

ISSN 1512-0325

საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი
JOURNAL OF THE GEORGIAN CERAMISTS' ASSOCIATION



kerami ka **CERAMICS**

და მოწინავე
ტექნოლოგიები

**AND ADVANCED
TECHNOLOGIES**

სამეცნიერო-ტექნიკური და საარმოო ილუსტრაციები,
რეგისტრაციები, რეფერირებადი ჟურნალი

Vol. 20. 1(39).2018

სარედაქციო კოლეგია:

ი. ბერძენიშვილი, მ. ბიბილაშვილი, გ. გაფრინდაშვილი (მთ. რედ. მოადგილე), ლ. გვასალია, ა. გრიგოლიშვილი, ელ. ელიზბარაშვილი, დ. ერისთავი, ლ. თოფურია, რ. თურმანიძე, მ. კეკელიძე, ზ. კოვზირიძე (მთ. რედაქტორი), ნ. კუციავა, მ. მაისურაძე, რ. მამალაძე (მთ. რედ. მოად.), ნ. მარგიანი, ზ. მესტვირიშვილი, გ. მუმლაძე, მ. მუჯირი, ნ. მჭედლიშვილი, ნ. ნიჟარაძე (პასუხისმგებელი მდივანი), დ. ნოზაძე, მ. ოქროსაშვილი, ა. სარუხანიშვილი (მთ. რედ. მოად.), გ. ტაბატაძე, რ. ქაცარავა, ე. შაფაქიძე, ჯ. შენგელია, რ. ხუროძე, თ. ჭეიშვილი, დ. ჯინჭარაძე

EDITORIAL BOARD:

I. Berdzenishvili, M. Bibilashvili, T. Cheishvili, E. Elizbarashvili, D. Eristavi, G. Gaprindashvili (vice-editor-in-chief), A. Grigolishvili, L. Gvasalia, D. Jincharadze, R. Katsarava, M. Kekelidze, R. Khurodze, Z. Kovziridze (editor-in-chief), N. Kuciava, M. Maisuradze, R. Mamaladze (vice-editor-in-chief), N. Margiani, N. Mchedlishvili, Z. Mestvirishvili, G. Mumladze, M. Mujiri, N. Nizharadze (executive secretary), D. Nozadze, M. Okrosashvili, A. Sarukhanishvili (vice-editor-in-chief), E. Shapacidze, J. Shengelia, G. Tabatadze, L. Topuria, R. Turmanidze

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

И. Бердзенишвили, М. Бибилашвили, Г. Гаприндашвили (заместитель главного редактора), Л. Гвасалиа, А. Григолишвили, Д. Джинчарадзе, Р. Кацарава, М. Кекелидзе, З. Ковзиридзе (главный редактор), Н. Куциава, М. Маисурадзе, Р. Мамаладзе (заместитель главного редактора), Н. Маргиани, З. Мествиришвили, М. Муджири, Г. Мумладзе, Н. Мчедлишвили, Н. Нижарадзе (ответственный секретарь), Д. Нозадзе, М. Окросашвили, А. Саруханишвили (заместитель главного редактора), Г. Табатадзе, Л. Топуриа, Р. Турманидзе, Е. Шапакидзе, Дж. Шенгелия, Р. Хуродзе, Т. Чеишвили, Э. Элизбарашвили, Д. Эристави

ქურნალში „კერამიკა“

გამოქვეყნებული სტატიების
პირითადი თემატიკა

ყველა სახის მიწის,
კერამიკის, კერამიკული და
პოლიმერული კომპოზიტების,
ზევამატარი მასალების,
ჭიქურის და მიწანქარის,
სხვული ქვის,
მიწვარაღები ბაზის,
მჭიდრ მასალების, ცემენტის და სხვა
არაორგანული,
ქმელდნობადი,
ახალი და ტრადიციული მასალების
სწავლა
ჩატარებული სამეცნიერო კვლევები,
მათი მიღების ტექნიკა და
ტექნოლოგია, ნაწარმების და
ნაწარმების
პოლიმერული ბიომასალები
ბიომედიცინა
ორგანულ ნივთიერებათა
ტექნოლოგია
მეტალურგია
მასალათმცოდნეობა
კომპოზიციური მასალები და
ღანაჯარები
არაორგანული და ორგანული
სინთეზი
ნაწარმების და კომპოზიტების
მიღების ელემენტარული
ტექნოლოგიები
თერმოდინამიკა, კინეტიკა და
კატალიზი

ქურნალში აბრეშვი

შესაქმებულია განთავსდეს
სტატიები შემდეგ საკითხებზე:

- ✓ ახალი ტექნიკა, მონოპოლიზაცია
საწარმოთა და წარმოების ტექნიკური
გადაიარაღება.
- ✓ სანედლეულო ბაზის განვითარება,
ნედლეულის რაციონალური
გამოყენება, მათ შორის ადგილობრივი
წარმოების წარჩენის.
- ✓ რესურს- და ენერგოდამზოგველი
ტექნოლოგიები. გარემოს დაცვა.
- ✓ საწარმოთა სამეურნეო მოღვაწეობა
საბაზრო პირობებში, ეკონომიკა,
მარკეტინგი.
- ✓ საქარსო გამოცდილება.
- ✓ ინფორმაცია, რეკლამა.

გამოქვეყნების სფეროები

- ენერგეტიკა
- მშენებლობა
- სახალხო მომარების საგნები
- ქიმია და ქიმიური ტექნოლოგია
- მასალათმცოდნეობა
- მეტალურგია
- ელექტრონიკა და ელექტროტექნიკა
- მედიცინა
- ოპტიკა
- სხვა სფეროები
- გარემოს დაცვა

[http:// www.ceramics.gtu.ge](http://www.ceramics.gtu.ge)

შპს 543.42

ფარმაცევტული პრეპარატების ანალიზის შედეგების მათემატიკური და სტატისტიკური დამუშავება

ნ. ამაშუკელი. დ. ჯინჭარაძე. მ. მახვილაძე

ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 69

E-mail: natamashukeli@gmail.com

რეზიუმე: მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა ფარმაცევტული პრეპარატების ბინარული და ტერნარული ნარევების სპექტრული ანალიზი, კომპონენტების წინასწარი დაცილების გარეშე, ანალიზის შედეგების დამუშავება ქემომეტრიული ალგორითმების მეშვეობით, ანალიზის შედეგებზე ნარევის კომპონენტთა შუქთანთქმის შესაძლო ზეგავლენის შესწავლა.

დაიგეგმა კონკრეტული ამოცანების გადაჭრა:

- კომპონენტთა მრავლობითი წრფივი რეგრესიის მეთოდით, სასურველი სიზუსტით, განსაზღვრის შესაძლებლობის პროგნოზირება ბინარულ და ტერნარულ ნარევებში.

- ერთდროულად განსაზღვრი კომპონენტების რიცხვის, მათი რაოდენობრივი თანაფარდობისა და გარეშე კომპონენტების ზეგავლენის შესწავლა ანალიზის სიზუსტეზე.

- მრავალკომპონენტიანი ფარმაცევტული პრეპარატების სპექტრომეტრიული ექსპრეს-ანალიზის მეთოდის შემუშავება განხორციელებულ კვლევით სამუშაოებზე დაყრდნობით.

მეთოდი. რთული შედგენილობის პრეპარატების ანალიზისთვის შესაძლოა მულტიტალღური სპექტროფოტომეტრიის გამოყენება. ანალიზის მონაცემთა დამუშავების ალგორითმად შეირჩა მრავლობითი წრფივი რეგრესიის მეთოდი.

შედეგები. განხორციელებული კვლევების მსვლელობისას თეორიული გზით იყო დამტკიცებული და ექსპერიმენტების საფუძველზე დადასტურებული, რომ მრავლობითი წრფივი რეგრესიის მეთოდი შეიძლება იყოს გამოყენებული არა მხოლოდ კლასიკური, ადიტიური ნარევების ანალიზში, არამედ არაადიტიურობის შედეგად გამოწვეული ცდომილებების არსებობის შემთხვევებშიც კი.

მ.წ.რ-2 მეთოდით სტანდარტული ამონარჩევების ფორმირება საშუალებას იძლევა მწრ-1 თან შედარებით გაიზარდოს ანალიზის სიზუსტე, როგორც ადიტიურ ასევე არაადიტიურ ორ და სამ კომპონენტიან ნარევებში ცდომილებით არაუმეტეს 5%-ისა. ჩატარდეს ისეთი ანალიზების ანალიზი, სადაც საკვლევი ნივთიერებათა თანაფარდობა დიდია. შესაძლებელია ნარევთა ანალიზი, სპექტრული დიაპაზონების დამატებითი ოპტიმიზაციის გარეშე.

შესაძლებელია განისაზღვროს ანალიტი, გარეშე ნივთიერებების თანაობისას, რომლებიც იმავე დიაპაზონში შთანთქავენ. შემუშავდა ბინარული და ტერნარული ნარევების წინასწარი დაცილების გარეშე, ანალიზის მეთოდისა მულტიტალღური სპექტრული ანალიზის გამოყენებით, რომელიც ითვალისწინებს ანალიზის შედეგების მწრ. მეთოდით დამუშავებას. აღსანიშნავია, რომ ამ მეთოდის გამოყენებით კონკრეტული პრეპარატის სინჯის ანალიზი და მონაცემების დამუშავება დაიკავებს 1-10 წუთს, იმ პირობით, თუ ამ პრეპარატისათვის უკვე არსებობს ერთჯერადად ჩატარებული წინამოსამზადებელი სამუშაოების შედეგად მიღებული მონაცემთა ბაზა, რაც უმნიშვნელოვანესია ერთი ტიპის ნიმუშების მასიური ანალიზის დროს. პირველად არის გამოყვანილი ფორმულები ადიტიურობისაგან დასაშვები გადახრების საანგარიშოდ, აგრეთვე ფორმულები, რომლებიც აკავშირებს ადიტიურობისაგან გადახრების სიდიდებსა და ანალიზის აბსოლუტურ და ფარდობით ცდომილებებს. განისაზღვრა მოდელირებული ხსნარების აუცილებელი და საკმარისი რაოდენობა შთანთქმის რეგრესიული კოეფიციენტების დასადგენად. შედარდა კვლევის სიზუსტე და ხანგრძლივობა სხვადასხვა მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში, კერძოდ, შევადარეთ ფირორდტის მეთოდი, მრავლობითი წრფივი რეგრესიის მეთოდი და მრავლობითი წრფივი რეგრესია2 მეთოდი. მ.წ.რ2-ის გამოყენებამ, საშუალება მოგვცა მიგველო უფრო კარგი შედეგი არაადიტიური ნარევების კვლევისას, აგრეთვე ხსნარებისთვის, რომლებიც გარეშე ნაერთებს შეიცავენ, რადგან ხელის შემშლელი ფაქტორები იდენტურად იჩენს თავს სტანდარტულ ხსნარებზე.

დასკვნა. მ.წ.რ2-ის გამოყენებამ განსაზღვრი კომპონენტების ცდომილება იმდენად შეამცირა, რომ შემცველობათა თანაფარდობა 20:1 შემთხვევაშიც კი, კომპონენტების კონცენტრაციები შეიძლება განსაზღვროთ 5%-მდე ცდომილებით.

მოდელირებული ნარევების კომპონენტების შემცველობის ნომინალური შედგენილობიდან $\pm 30\%$ ვარიაციების შემთხვევაში მათი განსაზღვრისას ფარდობითი ცდომილება არ აღემატება 1-5%. ეს ადასტურებს რეალური ობიექტების ბინარული

და ტერნარული სისტემების, კერძოდ ფარმაცევტული პრეპარატების ანალიზის დროს, წინასწარი დაცილებების გარეშე, ოპტიმალურად შერჩეული ტას ანაკრებების გამოყენებითა და ექსპერიმენტის მონაცემთა მწრ. მეთოდის მეშვეობით დამუშავებისას უტყუარი შედეგების მიღების შესაძლებლობას.

საკვანძო სიტყვები: ორგანულ ნაერთთა ნარევი; კონცენტრაცია; დაცილებების გარეშე; მრავლობითი წრფივი რეგრესიის მეთოდი

1. შესავალი

სპექტრული ანალიზის მეთოდები ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში და ახასიათებს დიდი სიზუსტე და მგრძობიარობა. ორგანულ ნაერთთა სპექტროფოტომეტრიას დიდი ადგილი უჭირავს ორგანულ ნაერთთა მრავალკომპონენტური ნარევიების ანალიზში. ნარევთა ანალიზში მიზანშეწონილია მულტიტალური სპექტრომეტრიის გამოყენება.

ამ მეთოდების ნაკლი არის ანალიზის შედეგების საკმაოდ დიდი მასივების დამუშავების სირთულე, მაგრამ დღეისთვის ეს ნაკლი გადალახულია თანამედროვე გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენებით და მონაცემთა მასივების ქემომეტრიკული ალგორითმებით დამუშავებით. ამ შემთხვევაში, ანალიზის შედეგების მასივიდან სასარგებლო ინფორმაციის გამოსაყოფად, ხორციელდება საწყისი მონაცემებისა და მათ შორის არსებულ კორელაციათა წარმოსახვა ახალი ლატენტური ცვლადების მეშვეობით.

ამდგვარი დამუშავება შესაძლებლობას გვაძლევს მოვიპოვოთ სასარგებლო ინფორმაცია ვიზუალიზაციისა და ინტერპრეტაციისთვის უფრო მარტივი, კომპაქტური სახით. ამისთვის გამოიყენება მრავლობითი წრფივი რეგრესია, ამ მეთოდმა გამოიყენება ჰპოვა აგრეთვე ფარმაცევტული პრეპარატების ანალიზში, რაც გაცილებით ხელსაყრელია ერთი ტიპის ნიმუშების მასიური ანალიზის დროს. დაცილებების გარეშე რამდენიმე ანალიტის ერთდროული განსაზღვრის ექსპრეს მეთოდებით დაინტერესდებიან როგორც საქარხნო ლაბორატორიები, ასევე მაკონტროლებელი ორგანოები, რადგანაც იმპორტირებული პროდუქციის რაოდენობა მუდამ იზრდება და ხშირია შემთხვევები, როცა მათი გაცხადებული შედეგნილობა რეალურს არ ემთხვევა.

2. ძირითადი ნაწილი

საქართველოს ბაზარზე არსებულ ფარმაცეპებს, კონტროლის ინსტრუქციებში მოყვანილ მეთოდებს, რომლებიც რეალურად გამოიყენება

ანალიზისთვის, ხშირად ახასიათებთ დაბალი სიზუსტე და მგრძობიარობა, ხანგრძლივობა, მაღალი შრომატევადობა. ეს მეთოდები, ნარევის ანალიზის დროს, როგორც წესი, გულისხმობს ცალკეული კომპონენტების წინასწარ დაცილებას და შემდგომ, ერთი მეორეს შემდეგ, ქიმიური რეაქციების მეშვეობით განსაზღვრას. ამიტომ, სასურველია ისეთი მეთოდიკების დანერგვა, რომელთა მეშვეობითაც ანალიზი განხორციელდება ნარევის კომპონენტების წინასწარი დაცილებების გარეშე, რთული შედეგნილობის პრეპარატების ანალიზისთვის შესაძლოა მულტიტალური სპექტროფოტომეტრიის გამოყენება. ანალიზის მონაცემთა დამუშავების ალგორითმად შეირჩა მრავლობითი წრფივი რეგრესიის კლასიკური მეთოდი და მრავლობითი წრფივი რეგრესია-2.

მწრ-1 კლასიკური მეთოდი გულისხმობს შთანთქმის მოლური (ან კუთრი) კოეფიციენტების მნიშვნელობების წინასწარ დადგენას. თუ საკვლევი სისტემა ადიტიურია (ანუ სისტემაში შემავალი ცალკეული კომპონენტების ოპტიკურ სიმკვრივეთა ჯამი ნარევის ოპტიკური სიმკვრივის ტოლია), ხოლო კომპონენტების კონცენტრაციები – ერთი რიგის სიდიდეებია, ბინარული და ტერნარული ნარევიების ანალიზი ჩვეულებრივ იძლევა საკმაოდ ზუსტ შედეგებს. არაადიტიურობის შემთხვევაში უნდა შეფასდეს არაადიტიურობის ხარისხი. გამოსადეგია კვლევა ტალღის სიგრძეებზე, სადაც $\Delta D < 3 \cdot S$.

ΔD ადიტიურობიდან გადახრაა, S სტანდარტული ცდომილებაა.

მწრ-ის კლასიკურ ვარიანტში ზომავენ შთანთქმის კუთრ კოეფიციენტებს (ϵ) $m \cdot n$ ცალი ერთ-კომპონენტიანი სტანდარტული ხსნარისთვის (m - საანალიზო კომპონენტი რიცხვია, ხოლო n - ტალღათა ანალიზური სიგრძეების (ტას) რაოდენობა). ცხადია, რომ ეს ართულებს მეთოდის გამოყენებას, განსაკუთრებით როცა m და n რაოდენობა საკმაოდ დიდია.

მწრ2 მეთოდის შემთხვევაში კვლევაში ვიყენებთ მოდელირებულ ხსნარებს და მათი საშუალებით ვადგენთ რეგრესიული შთანთქმის კოეფიციენტებს.

მოდელირებულ ხსნარებში ოპტიმალურ კონცენტრაციებს ვადგენთ ფორმულით:

$$\sum K = \delta^2 \text{Im} (C C^T)^{-1}.$$

δ^2 ცდომილებათა ვექტორის ფარდობითი დისპერსიაა.

I $m \cdot m$ ცალი წვერისგან შემდგარი ერთეულოვანი მატრიცაა, რაც სტანდარტულ ხსნარებს გულისხმობს.

შთანთქმის რეგრესიულ კოეფიციენტებს ვადგენთ ფორმულით:

$$K = D C^T (C C^T)^{-1}.$$

D - ოპტიკური სიმკვრივის მატრიცაა,

K არის რეგრესიული კოეფიციენტების მატრიცა,

C - არის მოდელირებული ხსნარების კონცენტრაციების მატრიცა.

რეგრესიული კოეფიციენტების საშუალებით დგინდება საკვლევი ნივთიერებათა კონცენტრაციები უშუალოდ საკვლევი ხსნარში.

$$C = [[K]^T * [K]]^{-1} * [K]^T * D,$$

სადაც C დასადგენი კონცენტრაციების ერთეუ-

ლოვანი მატრიცაა, $C \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix}$

K - რეგრესიული კოეფიციენტების მატრიცა,

D - ოპტიკური სიმკვრივების ერთეულოვანი მატრიცაა.

3. დასკვნა

მრავლობითი წრფივი რეგრესიის გამოყენებით შესაძლებელია, წინასწარი დაცილების გარეშე, დადგინდეს ორგანულ ნაერთთა ნარევეში კომპონენტთა კონცენტრაციები არაუმეტეს 5%

ცდომილებით. აღნიშნული სიზუსტე მიიღწევა მაშინაც კი, როდესაც კომპონენტთა თანაფარდობა დიდია.

ლიტერატურა

1. Эсбенсен К. - Анализ многомерных данных. Избранные главы, 2005, 160стр.
2. Шараф М.А., Ильен Д.Л., Ковальски Б.Р. - Хемометрика, 1989, 270стр.
3. Brereton Richard G. - Chemometrics. Data Analysis for the Laboratory and Chemical Plant, 2003, 498p
4. Kristine M. Larsen. Stephen Hawking: A Biography. Greenwood Press, 2005.
5. Родионова О.Е., Померанцев А.Л. - Хемометрика в Аналитической Химии, 2003, 61стр.
6. S. Wold. Chemometrics; what do we mean with it, and what do we want from it? Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 30, 1995.
7. J. Friedman. Boosting and bagging. Lecture at the Gordon Conference on Statistics in Chemistry and Chemical Engineering, Williams College, Williamstown, MA, 2001.

UDC 543.42

MATHEMATICAL AND STATISTICAL PROCESSING OF PHARMACEUTICAL DRUG ANALYSIS RESULTS

N. Amashukeli, D. Jincharadze, M. Makhviladze

Resume: Goal. The aim of the work was spectral analysis of binary and ternary mixtures of pharmaceutical preparations, without preliminary removal of components, processing the results of analysis through chemometric algorithms, study the possible effect of light absorption of mixture components on the results of analysis.

Solving of specific tasks was planned:

- By the method of multiple linear regression of components, forecasting the possibility of determination in binary and ternary mixtures, with desired precision.

- Study the number of simultaneously defined components, their quantitative ratio and the effect of extra components on the accuracy of the analysis.

- Development of spectrometric express analysis techniques of multi-component pharmaceutical medicines based on the carried out research works.

Method. For the analysis of complex composition medicines it is possible to use multi-wave spectrophotometry. A method of multiple linear regression was selected as algorithm of data processing analysis.

Results. During the carried out research it was theoretically proven and confirmed on the basis of experiments, that the method of multiple linear regression can be used not only in the analysis of classical, additive mixtures, but also in case of errors caused by nonadditivity.

The formation of standard selectors by method of multiple linear regression 2 allows to increase the accuracy of analysis compared with the method of multiple linear regression 1, in the additive as well as in the nonadditive two and three component mixtures with not exceeding 5 % of the margin of error. To carry out the analysis of such

analytes, where correlation of research material is large. The analysis of mixture is possible without additional optimization of spectral ranges.

It is possible to define analytes, in the absence of extra substances that absorb in the same range. The method of analysis using the multi-wave spectral analysis without preliminary removal of binary and ternary mixtures has been developed, which provides processing the results of analysis by multi linear regression method. It is noteworthy that by using this method the sample analysis of specific medicine and processing the data will take 1-10 minutes, provided that this product already has the database of a single preparatory works, which is crucial for the massive analysis of one type of sample. Formulas are calculated for the first time, also the formulas that combine the dimensions of deviation from additivity and absolute and relative margins of the errors. The required and sufficient number of modeled solutions has been defined in order to determine regressive coefficient of absorption. The accuracy and duration of the research have been compared, in case of using different methods, in particular we compared Firordt method, multi linear regression method and multi linear regression 2 method. Using of multi linear regression 2, allowed us the get better result in research of nonadditive mixtures, also for solutions, that contain extra compounds, because hindering factors identically occur on standard solutions.

Conclusion. Using multi linear regression method 2, decreased the margin of the error of the defined components, so that even when the ration of the contents is 20:1, the concentrations of components can be defined up to 5% of the error. In case of $\pm 30\%$ variation from the nominal composition of components of the model mixtures, the relative margins does not exceed 1-5% during their definition. This confirms getting accurate results by means of using binary and ternary systems of real objects, in particular during the analysis of pharmaceutical medicines, without preliminary removal, using the optimally selected wal remains and multi linear regression method of experiment data.

Key words: A mixture of organic compounds; concentration; without removal; multi linear regression method; wal.

ლ. გვასალია¹, თ. ჩლარგიძე²

¹ ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 69,

² გ. ნათაძის სახელობის სანიტარიის, ჰიგიენის და სამედიცინო ეკოლოგიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი, საქართველო, 0102, თბილისი, დ. უზნაძის 78

E-mail: lerigv@hotmail.com, tamta_chlargidze@yahoo.com

რეზიუმე: მიზანი. ნაგავსაყრელიდან ჩამდინარე წყლის გაწმენდა მძიმე მეტალებისგან. სორბენტად გამოყენებული იყო სტანდარტული სილიკატული და ბუნებრივი ცეოლითი (კლინოპტილოლიტი).

მეთოდი. წყალში მძიმე მეტალების შემცველობის რაოდენობრივი განსაზღვრა, ხორციელდებოდა ატომურ-აბსორბციული სპექტროფოტომეტრზე.

შედეგები. მაღალ ტემპერატურაზე გამომწვარი ცეოლითის სორბენტად გამოყენების შემდეგ წყალში მეტალების რაოდენობა შემცირდა 50%-ით.

დასკვნა. ექსპერიმენტების შედეგებიდან ჩანს, რომ მაღალ ტემპერატურაზე გამომწვარი ცეოლითის გამოყენებისას, შესაძლებელია მიღწეული იქნას გაუფხვრელობის მაღალი ხარისხი.

საკვანძო სიტყვები: სორბენტი; სილიკატული; ცეოლითი (კლინოპტილოლიტი); ატომურ-აბსორბციული სპექტროფოტომეტრი.

1. შესავალი

გარემოს დაბინძურება, არის ის რეალური ფაქტორი, რომელიც მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს ადამიანის ჯამრთელობაზე. საქართველოში, ისევე როგორც მსოფლიოს მრავალ რეგიონში, მეტად მწვავედ დგას ეკოლოგიური პრობლემები, მათ შორის აღსანიშნავია ატმოსფეროსა და წყლის რესურსების დაბინძურება, სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით [1].

საყოფაცხოვრებო ნარჩენების ნაგავსაყრელებზე, ძირითად დამაბინძურებელ წყაროს წარმოადგენს წყალი, რომელიც პოლიგონის შიგნით წარმოიქმნება და წარმოადგენს რთულ, მაღალ მინერალიზებულ ხსნარებს სხვადასხვა დამაბინძურებლებით, რომელთა შორის განსაკუთრებით გამოსაყოფია მძიმე მეტალები. ისინი გარემოდან ხვდებიან ნიადაგში, ზედაპირულ და მიწისქვეშა წყლებში და მნიშვნელოვნად აბინძურებენ მას [2-3].

ნაგავსაყრელებზე წყალი ხვდება ატმოსფერული ნალექების სახით. მათში აკუმულირდება

მთელი სპექტრი იმ მავნე ნივთიერებებისა, რომლებსაც შეიცავს დაუხარისხებელი ნარჩენები. ნაგავსაყრელებიდან დაბინძურებული წყალი ჩაედინება მდინარეებში და ახდენს, როგორც მათ, ასევე მთელი გარემოს დაბინძურებას.

იმის გამო, რომ ნაგავსაყრელზე ჩამდინარე წყლების გაუფხვრელებას ვერ ახდენენ, მძიმე მეტალების დიდი ნაწილი ხვდება გარემოში. მცენარეების, ცხოველების და ადამიანების ორგანიზმში ისინი იწვევენ მკვეთრად გამოხატულ მუტაგენურ, ემბრიოტოქსიკურ და კანცეროგენულ ეფექტებს [4].

ნაგავსაყრელიდან ჩამდინარე წყალში მძიმე მეტალები რაოდენობა ნგ/სმ³ მეტი სიმკვრივით 40-ს აღემატება. განსაკუთრებით პრიორიტეტულ დამაბინძურებლებად მიიჩნევა ვერცხლისწყალი, ტყვია, კადმიუმი, დარიშხანი, სპილენძი, ვანადიუმი, კალა, თუთია, სტრონციუმი, მolibდენი, კობალტი, ნიკელი და სხვა. მძიმე მეტალებით გარემოს დაბინძურების საშიშროება განპირობებულია იმით, რომ ისინი ორგანული დამაბინძურებლებისგან განსხვავებით არ იშლებიან, არამედ გადადიან ერთი ფორმიდან მეორეში, კერძოდ, შედიან მარილების, ოქსიდების, მეტალორგანული ნაერთების, ხელატების და სხვათა შემადგენლობაში.

ჩამდინარე წყლების მძიმე მეტალების იონებისგან არასრული გაწმენდისას, ისინი ხვდებიან რა წყალსატევებში და მიწისქვეშა ჰორიზონტებში, უარყოფითად მოქმედებენ არსებულ მიკროორგანიზმებსა და მცენარეებზე, აკუმულირდებიან მათში.

ისეთი ელემენტები, როგორცაა ვერცხლისწყალი და კადმიუმი, ადამიანებისთვის მნიშვნელოვან საფრთხეს წარმოადგენს დაბალი კონცენტრაციების დროსაც კი. ქრომი, ტყვია, სპილენძი და თუთია ტოქსიკურია მაგრამ ნაკლებად საშიშია, ვიდრე ვერცხლისწყალი და კადმიუმი.

2. ძირითადი ნაწილი

ქ. თბილისის ზოგიერთ ნაგავსაყრელიდან ჩამდინარე წყლის მონიტორინგი და გაწმენდა უკვე რამდენიმე წელია ხორციელდება. კვლევებმა აჩვენა, რომ წყალი იწმინდება, მაგრამ გასუფთავება მიმდინარეობს უკუოსმოსის აპარატით, რომელშიც გამოიყენება საკმაოდ ძვირად-

ღირებული ფილტრები, შესაბამისად, ეს ყველაფერი გარკვეულ ხარჯებთან არის დაკავშირებული. მიუხედავად ამისა, დამაბინძურებლებს ხშირად გამოყავს გამწმენდი მოწყობილობა მწყობრიდან, რის გამოც ყოველთვის ვერ ხდება ნაგავსაყრელიდან ჩამდინარე წყლის გაუვნებლობა. ამიტომ ეს პროცესები შემდგომ შესწავლას და დახვეწას მოითხოვს.

ჩვენ მიერ შესწავლილი იყო ნაგავსაყრელიდან ჩამდინარე წყლების გაწმენდა მძიმე მეტალებისგან სორბციული მეთოდით. გამოყენებული იყო სილიკაგელი და ბუნებრივი სორბენტი – ცეოლითი (კლინოპტილოლიტი). ექსპერიმენტები ტარდებოდა ლაბორატორიულ პირობებში. მინის მილში (დიამეტრით 5სმ), თავსდება სხვადასხვა ფრაქციის სორბენტი, გარკვე-

ული მოცულობით (5 სმ სიმაღლეზე), გასაწმენდი წყალი მიეწოდებოდა ზემოდან. გატარებული წყლის რაოდენობის მიხედვით ისაზღვრებოდა, წყლის მოცულობითი სიჩქარე (საათ -1) და კონტაქტირების დრო (წმ). წყალში მძიმე მეტალების შემცველობის რაოდენობრივი განსაზღვრა, ხორციელდებოდა ატომურ-აბსორბციულ სპექტრომეტრზე. ექსპერიმენტული პარამეტრების ოპტიმიზაციას ვახდენდით იმის მიხედვით, თუ რომელი ელემენტის რაოდენობრივი განსაზღვრა ხდებოდა. კვლევის ობიექტი იყო, როგორც უშუალოდ ნაგავსაყრელიდან ჩამდინარე, ასევე მოდელური ხსნარები. გამწმენდად სილიკაგელის გამოყენების შემთხვევაში მიღებული შედეგები მოცემულია 1 ცხრილში.

ცხრილი 1

სორბენტის გაწმენდის ეფექტიანობა

მძიმე მეტალები	საწყისი კონცენტრაცია (მგ/ლ)	საბოლოო კონცენტრაცია (მგ/ლ)	გაწმენდის ხარისხი (%)
კონტაქტირების დრო 600 წმ			
(ტყვია) Pb	0,0177	0,0075	58
(სპილენძი) Cu	0,179	0,119	34
(ქრომი) Cr	0,4316	0,2512	42
(მანგანუმი) Mn	0,897	0,7199	20
კონტაქტირების დრო 1200 წმ			
(ტყვია) Pb	0,0177	0,0143	19
(სპილენძი) Cu	0,179	0,106	41
(ქრომი)Cr	0,4316	0,283	35
(მანგანუმი) Mn	0,897	0,7802	13
კონტაქტირების დრო 3600 წმ			
(ტყვია) Pb	0,0177	0	100
(სპილენძი) Cu	0,179	0,169	6
(ქრომი) Cr	0,4316	0,295	32
(მანგანუმი) Mn	0,897	0,7905	12

Pb-ის შემთხვევაში, საუკეთესო შედეგი მიღწეულ იქნა 3600 წმ-ის კონტაქტირების დროს, ამ შემთხვევაში თითქმის სრულიად მოხდა წყლის გაუვნებლობა Pb-ის იონებისგან. Mn-ის და Cu-ის შემთხვევაში კონტაქტირების დიდი დროის შედეგად, მოხდა სორბენტის გაჯერება, რის

გამოც მიღებული შედეგი, არადაამაკმაყოფილებელი აღმოჩნდა. რაც შეეხება Cr-ს, სრული გაუვნებლობა ვერ მოხერხდა, მაგრამ მიღებულ იქნა გაწმენდის 50%-იანი შედეგი.

როგორც კვლევებმა გვიჩვენა, მოცემულ პირობებში მიღებული იქნა დამაკმაყოფილებელი

შედგები, მაგრამ სასურველია მათი გაუმჯობესება, რისთვისაც საჭიროა სხვადასხვა სორბენტების და პარამეტრების შერჩევა. ამ მიზნით ჩატარებული იქნა კვლევები. სორბენტად გამოყენებული იყო ბუნებრივი ცეოლითი (კლინოფტილოლიტი).

ცეოლითები ბუნებაში წარმოიქმნება სხვადასხვანაირი გეოქიმიური პროცესების განვითარებისას, რომელიც ძირითადად ტემპერატურისა და წნევის დაბალი პარამეტრებით ხასიათდება. ცეოლითები წარმოადგენენ კრისტალურ წყლიან ალუმინსილიკატებს. ეს არის რთული შენაერთი როგორც ქიმიური, ასევე სტრუქტურული თვალსაზრისით. ყველა ცეოლითის მახასიათებელ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს წყალი და ამიტომაც სხვა ალუმინსილიკატებისაგან განსხვავებით ისინი წარმოადგენენ ჰიდრატირებულ

ალუმინსილიკატებს. მინერალოგიაში “ცეოლითურს” უწოდებენ იმ წყალს, რომელიც შეიძლება მოვაშოროთ კრისტალს მაღალი ტემპერატურისა და წნევის ზემოქმედებით, ცეოლითის სტრუქტურის დაშლის გარეშე და რომელიც ასევე შეიძლება შთაინთქას ცეოლითის მიერ საწყისი პირობების აღდგენით.

სამუშაოსათვის გამოყენებული იყო ცეოლითის გრანულების ორი ფრაქცია (0,25 მმ, 1,5 მმ) თითოეული მათგანი გამომწვარი იყო 120°C-სა და გამომწვარი: 300°C, 600°C, 700°C-ზე. საბოლოოდ მივიღეთ 6 სხვადასხვა საფილტრი მასალა.

ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 2.

ცხრილი 2

შემუშავებული სორბენტის გაწმენდის ხარისხი

მიმე მეტალები	გაწმენდამდე კონცენტრაცია (მგ/ლ)	გაწმენდის შემდეგ კონცენტრაცია(მგ/ლ)	გაწმენდის ხარისხი (%)
ცეოლითის ფრაქცია 0,25მმ, გამომწვარი 300° C-ზე			
(კადმიუმი) Cd	0,08	0,08	0
ცეოლითის ფრაქცია 1,5მმ, გამომწვარი 300° C-ზე			
(კადმიუმი) Cd	0,08	0,081	0
ცეოლითის ფრაქცია 0,25მმ, გამომწვარი 600° C-ზე			
(კადმიუმი) Cd	0,08	0,0418	48
ცეოლითის ფრაქცია 1,5მმ გამომწვარი 600° C-ზე			
(კადმიუმი) Cd	0,08	0,0438	45
ცეოლითის ფრაქცია ზომით 0,25მმ გამომწვარი 700° C-ზე			
(ტყვია) Pb	0.0262	0.0183	30.15
(სპილენძი) Cu	0.1055	0.0607	42.46
(მანგანუმი) Mn	0.1247	0.029	76.74
ცეოლითის ფრაქცია ზომით 1,5მმ გამომწვარი 700° C-ზე			
(ტყვია) Pb	0.0262	0.0214	18.32
(სპილენძი) Cu	0.1055	0.091	13.74
(მანგანუმი) Mn	0.1247	0.1112	10.83

3. დასკვნა

მაღალ ტემპერატურაზე გამომწვარი ცეოლითის სორბენტად გამოყენების შემდეგ წყალში Cd და Cu რაოდენობა შემცირდა 50%-ით.

Mn-ის შემთხვევაში მივიღეთ უფრო კარგი შედეგი. Mn-ის იონების რაოდენობა შემცირდა $\approx 76\%$ -ით.

მძიმე მეტალების სრული მოცილებისთვის, საჭიროა ჩატარდეს შემდგომი კვლევები: შევისწავლოთ სხვადასხვა ტემპერატურაზე გამომწვარი ცეოლითის გამოყენება სორბენტად, კონტაქტირების დრო და ცეოლითის ფრაქციების ზომები. ეს დაგვეხმარება ოპტიმალური პირობების შერჩევაში.

ლიტერატურა

1. ალექსანდრე ბერიძე, ირინა ბრეგვაძე. უმძიმესი ეკოლოგიური პრობლემები. საავტორო სკეტი.
2. Качурин Н.М., Ефимов В.И., Воробьев С.А. Методика прогнозирования экологических последствий подземной добычи угля в России. Горный журнал, 2014, №9, С. 138-142.
3. Качурин Н.М., Воробьев С.А., Факторович В.В. Теоретические положения и модели воздействия на окружающую среду подземной добычи полезных ископаемых. Изв. ТулГУ. Науки о Земле, 2013, Вып. 3, С. 126 – 134.
4. Ершов Ю.А., Плетенева Ю.А. Механизмы токсического действия неорганических соединений. М.: Медицина, 1989, 272 с.

UDC 541.183

RESEARCH OF TREATMENT OF LANDFILL SEWAGE WATER BY SORPTION METHOD

L. Gvasalia, T. Chlargidze

Resume: *Goal.* main purpose of the research. Cleanup of landfill sewage water from heavy metals, as sorbent was used silica gel and natural zeolite (Clinoptilolite).

Method. Atomic Absorption Spectrophotometer was used for quantitative determination of heavy metals in water.

Result. Heavy Metals concentration in water decreased of 50% with using as sorbent zeolite which was burnt out in height temperature.

Conclusion. The researches shows that height quality of harmlessness achieved with using zeolite which was burnt out in height temperature.

Key words: Sorbent; Silica gel; Zeolite (Clinoptilolite); Atomic Absorption Spectrophotometer.

რეზიუმე: მიზანი. კერამიკულ მასალათა და კომპოზიტების ექსპლუატაციის პირობებში ხშირ შემთხვევებში ვითარდება არა მარტო მაღალი მექანიკური დაძაბულობები, არამედ თერმული დატვირთვები და აირთერმული დარტყმები. მაგალითად ელექტროგადამცემ ხაზებზე, წყლისა და აირტურბინების ამუშავებისა და მუშაობის პროცესში დიდი დატვირთვები მოდის ტურბინების დისკებზე და ფრთებზე. აღნიშნული დატვირთვები გადაიზრდება დაშლის დაძაბულობის ენერჯიაში, როდესაც ნაკეთობათა სიმტკიცე ნაკლებია დატვირთვებზე. ყველა მასალაში არის მიკრობზარები და შესაძლებელია არსებობდეს, ტექნოლოგიური დარღვევების შედეგად წარმოშობილი ბზარები, რომელთა წვეროებზე კრიტიკული დატვირთვების დროს ვითარდება მაქსიმალური დაძაბულობები, ვითარდება მაღალი ენერჯიები და ხდება ბზარის წვეროდან მოწყვეტა, რაც იწვევს ნაკეთობის დაშლას. გამომდინარე ასეთი ექსტრემალური სამუშაო პირობებიდან საინტერესოა იმ ენერჯიების გათვლა, რომელთა გამოც ხდება მასალათა კატასტროფა.

მეთოდი. მასალათა ინდუსტრიაში მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე, შესწავლილ იქნა მათი საექსპლუატაციო თვისებები თანამედროვე კვლევის მეთოდების გამოყენებით. კერამიკულ მასალათა მიკრო- და მაკროსტრუქტურული, მიკრო- და მაკრომექანიკური მახასიათებლების შესწავლისა და განზოგადების საფუძველზე შერჩეული იქნა ფორმულის პარამეტრები.

შედეგები. ფორმულა მოიცავს ნაკეთობაზე მიყენებული მექანიკური და თერმული დატვირთვების შედეგად გამოწვეული ენერჯიების განვითარებისა და მათი მასალაში არსებულ ბზარებზე ზემოქმედების მექანიზმების ანალიზს. არსებულ ბზარებზე ამ დატვირთვების შედეგად წარმოქმნილი ენერჯიების და თვით ნაკეთობაში განვითარებული ენერჯიების გავრცელების მექანიზმების ამოქმედების შედეგებს, რასაც მასალა მიჰყავს კატასტროფამდე.

დასკვნა. ბზარის განვითარების მექანიზმის საფუძველზე დადგენილია უნივერსალური კავშირი ნაკეთობის მთლიან დაშლის დაძაბულობის ენერჯიას, ნაკეთობის მასას და ბზარის განვითარების სიჩქარეს შორის კრიტიკული დაძაბულობის პირობებში. შემოთავაზებულია დაშლის დაძაბულობის ენერჯიის ფორმულა.

საკვანძო სიტყვები: დაშლის დაძაბულობის ენერჯია; ბზარის განვითარების სიჩქარე; მექანიკური დატვირთვა; თერმული დატვირთვა; კრიტიკული დაძაბულობა.

1. შესავალი

მასალათა სიმტკიცეში მოიაზრება გარეგანი და შინაგანი დაძაბულობების მიმართ მაქსიმალური გამძლეობა. კრისტალურ მესერში ატომთა შორის მანძილები და ატომთა შორის ურთიერთქმედების ძალები მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ მასალათა თეორიულ სიმტკიცეს. ალუმიინის ოქსიდის დაშლის სიმტკიცე ღუნვაზე ატომთა შორის კავშირის სიძლიერის მიხედვით, დაახლოებით 50 000 მპა-ის ტოლია, მაშინ, როცა სიმტკიცის უმეტესი ტექნიკური ვარიანტები გვიჩვენებს 300-350 მპა-ს, ხოლო განსაკუთრებულად მაღალი სიმტკიცის მასალები 1000 მპა-ს [1]. ასეთი დიდი დისკრეპანცი თეორიულსა და პრაქტიკულს შორის გამოწვეულია იმით, რომ კერამიკული მასალები განსაკუთრებულ მგრძობელობას იჩენენ ინჰომოგენურობებისა და დეფექტების მიმართ სტრუქტურაში, როგორებიცაა მაგალითად: ჩანართები, ფორები, მაკრო- და მიკრობზარები. უნდა აღინიშნოს, რომ მაღალი ტექნოლოგიების დროსაც კი ასეთი სახის სტრუქტურული დარღვევების თავიდან აცილება ურთულეს ამოცანას წარმოადგენს. მასალათა მორფოლოგიური კვლევისას მნიშვნელოვანი როლი ეკუთვნის კრისტალურ ფაზას, რომელიც სტრუქტურის ყველაზე გამაძლიერებელ მდგენელს წარმოადგენს. კრისტალური ფაზის გადანაწილება მატრიცაში და მისი ზომები, მნიშვნელოვნად მოქმედებს მექანიკურ თვისებებზე. 5 მკმ-ზე ნაკლები წვრილდისპერსიული ზომები და მათი თანაბარი განაწილება, ზრდის კერამიკის ნებისმიერი სახეობის მექანიკას, ხოლო მათი დიდი ზომები, როგორიცაა 20-40 მკმ და მეტი და არათანაბარი განაწილება მასალის მასაში, ამცირებს არა მარტო მექანიკურ, არამედ სხვა საექსპლუატაციო თვისებებსაც, როგორებიცაა მედეგობა თერმული და აირთერმული დარტყმების მიმართ, ელექტრო- და მაგნიტური თვისებები, ხანმედგობა და ექსპლუატაცია რთული დაძაბულობების პირობებში, მაგ. ელექტროგადამცემ ხაზებზე, დაშლის დაძაბულობის ზღვრული მნიშვნელობების შემცირება და ა.შ. [2-4]. მინისებური ფაზა კრის-

ტალურ ფაზასთან შედარებით წარმოადგენს მატრიცის სუსტ მდგენელს, მაგრამ თუ მასში თანაბრად არის გადანაწილებული კრისტალები და ფორები, მაშინ ის გამოდის, როგორც შემთხვევითი და შემამჭიდებელი ამ ფაზების სათვის. რა თქმა უნდა მცირე ოდენობის მინისებური ფაზა ამ შემთხვევაში შედარებით დადებით როლს ითამაშებს, მაგ. მყარ ფაზათა შეცხობის დროს, როდესაც მისი მოცულობითი წილი 12 %-ზე ნაკლებია.

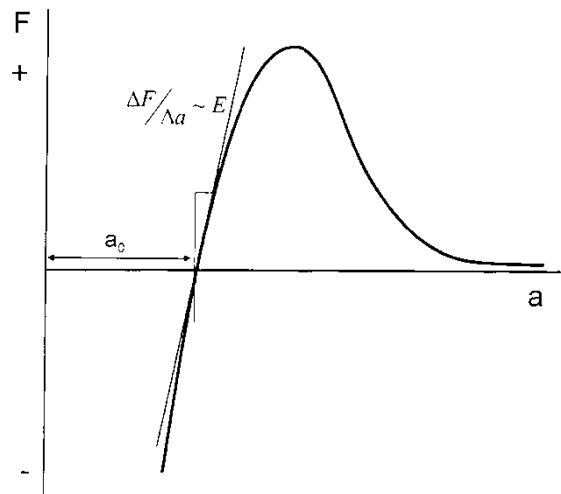
ფორიანი ფაზა ასევე კომპლექსურ ზეგავლენას ახდენს კერამიკის სხვადასხვა თვისებებზე. დიდი მნიშვნელობა აქვს ფორების ზომას, მათ მოცულობით წილს, ფორმას, არის ეს დახურული და მრგვალი ფორმის, გამჭოლი თუ ნახევრად გამჭოლი.

რაც უფრო წვრილდისპერსიულია ფორები მატრიცაში და თანაბრად არის განაწილებული, მასალა მით ძლიერია, ხანმედეგი და მდგრადია თერმული, აირთერმული დარტყმის, მექანიკური დაძაბულობების და დარტყმების მიმართ. ფორები მნიშვნელოვნად მოქმედებს ნაკეთობათა კომპლექსურ თვისებებზე, მათი მომრგვალებული ფორმა, მცირე, 5 მკმ-ზე ნაკლები ზომები და თანაბარი განაწილება, ზრდის კერამიკის მედეგობას გარე დატვირთვების მიმართ. როდესაც ღია ფორიანობა წყალშთანთქმის მიხედვით ნულის ტოლია, მაშინ დახურული ფორების მოცულობითი წილი მატრიცაში ძირითადად მერყეობს 0.5-9 მოც. %-ს შორის. რაც შეეხება თვალის უხილავ მიკრობზარებს, გრიფიტის მიხედვით ისინი ნებისმიერ თერმულად დამუშავებულ მასალაშია [5, 6]. მექანიკური დატვირთვის პირობებში, მაგ. წყლის ტურბინების ან აირტურბინების, მფრინავ აპარატებში სასტარტო ამუშავების პროცესში, დაძაბულობების ინტენსივობები მაქსიმალურია. ამ დროს თავს იჩენს დაძაბულობების ინტენსივობები ბზარის წვეროსთან და კრიტიკულ შემთხვევაში ხდება ბზარის, განსაკუთრებით დიდი ზომის ბზარების განვითარება მოწყვეტის გზით [7]. ბზარი ამ დროს შეიძლება განვითარდეს 2000 მ/წმ სიჩქარით და გამოიწვიოს მყისიერი კატასტროფა. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს დაძაბულობის ინტენსივობის კრიტიკული კოეფიციენტი-Kic, რომელიც დაკავშირებულია დრეკადი ენერჯის განთავისუფლების კრიტიკულ ინტენსივობასთან ან დაშლის სიბლანტესთან Gic. მოცულობითი დაძაბულობების მდგომარეობაში $K^2_{ic} = E G_{ic} (1 - \mu^2)$, სადაც μ -პუასონის კოეფიციენტი. დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტი (დიკ) არის სიდიდე, რომელიც განსაზღვრავს ნორმალურ დაძაბულობას σ_y

წერტილში, რომელიც მდებარეობს მცირე დაცილებით r ბზარის წვეროდან და გამოხატავს ადგილობრივ დაძაბულობებს ბზართან ახლოს. სხეული ბზართ, დატვირთვის დროს აღწევს წონასწორობის ზღვრულ მდგომარეობას, რომლის დროსაც ბზარი ან უკვე იწყებს მოძრაობას, ან შეუძლია ადგილიდან დაიძრას, მოცემული დატვირთვის მცირე მატების დროს. ამ შემთხვევაში დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტი იქნება ზღვრული-კრიტიკული ამ მასალისათვის მოცემული დატვირთვის პირობებში. დრეკად სხეულში ბზართ, თუ დრეკი პერპენდიკულარულია ბზარის მიმართულებისა, დიკ-ი ასიმპტოტურ მიახლოებაში განისაზღვრება $K = \lim \sqrt{2\pi} \sigma_y$ გამოსახულებით, სადაც Kic არის სიდიდე, რომელიც ახასიათებს მასალის ბლანტ დაშლას [7]. მასალათა თვისებები, განსაკუთრებით მექანიკური დატვირთვების დროს მნიშვნელოვნად განისაზღვრება ატომთა კავშირების სახეობების და მათი მყარ სხეულში ურთიერთგანლაგების მიხედვით [8].

2. ძირითადი ნაწილი

ატომთა შორის ურთიერთქმედების ძალთა გავლენით წარმოიქმნება კრისტალური სტრუქტურები ატომთა შორის მკაცრად მოწყობილი დაცილებებით. წონასწორულ მდგომარეობაში ორ მეზობელ ატომს შორის განზიდვის და მიზიდულობის ძალების ჯამი ნულის ტოლია (სურ. 1).

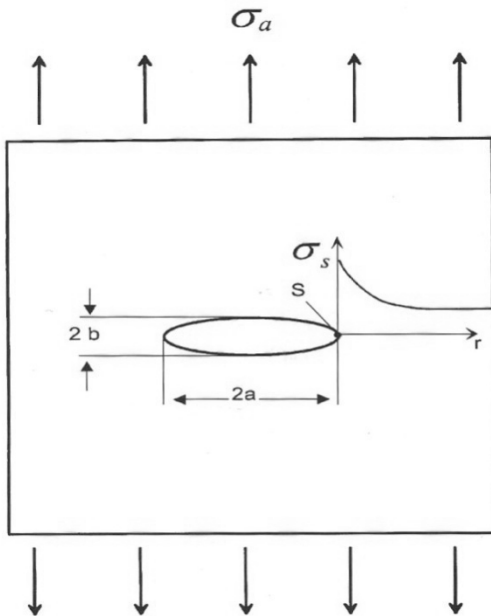


სურ. 1. მყარ სხეულში a მანძილზე დამოკიდებულებით ორ მეზობელ ატომს შორის არსებული რეზულტირებული F ძალა (მიზიდულობა +, განზიდვა -, წონასწორული დაცილება a_0)

ატომების გადაადგილება წონასწორული მდგომარეობიდან შესაძლებელია მხოლოდ გარე ძალების ზემოქმედების შედეგად. სურ. 1, სქემატურად გვიჩვენებს ორ ატომს შორის მოქმედი F ძალების ჯამს, როგორც მათი ერთმანეთისაგან a დაცილების ფუნქციას. წონასწორულ მდგომარეობაში ატომები მიიღებენ მათთვის მახასიათებელ a_0 ურთიერთდაცილებას. Δa მანძილით გადაადგილების შემთხვევაში, აღიძვრება მიზიდულობის - შესაბამისად განზიდულობის ძალების უკუქმედების გაგვლენა. იმ შემთხვევაში, როცა გადაადგილება მცირეა, მაშინ დამოკიდებულება ამ უკუქმედების ძალებისა და ატომთა შორის მანძილისა ხაზობრივია. დატვირთვის მოხსნის შემდეგ წონასწორული მდგომარეობა აღდგება, დეფორმაცია რევერსიბელურია, ანუ აღდგენადია, რელაქსირებადია. აქედან გამომდინარე მასალათა უმეტესი სახეობები გარკვეულ ზღვრებამდე ხაზობრივად ელასტიკურებია [9].

თვალსაჩინო ფენომენია დაძაბულობის გადამეტების განხილვისათვის ფორას ელიფსური ფორმა ფირფიტაში (სურ. 2) და დაძაბულობების გადანაწილების განხილვა ფორას გარშემო. ელიფსის განზომილებები განისაზღვრება b და a მთავარი ღერძებით. სიმრუდის რადიუსი ელიფსის კიდურა S პუნქტში აღწევს $\rho = b^2/a$. ამ ადგილას დაძაბულობა σ_s მოდებული ძალის მიმართულებით σ_a აღწევს მაქსიმუმს:

$$\sigma_s / \sigma_a = 1 + 2(a/\rho)^{1/2}. \quad 1$$



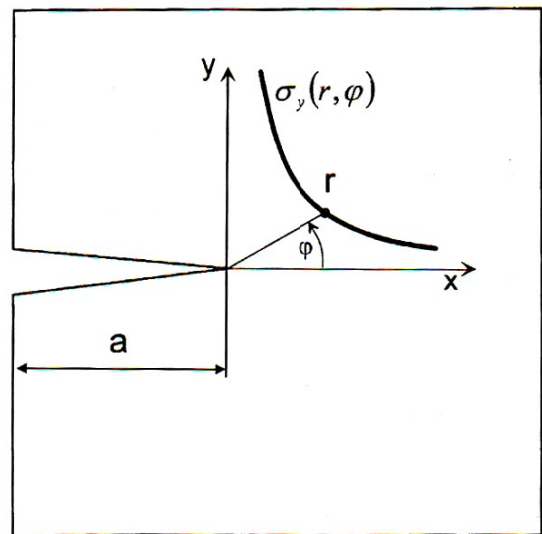
სურ. 2. მოდელურ ფირფიტაში ელიფსური ფორას გარშემო დაძაბულობების σ_s გადამეტება

აღნიშნული ტოლობის მიხედვით, წრიული ფორას შემთხვევაში დაძაბულობის გადამეტებისას მივიღებთ ფაქტორს 3. დაძაბულობები მით მეტი იქნება რაც უფრო მკვეთრია სიმრუდის რადიუსი ელიფსის კიდეში. ზღვრული დაძაბულობის შემთხვევაში ელიფსში წარმოიქმნება ბზარი სიმრუდის რადიუსით $\rho=0$. დაძაბულობები ამ შემთხვევაში იქნება უსაზღვროდ დიდი. ასეთი მათემატიკური შემთხვევა რეალობაში შეუძლებელია მოხდეს, ვინაიდან მინიმალური სიმრუდის რადიუსი, სულ მცირე ატომთა შორის მანძილების ტოლია. სინამდვილეში უშუალოდ ბზარის წვეროსთან ექსტრემალურად მაღალი დაძაბულობები წარმოიშობა, რაც თეორიულ სიმტკიცესთან მიახლოებულია [10].

დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორი

ბზარების შემთხვევაში სიმრუდის რადიუსი ρ ბზარის წვეროსთან ძალიან მცირეა და ამიტომ სიდიდე $(a/\rho)^{1/2}$ საკმაოდ მაღალი იქნება. ისე, რომ 1 ტოლობაში შესაქრები 1 შეიძლება უმნიშვნელო გახდეს. ამგვარად, ბზარის წვერზე წნევის გადამეტება დაახლოებით პროპორციულია ბზარის შემცველ მასალაზე მიყენებული გარე წნევისა σ_a (დაწნევის შორი ველი) და აგრეთვე ფესვისა ბზარის სიგრძიდან a. ამ ძირითად კანონს მივყავართ დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტის K_i განსაზღვრებამდე, როგორც დაძაბულობის საზომი ბზარის წვეროს უბანზე.

$$K_i = \sigma \cdot \sqrt{a \cdot Y}. \quad 2$$



სურ. 3. დაძაბულობის განვითარება ბზარის წვეროს უბანში

გეომეტრიული ფაქტორით Y გათვალისწინებულია ბზარის შემცველი ნაკეთობის გეომეტრიული ზომები და მასში დაძაბულობების განაწილება. იგი გამოითვლება რიცხვითი მეთოდის დახმარებით სხვადასხვა სახის დატვირთვის მიხედვით და მოცემულია სტანდარტულ ცხრილებში. დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორის ინდექსი გვიჩვენებს ბზარის დატვირთვის რეჟიმს, სადაც მასალის დაშლისათვის ყველაზე სარისკო უბანში დატვირთვის მდგომარეობაა და აღინიშნება მოდუსი I-ით. ამის საპირისპიროდ დატვირთვა ბზარის გვერდებზე აღინიშნება მოდუსი II-ით, ხოლო გრეხვის შედეგად დატვირთვა-მოდუსით III. II და III მოდუსებს განსაკუთრებულ შემთხვევებში აქვთ (მაგ.: შეკავშირებული მასალები ან დამფარავები) ტექნიკური მნიშვნელობა. მონოლითური მასალის გამოყენებისას პრაქტიკულად გამოიყენება მხოლოდ მოდუსი I [11].

დაძაბულობის განაწილება ბზარის წვეროთან ახლოს, მოცემულია პოლარული კოორდინატებით (სურ 3), სადაც r არის მანძილი ბზარის წვეროდან, ხოლო ϕ -ით აღინიშნება კუთხე.

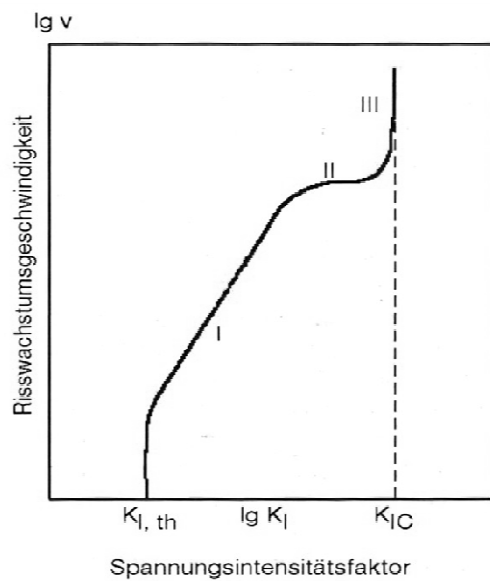
ბზარის გაგრძელება კრიტიკული დატვირთვის პირობებში

ბზარები ნელა იწყებენ ზრდას მას შემდეგ, როდესაც დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორი კრიტიკულ მნიშვნელობას იძენს, ანუ როდესაც ბზარის გამძლეობა დატვირთვის პროცესში და მისი წინააღმდეგობის ენერგია მინიმალურია და დატვირთვის ყოველი მინიმალური ზრდაც კი გადაიზრდება დაშლის ენერგიაში. დატვირთვის ასეთი პროცესი იწვევს ბზარის მატებას ზომებში. ამ ფენომენს უწოდებენ ბზარის ზრდის კრიტიკულ წინა პერიოდს [11]. ამ პროცესის აღწერისათვის განიხილება ბზარის ზრდის სიჩქარე, როგორც დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორის K_I ფუნქცია. მრავალი სახის მასალებს მოსდის ასე, როგორც ეს ნაჩვენებია ტიპურ v - K_I მრუდზე (სურ. 4). ზღვრული მნიშვნელობის დროს K_{Ith} (threshold - ზღვრული) ბზარის ზრდა არ არის რეგისტრირებული. დატვირთვის გაზრდით, პირველ რიგში შეიმჩნევა ბზარის ზრდის ნელი სიჩქარე (უპირატესად 10^{-12} მ/წმ), რომელიც I უბანში დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორის ზრდასთან ერთად იზრდება თანაფარდობის კანონზომიერების ფარგლებში [10].

$$V = AK_I^n = A^* (K_I / K_{IC}) \quad 3$$

პარამეტრები A (შესაბამისად A^*) და n დამოკიდებულია მასალაზე, ტემპერატურასა და გარემო მედიაზე. შესაბამისად ბზარის გაგრძე-

ლების სიჩქარისათვის I უბანში, გაითვალისწინება გარემო მედიის დიფუზია ბზარის წვეროსთან და მოდებული დაძაბულობა. კერამიკის დიდი ნაწილისთვის ექსპონენტა $n > 15$. ზოგიერთი მასალებისათვის მისაღებია უბანი II, როდესაც ბზარის გაგრძელების სიჩქარე აღარ მატულობს. ბზარის სიჩქარე იმდენად მაღალია, რომ დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორის მატება ბზარის აჩქარებაზე ვეღარ მოქმედებს, და დიფუზია, როგორც აჩქარების განმსაზღვრელი პროცესი (ძალიან ნელი ხდება) მუხრუჭდება.



სურ. 4. ბზარის გაგრძელების სიჩქარის ტიპური გრაფიკი დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორთან დამოკიდებულებით, როდესაც ვითარდება ბზარის ზრდის წინაკრიტიკული მდგომარეობა (v - K -მრუდი). პორიზონტალზე - დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორი. ვერტიკალზე - ბზარის ზრდის სიჩქარე

როდესაც დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორი ბზარის წინააღმდეგობას გადალახავს (უბანი III), ვითარდება დაძაბულობის დაშლის ენერგია, მიმდინარეობს ბზარის უსწრაფესი ზრდა მოწყვეტის გზით და პროცესი პრაქტიკულად ზღვრული სიჩქარის ტოლია. სწორედ ამ დროს ვითარდება ბზარის გაგრძელების სიჩქარე, დაახლოებით 2000 მ/წმ. (სურ. 4 უბანი III). როდესაც დაძაბულობა მუდმივად მოდებულია, მაგალითად გადაცემის სახეზე ელექტროტექნიკური ნაკეთობებისათვის ან მუშა პროცესებში და ბზარი ნელა იზრდება, დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორი ყოველთვის იქნება მატებაში.

ამ შემთხვევაში ბზარის ზრდა მასალის სიცოცხლის პერიოდში ყოველთვის პერმანენტულია. როდესაც გვიან სტადიაზე მიიღწევა უბანი II, მაშინ სიცოცხლის ხანგრძლივობა შედარებით მცირდება, რაც ტექნიკურად სიცოცხლის ხანგრძლივობის რელევანტური შეფასებისათვის მნიშვნელობას კარგავს.

თერმული და აირთერმული დარტყმების მიმართ მედეგობის კრიტერიალური შეფასება მასალაში დაძაბულობების განვითარების პროცესში

მასალებში, რომლებიც მუშაობენ გარდამავალ ტემპერატურულ ველებში და მაღალი მექანიკური დატვირთვების ქვეშ, დამახასიათებელია თერმული დაძაბულობებისა და დეფორმაციების აღძვრა იმ პირობებში, როცა მათი მექანიკური, ფიზიკური და ქიმიური თვისებები მნიშვნელოვნად არ იცვლება. პრობლემა რთულდება იმით, რომ როგორც წესი, თერმული დაძაბულობების გარდა მოქმედებს მექანიკური დაძაბულობები გარე დატვირთვებისაგან, რაც მასალაში მაღალი ენერჯიების განვითარებას იწვევს. ამ შემთხვევაში განვითარებული ენერჯიები მნიშვნელოვნად მოქმედებს ბზარებზე და იქ სადაც მატრიცის შედარებით სუსტი უბანია და არსებობს ბზარები, ხდება მათი განვითარება მოწყვეტის გზით. ამ შემთხვევაში მასალის კატასტროფული დაშლა გარდაუვალია [12] თერმული დაძაბულობები უპირატესად წარმოიშობა: სხეულის არათავისუფალი თბური გაფართოების დროს, ტემპერატურის თანაბარი განაწილებისას პოლიკრისტალურ სხეულში ანიზოტროპული კრისტალებით, ან იზოტროპულ სხეულში, რომელიც დატვირთვებამდე დამაგრებული იყო შემზღუდავი ძალებით, სხეულში ტემპერატურული გრადიენტების დროს, სხეულის ტემპერატურის ციკლური ცვლილებით, როდესაც ის მექანიკურად მყარად არის დამაგრებული, ერთჯერადი არასტანდარტული თერმული გახურებით [13-16]. ხანგრძლივი მუშაობის პირობებში მიმდინარეობს თერმული დაძაბულობების თითქმის სრული რელაქსაცია, ამიტომ ტემპერატურის თანდათანობითი ცვლილების პირობებში, დაშლის საშიშროება განისაზღვრება ძირითადად მექანიკური დატვირთვებით. ციკლური თერმული დაძაბულობები (თერმული

დაღლა და ტემპერატურის მკვეთრი ცვლილება - თერმული დარტყმა) უპირატესად განსაზღვრავს და მასალების დაშლის ძირითადი მიზეზები ან ფაქტორებია. ამდენად, მკაცრ პირობებში გამოცდა, განაპირობებს ნაკეთობათა ექსპლუატაციის შედარებით ფართო სფეროს. აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს შინაგანი დაძაბულობები მათი ლოკალურობის მიხედვით [17]. 1. ნულოვანი რიგის დაძაბულობა წარმოიქმნება ურთიერთდაკავშირებულ სხეულთა სისტემაში, ერთმანეთზე არათანაბარი თერმული ზემოქმედების ან სხვადასხვა ხაზობრივი ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტების გამო.

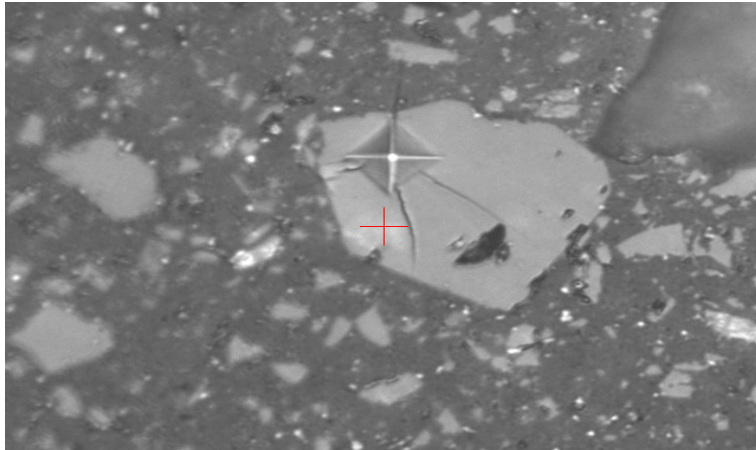
2. პირველი რიგის (მიკროსკოპული) დაძაბულობები, რომლებიც წონასწორდება სხეულის ზომების სფეროებში, გამოწვეულია ტემპერატურული ველების არაერთგვაროვნებით ან სხეულების თვისებებით.

3. მეორე რიგის (მიკროსკოპული) დაძაბულობები, შესაძლებელია წარმოიქმნას პირველი რიგის დაძაბულობების არარსებობის შემთხვევაში და დამოუკიდებელი მნიშვნელობები აქვთ.

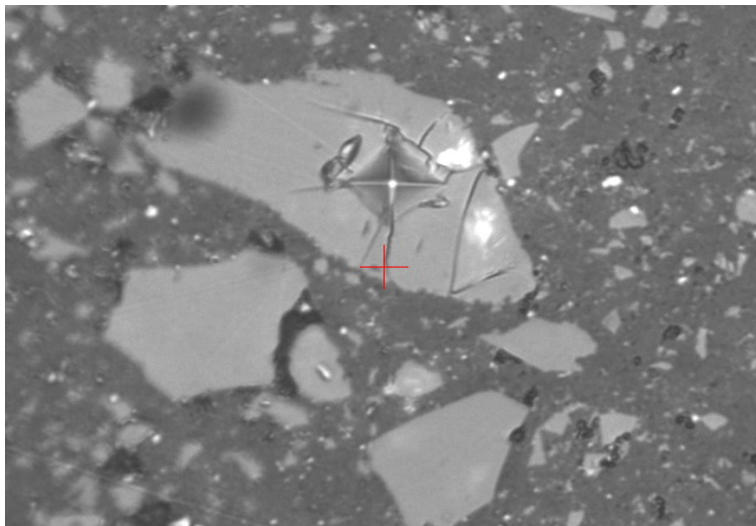
4. მესამე რიგის დაზიანებებს (სუბმიკროსკოპული), არ შეიძლება ეწოდოს დაძაბულობები, ვინაიდან უმცირესი ზონების სფეროებში - განისაზღვრება დაძაბულობა - კარგავს აზრს. აღნიშნული დაზიანებები ვლინდება ატომთა შორის მანძილებში და მათი შესწავლა რთულია.

ბზარების გამოვლენა ცალკეულ მარცვლებში ან მათ საზღვრებზე და შემდეგ მასალის მთლიანად დაშლა, გამოწვეულია დაზიანებების დაგროვებით, რომლებიც წარმოიქმნება თერმოსტრუქტურული დაძაბულობების ზეგავლენით დიდი ტემპერატურული ზემოქმედების რაოდენობის ციკლების შედეგად, ან მაღალი მექანიკური ძაბვების გამო (სურ. 5).

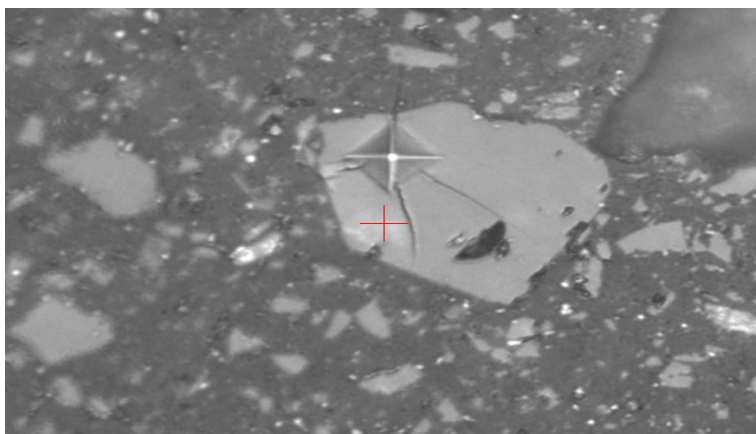
მიღებული სიალონის მასალის დინამიკური მიკროსისაღე და დრეკადობის მოდული განისაზღვრა თანამედროვე O ISO-14577 საერთაშორისო სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამის დინამიკურ ულტრა მიკროსისაღის ტესტერზე, rome DUH-211S, რომელიც მყარი სხეულების ზედაპირების მექანიკური მახასიათებლების (მიკროსისაღე, დრეკადობის მოდული) დასადგენად გამოიყენება. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 1 [18, 19].



a



b



c

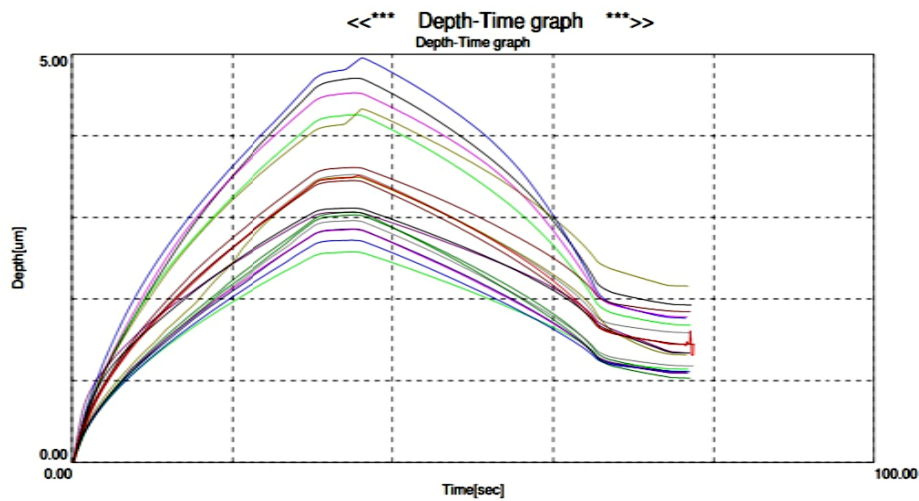
სურ. 5. ცხლად დაწნეხილი (1620°C) სიალონის -Si-Al-O-N კომპოზიტის მორფოლოგიური სურათი. მიკრომექანიკური ანაბეჭდი აღებულია სილიციუმის კარბიდის მარცვალში

სიალონური -Si-Al-O-N კომპოზიტის ტექნიკური მახასიათებლები
 <<Test condition-SiAlon-200 >>

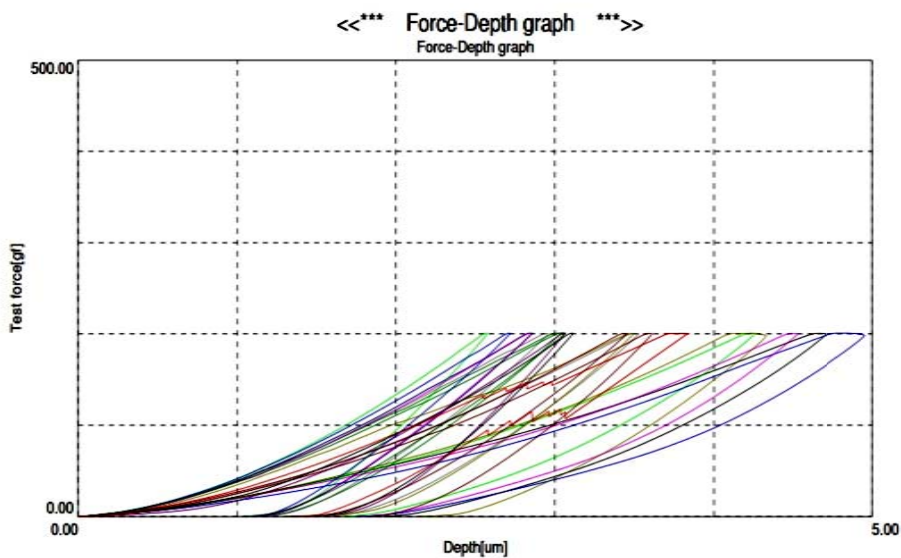
Test mode	Load-unload		
Sample name	SiAlon-zv	Sample No.	#1
Test force	200.000[gf]	Minimum force	0.200[gf]
Loading speed	1.0(7.1448[gf/sec])	Hold time at load	5[sec]
Hold time at unload	3[sec]	Test count	21
Parameter name	Temp	Parameter	20
Comment	21.06.17-SiAlon-zv-200;DHV5-3		
Poisson's ratio	0.190		
Cf-Ap,As Correction	ON	Indenter type	Vickers
Read times	2	Objective lens	50
Indenter elastic	1.140e+006[N/mm2]	Indenter poisson's ratio	0.070

<< Test result >>

SEQ	Fmax	hmax	hp	hr	DHV-1	DHV-2	Eit	Length	HV	Data name
	[gf]	[um]	[um]	[um]			[N/mm2]	[um]		
1	200.710	4.7107	1.9264	3.1017	442.157	2643.803	7.211e+004	15.792	1492.537	SiAlon-200(2)
2	200.786	4.2612	1.6795	2.7414	540.546	3479.868	8.707e+004	14.621	1741.886	SiAlon-200(4)
3	200.800	4.9636	1.7638	3.3296	398.419	3155.263	6.588e+004	16.959	1294.659	SiAlon-200(5)
4	200.674	4.5307	1.7788	3.0421	477.884	3100.234	8.083e+004	15.644	1520.484	SiAlon-200(6)
5	200.675	4.3294	2.1587	2.9575	523.381	2105.199	9.024e+004	15.498	1549.415	SiAlon-200(7)
6	200.662	3.5295	1.5855	2.1773	787.444	3902.198	1.254e+005	16.595	1351.275	SiAlon-200(8)
7	200.661	3.6147	1.8441	2.4494	750.723	2884.448	1.349e+005	17.179	1260.907	SiAlon-200(9)
8	200.738	3.0333	1.1085	1.7530	1066.516	7985.353	1.660e+005	12.866	2248.651	SiAlon-200(10)
9	200.959	2.8595	1.0929	1.5884	1201.396	8224.728	1.857e+005	12.134	2531.125	SiAlon-200(11)
10	200.866	3.0653	1.3375	2.0446	1045.024	5488.768	1.924e+005	-----	-----	SiAlon-200(12)
11	200.737	3.1154	1.3372	2.0317	1011.028	5488.160	1.790e+005	-----	-----	SiAlon-200(13)
12	200.960	2.5787	1.1425	1.5447	1477.302	7525.888	2.536e+005	12.135	2530.738	SiAlon-200(14)
13	200.923	2.7215	1.1113	1.5055	1326.134	7952.513	2.077e+005	11.989	2592.358	SiAlon-200(16)
14	200.501	2.8549	1.0966	1.5509	1202.544	8150.998	1.824e+005	12.135	2524.953	SiAlon-200(17)
15	200.497	3.4966	1.3136	2.2145	801.640	5679.626	1.320e+005	-----	-----	SiAlon-200(18)
16	200.702	2.9626	1.1801	1.6771	1117.798	7044.719	1.729e+005	12.428	2409.746	SiAlon-200(19)
17	200.589	3.4541	1.4444	2.0858	821.888	4700.234	1.288e+005	14.474	1775.634	SiAlon-200(20)
18	201.195	3.0666	1.0307	1.5932	1045.886	9257.288	1.515e+005	11.698	2726.384	SiAlon-200(21)
Average	200.757	3.5082	1.4407	2.1882	890.984	5487.183	1.449e+005	14.143	1970.050	
Std. Dev.	0.174	0.738	0.346	0.611	324.195	2330.548	52250.109	2.028	548.126	
CV	0.087	21.043	23.994	27.907	36.386	42.473	36.057	14.341	27.823	



a



b

სურ. 6. სიალონური კომპოზიტის მიკრომექანიკური მახასიათებლები 2N დატვირთვისას
 ა) ინდენტორის მასალაში ჩაღრმავების დამოკიდებულება დროზე, ბ) ინდენტორის დატვირთვის დამოკიდებულება ანაბექტის სიღრმეზე

მორფოლოგიური სურათის მიხედვით სიალონური კომპოზიტის ფაზური შედგენილობა (%): სიალონი-62.6; სილიციუმის კარბიდი-28.0; ალუმინის ჟანგი-6.2; ფორიანი ფაზა-3.2. კომპოზიტი მიღებულია პირველ ეტაპზე მეტალოთერმული და აზოტირების პროცესებით 1450°C-ზე. შემდეგ კომპოზიტი გადაიფქვა ტეფლონის წისქვილში და ცხლად დაიწნესა 1620°C-ზე.

ცხრილში 1, მოცემული გვაქვს სიალონური კომპოზიტის 1620°C-ზე ცხლად დაწნეხილ ნი-

მუშე ჩატარებული ტესტის შედეგები, ანაბექტი აღებულია SiC მარცვალში, ანაბექტის აღება მოხდა რამოდენიმეჯერ, შედეგები კი მოცემულია ცხრილში, სადაც საშუალო სიმაგრე არის HV: 19,70გპა. დინამიკური სისაღე DH-8.9 GPa, დრეკადობის მოდული E-145 MPa.

ცხრილში 1 მოცემულია კომპოზიტის მიკროსტრუქტურაში შემცველი SiC მარცვლების ტესტირების შედეგები. ინდენტირება ხდებოდა SiC მარცვლებზე 2 ნ დატვირთვისას.

სილიციუმის კარბიდის მარცვლებზე აღებული ანაბეჭდის საზღვრები მკვეთრია (სურ. 5 a), b), c)) ბზარი, რომელიც წარმოიშობა მარცვალზე ინდენტორის დატვირთვის შედეგად, არ ვრცელდება მარცვლის საზღვრის იქით. მატრიცა, მისი მაღალი მექანიკური თვისებების და ენერჯის დისიპაციის გამო, ახშობს ბზარის გავრცელებას და კომპოზიტის სიმტკიცე ინარჩუნებს თავის მნიშვნელობას. ასეთი დიდი ზომის მარცვლები ერთეულია და მასალის მექანიკურ თვისებებზე მსჯელობა მათი მიხედვით, არ უნდა იყოს რელევანტური, ვინაიდან მათი დიპერსიულობის ხარისხის გაზრდა არ წარმოადგენს პრობლემას, ხოლო კვლევისათვის, საინტერესო სურათს იძლევა. განსაკუთრებით საინტერესოა სურ. 5 b. ამ შემთხვევაში ბზარი ანაბეჭდის მარჯვენა მხარეს იმდენად ძლიერად და მაღალი ენერჯით ვითარდება, რომ ის ვრცელდება მატრიცამდე, ეჯახება ძლიერ მატრიცას, ბრუნდება უკან, დიაგონალურად გადასერავს მარცვალს და მარცვლის მეორე მხარეს შეეჯახება ისევ მატრიცას, მაგრამ მას ვერ არღვევს. უნდა აღინიშნოს, რომ ბზარი ინარჩუნებს მაღალ ენერჯიას და ვითარდება დიაგონალურად SiC მარცვლის მეორე მხარეს, კარგავს რა ენერჯიას ვეღარ აღწევს მატრიცამდე. ქვედა წიბოდან გავრცელებული ბზარი აღწევს მატრიცამდე, მაგრამ ენერჯის დისიპაცია მარცვალში და მატრიცის დაძაბულობის ინტენსივობის კრიტიკული კოეფიციენტი-Kic, იმდენად მაღალია, რომ ბზარი მატრიცასთან ქრება. სურ. 5 a) და c)-ზე ნათლად ჩანს ბზარის განვითარების მიმართულებები. როგორც ცნობილია Kic-ს ამ შემთხვევაშიც, მასალის ბზარმედეგობის საკითხში დიდი მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან ბზარი მოწყვეტის შემდეგ ვითარდება 2000 მ/წმ სიჩქარით და ამ დროს მასალის შედეგობა განისაზღვრება არა მარტო ბზარის მატრიცაზე დარტყმითი სიჩქარით, არამედ მასალის Kic მნიშვნელობით.

დინამიკური მიკროსისალე (DH) განისაზღვრება ტესტირების პროცესში ინდენტორზე მოდებული დატვირთვის სიდიდისა და მისი მასალაში შეღწევის სიღრმით, რომლის მნიშვნელობა იანგარიშება ფორმულით: $DH = axF/h^2$; სადაც, a მუდმივი სიდიდეა და დამოკიდებულია ინდენტორის ფორმაზე, იგი ვიკერსის ინდენტორისთვის ტოლია: $a = 3,8584$. მეთოდის უპირატესობა ჩვეულებრივ სტატიკური, ანუ ანაბეჭდის წრფივი ზომების (დიაგონალი) გაზომვებთან შედარებით, მდგომარეობს იმაში, რომ ის შეიცავს როგორც პლასტიკურ, ისე დრეკად მდგუნელებს. გაზომვების შედეგები არ არის დამოკიდებული ანაბეჭდის ზომებზე, დატვირთვებსა და დრეკადი აღდგენის არაერთგვაროვნებაზე.

დინამიკური სისალე განისაზღვრა დატვირთვა-განტვირთვის რეჟიმში მანამ, სანამ მოხდება

დრეკადი რელაქსაცია. თითოეულ კონკრეტულ დატვირთვაზე შეიღი ანათვალის აღებით, ორი უკიდურესი მნიშვნელობის უგულვებელყოფით და დარჩენილი ხუთი სიდიდის გასაშუალებით. მიკროსისალის შესაბამისი მნიშვნელობა განისაზღვრებოდა ავტომატურად. დაყოვნების დრო დატვირთვის მაქსიმუმზე შეადგენდა 5 წმ-ს, განტვირთვის ბოლოს 3 წმ-ს (სურ. 5).

ინდენტირება მოხდა ნიმუშის მატრიცაში, რომელიც შედგება β -სიალონისაგან. გამოცდის შედეგად მისი საშუალო დინამიკური სისალე შეადგენს $DHV = 8,9 \text{ GPa}$ -ს, რაც საკმაოდ მაღალი მაჩვენებელია.

დატვირთვა-განტვირთვის დამოკიდებულების გრაფიკიდან (სურ. 6), განისაზღვრება ელასტიკურობის მოდულის სიდიდე სიხისტის $S = (dF/dh)h - h_{max}$ -ის დადგენით. ის წარმოადგენს დატვირთვა-განტვირთვის გრაფიკის მხებს განტვირთვის საწყის წერტილში. ხელსაწყო განსაზღვრავს საკვლევი მასალის ელასტიკურობის მოდულს, რომლის საშუალო სიდიდეც ჩვენი ნიმუშის შემთხვევაში ტოლია $E = 145 \text{ GPa}$ (ცხრ. 1). ანაბეჭდების სურათები სრულ თანხვედრაშია სურ. 6-ზე მიღებულ გრაფიკულ მონაცემებთან. თითოეული ანაბეჭდის სიღრმე განსხვავებულია ერთმანეთისაგან და იცვლება 2.5-დან 5 μM -დე. როგორც ჩანს 2N დატვირთვა ამ მასალისათვის ოდნავ მეტია ოპტიმალურზე. ეს დადასტურდა სურ. 5-დან. აღმასის პირამიდით სილიციუმის კარბიდის მარცვალში იმდენად მაღალი ენერჯია გადაეცა, რომ ბზარმა რამოდენიმეჯერ გადაკვეთა მარცვალი მთელ სივანეზე, ვინაიდან ბზარმა მიიღო დიდი ენერჯია და მოწყვეტა განხორციელდა ბზარის წვეროდან დაძაბულობის კრიტიკულ ინტენსიობაზე მეტი ენერჯიით. იგივე დასტურდება ტესტის ძალის გამოყენებისას (200 გრ. დაახლოებით=2N-ს) ანაბეჭდის სიღრმის აღების დროს (სურ. 6 b)). ამ შემთხვევაშიც ანაბეჭდის სიღრმეები 18-ვე ტესტისათვის განსხვავებულია და იცვლება 2.5-დან 5 μM -მდე.

თერმოსტრუქტურული დაძაბულობები ტემპერატურული ველების ცვლილების პროცესში, საკმარისია გამოწვეული იქნეს: ჰეტეროგენული სისტემის მხოლოდ ერთი ფაზის თერმული გაფართოების ანიზოტროპიითაც, მასალათა არაკუბური კრისტალური მესერის გაფართოების ანიზოტროპიით, ჰეტეროგენულ სისტემაში მეზობელი ფაზების თერმული ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტის სხვაობით, ფაზური გარდაქმნებით, რასაც თან სდევს ფაზების ხვედრითი მოცულობითი ცვლილება. თერმული დარტყმების მიმართ მედეგობის რაოდენობრივი შეფასების მეთოდები ძირითადად ითვალისწინებს პირველი რიგის თერმოდრეკადი დაძაბულობების მიმართ წინააღმდეგობების განსაზღვრას, რომლებიც წარმოიქმნებიან დრეკად სხეულებში და

რომლებშიც არ არის პლასტიკური დეფორმაციები და ფაზური გარდაქმნები [20]. თუ დაძაბულობები მასალის სიმტკიცეზე ნაკლებია, მაშინ სხეული მდგრადი იქნება თერმოდარტემების მიმართ [12] და ასეთი სხეულების მედეგობა თერმოდარტემების მიმართ შეიძლება შეფასდეს სიმტკიცის ზღვრის ფარდობით მაქსიმალურ თერმულ დაძაბულობასთან.

$$R = \delta a / a' E, \quad 4$$

სადაც R - თერმოდარტემების მიმართ მედეგობის ფაქტორია, δ - მასალის მექანიკური სიმტკიცე ლუნვაზე, a - ხაზობრივი გაფართოების თერმული კოეფიციენტი, E - იუნგის მოდული, a' - $\lambda / \gamma C$ - მასალის ტემპერატურაგამტარობა, λ - თბოგამტარობა, γ - სიმკვრივე, C - ხვედრითი თბოტევადობა.

ფორმულა არ ითვალისწინებს ნიშნის ფორმის, ზომის და თერმოდარტემების მიმართ მედეგობის დამოკიდებულებას. რეალური შეფასებისათვის აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს სხეულის ზომების გავლენა.

$$R = \delta / (Ea\beta(T_k - T_0)) \quad 5$$

სადაც T_k და T_0 - სხეულის საბოლოო და საწყისი ტემპერატურაა, $\beta = \tau_m h / \lambda$ და $\beta = \delta h / 2\lambda$ - სფეროსა და უსასრულო ფირფიტისათვის, h - თბოგადაცემის კოეფიციენტი სხეულის ზედაპირსა და გარემოს შორის. კინგერის აზრით, მასალის ფიზიკური თვისებები არ იცვლება ტემპერატურის ცვლილებით $\Delta T_{დაშლის}$ ინტერვალში და რეკომენდაციას აძლევს თერმოდარტემების მიმართ ფაქტორის შემდეგ განსაზღვრებას

$$R' = 2\delta_{დაშლის} (1-\mu) / Ea = \Delta T_{დაშლის} / B, \quad 6$$

სადაც B ფაქტორი დამოკიდებულია სხეულის გომეტრიაზე, $\delta_{დაშლის}$ - მასალის მექანიკური სიმტკიცე გაჭიმვაზე და μ - პუასონის კოეფიციენტი.

კინგერი, ბიესემი და სხვები [21,22,23] რეკომენდციას იძლევიან, რომ თბური დატვირთვის სხვადასხვა პირობებში, მასალათა მედეგობის შეფასებისას თერმოდარტემების მიმართ, აუცი-

ლებელია გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა კრიტერიუმები. თერმოდარტემების დროს, თბოგადაცემის პირობების შესწავლისას წყლით გაციების პროცესში შემოთავაზებულია კრიტერიუმი

$$R = \delta_{ლუნ} (1-\mu) / 3Ea. \quad 7$$

როდესაც რელაქსაციის პერიოდები მნიშვნელოვნად აჭარბებს ნაკეთობის სავარაუდო სამსახურის პერიოდს, მნიშვნელოვანი რალაქსაციები თერმული დაძაბულობებისა არ მიმდინარეობს და მასალათა შერჩევა ეფუძნება მათ დრეკად თვისებებს, ანუ კრიტერიუმებს [12].

$$R' = \delta(1-\mu) / Ea; \quad R'' = R' \lambda; \quad R''' = E / \delta^2 (1-\mu),$$

სადაც R' - კრიტერიუმი, რომელიც განსაზღვრავს თერმოდარტემების პროცესში მასალის წინააღმდეგობას ბზარების ჩასახვის მიმართ, R'' - კრიტერიუმი, რომელიც აფასებს მასალის უნარს წინააღმდეგობა გაუწიოს თერმულ დატვირთვებს, თბოცვლის კოეფიციენტის მცირე მნიშვნელობების დროს, R''' - კრიტერიუმი, რომელიც განსაზღვრავს მასალის წინააღმდეგობას უკვე წარმოქმნილი ბზარების გავრცელების მიმართ.

წარმოდგენილ მონაცემებზე დაყრდნობით, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მაღალი მექანიკური სიმტკიცე და თბოგამტარობა, დაბალ დრეკად თვისებებთან და თერმულ გაფართოებასთან ერთად უზრუნველყოფს მასალის მაღალ წინააღმდეგობას ბზარების წარმოქმნის მიმართ და ასეთ კერამიკებს შეუძლიათ იმუშაონ მაღალ ტემპერატურულ გრადიენტებში და მაღალ ტემპერატურებზე.

ჩვენ მიერ სინთეზირებული ელექტროტექნიკური ნაწარმისათვის გამოყენებულ ხარკორტის ციკლური დატვირთვის მეთოდი. ციკლური გახურება იწყებოდა 140°C-დან დაყოვნებით ბოლო ტემპერატურაზე 20 წუთი და შემდეგ 17°C-იან წყლის აბაზანაში გაჩერებით 10 წთ. ციკლი მეორდებოდა ყოველი 20 წთ-ის შემდეგ. ფილემის ზომები იყო 50x50x8 მმ. შედეგები მოყვანილია ცხრილში 2.

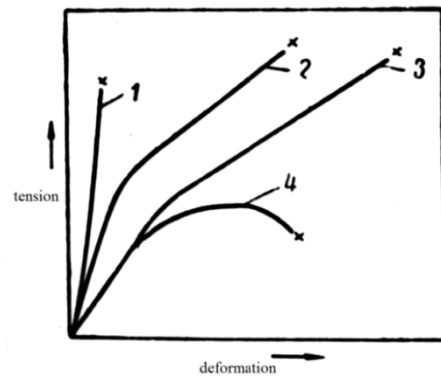
ცხრილი 2

ბარიუმის შემცველი კერამიკის თერმული შოკების წინააღმდეგ მედეგობა
Resistance to thermal shocks of barium containing ceramics

Index of materials, and burn temperature, T °C	Open porosity, %	True porosity, %	Compactness ρ g/sm ³	σ , MPa.	A, 10 ⁻⁶ °C ⁻¹ 20-900	E, GPa.	μ	R' τ	R'' BT/ μ	R''' 10 ⁻⁴ M ² /kg
B ¹ 1410	0	14.2	2.99	66.4	4.1	71.32	0.283	163	210.3	225.6
B ¹ 1450	0	7.8	3.03	78.7	4.1	74.59	0.212	161	164.3	220.0
B ¹ 1500	0.1	9.8	2.96	59.3	4.1	72.20	0.280	144	185.8	285.2
B ³ 1410	0.0	-	2.60	78.6	4.1	69.35	0.233	220	420.2	172.9
B ³ 1450	0.0	-	2.52	56.0	4.1	79.22	0.258	128	244.4	340.0

ცხრილის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბარიტის და გეოპოლიმერების ბაზაზე სინთეზირებული ბარიუმის შემცველი ელექტროკერამიკა საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ ცელზიანის კერამიკა B1, ცელზიანის ფაზის 93% შემცველობით, დადგენილ რეჟიმში სხვადასხვა ტემპერატურაზე გამომწვარი, ნულოვანი ღია ფორიანობით, შედარებით მდგრადია და სტაბილურია, ვიდრე B3. B1-ს აქვს თერმომდგრადობის მაღალი მაჩვენებელი - 480⁰. როგორც ჩანს ეს დაკავშირებულია დაბალ თბეკ-ზე, რაც განაპირობებს ნაკეთობის მაღალ მედეგობას თერმული დარტყმების მიმართ და შესაბამისად დაძაბულობების განვითარების მიმართ მდგრადობას. ამ მასალაში ბარიუმის და ალუმინის სილიკატები შეადგენს სულ რამდენიმე %-ს და მათი უარყოფითი გავლენა თერმოდარტყმების მიმართ მედეგობაზე, უმნიშვნელოა. თერმული დარტყმების მიმართ მედეგობის რამდენადმე დაბალი მნიშვნელობა B3 კერამიკისათვის, გამოწვეული უნდა იყოს მისი მრავალფაზიანობით: ცელზიანი - BaO.Al₂O₃.2SiO₂, მულიტი-3Al₂O₃.2SiO₂, კორუნდი - Al₂O₃ და მინისებური ფაზა, რომელიც მეტია ვიდრე B1-ში. აღნიშნული ფაზების სხვადასხვა გაფართოების კოეფიციენტები უდაუფოდ უარყოფით გავლენას ახდენს მასალის თერმულ მედეგობაზე (ცხრ. 2). მასალის სტრუქტურა, მისი ანიზოტროპულობა, ჰომოგენურობა, განსაკუთრებით განაპირობებენ თერმომდგრადობის მნიშვნელობას. მასალათა თერმოდარტყმების მიმართ მედეგობისათვის მნიშვნელოვანი კრიტერიუმია კონსოლიდირებულ ნაკეთობაში ნულოვანი ღია ფორიანობის დროს დახურული ფორების არსებობა ან არარსებობა. მათ შეუძლიათ გამოიწვიონ თერმული „ატკეზები“ მასალაში გახურებად ზედაპირზე. დახურული ფორიანობა 1400⁰C-ზე, შედარებით მეტია ვიდრე 1450⁰C და 1500⁰C-ზე (ცხრ. 2), რაც აისახება კრიტერიუმზე R¹. ნაკლები თერმომედეგობა B-3-სა შედარებით B-1-თან, ირიბად ადასტურებს მიკრობზარების წარმოქმნას სხვადასხვა ფაზების საზღვრებზე [20]. კერამიკაში B-1, რომელიც ძირითადად მონოფაზურია 1400⁰C-დან, 1500⁰C-მდე და ღია ფორიანობა ნულის ტოლია, დრეკადობის მოდული და პუასონის კოეფიციენტი უმნიშვნელოდ იცვლება (ცხრ. 2). 1500⁰C-ზე გამომწვარი მასალის მექანიკა ღუნვაზე და თბოგამტარობა რამდენადმე მცირდება, რაც აისახება R¹ კრიტერიუმზე, რომელიც განმსაზღვრელია მასალის შეფასებისათვის, მისი ექსპლუატაციის პირობებში, როცა ბზარების წარმოქმნა დაუშვებელია. როგორც ჩანს, დახურული ფორების ზომების მატება გავლენას ახდენს ამ პროცესებზე. B1 მასალის მოცემული თვისებების შედარებითი სტაბილურობა საშუალებას გვაძლევს ვიფიქროთ მისი გამოყენება ისეთ პირობებში, როცა ისეთი ბზარების გაჩენა, რომლებიც არ არღვე-

ვენ ობიექტის მთლიანობას, არ უშლის ხელს მის გამოყენებას [12]. აქ მასალის ხარისხის შესაფასებლად მისადებია კრიტერიუმი, რომლის მნიშვნელობა სხვადასხვა ტემპერატურაზე შედარებით B3-თან სტაბილურია (ცხრ. 2). ამის მიზეზი, ჩვენი აზრით, ამ უკანასკნელის პოლიფაზურობაა. ზოგადად, კრიტერიუმის მაღალი მნიშვნელობები ორივე მასალისათვის მიანიშნებს იმაზე, რომ თერმული დატვირთვების დროს ისინი აგროვებენ ნაკლებ ენერგიას, რითიც განპირობებულია მათი დაშლის ნაკლები ხარისხი. აუცილებელია აღინიშნოს, რომ კერამიკის თვისებათა ანალიზი მეტად რთულია, ვინაიდან დაშლა მიმდინარეობს არა რომელიმე ერთი მექანიზმის გამო, არამედ რამდენიმე სრულიად განსხვავებული მოვლენების გამო სხვადასხვა პირობებში. მდგომარეობა რთულდება იმითაც, რომ ერთი და იგივე მასალა იშლება სხვადასხვაგვარად, დაძაბულობების სიდიდეზე, დატვირთვის სიჩქარეზე, ნიმუშების წინაისტორიაზე, გარემო პირობებსა და ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით. რომელიმე ამ ფაქტორის იგნორირება მიგვიყვანს მნიშვნელოვან შეცდომამდე. სურ. 7-ზე მოცემულია მასალათა დაშლის მრუდები სხვადასხვა დატვირთვების დროს.



სურ. 7. მყიფე და პლასტიკური დაშლა
 1. მყიფე დაშლა; 2. პლასტიკური დაშლა, გამოცდა გრეხვაზე; 3. იგივე გამოცდა გაჭიმვაზე; 4. ნომინალური სიმტკიცე გაგლეჯაზე

როგორც ზემოთქმულიდან გამომდინარეობს, კერამიკული მასალებისა და კომპოზიტების თვისებებზე მსჯელობისას, დაშლის დაძაბულობის საკითხების ინტეგრირება მეტად რთულ ამოცანას წარმოადგენს მასალაში მიმდინარე რთული პროცესების თანხვედრის გამო, ამიტომ საჭიროდ ჩავთვალეთ წარმოგვედგინა დაშლის დაძაბულობის ისეთი მახასიათებელი რომელიც თავის თავში მოიცავდა ყველა იმ პირობას და თვისებას, რომელთაც ადგილი შეიძლება ჰქონდეს ნაკეთობის კრიტიკული დატვირთვის პროცესში და დაშლა გარდაუვალია. ეს შეიძლება იყოს ნაკეთობის გარედან ენერგიის ხარჯისა და შედეგად, ნაკეთობის შიგნით ენერგიის დაგრო-

ვების შემთხვევებში, როგორც თერმოსტრუქტურული ცვლილებების, ასევე გარეგანი მექანიკური ძაბვების განვითარების გამო. ჩვენ მიერ წარმოდგენილი დაშლის დაძაბულობის ენერჯის ფორმულა შემდეგია:

$$E_{td}=m \cdot a_{c,p},$$

სადაც Etd-energy of tension of decomposition; m-mass; a-speed of crack propagation.

დაშლის დაძაბულობის ენერჯია¹ Etd უდრის m მასის და ბზარის გავრცელების სიჩქარის ac,p ნამრავლს.

ჩვენ შემთხვევაში ნიმუში ელექტროტექნიკური მასალისაგან, დამზადებულ იქნა ღეროს ფორმის შემდეგი ზომებით: l=110 მმ; სიგანე b=20 მმ; სიმაღლე a=10 მმ. 1450°C-ზე ასეთი ზომების ღეროს გამოძვარი მასა შეადგენდა 45.5 გრ. ნაკეთობა სრულად კონსოლიდირებულია ნულოვანი ღია ფორიანობით. თუ მივიღებთ, რომ დაშლის პროცესში ბზარის განვითარების სიჩქარე დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორზე (კრიტიკული მდგომარეობისაგან) დამოკიდებულებით v-k მრუდზე იმყოფება მესამე უბანზე (სურ. 4), სადაც მისი ზრდა ხდება წვეროდან მოწყვეტის გზით და სიჩქარე შეადგენს 2000 მ/წმ-ს, ჩვენი ფორმულის მიხედვით დაშლის დაძაბულობის ენერჯის ხარჯი იქნება:

$$E_{td}=45.5 \times 2000=91 \text{ კჯ.}$$

ამდენად, თუ დავადგენთ უნივერსალურ კავშირს ნაკეთობის მთლიან ენერჯიასა და მის მასას შორის, მივიღებთ ჩვენ მიერ შემოთავაზებულ დაშლის დაძაბულობის ენერჯის ფორმულას.

3. დასკვნა

ჩვენ მიერ შემოთავაზებულ ფორმულაში აღიწერება ნაკეთობაზე გარეგანი მექანიკური დაძაბულობებისა და თერმული და აირთერმული შოკების შედეგად განვითარებული ენერჯების ზემოქმედების პროცესუალური გარდაქმნები შიდა ენერჯიებად, რომლებიც მოქმედებენ მასალაში არსებულ დეფექტებზე და ეს პირველ რიგში მუშაობს ბზარის განვითარებაზე, ვინაიდან მის წვეროზე კრიტიკული დაძაბულობის განვითარებისას ადგილი აქვს ბზარის მოწყვეტას წვეროდან. როგორც ცნობილია მაქსიმალური ძაბვები ენერჯიების დაგროვებისას ვითარდება ბზა-

რის წვეროზე და ხდება მისი მოწყვეტა. დადგენილია კორელაციური კავშირი ნაკეთობაზე გარეგანი დაძაბულობების ენერჯიების გარდაქმნისა მასალის შიდა ენერჯიებად, რაც განაპირობებს ნაკეთობაში არსებული დეფექტების განვითარებას კრიტიკულზე მაღალი ენერჯიების დროს, როდესაც დაძაბულობის ინტენსივობის ფაქტორი ბზარის წინააღმდეგობას გადალახავს და ვითარდება დაშლის დაძაბულობის ენერჯია. ამდენად, დადგენილია უნივერსალური კავშირი ნაკეთობაში განვითარებულ მთლიან ენერჯიასა და ნაკეთობის მასას შორის, დაშლის დაძაბულობის გარეგან ენერჯიასთან დამოკიდებულებით.

ლიტერატურა

1. Lawn B. Fracture of Brittle Solids, ISBN 0-521-40972-1. Cambridge University Press. 1999.
2. Zviad Kovziridze, Hans Walter Henricke, Fridrich Kharitonov. Thermomechanics of Ceramics. Monograph. Fachhochschule Karlsruhe Hochschule fuer Technik. Karlsruhe. Germany. 1998.
3. Zviad Kovziridze, Jimsher Aneli, Natela Nijaradze, Gulnazi Tabatadze. Ceramic and Polymer Composites. Monograph LAP LAMBERT Academic Publishing. International BookMarket Service Ltd, member of OmniScriptum Publishing Group. 2017.
4. ზ. კოვზირიძე, ნ. ნიჟარაძე, გ. ტაბატაძე, ჯ. ანელი. კერამიკული და პოლიმერული კომპოზიტები. მონოგრაფია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2016.
5. Budworth D.W. Theory of pore closure during sintering. Trans. Brit. Ceram. Soc. 69. 1970 p.29-31.
6. Griffith A.A. Phil. Trans. Roy. Soc. London A.221. 1920.
7. Шведков Е. Л., Ковенский И. И., Денисенко Э. Т., Зырин А. В. Словарь Справочник по Новой Керамике. Академия Наук Украины, Институт Проблем Материаловедения, Киев, Наукова Думка 1991, С. 115-116.
8. Richerson D.W. Modern Ceramic Engineering. ISBN 0-8247-8634-3. MARCEL DEKKER. Inc. NEW YORK. 1992.
9. Georg Grathwohl. Meinhard Kuntz. Mechanische Eigenschaften im Buch Technische Keramik. Herausgeber W. Kollenberg. VULKAN_VERLAG ESSEN. Germany 2004 s.45-55.
10. Munz D. Fett T. Ceramics: Mechanical Properties, Failure Behaviour, Materials Selection., ISBN 3-540-65376-7, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New-York, 1999. P. 61.
11. Grathwohl G. (Herausgeber). Mechanische Eigenschaften keramischer Konstruktionswerkstoffe.

¹ ენერჯია (ბერძნულიდან energieia-მოქმედება). მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა ფორმის საერთო სახომი, რომელიც განიხილება ფიზიკაში. მოძრაობის ხარისხობრივად სხვადასხვა ფორმების რაოდენობრივი დახასიათებისათვის და მათთვის შესაბამისი ურთიერთქმედებისათვის, შემოაქვთ ენერჯის სხვადასხვა სახეობები: მექანიკური, შინაგანი, გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, ბირთვული და სხვ. ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში-СИ ენერჯია გამოისახება ჯოულებში.

ISBN 3-88355-194-5. DGM Informationsgesellschaft mbh. 1993.

12. Наценко А.И. Термостойкость хрупких материалов. В книге: Теоретические и технологические исследования в области огнеупоров. Сборник научных трудов Украинского НИИ Огнеупоров. Москва. Металлургия. 1971. Вып. 15. С.189-208.
13. Кингери В. Д. Измерения при высоких температурах. М. Металлургиздатю 1963, Стр. 466.
14. Соболев И.Д., Егоров В.И. Термическая усталость и термический удар. В кн. Прочность и деформация в неравномерных температурных полях. Москва, Госатомиздат, 1962, с. 194.
15. Трощенко В.Т. Усталость и неупругость металлов. Киев, Наукова Думка, 1971, С. 268.
16. Писаренко Г.С. Трощенко В.Т. Тимошенко В.Г. и др. Прочность металлокерамических материалов и сплавов при нормальных и высоких температурах. Киевю издфт, АН УССР, 1962, с. 275.
17. Геитвуд Б. Е. Температурные напряжения. Москва, Изд-во Иностранная литература, 1959, С. 349.
18. ზ. კოვზირიძე, ნ. ნიჟარაძე, გ. ტაბატაძე, თ. ჭეიშვილი, ზ. მესტირიშვილი, მ. მშვილდაძე, ნ. დარახველიძე. კომპოზიტის მიღება მეტალო-თერმული და აზოტირების პროცესებით Si-SiC-Al-გეოპოლიმერის სისტემაში. კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიები. Vol. 19, 2(38), 2017, გვ. 33-52. <http://www.ceramics.gtu.ge>.
19. Zviad Kovziridze, Natela Nijaradze, Gulnaz Tabatadze, teimuraz Cheishvili, Maia Mshvildadze, Zviad mestvirishvili, Vera Kinkladze, Nino daraxvelidze. Obtaining of SiAlON Composite via Metal-Thermal and Nitrogen Processes in the SiC-Si-Al-Geopolymer System. Journal of Electronics Cooling and Thermal Control. 2017. 7. Pp. 103-122. <http://www.scirp.org/journal/jectc>. ISSN online: 2162-6170 ISSN Print: 2162-6162.
20. Масленникова Г.Н. Харитонов Ф.Я. Электрокерамика стойкая к термоударам. Москва, Энергия, 1977, Сс. 9-10,11-18,163-175.
21. Kingery W.D. Symposium on thermal fracture. Factors affecting thermal stress resistance of ceramic materials-I. Amer. Ceram. Society. 1955. Vol. 38. IV. 1. P.3.
22. Buessem W. Symposium on thermal fracture. Thermal choc testing-I. Amer. Ceram. Soc. 1955. Vol. 38. # 1. P. 15.
23. Davidge Thermal choc and fracture. Tappin G. in ceramics-Trans Ceram. Soc. 1967. Vol. 66. IV 8. P. 405.

UDC 621.9.02

FAILURE STRESS ENERGY FORMULA

Z. Kovziridze

Resume: Goal. In the process of exploitation of ceramic materials and ceramic composites often we encounter not only high mechanical stresses but also thermal loads and air-thermal shocks. Thus for example on power transmission lines, in the process of starting and operation of water and air turbines, high power loads come on turbine discs and wings. These loads are transformed into failure/rupture stress energy, when strength of work-pieces is less than loads. Micro-cracks are in all materials and there can also be cracks created as a result of technological failures, on the ends of which at critical loads, maximum stresses use to develop, high energies are developed and plucked from the crack top, resulting in destruction of objects. Considering such extreme operation conditions computation of energies which contribute to materials catastrophe seems rather interesting.

Method. Taking into consideration terms of exploitation of materials in industry, we studied their exploitation properties by modern research methods. The formula parameters were selected on the basis of study and generalization of micro- and macro-structural, micro- and macro-mechanical characteristics of ceramic materials.

Results. The formula covers the process of creation of energies as a result of mechanical and thermal loads affecting the work-piece and analyses of mechanisms of impact of these energies on the cracks existing in the material; results of energies affecting the existing cracks as a result of such loads and results of starting of mechanisms of spreading of energies developed inside the work piece, which lead material to the catastrophe.

Conclusion. On the basis of crack development mechanism the universal relationship of total energy of the work-piece and its mass was established, considering crack developing speed under critical stress conditions. Failure stress energy formula has been offered.

Key words: crack development speed; failure/destruction stress; mechanical and thermal loads; energy; mass.

რეზიუმე: მიზანი. ემპირიული ფორმულის შედგენა, რომელიც კავშირს ამყარებს კერამიკული მასალებისა და კომპოზიტებისათვის მნიშვნელოვან მატრიცულ პარამეტრებსა და მასალის თერმოგრადიენტის მიმართ მედეგობის კოეფიციენტს შორის.

მეთოდი. ხარკორტის მეთოდითა და წყლით გაცივება დუდილის რეჟიმში, წყლის ამოშრობამდე.

შედეგები. დადგინდა იქნა, რომ ნაკეთობები ამჟღავნებს მაქსიმალურ თერმულ მდგრადობას და საექსპლუატაციო თვისებების შენარჩუნებას, როდესაც საერთო დახურული ფორიანობა მატრიცაში 2-8%-ის ფარგლებში, ხოლო ფორების ზომები მერყეობს 1-6 მკმ ფარგლებში. ამავე დროს ისინი მეტ-ნაკლებად სფეროსებრი ფორმისაა და მატრიცაში თანაბრად განაწილებული.

დასკვნა. განისაზღვრა თერმოგრადიენტული ევოლუციის ფორმულა ნაკეთობის რთული ფორმისათვის, როდესაც ნაკეთობაში რამდენიმეჯერ ხდება ზედაპირების გადაკვეთა სხვადასხვა სიმრუდის რადიუსიანი კუთხით.

საკვანძო სიტყვები: თერმოგრადიენტული ევოლუციის; მატრიცა; სიმრუდის რადიუსი; ტემპერატურული ველი; პარამეტრები; თერმული დაძაბულობა; თერმული გაფართოება.

1. შესავალი

ცნობილია, რომ კერამიკულ მატრიცაზე კომპოზიციურ ნაკეთობათა მედეგობა თერმული და აირთერმული აგრესიის და შესაბამისად თერმოგრადიენტის მიმართ, მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული არა მარტო გრადიენტის სიდიდეზე, იმ მექანიკურ ძაბვებზე, რომელთა წარმოქმნა ძირითადად განპირობებულია მასალაში არსებული ფაზებით, თერმოდამუშავების რეჟიმითა და სინთეზის დროს მასალაში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესებით, არამედ, სხვა ფაქტორებთან ერთად, ფორმაზეც [1-4].

თუ გავითვალისწინებთ იმ ფაქტს, რომ, თავის მხრივ, ლოკალური მექანიკური ძაბვების განაწილების ხასიათი მყარ სხეულებში არსებითად

დამოკიდებულია სხეულის ფორმაზე, მაშინ, ცხადია, ფორმის უგულებელყოფა კონკრეტული ნაკეთობის მედეგობის დადგენისას თერმოგრადიენტის მიმართ დიდ უზუსტობასთან იქნებოდა დაკავშირებული. როდესაც ლაპარაკია ნაკეთობის ფორმაზე, პირველ რიგში უნდა წარმოვიდგინოთ სხვადასხვა სიმრუდის რადიუსიანი მრუდწირული ზედაპირის მქონე სხეულები, რაც ძირითადად დიზაინთანაა დაკავშირებული კომპოზიტური ნაკეთობები. ხშირად ხასიათდება საკმაოდ რთული პროფილის რელიეფით, რომლის ცალკეულ უბნებში ხშირად ვხვდებით მეტად მცირე რადიუსის სიმრუდის ზედაპირებს. სწორედ ასეთი რელიეფის მქონე ნაკეთობებისთვის დამახასიათებელია შედარებით მაღალი შინაგანი მექანიკური დაჭიმულობები, ანუ სტატიკური მექანიკური ძაბვები [5-7]. როდესაც კერამიკული ნაკეთობა ექცევა მაღალი თერმოგრადიენტების ველში, ეს უკანასკნელი ევოლუციურად მოქმედებს ნაკეთობის იმ უბანზე, რომელშიც სჭარბობს მექანიკური ძაბვები, რაც გამოიხატება მიკროეფექტურობის, კერძოდ, მიკრობზარების მაკრობზარებად გადაზრდაში და ნაკეთობის საბოლოო დესტრუქციაში [1, 2, 8-11]. მტკიცებას არ საჭიროებს ის ფაქტი, რომ რეალურ პირობებში თბოგადაცემა ბოლო ფაქტორია და საზღვარზე სითბურ გამოსხივებასა და ნაკეთობას შორის ტემპერატურული გრადიენტი ბევრად მეტია, თვით ნაკეთობაში აღძრულ გრადიენტთან შედარებით, მიუხედავად ნაკეთობის ზომისა.

2. ძირითადი ნაწილი

დღემდე არსებულ ტექნიკურ ლიტერატურაში, რამდენადაც ჩვენთვის ცნობილია, სრულად არ არის გაშუქებული ფორმის ზეგავლენა ნაკეთობების თერმოგრადიენტის მიმართ მედეგობაზე. ცნობილ ვეიბულის ფორმულაში არ არის გათვალისწინებული კერამიკული ნაკეთობის ცალკეული რთული ფორმები და მათი ზეგავლენა ნაკეთობის არა თუ თერმოგრადიენტზე, არამედ საერთოდ მის თერმომედეგობაზე. ასევე არ არის ნაკეთობის ფორმა გათვალისწინებული ბიოსკრიტიკური შემთხვევაშიც, რომელიც ახასიათებს ტემპერატურული გრადიენტის სიდიდეს ნაკეთობის ზედაპირსა და მის შიგნით სფეროს შორის.

¹ იბეჭდება ხელმოწერად

ფურიეს [7] ფორმულა გვაძლევს მხოლოდ განსახილველი წერტილის კოორდინატებს. კინგერი [8] არასტაციონალური რეჟიმისათვის, როდესაც ნაკეთობის ზედაპირის ტემპერატურა მყისიერად იცვლება T_1 -დან T_2 -მდე, ხოლო სხეულის საშუალო ტემპერატურა თითქმის უცვლელი რჩება (ე.ი. საქმე გვაქვს თერმულ დარტყმასთან) და ამავე დროს თბოგადაცემა მიისწრაფვის უსასრულობისკენ, თავის გამოთვლებში იყენებს ე.წ. ფორმის ფაქტორს, თუმცა ამ პარამეტრის ფიზიკური შინაარსი მისი ინტერპრეტაციით ბოლომდე ახსნილი არ არის. ფორმის ფაქტორი კინგერის ხშირად შემოაქვს თერმომედევობის ფორმულაში. უმეტეს შემთხვევაში ეს სფეროს, ცილინდრის, უსასრულოდ ბრტყელი ფირფიტის, ანუ მარტივი ფორმებისათვისაა. აუცილებლობად მივიჩნიეთ თერმოგრაფიენტული ეფექტის ფორმულის განსაზღვრა შედარებით რთული ფორმისათვის, ანუ როდესაც ნაკეთობაში რამდენიმეჯერ ხდება ზედაპირების გადაკვეთა სხვადასხვა სიმრუდის რადიუსიანი კუთხით. ამ კუთხის სიდიდეს ნაკეთობის მედეგობის განსაზღვრისას თერმული აგრესიის წინააღმდეგ გადააწყვეტი მნიშვნელობა აქვს. თუმცა გავიმეორებთ, რომ მასალის სტრუქტურას, შედგენილობას, ტექსტურას და კომპლექსში კიდევ მრავალ ფაქტორს, მნიშვნელოვანი გავლენა აქვს თერმულ მედეგობაზე. გასათვალისწინებელია, ისიც, რომ სირთულეს წარმოადგენს თერმომდგრადობის მეთოდის და მისი შეფასების შესაბამისი პარამეტრის შერჩევა [12]. არასაკმარისად მიგვაჩნია თერმომდგრადობის განსაზღვრა [13] მხოლოდ მექანიკური სიმტკიცით გაჭიმვაზე, E-ელასტიურობის მოდულისა და ტემპერატურა გამტარებლობის - α -ს მნიშვნელობით. ლიტერატურაში [14-19] მოცემულია ფორმულები, რომლებიც გამოიყენება ნაკეთობის თერმომედევობის შესაფასებლად. სავარაუდოა, რომ დამოკიდებულებაში მექანიკურ სიმტკიცეს, ფორიანობასა და თერმულ მედეგობას შორის, უნდა გავითვალისწინოთ რაოდენობრივი შეფასება ამ პარამეტრებისა. სიმტკიცის [6] ზღვარი ღუნვაზე ფაიფურის მასალისა, როდესაც ხდება მისი დაშლა, დაახლოებით უდრის 56 Mpa [20]. თუ გავითვალისწინებთ ბუდფორტის მონაცემებს [21], ფორების ოპტიმალური მოცულობითი რაოდენობა მატრიცაში არ უნდა აღემატებოდეს 10%, რის შემდეგაც მექანიკა მკვეთრად უარესდება. ამავე დროს ჰელგა გოლიშ-სციბოვი [22] გთავაზობს ფორების ოპტიმალურ ზომებს - 5მკმ. კინგერი [8] გვაძლევს ფორიანობის უმნიშვნელო დამოკიდებულებას თერმული მედეგობის ფაქტორზე. სტრელოვის [23] აზრით, სწრაფად გახურების დროს, ფორიანობა ბზარების ჩასახ-

ვის პროცესზე მნიშვნელოვნად არ მოქმედებს. პრაქტიკიდან [3] ცნობილია, რომ ფორიანობის გაზრდა ხშირ შემთხვევაში ზრდის თერმულ მდგრადობას. მაგრამ ვინაიდან ამ დროს მექანიკური თვისებები მცირდება, რთულია ოპტიმალური ფორიანობის დადგენა.

ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე, ხარკორტის მეთოდითა და წყლით გაცივება დუდილის რეჟიმში, დადგინდა იქნა, რომ ნაკეთობები ამჟღავნებს მაქსიმალურ თერმულ მდგრადობას, როდესაც საერთო დახურული ფორიანობა მატრიცაში 2-8%-ის ფარგლებში, ხოლო ფორების ზომები მერყეობს 1-6 მკმ ფარგლებში. ამავე დროს ისინი მეტნაკლებად სფეროსებრი ფორმისაა და მატრიცაში თანაბრად განაწილებული [24], ანუ მასალა კონსოლიდირებულია.

ჩვენ შევეცადეთ გარკვეული განმარტება შეგვეტანა აღნიშნულ პრობლემაში და მთელი რიგი ექსპერიმენტული მონაცემების გათვალისწინებით შევადგინეთ ემპირიული ფორმულა, რომელიც კავშირს ამყარებს კერამიკული მასალებისა და კომპოზიტებისათვის მნიშვნელოვან მატრიცულ პარამეტრებსა და მასალის თერმოგრაფიენტის მიმართ მედეგობის კოეფიციენტს შორის. ტემპერატურულ ველში მოთავსებულ ნაკეთობაში წარმოქმნილი ტემპერატურული გრადიენტი უნდა ხასიათდებოდეს ეფექტით. ტემპერატურულ პირველად ველზე მოთავსებულ ნაკეთობაში, მის ძირზე წარმოქმნილი თერმული მეორეული ველი პერპენდიკულარულია პირველადი ველისა. წარმოქმნება პირველადი გრადიენტი. ამავე დროს, ნაკეთობების სიმაღლეში წარმოქმნილი ტემპერატურული ველი, პარალელურია პირველადისა, ხოლო პერპენდიკულარულია მეორეულისა. მადუნად, მივიღეთ ტემპერატურული მეორეული სხვაობა მეორეული გრადიენტით. ორივე გრადიენტის ვექტორული მიმართულება ერთ მხარეს არის. თერმოგრაფიენტული ეფექტი განპირობებული უნდა იყოს სითბური გამოსხივების ტრაექტორიის სიმრუდით ტემპერატურულ ველში და ხასიათდებოდეს კოეფიციენტით, რომელიც გვიჩვენებს ნაკეთობის ხანმედევობას თერმოგრაფიენტის პირობებში და გარემოში ტემპერატურის გათანაბრების სიჩქარეს. მისი განზომილებაა წმ/წ .

$$K = r_{\text{ფ}}(1 - \mu) / a \cdot dT/dy. d_{1/2} E a_{\text{ფ}}$$

$r_{\text{ფ}}$ არის მექანიკა ღუნვაზე, მპა; $a_{\text{ფ}}$ - ტემპერატურაგამტარობა; r - ნაკეთობის სიმრუდის რადიუსი ნაკეთობის არჩეული ზედაპირის ელემენტისთვის; E - იუნგის მოდული. a - წირითი გაფართოების კოეფიციენტი, dT/dy - თერმული

გრადიენტი არჩეული y დეკის მიმართ, რომლის გასწვრივაც ადგილი აქვს თერმოგრადიენტს, μ - პუასონის კოეფიციენტი; $d_{1/2}$ - ნაკეთობის კედლის სისქის ნახევარი. აუცილებელია ზოგიერთი ემპირიული დაშვება, მაგ; რომ ნაკეთობა გახურების მხრიდან უნდა იყოს ბრტყელი, ხოლო ნებისმიერი ორი სიბრტყის მიერთების კუთხე უნდა განისაზღვროს სიმრუდის რადიუსით, რომელიც ტოლია ან მეტია

$$r \geq 0,3 \text{ სმ.}$$

ასეთი ნაკეთობის ორი სიბრტყის მიერთების ადგილი გამოითვლება დიზაინის მიხედვით ემპირიულად 30° -იანი მაქსიმალური კუთხით. რაც შეეხება თერმულ გაფართობას და თერმულ დაძაბულობას, მხედველობაში მიიღება, რომ ნაკეთობის გაფართოება თავისუფალია, ანუ მექანიკურად შეუზღუდავია, ხოლო დაძაბულობა შეიძლება წარმოიქმნას ტემპერატურის არა მარტო მყისიერი, არამედ თანდათანობითი ცვლილებით, ვინაიდან ერთ და იმავე თერმული გრადიენტის დროს და სხვადასხვა სიმრუდის რადიუსის შემთხვევაში ნაკეთობაში სხვადასხვა სიდიდის დაძაბულობა წარმოიქმნება.

3. დასკვნა

ფორმულა საშუალებას იძლევა ვიპოვოთ რიცხვითი მნიშვნელობა, რომელიც შეესაბამა მოცემული ნაკეთობის თერმოგრადიენტის მიმართ მედეგობის კოეფიციენტს. ეს უკანასკნელი გაანგარიშებულია პრაქტიკაში გამოყენებული ძირითადი კერამიკული მასალების (კომპოზიციების) იმ მახასიათებლების რიცხვითი მნიშვნელობების გათვალისწინებით, რომლებიც ფიგურირებენ ფორმულაში.

კერამიკული ნაკეთობების დამპროექტებლებს საშუალება ეძლევათ მონაცემები გამოიყენონ, უპირველეს ყოვლისა, დასაშვები თერმოგრადიენტის შერჩევის თვალსაზრისით, თუ ცნობილი იქნება თერმომედეგობის კოეფიციენტის ზღვრული მნიშვნელობა მოცემული მასალისათვის.

ლიტერატურა

1. Grathwohl G. – Mechanische Eigenschaften Konstruktionswerkstoffe. DGM Informationsgesellschaft Verlag, 1993.
2. Munz D., Fett T. – Mechanische Verhalten keramischer Werkstoffe. Springer –Verlag-Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo-Hong Kong, 1989.
3. Масленникова Г.Н., Харитонов Ф.Я.- Электрокерамика, стойкая к термоударам. М.:Энергия, 1977.

4. Davidge, Tappin G. – Thermal shock and fracture in ceramics. “Trans.Brit.Ceram. Soc.”, 1967, vol. 66, N8, p.405.
5. Соболев И.Д., Егоров В.И.-Термическая усталость и термический удар. В кн.: Прочность и деформация в неравномерных температурных полях. М.: Госатомиздат, 1962, с.194.
6. Наценко А.И.- Термостойкость хрупких материалов. В кн.: Теоретические и технологические исследования в области огнеупоров. Сб. науч. тр. украинского НИИ огнеупоров. Вып. 15. М.: Metallurgia, 1971, с. 189-208.
7. Михеев М.А., Михеева И.М. – Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973, с.319.
8. Кинджери В.Д. –Измерения при высоких температурах. М.: Metallurgizdat, 1963. с 466.
9. Buessem W.R. – Mechanical Properties of engineering ceramics. N.Y. 1961, p. 309.
10. Hornbogen E.- Werkstoffe. Springer-Verbag -Berlin - Heidelberg - New York-London-Paris-Tokyo-Hong Kong-Barcelona-Budapest, 1992.
11. Hasselman D.P.H.- Approximate theory of thermal stress resistance of brittle ceramics involving creep. “J. Amer.Ceram.Soc.”, 1967, vol.50, N9, p.454.
12. Харитонов Ф.Я., Шеронова О.А.- Современные методы оценки термостойкости керамических материалов и критерии ее определения// Термостойкая керамика (Тезисы докладов научно-технического совещания г. Тирасполь). М.: Информэлектро, 1969,с.3.
13. Loffler W., Petermann K. – Dichte weissbrennende Cordieritkeramik als Werkstoff fuer Flammenfestesgeschier. “Silikattechnik”, 1968, Bd. 19, N2, p.54.
14. Тимошенко С.П.-Сопротивление материалов. М.: Гостехиздат,1946. с. 456.
15. Winkelmann A., Schott O. – Veberthermische Widerstandskoeffizienten verschiedener Glaser in ihrer Abhangigkeit von der chemischen Zusammensetzung. “Ann. Physik chem.”, 1894 vol.51, p.730.
16. Справочник по машиностроительным материалам. Под ред. Г.И. Погодина-Алексеева. М.: Машгиз, 1959-60. с. 450.
17. Бартнев Г.М.,Лиззнянская С.Г.-Справочник различных способов испытания стекол на термостойкость //Труды всесоюзного НИИ Стекла, 1953, вып.32, с.96-104.
18. Морозов Е.М., Фридман Я.Б. – Термические напряжения и оценка их величины. В кн. Прочность и деформация в неравномерных температурных полях. М.: Госатомиздат, 1962, с. 30.
19. Timoshenko S., Goodier I. N.-Theory of elasticity. N.Y. Mc-Graw-Hill Book Co., 1951, p.250.
20. Baker T. C., Preston F. W. – Fatigue of Glass under static Loads. – “S.Appl. Phys”, 1946, v. 17, p.170.
21. Budworth D. W.-Theory of pore Closure during sintering. Trans. Britt. Ceram. Soc. v.69, 1970, p. 29-31.

22. Helga Gollisch-Szibov-zum Zusammensetzung der Gefuegedaten und mechanischen Eigenschaften Von Porzellan. Doktor Arbeit. 1979, Clausthal, p. 3-117.
23. Стрелов К.К. – Структура и свойства огнеупоров. М.: Металлургия, 1972, с. 216.
24. Zviad Kovziridze, Hans Walter Hennicke, Friedrich Kharitonov. Thermomechanics of Ceramics Monograph. 1998 FH Karlsruhe BRD.
-

UDC 621.9.02

FORMULA OF THERMOGRADIENT EFFECT

Z. Kovziridze

Resume: Goal. Development of empiric formula, that will establish relationship between major matrix parameters of ceramic materials and composites and the coefficient of resistance of material to thermogradient of the material.

Method. Harcort method and water cooling in boiling regime, till evaporation of water.

Results. It was proved that work-pieces show maximum thermal resistance and preservation of exploitation properties when total closed porosity in the matrix is within the range 2-8% and pore sizes range 1-6 mcm and pore are mostly of spherical form and are homogeneously spread in matrix.

Conclusion. Thermogradient effect formula was developed for complex form work-pieces, when surfaces are intersected several times by various curvature radius angles.

Key words: thermogradient effect; matrix; radius of curvature; temperature field; parameters; thermal tension; thermal dilatation.

შპს 6219.02

მაკრომექანიკური მახასიათებლების ფორიანი ფაზისაგან დამოკიდებულების ფორმულა

ზ. კოვზირიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ბიონანოკერამიკისა და ნანოკომპოზიტების ტექნოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 69

E-mail: kowsiri@gtu.ge

რეზიუმე: მიზანი. მასალათა კვლევაში და მათი ინდუსტრიაში არა მარტო გამოყენების, არამედ ხანგრძლივი პერიოდით მუშაობისათვის მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება კონსოლიდირებული სხეულის მაკრომექანიკური თვისებების დამოკიდებულებას ფორიანი ფაზის შემცველობაზე, ზომებზე, გადანაწილებაზე მატრიცაში და ფორმის ფაქტორზე. კერამიკისა და კერამიკული კომპოზიტების ექსტრემალურ პირობებში მუშაობის დროს აღნიშნულ თვისებებს უდიდესი როლი ენიჭებათ ხანმედგობის და ხანგამძლეობის თვალსაზრისით, ვინაიდან ნებისმიერი მასალა ექსტრემალურ პირობებში მუშაობისას განიცდის დაბერებას. ჩვენი სამუშაოს მიზანია შემუშავდეს კერამიკისა და კერამიკული კომპოზიტების მაკრომექანიკური თვისებების, მასალათა სტრუქტურაში ყველაზე სუსტი მდგენელის, ფორიანი ფაზისაგან დამოკიდებულების ფორმულა, რაც თეორეტიკოსებს და პრაქტიკოსებს საშუალებას მისცემს სწორად შეარჩიონ და განავითარონ ტექნოლოგიები და ტექნოლოგიური პროცესები.

მეთოდი. კერამიკისა და კერამიკული კომპოზიტების მიკრო- და მაკროსტრუქტურული, მიკრო- და მაკრომექანიკური მახასიათებლების, ფორიანი ფაზის მორფოლოგიის შესწავლისა და ანალიზის საფუძველზე განისაზღვრა და შეიქმნა ფორმულის პარამეტრები.

შედეგები. ფორმულა მოიცავს მაკრომექანიკურ თვისებებს, ანუ როდესაც ნაკეთობა მთლიანად იშლება: მექანიკას ღუნვაზე სამი და ოთხწერტილიანი დატვირთვით, მექანიკას კუმშვაზე, წყვეტაზე, დარტყმით სიბლანტეზე. მორფოლოგიური მახასიათებლებიდან: ფორიანი ფაზის შემცველობას მატრიცაში და მათ გადანაწილებას, ზომებს, ფორას ფორმის ფაქტორს. აღნიშნული თვისებების კორელაციურ დამოკიდებულებას სტრუქტურის სხვა მდგენელებისაგან, როგორებიცაა: კრისტალური და მინისებური ფაზები. მოცემულია სრულიად ახალი- ფორების გადანაწილების ფაქტორის განსაზღვრება.

დასკვნა. შექმნილი ფორმულა არის კრებისითი ხასიათის და მისი გამოყენება მკვლევარებს და პრაქტიკოსებს საშუალებას მისცემს სწორად დაგეგმონ და ზუსტად შეასრულონ წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების ყველა პოზიცია.

საკვანძო სიტყვები: ფორიანი ფაზა; ფორიანი ფაზის მატრიცაში გადანაწილების ფაქტორი;

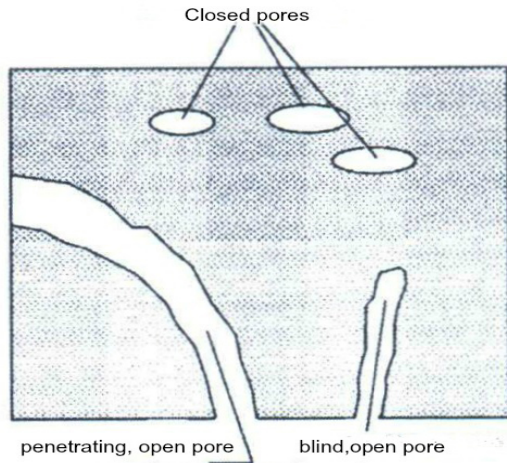
მაკრომექანიკა; ფორას ფორმის ფაქტორი; ფორების ზომები; ფორების შემცველობა მატრიცაში.

1. შესავალი

კერამიკულ მასალათა სტრუქტურულ-მექანიკური კვლევისას მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ფორიანი ფაზის შემცველობას, ფორების ზომებს, ფორმებს, მათი ფორმის ფაქტორს¹, დახურულია, გამჭოლია თუ ნახევრად გამჭოლი (სურ. 1) და მათ გადანაწილებას მატრიცაში. მტკიცებას არ საჭიროებს ის ფაქტი, რომ ფორა მასალათა სტრუქტურაში ყველაზე სუსტი მდგენელია, იქნება ის ღია თუ დახურული. ჩვენ განვიხილავთ დახურულ ფორიან ფაზას, ანუ, როდესაც მასალა არის შემცვეარი, კონსოლიდირებული და ავლენს თავის საუკეთესო საქსპლოატაციო თვისებებს. ფორიანი ფაზა მკვეთრად ამცირებს მასალათა მექანიკურ თვისებებს, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, როდესაც მისი მოცულობითი შემცველობა სხვადასხვა ტექნოლოგიური მიზეზების გამო მაღალია, ანუ აღემატება 8-9 პროცენტს ბუდვორტის მონაცემებით [1] და ხასიათდება დიდი, 5-7 მკმ-ზე მეტი ზომებით. ფორების მატრიცაში მცირე შემცველობა, არა უმეტეს 1-3 პროცენტისა, მათი მცირე ზომები, რომლებიც მერყეობს 0.1-დან 5 მიკრონამდე, თანაბარი გადანაწილება მატრიცაში, მრგვალი სფეროსებური ფორმა, უზრუნველყოფს მასალის არა მარტო მაღალ მექანიკურ თვისებებს, არამედ სხვა საუკეთესო საქსპლოატაციო თვისებებსაც, როგორებიცაა: მხურვალსიმტკიცე, მხურვალმდეგობა, საქსპლოატაციო ხანმედგობა, მედეგობა თერმული და აირთერმული დარტყმების მიმართ [2], ელექტრო თვისებები - მაგ. მიკროსქემებში მათი გამოყენებისას, მედეგობა ხახუნის პირობებში, ტრის პირობებში, დარტყმით მექანიკურ და რთული საქსპლოატაციო დატვირთვებისა და დაძაბულობების პირობებში, მაგ. ელექტროგადამცემ ხაზებზე [3-5] და სხვა. ზემოთქმულიდან გამომდინარე მნიშვნელოვანი უნდა იყოს ფორიანი ფაზებზე დამოკიდებული მაკრომექანიკური თვისებების ფორმულის განსაზღვრა.

¹ ფორმის ფაქტორში მოიაზრება უდიდესი მახასიათებელი ზომის ფარდობა უმცირესთან, რაც კონკრეტულ შემთხვევაში მოცემული ფაზის, მისი ერთეულების და ფორების ერთობლიობის დახასიათების საშუალებას გვაძლევს.

როდესაც ღია ფორიანობა წყალშთანთქმის მიხედვით ნულის ტოლია ან მასთან მიახლოებული 0.5%-ზე ნაკლებია, მაშინ დახურული ფორების მოცულობითი წილი მატრიცაში ძირითადად 0.1-დან 9 მოცულობით პროცენტს შორის მერყეობს [1]. სურ 1-ზე მოცემულია ფორების სახეობები [6].



სურ. 1. ფორების სქემატური წარმოდგენა

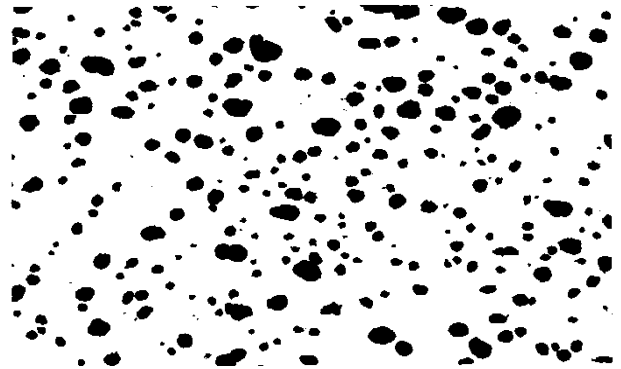
2. ძირითადი ნაწილი

ჩვენ მიერ გაანგარიშებული ფორიან ფაზებზე დამოკიდებული მექანიკური თვისებების მათემატიკური ფორმულა ასეთია:

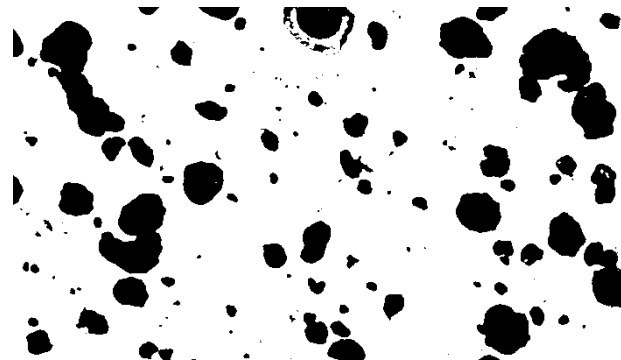
$$\sigma_m / p = \frac{P}{F_p \cdot P_d \cdot P_{vol} \cdot P_m}$$

სადაც P არის დატვირთვა, MPa; F_p - ფორას ფორმის ფაქტორი; P_d - მატრიცაში ფორების გადანაწილების ფაქტორი. აღნიშნული სიდიდე განისაზღვრება 1-ის ტოლად, მისი მნიშვნელობის შეფასება დამოკიდებულია მკვლევარზე გამომდინარე მორფოლოგიური სურათიდან. იმისდა მიხედვით, თუ როგორ არის ფორები მასალაში გადანაწილებული და რა ზომისაა. ფაქტორის სიდიდე შესაძლებელია იცვლებოდეს 1-დან 0.8 მეათედამდე. თუ ფორები თანაბრად არის მატრიცაში გადანაწილებული და დაახლოებით ერთი ზომისაა, ფაქტორი განისაზღვრება 1-ის ტოლად. ფაქტორი განისაზღვრება 0.9-ით იმ შემთხვევაში თუ ფორების გადანაწილება არათანაბარია, და 0.8-ით, თუ ფორების კოალესცენციის² პროცესია დაწყებული; P_{vol} - ფორიანი ფაზის მოცულობითი

წილი მატრიცაში; P_m - ფორების საშუალო ზომა (სურ 2 ა და ბ).



ა)



ბ)

სურ. 2. ცელზიანის ელექტროკერამიკის დახურული ფორიანი ფაზის მორფოლოგიური სურათი. ა) 1410°C-ზე გამომწვარი შეცხობის ტემპერატურული ინტერვალის ქვედა ზღვარზე, ბ) 1500°C-ზე გამომწვარი შეცხობის ტემპერატურული ინტერვალის ზედა ზღვარზე. მიმდინარეობს ფორების კოალესცენციის პროცესი

სურ. 2-ზე მოცემულია სამკომპონენტიან სისტემაში - $BaO-Al_2O_3-SiO_2$ ცელზიანის კერამიკის შეცხობის ტემპერატურულ ინტერვალში გამომწვარი ნიმუშები. ორივე შემთხვევაში ღია ფორიანობა წყალშთანთქმის მიხედვით ნულის ტოლია. 1470°C არის ამ კერამიკის ოპტიმალური შეცხობის ტემპერატურა, ანუ როდესაც მასალა მზად არის ინდუსტრიაში ექსპლუატაციისათვის.

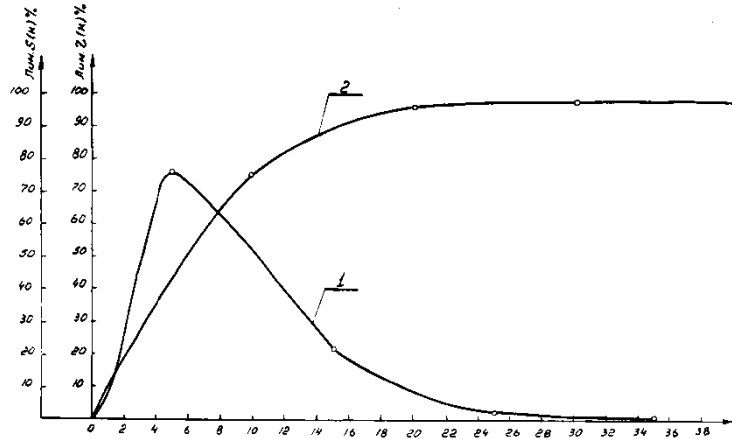
1500°C-ს პირობებში, კერამიკა შეცხობის ინტერვალის ზედა ზღვარზეა, წყალშთანთქმა ნულის ტოლია, მაგრამ მატრიცაში მიმდინარეობს ფორების კოალესცენცია, რაც (ბ) სურათზე ნათლად ჩანს. აშკარაა, რომ ამ შემთხვევაში მექანიკური სიმტკიცე იკლებს და მოცემული მასალისათვის შეადგენს 66MPa. 1410°C-ზე მექანიკა ღუნვაზე არის 79MPa. ამ შემთხვევაში ფორების გადანაწილების ფაქტორი აიღება 0.8.

² კოალესცენცია, ფორების ზრდა მყარ სხეულში, რასაც თან ახლავს მათი ჯამური ზედაპირის შემცირება საერთო მოცულობის უცვლელობის დროს. ფორების კოალესცენციის პროცესი შეინიშნება შეცხობის ბოლო სტადიებზე და განისაზღვრება მსხვილი ფორების ზომების ზრდით, მცირე ზომის ფორების ვაკანსიური ხსნადობის შედეგად.

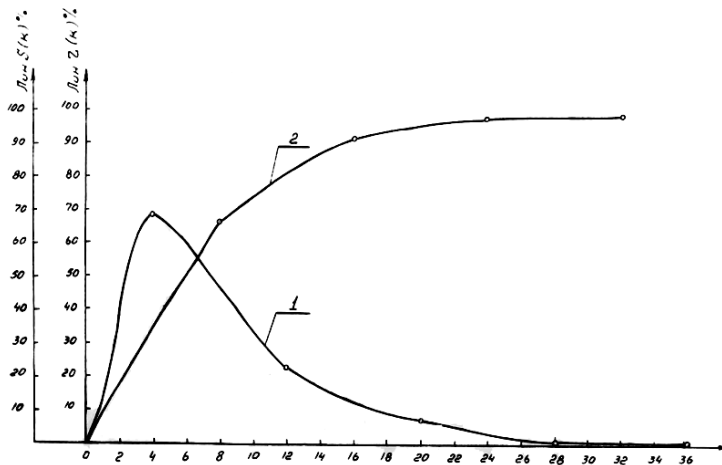
79x0.8=63.2. სხვაობა 66-სა და 63.2-ს შორის არის ცდომილება-4.24 %. სხვა მრავალ შემთხვევებში ნაანგარიშევი ფორების მასალაში გადანაწილების ფაქტორი, თავსდება ამ ცდომილების ფარგლებში [7-8]. ფორმულის დანარჩენი პარამეტრები იანგარიშება სტრუქტურული კვლევის შე-

დეგად მიღებული ოპტიკური და ელექტრონულ-მიკროსკოპიული სურათებიდან.

სურ. 3. ა) და ბ)-ზე მოცემულია დახურული ფორიანობის ხაზობრივი ანალიზის შედეგები ელექტროტექნიკური კერამიკის იმავე შემადგენლობისათვის, რომელიც გამოიწვარია 1410°C და 1500°C ტემპერატურებზე (სურ. 2).



a



b

სურ. 3. ელექტროკერამიკული მასალის დახურული ფორიანობის ხაზობრივი ანალიზი.
ა) 1410°C-ზე გამოიწვარი, ბ) 1500°C-ზე გამოიწვარი. 1. ფორების სიხშირე.
2. ფორიანობის ჯამური სიხშირე

სურ.3-ზე ასახულია მასალათა შეცხოვის დასაწყის და საბოლოო სტადიაზე დახურული ფორების წარმოქმნისა და მათი მატრიცაში გადანაწილების პროცესი. შეცხოვის დასაწყის სტადიაზე 1410°C-ს დროს (სურ. 3 ა) ფორების განაწილების მრუდი 1, გვიჩვენებს, რომ მასალა შეიცავს საერთო ფორიანობიდან 75% ფორებს ზომით 5 მკმ-ზე ნაკლებს, ხოლო ჯამური მრუდი (მრუდი 2) გვიჩვენებს საერთო ფორიანობიდან 95% ფორებს ზომით 14 მკმ-ზე ნაკლებს. შეცხოვის ბოლო სტადიაზე 1500°C-ზე, მასალა

შეიცავს ფორების 70%-ს 4 მკმ-ზე ნაკლები ზომით (მრუდი 1) და 90%-დე ფორებს ზომით 12 მკმ-ზე ნაკლებს. მხოლოდ 5% და 10%-ს ფორებისა შესაბამისად შეცხოვის დასაწყის და საბოლოო სტადიებზე, ზომები უფრო მეტი აქვთ, ვიდრე ოპტიმალური, რაც მიღებულია საერთოდ კერამიკული მასალებისათვის, ანუ 5 მკმ. აღნიშნული ფორების საშუალო ზომა მეტია 9 მკმ-ზე. მაკენზიმ და შეტლერფორთმა თერმული დამუშავების დროს მასალათა ჩაჯდომის სიჩქარისათვის გამოიყვანეს ტოლობა [9]. ზედაპირუ-

ლი დაჭიმულობის გავლენა ტოლია $2\gamma/r$ წნევისა, რომელიც არსებობს ყველა ფორას შიგნით, ხოლო იმ შემთხვევაში, თუ მასალა არაშეკუმშვადია, ტოლია ჰიდროსტატიკური წნევისა $+2\gamma/r$, რომელიც მოდებულია მასაზე.

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{2}{3} \left(\frac{4\pi}{3}\right)^{1/3} n^{1/2} \frac{\gamma}{n} (1-\rho)^{2/3} \rho^{1/3},$$

სადაც p - არის ფარდობითი სიმკვრივე (მოცულობითი წონის ფარდობა ხვედრით წონასთან), n - ფორების რიცხვი რეალური მასალის ერთეულ მოცულობაში. ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ ფორიანი ბლანტი მასალის თვისებებსა და მკვრივი მასალის თვისებებს შორის დამყარდეს კავშირი. ფორების რაოდენობა დამოკიდებულია მათ ზომებსა და ფარდობით სიმკვრივეზე

$$n \frac{4\pi}{3} r^3 = \frac{\text{ფორების მოცულობა}}{\text{მყარი მასალის მოცულობა}} \frac{1-\rho}{\rho},$$

$$n^{1/3} = \left(\frac{1-\rho}{\rho}\right)^{1/3} \left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/3} \frac{1}{r}.$$

ტოლობების გაერთიანება გვაძლევს

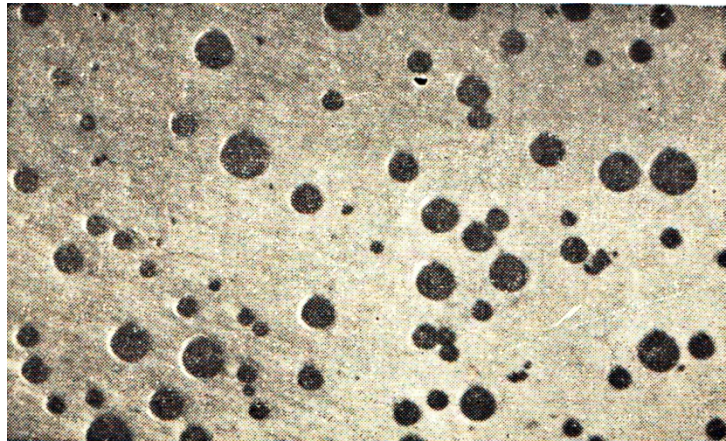
$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{3\gamma}{2r0n} (1-\rho),$$

სადაც r_0 - ნაწილაკების საწყისი რადიუსია.

0.6 ფარდობითი სიმკვრივის მიღწევისას, სწრაფად წარმოიქმნება სფერული ფორმის ფორები. სრული გამკვრივების შემთხვევისათვის მივიღებთ:

$$t_{\text{sek}} = \frac{1,5r_0\eta}{\gamma}.$$

ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებები წარმატებით შეიძლება იქნეს გამოყენებული პროცესის აღწერისათვის თხიადი ფაზის მონაწილეობით. ჰელგა გოლიშ-სციბოვმა [10] გამოიკვლია ფორიანობის გავლენა ფაიფურის მექანიკურ სიმტკიცეზე და მიიღო რა ფორების საშუალო ოპტიმალურ ზომად 5 მკმ, დაადგინა, რომ მასალის სიმტკიცე დამოკიდებულია არა მარტო ფორიანობაზე, არამედ მათ ზომასა და ფორმაზე. შედარებითი ანალიზისათვის მოგვყავს მაგარ ფაიფურში ფორების მორფოლოგიური სურათი 4.



სურ. 4 ფორების სტრუქტურა
1420°C-ზე X95 გამომწვარ მაგარ ფაიფურში

სურ. 4-დან ნათლად ჩანს, რომ მასალა კარგად შემცხვარია, ანუ კონსოლიდირებულია და იგი შეიძლება ჩაიშვას ინდუსტრიაში გამოყენებისათვის. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ იდეალურად კონსოლიდირებული მასალის მიღება ურთულეს ტექნოლოგიურ პროცესს და იშვიათობას წარმოადგენს. მორფოლოგიური სურათიდან ჩანს, რომ ფორები მრგვალი ფორმისაა, მაგრამ არათანაბარი ზომის და დიამეტრში განსხვავება საკმაოდ დიდია. როგორც ჩანს, რომელიდაც ტექნოლოგიურ პოზიციაზე იმ 26 ოპერაციიდან რომელიც საჭიროა ასეთი მასალის მისაღებად, მოხდა ტექნოლოგიური დარღვევა, რომლისგანაც დაზღვეული არც ერთი ტექნოლოგია არ არის. სავარაუდოდ ეს დაყალიბების და თერმული დამუშავების პროცესს ეხება. ამ შემთხვევაში ფორების მატრიცაში გადანაწილების ფაქტორი შეფასდება 0.9-ით. ფორების ერთნაირად მრგვალი ფორმა

მთლიანად მატრიცაში, უზრუნველყოფს ფაიფურის მაღალ მექანიკურ თვისებებს. გამომწვარი ნაკეთობა შედგება ცალკეული მარცვლებისაგან, რომლებიც განცალკევებულია ფორებით. საწყისი ნედლეულების სახეობისა და წარმოების მეთოდოლოგიისაგან დამოკიდებულებით ფორების რაოდენობა შეადგენს 25-60 მოცულობით %-ს. მასალათა ტექნიკური თვისებების გასაუმჯობესებლად აუცილებელია მნიშვნელოვნად შემცირდეს ფორების შემცველობა მატრიცაში. ბუდვორტმა [1] გამოიკვლია სინთეზის თეორია ფორიანობასთან მიმართებაში და მათემატიკურად გაითვალა ზედაპირული ენერჯის გავლენა ცილინდრული ფორების სისტემაზე. მან აჩვენა, რომ ყოველ სინთეზირებულ მასაში საერთო ფორიანობა შეადგენს დაახლოებით 9%-ს. ფორიანობის გავლენა მექანიკურ თვისებებზე აღწერილია სამუშაოში [1]. სტაბენოვმა და ჰენიკემ გამოიკ-

ვლიეს ალუმინის უანგის შემცველი ფაიფური, მისი სტრუქტურის აღნაგობისა და მექანიკური თვისებების, გამოწვის და საბოლოო ტემპერატურაზე დაყოვნების დროზე დამოკიდებულებით.

მათ აღმოაჩინეს სტრუქტურაში ფორების გადანაწილების მუდმივი, უწყვეტი ცვლილება და სიმტკიცისა და ელასტიკურობის დამოკიდებულება ფორიანობაზე [12].

ფორების სიდიდე და გადანაწილება მატრიცაში, სისტემატურად იცვლება. გამოწვის დროს, ატმოსფერო ღუშელში გავლენას ახდენს წყლის ორთქლის პარციალური წნევის ცვლილების მეშვეობით ფორებში აირების შემცველობაზე [13-14]. ნაწილაკების ფორმის და წარმოების ტექნოლოგიის გავლენა ფორების წარმოქმნაზე სინთეზის პროცესში, მოცემულია სამუშაოში [15]. ოელმა [16] გამოიკვლია სინთეზის პროცესი ფორების სტრუქტურაზე დამოკიდებულებით და

აჩვენა, რომ ფორების რადიუსის უმნიშვნელო ცვლილება იწვევს სინთეზის პროცესის ვარდნას და სინთეზის მაქსიმალურ ტემპერატურაზე გადასვლისას, ხდება სტრუქტურის ნაწილობრივი აფუება. რაც დასტურდება ჩვენი მასალის შემთხვევაში 1500°C-ზე (სურ. 2 ბ). ფორებმა მასალაში შეიძლება შეიცვალოს ფორმა და გარდაიქმნან მოგრძო ფორმის ფორებად. ამასთან არ არის აუცილებელი, რომ შეიცვალოს მათი საერთო ზომა. უპირატესად თერმული დამუშავების პროცესში იცვლება, როგორც ფორას ფორმა, ასევე ზომა. ამ პროცესს ადასტურებს ჩვენ მიერ წარმოდგენილი კერამიკა 1500°C-ზე. 1 ცხრილში მოცემულია ფორიანობის ცვლილების დინამიკა ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით. ანალიზი ჩატარდა Zeis-Wang-ის ხელსაწყოზე.

ცხრილი 1

ცელზიანის ელექტროკერამიკის მატრიცული თვისებები

ტემპერატურა °C, > მაჩვენებელი	1380	1410	1440	1470	1500	1550
ფორების საშუალო ზომა, d- მკმ	7.6	8.0	7.8	5.1	12.8	26.4
საშუალო მანძილი ფორებს შორის მატრიცაში l-მკმ	43.6	48.5	92.2	80.0	98.0	380.0
ფორების შემცველობა, V %	16.0	14.0	8.8	8.3	9.8	12.8

1 ცხრილში მოცემულია ჩვენ მიერ წარმოდგენილი ელექტროკერამიკული ცელზიანის მასალის ფორიანობის სტრუქტურის მონაცემები. ცხრილიდან აშკარად ჩანს ფორების ზომების ცვლილების დინამიკა ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით. 1470°C არის გამოწვის ის ტემპერატურა, როდესაც მასალა შეიცავს ფორებს მინიმალური ზომებით - 5.1 მკმ, შესაბამისად, მანძილი ფორებს შორის მატრიცაში არის ოპტიმალური - 80 მკმ და ფორების პროცენტული შემცველობა მინიმალური-8.3. სწორედ ეს ტემპერატურა შეიძლება ჩაითვალოს ამ შემადგენლობის ცელზიანის ელექტროკერამიკის ინდუსტრიაში გამოყენების ტემპერატურად. შევიტანოთ ეს მონაცემები ჩვენ მიერ წარმოდგენილ მათემატიკურ ფორმულაში. მივიღებთ:

$$\sigma_m / p = \frac{P}{F_p \cdot P_d \cdot P_{vol} \cdot P_m} = \frac{79}{1.5 \times 0.9 \times 8.3 \times 5.1} = 57.15 \text{ MPa}$$

ამდენად, ამ კონკრეტული მასალისათვის მაკრომექანიკური მახასიათებლის დამოკიდებულება ფორიანი ფაზისაგან შეადგენს 57.15 MPa.

3. დასკვნა

ჩვენ მიერ მოცემულ ფორმულაში, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რამდენად დამოკიდებულია მასალათა მაკრომექანიკური, ანუ მათი მთლიანად

დაშლის მახასიათებლები ფორების ზომაზე, ფორმაზე, გადანაწილებასა და შემცველობაზე მატრიცაში, ფორას ფორმის ფაქტორზე, გათვალისწინებულია კონსოლიდირებული მასალის სტრუქტურული მდგენელების ყველაზე სუსტი ფაზის გავლენა თვისებათა იმ ერთობლიობაზე, რომლებიც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ ნაკეთობათა ინდუსტრიაში მუშაობის უნარიანობას და ხანგრძლივობას. თერმული დამუშავების პროცესში მნიშვნელოვანია ფორების წარმოქმნის დინამიკა, მათი გადანაწილება მატრიცაში და ფორმის ჩამოყალიბება, რაც ნაჩვენებია ჩვენ კვლევაში იმ ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების გათვალისწინებით, რომლებიც მიმდინარეობს თერმული აგრესიის დროს. აქ უმნიშვნელოვანესია ფორების მატრიცაში გადანაწილების ფაქტორი, რაც სიახლეა და ჩვენი ინფორმაციით, ჯერ არცერთ კვლევაში არ გამოყენებულა. ჩვენი ფორმულა სრულ პასუხს იძლევა კერამიკული ნაკეთობების ფორიანი ფაზის მორფოლოგიასა და მაკრომექანიკურ თვისებათა შორის კორელაციაზე და მისი გამოყენება შესაძლებელია კერამიკისა და კერამიკული კომპოზიტების ყველა სახეობისათვის, რომლებიც გამოიყენება მოწინავე ტექნოლოგიებში, ტექნიკის მრავალ დარგში, საყოფაცხოვრებო პირობებში.

ლიტერატურა

1. Budworth D.W. Theory of pore closure during sintering. Trans. Brit. Ceram. Soc. 69. 1970 p.29-31.
2. Zviad Kovziridze, Hans Walter Henricke, Fridrich Kharitonov. Thermomechanics of Ceramics. Monograph. Fachhochschule Karlsruhe Hochschule fuer Technik. Karlsruhe. Germany. 1998.
3. Ганс Валтер Хеннике, Фридрих Яковлевич Харитонов, Звиад Давидович Ковзиридзе. Бариисодержащая электрокерамика стойкая к термоударам. Монография Издательство Тбилисского Университета. Тбилиси. Грузия. 1992.
4. Zviad Kovziridze, Jimsher Aneli, Natela Nijaradze, Gulnazi Tabatadze. Ceramic and Polymer Composites. Monograph. LAMBERT Academic Publishing. Germany. 2017.
5. ზ. კოვირიძე, ნ. ნიჟარაძე, გ. ტაბატაძე, ჯ. ანელი. კერამიკული და პოლიმერული კომპოზიტები. მონოგრაფია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2016.
6. W. Kollenberg. Technische Keramik. Vulkan-Verlag Essen. Germany. S.21. 68.
7. Burggraf A. I. Korngroesse. Korngroessenverteilung und Korngrenzen im Zusammenshaften 27. 1977. Iv. 6. s.102-114.
8. Dudrova E. Kubelik I. Influence of Sintering Conditions upon the porosity and the strength of compacts. Powder Met., 3. 1979. 4. 1. P. 183-185.
9. Mackenzie J. K., Schuttleworth R. Proc. Phys. Soc. London. B. 62. 1949. P.883.
10. Helda Gollisch-Szibov. Zum Zusammensetzung der Gefuegedaten und mechanischen Eigenschaften von Porcellan. Dis zur Erlengung des grades eines Doctor Ingenieur 1979 April TU Clausthal s. 3-117.
11. Krockel O. Der Einfluss der Porositaet auf die mechanische Festigkeit von keramischen Werkstoffen. Silikattechnik 23.1972. 3. S. 83-87.
12. Stabenow R. Henricke H.W. Untersuchung zum Phasenaufbau, Gufuege und mechanischen Eigenschaften von Tonerdeporcelan. Keramische Zeitschrift. 28. # 5. 1976 s. 227-229. # 6. 1976., s. 287-290.
13. Scholze H. Kausku W. Blasverteilung in Porcelanglasuren. Keramische Zeitschrift. 20. # 12. 1968. S. 277-278.
14. Hestber I. Scholze H. Massenspektrometrische Untersuchungen zum Einfluss der Brennatmosphaere auf die Blasenbildung in Porcellanglasuren. Berichte der Deutsche Keramische Gesellschaft. 49. 1972. 1 s. 357-362.
15. Dudrova E. Kubelik I. Influence of sintering conditions upon the porosity and the strength of compacts. Powder Met. 3 1979. 4. S. 183-185.
16. Oel H.J. Das Sintern von Glasern als Auswirkung von Zaehigkeit und Oberflaechenspannung. Berichte DKG. 37. 1960. 9. S. 424-428.

UDC 621.9.02

MACRO-MECHANICAL PROPERTIES - POROUS PHASE DEPENDENCE FORMULA

Z. Kovziridze

Resume: Goal. In the researches of materials science and materials industry the significant role with the view of their usage as well as long terms operation is attributed to the relation of macro-mechanical properties of consolidated bodies and porous phase composition, its dimensions, redistribution in the matrix and form factor. These properties play extremely great role with the view of tolerance and durability for exploitation of ceramic materials and ceramic composites in extreme conditions, since any material in the process of operation in extreme conditions undergoes ageing. The goal of our work is to develop a formula for dependence of macromechanical properties of ceramics and ceramic composites on porous phase, the weakest component in the material structure. This formula will enable theorists and practitioners to select and develop technologies and technological processes correctly.

Method. On the basis of studies and analysis of micro- and macro-mechanical characteristics of ceramics and ceramic composites and morphology of porous phase the formula was developed and its parameters were determined.

Results. The formula includes macromechanical properties, that is, when the work piece is destructed completely: mechanics at bending at three and four point loading, mechanics at compaction, at rupture, shock viscosity; morphological characteristics such as: porous phase composition in matrix and their rearrangement, dimensions, pore form factor; correlative dependence of the above listed properties on other components of the structure such as: crystalline and glassy phases. Absolutely new definition of pore rearrangement factor has been offered.

Conclusion. Formula that was developed by us is of cumulative character and its application will enable researchers and practitioners to plan correctly and fulfill accurately all positions of industrial technologic processes.

Key words: porous phase; factor of porous phase rearrangement in matrix; macromechanics; pore form factor; pore dimensions; pore composition in matrix.

შპს 669:621:762

კაკლის და თხილის ნაყოფებიდან, გოგრის და ნესვის თესვებიდან ზეთის მოცილების შემდეგ მიღებული მასიდან მცენარეთმცოდნეობის (ნაპრების) მომზადება

გ. პატარიძე¹, ნ. გელოვანი², მ. მაისურაძე¹

¹ ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 69,

² ფარმაციის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 69

E-mail: gigapataridze7@gmail.com, n.gelovani@gtu.ge, m_maisuradze@gtu.ge

რეზიუმე: მიზანია ნაშრომში მოცემულია ჩვეულებრივი კაკლის და თხილის ნაყოფებიდან, გოგრის და ნესვის თესვებიდან ზეთის მოცილების შემდეგ მიღებული მასის შრობა, გამომშრალი ნედლეულიდან რთული ფხვნილის მიღების და შერევის ტექნოლოგიური სქემა – მშრალი, სპეციალიზებული პროდუქტების (ნაკრებების) - სამკურნალო-პროფილაქტიკური, ვიტამინურ-ამინომჟავური კომპლექსების მიღების მიზნით.

სამკურნალოწამლო მცენარეულ ნაკრებებს ფართო გამოყენება აქვს, რაც მათი დადებითი თვისებებითაა განპირობებული: 1. მოქმედი ნივთიერება მცენარეულ ნედლეულში ნატიურ მდგომარეობაშია შენარჩუნებული; 2. მარტივია მომზადების ტექნოლოგია. 3. ხელმისაწვდომია.

ნაკრებების უარყოფით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ არ წამოადგენს დასრულებულ სამკურნალოწამლო ფორმას.

მეთოდი. 1. ნედლეულის შრობისთვის შევარჩიეთ ოპტიმალური მეთოდი, გოგრის და ნესვის ნაყოფებისთვის შრობის ტემპერატურა არ აღემატებოდა 40°C და ტენიანობა 10%; კაკალი და თხილი გამოვასრეთ მაშრობ კარადაში, ტემპერატურა არა უმეტეს 60°C. 2. განვსაზღვრეთ ექსტრაქტული ნივთიერებების კონცენტრაცია ექსტრაქტის აორთქლების და მუდმივ წონამდე გამოშრობის მეთოდით; კაკლის და თხილის ნაყოფებიდან, გოგრის და ნესვის თესვებიდან ზეთის მოცილების შემდეგ მიღებული მასის (კობტონი - ჩენო, დარჩენილი ზეთოვანი მცენარეების თესვიდან ზეთის გამოხდის შემდეგ) შრობა მოვახდინეთ მაშრობ კარადაში 35°C-ზე და მოვახდინეთ თითოეული ნიმუშის ჰომოგენიზაცია ცალცალკე.

შედეგები. მოვიძიეთ და რიგ შემთხვევებში მოვახდინეთ ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების რაოდენობრივი განსაზღვრის მეთოდების მოდიფიცირება; დავადგინეთ არჩეულ მცენარეებში ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების შემცველობის ნორმები საქართველოს რეგიონების მიხედვით; დადგინდა, რომ მასალის ჰომოგენიზაცია წყალხსნარებში უკეთ მიმდინარეობს, ამასთან, უნდა მოვერიდოთ pH-ის ექსტრემალურ

მნიშვნელობებს, ოსმოსურ წნევასა და მაღალ ტემპერატურას.

დასკვნა: ჩვენ მიერ შერჩეული მცენარეული ნედლეულიდან: სამკურნალო-პროფილაქტიკური საშუალება მოგამზადეთ, როგორც დოზირებული ისე არადოზირებული ნაკრებების სახით. შრობის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 60°C. მთლიანი ნაკრების გაშრობის დროს, კომპონენტების დენატურაციის თავიდან ასაცილებლად მკაცრად ვაკონტროლებდით ამ ტემპერატურულ შუალედს.

საკვანძო სიტყვები: ჰომოგენიზაცია; მცენარეთმცოდნეობა; თხილი, კაკალი; ნესვი; გოგრა; სინამე; ნაცრიანობა.

1. შესავალი

მცენარეებში ყოველთვის გვხვდება ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების კომპლექსი, მაგრამ თერაპიული და პროფილაქტიკური ზემოქმედების უნარი აქვს ერთს ან რამდენიმე მათგანს, ასეთ ნივთიერებებს უწოდებენ მოქმედ ნივთიერებებს და იყენებენ სამკურნალო პრეპარატების წარმოებაში.

მცენარეებში აგრეთვე გვხვდება ე.წ. თანმხლები ნივთიერებები - ეს პირველადი და მეორეული სინთეზის პროდუქტების (მენტოლი, პაპავერინი, ტანინი) პირობითი სახელია. ზოგი თანმხლები ნივთიერება დადებითად მოქმედებს ადამიანის და ცხოველის ორგანიზმზე, რადგან ისინი ავსებენ ძირითადი მოქმედი ნივთიერების ზემოქმედების ეფექტს. მაგალითად: ვიტამინები, მინერალური ნივთიერებები, ფლავანოიდები - აძლიერებენ მოქმედი ნივთიერებების შეწოვის უნარს, აუმჯობესებენ მათ დადებით ზემოქმედებას ორგანიზმზე, ან პირიქით - ასუსტებენ ძლიერმოქმედი ნივთიერებების მავნე ზემოქმედებას.

სასარგებლო თანმხლები ნივთიერებების გარდა, მცენარეებში არის მავნე ნივთიერებებიც, რომლებიც აუცილებლად უნდა მოვაცილოთ, სანამ მცენარეს გამოვიყენებთ გარკვეული მიზნით.

კაკლის და თხილის ნაყოფების, გოგრის და ნესვის თესვების ბიოქიმიური შედგენილობა

მოიცავს საკვები და ფიტოქიმიური ნაერთების რთულ კომპლექსს, რომელთა შემადგენლობაც საშუალებას გვაძლევს განვიხილოთ ისინი როგორც ნედლეულის წყარო, ფართო ასორტიმენტის პროდუქციის წარმოებისათვის. ესენია საკვები, ფარმაცევტული, კოსმეტიკური და ტექნიკური დანიშნულების ზეთები, საღებავები, სხვადასხვა ფუნქციონალური დანიშნულების ბიოლოგიურად აქტიური დანამატები, საკვები ცილები, ტანინი, ფიტინი და სხვა.

2. ძირითადი ნაწილი

წინასწარ განსაზღვრული დანიშნულების მქონე (მატონიზებელი, გამააქტიურებელი, ზომიერად მასტიმულირებელი სამკურნალო-პროფილაქტიკური), მრავალკომპონენტიანი მცენარეულების მისაღებად;

შევარჩიეთ ნედლეული:

1. ჩვეულებრივი კაკლის (კაკალი, ნიგეზის ხე (ლათ. *Juglans regia*)) ხის ნაყოფი.

2. თხილის (*Corylus*) ნაყოფი.

3. გოგრის (ლათ. *Cucurbita*) თესლი.

4. ნესვის (*Cucumis melo*) თესლი.

როგორც წესი, თესლებს შეისწავლიან მშრალ მდგომარეობაში, შეუიარაღებელი თვალით ან ლუპის (10X) საშუალებით.

თესლები შედგება თესლის კანის, ენდოსპერმის (ზოგიერთ მცენარის თესლი უენდოსპერმა) და ჩანასახისაგან. დიაგნოზური მნიშვნელობა აქვს თესლის ფორმას, ზომებს (სიგრძე, სისქე ან სიგანე), ზედაპირის ხასიათს, ფერს, სუნს და გემოს; ჩანასახის ფორმას, ზომებსა და განლაგებას, ჭიბის ან თესლის ნაკერის არსებობას და ფორმას და ა.შ.

თესლების ზომები განესაზღვრეთ სახაზავით. სფეროსებრი თესლები მრგვალ ნასვრეტებიან საცერში გაეცვრიეთ. ფერი განესაზღვრეთ დღის სინათლეზე, სუნი - დამსხვრევის და გასრვისის შემდეგ, გემო გავუსინჯეთ მშრალი ნედლეულის ნაჭრებს და მათ ნახარშს.

ნამდვილობის დასადგენად. შერჩეული ნედლეულიდან გავამზადეთ განივი ანათლები. ყურადღება მივაქციეთ თესლის საერთო აღნაგობას, თესლის კანის ხასიათს და აგებულებას, სამარაგო - საკვები ქსოვილის ენდოსპერმის სიდიდეს და ფორმას. ჩანასახის - ლებნების, ფორმასა და აგებულებას.

კაკლის და თხილის ნაყოფები, გოგრის და ნესვის თესლები შევისწავლეთ მშრალ მდგომარეობაში შეუიარაღებელი თვალით და ლუპით.

შერჩეული ნედლეულისთვის დიაგნოზური მნიშვნელობა აქვს თესლის კანის შრის, განსაკუთრებით მექანიკური და პიგმენტური შრის აგებულებას. თესლის კანის შრეები ფხვნილის მიკროპრეპარატში განთავსებულია ბელტებად, რაც შეესაბამება კანის ზედაპირის მიკროსკოპულ სურათს, ზოგჯერ გვხვდება გაქვავებუ-

ლი უჯრედები (მცირე ჯგუფებად და ცალცალკე). ხშირად ფხვნილში გვხვდება თესლის კანის ორი ან სამი შრის შეერთება, რაც აგრეთვე დამახასიათებელ ნიშანს წარმოადგენს. დიაგნოზური მნიშვნელობა აქვს ენდოსპერმისა და ჩანასახის უჯრედების შემცველობას (ცხიმოვანი ზეთი, ლორწო, კრისტალური ჩანარები და სხვა).

გოგრა - არსებობს გოგრის სამი სახეობა: მსხვილნაყოფიანი, კანმაგარი და მუსკატის ჯიშის. ჩვენ გამოვიყენეთ სამივე სახეობის გოგრის თესლი. შევარჩიეთ გოგრის თესლები 1. იმერეთში, კერძოდ ვანში აღებული მაგარკანიანი ანუ ხოკერა გოგრა, რომელიც დასავლეთ საქართველოში ცნობილია სხვადასხვა სახელწოდებით: „ხოკერა კვახი“ იმერეთი, „ხაპერა“ გურია, „ხოპეშია“ სამეგრელო, „საღორე კვახი“ რაჭა, „კვანეს“ სვანეთი. 2. მუსკატური გოგრა, კახეთში აღებული, რომელსაც საქართველოში სხვადასხვა სახელწოდებით იცნობენ: „თაფლა გოგრა“, „ხურჯინა გოგრა“, „ბორჩალოური გოგრა“.

ჩვენ მიერ კახეთში აღებული ყველა ჯიშის გოგრის თესლი ბრტყელი და დიდი ზომისაა, თეთრი ფერის, სუსტად გამოსახული არშით, 1000 მსხვილი თესლის მასა 292 გრ-ია. თესლებზე ძალიან დიდია და ნაყოფი მსუბუქი, რბილობი 1,5-2 სმ. სისქისაა. მუსკატური ჯიშის გოგრის თესლები არის უფრო მცირე ზომის და თხელკანიანი მოყვითალო ფერის, ნაყოფი მსუბუქია. კანგაცლილი თესლები მწვანე ფერის არის.

ნესვი აღებული გვქონდა კახეთიდან. ისინი ბრტყელია, ყვითელი, მოთეთრო ელფერით. ხოლო ზოგიერთი თესლის ფორმა გაგრძელებულ-ოვალურია, ფერი - ყვითელი.

თხილი აღებული გვქონდა გურიის (ბერძნულა), რაჭის (ტყის თხილი), და სამტრედიის რეგიონში (ვანის თეთრი). ნაყოფების საშუალო ზომა: 19X17X15მმ, საშუალო მასა 2,0-2,1 გრამი, გულის გამოსავლიანობა: 52-53%.

კაკალი (ნიგოზი) აღებული გვქონდა: გურიის რეგიონიდან - გულისებრი ზიბოლდა და გული-სებრი კაკალი, აჭარიდან ბათუმურა, და სამტრედიიდან - ჩვეულებრივი კაკალი.

კაკლის დიდი ზომის ნაყოფი კაკლისებრი კურკიანაა, ხორცოვანი, მწვანე, მომწიფებისას - მოყავისფრო. ნაოჭიანი ეგზოკარპიუმით (წენგო) და გახევებული ენდოკარპიუმით (ნაჭუჭი). თესლი (ნიგოზი) ერთია, დანაოჭებული, 2 ლებნით და მოთეთრო-მოყვითალო კანით.

ნედლეულის შრობა

გოგრის და ნესვის თესლები საკვებად ვარგისი და სასარგებლოა. შრობა ჩავატარეთ შემდეგნაირად: გავრეცხეთ, შემდეგ მოვათავსეთ მზიან ადგილას რამდენიმე დღით. ნაწილი გა-

მოვაშრეთ საშრობში. აუცილებელია ტემპერატურის 40°C და ტენიანობის 10% კონტროლი. გამომშრალი ნედლეულიდან შევარჩიეთ თეთრი და მოყვითალო ფერის ულაქო, სადი თესლები.

კაკლის და თხილის გაუტეხავ ნაყოფებს ვინახავდით ჯვალის (ჯუთის) პარკებში, ხოლო გარჩეული ნაყოფები გამოვაშრეთ მაშრობ კარადაში და შემდეგ მოვათავსეთ ჰერმეტიკულად დახურულ კონტეინერებში, დამძაღვის და ხარისხის გაუარესების აცილების მიზნით.

თავდაპირველად ნედლეულს მოვაცილეთ ზეთოვანი ნივთიერებები და გამომშრალი კოპტონისთვის განვსაზღვრეთ რიცხვითი მაჩვენებლები. კაკლის და თხილის ნაყოფების, გოგრის და ნესვის თესლების ზეთგაცილ კოპტონშიც განვსაზღვრეთ რიცხვითი მაჩვენებლები:

1. ტენიანობა, 2. საერთო ნაცრის და 10% ქლორწყალბადმჟავას ხსნარში უხსნადი ნაცრის შემცველობა; მონაცემები მოტანილია ცხრილში.

სინამისა და ნაცრიანობის მონაცემები კაკლის და თხილის ნაყოფებში, ნესვის და გოგრის თესლებში

N	ნიმუშის დასახელება	სინამე %	საერთო ნაცარი %	HCl-ში უხსნადი ნაცარი %
1	ნესვის თესლი (კახეთის რეგიონი)	10,3	3	1,12
2	გოგრის თესლი (კახეთის რეგიონი)	11,8	4,2	1,07
3	თხილის ნაყოფი (გურიის და სამტრედიის რეგიონი)	11,0	2,5	2,17
4	კაკლის ნაყოფი (გურიის და სამტრედიის რეგიონი)	9,3	3	1,46

ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული მონაცემები თანხვედრაშია ლიტერატურულთან.

განვსაზღვრეთ ექსტრაქტული ნივთიერებების კონცენტრაცია ექსტრაქტის აორთქლების და მუდმივ წონამდე გამოშრობის მეთოდით:

მეთოდის პრინციპი მდგომარეობს მასალის ერთჯერად ექსტრაქციასა და შემდეგში ექსტრაქტის აორთქლება-გამოშრობაში მუდმივ წონამდე გარკვეულ ტემპერატურულ პირობებში

ექსტრაქტულ ნივთიერებათა შემცველობას პროცენტებში ვანგარიშობდით შემდეგი ფორმულით:

$$X = \frac{m \times 10 \times 100}{M}$$

სადაც - m - სხვაობა მასალიან და ცარიელ ბიუქსს შორის; M - მშრალი ნივთიერების რაოდენობა საანალიზოდ აღებულ სინჯში.

ორივე მეთოდით განსაზღვრული ექსტრაქტული ნივთიერებების რაოდენობა იდენტურია.

ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგები მოცემულია ცხრილში.

№	ნედლეული	გამოწვლილული 24 საათის განმავლობაში ცივი წყლით %	გამოწვლილული 1/2 საათის განმავლობაში ცხელი წყლით %	ცხელი წყლით გამოწვლილული ორი საათის განმავლობაში %
1	ნესვის თესლი	33	47,7	51,2
2	კაკლის ნაყოფი	29	49	53,5
3	თხილის გარჩეული ნაყოფი,	30	45	55
4	გოგრის თესლი	35	49	58

ზეთის მოცილების შემდეგ მიღებული მასის (კოპტონის (ალაო) დამუშავება

კაკლის და თხილის ნაყოფებიდან, გოგრის და ნესვის თესლებიდან ზეთის მოცილების შემდეგ მიღებული მასის (კოპტონი - ჩენჩო, დარჩენილი ზეთოვანი მცენარეების თესლიდან ზეთის გამოსხდის შემდეგ) შრობა მოვახდინეთ მაშრობ კარადაში 35°C-ზე და მცენარეული ნაკრებების მიღების მიზნით, მოვახდინეთ მათი ჰომოგენიზაცია - ჯერ თითოეული ნიმუშის ცალ-ცალკე, ხოლო შემდეგ შევურიეთ ერთმანეთს შემდეგი თანაფარდობით:

სულ აღებული გვექონდა 4 ნიმუში:

- ჩვეულებრივი კაკლის (*Juglans regia*) ნაყოფები - 1 კგ,
- თხილის (*Corylus*) ნაყოფები 1 კგ,
- გოგრის (*Cucurbita*) თესლები 500 გ და
- ნესვის (*Cucurbita*) თესლები 500 გ.

ჩვეულებრივი კაკლის კოპტონი	თხილის კოპტონი	გოგრის კოპტონი	ნესვის კოპტონი
			

ჰომოგენიზაცია, როგორც თავად სიტყვა მიგვანიშნებს, არის პროცესი, რომლის მეშვეობით ცალკეული ქსოვილიდან მათი დაქუცმაცებისა და სტრუქტურების დარღვევის გზით, მიიღება ერთგვაროვანი მასა. სასურველია, ეს პროცესი ჩატარდეს ისეთ პირობებში, სადაც მისაღები ბიომოლეკულები შეინარჩუნებენ თავიანთ ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებებს.

ჩვენ შემთხვევაში, ჰომოგენიზაცია წყალხსნარებში მიმდინარეობს, ამასთან, უნდა მოვერიდოთ pH-ის ექსტრემალურ მნიშვნელობებს, ოსმოსურ წნევისა და მაღალ ტემპერატურას.

ისეთი ქსოვილების დასამუშავებლად, როგორცაა, ჩვეულებრივი კაკალი, თხილი, გოგრისა და ნესვის ზეთ გაცლილი კოპტონი. გამოვიყენე ცვალებადი სიჩქარის ხელსაწყო ჰომოგენიზატორი-ბლენდერი



ჰისტოქიმიურ რეაქციებს ვატარებდით კაკლის და თხილის ნაყოფების, გოგრის და ნესვის თესლების ფხენილზე, ცხიმოვანი და ეთეროვანი

ზეთების, ლორწოს, გამერქნებული ელემენტების არსებობაზე და სხვა. რეაქციების ჩატარების მეთოდიკა აღწერილია შესაბამის ნორმატიულ-ტექნიკურ დოკუმენტაციაში.

თვისებითი რეაქციები ჩავატარეთ კაკლის და თხილის ნაყოფების, გოგრის და ნესვის თესლების ზეთგაცილი კოპტონიდან შერევის შემდეგ მიღებულ გამონაწვლილზე. რეაქციების ჩატარების მეთოდიკა მითითებულია შესაბამის ნორმატიულ-ტექნიკურ დოკუმენტაციაში.

მცენარეთკრებულის (ნაკრებების) დახასიათება

ნაკრებები წამოადგენს დაჭრილ ან მსხვილად დაწვრილმანებულ სამკურნალწამლო ნედლეულების ნაკრებს.

სამკურნალწამლო მცენარეულ ნაკრებებს ფართო გამოყენება აქვს რაც მათი დადებითი თვისებებითაა განპირობებული: 1. მოქმედი ნივთიერება მცენარეულ ნედლეულში ნატიურ მდგომარეობაშია შენარჩუნებული; 2. მარტივია მომზადების ტექნოლოგია. 3. ხელმისაწვდომია.

ნაკრებების უარყოფით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს ის, რომ არ წამოადგენს დასრულებულ სამკურნალწამლო ფორმას; დოზირება არ არის ზუსტი (არადოზირებული ნაკრებებისთვის).

ნაკრებების კლასიფიკაციას ახდენენ დოზირების მიხედვით: 1. დოზირებული (*Species divisae*), იყოფა ჩვეულებრივ დაწნეხილ და ხსნადი ჩაის სახეობად და 2. არადოზირებული (*Species indivisae*). შედგენილობის მიხედვით შეიძლება იყოს მარტივი და რთული ნაკრებები. მარტივი შედგება სამკურნალწამლო ნედლეულის ერთი სახეობისაგან. რთული რამდენიმე მცენარის და სხვა სამკურნალწამლო საშუალებისაგან.

მიღების ხერხების მიხედვით არსებობს - შინაგანი, გარეგანი, მოსაწვევი (საინჰალაციო) ნაკრებები.

ჩვენ მიერ შერჩეული მცენარეული ნედლეულიდან: სამკურნალო-პროფილაქტიკური საშუალება მოვამზადეთ, როგორც დოზირებული ისე არადოზირებული ნაკრებების სახით.

მცენარეთკრებულის (ნაკრებების) მომზადება

ნაკრებების მიღების მიზნით, მცენარეული ნედლეულიდან თავდაპირველად მივიღეთ ფხვნილები.

მცენარეული ნედლეულიდან ფხვნილების მიღების პროცესი შემდეგი სტადიებისგან შედგება. 1. საწყისი ნედლეულის დაწვრილმანება. 2. ფხვნილების დაყოფა ნაწილაკების ზომების მიხედვით. 3. ცალკეული კომპონენტების შერევა. 4. დაფასოება და შეფუთვა.

მცენარეული ნაკრებების მიღების ტექნოლოგიური პროცესი შემდეგი სტადიებისგან შედგება: დაწვრილმანება, გაცრა, შერევა, შეფუთვა.

დაწვრილმანება: ნაკრებში შემავალ მცენარეულ ნედლეულს მოქმედი ნივთიერებების უკეთესად გამოწვლილვის მიზნით. ჩვენ მიერ შერჩეული მცენარეული ნედლეული დაგაწვრილმანეთ ცალ-ცალკე სახეობის და სტრუქტურის შესაბამისად. როგორც ცნობილია, ნაყოფებს და თესვებს აწვრილმანებენ ხელით ან შესაბამის წისქვილებში. ჩვენ დაგაქუცმაცეთ ფაიფურის როდინზე და დიფუნდირში (მიქსერი). რაც შეეხება დაქუცმაცების ხარისხს, თითოეული მცენარისთვის გავითვალისწინეთ ნაკრების დანიშნულება. მაგ: გამონაცემების და ნახარშების მისაღებად გამოყენებულ ნაკრებების ნაწილაკების ზომები ნაყოფების და თესვებისთვის არ უნდა აღემატებოდეს 0,5მმ-ს.

გაცრა: დაწვრილმანების შემდეგ ნაკრებები უნდა გასუფთავდეს, რასაც აღწევნ საცერში გაცრით. საცრის ზომა არ უნდა იყოს 0,2მმ-ზე მეტი.

შერევა: ნაკრების შემადგენელი ნაწილაკების შერევა ხდება მბრუნავ კორპუსიან შემრეველებში. რადგან ჩვენ ნაკრებში შედის ეთერზეთებიც და მარილებიც, (ზეთის მოცილების შემდეგ) წინასწარ ეთერზეთს ვხსნიდით ეთანოლში და მარილებს წყალში. მიღებული ხსნარით ვახდენდით ზოგჯერ ცალკეული კომპონენტის შესველებას, უფრო ხშირად ვასველებდით მთლიან ნარევს, რის შემდეგაც ნარევს გულმოდგინედ ვურევდით და გაშრობდით მაშრობ კარადაში 40°C - 60°C-ზე.

შრობის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 60°C. მთლიანი ნაკრების გაშრობის დროს, კომპონენტების დენატურაციის თავიდან ასაცილებლად მკაცრად ვაკონტროლებდით ამ ტემპერატურულ შუალედს. ხოლო სპირტიანი ხსნარების გამოყენების შემთხვევაში ნაკრებს ვაშრობ-

დით ოთახის ტემპერატურაზე ხშირი მორევის რეჟიმით. გამოშრობის შემდეგ მთავარია მიღებული ნაკრების მასა უტოდებოდეს ნაკრებში შემავალი მცენარეული ნედლეულის და სხვა ინგრედიენტების ჯამურ მასას.

მარტივია ისეთი ფხვნილების შერევა, რომელშიც ინგრედიენტები თანაბარი რაოდენობითაა, ნაწილაკების ზომები ერთნაირია და ახლოს არიან სიმკვრივეებით. ჩვენ შემთხვევაში მიხან-შეწონილად მივიჩნიეთ ყველა კომპონენტის (აწონის და დაფასოების შემდეგ) ჩატვირთვა შემრეველში და მორევა ერთგვაროვანი მასის მიღებამდე.

შშრალი, სპეციალიზებული პროდუქტების - სამკურნალო-პროფილაქტიკური, ვიტამინურ-ამინომჟავური კომპლექსების მიღების დროს, გავითვალისწინეთ რიგ მაკრო- და მიკროელემენტებს შორის არსებული ფიზიოლოგიური ანტაგონიზმი და ცალკეულ ელემენტებს შორის, დადებითი ურთიერთქმედების შემთხვევებიც (სინერგიზმი).

მართალია ცალკეული მიკრო და მაკროელემენტები ახდენენ ერთმანეთზე ზეგავლენას და შეუძლიათ შეანელონ სხვა მიკრო და მაკროელემენტების შეწოვის პროცესი, მაგრამ ეს ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში თუ ორგანიზმში მათი სიტარება, მიღება ხდება ხანგრძლივი დროის მანძილზე ან მიღება ხდება არასაჭიროებისამებრ და დარღვეულია ორგანიზმში მიკრო და მაკროელემენტებს შორის არსებული ჩვეული ბალანსი.

3. დასკვნა

1. განესაზღვრეთ შერჩეული ნედლეულის 1. გარეგანი ნიშნები, 2. დაწვრილმანების ხარისხი, 3. მიკროსკოპია, 4. რიცხვითი მაჩვენებლები, 5. სინამე, 6. ნაცრიანობა. მონაცემები თანხვედრაშია ლიტერატურულთან.

2. მოვიძიეთ და რიგ შემთხვევებში მოვახდინეთ ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების რაოდენობრივად განსაზღვრის მეთოდების მოდიფიცირება;

3. დავადგინეთ არჩეულ მცენარეებში ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების შემცველობის ნორმები საქართველოს რეგიონების მიხედვით;

4. დადგინდა, რომ მასალის ჰომოგენიზაცია წყალხსნარებში უკეთ მიმდინარეობს, ამასთან, უნდა მოვერიდოთ pH-ის ექსტრემალურ მნიშვნელობებს, ოსმოსურ წნევასა და მაღალ ტემპერატურას.

5. დადგინდა, რომ მცენარეთკრებულის შრობის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს 60°C-ს.

6. საწყისი ნედლეულის დაწვრილმანების სტადიაზე ვითვალისწინებდით ნედლეულის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებს. საწყისი და საბოლოო პროდუქტების ზომებს და რაც მთავარია დასაწ-

ერილმანებელი ნედლეულის საერთო რაოდენობას.

7. შერჩეული ნედლეულიდან რთული ფხვნილების მიღებისას თითოეულ მცენარეულ ნედლეულს ცალ-ცალკე ვაწვრილმანებით, ვაშრობდით და ვცრიდით.

8. ჩვენ მიერ შერჩეული მცენარეული ნედლეულიდან: სამკურნალო-პროფილაქტიკური საშუალება მოვამზადეთ, როგორც დოზირებული ისე არადოზირებული ნაკრებების სახით.

ლიტერატურა

1. <https://sputnik-georgia.com/nature/20170729/236801062/kakali-Zvirfasi-m-cenare.html>.
2. ნ. გელოვანი, თ. ცინცაძე, ხ. წიქარიშვილი, ი. გველესიანი, ლ. თარგამაძე //ნესვის (CUCUMIS – MELO) კულტურა ქართულ ისტორიულ წყაროებში // საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტ.11, (4), 469-471 (2011).

3. რ. სხილაძე, ნ. გელოვანი, ხ. წიქარიშვილი //წამალთა ტექნოლოგია // საგამომცემლო სარეკლამო კომპანია “საუნჯე”, თბილისი 0177, 2009 წ.
4. რ. სხილაძე, ნ. გელოვანი, ხ. წიქარიშვილი //წამალთა ტექნოლოგიის სათავეებთან // საგამომცემლო სახლი “ტექნიკური უნივერსიტეტი”, თბილისი, 2009 წ.
5. ერისთავი ლ. მაისაშვილი მ. „სამკურნალო მცენარეული ნედლეულის დამზადება“ (სახსრავლო მეთოდური მითითება) თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი. თბილისი, 2001წ, 24 გვ.
6. საქართველოს ფლორა II გამოცემა ტ. I-XIV თბ. “მეცნიერება”, 1971- 2003.
7. ერისთავი ლ.“ფარმაცოგნოზია” (სამკურნალო მცენარეები), გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“, თბილისი 2005, 675 გვ.

UDC 669:621:762

PREPARATION OF PLANT COLLECTION (SELECTIONS) FROM THE MASS GOT AFTER REMOVAL OF THE OIL FROM WALNUT AND HAZELNUT FRUITS AND PUMP AND MELON SEEDS

G. Pataridze, N. Gelovani, M. Maisuradze

Resume: Goal: The work gives drying of mass got after removal of oil from common walnut and hazelnut fruits, pump and melon seeds, the technological scheme of getting and mixing complex powder from dried raw material in order to get dry, specialized products (selections) – treatment and prophylactic, vitamin-amino acid complexes.

Medicinal plant selections are widely used due to their positive properties: 1. The active ingredient is maintained in raw material in native condition; 2. The technology of preparation is easy. 3. Is available.

The disadvantage of the selections can be the fact that it does not have finished treating medicine form;

Method: 1. For drying raw material, we chose optimal method, drying temperature for pump and melon fruits did not exceed 40°C and humidity 10%; we dried walnut and hazelnut in a vacuum dryer in the temperature no more than 60°C. 2. We determined the concentration of extractive substance by the method of extract evaporation and drying to constant weight; we dried the mass (marc-pod, skins, from remaining seeds of oily plants after removal of oil) got by removal of oil from walnut and hazelnut fruits, pump and melon seeds in a vacuum dryer at 35°C and made homogenization of each sample separately.

Results: We found out and in some cases modified the methods of determining quantities of biologically active substances; set the norms of content of biologically active substances in selected plants according to regions of Georgia; It was established that homogenization of material is better happened in aqueous solution, herewith we should avoid extreme importance of pH, osmotic pressure and high temperature.

From the plant raw material chosen by us, we prepared a prophylactic remedy, in the form of dosed as well as in the form of non-dose selections.

Conclusion: The technology of selections prepared by us consists of the following stages: granulation, sifting, mixing, packing. Drying temperature of selection cannot exceed 60 ° C. During the drying of the whole selection, in order to avoid denaturation of components we strictly controlled this temperature interval.

Key words: Homogenization; collection of plants; Walnuts; Hazelnut; Melon; Pumpkin; moisture content; ash content.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

ნ. ამაშუკელი, დ. ჯინჭარაძე, მ. მახვილაძე. უარმაცემებელი პრეპარატების ანალიზის შედეგების მათემატიკური და სტატისტიკური დამუშავება	3
ლ. გეასალია, თ. ჩლარგიძე. ნაბავსაყრელიდან ჩამდინარე წყლის ბაწმენდის შესწავლა სორბციული მეთოდით	7
ზ. კოვზირიძე. დაშლის დაბაბულობის ენერგიის ფორმულა	11
ზ. კოვზირიძე. თერმობრადიენტული ეფექტის ფორმულა.....	24
ზ. კოვზირიძე. მაკრომექანიკური მახასიათებლების ფორიანი ფაზისაბან დამოკიდებულების ფორმულა	28
გ. პატარიძე, ნ. გელოვანი, მ. მაისურაძე. კაკლის და თხილის ნაყოფებიდან, გობრის და ნუსვის თესლებიდან ზეთის მოცილების შემდეგ მიღებული მასიდან მცენარეთკრებულის (ნაკრებების) მომზადება	34

CONTENTS

N. Amashukeli, D. Jincharadze, M. Makhviladze. MATHEMATICAL AND STATISTICAL PROCESSING OF PHARMACEUTICAL DRUG ANALYSIS RESULTS	3
L. Gvasalia, T. Chlargidze. RESEARCH OF TREATMENT OF LANDFILL SEWAGE WATER BY SORBTION METHOD	7
Z. Kovziridze. FAILURE STRESS ENERGY FORMULA	11
Z. Kovziridze. FORMULA OF THERMOGRADIENT EFFECT	24
Z. Kovziridze. MACRO-MECHANICAL PROPERTIES - POROUS PHASE DEPENDENCE FORMULA	28
G. Pataridze, N. Gelovani, M. Maisuradze. PREPARATION OF PLANT COLLECTION (SELECTIONS) FROM THE MASS GOT AFTER REMOVAL OF THE OIL FROM WALNUT AND HAZELNUT FRUITS AND PUMP AND MELON SEEDS	34

kompiuterul i uzrunvel yofa x. ungi aZis
redaqtori m. kal andaZe

saqarTvel os keramikosTa asociacia 2007 wl idan gawevrianda keramikosTa msfli o federaciaSi

saqarTvel os keramikosTa asociacia 2002 wl idan evropis keramikosTa asociaciis wevria

saqarTvel os keramikosTa asociacia daarsda 1998 wel s
Jurnal i daarsda 1998 wel s

Jurnal Si statiebi ibeWdeba qarTul , ingl isur, germanul da rusul enebze

*gamoqveynebul i masal is avtorebi pasuxismgebel ni arian moyvani i faqtebis,
ci Tatebis da sxva monacemebis SerCevasa da sizusteze, aseve Ria publ ikaciaSi
kanoni TakrZal ul i monacemis gaxmaurebaze.
redaqcias SeuZl ia gamoaqveynos masal ebi ise, rom ar iziarebdes avtoris
Sexedul ebobs.*

Авторы публикуемых материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат и других сведений, а также за неразглашение сведений, запрещенных законом к открытой публикации.

Редакция может публиковать материалы, не разделяя точку зрения автора.

Authors of the published materials are responsible for choice and accuracy of adduced facts, quotations and other information, also for not divulging information forbidden open publication.

Publishing material the editorial board may not share the views of the author.

Tbilisi, `keramika~, Vol. 20. 1(39). 2018
masal is gadabelvdvi sas Jurnal is miTi Teba aucil ebel ia
ТБИЛИСИ, "КЕРАМИКА", Vol. 20. 1(39). 2018
При перепечатке ссылка на журнал обязательна
TBILISI,"CERAMICS", Vol. 20. 1(39). 2018
Reference of magazine is obligatory on reprinting

pirobiTi nabeWdi Tabaxi 3,5. tiraJi 50 egz., fasi saxel Sekrul ebo.

saqarTvel os keramikosTa asociacia, Tbilisi, kostavas 69, tel : 233-53-48, Si da 62-39,

E-mail: kowsiri@gtu.ge, z. kovziriZe

<http://www.ceramics.gtu.ge>
