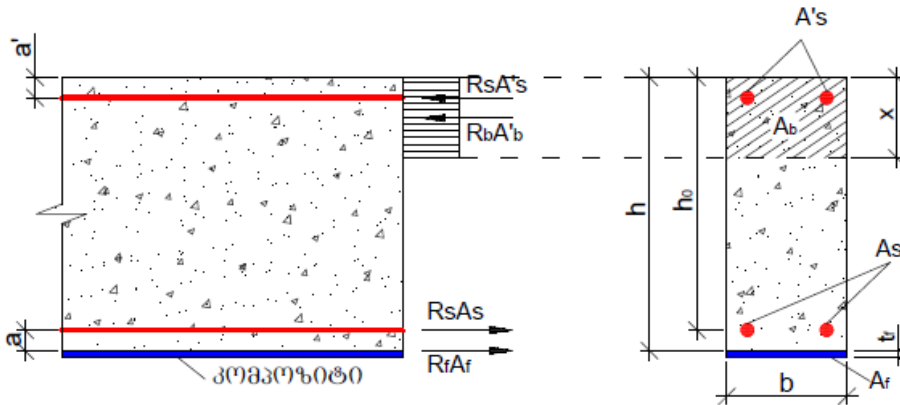
$$a = E_s \cdot A_s \cdot a_s / (E_s \cdot A_s) = 200000 \cdot 0,000157 \cdot 0,03 / (200000 \cdot 0,000157) = 0,03 \text{ მ} = 3 \text{ სმ.}$$

საბოლოოდ შეკუმშული და გაჭიმული არმატურების დამცავი შრის სისქეს ვიღებთ ერთნაირს – $a = a_s = a' \cdot s = 3 \text{ სმ.}$

კოჭის განიკვეთის სამუშაო სიმაღლე:

$$h_o = h - a = 0,35 - 0,03 = 0,32 \text{ მ} = 32 \text{ სმ.}$$

სურ. 12.24-ზე მოცემულია კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის კოჭის საანგარიშო სქემა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისათვის.



სურ. 12.24. ძაღვების სქემა და ძაღვების ეპიურა კოჭის ნორმალურ კვეთში

განვსაზღვროთ ბეტონზე დაყვანილი კვეთის მახასიათებლები:

გაჭიმული არმატურის ბეტონზე დაყვანის კოეფიციენტი:

$$\alpha_s = E_s/E_b = 200000/24000 = 8,33;$$

$$h'o = h - a's = 0,35 - 0,03 = 0,32 \text{ მ} = 32 \text{ სმ};$$

კოჭის განიკვეთის ფართობი:

$$A = b \cdot h = 0,18 \cdot 0,35 = 0,063 \text{ მ}^2 = 630 \text{ სმ}^2;$$

კოჭის ბეტონის განიკვეთის სტატიკური მომენტი განაპირა ყველაზე გაჭიმული ბოჭკოს მიმართ:

$$S_t = b \cdot h^2/2 = 0,18 \cdot 0,35^2/2 = 0,011025 \text{ მ}^3 = 11025 \text{ სმ}^3;$$

კოჭის განიკვეთის ბეტონის ფართობი:

$$A_b = b \cdot h - A_s - A's = 0,18 \cdot 0,35 - 0,000157 - 0,000101 = 0,06274 \text{ მ}^2 = 627,4 \text{ მ}^2;$$

კოჭის დაყვანილი განიკვეთის ფართობი:

$$A_{red} = \alpha_s \cdot (A_s + A's) + A_b = 8,33 \cdot (0,000157 + 0,000101) + 0,06274 = 0,0649 \text{ მ}^2 = 649 \text{ სმ}^2;$$

კოჭის დაყვანილი განიკვეთის სტატიკური მომენტი განაპირა ყველაზე გაჭიმული ბოჭკოს მიმართ:

$$\begin{aligned} S_{t,red} &= (\alpha_s - 1) \cdot [(A_s \cdot a_s + A's \cdot (h - a's))] + b \cdot h^2/2 = \\ &= (8,33 - 1) \cdot [(0,000157 \cdot 0,03 + 0,000101 \cdot (0,35 - 0,03))] + 0,18 \cdot 0,35^2/2 = \\ &= 0,011296 \text{ მ}^3 = 11296 \text{ სმ}^3; \end{aligned}$$

საანგარიშო განიკვეთის (კონტურის) სიმძიმის ცენტრის კოორდინატა:

$$y_o = S_{t,red} / A_{red} = 0,011296 / 0,0649 = 0,174 \text{ მ} = 17,41 \text{ სმ};$$

დაყვანილი განიკვეთის სიმძიმის ცენტრიდან მანძილი ბეტონის ყველაზე განაპირა გაჭიმულ ბოჭკომდე;

$$y_t = y_o = 0,174 \text{ მ} = 17,4 \text{ სმ}.$$

მანძილი ბეტონის ყველაზე შეკუმშული ბოჭკოდან დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე:

$$y_c = h - y_t = 0,35 - 0,174 = 0,176 \text{ მ} = 17,6 \text{ სმ.}$$

გაჭიმული არმატურისათვის

$$y_s = y_o - a_s = 0,174 - 0,03 = 0,144 \text{ მ} = 14,4 \text{ სმ.}$$

შეკუმშული არმატურისათვის

$$y'_s = h - a_s - a's - y_s = 0,35 - 0,03 - 0,03 - 0,144 = 0,146 \text{ მ} = 14,6 \text{ სმ;}$$

ბეტონის კვეთის ინერციის მომენტი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრის მიმართ:

$$I = b \cdot h^3 / 12 + A \cdot (0,5 \cdot h - y_t)^2 = 0,18 \cdot 0,35^3 / 12 + 0,063 \cdot (0,5 \cdot 0,35 - 0,174)^2 = 0,000643063 \text{ მ}^4 = 64306,3 \text{ სმ}^4.$$

გამოვთვალეთ კოჭის გრძივი ღერძის მიმართ ნორმალური ბზარების წარმოქმნელი მომენტი:

მლუნავი მომენტი M_{cr} ბზარების წარმოქმნისას, ზოგადად, განისაზღვრება არაწრფივი დეფორმაციული მოდელის საფუძველზე ნორმალური კვეთის გაჭიმულ ზონაში ბეტონის მუშაობის მხედველობაში მიღებით. მასალის საანგარიშო მახასიათებლები მიიღება ზღვრული მდგომარეობის მეორე ჯგუფისათვის. თანაც, M_{cr} მომენტის განსაზღვრა ხდება იმ პირობიდან, რომ ბეტონის ფარდობითი დეფორმაცია $\varepsilon_{bt,max}$ კოჭის გაჭიმულ კიდეზე გარე დატვირთვების მოქმედებისას უტოლდება ბეტონის ფარდობით დეფორმაციას $\varepsilon_{bt,ult}$ გაჭიმვაზე (СП 63.13330, პ. 6.1.24; 8.1.20 – 8.1.30). მხედველობაში მიიღება აგრეთვე შემდეგი დაშვებები:

- განიკვეთი დეფორმაციის შემდეგაც რჩება ბრტყელი;
- ბეტონის შეკუმშულ ზონაში დაბვის ეპიურა მიიღება სამკუთხედის ფორმის, როგორც დრეკადი ტანის (სურ. 12.25);
- ბეტონის გაჭიმულ ზონაში დაბვის ეპიურა მიიღება ტრაპეციის ფორმის დაბვებით, რომლებიც არ აჭარბებენ ბეტონის $R_{bt,ser}$ საანგარიშო წინაღობას გაჭიმვაზე;
- გაჭიმული ბეტონის განაპირა ბოჭკოს ფარდობითი დეფორმაცია მიიღება მისი ზღვრული მნიშვნელობის $\varepsilon_{bt,ult}$ ტოლი დატვირთვების ხანმოკლედ მოქმედებისას. კოჭის განიკვეთის დეფორმაციის ორი ნიშნის (გაჭიმვა, კუმშვა) ეპიურის შემთხვევაში $\varepsilon_{bt,ult} = 0,00015$;
- დაბვა არმატურაში მიიღება ფარდობით დეფორმაციაზე დამოკიდებულებით, როგორც დრეკადი ტანის.

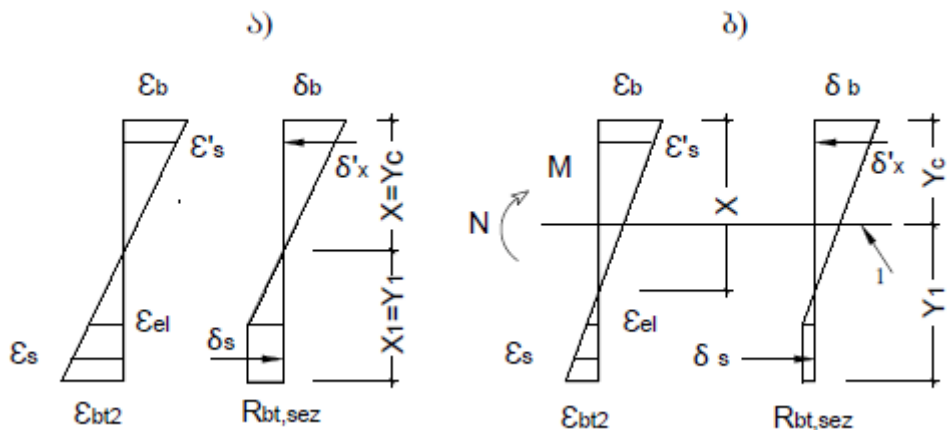
ღერძულ კუმშვაზე ბეტონის წინაღობის საანგარიშო მნიშვნელობა მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით ([11], დანართი VII):

$$R_{b,ser} = R_b = 11 \text{ მპა;}$$

იმავეგაჭიმვაზე:

$$R_{bt,ser} = R_{btn} = 1,15 \text{ მპა;}$$

ინერციის მომენტები:



სურ. 12.25. კოჭის განიკვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის სქემა ბზარების წარმოქმნაზე შემოწმებისას: ა-მდუნავი მომენტის მოქმედებისას; ბ-მდუნავი მომენტის და გრძივი ძალის მოქმედებისას. 1-დაყვანილი განიკვეთის სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა

გაჭიმული არმატურის კვეთისათვის:

$$I_s = A_s \cdot (h - a_s - y_c)^2 = 0,000157 \cdot (0,35 - 0,03 - 0,176)^2 = 0,0000032555 \text{ მ}^4 = 325,6 \text{ სმ}^4.$$

შეკუმშული არმატურის კვეთისათვის:

$$I'_s = A'_s \cdot (y_c - a'_s)^2 = 0,000101 \cdot (0,176 - 0,03)^2 = 0,0000021529 \text{ მ}^4 = 215,3 \text{ სმ}^4;$$

ინერციის მომენტი კოჭის დაყვანილი განიკვეთისათვის სიმძიმის ცენტრის მიმართ :

$$I_{red} = I + I_s \cdot (\alpha_s - 1) + I'_s \cdot (\alpha_s - 1) = 0,000643063 + 0,0000032555 \cdot (8,33 - 1) + 0,0000021529 \cdot (8,33 - 1) = 0,000682706 \text{ მ}^4 = 68270,6 \text{ სმ}^4.$$

დაყვანილი კვეთის დრეკადი წინაღობის მომენტი:

$$W_{red} = I_{red} / y_t = 0,000682706 / 0,174 = 0,003924 \text{ მ}^3 = 3924 \text{ სმ}^3.$$

მანძილი დაყვანილი კვეთის სიმძიმის ცენტრიდან კვეთის გულის წერტილამდე, რომელიც ყველაზე მეტადაა დაშორებული გაჭიმული ზონიდან;

$$e_x = W_{red} / A_{red} = 0,003924 / 0,0649 = 0,06045 \text{ მ} = 6,05 \text{ სმ}.$$

ბზარების წარმოქმნელი მომენტი განისაზღვრება არადრეკადი დეფორმაციების გათვალისწინებით.

მართკუთხა (ან ტესებრი თაროთი შეკუმშულ ზონაში) განიკვეთის დრეკად-პლასტიკური წინაღობის მომენტი მომენტის მოქმედებისას სიმეტრიის ღერძის სიბრტყეში:

$$W_{pl} = 1,3 \cdot W_{red} = 1,3 \cdot 0,003924 = 0,005101 \text{ მ}^3 = 5101 \text{ სმ}^3.$$

მდუნავი მომენტი, რომელსაც დებულობს კოჭის ნორმალური კვეთი ბზარების წარმოქმნისას:

$I_s = A_s \cdot (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,000157 \cdot (0,35 - 0,03 - 0,05894)^2 = 0,0000107 \text{ მ}^4 = 1070 \text{ სმ}^4$;
შეკუმშული არმატურის:

$$I'_s = A'_s \cdot (y_{cm} - a'_s)^2 = 0,000101 \cdot (0,05894 - 0,03)^2 = 0,000000085 \text{ მ}^4 = 8,5 \text{ სმ}^4.$$

ბეტონის შეკუმშული ზონის ინერციის მომენტი:

$$I_b = b \cdot x_m^3 / 3 = 0,18 \cdot 0,05894^3 / 3 = 0,0000123 \text{ მ}^4 = 1230 \text{ სმ}^4;$$

ბეტონის შეკუმშული ზონის ფართობი:

$$A_b = b \cdot x_m = 0,18 \cdot 0,05894 = 0,0106092 \text{ მ}^2 = 106,092 \text{ სმ}^2;$$

დაყვანილი განივკვეთის ინერციის მომენტი:

$$I_{red} = I_b + I_s \cdot \alpha_{s2} + I'_s \cdot \alpha_{s1} = 0,0000123 + 0,0000107 \cdot 27,274 + 0,000000085 \cdot 27,274 = 0,0004608 \text{ მ}^4 = 46080 \text{ სმ}^4;$$

დაყვანილი განივკვეთის ფართობი:

$$A_{red} = A_b + A_s \cdot \alpha_{s2} + A'_s \cdot \alpha_{s1} = 0,0106092 + 0,000157 \cdot 27,274 + 0,000101 \cdot 27,274 = 0,0176558 \text{ მ}^2 = 176,46 \text{ სმ}^2;$$

ძაბვა გაჭიმულ არმატურაში:

$$\sigma_s = [M \cdot (h_0 - y_c) / I_{red}] \cdot \alpha_{s1} = [0,026 \cdot (0,32 - 0,176) / 0,000682706] \cdot 27,274 = 149,57 \text{ მპა}.$$

ძაბვა გაჭიმული გრძივი არმატურის კვეთში ნორმალური ბზარების გაჩენის მომენტში (განისაზღვრება პირობიდან $M = M_{crc} = 0,005866 \text{ მმმ}$):

$$\sigma_{s,crc} = [M_{crc} \cdot (h_0 - y_c) / I_{red}] \cdot \alpha_{s1} = [0,005866 \cdot (0,32 - 0,176) / 0,000682706] \cdot 27,274 = 33,75 \text{ მპა}.$$

$\sigma_s = 149,57 \text{ მპა} > \sigma_{s,crc} = 33,75 \text{ მპა}$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ბეტონის გაჭიმულ ზონაში ბზარების გახსნა იწყება მაშინ, როცა ძაბვა გაჭიმულ არმატურაში მიაღწევს 33,75 მპა-ს და გრძელდება მანამ, ვიდრე ძაბვა არ მიაღწევს 149,57 მპა-ს.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული კომპოზიტებით გაძლიერებული რკინაბეტონის ელემენტის გრძივი ღერძის ნორმალური მიმართულების ბზარების გახსნის სიგანე განისაზღვრება ფორ. 12.46-ით. გამოვთვალოთ კოეფიციენტი ψ_s :

$$\psi_s = 1 - (0,8 \cdot M_{crc} / M) = 1 - (0,8 \cdot 0,005866 / 0,026) = 0,82.$$

განვსაზღვროთ დაყვანილი ღრუკადობის მოდული დატვირთვების ხანმოკლედ მოქმედებისას:

ბეტონის ფარდობითო დეფორმაცია $\epsilon_{b1,red} = 0,0015$;

დეფორმაციის დაყვანილი მოდული ბეტონის:

$$E_{b,red} = R_{b,ser} / \epsilon_{b1,red} = 11 / 0,0015 = 7333 \text{ მპა}.$$

დეფორმაციის დაყვანილი მოდული გაჭიმული არმატურის:

$$E_{s,red} = E_s / \psi_s = 200000 / 0,82 = 243902 \text{ მპა};$$

გაჭიმული არმატურის ბეტონზე დაყვანის კოეფიციენტი:

$$\alpha_{s2} = E_{s,red} / E_{b,red} = 243902 / 7333 = 33,26;$$

შეკუმშული ბეტონის დეფორმაციის მოდული:

$$E_{b1} = E_{b,red} = 7333 \text{ მპა}.$$

დაყვანილი კვეთის ინერციის მომენტის განსაზღვრა

ბეტონის შეკუმშული ზონის საშუალო სიმაღლე:

$$x_{m=h_0} \cdot \left[\sqrt{(\mu_s \cdot \alpha_{s2} + \mu'_s \cdot \alpha_{s1})^2 + \left(\mu_s \alpha_{s2} + \frac{\mu'_s \cdot \alpha_{s1} \cdot a'}{h_0} \right) - (\mu_s \cdot \alpha_{s2} + \mu'_s \cdot \alpha_{s1})} \right] =$$

$$= 0.32 \cdot$$

$$\left[\sqrt{(0.00273 \cdot 33,26 + 0,00175 \cdot 27,274)^2 + (0,00273 \cdot 33,26 + \frac{0,00175 \cdot 27,274 \cdot 0,03}{0,32})} - \right.$$

$$\left. - (0,00273 \cdot 33,26 + 0.00175 \cdot 27,274) \right] = 0,0639935 \text{ მ} = 6,4 \text{ სმ.}$$

$$y_{cm} = x_m = y_c = 0,064 \text{ მ} = 6,4 \text{ სმ};$$

ბეტონის შეკუმშული ზონის ინერციის მომენტი:

$$I_b = b \cdot x_m^3 / 3 = 0,18 \cdot 0,064^3 / 3 = 0,0000157 \text{ მ}^4 = 1570 \text{ სმ}^4;$$

ბეტონის შეკუმშული ზონის ფართობი:

$$A_b = b \cdot x_m = 0,18 \cdot 0,064 = 0,01152 \text{ მ}^2 = 115,2 \text{ სმ}^2;$$

კოჭის განივკვეთის ინერციის მომენტები:

გაჭიმული არმატურის:

$$I_s = A_s \cdot (h - a_s - y_{cm})^2 = 0,000157 \cdot (0,35 - 0,03 - 0,064)^2 = 0,0000103 \text{ მ}^4 = 1030 \text{ სმ}^4;$$

შეკუმშული არმატურის:

$$I'_s = A'_s \cdot (y_{cm} - a'_s)^2 = 0,000101 \cdot (0,064 - 0,03)^2 = 0,000000116 \text{ მ}^4 = 11,6 \text{ სმ}^4.$$

დაყვანილი განივკვეთის ინერციის მომენტი:

$$I_{red} = I_b + I_s \cdot \alpha_{s2} + I'_s \cdot \alpha_{s1} = 0,00001152 + 0,0000103 \cdot 33,26 + 0,000000116 \cdot 27,274 =$$

$$= 0,00045726 \text{ მ}^4 = 45726 \text{ სმ}^4;$$

დაყვანილი განივკვეთის ფართობი:

$$A_{red} = A_b + A_s \cdot \alpha_{s2} + A'_s \cdot \alpha_{s1} = 0,0106092 + 0,000157 \cdot 33,26 + 0,000101 \cdot 27,274 =$$

$$= 0,0185857 \text{ მ}^2 = 185,86 \text{ სმ}^2;$$

ღუნვითი სიხისტე:

$$D = E_{b1} \cdot I_{red} = 7333 \cdot 0,00045726 = 3,35 \text{ მნ მ}^2 = 3,35 \cdot 101,97 = 341,6 \text{ ტ მ}^2;$$

სადაც 101,97 – მეგანიუტონიდან ტონებში გადასაყვანი კოეფიციენტი.

ბეტონის შეკუმშული ზონის სიმაღლე:

$$x_o = x_m = 0,064 \text{ მ} = 6,64 \text{ სმ.}$$

შეკუმშული ბეტონის საწყისი ფარდობითი დეფორმაცია კონსტრუქციის გაძლიერებამდე (СП 164.13258006, პ.6.2.4, ფორმ. 6.4);

$$\epsilon^o_b = [M_o / (E_{b1} \cdot I_{red})] \cdot x_o = [0,026 / (7333 \cdot 0,00045726)] \cdot 0,064 = 0,0005.$$

ფოლადის არმატურის საწყისი ფარდობითი დეფორმაცია კონსტრუქციის გაძლიერებამდე (СП 164.1325800, პ. 6.2.4, ფორმ. 6.3):

$$\epsilon^o_s = [M_o / (E_{b1} \cdot I_{red})] \cdot (h_o - x_o) = [0,026 / (7333 \cdot 0,00045726)] \cdot (0,32 - 0,064) = 0,00199.$$

$$\epsilon_{s2} = 0,015.$$

განივკვეთის გაჭიმული კიდის საწყისი დეფორმაცია (СП 164.1325800, პ. 6.2.10, ფორმ. 6.14):

$$\varepsilon_{bt}^o = (\varepsilon_s^o \cdot h + \varepsilon_b^o \cdot a) / h_0 = (0,00199 \cdot 0,35 + 0,0005 \cdot 0,03) / 0,32 = 0,00222.$$

როგორც ცნობილია (СП 164.13258006, პ. 6.2.1, ფორმ. 6.1), ძვრის დეფორმაცია შეწებების ნაკერში მხედველობაში არ მიიღება, ხოლო კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის კონსტრუქციის გაანგარიშებისას დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$R_f \leq (\varepsilon_{s2} - \varepsilon_s^o) \cdot E_f,$$

სადაც ε_{s2} – ფოლადის არმატურის ფარდობითი დეფორმაციის ზღვრული მნიშვნელობა, რომელიც მიიღება: 0,025 – არმატურისათვის ფიზიკური დენადობის ზღვრით და 0,015 – არმატურისათვის პირობითი დენადობის ზღვრით;

ε_s^o – რეალური ფოლადის არმატურის საწყისი ფარდობითი დეფორმაცია, რომელიც განისაზღვრება კონსტრუქციის გაჭიმულ ზონაში ბზარების არსებობის გათვალისწინებით.

კომპოზიტური მასალის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე ბეტონთან შეჭიდულობის γ_{f2} კოეფიციენტის გათვალისწინებით:

$$R_f = 411 \text{ მპა} \leq (\varepsilon_{s2} - \varepsilon_s^o) \cdot E_f = (0,015 - 0,00199) \cdot 165000 = 2146,65 \text{ მპა},$$

რაც იმას ნიშნავს რომ ნორმალური კვთების სიმტკიცის პირობა ზღვრული ძაღვების მიხედვით დაკმაყოფილებულია.

განვსაზღვროთ ბეტონის შეკუმშული ზონის სასაზღვრო ფარდობითი სიმაღლე: ბეტონის შეკუმშული ზონის მახასიათებელი $\omega = 0,8$. ბეტონის ფარდობითი დეფორმაცია $\varepsilon_{b2} = 0,0035$.

ნორმალური კვთების გაანგარიშება სიმტკიცეზე უნდა ჩატარდეს ბეტონის შეკუმშული ზონის ფარდობითი სიმაღლეს $\alpha = x/h_0$ (რომელიც განისაზღვრება წონასწორობის შესაბამისი პირობებით), და ბეტონის შეკუმშული ზონის სასაზღვრო ფარდობითი სიმაღლეს $\alpha_{R,f}$ (რომლის დროსაც ელემენტის ზღვრული მდგომარეობა დგება ერთდროულად მაშინ, როცა დაბვა კომპოზიტურ მასალაში გაუტოლდება საანგარიშო წინაღობას R_f) შორის თანაფარდობის დამოკიდებულებების მიხედვით.

ბეტონის შეკუმშული ზონის სასაზღვრო ფარდობითი სიმაღლე:

$$\alpha_{R,f} = x_{R,f} / h = \omega / \{1 + [(\varepsilon_{f,ult} + \varepsilon_b^o) / \varepsilon_{b2}]\} = 0,8 / \{1 + [(0,0025 + 0,0005) / 0,0035]\} = 0,431,$$

სადაც ω – ბეტონის შეკუმშული ზონის მახასიათებელი, რომელიც მიიღება მძიმე ბეტონებისათვის კლასით B60-ის ჩათვლით ტოლი 0,8, ხოლო მძიმე ბეტონებისათვის კლასით B70 – B100 და წვრილმარცვლოვანი ბეტონისათვის – 0,7.

გავიანგარიშოთ კომპოზიტით გაძლიერებული ღუნვადი რკინაბეტონის კოჭი სიმტკიცეზე:

გარე დაარმირების კომპოზიტური მასალის არმატურის განივკვეთის ფართობი:

$$A_f = n \cdot t_f \cdot b_f = 1 \cdot 0,002 \cdot 0,18 = 0,00036 \text{ მ}^2 = 3,6 \text{ სმ}^2,$$

სადაც n – პოლიმერული კომპოზიტის შრეების რაოდენობა; t_f – შრის სისქე; b_f – შრის სიგანე.

გაჭიმული არმატურის დამცავი შრის დაყვანილი მნიშვნელობა:

$$a = R_s \cdot A_s \cdot a_s / (R_s \cdot A_s + R_f \cdot A_f) = \\ = 435 \cdot 0,000157 \cdot 0,03 / (435 \cdot 0,000157 + 411 \cdot 0,00036) = 0,0095 \text{ მ} = 0,95 \text{ სმ.}$$

იმავეშეკუმბული არმატურისთვის:

$$a' = a's = 0,03 \text{ მ} = 3 \text{ სმ.}$$

განიკვეთის სამუშაო სიმაღლე:

$$h_0 = h - a = 0,35 - 0,0095 = 0,3405 \text{ მ} = 34,05 \text{ სმ.}$$

შეკუმბული ზონის სიმაღლე:

$$x = (R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A's + R_f \cdot A_f) / (R_b \cdot b) = \\ = (435 \cdot 0,000157 - 460 \cdot 0,000101 + 411 \cdot 0,00036) / (8,5 \cdot 0,18) = 0,110977 \text{ მ} = 11,1 \text{ სმ.}$$

შეკუმბული ზონის ფარდობითი სიმაღლე:

$$\square = x/h = 0,110977/0,35 = 0,3171.$$

რადგან $\square = 0,3171 < \square_{R,f} = 0,431$ ([53], პ. 6.2.7), ამიტომ ღუნვალი მართკუთხა განიკვეთის ელემენტებისათვის ზღვრული მღუნავი მომენტი M_{ult} განისაზღვრება ფორმულით:

$$M_{ult} = R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + R_{sc} \cdot A's \cdot (h_0 - a's) + R_f \cdot A_f \cdot a = \\ = 8,5 \cdot 0,18 \cdot 0,111 \cdot (0,3405 - 0,5 \cdot 0,111) + 460 \cdot 0,000101 \cdot (0,3405 - 0,03) + \\ + 411 \cdot 0,00036 \cdot 0,0095 = 0,06423 \text{ მმმ} = 6,423 \text{ ტმ.}$$

საბოლოოდ მივიღეთ, რომ მღუნავი მომენტი გარე დატვირთვისაგან

$$M = 2,65 \text{ ტმ} < M_{ult} = 6,423 \text{ ტმ.}$$

პირობა დაკმაყოფილებულია.

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ გასაანგარიშებელ კოჭზე გარე დატვირთვისაგან გამოწვეული მღუნავი მომენტის სიდიდე მნიშვნელოვნად ნაკლებია კომპოზიტით გაძლიერებული კოჭის მღუნავ მომენტზე, ანუ კომპოზიტის სისქე, რომელიც თავიდან აღებული გვქონდა (2 მმ) შეიძლება შემცირდეს (ვთქვათ 1,3-1,6 მმ-ის ფარგლებში) და ხელმეორედ მოვახდინოთ გადაანგარიშება. რაც შეეხება კომპოზიტური შრის სიგანის შემცირებას – სასურველი არ არის (თუმცა დასაშვებია), უმჯობესია იგი კოჭის გაჭიმულ ქვედა წახნაგის მთელ სიგანეზე იყოს დაწებებული და კოჭში ჩაანკერებული ნახშირბადიანი კომპოზიტური ჩალიჩების მეშვეობით..

დასკვნა: ნახშირბადიანი პოლიმერული კომპოზიტური მასალით გარე დაარმირებული რკინაბეტონის ნორმალურ კვეთს შეუძლია აიტანოს 6,423 ტმ მღუნავი მომენტის მოქმედება.

რეალურად, როცა რკინაბეტონის კოჭი სიმტკიცის პირობას ვერ აკმაყოფილებს (მოქმედი მღუნავი მომენტი მეტია ზღვრულ მომენტზე) და მზიდუნარიანობის გასაზრდელად მივმართავთ გარე დაარმირებას კომპოზიტული მასალით, ზემოთ მოყვანილი გაანგარიშებით შესაძლებელია დავადგინოთ კომპოზიტით გაძლიერებული ელემენტის ზღვრული M_{ult} მომენტის მნიშვნელობა.

მაგალითი 12.2. გასაანგარიშებელია კომპოზიტური მასალით (CarbonWrap®) გაძლიერებული ღუნვადი რკინაბეტონის კოჭი სიმტკიცეზე დახრილი კვეთების მიხედვით.

საწყისი მონაცემები ავიღოთ მაგალითი 12.1-ის ანალოგიური.

დამატებითი მონაცემები:

- განივი ძალა კოჭის გაძლიერების შემდეგ – $Q = 140$ კნ;
- რკინაბეტონის კოჭის გარე დაარმირება ხდება CarbonWrap®-ს სისტემით ჩაკეტილი საკიდების (გარსაცმების) სახით;
- კომპოზიტური მასალის მონოფენის სისქე $t_f = 0,145$ მმ;
- კომპოზიტური მასალის შრეების რაოდენობა $n = 1$.

კომპოზიტური მასალის (საკიდების) კოჭზე დაწებების სიმაღლე მიიღება კოჭის სიმაღლის ტოლი:

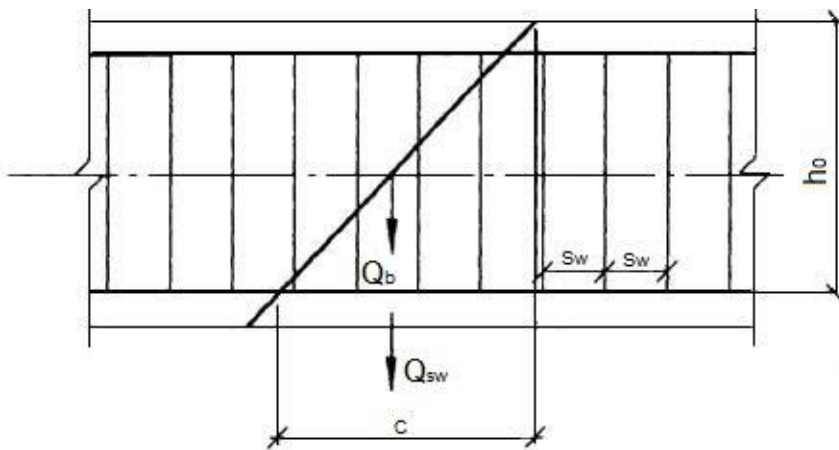
$$h_{fw} = 35 \text{ სმ} = 0,35 \text{ მ.}$$

კომპოზიტური საკიდების დახრის კუთხე კოჭის გრძივი ღერძის მიმართ – $\alpha = 90^\circ$.

კომპოზიტური საკიდების სიგანე:

$$w_f = 35 \text{ სმ} = 0,35 \text{ მ.}$$

განივი ძალების მოქმედებისას რკინაბეტონის ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, დახრილი კვეთების მიხედვით ძალების განაწილების სქემა მოცემულია სურ. 12.26-ზე.



სურ. 12.26. ძალების განაწილების სქემა რკინაბეტონის კოჭში დახრილი კვეთების გაანგარიშებისას

დაპროექტების ნორმების თანახმად (СП 63.13330.2012, პ.8.1.32) ბზართაშორისი ზოლის გაანგარიშება სიმტკიცეზე განივი ძალების მიხედვით წარმოებს პირობით:

$$Q \leq 0,3 \cdot R_b \cdot b \cdot h_0 = 0,3 \cdot 8500 \cdot 0,18 \cdot 0,32 = 146,7 \text{ კნ}$$

მართლაც $Q = 140 \text{ კნ} < 146,7 \text{ კნ}$.

აქ საანგარიშო განივი ძალა Q არის დახრილი კვეთის ერთ მხარეს მდებარე გარე ძალების გეგმილების ჯამი კოჭის გრძივი ღერძის ნორმალზე.

შენიშვნა: თუ ეს პირობა არ სრულდება, მაშინ კოჭის კედლის სიმტკიცის უზრუნველყოფა არ ხდება და საჭიროა გაიზარდოს კოჭის კანივკვეთის ზომები, გაძლიერდეს განივი არმატურა ან გადიდდეს ბეტონის კლასი.

გარე დაარმირებით გაძლიერებული ღუნვადი ელემენტების გრძივი ღერძისადმი დახრილი კვეთის საანგარიშო სიმტკიცის პირობა განივი ძალების მიხედვით გამოისახება წონასწორობის პირობების შესაბამისად:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_f.$$

განივი ძალა, რომელსაც იტანს ბეტონი (Q_b) განისაზღვრება ემპირიული ფორმულით:

$$Q_b = \phi_{b2} \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o^2 / C = 1,5 \cdot 750 \cdot 0,18 \cdot 0,32^2 / 0,35 = 59,25 \text{ კნ},$$

სადაც ϕ_{b2} – ემპირიული კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ბეტონის სახეობის გავლენას დახრილი კვეთის სიმტკიცეზე და მიიღება 0,5-2,5-ის ფარგლებში; C – საშუალო დახრილი კვეთის პროექციის სიგრძე კოჭის გრძივ ღერძზე (იხ. სურ. 12.23).

განივი ძალისათვის უნდა კმაყოფილდებოდეს პირობა:

$$0,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o \leq Q_b \leq 2,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o.$$

$$0,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o = 0,5 \cdot 750 \cdot 0,18 \cdot 0,32 = 21,6 \text{ კნ};$$

$$2,5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_o = 2,5 \cdot 750 \cdot 0,18 \cdot 0,32 = 108 \text{ კნ}.$$

მართლაც $21,6 \text{ კნ} < 59,25 \text{ კნ} < 108 \text{ კნ}$.

განვსაზღვროთ კომპოზიტიური მასალის დეფორმაციულობის მახასიათებლები: კანივკვეთის ფართობი

$$A_{s,sh} = 2 \cdot n \cdot t_f \cdot w_f = 2 \cdot 1 \cdot 0,145 \cdot 10^{-3} \cdot 0,35 = 10,15 \cdot 10^{-5} \text{ მ}^2.$$

მუშაობის პირობების კოეფიციენტი – $\gamma_{f1} = 0,8$; მასალის საიმედოობის კოეფიციენტი – $\gamma_f = 1,2$.

საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე:

$$R_f = (\gamma_{f1} / \gamma_f) \cdot R_{f,n} = (0,8 / 1,2) \cdot 3600 = 2400 \text{ მპა}.$$

ფარდობითი დეფორმაციის საანგარიშო მნიშვნელობა:

$$\epsilon_f = R_f / E_f = 2400 / 245000 = 0,0098.$$

გარე დაარმირების სისტემის მაქსიმალური საანგარიშო დეფორმაცია, რომელიც მოიცავს რკინაბეტონის კოჭის მთელ კანივკვეთს (ირგვლივ), განისაზღვრება ფორმულით:

$$\epsilon_{fe} = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{R_b}{n \cdot E_f \cdot t_f}} = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{0,85}{1 \cdot 245000 \cdot 0,145}} = 0,0063.$$

უნდა შესრულდეს პირობა:

$$\epsilon_{fe} \leq 0,75 \cdot \epsilon_f = 0,75 \cdot 0,0098 = 0,00735.$$

$$\epsilon_{fe} = 0,0063 \leq 0,00735.$$

დაბვა კომპოზიტურ მასალაში:

$$\sigma_{fu} = E_f \cdot \epsilon_{fe} = 245000 \cdot 0,0063 = 1554 \text{ კნ.}$$

გარე დაარმირების მიერ მიღებული განივი Q_f ძალა გამოივლება ფორმულით:

$$Q_f = \psi_f \cdot A_s \cdot \sigma_{fu} \cdot \sin 90^\circ = 0,95 \cdot 10,15 \cdot 10^{-5} \cdot 1554 \cdot 10^3 \cdot \sin 90^\circ = 149,84 \text{ კნ.}$$

გადლიერებელი ელემენტის ჯამური სიმტკიცე:

$$Q_b + Q_{sw} + Q_f = 59,25 + 0 + 149,84 = 209,09 \text{ კნ.}$$

გადლიერებული ელემენტის ჯამური სიმტკიცის შემოწმება:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_f$$

146,7 კნ < 209,09 კნ. რაც იმას ნიშნავს, რომ ბზართაშორისი ზოლის სიმტკიცეზე გაანგარიშების პირობა განივი ძალების მოქმედებისას დაცულია (СП 63.13330.2012, პ.8.1.32, ფორმ. 8.55).

მაგალითი 12.3. გასაანგარიშებელია ნახშირბადის ბოჭკოებზე დამზადებული კომპოზიტური მასალით (CarbonWrap®) გაძლიერებული გარეცენტრალურად (ექსცენტრულად) შეკუმშული რკინაბეტონის სვეტი სიმტკიცეზე. გასაანგარიშებლად გამოყენებულია რუსული სამშენებლო წესები: СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 და СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.

საწყისი მონაცემები:

- რკინაბეტონის სვეტის განივკვეთი – $b \times h = 400 \times 400$ მმ;
- სვეტის სიგრძე – $l = 3000$ მმ = 3,0 მ;
- ბეტონის დამცავი შრის სისქე – $a = a' = 30$ მმ;
- ბეტონის კლასი B15; საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე $R_b = 8,5$ მპა; დრეკადობის მოდული $E_b = 24000$ მპა;
- გრძივი არმატურა – 4Ф12 A500; $A_s = 4 \cdot 1,131 = 4,52$ სმ² = 452 მმ²;
- არმატურის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე $R_s = 435$ მპა; კუმშვაზე – $R_{sc} = 400$ მპა; დრეკადობის მოდული – 200000 მპა;
- სვეტზე მოქმედი გრძივი ძალა – $N = 550$ კნ;
- სვეტზე მოქმედი მღუნავი მომენტი გაძლიერების შემდეგ – $M = 15$ კნმ.

სვეტი გაძლიერებულია CarbonWrap® სისტემის კომპოზიტური მასალის უწყვეტი გრაგნილით მთელ სიმაღლეზე:

- კომპოზიტური მასალის სისქე – $t_f = 0,2$ მმ;
- კომპოზიტური მასალის ნორმატიული წინაღობა გაჭიმვაზე – $R_{fn} = 3600$ მპა;
- კომპოზიტური მასალის ნორმატიული დრეკადობის მოდული – $E_{fn} = 245000$ მპა;
- კომპოზიტური მასალის შრეების რაოდენობა – $n = 2$;

- კომპოზიტიური მასალის სიგანე – $b_f = 35 \text{ სმ} = 0,35 \text{ მ}$;
- კომპოზიტიური მასალის ბიჯი – $s_f = 15 \text{ სმ} = 0,15 \text{ მ}$.

საჭიროა განისაზღვროს რკინაბეტონის სვეტის მზიდუნარიანობა გაძლიერების შემდეგ.

გრძივი ძალის საწყისი ექსცენტრისიტეტი:

$$e_0 = M/N = 15/550 = 0,027 \text{ მ} < 0,1 \cdot h = 0,1 \cdot 0,40 = 0,04 \text{ მ}.$$

გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი:

სვეტის განიკვეთის ინერციის მომენტი:

$$I = b \cdot h^3 / 12 = 0,4 \cdot 0,4^3 / 12 = 0,00213 \text{ მ}^4 = 2,13 \cdot 10^5 \text{ სმ}^4;$$

სვეტის განიკვეთის ფართობი:

$$A = b \cdot h = 0,4 \cdot 0,4 = 0,16 \text{ მ}^2 = 1600 \text{ სმ}^2;$$

სვეტის განიკვეთის ინერციის რადიუსი:

$$r = \sqrt{I/A} = \sqrt{2,13 \cdot 10^5 / 1600} = 11,54 \text{ სმ};$$

$$\text{სვეტის მოქნილობა } \lambda = l_0 / r = \mu \cdot l / r = 1 \cdot 300 / 11,54 = 26.$$

გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი მოქნილობაზე დამოკიდებულებით: $\phi = 0,946$ (აიღება ცხრილებიდან ან გრაფიკებიდან).

კომპოზიტიური მასალის განიკვეთის ფართობი:

$$A_{s,sh} = n \cdot t_f \cdot 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot (0,4 + 0,4) = 6,4 \cdot 10^{-4}.$$

კომპოზიტიური მასალის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი – $\gamma_{f1} = 0,8$ (მინაკომპოზიტიისათვის – $\gamma_{f1} = 0,8$; იხ. [53], ცხრ. 3);

ნაწმირბადიანი კომპოზიტიური მასალის უსაფრთხოების კოეფიციენტი – $\gamma_f = 1,2$ (მინაკომპოზიტიისათვის – $\gamma_f = 1,8$; იხ. [53], პ. 5.2.5);

კომპოზიტიური მასალის საანგარიშო წინაღობა გაჭიმვაზე:

$$R_f = (\gamma_{f1} / \gamma_f) \cdot R_{fn} = (0,8 / 1,2) \cdot 3600 = 2400 \text{ მპა}.$$

საანგარიშო ფარდობითი ღეფორმაცია:

$$\epsilon_f = R_f / E_{fn} = 2400 / 245000 = 0,0098.$$

გარე დაარმირების სისტემის მაქსიმალური (ეფექტური) საანგარიშო ღეფორმაცია, რომელიც მოიცავს რკინაბეტონის ელემენტის მთელ კვეთს (ირგვლივ უწყვეტად), განისაზღვრება პირობიდან:

$$\epsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,55 \cdot \epsilon_f = 0,55 \cdot 0,0098 = 0,00539.$$

დაბვა კომპოზიტიურ მასალაში:

$$\sigma_f = E_{fn} \cdot \epsilon_{fe} = 245000 / 0,004 = 980 \text{ მპა}.$$

შეკუმშული ბეტონის განიკვეთის ფართობი:

$$A_c = (A - A_{s,tot}) = (0,4 \cdot 0,4 - 4,52 \cdot 10^{-4}) = 0,12595 \text{ მ}^2;$$

მოჭიმული ბეტონის განიკვეთის ფართობი ნაზოლების (კუთხეებში მომრგვალებების) გათვალისწინებით (სურ. 12.8):

$$A_e = A_c - 1/3 \cdot \{ [b \cdot (h - 2 \cdot r_c)^2 / h] + [h \cdot (b - 2 \cdot r_c)^2 / b] \} =$$

$$= 0,12595 - 1/3 \cdot \{ [0,4 \cdot (0,4 - 2 \cdot 0,025)^2 / 0,4] + [0,4 \cdot (0,4 - 2 \cdot 0,025)^2 / 0,4] \} = 0,09328 \text{ მ}^2,$$

სადაც h – მცირე გვერდი, b – დიდი გვერდი;

r_c – კუთხეების მომრგვალების რადიუსი.

$$A_e/A_c = 0,09328/0,12595 = 0,741.$$

სვეტის სიმაღლეში გარსაცმებს შორის დაშორებების გამთვალისწინებელი კოეფიციენტი:

$$k_e = (1 - S_w/2D)^2 = (1 - 0/2D)^2 = 1,$$

სადაც $S_w = 0$ – უწყვეტი გარსაცმისათვის; წრიული განივკვეთის სვეტისათვის კი S_w ტოლია დაშორებებისა ცალკეულ გრანგილებს შორის.

გარსაცმის ეფექტურობის კოეფიციენტი მართკუთხა (ჩვენს შემთხვევაში კვადრატული) განივკვეთის სვეტისათვის:

$$k_a = (A_e/A_c) \cdot (h/b)^2 = 0,741 \cdot (0,4/0,4)^2 = 0,741 \cdot 1 = 0,741.$$

უნდა შესრულდეს პირობა $k_a \cdot k_e \leq 0,5$. $k_a \cdot k_e = 0,741 \cdot 1 = 0,741 > 0,5$. პირობა არ სრულდება, ამიტომ მივიღოთ $k_a \cdot k_e = 0,5$.

შეკუმშული სვეტის ბეტონის მოჭიმვის მაქსიმალური მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_R = 2 \cdot n \cdot E_f \cdot t_f \cdot \epsilon_f \cdot e / D = 2 \cdot 2 \cdot 245000 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,004 / 0,566 = 1,385 \text{ მპა.}$$

სადაც $D^2 = b^2 + h^2 = 0,4^2 + 0,4^2 = 0,32$, $D = 0,566 \text{ მ}$.

უნდა შესრულდეს პირობა:

$$\sigma_R = 1,385 \text{ მპა} \geq 0,08 \cdot R_b = 0,08 \cdot 8,5 = 0,68 \text{ მპა. პირობა დაკმაყოფილებულია.}$$

შენიშვნა: თუ ეს პირობა არ კმაყოფილდება, მაშინ გაანგარიშებებში გარსაცმის ეფექტი მხედველობაში არ მიიღება.

ნახშირბადის კომპოზიტიური მასალის უწყვეტი გარსაცმით გაძლიერებული ბეტონის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე:

$$R_{bc} = R_b + 3,3 \cdot \psi_f \cdot k_a \cdot k_e \cdot \sigma_R = 8,5 + 3,3 \cdot 0,95 \cdot 0,5 \cdot 1,385 = 10,67 \text{ მპა,}$$

სადაც $\psi_f = 0,95$ – შემასწორებელი კოეფიციენტი, მიღებული ნატურული გამოცდების შედეგად.

მოჭიმული ბეტონის ზღვრული დეფორმაცია იზღუდება ფორმულით:

$$\epsilon_{ccu} = \epsilon_{bo} \cdot [1,5 + 12 \cdot k_b \cdot \sigma_R / R_b (\epsilon_f / \epsilon_{bo})^{0,45}] \leq 0,01,$$

სადაც $k_b = (A_e/A_c) \cdot (b/h)^{0,5} = (A_e/A_c) \cdot (b/h)^{0,5} = (0,09328/0,12595) \cdot (0,4/0,4)^{0,5} = 0,741$.

$$\epsilon_{ccu} = 0,00035 \cdot [1,5 + (12 \cdot 0,741 \cdot 1,385 / 8,5) (0,004 / 0,00035)^{0,45}] = 0,0023 \leq 0,01.$$

პირობა დაკმაყოფილებულია.

საბოლოოდ, სვეტის მზიდუნარიანობამ შეადგინა (გრძივი ძალის მიხედვით):

$$N_{ult} = \phi \cdot (R_{bc} \cdot A_c + R_{sc} \cdot A_{s,tot}) = 0,946 \cdot (10670 \cdot 0,12595 + 400000 \cdot 4,52 \cdot 10^{-4}) = 1442 \text{ კნ.}$$

გაძლიერებამდე სვეტის მზიდუნარიანობა იყო:

$$N = \phi \cdot R_b \cdot A = 0,946 \cdot 85 \cdot 40 \cdot 40 = 128656 \text{ კგ} = 1287 \text{ კნ} = 128,7 \text{ ტ.}$$

დასკვნა:

1. ნახშირბადის კომპოზიტით გაძლიერებულ რკინაბეტონის სვეტს (მოცემულ ზომებში) შეუძლია აიტანოს გრძივი ძალა 144,2 ტ. ე. ი. სვეტის მზიდუნარიანობა კომპოზიტით გაძლიერებამ გაზარდა $144,2 - 128,7 = 15,5$ ტონით, რაც შეადგენს 10,75%. ლიტერატურული მონაცემებით ([84], ცხრ. B3) ეს მაჩვენებელი 0,234 მმ სისქის ტილოს კომპოზიტის გამოყენებისას შეადგენს: კვადრატული განიკვეთის სვეტისთვის 6,63%, წრიული განიკვეთისთვის – 21,86%, მართკუთხა განიკვეთისთვის – 10,04%.
2. უფრო მაღალი სიმკვრივის და სისქის (0,3 მმ-მდე) ნახშირბადკომპოზიტის (მაგ. CarbonWrap® Tape 530/300) გამოყენების შემთხვევაში სიმტკიცის ზრდის ეფექტი შესაძლებელია გაიზარდოს 20%-მდე.
3. რკინაბეტონის სვეტების გარდა, განხილული გაძლიერების სისტემა შესაძლებელია გამოვიყენოთ რიგელებში, კოჭებში, ფილებსა და ხიდის მალის ნაშენებში, ასევე ქვის, ხისა და ლითონის კონსტრუქციებში.

თავი 13. კომპოზიტური მასალების რღვევის მექანიკა

13.1. რღვევა

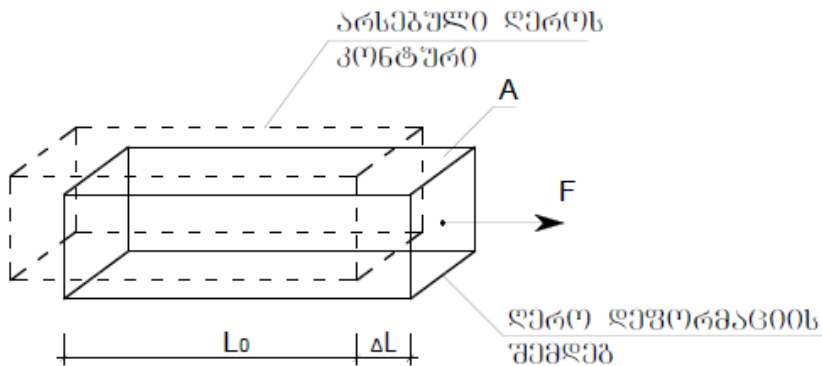
რღვევა მასალაში დეფექტების (ახალი ზედაპირები, ბზარები, ფორები) წარმოქმნის, განვითარებისა და დაგროვების პროცესია, რომელიც არღვევს მთლიანობას და მას ნაწილებად ყოფს. ამ პროცესის მექანიზმს მრავალსაუკუნოვანი ისტორია აქვს და საკმაოდ დიდ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. უძველესი დროიდან ადამიანი ყურადღებას აქცევდა ქვის მყიფე რღვევას, რათა მოეპოვებინა ბუნებრივი ქვის მასალა, დაემზადებინა ხანგამძლე შრომის იარაღები, აეგო შენობები და ნაგებობები.

XVIII საუკუნეში ჩამოყალიბდა ცოდნის მწყობრი სისტემა მასალის რღვევის მექანიკის შესახებ, რომელიც მოქმედებაშია ამჟამად.

მუდმივი განიკვეთის ღეროს შეუძლია გაუძლოს ზღვრულ დატვირთვას F (ძალას), რომელიც ღეროს განიკვეთის A ფართობის პროპორციულია (სურ. 13.1):

$$F = \sigma \cdot A, \quad (13.1)$$

სადაც σ არის პროპორციულობის კოეფიციენტი (რეალურად დაბვა) ზღვრულ დასაშვებ ძალასა და განიკვეთის ფართობს შორის.



სურ. 13.1. ღეროს დეფორმაცია

ეს კოეფიციენტი მასალისთვის მუდმივ სიდიდეს ქარმოადგენს და ეწოდება სიმტკიცის ზღვარი, ან უბრალოდ – სიმტკიცე. იგი დამოკიდებული არ არის ღეროს გეომეტრიულ ზომებზე. მასალის სიმტკიცე გაჭიმვაზე, კუმშვაზე და ძვრაზე სხვადასხვაა. დამოკიდებულია მხოლოდ მასალის მახასიათებლებსა და სტრუქტურაზე. ასეთი მიდგომა საკმაოდ კარგად აღწერს პლასტიკური მასალის (ლითონი, პოლიმერი) ქცევას, მაგრამ ნაკლებად გამოდგება მყიფე (მინა, კერამიკა, აგური, ქვა, ნახშირბადუხვი ინსტრუმენტალური ფოლადი) მასალებისათვის.

XX საუკუნეში შეხედულება რღვევის მექანიკაზე მნიშვნელოვნად შეიცვალა, რაც გამოიწვია ცნობილი მეცნიერების გ. კოლოსოვის, ა. გრიფიტის, ე. ოროვანისა და ჯ. ირვინის შრომებმა. 1909 წ. კოლოსოვი გადაწყვიტა დრეკადობის თეორიის მექანიკური დაბების განაწილების ამოცანა ერთდერდა გაჭიმული დრეკადი ფირფიტისათვის, რომელსაც აქვს ელიფსური ფორმის ამონაჭერი [23]. მან გვიჩვენა, რომ ამონაჭერის ირგვლივ ხდება დაბების კონცენტრაცია, რომელიც გარკვეულწილად ამცირებს ფირფიტის სიმტკიცეს. ეს თეორია შემდეგ განავრცო და ახალ მეცნიერულ სიმაღლემდე აიყვანა ნ. მუსხელიშვილმა [24]. გრიფიტმა შექმნა მყიფე რღვევის თეორია, დაფუძნებული ენერჯის გაგებაზე, რომელიც აუცილებელია ახალი ზედაპირების გაჩენისათვის ბზარების გავრცელების პროცესში. ოროვანმა და ირვინმა გაითვალისწინეს, რომ პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების მუშაობას ასევე თავისი წვლილი შეაქვთ ახალი ზედაპირების წარმოქმნის ენერჯიაში. გაჩნდა ახალი გაგება (ტერმინი) - **რღვევის სიბლანტი**, ანუ ახალი ზედაპირის წარმოქმნის ენერჯის ერთეული, რომელიც რღვევის თეორიაში დრეკადობის მოდულთან, სიმტკიცესა და დეფორმაციასთან ერთად ერთ-ერთი ძირითადი პარამეტრია. იგი წარმოადგენს ბზარის წვეროში გამჭიმავი დაბების ფარდობით ზრდას ბზარის გადასვლისას სტაბილურიდან არასტაბილურ სტადიაში. რღვევის სიბლანტესთან უშუალო კავშირშია მასალის ბზარმედგობა.

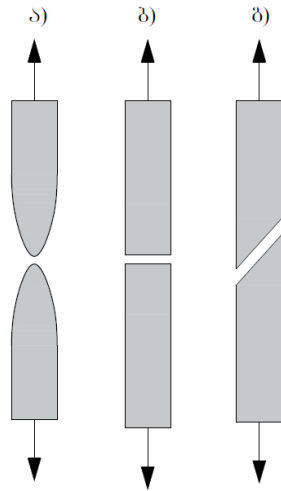
მიგვაჩნია, რომ სამშენებლო კონსტრუქციებში ბზარების გაჩენისა და შემდეგ მისი გახსნის მიმართულების დადგენის გადაწყვეტის ამოცანა ჯერ კიდევ თეორიულად სრულად გამოკვლეული არ არის და მომავალი მეცნიერული ძიების საფუძველია. ბზარის განვითარებას იწვევს მის წვერზე კონცენტრირებული დაბების ენერჯის განთავისუფლება, რაც საჭიროებს ამ პროცესის მკაცრ მათემატიკურ ინტერპრეტაციას.

ახალი ზედაპირების წარმოქმნას მეცნიერთა ნაწილი უკავშირებს მასალის შიგნით ატომებს შორის კავშირების გაწყვეტას, ზოგი – ატომების ძვრას ძალის მოქმედების მიმართულებით. არსებობს მოსაზრებები, რომ რღვევის პროცესი დაკავშირებულია მასალის პლასტიკურ დენადობასთან, რომელიც წინ უსწრებს ახალი ზედაპირების წარმოქმნას.

13.2. რღვევის მექანიზმები

მასალების პლასტიკურობა და სიმყიფე დამოკიდებულია დეფორმაციის სიდიდეზე, რომლის დროს მიმდინარეობს რღვევა. პლასტიკურობა ეს არის მასალის უნარი, ძალის ზეგავლენის ქვეშ, ნაოჭებისა და ბზარების გაჩენის გარეშე, შეიცვალოს თავისი ზომები და ფორმა და შეინარჩუნოს იგი დატვირთვის მოხსნის შემდეგ. მასალის პლასტიკურობა ნიშნავს, რომ ამ მასალას უნარი აქვს შეუქცევადი მნიშვნელოვანი დეფორმაციისა. ლითონების რღვევისას გაჭიმვის დეფორმაციის პირობებში ადგილი აქვს შევიწროებული ყელის გაჩენას (სურ. 13. 2, ა), რომლის

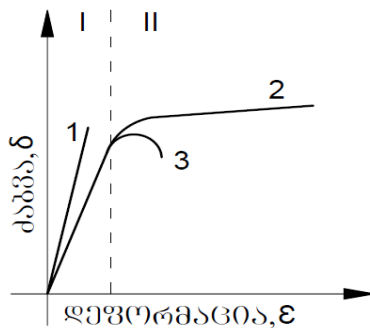
განიკვეთის ფართობი რღვევის წინ ნულის ტოლია. მეორე უკიდესებურებაა მყიფე რღვევა ძალის მოქმედების მართობულად (სურ. 13.2, ბ) ან ირიბად (სურ. 13.2, გ) ძვრის ძალების მოქმედებით.



სურ. 13.2. ლითონების ტიპური რღვევის მექანიზმები: ა-ყელის გაჩენით; ბ-მყიფე რღვევა; გ-რღვევა ძვრის ძალების მოქმედებით

13.3. მყიფე რღვევა

მყიფე რღვევა მყარი ტანის გაყოფის პროცესია მცირე პლასტიკური დეფორმაციის (ან მის გარეშე) პირობებში. მას თან სდევს ბზარების სწრაფი გავრცელება ღროში და ენერგიის მცირე ხარჯი. ახასიათებთ მყიფე მასალებს. დეფორმაციის სიდიდე არ აღემატება 1-3%-ს, ხოლო გაჭიმული ელემენტის ძაბვებისა და დაფორმაციების დამოკიდებულება რღვევამდე ხაზოვანია (სურ. 13. 3, ხაზი 1).



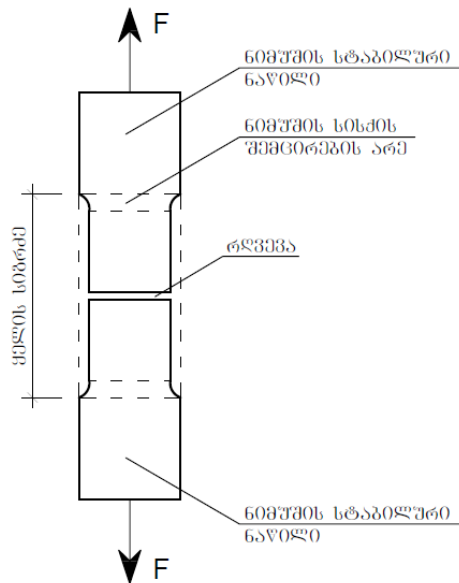
სურ. 13.3. ძაბვების დიაგრამა: 1-მყიფე მასალის; 2-პლასტიკური მასალის; 3-რღვევა ყელის ფორმირების პროცესში

13.4. პლასტიკური რღვევა

პლასტიკური რღვევა მყარი ტანის გაყოფის პროცესია, რომელსაც თან ახლავს მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციები. პროცესში ნორმალურთან ერთად მონაწილეობენ მხები ძაბვებიც. ამორფულ სხეულებში, განსაზღვრულ პირობებში, ეს დეფორმაციები შექცევადია, ხოლო კრისტალურში – შეუქცევადი.

არსებობს მასალის პლასტიკური ქცევის რამდენიმე მაგალითი. ერთგვაროვან პლასტიკურ დეფორმირებას აქვს ორი სტადია (სურ. 13.3, მრუდი 2). პირველი სტადია (არე I) წარმოადგენს წრფივად დრეკადს (შექცევადი დეფორმაციით), მეორე კი (არე II) – პლასტიკურს (შეუქცევადი დეფორმაციით).

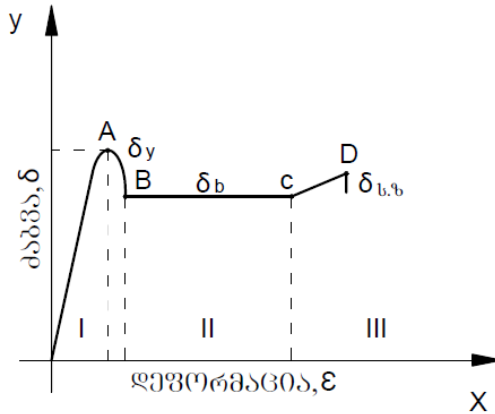
გაჭიმვაზე მომუშავე პოლიმერებში (ისევე როგორც ლითონებში) რღვევას წინ უსწრებს ყელის გაჩენა (სურ. 13.2, ა), სადაც ხდება ნიმუშის წაგრძელება და განიკვეთის შემცირება მასალის პლასტიკური დენადობის გამო. ცნობილია, რომ პოლიმერი დეფორმაციისას განიცდის განმტკიცებას, ამიტომ ყელის სისქე ნულამდე კი არ დადის, არამედ განიცდის სტაბილიზაციას და ამ მდგომარეობაში ირღვევა (სურ. 13.4). რღვევის მომენტში ყელის სიგრძე მაქსიმალურია. ნიმუშის სტაბილურ ნაწილში დეფორმაციის სიდიდე რამდენიმე პროცენტია, ყელის ნაწილში კი მან შეიძლება ასეულობით პროცენტს მიაღწიოს.



სურ. 13.4. პოლიმერის რღვევის სქემა

სურ. 13.5-ზე მოცემულ დიაგრამაზე ნაჩვენებია გაჭიმული კომპოზიტის ყელის გაჩენისა და რღვევის პროცესის შესაბამისი დამოკიდებულება როდესაც დაბვა აღწევს დენადობის ზედა ზღვარს იწყება ყელის გაჩენა რომელიც გრძელდება დენადობის ქვედა ზღვრამდე (მონაკვეთი A – B). შემდეგ დგება დეფორმირების მეორე

სტადია, როცა დაბვა არ იცვლება, მაგრამ მიმდინარეობს დეფორმაცია (წაგრძელება), რომელიც მთავრდება C წერტილში. C – D მონაკვეთი შეესაბამება დეფორმირების შესამე სტადიას – განმტკიცების უბანსა და რღვევას (D წერტილი).



სურ. 13.5. გაჭიმული პოლიმერის ნიმუშის რღვევის მექანიზმი

13.5. კვაზიმყიფე რღვევა

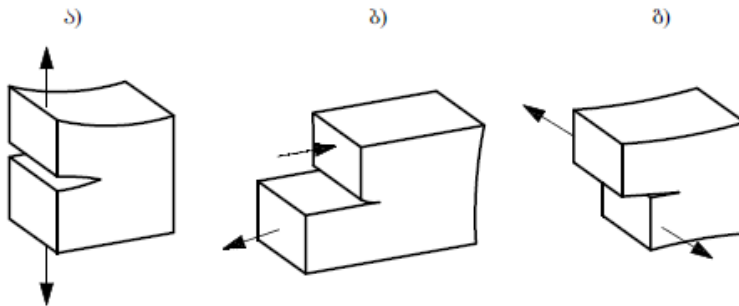
სიტყვა კვაზი (ლათ. quasi თითქოს) რთული სიტყვის შემადგენელი ნაწილია და ნიშნავს მოჩვენებითს, არანამდვილს, მაგ., კვაზიმეცნიერული, კვაზიპერიოდული, კვაზიდრეკადი, კვაზიმყიფე და სხვ.

რღვევა ყელის ფორმირებისას წარმოადგენს გარდამავალ პროცესს პლასტიკური რღვევიდან მყიფეში, თუმცა ამ შემთხვევაში მასალის მაკროსკოპიული ქცევა უკვე მიეკუთვნება მყიფე რღვევას. ამ მექანიზმის თავისებურება იგი არის, რომ მაკროდონეზე მასალა მყიფეა, ხოლო ლოკალურად დეფორმაცია ყელის ფორმირების უბანზე პლასტიკურია. ამიტომ, მასალის ასეთ ქცევას უწოდებენ *კვაზიმყიფეს*. რადგანაც ყოველთვის, ფორმირებადი ყელის გარდა, მასალა რჩება პლასტიკურად არადეფორმირებადი, მაკროსკოპიულად იგი მყიფეა. სწორედ ეს არის მიზეზი იმისა, რომ დატვირთვის (დაბვის) მაქსიმალური სიდიდის დროს მასალა ირღვევა (სურ. 13.5, წერტილი A).

13.6. რღვევის სახეები

ნაკეთობაზე დატვირთვის მეთოდზე დანოკიდებულებით ბზარების ძირითადად სამი სახეობა არსებობს (სურ. 13.6): 1) რღვევის (ბზარის) სიბრტყე მართობულია ნაკეთობაზე მოდებული ძალის (მაგ., მყიფე მასალები); 2) რღვევის სიბრტყე

ემთხვევა ძვრის ძალების მოქმედების მიმართულებას (მაგ., კედელში ნახვრეტის გაკეთება); 3) რღვევის სიბრტყე არ ემთხვევა ძვრის ძალების მოქმედების მიმართულებას (მაგ., პლასტიკატის გაჭრა მაკრატილით).



სურ. 13.6. რღვევის სახეები

13.7. ბზარები და დაბზების კონცენტრაცია

დადაბულ-დეფორმირებულ მყარ ტანში დეფექტების (ბზარების) არსებობისას დატვირთვა (ძალები) ნაწილდება არათანაბრად. ასეთ სხეულში ბზარების გაჩენა მოსალოდნელია ნებისმიერ უბანზე. ავიღოთ ღრეკადი ფირფიტა, რომელშიც გაკეთებულია ელიფსისმაგვარი ამონაჭერი. ბუნებრივია, რომ ამ ამონაჭრის ირგვლივ ადგილი ექნება დაბზების კონცენტრაციას [23; 24], რომლის სიდიდე მაქსიმალური იქნება ელიფსის წვეროებში, სადაც გამჭიმავი ძალა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 \cdot (1 + 2c/b), \quad (13.2)$$

სადაც σ_0 – გარე დაბზა; c და b – ელიფსის დიდი და მცირე ნახევარღერძები. მამრავლს $(1 + 2c/b)$ ეწოდება დაბზის კონცენტრაციის კოეფიციენტი.

ელიფსის წვეროში სიმრუდის რადიუსი ρ განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\rho = b^2/c, \quad (13.3)$$

რადგან $c/b = \sqrt{\frac{c}{\rho}}$, ამიტომ გვექნება

$$\sigma_{\max} = \sigma_0 \cdot \left(1 + 2\sqrt{\frac{c}{\rho}}\right). \quad (13.4)$$

ბზარი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც წაგრძელებული ელიფსი დიდი სიდიდის ფარდობით c/b . ამიტომ (13.4) ფორმულაში ციფრი ერთი შეიძლება უგულვებელვყოთ და ბზარის წვეროსთან დაბზის მასიმალური მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{\max} = 2 \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt{\frac{c}{\rho}}. \quad (13.5)$$

ამ ფორმულით შეიძლება განიმარტოს განსხვავება სიმტკიცის თეორიულ და ფაქტიურ მნიშვნელობებს შორის. რღვევა ხდება, როდესაც σ_{max} მიაღწევს თეორიულ სიმტკიცეს $\sigma_{s.წ.}$ (სიმტკიცის ზღვარს). დაბვა σ_0 მნიშვნელოვნად ნაკლებია თეორიულ მნიშვნელობაზე. მახვილი (წაგრძელებული) ბზარისათვის მისი წვეროს ზღვრული სიმრუდე ფასდება ატომთშორისი a მანძილის მიხედვით. მაგალითად, თუ ბზარის სიგრძეა 0,1 მმ, მაშინ დაბვის კონცენტრაციის კოეფიციენტი დაახლოებით 1000-ის ტოლია. შესაბამისად ნაკეთობის სიმტკიცე ასეთი დეფექტით დაახლოებით 1000-ჯერ ნაკლებია თეორიულ მნიშვნელობაზე.

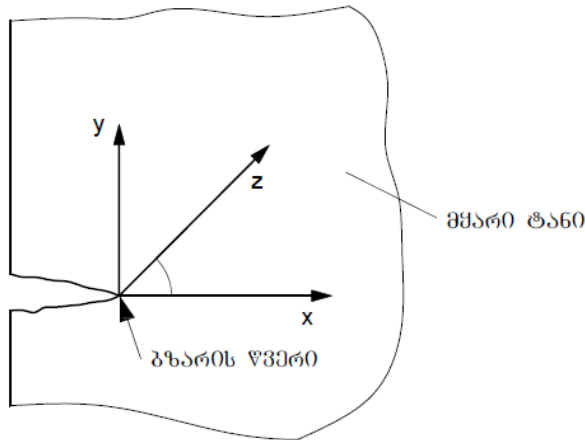
გაჭიმულ უსასრულოდ დრეკად ფირფიტაში დაძაბული მდგომარეობა მახვილი ბზარის ირგვლივ გამოსახება ვესტერგარდის ფორმულებით [28]:

$$\sigma_x = \sigma \cdot \sqrt{\frac{c}{2r}} \cdot \cos(0,5\theta) \cdot [1 - \sin(0,5\theta) \cdot \sin(1,5\theta)]; \quad (13.6)$$

$$\sigma_y = \sigma \cdot \sqrt{\frac{c}{2r}} \cdot \cos(0,5\theta) \cdot [1 + \sin(0,5\theta) \cdot \sin(1,5\theta)]; \quad (13.7)$$

$$\tau_{xy} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{c}{2r}} \cdot \cos(0,5\theta) \cdot \sin(0,5\theta) \cdot \cos(1,5\theta); \quad (13.8)$$

სადაც θ და r – წერტილის კოორდინატები კოორდინატთა სისტემაში, რომლის საწყისი ემთხვევა ბზარის წვეროს (სურ. 13.7); σ – წერტილზე მოდებული დაბვა.



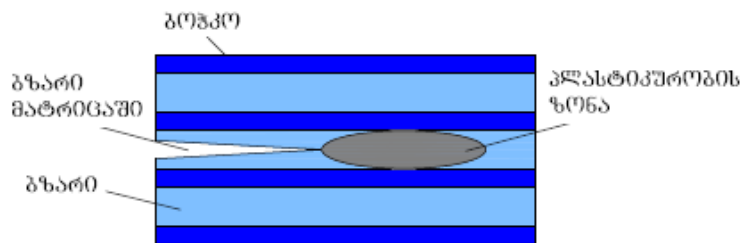
სურ. 13.7. ბზარის წვეროს დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის საკოორდინატო სისტემა

13.8. ბლანტი რღვევა

ერთმიმართულებიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტის გრძივი დასკდომის დროს ირღვევა ტრიცა და საზღვარი ბოჭკოსა და მატრიცას შორის. შრეობრივი რღვევის მაღალი სიბლანტე ხელს უშლის კომპოზიტის ინტენსიურ დასკდომას (მაგალითად, დარტყმისას). კომპოზიტის ბლანტი რთვევის ხარისხის ასამაღლებლად უმჯობე-

სია გამოვიყენოთ მაღალი სიბლანტის მატრიცები, რისთვისაც ეპოქსიდურ ფისებს უმატებენ 0,1 მკმ ზომის კაუჩუკის ნაწილაკებს. ეს იწვევს მატრიცის დენადობის ზღვრის შემცირებას და, როგორც შედეგი, იზრდება ბზარის წვეროში პლასტიკური დეფორმირების ზონა.

ფენოვან ნახშირბადპლასტიკში პლასტიკური ზონის ზომები შეზღუდულია მე-ზობელ ბოჭკოებს შორის მანძილით (დაშორებით) (სურ. 13.8). ამიტომ, პლასტიკური დენადობის ზონის სისქე ნაკლებია, ვიდრე სუფთა მატრიცაში და ნახშირბადპლასტიკის რღვევის სიბლანტე ნაკლებია მატრიცის რღვევის სიბლანტესთან შედარებით. ამრიგად, კომპოზიტის რღვევის სიბლანტე განისაზღვრება არა მატრიცის პლასტიკურობის ზონის ზომებით, არამედ ბოჭკოებს შორის მანძილით.



სურ. 13.8. ფენოვან კომპოზიტებში ბოჭკოების პლასტიკური დენადობის ზონის ზომების შეზღუდვის სქემა

13.9. განივი რღვევა

ბზარის გავრცელებისას ბოჭკოების გასწვრივ რღვევის სიბლანტეს განსაზღვრავს მატრიცა, ამიტომ იგი შედარებით დაბალია. პირიქით, განივი რღვევისას ბზარი იძულებულია გადაკვეთოს ბოჭკო, რისთვისაც საჭიროა შედაებით დიდი ენერგიის დახარჯვა. მაგალითისათვის განვიხილოთ შემის დაჩეხვა. ნაჯახით ძალიან მარტივად ხდება მორის ნაჭრის დახეთქვა ბოჭკოების გასწვრივ, ხოლო ბოჭკოების განივად გადასაჭრელად დიდი ენერგიის დახარჯვაა საჭირო. განვიხილოთ ენერგიის დისიპაცია (გაბნევა) ბზარის გავრცელებისას ბოჭკოების განივად.

ავიღოთ ნახშირბადსილიციუმის ბოჭკოებით დაარმირებული გაჭიმული მინაკერამიკის ნაკეთობის რღვევის ზედაპირის მიკროსკოპიული სურათი [[25], რომელზედაც გარკვევით ჩანს რღვევის სიბრტყიდან ამოშვერილი გაგლეჯილი ბოჭკოები (სურ. 13. 1)]. ეს დასტურია იმისა, რომ მოხდა მათი განშრევა და ამოძრობა მატრიციდან (სურ. 13.10). განშრევების ენერგია ტოლია OAB სამკუთხედის ფართობის, ხოლო ბოჭკოს ამოძრობის ენერგია – OBCD ფიგურის ფართობის.

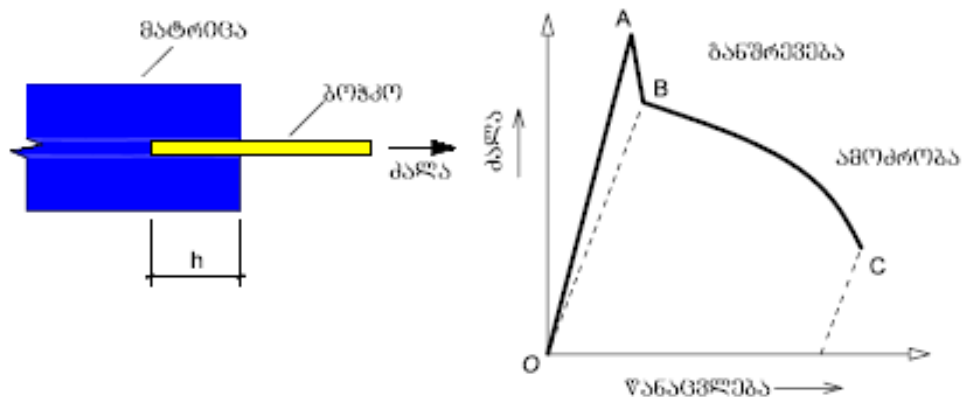
ასეთი შემთხვევებისათვის არსებობს ენერგიის დისიპაციის სამი ძირითადი მოვლენა:

1. ბოჭკოების დრეკადი დეფორმაციის ენერგია;
2. ბოჭკოების მატრიციდან განშრევების ენერგია;

3. ხახუნის ძალების მუშაობა კომპოზიტიდან გაგლეჯილი ბოჭკოების ამოსაძრობად.



სურ. 13.9. მინაკერამიკის კომპოზიტის განშრეებისა და ბოჭკოების მატრიციდან ამოძრობის მიკროსკოპიული სურათი



სურ. 13.10. მატრიციდან ბოჭკოების ამოძრობის დიაგრამა (ძალა – ამოძრობა): ა-ექსპერიმენტის სქემა; ბ-მრუდი: ძალა – ამოძრობა

ბოჭკოების დრეკადი დეფორმაციის ენერგია ტოლია დრეკადი დეფორმაციის სიმკვრივის ნამრავლისა დატვირთულ მოცულობაზე (ჩავთვალოთ, რომ ბოჭკო იტვირთება არაეფექტურ დ. სიგრძეზე):

$$W_1 = \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \sigma_f^2 / (2 \cdot E_f), \quad (13.9)$$

სადაც $\sigma_f^2 / (2 \cdot E_f)$ – ბოჭკოს დეფორმაციის ენერგიის სიმკვრივე;

r – ბოჭკოს დიამეტრი;

l – ბოჭკოს სიგრძე.

ბოჭკოების განშრეების შედეგად მიიღება ახალი ზედაპირი. პირობითად ჩავთვალოთ, რომ ბოჭკოს რღვევა ხდება არაეფექტურ დ. სიგრძეზე (ეს საკითხი დაწვრილებითაა განხილული ლიტერატურაში [25]). თუ ჩავთვლით, რომ ბოჭკოს გან-

შრევებაც δ_0 სიგრზეზე ხდება, მაშინ ახალი ზედაპირის ფართობი S ტოლი იქნება წრიული განიკვეთის ბოჭკოს პერიმეტრის ნამრავლისა განშრევების სიგრზეზე:

$$S = 2\pi \cdot r_0 \cdot \delta_0, \quad (13.10)$$

ხოლო ბოჭკოების განშრევების ენერგია ტოლი იქნება ახალი ზედაპირის ფართობის ნამრავლისა ახალი ზედაპირის ერთეულის შექმნის ენერგიაზე:

$$W_2 = S \cdot G_c = 2\pi \cdot r_0 \cdot \delta_0 \cdot G_c, \quad (13.11)$$

გამოვთვალოთ ხახუნის ძალების მექანიკური მუშაობა W_3 , რომელიც საჭიროა კომპოზიტიდან გაგლეჯილი ბოჭკოების გამოსატანად. ხახუნის ძალა ბოჭკოსა და მატრიცას შორის გაგლეჯის შემდეგ საკმაოდ დიდი იქნება, რადგან გაგლეჯის შემდეგ ბოჭკო თავისუფლდება გამჭიმავი ძალისაგან და ჩაეჭიდება მატრიცას. ხახუნის ძალების მუშაობა ბოჭკოების ამოძრობისას, როგორც ზევით იყო აღნიშნული, ტოლია OBCD ფიგურის ფართობის (სურ. 13.10). ხახუნის ძალების მუშაობის შეფასებისათვის ჩავთვალოთ, რომ ბოჭკოების ამოძრობის პროცესში ძვრის ძაბვები მუდმივია. თუ ამოსაძრობი ბოჭკოს სიგრძე ტოლია რღვევის არაეფექტურ δ_0 სიგრძის, მაშინ გამჭიმავი ძაბვები მასში ტოლი იქნება მისი სიმტკიცის ზღვრის. ამიტომ ხახუნის ძალების მექანიკური მუშაობა ტოლი იქნება ხახუნის (ძვრის) ძალების $2\pi \cdot r_f \cdot \delta_0 \cdot \tau$ ნამრავლისა არაეფექტურ δ_0 სიგრძეზე:

$$W_3 = 2\pi \cdot r_f \cdot \delta_0^2 \cdot \tau. \quad (13.12)$$

ჯამური ძვრის ძალა $2\pi \cdot r_f \cdot \delta_0 \cdot \tau$ ტოლი იქნება რღვევისას ბოჭკოში დატვირთვის. მაშინ W_3 მნიშვნელობა შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად (რიგი გარდაქმნების შემდეგ):

$$W_3 = \pi \cdot r_f^2 \cdot \sigma_f \cdot \delta_0. \quad (13.13)$$

გავანალიზოთ ბოჭკოების რღვევის განხილული სამივე მოვლენა და შევაფასოთ მათი როლი რღვევის ენერგიის განაწილებაში. ფარდობა W_1/W_2 შესაფასებლად გამოვიყენოთ (13.9) და (13.11) ფორმულები. გარდაქმნების შედეგად გვექნება:

$$W_1/W_2 = 4G_c \cdot E_f / \sigma_f^2 \cdot r_f. \quad (13.14)$$

ნახშირბადის ბოჭკოებისათვის იუნგის მოდული $E_f = 260$ გპა, სიმტკიცე $\sigma_f = 4$ გპა, რადიუსი $r_f = 4$ მკმ. თუ ჩავთვლით, რომ რღვევის სიბლანტე $G_c = 400$ ჯ/მ², მაშინ (13.14) ფორმულიდან მივიღებთ, რომ $W_1/W_2 = 6$. ანალოგიურად

$$W_3/W_2 = 2E_f / \sigma_f = 2 \cdot 260 / 4 = 130. \quad (13.15)$$

როგორც ვხედავთ კომპოზიტის რღვევის ენერგიაში (მატრიციდან ბოჭკოს ამოსაძრობად) დომინანტია ხახუნის ძალების ენერგია, რაც ნათლად ჩანს დიაგრამაზე (სურ. 13.10): განშრევების ენერგია შეესაბამება OAB სამკუთხედის ფართობს, ხოლო ბოჭკოს ამოძრობის ენერგია – OBCD ფიგურის ფართობს.

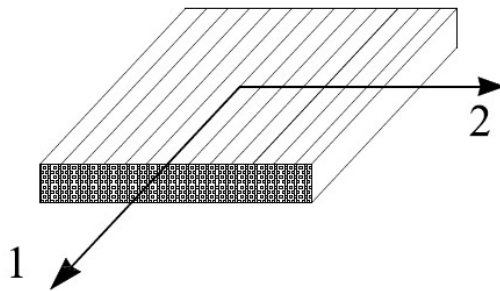
შევაფასოთ ხახუნის ძალების მექანიკური მუშაობა W_3 ბოჭკოების ამოძრობისას მატრიციდან. რღვევის სიბლანტის საანგარიშოდ ერთი ბოჭკოს ამოძრობის ენერგია უნდა გამრავლდეს რღვევის ზედაპირის ერთეულ ფართობზე არსებულ ბოჭკოების რაოდენობაზე და (13.12) ფორმულის გათვალისწინებით გვექნება:

$$G_1 = \sigma_f \cdot \delta_0 \cdot V_f. \quad (13.16)$$

ნახშირბადის ბოჭკოსათვის რღვევის სიბლანტე ბზარის განივად გავრცელებისას (G_1), როცა $V_f = 60\%$, ფასდება, როგორც $2 \cdot 10^6$ ჯ/მ². ეს კი უზარმაზარი სიდიდეა, რომელიც დაახლოებით 10000-ჯერ მეტია გრძივად განშრეებული კომპოზიტის მატრიცის რღვევის სიბლანტეზე.

13.10. ერთმიმართულიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტები

კომპოზიტური მასალების დადებითი თვისებები ყველაზე კარგად ვლინდება პარალელური ბოჭკოებით დაარმირებულ მასალებში, ანუ როგორც მას უწოდებენ, ერთმიმართულიანი შრეებში (ფენებში) ან მონომრეებში (სურ. 13.11), რომელთა ჩაწყობით ერთი (ან სხვადასხვა) მიმართულებით მზადდება ფენოვანი კომპოზიტები.



სურ. 13.11. ერთმიმართულიანი მონომრე: 1-გრძივი მიმართულება; 2-განივი მიმართულება

ერთმიმართულიანი კომპოზიტებს ყველაზე მაღალი მექანიკური თვისებები აქვთ ძალის (დატვირთვის) მოდებისას ბოჭკოების გასწვრივ ანუ ისეთ კონსტრუქციებში, რომელთა გრძივი სიმეტრიის ღერძის მიმართულება ემთხვევა ბოჭკოების მიმართულებას და ერთდროულად დატვირთვაც მოდებულია ამ ღერძის მართობულად. ასეთი მასალის სიმტკიცე და დრეკადობის მოდული მით მეტია, რაც მეტია კომპოზიტის მოცულობაში ბოჭკოების (მაარმირებლების) პროცენტული შემცველობა, თუმცა გარკვეულ ზღვრამდე, რათა არ დაირღვეს მატრიცის მონოლითურობა. კომპოზიტების დიდი ნაწილისათვის დაარმირების ოპტიმალური ხარისხი შეადგენს 50-70%. კომპოზიტის თვისებები, ბოჭკოს გარდა, დამოკიდებულია მატრიცის მასალის სიმტკიცესა და დრეკადობის მოდულზე, აგრეთვე მატრიცის ბოჭკოებთან ადჰეზიაზე. ცხრ. 13.1-ში მოცემულია ზოგიერთი ერთმიმართულიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები [29].

ცხრილი 13.1

ერთმიმართულებიანი კომპოზიტების თვისებები

მახასიათებელი	მინაპლასტიკი	ნახშირბადპლასტიკი	ორგანოპლასტიკი	ბორპლასტიკი	ბორალუმინი
ρ , კგ/მ ³	2100	1500	1380	2000	2640
σ_{1B}^+ , მპა	1750	1100	1800	1600	1400
σ_{1B}^- , მპა	-650	-450	-280	-240	-200
E_1 , მპა	57000	180000	72000	210000	230000
σ_{2B}^+ , მპა	34	33	28	65	140
E_2 , მპა	9000	6200	4900	19000	140000
σ_{12B} , მპა	48	27	42	102	84
G_{12} , მპა	5200	5000	2000	6200	63000
$\sigma_{1B}^+/\rho \cdot 10^{-3}$, მ	83	73	130	80	53
$E_1/\rho \cdot 10^{-6}$, მ	2,7	12	5,3	10,5	8,8

შენიშვნა: ცხრილში მოცემული მახასიათებლები: ρ – სიმკვრივე; σ_{1B}^+ და σ_{1B}^- – ბოჭკოების სიმტკიცის ზღვარი შესაბამისად გაჭიმვაზე და კუმშვაზე; σ_{2B}^+ – სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე ბოჭკოების განივად; σ_{12B} – სიმტკიცის ზღვარი ძვრაზე შრის სიბრტყეში; E_1 და E_2 – დრეკადობის მოდული შესაბამისად ბოჭკოების გრძივად და განივად; G_{12} – ძვრის მოდული.

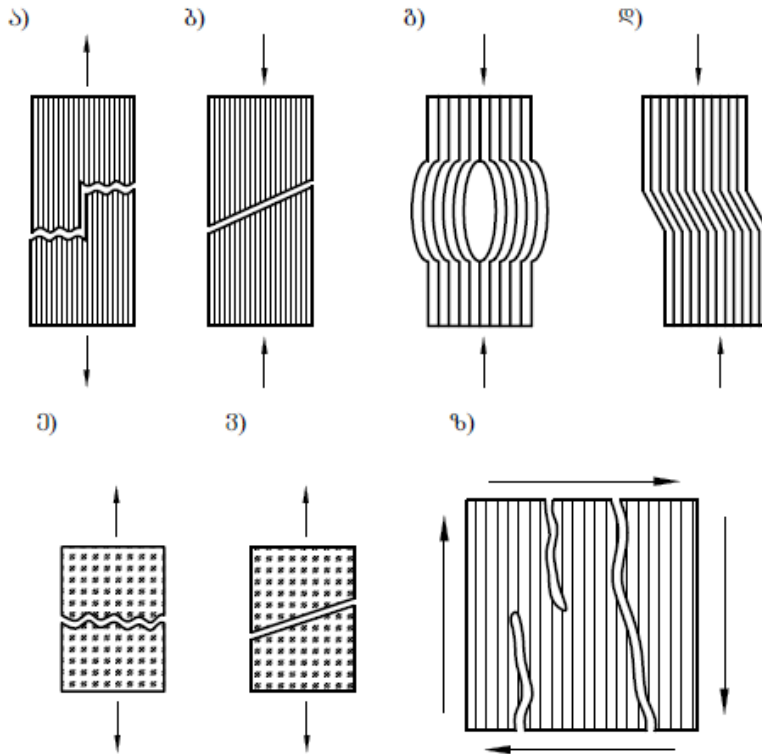
13.11. ერთმიმართულებიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტის რღვევა

ერთმიმართულებიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტის რღვევის აღსაწერად მიმართავენ ფენომენოლოგიურ მიდგომას, რომელიც ითვალისწინებს ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების გათვალისწინებით მარტივი მათემატიკური მოდელის გამოყენებას. მასში ჩადებულია ჰიპოთეზა, რომლის თანახმად ბოჭკოვანი კომპოზიტი ითვლება ერთგვაროვან ანიზოტროპიულ მასალად.

როდესაც კომპოზიტზე გარდა სტატიკური დატვირთვებისა, არ მოქმედებს სხვა გარე ზემოქმედებები (ქიმიური, თბური, რადიაციული და სხვ.), მასალის რღვევა ჩვეულებრივ, დაკავშირებულია ტანის დაძაბულ მდგომარეობასთან, კონკრეტულად – მასალის სიმტკიცის ზოგიერთ მახასიათებელთან. ეს დამოკიდებულება ანიზოტროპიული მასალისათვის განსხვავდება იზოტროპიულისგან იმით, რომ იზოტროპიული მასალის სიმტკიცის მახასიათებელი წარმოადგენს ერთადერთ სკალარულ მუდმივას (მაგალითად, სიმტკიცის ზღვარს), ხოლო ანიზოტროპიული მასალისათვის შესაძლებელია იყოს მასალის ბევრი პარამეტრის ერთობლიობა, რისი ჩაწერაც მათემატიკურად საკმაოდ რთულდება. სწორედ ამ რეალობის გამო რღვევის კრიტერიუმი განისაზღვრება არა ანალიზურად, არამედ ექსპერიმენტული

კვლევის მონაცემების განზოგადების საფუძველზე. ანალოგიურად, ერთმიმართულებიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტის სიმტკიცის მუდმივების დადგენაც რთული და ძვირადღირებული ტექნიკური ამოცანაა. პრაქტიკაში მეცნიერ-მკვლევარები და მწარმოებლები ისაზღვრებიან მარტო სიმტკიცის ზღვრის დადგენით დატვირთვის ერთდერძა მოქმედებისას.

ჩატარებული ექსპერიმენტალური სამუშაოების [29] შედეგად დადგენილი იქნა, რომ რღვევის სახე დამოკიდებულია დაძაბულობის სახეზე (სურ. 13.12).



სურ. 13.12. ერთმიმართულებიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტების რღვევის სქემები: ა-გაჭიმვა ბოჭკოების გასწვრივ; ბ, გ, დ-კუმშვა ბოჭკოების გასწვრივ; ე-გაჭიმვა ბოჭკოების განივად; ვ-კუმშვა ბოჭკოების განივად; ზ-განშრევა

ნახაზზე მოყვანილი სქემებიდან პირველ შემთხვევაში (ა) რღვევა ხდება ბოჭკოების გაწყვეტით მიმართულების მართობულად. ბ, გ და დ შემთხვევებში რღვევას იწვევს შეკუმშული ბოჭკოების მდგრადობის დაკარგვა, რასაც თან ახლავს განშრევა, ან ბოჭკოების მდგრადობის დაკარგვა ძვრის ფორმით. „ე“ სქემის დროს რღვევა ხდება შემკვრელის ან ბოჭკოების ადჰეზიული კავშირების დარღვევით, რასაც იწვევს განივი გამჭიმავი ძაბვები. „გ“ სქემა შეესაბმება კომპოზიტის რღვევას ძვრის ძაბვებით კუმშვისას ბოჭკოების განივად, ხოლო „ზ“ სქემაზე მოცემულია კომპოზიტის რღვევა ძვრის ძაბვებით ნიმუშის სიბრტყეში.

ერთმიმართულებიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტის რღვევის მექანიზმის ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ რღვევის ეს სახეები ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად ვითარდება და რღვევის მომენტი დგება მაშინ, როცა ესა თუ იგი დაბზა (დეფორმაციაზე დამოკიდებულებით) აღწევს ზღვრულ მნიშვნელობას, ანუ ბოჭკო, მატრიცა ირღვევა ზღვრული მდგომარეობის დადგომისას (მაქსიმალური დაბზების კრიტერიუმი).

ზოგჯერ მოხერხებულია, რომ რღვევის კრიტერიუმი გამოვსახოთ არა დაბზებით, არამედ დეფორმაციებით (მაქსიმალური დეფორმაციების კრიტერიუმი).

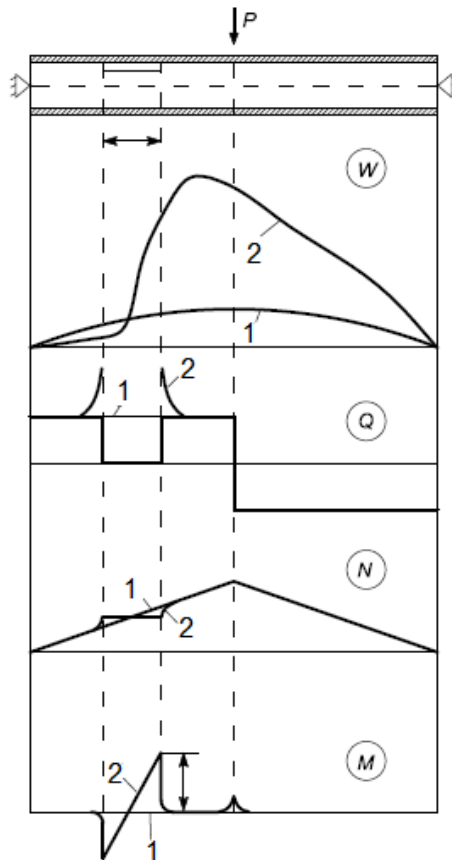
უნდა აღინიშნოს, რომ ფენოვან კომპოზიტურ კონსტრუქციებში თავისუფალი დატვირთვების დროს მოქმედებენ არა მარტო გრძივი (ბოჭკოების მიმართულებით), არამედ განივი ნორმალური და მხები დაბზებიც. მათგან მხები დაბზები იწვევს მონოლითურობის რღვევას, რაც გამოისახება იმით, რომ ბოჭკოების რღვევამდე გაცილებით ადრე, ბოჭკოების პარალელურად, შეიძლება გაჩნდეს განშრევებები. მართალია ეს პროცესი არ ამცირებს ნაკეთობის მზიდუნარიანობას მოცემულ დატვირთვებზე, მაგრამ შესაძლებელია უარყოფითი გავლენა მოახდინოს კონსტრუქციის მუშაობაზე დატვირთვების ცვლილების შემთხვევაში (ჰერმეტიკობის დარღვევა, ტენის შეღწევა, ნარჩენი დეფორმაციების დაგროვება და სხვ.).

13.12. სამფენოვანი კონსტრუქციების რღვევა

განვიხილოთ სამფენოვანი კომპოზიტური ფილა დეფექტიანი უბნით, სადაც დარღვეულია კავშირი ზედა შემოსვასა და შემავსებელს შორის (სურ. 13.13). დავუშვათ, რომ განშრევებულ უბანზე შემოსვასა და შემავსებელს შორის ღუნვის დეფორმაციისას ადგილი აქვს ცოცვადობას. ხახუნის ძალები, რომლებიც ეწინააღმდეგებიან ამ ცოცვადობას, გაცილებით ნაკლებია უდეფექტო ზონის შემავსებლის ძვრის დაბზებზე, ამიტომ მათ გაანგარიშებებში არ ითვალისწინებენ.

სამფენოვან კონსტრუქციებში მსუბუქი შემავსებელი ძირითადად მუშაობს განივ ძვრაზე და უზრუნველყოფს შემოსვების ერთობლივ დეფორმაციას. განშრევების უბანზე ერთი ფენა მეორეს მხებ დაბზებს არ გადასცემს. შესაბამისად, შემავსებელი მუშაობაში მონაწილეობას არ ღებულობს და თავის წილ შიდა ძალებს ანაწილებს მზიდ ფენებზე (შემოსვებზე). ამას კი მივყავართ დეფექტის ზონაში კონსტრუქციის ღუნვითი დეფექტის შემცირებასთან, რომელიც განისაზღვრება მხოლოდ შემოსვების საკუთარი სიხისტით. ზოგადად კი შუა შრის ღუნვითი სიხისტის გამორიცხვა, დიდი სისქის გამო, დაუშვებელია და მას ათანაბრებენ შემოსვების სიხისტესთან.

თუ დეფექტიან უბანზე შემოსვის ამობურცვას არ აქვს ადგილი, მაშინ დეფექტის ზონაში შემავსებლის ძვრის სიხისტე მიიღება ნულის ტოლი, ხოლო ღუნვითი – ემატება მზიდ ფენებს. უშვებენ, რომ შემავსებელი ამ შემთხვევაში არ იკუმშება განივი მიმართულებით (არ განიცდის დეფორმაციას).



სურ. 13.13. განშრევების გავლენა სამფენოვანი ფილის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობაზე; 1-უდეფექტო კონსტრუქცია; 2-ფილის ზედა შემოსვის განშრევება სიგრძით l ; W – ფილის ჩაღუნვა; Q – გადამჭრელი (განივი) ძალა შემავსებელში; N – ნორმალური ძალა შემოსვაში; M – მღუნავი მომენტი ერთ

ნახაზზე ცხადად ჩანს, რომ ფილის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა განშრევების არსებობისას მნიშვნელოვნად განსხვავდება უდეფექტო კონსტრუქციის პარამეტრებისგან. იზრდება ჩაღუნვა დეფექტის სიახლოვეს. მხები ძაბვები შემავსებელში მკვეთრად იზრდება განრევების ზონის საზღვრებთან უდეფექტო უბნების მხრიდან და ნულოვანია დეფექტიან ზონაში. ამიტომ დეფექტის ზინაში ნორმალური ძალები პრაქტიკულად მუდმივია, ხოლო რღვევის ზონის საზღვრებთან ადგილი აქვს მზიდი შრეების ძლიერ ღუნვას (ΔM).

საზგასმით გვინდა აღვნიშნოთ, რომ განშრევების ზონას ფენოვანი კონსტრუქციის ექსპლუატაციისას მიდრეკილება აქვს ზრდისკენ, რაც ამცირებს კონსტრუქციის მზიდუნარიანობას, საიმედოობას და საბოლოო ჯამში შეიძლება გამოიწვიოს მისი სრული რღვევა, ამიტომ მეცნიერთა ერთი ნაწილი ცდილობენ შექმნან მოდელი, რომელიც შესაძლებლობას მოგვცემს გამოვიკვლიოთ განშრევებულ უბანზე შემოსვის მდგრადობის საკითხები. ეს კი დაკავშირებულია არა მარტო

თეორიულ, არამედ ექსპერიმენტალურ კვლევებთანაც. შრეებსშორისი დაძაბულობის გამოთვლა საჭიროებს დრეკადობის თეორიის სამგანზომილებიანი ამოცანების ამოხსნას, მოიცავს რთულ მათემატიკურ მექანიზმს და სახელმძღვანელოში მოყვანილი არ არის (ბაკალავრიატისა და მაგისტრატურის სასწავლო პროგრამა არ ითვალისწინებს).


ლიტერატურა

1. თ. ხმელიძე. ხის კონსტრუქციები. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. თბილისი, 2015. -531 გვ. ISBN 978-9941-0-566-8.
2. სამშენებლო ტერმინების მოკლე განმარტებითი ლექსიკონი/შემდგენლები:ზ. გვიშიანი, თ. ხმელიძე. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 023. -221 გვ. ISBN 978-9941-28-949-1.
3. გ. აბაშიძე, თ. ხმელიძე, რ. მახვილაძე. რეკომენდაციები შენობებისა და ნაგებობების სახანძრო უსაფრთხოების შესახებ. თბილისი, 2011. - 52 გვ. ISBN 978-9941-14-887-3.
4. თ. ხმელიძე, ა. სოხაძე. ხისა და პლასტმასის სამშენებლო კონსტრუქციები. სახელმძღვანელო სტუდენტი-მაგისტრანტებისათვის. თბილისი, 2005. -380 გვ. ISBN 99940-48-21-X.
5. თ. ხმელიძე, დ. გურგენიძე, ლ. კლიმიაშვილი, კ. ხმელიძე. სამშენებლო ენციკლოპედიური ლექსიკონი/პროფესორ დავით გურგენიძისა და პროფესორ თამაზ ხმელიძის საერთო რედაქციით. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. საქართველოს პარლამენტის ეროვნული ბიბლიოთეკა, ონლაინვერსია. თბილისი, 2021. - I-V ტომი. ISBN 978-9941-28-496-0.
6. ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი. სარედაქციო კოლეგია: არნ. ჩიქობავა (მთავ. რედაქტორი), ირ. აბაშიძე, რ. მეტრეველი, შ. ძიძიგური, მ. ჭაბაშვილი. თბ.: გამომც. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, ენათმეცნიერების ინსტიტუტი, ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია. 1986.
7. თ. ხმელიძე. ხის და სინთეზური მასალების კონსტრუქციები /მეთოდური მითითებები საკურსო პროექტის შესასრულებლად. სპი, თბილისი, 1988. -73 გვ.
8. ა. ღუმბაძე. კომპოზიციური ტანის მექანიკა. თბილისი: “საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი”, 2015. -292 გვ.
9. ლ. კახიანი, ლ. ავალიშვილი, ლ. ბალანჩივაძე. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება ევრონორმების მიხედვით. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. თბილისი, 2016. -226 გვ.
10. პნ 01.05-08. დაპროექტების ნორმები. სამშენებლო კლიმატოლოგია. თბილისი, 2008.
11. ნ. ნინუა. რკინაბეტონის კონსტრუქციები. თბილისი: გამომც. განათლება. 1988. - 579 გვ. ISBN 5-505000186-6.
12. სნ და წ 03.01-09. ბეტონისა და რკინაბეტონის კონსტრუქციები (პნ 03.01-09).

13. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкций. Актуализированная редакция СНиП II-235-80.
14. СНиП 2-01. 07-85. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия. – М.: Стройиздат, 2007.
15. СНиП II-23-81. Нормы проектирования. Стальные конструкции. – М.: Стройиздат, 1998. - 96 с.
16. СНиП 52-01-2003. Нормы проектирования. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
17. EN 300. Плиты ориентированностружечные. Технические условия.
18. СНиП II-25-80. Нормы проектирования. Деревянные конструкции. - М.: Стройиздат, 2001. - 65 с.
19. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. –М.: 2011.
20. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения). ЦНИИПромзданий. М.: стройиздат. 1977. -320 с.
21. СТО 38276489.001-2017. Стандарт организации. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Проектирование и технология производства работ/ООО „Нанотехнологический центр композитов“. М.: 2017. 125 с.
22. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
23. Колосов Г. В. Об одном приложении теории функций комплексно переменного к комплексной задаче математической теории упругости. – Юрьев: Типография Матисена, 1909. -187 с.
24. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости, 5 изд., М., Наука. 1966. – 709 с.
25. Баженов С. Л. Механика и технология композиционных материалов. Долгопрудный: ООО Издательский Дом “Интеллект, 2014. -328 с.
26. Кузеванов Д.В. Научно-технический отчет «Конструкции с композитной неметаллической арматурой. Обзор и анализ зарубежных и отечественных нормативных документов», 2012г. [Электронный ресурс] // НИИЖБ им. А.А. Гвоздева Лаборатория №2 URL: <http://www.niizhb2.ru/Article/nka2012.pdf> .
27. Р-16-78, Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой, Москва: НИИЖБ, 1978.

28. Westergaard H. M. Trans. ASME//J. Appl. Mech. V. 6. №2, 1939. -p. 49.
29. Скворцов Ю. В. Механика композиционных материалов. Самара. 2013. -94 с.
30. 17. JSCE, Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials, Tokyo, Japan: Japan Society of Civil Engineers, 1997.
31. Clarke J. L., O'Regan D. P. and Thirugnanenedran C., EUROCRETE Project, Modification of Design Rules to Incorporate Nonferrous, London, 1996.
32. IstructE, Interim guidance on the design of reinforced concrete structures using fibre composite reinforcement, London, UK, 1999.
33. CAN/CSA-S6-00, Canadian High Bridge Design Code, Canadian Standards Association, 2000.
34. CAN/CSA-S6-02, Design and Construction of Building Components with Diber-Reinforced Polymers, Canadian Standards Association, 2002.
35. ACI 440.1R-03, Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars, American Concrete Institute, 2003.
36. ACI 440.4R-04, Prestressing Concrete Structures with FRP tendons, American Concrete Institute, 2004.
37. CNR-DT 203/2006, Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars, Rome, Italy, 2006.
38. ACI 440.1R-06, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars, American Concrete Institute, 2006.
39. fib bul.40, FRP reinforcement in RC structures. Technical report TG9.3., Lausanne, Switzerland: fib, 2007.
40. fib bul. 55, ModelCode 2010. First complete draft, Lausanne, Switzerland: fib, 2010.
41. ДСТУ (проект), Настанова з проектування та виготовлення бетонних виробів і конструкцій з неметалевою композитною арматурою на основі базальтового і скло ровінгів, Киев, 2011.
42. ГОСТ (проект), Арматура неметаллическая композитная для армирования бетонных конструкций, Москва: НИИЖБ, 2011.
43. СТО НОСТРОЙ (проект), Применение в строительных бетонных и геотехнических конструкциях неметаллической композитной арматуры, Москва: Национальное объединение строителей, 2012.

45. Wang, N. and Evans, J.T., «Collapse of Continuous Fiber Composite Beamat Elevated Temperatures,» *Journal of Composites*, pp. 56-61, 26(1) 1996.
46. Karbhari, V.M., Chin, J.W., Dunston, D. and oth., «Durability Gap Analysis for Fiber-Reinforced Polymer Composites in Civil Infrastructure,» *Journal of Composites for Construction*, pp. 238-247, 7(3) 2003.
47. თ. ხმელიძე, თ. ცვარიანი. პლასტმასის კონსტრუქციები. გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი, 2023. -418 გვ. ISBN 978-9941-33-514-3.
48. Seki, H., Sekijima, K. and Konno, T., «Test Method on Creep of Continuous Fiber Reinforcing Materials,» в *Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Sapporo, Japan, 1997.
49. Ando, N., Matsukawa, H., Hattori, A. and Mashima, A., «Experimental Studies on the Long-term Tensile properties of FRP Tendons,» в *Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, Sapporo, Japan, 1997.
50. Pilakoutas, K., Neocleous, K. and Guadagnini, M., «Design philosophy issues of fibres reinforced polymer reinforced concrete structures,» *Journal of Composites for Constructio*, т. 6, № 3, pp. 154-161, 2002.
- 50-1. ACI 318-08, *Building Code Requirements for Structural Concrete*, American Concrete Institute, 2008.
51. СП 52-101-2003, *Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры*, Москва, 2004.
52. EN 1992-1-1:2004, *Eurocode 2 - Design of Concrete Structures. Part 1: General rules and rules*, CEN, 2004. 65.
53. Guadagnini, M., Pilakoutas, K. and Waldron, P., «Shear Resistance of FRPRC Beams: An Experimental Study,» *Journal of Composites for Construction*, т. 10, № 6, pp. 464-473, 2006.
54. Tureyen, A. K., and Frosch, R. J., «Concrete Shear Strength: Another Perspective,» *ACI Structural Journal*, т. 100, № 5, pp. 609-615, 2003.
55. СП 20.13330.2016. *Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85**.
56. Fico R., *Limit states design of concrete structures reinforced with frp bars. PHD Thesis*, University of Naples Federico II, 2007.
57. SP-275, *Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures 10th International Symposium*, American Concrete Institute, 2011.

58. Wang, N. and Evans, J.T., «Collapse of Continuous Fiber Composite Beamat Elevated Temperatures,» *Journal of Composites*, pp. 56-61, 26(1) 1996.
59. Проектирование подпорных стен и с тенподвалов. Справочное пособие к СНиП 2.09.03-85. М, Стройиздат, 1990 г.
60. СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования.
61. В. А. Дементьев, В. П. Волокитин, Н. А. Анисимова. Усиление и реконструкция мостов на автомобильных дорогах. Воронеж. гос. арх.- строит. ун-т. – Воронеж, 2006. -116 с.
62. СТО 38276489.001-2017. Стандарт организации. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Проектирование и технология производства работ/ООО „Нанотехнологический центр композитов“. М.: 2017. -125 с.
63. Andradý AL, Neal MA (July 2009). "Applications and societal benefits of plastics". *Philos. Trans.R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 364 (1526): 1977- 84. doi:10.1098/rstb.2008.0304. PMC 2873019 . PMID 19528050.
64. Гаппоев М. М., Гуськов И. М. и др. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: Издательство строительных вузов, 2004, -440 с.
65. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. *Plastinfo.ru*, М., 2018.
66. Перепелкин К. Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы — СПб: Издание СПГУТД, 2008. -354 стр.
67. И. А. Архипова, Г. Ж. Елигбаева. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ. Алматы, 2015. -90 с.
68. К. А. Сарайкина, В. А. Шаманов. «Дисперсное армирование бетонов» // Вестник ПГТУ. Урбанистика. 2011. №2.
69. Fenichell, Stephen (1996). *Plastic : the making of a synthetic century*. New York: Harper-Business. p. 17. ISBN 0-88730-732-9.
70. **Jump up**[^] "Dictionary – Definition of celluloid". *Websters-online-dictionary.org*. Retrieved 2011-10-2.
71. Crossman F. W., Mauri R. E., Warren W. J. Moisturealtered viscoelastic response of graphite-epoxy composites. — In: *Advanced Composite Materials-Environmental Effects (STP-658)*, ed. J. R. Vinson, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1978.

72. Ванин Г. А. Микромеханика композиционных материалов. — Киев: Наукова думка, 1985. -304 с.
73. Ванин Г. А. (Ван Фо Фы Г. А.). Конструкции из армированных пластмасс.— Киев: Техника, 1971. -220 с.
74. Кристенсен Р. М. Введение в механику композитов. Пер. с англ. под. ред. Ю. М. Тарнопольского. — МОСКВА: Мир, 1982. -334 с.
75. Hamamoto A., Hyer M. W. Temperature-Curvature Relationship for unsymmetric Graphite-Epoxy Laminates. — Center for Composite Materials University, Blacksburg, VA, 1985.
76. Шилин А.А., Зайцев М.В. и др. РЕМОНТ И УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Методическое пособие. М. 2016. – с. 159.
77. Garboczi E.J., Bentz, D.P., Snyder, K.A., Martys, N.S., Stutzman, P.E., FeBCRaris, C.F., and Bullard, J.W., An electronic monograph: Modeling and measuring the structure and properties of cement based materials, Materials and Construction Research Division, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Jan. 2010, 4189 pp.
78. Subramanian, N., Pervious Concrete-A green Material that helps reduce water run-off and Pollution, The Indian Concrete Journal, Vol.82, No.12, Dec 2008, pp.16-34.
79. ACI 440.6-08: Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bar Materials for Concrete Reinforcement, 2008, -6 pp.
80. ACI 440R-07, Report on FRP reinforcement for concrete structures, 2007, -100 pp.
81. Sudeep, A., Mechanical properties and flexural applications of Basalt fibre reinforced polymer (BFRP) bars, M.S. Thesis, University of Akron, Dec. 2009, -385 pp.
82. ТУ УВ 2.7-22794685-001.2005. Двухтавровые деревянные балки. Технические условия. ООО „ПОЛ и К“.
83. Буланов Н.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из КМ, МГТУ, Учебник для ВУЗов, 1998, -516 с.
84. Шилин А.А., Зайцев М.В. и др. РЕМОНТ И УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. Методическое пособие. М. 2016. -с. 159.

რეზიუმე

კომპოზიტური კონსტრუქციები

თამაზ ხმელიძე

ნაშრომში განხილულია კონსტრუქციული კომპოზიტური მასალების შექმნის, წარმოებაში დანერგვისა და განვითარების ტენდენციის საკითხები, მათი მშენებლობაში გამოყენების აქტუალობა, თანამედროვე მდგომარეობა, პერსპექტივები, შედგენილობა და სტრუქტურა, კლასიფიკაციის პრინციპები, მატრიცული მასალები, ბოჭკოვანი და ფურცლოვანი შემავსებელი, მიღების ტექნოლოგია, მექანიკური დამუშავება, კომპოზიტური ხის, პლასტიმასის, ბეტონის კონსტრუქციები, რკინაბეტონის კონსტრუქციების, საძირკვლების, საგზაო და სარკინიგზო ვაკისის, ნაპირდამცავი ნაგებობების, საყრდენი კედლების გაანგარიშება, შენობა-ნაგებობების გაძლიერება, რეკონსტრუქცია, რეაბილიტაცია, პოლიმერული კომპოზიტური არმატურები, კობიაქსისა და გარე დაარმირების სისტემები, კომპოზიტების რღვევის მექანიკის საკითხები. მოცემულია გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითები.

სახელმძღვანელოს მიზანია, დაეხმაროს მომავალ სპეციალისტს, შეიძინოს ცოდნა მშენებლობაში კომპოზიტური მასალებისა და კონსტრუქციების გამოყენებისათვის, შეძლოს ასეთი ელემენტების, კონსტრუქციების, ნაგებობების გაანგარიშება, დაპროექტება და სხვადასხვა ტიპის კონსტრუქციათა ხარისხის კონტროლი, მდგომარეობის შეფასება, ექსპლუატაცია და ა. შ. ძირითადი აქცენტი გაკეთებულია მშენებლობისთვის საჭირო კონსტრუქციების განხილვაზე, აგრეთვე თეორიული ცოდნის გაღრმავებაზე წიგნში რიცხვითი მაგალითების ჩართვის გზით. მასალა გადმოცემულია მეცნიერებისა და ტექნიკის თანამედროვე მიღწევების გათვალისწინებით კონსტრუქციების წარმოების, დამზადების ტექნოლოგიის, პრაქტიკული გამოყენების, ტრანსპორტირების, მონტაჟის, ცეცხლმედეგობის, ხანგამძლეობისა და კომერციის თვალსაზრისით.

თანამედროვე სამშენებლო ინდუსტრიის განვითარების დონე საშუალებას იძლევა შენობების სარეკონსტრუქციო და სარემონტო სამუშაოების ჩატარებისას ტრადიციული მასალისგან დამზადებული ზოგი ელემენტი შევცვალოთ უმნიშვნელოდ მოდიფიცირებული კომპოზიტური ელემენტით.

ამჟამად, წარმოების ყველა მიმართულებით შეინიშნება სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის სწრაფი განვითარება, რაც მოითხოვს დიდი რაოდენობით ახალ მასალებს გამიზნული თვისებებით. იზრდება მოთხოვნები ზემოაღნიშნული სიმტკიცის, სიმაგრის, მხურვალმედეგ, კოროზიამედეგ მასალებზე, აგრეთვე მასალებზე, რომლებშიც ეს თვისებები ერთმანეთთანაა შეთავსებული. დღესდღეობით ცნობილია ასი ათასობით ბუნებრივი (არაკომპოზიტური) და ხელოვნური მასალა, რომლებიც ვეღარ პასუხობენ გაზრდილ მოთხოვნებს. ამასთანავე, ახალი მასალის

აღმოჩენა იშვიათად ხდება. ყოველივე ეს მიუთითებს იმაზე, რომ „ჩვეულებრივი“ მასალების უმეტესობა უკვე აღმოჩენილია და ამ მიმართულებით რაიმე ახლის მოლოდინი პრაქტიკულად განულებულია. სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესი კი მოითხოვს ახალ კონსტრუქციულ მასალებს, ამიტომ, ბუნებრივია, დღის წესრიგში დგას უკვე არსებულის გამოყენებით შეიქმნას თანამედროვე ლითონური და პოლიმერული კომპოზიტური მასალები.

თანამედროვე მშენებელს ხშირად უწევს შეხება პოლიმერულ მასალებთან არა მარტო ტექნიკაში, არამედ ყოველდღიურ პრაქტიკაში, ამიტომ ასეთი მასალების ძირითადი თვისებების ცოდნა და მათი მართებული გამოყენების უნარის გამომუშავება აუცილებელი ხდება. შემოთავაზებული სახელმძღვანელოს მიზანიც ესაა – მიაწოდოს მკითხველს საფუძვლიანი ცოდნა პოლიმერული კომპოზიტური მასალებისა და კონსტრუქციების შესახებ.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია უმაღლესი ტექნიკური სასწავლებლების, უნივერსიტეტების ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერების ფაკულტეტების სამივე საფეხურის სტუდენტებისათვის, ასევე, დამპროექტებლების, ინჟინრების, მეცნიერ-თანამშრომლებისა და ამ საქმით დაინტერესებული ყველა პირისათვის.

Summary

Composite constructions

Tamaz Khmelidze

The textbook discusses the issues of creation, production and development of construction composite materials, relevance of their application in construction, the modern situation, perspectives, composition and structure, classification principles, matrix materials, fiber and sheet fillers, production technology, mechanical processing; Calculation of composite wood, plastic, concrete structures, reinforced concrete structures, foundations, arrangement of ground foundation for road and railway, shore protection structures, retaining walls; Building reinforcement, reconstruction, rehabilitation with application of the polymer composite reinforcement systems, cobias and external reinforcement systems, composite breakdown mechanics. Numerical examples of calculation are given.

The aim of the textbook is to help the future specialists to acquire knowledge for the application of composite materials and constructions in building. That an engineer be able to calculate, design the different elements, structures, buildings, various types of structures, condition assessment, operation, etc. and conduct their quality control. The main focus is on discussing constructions required for building, as well as on deepening theoretical knowledge by including numerical examples in the book. The material is presented with modern advances in science and technology in terms of manufacturing, processing technology, practical application, transportation, installation, fire resistance, durability and commerce. The level of development of the modern construction industry allows us to replace some elements made of traditional materials with slightly modified composite elements during the reconstruction and repair works of buildings.

Currently, rapid development of scientific and technical progress is observed in all areas of production, which requires a large number of new materials with targeted properties. There is a growing demand for high strength, toughness, fire resistant, corrosion resistant materials as well as materials in which these qualities are combined. Hundreds of thousands of natural (non-composite) and artificial materials are now known that can no longer meet the increased demands. In addition, the discovery of new material is rare. All this indicates that most of the "ordinary" materials have already been discovered and the expectation of something new in this direction is practically zero. Scientific and technical progress requires new construction materials, so it is natural that the agenda is to create modern metal and polymer composite materials using existing ones.

Modern builders often come into contact with polymeric materials not only in technology but also in everyday practice, so knowledge of the basic properties of such materials and the ability to use them properly is essential in modern conditions. The purpose of the

proposed textbook is to provide the reader with a thorough knowledge of polymer composite materials and structures.

The textbook is created for students of high technical schools, universities, all three levels of faculties of exact and natural sciences, as well as for designers, engineers, researchers and any person who is interested in this field.

სარჩევი

წინასიტყვაობა.....	5
შესავალი.....	7
თავი 1. კომპოზიტი, როგორც კონსტრუქციული საშენი მასალა	11
1.1. კომპოზიტების შედგენილობა და სტრუქტურა	11
1.2. კლასიფიკაციის პრინციპები.....	15
1.3. მშენებლობაში გამოყენებული კომპოზიტები.....	18
1.3.1. ბოჭკოვანი კომპოზიტი.....	18
1.3.2. დისპერსიულ-განმტკიცებული კომპოზიტი	19
1.3.3. მერქან-პოლიმერული კომპოზიტი.....	21
1.3.4. ტიტან-ტანტალ-ვოლფრამის კომპოზიტი	22
1.3.5. კომპოზიტური ბამბუკის პარკეტი.....	22
1.3.6. კომპოზიტური ბამბუკის ფიცარი.....	23
1.3.7. მინატექსტოლიტი	24
1.3.8. მინაპლასტიკი	25
1.3.9. ქაფკლასტი	27
1.3.10. პოლიურეთანი.....	28
1.3.11. პოლისტირენი	30
1.3.12. პოლიკარბონატი.....	32
1.3.13. პოლივინილქლორიდი	33
1.4. ბაზალტპლასტიკი	34
1.4.1. საერთო ცნობები ბაზალტის შესახებ	35
1.4.2. ბაზალტკომპოზიტური არმატურა	37
თავი 2. კომპოზიტური მატრიცული მასალები.....	40
2.1. მატრიცული მასალებისადმი წაყენებული მოთხოვნები.....	40
2.2. ლითონური მატრიცები.....	41
2.3. პოლიმერული მატრიცები	43
2.4. ნახშირბადოვანი მატრიცები	47
2.5. კერამიკული მატრიცები.....	48
2.6. პოლიმერული აფსკური მასალები	49
2.6.1. პოლიესტერი	50

2.6.2. პოლიეთილენი.....	51
2.6.3. დაბალი წნევის პოლიეთილენი.....	52
2.6.4. საშუალო წნევის პოლიეთილენი.....	52
2.6.5. მაღალი წნევის პოლიეთილენი.....	53
2.6.6. პოლიიზობუტილენი	53
2.6.7. პოლიკაპროლაქტონი	54
2.6.8. პოლიპროპილენი (პოლიპროპენი)	54
2.6.9. პოლიაკრილატი.....	56
2.6.10. პოლიეთილენტერაფთალატი.....	57
2.6.11. პოლიიმიდები	57
2.6.12. პოლიაკრილნიტრილი.....	57
2.6.13. პოლიამიდი	57
2.6.14. პოლიეთერმიდი.....	58
2.6.15. პოლივინილაცეტატი	59
2.7. ბორპლასტიკი	59
თავი 3. მარმირებელი ბოჭკოვანი შემავსებლები	60
3.1. მინის ბოჭკოები.....	66
3.2. ორგანული ბოჭკოები	70
3.3. ნახშირბადის ბოჭკოები	73
3.4. ბორის ბოჭკოები	78
3.5. სილიციუმის კარბიდის ბოჭკოები	80
3.6. ლითონური ბოჭკოები.....	81
3.7. ბოჭკოები ლითონის საფარვლით.....	83
3.8. მოკლე მარმირებელი ბოჭკოები.....	83
3.9. მარმირებელი ბოჭკოების განლაგება შემავსებელსა და კომპოზიტურ მასალებში	84
3.10. პოლიფორმალდეჰიდი	85
თავი 4. მარმირებელი ფურცლოვანი შემავსებლები.....	86
4.1. ქსოვილური მარმირებელი მასალები	86
4.2. მასალები ქაღალდის საფუძველზე	87
4.3. მასალები ტილოს საფუძველზე	89

4.4. მინალენტი.....	90
4.5. ნაქსოვხლართული ტექსტილური მასალები	91
4.6. ტრიკოტაჟული (ნაქსოვი) ტექსტილური მასალები	92
თავი 5. კომპოზიტური მასალების მიღების ტექნოლოგია.....	94
5.1. კომპოზიტური მასალების მიღების თავისებურებანი.....	94
5.2. საერთო ტექნოლოგიური პროცესები	95
5.3. პოლიმერული კომპოზიტური მასალების ფორმაწარმოქმნის ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესები.....	96
5.3.1. კონტაქტური ფორმირება	98
5.3.2. ფორმირება ღრეკადი დიაფრაგმით.....	100
5.3.3. ფორმაწარმოქმნა წნევით.....	102
5.3.4. ფორმაწარმოქმნა დაწნეხით	103
5.3.5. თერმოპლასტიკური კომპოზიტების დაწნეხა	106
5.3.6. ფორმაწარმოქმნა დახვევით.....	107
5.3.7. ფორმაწარმოქმნა პულტრუზიით	108
5.3.8. როტაციული ფორმაწარმოქმნა	109
თავი 6. პოლიმერული კომპოზიტური მასალების მექანიკური დამუშავება.....	110
6.1. დამუშავება ჭრით.....	110
6.2. საზეინკლო დამუშავება.....	112
6.3. დამუშავება ბურღით	113
6.4. დამუშავება გაჭრით	115
6.5. დამუშავება ულტრაბგერით	117
6.6. დამუშავება ლაზერის სხივებით.....	118
6.7. დამუშავება წყლის ჭავლით	120
6.8. კომპოზიტური დეტალების შეერთებანი.....	122
6.8.1. მექანიკური შეერთება	122
6.8.2. წებოთი შეერთება.....	123
თავი 7. კომპოზიტური ხის კონსტრუქციები.....	126
7.1. დაწებებული ხის კონსტრუქციები	126
7.1.1. დაარმირებული ხის კოჭები	126
7.1.2. დაწებებული ხის კოჭები.....	131

7.1.3. დაწებებული ხე-ფანერის კოჭები	135
7.1.4. წებო-ფანერის სამფენოვანი პანელები	140
7.2. ხის კონსტრუქციების შეერთებები ჩაწებებული ღეროებით	142
7.3. ულტრალამი (ლვლ)	144
თავი 8. კომპოზიტური პლასტმასის კონსტრუქციები	157
8.1. ზოგადი ცნობები პლასტმასების შესახებ	157
8.2 კონსტრუქციული პლასტმასები.....	162
8.2.1. ზოგადი ცნობები.....	162
8.2.2. ორგანული მინა.....	164
8.2.3. ვინიპლასტი.....	166
8.2.4. ფოროპლასტი	168
8.2.5. ფიჭაპლასტი	169
8.2.6. მერქანფენოვანი პლასტიკი	171
8.2.7. მერქანბოჭკოვანი ფილა	172
8.2.8. მერქანბურბუშელოვანი ფილა	174
8.2.9. ცემენტბურბუშელოვანი ფილა	175
8.3. პლასტმასის კონსტრუქციების ელემენტების გაანგარიშების საფუძვლები.....	175
8.3.1. პლასტმასების ხანგრძლივი წინაღობა	176
8.3.2. ტენიანობის, ტემპერატურისა და ატმოსფერული ზემოქმედების გავლენა პლასტმასის სიმტკიცესა და დეფორმაციულობაზე	177
8.3.3. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება მდგრადო- ბაზე.....	179
8.3.4. ღუნვაზე მომუშავე პლასტმასის ელემენტის გაანგარიშება სიხისტეზე.....	182
8.4. მინაპლასტიკის ტალღოვანი ფურცლები	183
8.5. სამფენოვანი პლასტმასის კონსტრუქციები	188
8.6. სფერული გუმბათ-გარსები	196
8.7. მოთხოვნები, წაყენებული პოლიმერული მასალებისადმი	198
8.8. პოლიმერულ მასალებთან მუშაობის უსაფრთხოების ტექნიკა.....	200
8.10. პოლიმერული კონსტრუქციული და კომპოზიტური მასალების ფიზიკურ- მექანიკური თვისებები.....	201
8.11. ინტელექტუალური პოლიმერული კომპოზიტური მასალები (იპკმ)	209

8.12. სამშენებლო მასტიკები	210
8.12.1. საერთო ცნობები	210
8.12.2. ბიტუმის მასტიკები.....	211
8.13. პოლიმერულ-კომპოზიტური შპუნტური ხიმინჯები.....	215
8.14. ნახშირბადალასტიკი	218
8.15. კერამიკული კომპოზიტები.....	220
თავი 9. კომპოზიტური ბეტონის კონსტრუქციები.....	223
9.1. საერთო ცნობები ბეტონების შესახებ	223
9.1.1. ბეტონი	223
9.1.2. ბეტონების კლასიფიკაცია.....	224
9.1.3. მძიმე ბეტონი	226
9.1.4. ზემძიმე ბეტონი	227
9.1.5. მსუბუქი ბეტონი	227
9.1.6. შემსუბუქებული ბეტონი	229
9.1.7. დეკორატიული ბეტონი	229
9.1.8. ბეტონი მაგნეზიურ შემკვრელზე.....	230
9.1.9. მაღალი სიმტკიცის ბეტონი	231
9.1.10. ბეტონი მონოლითური.....	231
9.1.11. მხურვალმედეგი ბეტონი	233
9.1.12. რომაული ბეტონი.....	233
9.1.13. საგზაო ბეტონი	234
9.1.14. სადრენაჟო ბეტონი	235
9.1.15. სასაქონლო ბეტონი	235
9.1.16. სწრაფმყარებადი ბეტონი	236
9.1.17. ჰიდროტექნიკური ბეტონი.....	236
9.2. მშენებლობაში გამოყენებული კომპოზიტური ბეტონები.....	237
9.2.1. პოლიმერბეტონი	237
9.2.2. ბეტონპოლიმერი	239
9.2.3. პოლისტირენბეტონი	242
9.2.4. ფიბრობეტონი	244
9.2.5. ფიბროცემენტი	247

9.2.6. მინაფიბრობეტონი.....	249
9.2.7. ბაზალტფიბრობეტონი	251
9.2.8. გოგირდიანი ბეტონი	254
9.2.9. პოლიმერსილიკატური ბეტონი	254
9.2.10. სპეციალური ბეტონი	254
9.2.11. წვრილმარცვლოვანი კომპოზიტური ბეტონი	255
9.2.12. მრავალკომპონენტიანი ბეტონი	256
9.2.13. პოლიმერცემენტის ბეტონი	256
9.2.14. ფიბროასფალტი	256
თავი 10. კომპოზიტური კონსტრუქციების გაანგარიშება პოლიმერული არმატურით	258
10.1. ზოგადი ნაწილი	258
10.2. კომპოზიტური არმატურის შექმნის მოკლე ისტორიული მიმოხილვა.....	260
10.3. კომპოზიტური არმატურის დამზადების ტექნოლოგია	264
10.4. კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ნორმატიული და საანგარიშო მახასიათებლები	265
10.4.1. კომპოზიტური პოლიმერული არმატურის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები	267
10.4.2. აკპ-ის თვისებები ხანმოკლე დატვირთვების მოქმედებისას	270
10.4.3. აკპ-ის თვისებები ხანგრძლივი დატვირთვების მოქმედებისას.....	272
10.5. კონსტრუქციები დაუდაბავი კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით ...	273
10.5.1. გაანგარიშების ზოგადი პრინციპები	273
10.5.2. გაანგარიშება I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით	276
10.5.3. გაანგარიშება II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მეთოდით	282
10.5.4. კომპოზიტური არმატურის ჩაანკერებისა და ბეტონთან შეჭიდულობის გაანგარიშება	285
10.5.5. კონსტრუქციული მოთხოვნები	286
10.6. კონსტრუქციები წინასწარ დადაბული კომპოზიტური პოლიმერული არმატურით	287
10.7. ბეტონის კონსტრუქციებში გამოყენებული კომპოზიტური არმატურისადმი წაყენებული ტექნიკური მოთხოვნები	290
10.7.1. მოთხოვნები ნედლეულსა და მასალებზე	290
10.7.2. მოთხოვნები წარმოებაზე	290

10.7.3. მოთხოვნები გარეგნულ სახეზე.....	291
10.7.4. მოთხოვნები ძირითად მახასიათებლებზე	291
10.7.5. მოთხოვნები ხარისხის კონტროლზე	292
10.7.6. შეფუთვა და მარკირება	293
10.7.7. ტრანსპორტირებისა და მიწოდების წესი	294
10.8. ბეტონის კონსტრუქციებში გამოყენებული კომპოზიტური არმატურისადმი წყენებული კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური მოთხოვნები	294
10.8.1. კონსტრუქციული მოთხოვნები	294
10.8.2. გამოყენებული ობიექტების კლასიფიკაცია	295
10.8.3. ასაწყობი ბეტონის კონსტრუქციები.....	296
10.8.4. ბეტონი და ბეტონის ნარევი. მოთხოვნები კონსტრუქციული ბეტონისა და ბეტონის ნარევისადმი.....	296
10.8.5. მოთხოვნები ბეტონისა და საარმატურე სამუშაოების წარმოებისადმი. საარმატურე სამუშაოების მიღება და კონტროლი	297
10.8.6. ბეტონის კონსტრუქციებში კომპოზიტური არმატურის გამოყენების კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტის მაგალითები.....	298
10.9. შემომზადვ კონსტრუქციებში კომპოზიტური არმატურის გამოყენების კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტები	299
10.10. გეოტექნიკურ კონსტრუქციებში კომპოზიტური არმატურის გამოყენების კონსტრუქციულ-ტექნოლოგიური გადაწყვეტები	300
10.10.1. ობიექტების კლასიფიკაცია.....	300
10.10.2. საძირკვლის კონსტრუქციები.....	300
10.10.3. წირწკიმალოვანი გამაგრებები	304
10.10.4. რკინიგზისა და საავტომობილო გზების მიწის ვაკისის მოწყობა	311
10.10.5. ნაპირდამცავი ნაგებობები	318
10.10.6. საყრდენი კედლები	320
10.10.7. კომპოზიტურ არმატურასთან მუშაობის უსაფრთხოების წესები	321
10.11. კომპოზიტურარმატურიანი ბეტონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ნორმატიული დოკუმენტების ანალიზი და საერთო დასკვნები.....	322
10.12. ბაზალტკომპოზიტური არმატურის ექსპერიმენტული კვლევა.....	323
თავი 11. შენობა-ნაგებობების გაძლიერება-რეკონსტრუქცია კომპოზიტური მასალების გამოყენებით.....	329
11.1. ზოგადი ცნობები.....	329

11.2. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაძლიერება-რეკონსტრუქცია.....	334
11.3. ლითონის კონსტრუქციების გაძლიერება-რეკონსტრუქცია.....	338
11.4. გადახურვის რკინაბეტონის ფილების გაძლიერება.....	339
11.5. ხის კოჭების გაძლიერება.....	341
11.6. ხიდების გაძლიერება-რეკონსტრუქცია.....	342
11.7. ქვის კონსტრუქციების გაძლიერება.....	345
11.8. კობიაქსის სისტემები მონოლითურ რკინაბეტონის კონსტრუქციებში.....	347
11.9. კონსტრუქციების გაძლიერების კარბონვრაპის სისტემები (CarbonWrap)	354
თავი 12. რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაძლიერება კომპოზიტური მასალე- ბით.....	368
12.1. ზოგადი ცნობები და დაპროექტების მოთხოვნები.....	368
12.2. მასალები.....	376
12.2.1. ბეტონი და ფოლადის არმატურა.....	376
12.2.2. კომპოზიტური პოლიმერები ბოჭკოების საფუძველზე.....	377
12.3. კომპოზიტით გაძლიერებული რკინაბეტონის კონსტრუქციების გაანგარი- შების საფუძვლები.....	380
12.3.1. ძირითადი საანგარიშო მითითებები.....	380
12.4. გაანგარიშება პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით.....	380
12.4.1. ზოგადი მითითებები.....	380
12.4.2. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება.....	381
12.4.3. შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე.....	384
12.4.4. გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება სიმტკიცეზე.....	386
12.5. გაანგარიშება მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობის მიხედვით.....	388
12.5.1. გაანგარიშება ბზარების წარმოქმნაზე.....	388
12.5.2. გაანგარიშება ბზარების გახსნაზე.....	390
12.5.3. გაანგარიშება დეფორმაციებზე.....	392
12.5.4. გარე დაარმირების სისტემის კონსტრუქციული მოთხოვნები.....	395
12.5.5. ნახშირბადის საანკერო ჩალიჩების დაპროექტება.....	402
თავი 13. კომპოზიტური მასალების რღვევის მექანიკა.....	422
13.1. რღვევა.....	422
13.2. რღვევის მექანიზმები.....	423
13.3. მყიფე რღვევა.....	424

13.4. პლასტიკური რღვევა	425
13.5. კვაზიმყიფე რღვევა	426
13.6. რღვევის სახეები	426
13.7. ბზარები და ძაბვების კონცენტრაცია	427
13.8. ბლანტი რღვევა	428
13.9. განივი რღვევა.....	429
13.10. ერთმიმართულებიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტები	432
13.11. ერთმიმართულებიანი ბოჭკოვანი კომპოზიტის რღვევა	433
13.12. სამფენოვანი კონსტრუქციების რღვევა.....	435
ლიტერატურა	438
რეზიუმე.....	444
Summary.....	446
სარჩევი.....	448



თამაზ ხშელიძე – საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტის პროფესორი (2009-2021 წწ), სამშენებლო მანქანების დეპარტამენტის უფროსი (2021 წლიდან დღემდე), ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, მშენებლობის ინჟინერიის დოქტორი, მშენებლობის ექსპერტი, საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოს „მშენებლობა“ კოლეგიის წევრი, ფაკულტეტის მაგისტრატურის საგანმანათლებლო პროგრამის ხელმძღვანელი, სასწავლო-სამეცნიერო ლიტერატურის დარგობრივი კომისიის თავმჯდომარე, „სამშენებლო,

საგზაო, ამწე-სატრანსპორტო და სალიანდაგო მანქანების სასწავლო-სამეცნიერო, დიაგნოსტიკისა და ექსპერტიზის“ ცენტრის ხელმძღვანელი, საქართველოს დამსახურებული მშენებელი, 130-ზე მეტი სამეცნიერო შრომის ავტორი, მათ შორის 27 სახელმძღვანელოს, დამხმარე სახელმძღვანელოსა და მეთოდური მითითების. არის სამშენებლო ენციკლოპედიური ლექსიკონის ხუთტომეულის ერთ-ერთი ძირითადი ავტორი-შემდგენელი და საერთო რედაქტორი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ენათმეცნიერების ინსტიტუტის ვუკოლ ბერიძის სახელობის ტერმინოლოგიის ასოციაციის წევრი.