

ISSN 1512-0325

საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი
JOURNAL OF THE GEORGIAN CERAMISTS' ASSOCIATION



kerami ka **CERAMICS**

da mowinave
teqnologi ebi

**AND ADVANCED
TECHNOLOGIES**

სამეცნიერო-ტექნიკური და საარმოო ილუსტრაციები,
რეგისტრაციები, რეფერირებადი ჟურნალი

Vol. 21. 1(41).2019

სარედაქციო კოლეგია:

მ. ბიბილაშვილი, გ. გაფრინდაშვილი (მთ. რედ. მოადგილე), ნ. გელოვანი, ლ. გეასალია, ა. გრიგოლიშვილი, ელ. ელიზბარაშვილი, დ. ერისთავი, ლ. თოფურია, რ. თურმანიძე, ი. კახნიაშვილი, მ. კეკელიძე, ზ. კოვზირიძე (მთ. რედაქტორი), ნ. კუციავა, ნ. ლოლაძე, მ. მაისურაძე, ნ. მარგიანი, ზ. მესტვირიშვილი, ო. მიქაძე, გ. მუმლაძე, მ. მუჯირი, ნ. მჭედლიშვილი, ნ. ნიჟარაძე (პასუხისმგებელი მდივანი), დ. ნოზაძე, ა. სარუხანიშვილი (მთ. რედ. მოად.), გ. ტაბატაძე, ი. ქაშაკაშვილი, რ. ქაცარავა, ე. შაფაქიძე, ჯ. შენგელია, მ. ცინცაძე, რ. ხუროძე, თ. ჭეიშვილი, მ. ხუციშვილი, დ. ჯინჭარაძე

EDITORIAL BOARD:

M. Bibilashvili, T. Cheishvili, E. Elizbarashvili, D. Eristavi, G. Gaprindashvili (vice-editor-in-chief), N. Gelovani, A. Grigolishvili, L. Gvasalia, D. Jincharadze, R. Katsarava, I. Kakhniashvili, M. Kekelidze, R. Khurodze, M. Khutsishvili, Z. Kovziridze (editor-in-chief), N. Kuciava, N. Loladze, M. Maisuradze, N. Margiani, N. Mchedlishvili, O. Miqadze, Z. Mestvirishvili, G. Mumladze, M. Mujiri, N. Nizharadze (executive secretary), D. Nozadze, I. Qashakashvili, A. Sarukhanishvili (vice-editor-in-chief), E. Shapakidze, J. Shengelia, G. Tabatadze, L. Topuria, M. Tsintsadze, R. Turmanidze

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

М. Бибилашвили, Г. Гаприндашвили (заместитель главного редактора), Л. Гвасалия, Н. Геловани, А. Григолишвили, Д. Джинчарадзе, И. Кахниашвили, Р. Кацарава, И. Кашакашвили, М. Кекелидзе, З. Ковзиридзе (главный редактор), Н. Куциава, Н. Лоладзе, М. Маисурадзе, Н. Маргиани, З. Мествиришвили, О. Микадзе, М. Муджири, Г. Мумладзе, Н. Мchedlishvili, Н. Нижарадзе (ответственный секретарь), Д. Нозадзе, А. Саруханишвили (заместитель главного редактора), Г. Табатадзе, Л. Топуриа, Р. Турманидзе, М. Хуцишвили, М. Цинцадзе, Е. Шапакидзе, Дж. Шенгелия, Р. Хуродзе, Т. Чеишвили, Э. Элизбарашвили, Д. Эристави

შპს „კერამიკა“

გამომკვეთი უსაბულო სტატიები
პირითადი თემატიკა

ყველა სახის მიწის, კერამიკის, კერამიკული და პოლიმერული კომპოზიტების, ზედაპირული მასალების, ჭიქურის და მიწის, სხვადასხვა მინერალური ბაზის, მჭიდრო მასალების, ცემენტის და სხვა არარეზინული, კემლდნობადი, ახალი და ტრადიციული მასალების სუბსტრუქტი ჩატარებული სამეცნიერო კვლევები, მათი მიღების ტექნიკა და ტექნოლოგია, ნანოტექნოლოგია და ნანოტექნიკა პოლიმერული ბიომასალები ბიომედიცინაში ორგანულ ნივთიერებათა ტექნოლოგია მემბრანული მასალათმცოდნეობა კომპოზიციური მასალები და დანაწარმები არარეზინული და ორგანული სინთეზი ნანომასალებისა და კომპოზიტების მიღების ელექტროქიმიური ტექნოლოგიები ტექნოლოგიები თერმოდინამიკა, კინეტიკა და კატალიზი

შპს „კერამიკა“

შესაძლებელია განთავსდეს
სტატიები შემდეგ საკითხებზე:

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

გამომკვეთის 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)

მილოცვა

შალვა ანდლულაძე

ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი პროფესორი შალვა ნიკოლოზის ძე ანდლულაძე დაიბადა 1949 წელს 16 თებერვალს ბათუმში. 1966 წელს წარჩინებით (ოქროს მედალზე) დაამთავრა N2 საშუალო სკოლა და იმავე წელს ჩაირიცხა საქართველოს პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში ქიმიური და კვების ტექნოლოგიის ფაკულტეტზე, რომელიც 1971 წელს დაამთავრა სპეციალობით „არაორგანულ ნივთიერებათა და ქიმიური სასუქების ტექნოლოგია“, აქვს ინჟინერ-ტექნოლოგის კვალიფიკაცია.



1979 წელს მოსკოვში, დ.ი. მენდელეევის სახელობის მოსკოვის ქიმიური ტექნოლოგიის ინსტიტუტში დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია, ხოლო 2004 წელს თბილისში - ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, სადოქტორო დისერტაცია.

1981 წლიდან მუშაობს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტზე გარემოსდაცვითი ინჟინერიისა და ეკოლოგიის დეპარტამენტში პროფესორის თანამდებობაზე, ასევე, არის უნივერსიტეტის ხარისხის სამსახურის უფროსი სპეციალისტი. ეწევა აქტიურ პედაგოგიურ და სამეცნიერო მოღვაწეობას. გამოქვეყნებული აქვს 108 სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის ორი მონოგრაფია, სახელმძღვანელოები, ექვსი დამხმარე სახელმძღვანელო, სამი გამოგონება (საავტორო მოწმობა). ბაკალავრიატის, მაგისტრატურისა და დოქტორანტურის სწავლების საფეხურებზე მომზადებული აქვს და კითხულობს ლექციების კურსს; ხელმძღვანელობს სადოქტორო და სამაგისტრო სამუშაოებს; აქვს მდიდარი გამოცდილება საერთაშორისო და შიგა გრანტების ხელმძღვანელობაში; ხელმძღვანელობდა სამეურნეო თემებს:

1. ქუთაისის ლითოფონის წარმოების გამონაბოლქვი აირების გაწმენდა გოგირდის ანჰიდრიდისგან;

2. ატმოსფეროში აირადი გამონაყოფების სორბციული გაწმენდა დარიშხანისა მისი ნაერთებისაგან;

3. რაჭის სამთო-ქიმიური ქარხნის გამონაბოლქვი აირებისა და ჩამდინარე წყლების გაწმენდა. ცანას საბადოს მყარი ნარჩენების გადამუშავება;

4. ჩამდინარე წყლების სორბციული და ელექტროდიალიზური გაწმენდა. სარეგ.;

5. НИИ МИОН-თან არსებული ქარხნის ფტორშემცველი ჩამდინარე წყლების გაწმენდის მეთოდის შემუშავება.

აქტიურად იყო ჩართული საერთაშორისო გრანტის ISTC ხელმძღვანელობაში, კერძოდ:

1. საერთაშორისო გრანტის ISTC №G-698 პროექტის ხელმძღვანელი 2004-2005 წწ. (დაფინანსებული);

2. საერთაშორისო გრანტის ISTC №G-698.2 პროექტის ხელმძღვანელი 2005-2008 წწ. (დაფინანსებული);

3. პროექტის ხელმძღვანელი საერთაშორისო გრანტზე წარდგენილი პროექტის ISTC №G-1581 მიიღო შეფასება "კარგი", მაგრამ არ დაფინანსებულა 2008 წ.;

4. პროექტის ხელმძღვანელი საერთაშორისო გრანტზე წარდგენილი პროექტის ISCU №4879, რომელიც იყო მოწონებული, მაგრამ არ დაფინანსებულა 2009 წ.

ამჟამად ხელმძღვანელობს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საგრანტო სამუშაოს „ნანოტექნოლოგიით მიღებული კოლოიდური ვერცხლით სასმელი წყლის გაუვნებელყოფის ხელსაწყოების დაპროექტება და დამზადება“, ასევე რ. აგლაძის სახ. არაორგანული ქიმიისა და ელექტროქიმიის ინსტიტუტთან ერთად ასრულებს სამუშაოს „ეკოლოგიურად უვნებელი ნალღობებიდან მიღებული ალუმინის დანაფარებით ლითონთა დაცვა კოროზიისაგან“.

შალვა ანდლულაძე იყო UNIDO-ს წარმომადგენელი საქართველოში. დაჯილდოებულია ღირსების ორდენით. არის საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრი, აკადემიკოსი, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის მეტალურგიისა და ქიმიური ტექნოლოგიის განყოფილების მრჩეველი. ჰყავს მეუღლე, ორი ვაჟი და სამი შვილიშვილი.

ნაზი კუციავა

საიუბილეო თარიღს ვულოცავთ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიის დეპარტამენტის უფროსს, პროფესორ ნაზი კუციას.



მისი პედაგოგიური და სამეცნიერო მოღვაწეობის 45 წელზე მეტი საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტთანაა დაკავშირებული. ტექნიკური უნივერსიტეტის წარჩინებული სტუდენტი, ლენინური სტიპენდიანტი, აღნიშნული უმაღლესი სასწავლებლის დამთავრების შემდეგ მუშაობას იწყებს უნივერსიტეტის სტუდენტთა სამეცნიერო საზოგადოების თავმჯდომარის რანგში, შემდგომ გაერთიანებული პროფკავშირის კომიტეტის თავმჯდომარის მოადგილედ, 1984-2005 წლებში იყო ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილე და ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების ფაკულტეტის დეკანი, ხოლო 2005 წლიდან დღემდე ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტის უფროსია.

2006 წლიდან დღემდე, უნივერსიტეტის სენატის წევრია. გამოქვეყნებული აქვს 150-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი, 10 სასწავლო სახელმძღვანელო, არის 4 გამოგონების ავტორი, დაცული აქვს საკანდიდატო და სადოქტორო დისერტაციები. მისი ხელმძღვანელობით მომზადებულია 6 ქიმიურ მეცნიერებათა კანდიდატი და აკადემიური დოქტორი და არაერთი სამაგისტრო ნაშრომი. დაჯილდოვებულია საპატიო ნიშნის ორდენით, ღირსების მედლით და ღირსების ორდენით, არის რესპუბლიკის ქალთა საბჭოს წევრი და პროფესიონალ ქალთა ასოციაციის გამგეობის წევრი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქალთა ასოციაციის პრეზიდენტი, ჟურნალ „კერამიკა და მოწინავე ტექნოლოგიების“ სარედაქციო კოლეგიის წევრი.

ქალბატონ ნაზი კუციას, თავის ოჯახთან ერთად, ვუსურვებთ დღეგრძელობას, სიკეთეს და მიღწევებს პროფესიულ და საზოგადოებრივ საქმიანობაში.

გულნაზ ტაბატაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორს, გულნაზ ტაბატაძეს წელს საიუბილეო წელი აქვს. ვულოცავთ მას ამ საიუბილეო თარიღს და ვუსურვებთ შემდგომაც ასეთი ახალგაზრდული იერიითა და ენერგიით გაეგრძელებინოს ცხოვრება და მუშაობა მომავალი თაობის პროფესიული და პიროვნული აღზრდის საქმეში.



გულნაზ ტაბატაძე საშუალო სკოლის დამთავრებისთანავე ჩაირიცხა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ქიმიური ტექნოლოგიის ფაკულტეტზე, სილიკატების ტექნოლოგიის განხრით. იგი სწავლას შრომასაც უთავსებდა და თბილისის კერამიკულ კომბინატში პრაქტიკულად ეუფლებოდა კერამიკოსის სპეციალობას. ინსტიტუტი დაამთავრა 1968 წელს და მიენიჭა ინჟინერ-ქიმიკოს-ტექნოლოგის კვალიფიკაცია „კერამიკისა და ცეცხლგამძლე მასალების ქიმიური ტექნოლოგიის სპეციალობით“. ინსტიტუტის დამთავრებისთანავე დიპლომის ხელმძღვანელმა, ქალბატონმა მაყვალა ქინქლაძემ შესთავაზა სილიკატების ტექნოლოგიის კათედრაზე დარჩენა. რვა წელი იმუშავა მან მშობლიურ კათედრაზე საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტის, კალისტრატე ქუთათელაძის ხელმძღვანელობით. ამ ხნის განმავლობაში იგი პედაგოგიურ მუშაობასთან ერთად სამეცნიერო საქმიანობასაც ეწეოდა. ჯერ ქალბატონ მაყვალა ქინქლაძესთან ერთად ადგილობრივ თიხებს სწავლობდა დიდი გატაცებით. სწორედ ქალბატონმა მაყვალამ აღმოაჩინა მასში ნამდვილი მკვლევარის თვისებები. მოგვიანებით ახალგაზრდა კერამიკოსი ჭიქურებითა და კერამიკული საღებავებით დაინტერესდა და ბატონ გურამ გაფრინდაშვილის ხელმძღვანელობით გააგრძელა მუშაობა ამ სფეროში. მისმა რამდენიმე ნაშრომმა საავტორო უფლება მოიპოვა. არც ამით დაკმაყოფილდა ახალგაზრდა მკვლევარი და გადაწყვიტა ტექნიკურ კერამიკას დაუფლებოდა, რისთვისაც მან სწავლა ლენინგრადის ტექნოლოგიური ინსტიტუტის კერამიკის კათედრის ასპირანტურაში გააგრძელა. სადისერტაციო თემაზე მუშაობის პარალელურად კათედრის სამეცნიერო თემატიკის ერთ-ერთი თემის უმცროს მეცნიერ თანამშრომლადაც მუშაობდა. ეს ის პერიოდია, როდესაც გაჩნდა ძნელადღობადი ნაერთების მიღების ახალი ტექნოლოგია „თვითგანვრცობადი მაღალტემპერატურული სინთეზი“. გულნაზ ტაბატაძე და მისი ხელმძღვანელი ს. ორდანიანი არ შეუშინდნენ პრობლემებს, ნებისმიერი სიახლის დანერგვას რომ ახლავს ხოლმე, თამამად მოჰკიდეს ხელი ამ ახალი ტექნოლოგიით

მიღებული ტიტანის კარბიდის შესწავლას და პირველებმა მისცეს გზა აღნიშნული მეთოდით მიღებული ნივთიერებების გამოყენებას. ამ მუშაობის შედეგი დაედო საფუძვლად გულნაზ ტაბატაძის საკანდიდატო დისერტაციას „TiC-Ni(Mo) სისტემაში თვითგანვრცობადი, მაღალტემპერატურული სინთეზით მიღებული ტიტანის კარბიდის ბაზაზე მაღალი სიმტკიცის ლითონკერამიკული მასალის მიღების შესაძლებლობის შესწავლა“, რომელიც მან 1979 წელს დაიცვა. მის დისერტაციას მაღალი შეფასება მისცეს ისეთმა ავტორიტეტებმა, როგორებიც იყვნენ ა. ავგუსტინიკი, რ. ანდრიევსკი, ვ. ნეშპორი, ვ. კლიმაშინი, ტ. კასალაპოვა და სხვ., ანუ იმ მეცნიერებმა, რომელთა წიგნებითაც სწავლობდა და ხელმძღვანელობდა ახალგაზრდა ქართველი მეცნიერი. მის მიერ მიღებული მჭრელი მასალისგან დამზადებული საჭრისების და ფილიერების ლენინგრადის ქარხანა „Инструмент“-ში და სამრეწველო გაერთიანება „Севкабель“-ში გამოცდის შედეგებმა მას დიდი სიხარული მიანიჭა.

თვითგანვრცობადი, მაღალტემპერატურული სინთეზის ერთ-ერთმა ავტორმა და შემდგომში მთელი მიმართულების მსოფლიოში აღარებულმა მეცნიერმა ა.მერჟანოვმა გ.ტაბატაძე ამ დარგის სამეცნიერო საბჭოს წევრად მიიწვია.

დისერტაციის დაცვის შემდეგ გულნაზ ტაბატაძე დაუბრუნდა მშობლიურ ტექნიკურ უნივერსიტეტს და მუშაობა გააგრძელა ჭრის თეორიის კორიფეს, აკადემიკოს თ. ლოლაძის ხელმძღვანელობით „ფხვნილთა მეტალურგიის ლაბორატორიაში“, სადაც დიდი გამოცდილება შეიძინა. 2004 წლიდან გულნაზ ტაბატაძე პროფესორ ზვიად კოვზირიძის ინიციატივით დაარსებულ ”კომპოზიციური მასალებისა და ნაკეთობების ტექნოლოგიის” კათედრაზე (რომელიც ამჟამად ბიონანოსამედიცინო, კერამიკული და პოლიმერული კომპოზიტების ტექნოლოგია, ინსპექცია, კონტროლის მოდულია) ეწევა როგორც პედაგოგიურ, ისე მეცნიერულ მუშაობას. მას გამოქვეყნებული აქვს 50-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი, სახელმძღვანელოები და მეთოდური მითითებები, იგი არის საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის წევრი, ჟურნალ ”კერამიკის” სარედაქციო კოლეგიის წევრი.

ჩვენი გულიკო ტაბატაძე ყველასთვის საყვარელი ადამიანია. ვუსურვებთ მას ხანგრძლივ, ნაყოფიერ მუშაობას.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტი, ჟურნალის სარედაქციო კოლეგია გულითადად ულოცავს იუბილარებს საიუბილეო თარიღს, უსურვებს ჯანმრთელობას, ბედნიერებასა და წინსვლას

უაკ 541.11

ხუთკომპონენტური კომპოზიციებში ტემპერატურული ზემოქმედების პროცესების ანალიზი იწ სპექტროსკოპიით

ვ. გორდელაძე, ა. სარუხანიშვილი, მ. ღიბრაძე

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

E-mail: gibradze_marexi@mail.ru

რეზიუმე: მიზანი. თეორიულად ნავარაუდები მიზნობრივი დანიშნულების მინანქრების თვისებების, აგრეთვე თეორიულად დადგენამ [1]-ის ავტორები მიიყვანა დასკვნამდე, რომ მათ მიერ შემოთავაზებული პროგნოზირების საშუალება ძირითადად დადებითი შედეგების მომტანი შეიძლება იყოს. თუმცა აღინიშნებოდა, რომ აუცილებელია ამ დასკვნის ექსპერიმენტული მტკიცებულებების მოპოვება. სწორედ ამ მიზანს ისახავს წინამდებარე ნაშრომი, რომელშიც შემოთავაზებულია ხუთკომპონენტური სისტემის ორი კომპოზიციის კვლევა სხვადასხვა ტემპერატურულ ინტერვალში იწ სპექტროსკოპიით.

მეთოდი. კვლევაში გამოიყენებოდა 3-5 გრ-იანი ნიმუშები და ხურდებოდა საყრდენ ტემპერატურულ წერტილამდე 10-15 გრადუსი/წთ სიჩქარით, ამ ტემპერატურაზე 30 წუთის განმავლობაში დაყოვნებით და ოთახის ტემპერატურამდე გადაცივებით. საყრდენ წერტილებად აიღებოდა 298 და 373-1373 K ინტერვალის მზარდი ტემპერატურები (373, 473 და ა.შ.). ინფრაწითელი შთანთქმის სპექტრები მიიღებოდა FTIR-ფურეიე გარდაქმნის ინფრაწითელ სპექტრომეტრზე „TERMO NIKOLET“, AVATAR 370, დიაპაზონი 4000-400 სმ⁻¹, გაზომვის სიზუსტე 0,5 სმ⁻¹. შედეგების განსჯისათვის გამოყენებულია [2-8]-ში მოტანილი მონაცემები.

შედეგი. კაზმების დაგეგმარებისას გამოიყენებოდა ხუთკომპონენტური სისტემის განსხვავებული ინვარიანტული წერტილები (ცხრილი 1).

ცხრილი 1

კაზმების და კომპოზიციების შედგენილობა

კომპოზიციის შემავალი ინვარიანტული წერტილები	კომპოზიციის შედგენილობა, მოლ.%					კაზმის შედგენილობა, მას. ნაწ.					№
	Na ₂ O	SrO	BaO	B ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ CO ₃	SrCO ₃	BaCO ₃	H ₃ BO ₃	SiO ₂	
B ₃ BS ₂ + NS ₂ + S'B ₂ 30% 60% 10%	22,85	4,08	8,10	12,32	52,65	36,04	8,58	22,79	23,99	44,45	27
B ₃ BS ₂ + NS ₂ + S'B'B ₂ 20 45 35	18,22	8,11	12,60	5,77	55,30	27,04	13,80	33,74	10,61	44,28	32

S – SiO₂; N – Na₂O; B – B₂O₃; B' – BaO; S' – SrO

მოტანილია №27 და №32 კომპოზიციისა და მისი თერმული დამუშავებით (298, 773, 1173 და 1373 K ტემპერატურებზე) მიღებული პროდუქტების იწ სპექტრები. ჩატარებულია მათი ანალიზი.

დასკვნა. საკვლევ კაზმებში თერმული დამუშავებისას ტემპერატურის ზრდასთან მიმართებაში მიმდინარეობს ბორის მჟავასა და ნატრიუმის კარბონატს შორის ურთიერთქმედება, ჩნდება თხევადი ფაზა. ტემპერატურის მატებისას ხდება ამ პრო-

ცესების ინტენსიფიკაცია, R⁺ და R²⁺-ს სილიკატების წარმოქმნა და თხევადი ფაზის მატება. მაღალ ტემპერატურებზე იწყება ამ ნაერთთა დნობა, ევტექტიკების წარმოქმნა და თხევადი ფაზის გაერთვადროვნება.

საკვანძო სიტყვები: მინანქარი; თერმული დამუშავება; კაზმი; კარბონატი; იწ სპექტროსკოპია.

1. შესავალი

სპილენძის ზედაპირის დასაფარად გამიზნული მინანქრების მიღების მიზნით [1]-ში წარმოდგენილი იყო თეორიულად პროგნოზირებული $NazO-SrO-BaO-B_2O_3-SiO_2$ სისტემის ათეულობით კომპოზიცია. პროგნოზირება ეფუძნებოდა მინანქრის (მინის) ფიზიკურ ქიმიში ცნობილი სამი საშუალების შერწყმას. პირველი მათგანი იყო მრავალ-ოქსიდურ სისტემებში არსებული ინვარიანტული წერტილების შერწყმა, მეორე – შერწყმით მიღებული ოქსიდური კომპოზიციის მინანქრის (მინის) წარმოქმნისადმი მიდრეკილების შემოწმება სილიციუმ-ჟანგბადური კარკასის ბმულობის ხარისხის დადგენით, ხოლო მესამე – მრავალ-ოქსიდური სისტემის უმდაბლესი ევტექტიკის ტემპერატურის დადგენის საშუალება. ნაშრომში მოყვანილია №27 და №32 კომპოზიციებში (ცხრილი 1) ტემპერატურის ზემოქმედებისას მიმდინარე პროცესების ანალიზი იწ სპექტროსკოპიით.

2. ძირითადი ნაწილი

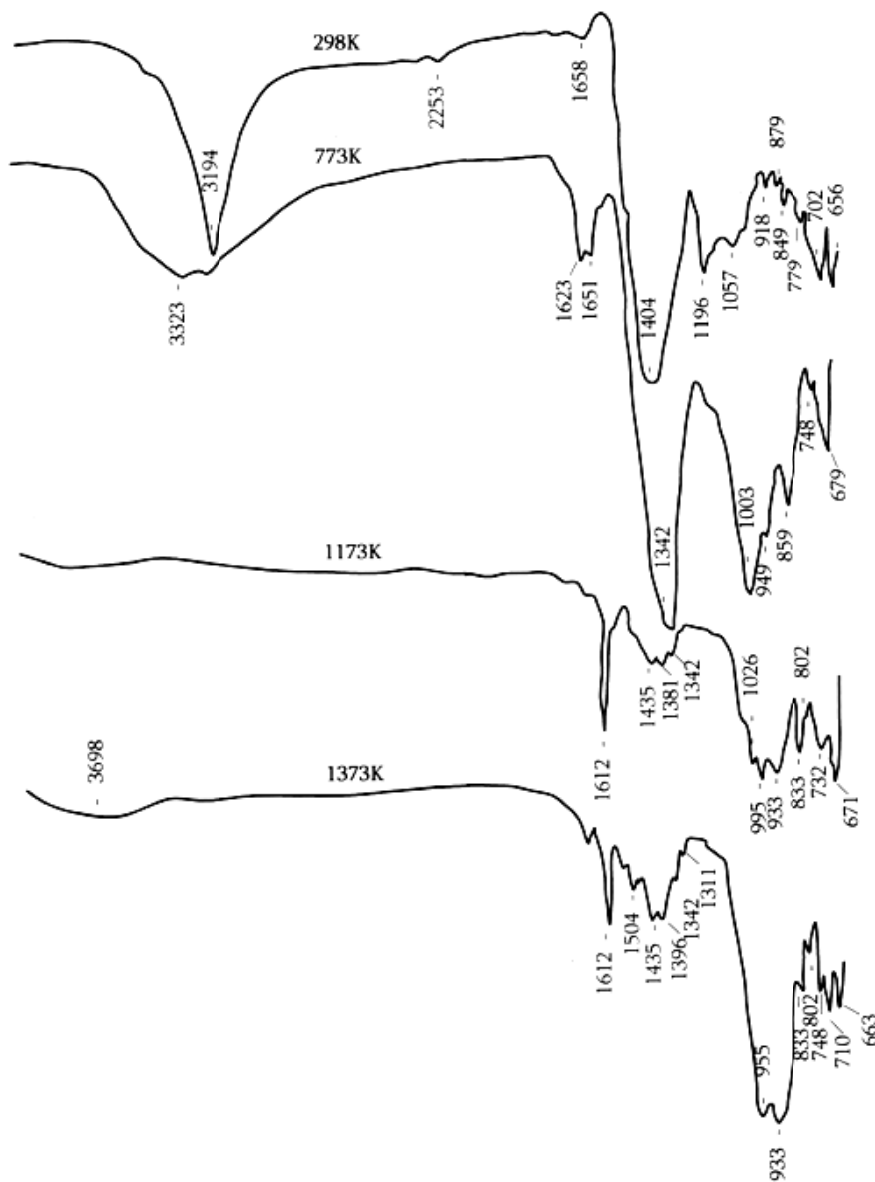
№27 კაზმის დაგეგმარებისას გამოიყენებოდა ხუთკომპონენტური სისტემის განსხვავებული ინვარიანტული წერტილები (იხ. ცხრ. 1), რომლებიც უზრუნველყოფდნენ მინანქრის ნავარაუდევ შედგენილობაში $NazO$ -სა და SiO_2 -ის მაქსიმალურ შემცველობას დანარჩენი ოქსიდების ჯამის შემცირების ხარჯზე. შესაბამისად, უნდა შეცვლილიყო კაზმში შემავალი კომპონენტების რაოდენობებიც, რაც საკმაოდ მკვეთრად გამოისახებოდა სპექტრზე დამახასიათებელი შთანთქმის ზოლების ადგილმდებარეობით და ინტენსიურობით. H_3BO_3 -ს მცირე შემცველობის მქონე კაზმის სპექტრთან შედარებით, ბორის მჟავასთვის დამახასიათებელი შთანთქმის ზოლები მცირდება, იზრდება SiO_2 -ის გამოსახველი ზოლების დისკრეტულობის ხარისხი და ინტენსიურობა. რაც შეეხება H_3BO_3 -სა და კარბონატების შთანთქმის ძირითად ზოლს მაქსიმუმით 1404 სმ^{-1} -თან, იგი დიფუზიურია და წარმოადგენს $Ba(OH)_2$ -ში OH -სა და კარბონატებში $ViCO_2$ -ს რხევით გამოწვეულ შთანთქმის ზოლების დამთხვევის შედეგს.

373-773 K ინტერვალში საყრდენ ტემპერატურებზე დამუშავებით მიღებული კომპოზიტების იწ სპექტრების ანალიზმა გვიჩვენა (ნახ. 1), რომ დაბალ ტემპერატურებზე მიმდინარე მოვლენები, დაკავშირებულია H_3BO_3 -ის გარდაქმნებთან, მისა და გარდაქმნებით მიღებული პროდუქტების კალცინირებულ სოდასთან ურთიერთქმედებით, აირების სორბციასთან კაზმის ნაწილაკების ზედაპირზე.

აღსანიშნავია, რომ დიფუზური შთანთქმის ზოლი 373-773K ინტერვალში თანდათანობით სულ უფრო ფართოვდება და 3194 სმ^{-1} -თან დაფიქსირებული მაქსიმუმი (773 K -ზე კაზმის დამუშავების შემდეგ) რთული კონტურის სახით წარმოგვიდგება. მასზე შეინიშნება მხარეული 3506 სმ^{-1} -თან, ორი მაქსიმუმი (3325 და 3210 სმ^{-1}) და ორი მხარეული აღმავალ შტოზე (3054 და 2907 სმ^{-1}), რაც, როგორც ჩანს, კალცინირებულ სოდაში XOH ტიპის ნაერთთა წარმოქმნისა და კრისტალჰიდრატების არსებობის გავლენაა.

773-1173K ინტერვალში პირობითად ორ ნაწილად შეიძლება დაიყოს. პირველი მათგანი განისაზღვრება ტემპერატურით 873 -დან 1073 -მდე, ხოლო მეორე 1073 - 1173 K ინტერვალში. პირველში, ჩვენი აზრით, სილიკატების წარმოქმნის ურთიერთქმედებებია მზარდი თხევადი ფაზის პირობებში. მეორეში კი უკანასკნელი ძნელდნობადი ნაერთების გახსნა მთელ ინტერვალში.

რეალურად, როგორც ჩანს, სილიკატურ ნაერთთა წარმოქმნა, იმის გამო, რომ მიმდინარეობს სისტემაში უკვე არსებული თხევადი ფაზის თანაობისას, საშუალებას არ იძლევა ერთნიშნად დავასახელოთ ახალი წარმონაქმნები. თუმცა კი ის „კასკადი“ შთანთქმის ზოლებისა, რომელიც ფიქსირდება სპექტრზე (1072 , 1008 , 987 , 933 და 875 სმ^{-1} -თან), გვიჩვენებს, რომ კომპოზიტში უნდა იყოს ნაერთები, რომლებიც შეესაბამებიან ბორატებს, შემდგარს $[BO_3]$ და $[BO_4]$ ჯგუფებისაგან და სილიკატებს (Si_4O_{18})-ფენებით. პირველთა რიცხვს მიეკუთვნება როგორც $SrO \cdot 2B_2O_3$ და $BaO \cdot 2B_2O_3$, ისე $3BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 2CO_2$, ხოლო მეორეებს $NazO \cdot 2SiO_2$. ამ ნაერთთა არსებობას კომპოზიტში, რომელშიც ჯერ კიდევ შეიმჩნევა კრისტალური ჩანართები, ადასტურებს რენტგენოფაზური ანალიზიც.



სურ. 1. №27 კომპოზიციის და მისი თერმული დამუშავებით მიღებული პროდუქტების იწ სპექტრები

1173K-ზე დამუშავებითა და გადაცივებით მიღებული კომპოზიტის სპექტრი გვიჩვენებს, რომ მიღებული ამორფული ფაზა შედგენილობით არაერთგვაროვანია. იგი არც ფიზიკურადაა ერთგვაროვანი, რადგან მასში მრავლადაა საკმაოდ მკაფიოდ გამოსახული (1383, 1504, 1535, 1620 cm^{-1} -თან და ა.შ.) შთანთქმის ზოლები, რომლებიც მიგვითითებენ H_2O -სა და CO_2 -ის არსებობას კომპოზიტში. 1173K-ზე მიიღება კომპოზიტი, რომელშიც აირადი ფაზის ოდენობა მცირდება, ხოლო ამორფული

ფაზა მიგვითითებს მინანქრის მისაღებად შედგენილობის საკმარის ერთგვაროვნებას.

საინტერესო იყო თერმული დამუშავებისას №32 კაზმის მდგომარეობის დადგენა. ამ კაზმში B_2O_3 -ის, შესაბამისად, H_3BO_3 -ის ოდენობა მინიმალურია. ანუ მინიმალურია სისტემის ის კომპონენტი, რომელიც კვლევითის განკუთვნილ კაზმებში კრისტალური პოლიმინერალური მასალის სრულად ამორფულში გადასვლისათვის, საუკეთესო „პლაცდარმის“ უმნიშვნელოვანეს როლს არსულებს.

ნთქმის ზოლებით გამოირჩევა, რომელთა იდენტიფიკაცია მრავალმინერალური სისტემების შემთხვევაში მეტად რთული ამოცანაა. აქ მხოლოდ შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ 773K-ზე ინდივიდუალობას მეტწილად SiO_2 ინარჩუნებს. სისტემის დანარჩენი შემადგენლები კი ამორფული მყარი მასის სახით იკვეთება.

773 K-ზე დამუშავებით მიღებული კომპოზიტის იწ სპექტრი, ჩვენი აზრით, დამაკმაყოფილებლად შეესაბამება 373-773 K ინტერვალში მიმდინარე პროცესების შესახებ ჩვენ მიერ შემოთავაზებულ მოსაზრებებს. მათ მხოლოდ ის უნდა დაემატოს, რომ სისტემაში შესაძლებელია ბარიუმისა და სტრონციუმის ტეტრაჰიდრატ დიბორატის წარმოქმნაც დაიწყოს.

773-1173K-ზე ინტერვალში დამუშავებული და გადაცივებით მიღებული კომპოზიტების იწ სპექტრები მიგვითითებს იმაზე, რომ სისტემაში იზრდება როგორც H_2O -ის, ისე CO_2 -ის ოდენობა, რაც გამოწვეულია კაზმში არსებული კარბონატების SiO_2 -თან ურთიერთქმედებათა დაწყება-ინტენსიფიკაციით ამორფული ფაზის თანდათანობითი ზრდის პირობებში. როგორც შედეგი 1173K-დან გადაცივებულ კომპოზიტში ფიქსირდება თითქმის სრულად ამორფული, მაგრამ ძლიერ არაერთგვაროვანი ფაზა, რომელშიც H_2O -სა და CO_2 -ის ჩანართებია. ეს აირადი ჩანართები მეორადად შეიძლება ჩაითვალოს. პირველადი მხოლოდ H_3BO_3 -ის გარდაქმნით და მისი ძირითადი ნაწილის Na_2CO_3 -თან ურთიერთქმედებით თუ წარმოიქმნება, მაშინ, როდესაც 773-973K ინტერვალში დამუშავებისას მიმდინარეობს უშუალო ურთიერთქმედება ყველა კარბონატსა და SiO_2 -ს შორის, შესაბამისი სილიკატების წარმოქმნით წყალშემცველი ბორატების გაუწყლოების პირობებში.

1173K-ზე დამუშავებითა და გადაცივებით მიღებული კომპოზიტის იწ სპექტრი, ფართო ინტერვალში ოთხ მაქსიმუმიანი ერთი შთანთქმის ზოლის (1072, 1033, 996 და 926cm^{-1}) ნაცვლად იძლევა მინისათვის ჩვეულ იგივე სიფართის ერთ ზოლს მხარულით 995 cm^{-1} და მაქსიმუმით 926 cm^{-1} -თან. იმის მიუხედავად, რომ ამ კომპოზიტში აირადი ჩანართებია, კომპოზიტი ვარგისია მინანქრის მისაღებად.

3. დასკვნა

წარმოდგენილი ორი კომპოზიციის თერმულად დამუშავების ეტაპებად დაყოფის (I 373-573K; II 573-773K; III 773-973K; IV 973-1173K; V 1173-1373K) შემთხვევაში, ტემპერატურულ ინტერვალში მიმდინარე პროცესი შემდგენიარად შეიძლება გამოისახოს:

I – მიმდინარეობს მოვლენები, რომლებიც დაკავშირებულია ბორის მყავის გარდაქმნებთან, მისა და გარდაქმნებით მიღებული პროდუქტების Na_2CO_3 -თან ურთიერთქმედებებთან. აირების სორბციასთან კაზმის ნაწილაკების ზედაპირზე და თხევადი ფაზის წარმოჩენასთან.

II – რეაქციების ინტენსიურობის ზრდა, ბორატულ შემადგენელთან კარბონატების ურთიერთქმედება. კრისტალოჰიდრატების წარმოქმნა და თხევადი ფაზის ზრდა.

III – უშუალო ურთიერთქმედება ყველა კარბონატსა და SiO_2 -ს შორის შესაბამისი სილიკატების წარმოქმნით წყალშემცველი ბორატების გაუწყლოვებისა და მზარდი თხევადი ფაზის პირობებში.

IV – მიღებული ბორატების და სილიკატების გაღობა და ადვილად-დნობადი ევტექტიკების წარმოქმნა, რომლებშიც შეიმჩნევა კრისტალური ჩანართები. თხევადი ფაზა არაერთგვაროვანია.

V – მიმდინარეობს თხევადი ფაზის გაერთგვაროვება, კრისტალური და აირადი ჩანართების მოცილება, 1373K ტემპერატურაზე თერმული დამუშავებით და გადაცივებით. მიღებული ამორფული მასა ერთგვაროვანია.

ლიტერატურა

1. ა. სარუხანიშვილი, ვ. გორდელაძე, ნ. ანდლულაძე, ვ. ებანოიძე. ხუთკომპონენტური ბორსილიკატური სისტემების ზოგიერთი კომპოზიციიდან მინის წარმოქმნის ფიზიკურ-ქიმიური პროგნოზირება. სტუ-ს შრომები, №1(495), 2015, გვ. 51-58.
2. Лазарев А.Н. Колебательные спектры и строение силикатов. Лен-д, 1968, - 348с.;
3. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры силикатов. М.; МГУ, 1967. - 190с.
4. Медведев Е.Ф., Комаревская А.Ш. Изучение фазового состава борной кислоты как компонента стекольной шихты методом ИК спектроскопии. Ст. и Кер. №2, 2007. - ст.8-12;
5. Медведев Е.Ф. Особенности инфракрасного спектрального анализа стеклообразующей шихты, содержащей борную и кремниевую кислоты. Ст. и Кер. №4, 2007. - ст.7-11;
6. Borate Glasses. Ed. L.D. Pye, V.D. Frechette, N.J. Kreidl. Mat. Sci. Res. V. ie, N.Y. 1978 -637.
7. Драго Р. Физические методы в химии. т.1, М.; Мир, 1981. - 424с.
8. Накамото К. ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.; Мир, 1991. - 505с.

UDC 541.11

TEMPERATURE INFLUENCE PROCESSES ANALYSIS BY IR SPECTROSCOPY IN FIVE COMPONENT COMPOSITIONS

V. Gordeladze, A. Sarukhanishvili[†], M. Gibradze

Georgian Technical University, Department of Chemical and Biological Technologies, Str Costava 69. 0175 Tbilisi. Georgia

E-mail: gibradze_marexi@mail.ru

Resume: Goal. Theoretical establishment of the theoretically supposed targeted enamels' features have led the authors of [1] to the conclusion that their offered way of predicting can mainly bring positive results. However, it was noted that it is necessary to obtain experimental evidences of this conclusion. This is exactly the purpose of the present work in which the study of the two compositions of the five-components system is offered at different temperature ranges using the X-ray Spectroscopy.

Method. The survey subjects were the samples of 3-5 grams that were heated to the main temperature point at the rate of 10-15 degrees/min, with 30-minute delay at this temperatures and overcooling down to the room temperature. The rising temperatures of the temperature range 298 and 373-1373 K (373, 473, etc.) were taken as the basis points. The infrared absorption spectra were obtained at the FTIR-Fourier transformation infrared spectrometer "TERMO NIKOLET", AVATAR370, range 4000-400 cm⁻¹, measurement accuracy 0,5 cm⁻¹. The data given in [2-8] are used for the judging of the results.

Result. Different invariant points of the five-component system were used for the planning of the furnace charge (Table 1).

Table 1

Composition of furnace charges and compositions

Invariant points including in the composition	Content of the composition, mol. %					Composition of furnace charge, mass. cont.					№
	Na ₂ O	SrO	BaO	B ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ CO ₃	SrCO ₃	BaCO ₃	H ₃ BO ₃	SiO ₂	
B' ₃ BS ₂ + NS ₂ + S'B ₂ 30% 60% 10%	22,85	4,08	8,10	12,32	52,65	36,04	8,58	22,79	23,99	44,45	27
B' ₃ BS ₂ + NS ₂ + S'B ₂ 20 45 35	18,22	8,11	12,60	5,77	55,30	27,04	13,80	33,74	10,61	44,28	32

S – SiO₂; N – Na₂O; B – B₂O₃; B' – BaO; S' – SrO

X-ray spectra of №27 and №32 compositions and of products of their thermal treatment (at 298, 773, 1173 and 1373 K temperatures) are presented here and their analysis is made.

Conclusion. During thermal processing in the surveyed furnace charge with the temperature rise, takes place the interaction between boric acid and sodium carbonate, and the liquid phase appears. These processes are intensified with the temperature rise, R⁺ and R₂⁺ silicates form and the liquid phase increases. At high temperatures the melting of these compounds; formation of eutectics and the liquid phase uniforming begin.

Key words: enamel; thermal treatment; furnace charge; carbonate; IR Spectroscopy.

უაკ 539.2

თეორიული გამოთვლების გამოყენებით ოლეინმჟავით სტაბილიზებული ვერცხლის ნანონაწილაკების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლა

პ. თოიძე, მ. გაბრიჩიძე

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

E-mail: pol-toidze@gmail.com

რეზიუმე: მიზანი. ვერცხლის ნანონაწილაკები და კლასტერები პერსპექტიული მასალაა კატალიზისთვის. ცნობილია, რომ მაკროზომასთან შედარებით, ნანოზომის ვერცხლის თვისებები (რეაქციისუნარიანობა, მაგნიტური, ოპტიკური, კატალიზური) იცვლება. ნორმალურ პირობებში ატომების მცირე რიცხვის მქონე ნანოზომის კლასტერები უკიდურესად არასტაბილურია. ვერცხლის კლასტერების მაღალი აქტივობა და განსხვავებული თვისებები განპირობებულია შეუწყვილებული ელექტრონებით. დროში კლასტერები განიცდიან აგლომერაციას და კარგავენ რეაქციისუნარიანობას, რაც მოითხოვს მათ სტაბილიზაციას. ვერცხლის ნანონაწილაკების გამოყენება მულტიფუნქციურ ჰიბრიდულ ნანოკომპოზიტების სინთეზსა და ბიოსამედიცინო დარგში, მნიშვნელოვანს ხდის ვერცხლის ნანონაწილაკსა და მასტაბილიზებელ ლიგანდს შორის ურთიერთქმედების მექანიზმის დადგენას.

მეთოდი. HyperChem 8.0.9 პროგრამებში [1] გამოიყენება მექანიკის, კვანტური ქიმიისა და მოლეკულური დინამიკის მეთოდები. პროგრამის პაკეტი საშუალებას იძლევა მოლეკულების ელექტრონულ, სპექტრალურ და მაგნიტურ მახასიათებლების, ურთიერთმოლეკულურ კომპლექსების, ნანოსტრუქტურების და სხვ. არაემპირიული და ნახევარემპირიული გათვლების ჩატარებას. პროგრამის უპირატესობაა - მოლეკულის გრაფიკული სტრუქტურის წარმოსახვა, სისტემის ოპტიმიზაციის დროს გეომეტრიული პარამეტრების ცვლა, მოლეკულური ორბიტალების ვიზუალიზაცია, რხევის მოდების ანიმაცია. ნახევარემპირიული მეთოდების საშუალებით ატომებისთვის და მოლეკულებისთვის ხდება შრედიანგერის განტოლების ამოხსნა განსაზღვრული მიახლოებების და გამარტივებების გამოყენებით. ამ ჯგუფის მეთოდებს ახასიათებს: მხოლოდ ვალენტურ ელექტრონებისთვის ანგარიში; ელექტრონული ორბიტალების სტანდარტული არაოპტიმიზებული საბაზისო ფუნქციების და ექსპერიმენტში მიღებული ზოგიერთი პარამეტრის გამოიყენება.

შედეგები. ოლეინმჟავას მეორადი შრის ფორმირება დაკავშირებულია მუხტების სიმკვრივის გადა-

ნაწილებასთან, რომელსაც ორმაგი ბმის sp^2 - ჰიბრიდიზებული ნახშირბადის ატომების p-ორბიტალური გვერდითი გადაფარვა იწვევს. ვერცხლის ზოლის პერმანგანატით დაჟანგვის ორსაფეხურიან რეაქციაში ვერცხლის ნანონაწილაკის ბირთვი ასრულებს კატალიზატორის როლს. მონომრის შემთხვევაში, ქემოსორბირებულ ვერცხლის ატომებზე ოლეინმჟავას C=C ეფექტური მუხტების მნიშვნელობა მცირდება, რაც იწვევს ორმაგი ბმის შესუსტებას და პერმანგანატის დაჟანგვის რეაქციის სიჩქარის ზრდას. სტეარინის მჟავაში ორმაგი ბმის არარსებობა გავლენას ახდენს ნანოვერცხლის ნაწილაკების სტაბილიზაციის ხარისხზე. პენტაპეპტიდის სპირალის კონფორმაციის ცვლილება ვერცხლთან კავშირის შემდეგ, ბაქტერიულ უჯრედის მეტაბოლიზმს არღვევს, რაც ხელს უწყობს მის განადგურებას.

დასკვნა. HyperChem 8.0.9-ის პროგრამა საშუალებას იძლევა კვანტურ-ქიმიური გათვლებით აიხსნას ოლეინმჟავას როლი მონო და ბიშრის ფორმირებაში, ვერცხლის კატალიზური ეფექტი ოლეინმჟავას პერმანგანატით დაჟანგვის რეაქციაში, კონფორმაციული ცვლილებები პეპტიდის ფრაგმენტში, დადგინდეს ბმების სიგრძე, ეფექტური მუხტების მნიშვნელობები და ელექტროსტატიკური პოტენციალის განაწილება.

საკვანძო სიტყვები: ეფექტური მუხტები; ელექტროსტატიკური პოტენციალი; ოლეინმჟავა; სტეარინის მჟავა; ლიპიდ-2; ნანოკომპოზიტი.

1. შესავალი

ჰიბრიდული ნანოკომპოზიტები ფართოდ გამოიყენება ბიოსამედიცინო და კატალიზის დარგში [2-6]. არაორგანულ-ორგანული ბირთვი-გარსის ტიპის ნანონაწილაკები წარმოადგენენ ელემენტურ სამშენებლო ბლოკებს მულტიფუნქციური ჰიბრიდული ნანოკომპოზიტების (Ag@MnOx) სინთეზისთვის.

ატომების დაბალი რიცხვის მქონე მცირე ზომის კლასტერები უკიდურესად არასტაბილურია, რაც მოითხოვს ნანონაწილაკების სტაბილიზაციას, ზე-

დაპირულად აქტიური ნივთიერებით (ლიგანდით). ლიგანდების ფიზიკურ-ქიმიური ბუნება გავლენას ახდენს ნანოკომპოზიტების კატალიზურ და ბაქტერიციდულ თვისებებზე [7].

ვერცხლის კლასტერების მაღალი აქტივობა და განსხვავებული თვისებები განპირობებულია შეუწყვილებული ელექტრონების არსებობით. ნანონაწილაკების მცირე ზომა და ზედაპირის/მოცულობასთან მაღალი შეფარდების მნიშვნელობა, იწვევს კვანტური ეფექტების გამოვლენას. ოლეინმჟავით სტაბილიზებული ნანოვერცხლის ნაწილაკები გამოიყენება არა მხოლოდ როგორც ჰეტეროგენული კატალიზატორი, არამედ, როგორც საშუალება ბაქტერიული უჯრედის მეტაბოლიზმის ჩაშლისათვის.

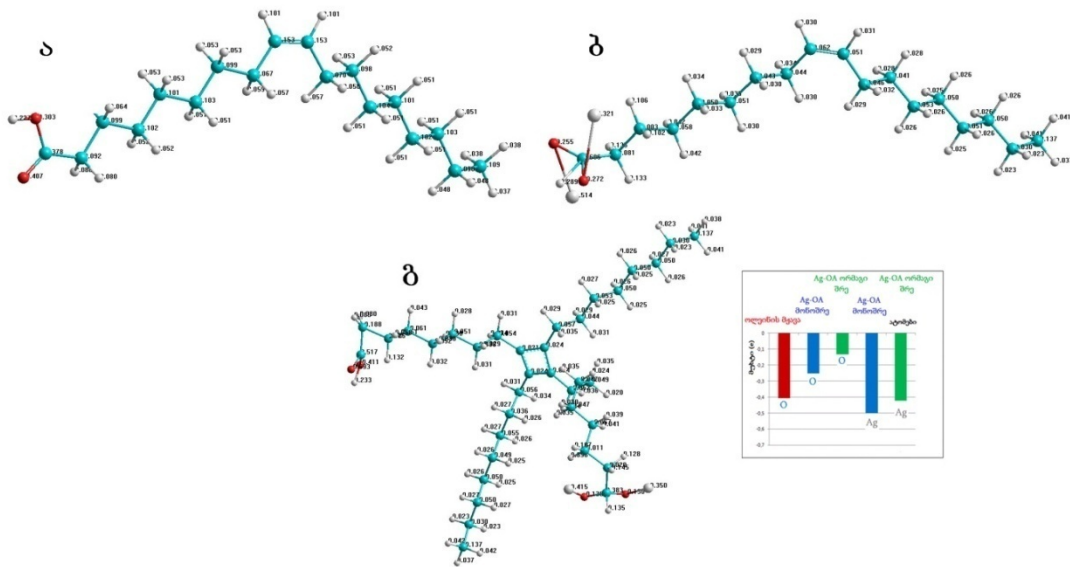
კლასიკური ფიზიკის და ელექტროდინამიკის კანონების თანახმად, ლიგანდებზე ან ჩანაცვლების ჯგუფებზე ელექტრონული სიმკვრივის ძვრა იწვევს მოლეკულის პოლარიზაციას. ამის შედეგად, მოლეკულაში ხდება კონფორმაციული გადასვლები, იცვლება ატომების შორის მანძილი და ბმებს შორის ვალენტური კუთხეები, რაც საბოლოოდ მოლეკულას ახალ ქიმიურ თვისებებს ანიჭებს. ურთიერთკავშირი ელექტრონული სიმკვრივისა და მოლეკულის კონფიგურაციის შორის აადვილებს მოლეკულაში კონფორმაციული ცვლილებების მექანიზმის დადგენას.

HyperChem-8.0, 9 კვანტურ-ქიმიური პროგრამის და ZINDO1 ნახევრად ემპირიული გამოთვლითი მეთოდის გამოყენებით შემოთავაზებული იყო ვერცხლის ნანონაწილაკზე ქემოსორბირებული ოლე-

ინმჟავას და ოლეინმჟავას ლიპიდ-2-ის ფრაგმენტის მოლეკულური მოდელი.

2. ძირითადი ნაწილი

კვანტურ-ქიმიური გამოთვლების თანახმად, თავისუფალი ოლეინმჟავასგან განსხვავებით, ოლეინმჟავას ვერცხლზე ქემოსორბირებული მოლეკულები იწვევს ელექტრონული სიმკვრივის გადანაწილებას. კარბოქსილის ჯგუფის ჟანგბადების ატომების ეფექტური მუხტების მნიშვნელობა თავისუფალ ოლეინმჟავას მოლეკულაში შეესაბამება $q(O_1)=-0.303e$, $q(O_2)=-0.407e$ (სურ. 1 ა) ხოლო, მონაცემები მონოშრისთვის და ბიშრისთვის შეესაბამება შემდეგ მნიშვნელობებს: $q(O_1)=-0.255e$, $q(O_2)=-0.272e$, $Ag=-0.514$; და $q(O_1)=-0.130e$, $q(O_2)=-0.130e$, $Ag=-0.415e$; $Ag=-0.350e$ (სურ.1 ბ, გ). ოლეინმჟავით ქემოსორბირებული ვერცხლის ნანონაწილაკების ელექტროსტატიკური პოტენციალის მნიშვნელობა თავისუფალ, მონოშრიან და ბიშრიან ნიმუშებში შეესაბამება $U_1=-0.134e/\text{\AA}$, $U_2=-1.173e/\text{\AA}$ და $U_3=-1.217e/\text{\AA}$. ოლეინმჟავას მონოშრის შემთხვევაში, ჟანგბადებზე ეფექტური მუხტის შემცირება თავისუფალ ოლეინმჟავასთან შედარებით ვერცხლის ელექტრონების მიმართ აქცეპტორული თვისებით აიხსნება, ხოლო ოლეინმჟავას ბიშრის შემთხვევაში ქემოსორბირებული კარბოქსილის ჯგუფის ჟანგბადების ეფექტური მუხტის შემცირება გამოწვეულია ელექტრონული სიმკვრივის გადანაწილებით, რომელიც დაკავშირებულია ოლეინმჟავას მეორე შრის წარმოქმნასთან (სურ. 1).



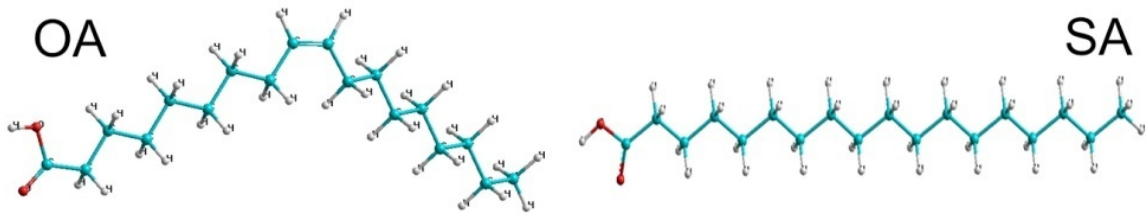
სურ. 1. ა) თავისუფალი ოლეინმჟავას მოლეკულის ეფექტური მუხტები; ვერცხლზე ქემოსორბირებული ოლეინმჟავას მოლეკულის მონოშრის (ბ) და ბიშრის (გ) ეფექტური მუხტები

ნანონაწილაკების სინთეზში ოლეინმჟავას გამოყენება ლიგანდის სახით იძლევა ერთი ფორმის, მონოდისპერსული ნაწილაკების მიღების საშუალებას. ცნობილია, რომ სტეარინის მჟავა ადვილად დესორბირდება ნანონაწილაკის ლითონური ბირთვის ზედაპირიდან, რაც იწვევს სხვადასხვა ფორმის პოლიდისპერსული ნაწილაკების მიღებას. ამავდროს, იგივე ქიმიური ფორმულის მქონე ოლეინმჟავა განსხვავდება სტეარინის მჟავასგან მხოლოდ ორმაგი ბმის არსებობით (სურ. 2).

ლითონის ნანონაწილაკების სტაბილიზაციის მიზნით ოლეინმჟავა ფართოდ გამოიყენება ნანონაწილაკების ზედაპირზე მჭიდრო მონოფენის შექმნის უნარის გამო. კობალტის ნანონაწილაკების სინთეზის დროს იუ ლუმ თანაავტორებთან ერთად [8] აღ-

მოაჩინა, რომ სტეარინის მჟავა ოლეინმჟავასგან განსხვავებით არ წარმოადგენს ეფექტურ სტაბილიზატორს. სტეარინის მჟავა, როგორც ოლეინმჟავა 16-ის CH_n ($n=1-2$) ჯგუფის ერთეულს შეიცავს (ჯაჭვის ერთ ბოლოს პოლარული კარბოქსილის ჯგუფს, ხოლო ჯაჭვის მეორე ბოლოს – მეთილის ($-CH_3$) ჯგუფს), მაგრამ განსხვავდება მოლეკულური სტრუქტურით. ოლეინმჟავას მოლეკულაში, ნახშირბადის ჯაჭვის შუა ნაწილში, ორმაგი ბმა ქმნის 120° ტეხილს მის ორ ნაწილს შორის.

ნანონაწილაკების სტაბილიზაციაზე ორმაგი ბმის გავლენის დადგენის მიზნით ჩავატარეთ ამ მჟავების მოლეკულების მოდელირება HyperChem-8.0.9-ის პროგრამის გამოყენებით.



სურ. 2. ოლეინის (OA) და სტეარინის (SA) მჟავების მოლეკულური სტრუქტურა

მიურეის გამოსახულების გამოყენებით [9, 10]:

$$V_{\text{საშ}} = (q_i + q_j)/0.5R,$$

სადაც, q_i და q_j i და j ატომების მუხტებია და R – i და j ატომებს შორის ბმის სიგრძე დავადგინეთ, რომ ვერცხლზე ქემოსორბირებული სტეარინის მჟავას ელექტროსტატიკური პოტენციალის მნიშვნელობა $Ag(56)-O(19)$ და $Ag(57)-O(20)$ ბმების შუა წერტილში, შეესაბამება $U_1 = -0.56(\text{ev})$ და $U_2 = -0.25(\text{ev})$. ხოლო, ოლეინმჟავას შემთხვევაში ელექტროსტატიკური პოტენციალის მნიშვნელობა $Ag(56)-O(19)$ და $Ag(57)-O(20)$, ბმების შუა წერტილში შეესაბამება $U_1 = -0.59(\text{ev})$ და $U_2 = -0.45(\text{ev})$. კვანტურ-ქიმიური გამოთვლებიდან გამომდინარეობს, რომ სტეარინის მჟავას შემთხვევაში $Ag(57)-O(20)$ ბმის ელექტროსტატიკური პოტენციალი ოლეინმჟავასთან შედარებით, თითქმის ორჯერ ნაკლებია. $Ag\&L$ (ლიგანდით სტაბილიზებული ვერცხლის ნანონაწილაკი)-კომპლექსში ელექტრონული სიმკვრივის გადაწილება გამოიწვია სტეარინის მოლეკულაში ელექტროსტატიკური დისბალანსი და $Ag(57)-O(20)$ ბმის შესუსტება. ხოლო, ოლეინმჟავას მოლეკულაში

ორმაგი ბმის არსებობამ გამოიწვია ელექტრონული სიმკვრივის თანაბარი განაწილება. ორმაგი ბმების შესაძლო გადაფარვა, ოლეინმჟავას მონოფენის ფორმირებისას, ხელს უწყობს მდგრადობის შენარჩუნებას, სტეარინის მჟავას ალიფატური ჯაჭვებისაგან განსხვავებით. ამგვარად, სტეარინის მჟავაში ორმაგი ბმის არარსებობა გავლენას ახდენს ნანოვერცხლის ნაწილაკების სტაბილიზაციის ხარისხზე.

ლიპიდი-II ფრაგმენტის მოდელირება

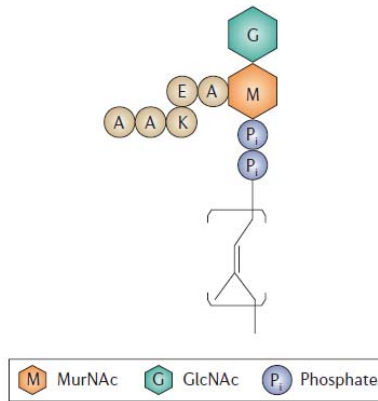
მეიერ-ოვერტონის ლიპიდური თეორიის თანახმად, ვერცხლის ბაქტერიციდული აქტივობა დამოკიდებულია $Ag(I)$ -ის ორგანულ ლიგანდთან კომპლექსის წარმოქმნაზე, რაც იწვევს ლიპოფილურობის ზრდას. ეს ხელს უწყობს $Ag(I)$ ტრანსმემბრანულ გადატანას და ვერცხლის დაგროვებას ბაქტერიულ უჯრედში. ამ პროცესის ძირითად რეაქციას წარმოადგენს ნანოვერცხლიდან ბიოლოგიურად აქტიური ვერცხლის გამოყოფა, რომელიც რეგულირდება ზედაპირულად აქტიური ლიგანდებით [11-15]. ბაქტერიულ უჯრედში შეღწეული ვერცხლის

ნანონაწილაკები უკავშირდებიან ცილებს და არღვევენ ელექტრონების გადატანის პროცესს, რაც იწვევს ბაქტერიული უჯრედის დაზიანებას [16, 17].

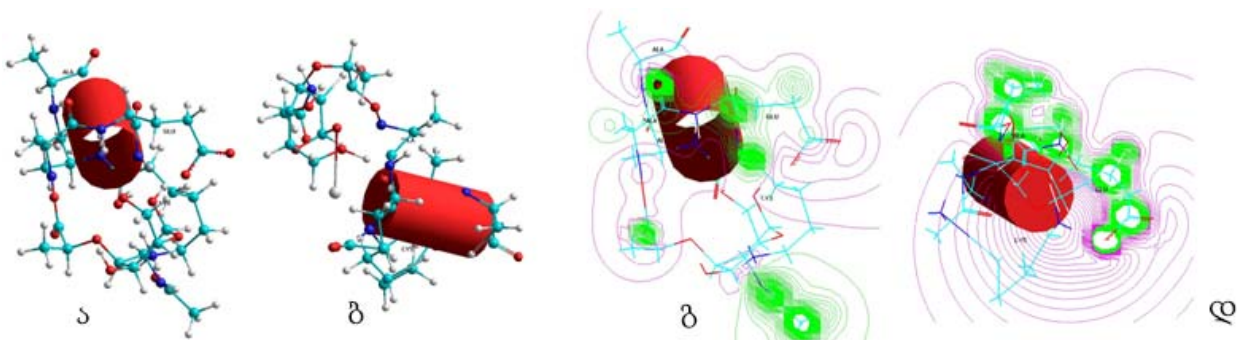
ოლეინმჟავით სტაბილიზებული ნანოვერცხლის ბაქტერიის კედლის ლიპიდებთან ურთიერთქმედების შესწავლის მიზნით, განვიხილეთ ლიპიდ-2-ის ფრაგმენტის ურთიერთქმედება ვერცხლთან. ლიპიდ-2 შედგება ამინოშაქრის პოლიმერისგან, N-აცეტილგლუკოზამინისგან (GlcNAc); N-აცეტილმურამიკის მჟავასგან (MurNAc). ასეთი პოლიმერული ჯაჭვები უკავშირდება პენტაპეპტიდს. პენტაპეპტიდი წარმოადგენს A-A-K-E-A- ამინომჟავების თანამიმდევრობას, რაც უჯრედს სტრუქტურულ სიხისტეს და მექანიკურ სიმტკიცეს ანიჭებს (სურ. 3). HyperChem-8 პროგრამის გამოყენებით ილუსტ-

რირებულია ნანოვერცხლის გავლენა ლიპიდ-2-ის ფრაგმენტის კონფორმაციაზე.

სურ. 4-ზე ნაჩვენებია პენტაპეპტიდის სპირალის კონფორმაციის ცვლილება ვერცხლთან კავშირის შემდეგ: ელექტრონული სიმკვრივის გადანაწილებამ შეცვალა ელექტროსტატიკური პოტენციალის მნიშვნელობა. თუ ნატიურ პენტაპეპტიდის შეთხვევაში ელექტროსტატიკური პოტენციალი $-0.22 \pm 2.43(\text{ev})$ დიაპაზონში იცვლებოდა და ძირითად ფრაგმენტს უარყოფითი პოტენციალი ახასიათებდა, ვერცხლთან დაკავშირების შემდეგ პოტენციალის განაწილება მკვეთრად იცვლება $-0.47 \pm 0.39(\text{ev})$ და დადებით მნიშვნელობას ღებულობს. ვერცხლით გამოწვეული პოტენციალის მნიშვნელობის ცვლილება იწვევს პენტაპეპტიდის სტრუქტურულ მოდიფიცირებას, რაც ხელს უწყობს ბაქტერიის უჯრედის განადგურებას.



სურ. 3. ლიპიდ II სქემატური სტრუქტურა. N- აცეტილგლუკოზამინი (GlcNAc); N-აცეტილმურამიკის მჟავა (MurNAc); A -ადენინი;K -ლიზინი; E- გლუტამინის მჟავა

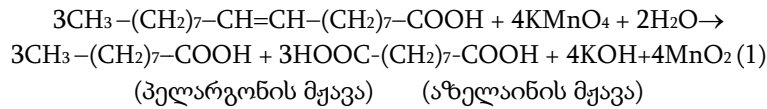


სურ. 4. ლიპიდ II-ის ფრაგმენტის კონფორმაცია ა) ნატიურ მდგომარეობაში; ბ) ვერცხლთან დაკავშირების შემდეგ; ელექტროსტატიკური პოტენციალის განაწილების რუკა გ) ნატიურ მდგომარეობაში; დ) ვერცხლთან დაკავშირების შემდეგ

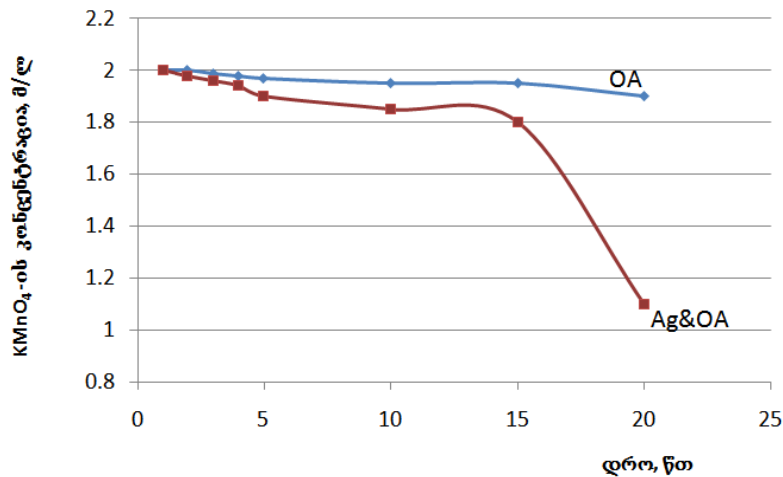
ოლეინმჟავას კალიუმის პერმანგანატით დაჟანგვის კინეტიკა

Ag@MnO₂ ნანოკომპოზიტი მიიღება ოლეინმჟავით სტაბილიზებული ნანოვერცხლის პერმანგანატით დაჟანგვის რეაქციით (1). რეაქციის პირველ

ეტაპზე პერმანგანატის იონისა და ოლეინმჟავას ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება შუალედური პროდუქტი. მეორე ეტაპზე, მიღებული მანგანუმის დიოქსიდი ჩაანაცვლებს ოლეინმჟავას გარსს.



ოლეინმჟავას და ნანონაერცხლის ზოლის პერმანგანატით დაჟანგვის კინეტიკა მოყვანილია სურ. 5-ზე [18].

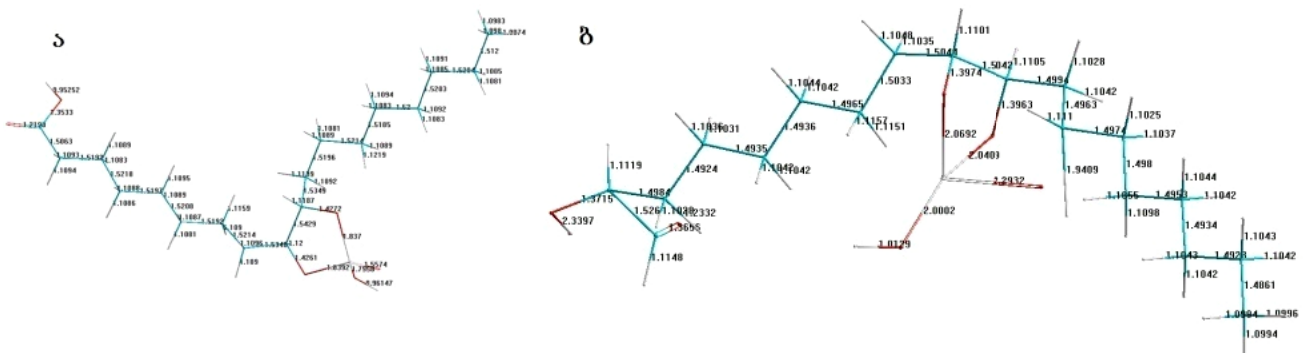


სურ. 5. ოლეინმჟავას და ნანონაერცხლის ზოლის პერმანგანატით დაჟანგვის კინეტიკა

HyperChem 8.0.9-ის პროგრამის გამოყენებით ჩატარდა მიღებული OA&MnO₄ და Ag&OA&MnO₄ კომპლექსების მოდელირება (სურ. 6).

თავისუფალ ოლეინმჟავას მოლეკულაში, ატომების ეფექტური მუხტების მნიშვნელობა ნახშირბადების ორმაგ ბმაზე შეესაბამება q₁=q₂=-0.153e, ხოლო ქემოსორბირებულ ვერცხლზე ოლეინმჟავას მოლეკულის ნახშირბადების ატომების ორმაგი

ბმის ეფექტური მუხტების მნიშვნელობა მცირდება და აღწევს q₁=-0.062e, q₂=-0.051e (ცნობილია, რომ ვერცხლი ელექტრონების ძლიერი აქცეპტორია). Ag&OA&MnO₄-ში ეფექტური მუხტების შემცირება იწვევს ორმაგი ბმის შესუსტებას და ოლეინმჟავას პერმანგანატით დაჟანგვის რეაქციის სიჩქარის ზრდას.



სურ. 6. ა) ოლეინმჟავას და ბ) ვერცხლის ზოლის კალიუმის პერმანგანატთან ურთიერთობისას ეფექტური მუხტების მნიშვნელობა

3. დასკვნა

ვერცხლის ნანონაწილაკების ზედაპირზე ოლეინმჟავას მეორე შრე წარმოიქმნება ორმაგი ბმის sp^2 -ჰიბრიდიზებული ნახშირბადის ატომების p-ორბიტალების გვერდითი გადაფარვით; ვერცხლის ნანონაწილაკებზე ნაჯერი სტერინის მჟავას გამოყენება ლიგანდის სახით, უარყოფით გავლენას ახდენს ნანონაწილაკების სტაბილიზაციის ხარისხზე; პენტაკეპტიდის სპირალის კონფორმაციის გარდაქმნა ვერცხლთან კავშირის შემდეგ, იწვევს მოლეკულური კომპლექსის ელექტრონული თვისებების ცვლილებას, რაც ბაქტერიულ უჯრედის მეტაბოლიზმს არღვევს; ოლეინმჟავით სტაბილიზირებულ ვერცხლის ნანონაწილაკებში ნახშირბადების ატომების ორმაგი ბმის ეფექტური მუხტების მნიშვნელობის შემცირება იწვევს ოლეინმჟავას დაჟანგვის რეაქციის სიჩქარის ზრდას.

ლიტერატურა

1. www.hyper.com
2. Comotti M., Della Pina C., Matarrese R., Rossi M., The Catalytic Activity of “Naked” Gold Particles. *Angew. Chem. Int. Ed.* (2004), 43, 5812-5815.
3. Rashid M.H., Mandal T.K. Templateless Synthesis of Polygonal Gold Nanoparticles: An Unsupported and Reusable Catalyst with Superior Activity. *Adv. Funct. Mater.* (2008), 18, 2261-2271.
4. Wang L., Yamauchi Y. Strategic Synthesis of Trimetallic Au@Pd@Pt Core-Shell Nanoparticles from Poly (vinylpyrrolidone)-Based Aqueous Solution toward Highly Active Electrocatalysts. *Chem. Mater.* (2011), 23, 2457-2465.
5. Vivek Polshettiwar and Rajender S. Varma. Green chemistry by nano-catalysis. *Green Chem.* (2010), 12, 743-754.
6. Li D., Sun C.Y., Huang Y.G., Li J.H., Chen S.W. Surface effects of monolayer-protected gold nanoparticles on the redox reactions between ferricyanide and thiosulfate. *Sci. China. (2005), Ser. B, 48, 424-430.*
7. Yu Lu , Xianmao Lu , Brian T. Mayers et al. Synthesis and characterization of magnetic Co nanoparticles: A comparison study of three different capping surfactants. *Journal of Solid State Chemistry* (2008), 181, 1530–1538.
8. Murray J.S., Lane P., Politzer P., Relationships between impact sensitivities and molecular surface electrostatic potentials of nitroaromatic and nitroheterocyclic molecules. *Mol. Phys.* (1995), 85, 1-8.
9. Owens F.J., Jayasuriya K., Abrahamsen L., Politzer P. Computational analysis of some properties associated with the nitro groups in polynitroaromatic molecules. *Chem. Phys. Lett.* (1985,116), 434-438.
10. Marambio-Jones C, Hoek Eric M.V. A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *J Nano Res.* (2010),12(5),1531–1551.
11. Liu J, Hurt RH. Ion release kinetics and particle persistence in aqueous nano-silver colloids. *Environ Sci Technol.* (2010),44(6),2169–2175.
12. Ma R., Levard C., Marinakos S.M. et al. Size-controlled dissolution of organically coated silver nanoparticles. *Environ Sci Technol.* (2012), 46(2), 752–759.
13. Sotiriou G.A., Pratsinis S.E. Antibacterial activity of nanosilver ions and particles. *Environ Sci Technol.* (2010),44(14),5649–5654.
14. Liu J., Sonshine D.A., Shervani S., Hurt R.H. Controlled release of biologically active silver from nanosilver surfaces. *ACS Nano.* (2010), 4(11), 6903–6913.
15. Kim J.S., Kuk E., Yu K.N. et al. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomed Nanotechnol.* (2007),3(1),95–101.
16. Yan-Min Long, Li-Gang Hu, Xue-Ting Yan et al. Surface ligand controls silver ion release of nanosilver and its antibacterial activity against *Escherichia coli*. *International Journal of Nanomedicine.* (2017), 12, 3193–3206.
17. Donadze M., Gabrichidze M., Calvache S., Agladze T. Novel method for preparation of the hybrid metal (I)-metal(II)oxide nanoparticles. *The International Journal of Surface Engineering and Coatings.* (2016), 94(1), 16-23.

UDC 539.2

STUDY OF THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SILVER NANOPARTICLES STABILIZED WITH OLEIC ACID USING THEORETICAL CALCULATION

P. Toidze, M. Gabrichidze

Georgian Technical University, Department of Chemical and Biological Technologies, Str Costava 69. 0175 Tbilisi. Georgia

E-mail: pol-toidze@gmail.com

Resume: Goal. Inorganic-organic core-shell nanoparticles are considered to be common building blocks for synthesis of multifunctional hybrid nanocomposites, which are promising materials for biomedical and catalytic application. Knowledge of the metal nanoparticle-ligand interaction mechanism is crucial for design strategy of such materials. In the present study silver-oleic acid capped nanoparticles are used as a model for mono- and bi-layer ligand chemisorption.

Method. HyperChem software generates molecules (the builder), perform structural optimizations, and analyze molecular orbitals and its relation to functionality. Molecular modeling involves the development of mathematical models of molecules that can be used to predict and interpret their properties. A quantum mechanical model of the electronic structure of a molecule, which involves solving the Schrödinger equation. Quantum mechanics can be used to predict electronic properties of molecules, such as dipole moments and spectroscopy.

Result. Quantum chemical simulation leads farther insight into the mode of bonding and structure of adsorbed layer. OA interaction with Ag atoms results in charge density increase at metal surface and creation of negative electrostatic potential at carboxyl group owing to covalent bonding. Formation of secondary layer accompanied by redistribution of charge density: slight decrease in metal surface charge density, double decrease of charge density at C=C bond and strong increase in negative charge of carboxyl group of secondary layer. The absence of a double bond in the molecule of stearic acid affects the quality of stabilization of the surface of silver nanoparticles. Controlled release of biologically active silver from nanosilver can be regulated by the surface ligands. The capabilities of nanosilver in inhibiting bacteria were ascribed to the surface ligand-mediated silver ion release from both extra-cellular process and intracellular manner. The studies AgNPs showed that internalized AgNPs caused cell damage through binding with chain-related proteins and interrupting the electron transfer process.

Conclusion. The HyperChem program allows quantum-chemical calculations to explain the role of oleic acid in the formation of mono- and bilayers, the catalytic effect of nano-silver in the oxidation of oleic acid with permanganate and conformational changes in the peptide fragment. Quantum-mechanical calculations allow one to establish the bond lengths in the molecule, the values of the effective charges, and the distribution of the electrostatic potential.

Key words: effective charges; electrostatic potential; oleic acid; stearic acid; lipid-II; nanocomposite.

უაკ 591.2

ბიონანოკერამიკული სუპერპარამაგნეტიკების მიღება მართვადი ლოკალური ჰიპერთერმიის შესაქმნელად ავთვისებიანი სიმსივნეების სამკურნალოდ ზ. კოვზირიძე, ნ. ნიჟარაძე, ნ. დარახველიძე

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

E-mail: kowsiri@gtu.ge

რეზიუმე: მიზანი. ჰემატიტის ნანო-ნაწილაკებით გამოწვეული ჰიპერთერმიის სიმსივნისაწინააღმდეგო თვისებების და მათი მოქმედების მექანიზმების შედარებითი შესწავლა; მაღალი ანტი-სიმსივნური ეფექტის მქონე პრინციპულად ახალი პრეპარატის შექმნა.

მეთოდი. ჰემატიტის ნანო-ნაწილაკების პრეპარატის მომზადება-კონცენტრირება, აქტივობის კონტროლი პრეპარატის სიმსივნის საწინააღმდეგო აქტივობის შედარებითი შესწავლა; ოპტიმალური რეჟიმისა და სქემების დადგენა-შემუშავება.

შედეგები. მიღებული ჰემატიტის ნანო-ნაწილაკების ანალიზის პროცესში ფხვნილმა აჩვენა ჰომოგენურობა, ზომების მიხედვით თანაბარი განაწილება და შესაბამისად კარგი სტაბილურობა.

დასკვნა. ძეტა პოტენციალის ხელსაწყოში მიღებული რკინის იონების შემდგომი დამუშავებით კიურის (769°C) ტემპერატურის ზევით (800°C) რეჟიმით 4-5°C/წთ დამუხანგავ გარემოში მიღებულ იქნა ჰემატიტის ნანონაწილაკები 30-80 ნმ ზომით.

საკვანძო სიტყვები: ნანონაწილაკი; ჰემატიტი; ჰიპერთერმია; სტაბილურობა.

კვლევის მოსალოდნელი შედეგები და მათი მნიშვნელობა მეცნიერების, ეკონომიკის და/ან სოციალური სფეროსათვის

წარმოდგენილი სამუშაოს შესრულების შედეგად მოსალოდნელია:

1. დადასტურდეს ჰემატიტის ნანო-ნაწილაკებით გამოწვეული ჰიპერთერმიის სიმსივნისაწინააღმდეგო ეფექტი, რაც გამოიხატება სიმსივნური ზრდის დამუხრუჭებით, შესაძლო რეზორბციითა და ექსპერიმენტულ ცხოველთა სიცოცხლის ხანგრძლივობის გაზრდით;

2. შერჩეული იქნას მაქსიმალური სიმსივნისაწინააღმდეგო და მინიმალური გვერდითი ეფექტების

მქონე პრეპარატი და მოწოდებული იქნეს, როგორც ავთვისებიანი სიმსივნეების მკურნალობის ახალი, პერსპექტიული ალტერნატივა, ან დამატებითი საშუალება.

ლიტერატურული მიმოხილვა

მაგნიტური სითხის ჰიპერთერმია არის კიბოს მკურნალობის მეთოდი, რომელშიც გამოყენებულია სითბო, რომელიც გაიზნევა ცვლადი დენის მაგნიტური ველის მოქმედების ქვეშ მყოფი მაგნიტური ნანონაწილაკების მიერ. სითბოს გაზნევა არის სხვადასხვა რელაქსაციის მექანიზმებით მაგნიტური ენერჯის გარდაქმნა, რაც დამოკიდებულია მაგნიტური ნაწილაკების ფიზიკურ თვისებებზე. მაგნიტური ნანონაწილაკების შემთხვევაში მაგნიტური ენერჯია გარდაიქმნება სითბოს ენერჯიად, მაგნიტური ნაწილაკების ბრუნვის (ბრაუნის რელაქსაცია), ან ნაწილაკებში მაგნიტური მომენტის (ნეელის რელაქსაცია) ცვლადი მაგნიტური ველისკენ მობრუნების საპასუხოდ. მნიშვნელოვანია თეორიული და ექპერიმენტული კვლევების განვითარება მაგნიტური სითხის ჰიპერთერმიის რეალიზაციისათვის (MFH) ჰემატიტის ნაწილაკების ნეელის და ბრაუნის რელაქსაციით სითბოს გაზნევის მეშვეობით. პრაქტიკული გამოყენების პროგრესის თვალსაზრით გასაანალიზებელია ჰემატიტის და მაგნეტიტის ნანო-ნაწილაკების საფუძველზე, ჰიპერთერმიის თანამედროვე მდგომარეობა და პერსპექტივები, ყურადღება ძირითადად გასამახვილებულია სითბოს გაზნევაზე ნეელის რელაქსაციის მექანიზმით. ამის გათვალისწინებით შესასწავლია გარკვეული საკითხები, როგორცაა ა) მაგნეტიტის და ჰემატიტის ნაწილაკების ფიზიკური თვისებები, რომლებიც წარმოქმნიან სითბოს ნეელის რელაქსაციის მეშვეობით, ბ) მიღების მეთოდი, რომლის მეშვეობით ხდება საჭირო თვისებების მქონე ნაწილაკების სინთეზი. თეორიულმა და ექპერიმენტულმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ პაციენტის მკურნალობის განსაკუთ-

რებული ტექნოლოგიის განვითარება, რომელიც დაფუძნებულია საერთო მიდგომაზე, ითვალისწინებს, როგორც სითბურ წყაროდ გამოყენებული მაგნიტური ნაწილაკების ფიზიკურ შეზღუდვებს, ასევე პრაქტიკულად განხორციელებადი ცვლადი მაგნიტური ველის გენერატორების აუცილებლობას მომავალში MGH თერაპიის დასაწერად.

მაგნიტური ჰიპერთერმია წარმოადგენს მეთოდს, რომელიც გულისხმობს კიბოს უჯრედების მოსპობას უჯრედის ტემპერატურის გაზრდით 316K ზევით, რომლის დროს გამოიყენება ცვალებადი მაგნიტური ველით გამოწვეული მაგნიტური ნაწილაკების სითბური გაბნევა [1, 2].

მაგნიტური გახურება არის მაგნიტური ნაწილაკების რეაქცია მათზე მოქმედი ცვალებადი დენის (AC) მაგნიტური ველისა, რომელიც გარდაქმნის მაგნიტურ ენერგიას თბურ ენერგიად. მაგალითად, როდესაც მაგნიტური ველი, რომლის სიძლიერე აღემატება ნაწილაკის კოერციტიულ ძალას, რომელიც მოქმედებს ნაწილაკის შიგნით მაგნიტური მომენტის საწინააღმდეგო მომართულებით, ხდება მაგნიტური მომენტის იძულებითი შეცვლა და ზეერმანის ენერგია გაიბნევა გარშემო. თუმცა მაგნიტური გახურების მოვლენა შემოთავაზებულია და ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია 50 წელზე მეტი ხნის წინ [3, 4], გასული 15-20 წლის განმავლობაში მაგნიტური ნაწილაკების ჰიპერთერმიის სფერომ ახალი სივრცეზე მიიღო მაგნიტური ელემენტების შეყვანით, რომლებიც ფერომაგნიტურთან შედარებით თითქმის სუპერპარამაგნიტურია [5-15]. შედეგად, პოტენციური თერმული წყაროების შესწავლა გაფართოვდა და მიღწეულია საერთო კონსენსუსი მაგნეტიტის ნაწილაკების გამოყენების შესახებ, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ სითბური გაბნევით ხდება წამლის გადატანა ერთი მხრივ და მეორე მხრივ, მოქმედებს მაგნიტური ველის გენერატორების პრაქტიკული შეზღუდვების ფარგლებში. მაგრამ, უნდა აღინიშნოს, რომ მაგნიტური სითბის ჰიპერთერმიის ეფექტური მკურნალობისთვის (MFH) სასიცოცხლო მნიშვნელობა აქვს კვლევებს მონოდისპერსული ნაწილაკის სინთეზის სფეროში, მათი სითბური გაბნევის და დიფუზიის მახასიათებლებს და მკურნალობის სპეციფიკური სტრატეგიის ფორმულირებას.

რელაქსაციის მექანიზმები და სითბური გაბნევა ნეელის რელაქსაციით

როდესაც ნაწილაკები ნანომეტრის ზომისაა, ამ ნაწილაკების მაგნიტური ვექტორები ვიბრირებენ და არ რჩებიან სტატიკურად მეტასტაბილურ მდგომარეობაში. უფრო მეტიც, როდესაც ეს ნაწილაკები გაბნეულია დაბალი სიბლანტის გამხსნელში, სპინურ ბრუნვასთან ერთად უნდა გავითვალისწინოთ მაგნიტური ვექტორის შეცვლა ნაწილაკების ბრუნვის შედეგად. მაგრამ სპინური ბრუნვითი სისტემით თავისუფალი შეცვლის დროსაც კი, თუ მაგნიტური ველის ცვლილება ხდება შედარებით ძალიან მოკლე დროში, მაგნიტური ვექტორი ვერ ასწრებს საკმარისად სწრაფ რეაქციას და შედეგად მაგნიტური ენერგია გაიბნევა, როგორც სითბო. გარდა ამისა, მაღალი სიბლანტის ხსნარებში ნაწილაკები გააბნევენ სითბოს იძულებითი ბრუნვის საშუალებით მაგნიტური ბრუნვის მომენტის გამო ძლიერი მაგნიტური ველის დროს. მაგნიტური ვექტორის რელაქსაციების დიაგრამული გამოსახულება სპინური ბრუნვით (ნეელი) ან ნაწილაკების ბრუნვით (ბრაუნის), როდესაც ნაწილაკებზე მოქმედებს ცვალებადი მაგნიტური ველი, მაგნიტური ველის მიმართულების შეცვლის სხვადასხვა დროით მოცემულია ნახ. 1.

ნეელის (τ_N) და ბრაუნის (τ_B) ნაწილაკების მაგნიტური რელაქსაციის დრო მოცემულია შემდეგი განტოლებებით:

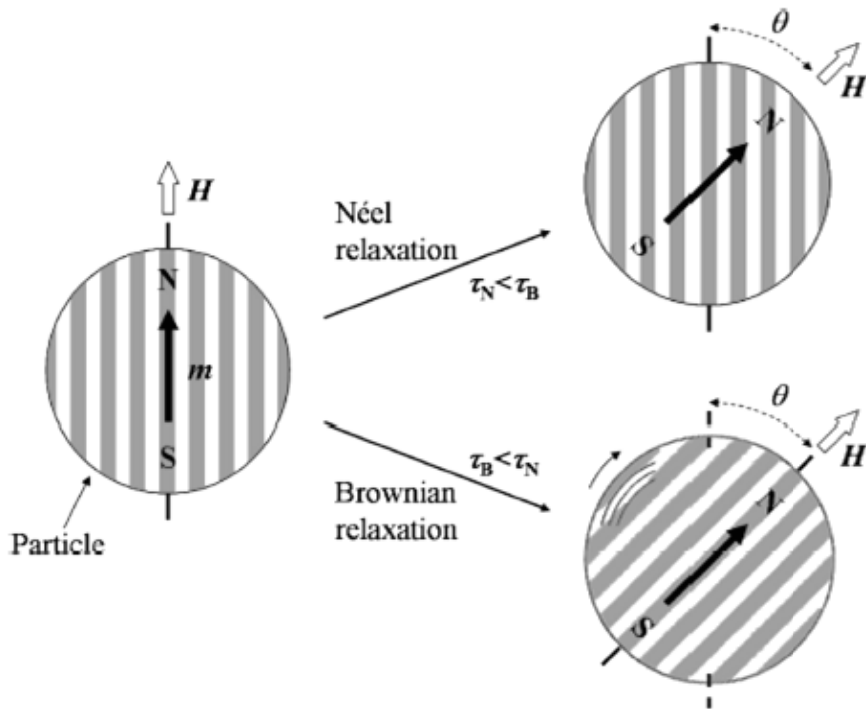
$$\tau_N = \frac{\pi^{1/2}}{2} \tau_0 \frac{\exp \Gamma}{\Gamma^{1/2}} \quad (1)$$

$$\Gamma = \frac{KV_M}{kT} \quad (2)$$

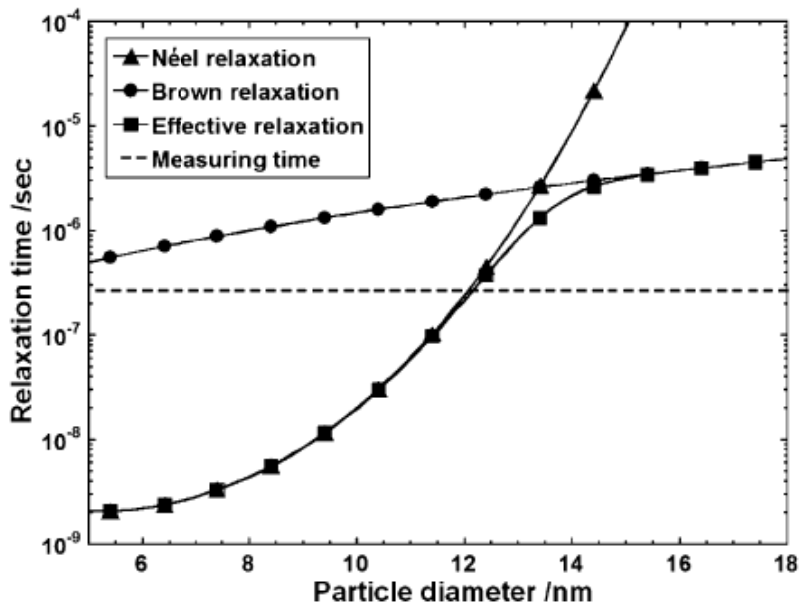
$$\tau_B = \frac{3\eta V_H}{kT} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{\tau_B \tau_N}{\tau_B + \tau_N} \quad (4)$$

სადაც τ_N არის ნეელის რელაქსაციის დრო; τ_B - ბრაუნის რელაქსაციის დრო, τ - ეფექტური რელაქსაციის დრო; $\tau_0 = 10^{-9}$ (წამი); K არის ანიზოტროპიის მუდმივა, V_M - ნაწილაკის მოცულობა; k - ბოლცმანის მუდმივა; T - ტემპერატურა; η - ნაწილაკის სიბლანტე; V_H - ნაწილაკის ჰიდროდინამიკური მოცულობა.



ნახ. 1. მაგნიტური მომენტის ბრუნვა ნანო-ნაწილაკებში. მაგნიტური მომენტის რელაქსაცია ხდება ნეელის ან ბრაუნის რელაქსაციით. მაგნიტური მომენტი ბრუნავს ნეელის რელაქსაციის საშუალებით, როდესაც გაზომვის ტემპერატურა ბლოკირების ტემპერატურაზე მეტია და გაზომვის დრო რელაქსაციის დროზე მეტია. მაგნიტური მომენტი ბრუნავს ბრაუნის რელაქსაციის მეშვეობით, როდესაც გაზომვის ტემპერატურა ნაკლებია ვიდრე ბლოკირების ტემპერატურა და გაზომვის დრო ნაკლებია რელაქსაციის დროზე



ნახ. 2. მაგნიტური მომენტის დამახასიათებელი რელაქსაციის დრო, როგორც ნაწილაკის დიამეტრის ფუნქცია. გამოთვლები დაფუძნებულია შემდეგ მონაცემებზე: ზედაპირულად აქტიური ნივთიერების ფენის სისქე - 3,2ნმ, მაგნიტუტის ანიზოტროპიის მუდმივა - 30 kJm⁻³, გაზომვის ტემპერატურა - 300 K, სიბლანტე - 0,00089 kgm⁻¹s⁻¹, სიხშირე (გაზომვის დრო) - 600 kHz

როგორც ზემოთ ითქვა, მაგნიტური ნაწილაკების მიერ გაბნეული სითბო დამოკიდებულია ბრუნვის მექანიზმზე, როგორცაა ნეელის და ბრაუნის რელაქსაციები. აგრეთვე, მამოძრავებელი ძალის მიხედვით მექანიზმი შეიძლება დაიყოს სუპერპარამაგნიტური და მაგნიტური ველებით გამოწვეული მიმართულების იძულებით ცვლილებად და ბრუნვად. განვიხილოთ მაგნიტური სითბოს შესაძლო გაბნევის მექანიზმები, რომლებიც მოქმედებს სუპერპარამაგნიტური მაგნეტიტის ნანონაწილაკების შემთხვევაში. ზემოთ მოყვანილი განტოლებებიდან ცხადია, რომ რელაქსაციის დრო დამოკიდებულია ნაწილაკის დიამეტრზე. ნახ. 2-ზე მოცემულია დამოკიდებულება მაგნეტიტის ნაწილაკის დიამეტრსა და რელაქსაციის დროს შორის. მაგნიტური მომენტი მცირდება ნეელის რელაქსაციის მეშვეობით, როდესაც ნაწილაკის დიამეტრი 13 ნმ-ზე ნაკლებია. ნაწილაკები, რომელთა დიამეტრი 14 ნმ-ია და მეტი მცირდება ბრაუნის რელაქსაციის საშუალებით ოთახის ტემპერატურაზე. ჩვეულებრივ, არსებული მაგნიტური საკიდარი ხასიათდება ნაწილაკების ზომის ფართო დიაპაზონით. ამგვარად, როდესაც ამ საკიდრებზე მოქმედებს ცვლადი დენის მაგნიტური ველი მაგნიტური შექცევადი დროით, რომელიც ნაკლებია ნაწილაკის მაგნიტური რელაქსაციის დროზე, სითბო გაიბნევა მაგნიტური მომენტის რელაქსაციის დაგვიანების გამო სპინური ბრუნვის და ნაწილაკების ბრუნვის შედეგად. ამგვარად, სითბოს გაბნევის სიდიდის გამოთვლა ხდება ორივე რელაქსაციის (განტ. 4) ჰარმონიული საშუალოს გამოყენებით და მათი შეფარდებითი წილი დამოკიდებულია ნაწილაკის დიამეტრზე. სითბოს გაბნევის განტოლება [16] მოცემულია ფორმულით:

$$P = \mu_0 \chi'' f H_{\text{applied}}^2 \quad (5)$$

სადაც P არის სითბოს გაბნევის მნიშვნელობა; μ_0 - თავისუფალი სივრცის შეღწევადობა; χ'' - ცვლადი დენის მაგნიტური ამთვისებლობა (წარმოსახვითი ნაწილი); f - ცვლადი დენის მაგნიტური ველის სიხშირე; H_{applied} - ცვლადი დენის მაგნიტური ველის ინტენსივობა.

როგორც განტოლებებიდან ჩანს, გაბნეული სითბო პროპორციულია სიხშირის და მაგნიტური ველის ინტენსივობის კვადრატისა. ამჟამად, სითბოს გაბნევის სიდიდე წარმოდგენილია, როგორც სითბოს შთანთქმის კუთრი სიჩქარე, SAR ე.ი. Wg^{-1} , რომლის გამოთვლისას მაგნიტური ველის ინტენსივობა და სიხშირის სიდიდე მხედველობაში არ მიიღება. ამგვარად, სითბური წყაროს რეალურ პოტენციალზე არ შეიძლება ვიმსჯელოთ მხოლოდ სითბოს შთანთქმის კუთრი სიჩქარის სიდიდის მიხედვით. მიზან-

შეწონილია გამოვიყენოთ კუთრი შთანთქმის ეფექტური ESAR სიჩქარის მნიშვნელობები, რომლებიც გამოანგარიშებულია ქვემოთ მოყვანილი განტოლების გამოყენებით მაგნიტური ველის ინტენსივობის და სიხშირის გათვალისწინებით [17]. შთანთქმის ეფექტური კუთრი სიჩქარის სიდიდის, როგორც ნაწილაკის დიამეტრის (მაქსიმუმ 18 ნმ) ფუნქციის თეორიული შეფასება გამოითვლება განტოლებით Eg (6), თუ 2.6×10^{-7} წმ რელაქსაციის დრო არის საშუალო ჰარმონიული მნიშვნელობა:

$$\text{ESAR} = \frac{\sum_i c_i m_i}{m_{\text{Fe}_3\text{O}_4}} \frac{\Delta T}{\Delta t} \frac{1}{H_{\text{applied}}^2 f} \quad (6)$$

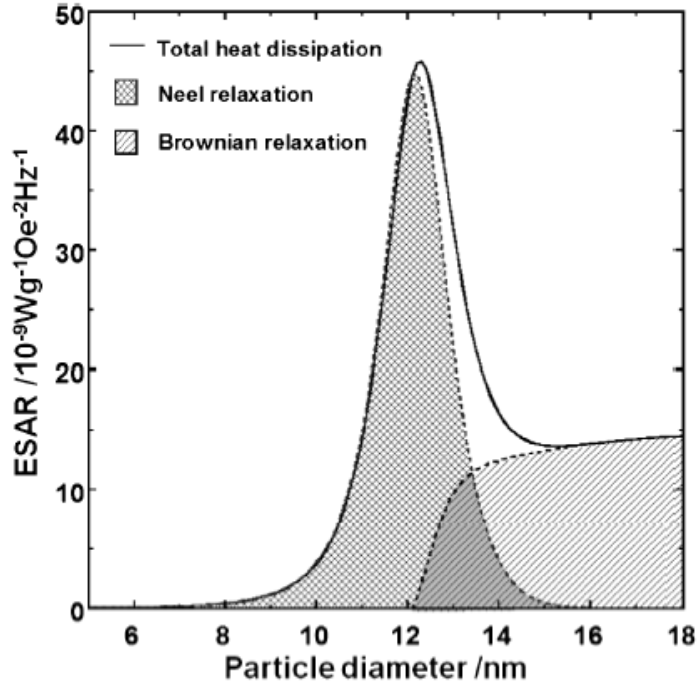
c - კუთრი სითბო; m_i - თოთოეული ნაწილაკის მასა; $m_{\text{Fe}_3\text{O}_4}$ - მაგნეტიტის ნანონაწილაკის მასა; T - ტემპერატურა; t - დრო; f - ცვლადი დენის მაგნიტური ველის სიხშირე; H_{applied} მოდებული ცვლადი დენის მაგნიტური ველის ინტენსივობა.

ნახ. 3-ზე მოცემულია შთანთქმის ეფექტური კუთრი სიჩქარის დამოკიდებულება მაგნიტური ნაწილაკის დიამეტრთან. სივრცე მრუდის ქვეშ წარმოადგენს მთელ სითბოს, რომელიც გაბნეულია ნეელის და ბრაუნის რელაქსაციების საშუალებით. მეორე მხრივ, ნეელის რელაქსაციით გაბნეული სითბო წარმოდგენილია ბადისებრი სივრცით. ამგვარად, ნაწილაკის სიდიდის განაწილებაზე დამოკიდებულებით ნეელის და ბრაუნის რელაქსაციების შეფარდებითი წილი განსხვავებული იქნება. უნდა აღინიშნოს, რომ ნეელის რელაქსაციით გაბნეულ სითბოზე არ მოქმედებს ნებისმიერ გარემოში გაბნეული ნაწილაკის ლოკალური პირობები.

მეორე მხრივ ბრაუნის რელაქსაციით გაბნეულ სითბოზე ძლიერად მოქმედებს ნაწილაკის გარშემო არსებული გარემო. მაგ. თუ გარემოს სიბლანტე, რომელშიც ეს ნაწილაკებია გაბნეული, მაღალია ან თუ ბრუნვის თავისუფლება შეზღუდულია, ბრაუნის რელაქსაციის მეშვეობით ამ ნაწილაკების მიერ გაბნეული სითბო ან შემცირდება, ან შეწყდება. ამგვარად, მსგავსი ESAR სიდიდეების რეალიზაციისათვის ლაბორატორიულ პირობებში ან ექპერიმენტებით *in vivo* და *in vitro*, მნიშვნელოვანია ნაწილაკები, რომელთა რელაქსაცია ხდება ნეელის მექანიზმით. თუმცა იმ ნაწილაკების ზომები, რომლებიც სითბოს გაბნევენ მაგნიტური ვექტორის ნეელის და ბრაუნის მოძრაობით, შეიძლება განისაზღვროს თეორიულად [16], მათი რელევანტური წილი მაგნიტური ჰიპერთერმიის ნებისმიერ ნიმუშში ან მათი პრაქტიკული გამოყენების კონცეფცია სათანადოდ არ არის გათვალისწინებული. პრაქტიკული მნიშვნელობის თვალსაზრისით, უნდა განი-

საზღვროს ნეელის ან ბრაუნის რელაქსაციების შეფარდებითი წილი სითბოს გაბნევაში ნებისმიერი ნიმუშისათვის, რადგან გარემომ უჯრედის შიგნით შესაძლოა იმოქმედოს ბრაუნის წილზე და გაბნეული სითბო შესაძლოა იყოს ნაკლები, ვიდრე

დასაშვები სიდიდე. არც თუ ისე დიდი ხნის წინ ზემოთ მოყვანილი კონცეფცია ექპერიმენტულად დამტკიცდა [18], რამაც ხაზი გაუსვა შეფარდებითი წილის დეტალური ანალიზის აუცილებლობას ეფექტური მკურნალობისთვის.



ნახ. 3. ნეელის და ბრაუნის რელაქსაციებით სითბოს თეორიული გაბნევა წყალში. $f=600$ kHz, $H_{\text{applied}}=40$ (Oe), $T=300$ (K), $\eta=0.89$ (mPa-s), $M_s=5.6$ (kOe), $K=30$ (kJm³), კუთრი სითბო= 670 (Jkg⁻¹K⁻¹), სიმკვრივე= 5180 (kg m⁻³), მაგნეტიტის ნანონაწილაკების კონცენტრაცია= 4.0 (მას%), ESAR - შთანთქმის ეფექტური კუთრი სიჩქარე

როგორც უკვე ცნობილია, თუ ნეელის რელაქსაციას გამოვიყენებთ დაბალი მაგნიტური ველის დიაპაზონში, მაშინ სითბოს დიდი რაოდენობით მიღების პირობები დიდად არის დამოკიდებული ნაწილაკის ზომაზე. ეს გამოწვეულია რელაქსაციის დროის ექსპონენციურ დამოკიდებულებაზე ზომის მიმართ მგრძობიარე ანიზოტროპულ ენერგიაზე. მეორე მხრივ, თუ ჩვენ გამოვიყენებთ ძლიერი მაგნიტური ველის არეს, სითბოს გაბნევის პირობა პირითადად დამოკიდებულია კოერციტიულ ძალაზე $H_c \sim 0.96H_k$ (ანიზოტროპული ველი) და ნაწილაკის დიამეტრის გავლენა უმნიშვნელოა. თვისებების დისპროპორციის გამო, რაც გამოწვეულია გამოყენებული მაგნიტური ველის ინტენსივობის განსხვავებით, იძულებითი გადამაგნიტება განიხილება როგორც უპირატესობა იმ შემთხვევაში, როცა ნაწილაკის ზომის კონტროლი ვერ ხერხდება ნეელის რელაქსაციის შემთხვევასთან შედარებით, სადაც მონოდისპერსული ნაწილაკების არსებობა წინაპი-

რობაა. ბოლო წლებში, მაგნიტური ნაწილაკის სინთეზის მეთოდის გამოყენებისას, წინ წამოიწია პრობლემებმა, რომლებიც დაკავშირებულია მაგნიტური სითბოს ნეელის რელაქსაციით გაბნევასთან და მაგნეტიტის ნაწილაკების გამოყენებასთან.

ჰიპერთერმიის მკურნალობისას ოპტიმალური ეფექტის მისაღებად უნდა განისაზღვროს ნაწილაკები, რომლებიც დააკმაყოფილებს მაგნიტური ველის და სიხშირის (ცვლადი დენის მაგნიტური ველი) პირობებს. ამისათვის საჭიროა რიგი ტექნოლოგიური ბარიერების დამღევა. მაგრამ არ შეიძლება დავივიწყოთ, რომ კიბოთი დაავადებული ავადმყოფები ელიან მკურნალობის შესაფერისი მეთოდის განვითარებას. ამიტომ, დღესდღეისობით უნდა გავითვალისწინოთ ეფექტური პრაქტიკული გადაწყვეტილებები, რომელთა მეშვეობითაც სპეციალისტები შეძლებენ გამოიყენონ უკვე ხელმისაწვდომი მაგნიტური ნანონაწილაკები.

ცნობილია, რომ ზომა მოქმედებს მაგნეტიტის კუთრი შთანთქმის სიჩქარეზე და ნაწილაკები, რომელთა ზომა მერყეობს 40 (მონო დომენიდან მულტი დომენში გადასვლა) და 10 ნმ-ს შორის, განიხილება მაგნიტური ჰიპერთერმიისთვის. 30 ნმ-ს ზევით ნაწილაკები დაჟანგვის მეთოდით [19,20], არც მაგნეტიტის ნაწილაკების სინთეზი და არც თბური მაჩვენებლები შუალედური ზომების ფარგლებში დეტალურად არ შესწავლილა. ამის ერთერთი მთავარი მიზეზია, სინთეზის ტექნოლოგიის არარსებობა მაგნიტური ნანონაწილაკების მისაღებად (MNPs).

ჰემატიტის და მაგნეტიტის ნაწილაკი, რომელიც სითბოს განაზღვრავს ნეელის რელაქსაციით, იდეალურია მაგნიტური ჰიპერთერმიისათვის ორი განსაკუთრებული მიზეზის გამო. პირველი: არ არსებობს არავითარი განსხვავება მაგნეტიტის მიერ სითბოს გაბნევის მახასიათებლებში ხელოვნურ - *in vitro* და ორგანიზმის პირობებში - *in vivo* ანალიზის დროს. მეორე, მაგნეტიტის ნაწილაკი, რომელიც გაბნევს სითბოს ნეელის რელაქსაციით, საკმაოდ მცირეა დისპერსიისთვის და შეიძლება გამოყენებულ იქნას მიზანმიმართული მიტანისათვის, რაც წარმოადგენს მაგნიტური სითბის ჰიპერთერმიის დამატებით უპირატესობას. თუმცა ზოგი ავტორი აღნიშნავს, რომ სითბოს გაბნევა გამოწვეულია, როგორც ბრაუნის ისე ნეელის რელაქსაციით, არავინ აფიქსირებს მაგნეტიტის ფიზიკურ თვისებებს, რომლებიც სითბოს წარმოშობენ ძირითადად ნეელის რელაქსაციით [21].

ექსპერიმენტული ნაწილი

- არსებული დანადგარის მოქმედების პრინციპის გაცნობა და სრულყოფა;

- ნანონაწილაკების მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრების სრულყოფა;

- ელექტროლიტების დამზადება;

- ორგანული ნივთიერებების შერჩევა და მათი პარამეტრული თვისებების დადგენა.

ონკოლოგიაში ცნობილია ავთვისებიანი სიმსივნეების მკურნალობის ძირითადი მეთოდები: ქირურგიული, სხივური თერაპია და ქიმიოთერაპია.

- ქირურგიის შესაძლებლობები მკვეთრად იზღუდება სიმსივნური პროცესის გავრცელებისას. მისი ნაკლოვანი მხარეებია სიმსივნეზე ადგილობრივი ზემოქმედება და ხშირ შემთხვევაში პაციენტის ინვალიდიზაცია.

- სხივური თერაპია იწვევს სიმსივნური უჯრედების დესტრუქციას. ის ასევე აზიანებს ჯანმრთელ ქსოვილებს. ხშირ შემთხვევაში სიმსივნის სრული დესტრუქცია შეუძლებელია ირგვლივ მდებარე ქსოვილების შეუქცევადი დაზიანების გარეშე.

- ქიმიოთერაპია, ანუ ციტოსტატიკური მკურნალობა არის ორგანიზმზე სისტემური ზემოქმედება. ამ პრეპარატების ორგანიზმში შეყვანით ხდება, როგორც ძირითადი სიმსივნის დაზიანება, ასევე უკვე წარმოქმნილ მეტასტაზებზე ზემოქმედება. ამავდროულად ყველა ქიმიოპრეპარატი ხასიათდება სხვადასხვა სახით გამოხატული ტოქსიკური ეფექტით, რომელიც ძირითადად აზიანებს ადამიანის სისხლძმად ორგანოებს. თერაპიული ინტერვალი, ანუ ის შუალედი როდესაც სიმსივნე ზიანდება, ხოლო ორგანიზმის სასიცოცხლო ფუნქციები არ ირღვევა, მეტად მცირეა.

- იმუნო- და ჰორმონოთერაპია განიხილება, როგორც მკურნალობის ძირითადი მეთოდების დამატება.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ზემოაღნიშნული დისპერსიულობის ბიონანოკერამიკული სუპერპარამაგნეტიკების მიღება მართვადი ლოკალური ჰიპერთერმიის შესაქმნელად და მათი მიზანმიმართული ტრანსპორტირება ცოცხალ ორგანიზმში ავთვისებიანი სიმსივნეების სამკურნალოდ.

სამუშაოს არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მეტაპოტენციალის ხელსაწყოში ხდება სუპერნანოკერამიკული ნაწილაკების მიღება. ელექტროლიტად ამ შემთხვევაში გამოვიყენეთ რკინის ქლორიდი. მზადდება მისი 5%-იანი წყლიანი სუსპენზია და თავსდება 500 მილილიტრიან საცავში, რომელშიც ერთი მხრიდან ჩაშვებულია მზრუნავი კათოდი პოლირებული ზედაპირით-რკინის მრგვალი ფირფიტა, ხოლო მეორე მხრიდან რკინის ფირფიტა - ანოდი, იმავე ფართის როგორც კათოდი. ელექტროლიტზე ზემოდან განთავსებულია ორგანული შრე, მასზე ნაკლები კუთრი წონის მქონე ტოლუოლი (სიმკვრივე=0,87 გრ/სმ³) C₆H₅CH₃, რომელიც წყალში არ იხსნება და არც შეერევა. ტოლუოლში ემატება 0,6-0,7% ერთფუძიანი ოლეინის მჟავა CH₃(CH₂)₇CH=CH(CH₂)₇COOH სიმკვრივით 0,825 გრ/სმ³, რომელიც ზედა ორგანულ ფენაში ხელს უწყობს კათოდზე ადსორბირებული აფსკის წარმოქმნას, და ამუხრუჭებს კათოდზე ნაწილაკების კრისტალების ზრდას. ეს აფსკი გამოირჩევა მაღალი ქიმიური მდგრადობით და განისაზღვრება რეაქციის უნარის მქონე კარბოქსილის ჯგუფის არსებობით.

მზრუნავი კათოდის ქვედა ნახევარი ჩაშვებულია ელექტროლიტში, ხოლო ზედა ნახევარი დაფარულია ტოლუოლით. ეს საჭიროა იმისათვის, რათა კათოდის ელექტროლიტში მყოფ ფართზე გამოყოფილი რკინის იონები ბრუნვის დროს ამოტანილ იქნეს ტოლუოლის ფენაში, სადაც ხდება ამ იონების ავტომატურად კათოდის ბრუნვის შედეგად ტოლუოლით მოცილება და შედეგად ტოლუოლის ფენის

დაბურვა., რაც მოასწავებს პროცესის დამთავრებას. ძაბვა ხელსაწყოზე უდრის 25-30 ვოლტს, დენის სიმკვრივე $J=0,5A/dm^2$. დენის გავლის შედეგად ხდება ანოდიდან რკინის იონების გამოყოფა. გამოყოფილი ნაწილაკის ზედაპირსა და დისპერსიულ არეს შორის წარმოქმნილი პოტენციალთა სხვაობა გადაადგილებს გამოყოფილ ნაწილაკებს კათოდი-საკენ, რადგან რკინის იონები დადებითად არის დამუხტული. მიმდინარეობს ნაწილაკების დაფენა კათოდზე. მისი ბრუნვის შედეგად ხდება ზევით ტოლუოლის ფენაში ნაწილაკების ამოტანა და ტოლუოლით მოცილება.

ტოლუოლის ფენის გადმოსხმის და გამოშრობის შემდეგ ხდება ამ ნაწილაკების თერმული დამუშავება კიურის ტემპერატურის ზევით 770-800 გრადუს ცელსიუსის ტემპერატურაზე, რათა მოხდეს რკინის იონების ერთი მხრივ გადასვლა პარამაგნიტურ მდგომარეობაში, ხოლო მეორე მხრივ დაჟანგვა და ალფა რკინის ჟანგის მიღება. თერმული დამუშავების რეჟიმი 4-5°C/წთ.

მიზანი არის ჩვენ მიერ მიღებული ამ სუპერკერამიკული ნაწილაკების უჯრედში განთავსება და იქ ჰიპერთერმია 44°C-მდე, რაც მიიღწევა შემდეგი პირობების დაცვით:

1. მიღებული სუპერპარამაგნეტიკები, რომელთა ფორმულაა $\alpha-Fe_2O_3$ წარმოადგენენ დიელექტრიკს, მაგრამ რეაგირებენ მაგნიტურ ველზე და ხურდებიან 42-44 გრადუს ტემპერატურამდე. მათი საშუალო ზომა 30-80 ნანომეტრია. ეს ბევრად ნაკლებია უჯრედების ზომაზე (7-10 მკმ), რაც საშუალებას იძლევა, მათი გარკვეული რაოდენობით უჯრედში განსათავსებლად და უჯრედის დასანეკროზებლად.

2. ასეთი ნაწილაკების უჯრედში განთავსებას ხელს უწყობს მაგნიტური ველი და დაავადებული უჯრედის რეცეპტორები-ფოლატები რომლებიც იზიდავენ ამ ნაწილაკებს და რომლებიც ჯანმრთელ უჯრედებს არ გააჩნიათ.

3. ნაწილაკები მიიღება Fe_2O_3 -ს ბაზაზე და კომპოზიციებში მისი სხვა სახის კერამიკებთან, როგორებიცაა მაღალი კონცენტრაციის თავისუფალი ელექტრონების მქონე მასალები, რომელთა სპინურ მაგნიტურ მომენტებს თავისი წვლილი შეაქვთ პარამაგნეტიზმში. ასეთი კომპოზიციები იწვევენ როგორც შედგენილობით, ისე გარემო ფაქტორებით - ტემპერატურა, ცვლადი მაგნიტური ველი - დაავადებულ უჯრედზე სინერგიულ ზემოქმედებას. ეს მოვლენა დაავადებულ უჯრედზე თავისი ზემოქმედებით სხვა არსებულ მასალებთან შედარებით უფრო ეფექტიანია.

• მიღებული ნანონაწილაკების და ორგანული ნივთიერებების სუსპენზიების მომზადება და მაგნიტურ ველებში გამოცდა.

შესწავლილია ძეტა პოტენციალის ხელსაწყოში მიღებული სუპერნანოკერამიკული ნაწილაკების მიკროსტრუქტურა, ელექტრონული მიკროსკოპისა და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით. ასევე, შესწავლილია ფხვნილის ჰომოგენურობა, ზომების მიხედვით ნაწილაკების გადანაწილება, შესაბამისად სტაბილურობა და ვიზრაციული მაგნიტომეტრული მეთოდით მაგნიტური ამთვისებლობა.

დადგენილია $\alpha-Fe_2O_3$ -ის მიღების ძირითადი ტექნოლოგიური პარამეტრები. ნაწილაკების საშუალო ზომები შეადგენს 30-80 ნმ-ს. ფხვნილი ჰომოგენურია და ანალიზის პროცესში აჩვენა კარგი სტაბილურობა. კვლევის ობიექტი სუპერპარამაგნიტიკია. მისი მაგნიტური ამთვისებლობის ფარდობითი სიდიდე შეადგენს 1,00037-ს.

მაგნიტური ჰიპერთერმიის მისაღებად რეზონანსული კონტურის გამოყენების ორი პირობა არსებობს: პირველი - ცდის დროს გამოიყენება ინდუქტორის კოჭი, რომელიც აღძრავს ერთგვაროვან მაგნიტურ ველს; მეორე - მისი საშუალებით ხდება ინდუქტორში გატარებული დენის გაძლიერება სიხშირეების ძალიან ვიწრო დიაპაზონში, რაც იმას ნიშნავს, რომ ოპტიმიზაციის დროს სისტემა წარმოქმნის ძლიერ მაგნიტურ ველებს და ეფექტურია გარკვეული ზომის მაგნიტური ნაწილაკებისთვის.

მაგნიტური ჰიპერთერმიის მისაღებად ჩვენი ჯგუფის ფიზიკოსების მიერ აგებული [22] მაგნიტური კოჭის სიგრძე 100 მმ-ია, დიამეტრი 53 მმ და აქვს 55 ხვია, რომლებიც იძლევა 58 μH ინდუქციას. კოჭი ჩართულია 300 pF კონდენსატორის პარალელურად. ორი 0.01 μF კონდენსატორი ჩართულია ერთმანეთის მიმართ მიმდევრობით და ორივე კონდენსატორი კოჭის პარალელურად. თეორიული რეზონანსული სიხშირე შეადგენს 295 kHz-ს.

ჩატარდა გამაძლიერებლისკენ არეკლილი სიმულავრის ანალიზი. მისი მინიმუმი არის დაახლოებით 285 kHz-ზე. ამის დასადასტურებლად მოხდა ნაწილაკების გახურება დანადგარში და იმ წერტილის შესწავლა, სადაც ხდება მაქსიმალური გახურება.

• კერამიკული ნაწილაკების მაგნიტური თვისებების შესწავლა:

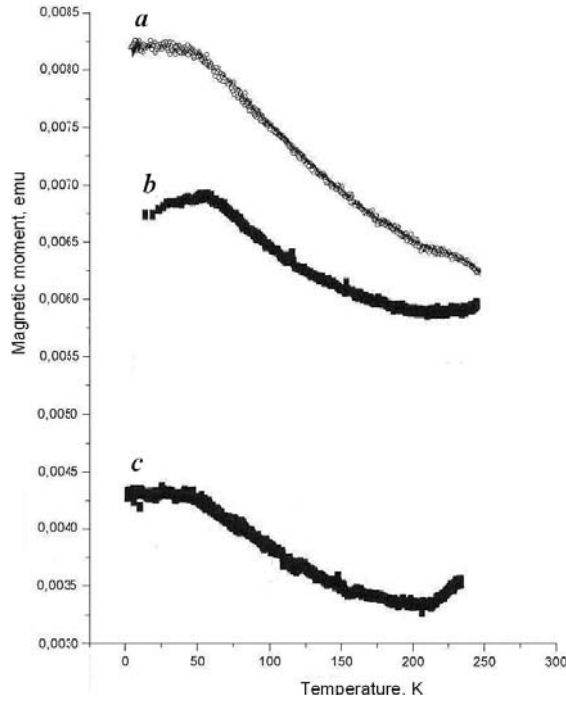
მაგნიტური გაზომვები ტარდებოდა ფხვნილის-მაგვარი ჰემატიტის ნიმუშებზე, რომლებიც თავსდებოდა ~ 5 მმ ზომის სტანდარტულ პლასტმასის კაფსულებში. გაზომვები ტარდებოდა ვიზრაციულ მაგნიტომეტრზე - Cryogen Free Mini VSM (Cryogenic

Limited), 2-293 K ტემპერატურულ დიაპაზონში 2 T სიდიდის მაგნიტურ ველებამდე.

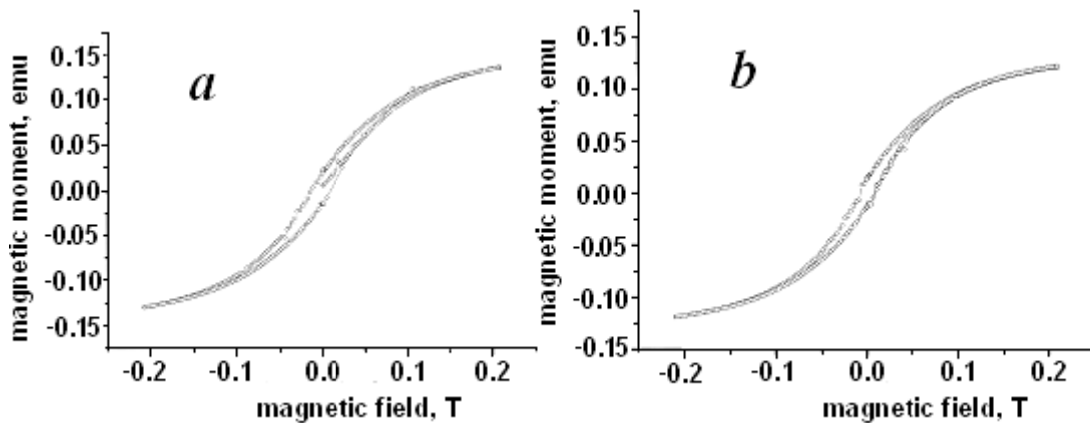
ნიმუშების დამაგნიტების გაზომვები ჩატარდა გაცივების რეჟიმში ნულოვან მაგნიტურ ველში (ZFC) და გაცივებისას ნულისაგან განსხვავებულ მაგნიტურ ველში (FC), აგრეთვე გაზომილია მაგ-

ნიტური ჰისტერეზისის მრუდები დაბალი და მაღალი ტემპერატურების დროს ნიმუშების გასაზომ შემოთავაზებულ ბლოკირების ტემპერატურასთან (T_B) შედარებით.

დამაგნიტების გაზომვის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 4-სა და 5-ზე.



ნახ. 4. ჰემატიტის (Fe_2O_3) ფხვნილის დამაგნიტების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე: ა) გაცივებისას ნულისაგან განსხვავებულ მაგნიტურ ველში (FC) 30G-ზე; ბ) გაცივების რეჟიმში ნულოვან მაგნიტურ ველში (ZFC) 30G-ზე; გ) გაცივებული ნულოვან ველში



ნახ. 5. ჰემატიტის ჰისტერეზისის ყულფი ნიმუშისათვის: ა) $T=3$ K და ბ) $T=160$ K ტემპერატურებზე

ფხვნილისმაგვარი ჰემატიტის ნანონაწილაკების ნიმუშებზე ჩატარებული ანალოგიური გაზომვების შედეგები [23], როდესაც ნანონაწილაკების საშუალო ზომაა $\varnothing \cong 3nm$, შედარებისას შეგვიძლია გამოვიტანოთ დასკვნა დამაგნიტებაში უფრო მსხვილი ნაწილაკების მოცულობითი წვლილის ფონთან შედარებით (იხილე ნახ. 9, რომელიც გვიჩვენებს სიმკვრივის განაწილებას ნაწილაკების ზომების მიხედვით), მნიშვნელოვანი სუპერპარამაგნიტური წვლილის არსებობის შესახებ - როგორცაა ნარჩენი დამაგნიტება ნულოვან ველში გაცივების დროს და დამაგნიტების ნახტომი მაპოლარიზებული ველის ჩართვისას ZFC რეჟიმში.

ZFC მრუდზე მაქსიმუმის ადგილის მიხედვით შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ ბლოკირების ტემპერატურა მოცემულ სუპერპარამაგნიტურ ქვესისტემაში შეადგენს $T_B \sim 60 K$.

ნაწილაკებს შორის ძლიერი ურთიერთქმედების არსებობისას შესაბამისი სუპერპარამაგნიტური ფხვნილებისთვის დამახასიათებელია FC მრუდი [24].

ეს შედეგი დასტურდება ასევე ჰისტერეზისის მრუდების გაზომვების ანალიზით (ა)-მდე, და T_B ბლოკირების ტემპერატურის შემდეგ ($T=3K$ და $T=160 K$, შესაბამისად).

მაღალი ტემპერატურების დროს კოერციული ძალა არსებითად ნაკლებია, ვიდრე პირველ შემთხვევაში, მაგრამ არ უდრის ნულს, როგორც ამას ადგილი აქვს სუპერპარამაგნიტური სისტემებისთვის.

• ნანონაწილაკების შესწავლა რენტგენოსტრუქტურული და ელექტრონულ-მიკროსკოპული ანალიზის მეთოდით

ჩატარებულ იქნა რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი DRON-3-ზე. სურ. 6-ზე ნაჩვენებია ფხვნილის

ორი რენტგენოგრამა. პირველ რენტგენოგრამაზე სიბრტყეთაშორისი დაცილებები განეკუთვნება $\alpha-Fe_2O_3$ -ს (ჰემატიტი): d_{hkl} 3,690; 2,695; 2,520; 2,208; 1,837; 1,693; 1,625; 1,505; 1,407 Å, ხოლო 3,20; 2,818; 2,288; 2,075 Å – და ქლორიდებს. მეორე რენტგენოგრამაზე (სურ. 7) ნაჩვენებია მაგნიტით გამოტანილი ფხვნილის რენტგენოგრამა, სადაც ნიმუშის დიფრაქციული მაქსიმუმები განეკუთვნება მხოლოდ ჰემატიტს.

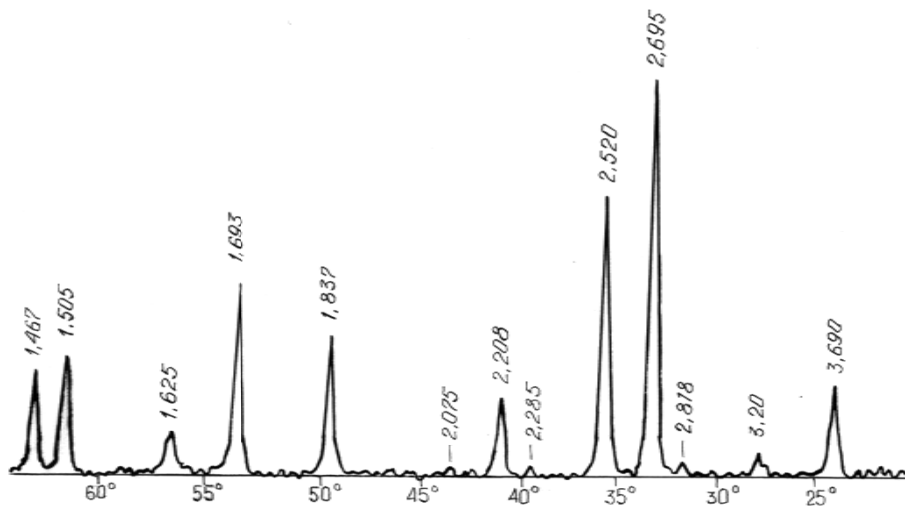
სურ. 8-ზე ნაჩვენებია, რომ ჰემატიტის ნაწილაკები ძირითადად გაერთიანებულია აგლომერატებში. შეინიშნება რამდენიმე მსხვილი ნაწილაკი, რომლებიც სავარაუდოდ ფხვნილის კიურის ტემპერატურის ზევით ($800^{\circ}C$) თერმული დამუშავების პროცესში გაიზარდა. ასევე ნაწილობრივ გაზრდილია სხვა დანარჩენი ნაწილაკებიც, როგორც თერმული დამუშავების პროცესში, ასევე ძეტა პოტენციალის ხელსაწყოში მიღებული რკინის იონები შემდგომში ღუმელის დამჟანგავ გარემოში რკინის ჟანგად გარდაქმნის პროცესში.

ფხვნილში ნაწილაკების ზომების მიხედვით განაწილების ინტენსივობის დასახასიათებლად ჩატარებულ იქნა ანალიზი გერმანიის ქ. კლაუსტალის ფხვნილის სახლში “NANOPHOX” ხელსაწყოზე. ფხვნილის ნიმუში 50 მლ დისტილირებულ წყალში იქნა შეყვანილი და უკეთესი დისპერგირებისათვის 15 წუთის განმავლობაში დამუშავდა ულტრაბგერით. მასალის ანალიზისათვის აღებულ იქნა სამი იდენტურად დისპერგირებული ნიმუში და მათზე ჩატარდა გაზომვები. შემდეგ Photon Cross Correlation Spectroscopy (PCCS) მეთოდითა და სინათლის გაბნევის დინამიკურ-ფიზიკურ პრინციპზე დაყრდნობით, განისაზღვრა ნაწილაკების განაწილების ინტენსივობის მახასიათებელი სიდიდეები, რომლებიც მოცემულია ცხრილში 1.

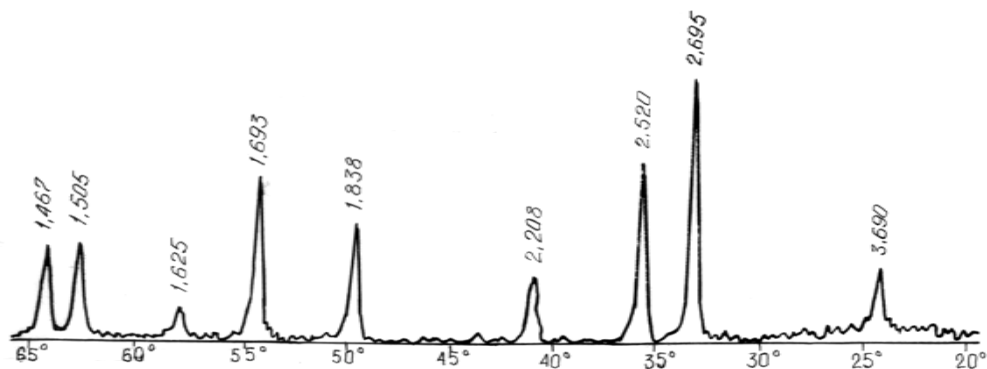
ცხრილი 1

განაწილების ინტენსივობის მნიშვნელოვანი მახასიათებლები

ნიმუში	x_{10} [nm]	x_{16} [nm]	x_{50} [nm]	x_{84} [nm]	x_{90} [nm]	x_{99} [nm]
რკინის ოქსიდი	140,14	149,17	188,40	1251,88	1529,92	2433,81
ზემადალი დისპერსიული ნაწილი	დაახლოებით 10 nm და 60 nm შორის					
აგლომერატი	დაახლოებით 100 nm და 300 nm შორის					
უხეში ნაწილი	მეტი 600 nm					

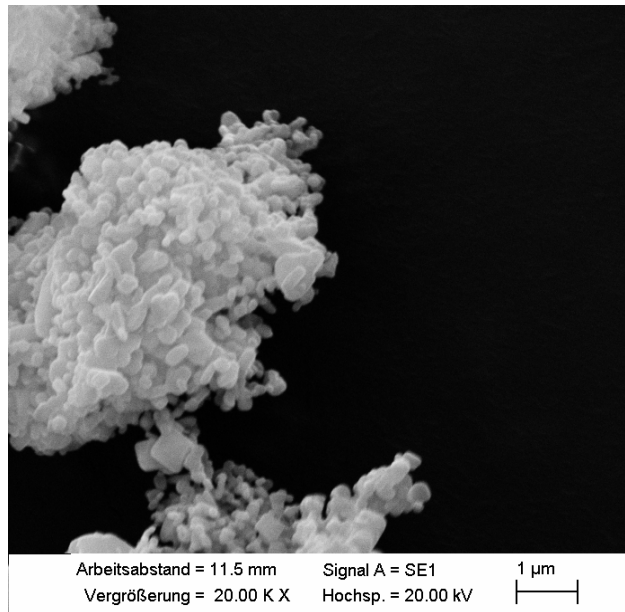
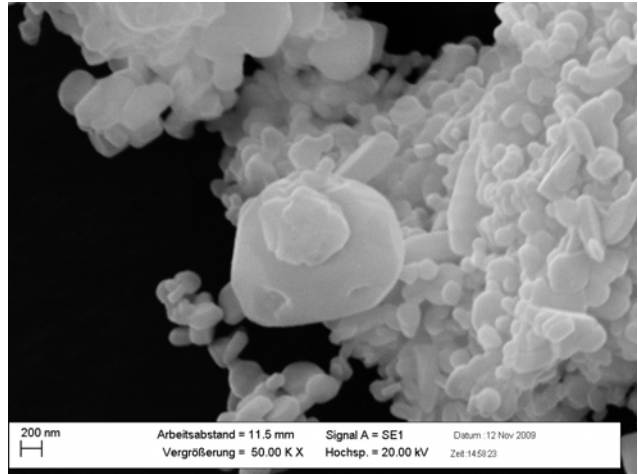
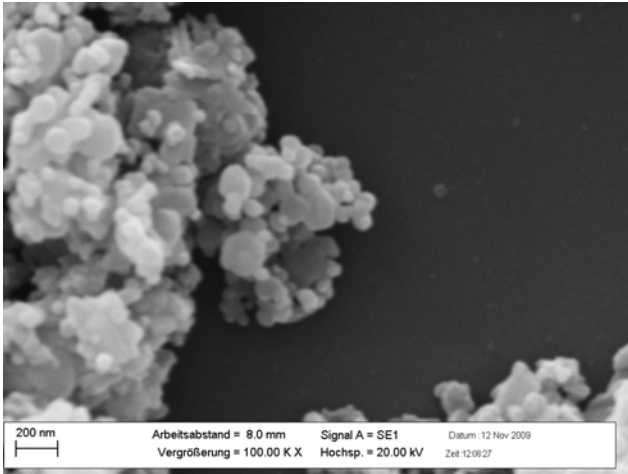


სურ. 6. მიღებული ნანოკერამიკული ნაწილაკების რენტგენოგრამა ნარჩენი ქლორიდებით კიურის ტემპერატურაზე გამოწვის შემდეგ



სურ. 7. მიღებული ნანოკერამიკული ნაწილაკების რენტგენოგრამა კიურის ტემპერატურაზე გამოწვის შემდეგ

REM Cam Scan-ის ელექტრონულ მიკროსკოპზე გერმანიის ქ. კლაუსტალის ტექნიკური უნივერსიტეტის არამეტალური მასალების ინსტიტუტში შესწავლილ იქნა ფხვნილის სტრუქტურა სხვადასხვა გადიდების დროს.



სურ. 8. ჰემატიტის აგლომერატების რასტრული ელექტრონულ- მიკროსკოპული სურათი

მაგალითისათვის, ცხრილში $X_{50}[\text{nm}]$ ნიშნავს, რომ მთლიანი მასიდან 50%-ს ზომით 188,40 ნანომეტრზე ნაკლები ნაწილაკები შეადგენს. ცხრილიდან ჩანს, რომ განისაზღვრა დისპერსიულობის ხარისხის სამი ძირითადი მაჩვენებელი: 10-60 ნმ-ს შორის, დაახლოებით 100-300 ნმ-ს შორის და მეტი 600 ნმ-ზე. თითქმის 100% ფხვნილისა ნაკლებია 2,434 მკმ ზომაზე. ანუ ჩვენ მიერ აწყობილ მეტა პოტენციალის ხელსაწყოზე და შემდგომ კიურის ტემპერატურაზე დამუშავებით მიიღება ამ სიდიდეზე ნაკლები ზომის ნაწილაკები, რაც შემდგომში საშუალებას იძლევა ზომის გამო მათ უჯრედში განსათავსებლად და იქ ჰიპერთერმიის ჩასატარებლად.

ეს ნაწილაკები ერთდომენიანია. შესწავლილ იქნა მიღებული ერთდომენიანი $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -ის მაგნიტური ამთვისებლობა, ვიზრაციული მაგნიტომეტრული მეთოდით 10 კილოერსტედი დაძაბულობის მუდმივ მაგნიტურ ველში. მაგნიტური ველი შექმნილია FL-2 ტიპის მაგნიტზე. ნაჩვენებია, რომ კვლევის ობიექტი პარამაგნიტურია. ამ სუპერპარამაგნეტიკების მაგნიტური ამთვისებლობის ფარდობითი სიდიდე შეადგენს 1,00037-ს.

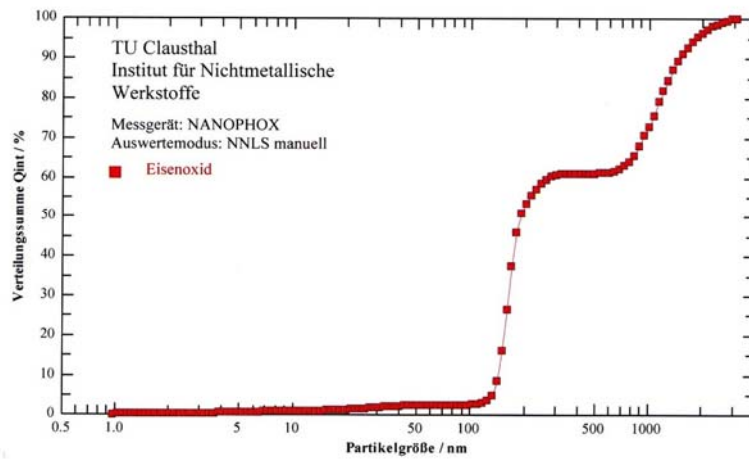
NANOPHOX-ის ხელსაწყოზე განისაზღვრა ნაწილაკთა განაწილების ჯამური მრუდი – სურ. 9 და განაწილების სიმკვრივე – სურ. 10 – გაუსის ნორმალური განაწილება. ნახაზებიდან ჩანს, რომ ფხვნილში ნაწილაკები ზომით 100 ნმ-ზე ქვევით,

დაახლოებით 5%-ია, ხოლო 100-300 ნმ-მდე - 62-63%, რაც ძირითადად ემთხვევა 1 ცხრილის მონაცემებს.

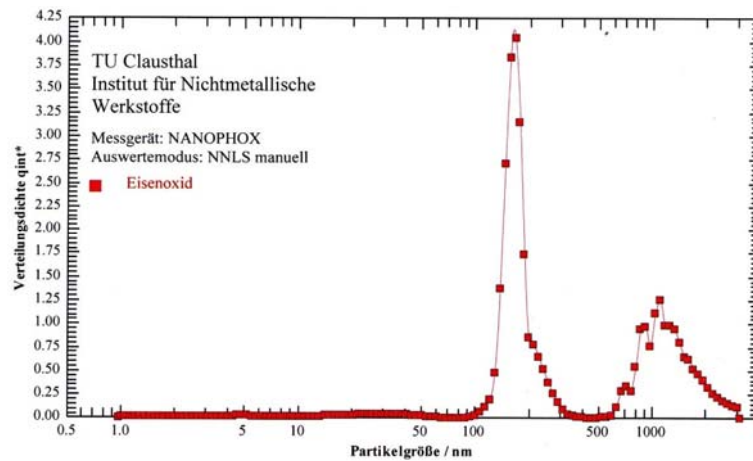
არსებული ფხვნილის სამივე ნაწილისათვის შედგენილ იქნა კომპლექსური მრუდები (სურ. 11). სურათებიდან ჩანს, რომ სამივე ნიმუშის კომპლექსური მრუდები თითქმის იდენტურია. ოდნავ განსხვავებას იძლევა მესამე ნიმუში.

სურ. 12-ზე მოცემულია ფხვნილის სტაბილურობის ანალიზის გრაფიკული გამოსახულება. ანალიზის პროცესში ფხვნილმა აჩვენა ჰომოგენურობა, ზომების მიხედვით თანაბარი განაწილება და შესაბამისად კარგი სტაბილურობა.

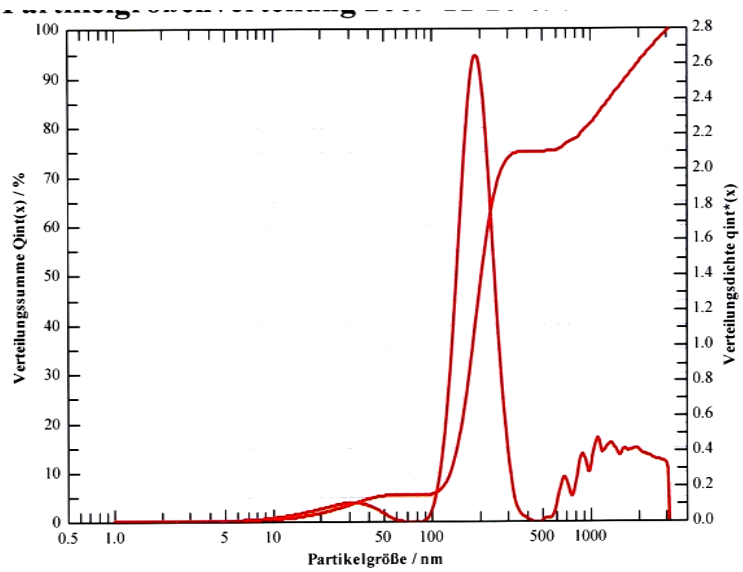
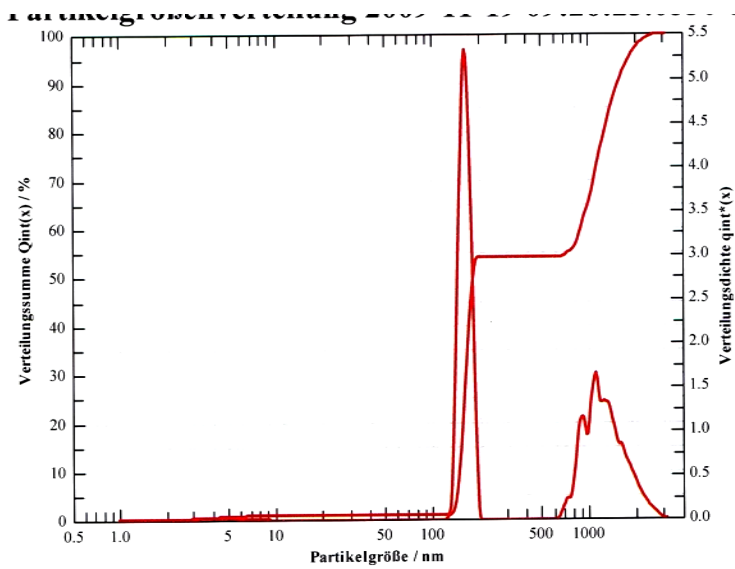
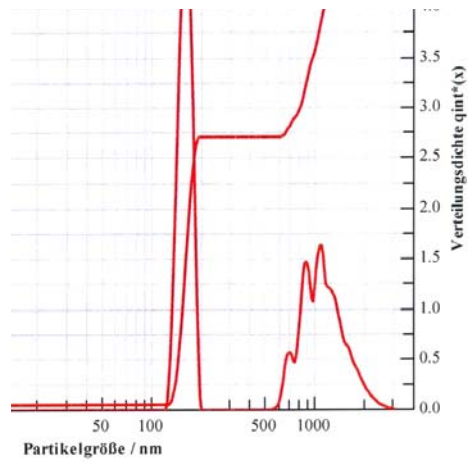
Produktspezifische Darstellung



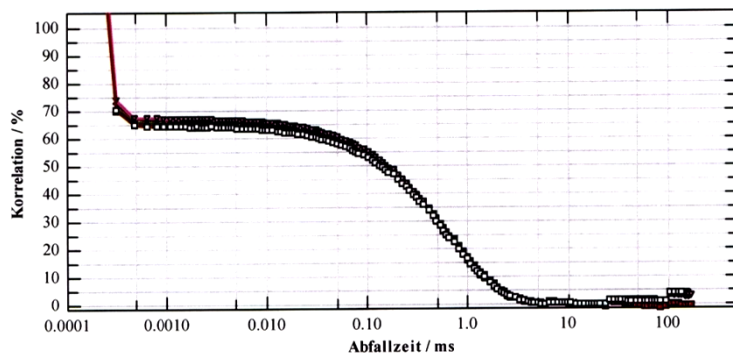
სურ. 9. ჰემატიტის ნაწილაკების განაწილების ჯამური მრუდი



სურ. 10. ჰემატიტის ნაწილაკების განაწილების სიმკვრივე



სურ. 11. ნაწილაკთა განაწილების კომპლექსური მრუდები ზომების მიხედვით ფხვნილის სამივე სინჯისათვის



სურ. 12. ფხვნილის კორელაციის დიაგრამა

მაგნეტიტის ნანო-ნაწილაკებით გამოწვეული ჰიპერთერმიის სიმსივნის საწინააღმდეგო ეფექტი

პრობლემის აქტუალობა და კვლევის სახე

ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემებით, ავთვისებიანი სიმსივნეებით განპირობებული ავადობისა და მისგან გამოწვეული სიკვდილიანობის მაჩვენებელი გამუდმებით იზრდება მთელ მსოფლიოში.

დღეისათვის ონკოლოგიურ ავადმყოფთა მკურნალობაში წამყვანი როლი ენიჭება ქირურგიულ მეთოდებს, ქიმიო- და სხივურ თერაპიას. თუმცა, ხშირ შემთხვევაში, კვალიფიკურად ჩატარებული ჩარევის მიუხედავად დაავადება ლეტალური გამოსავლით მთავრდება. გარდა პოლიორგანული უკმარისობისა, ამის მიზეზია ქიმიო-რადიოთერაპიით გამოწვეული იმუნური სისტემის დათრგუნვა, მიელოდეპრესია, ლეიკოპენია, კარდიო, ნეფრო-, ჰეპატო- და ნეიროტოქსიკურობა, ინტერკურენტული მიკრობული გართულებები და სხვა. ყოველივე ეს განპირობებს ავთვისებიანი სიმსივნეების მკურნალობის ახალი გზების ძიების აუცილებლობას, რომლებიც მიმართული იქნება სიმსივნის საწინააღმდეგო სტრატეგიის გასაძლიერებლად.

პირველად საქართველოში შევისწავლეთ ჰემატიტის ნანო-ნაწილაკებით გამოწვეული ჰიპერთერმიის სიმსივნის საწინააღმდეგო ეფექტი..

კვლევის მიზანი და ამოცანები

კვლევის მიზანია ჰემატიტის ნანო-ნაწილაკებით გამოწვეული ჰიპერთერმიის სიმსივნის საწინააღმდეგო თვისებების და მათი მოქმედების მექანიზმების შედარებითი შესწავლა ექსპერიმენტულ ცხოველებზე; მაღალი ანტი-სიმსივნური ეფექტის მქონე პრინციპულად ახალი პრეპარატის შექმნა.

ამოცანები:

1. მაგნეტიტის ნანო-ნაწილაკების პრეპარატის მომზადება-კონცენტრირება, აქტივობის კონტროლი;
2. პრეპარატის სიმსივნის საწინააღმდეგო აქტივობის შედარებითი შესწავლა; ოპტიმალური რეჟიმისა და სქემების დადგენა-შემუშავება.

კვლევის მოსალოდნელი შედეგები და მათი მნიშვნელობა მეცნიერების, ეკონომიკის და/ან სოციალური სფეროსათვის

წარმოდგენილი სამუშაოს შესრულების შედეგად მოსალოდნელია:

1. დადასტურდეს მაგნეტიტის ნანო-ნაწილაკებით გამოწვეული ჰიპერთერმიის სიმსივნის საწინააღმდეგო ეფექტი, რაც გამოიხატება სიმსივნური ზრდის დამუხრუჭებით, შესაძლო რეზორბციითა და ექსპერიმენტულ ცხოველთა სიცოცხლის ხანგრძლივობის გაზრდით;
2. შერჩეული იქნას მაქსიმალური სიმსივნის საწინააღმდეგო და მინიმალური გვერდითი ეფექტების მქონე პრეპარატი და მოწოდებული იქნეს, როგორც ავთვისებიანი სიმსივნეების მკურნალობის ახალი, პერსპექტიული ალტერნატივა, ან დამატებითი საშუალება.

მოცემული საპროექტო განაცხადის რეალიზაციის შედეგად გაკეთებული დასკვნების საფუძველზე დაიგეგმება გამოკვლევების სამომავლო ეტაპი, რომლის საფუძველზე შესაძლებელი იქნება დადგინდეს შერჩეული პრეპარატის მოქმედების დეტალური მექანიზმები და შემუშავდება მათი კლინიკური გამოყენების სქემები. ეს კი ახალი პრეპარატების შემდგომი აპრობაციისა და კლინიკაში დანერგვის შემდეგ შექმნის შესაძლებლობას გაუმჯობესდეს ავთვისებიანი სიმსივნეებით დაავადებულ პაციენტთა სიცოცხლის ხარისხი და გაიზარდოს მათი სიცოცხლის ხანგრძლივობა. თუ

იმასაც გავითვალისწინებთ, რომ ასეთი პრეპარატების წარმოება ჰორმონო-ქიმიოთერაპიულ საშუალებებთან შედარებით ნაკლებ დანახარჯებს მოითხოვს, ნათელი გახდება წარმოდგენილი პროექტის შედეგების შორეულ პერსპექტივაში გამოყენების სოციალური მნიშვნელობა, განსაკუთრებით მოსახლეობის ეკონომიკურად დაუცველი ფენებისათვის.

კვლევის მასალა და მეთოდები:

ექსპერიმენტში გამოვიყენებთ 3-3,5 თვის უჯიშო (არახაზოვანი) თეთრ თაგვებსა (18-20გრ. მასით) და ვირთაგვებს (100-120გრ. მასით). ექსპერიმენტისთვის შერჩევის შემდეგ 10-14 დღის განმავლობაში ცხოველებს ვივაროვებთ საკარანტინო რეჟიმში განვათავსებთ. თითოეულ ცხოველზე შევადგენთ ინდივიდუალურ ოქმს. ცხოველები იქნებიან ერთნაირი კვებისა და მოვლის პირობებში.

კვლევებს ვაწარმოებთ ერლიხის ადენოკარცინომისა (EAT, ასციტური ვარიანტი) და S-45 (თითისტარაუჯრედოვანი სარკომა) სიმსივნური შტამების გამოყენებით. ერლიხის ადენოკარცინომის ინოკულაციას მოვახდენთ თაგვებში ინტრაპერიტონულად, S-45-ს კი - ვირთაგვებში კანქვეშ, ბექქვეშა მიდამოში. საკვლევი პრეპარატის ინექცია გაკეთდება პერი- და ინტრატუმორულად.

ცდებს ჩავატარებთ ექსპერიმენტულ ონკოლოგიაში ფართოდ დანერგილი მეთოდებით. საკვლევი პრეპარატის სიმსივნისსაწინააღმდეგო ეფექტზე ვიმსჯელებთ სიმსივნის წარმოქმნის სიხშირით, სიმსივნური ზრდის დამუხრუჭებით, ცხოველთა წონის ცვლილებით, ასციტური სითხის შემცირებითა და ცხოველთა სიცოცხლის გახანგრძლივების მაჩვენებლის ცვლილებით.

მიღებული შედეგები დამუშავდება ვარიაციული სტატისტიკის მეთოდებით, ხოლო ცალკეულ ჯგუფებში მონაცემთა შორის სხვაობათა სარწმუნოება განისაზღვრება სტიუდენტის t-კრიტერიუმით.

მაგნიტური სითხის ჰიპერთერმიის მომავალი

საერთაშორისო კვლევებში ძირითადად აქცენტი გაკეთებულია MFH რეალიზაციის თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე ნეელის რელაქსაციით მაგნეტიტის ნაწილაკების მიერ სითბოს გაბნევის შესწავლაზე. ამის უკან ის მოსაზრება დგას, რომ ნაწილაკები, რომლებიც გაიბნევიან, არ არიან დამოკიდებული ცოცხალი ორგანიზმის ადგილობრივ პირობებზე და რომ მათი ზომა შესაფერისია წამლის მიზნობრივად გამოყენებისთვის. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ნაწილაკის ზომის შერჩევის კრიტერიუმი არ არის მხოლოდ ზემოთ მოყვანილი ფაქტორები, აგრეთვე გარკვეული გამოყენება და ცვლადი მაგნიტური ველების გენერა-

ტორების ოპერატიული შეზღუდვა. ამჟამად ზუსტი ჰიპერთერმიული მექანიზმი კიბოს მკურნალობისთვის ცნობილი არ არის და აგრეთვე, ჰემატიტის ნაწილაკის ზომა, რომელიც ასეთ შემთხვევაში გამოდგება, აგრეთვე არ არის ცნობილი. ფაქტობრივად, ამ კითხვის პასუხი ლიტერატურაში არ არსებობს. ამის ერთ-ერთი მიზეზია ის, რომ მსჯელობათა უმრავლესობა დამყარებულია სითბოს გაბნევის გამოთვლილ ინტენსივობაზე, რომელიც მიღებულია განყენებულად სუპერპარამაგნიტური მოვლენის ცვლადი დენის ამთვისებლობის წარმოსახვითი ნაწილის გამოყენებით ან სტატიკური მაგნიტური ჰისტერეზისის ავტომატური რევერსირებით და ბრუნვით. ამიტომ, ამ შედეგების შედარება შეუძლებელია. მაგრამ, როდესაც მოქმედი მაგნიტური ველი გამოიყენება მაგნიტური ჰიპერთერმიისთვის შესაფერის ტემპერატურებზე, მამოძრავებელი ძალები: სუპერპარამაგნიტური და მაგნიტური მბრუნავი მომენტი რევერსირების ან ბრუნვისთვის არ შეიძლება უგულვებელყოფილი. უფრო მეტიც, სრულფასოვანი ანალიზისთვის აუცილებელია დადგინდეს სხვადასხვა მაგნიტურ რევერსირებასა და ნაწილაკის ბრუნვას შორის განსხვავების ეფექტური გამოყენების შესაძლებლობა.

მიმართული ჰიპერთერმია, რომელიც მოსდევს ვენაში ინექციას კვლავ განვითარების სტადიაზე. ავტორი დარწმუნებულია, რომ გამოყენებაზე ორიენტირებული კვლევა აუცილებელია, თუმცა ფუნდამენტური კვლევების გაგრძელებაც აგრეთვე აუცილებელია. წარმატება MFH თერაპიის დანერგვაში დიდად არის დამოკიდებული ინტეგრირებულ მიდგომაზე სითბური წყაროს ფიზიკური შეზღუდვების, პრაქტიკულად მისაღწევი ცვლადი მაგნიტური ველის გენერატორების გათვალისწინებით და აგრეთვე ყოველ შემთხვევაში სპეციფიკური მკურნალობის ტექნიკის შემუშავებაში.

ჩვენი აზრით მაგნიტური ჰიპერთერმიის განვითარებისათვის საჭიროა ჩატარებულ იქნეს მეცნიერული კვლევები შემდეგ საკითხებზე:

- მიღების მეთოდი, რომლის მეშვეობით ხდება საჭირო თვისებების მქონე ნაწილაკების სინთეზი;
- ჰემატიტის და მაგნეტიტის ნაწილაკების ფიზიკური თვისებები, რომლებიც წარმოქმნიან სითბოს ნეელის და ბრაუნის რელაქსაციის მეშვეობით;
- სუპერპარამაგნიტური ნაწილაკების სინთეზის პროცესების შესწავლა რეაქტივების pH კონტროლით, pH მასტაბილიზირებელი რეაქტივების გამოყენებით. pH ცვლილების გავლენის შესწავლა რეაქციის დროს წარმოქმნილი ლითონის კომპლექსების კონცენტრაციაზე. ატომიზაციის და ზრდის ტემპების შესწავლა, მათი გავლენა ნაწილაკების პოლიდისპერსულობაზე.

რეაქციის განმავლობაში, სხვადასხვა კუთრი სი-
დიდეების დროს pH ცვლილების გავლენის შეს-
წავლა ნაწინაწილაკების ზომაზე და განაწილებაზე;

- ხსნარების ტემპერატურის და pH გავლენის
შესწავლა ნაწინაწილაკების სინთეზის პროცესში
მათი წარმოქმნის სიჩქარეზე, ზომისეულ ფაქტორებ-
ზე და კონცენტრაციაზე;

- ნაწინაწილაკების ზომისა და ხსნარში მათი
კონცენტრაციების გავლენის შესწავლა მაგნიტური
ჰიპერთერმიის მიმდინარეობაზე, ნედლი და დაავა-
დებული უჯრედების მკურნალობისას ცვლადი
დენის მაგნიტური ველის ზემოქმედებით სხვადასხვა
დროით მკურნალობის პროცესში;

- უჯრედის მიერ მაგნიტური ნაწილაკის შთანთ-
ქმისა და დროის ფუნქციური კორელაცია და უჯრე-
დის გაჯერების დროის განსაზღვრა. ჰემატიტის და
მაგნეტიტის ნაწინაწილაკების კონცენტრაციების,
საწყისიდან ზრდადი მეთოდით უჯრედის მიერ
მათი შთანთქმის პროცესში;

- უჯრედის სუსპენზიის ტემპერატურის ზრდის
განსაზღვრა სუპერპარამაგნეტიკური ნაწილაკების
შთანთქმის სხვადასხვა კონცენტრაციების დროს,
მათი პოტენციის დასადასტურებლად ჰიპერთერ-
მიის ეფექტური მკურნალობისათვის;

- ტემპერატურული განსხვავების შესწავლა მაგნი-
ტური ნაწილაკების შემცველ კიბოს ქსოვილსა და
ჩვეულებრივ ქსოვილს შორის. ამასთან მიმართებაში
სუპერპარამაგნეტიკების სითბოს დიფუზიის მახასი-
ათებლების კვლევა;

- მაგნიტური ჰიპერთერმიის პირობებში, კიბოს
ქსოვილის ფიზიკური თვისებების კვლევა და მასში
ტემპერატურის განაწილების ანალიტიკური შესწავ-
ლა, სისხლის მიმოქცევის გათვალისწინებით, რომე-
ლიც აცილებს წარმოქმნილი სითბოს ნაწილს. ამას-
თან დაკავშირებით სუსპენზიის ფიზიკური თვისე-
ბების დადგენა: კუთრი სითბო, თბოგამტარობა,
სიმკვრივე და სხვა, რათა შენარჩუნდეს ტემპე-
რატურა კიბოს ქსოვილში არანაკლები 318 K;

- მათემატიკური გამოთვლითი მეთოდების
გამოყენება, რათა ფართოდ იქნეს მოცული სასი-
ცოცხლო ფაქტორები, ბიოლოგიურად მნიშვნელო-
ვანი დასკვნების გასაკეთებლად.

3. დასკვნა

ძეტა პოტენციალის ხელსაწყოში მიღებული
რკინის იონების შემდგომი დამუშავებით კიურის
(769°C) ტემპერატურის ზევით (800°C) რეჟიმით 4-
5°C/წთ დამუხანგავ გარემოში მიღებულ იქნა ჰემა-
ტიტის ნაწინაწილაკები ზომით 30-80 ნმ. ელექტ-
რონულ-მიკროსკოპიულმა ანალიზმა დაადასტუ-
რა, რომ ეს ნაწილაკები აგლომერირებულია. NA-

NOPHOX ხელსაწყო აფიქსირებს აგლომერირებულ
მთლიან ნაწილაკს, რამაც ფხვნილში მარცვალთა
საშუალო ზომა გაზარდა და განსაზღვრა საშუა-
ლოდ 195 ნანომეტრით. მიუხედავად ამისა, ასეთი
განზომილება საშუალებას იძლევა მიღებული სუ-
პერპარამაგნეტიკური ნაწილაკები განთავსებულ
იქნეს უჯრედში მართვადი ლოკალური ჰიპერთერ-
მიის პროცესში კიბოს ზედაპირული დაავადებების
სამკურნალოდ.

სუპერპარამაგნიტური კერამიკული ნაწილაკების
გამოსაცდელად ბრტყელუჯრედოვანი სიმსივნური
დაავადებების წინააღმდეგ მომზადებულ იქნა
ცხოველები (თაგვები) ინ ვივო ტექნოლოგიისათვის
და სიმსივნური დაავადებების გამომწვევი პრეპა-
რატები. მაგნიტურ-რეზონანსული კონტურის მეშ-
ვეობით ხდება ჰემატიტის ფხვნილის 5%-იანი ფი-
ზიოლოგიური ხსნარის გახურება 316°C-ზე. მკურ-
ნალობა მიმდინარეობს მაგნიტურ-რეზონანსული
კონტურიდან გამომავალი სოლენოიდის უშუალო
შეხებით ცხოველის კანთან, რამოდენიმე წუთის
განმავლობაში. მკურნალობის პერიოდი შედგება
რამოდენიმე სეანსისაგან. სეანსების რაოდენობა
დამოკიდებულია ცხოველის სიმსივნური დაავადე-
ბის ჰიპერთერმიულ მკურნალობის მიმართ დაქვემ-
დებარებაზე.

მადლიერება

გვინდა მადლობა გადავუხადოთ გერმანიის
ქ. კლაუსტალის (Clausthal) ტექნიკური უნივერსი-
ტეტის არამეტალური ინსტიტუტის კერამიკის
კათედრას და ფხვნილის სახლს (Pulver Haus) ჩატა-
რებული საინტერესო კვლევისა და თანადგო-
მისათვის.

ლიტერატურა

1. P. Wust, B. Hildebrandt, G. Sreenivasa, B. Rau, J. Gellermann, H. Riess, R. Felix and P. M. Schlag, *Lancet Oncol.*, 3, 487489 (2002).
2. P. Moroz, S. K. Jones and B. N. Gray, *J. Surg. Oncol.*, 77, 259269 (2001).
3. R. K. Gilchrist, R. Medal, W. D. Shorey, R. C. Hanselman, J. C. Parrott and C. B. Taylor, *Ann. Surg.*, 146, 596606 (1957).
4. H. Matsuki, T. Yanada, T. Sato, K. Murakami and S. Minakawa, *Mater. Sci. Eng., A*, 181-182, 13661368 (1994).
5. R. Hergt, W. Andra, C. d'Ambly, I. Hilger, W. Kaiser, U. Richter and H. Schmidt, *IEEE Trans. Magn.*, 34, 37453754 (1998).
6. M. Shinkai, M. Yanase, M. Suzuki, H. Honda, T. Wakabayashi, J. Yoshida and T. Kobayashi, *J. Magn. Mater.*, 194, 176184 (1999).

7. A. Jordan, R. Scholz, P. Wust, H. H. Föhling and R. Felix, *J. Magn. Magn. Mater.*, 201, 13419 (1999).
8. A. Jordan, R. Scholz, K. Maier-Hauff, M. Johannsen, P. Wust, J. Nadobny, H. Schirra, H. Schmidt, S. Deger, S. Loening, W. Lanksch and R. Felix, *J. Magn. Magn. Mater.*, 225, 118126 (2001).
9. R. Müller, R. Hergt, M. Zeisberger and W. Gawalek, *J. Magn. Magn. Mater.*, 289, 1316 (2005).
10. T. Atsumi, B. Jeyadevan, Y. Sato and K. Tohji, *J. Magn. Soc. Jpn.*, 30, 555560 (2006).
11. G. F. Goya, R. Fernandez-Pacheco, M. Arruebo, N. Cassinelli and M. R. Ibarra, *J. Magn. Magn. Mater.*, 316, 132135 (2007).
12. T. Atsumi, B. Jeyadevan, Y. Sato and K. Tohji, *J. Magn. Magn. Mater.*, 310, 28412843 (2007).
13. L.-Y. Zhang, H.-C. Gu and X.-M. Wang, *J. Magn. Magn. Mater.*, 311, 228233 (2007).
14. J.-P. Fortin, C. Wilhelm, J. Servais, C. Ménager, J.-C. Bacri and F. Gazeau, *J. Am. Chem. Soc.*, 129, 26282635 (2007).
15. C. Dennis, A. J. Jackson, J. A. Borchers, R. Ivkov, A. R. Foreman, J. W. Lau, E. Goernitz and C. Gruettner, 52nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov. 59, Tampa, Florida, (2007) p. 29.
16. R. E. Rosensweig, *J. Magn. Magn. Mater.*, 252, 370374 (2002).
17. M. Suto, Y. Hirota, M. Mamiya, A. Fujita, R. Kasuya, K. Tohji and B. Jeyadevan, *J. Magn. Magn. Mater.*, 321, 14931496 (2009); M. Suto, Y. Hirota, M. Mamiya, R. Kasuya, A. Fujita, K. Tohji and B. Jeyadevan, *J. Magn. Soc. Jpn.*, 33, 391395 (2009).
18. J.-P. Fortin, F. Gazeau and C. Wilhelm, *Eur. Biophys. J.*, 37, 223228 (2008).
19. T. Sugimoto and E. Matijević, *J. Colloid Interface Sci.*, 74, 227243 (1980).
20. M. Tada, S. Hatanaka, H. Sanbonsugi, N. Matsushita and M. Abe, *J. Appl. Phys.*, 93, 75667568 (2003).
21. B. JEYADEVAN. Present status and prospects of magnetite nanoparticles-based hyperthermia. *Journal of Ceramic Society of Japan*, 118[6], 391-401, 2010.
22. By John Bullivant – Dissertation "Stable superparamagnetic ferrofluids for the treatment of secondary liver cancer by hyperthermia", University of Florida, 2008.
23. R.D. Zysler, D. Fiorani and A.M. Testa. "Investigation of magnetic properties of interacting Fe₂O₃ nanoparticles", *JMMM* 224, 2001, p. 5 – 11.
24. R.D. Zysler et al. »Structure and magnetic properties of thermally treated nanohematite" *JMMM* 224, 2001, p. 39-48.

UDC 591.2

OBTAINING OF BIONANOCERAMIC SUPER PARAMAGNETIC MATERIALS FOR THE CREATION OF LOCAL CONTROLLED HYPERTHERMIA FOR MALIGNANT CANCER THERAPY

Z. Kovziridze, N. Nijaradze, N. Darakhvelidze

Institute of Bionanoceramic and Nanocomposite Technology. Georgian Technical University. Str Costava 69. 0175 Tbilisi. Georgia

E-mail: kowsiri@gtu.ge

Resume: Goal. Comparative study of anticancer properties of hyperthermia induced by hematite nanoparticles and the mechanisms of their impact; creation of principally new drug of high anticancer effect.

Method. Preparation-concentration of a drug containing hematite nano-particles, control of activity; comparative study of anticancer activity of the drug; determination-development of optimal regime and schemes.

Results. Analysis of powder of the obtained hematite nanoparticles showed homogeneous spreading of particles according to their dimensions and correspondingly – good stability.

Conclusion. By further treatment of ferric ions obtained in Zeta potential device above Curie (769°C) temperature (800°C) the hematite nanoparticles of 80 nm size were obtained in oxidizing medium at the regime 4-5C/min.

Key words: nanoparticle; hematite; hyperthermia; stability.

უაკ 666.762.93

კომპოზიტების მიღება მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებით

ზ.კოვზირიძე, ნ. ნიჭარაძე, გ. ტაბატაძე, თ. ჭიჭიშვილი, ზ. მესტვირიშვილი, ნ. დარახველიძე,

მ. ბალახაშვილი

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

E-mail: kowsiri@gtu.ge

რეზიუმე: მიზანი. კომპოზიტის მიღება მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებით SiC-SiAlON-AlN-BN-Al₂O₃ სისტემაში.

მეთოდი. ნიმუშები მიღებულია რეაქციული შეცხოების მეთოდით აზოტის გარემოში. ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები შესწავლილია თანამედროვე სტანდარტებით გათვალისწინებული მეთოდებით, ხოლო კომპოზიტების მოცულობითი ელექტროწინაღობა განისაზღვრა მაღალტემპერატურულ ელექტროსაზომ უჯრედში 20-300°C ინტერვალში, სადაც მზომ ხელსაწყოდ გამოყენებულ იქნა ელექტრონული ომმეტრი.

შედეგი. მიღებულია კომპოზიტები C-9 და C-10, მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებით (სიმტკიცე ღუნვისას -265 მპა, დარტყმითი სიბლანტე 17,50ჯჯოული/მ²), რომელთა ფაზური შედგენილობაა: β-სიალონი- Si-Al-O-N, სილიციუმის კარბიდი, ბორის ნიტრიდი, ალუმინის ოქსიდი.

დასკვნა. ნაშრომში წარმოდგენილია β-სიალონური მატრიცით მიღებული მაღალცეცხლგამძლე კომპოზიტის ფიზიკურ-მექანიკური და ელექტრული თვისებების შესწავლის შედეგად მიღებული მონაცემები. მიღებულია დაბალრეზისტორული (კუთრი წინაღობა დაახლოებით 10² ო.მ), აქტივაციის ენერჯიის (E=0,27 ევ) და ელექტროწინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტის (Δα_T=0,057k⁻¹) ელექტრომახასიათებლების მატარებელი კომპოზიტი.

საკვანძო სიტყვები: კომპოზიტი; რეაქციული შეცხოების მეთოდი; სილიციუმის კარბიდი; ბორის ნიტრიდი; β- SiAlON.

1. შესავალი

ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში კომპოზიციური მასალების გამოყენების შესაძლებლობას განსაზღვრავს მათი ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები, რომელიც დამოკიდებულია მათ სახეობაზე, შედგენილობაზე და წარმოების ტექნოლოგიაზე.

სხვადასხვა სახეობის კერამიკული კომპოზიტების თვისებები მკვეთრად განსხვავებულია ერთმანეთისაგან.

ამდენად, ის მოთხოვნები, რომელიც ტექნიკის სხვადასხვა დარგისთვისაა საჭირო, დაკმაყოფილებულია. მაღალ ტემპერატურაზე მომუშავე კომპოზიტები უნდა ხასიათდებოდნენ მაღალი სიმკვრივით, სიმტკიცით, თერმული მედეგობით და ამ თვისებებს ინარჩუნებდნენ მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობისას. მაღალცეცხლგამძლე ოქსიდური კერამიკისგან მიღებული კომპოზიტები ინარჩუნებენ სიმტკიცეს მაღალ ტემპერატურაზე, მაგრამ ხასიათდებიან მაღალი თერმული გაფართოების კოეფიციენტით და ამის გამო დაბალი თერმული მედეგობით. შედარებით მაღალი თერმული გაფართოების კოეფიციენტი აქვს კერამიკას კარბიდების ბაზაზე, მაგრამ მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობისას ისინი ადვილად იჟანგებიან. ამის გამო მეცნიერთა ყურადღება მიპყრობილია ზემოაღნიშნული სიმტკიცის კომპოზიტების-სიალონების მისაღებად [1-7]. ჩვენ მიერ ჩატარებული სამუშაოების შედეგები [8-10] ნათელს ხდის, რომ კომპოზიტები, რომლებიც მიიღება სიალონური მატრიცით, წარმოადგენენ მაღალცეცხლგამძლე მასალებს მაღალი საექსპლოატაციო თვისებებით და ინარჩუნებენ ამ თვისებებს მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობისას.

2. ძირითადი ნაწილი

კომპოზიტების მისაღებად შევადგინეთ ნარევები რომლის შედგენილობა მოცემულია 1 ცხრილში. ნიმუშები დამზადდა ცილინდრული ფორმის, ნახევრადმშრალი მეთოდით, დაყალიბების წნევა იყო 20 მპა. შრომის შემდეგ ნიმუშები გამოიწვა სილიტის ღუმელში 1450°C-ს ტემპერატურაზე. რეჟიმი 5°C/წთ.

შესწავლილ იქნა მზა ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები და ელექტრული თვისებები, სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას და ღუნვისას, დარტყმითი სიბლანტე, სიმკვრივე, ელექტროწინაღობის ტემპერატურული და თერმული გაფართოების კოეფიციენტები.

СN-9 და СN-10 კომპოზიტების მატერიალური შემადგენლობა

კომპოზიტის ინდექსი	საწყისი კომპონენტის შემცველობა, მას.%									
	კაოლინი პროსიანაია (უკრაინა)	Al	Al ₂ O ₃	Sic	Si	პერლიტი არაგაცის (სომხეთი)	Y ₂ O ₃	MgO	B ₄ C	ნახ. ბოჭკო
C-9	6,5	18.0	22.0	18.0	22.0	2.0	1.5	1.0	9.0	-
C-10	-	20.0	19.0	20.0	22.0	-	1.5	1.0	13.5	3

$$\sigma_{\text{ლ}} = 3/2 \cdot P_{\text{lo}}/bh^2,$$

სიმტკიცის ზღვარი ღუნვისას, გაიზომა გერმანული წარმოების გამგლეჯ მანქანაზე R-100, რომელსაც აქვს მოწყობილობა, რომლის საშუალებითაც ხდება ნიმუშების სიმტკიცის ზღვარის განსაზღვრა სამწერტილოვან ღუნვაზე. დატვირთვის სიჩქარე წარმოადგენდა 5 მმ/სთ.

ღუნვაზე სიმტკიცის ზღვრის განსაზღვრისას მაქსიმალური დამაბულობა გაიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

სადაც P არის ძალა, რომლის დროსაც დაიმსხვრა ნიმუში, კგ; l₀ - საყრდენებს შორის მანძილი 3 წერტილოვანი დატვირთვისას, 25მმ; b - ნიმუშის კვეთის სიგანე, მმ; h - ნიმუშის სიმაღლე, რომელზედაც ხდება დაწოლა, მმ.

CN-9 და CN-10-ის კომპოზიტის გამოცდის შედეგები მოცემულია ცხრილში 2.

C-9 და C-10-ის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები

კომპოზიტის დასახელება	სიმკვრივე, გ/სმ ³	სიმტკიცე კუმშვისას $\sigma_{\text{კ}}$, მპა	სიმტკიცე ღუნვისას $\sigma_{\text{ლ}}$, მპა	დარტყმითი სიბლანტე a, კჯოული/მ ²	ელექტროწინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი, $\Delta\alpha$ (K ⁻¹)	თერმული გაფართოების კოეფიციენტი α , 10 ⁻⁶ °C ⁻¹ (20-700°)
C-9	3,06	1840,6	261	17,14	-5,7·10 ⁻³	3,88
C-10	2,97	2187,5	265	17,50	-2,6·10 ⁻²	3,80

დარტყმითი სიბლანტე განისაზღვრა ქანქარიანი კოპრას დახმარებით. ნიმუშის

დამსხვრევისას სკალაზე აღინიშნება ქანქარას ფრენის კუთხე - β . დარტყმითი ღუნვის

დროს სიმტკიცის ზღვარს ანგარიშობენ ფორმულით:

$$a_{\text{დარტ}} = A/S$$

სადაც A ნიმუშის დასამსხვრევად დახარჯული მუშაობაა, კჯოული; S - ნიმუშების განივი კვეთის ფართი, მ²; C-9 კომპოზიტის ნიმუშების განივი კვეთის ზომები იყო 1სმx0,35სმ; a=6,0/1x0,35=17,14 კჯოული/მ²; C-10 კომპოზიტის ნიმუშების განივი კვეთის ზომები იყო 1სმx0,2სმ; a=3,5/1x0,2=17,50 კჯოული/მ².

როგორც ცხრილი 2-დან ჩანს, ორივე კომპოზიტის (C-9, C=10), როგორც სიმტკიცე ღუნვისას, ასევე დარტყმითი სიბლანტე, თითქმის ერთნაირია და შეადგენს შესაბამისად 261; 265 მპა და 17,14 ; 17,50 კჯოული/მ²-ს.

კერამიკული კომპოზიტები მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობისას განიცდიან თერმული დატვირ-

თვებისა და აირთერმული დარტყმების მოქმედებას. ყველა კერამიკულ მასალაში არის მიკრობზარები [11] და როდესაც ნაკეთობათა სიმტკიცე ნაკლებია დატვირთვებზე, აღნიშნული დატვირთვები გადაიზრდება დაშლის დამაბულობის ენერგიაში. კრიტიკული დარტვირთვების დროს ვითარდება მაღალი ენერგიები, რაც იწვევს ნაკეთობის დაშლას. ამ ენერგიების გამოსათვლელად ზ. კოვზირიძის მიერ შემოთავაზებულია დაშლის დამაბულობის ენერგიის გამოსათვლელი ფორმულა [12-13], რომელიც ამყარებს უნივერსალურ კავშირს ნაკეთობის დაშლის დამაბულობის ენერგიას, ნაკეთობის მასას და ბზარის განვითარების სიჩქარეს შორის კრიტიკული დამაბულობის პირობებში. დაშლის დამაბულობის ენერგიის გამოსათვლელი ფორმულა ასეთია:

$$E_{\text{და}} = m a_{\text{კ.პ.}}$$

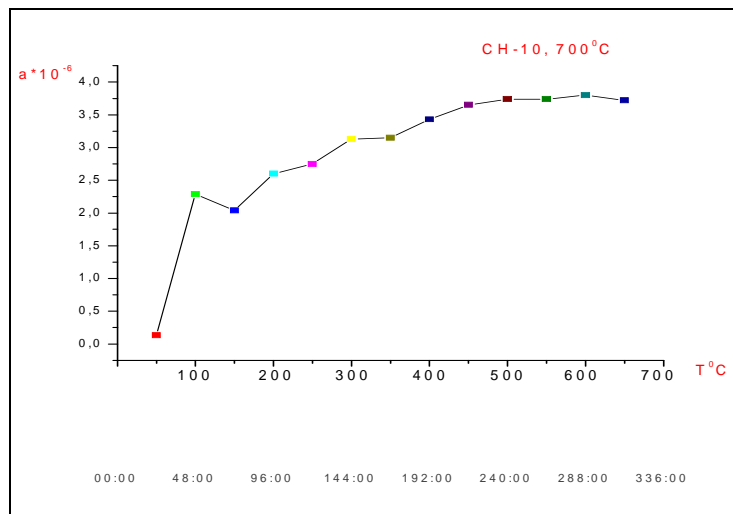
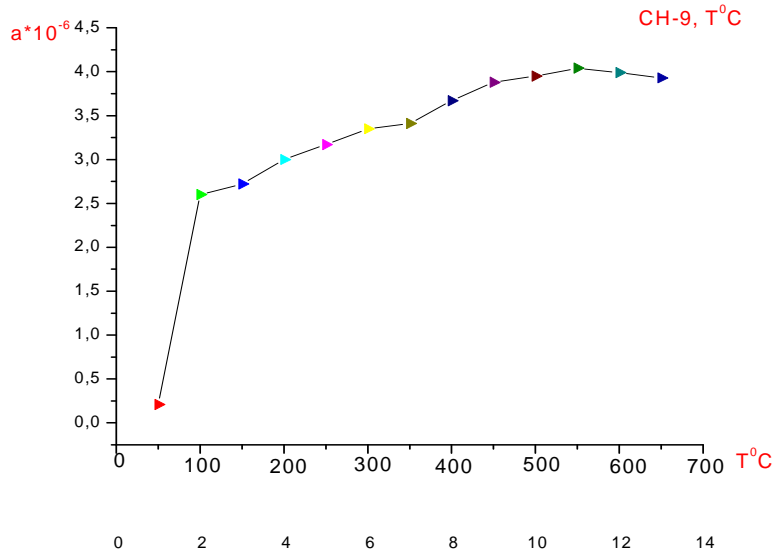
სადაც E_{და} დაშლის დამაბულობის ენერგიაა, კჯ. m - ნიმუშის მასა გ; a_{კ.პ.} - ბზარის გავრცელების სიჩქარე - 2000მ/წმ.

ჩვენ შემთხვევაში ნიმუშის ზომები იყო 5,2x5,2x45მმ, რომლის მასა შეადგენდა 3.86გ. ნიმუშის დაშლის დაძაბულობის ენერჯია

$$E_{td} = m a c_p = 3,86 \cdot 2000 = 7,72 \text{ კჯ.}$$

მიღებული კომპოზიტების (C-9, C-10), თერმული გაფართოების კოეფიციენტი განისაზღვრა ხაზობრივი სითბური გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტის განმსაზღვრელი ხელსაწყოთა კვარცის ვერტიკალური დილატომეტრის დახმარებით ტემპერატურულ ზღვრებში (20-700°C). ცხრილი 2 და ნახ. 1-დან ჩანს, ორივე კომპოზიტისათვის ეს მაჩვენებელიც ერთნაირია და შესაბამისად შეადგენს 3,88 და 3.80·10⁻⁶სიდიდეს.

ლიტერატურიდან [13] ცნობილია, რომ კორუნდის კერამიკის თერმული გაფართოების კოეფიციენტი მაღალია და შეადგენს $\alpha_{20-3000C} = 6,2 \cdot 10^{-6}$. ხოლო უჟანგბადო ძნელღობადი ნაერთების, კერძოდ, სილიციუმის კარბიდის -დაბალია შეადგენს $5,18 \cdot 10^{-6}$ და ხასიათდება მაღალი თერმული მედეგობით [14]. აღსანიშნავია ის, რომ ჩვენ მიერ მიღებული კომპოზიტები (C-9, C-10) ხასიათდებიან კიდევ უფრო დაბალი თერმული გაფართოების კოეფიციენტით, შესაბამისად 3,88 და $3.80 \cdot 10^{-6}$ და შესაბამისად უფრო მაღალი თერმული მედეგობით, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია ისეთი კომპოზიტისათვის, რომელთაც უწევთ მაღალ ტემპერატურაზე და აგრესიულ გარემოში ხანგრძლივი მუშაობა (სურ. 1).



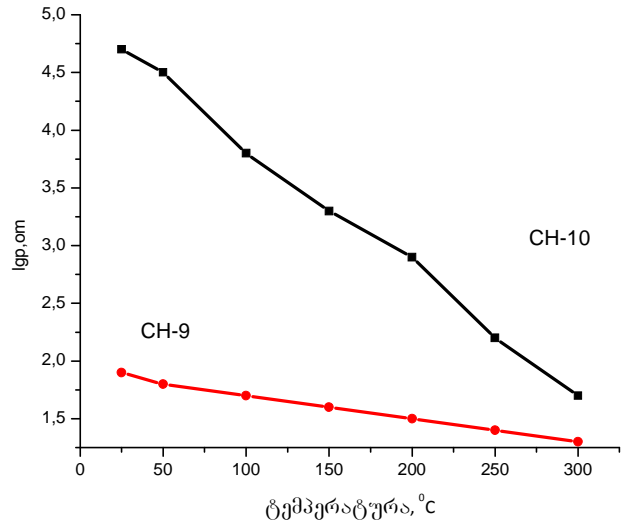
სურ. 1. თერმული გაფართოების კოეფიციენტის და ტემპერატურის ურთიერთდამოკიდებულება

ორივე შედგენილობის (C-9 და C-10) კომპოზიციისათვის დადგენილია ელექტრომახასიათებლები, რომლებიც მიღებულ იქნა „წინალობა-ტემპერატურა“ დამოკიდებულების ექსპერიმენტის შედეგად. კომპოზიტების მოცულობითი ელექტროწინალობა განისაზღვრა მაღალტემპერატურულ ელექტროსაზომ უჯრედში 20-300°C ინტერვალში, ხოლო მზომ ხელსაწყოდ გამოყენებულ იქნა ელექტრონული ომეტრი. პრიზმული ფორმის ნიმუშების ზედაპირზე დაიტანებოდა გრაფიტის ელექტროდები (ზედა საზომი ელექტროდის დიამეტრი 14 მმ-ს, ხოლო ქვედა საზომი ელექტროდის დიამეტრი 16 მმ-ს შეადგენდა). საცდელი ნიმუშების „კუთრი წინალობა-ტემპერატურის“ მიმართ დამოკიდებულება წრფივია, იმ თავისებურებების გამოვლენით, რომ ტემპერატურის ზრდა იწვევს ელექტროწინალობათა კლებას. ამასთან C-9 ნიმუში ხასიათდება ელექტროწინალობათა დაბალი მნიშვნელობებით, ვიდრე ნიმუში C-10. ელექტროწინალობათა შორის სხვაობა განსაკუთრებით შესამჩნევია ოთახის ტემპერატურაზე. (განსხვავება დაახლოებით სამ რიგს შეადგენს), მაგრამ ის ნაკლებად ვლინდება მაღალ ტემპერატურებზე (სხვაობა ერთ რიგამდე მცირდება), რაც ექსპერიმენტის შედეგების ამსახველი მასალიდან მკაფიოდ იკვეთება (სურ. 2).

საკვლევი კომპოზიტების ელექტრომახასიათებელ სიდიდეთა მნიშვნელობები გათვლილ იქნა „lg p- t,“ მიღებულ დამოკიდებულებათა საფუძველზე. ორივე კომპოზიციისათვის დადგინდა სამი ელექტრომახასიათებელი: ელექტრომგრძობიარობის (B) და ელექტროწინალობის (α_T) ტემპერატურული კოეფიციენტები, ელგამტარობის აქტივაციის ენერგია (Ea), რომელთა მნიშვნელობები წარმოდგენილია ცხრ.3-ში. დადგინდა, რომ ელექტრომახასიათებლებს შორის სხვაობა მნიშვნელოვანია (C-10 კომპოზიტის მაჩვენებლები დაახლოებით 5-ჯერ აღემატება C-9 კომპოზიტისთვის მიღებულ მაჩვენებლებს). უნდა აღინიშნოს, რომ ორივე კომპოზიტს აქვს უარყოფითი α_T (ტემპერატურის ზრდით წინალობა მცირდება) და Ea- დაბალი მნიშვნელობა (ორივე მასალისათვის მოსალოდნელია ელექტრონული ტიპის ელგამტარობის რეალიზაცია).

მიღებული შედეგები უნდა უკავშირდებოდეს ერთი და იმავე პირობებში სინთეზით მიღებულ 1450°C-ზე, C-9 და C-10 კომპოზიტებში წარმოდგენილ ძირითად ფაზებს. რენტგენოფაზური ანალიზის შედეგების მიხედვით, ორივე შედგენილობის კომპოზიტში წამყვანი ფაზა არის სიალონი. მათში ასევე ხუთი სხვა განსხვავებული ბუნების კრისტა-

ლური ნაერთების თანაარსებობა ფიქსირდება. მათი ელექტრული თვისებებიდან გამომდინარე ისინი შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს:

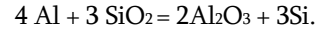


სურ. 2. კუთრი ელექტროწინალობის და ტემპერატურის ურთიერთდამოკიდებულება

დიელექტრიკები (α - Al_2O_3 , BN, AlN) და ნახევარგამტარები (SiC, Si). თუ გავითვალისწინებთ C-9 და C-10 კომპოზიტების მიღების პირობის იდენტურობას, მაშინ მათი დაბალი წინალობების და აქტივაციის ენერგიის სიდიდეთა განმსაზღვრელი ფაქტორი, საკვლევ მასალებში არსებული ნახევარგამტარული თვისებების მატარებელი SiC და Si-ის მყარი ფაზების რაოდენობა შეიძლება ყოფილიყო. ორივე კომპოზიტის ელექტრომახასიათებლების შედარების საფუძველზე შეიძლება გამოითქვას ვარაუდი, რომ SiC და Si-ის კონცენტრაცია C-9 კომპოზიტში უნდა იყოს მეტი, ვიდრე C-10 კომპოზიტში. აღნიშნულის გამოვლენის შესაძლებლობა ორი მიდგომით შეიძლებოდა: SiC და Si-ის რაოდენობის დადგენით ან მასალათა სიმკვრივით. ორივე მიდგომა C-9 და C-10 შედგენილობის კომპოზიტებისათვის გამოუყენებადი აღმოჩნდა, რადგან ჩვენ ხელთ არსებული დიფრაქტოგრაფების საფუძველზე რაოდენობითი გათვლების ჩატარება შეუძლებელი აღმოჩნდა (კრისტალური ფაზების სიჭარბის და მათი მახასიათებელი ინტენსივობის პიკების ურთიერთდამთხვევის გამო) და ასევე მასალათა სიმკვრივეთა შორის უმნიშვნელო განსხვავების (C-9 სათვის $d=3,02$; C-10-სათვის $d=2,98$ გ/სმ³) გამო. ნებისმიერ შემხვევაში C-9-ში C-10-თან შედარებით SiC-ს რაოდენობა მეტი ვერ იქნებოდა, თუ ვიმსჯელებთ საკვლევი კომპოზიტების მატერი-ალური შედგენილობიდან გამომდინარე.

ამავე დროს, რენტგენოგრაფიული ანალიზით ორივე კომპოზიტიში ფიქსირდება Si-ის არსებობა, რომელსაც შეეძლო გავლენა მოეხდინა კომპოზიტის ელგამტარობაზე. მაგრამ Si-ის შემცველობა საწყის ნარევეში (მატერიალურ შედგენილობათა მიხედვით) იდენტურია და შეადგენს 22 მას.%-ს. ამავე დროს, C-9 კომპოზიტის კაზმში წარმოდგენილია ორი ისეთი ბუნებრივი ქანი (კაოლინი და პერლიტი), რომლებიც სილიციუმის დიოქსიდს შეიცავენ. კაოლინი (6,5 მას. %) პერლიტი (2,0 მას. %) უზრუნველყოფენ C-9 შედგენილობის კომპოზიტი დაახლოებით 5,2 მას.%-ს და 3,0 მას.% Si- შეტანას. აღნიშნულის მიზეზი თიხაში (კაოლინი) შემავალი მინერალი კაოლინიტის ტემპერატურით გამოწვეული სტრუქტურული რღვევა და პარალელურად ალუმოთერ-

მული პროცესის წარმართვის შესაძლებლობა ხდება:



აღნიშნული პროცესი CN-9 კომპოზიტის შედგენილობაში დამატებით 2,4 მას. %- მდე Si-ის შეტანას გამოიწვევს და პრაქტიკულად მოსალოდნელია C-9-ში Si-ის რაოდენობის 24,4 მას. %-მდე ზრდა. SiO₂-დან Si-ის მიღების ხელშემწყობ ფაქტორს შესაძლოა წარმოადგენდეს პერლიტის დაბალტემპერატურული ლობით გამოწვეული თხევადი ფაზის წარმოქმნა. საწყის ნარევეში წარმოდგენილი ალუმინის პუდრის ნაწილის ურთიერთქმედებით აზოტთან წარმოიქმნება ალუმინის ნიტრიდი შემდეგი რეაქციით:



ცხრილი 3

კომპოზიტების ელექტრომახასიათებლების მნიშვნელობა

ნიმუშის №	ელექტრომგრძობიარობის კოეფიციენტი, B(K)	ელგამტარობის აქტივაციის ენერგია, ΔE(ევ)	ელექტროწინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი, Δα _t (K ⁻¹)
C-10	-7170	1,24	-2,6·10 ⁻²
C-9	-1560	0,27	-5,7·10 ⁻³

ხოლო მაღალ ტემპერატურებზე კაოლინიტის დაშლის შედეგად ალუმინის პუდრის ნაწილი აღადგენს სილიციუმს SiO₂-საგან ზემოთ მოყვანილი რეაქციის მიხედვით. აღნიშნულ პროცესს შეეძლო გამოეწვია ნახევარგამტარული Si-ის რაოდენობის ზრდა და იზოლატორული თვისებების მატარებელი AlN-ს შორის თანაფარდობის შეცვლა Si-ის სასარგებლოდ, ეს გამოიწვევდა - C-9 კომპოზიტიში ელგამტარობის ზრდას.

3. დასკვნა

მიღებულია მაღალი ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლების, დაბალრეზისტორული (კუთრი წინალობა დაახლოებით 10² ო.მ), აქტივაციის ენერგიის (E=0,27 ევ) და ელექტროწინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტის (Δα_t=0,057k⁻¹) ელექტრომახასიათებლების მატარებელი კომპოზიტი β-სიალონური მატრიცით.

ლიტერატურა

- Osman Sahin, Orhan Uzun, Malgorzata Sopicka-Lizer, Hasan Gocmez, Ugur Kolemen. Dynamic hardness and elastic modulus calculation of porous SiAlON ceramics using depth-sensing indentation technique. Journal of the European Ceramic Society 28 (2008) p.1235–1242.

- Z. Hou, F. Ye, L. Liu, Effects of pore shape and porosity on the dielectric constant of porous β-SiAlON ceramics, J. Eur. Ceram. Soc. 35 (2015) 4115–4120.
- G.J. Zhang, J.F. Yang, T. Ohji, Fabrication of porous ceramics with unidirectionally aligned continuous pores, J. Am. Ceram. Soc. 84 (6) (2001) 1395–1397.
- B. Li, K. Liu, C.R. Zhang, S.Q. Wang, Fabrication and properties of borazine derived boron nitride bonded porous silicon aluminum oxynitride wave-transparent composite, J. Eur. Ceram. Soc. 34 (15) (2014) 3591–3595.
- J.F. Yang, Y. Beppu, G.J. Zhang, T. Ohji, S. Kanzaki, Synthesis and properties of porous single-phase β-SiAlON ceramics, J. Am. Ceram. Soc. 85 (7) (2002) 1879–1881.
- C. Zhang, R. Janssen, N. Claussen, Pressureless sintering of β-SiAlON with improved green strength by using metallic Al powder, Mater. Lett. 57 (2003) 3352–3356.
- S.-L. Hwang, I.-W. Chen, Reaction hot pressing of α- and β-SiAlON ceramics, J. Am. Ceram. Soc. 77 (1994) 165–171. [11] F. Çalıskan, Improvement in sinterability of β-SiAlON produced from kaolin, J. Alloy. Compd. 602 (2014) 14–149.

8. kovziriZe z., niJaraZe n., tabataZe g., WeiSvili T., daraxveliZe n., mestviriSvili z., mSvildaZe m., nikoleiSvili e. nitroaluminTermuli procesebiT sialonebis miReba. saqarTvelos keramikosTa asociaciis Jurnal "keramika" # 2 (32), 2014,gv. 23-31.
9. Z. Kovziridze, N. Nijharadze, G. Tabatadze, T. Cheishvili, Z.mestvirishvili, E. NikoeiShvili, M. Mshvildadze, N. Darakhvelidze. Obtaining of Nanocomposites in SiC-SiAlON and Al₂O₃-SiAlON System by Alumothermal Processes.//Journal of Electronics Cooling and Thermal Control, 2014, 4, 105-115. <http://dx.doi.org/10.4236/jectc.2014.44012>.
10. Z. Kovziridze, N. Nijharadze, G. Tabatadze, N. darakhvelidze, Z. Mestvirishvili, Smart Materials in the System SiAlON-SiC-Al₂O₃- TiB₂-ZrB₂, Bit's 2nd Annual World Congress of Smart materials 2016. p. 558.
11. Griffith A.A-phil, Trahs. Roy. Soc. London A. 221.1920.1963.
12. kovziriZe z., დაშლის დაძაბულობის ენერგიის ფორმულა. საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაცია, ჟურნალი „კერამიკა“ #1 (39), 2018. გვ. 11-23.
13. Z.kovziridze- Failure Stress Energy Formula. Journale of Electronics Cooling and Thermal Conrtol. 2018.8.31-47. [Http:// www.scirp.org/journal/jectc](http://www.scirp.org/journal/jectc).
14. Г.В. Самсонов, Физико-химические свойства окислов, М., Metallургия, 1978.
15. Г. В. Самсонов, Свойства тугоплавких соединений, Краткий справочник. М., Metallургия. 1978.

UDC 666.762.93

OBTAINING OF COMPOSITES WITH HIGH PHYSICAL-TECHNICAL PROPERTIES

Z. Kovziridze, N. Nijaradze, G. Tabatadze, T. Cheishvili, Z. Mestvirishvili, N. Darakhvelidze, M. Balakhashvili

Institute of Bionanoceramic and Nanocomposite Technology. Georgian Technical University. Str Costava 69. 0175 Tbilisi. Georgia
E-mail: kowsiri@gtu.ge

Resume: Goal. Obtaining of composites with high physical-technical properties in SiC-SiAlON-AlN-BN-Al₂O₃ system.

Method. Samples were obtained by the method of reactive sintering in nitrogen medium. Physical and technical properties were studied by the methods stipulated by modern standards. Volumetric resistivity of composites was determined in high-temperature electricity measuring cell, in 20-300 °C range, where ohm meter was used as a measuring device.

Results. Composites C-9 and C-10 were obtained which are characterized by high physical-technical indices (bending strength -265 MPa, resilience 17.50 kJoul/m²). Samples were of the following phase composition: β-SiAlON- Si-Al-O-N, silicon carbide, boron nitride, aluminum oxide.

Conclusion. The work offers the data of high-refractory composite obtained by β- SiAlON matrix, based on the study of physical-technical properties. Low resistant composite (specific resistance - at about 10²ohm) characterized by electrical properties such as activation energy (E=0,27 ev) and temperature coefficient of resistivity (Δ α_r = 0,057k⁻¹) was obtained.

Key words: composite; method of reactive sintering; silicon carbide; boron nitride; β- SiAlON.

უაკ 666.762.93

კომპოზიტების ფაზური შედგენილობის შესწავლა SiC-B₄C-Si-Al-Al₂O₃ სისტემაში

ზ. კოვზირიძე, გ. ტაბატაძე, ნ. ნიჭარაძე, ზ. მესტვირიშვილი, ნ. დარახველიძე

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

E-mail: kowsiri@gtu.ge

რეზიუმე: მიზანი. სამუშაოს მიზანია რეაქციული შეცხოვის მეთოდით სიალონშემცველი კომპოზიტების მიღება SiC-B₄C-Si-Al-Al₂O₃ სისტემაში. სინთეზის ამ მეთოდის გამოყენებით, შესაძლებელი გახდა კომპოზიტები მიგველო სიალონის განსხვავებული პროცენტული შემცველობით. ჩვენ ამოცანას ასევე წარმოადგენდა SiC-B₄C-Si-Al-Al₂O₃ სისტემაში ფაზური შედგენილობის შესწავლა.

მეთოდი. კომპოზიტების ფაზური შედგენილობის შესასწავლად კვლევა ჩავატარეთ რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის მეთოდით, აპარატ DRON-3-ზე, ხოლო მიკროსტრუქტურის შესასწავლად კვლევა ვაწარმოეთ ოპტიკურ მიკროსკოპზე და ფირმა „OPTON“-ის რასტრულ ელექტრონულ მიკროსკოპ „Nanolab 7“-ზე.

შედეგი. SiC-B₄C-Si-Al-Al₂O₃ სისტემაში მიღებულია კომპოზიტები, რომელიც შეიცავს β- სიალონის მატრიცაზე სილიციუმის კარბიდის, კორუნდის და ბორის ნიტრიდის მარცვლებს.

დასკვნა. მიღებული კომპოზიტის ფაზური შედგენილობა განაპირობებს ამ კომპოზიტების მაღალ ფიზიკურ-მექანიკურ და საექსპლოატაციო თვისებებს.

საკვანძო სიტყვები: კომპოზიტი; ელექტრონული მიკროსკოპი; ფაზური შედგენილობა.

1. შესავალი

სიალონი არის სილიციუმის ნიტრიდის ბაზაზე კერამიკული შენადნობების დიდი ოჯახის ზოგადი სახელი, ის პირველად მიღებულ იქნა 1970 წლის დასაწყისში. β- სიალონი არის ყველაზე ცნობილი ფაზა. მას აქვს ქიმიური ფორმულა: Si_{6-z}Al_zO_zN_{8-z} (z=0-4.2) და მისი ჰექსაგონური კრისტალური სტრუქტურა მსგავსია β-Si₃N₄-ს სტრუქტურის.

სიალონი გამოირჩევა: მაღალი სისაღით, სიმტკიცით, ცვეთამდეგობით. ის ამ თვისებებს ინარჩუნებს მაღალი ტემპერატურის პირობებში.

კომპოზიციური მასალების ძირითადი თვისებები დამოკიდებულია მათ ქიმიურ-მინერალოგიურ შედგენილობაზე, სტრუქტურასა და ფიზიკურ-ტექნიკურ მახასიათებლებზე.

კვლევისათვის გამოვიყენეთ ელექტრონულ მიკროსკოპული, ოპტიკური და რენტგენოფაზური ანალიზის მეთოდები.

რენტგენოსტრუქტურული თვისებითი ანალიზი დაფუძნებულია იმაზე, რომ ცალკეული ინდივიდუალური ნაერთი იძლევა სპეციალური რენტგენოგრამის განსაზღვრული ხაზების ნაკრებს (დიფრაქციული მაქსიმუმები) და მათ შესაბამის ინტენსიურობებს.

ელექტრონული მიკროსკოპული კვლევა ვაწარმოეთ ფირმა „OPTON“-ის რასტრულ ელექტრონულ მიკროსკოპზე „Nanolab 7“. აღნიშნული კვლევისთვის სპეციალური ფორმის ნიმუშების მომზადება არ არის საჭირო, საჭიროა მხოლოდ ნიმუშის ტეხი. აღსანიშნავია ის, რომ ტეხი უმჯობესია იყოს ახალი, რადგან გარკვეული დროის შემდეგ შესაძლებელია ტეხის ზედაპირი დაიფაროს მტვრის ნაწილაკებით ან ჟანგულებით, მოხდეს პასივირება, რის გამოც მცირდება კონტრასტი და რთულდება ფაზების გარჩევა. ამის გარდა ახალი ტეხის ზედაპირზე გარკვეული დროის განმავლობაში იონები განაგრძობენ მოძრაობას, რაც კვლევას მეტად საინტერესოს ხდის.

2. ძირითადი ნაწილი

საწყისი მასალების სახით გამოყენებული იყო: პროსიანაიას საბადოს კაოლინი (უკრაინა), ალუმინის პუდრი (ნანოფხვნილი), სილიციუმი, სილიციუმის კარბიდი, ბორის კარბიდი, ალუმინის ოქსიდის ნანოფხვნილი, ნახშირბადის ბოჭკო, ხოლო დანამატების სახით: მაგნიუმისა და იტრიუმის ოქსიდები, არაგაცის (სასომხეთი) საბადოს პერლიტი.

C-10 კომპოზიტში შევიყვანეთ ნახშირბადის ბოჭკო, რომელსაც ახასიათებს მაღალი ელასტიკურობის მოდული (200-935 GPa), მაღალი სიმტკიცე გაჭიმვისას, სიმტკიცე კუმშვისას (1-3 GPa), ამ თვისებებით ის სასურველი კომპონენტია, ვინაიდან აძლიერებს კომპოზიციურ მასალას [1].

CH-9 და CH-10 კომპოზიტების მატერიალური შემადგენლობა, მას.%

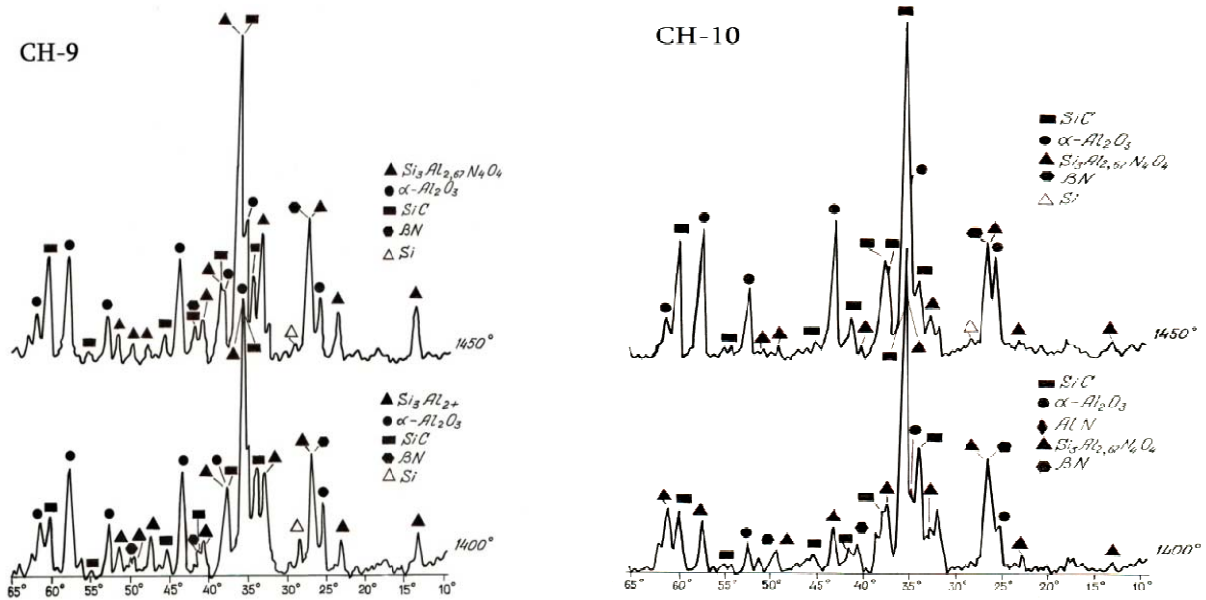
კომპოზიტის ინდექსი	კაოლინი პროსიანაია (უკრაინა)	Al	Al ₂ O ₃	SiC	Si	პერლიტი არაგაცის (სომხეთი)	Y ₂ O ₃	MgO	B ₄ C	ნახშირბადის ზოჭკო
C-9 1-რეცეპტი	6,5	18,0	22,0	18,0	22,0	2,0	1,5	1,0	9,0	–
C-10 2-რეცეპტი	–	20,0	19,0	20,0	22,0	–	1,5	1,0	13,5	3

საკვლევი ნიმუშები მომზადდა იმავე ტექნოლოგიით, რომელიც აღწერილია წინა ნაშრომებში [2-15], ანუ სიალონის სინთეზი მოხდა აზოტის არეში 1400-1450° C-ზე, ხოლო შემდეგ მიღებული მასა გადაიფქვა და კონსოლიდირებული კომპოზიტი მივიღეთ ცხელი წნეხვის მეთოდით, 1800°C, 30მპა წნეხის პირობებში. ამ რეჟიმით მიღებული კომპოზიტის 70 მმ დიამეტრისა და 8 მმ სისქის დისკებიდან ამოიჭრა საკვლევი ნიმუშები. ამოჭრა მოხდა 395-M მარკის პროფილურ სახეხ ჩარხზე, 100მმ დიამეტრის ლითონის შემკვრელიანი ალმა-

სური ქარგოლით, ალმასის მარცვლოვანება 50/40მკმ, ქარგოლის ბრუნვის სიჩქარე 4000ბრ/წთ, გადაჭრის სიჩქარე 0,7მმ/წთ.

ამოჭრილი ნიმუშების ზედაპირის გახეხვა მოხდა 3I71 მარკის, ბრტყლად სახეხ ჩარხზე, 200მმ დიამეტრის ალმასური ქარგოლით ბაკელიტურ შემკვრელზე. ალმასის მარცვლოვანება 50/40მკმ.

ცხლად დაწნეხილი ნიმუშების ფაზური ანალიზი შევისწავლეთ რენტგენის აპარატ DRON-3-ზე, CuK α სხივების გამოყენებით.



სურ.1. CH-9 და C-10 კომპოზიტების X-ray (1400-1450°C)

1400-1450°C-ზე მიღებული ნიმუშების რენტგენოგრამების (სურ. 1) განხილვიდან ჩანს, რომ 1400°C-ზე უკვე ფიქსირდება სიალონის დამახასიათებელი რეფლექსები ორივე კომპოზიტში, და 1450°C-ზე მათი ინტენსივობა შედარებით გაზრ-

დილია. თუ სიალონის დამახასიათებელი პიკების ინტენსივობით ვიმსჯელებთ, C-9 კომპოზიტში წარმოქმნილი სიალონის რაოდენობა შედარებით მეტია, ვიდრე C-10 კომპოზიტში, რაც შეიძლება ავხსნათ C-9-ის შედგენილობაში კაოლინის არსებობით,

რაც ჩვენი აზრით განპირობებულია მინერალ კაოლინიტის დაშლის შედეგად ახლადწარმოქმნილი თერმოდინამიკურად აქტიური კაოლინიტის ბირთვის $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ აზოტირებით. ორივე კომპოზიტში დაფიქსირებულია შემდეგი ფაზების არსებობა: SiC, $\alpha-Al_2O_3$, BN, Si და Si-AL-O-N.

კომპოზიტებში არსებული ბორის კარბიდი $1400^\circ C$ -ზე აზოტის არეში გამოწვისას გადავიდა ბორის ნიტრიდში, შემდეგი რეაქციით: $B_4C + 2N_2 = 4BN + C$, რომელიც ორივე კომპოზიტის შემთხვევაში არის მცირე რაოდენობით. ახალ წარმოქმნილი, წვრილმარცვლოვანი ბორის ნიტრიდი აუმჯობესებს მიკროსტრუქტურას, რაც მაღალი მექანიკური თვისებების საწინდარია, ისეთების, როგორცაა: მაღალი თბოგამტარობა, დაბალი თერმული გაფართოება, თერმული დარტყმების მიმართ კარგი მდგრადობა, ადვილად დამუშავებადობა, ქიმიური ინერტულობა და მდნარი ლითონებით დასველების დაბალი უნარი. მას გამოიყენებენ რადიატორებში, ბორით ლეგირებულ სილიციუმის ნახევარგამტარებში, სადნობ ტიგლებში, მიკროტალღურ მილაკებში, გამფრქვევ სამიზნეებში, მაღალი სიზუსტის შედუღებებში, სამსხმელო წარმოებაში და სხვ.

ოპტიკურ მიკროსკოპზე ჩატარებულმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ კომპოზიტები ორივე შემთხვევაში წარმოადგენენ მატრიცაში განლაგებულ სილიციუმის კარბიდისა და კორუნდის მარცვლებს (სურ. 2). ამავე დროს C-10 კომპოზიტის მიკროსტრუქტურა უფრო წვრილმარცვლოვანია. შეიძლება ვივარაუ-

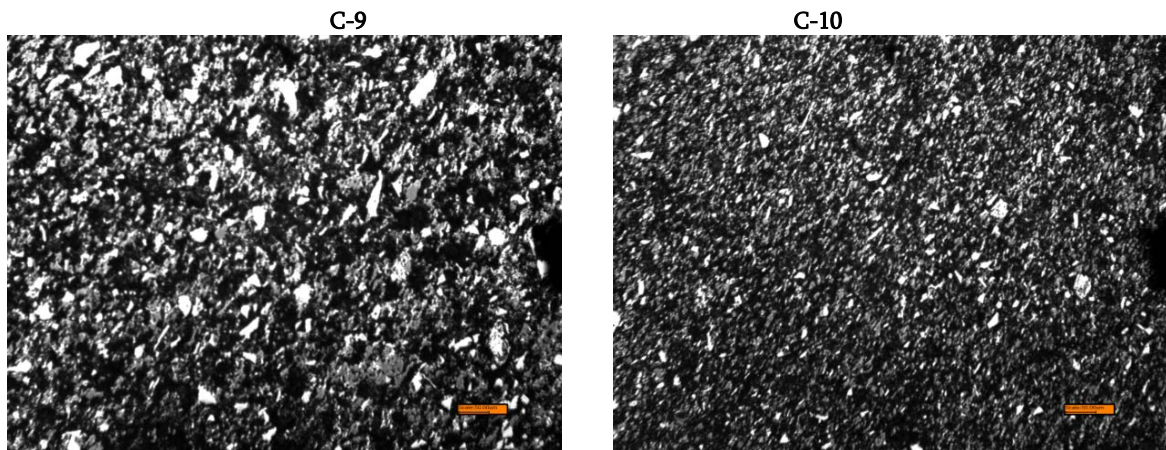
დოთ, რომ C-9 კომპოზიტის შეცხოების პროცესში, ამ კომპოზიტების შედგენილობიდან გამომდინარე, მეტი თხევადი ფაზა წარმოიქმნება ვიდრე C-10-ის შეცხოებისას, რომელიც ხელს უწყობს შეცხოების ინტენსივობას, რაც დასტურდება C-9 კომპოზიტის შედარებით დაბალი ფორიანობით. ამავე დროს თხევადი ფაზა ხელს უწყობს წვრილი მარცვლების გახსნას და შემდგომ მათ რეკრისტალიზაციას მსხვილ მარცვლებზე.

მიკროსტრუქტურული ანალიზის შედეგები (სურ. 1) ადასტურებს რენტგენო-სტრუქტურული კვლევის მონაცემებს.

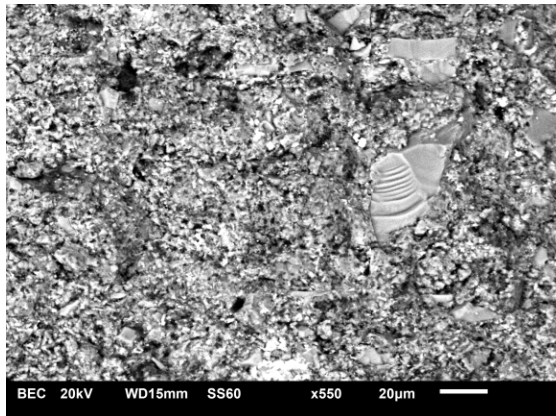
ელექტრონული მიკროსკოპიის სურათებზე ნაჩვენებია კარგად შემცხვარი ნიმუშის ზედაპირი, რომელზეც გამოკვეთილია კრისტალები იმ ძირითადი ფაზებისა, რომლებსაც შეიცავს C-9 კომპოზიტი, კერძოდ სიალონის მატრიცაში განაწილებულია სილიციუმის კარბიდისა და კორუნდის მარცვლები, შეინიშნება ბორის ნიტრიდის უწყრილესი მარცვლებიც, რომლებიც მსხვილი პლანით გადიდებისას უფრო კარგად ჩანს (სურ. 3).

სურათზე 4 წარმოდგენილია C-9 კომპოზიტის მიკრორენტგენოსპექტრული ანალიზი, სპექტრუმ 3 მონაკვეთზე და შემადგენელ ელემენტთა სქემა, მათი პროცენტული შემცველობა, საიდანაც ჩანს, რომ კომპოზიტის ძირითადი შემადგენელია (მატრიცა) SiAlON-BN.

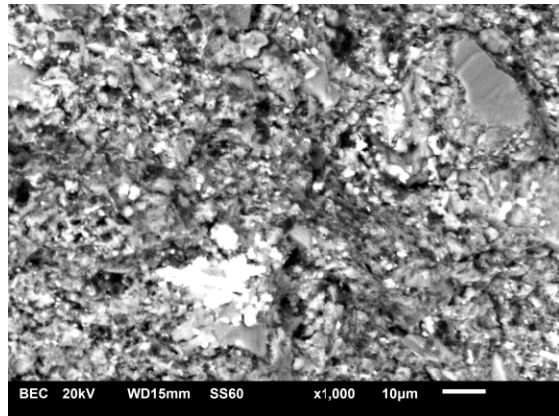
სურ. 5-ზე მოცემულია C-10 კომპოზიტის მიკრორენტგენოსპექტრული სურათები.



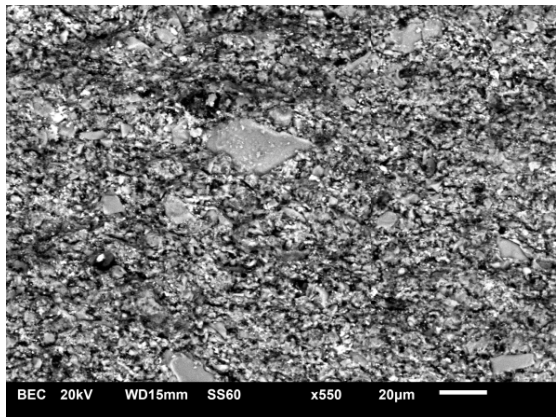
სურ. 2. C-9 და C-10 კომპოზიტების ოპტიკურ-მიკროსკოპული სურათები X 100



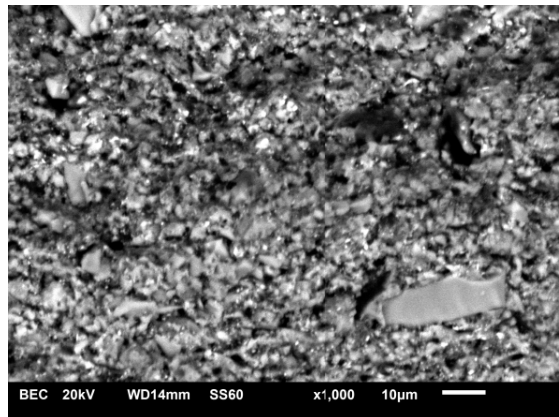
ა)



ბ)

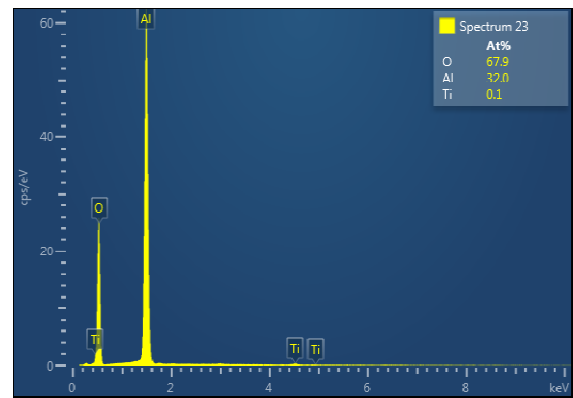
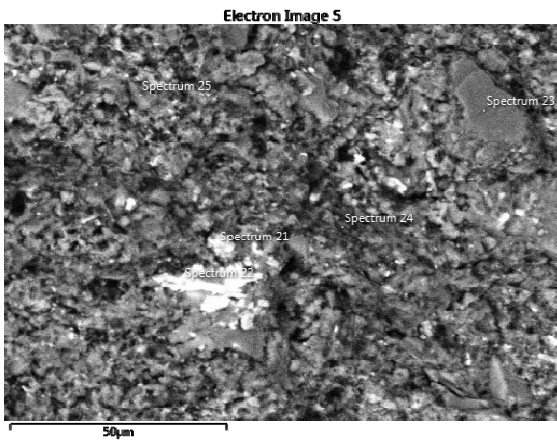
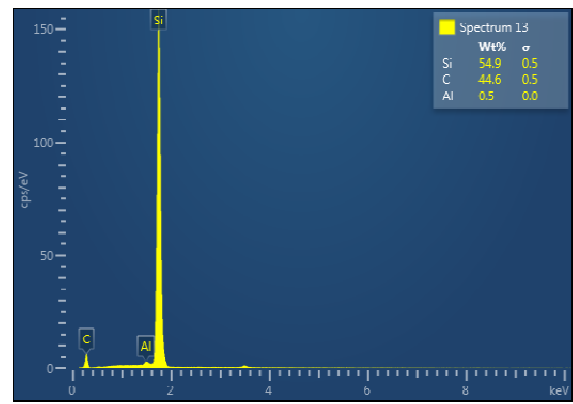
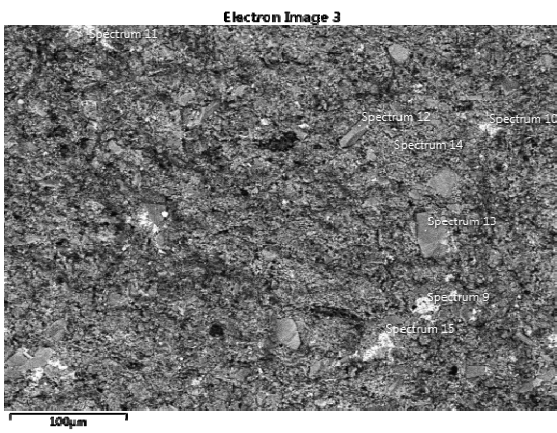
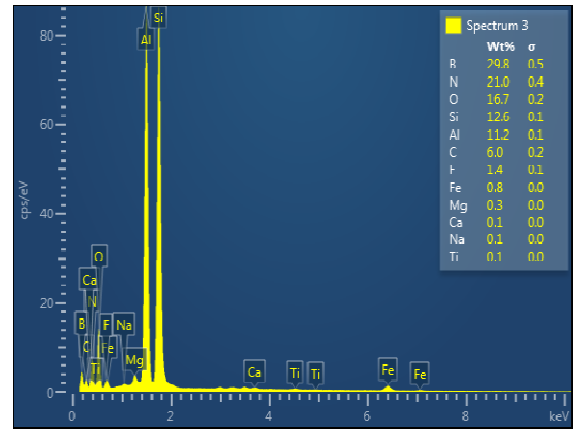
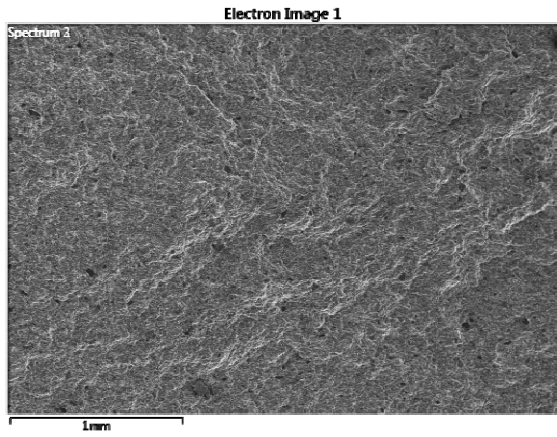


გ)

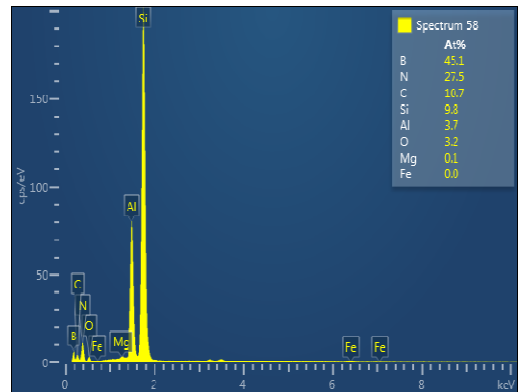
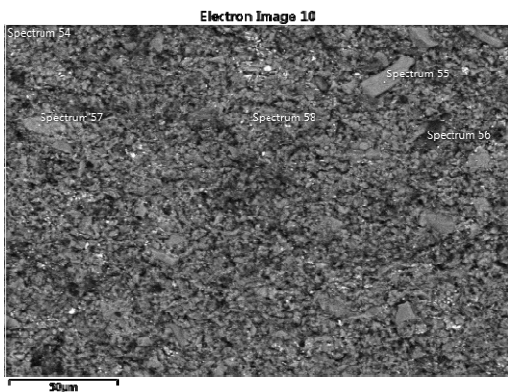
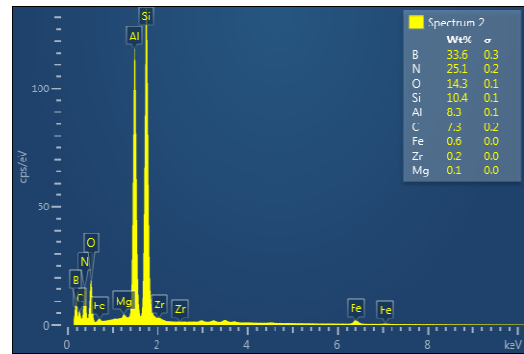
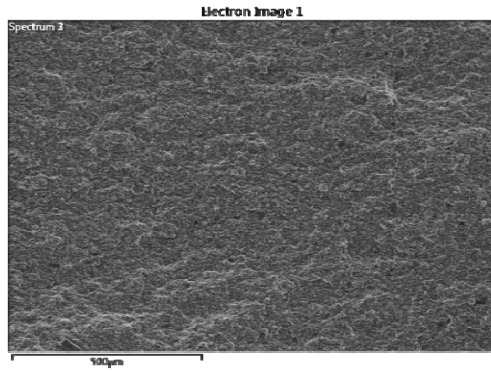


დ)

სურ. 3. C -9 (ა, ბ) და C -10 (გ, დ) კომპოზიტების
ელექტრონულ-მიკროსკოპული სურათები სხვადასხვა გადიდებისას
X - 550; X-1000



სურ. 4. C-9 კომპოზიტის ელექტრონულ-მიკროსკოპული და მიკრორენტგენოსპექტრული სურათები



სურ.5. C-10 კომპოზიტის ელექტრონულ-მიკროსკოპული და მიკრორენტგენოსპექტრული სურათები

მოცემული კომპოზიტების მიკრორენტგენოსპექტრული და ელექტრონული მიკროსკოპიის შედეგები თანხვედრაშია რენტგენოსტრუქტურულ ანალიზთან. ორივე კომპოზიტში მატრიცა β-სიალონია, მატრიცაში განაწილებულია BN, Al₂O₃ და SiC-ს კრისტალები.

ფორიანობის დასადგენად შევარჩიეთ მხედველობის არე და დავადგინეთ მისი ფართი. აღებულ მხედველობის არეში დავითვალეთ ფორების როდენობა მათი დიამეტრის ზომის მიხედვით. დავადგინეთ ფორების მოცულობითი შემცველობა და საშუალო დიამეტრი თოთოეული კომპოზიტისთვის. C-9 კომპოზიტში ფორების საერთო შემცველობა შეადგენს დაახლოებით Pvol = 3,7%, ხოლო C-10-ისთვის Pvol = 4,8%, ფორების საშუალო ზომა ორივე შემთხვევაში ერთნაირია და შეადგენს Pm ≈ 4,5მკმ.

SiC-ს მარცვლების მაქსიმალური და მინიმალური ზომა C-9 კომპოზიტში შეადგენს შესაბამისად 46-3მკმ, საშუალო ზომა 11მკმ; C-10-ისთვის 39-2,5მკმ, საშუალო ზომა 8მკმ-ს.

ალუმინის ოქსიდის მარცვლების მაქსიმალური და მინიმალური ზომა C-9 კომპოზიტისთვის შეად-

გენს 15/0,2მკმ, ხოლო C-10-ისთვის 5/0,2მკმ. ალუმინის ოქსიდის მარცვლების საშუალო ზომა თითოეულ კომპოზიტში შეადგენს შესაბამისად 1 და 0,8მკმ. რაც შეეხება ბორის ნიტრიდს, მისი ზომები მინიმალურია და დაახლოებით უდრის 0,2მკმ.

მთლიანობაში მარცვლების საშუალო ზომა Km შესაბამისად = 7 და 5მკმ. მინისებური ფაზის მოცულობითი წილი Gvol=3 და 1%;

კრისტალების ფორმის ფაქტორი

$$Fk_{GH-9} = D_{max}/d_{min} = 46/0,2 = 230;$$

$$Fk_{GH-10} = D_{max}/d_{min} = 39/0,2 = 195.$$

მატრიცაში კრისტალების გადანაწილების ფაქტორი Fkol=0,9/.

3. დასკვნა

შესწავლილი და დადგენილია მიღებული კომპოზიტების ფაზური შედგენილობა, ორივე კომპოზიტის შემთხვევაში ძირითად ფაზას, ანუ მატრიცას წარმოადგენს SiAlON-BN, რომელშიც განაწილებულია სილიციუმის კარბიდისა ალუმინის ოქსიდის მარცვლები, სილიციუმის კარბიდის მარცვლების დიდი ზომები ერთი მხრივ გამოწვეულია

საწყისი ფხვნილის დაბალი დისპერსულობით და ამავე დროს შესაძლებელია წვრილი მარცვლების თხევად ფაზაში გახსნით და მეორეული კრისტალიზაციით (რეკრისტალიზაციით). კომპოზიტები საკმაოდ კარგად არის შემცხვარი და კრიტალები ერთმანეთთან შეკავშირებულია სიალონის ფენით.

ლიტერატურა

- Bradley A.Newcomb , Han G.Chae, Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres (Second Edition) 2018, Pages 841-871.
- კოვზირიძე ზ., ნიჟარაძე ნ., ტაბატაძე გ., ჭეიშვილი თ., დარახველიძე ნ., მესტვირიშვილი ზ., მშვილდაძე მ., ნიკოლეიშვილი ე. ნიტროალუმინოთერმული პროცესებით სიალონების მიღება. საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი “კერამიკა” № 2 (32), 2014, გვ. 23-31.
- Z.Kovziridze, N.Nijharadze, G.Tabatadze, T. Cheishvili, Z.mestvirishvili, E.NikoeleiShvili, M. Mshvildadze, N.darakhvelidze. Obtaining of Nanocomposites in SiC-SiAlON and Al₂O₃-SiAlON System by Alumothermal Processes. Journal of Electronics Cooling and Thermal Control, 2014, 4, 105-115. <http://dx.doi.org/10.4236/jectc.2014.44012> .
- Z. Kovziridze, N. Nijharadze, G. Tabatadze, N. darakhvelidze, Z. Mestvirishvili, Smart Materials in the System SiAlON-SiC-Al₂O₃- TiB₂-ZrB₂, Bit's 2nd Annual World Congress of Smart materials 2016. p. 558.
- Osman Sahin, OrhanUzun, MalgorzataSopicka-Lizer, HasanGocmez, UgurKolemen. Dynamic hardness and elastic modulus calculation of porous SiAlON-ceramics using depth-sensing indentation technique. *Journal of the European Ceramic Society* 28 (2008) p.1235–1242.
- Z. Hou, F. Ye, L. Liu, Effects of pore shape and porosity on the dielectric constant of porousβ-SiAlON ceramics, J. Eur. Ceram. Soc. 35 (2015) 4115–4120.
- G.J. Zhang, J.F. Yang, T. Ohji, Fabrication of porous ceramics with unidirectionally aligned continuous pores, J. Am. Ceram. Soc. 84 (6) (2001) 1395–1397.
- B. Li, K. Liu, C.R. Zhang, S.Q. Wang, Fabrication and properties of borazine derived boron nitride bonded porous silicon aluminum oxynitride wave-transparent composite, J. Eur. Ceram. Soc. 34 (15) (2014) 3591–3595.
- J.F. Yang, Y. Beppu, G.J. Zhang, T. Ohji, S. Kanzaki, Synthesis and properties of porous single-phase β-SiAlON ceramics, J. Am. Ceram. Soc. 85 (7) (2002) 1879–1881.
- C. Zhang, R. Janssen, N. Claussen, Pressureless sintering of β-SiAlON with improved green strength by using metallic Al powder, Mater. Lett. 57 (2003)3352–3356.
- S.-L. Hwang, I.-W. Chen, Reaction hot pressing of α and β-SiAlON ceramics, J. Am. Ceram. Soc. 77 (1994) 165–171.
- F. Çalıskan, Improvement in sinterability of β-SiAlON produced from kaolin, J. Alloy. Compd. 602 (2014) 14–149.
- Enquan He, Jianshe Yue, Lei Fan, Chao Wang and Hongjie Wang, Synthesis of single phase b-SiAlON ceramics by reaction-bonded sintering using Si and Al₂O₃ as raw materials. doi:10.1016/j.scriptamat.2011.03.040.
- Peng Jiang, Xiaofang Wu, Wendong Xue, Junhong Chen, Wei Wang, Yong Li; In-situ synthesis and reaction mechanism of β-SiAlON in the Al-Si₃N₄-Al₂O₃ composite material/ <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.10.088>.
- Xing Deng, Xiangcheng Li, Boquan Zhu, Pingan Chen; In-situ synthesis mechanism of plate-shaped β-Sialon and its effect on Al₂O₃-C refractory properties <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.07.071>

UDC 666.762.93

THE STUDY OF PHASED COMPOSITION OF COMPOSITES IN THE SYSTEM
SiC-B₄C-Si-AL-AL₂O₃

Z. kovziridze, N. Nijaradze, G. Tabatasdze, Z. Mestvirishvili, N. Darakhvelidze

Institute of Bionanoceramic and Nanocomposite Technology. Georgian Technical University. Str Costava 69. 0175 Tbilisi. Georgia

E-mail: kowsiri@gtu.ge

Resume: Goal. The present research deals with obtaining of SiAlON-containing composites in the SiC-B₄C-Si-AL-AL₂O₃ system by the method of reactive sintering . This method of synthesis enabled us to receive composites with various percentage of SiAlON. We also aimed to study phase composition in the SiC-B₄C-Si-AL-AL₂O₃ system.

Method. To study phase composition of the obtained composites we carried out research by the method of X-ray structural analysis on the apparatus DRON-3, while the study of microstructure we carried out by optic microscope and by rastral electron microscope “Nanolab 7” of the company “OPTON”.

Result. Composites were obtained in the SiC-B₄C-Si-AL-AL₂O₃ system, which contain silicon carbide, corundum and boron nitride grains on β-SiAlON matrix.

Conclusion. Phase composition of the obtained composites determines high physical-mechanical and exploitation properties of these composites.

Key words: composite; electron microscope; phase composition.

უაკ 66.084

ულტრადისპერსიული ფხვნილოვანი მაკროჰომოგენური კომპოზიტის მიღების მეთოდის დამუშავება

ზ. მესტერიშვილი^{1,2}, ვ. კვაჭაძე³, ი. ბაირამაშვილი¹, ნ. ჯალაბაძე², თ. მესტერიშვილი²

¹ საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული ცენტრი, საქართველო, 0186, თბილისი, ქავთარაძის 46,

² საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

³ ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ელემენტარული ანდრონიკაშვილის სახელობის ფიზიკის ინსტიტუტი, საქართველო, 0177, თბილისი, თამარაშვილის 6

E-mail: zviad.mst@gmail.com

რეზიუმე: მიზანი. სამუშაოს მიზანია ულტრადისპერსიული ფხვნილოვანი მაკროჰომოგენური კომპოზიციური ნარევის - B_4C-ZrO_2 მიღების მეთოდის დამუშავება პლანეტარული დაფქვის მეთოდის გამოყენებით.

მეთოდი. ულტრადისპერსიული Zr-ის შესაყვანად გამოყენებულ იქნა ZrO_2 -ის დამფქვი ტანი, რითაც აცილებული იქნა ნანოფხვნილების აგლომერაციის პროცესი. ნამზადების მისაღებად გამოყენებული იქნა ცხელი დაწნების მეთოდი და რეაქციული შეცხოვა (in-situ) $2000^\circ C$ -სა და 41-42 მპა წნევის პირობებში. ნიმუშები თერმულად დამუშავებისთვის გამოყენებულ იქნა ვაკუუმში გამოწვა $1800^\circ C$ ტემპერატურასა და 10^{-4} პა წნევაზე. შედეგის დასადგენად ჩატარდა მორფოლოგიური კვლევა ოპტიკური და რასტრული მიკროსკოპების გამოყენებით. შესწავლილ იქნა კერამიკების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

შედეგი. დამუშავებულია ულტრადისპერსიული ფხვნილოვანი მაკროჰომოგენური კომპოზიტის - B_4C-ZrO_2 მიღების მეთოდი პლანეტარული წისქვილის გამოყენებით. შესწავლილია ZrO_2 -ის მარცვლის ზომის და მატრიცაში განაწილების გავლენა კონსოლიდაციის პროცესის პარამეტრებსა და მიღებული კერამიკის მიკროსტრუქტურაზე.

დასკვნა. დადგენილი იქნა შერევის ოპტიმალური პარამეტრები: გარემო - სითხე, ბურთულის დიამეტრი - 1 მმ, შერევის დრო - 7 წთ. დადგენილ იქნა, რომ ცირკონიუმის ორჟანგის კონცენტრაციის ზრდა დადებითად მოქმედებს ნამზადის სიმკვრივეზე. ZrO_2 -ის მარცვლის ზომები პროპორციულია ბორის კარბიდის ფხვნილის მარცვლის ზომებისა. ჰომოგენური ნარევის მისაღებად სუბმიკრონული ცირკონიუმის ჩანართებით, აუცილებელია ბურთულების დამუშავება - იმავე მასალის წინასწარი დაფქვით 5-10 წთ-ის განმავლობაში.

საკვანძო სიტყვები: ბორის კარბიდი; in-situ; ულტრადისპერსიული ფხვნილების შერევა.

1. შესავალი

ბორის კარბიდი ხასიათდება რიგი უნიკალური თვისებებით, მაგრამ მის გამოყენებას ექსტრემალურ პირობებში მომუშავე დანადგარებში ხელს უშლის მაღალი სიმყიფე [1].

ვინაიდან ბორის კარბიდი მიეკუთვნება სტრუქტურულად მგრძობიარე კერამიკულ მასალებს, სიმყიფესთან ბრძოლის ერთ-ერთი საშუალებაა სტრუქტურაზე ზემოქმედება. ასეთია მიკრო და ნანოსტრუქტურების შექმნა და კომპოზიტის ჩამოყალიბება ბორის კარბიდის ფუძეზე მისი ლეგირებით.

ლიტერატურაში ცნობილია ბორის კარბიდის ლეგირება პერიოდული სისტემის IV-VI ჯგუფის გარდამავალი ლითონებით. ბორის კარბიდის ბირთვული თვისებებიდან გამომდინარე, მალეგირებელ ელემენტად შერჩეულ იქნა ცირკონიუმი, რომელიც ხასიათდება თბური ნეიტრონების შთანთქმის დაბალი კვეთით (0.185 ბარნი) [1, 2].

ულტრადისპერსიული კერამიკული ფხვნილებისგან ჰომოგენური ნარევის მომზადება და ნაკეთობაში მარცვლის ზომის შენარჩუნება ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პრობლემაა კერამიკული კომპოზიტების წარმოების ტექნოლოგიებში [3].

Zr-ით ლეგირებული ბორის კარბიდი საკმაოდ ცნობილი მასალაა, რეაქციული შეცხოვით, კომპონენტების ურთიერთქმედებით (in situ) წარმოიქმნება ქიმიური ნაერთი ZrB_2 , ამგვარად მიიღება კომპოზიციური მასალა B_4C-ZrB_2 [4].

კერამიკული კომპოზიტის წარმოების ტექნოლოგიაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება პირველ ეტაპს, რაც კომპონენტების შერევაში მდგომარეობს. ეს პროცესი გართულებულია ულტრადისპერსიული ფხვნილების შემთხვევაში, რაც გამოწვეული იმით, რომ მიკრო და ნანო სტრუქტურული ფხვნილები ხასიათდება დიდი ზედაპირით და შესაბამისად მაღალი ზედაპირული ენერგიით, რაც ხელს უწყობს აგლომერაციის პროცესს [5].

ნანოფხვნილების დისპერგირების და შემდგომ მათი შერევის სტანდარტული მეთოდი არ არსებობს, ეს ჯერ კიდევ კვლევის საგანია. ზოგ შემთხვევაში ნანოფხვნილების შერევისას, მიმდინარეობს ნანოფხვნილის დისპერგირება სითხეში მაღალ-ენერგეტიკულ შემრევში, რისთვისაც გამოიყენება ზედაპირულად აქტიური ნივთიერებები (detergent). დისპერგირებული ფხვნილების შერევა მიმდინარეობს იმავე დანადგარში სითხის აორთქლებასთან ერთად [6].

სითხეში დისპერგირებისთვის ასევე გამოიყენება ულტრაბგერითი დამუშავება [5], ხოლო ფხვნილების მშრალად შესარევად გამოიყენება ბურთულე-ბიანი წისქვილი [6].

წარმოდგენილ სამუშაოში ფხვნილების შესარევად გამოყენებულ იქნა პლანეტარული წისქვილი ZrO₂-ის ბურთულეებით. B₄C და ZrO₂-ის სისალებს შორის დიდი განსხვავების შედეგად Hv(B₄C)=28-40გპა, Hv(ZrO₂)=13-1500გპა [2], წისქვილში ბორის კარბიდის ფხვნილის და ZrO₂-ის ბურთულეების მექანიკური ურთიერთქმედების შედეგად, ადგილი აქვს ბურთულეების ზედაპირიდან მცირე ზომის ნაწილაკების ჩამოთლას რომლებიც თანაბრად ნაწილდება ნარევეში [7].

შემდგომში, რეაქციული კონსოლიდაციის ეტაპზე - in situ - კომპონენტებს შორის მყარფაზა ურთიერთქმედებისას წარმოიქმნება კომპოზიციური მასალა B₄C-ZrB₂.

2. ექსპერიმენტული ნაწილი

2.1. მაკროჰომოგენური ნარევის მომზადება

წნეხფხვნილების დასამზადებლად გამოყენებულ იქნა ფირმა „SONGSHAN SPECIALTY MATERIALS, INC“-ის(China) წარმოების ბორის კარბიდის ფხვნილი, მარკა 0.5, რომლის ძირითადი პარამეტრებია: საერთო ბორი - 77.95 მას.%, საერთო ნახშირბადი- 20.69 მას.%, Fe₂O₃ -0.11 მას.%, PSD10 - 0.257 მკმ, PSD90 - 0.822მკმ, PSD98 - 1.116მკმ,

ციროკონიუმის წყაროდ გამოიყენებოდა ფირმა „Inframat Advanced Materials LLC“-ის (USA) წარმოების ციროკონიუმის ორჟანგის ბურთულეები დიამეტრით 1 და 5 მმ. დაფქვა-შერევის პროცესი ჩატარდა ტურბულენტურ შემრევსა და პლანეტარულ წისქვილში როგორც მშრალად, ისე სითხის არეში. ZrO₂-ის ბურთულეების და ბორის კარბიდის ფხვნილის მასების ფარდობა ადებულ იქნა 5.5/1, დამატებულ იქნა სითხის ის რაოდენობა, რომელიც წარმოქმნიდა პულპის კონსისტენციას. დაფქვა-შერევის პროცესის პარამეტრები წარმოდგენილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1

#	ნარევის ინდექსი	დაფქვა-შერევის მეთოდი		ბურთულის დიამეტრი D, მმ	პროცესის დრო τ, წთ
		ტურბულენტური	მშრალი		
1	TD-1-60	ტურბულენტური	მშრალი	1	60
2	TW-1-180	„-“	სველი	1	180
3	PD-1-3	პლანეტარული	მშრალი	1	3
4	PD-5-3	„-“	„-“	5	3
5	PW-5-3	„-“	სველი	5	3
6	PW-1-3.5	„-“	„-“	1	3.5
7	PW-1-5	„-“	„-“	1	5
8	PW-1-7	„-“	„-“	1	7

ნარევის შრომა ხდებოდა 90-110°C ტემპურატურაზე 14-16 სთ-ის განმავლობაში და შემდგომ გაიცრა 850 და 2000 მკმ უჯრედის მქონე საცერზე ციროკონიუმის ორჟანგის ბურთულეების მოსაცილებლად.

2.2. ნიმუშების დამზადება

მაღალტემპერატურული ვაკუუმური დაწნეხის მეთოდით გრაფიტის წნეხ-ინსტრუმენტის გამოყენებით მიღებულ იქნა ნამზადები როგორც ბორის კარბიდის ფხვნილისაგან, ასევე მის ფუძეზე დამ-

ზადებული ნარევისგან. ნამზადები დაიწნება თანაბარ პირობებში. ამასთან, დაიწნება მხოლოდ ის ნარევი, რომლებშიც ციროკონიუმის ოქსიდი თანამზრად იყო განაწილებული. ცხრილში 2 მოცემულია ფხვნილების ცხელი დაწნეხის პარამეტრები. ნამზადები დამუშავდა თერმულად ვაკუუმურ ლუმელში CIIB3-1.2 5/25(რუსეთი) 1800°C ტემპურატურასა და 34 პა წნევაზე, ამის შემდეგ დამუშავდა ალმასის ინსტრუმენტით და დაიჭრა ელექტრონაპერწყლოვან მანქანაზე (მოდელი 4531, რუსეთი)კერამოგრაფიული კვლევისთვის.

#	ნარევის ინდექსი	Zr, მას.%	ნამზადის ზომები, მმ	პროცესის პარამეტრები				
				T, °C	P, Mpa	τ, min	გახურების სიჩქარე, C/წთ	გაცივების, სიჩქარე, °C/წთ
1	B ₄ C	0	D70*6 მმ	2000	41	12	50	20
2	PW-1-3.5	1.84			41	11		
3	PW-1-5	2.00			41	12		
4	PW-1-7	1.72			42	13		

2.3. ტესტირების მეთოდები

ნარევებში ელემენტთა მასური შემცველობა განისაზღვრა ქიმიური მეთოდით. ნიმუშების ელემენტური შემადგენლობა და მათი განაწილება ნარევებში შესწავლილ იქნა მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპის „JSM-6510LV“ (ფირმა „JEOL“, იაპონია) საშუალებით, რომელიც აღჭურვილია ენერგოდისპერსიული მიკრორენტგენოსპექტრალური ანალიზატორით (მრსა) „X-Max^{NI}“ (ფირმა „OXFORD INSTRUMENTS“, ინგლისი).

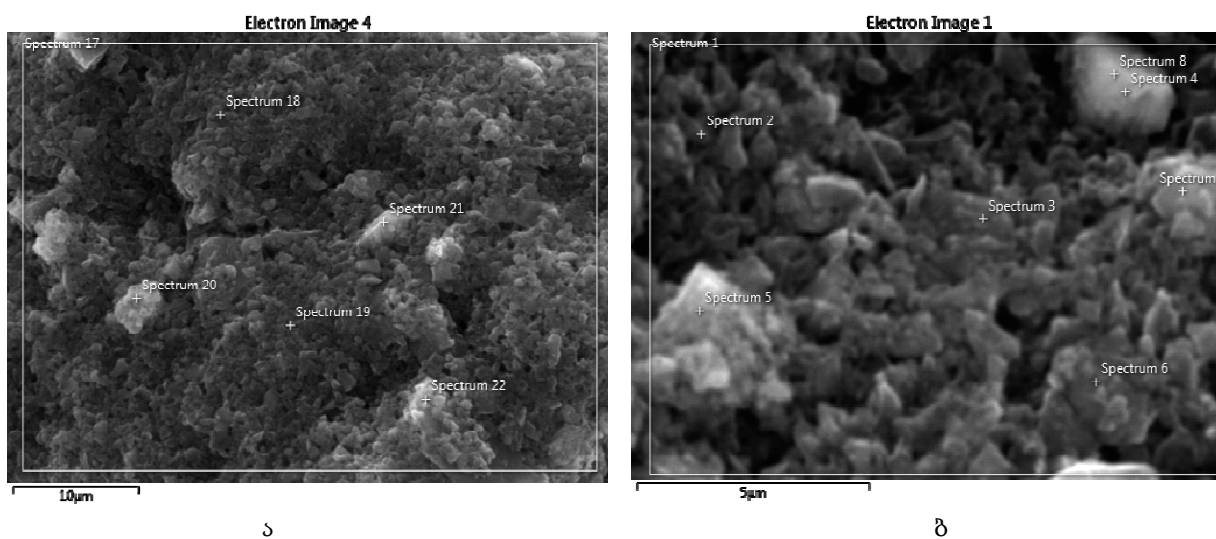
ნამზადების აბსოლუტური სიმკვრივე განისაზღვრა არქიმედეს მეთოდით, ფარდობითი სიმკვრი-

ვის ანგარიშის დროს მხედველობაში იქნა მიღებული ცირკონიუმის შემცველობა-განსაზღვრული ქიმიური მეთოდით.

კერამოგრაფიული კვლევისათვის გამოყენებული იქნა პოლირების აპარატი „PLATO-HA FS-A“ (ფირმა "TOP TECH", ტაივანი).

3. შედეგები და მათი ანალიზი

3.1. ნარევებში ელემენტთა განაწილების ანალიზი
სურათზე 1 და ცხრილში 3, წარმოდგენილია მრსა-ის შედეგები TD-1-60 ნარევისთვის.



სურ. 1. მრსა-ს შედეგები TD-1-60 ნარევისთვის

Spectrum Label	Spectrum							
	8	1	2	3	4	5	6	7
B	58.91	68.05	67.52	65.70	62.86	71.50	72.84	73.76
C	23.87	22.12	23.04	21.17	20.26	21.94	21.82	21.95
O	1.66	4.91	6.59	4.18	1.32	5.28	3.22	3.03
Si	15.18				15.21	0.37	0.17	0.58
Fe	0.38	1.38	1.70	0.81	0.35	0.76	0.93	0.43
Zr		3.53	1.14	8.15		0.15	1.01	0.25
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

ა სურათზე წარმოდგენილ ფართობზე ცირკონიუმის შემცველობა არ დადასტურდა, ხოლო ბ სურათზე ნაჩვენებ ფართობზე ცირკონიუმი განაწილებულია ძლიერ არათანაბრად (ცხრილი 3).

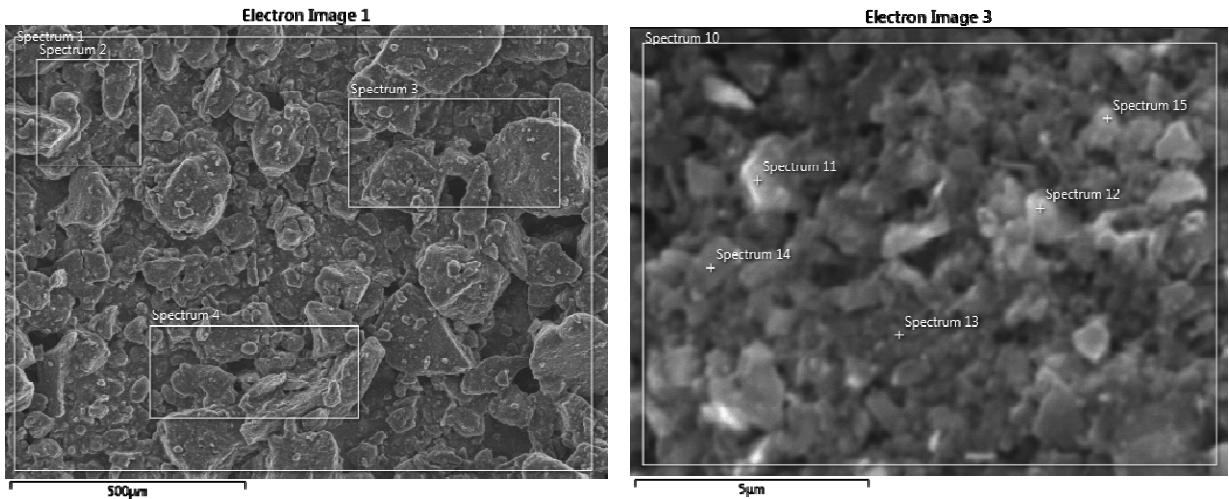
ცირკონიუმი ასევე არ აღმოჩნდა TW-1-180 ნარევიში. ხოლო PD-1-3, PD-5-3 და PW-5-3 ნარევეებში ცირკონიუმი შეიმჩნევა მცირე რაოდენობით, რომელიც განაწილებულია არათანაბრად.

სურათზე 2 და ცხრილში 4 წარმოდგენილია მრსა-ის შედეგები PW-1-5 ნარევისთვის. ა სურათზე ნაჩვენებია 1 მმ² ფართობის ანალიზი X27 გადიდებით. მისი შესაბამისი ცხრილის მიხედვით ცირკონიუმის განაწილება 2.27-2.49 მას.% ზღვრებში მერყეობს. 10 000 გადიდების დროს 100 მკმ² ფართზე აღებული (სურ. ბ) წერტილოვანი ანალი-

ზის შედეგები კი ცხადყოფს, რომ აღებულ წერტილებში ყოველ ერთ მკმ² მოცულობაში ცირკონიუმი განაწილებულია თანაბრად და შეადგენს საშუალოდ 2.09 %-ს (მე-10 სპექტრი). ეს შემცველობა მოცულობაში დაახლოებით 1%-ია, რაც შეესაბამება 8-10 ნმ ზომის ნაწილაკს.

სურ. 3-ზე მოყვანილია რენტგენის მახასიათებელ გამოსხივებაში მიღებული სურათები PW-1-7 ნარევისთვის სადაც ასევე ჩანს, რომ ცირკონიუმი მთელს მოცულობაშია განაწილებული თანაბრად, სადაც მისი ზომა 1 მკმ-ს არ აღემატება.

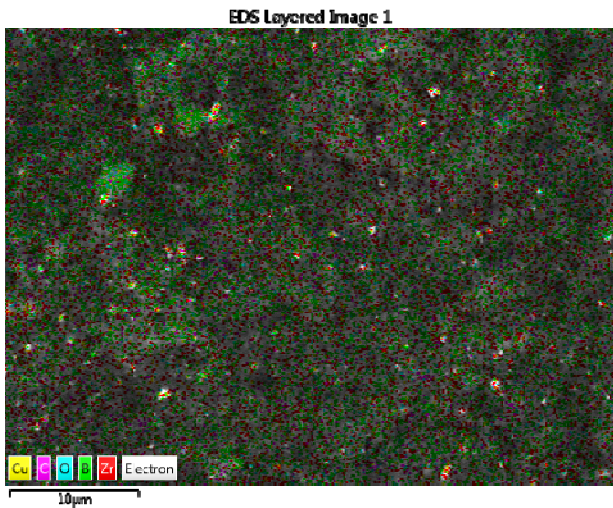
შერევა ეფექტური გამოდგა სითხის გარემოში, პლანეტარული წისქვილის და 1 მმ ზომის ბურთულების გამოყენებით. კვლევა გაგრძელდა აღნიშნული მეთოდის საფუძველზე.



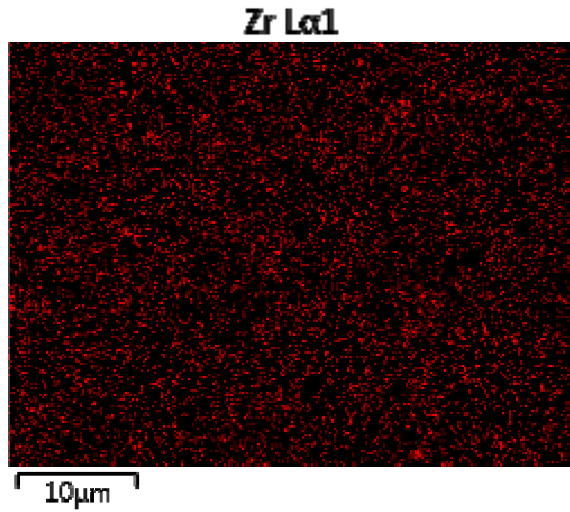
სურ. 2. მრსა-ს შედეგები PW-1-5 ნარევისთვის

ცხრილი 4

Spectrum Label	Spectrum									
	4	1	2	3	10	11	12	13	14	15
B	66.94	68.24	67.36	67.12	70.16	72.11	68.80	71.10	70.90	66.61
C	21.63	18.92	20.73	21.15	20.82	22.26	23.60	19.67	16.54	25.15
O	4.49	4.33	4.21	4.58	4.73	3.57	4.85	5.28	7.46	5.21
Si	0.20	0.24	0.27	0.26	0.28	0.19	0.25	0.22	0.35	0.20
Fe	1.44	1.61	1.98	1.85	1.13	0.65	0.78	1.19	2.18	0.87
Zr	2.28	2.27	2.43	2.49	2.09	0.91	1.26	1.88	1.81	1.46
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00



ა



ბ

სურ. 3. რენტგენის მახასიათებელ გამოსხივებაში მიღებული სურათები PW-1-7 ნარევისთვის

3.2. ცირკონიუმის ზომების გავლენა ცხელი დაწნების პარამეტრებსა და მიღებული მასალის თვისებებზე

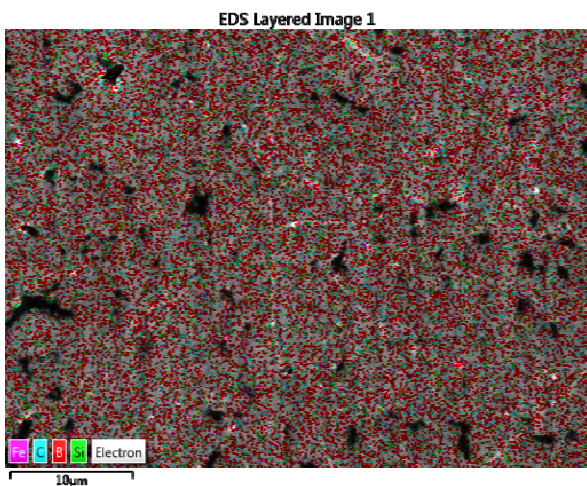
ცხრილი 2-ის მიხედვით ნარევები დამზადდა თითქმის თანაბარ პირობებში. ნამზადების B₄C, PW-1-3.5, PW-1-5, PW-1-7 ფარდობითი სიმკვრივე 96.2%, 100%, 100% და 99.4% შესაბამისად. აშკარაა ცირკონიუმის დადებითი გავლენა მასალის სიმკვრივეზე. PW-1-3.5 და PW-1-5 კომპოზიტების მაღალი სიმკვრივეები შესაძლებელს ხდის მსგავსი კომპოზიტების დამზადებას შედარებით ნაკლები წნევისა და ტემპერატურის პირობებში.

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ ულტრადისპერსიული ცირკონიუმის ოქსიდის გამოყენების შემთხვევაში სიმკვრივე გაუმჯობესდა 3-4%-

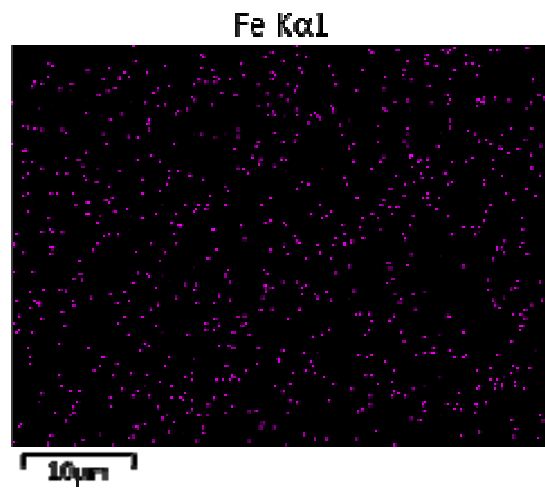
ით. მსგავსი შედეგი შემჩნეული არ იყო [2] სამუშაოში, სადაც ცირკონიუმის წყაროდ გამოყენებული იყო 2-3 მკმ ზომის ცირკონიუმის დიბორიდის ფხვნილი.

3.3. ნამზადში ელემენტთა განაწილების ანალიზი

სურ. 4-ზე მოყვანილია B₄C-ის ნამზადის რენტგენის მახასიათებელ გამოსხივებით მიღებული სურათები, სადაც ელემენტები ბორი და რკინა ნაჩვენებია თანაბრად და არათანაბრად განაწილებული წერტილების სახით. წერტილები ფოტოზე ასახავენ როგორც სტრუქტურული ერთეულების ზომებს, ასევე მათ განაწილებას.



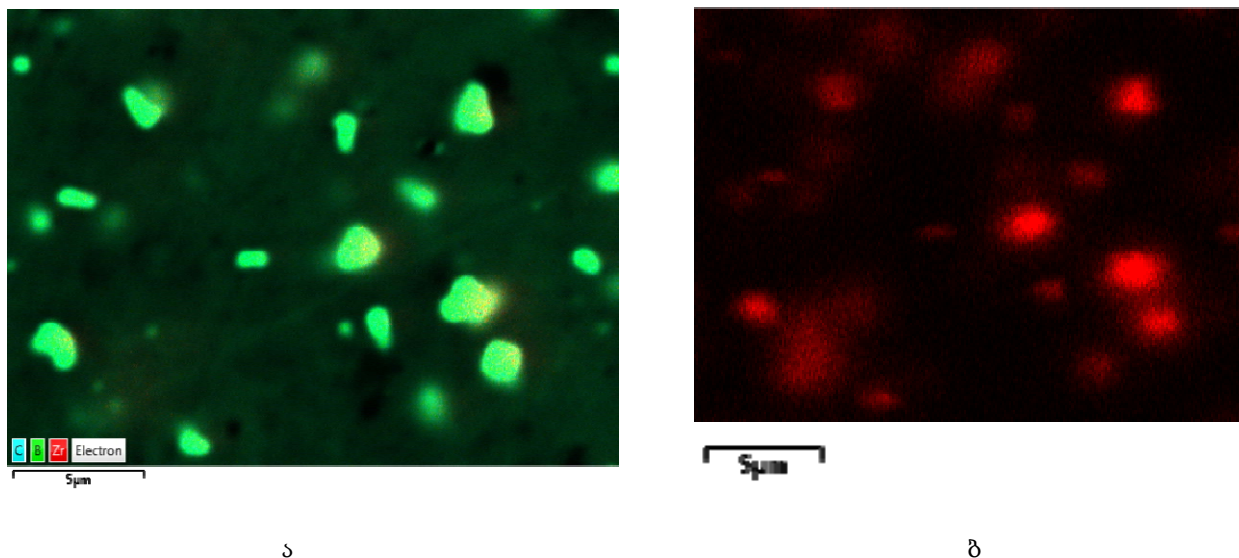
ა



ბ

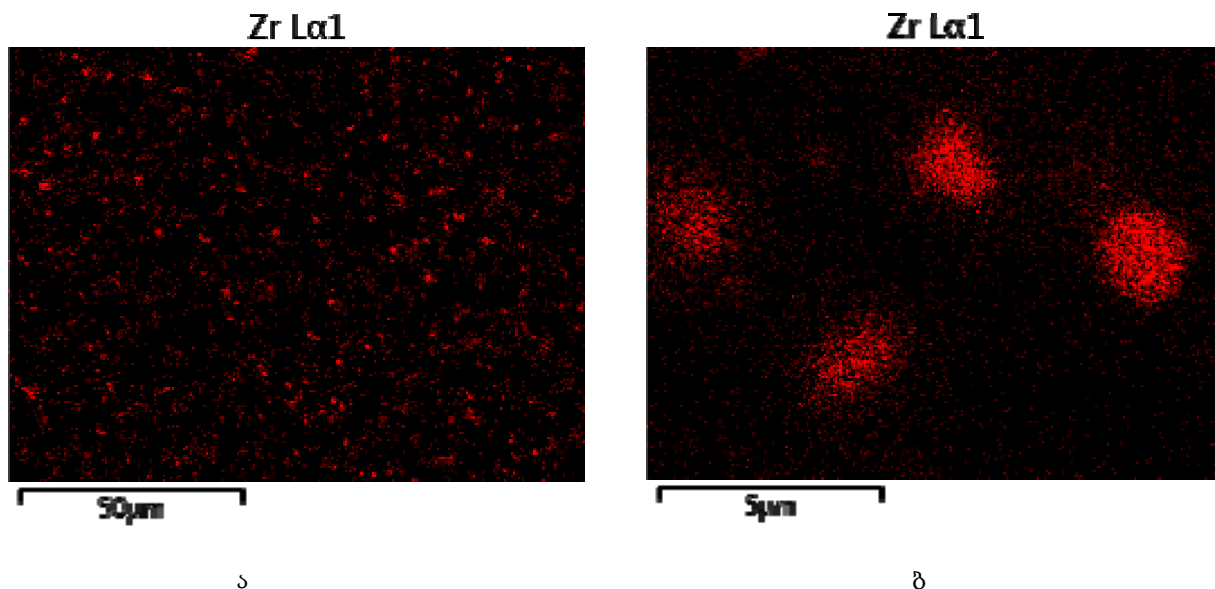
სურ. 4. B₄C-ის ნამზადის რენტგენის მახასიათებელ გამოსხივებით მიღებული სურათები

სურ. 5-ზე მოყვანილია PW-1-3.5 კომპოზიტის რენტგენის მახასიათებელი გამოსხივებით მიღებული სურათები.



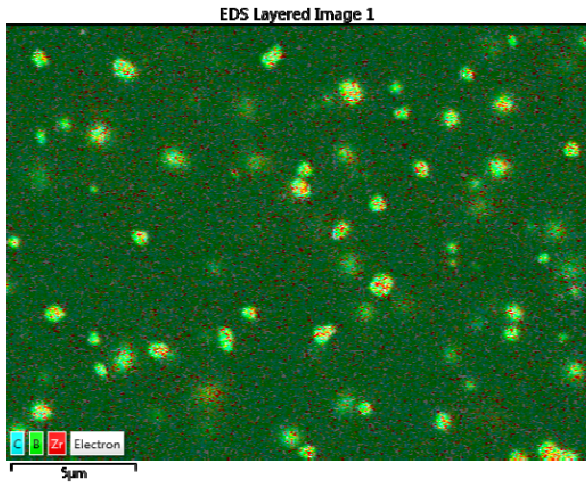
სურ. 5. PW-1-3.5 კომპოზიტის რენტგენის მახასიათებელი გამოსხივებით მიღებული სურათები

ბ სურათზე მკვეთრი წითელი ლაქები შეესაბამება ცირკონიუმის დიბორიდს (სურათი ა), რომლის ზომებიც 2 მკმ-ს არ აღემატება.

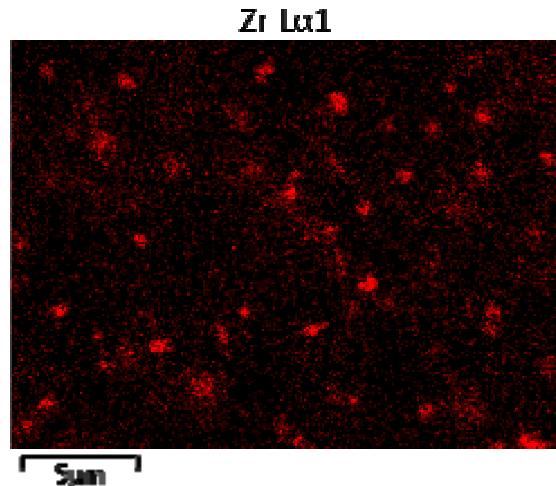


სურ. 6. PW-5 კომპოზიტის რენტგენის მახასიათებელი გამოსხივებით მიღებული სურათები

სურ. 6-ზე მოყვანილია PW-1-5 კომპოზიტის რენტგენის მახასიათებელი გამოსხივებით მიღებული სურათები ელემენტ ცირკონიუმისთვის, დაბალი - ა და მაღალი - ბ გადიდებით. ცირკონიუმის დიბორიდის მარცვლის ზომები 2 მკმ-ს არ აღემატება. გარდა ამისა ცირკონიუმი მთელ ფართობზე განაწილებულია წერტილების - მცირე მარცვლების სახით, რომლებიც ულტრადისპერსიული ზომებისაა.



ა



ბ

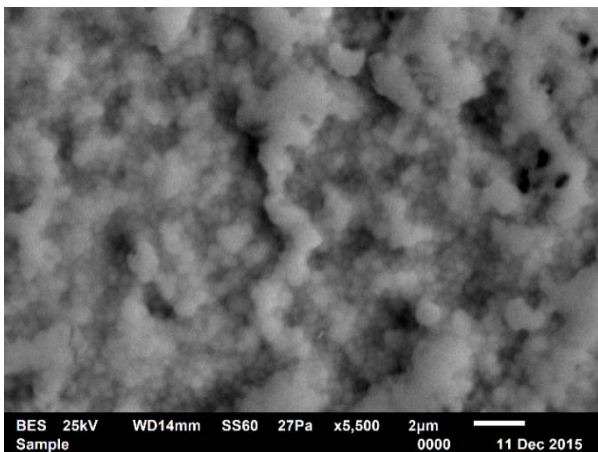
სურ. 7. PW-7 კომპოზიტის რენტგენის მახასიათებელი გამოსხივებით მიღებული სურათები

სურ. 7-ზე მოყვანილია PW-1-7 კომპოზიტის რენტგენის მახასიათებელი გამოსხივებით მიღებული სურათები ელემენტ ცირკონიუმისთვის. ცირკონიუმის დიბორიდის მარცვლის ზომები 1 მკმ-ს არ აღემატება. გარდა ამისა ცირკონიუმი მთელ ფართობზე განაწილებულია წერტილების - მცირე მარცვლების სახით, რომლებიც შეესაბამება სუბ-მიკრო და ნანო ზომებს.

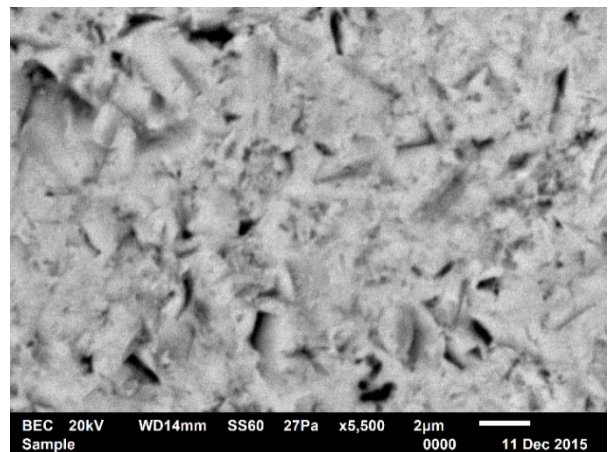
ის ფაქტი, რომ შერევის დროს გაზრდის მიუხედავად, ნარევი ცირკონიუმის შემცველობა შემცირდა, შემცირდა ასევე ცირკონიუმის ზომები და

გაუმჯობესდა შერევის ხარისხი. ეს აიხსნება იმით, რომ PW-1-7-ის შემთხვევაში გამოყენებული იქნა წინა ორი შერევის დროს ნამუშევარი ბურთულები, საიდანაც ნაკლები რაოდენობის და ზომის მარცვლები გადავიდა ფხვნილში. რაც შეეხება შერევის ხარისხს, ის გააუმჯობესა დაფქვის დროს გაზრდამ.

სურ. 8-ზე მოყვანილია ცირკონიუმის ორჟანგის ბურთულას ზედაპირის სურათები შერევამდე - ა და შერევის შემდეგ - ბ. ბ სურათზე შავად ჩანს ნაკაწრები და ჩაჭყლელი ადგილები, რომლებიც შეესაბამება ბორის კარბიდის მარცვლების ზომებს.



ა



ბ

სურ. 8. ZrO₂-ის ბურთულას ზედაპირი შერევამდე - ა და შერევის შემდეგ - ბ

წარმოდგენილი სურათებიდან გამომდინარე შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ნარევი შესული ZrO_2 -ის მარცვლის ზომები არ აღემატება ბორის კარბიდის მარცვლის ზომებს. უფრო მეტიც, ZrO_2 -ის მარცვლების გარკვეული ნაწილი ბორის კარბიდის მარცვლის ზომებზე ბევრად ნაკლებია დანანო და სუბმიკრო ზომებისა.

3. დასკვნა

დამუშავებულია ულტრადისპერსიული ფხვნილოვანი მაკროჰომოგენური კომპოზიტის მიღების მეთოდი B_4C-ZrO_2 -ის მაგალითზე. ულტრადისპერსიული Zr -ის შესაყვანად გამოყენებულ იქნა ZrO_2 -ის დამფქვი ტანი, რითაც აცილებული იქნა ნანო-ფხვნილების აგლომერაციის პროცესი.

დადგენილი იქნა შერევის ოპტიმალური პარამეტრები: გარემო - სითხე, ბურთულის დიამეტრი - 1 მმ, შერევის დრო - 7 წთ.

დადგენილი იქნა ZrO_2 -ის მარცვლის ზომები პროპორციულია ბორის კარბიდის ფხვნილის მარცვლის ზომებისა.

ჰომოგენური ნარევის მისაღებად სუბმიკრონული ცირკონიუმის ჩანართებით, აუცილებელია ბურთულების დამუშავება - იმავე მასალის წინასწარი დაფქვით 5-10 წთ-ის განმავლობაში.

მაკროჰომოგენური ნარევისგან რეაქციული შეცხოებით (in-situ) მიღებულ იქნა თეორიული სიმკვრივის B_4C-ZrB_2 კომპოზიტი $2000^\circ C$ ტემპერატურაზე.

დადგენილ იქნა, რომ ცირკონიუმის ორჟანგის კონცენტრაციის ზრდა დადებითად მოქმედებს ნამზადის სიმკვრივეზე.

ლიტერატურა

1. I.A. Bairamashvili, M.V. Galustashvili, J.Sh. Jobava, V.G. Kvatchadze, Z.Z. Mestvirishvili. Composite ceramics based on boron carbide enriched in isotope

11B as a promising radiation resistant structural material. Nano Studies, 2013, Volume 8, Pages 305-310

2. Zviad Mestvirishvili*, Irakli Bairamashvili, Vakhtang Kvatchadze and Nugzar Rekhviashvili. Thermal and Mechanical Properties of B_4C-ZrB_2 Ceramic Composite. Journal of Materials Science and Engineering B 5 (9-10) (2015) 385-393

3. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ. Уральский государственный университет им. А.М. Горького. Екатеринбург. 2007. Ст. 5-14

4. C. Subramanian, T.K. Roy, T.S.R.Ch. Murthy, P. Sengupta, G.B. Kale, M.V. Krishnaiah, A.K. Suri. Effect of zirconia addition on pressureless sintering of boron carbide. Ceramics International 34 (2008) 1543-1549

5. Srinivasa R. Bakshi, Vishal Musaramthota, Debrupa Lahiri, Virendra Singh, Sudipta Seal,

Arvind Agarwal. Spark plasma sintered tantalum carbide: Effect of pressure and nano-boron carbide addition on microstructure and mechanical properties. Materials Science and Engineering A 528 (2011) 1287-1295

6. B. Malmal Moshtaghioun, Angel L. Ortiz, Diego Gómez-García, Arturo Domínguez-Rodríguez. Toughening of super-hard ultra-fine grained B_4C densified by spark-plasma sintering via SiC addition. Journal of the European Ceramic Society 33 (2013) 1395-1401

7. Кораблев Д.В. ИЗНОСОСТОЙКАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ $B_4C - TiB_2 - SiC$. Санкт-Петербургский государственный технологический институт
<http://www.virial.ru/upload/medialibrary/93e/korablev.pdf>

UDC 66.084

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING ULTRA-DISPERSIVE POWDERY MACRO-HOMOGENEOUS COMPOSITE

Z. Mestvirishvili^{1,2}, V. Kvatchadze³, I. Bairamashvili¹, N. Jalabadze², T. Mestvirishvili^{1,2}

¹ National High Technological Center of Georgia. Kavtaradze St. 46. 0186 Tbilisi, Georgia

² Georgian Technical University. Kostava St. 77. 0175 Tbilisi, Georgia

³ Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Ekvter Andronikashvili Institute of Physics. Tamarashvil St. 6. 0177 Tbilisi, Georgia

E-mail: zviad.mst@gmail.com

Resume: Goal. The work aims to develop a method for obtaining ultra-dispersive powdery macro-homogenous composite mix - B₄C-ZrO₂ by the use of the method of planetary milling.

Method. To introduce ultra-dispersive Zr- we used ZrO₂ milling body, thus avoiding process of agglomeration of nanopowders. Hot-compression method and reactive sintering (in-situ) were used to receive ingots at the 2000°C temperature and 41-42 MPa pressure. Samples were subjected to thermal treatment by their sintering in vacuum at 1800°C temperature and 10⁻⁴ Pa pressure. Results were determined by morphological study by the use of optical and raster microscopes. Physical and mechanical properties of ceramics were investigated.

Result. Method was developed for obtaining of ultra-dispersive powdery macro-homogeneous composite - B₄C-ZrO₂ by the use of planetary mill. Effect of ZrO₂- grain size and its spreading in matrix was determined on consolidation process parameters and microstructure of the obtained ceramic.

Conclusion. Optimal parameters of mixing were defined: medium –liquid, ball diameter – 1mm; duration of mixing – 7 min. It was proved that increase of zirconium dioxide concentration makes positive effect on ingot density. Sizes of ZrO₂ grains are proportional to boron carbide powder grain sizes. To obtain homogeneous mix with sub-micron zirconium inclusions it is necessary to treat balls, by grinding the very material in advance for 5-10 minutes.

Key words: boron carbide; in-situ; mixing of ultra-dispersion powders.

უაკ 543.226:620.181.4

თერმული დამუშავების გავლენა ცხელი დაწნებით მიღებულ $^{10}\text{B}_4\text{C}$ -ის ნაკეთობაზე

ზ. მესტირიშვილი^{1,2}, შ. ზურაბიშვილი^{1,2}, თ. მესტირიშვილი^{1,2}, ხ. ზლუაშვილი¹, ა. სიჭინავაძე³, ნ. ჯალაბაძე²

¹ საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული ცენტრი, საქართველო, 0186, თბილისი, ქავთარაძის 46,

² საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

³ სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი, საქართველო, 0186, თბილისი, მინდელის 7

E-mail: zviad.mst@gmail.com

რეზიუმე: მიზანი. კვლევის მიზანია იზოტოპ ბორ-10-ით გამდიდრებული ბორის კარბიდის ნაკეთობების თერმული დამუშავების გავლენის შესწავლა ნაკეთობების ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებზე.

მეთოდი. ნამზადების მისაღებად გამოყენებული იქნა ცხელი დაწნების მეთოდი ვაკუუმში 2100°C ტემპერატურაზე და 30 მპა წნევის ქვეშ. ნიმუშები თერმულად დამუშავდა 1800°C ტემპერატურასა და 10^{-4} პა წნევის პირობებში. ჩატარდა ოპტიკური და რასტრული მიკროსკოპული კვლევა. შესწავლილ იქნა კერამიკების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები.

შედეგი. დადგინდა იქნა თერმული დამუშავების გავლენა ბორის კარბიდის კერამიკის მექანიკურ დამუშავებადობაზე, ზხარმედგობაზე, სისალეზე, დრეკადობის მოდულსა და მექანიკურ სიმტკიცეზე.

დასკვნა. თერმულად დამუშავების შედეგად გაუმჯობესდა მასალის მექანიკური დამუშავებადობა, შემცირდა ამონატეხების ზომა და რაოდენობა. მექანიკური სიმტკიცე კუმშვაზე გაიზარდა 33%-ით. მკვედრად გაუმჯობესდა მიკროსისალე და დრეკადობის მოდული დაბალ დატვირთვებზე. მაღალ დატვირთვებზე ეს ტენდენცია შემცირდა. მაკროსისალის გაუარესება ლოგიკურ კავშირშია დიდ დატვირთვებზე ზხარმედგობის გაზრდასთან, რასაც ასევე ადასტურებს გაუმჯობესებული დამუშავებადობა.

ზემოაღნიშნული სავარაუდოდ გამოწვეულია თერმული დამუშავების შედეგად მიკრომაბეზების მოხსნით, მიკროსტრუქტურული ჰომოგენიზაციით და სტაბილიზაციით. მაღალ დატვირთვებზე მეტალთა მსგავსად შეიმჩნევა „მოშვება“ - სისალის შემცირება და ზხარმედგობის გაზრდა.

საკვანძო სიტყვები: ბორის კარბიდი; ნეიტრონების შთანთქმელი; ზხარმედგობა; სისალე; ბორის კარბიდის თერმული დამუშავება.

1. შესავალი

ბორის კარბიდი, თავისი უნიკალური თვისებების გამო მნიშვნელოვანი მასალაა ტექნიკის სხვადასხვა სფეროსთვის. განსაკუთრებით აღსანიშნავია მისი გამოყენება ატომურ ტექნიკაში, სადაც შეუცვლელი შთანთქმელი მასალაა ბირთვულ რეაქტორებში. სხვადასხვა გამდიდრების $^{10}\text{B}_4\text{C}$ -გან მზადდება ნეიტრონების შთანთქმელი ელემენტები როგორც ფხვნილის, ისე ნაკეთობების სახით ბირთვული რეაქტორების მარეგულირებელი და ავარიული დაცვის ღეროებისთვის [1-3]. $^{10}\text{B}_4\text{C}$ -ის ფირები გამოიყენება ნეიტრონული ნაკადის ნახევარგამტარული სენსორების წარმოებაში [4-6].

ბორის კარბიდის მაღალი სისალე ($30-38\text{გ/სმ}^3$) და დაბალი კუთრი წონა ($2,51\text{ გ/სმ}^3$) განაპირობებს მის გამოყენებას ელიტარულ ჯავშანში [7], მისგან მზადდება როგორც მსუბუქი ტექნიკის და შვეულმფრენების ჯავშანი, ისე ჯავშანჩილეტები. მაღალი სისალის გამო ის გამოიყენება აბრაზიულ მასალებში, მისგან მზადდება აბრაზიული ფხვნილები, პასტები და ნაკეთობები [2, 3, 8, 9].

ბორის კარბიდი მაღალი მექანიკური სიმტკიცით ხასიათდება, მისი დრეკადობის მოდული $296-460\text{ გპა-ია}$ [2, 8, 10]. აღნიშნული მახასიათებელი იზრდება ბორის კარბიდის ჰომოგენურობის ზღვრებში ($\text{B}_{3.5}\text{C}-\text{B}_{6.5}\text{C}$) ნახშირბადის მატებასთან ერთად [1]. ბორის კარბიდს ასევე მაღალი აქვს სიმტკიცე კუმშვასა და ღუნვაზე [2, 11].

ბორის კარბიდის მაღალი სიმკვრივის და სიმტკიცის ნამზადების მიღება რთულია მისი ხისტი კოვალენტური ბმების და დაბალი პლასტიკურობის გამო [12]. მკვრივი ნაკეთობის მისაღებად გამოიყენება ცხელი დაწნევა $1800-2200^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე და 40 მპა წნევაზე, შეცხოვა მაღალი წნევის ქვეშ (აფეთქება) და სხვა მეთოდები [10, 12, 13].

ბორის კარბიდი ხასიათდება იკოსაედრების შემცველი რომბოედრული სტრუქტურით. მას არ გააჩნია შორეული მოწესრიგებულობა, ეს კი განაპირობებს კრისტალური მესრის დაბალ სიმკვრივეს და დეფექტებს. ბორის კარბიდის სტრუქტურის

ნაკლოვანებები აისახება მის სიმციფესა და ბზარ-მედეგობაზე. ბზარმედეგობა კერამიკის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია და ბორის კარბიდისთვის შეადგენს 2-3 MPa/m-ს. ამ მაჩვენებლით ის ჩამორჩება ყველა მოწინავე კერამიკას [2].

დაბალი ბზარმედეგობა უარყოფითად მოქმედებს როგორც მის მექანიკურ დამუშავებადობაზე, ისე მის მდგრადობაზე თერმული და მექანიკური დარტყმების მიმართ. მაღალი სიმციფის გამო $^{10}\text{B}_4\text{C}$ -ის შთანთქმელი ნაკეთობა ვერ უძლებს ძაბვებს, რომლებიც წარმოიქმნება ნეიტრონულ ველში რადიაციის გამო. [14] სამუშაოს მიხედვით ბორის კარბიდის გაბერვა (swelling- $V/\Delta V$) პირდაპირპროპორციულია ერთეულ მოცულობაში n , α რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი ჰელიუმის ატომების რაოდენობისა. [15] სამუშაოს ავტორებმა, სწრაფ რეაქტორში დასხივებული $^{10}\text{B}_4\text{C}$ -ის და $^{11}\text{B}_4\text{C}$ -ის გაბერვის მაგალითზე დაადგინეს, რომ $^{11}\text{B}_4\text{C}$ -ის გაბერვის მხოლოდ 25% არის გამოწვეული n , α რეაქციით, შესაბამისად $^{10}\text{B}_4\text{C}$ -ის გაბერვაც - 1% არ არის გამოწვეული მხოლოდ n , α რეაქციით. [4] სამუშაოს მიხედვით კრისტალური მესრის დეფექტებს იწვევს როგორც 2.79MeV ენერგიის მქონე α ნაწილაკებით შიგა ბომბარდირება, ისე სწრაფი ნეიტრონების ნარჩენი ფონი. [10]-ს ავტორების მიხედვით ნეიტრონული დასხივება წარმოშობს როგორც თერმულ ძაბვებს, ისე მექანიკურს. ეს უკანასკნელი გამოწვეულია ჰელიუმის ბუშტების გაერთიანების შედეგად ფორების სახით, რომლებიც ქმნიან ჯაჭვებს და იწვევენ მიკრო და მაკრო ბზარებს.

მაღალი ბზარმედეგობა აუცილებელია $^{11}\text{B}_4\text{C}$ -ისთვის, რომელიც ერთ-ერთ პერსპექტიულ მასალად მოიაზრება ნეიტრონულ ველში ხახუნის კვანძებში სამუშაოდ [16].

ბორის კარბიდზე ჩატარებული სამუშაოების დიდი ნაწილი ეძღვნება ბზარმედეგობის გაუმჯობესებას, რის მისაღწევადაც გამოიყენება სხვადასხვა მეთოდები. ესენია ლეგირება, ბორის კარბიდის ნანოფხვნილების და ნანობოჭკოების გამოყენება, კომპოზიტების დამუშავება ბორის კარბიდის ბაზაზე და სხვა [2, 8, 9, 17, 18].

ზემოთ ჩამოთვლილი კვლევების გარდა, საწარმოო პრაქტიკაში ვხვდებით ბორის კარბიდის ნაკეთობების თერმულ დამუშავებას მისი თვისებების გასაუმჯობესებლად, თუმცა ინფორმაცია აღნიშნული მიმართულებით სამეცნიერო კვლევებზე ძალიან მწირია [2].

ჩვენი სამუშაოს მიზანია შევისწავლოთ ბორ-10-ით მაღალგამდიდრებული ბორის კარბიდის ნაკე-

თობების თერმული დამუშავების გავლენა მის ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე.

2. ექსპერიმენტული ნაწილი

2.1. ნიმუშების დამზადება

საკვლევი ნიმუშების დასამზადებლად გამოვიყენეთ საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნულ ცენტრში წარმოებული ბორის კარბიდის ფხვნილი შემდეგი მახასიათებლებით ^{10}B - 85.3 ატ.%, B - 77.5 მას.%, C - 22.3 მას.%, Fe - 0.1 მას.%, Si - 0.05 მას.%, D_{90} - 7.5 მკმ, D_{50} - 3.2 მკმ, D_{10} - 0.8 მკმ.

ცილინდრული ნიმუშები ზომით D24X27 მმ დამზადდა ცხელი დაწნების მეთოდით გრაფიტის წნებ ფორმებში 2100°C ტემპერატურასა და 30 მპა წნევაზე. გახურებისა და გაცივების სიჩქარეები შესაბამისად იყო 50°C/წთ და 20°C/წთ-ისა. ნიმუშების ერთ ნაწილს დამაბულობის მოსახსნელად ჩაუტარდა თერმული დამუშავება ვაკუუმურ ლუმელში შერჩეული რეჟიმით ($T_{\text{ავტ}} - 1800^\circ\text{C}$, $P - 10^{-2}$ პა). ნიმუშების ორივე ჯგუფი (თერმულად დამუშავებული და დაუმუშავებელი) მექანიკურად დამუშავდა ალმასის ინსტრუმენტით D23,5X25 მმ ზომებამდე დასაყვანად.

2.2. ნიმუშების კვლევა

ნიმუშების კუთრი წონა და ფარდობითი სიმკვრივე განისაზღვრა გეომეტრიული ზომების მიხედვით მექანიკური დამუშავების შემდეგ.

კერამოგრაფია მოიცავდა ნიმუშების ზედაპირების გახეხვას პოლირების აპარატზე P180-220 მარკის სილიციუმის კარბიდის ზუმფარას ქაღალდით და ელექტროქიმიურ ამოჭმას 1%-იანი NaOH-ის წყალხსნარით 5-10 ვ ძაბვის და 200-300 მა დენის ძალის პირობებში.

მაღალი ფორიანობის გამო ნიმუშების ელექტროქიმიური ამოჭმა გართულდა. უკეთესი შედეგი მიღწეული იქნა ნიმუშების თერმული დამუშავებით (თერმული ამოჭმა). ზედაპირების მიკროსკოპული კვლევა ჩატარდა როგორც ფირმა „MEIJI TECHNO“-ს ინვერსიულ მეტალურგიულ ოპტიკურ მიკროსკოპზე „IM 7100“, ისე ფირმა „JEOL“-ის ელექტრონულ მიკროსკოპზე JSM-6510LV. სტატიკური/დინამიკური მიკროსისალე და დრეკადობის მოდული გაიზომა ფირმა „SHIMADZU“-ს ხელსაწყო „DUH-211S“-ზე სტანდარტული მეთოდით [2]. გამოცდა ჩატარდა 10 სხვადასხვა დატვირთვის პირობებში. თითოეულ დატვირთვაზე აღებული იყო 10-20 ანაბეჭდი.

ზხარმდეგობა განისაზღვრა ასევე სტანდარტული ფორმულით [19], „DUH-211S“ ხელსაწყოზე მიღებული მახასიათებლების გამოყენებით.

$$K_{IC} = 0.016 \sqrt{\frac{E}{H}} \frac{P}{\sqrt{c^3}} \quad (1)$$

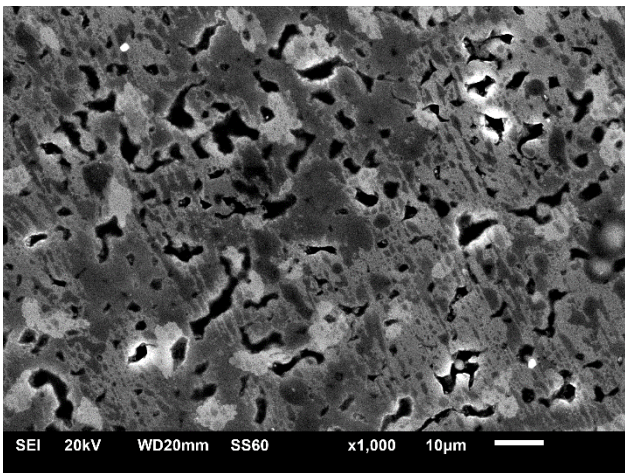
ნიმუშების გამოცდა კუმშვაზე ჩატარდა „MC-1000“ ტიპის ჰიდრაულიკურ წნეხზე.

3. შედეგები და მათი განსჯა

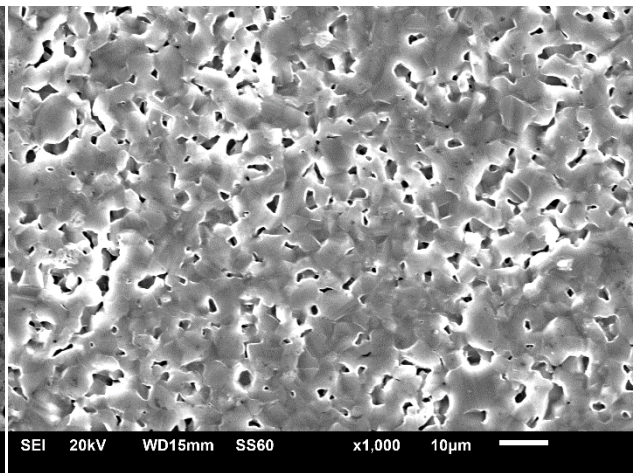
თერმულად დამუშავების შემდეგ ნიმუშების ზომები არ შეცვლილა. წონა შემცირდა 0,1%-ით.

წონის შემცირება სავარაუდოდ გამოწვეულია მაღალტემპერატურული რაფინირებით.

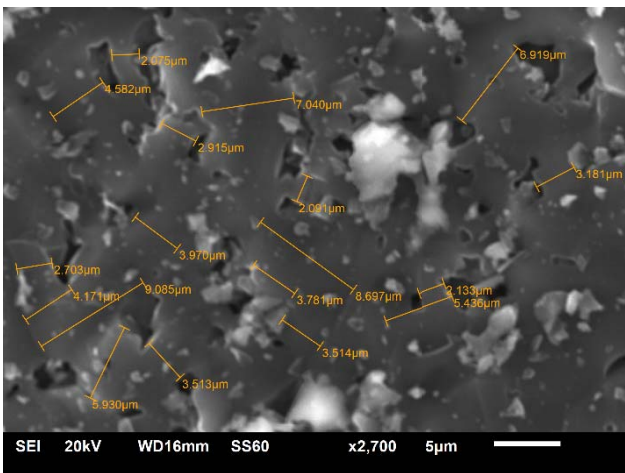
სურათ 1-ზე მოცემულია თერმულად დაუმუშავებელი ნიმუშის (TUHS) გაპრიალებული ზედაპირი შემდგომი ელექტროქიმიური ამოჭმით (ა) და TUHS-ის ტეხი (ბ), გაპრიალებული ნიმუშის ზედაპირი შემდგომი თერმული დამუშავებით (გ), გაპრიალებული და ელექტროქიმიურად ამოჭმული ნიმუშის ზედაპირი შემდგომი თერმულად დამუშავებით (დ).



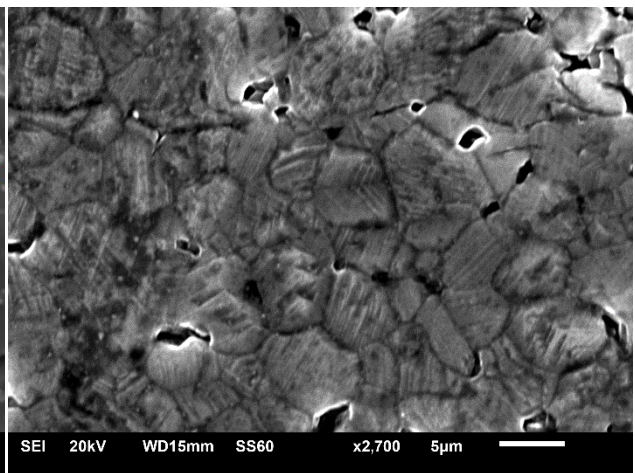
ა



ბ



გ



დ

სურ. 1. TUHS-ისდა THS-ისზედაპირები და ტეხი

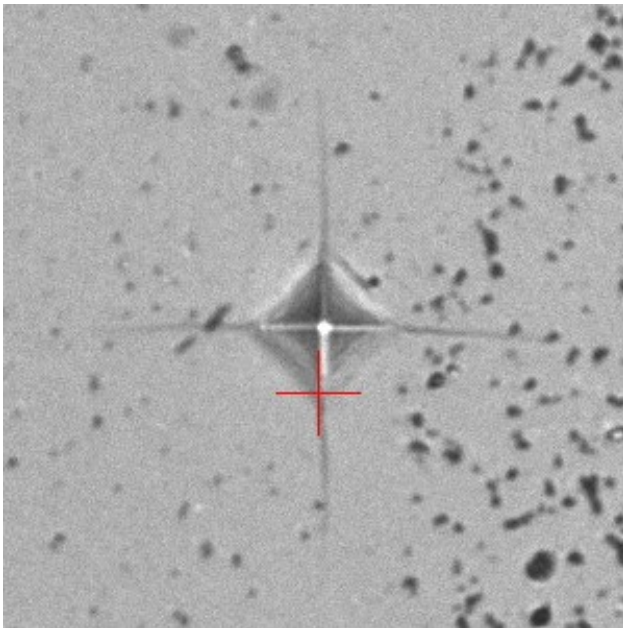
როგორც ვხედავთ, ფორიანი ბორის კარბიდის კერამიკის კერამოგრაფიისთვის უკეთესია თერმული ამოჭმის მეთოდი. ა და ბ სურათებზე მარც-

ვლის საზღვრები არ ჩანს, თუმცა ფორიანობის მიხედვით შეიძლება მსჯელობა, რომ მარცვლის ზომა უმეტეს შემთხვევაში არ აღემატება 5 მკმ-ს.

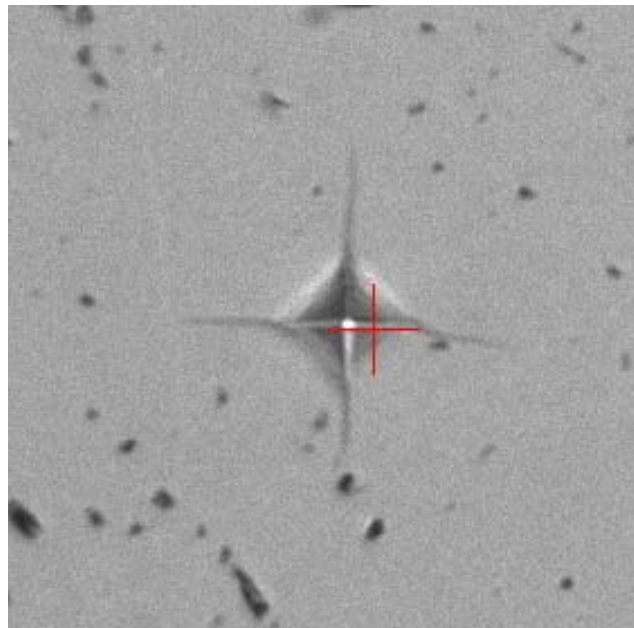
ფორები თანაბრად განაწილებულია. მათი საშუალო ზომა 2-4 მკმ-ია. ბ სურათზე ჩანს რომ ძირითადი მარცვლი 3-5 მკმ-ია, თუმცა არის შედარებით დიდი 7-9 მკმ ზომის მარცვლებიც. გ და დ სურათზე კარგად ჩანს მარცვლის საზღვრები, მარცვლების უმეტესობა 5 მკმ-ს არ აღემატება. იშვიათ შემთხვევაში არის 10 მკმ ზომის მარცვლები. როგორც ჩანს, თერმულად დამუშავების შემდეგ მარცვლის ზომა თითქმის არ გაზარდილა. ორივე შემთხვევაში, კერამიკებში საშუალო მარცვლი დაახლოებით ორჯერ აღემატება საწყისი

ფხვნილის მარცვლის ზომას. შეინიშნება ბორის კარბიდის მახასიათებელი მრჩობლები.

სურათ 2-ზე მოყვანილია ვიკერსის ინდენტერის ანაბეჭდები TUHS (ა) და THS (ბ) ნიმუშებზე, 150 გადატვირთვის დროს. ანაბეჭდების ზომა და ფორმა ერთნაირია, ორივე ნიმუშს ახასიათებს ბორის კარბიდისთვის დამახასიათებელი სწორი ბზარები. THS-ის შემთხვევაში ბზარების სიგრძე გაცილებით ნაკლებია TUHS-თან შედარებით, რაც THS-ის შედარებით მაღალ ბზარმედეგობაზე მეტყველებს.



ა



ბ

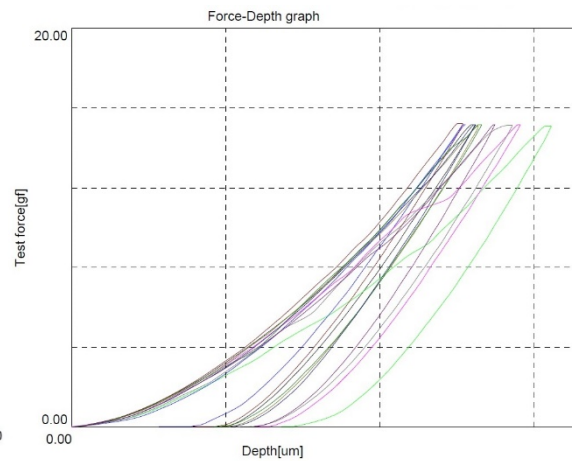
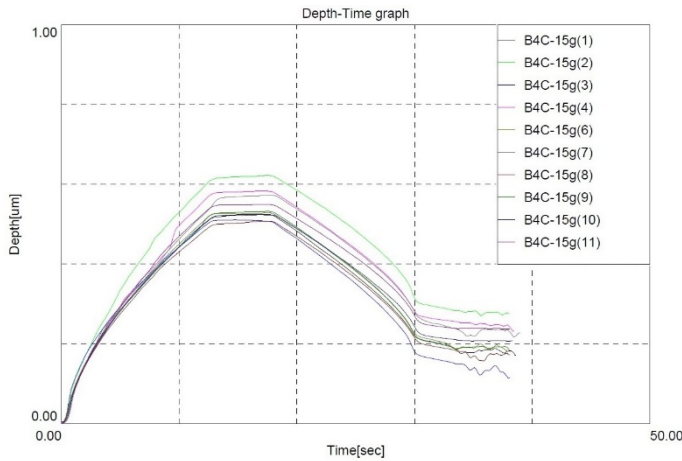
სურ. 2. ინდენტერის ანაბეჭდები TUHS-ის (ა) და THS-ის პოლირებულ ზედაპირზე

სურათ 3-ზე მოყვანილია გრაფიკები, რომლებსაც იძლევა სისალის მზომი ხელსაწყო პროგრამა.

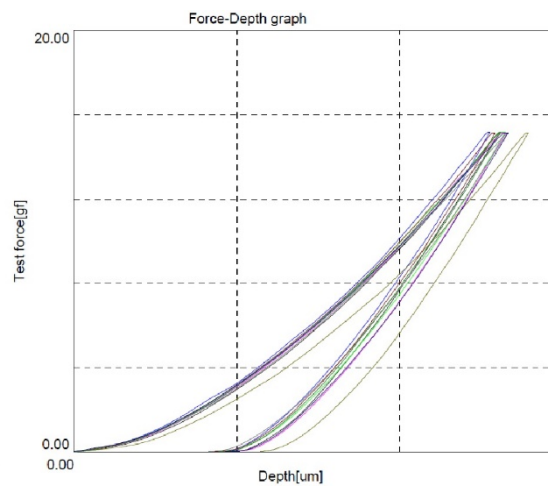
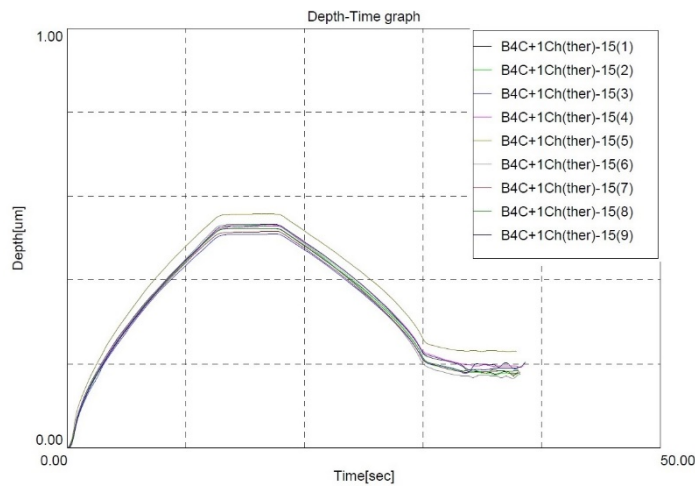
მარცხნივ მდებარე გრაფიკები ასახავს ანაბეჭდის სიღრმის ცვლილებას ტესტირების დროის მიხედვით. მარჯვნივ მდებარე გრაფიკები კი ასახავს ანაბეჭდის სიღრმის ცვლილებას დატვირთვის მიხედვით. TUHS-ის გრაფიკები გაბნეულია და არასტაბილური. რამდენიმე ადგილას შეიმჩნევა ინდენტერის ჩავარდნები. THS-ის გრაფიკები სტა-

ბილურია. ანაბეჭდების საშუალო სიღრმე როგორც დატვირთვის ქვეშ ისე განტვირთვის შემდეგ, ნაკლებია THS-ში. შესაბამისად მაღალია როგორც დინამიკური, ისე სტატიკური სისალე (ეს უკანასკნელი არ არის გაზომილი ანაბეჭდის ზომის სიმცირის გამო).

ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გაზომვის ძირითადი შედეგები მოყვანილია ცხრილში 1.



ა



ბ

სურ. 3. სისალის და იუნგის მოდულის გაზომვის პარამეტრების დამოკიდებულების გრაფიკები TUHS-სა (ა) და THS-სთვის (ბ). დატვირთვა 15 გ

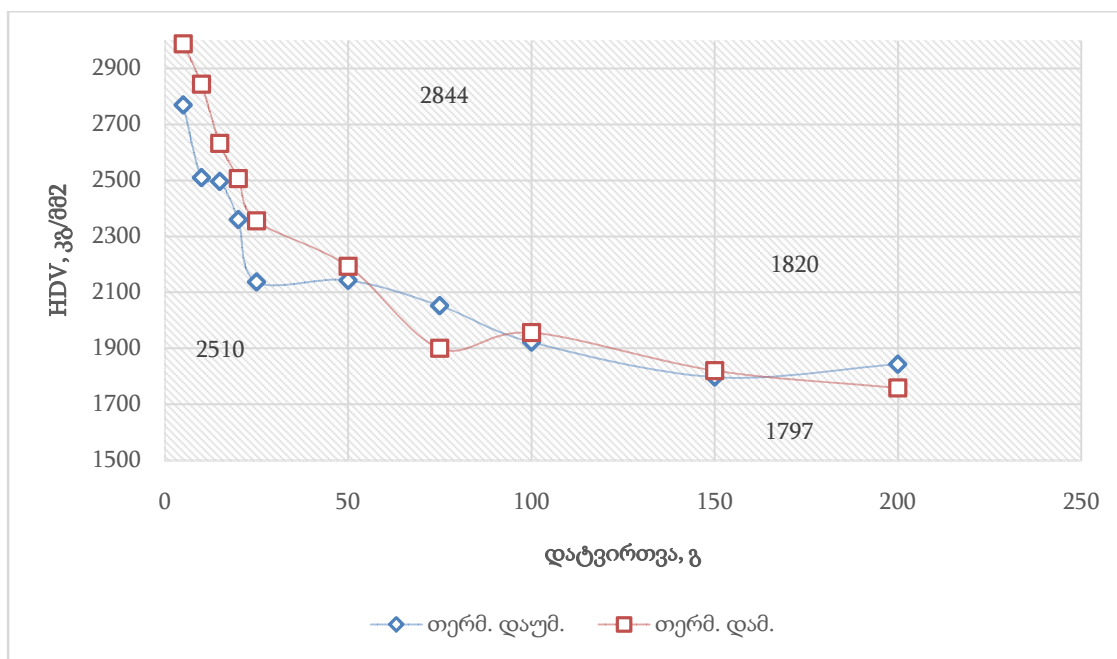
85-90% ფარდობითი სიმკვრივე აუცილებელია ბორის კარბიდის შთამნთქმელი ელემენტისთვის და გამიზნულად იქნა მიღებული. ღია ფორების საშუალებით ფორიანი მასალიდან გამოდის n , α რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი ჰელიუმი და მასალა ნაკლებად იბერება. ფორიანობის შემდგომი მომატებით მექანიკური სიმტკიცე საგრძნობლად მცირდება. კუმშვაზე სიმტკიცის მაჩვენებელი მიღებულ კერამიკებს დაბალი აქვს სხვა კვლევებში მოყვანილ მონაცემებთან შედარებით [2], რაც გამოწვეულია ნიმუშების ფორიანობით [10]. თერმუ-

ლად დამუშავებულ ნიმუშებს აღნიშნული მახასიათებელი 33%-ით გაუმჯობესებული აქვს.

ცხრილში მოყვანილი დანარჩენი მახასიათებლები შეესაბამება ერთ დატვირთვას (100 გ). აღნიშნულ დატვირთვაზე ყველა მახასიათებელი გაუმჯობესებულია თერმული დამუშავების შემდგომ. თითოეულ დატვირთვაზე გაზომილი მახასიათებლები წარმოდგენილია გრაფიკების სახით სურათებზე 4, 5, 6.

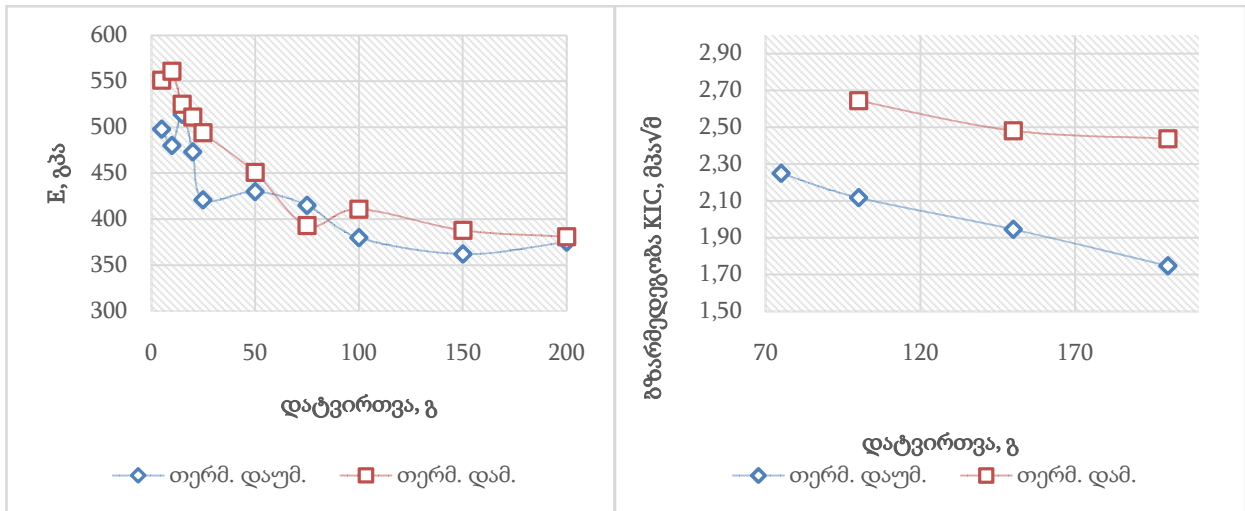
ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები

№	მახასიათებელი	გაზომვის შედეგი	
		TUHS	THS
1	ფარდობითი სიმკვრივე, %	88-89	89-90
2	სიმტკიცე კუმშვაზე, მპა	700	930
3	დინამიკური მიკროსისალე DHV, 0.1Nგპა	19,2	19,6
4	სტატიკური მიკროსისალე HV, 0.1Nგპა	25,6	27,6
5	დრეკადობის მოდული E, გპა (0.1N)	380	411
6	ბზარმედეგობა, K_{IC} მპა $\sqrt{მ}$ (0.1N)	2,12	2,64



სურ. 4. დინამიკური სისალის დამოკიდებულება დატვირთვაზე

დაბალ დატვირთვებზე (5-25 გ) THS-ის მიკროსისალე საშუალოდ 10%-ით აღემატება TUHS-ისას. შედარებით მაღალ დატვირთვებზე (50-200 გ) სხვაობა მცირდება.



სურ. 5. დრეკადობის მოდულის (ა) და ბზარმედევობის (ბ) დამოკიდებულება დატვირთვაზე

დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულება დატვირთვაზე სისალის მსგავსია - დატვირთვის გაზრდით დრეკადობის მოდული იკლებს. თერმულად დამუშავების შემდეგ დრეკადობის მოდული საგრძნობლად გაზრდილია. სხვაობა TUHS-სა და THS-ის დრეკადობის მოდულს შორის სხვადასხვა დატვირთვაზე თითქმის არ იცვლება.

რაც შეეხება ბზარმედევობას, თერმულად დამუშავების შემდეგ 25-40%-ით გაზრდილია. ბზარმედევობის გაზრდა სავარაუდოდ გამოწვეულია თერმული ძაბვების მოხსნით, რაც როგორც აღვნიშნეთ დიდი პრობლემაა ცხელი დაწეხით მიღებულ კერამიკაში.

3. დასკვნა

მიღებულია $^{10}\text{B}_4\text{C}$ -ისკერამიკული ნიმუშები, ნიმუშები ცხელი დაწეხის მეთოდით 2100°C ტემპერატურაზე და 30 მპა წნევის ქვეშ შემდგომი თერმული დამუშავებით 1800°C -სა და 10^{-4} პა წნევაზე.

შესწავლილია თერმულად დამუშავების გავლენა $^{10}\text{B}_4\text{C}$ -ის მექანიკურ დამუშავებადობაზე და მის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებზე.

თერმულად დამუშავების შედეგად ადგილი არ ჰქონია ნიმუშების ზომაში ცვლილებას. ასევე არ შეიცვალა ბორის კარბიდის მარცვლის ზომა - კერამიკის ერთ-ერთი ფუნქციური მახასიათებელი.

თერმულად დამუშავების შედეგად გაუმჯობესდა მასალის მექანიკური დამუშავებადობა, შემცირდა ამონატეხების ზომა და რაოდენობა. მექანიკური სიმტკიცე კუმშვაზე გაიზარდა 33%-ით.

მიკროინდენტრებით გაზომილი სისაღე და დრეკადობის მოდული დაბალ დატვირთვებზე მკვედრად გაუმჯობესდა თერმული დამუშავების შედეგად. მაღალ დატვირთვებზე ეს ტენდენცია იკლებს და ბოლოს ქრება. მაკროსისალის გაურესება ლოგიკურ კავშირშია დიდ დატვირთვებზე ბზარმედევობის გაზრდასთან, რასაც ადასტურებს გაუმჯობესებული დამუშავებადობა.

ზემოაღნიშნული სავარაუდოდ გამოწვეულია თერმული დამაბულობის შედეგად მიკროძაბვების მოხსნით და მიკროსტრუქტურული ჰომოგენიზაციით და სტაბილიზაციით. მაღალ დატვირთვებზე მეტალთა მსგავსად შეიმჩნევა „მოშვება“ - სისალის შემცირება და ბზარმედევობის გაზრდა.

ლიტერატურა

1. Vladislav Domnich, Sara Reynaud, Richard A. Haber, and Manish Chhowalla. Boron Carbide: Structure, Properties, and Stability under Stress. *J. Am. Ceram. Soc.*, 94 (11) (2011), 3605–3628
2. Zviad Mestvirishvili, Irakli Bairamashvili, Vakhtang Kvatchadze and Nugzar Rekhviashvili. Thermal and Mechanical Properties of B_4C - ZrB_2 Ceramic Composite. *Journal of Materials Science and Engineering B*, 5 (9-10) (2015), 385-393
3. Kevin Gillet, Guido Roma, Jean-Paul Crocombette, Dominique Gosset. The influence of irradiation induced vacancies on the mobility of helium in boron carbide. *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 512 (2018), 288-296

4. Yu.A.Bykovskii, K.N.Zatsev, P.D.Kervalishvili, I.N.Nikolaev, A.A.Portnov, S.O.Shalamberidze. Neutron fluence sensor based on boron carbide. *Technical Physics Letters*, Vol. 19, Issue 7 (Yuly 1993), 457-458
5. P.J. Kervalishvili, G.S. Karumidze, Sh.Sh. Shavelashvili, G.I.Kalandadze, S.O.Shalamberidze. Semiconductor sensor for neutrons. *Sensors and Actuators A*, 36 (1993), 43-45
6. P.D.Kervalishvili, S.O.Shalamberidze Yu.A. Bykovskii. Oriented boron carbide films produced by laser spraying. *American Institute of Physics*, (1991), 524-527
7. Helmut Werheit, Murli H. Manghnani, Udo Kuhlmann, Anwar Hushur, Sul Khan Shalamberidze. Mode Grüneisen parameters of boron carbide. *Solid State Sciences*, 72 (2017), 80-93
8. Akihiro Nino, Ayumi Tanaka, Shigeaki Sugiyama and Hitoshi Taimatsu. Indentation Size Effect for the Hardness of Refractory Carbides. *Materials Transactions*, Vol. 51, No. 9 (2010), 1621-1626
9. Atta U. Khan, Vladislav Domnich, and Richard A. Haber. Boron carbide-based armors: Problems and possible solutions. *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 96, No. 6, 30-36
10. В.Д. Рисованный, А.В. Захаров, Е.П. Клочков, В.Б. Пономаренко, Е. М. Муралева, Т. М. Гусева, Поглощающие материалы стержней управления ядерных реакторов. *Ульяновск 2012*, 57-95
11. T.G.Abzianidze, A.M.Eristavi, S.O.Shalamberidze. Strength and Creep in Boron Carbide (B₄C) and Aluminum Dodecaboride (α -AlB₁₂). *Journal of Solid State Chemistry*, Volume 154, Issue 1 (October 2000), 191-193
12. G.I.Kalandadze, S.O.Shalamberidze, A.B. Peikrshvili. Sintering of Boron and Boron Carbide. *Journal of Solid State Chemistry*, Vol. 154, N. 1 (2000), 194-198
13. Helmut Werheit and Sul Khan Shalamberidze. Advanced microstructure of boron carbide. *Journal of Physics Condensed Matter*, Volume 24, Number 38 (2012), 385-406
14. Tadashi MARUYAMA, Shoji ONOSE, Takeji KAITO & Hiroto HORIUCHI. Effect of Fast Neutron Irradiation on the Properties of Boron Carbide Pellet. *Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY*, Vol. 34, No. 10 (October 1997), 1006-1014
15. Yuko MOROHASHI, Tadashi MARUYAMA, Takako DONOMAE, Yoshiaki TACHI and Shoji ONOSE. Neutron Irradiation Effect on Isotopically Tailored ¹¹B₄C. *Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY*, Vol. 45, No. 9, (2008), 867-872
16. I. A. Bairamashvili, M. V. Galustashvili, J. Sh. Jobava, V. G. Kvatchadze, Z. Z. Mestvirishvili. Composite ceramics based on boron carbide enriched in isotope ¹¹B as a promising radiation resistant structural material – in Russian. *Nano Studies*, vol. 8(2013), 305-310
17. Tao Jianga, Haiyun Jinb, Zhihao Jina, Jianfeng Yanga and Guanjun Qiaoa. An investigation of the mechanical property and thermal shock behavior of machinable B₄C/BN ceramic composites. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 10, No. 1 (2009), 113-116
18. B. Malmal Moshtaghioun, Angel L. Ortiz, Diego-Gómez-García, Arturo Domínguez-Rodríguez. Toughening of super-hard ultra-fine grained B₄C densified by spark-plasma sintering via SiC addition. *Journal of the European Ceramic Society*, Volume 33, (2013) 1395-1401
19. Anstis, G. R., Chantikul, P., Lawn, B. R. and Marshall, D. B. A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness – I. Direct crack measurements. *J. Am. Ceram. Soc.*, 64 (1981), 533-538

UDC 543.226:620.181.4

IMPACT OF THERMAL TREATMENT ON $^{10}\text{B}_4\text{C}$ - WORK-PIECE OBTAINED BY HOT COMPRESSION

Z. Mestvirishvili^{1,2}, Sh. Zurabishvili^{1,2}, T. Mestvirishvili^{1,2}, Kh. bluashvili¹, A. Sitchinava³, N. Jalabadze²

¹ National High Technological Center of Georgia. Kavtaradze St. 46. 0186 Tbilisi, Georgia

² Georgian Technical University. Kostava St. 77. 0175 Tbilisi, Georgia

³ LEPL Ilia Vekua Sukhumi Institute of Physics and Technology, Mindeli St.7 , Tbilisi, 0186, Georgia

E-mail: zviad.mst@gmail.com

Resume: Goal. The research aims to study impact of thermal treatment of boron carbide work-pieces enriched with isotope Bor-10 on physical and mechanical properties of work-pieces.

Method . To receive ingots we used hot-compression method in vacuum at 2100°C temperature and 30 MPa pressure. Samples were thermally treated at the conditions of 1800°C and 10^{-4} Pa pressure. Optic and raster microscopic study was carried out. Physical-mechanical properties of ceramics were investigated.

Result. Effect of thermal treatment on boron carbide's mechanical workability, crack-resistance, hardness, flexibility module and mechanical strength - was determined.

Conclusion. As a result of thermal treatment the mechanical workability of the material was improved, size and number of splinters were decreased; mechanical strength at compaction increased by 33%; micro-hardness and flexibility module at low loadings significantly increased; at high loadings this tendency decreased. Worsening of macro-hardness is in logical connection with increase of crack-resistance at high loadings, which is evidenced also by improved workability.

Apparently the above stated is conditioned by the removal of micro-tensions as a result of thermal tension and micro-structtural homogenization and stabilization. At high loadings we observe "tempering" similar to metals – decrease of hardness and increase of crack-resistance.

Key words: Boron carbide; neutron absorber; fracture toughness; hardness; thermal healing of boron carbide.

უაკ 542.544.553

მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვრის საფუძველზე ტექნოგენური მასალის მიღება

თ. ჭეიშვილი, ნ. გაბრიაძე

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

E-mail: t.cheishvili@gtu.ge

რეზიუმე: *მიზანი.* სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა ბინარული ნარევების (საწარმოო მანგანუმშემცველი მტვერი - კოქსის წვრილმანი) და შემკვრელად გამოყენებული თხევადი მინის საფუძველზე შედგენილი კომპოზიციების ბრიკეტებით დანაჭროვნების შესაძლებლობის დადგენა; ბრიკეტების პროცესზე და ბრიკეტების ხარისხზე თხევადი მინის კონცენტრაციის, რაოდენობის და ბრიკეტების შრობის პირობების გავლენის შესწავლა.

მეთოდი. სამკომპონენტისანი (მტვერი - კოქსი - თხევადი მინა) ნარევების შედგენა და მათი ყალიბებში 16 მპა წნევით დაწნეხა; მიღებული ბრიკეტ-ნიმუშების მექანიკურ სიმტკიცეზე ბუნებრივი ან ხელოვნური (40–160°C) შრობის პირობების გავლენის დადგენა, მათი კუმშვაზე მექანიკური სიმტკიცის განსაზღვრით.

შედეგი. დადგინდა ბრიკეტებით მიღებული ნიმუშების დაყალიბების უნარზე და სიმტკიცეზე თხევადი მინის კონცენტრაციისა და რაოდენობის გავლენა. მექანიკურად მდგრადი ნიმუშების მიღების ოპტიმალურ პირობად მიიჩნევა: 10–12 მას.% თხევადი მინის (სიმკვრივე 1,25 გ/სმ³) შემკვრელად დამატება და წნეხის არანაკლები 16 მპა წნევით განხორციელება. ნიმუშების მექანიკურ მდგრადობას განსაზღვრავს შრობის პირობები - ბრიკეტების შრობა რეკომენდებულია ოთახის ტემპერატურაზე არა ნაკლები 8 სთ ან 100-120°C-ზე, 20 – 25 წუთის განმავლობაში.

დასკვნა. მანგანუმშემცველი მტვერი - კოქსის წვრილმანი - თხევადი მინა - კომპოზიციაში შესაძლებელია მექანიკურად მდგრადი ბრიკეტების მიღება. აღნიშნული მიიღწევა შემკვრელად, გარკვეული მოდულის და სიმკვრივის თხევადი მინის გამოყენებით, ბრიკეტების შრობის დადგენილი პარამეტრებით ჩატარების პირობებში.

საკვანძო სიტყვები: მანგანუმშემცველი მტვერი; კოქსი; თხევადი მინა; ბრიკეტი; შემკვრელის სიმკვრივე; დაწნეხა; შრობა; მექანიკური სიმტკიცე.

1. შესავალი

ცნობილია, რომ მანგანუმშემცველი წიაღისეულის ძირითადი ნაწილი გამოიყენება შავ მეტალურგიაში და ელექტროტექნიკური მასალების მისაღებად, მაგრამ არა ნაკლებად მნიშვნელოვანია მისი როლი ფარმაცევტულ და სოფლის მეურნეობის დარგებში, მინის და კერამიკის წარმოებაში და სხვ. დადგენილია, რომ მანგანუმი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს მცენარეთა ზრდა-განვითარებაში და ამიტომ ის ფართოდ გამოიყენება სოფლის მეურნეობაში მიკროსასუქების სახით. მანგანუმს, როგორც მიკროელემენტს, დიდი მნიშვნელობა აქვს ასევე ცოცხალი ორგანიზმის სრულყოფილ ფუნქციონირებაში, რადგან მანგანუმი აქტიურ მონაწილეობას ღებულობს ორგანიზმში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლის ბიოპროცესში [1, 2].

ამავე დროს, მანგანუმთან მიმართებაში იკვეთება კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი გარემოება - მას ახასიათებს ორგანიზმზე პოლიმორფული მოქმედება, რადგან - ცოცხალ ორგანიზმში ჭარბად მოხვედრისას მანგანუმს შეუძლია გამოიწვიოს როგორც სუსტი ალერგია, ასევე მოახდინოს ტოქსიკური მოქმედება ცენტრალურ ნერვულ სისტემაზე. მანგანუმშემცველი მტვრის ადამიანის სასუნთქ სისტემაში მოხვედრისას, შეიძლება წარმოიქმნას ისეთი დაავადებები, როგორცაა მანგანოკოზი, ბრონქიტი და სხვ. [3].

უნდა აღინიშნოს, რომ მანგანუმი ჯანმრთელობისთვის მნიშვნელოვან რისკს წარმოადგენს, როგორც საწარმოო, ასევე არასაწარმოო პირობებში მოქმედებისას, რადგან გამოვლენილია გარკვეული ცვლილებები მანგანუმით მდიდარი რეგიონების (ჭიათურა, ზესტაფონი) მოსახლეობის ჯანმრთელობისა და ორგანიზმის ფუნქციური მდგომარეობის მაჩვენებლებში [4].

ჭიათურა-ზესტაფონის რეგიონებში არსებული არასახარბიელო ეკოლოგიური მდგომარეობა გამოწვეულია აქ მოქმედ საწარმოებში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესებით. კერძოდ, ერთის მხრივ, ჭიათურის რეგიონში მანგანუმშემცველი მადნების მოპოვება-გამდიდრებით და ამასთან ერთად, ზესტაფონში სილიკომანგანუმის შენადნობის მიღების საწარმოო პროცესის წარმართვით.

კვლევის მიმდინარე ეტაპზე ჩვენ ინტერესთა სფეროს წარმოადგენდა ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხნის (ზფქ) საწარმოო მტვერი, ანუ პროდუქტი, რომელიც წარმოიქმნება სილიკომანგანუმის მიღების პროცესში. ასეთი მტვერის ძირითადი ნაწილი გაზგამწმენდ ფილტრებში ილექება და ფილტრების ეტაპობრივი გაწმენდის შემდეგ ქარხნის ტერიტორიაზე ინახება, რაც ეკოლოგიურ საფრთხეს წარმოქმნის. ამავე დროს, აღნიშნული საწარმოო მტვერი შეიცავს მანგანუმს, ამასთან ისეთი რაოდენობით (დაახლოებით 25 მას. %), რომელიც მისი ტექნოგენურობის წინაპირობას ქმნის. ეკოლოგიური და ტექნოლოგიური ხასიათის საკითხების შერწყმა ზფქ-ს საწარმოო მტვერის საფუძველზე ტექნოგენური მასალების მიღების არგუმენტირებულ წინაპირობად შეიძლება იქნას მიჩნეული.

მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვერის გამოყენებით პრაქტიკული დანიშნულების პროდუქტის მიღების გზად ჩვენ მიერ მიჩნეული იქნა ზფქ-ს გაზგამწმენდში დალექილი მტვერის არამტვრად მდგომარეობაში გადაყვანა. კერძოდ, საკითხის გადაწყვეტა შესაძლებელია მანგანუმშემცველი მტვერის საფუძ-

ველზე ტექნოლოგიური ნარეგების მიღებისა და მათი ბრიკეტირებით დანაჭროვნების მეშვეობით.

2. ძირითადი ნაწილი

საწარმოო მანგანუმშემცველი მტვერის ბრიკეტირებასთან დაკავშირებით აღებული იქნა ბინარული კომპოზიცია „მტვერი - კოქსი“ (Dust - Coke), რომელიც პირობითად აღინიშნა ინდექსით DC. შემკვრელად შერჩეული იქნა თხევადი მინა, რომლის წმინდა ფრაქციული ნედლეულის შემკვრელად გამოყენება რეკომენდებულია არაერთი მკვლევარის მიერ [5-7].

DC - კომპოზიციაში შემავალი ინგრედიენტები დაიყო ორ ჯგუფად: ძირითადი (მტვერი და კოქსის წვრილმანი) და დამხმარე (თხევადი მინა). ფეროშენადნობთა ქარხნის პირობებში გაზგამწმენდში დალექილი მთავრის შედგენილობა, რომელშიც ლითონური მანგანუმის შემცველობაა წარმოდგენილი, მოითხოვდა ოქსიდურ შედგენილობაზე გადაანგარიშებას, რაც აუცილებელი იყო მანგანუმის ოქსიდური ნაერთების აღდგენისათვის საჭირო ნახშირბადის რაოდენობის დასადგენად (ცხრ. 1).

ცხრილი 1

ფილტრზე დალექილი მანგანუმშემცველი მტვერის შედგენილობები

N	დასახელება	მანგანუმშემცველი მტვერის შედგენილობა					
		ლითონური მანგანუმით			ოქსიდებზე გადაანგარიშებით		
		Mn	SiO ₂	H ₂ O	MnO ₂	SiO ₂	H ₂ O
1	საწყისი (ლაბორატორიის)	22,2-25,9	37-40	1,2-3,1	-	-	-
2	საწყისი (გასაშუალოებული)	24,0	39,0	2,0	-	-	-
3	ოქსიდებზე გადაანგარიშებით (გასაშუალოებული)	-	-	-	38,0	39,0	2,0

საკვლევი კომპოზიციის მეორე კომპონენტად აღებულ კოქსში ნახშირბადის შემცველობა დაახლოებით 84 მას. %-ს შეადგენდა. აღნიშნულის გათვალისწინებით, $MnO_2 + C \rightarrow Mn + CO_2$ აღდგენითი პროცესის ჩასატარებლად საჭიროა (რეაქციის მიხედვით) დაახლოებით 8 მას. % კოქსის გამოყენება 100 წ.წ. მტვერში წარმოდგენილი მანგანუმის დიოქსიდის აღსადგენად. სამრეწველო პირობებში საჭიროდ მიიჩნევენ ნახშირბადშემცველი ნაერთის 2-3 ჯერადი სიჭარბით შეყვანას. აღნიშნული პირობისათვის, 100 მას.% მტვერში არსებული მანგანუმის სრული აღდგენისათვის საჭირო გახდება დაახლოებით 25 მას.% კოქსის გამოყენება. აღნიშნულის

გათვალისწინებით საკვლევ ობიექტად ჩვენ მიერ შერჩეული იქნა DC შედგენილობა, რომელშიც ძირითადი კომპონენტები 80 მას.% მანგანუმშემცველი მტვერი და 20 მას.% კოქსის წვრილმანი იყო წარმოდგენილი (შედგენილობა DC-3):

საწარმოო მტვერი – 80 მას.% და კოქსის წვრილმანი – 20 მას.%.

DC-3 შედგენილობის კომპოზიციას შემკვრელად (დამხმარე მასალა) ემატებოდა თხევადი მინა (100%-ზე ზემოთ). ამ მიზნით გამოყენებული იქნა სამი ნაირსახეობის (G_{max} , G_{mid} და G_{min}) თხევადი მინა, რომელთა მახასიათებლები წარმოდგენილია მე-2 ცხრილში.

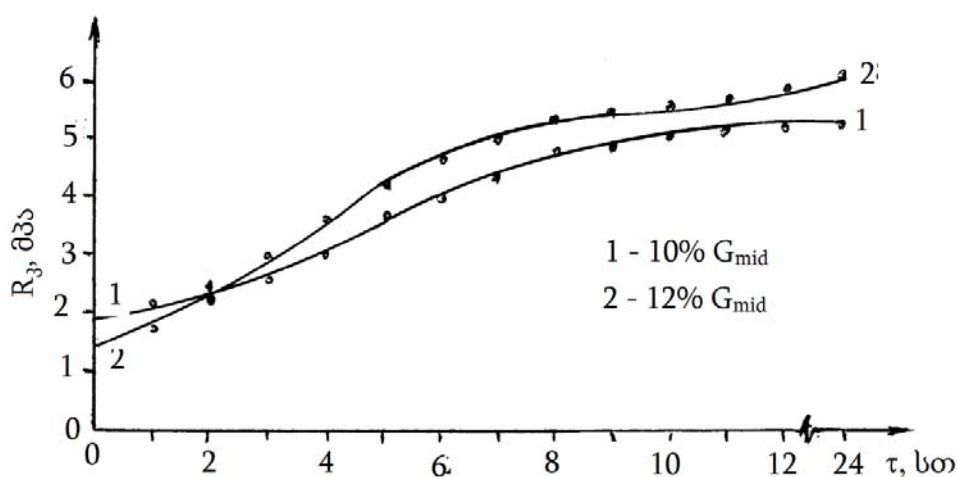
შემკვრელად გამოყენებული თხევადი მინის სახეობათა მახასიათებლები

N	პირობითი აღნიშვნა	სილიკატური მოდული (m)	თხევადი მინის კონცენტრაცია, %	თხევადი მინის განსაზღვრული სიმკვრივე (d), გ/სმ ³	თხევადი მინის შედგენილობა, %	
					SiO ₂ + Na ₂ O	H ₂ O
1	G _{max}	3,0	35,0	1,38	45,9	54,1
2	G _{mid}	3,0	27,5	1,25	34,3	65,7
3	G _{min}	3,0	20,0	1,15	22,2	77,8

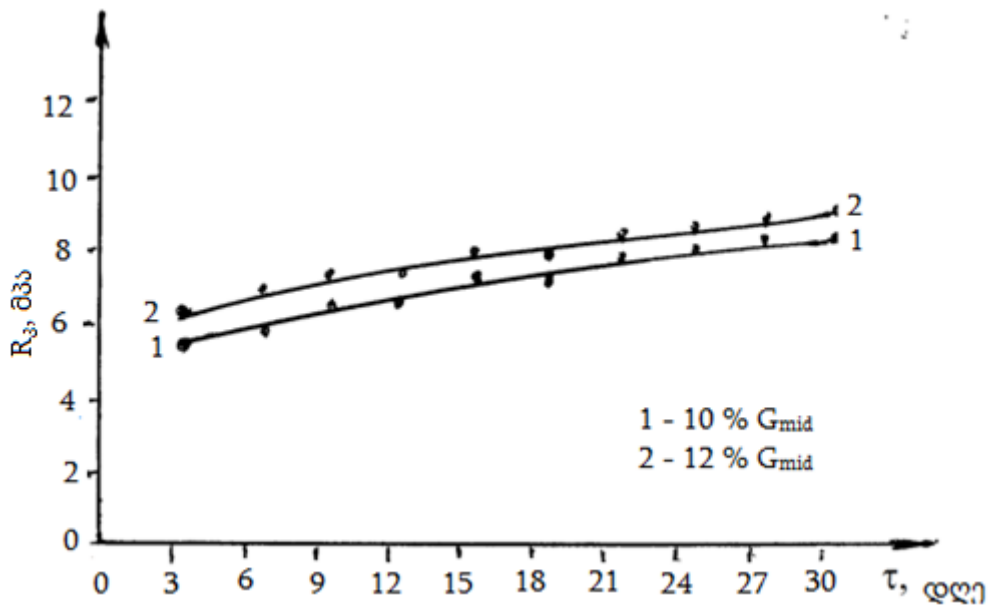
სამივე სახის თხევადი მინა ემატებოდა DC-3 შედგენილობის ნარევის 6, 8, 10, 12 და 16 მას. % ოდენობით და ასეთი მიდგომით სულ მომზადდა და დაიწნა 15 შედგენილობის კაზმის 2-2 საცდელი ნიმუში. ნიმუშების წნეხა განხორციელდა ლითონის ყალიბში ლაბორატორიული მექანიკური წნეხის გამოყენებით, როდესაც დაწნეხვის ძალა 16 მპა-ს შეადგენდა. კვლევის საწყის ეტაპზე ჩატარდა დაწნეხილი ნიმუშების პირობითი შეფასება, რაც ითვალისწინებდა დაყალიბებული ნიმუშების მიერ ფორმის შენარჩუნებას ყალიბიდან ამოღებისა და ყალიბიდან მოხსნის პროცესებში. ასევე შეფასდა ნიმუშების გარესაგნ-ნიმუშების ზედაპირის მდგომარეობა (ტენიანობა, ლაქწარმოქმნა). აღნიშნული მიმართულებით ჩატარებული კვლევით დადგინდა, რომ სასურველი მახასიათებლებით ხასათდება და სასურველ დონემდე უზრუნველყოფს დაწნეხვას DC-3 ნარევი, რომელშიც შემკვრელად G_{mid} თხევადი მინა იქნა გამოყენებული, მისი 10 – 12 მას. % დანამატად აღების პირობისათვის.

კვლევის საწყის ეტაპზე დაწნეხვით მიღებული ნიმუშების შეფასება განხორციელდა დაწნეხილი ნიმუშების ყალიბიდან ამოღებისთანავე - პრაქტიკულად მყისიერად. კვლევის შემდგომ ეტაპზე დადგინდა შრობის პირობების გავლენა დაწნეხვით მიღებული ნიმუშების სიმტკიცეზე, რომელიც ნიმუშებისთვის განისაზღვრა ელექტრომექანიკური წნეხის მეშვეობით. საცდელად მიღებული იქნა ორი შედგენილობის (DC-3+10% G_{mid} და DC-3+12% G_{mid}) და 16 მპა-ლი წნეხით დაწნეხილი ნიმუშები, რომლებისთვისაც შერჩეული იქნა შრობის ორი ვარიანტი: ოთახის ტემპერატურაზე სხვადასხვა ხანგრძლივობით დაყოვნება (ვარიანტი A) და სხვადასხვა ტემპერატურაზე იდენტური ხანგრძლივობით დაყოვნება (ვარიანტი B).

ვარიანტი A-ს შემთხვევაში, ნიმუშების დაყოვნების მოკლევადიანი პერიოდი 1 დღეს, ხოლო გრძელვადიანი პერიოდი 30 დღეს შეადგენდა. ორივე შემთხვევისათვის, შრობის ხანგრძლივობის გავლენა ნიმუშების მექანიკურ სიმტკიცეზე (R_კ) წარმოდგენილია 1-ლ და მე-2 ნახაზზე.



ნახ. 1. დაწნეხილი ნიმუშების ბუნებრივ პირობებში (ოთახის ტემპერატურაზე) შრობის ხანგრძლივობის გავლენა მათ მექანიკურ სიმტკიცეზე



ნახ. 2. ბუნებრივ პირობებში მრავალდღიანი შრობის ხანგრძლივობის გავლენა ბრიკეტის მექანიკურ სიმტკიცეზე

ვარიანტი A-ს შემთხვევაში, ბუნებრივი შრობის 12 საათიანი პერიოდისათვის, დაყოვნების ბიჯი შეადგენდა 1 სთ-ს, ხოლო შემდგომში გამოცდა უკვე დაყალიბებიდან 24 საათის შემდეგ განხორციელდა (ნახ. 1). შრობის პირობებში ისევ ბუნებრივი ნიმუშებს, საბოლოო გამოცდა ჩაუტარდათ 30 დღის თავზე, როდესაც დაყოვნების შუალედური ბიჯი 3 დღეს შეადგენდა (ნახ. 2).

ორივე საცდელი შედეგნილობის ნიმუშებისათვის (შედეგნილობა DC-3 + 10 % Gmid და DC-3+12% Gmid) კუმშვაზე სიმტკიცის (R₃) მზარდი ზრდა ფიქსირდება 7-8 საათიანი დაყოვნების შემთხვევაში. შრობის ხანგრძლივობა 24 სთ-მდე ნაკლებად ახდენს სიმტკიცეზე ზეგავლენას. ამავე დროს, ორივე შედეგნილობის ნიმუშისთვის სიმტკიცეთა ცვლის თავისებურება დაფიქსრდა: 12 მას. % Gmid-ის შემცველი ნიმუში სამსაათამდე ჰაერზე დაყოვნების პირობისთვის უფრო ნაკლებ სიმტკიცეს ავლენს, მაგრამ შემდგომ თავისი სიმტკიცის მაჩვენებლებით ის აღმატება 10 მას. % Gmid-ის შემცველ ნიმუშებს. ნიმუშების სიმტკიცეთა შორის სხვაობა, განსაკუთრებით შრობის 8-9 საათიან ინტერვალზე მოდის (ნახ. 1).

რაც შეეხება გრძელვადიან (30 დღე) შრობას, ამ შემთხვევაშიც გამოიკვეთა სიმტკიცის ზრდა, რაც 15 დღიანი დაყოვნების პირობებში 40 - 70%-ს შეადგენს: N1 ნიმუშისათვის R₃-ს მნიშვნელობა 5,2-დან 7,0 მპა-მდე, ხოლო N2 ნიმუშისათვის R₃ 5,9-დან 7,8 მპა-მდე იზრდება. 15 დღიანი დაყოვნების შემდეგ სიმტკიცე უმნიშვნელოდ იზრდება, მაგრამ ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვაზე 8 მპა-ს აღმატება (ნახ. 2).

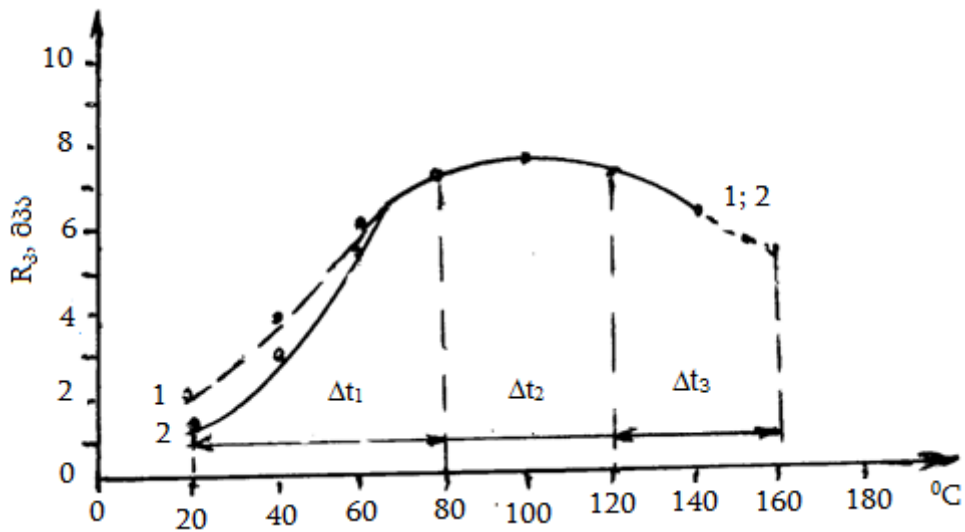
საწარმოო პირობებიდან (ბრიკეტების დნობაზე დაჩქარებულად მიწოდება) გამომდინარე, კვლევა კიდევ ერთი მიმართულებით ჩატარდა - ნიმუშები ხელოვნურად იქნა გამოშრალი (ვარიანტი B). ამისათვის გამოყენებული იქნა საშრობი კარადა, ხოლო შრობა წარიმართა 40 - 160°C ინტერვალში. საშრობ კარადაში გამოშრალი ნიმუშები ცივდებოდა ოთახის ტემპერატურამდე, რის შემდეგ ხდებოდა მათი მექანიკური სიმტკიცის დადგენა, რაც მექანიკური დაწნეხვით განხორციელდა.

დაყალიბებით მიღებული ნიმუშების (10 და 12 მას. % Gmid შემცველი) შრობა ჩატარდა 20°C-ანი ბიჯით (ე.ი. 40, 60, 80, 100, 120, 140 და 160°C-ზე), როდესაც შრობის ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო 20-25 წუთს შეადგენდა. კვლევის შედეგად მიღებული მასალა გრაფიკის სახით (დამოკიდებულება „R₃ - t“) წარმოდგენილია ნახ. 3-ზე. მიღებული ექსპერიმენტული მასალა გვიჩვენებს, რომ შრობის პროცესის ტემპერატურა მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს მიღებული ნიმუშების სიმტკიცეზე და ამ მხრივ სამი ტემპერატურული (Δt₁, Δt₂ და Δt₃) ინტერვალის შეიძლება გამოიყოს. ხელოვნური შრობის ტემპერატურულ ინტერვალში (Δt₁) იწვევს კუმშვაზე სიმტკიცის (R₃) მკვეთრ ზრდას (დაახლოებით 4-ფერადს). 80°C-ის ზემოთ, უკვე 80-120°C ტემპერატურულ ინტერვალში (Δt₂) სიმტკიცეს. სიდიდეები ნაკლებად იცვლება - პრაქტიკულად სტაბილურდება. ტემპერატურის შემდგომი ზრდის შედეგად ადგილი აქვს ნიმუშების სიმტკიცეთა კლებას. მიღებული შედეგი უნდა უკავშირდებოდეს

დაწნეხილი ნიმუშების შედგენილობაში წარმოდგენილ თხევად მინას. თხევადი მინა წარმოადგენს ჰიდროსილიკატს და ამავე დროს თხევად მდგომარეობაში და მას ტემპერატურის ზეგავლენით შეუძლია დაკარგოს ჰიდრატული წყალი [5].

თხევადი მინის მიერ წყლის დაკარგვის პროცესი, ნიმუშის ხელოვნური შრობის პირობებში, შესაძლოა დაჩქარებულად წარიმართოს და შეკვრისათვის საჭირო დროის უკმარისობის გამო შეასუსტოს თხევადი მინის (როგორც შემკვრელის) უნარი ერთმანეთს დააკავშიროს კაზმის განსხვავებული ფრაქციულობის კომპონენტები (მტვერი და კოქსის წვრილმანი). აღნიშნულის შესაძლებლობაზე ის გარემოება

მიუთითებს, რომ ხელოვნურად ჩატარებული ტემპერატურული შრობის პირობებში მიღებული ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვაზე უფრო დაბალია და 7 მპა-ს არ აღემატება (ნახ. 3), როდესაც ბუნებრივ პირობებში გამომშრალი ნიმუშების სიმტკიცე კუმშვაზე უფრო მაღალია - 8 მპა-ზე მეტია (ნახ. 3). ექსპერიმენტის შედეგებით კიდევ ერთი თავისებურების დაფიქსირება გახდა შესაძლებელი: თუ სხვადასხვა რაოდენობით თხევადი მინის (G_{mid}) შემცველი ნიმუშებისათვის 80°C -მდე აშკარად ვლინდება მათ სიმტკიცეებს შორის სხვაობა, უფრო მაღალ ტემპერატურებზე ($80-160^{\circ}\text{C}$) R_3 - მნიშვნელობათა სრული თანხვედრას აქვს ადგილი (ნახ. 3).



ნახ. 3. შრობის ტემპერატურის გავლენა ნიმუშების მექანიკურ სიმტკიცეზე

3. დასკვნა

• შესწავლილია „მანგანუმშემცველი მტვერი - კოქსის წვრილმანი-შემკვრელი“ კომპოზიციაში, შემკვრელად თხევადი მინის გამოყენების შემთხვევაში, მექანიკურად მტკიცე ბრიკეტების მიღების შესაძლებლობა;

• მექანიკურად მდგრადი ბრიკეტების მიღებას უზრუნველყოფს $1,250 \text{ გ/სმ}^3$ სიმკვრივისა და 3 მოდულის თხევადი მინა, მის შემკვრელად 10 – 12 მას. % ოდენობით კაზმის („მტვერი - კოქსი“ 100 წ.ნ. ზემოთ შეტანის შემთხვევაში);

• მექანიკურად მდგრადი ბრიკეტები (სიმტკიცე კუმშვაზე არა ნაკლები 5 მპა) მიიღება ოპტიმალური ნარევიდან მათი არანაკლებ 16 მპა წნევით დაწნეხისა და შემდგომი შრობის განხორციელებით;

• „მტვერი - კოქსი - თხევადი მინა“ კომპოზიციაში ბრიკეტირებით მიღებული ნიმუშების მექანიკური სიმტკიცეთა ზრდას უზრუნველყოფს მათი ხელოვნური (80°C -მდე 20–25 წთ) ან ბუნებრივი (ოთახის ტემპერატურა, 7–8 საათი) შრობა;

• შემკვრელად გარკვეული კონცენტრაციის თხევადი მინის გამოყენებით შესაძლებელია მტვერის მასალების დაბრიკეტება და ტექნოგენური მასალების მიღება.

ლიტერატურა

1. <https://www.google.ge/1c1KYPBenGe673GE7398q>. Марганец. Суточная норма. X8 ved=Oah...
2. <https://cio.ru/daily-intake-of-minerals-trace-elements>. Суточная норма минералов и микроэлементов.

3. D. Mergier, M. Baldwin. „Early Manifestations of Manganese Neurotoxicity in Humans: An Update „Environmental Research, Symposium Paper. V/ 73? Issues 1-2, April 1997, pp/92-100.
4. <http://www.Nrcresearchpress.com/doi/abc/10.1139/y34-171.VxXouP1971U>
5. Джавахадзе Р.Д., Чигогидзе Х.Г., Хатишвили Н.С., Кверенчиладзе Р.Г., Липонова Е.С., Гваберидзе Д.Т. Тенденции и динамика профессиональной заболеваемости на предприятиях марганцевой промышленности Грузии. Экология и медицина труда. www.rusnauka.com/16-ADEN-2011/medicine/9-88640 doc/htm.
6. Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло. М., Промстройиздат. 443с.
7. Рывкин Н.Ю., Гремин А.Я., Антвин Е.М. и др. Брикетирование мелкозернистых и тонкодисперсных материалов со связующим. Кокс и химия, 2000, т. 10, с. 36-44.
8. ზ. სიმონგულაშვილი, ი. მაისურაძე, ბ. მაისურაძე. ფეროშენადნობთა წარმოების ნარჩენებიდან კომპლექსური ბრიკეტების მიღების ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, 2013, №3(67), გვ. 47-51.

UDC 542.544.553

OBTAINING OF TECHNOGENIC MATERIAL ON THE BASIS OF MANGANESE-CONTAINING INDUSTRIAL DUST

T. Cheishvili, N. Gabriadze

Georgian Technical University, Department of Chemical and Biological Technologies, Str Costava 69. 0175, Tbilisi. Georgia

E-mail: t.cheishvili@gtu.ge

Resume: Goal. The goal of the work was the establishment of possibility of agglomeration by briquetting of compositions prepared on the basis of binary mixtures (industrial manganese-containing dust – coke fines) and liquid glass used as a binder; study of impact of liquid glass concentration, quantity and briquetting drying conditions on the briquetting process and briquettes' quality.

Method. Composing of three-component (dust – coke – liquid glass) mixtures and their pressing in the moulds at 16 MPa pressure; establishment of impact of natural or artificial (40-160°C) drying conditions on the mechanical strength of obtained briquette samples, with determination of their mechanical compression strength.

Results. The impact of liquid glass concentration and quantity on the moulding ability and strength of the samples obtained through briquetting was established. Addition of 10-12 mass% of liquid glass (density 1,25 g/sm³) as a binder and pressing at no less than 16 MPa are considered as the optimum conditions of obtaining the mechanically resistive samples. The mechanical stability of samples is determined by drying conditions – briquettes's drying is recommended at room temperature no less than for 8 hours or at 100-120°C for 20-25 minutes.

Conclusions. It is possible to obtain mechanically resistive briquettes in manganese-containing dust – coke fines – liquid glass composition. The mentioned will be achieved through using of the liquid glass with definite module and density as a binder, under conditions of carrying-out the briquettes' drying according to established parameters.

Key words: manganese-containing dust; coke; liquid glass; bruquette; binder's density; pressing; drying; mechanical strength.

უაკ 553.548.3

თიხოვანი ნედლეულის მინერალების თერმომოდიფიცირება და პრაქტიკული

გამოყენება

თ. ჭეიშვილი¹, ა. სხვიტარიძე²

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

²საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, არქიტექტურის, ურბანისტიკისა და დიზაინის ფაკულტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: t.cheishvili@gtu.ge

სამუშაო შესრულებულია შოთა რუსთაველის სახელობის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით. გრანტი AR – 18 – 343 „სტიქიისადმი ზემდგრადი და ენერგოეფექტური ბეტონების შემკვრე-შემავსებლად, ფორიან ნაკეთობებად საქართველოს თიხოვანი ქანების მოდიფიცირება“.

რეზიუმე: მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა ბუნებრივ თიხოვან ქანებში წარმოდგენილი მინერალების თერმული დამუშავებით მოდიფიცირების შესაძლებლობა-შეფასება, რომელიც განსაზღვრავს ქანებიდან ფოროვანი მასალის მიღებას, სხვადასხვა სახეობის თიხოვანი ქანების ქიმიური შედგენილობისა და იმ აუცილებელი პირობების განხილვა, რომლებიც უზრუნველყოფენ სამრეწველო დანიშნულების ფოროვანი მასალის მიღებას.

მეთოდი. თიხოვანი ქანების ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობის ანალიზი, აფუებისადმი მიდრეკილების გათვლითი მიდგომები, ადგილობრივი თიხაფიქალების მაღალტემპერატურული აფუება და თვისებების შესწავლა. მიღებული ფოროვანი მასალებისათვის სიმტკიცის, წყალშთანთქმის და ნაყარი მოცულობითი წონების დადგენა.

შედეგი. დადგინდა, რომ თერმომოდიფიცირებით შესაძლებელია სხვადასხვა სპეციფიკური მინერალოგიური და ქიმიური შედგენილობის თიხოვანი ქანების გარდაქმნა ფოროვან მასალაში. აღნიშნული პრაქტიკულად განხორციელდა ადგილობრივი თიხაფიქალის თერმოაფუებით ფოროვანი მასალის მიღებით.

დასკვნა. გარკვეული ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობის თიხოვანი ქანების, მათ შორის ადგილობრივი, თერმომოდიფიცირებით შესაძლებელია მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე და სამრეწველო დანიშნულების ფოროვანი მასალების მიღება.

საკვანძო სიტყვები: თიხოვანი ნედლეული; მინერალები; შედგენილობა; მოდიფიცირება; აფუება; თვისებები.

1. შესავალი

კარგად არის ცნობილი, რომ ფართოდ გამოყენებადი თიხოვანი ნედლეული ძირითადად პოლიმინერალური შედგენილობისა, მაგრამ მათში შემავალი თიხოვანი მინერალების დღეისათვის საყოველთაოდ აღიარებული კლასიფიკაცია არ არსებობს. აღნიშნულის მიზეზს წარმოადგენს მინერალების განსხვავებული სტრუქტურები და შესაბამისად ქიმიური შედგენილობები, რომელთა შეჯერებული ანალიზი რთული აღმოჩნდა. ამიტომ ძირითადად მიმართავენ თიხოვანი მინერალების აღწერის პოლინგის მიერ ჩამოყალიბებულ მიდგომებს [1, 2].

კრისტალურ თიხოვან მინერალებს სტრუქტურის ფირფიტოვანი შიდა მოწყობა ახასიათებს. ცალკეული ფირფიტა წარმოიქმნება ორი სახის შრის შერწყმით: ტეტრაედული (აგებულია $[\text{SiO}_4]$ ტეტრაედებით) და ოქტაედრული (აგებულია $[\text{AlO}_6]$ ოქტაედრებით), ანუ ოთხ- და ექვსკოორდინირებული სტრუქტურული (კატიონ-ჟანგბადური) ერთეულებით. მათი შეუღლება შემდეგი სახითაა შესაძლებელი:

- ერთი ტეტრაედული და ერთი ოქტაედრული (დიფორმა);
- ორი ტეტრაედული და მათ შორის ოქტაედრული (ტრიფორმა);
- ორი ტეტრაედრული და მათ შორის ორი ოქტაედრული (ტეტრაფორმა).

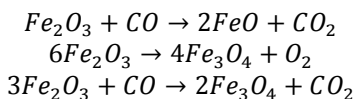
წარმოდგენილი შეუღლებები წარმოქმნიან მინერალების ელემენტარულ პაკეტს, ხოლო მათი მრავალრიცხოვნება - ელემენტალურ ფირფიტას. დიფორმული მოწყობილობისაა კაოლინიტი და მისი ანალოგები, ტრიფორმული აღნაგობა ახასიათებს ქარსებს, ჰიდროქარსებს, ვერმიკულიტს, ტალკს და სხვ. წყვილად შეუღლებული შრეებისაგან წარმოქმნილი სტრუქტურა (ტეტრაფორმა) ძირითადად

ქლორიტებისათვის არის დამახასიათებელი, მაგრამ, სხვა უფრო იშვიათად გავრცელებულ თიხოვან მინერალებშიც გვხვდება.

როგორც ტეტრაედრულ, ასევე ოქტაედრულ შრეებში ადგილი აქვს პოლიმორფულ ჩანაცვლებებს, მაგ., კაოლინიტის ოქტაედრულ შრეში შესაძლებელია ალუმინის იონის რკინის იონით ნაწილობრივი ჩანაცვლება. მაგრამ იზომორფიზმი ძალზე ხშირად ტრიმორფულ (ქარსულ) სტრუქტურებში იჩენს თავს, როდესაც ოქტაედრული სილიციუმის იონის ჩანაცვლება ხდება ალუმინის იონით, ხოლო ოქტაედრულ შრეში უკვე ალუმინის იონის ჩანაცვლება შესაძლებელი რკინის, მაგნიუმის, თუთიის და სხვა იონებით.

თიხამინერალების სტრუქტურულ მოწყობაში განსაკუთრებული ადგილი ენიჭება ჰიდროქსილურ ჯგუფებს. განასხვავებენ პაკეტშორის წყალს და სტრუქტურულ (OH)-ჯგუფებს. ეს უკანასკნელი ძირითად თიხაწარმომქმნელ მინერალების ფორმულაშიც აისახება: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (კაოლინიტი), $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \cdot nH_2O$ (მონტმორილონიტი) ან $K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 2H_2O$ (ილიტი/ჰიდროქარსი). არსებული მონაცემების თანახმად მინერალებში წარმოდგენილი კრისტალიზებული წყალი 500-800°C ინტერვალში იკარგება [1].

ჰიდროქსილური ანიონების გარდა, მნიშვნელოვანია თიხოვან მინერალებში წარმოდგენილი, ძირითადად იზომორფულად ჩანაცვლებული რკინის არსებობა. კარგადაა ცნობილი, რომ რკინის იონების სახეობაზე დამოკიდებული თიხის დნობადობის ხასიათი, რადგან Fe^{2+} მაღლობელია, ხოლო Fe^{3+} -თიხის სტრუქტურაშია ჩაბმული და მისი გარდაქმნა მიზნობრივად შექმნილ პირობებთანაა უშუალო კავშირში. აღნიშნული განსაკუთრებით აქტუალურია თიხების აფუებისას, როდესაც საჭირო ხდება აღმდგენი გარემოს შექმნა და Fe^{3+} -ს მაღლობელ Fe^{2+} -ში ტრანსფორმაცია, თიხების მაღალტემპერატურული დესტრუქციის პირობებში ($Fe^{2+}O$ ან შპინელისებრი $Fe^{2+}[Fe_2^{3+}O_4]$ წარმოქმნით):



გამოყოფილი აირები ხელს უწყობს თიხოვანი მინერალების პიროპლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლას და მომდევნო აფუებას.

თიხოვანი მინერალების მრავალფეროვნება აისახება მათი შემცველი თიხოვანი ნედლეულის ქიმიურ შედგენილობაზე და თვისებებზე, რაც ნედლეულის პრაქტიკულ ღირებულებას განსაზღვრავს. მაგალითად, თიხოვანი ქანების პლასტიკურობა და

ცეცხლმედეგობა მნიშვნელოვანია, რადგან მაღალი ცეცხლგამძლეობით, ძნელდნობადობით გამორჩეული, ან პირიქით, ადვილდნობადი ნედლეულად გამოყენების შესაძლებლობას ქმნის. ჰიდროქარსული თიხების გამოყენება შესაძლებელია ტლანქი კერამიკული ნაწარმის (სამშენებლო აგური, კრამიტი), საკანალიზაციო მილების, მუჟამედეგი ნაწარმის მისაღებად. ჰიდროქარსული შედგენილობის ნედლეული ასევე ფართოდ გამოიყენება ცემენტის წარმოებაში და ფოროვანი მასალების მისაღებად. კაოლინიტური და მონტმორილონიტურმა თიხებმა გამოყენება ჰპოვა კერამიკულ (ფაიფურ-ქაშანურ), ცეცხლგამძლეების, ქაღალდის, საპნის, რეზინის, კოსმეტიკურ და მრავალ სხვა დარგებში.

ყურადღებას იქცევს ის გარემოებაც, რომ ყველა სახეობის თიხოვანი ნედლეული მეტ-ნაკლებად ავლენს აფუების უნარს და ე.წ. ფოროვანი მასალების მიღების შესაძლებლობას იძლევა. თერმული დამუშავების გზით შესაძლებელია ფოროვანი, საუკეთესო სითბოიზოლაციური მასალების მიღება და ამისათვის ხშირად სამი სახეობის თიხოვან ნედლეულს გამოიყენებენ: თიხებს, არგილიტებს და თიხაფიქალებს [3, 4].

ფოროვან მასალათა მიღების მიმართულებით ჩვენ მიერ ჩატარდა მოკვლევითი და ექსპერიმენტული ხასიათის სამუშაოები.

2. ძირითადი ნაწილი

როგორც აღინიშნა არაორგანული ფოროვანი მასალების მიღების შესაძლებლობას იძლევა: თიხები, არგილიტები და თიხაფიქლები.

თავისი წარმოშობით თიხები არის თიხოვანი დანალექით წარმოქმნილი ლამი, რომელშიც წარმოდგენილია თიხოვანი მინერალების ნაწილაკები. თიხების ძირითად მახასიათებელს ნიშანი არის მათი პლასტიკურობა - უნარი დასველებისას (წყლით ადუღაბება) წარმოქმნას ბლანტი პლასტიკური მასა, რომელიც წყლის სიჭარბისას ჯერ ნახევართხევად, ხოლო შემდგომ თხევად სუსპენზიაში გადადის.

თიხებიდან განსხვავებით, არგილიტები წარმოადგენენ მყარ, ქვისმაგვარ თიხოვან ქანებს, რომლებიც არ ლბება (იჯირჯვება) წყალში და არაპლასტიკურობით ხასიათდება. პოლიმინერალური ბუნებრივი თიხებიდან განსხვავებით, არგილიტების ჰიდროქარსული შედგენილობა მეტ-ნაკლებად გაჯერებულია კაჟმიწით, რკინის ჰიდროქსიდებით, კალციტით და სხვა ნაერთებით.

ფორიანი მასალების მისაღებად გამოყენებული თიხოვანი
ნედლეულის ქიმიური შედგენილობა

N	ნედლეულის სახეობა	ქიმიური შედგენილობა, მას. %							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO+MgO	Na ₂ O + K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	ხ.დ.
1	თიხა	59-69	7-20	3-10	1-6	1-4	1-მდე	1-მდე	4-10
2	არაგილიტი	49-59	17-25	5-10	1-6	2-4	2-მდე	1-მდე	5-8
3	თიხაფიქალი	50-61	14-24	4-9	1-3	5-მდე	1-მდე	1-მდე	6-12

თიხოვანი ნედლეულის აფუების პირობები და
ფოროვან მასალათა თვისებები

N	თიხოვანი ნედლეული	დნობის ტემპერატურა, °C	აფუების ტემპერატურა, °C	აფუების ინტერვ. °C	მოც. წონა ნატეხში, გ/სმ ³	ნაყარი მოც. წონა, კგ/მ ³	მექანიკური სიმტკიცე, კგ/სმ ²	წყალშთანთქმა, %
1	თიხა*	1050-1220	1080-1200	100-200	0,2-0,9	300-600	20-60	1-6
2	არაგილიტი*	1300-1360	1150-1250	60-160	0,3-1,1	450-590	30-75	7-16
3	თიხაფიქალი	1150-1450	1100-1250	50-80	0,5-0,9	350-800	30-70	2-4

* - საჭიროებს 2-3 მას.% თხევადი ორგანული ნივთიერების ან 6-8 მას.% ქვანახშირის წვრილმანის დამატებას.

თიხაფიქალების წარმოქმნის საწინდარს არგილიტები წარმოადგენენ, რომელთა გარდაქმნით ჩამოყალიბდა მკვრივი, მყიფე და „მშრალი“ (მათი წყალშთანთქმა 1-2%-ს არ აღემატება) ქანები. თიხაფიქალის შედგენილობაში წარმოდგენილია იგივე ჰიდროქარსები, რომლებიც არგილიტებისთვისაა დამახასიათებელი და ასევე ახალწარმონაქმნი (ქლორიტი, სერიციტი) მინერალები.

სამივე სახის თიხოვანი ნედლეულის ფართო სამრეწველო გამოყენების პრაქტიკა არსებობს. კერძოდ, ჩვენთვის საინტერესო მიმართულებით მათგან თერმოაფუებით ფოროვანი მასალების მიღება შესაძლებელი და ამისთვის ძირითადად გამოიყენება გარკვეული ქიმიური შედგენილობის თიხები, არგილიტები და თიხაფიქალები [5, 6].

მონაცემები, რომლებიც 1 და 2 ცხრილშია წარმოდგენილი, სხვადასხვა ქვეყნებში და წარმოებაში მიღებული პრაქტიკული შედეგების საფუძველზეა შედგენილი. ცხრ.1-ში წარმოდგენილია თიხის, არგილიტის და თიხაფიქალის ის გასაშუალებული

შედგენილობები (ქვედა და ზედა ზღვრების ჩვენებით), რომლებიც აღნიშნულ ნედლეულიდან თერმოაფუებით ფოროვანი მასალის მიღებას უზრუნველყოფს.

თიხოვანი ქანების აფუებისადმი მიდრეკილების ზოგადი შეფასება საშუალებას იძლევა შემოთავაზებული ფორმულებით ჩატარებული გათვლები, რომლებიც წარმოდგენილია შესაბამისი ლიტერატურის არაორგანულ მასალათა აფუებისადმი მიძღვნილ თავებში [6, 7].

კერძოდ, მიიჩნევენ რომ აფუებისადმი მიდრეკილი თიხოვან ქანებში, მათ შედგენილობაში შემავალ ოქსიდებს შორის, დაცული უნდა იყოს შემდეგი თანაფარდობები:

$$\frac{\% \text{SiO}_2 \text{ თავისუფალი}}{\% \text{CaO} + \% \text{MgO} + \% \text{Fe}_2\text{O}_3 + \% \text{Na}_2\text{O} + \% \text{K}_2\text{O}} < 4$$

და

$$\frac{\% \text{Fe}_2\text{O}_3 + \% \text{MgO} + \% \text{Na}_2\text{O} + \% \text{K}_2\text{O}}{\% \text{CaO}} > 4$$

ამასთან, რაც ნაკლებია პირველი ფარდობის სიდიდე, მით უფრო ნაკლები მოცულობითი წონის ფოროვანი მასალა მიიღება.

არსებული შეხედულებანი ჩვენს მიერ პრაქტიკულად იქნა შეფასებული ყვარლის ფიქალთან

მიმართებაში, რომლისათვის დადგენილი იქნა აფუების პირობები, მიღებული ფოროვანი მასალის წამყვანი თვისებები. ამ მიმართულებით ჩატარებული ლაბორატორიული კვლევის ძირითადი შედეგები მოყვანილია მე-3 ცხრილში.

ცხრილი 3

ყვარლის თიხაფიქალიდან მიღებული ფოროვანი მასალის მახასიათებელი თვისებები

N	თ ვ ი ს ე ბ ა	განზ. ერთ	მნიშვნელობა
1	აფუების ტემპერატურა	°C	1150 – 1250
2	აფუების ხანგრძლივობა	წთ	10 - 15
3	სიმტკიცე მარკის მიხედვით (ნაყარი მოცულობითი წონა, კგ/მ ³) 300 400 600	მპა	2,2 4,3 10,1
4	ნაყარი მოცულობითი წონა	კგ/მ ³	200 – 1200
5	წყალშთანთქმა	%	10 - 20

ჩატარებული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ რთული მინერალოგიური შედგენილობის ყვარლის ფიქლის თერმული დამუშავებით შესაძლებელია ფოროვანი მასალის მიღება. მასალის მიღების ოპტიმალური პარამეტრებია: ტემპერატურა 1150 - 1250°C, ხოლო აღნიშნულ ტემპერატურებზე ასაფუებელი მასალის დაყოვნების დრო 10 – 15 წთ-ს შეადგენს. დადგინდა მიღებული ფოროვანი მასალის გრანულომეტრიის გავლენა წყალშთანთქმის უნარზე (მაქსიმალური წყალშთანთქმა 20%) და სიმტკიცეზე (კუმშვაზე სიმტკიცე: 2,5-დან 15,4 მპა-მდე). დადგინდა, რომ მარცვლების ზომების ზრდა ამცირებს ორივე მახასიათებლის მნიშვნელობებს.

3. დასკვნა

განხილულია თიხოვან ნედლეულის სახეობა და მათში შემავალი მინერალების სტრუქტურული მოწყობის თავისებურებანი. ნაჩვენებია, რომ სტრუქტურათა მრავალსახეობა მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს თიხოვანი ბუნების მასალების გამოყენებას.

მოყვანილია თიხების, არგილიტების და თიხაფიქალების იმ სახეობათა ქიმიური შედგენილობა, რომლებიც უზრუნველყოფენ თერმოდამუშავებით ფოროვანი (კერამიტი) მასალების მიღებას. ნაჩვენებია ის პირობები (შედგენილობა, თერმოდამუშავების ტემპერატურა და სხვ.) და თვისებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ფოროვანი მასალების მიღებას და ხარისხს.

ადგილობრივი თიხაფიქალების შესწავლით დადგენილია, რომ მათი თერმოდამუშავებით (1150–1250°C) შესაძლებელია მაღალი მექანიკური სიმტკიცით გამორჩეული დახურულფორიანი სხვადასხვა ნაყარი მოცულობითი წონის (200–1200 კგ/მ³) ფოროვანი მასალების მიღება.

ლიტერატურა

1. <http://ctcmetar.ru/litologiya/9024-osnovnye-gruppy-glinistyh-mineralov.html>. Основные группы глинистых минералов.
2. Бобкова Н.М., Дятлова Е.М., Куницкая Т.С. Общая технология силикатов, Высшая школа, 1987.
3. <http://ctcmetar.ru/litologiya/9025-gliny-argillity-glinisty-slancy.html>. Глины, аргиллиты и глинистые сланцы.
4. <https://studwood.ru/1201485/geografiya/argillity-glinisty-slantsy>. Аргиллиты и глинистые сланцы.
5. Солонинко И.С., Жуков А.В., Каленов Е.М. и др. Керамзитовые глины и глинистые сланцы Украины. Киев, Бугівельник, 1991 г.
6. www.fasgeo.ru/novye-i-neperechislennye/teploacionnyie-maferialy.html/ Теплоизоляционные и акустические материалы.
7. Будников П.П., Бережной А.С., Булавин И.А. и др. Технология керамики и огнеупоров. М., Стройиздат, 1962, с. 80.

UDC 553.548.3

THERMAL MODIFYING AND PRACTICAL APPLICATION OF ARGILLOUS RAW MATERIAL MINERALS

T. Cheishvili¹, A. Skhvitaridze²

¹ Georgian Technical University, Department of Chemical and Biological Technologies, Str Costava 69. 0175, Tbilisi. Georgia,

² Georgian Technical University, Faculty of Architecture, Urban Planing and Desidg, Str Costava 77. 0175, Tbilisi. Georgia

E-mail: t.cheishvili@gtu.ge

Resume: Goal. The goal of the work was to estimate the possibility of modifying by thermal processing of minerals presented in natural argillaceous rocks that determines porous material obtaining from rocks; consideration of chemical composition of different kinds of argillaceous rocks and the necessary conditions securing the obtaining of industrial-purpose porous materials.

Method. Analysis of chemical and mineralogical composition of argillaceous rocks, computational approaches to tendency towards swelling, high-temperature swelling and property study of local argillaceous slates, establishment of strength, water absorption and volume weight of obtained porous materials.

Results. It was established that there is a possibility to transform argillaceous rocks with different specific mineralogical and chemical compositions into porous materials through thermal modifying. It was materialized into practice through thermal swelling of local argillaceous slates with obtaining of porous materials.

Conclusions. Thermal modifying of argillaceous rocks with definite chemical and mineralogical composition, including local ones makes it possible to obtain industrial-purpose porous materials with high operational properties.

Key words: argillous raw materials; minerals; composition; modifying; swelling; properties.

უაკ 541.183

ჰომოგენიზებული ხილ-ბოსტნეულის პროდუქციაში ნიტრატების დროში ცვლილება ქლოროფილისა და კაროტინის ზეგავლენით

ნ. ჭალიძე, ე. შენგელია

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

E-mail: nona.chalidze@gmail.com

რეზიუმე: მიზანი. სხვადასხვა სახეობის ჰომოგენიზებულ ხილ-ბოსტნეულში ნიტრატების კონცენტრაციის დროში ცვლილების შესწავლა და ნიტრატების კონცენტრაციის ზრდაზე შემადგენელი ქლოროფილის გავლენის შეფასება საკვლევი ბოსტნეულის ნიმუშებში პოლიუჯერი ცხიმოვანი მჟავებისა და მძიმე ლითონების შემცველობის განსაზღვრა და მათი გავლენის შეფასება ნიტრატების კონცენტრაციის დროში ზრდაზე.

მეთოდი. იონომეტრული, ატომურ-აღსორბციული და ქრომატოგრაფიული ნიტრატების, მძიმე ლითონებისა და ცხიმოვანი მჟავების განსაზღვრა ხილ-ბოსტნეულის სხვადასხვა სახეობის ჰომოგენიზებულ ნიმუშებში.

შედეგი. დადგენილია, რომ ჰომოგენიზებული (ჰომოგენიზაცია სტანდარტის მიხედვით ნიმუშში ნიტრატების განსაზღვრის მოსამზადებელი ეტაპია) ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშების დაყოვნებისას მიმდინარეობს ნიტრატების კონცენტრაციის ცვლილება. ზოგიერთი ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში აღინიშნება ნიტრატების კონცენტრაციის ზრდა, ზოგში კი – შემცირება დენიტრიფიკაციის შედეგად. ნიტრატების ზრდას ჰომოგენიზებული ბოსტნეულის ნიმუშებში განაპირობებს ჟანგბადის აქტივიზებული ფორმები, რომლებიც დენიტრიფიკაციით წარმოქმნილ აზოტის ოქსიდებს ნიტრატებამდე ჟანგავს. ნიტრატების ინტენსიური ზრდა მიმდინარეობს მწვანე ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში (ავოკადო, მწვანე ლობიო, მწვანე ვაშლი), რადგან ქლოროფილი ჟანგბადის აქტივიზებული ფორმების წარმოქმნის გენერატორია. ყველაზე მეტი ინტენსივობით ნიტრატების ზრდა მიმდინარეობს ავოკადოს ნიმუშში, რომელიც ლიპიდების დიდ რაოდენობას შეიცავს. აქ ჟანგბადის აქტიური ფორმები იწვევს ლიპიდების ზეჟანგურ ჟანგვას უარყოფითი რადიკალების წარმოქმნით. დადგენილია, რომ ავოკადოს ნიმუშში ყველაზე მაღალია პოლივალენტური ლითონების შემცველობა, რომლებსაც ლიპიდების ზეჟანგური ჟანგვის მნიშვნელოვანი დაჩქარების უნარი აქვს. ნიტრატების ზრდა თითქმის არ აღინიშნება ვაშლატამას, გოგრასა და ხურმის ნიმუ-

შებში, სადაც დაფიქსირდა ლითონების მინიმალური შემცველობა.

დასკვნა. ნიტრატების კონცენტრაციის დროში განსაკუთრებული ზრდა შეინიშნება ქლოროფილისა და პოლიუჯერი ცხიმოვანი მჟავების შემცველ ჰომოგენიზებული მწვანე ხილ-ბოსტნეულის დაყოვნებულ ნიმუშებში და დაკავშირებულია მძიმე ლითონების რაოდენობრივ და სახეობრივ შემცველობასთან. კაროტინის შემცველ ხილ-ბოსტნეულის ჰომოგენიზებულ ნიმუშებში ნიტრატების კონცენტრაციის ზრდა არ შეინიშნება.

ნიტრატების კონცენტრაცია დამოკიდებულია იმაზე, თუ ნიმუშის ჰომოგენიზაციიდან დროის რა მონაკვეთში მოხდება მათი განსაზღვრა იონომეტრული ან სხვა მეთოდით.

საკვანძო სიტყვები: ნიტრატები; პოლიუჯერი ცხიმოვანი მჟავები; მძიმე ლითონები; ქლოროფილი; მწვანე ბოსტნეული; ზეჟანგები; ჟანგბადის აქტივიზირებული ფორმები; კაროტინი; იონომეტრული მეთოდი; ატომურ-აღსორბციული სპექტროსკოპიის მეთოდი.

1. შესავალი

ნიტრატები (აზოტმჟავას მარილები) ნებისმიერი ცოცხალი ცხოველური თუ მცენარეული ორგანიზმის აზოტოვანი ნივთიერებების მიმოცვლის პროდუქტია. ამდენად, უნიტრატო პროდუქტები ბუნებაში არ არსებობს. ადამიანის ორგანიზმში ნიტრატების მოხვედრის ძირითად წყაროდ მიიჩნევა მცენარეული წარმოშობის პროდუქტები და წყალი. ნორმალური რაოდენობით მოხმარებისას ნიტრატებს არ გააჩნია ადამიანის ჯანმრთელობაზე დადასტურებული ტოქსიკური ზემოქმედება. მაღალი კონცენტრაციის შემთხვევაში სხვადასხვა ფაქტორის ზემოქმედებით საჭმლის მომწელებელ სისტემაში მიმდინარეობს მათი ტოქსიკურ ნიტრიტებად ადგენა, რომელთა სისხლში მოხვედრამ შესაძლებელია გამოიწვიოს მეტემოგლობინანემიის განვითარება.

ცალკეული კვლევებით დადგენილია, რომ ნიტრიტებიდან წარმოქმნილი N-ნიტროზოამინები

ხელს უწყობს სიმსივნური დაავადებების განვითარებას.

2. ძირითადი ნაწილი

ჩვენი კვლევებით [1-4] დადგენილია, რომ ჰომოგენიზებული (ჰომოგენიზაცია სტანდარტის მიხედვით ნიმუშში ნიტრატების განსაზღვრის მოსამზადებელი ეტაპია) ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშების ჰაერზე 5 წუთითაც დაყოვნებისას მიმდინარეობს ნიტრატების კონცენტრაციის ცვლილება. ზოგიერთი ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში აღინიშნება ნიტრატების კონცენტრაციის ზრდა, ზოგში – შემცირება დენიტრიფიკაციის შედეგად. კვლევებით დადასტურებულია, რომ ნიტრატების შემცველობის დროში განსაკუთრებული ზრდა მიმდინარეობს ყველა იმ სახეობის ბოსტნეულის ჰომოგენიზებულ

ნიმუშებში, რომელთა შედგენილობაში შედის პოლიუჯერი ცხიმოვანი მჟავები.

კვლევის მიზანი იყო ხილ-ბოსტნეულის ზოგიერთ სახეობაში მიმდინარე ნიტრატების კონცენტრაციის დროში ცვლილებაზე მომქმედი ფაქტორების დადგენა და მათი ზემოქმედების დონის შესწავლა.

გამოკვლეულია ნიტრატების დროში ცვლილება ისეთი ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში, როგორცაა: ავოკადო, მწვანე ლობიო, მწვანე ვაშლი, ვაშლატამა, ატამი, გოგრა და ხურმა.

ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში ნიტრატების შემცველობა ჰომოგენიზაციის თანავე და 30 წუთით ჰაერზე დაყოვნების შემდეგ განისაზღვრა იონომეტრული მეთოდით ISO1042-83 სტანდარტის მიხედვით. მიღებული შედეგები მოცემულია 1-ლ ცხრილში.

ცხრილი 1

ჰომოგენიზებული ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში ნიტრატების კონცენტრაციის დროში ცვლილება

ნიმუშის დასახელება	ნიმუშში ნიტრატების საწყისი შემცველობა, მგ/კგ	ნიტრატების შემცველობა 30 წუთით დაყოვნებულ ნიმუშში, მგ/კგ
ავოკადო	20	50,6
მწვანე ლობიო	2845	3934,77
მწვანე ვაშლი	1430,98	1768,97
ვაშლატამა	820,29	753,72
ატამი	990,27	656,49
გოგრა	159,24	159,24
ხურმა	203,05	208,90

როგორც 1-ლი ცხრილიდან, ჩანს ჰომოგენიზებული ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში ნიტრატების დროში ცვლილებას განსხვავებული ხასიათი აქვს. ნიტრატების კონცენტრაციის ინტენსიური ზრდა აღინიშნება ავოკადოს, მწვანე ლობიოსა და მწვანე ვაშლის ნიმუშებში, სადაც 30 წუთში ნიტრატების შემცველობა 1,2–2,5-ჯერ იზრდება. ვაშლატამასა და ატამის ნიმუშებში მიმდინარეობს ნიტრატების კონცენტრაციის შემცირება, ხურმასა და გოგრის ნიმუშებში კი ნიტრატების შემცველობა თითქმის უცვლელია.

შესაბამის ლიტერატურაში [1, 4] აღნიშნულია, რომ ჰომოგენიზებული ბოსტნეულის ნიმუშებში ნიტრატების ზრდას სავარაუდოდ განაპირობებს ბოსტნეულის შედგენილობაში შემავალი პოლიუ-

ჯერი ცხიმოვანი მჟავების დაჟანგვა ჟანგბადთან ურთიერთქმედების შედეგად. ამ დროს პოლიუჯერი მჟავების ორმაგი ბმების ადგილას წარმოქმნილი ზეჟანგები, თავის მხრივ, ჟანგავს დენიტრიფიკაციით წარმოქმნილი ნიტრატების ნაწილს და გადაჰყავს ნიტრატებში. ამ ვარაუდს ამაგრებს ლიტერატურა [5], სადაც აღნიშნულია, რომ ცოცხალ უჯრედებში არსებობს მოლეკულური ჟანგბადის ზოგიერთი აქტივიზებული ფორმის წარმოქმნის შესაძლებლობა, რომლებიც შეადგენს თავისუფალ რადიკალურ ნაწილაკებს (სუპეროქსიდული ანიონ-რადიკალი, ზეჟანგური რადიკალები, ჰიდროქსილური რადიკალი) ან ნეიტრალურ მოლეკულებს (წყალბადის ზეჟანგი და სინგლეთური ჟანგბადი). აქტიური ჟანგბადის ფორმების ორგანულ ნივთიერებებთან ურ-

თიერთქმედებით წარმოიქმნება ცილებისა და ლიპიდების ჰიდროზეფანგები. ლიპიდების ცხიმოვანი მჟავების ნაშთებში აქტიური ჟანგბადის ფორმები იწვევს ჯაჭვურ რეაქციებს – ლიპიდების ზეჟანგურ ჟანგვას, ლიპიდური რადიკალის (L*), პეროქსიდების (LOO*), ჰიდროპეროქსიდების (LOOH) და ალკოსიდების (LO*) წარმოქმნით. აქედან გამომდინარე, ბოსტნეულში ნიტრატების ზრდა შესაძლებელია მიმდინარეობდეს დენიტრიფიკაციით წარმოქმნილი $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{HNO}_2 \rightarrow (\text{HNO})_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{OH} \rightarrow \text{NH}_3$ შუალედური აზოტის ოქსიდების დაჟანგვით ნიტრატებამდე ჟანგბადის აქტივიზებული ფორმით.

ლიტერატურული მონაცემებით [5] ცოცხალ ორგანიზმებში ჟანგბადის აქტივიზებული ფორმების წარმოქმნა უჯრედში მიმდინარე იმ პროცესების საპასუხო რეაქციაა, რომლებიც შეიძლება გამოწვეული იყოს სტრესული სიტუაციით. სტრესულ ფაქტორებზე ორგანიზმის ერთ-ერთ ადრეულ საპასუხო რეაქციად გვევლინება ლიპიდების ცალკეული ჯგუფების და მემბრანების შემადგენლობის ცვლილება. ნაშრომი [6] თანახმად, სტრესული სიტუაციები მცენარეულ უჯრედებში განპირობებულია სხვადასხვა ფაქტორის ზემოქმედებით, მათ შორის მექანიკური დაზიანებით. ამ დროს ჟანგბადის აქტივიზებული ფორმების წარმოქმნის გენერატორია ფოტოსინთეზის უმნიშვნელოვანესი პიგმენტი – ქლოროფილი. 1-ლ ცხრილში მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, რომ ნიტრატების დროში ზრდის დინამიკა დამახასიათებელია ჰომოგენიზებული და ჰაერზე დაყოფილი მწვანე ბოსტნეულისათვის.

როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს ნიტრატების ზრდა საკმაოდ ინტენსიურად მიმდინარეობს ავოკადოს, მწვანე ლობიოსა და მწვანე ვაშლის ნიმუშებში. ამას სავარაუდოდ ხელს უწყობს ჟანგბადის აქტიური ფორმების წარმოქმნა, რომლის ეფექტური გენერატორია ფოტოსინთეზის უმნიშვნელოვანესი პიგმენტი – ქლოროფილი.

ვაშლაატამასა და ატმის ჰომოგენიზებულ ნიმუშებში კი ჰაერის წვდომის მიუხედავად მიმდინარეობს ნიტრატების შემცირება. აქ სავარაუდოდ ჟანგბადის აქტიური ფორმების წარმოქმნა იბლოკება კაროტინის ზეგავლენით, რომელიც გამოირჩევა ძლიერი ანტიოქსიდანტური თვისებებით [7] და აღნიშნულ პროდუქტებში საკმაოდ დიდი რაოდენობითაა. ასევე მაღალია კაროტინის შემცველობა

ხურმასა და გოგრაში. ამდენად, აქ ნიტრატების კონცენტრაცია დროის მიხედვით თითქმის უცვლელი რჩება.

მიღებული შედეგებით (ცხრილი 1) ნიტრატების მნიშვნელოვანი ზრდა აღინიშნება ავოკადოს ნიმუშში. ნიტრატების ზრდის პროცესზე ავოკადოში შემავალი ლიპიდების პოლიუჯერი ცხიმოვანი მჟავების ზემოქმედების გასარკვევად ავოკადოს ნიმუშებიდან ექსტრაჰირებულია ცხიმი და შესწავლილია მისი მჟავა-ციხიმოვანი შედგენილობა გაზური ქრომატოგრაფის – „FID“ დეტექტორის საშუალებით. ავოკადოს ნიმუშის მჟავა-ციხიმოვანი შედგენილობა მოყვანილია მე-2 ცხრილში.

ცხრილი 2

ავოკადოს ნიმუშის მჟავა-ციხიმოვანი შედგენილობა

ციხიმოვანი მჟავას დასახელება	რაოდენობრივი შემცველობა, %
სტეარინის მჟავა	0,77
პალმიტინის მჟავა	25,38
პალმიტოლიენის მჟავა	11,80
ოლეინის მჟავა	41,25
ლინოლის მჟავა	19,20
α-ლინოლიენის მჟავა	1,60

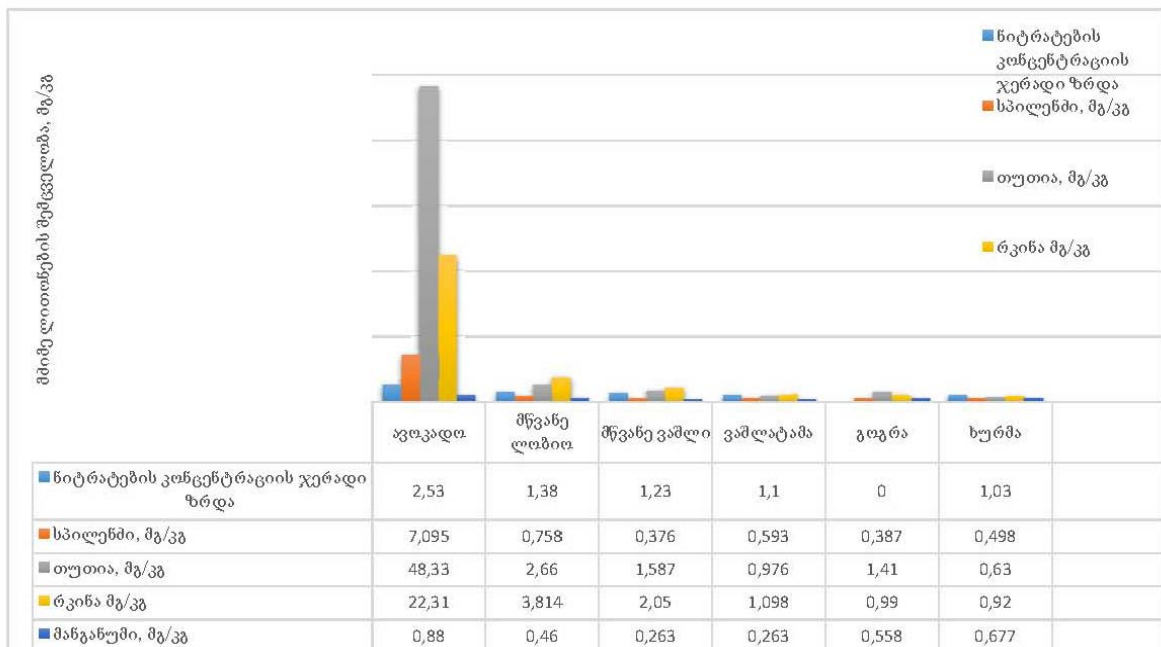
მიღებული შედეგებით ავოკადოს ნიმუშში მაღალია უჯერი (ოლეინის, ლინოლის, α-ლინოლიენის) მჟავების შემცველობა, რომლებიც მონაწილეობს ჟანგვით პროცესში ჟანგბადის აქტივიზებული ფორმების წარმოქმნით. ისინი კი, თავის მხრივ, ჟანგვს ნიტრატების აღდგენით წარმოქმნილ აზოტის ოქსიდებს ნიტრატებამდე და ნიმუშებში ნიტრატების კონცენტრაცია იზრდება. ლიტერატურაში [5,6] აღნიშნულია, რომ ლიპიდების ზეჟანგური ჟანგვის მნიშვნელოვანი დაჩქარება ხდება პოლივალენტური ლითონების, განსაკუთრებით Fe და Cu უმნიშვნელო რაოდენობით შემცველობის შემთხვევაშიც კი. ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში ნიტრატების ზრდაზე პოლივალენტური მეტალების კონცენტრაციის გავლენის შესაფასებლად საკვლევ ნიმუშებში განსაზღვრულია მძიმე ლითონების შემცველობა ატომ-აბსორბციული სპექტროსკოპიის მეთოდით. მიღებული შედეგები მოყვანილია მე-3 ცხრილში.

მძიმე ლითონების შემცველობა სხვადასხვა სახეობის ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში

ნიმუშის დასახელება	სპილენძი	თუთია	რკინა	მანგანუმი	ტყვია	კადმიუმი
	მგ/კგ					
ავოკადო	7,09	48,33	22,31	0,88	0,046	0,076
მწვანე ლობიო	0,758	2,66	3,814	0,46	0,022	0,0169
მწვანე ვაშლი	0,376	1,587	2,05	0,327	0,007	0,0133
ვაშლატამა	0,593	0,976	1,098	0,263	0,007	0,0075
ატამი	0,007	0,74	2,973	0,204	0,007	0,0015
ხურმა	0,498	0,63	0,92	0,677	0,023	0,022
გოგრა	0,387	1,41	0,99	0,558	0	0,048

მძიმე ლითონების შემცველობის გავლენა ნიტრატების კონცენტრაციის ცვლილებაზე სხვადასხვა სახეობის ჰომოგენიზებული ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში ასახულია ნახაზზე. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ნიტრატების ყველაზე ინტენსიური ზრდა, 2,53-ჯერ საწყისთან შედარებით, მიმდინარეობს ავოკადოს ნიმუშში. აქ ყველაზე მაღალია როგორც რკინისა და სპილენძის, ისე თუთიის კონცენტრაცია. უფრო ნაკლები ინტენსივობით ნიტრატების ზრდა მიმდინარეობს მწვანე ლობიოსა და მწვანე ვაშლის ნიმუშებში, სადაც ნიტრატების

კონცენტრაცია, შესაბამისად, 1,38 და 1,23-ჯერ იზრდება საწყისთან შედარებით. აღსანიშნავია, რომ ბოსტნეულის ამ ნიმუშებში ლითონების შემცველობაც ნაკლებია. ნიტრატების ზრდა თითქმის არ აღინიშნება ვაშლატამას, გოგრასა და ხურმის ნიმუშებში, სადაც დაფიქსირდა ლითონების მინიმალური შემცველობა. ამრიგად, დადასტურებულია, ქლოროფილის შემცველ ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშებში, ნიტრატების კონცენტრაციის დროის მიხედვით ზრდაზე მძიმე ლითონების როგორც სახეობრივი, ისე რაოდენობრივი გავლენა.



მძიმე ლითონების გავლენა სხვადასხვა სახეობის ჰომოგენიზებული ხილ-ბოსტნეულში ნიტრატების კონცენტრაციის ზრდაზე

3. დასკვნა

ჩატარებული კვლევა გვიჩვენებს, რომ ზოგიერთი ჰომოგენიზებული ხილ-ბოსტნეულის ნიმუშების ჰაერზე დაყოვნებისას ხდება ნიტრატების კონცენტრაციის არაკონტროლირებადი ზრდა. ნიტრატების კონცენტრაციის განსაკუთრებული ზრდა შეინიშნება ქლოროფილისა და პოლიუჯერი ცხიმოვანი მჟავების შემცველ მწვანე ხილ-ბოსტნეულის დაყოვნებულ ნიმუშებში და დაკავშირებულია მძიმე ლითონების რაოდენობრივ და სახეობრივ შემცველობასთან. რაც უფრო მაღალია მათი შემცველობა, მით უფრო ინტენსიურად ხდება ნიტრატების კონცენტრაციის ზრდა საწყისთან შედარებით. კაროტინის შემცველ ხილ-ბოსტნეულის ჰომოგენიზებულ ნიმუშებში ნიტრატების კონცენტრაციის ზრდა არ შეინიშნება.

ლიტერატურა

1. გ. ანდრიაძე, ე. მჭხიანი, ე. შენგელია, ლ. გვასალია. ნიტრატ-ნიტრიტის შემცველობის დინამიკა მწვანელიულის კულინარული დამუშავებისას. მეცნიერება და ტექნოლოგიები, 1(715), 2014.
2. გ. ანდრიაძე, ე. შენგელია, ლ. გვასალია. ბოსტნეულში ნიტრატ-ნიტრიტის ტრანსფორმაციის მექანიზმზე მოქმედი ფაქტორების შესწავლა. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, ტომი 41. 2015, №1-2.
3. ნ. ჭალიძე, ე. შენგელია. ზოგიერთ ბოსტნეულში ნიტრატების განსაზღვრის სირთულეები სპეციფიკური პროცესების მიმდინარეობის გამო, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, Georgian Engineering News, N1, 2018, გვ. 91.
4. ნ. ჭალიძე, ე. შენგელია. მძიმე ლითონები მწვანე ბოსტნეულში და მათი გავლენა ნიტრატების განსაზღვრის პროცესზე, მეცნიერება და ტექნოლოგიები 2(728)-2018, გვ 74.
5. Половинкина Е.О., Сеницына Ю.В. Окислительный стресс и особенности воздействия слабых стрессоров физической природы на перекисный гемостаз растительной клетки, Учебно-методическое пособие, Нижний Новгород, 2010.
6. Мерзляк М.Н. Активированный кислород и жизнедеятельность растений. Соросовский образовательный журнал, №9, 1999.
www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9909_020.pdf
7. Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области, монография / Г.Н. Чупахина П.В., Масленников Л. Н., Скрыпник Н. Ю., Чупахина П.В. Федурев - Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016.

UDC 541.183

EFFECT OF CHLOROPHYLL AND CAROTENE ON THE DYNAMICS OF NITRATES IN HOMOGENIZED FRUIT AND VEGETABLES

N. Chalidze, E. Shengelia

Georgian Technical University, Department of Chemical and Biological Technologies, Str Costava 69. 0175 Tbilisi. Georgia

E-mail: nona.chalidze@gmail.com

Resume: Goal: Effect of chlorophyll on the dynamics of nitrates in homogenized fruit and vegetables has been studied. The study of polyunsaturated fatty acids and vegetable samples to determine the content of heavy metals and their influence on the nitrate concentration increase in time.

Method: Ion metric, Atomic-adsorption and chromatographic methods was used for determination of nitrates, heavy metals and polyunsaturated fatty acids indifferent kinds of homogenized fruit and vegetables.

Result: It was established that the homogenized (homogenization standard is a preparatory step for the determination of nitrate) changes in the concentration of nitrate in the presence of samples of fruit and vegetables. Some fruit-vegetable samples have been shown to increase the concentration of nitro tubes and in some cases decrease in of process denitrification. Growth of nitrates in homogenized vegetable samples stimulates the activated forms of oxygen, which oxidized in process of denitrification nitrogen oxides to nitrites. Intensive grows of nitrates

is in progress green vegetable samples (avocado, green beans, green apples), because of effect chlorophyll, as we know from literature that chlorophyll is the generator of active forms of oxygen. Most of the increase in the intensity of nitrate being avocado samples, which contain big amounts of lipid. Active forms of oxygen are caused by lipids, oxidative oxidation by the formation of negative radicals. It is assumed that the avocado sample is the highest in polyvalent content, which has the ability to significantly accelerate the oxidation of lipid peroxide. The growth of nitrates is almost impossible in the samples of smooth peach, pumpkin and cheers, where there is a minimum content of metals.

Conclusion: The results of studies conducted by researchers indicate a slow increase in the concentration of nitrates in homogenized plant samples containing polygonal fatty acids. The concentration of nitrate depends on the amount of time which takes to prepare the sample for determining nitrates by the ion metric method. Nitrate concentration observed in delayed sampling green vegetables containing chlorophyll and related to the amount and type of heavy metals. The higher the content, the more intense process of nitrate concentration increased from baseline. A decrease in the concentration of nitrates in samples of fruits and vegetables containing carotene was detected as a result of degradation.

Key words: Nitrates; Polygonic fatty acids; Heavy metals; Chlorophyll; Green vegetables; Peroxides; Activated forms of oxygen; Carotene; Ionometric method; Anatomical method.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

მილოცვა

შალვა ანდღულაძე	3
ნაზი კუციავა	5
გულნაზ ტაბატაძე	6

ვ. გორდელაძე, ა. სარუხანიშვილი, მ. ღიბრაძე. ხუთკომპონენტური კომპოზიციებში ტემპერატურული ზემოქმედების პროცესების ანალიზი იწ სპექტროსკოპიით	8
პ. თოიძე, მ. გაბრიძე. თეორიული გამოთვლების გამოყენებით ოლეინმჟავით სტაბილიზებული ვერცხლის ნანონაწილაკების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლა	14
ზ. კოვზირიძე, ნ. ნიჟარაძე, ნ. დარახველიძე. ბიონანოკერამიკული სუპერპარამაგნეტიკების მიღება მართვადი ლოკალური ჰიპერთერმიის შესაქმნელად ავთვისებიანი სიმსივნეების სამკურნალოდ	21
ზ. კოვზირიძე, ნ. ნიჟარაძე, გ. ტაბატაძე, თ. ჭეიშვილი, ზ. მესტვირიშვილი, ნ. დარახველიძე, მ. ბალახაშვილი. კომპოზიტების მიღება მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებით	38
ზ. კოვზირიძე, გ. ტაბატაძე, ნ. ნიჟარაძე, ზ. მესტვირიშვილი, ნ. დარახველიძე. კომპოზიტების ფაზური შედგენილობის შესწავლა SiC-B ₄ C-Si-Al-Al ₂ O ₃ სისტემაში	44
ზ. მესტვირიშვილი, ვ. კვაჭაძე, ი. ბაირამაშვილი, ნ. ჯალაბაძე, თ. მესტვირიშვილი. ულტრადისპერსიული ფხვნილოვანი მაკროჰომოგენური კომპოზიტის მიღების მეთოდის დამუშავება	52
ზ. მესტვირიშვილი, შ. ზურაბიშვილი, თ. მესტვირიშვილი, ხ. ბლუაშვილი, ა. სიჭინავა, ნ. ჯალაბაძე. თერმული დამუშავების გავლენა ცხელი დაწნებით მიღებულ ¹⁰ B ₄ C-ის ნაკეთობაზე	61
თ. ჭეიშვილი, ნ. გაბრიძე. მანგანუმშემცველი საწარმოო მტვრის საფუძველზე ტექნოგენური მასალის მიღება	70
თ. ჭეიშვილი, ა. სხვიტარიძე. თიხოვანი ნედლეულის მინერალების თერმომოდული ფიცირება და პრაქტიკული გამოყენება	76
ნ. ჭალიძე, ე. შენგელია. ჰომოგენიზებული ხილ-ბოსტნეულის პროდუქციაში ნიტრატების დროში ცვლილება ქლოროფილისა და კაროტინის ზეგავლენით	81

CONTENTS

GREETING

Shalva Andguladze	3
Nazi kutsiava	5
Gulnaz Tabatadze	6
V. Gordeladze, A. Sarukhanishvili[†], M. Gibradze. TEMPERATURE INFLUENCE PROCESSES ANALYSIS BY IR SPECTROSCOPY IN FIVE COMPONENT COMPOSITIONS	8
P. Toidze, M. Gabrichidze. STUDY OF THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SILVER NANOPARTICLES STABILIZED WITH OLEIC ACID USING THEORETICAL CALCULATION	14
Z. Kovziridze, N. Nijaradze, N. Darakhvelidze. OBTAINING OF BIONANOCERAMIC SUPER PARAMAGNETIC MATERIALS FOR THE CREATION OF LOCAL CONTROLLED HYPERTHERMIA FOR MALIGNANT CANCER THERAPY	21
Z. Kovziridze, N. Nijaradze, G. Tabatadze, T. Cheishvili, Z. Mestvirishvili, N. Darakhvelidze, M. Balakhashvili. OBTAINING OF COMPOSITES WITH HIGH PHYSICAL-TECHNICAL PROPERTIES	38
Z. kovziridze, G. Tabatasdze, N. Nijaradze, Z. Mestvirishvili, N. Darakhvelidze. THE STUDY OF PHASED COMPOSITION OF COMPOSITES IN THE SYSTEM SIC-B ₄ C-SI-AL-AL ₂ O ₃	44
Z. Mestvirishvili, V. Kvatchadze, I. Bairamashvili, N. Jalabadze, T. Mestvirishvili. DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING ULTRA-DISPERSIVE POWDERY MACRO-HOMOGENEOUS COMPOSITE	52
Z. Mestvirishvili, Sh. Zurabishvili, T. Mestvirishvili, Kh. Bluashvili, A. Sitchinava, N. Jalabadze. IMPACT OF THERMAL TREATMENT ON ¹⁰ B ₄ C- WORK-PIECE OBTAINED BY HOT COMPRESSION	61
T. Cheishvili, N. Gabriadze. OBTAINING OF TECHNOGENIC MATERIAL ON THE BASIS OF MANGANESE-CONTAINING INDUSTRIAL DUST	70
T. Cheishvili, A. Skhvitaridze. THERMAL MODIFYING AND PRACTICAL APPLICATION OF ARGILLOUS RAW MATERIAL MINERALS	76
N. Chalidze, E. Shengelia. EFFECT OF CHLOROPHYLL AND CAROTENE ON THE DYNAMICS OF NITRATES IN HOMOGENIZED FRUIT AND VEGETABLES	81

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 T akrZal ul i monacemis gaxmaurebaze.
redaqcias SeuZl ia gamoaqveynos masal ebi ise, rom ar iziarebdes avtoris
Sexedul ebebs.*

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. 21. 1(41). 2019
masal is gadabelvdvisas Jurnal is miTi Teba aucil ebel ia
ТБИЛИСИ, "КЕРАМИКА", Vol. 21. 1(41). 2019
При перепечатке ссылка на журнал обязательна
TBILISI,"CERAMICS", Vol. 21. 1(41). 2019
Reference of magazine is obligatory on reprinting

pirobiTi nabeWdi Tabaxi 2,5. 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>
