

ISSN 1512-0325

საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის *ჟურნალი*  
**JOURNAL OF THE GEORGIAN CERAMISTS' ASSOCIATION**



# kerami ka **CERAMICS**

და მოწინავე  
ტექნოლოგიები

**AND ADVANCED  
TECHNOLOGIES**

სამეცნიერო-ტექნიკური და საარმოო ილუსტრაციები,  
რეგისტრაციები, რეფერირებადი *ჟურნალი*

*Vol. 19. 2(38).2017*

## სარედაქციო კოლეგია:

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

## EDITORIAL BOARD:

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

შპს „კერამიკა“

გამოქვეყნებული სტატიების  
პირითადი თემატიკა

ყველა სახის მიწის,  
კერამიკის, კერამიკული და  
პოლიმერული კომპოზიტების,  
ზევამტარი მასალების,  
ჭიქურის და მიწანქარის,  
სხვული ძვის,  
მიწერაღებელი ბაზის,  
მჭიდრ მასალების, ცემენტის და სხვა  
არაორგანული,  
ქველდნობადი,  
ახალი და ტრადიციული მასალების  
სწავლა  
ჩატარებული სამეცნიერო კვლევები,  
მათი მიღების ტექნიკა და  
ტექნოლოგია, ნაწარმების და  
ნაწარმების  
პოლიმერული ბიომასალები  
ბიოინჟინერია  
ორგანულ ნივთიერებათა  
ტექნოლოგია  
მეტალურგია  
მასალათმცოდნეობა  
კომპოზიციური მასალები და  
ღანაჯარები  
არაორგანული და ორგანული  
სინთეზი  
ნაწარმების და კომპოზიტების  
მიღების ელექტროქიმიური  
ტექნოლოგიები  
თერმოდინამიკა, კინეტიკა და  
კატალიზი

შპს „კერამიკა“

შესაქმებულია განთავსდეს  
სტატიები შემდეგ საკითხებზე:

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

გამოქვეყნების სფეროები

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

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

## ბორის იმნაპის ხსოვნა



ქალბატონებო და ბატონებო! ამ მწუხრის ჟამს, როცა ცათა მარადიულ სასუფეველში ვაცილებთ ჩვენთვის საყვარელ ადამიანს, შენდობას ვითხოვ ორიოდე წუთით ეს დიდი ადამიანი გავიხსენო, რომელიც რკინასავით გაცვდა ოჯახის, ერისა და ქვეყნის სამსახურში და „ჟანგი“ არ მოჰკიდებია.

ახლა, როცა ამ კაცური უბრალოებით შემკულ მშვენიერ ადამიანზე ვფიქრობ, ერთი ფრთიანი გამონათქვამი მახსენდება, რომელსაც მის საფლავთან გული მკარნახობს. ხომ გახსოვთ ფოლკლორიდან: „სადაც შენ დაიმარხები, ნეტავ იმ ეკლესიასო“.

არიან ჩუმი, უანგარო მოღვაწენი, რომელთა ცხოვრებას არ სჭირდება შელამაზება – საკმარისია აღინიშნოს მათი ღვაწლი, რაც თავისთავადაც მომხიბლავია. ასეთ უანგარო მოღვაწედ მიმაჩნია ბატონი ბორისი.

ერის სიყვარული საქმეში იკითხება, ცხოვრების გზაზე შენი სწორად გადადგმული ნაბიჯებით, შენი ნიჭით, ქვეყნის საკეთილდღეოდ დახარჯული შრომით, რომელიც კამკამა სინდისით იზომება.

როგორც ჩვენი ერის მამა – წინამძღოლი ილია ჭავჭავაძე ბრძანებდა: „კაცს ორი სახელი უნდა ჰქონდეს, ერთი აქ დასარჩენი და მეორე თან წასადები“. ბორისს მეცნიერისა და კაცობის ეთიკური კოდექსი არასოდეს დაურღვევია, სიკეთითა და გულით გამორჩეული ადამიანის ცხოვრებით იცხოვრა. იყო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცნობილი პროფესორი, რუსული ჟურნალისტიკის მიმართულების ხელმძღვანელი, საქართველოს პედაგოგიკის მეცნიერებათა აკადემიის წევრი, ჟურნალ „განათლების“ რედაქტორი, 150-მდე შრომის, რუსული ენის გრამატიკის სწავლების მეთოდის ავტორი. მუშაობდა ჟურნალისტიკამცოდნეობის აქტუალურ საკითხებზე, რომელთაგან ათამდე სახელმძღვანელოა. მისი ხელმძღვანელობით არაერთმა მაგისტრანტმა და დოქტორანტმა დაიცვა დისერტაცია. თან წაიღო დიდი სიყვარული ოჯახის, მეუღლის, შვილების, შვილიშვილების, ქვეყნის, მეგობრების და ახლობლების.

ვერის უბანში დაბადებულმა და გაზრდილმა, როგორც ვერელებს სჩვევიათ, თავისი ცხოვრების გზა ტადრისაკენ – სინდისისაკენ, პროგრესისაკენ, კაცურ-კაცობისაკენ აირჩია და სწორედ ასეთი არჩევანის გამო სამეგობრო წრემ სიცოცხლეშივე კაცი-კოლორიტად აღიარა.

ღმერთმა მოგვცა ძალა, სიკვდილს შეურიგდეთ, მაგრამ ხსოვნა და მონატრება მარადიულია, მოგონების უნარი უფლის საჩუქარია. მადლობა უფალს, ყველანი სიკ-

ვდილის შვილები ვართ, პატივი მივაგოთ ჩვენი საყვარელი ადამიანის ხსოვნას, რომელიც დროებით დაგვეშორდა.

ასეთი ადამიანები არ კვდებიან და თუ კვდებიან, კვლავ იბადებიან.

ბრძენკაცს უთქვამს: თუ გინდა ადამიანი საფუძვლიანად გაიცნო, უნდა გამოსცადო ექსტრემალურ პირობებში. ჩვენი მეგობრობის თითქმის ექვსი ათეული წლის განმავლობაში, როგორც ყოფით ცხოვრებაში, ისე სანადიროდ ტარიბანასა თუ ჩათმაში, ლენქორანსა თუ თედელეთში, ჩეჩნეთსა თუ დაღესტანში (ჩვენი ბოლო ნადირობა შედგა გასული წლის ნოემბერში თეძამისა და რკონის ხეობაში), არ ყოფილა ერთი შემთხვევაც კი, რომ მას უკმაყოფილება გამოეთქვას რაიმე საკითხზე ან დაერღვია ნადირობის მკაცრი კანონები.

ასეთია ამ მაშვრალი კაცის მრწამსი და დიდბუნებოვნება.

მშვიდობით ბორის, დიდო ქართველო, სიკეთისა და სიყვარულის მთესველო!

ღმერთმა ამრავლოს შენი მოდგმა!

მსუბუქი იყოს შენთვის ქართული მიწა!

ამინ!

*გურამ გაფრინდაშვილი*

*სიტყვა წარმოთქმული ბორის იმნაძის დაკრძალვის დღეს,  
25 მაისს, ვერის სასაფლაოზე*

შპს 666.95

**მხატვრული მომინანქრება ალღენითი ცეცხლის ტექნიკით (მე-5 ხერხი)**

გ. გაფრინდაშვილი, ს. სანაძე

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

E-mail: g.gafrindashvili@gtu.ge

**რეზიუმე:** მიზანი. საიუველირო, სასუვენირო და სხვა დანიშნულების მხატვრული მომინანქრების ახალი მე-5 ხერხის საერთაშორისო დაფუძნება, რომელიც ემყარება ალღენითი ცეცხლის ტექნიკით სრულიად განსხვავებული ტრადიციული მინანქრებისაგან სადაფისფერი, ლითონისებური სიკრიალის ზედაპირის მაღალ ესთეტიკური მინანქრის სინთეზს. მხატვრული მომინანქრების საყოველთაოდ ცნობილი ოთხი ხერხისა, როგორცაა ტიხრული, ტვიფრული (კვეთილი), ვიტრაჟული და ფერწერული. ახალი მეთოდი რადიკალურად განსხვავდება მათგან, როგორც სინთეზის თავისებურებით, ასევე შედეგის მრავალფეროვნებით.

**მეთოდი.** მიკრორენტგენული, რენტგენული იმპულსების ინტენსივობის ელექტრონული ზონდის რეფოკუსირებით, პოლარისკოპ-პოლიამეტრის და სხვა თანამედროვე აპარატების გამოყენება ალღენითი პროცესების ფიზიკურ-ქიმიური საფუძვლების შესასწავლად.

**შედეგი.** მოლოდინის საწინააღმდეგოდ დადგინდა ჟანგბადის შემცველობა მინანქრის ზედაპირის ფენაში უფრო მაღალია (568 იმპ/წმ), ხოლო 10 მკმ სისქის მოხსნის ზონაში ჟანგბადის რაოდენობა შემცირდა 472 იმპ/წმ-მდე, შემდეგ კი მონოტონურად იზრდება და აღწევს 510 იმპ/წმ 100 მკმ-ს მოხსნისას. ხვედრითი ზედაპირული ელექტროწინააღობის შედარებით დაბალი სიდიდე ( $\rho=6,61\text{ომ}\cdot\text{მ}^{-1}$ ) აღინიშნება ნიმუშის ზედაპირზე, ხოლო ფენის მოხსნის შედეგად მინანქრის ელექტროწინააღობა იზრდება. დადგენილია დაბაზულობის შემცირება მინარჩილში მინანქარი-ფუძე აღმდგენელი ატმოსფეროს მოქმედების გაზრდით, რაც ჩვენი აზრით გამოწვეულია მინანქარში დრეკადობის მოდულის შემცირებით.

**დასკვნა.** ალღენითი ცეცხლის მხატვრული მინანქარი, როგორც გამორჩეული მხატვრულ-ესთეტიკური, ასევე ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით და დეკორირების ახალი მე-5 ხერხი, რეკომენდებულია დაინერგოს მხატვრული მომინანქრების სფეროში არსებულ საწარმოებსა და ინდივიდუალურ მეწარმე მხატვარ-მომინანქრეთა სახელოსნოებში.

**საკვანძო სიტყვები:** საკვანძო სიტყვები: ალღენითი ცეცხლი; გაფრინდაშვილი; რენტგენული იმპულსი; ელექტრონული ზონდი; ელექტრო წინააღობა; პოლარიზაციულ-ოპტიკური მეთოდი; ინ-

ტერფერენციული ფერები; გამჭვირვალი და კუმშვითი დაბაზულობა; მინარჩილი; დრეკადობის მოდული.

**1. შესავალი**

უძველესი დროიდან (ძველი წელთაღრიცხვის 1600-1200 წლები) ცნობილია ძვირფასი ლითონების (ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი და მათი შენადნობები) მომინანქრების ტექნიკა და მისი მეშვეობით მხატვრული, საეკლესიო და საერო ნაკეთობათა დამზადება.

მინანქარს თვალსაჩინო ადგილი უჭირავს შუა საუკუნეების ქართულ ხელოვნებაში. იგი განვითარების ისეთსავე მაღალ საფეხურზე იდგა, როგორც ხუროთმოძღვრება, კედლის მხატვრობა და რელიეფური პლასტიკა; ამის დამადასტურებლად მარტო ხახულის კარედაზე შემორჩენილი მინანქრის რაოდენობა და შესრულების დონეა საკმარისი.

ქართული ტიხრული მინანქრის კოლორიტი და შესრულების მხატვრული მანერა განსხვავდება სხვა ქვეყნების (ბიზანტია, ეგვიპტე, ირანი და სხვ.) ტიხრული მომინანქრებისაგან. ქართული მინანქრის ფერებს შორის თავისებურია ე.წ. ხორცისფერი და გამჭირვალე მწვანე. შ. ამირანაშვილის მოსაზრებით, მინანქრის ფერებში მანგანუმის შერევის შედეგად ხორცისფერს იღებს. ქართული ტიხრული მინანქრის ბევრი ნიმუში დაკარგულია; უძველესი, VIII საუკუნით არის დათარიღებული; ეს არის კათოლიკოსის გულზე დასაკიდებელი ჯვარი (დაცულია საქართველოს ხელოვნების მუზეუმში) [1-6].

სილიკატური ნაკეთობის (კერამიკა, მინა) თერმული დამუშავება შეიძლება მოვახდინოთ დამქანგავი, ნეიტრალური და აღმდგენელი ცეცხლის აირის გარემოში, რაც ღუმელში თავისუფალი ჟანგბადის და აღმდგენელი აირების რაოდენობაზეა დამოკიდებული.

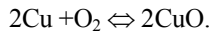
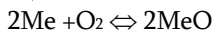
სხვადასხვა ავტორების მიერ დადგენილი იქნა, რომ მინისებური დამფარავები მათი აქტიურობის მიხედვით შეიძლება დავეყოთ ქიმიურად ინერტულ და აღმდგენელი აირების მოქმედების მიმართ მიდრეკილ მასალებად.

ალღენითი ცეცხლის მინანქრების (ჭიქურების) დამახასიათებელ ნიშანს წარმოადგენს სადაფისფერი ან ლითონისებური სიკრიალის ზედაპირი, რაც ჭიქურზე გარბილების ტემპერატურაზე აღმდგენელი აირების ზემოქმედების შედეგად წარმოიქმნება. ასეთი ჭიქურების სინთე-

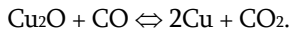
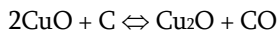
ზი შეიძლება მოგახდინოთ დიდი ტემპერატურული ინტერვალის პირობებში 700-1400°C, რაც საშუალებას გვაძლევს მაიოლიკის და ფაიფურის ნაწარმი დაფარული იქნას ალდგენითი ცეცხლის მინანქრით [7-8].

მიუხედავად 35 საუკუნის ისტორიისა, რომელსაც ითვლის ძვირფასი და ფერადი ლითონების მომინანქრების ტრადიციული ტექნოლოგია, ალდგენითი ცეცხლის ტექნიკით მხატვრული მომინანქრება ლითონებზე პირველად დამუშავებულია ჩვენ მიერ და ამჟამად მიმდინარეობს კვლევითი სამუშაოები მის დასახელებად [9].

ყველა ლითონები, გარდა კეთილშობილებისა ჰაერზე იცვლება, მქრქალდება და გარდაიქმნება ფხვნილად ანუ გადადიან ოქსიდურ მდგომარეობაში, მაგალითად:



ჟანგბადი, რომელიც შედის CuO-ში, შეიძლება კვლავ გამოვეყოთ თუ ოქსიდს გავახურებთ ნახშირთან:



ამ შემთხვევაში ჟანგბადი უერთდება ნახშირს და ლითონი ალდგება ნაწილობრივ ან სრულად. აღნიშნული გარდაქმნები საფუძვლად უდევს ალდგენითი ცეცხლის ტექნიკით სინთეზირებულ მინისებურ დამფარავებს.

ამრიგად, ზოგიერთი ოქსიდები და ასევე სპილენძის, ოქროს, ვერცხლის ქიმიური ნაერთები, რომლებიც მინანქრის შემადგენლობაში შედის ტემპერატურის და აირის გარემოს რეჟიმის ოპტიმალურ პირობებში ადვილად განიცდის ალდგენას და გადადის ქვეჟანგის ან ლითონის მდგომარეობაში. მათგან განსხვავებით კობალტის, ნიკელის, ქრომის, მანგანუმის და სხვა ქრომოფორების ნაერთები ძალიან ძნელად ან სავსებით არ განიცდიან ალდგენას. ალდგენის ოპტიმალურ რეჟიმში ისინი არ იძლევიან დამახასიათებელ ეფექტს. მაგრამ აღნიშნული ქიმიური ნაერთები მნიშვნელოვნად ცვლიან აღმდგენელი კომპლექსების ნაფენს და ელფერს, რაც საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ მაღალდეკორატიული მინისებური დამფარავები.

აღსადგენი ნაერთების შერჩევას უნდა ვიხელმძღვანელოთ ცნობილი წესით - რაც უფრო ძნელად იჟანგება ლითონი, მით უფრო ადვილად განიცდის ალდგენას [10-13].

## 2. ძირითადი ნაწილი

ვინაიდან მხატვრული მინანქრების გარბილუბისა და ლლობის ტემპერატურა გაცილებით დაბალია, ვიდრე ჭიქურების, ხოლო ალდგენითი პროცესი, როგორც კრისტალიზაციის სტადია, მინანქრების შემთხვევაში მიმდინარეობს გაცილებით სრულად, რაც Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> მცირე რაოდენობითაა

განპირობებული. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ამუხრუჭებს ალდგენით პროცესებს და კრისტალიზაციას. ამიტომ თეორიული თვალსაზრისით საინტერესოა ლლობის დაბალტემპერატურაში მინანქრების სინთეზი. ერთ-ერთი ასეთი მინანქრის ფრიტის შემადგენლობაა:

0,28 PbO		
0,06 CaO		1,18 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0,23 K <sub>2</sub> O		1,37 SiO <sub>2</sub>
0,43 Na <sub>2</sub> O		

გაფრიტების შემდეგ 100 წ.ნ. ფრიტას ეუმატებთ სხვადასხვა ქრომოფორებს როგორცაა: CuO, Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AgNO<sub>3</sub> და სხვა 1-5%. მინანქრის ლლობის ტემპერატურაა 790-850°C. ალდგენის 600-630°C. მიიღება მეწამული, მომწვანო და ოქროსფრად შედებილი მინანქრები.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, სხვადასხვა სახის მინისებურ დამფარავებს შორის ალდგენითი ცეცხლის მინანქრები განსაკუთრებულ ადვილს იკავენს როგორც შედგენის (ფერის) ნაწილში, ასევე სტრუქტურული თავისებურებების მიმართ. მიუხედავად მრავალსაუკუნოვანი ისტორიისა დღემდე არაა დამუშავებული თეორიული საფუძვლები ალდგენით პროცესებზე მოქმედი მრავალი ფაქტორისა - დაწვებული მინანქრის ქიმიური შედგენილობიდან დამთავრებული ალდგენილი აფსკის ფიზიკურ მდგომარეობამდე. დღემდე შესრულებული სამუშაოები ძირითადად ეხება ალდგენითი ცეცხლის დამფარების ოპტიმალურ შედგენილობებს და თერმული დამუშავების ტექნოლოგიას, რომლებიც უზრუნველყოფენ მაღალ დეკორატიულ და ესთეტიკურ ეფექტს [14-15].

ჩვენი აზრით, ზემოაღნიშნული პრობლემების გადაწყვეტაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება გარბილების ტემპერატურაზე მინის აფსკის სტრუქტურის ჩამოყალიბებაში მის ქიმიურ შედგენილობას, ფენის სიღრმეში ქიმიური ელემენტების განაწილებას და ფაქტობრივი მოვლენების კონსტატაციას, როცა გამოწვევის დამუხანგავი რეჟიმი იცვლება აღმდგენლით.

## ჟანგბადის რაოდენობის ცვლილება მინანქარში

მცდელობა, მიკროენტგენული გამოკვლევებით დაგვედგინა მინანქრის ფენაში ჟანგბადის რაოდენობა (რომელიც დიდ გავლენას ახდენს ალდგენის ხარისხზე) განიკვეთის პროფილის მიხედვით შეუძლებელია თვით მინანქრის მნიშვნელოვანი არაერთგვაროვნების გამო. ამიტომ

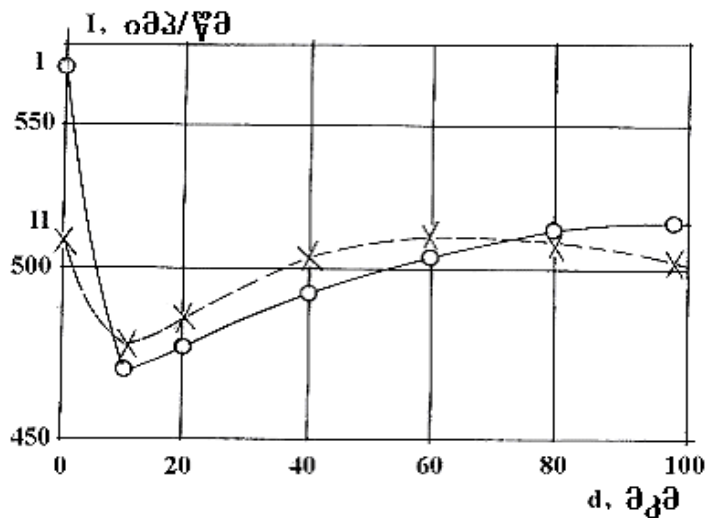
ჩვენ მიერ გამოყენებული იქნა მეთოდი, რომელიც გულისხმობს დატანილი მინანქრის ფენის (შრის) თანმიმდევრულ (საფეხურებურ) მოხსნას 10 მკმ სისქით გაპრიალების გზით სურ. 1. ასეთ პირობებში რენტგენული იმპულსების ინტენსივობა იზომებოდა ელექტრონული ზონდის ძლიერ გაშლილი რეფოკუსირების პირობებში (ლაქის დიამეტრი 20 მკმ).

მოლოდინის საწინააღმდეგოდ ჟანგბადის შემცველობა მინანქრის ზედაპირის ფენაში აღმოჩნდა უფრო მაღალი (568 იმპ/წმ), ხოლო 10 მკმ სისქის მოხსნის ზონაში ჟანგბადის რაოდენობა შემცირდა 472 იმპ/წმ-მდე, შემდეგ კი მონოტონურად იზრდება და აღწევს 510 იმპ/წმ 100 მკმ-ს მოხსნისას.

ანომალური მიზეზების განხილვისას – ჟანგბადის მაღალი შემცველობისას მინანქრის ზედაპირულ შრეში (გაპრიალების გარეშე), გამოეთქვით მოსაზრება, რომ ეს მოვლენა გამოწვეულია აირის გარემოში არსებული ჟანგბადის და წყლის ორთქლის შთანთქმით. ჩვენი მოსაზრება დამტკიცდა გახურების შემდეგ 350°C და ინტენსივობის მეორედ გაზომვისას იგივე მეთოდით. გახურების შემდეგ ინტენსივობა გაუპრიალებელ ზედაპირზე შემცირდა 568 იმპ/წმ-დან 510 იმპ/წმ-მდე. დანარჩენ ნიმუშებში II მრუდის მიმართულება თითქმის ანალოგიურია I მრუდის მიმართულების. ამავე დროს ჟანგბადის შემცველობა მინანქრის გაუპრიალებელ ფენაში აღმოჩ-

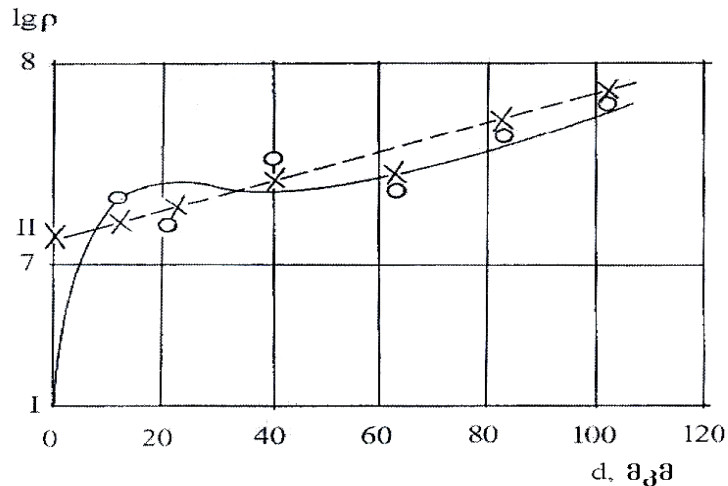
ნდა რამდენადმე მეტი, ვიდრე 10 მკმ სიღრმის ფენაში.

**ზედაპირული ელექტრო წინაღობა მინანქარში.** აღდგენითი ცეცხლის მინანქრების ზედაპირის ფენის თვისობრივი ცვლილებები დამატებით გამოვიკვლიეთ ნიმუშების ხვედრითი ზედაპირული ელექტროწინააღმდეგობის გაზომვით, ამისათვის ნიმუშების ზედაპირი დაფარეთ ვერცხლის პასტით და შემდეგ გამოვწვიეთ, ხოლო მიღებულ ელექტროდებს მივუერთეთ თერმოწვევით მზომი კონტაქტები: ელექტროწინააღმდეგობის გაზომვა მოვახდინეთ ოთახის ტემპერატურაზე (სურ. 2) ხვედრითი ზედაპირული ელექტროწინააღმდეგობის შედარებით დაბალი სიდიდე ( $\rho = 6,61 \text{ ომი}^{-1}$ ) აღინიშნა ნიმუშის ზედაპირზე. ფენის მოხსნის შედეგად მინისებური დამფარვის ელექტროწინააღმდეგობა იზრდება და 100 მკმ სიღრმეზე  $\rho$  მნიშვნელობა აღწევს 7,84 ომი<sup>-1</sup>. მინანქრის გაუპრიალებელი ზედაპირის დაბალი ზედაპირული წინააღმდეგობა შეიძლება ავსხნათ აღსორბირებული წყლის მაღალი შემცველობით, რაც დასტურდება გაუპრიალებელი ნიმუშის  $\rho$  მნიშვნელობის გაზრდით გამოწვის შემდეგ. გამოკვეთილად დასტურდება ურთიერთ კავშირი 10 მკმ სიღრმეში ჟანგბადის რაოდენობის შემცირება უზრუნველყოფს მინანქრის ხარისხიან აღდგენას და დაფარვის მაღალ ესთეტიკურ და დეკორატიულ შეხედულებას.



სურ. 1. ჟანგბადის შემცველობის ცვლილება მინანქრის შრეში  
 I - მინანქრის ფენის საფეხურისებრი მოხსნა ნიმუშების წინასწარი გახურების გარეშე;  
 II - მინანქრის ფენის საფეხურისებური მოხსნა ნიმუშების 350°C გახურების შემდეგ





სურ. 2. მინანქრის შრეში ხვედრითი ზედაპირული წინააღმდეგობის ცვლილება  
 I - მინანქრის ფენის საფეხურისებური მოხსნა ნიმუშების წინასწარი გახურების გარეშე  
 II - მინანქრის ფენის საფეხურისებური მოხსნა ნიმუშების 350°C გახურების გარეშე

**დაძაბულობა მინანქარში.** მინანქრის თერმო-მექანიკური თვისებების საკითხის შესასწავლად, როცა ხდება გამოწვის დამუხანგველი პირობების გადასვლა აღმდგენელზე, გამოვიყენეთ მოდელირების მეთოდი. მინანქრის ფუძის მოდელად შევარჩიეთ მინა C 48-3, რომლის თხგკ 20-580°C ტემპერატურულ ინტერვალში ტოლია 54·10<sup>-7</sup>°C<sup>-1</sup>-ს. აღნიშნული მინის შერჩევა დაკავშირებულია მისი გარბილების მაღალი ტემპერატურით (810°C), რაც უზრუნველყოფს მინისებური დამფარავების (მინანქარი, ჭიქური) გამოწვის შესაძლებლობას ფუძის (საფენის) დეფორმაციის გარეშე. ამავე დროს ჩვენ მიერ შერჩეული მინის უპირატესობა, როგორც მოდელის, მდგომარეობს იმაში, რომ შესაძლებელია დაძაბულობის განუწყვეტელი გაზომვა პოლიარისკოპოლი-ოპტიკური მეთოდით.

პრაქტიკულად მინანქრის აღდგენა და დაყოვნება 0; 5; 10; 15; 25; 35 წუთის განმავლობაში მინის საფენზე, მოვახდინეთ მუფელის ელექტროლუმელში 620-630°C ტემპერატურაზე.

თერმული დამუშავების შერჩეული რეჟიმი უზრუნველყოფს მინაში ნარჩენი დაძაბულობის არსებობას მისი მკვეთრი გაცივების გამო, აგრეთვე მინანქრის აღდგენის მონოტონური ხარისხის ამადლებას აღმდგენელ ატმოსფეროში დაყოვნების ხანგრძლიობის გაზრდით.

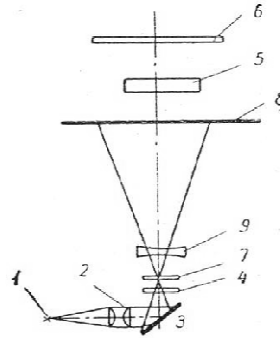
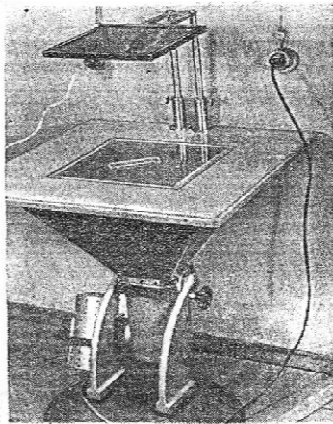
ნიმუშებში არსებული დაძაბულობა გავზომეთ პოლიარისკოპოლი-ოპტიკური PKC-125 ცნობილი მეთოდით [16-17].

მოწვის ხარისხზე ბევრად არის დამოკიდებული ნაწარმის საექსპლოატაციო საიმედოობა, რომელიც ხშირად განისაზღვრება ნაწარმში არსებული შიდა ნარჩენი დაძაბულობით და მათი მზა ნაწარმში განაწილებით. აღნიშნული პარამეტრის განსაზღვრა აუცილებელი ხდება იმ პოზიციიდან გამომდინარე, რომ არასრულად მომწვარ ნაწარმს, მასში არათანაბრად განაწილებული დაძაბულობათა არსებობის გამო, ახასიათებს დაქვეითებული (სუსტი) მექანიკური და თერმული თვისებები.

მინის ნაწარმში არსებული ძაბვების ხარისხობრივი შეფასება სპეციალური ოპტიკური ხელსაწყოთი - პოლარისკოპიით ხდება. ჩვენ მიერ კვლევის საჭირო ეტაპზე გამოყენებული იქნა პოლარისკოპი PKC-125, რომლის პრინციპული სქემა შემდეგია (სურ. 3).

შესამოწმებელი მინის ნაწარმი თავსდება ეკრანსა (6) და მქრქალ მინას (8) შორის, ე.ი. ანალიზატორამდე და ნელ-ნელა შემობრუნებით 360°-ით (მთელი წრით) მას ბრუნე უკეთდება იმ სიბრტყეში, რომელიც პოლარიზებული შუქის სიბრტყის პერპენდიკულარულია; ამ დროს იცვლება ნაწარმის შეფერილობა. ეკრანზე წარმოქმნილი ინტერფერენციული სურათის ხასიათი სრულად განისაზღვრება სხივთა სვლის სხვაობით (ჩვეულებრივი და პოლარიზებული), კერძოდ, ნაწარმის ამა თუ იმ წერტილში წარმოქმნილი სხივის სხვაობათა შეკრებით ან გამოკლებით.





სურ. 3. IKC-125 მარკის პოლარისკოპის სქემა  
 1 - შუქის წყარო (ნათურა); 2 - ლინზა-კონდენსატორი;  
 3- სარკე; 4 - პოლარიზატორი; 5 - მინის ნიმუში (საკვლევი ობიექტი)  
 6 - ანალიზატორი (ეკრანი), 7 - კვარცის ფირფიტა, 8 - მქრქალი  
 მინა; 9 - საპროექციო ობიექტივი

ჩვენ მიერ შესწავლილი იქნა მომინანქრებული მინის ნიმუში და აქედან გამომდინარე დაძაბულობათა სიდიდის დასადგენად გამოყენებული იქნა უკვე აღწერილი მეთოდის, მაგრამ სპეციფიკურ მიდგომაზე აგებული, კონკრეტული ექსპერიმენტის თავისებურება იმაში გამოიხატა, რომ ანალიზატორის ბრუნვა იმ მომენტამდე

ხდებოდა, სანამ მინაში წარმოქმნილი პოლარიზებული შუქის შავი ქობას „მინა-მინანქრის“ საზღვართან შერწყმა არ მოხდებოდა. წარმოქმნილი ძაბვების ხარისხობრივი და ოდენობითი შეფასებისათვის გამოყენებულ იქნა ინტერფერენციული ფერების ცნობილი ცხრილი:

ფერი	სვლათა სხვაობა(მკმ)	
ყვითელი -----	325	} ფერთა გამოკლება
მოყვითალო-მწვანე -----	275	
მწვანე -----	200	
მოცისფრო-მწვანე -----	145	
ცისფერი -----	115	
მეწამული იისფერი -----	0	
წითელი -----	25	} ფერთა შეკრება
ნარინჯისფერი -----	130	
ღია ყვითელი -----	200	
ყვითელი -----	260	
თეთრი -----	310	

მინის ფირფიტებში, რომლებიც დაფარულია აღდგენითი ცეცხლის მინანქრებით, კუმშვით დაძაბულობის შედეგები მოცემულია ცხრილ 1-ში:

ცხრილი 1  
 მინანქარში დაძაბულობის სიდიდის დამოკიდებულება დაყოვნების ხანგრძლივობასთან

დაყოვნების ხანგრძლივობა (წთ) 620-630°C	დაძაბულობის სიდიდე ნმ/სმ
0	64.0
5	58.2
10	56.0
15	56.4
25	54.8
35	54.2

უნდა აღინიშნოს, რომ დაძაბულობის სიდიდე მინარჩილში მინანქარი-მინა დამუხანგველ გარემოში გამოწვევისას ტოლია 76 ნმ/სმ.

ცვალებადი ვალენტობის ოქსიდების აღდგენას უნდა გამოეწვიოს მინანქრის თხეკ და მინანქრის ფენაში გამჭიმავი დაძაბულობის გაზრდა, რაც მინის საფენში გამოიწვევდა კუმშვითი დაძაბულობის მომატებას, მაგრამ გაზომვის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ მინანქრის ფენის აღდგენა დაკავშირებულია საპირისპირო ეფექტთან. სახელდობრ, დადგინდა, რომ 620-630°C თერმული დამუშავება აღმდგენელ გარემოში და 0-დან 5 წუთამდე დაყოვნება უკვე მნიშვნელოვნად ამცირებს დაძაბულობას. დაყოვნების შემდგომი გაზრდა პრაქტიკულად არ ცვლის დაძაბულობის სიდიდეს, რაც ადასტურებს მინანქარში ჟანგბადის რაოდენობის სტაბილიზაციას.

გამოვლენილი ეფექტი შეიძლება ავსხნათ მინანქრის დრეკადობის მოდულის შემცირებით, რომელსაც ადგილი აქვს აღდგენისას. თუ გავითვალისწინებთ ქრომოფორების დაბალ დრეკადობის მოდულს, რომელთა წარმოქმნა სავსებით შესაძლებელია მინანქრის ფენის აღდგენისას, ჩვენი მოსაზრება სავსებით საფუძვლიანი იქნება.

დაძაბულობის შემცირება მოსალოდნელია აგრეთვე ლითონის მინანქართან მინარჩილში, ამ უკანასკნელის აღდგენის შემთხვევაში. გარდა ამისა მინარჩილში, როცა გამოწვა ხდება

დამუხანგავ პირობებში, კონტაქტური ფენა იმყოფება შემკუმშავი ძალების ზემოქმედების ქვეშ, ამიტომ დაძაბულობის შემცირება ინტენსიურად მოხდება მინანქრის თხეკ გაზრდით მისი აღდგენისას.

### 3. დასკვნა

დადგენილია აღდგენითი ცეცხლის მინანქრების შედგენილობა და სითბური დამუშავების ძირითადი პარამეტრები. შესწავლილია ამდგენელი აირების ქიმიური მოქმედების პროცესები მინანქარზე, შედეგად ვიღებთ განსაკუთრებული ელფერის მინანქარს, რაც არ ახასიათებს ჩვეულებრივ აირის დამუხანგველ გარემოში სინთეზირებულ მინანქრებს. კვლევის თანამედროვე მეთოდებით დადგენილია ჟანგბადის შემცველობის, ელექტროწინააღმდეგობის და დაძაბულობის ცვლილებები მინანქრის ფენაში. მნიშვნელოვნად მარტივდება წარმოების პროცესი, ვინაიდან აღდგენითი პროცესების ხანგრძლივობის მიხედვით მზა მინანქრის ზედაპირი არ მოითხოვს გახეხვას და მრავალჯერად გაპრიალებას.

რეკომენდებულია ახალი კლასის მაღალ მხატვრული მინანქრების დანერგვა „ფოკანში“, „ორიენტირში“ და ინდივიდუალურად მოქმედ მხატვარ-მემინანქრეთა სახელოსნოებში.



### ლიტერატურა

1. Brehl E. Kunst-handwerkliches Emailieren VEB Fachbuchverlag, Leipzig, 1983, pp 26-27.
2. Петцольд А., Пешмаинг Г. Эмаль и эмалирование, М. «Металлургия», 1990, с.8-9.

3. შ. ამირანაშვილი. ხახულის კარედი. თბილისი, „ხელოვნება“, 1972, გვ.2-8.
4. Варин В., Антонова Е. и др. Технология эмали и эмалирования металлов. Гос. изд. Литературы по стр. Архит и стройматериалов. М., 1958, с.4.

5. ლ. ხუსკივაძე. შუა საუკუნეების ტიხრული მინანქარი. თბილისი, „ხელოვნება“, 1984, გვ. 7-10.
6. ვ. ხიმშიაშვილი. ტიხრული მინანქრის ტექნოლოგია. თბ., უნივერსიტეტის გამ., 1985, გვ. 3.
7. Миклашевский А.И. Технология художественной керамики, Л. изд. Лит. по строительству, 1971, с.300.
8. Гаприндашвили Г.Г. Перспектива применения силикатных горных пород в керамике. жур. Стекло и Керамика, №7, 1979, с.18-20.
9. გ. გაფრინდაშვილი, ს. სანაძე. ძვირფასი და ფერადი ლითონების მხატვრული მომინანქრების ხერხი. საქპატენტი P 5750, 2013 -02-07.
10. Блох Л.С., Бондаренко Б.И., Садунас А.С. Печная газовая среда при спекании фарфора. «Стекло и керамика» №1, 1984, с.21-22.
11. Августиник А.И. Керамика. Л. стройиздат, 1975, с. 660.
12. Г. Гаприндашвили, С.Санадзе, М. Кекелидзе. Некоторые физико-химические особенности художественных эмалей восстановительного огня. Georgian Engineering News, No 4, v. 56, 2010, p.68-72.
13. S. Sanadze, G. Gaprindashvili. Peculiarities of synthesis of selenium-cadmium red enamels. Programme and Book of Manuscripts, Tbilisi, 2010, p.178-180.
14. Визир В.А., Мартинов М.А. Керамические краски. Киев, Изд. «Техника», с. 101-105.
15. Блюмен А.М. Глазури. М. Промстройизд. 1954, с. 71-74.
16. Справочник по производству стекла . т.1. М. Гос. изд. литературы по строителству. Архит и строиматериалам. 1963, с.253-255.
17. Трошин Н.Н., Горина И.Н. Сергеева Л.С. Повишкова Л.Я., Контроль производства и качества изделий из стекла. М., Высш. школа, 1984, с.127.

UDC 666.95

## ARTISTIC ENAMELING WITH BY REDUCING FLAME TECHNIQUE (FIFTH METHOD)

G. Gaprindashvili, S. Sanadze

**Resume: Goal.** International establishment of the new 5th method of artistic enameling for jewellery, souvenir and other purposes.

**Method.** Use of microroentgen, roentgen impulses of different intensity electronic probe, polariscope-polymeter and other up-to-date devices for study of physical and chemical basics of reduction processes.

**Results.** In contrary of expectations there is determined oxygen content in enamel layer, specific electric resistance change on enamel surface and in the depth, stress changes in enamel depending on duration of enamel-base reducing atmosphere action.

**Conclusions.** Implementation of new class of artistic enameling is recommended in “Fokan”, “Orientir” firms and other enameling workshops of individual entrepreneurs.

**Key words:** reducing flame; roentgen impulse; electric probe; electric resistance; polarization-optical method; interference colors; expansion and compression stresses; solder alloy; module of elasticity.

**საქართველოს ბუნებრივ ნედლეულზე დაფუძნებული თხევადი ჰიბრიდურ-კოსმეტიკური საპონი**

**ნ. დევედარიანი, ხ. ნოზაძე, დ. ჯინჭარაძე, ნ. ბოკუჩავა**

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

E-mail: n.bokuchava@gtu.ge

**რეზიუმე:** მიზანი. პირველად მიღებულია თხევადი ჰიბრიდურ-კოსმეტიკური საპონი ასკანის ბენტონიტური თიხის გამოყენებით, რომლის შედგენილობა გამდიდრებულია ნაცარქათამას მცენარეული ნაყენით და სხვა დამხმარე ნივთიერებებით.

**მეთოდი.** პარფიუმერიულ-კოსმეტიკურ წარმოებაში მცენარეული ნედლეულიდან ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების გამოსაყოფად გამოყენებულია ექსტრაქციის მეთოდი.

**შედეგები.** თხევადი საპონი რეკომენდებულია სახის ნებისმიერი კანის, ხელების და ტანის დასაბანად.

**დასკვნა.** ასკანის ბენტონიტურ თიხაზე მიღებული თხევადი ჰიბრიდურ-კოსმეტიკური საპონი შეფუთულია სპეციალური დოზატორებით, რაც მაქსიმალურად იცავს კანს ჭუჭყისგან. ამასთან, მისი გამოყენება პატარა ანტიბაქტერიული ჭურჭლით მოსახერხებელია მოგზაურობაში. საპონი აცილებს ჭუჭყს, არბილებს და არ აღიზიანებს კანს.

**საკვანძო სიტყვები:** ბუნებრივი თიხა; მცენარეული ნაყენი; საპონი; მიკროელემენტები.

**1. შესავალი**

საპონი ცნობილია უსსოვარი დროიდან. მას იყენებდნენ ძველი ეგვიპტელები. საპონის შექმნამდე კი ხმარობდნენ სოდას, ნაცარს და სხვა გასარეცხ საშუალებებს. რომაელები ამზადებდნენ სხვადასხვა სახის საპონს თიხის ქონის ნაცართან დუდილით. ასეთი საპონი წყალში ცუდად იხსნება, ამიტომ იყენებდნენ მხოლოდ კოსმეტიკურ საშუალებად.

თხევადი საპონი ითვლება ყველაზე ჰიბრიდურ საშუალებად, რადგან შეფუთულია სპეციალური დოზატორებით, რომელიც მთლიანად იცავს კანს ჭუჭყისგან. ამასთან, თხევად საპონს გააჩნია კოსმეტიკური თვისებების დიდი სპექტრი. ეს იმით აიხსნება, რომ თხევად კონსისტენციაში ადვილია სხვა კომპონენტების დამატება, როგორცაა მცენარეული ექსტრაქტები, ეთერზეთები და სხვ. ყოველივე ეს ხელს უწყობს ადამიანის კანის pH-ის დონის აღდგენას. მოგზაურობაში

მოსახერხებელია მისი პატარა ანტიბაქტერიული ჭურჭლით წაღება.

საქართველოში, ხალხურ მედიცინაში უსსოვარი დროიდან იყენებდნენ თიხას. იგი ცნობილი იყო სხვადასხვა სახელწოდებით: „წითელი“, ანუ „სომხური მიწა“ და „თეთრი“ თიხა, თეთრი ფხვნილი მოყვითალო ან ნაცრისფერი ელფერით.

თიხის ცნების ქვეშ იგულისხმება მიწისებრი მასალა, რომლის ნაწილაკების ზომა არ აღემატება 2 მმ-ს. იგი ხასიათდება წყლის ძლიერი შთანთქმით, გაჯირჯევით, მაღალი დისპერსიულობით და ადსორბციის უნარით. ქიმიურად სუფთა თიხა წყალში არ იხსნება და ცხიმოვანი. დიდი რაოდენობის წყალთან შერევით, წარმოქმნის პასტისმაგვარ მასას. თეთრი თიხა ადამიანისათვის უვნებელია და საუკეთესო ანტისეპტიკია. მედიკამენტებზე უკეთესად კლავს ავადყოფობის გამომწვევ ბაქტერიებს და აქრობს ანთებით პროცესებს. ქიმიურად არააქტიურია, ამდენად სრულიად უვნებელია. თიხა შთანთქავს ტოქსინებს, შლაკებს, შხამებს, ასევე გამოყოფს ორგანიზმიდან რადიონუკლიდებს, ასუფთავებს სისხლს, ჯირკვლებს და ნერვულ ცენტრებს [1].

**2. ძირითადი ნაწილი**

თხევადი ჰიბრიდურ-კოსმეტიკური საპონის მისაღებად ჩვენ მიერ შერჩეულია ასკანის ბენტონიტური თიხა, რომლის შედგენილობა გამდიდრებულია ნაცარქათამას მცენარეული ნაყენით და სხვა დამხმარე ნივთიერებებით.

ასკანის ბენტონიტური თიხა წარმოდგენილია ორი სახესხვაობით. ასკანგელი – ტუტე ბენტონიტი და ასკანთიხა – ტუტე-მიწაბეტონიტი.

ასკანგელი –  $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$  ტუტე მონტმორილონიტიანი თიხა ნაცრისფერია, ხასიათდება ტიქსოტროპული თვისებებით, ძლიერ იჯირჯება (1:10), ახასიათებს მაღალი დისპერსიულობა, რის გამოც აქვს მაღალი შემკვრელი თვისებები და პლასტიკურობა. მცენარეული ნაყენის (ნაცარქათამა) მინიმალური დამატებით ის ქმნის პლასტიკურ მასას [2].

ასკანის თიხის თვისებების დასახასიათებლად განსაზღვრული იყო მისი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები და ქიმიური შედგენილობა, რომლის შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 1, 2.

ასკანის თიხის, ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები

სინესტა, %	მოცულობითი წონა, გ/სმ <sup>3</sup>	წებვადობა, გ/სმ <sup>2</sup>	პლასტიკურობა, დინ/სმ <sup>2</sup>	თბოგამტარობა, კკალ/სმ <sup>2</sup> წმ	თბოტევადობა, კკალ/სმ <sup>2</sup> წმ	სითბოს შეკავების უნარი, წმ	pH	Eh, mv	ნაცრიანობა, %
42	1,31	7810	6500	0,0021	0,54	333	6,6	-110	86

ასკანის თიხის ნაცრიანობა შეადგენს 86%, რაც გამოწვეულია, ძირითადად, თიხიანი ფენების არსებობით. საკვლევი თიხა ხასიათდება ადმდეუნელი თვისებებით, რასაც მიუთითებს უანგვა-ადგენის პოტენციალის უარყოფითი სიდიდე. მისთვის დამახასიათებელია მაღალი სინესტა – 42%. აღსანიშნავია მნიშვნელოვნად მაღალი წებვადობისა და პლასტიკურობის სიდიდეები [2]. კრისტალური ჩონჩხი, ძირითადად წარმოდგენილია ნაწილაკებით, რომლის დიამეტრი <0,01 მმ (45,8% მშრალ ტალახზე).

ქიმიური ანალიზის შედეგებმა აჩვენა, რომ SiO<sub>2</sub> შემცველობა შეადგენს 56-58%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 14,2%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,5%; CaO – 11,4%, MgO – 4,3%, SO<sub>3</sub> – 2,4%, Na<sub>2</sub>O – 1,5%, K<sub>2</sub>O – 1,1%. გოგირდწყალბადის საერთო რაოდენობა დაბალია – 0,05%. მიკროელემენტების შედგენილობისა და რაოდენობის შედეგები მიღებული სპექტრალური და რენტგენფლუორესცენტური მეთოდებით, მოყვანილია ცხრ. 2-ში.

მიკროელემენტების შედგენილობა, %

Pb	Sr	Fe	Ag	Ba	Zn	Mg	Co	Ni	Ca	Rb
1,0·10 <sup>-3</sup>	4,3·10 <sup>-2</sup>	2,4	6,0·10 <sup>-5</sup>	10,0·10 <sup>-2</sup>	1,0·10 <sup>-2</sup>	5,1·10 <sup>-2</sup>	6,0·10 <sup>-4</sup>	0,15-21	3,7	5,9·10 <sup>-3</sup>

Sn და Cr ელემენტები თიხაში არ აღმოჩნდა. ნაპოვნია ბიოლოგიურად აქტიური ელემენტები – Fe, Co, Ni, Sr, Mn, Zn, Ag და რიგი მეტალებისა, რომელთა ბალნეოლოგიური როლი არ გამოვლენილა. ასკანის თიხის შედგენილობა გამდიდრებულია მცენარე ნაცარქათამას ნაყენით (თანაფარდობით 1:10). ნაცარქათამა (ბოტ. ყარღანი, ჩარანი) საქართველოში ფართოდ გავრცელებული ერთწლიანი მცენარეა. ქართველები ნაცარქათამას ნაცრიდან ოდითგანვე ხარშავდნენ ს-აპონს: „აქა არს ბალახი, რომლის ძირს დასწვენ, და ნაცრითა მისითა აღულებენ საპონს უმჯობესსა, კუალად, ხმარობენ სხუაფერცა“ (ვხუშტი ბაგრატიონი). ნაცარქათამას სოლასაც უწოდებენ: „მარილისი, ესრეთ ეწოდების წვნიანთა ბალახთა, რო-

მელნიცა აღმოსცენდებიან ზღვისპირებსა და მლაშე ადგილთა, რომელნიცა დაწვისა შემდგომად იძლევიან ნაცარტუტის აღმონაკვეთის მარილსა და უწოდებენ მას სოდად, რომელსა დასწვავენ რა და გარდააქცევენ ნაცრად, და ანაცრებენ მით მარილსა და უწოდებენ მას სოდად, რომელსა ჰსჭამენ ხალისით აქლემნი“ [3]. ნაცარქათამა შეიცავს დიდი რაოდენობით საპონინებს, კაროტინს, ალკალიიდებს, ვიტამინ C, E, ორგანულ მჟავებს, ცილებს, ეთერზეთებს. ნაცარქათამას კლასის მცენარეები დიდი რაოდენობით მოიპოვება რაჭასა და ქართლში. მათ მიეკუთვნება ჩარანი, ყარღანი. ამ კლასის მცენარეების ქიმიური შედგენილობა შესწავლილია ავტორების [3] მიერ და წარმოდგენილია ცხრ. 3.

**ჩარანისა და ყარღანის ქიმიური შედგენილობა, მას%**

მცენარეების დასახელება	შემცველობა, მას%									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl
ჩარანი	4,4	2,9	2,1	8,2	7,5	43,4	3,7	0,8	7,3	27,3
ყარღანი	3,8	2,4	2,0	9,2	2,7	45,5	2,1	1,5	6,2	25,4

თხევადი საპნის შედგენილობაში დამხმარე ნივთიერებების სახით შეყვანილია გლიცერინი, საკვები სოდა, ნიშადურის სპირტი, NaKML – ნატრიკარბოქსიმეთილცელულოზა, 3% წყალბადის ზეჟანგი და ბოლოს ემატება სურნელოვანი ნივთიერება.

გლიცერინი – სამატომიანი სპირტი, სხვადასხვა ცხიმოვანი მჟავებით შედის ბუნებრივი ცხიმებისა და ზეთების შედგენილობაში. გლიცერინში იხსნება ბორის მჟავა, ნატრიუმის ტეტრაბორატი, ნატრიუმის ჰიდროკარბონატი, ტანინი და სხვა. 86%-ზე მეტი კონცენტრაციის გლიცერინი ძლიერ ჰიგროსკოპულია. იწვევს კანის გაწითლებას, გაღიზიანებასა და აქერცლას. ამიტომ გამოიყენება წყალ-გლიცერინიანი და ეთანოლ-გლიცერინიანი ნარეუების სახით. გლიცერინის თანაბარი რაოდენობით წყლით განზავებისას მიიღება საუკეთესო ლოსიონები, რომელიც არბილებს და ასწორებს კანს. გლიცერინი წარმოადგენს კრიოპროექტორს. ამცირებს პრეპარატის გაყინვის ტემპერატურას, ეწინააღმდეგება ნაწარმის გამოშრობას.

საკვები სოდა – NaHCO<sub>3</sub> ნაზი, გაუცხიმოვნებელი და ამქერცლავი საშუალებაა, არბილებს ხისტ წყალს.

წყალბადის ზეჟანგი – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3% – ადუხინფიცირებს და აუფერულებს კანს.

ნიშადურის სპირტი – 10% ამიაკი, გამოიყენება ხელების დასაბანად ქირურგიაში. გააჩნია ანტიმიკრობული თვისებები, კარგად ასუფთავებს კანს.

ნატრიკარბოქსიმეთილცელულოზა – NaKML ბუნებრივი მცენარეული წარმოშობის გელწარმომქმნელი, ლაბისებრი ნივთიერებაა, რომელიც წყალთან წარმოქმნის კოლოიდურ სისტემას. არატოქსიკურია და ფიზიოლოგიურად უვნებელი. კარგად იხსნება ცივ და ცხელ წყალში, არ იხსნება ორგანულ გამხსნელებში, მინერალურ

ზეთებში. წყალში გახსნისას NaKML წარმოქმნის ბლანტ გამჭვირვალე ხსნარს, pH = 7,5.

**ტექნოლოგიური პროცესის აღწერა**

წინასწარ ამზადებენ ასკანის თიხის ფხვნილს, რისთვისაც ასუფთავებენ, ფქვავენ და ცრიან წმინდა საცერში. თიხას აშრობენ მზეზე, ან თერმოსტატში 80-85°-მდე, უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ის კარგავს სამკურნალო თვისებებს.

მცენარე ნაცარქათამას ფოთლებს აქუცმაცებენ, წონიან, ამატებენ ადუღებულ წყალს (1:10). გაციების შემდეგ წურავენ ორმაგ დოლბანდის ფენაში. ცალკე ამზადებენ NaKML – ხსნარს, რისთვისაც 0,5 გ-ს ხსნიან 50 მლ. ცხელ 70° გამოხდილ ან ადუღებულ წყალში, აქაფების მიზნით აყოვნებენ 5 სთ.

10 გ ასკანის ბენტონიტურ თიხას ამატებენ 100 მლ თბილ ნაცარქათამას ნაყენს, ურევინ ხის კოვზით სრულ გახსნამდე. შემდეგ თქვეფენ მიქსერით და თანდათანობით ამატებენ 5 გ საკვებ სოდას, 5 გ გლიცერინს, 5 მლ წყალბადის ზეჟანგს და 2,5 მლ ნიშადურის სპირტს და თქვეფენ. მიღებულ თიხიან მასას ამატებენ 50 მლ NaKML წინასწარ დამზადებულ აქაფებულ ხსნარს და აგრძელებენ სრულ გახსნას. მიღებულ თხევად საპონს აყოვნებენ 2 დღე, ურევინ ხის კოვზით, სურნელის დამატების შემდეგ გადააქვთ ჭურჭელში დასაფასოებლად.

**3. დასკვნა**

პირველადაა მიღებული თხევადი ჰიგიენური-კოსმეტიკური საპონი ასკანის ბენტონიტური თიხის გამოყენებით, რომლის შედგენილობა გამდიდრებულია ნაცარქათამას მცენარეული ნაყენით და სხვა დამხმარე ნივთიერებებით.

მიღებული თხევადი ჰიგიენურ-კოსმეტიკური საპონი ასკანის ბენტონიტურ თიხაზე შეფუთულია სპეციალური დოზატორებით, რომელიც

მაქსიმალურად იცავს ხელებს ჭუჭყისაგან. ამასთან, მისი გამოყენება მოსახერხებელია მოგზაურობაში პატარა ანტიბაქტერიული კონტეინერით. საპონი აცილებს ჭუჭყს, არბილებს და არ აღიზიანებს კანს.

#### ლიტერატურა

1. Милаш М.? Целебная глина и лечебные грязи. М.: Санкт-Петербург: СОВА, 2006.
2. Бахман В., Овсянникова К., Водковская А. Методика анализа лечебных грязей (пелоидов). М: Наука, 1965.
3. მ. კაპანაძე, ა. სარუსანიშვილი, რ. ჩაგუნავა. მინის ქიმია და ტექნოლოგია ძველ საქართველოში. თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2004.
4. Дрибноход Ю. Косметика. Косметология. Словарь справочник. Санкт-Петербург, Весь, 2002.

---

UDC 613.4

### LIQUID HYGIENIC-COSMETIC SOAP BASED ON NATURAL RAW MATERIALS OF GEORGIA

N. Devdariani, Kh. Nozadze, D. Jincharadze, N. Bokuchava

**Resume: Goal.** Creation of liquid soap mixtures based on bentonite clays mainly enriched with "Chenopodium" herbal extract and other useful natural additives.

**Method.** Widely used method of extraction of biologically active compounds from herbal raw materials.

**Results.** Created liquid soap due to its smoothing and hydrating properties is recommended for application on all types of facial skin, as well as for hands and body.

**Conclusion.** For more convenient use it is recommended to pack and dispose cosmetic soap with hygienic properties using special containers equipped with dosator.

**Key words:** Natural Clays; Biologically Active Extract; Chenopodium; Dispenser with dosator.

---



შპს 330:625

**მცირე ბიზნესის რეგიონული განვითარების პრობლემატიკა. მათი გადაწყვეტის გზები და საინვესტიციო გარემოს გაუმჯობესების ღონისძიებები**

ა. კანკაძე

ტრანსპორტისა და მანქანათმშენებლობის მენეჯმენტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 68 ბ

E-mail: akankadze@yahoo.com

**რეზიუმე:** *მეთოდი.* კვლევის მეთოდი მდგომარეობს მცირე ბიზნესის განვითარების პრობლემებში, მათი განვითარების გზებსა და საინვესტიციო გარემოს გაუმჯობესების ღონისძიებებში.

**მიზანი.** კავშირის დადგენა მცირე ბიზნესის განვითარებას, მათ გადამწვევებ გზებსა და საინვესტიციო გარემოს გაუმჯობესებას შორის.

**შედეგები.** გამოკვლევების თანახმად, საკუთარი სახსრები წარმოადგენს კაპიტალის ძირითად წყაროს, როგორც დამწვევები მეწარმეთათვის, ისე იმ მეწარმეებისთვისაც, რომლებიც შეიძენენ უკვე არსებულ წარმოებას. მათ მუშაობის პროცესში უწევთ ფინანსური სახსრების გარე წყაროების მოძიება.

**დასკვნა.** საფინანსო კომპანიები ხშირ შემთხვევაში, არ აფინანსებენ მცირე საოჯახო საწარმოებს, რადგანაც მათ ინტერეს წარმოადგენს მზარდი ამონაგებისა და მოგების პერსპექტივების მქონე საწარმოები, რომელთაგანაც უპირატესობა ენიჭება მაღალტექნოლოგიურ დარგებს.

**საკვანძო სიტყვები:** ბიზნესი; მცირე ბიზნესი; რეგიონში ბიზნესის განვითარება; დემოგრაფიული თავისებურებების გავლენა ბიზნესზე. მცირე ბიზნესის ფინანსური უზრუნველყოფის შესაძლებლობები და საინვესტიციო გარემოს გაუმჯობესება.

**1. შესავალი**

საქართველო, სახელმწიფოებრივი მშენებლობის ყველა ეტაპზე ატარებს მიზანმიმართულ და შედეგებზე ორიენტირებულ ეკონომიკურ და სოციალურ პოლიტიკას. მისი ძირითადი მიმართულებები მთლიანად ქვეყნისა და ცალკეული რეგიონის დონეზე, ითვალისწინებს ქვეყნის მშპ-ს ზრდას. რეგიონული საწარმოო პოტენციალის ოპტიმალურ გამოყენებას, მოსახლეობის მსყიდველობითი უნარის ამაღლებას, საერთაშორისო იმიჯის გაუმჯობესებას.

ბიზნესის წარმოება ადამიანებს შესაძლებლობას აძლევს საკუთარი შრომით, საკუთარი რისკის ფასად გამოავლინონ თავისი გონებრივი და ფიზიკური შესაძლებლობები, გახდნენ საზოგადოების სრულფასოვანი და აღიარებული, ღირსეული წევრები.

ამ თვალსაზრისით, ქართული სახელმწიფოს ერთ-ერთ მთავარ ფუნქციად მიგაჩნია ბიზნესის ხელშეწყობა. ქვეყნის გეოგრაფიული, სამეურნეო თავისებურებების, ბუნებრივი რესურსების მრავალფეროვნების და ტრადიციების გათვალისწინებით პერსპექტიულად გვესახება მცირე ბიზნესის განვითარება.

რეგიონში, მცირე ბიზნესის განვითარებაზე გავლენას ახდენს მრავალი ფაქტორი, რომელთაგან აღსანიშნავია რეგიონის დემოგრაფიული თავისებურებები, რესურსების ათვისების ხასიათი, ინფრასტრუქტურის დონე, რეგიონული ხელისუფლების დამოკიდებულება და სხვა.

მცირე ბიზნესის განვითარების რეგიონული მართვის პრინციპების პერსპექტიულობას ამტკიცებს შემდეგი პირობაც: საქართველოს კლასიკური მთიანი ქვეყანაა და მცირე კომლიანი დასახლებული პუნქტების სიმრავლით ხასიათდება. აქ მცხოვრები ეკონომიკურად აქტიური მოსახლეობის დასაქმებისათვის ხელსაყრელია საწარმოთა ამოქმედება. ეს ერთი მხრივ, სასარგებლოა მეწარმისათვის, რადგან საშუალება ეძლევა დაასაქმოს ადგილზე მცხოვრები იაფი მუშახელი, ხოლო მეორე მხრივ, თავიდან გვაცილებს მოსახლეობის გადაადგილების საჭიროებას სამუშაოს მოძებნასთან დაკავშირებით.

**2. ძირითადი ნაწილი**

საქართველოს რეგიონებში გვაქვს მცირე ბიზნესის არარაციონალური სტრუქტურა, რაც გამოიხატება რეგიონების, მხარეების, ქალაქებისა და დაბების მიხედვით მათ არათანაბარ განვითარებაში.

რეგიონებში მცირე მეწარმეობის განვითარების დონე დამოკიდებულია ისეთ ფაქტორებზე, როგორცაა ხელსაყრელი გეოგრაფიული მდებარეობა, მოსახლეობის შემოსავლების დონე, განვითარებული ინფრასტრუქტურა, ადგილობრივი ხელისუფლების დამოკიდებულება.

მცირე ბიზნესისათვის პრიორიტეტულია კვების მრეწველობა. საქართველოს დიდი პოტენციალი გააჩნია საკონსერვო წარმოების განვითარებისათვის. საბჭოური ეკონომიკის დროს ის მილიარდ პირობით ქილა კონსერვს ამზადებდა, დღეისათვის კი მეთაფსაც ვერ ამზადებს.

საქართველოს ეკონომიკის განვითარების დღევანდელ ეტაპზე, უპირატესობა უნდა მიენიჭოს მცირე მეწარმეობის განვითარების ხელშე-

წლები სოციალურ-ეკონომიკური გარემოს შექმნას, რაც ბუნებრივია მხოლოდ საკანონმდებლო ბაზის ჩამოყალიბებას არ გულისხმობს. იგი ბაზარზე სწორი ორიენტაციის არჩევაშიც უნდა დაეხმაროს მეწარმეს. ამასთან ერთად, დაიცვას იგი საშინაო ბაზარზე, ხელი შეუწყოს საგადასახადო, სატარიფო, საბაჟო მექანიზმების გამოყენებით და სხვა.

რეგიონებში მცირე ბიზნესის სტიმულირებისათვის მეტად მნიშვნელოვანი ნაბიჯი გადაიდგებოდა, თუ სახელმწიფო მიიღებდა გადაწყვეტილებას, ბიზნესებიდან მიღებული გადასახადების ადგილობრივ ბიუჯეტებში წარმართვის სასარგებლოდ. ასეთ შემთხვევაში თვით ადგილობრივი ხელისუფლება იქნებოდა დაინტერესებული ბიზნეს-სუბიექტების რიცხვის ზრდითა და მათი საქმიანობის მხარდამჭერი ღონისძიებების შემუშავებით, შესაბამისად კი ადგილობრივ ბიუჯეტებში შენატანების გაზრდით.

უცხოეთში არსებობს სახელმწიფოთა მუნიციპალიტეტების მონაწილეობით ერთობლივი პროგრამების რეალიზაციის გამოცდილება. საქართველოშიც შესაძლებელია „მუნიციპალიტეტთა შორისი პრიორიტეტული პროგრამების“ შემუშავება, რომლებიც შესაძლებელია განხორციელდეს ერთდროულად რამდენიმე მუნიციპალიტეტში, რომელთაც ექნებათ სოციალური და ეკონომიკური მნიშვნელობა და ასევე მისცემენ ეკონომიკურ ეფექტიანობას მცირე ბიზნეს-სუბიექტებს.

დღეისათვის საქართველოში მცირე ბიზნესში არსებული მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ იგი ჯერ კიდევ ფორმირების ეტაპზეა. ამ სფეროს რადიკალური გარდაქმნა-განვითარებისათვის აუცილებელია სახელმწიფო მარეგულირებელი ფუნქციების გააქტიურება და მასშტაბების გაზრდა.

ბიზნესის განვითარების საწყის ეტაპზე დაფინანსება წარმოადგენს არაერთი პოტენციური ბიზნესმენისათვის სირთულეთა სათავეს.

გამოკვლევების თანახმად საკუთარი სახსრები წარმოადგენს კაპიტალის ძირითად წყაროს, როგორც დამწყები მეწარმეთათვის, ისე იმ მეწარმეებისთვისაც, რომლებიც შეიძენენ უკვე არსებულ წარმოებას. მათ მუშაობის პროცესში ასევე უწევთ ფინანსური სახსრების გარე წყაროების მოძიება.

მცირე მეწარმისათვის, როგორც წესი, უფრო უსაფრთხოა ახალი წარმოების ფინანსირება ინვესტორთა სახსრებით და არა კრედიტებით. ტიპური საფინანსო კომპანია ყოველწლიურად ღებულობს 1000-მდე მოთხოვნას დაფინანსებაზე, რომელთაგან ხანგრძლივი ანალიზის შემდეგ მხოლოდ რამდენიმე კმაყოფილდება.

საფინანსო კომპანიები ძირითადად არ აფინანსებენ მცირე საოჯახო საწარმოებს, რადგანაც მათ ინტერესს წარმოადგენს მზარდი ამონაგებისა

და მოგების პერსპექტივის მქონე საწარმოები, რომელთაგანაც უპირატესობა ენიჭება მაღალტექნოლოგიურ დარგებს.

საინვესტიციო პოლიტიკის ეფექტიანობის ამაღლება ჩვენი ქვეყნის უმნიშვნელოვანესი პრიორიტეტია, ამისათვის აუცილებელია ინვესტიციური საქმიანობის მუდმივი სრულყოფა და მისი მართვის გაუმჯობესება მეურნეობრიობის ყველა დონეზე.

საქართველოში, მცირე ბიზნესის ინვესტირების შედარებით განვითარებული წყარო საბანკო კრედიტია.

მცირე საწარმოთა ზრდასთან ერთად იზრდებოდა მცირე ბიზნესის დაკრედიტებაზე მოთხოვნაც, სწორედ კრედიტი წარმოადგენს ჩვენ სინამდვილეში აუცილებელ პირობას წარმოების განსავითარებლად და საქონელბრუნვის გასაუმჯობესებლად.

მცირე ბიზნესის დაკრედიტება, საბანკო საქმიანობის ერთ-ერთ ურთულეს მიმართულებაა, რაც გამოიხატება ოპერაციათა შემოსავლიანობასა და საკრედიტო საშუალებების ბრუნვით მცირე ვადებში. ხშირ შემთხვევაში ბანკები თავს იკავებენ მცირე ბიზნესის დაკრედიტებაზე თუკი ისინი მყარად არ ფუნქციონირებენ და დიდი ხნის გამოცდილება არ აქვთ.

იმ უმთავრეს ფაქტორებს შორის, რომლებიც ხელს უშლიან ბიზნესის განვითარებას, მეწარმეები პირველ რიგში ასახელებენ ფინანსური რესურსების სიმცირეს, ხოლო შემდეგ, მაღალ საგადასახადო განაკვეთებს, ხელისუფლების მხრიდან ბიზნესის ინტერესების დაუცველობასა და ბიზნესის საკონსულტაციო მომსახურების ხელმიუწვდომლობას.

სახელმწიფოს ეკონომიკურ პოლიტიკაში უნდა აისახოს და გატარდეს მცირე ბიზნესის ფინანსურ მხარდაჭერასთან დაკავშირებული შემდეგი ღონისძიებები:

- მცირე ბიზნესის სასტარტო კაპიტალით ფინანსირების პროგრამების შემუშავება, რომელიც მიმართული იქნება მცირე საწარმოთა დაბალი საპროცენტო განაკვეთით დაკრედიტებაზე;

- მცირე ბიზნესის დახმარების ფონდის ჩამოყალიბება, რომელიც იკისრებს თავდებობას ბანკებთან კრედიტის მიღებისას;

- მცირე ბიზნესის საწარმოებისთვის შეღავათიანი დაბეგერის სისტემის შემოღება და ა.შ.

ამრიგად, მცირე ბიზნესის მხარდაჭერის ღონისძიებები, მათი ფინანსური მდგომარეობის გაუმჯობესება და სტაბილიზება, ახალი საშუალო ადგილების შექმნის მყარი გარანტიები, ბუნებრივია ქვეყნის დაბალანსებული ეკონომიკის ფორმირებისა და ფუნქციონირების რეალური საფუძველი გახდება.

### 3. დასკვნა

ბიზნესი არის წინასწარ გააზრებული საქმიანობა, ურთიერთობათა ერთობლიობა, რომელსაც მოაქვს ინდივიდის მატერიალური და სულიერი მოთხოვნილებების დაკმაყოფილებისთვის გარკვეული შემოსავალი, ის ამავდროულად, საზოგადოებრივი სარგებლიანობისთვის მატარებელიცაა, რადგან თითოეული ინდივიდის ინტერესების დაკმაყოფილება, აუცილებლად ითვალისწინებს საზოგადოების ინტერესებსაც. ამ პროცესს თან ახლავს წინააღმდეგობები, რომლებიც შეიძლება განვიხილოთ, როგორც საზოგადოების ეკონომიკური პროგრესის და საფუძველი.

მცირე ბიზნესი, თავისი მოცულობით, ეკონომიკის ერთ-ერთ უმსხვილეს სექტორს წარმოადგენს. იგი როგორც ბიზნეს სისტემის, ასევე მთელი ეკონომიკური სისტემის ფორმირების, განვითარებისა და სტაბილურობის ერთ-ერთი პირველი წყაროა.

2011 წლის პირველ იანვრიდან საქართველოს საგადასახადო კოდექსში შეტანილი ცვლილებების თანახმად, მცირე ბიზნესს მიეკუთვნება ფიზიკური პირის საქმიანობა, რომლის წლიური ბრუნვა არ აღემატება 100 ათას ლარს, ხოლო მიკრო ბიზნესის – 30 ათას ლარს.

მცირე ბიზნესს აქვს მნიშვნელოვანი სოციალურ-ეკონომიკური როლი, რაც ძირითადად გამოიხატება საზოგადოების საშუალო ფენის ფორმირების დაჩქარებაში და ეკონომიკურად აქტიური მოსახლეობის რიცხვის ზრდაში; უნარიან მეწარმეთა წარმოჩენაში.

უნდა აღინიშნოს, რომ მსხვილი და მცირე წარმოება თუნდაც ერთი ტერიტორიის ფარგლებში, როგორც წესი, არ არის ურთიერთშემცველი.

მიუხედავად იმისა, რომ საქართველოში მნიშვნელოვანი წარმატებებით ბიზნესის განვითარებასთან დაკავშირებით და ხელისუფლებაც ეტაპობრივად შეიმუშავეს მცირე მეწარმეობის მხარდაჭერის მექანიზმებს, მეწარმეები კვლავ სამეწარმეო გარემოს გაუმჯობესების მოლოდინში არიან.

გამოკვლევებით ჩანს, რომ მეწარმეობისათვის დღესაც აქტუალურია ისეთი ხელშემშლელი ფაქტორები, როგორცაა ფინანსებზე ხელმისაწვდომობა, კრედიტის მაღალი საპროცენტო განაკვეთი, მაღალი საგასახადო განაკვეთები. მეწარმეები თვლიან, რომ მათი ბიზნესის წარმატებული განვითარებისათვის ზემოთ აღნიშნულ პრობლემებთან ერთად არანაკლები მნიშვნელობა აქვს მოსახლეობის მსყიდველობითუნარიანობას. აქედან გამომდინარე, ზოგადად ბიზნესისათვის მნიშვნელოვანია მოსახლეობის კეთილდღეობა, რომელზეც ჯაჭურად არის მიბმული ბიზნესის გაფართოების შესაძლებლობები.

საქართველომ უნდა დააჩქაროს კონკურენტუნარიანობის ეროვნული მოდელების დამუშავება მსოფლიო ეკონომიკური ფორუმისა და მსოფლიო ბანკის რეიტინგების რეკომენდაციებისა და დასკვნების გათვალისწინებით, რომელთა გაუმჯობესებისაკენ სწრაფვა, საქართველოში გამოიწვევს არსებული ბიზნეს კლიმატის გაუმჯობესებას, სრულყოფასა და შესაბამისად ბიზნეს სუბიექტებისათვის ხელსაყრელი საქმიანი პირობების შექმნას.

ზოგადად, ქვეყნის ეკონომიკაში, მცირე ბიზნესის როლის განსაზღვრისას უნდა გამოვიყენოთ ისეთი მაჩვენებლები, როგორცაა: მშპ-ში მცირე ბიზნესის წილი, პროდუქციის წარმოებისა და ბრუნვის მაჩვენებლები მცირე ბიზნესში, მცირე საწარმოთა რაოდენობა 100 მცხოვრებზე გაანგარიშებით, მცირე ბიზნესის წილი ექსპორტში და ა.შ.

მშპ-ში მცირე ბიზნესის დაბალ ხვედრით წილს უკავშირებენ მცირე საწარმოების განსაზღვრის კრიტერიუმებს. მაშინ, როცა საქართველოში მცირე საწარმოთა ბრუნვის რაოდენობა შეადგენს 100 ათას ლარს, ევროკომისიის მიერ მიღებული კლასიფიკაციით მიკრო საწარმოთა ბრუნვა 2 მილიონ ევროს უნდა შეადგენდეს, ხოლო მცირე საწარმოებისთვის კი 10 მილიონ ევროს.

თანამედროვე პირობებში მცირე ბიზნესის განვითარების და ბაზარზე პოზიციების გამყარებისათვის მნიშვნელოვან შიდა ფაქტორს წარმოადგენს მართვის სისტემის სრულყოფა. მან უნდა მოიცვას პროგნოზირების, დაგეგმვის, აღრიცხვის, ანალიზისა და კონტროლის პროცესები. შიდა გარემოს მონიტორინგის მაჩვენებლებმა უნდა მისცეს საწარმოს ხელმძღვანელობას საშუალება მიიღოს სტრატეგიული გადაწყვეტილებები. ამიტომ, მცირე საწარმოებში მსგავსი სისტემის შემუშავება და დანერგვა წარმოადგენს საკმაოდ აქტუალურ საკითხს.

მცირე ბიზნესის განვითარების სტრატეგიის შემუშავებისას, განსაკუთრებული მნიშვნელობა უნდა მიენიჭოს მცირე ბიზნესის ინოვაციურ ხელშეწყობას, რომელიც მოითხოვს მეცნიერულ-ტექნიკური ინფრასტრუქტურის განვითარებას, იმ ბიზნეს სუბიექტების მხარდაჭერას, რომლებიც ორიენტირებული არიან ინოვაციებზე და მაღალ ტექნოლოგიებზე. ინოვაციური სტრატეგიის შემუშავება უნდა აისახოს ინოვაციური განვითარების სახელმწიფო მიზნობრივ პროგრამებში. ასეთი პროგრამები ამა თუ იმ ფორმით არსებობს განვითარებულ და განვითარებად ქვეყნებში, რომელთა გამოყენების ეფექტიანობას კარგად აჩვენებს იაპონიის, სინგაპურის, ისრაელის და სხვათა გამოცდილება.

## ლიტერატურა

1. <https://www.google.ge>
2. საქართველოს პარლამენტის ეროვნული ბიბლიოთეკა <http://www.nplg.gov.ge>
3. ბიზნესის საფუძვლები (გ. შუბლაძე, მ. ნანიტაშვილი) გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი, 2011. <http://www.bpa.ge/book/book03.pdf>
4. მცირე ბიზნესის მართვა. (მ. შაკაროვი, ი. ნაცვლიშვილი), თბილისი. 2010. <http://www.bpa.ge/book/book62.pdf>
5. მეწარმეობის საფუძვლები (გ. ერქომაიშვილი, ლ. გიგაური, ნ. ტალახაძე). <http://www.bpa.ge/book/book01.pdf>
6. მენეჯმენტის საფუძვლები (გ. შუბლაძე, მ. მღებრიშვილი). გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი, 2008. <http://www.bpa.ge/book/book02.pdf>
7. საქართველოს ეკონომიკის კონკურენტუნარიანობა (ე. ბარათაშვილი, ბ. გენზაია, ვ. ღლონტი). გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი. 2012. <http://www.bpa.ge/book/book34.pdf>

---

UDC 330:625

## PROBLEMS OF SMALL BUSINESS DEVELOPMENT AND WAYS OF THEIR SOLUTION AND ACTIONS OF IMPROVEMENT OF INVESTMENT ENVIRONMENT

### A. Kankadze

**Resume: Method.** The research method lies in actions for improvement of small business development problems, ways of their solution and investment environment.

**Goal.** relation exists between of small business development and ways of their solution and improvement of investment environment.

**Results.** Accordingly of research the own assets represents the main course of capital for novice entrepreneur, as well as for entrepreneurs whose purchase existing enterprises. They are searching in working process the outer sources of financial assets.

**Conclusion.** The financial companies often are not financing the small family enterprises because they are attended on having growing tasks and perspectives of profit enterprises, from that advantages have the high tech fields.

**Key words:** business; small business; development of business in regions; impact of demographic features on business; possibilities of financial support of small business and improvement of investment environment.

---

შპს 6219.02

## კერამიკულ მასალათა მემანიკური მოდულის ფორმულა

ზ. კოვზირიძე

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

E-mail: kowsiri@gtu.ge

**რეზიუმე:** მიზანი. მასალების მექანიკური სიმტკიცის ან დეფორმაციის სხვადასხვა კონკრეტული სახეობების მიმართ მისი წინააღმდეგობის დასახასიათებლად, გამოიყენება მოდული. თუ მის უკანასკნელ მნიშვნელობაში განმარტება მოდული გამოიყენება მექანიკური თვისებების დასახასიათებლად მასალათა ფართო წრისათვის, ჩვენ შემთხვევაში კი კერამიკული მასალებისათვის – მაშინ მასალათა სტაბილურიდან მეტასტაბილურ მდგომარეობაში გადასვლისას, ანუ დაშლის პროცესში, მექანიკური მოდული მნიშვნელოვან როლს უნდა ასრულებდეს. ჩვენი სამუშაოს მიზანია შემუშავდეს კერამიკულ მასალათა მექანიკური მოდულის ფორმულა, რომელიც ამომწურავ პასუხს მოგვცემს მასალათა მაკრო- და მიკრომექანიკური თვისებების, მაკრო- და მიკროსტრუქტურული მდგენელების – კრისტალური, მინისებური და ფორიანი ფაზების როლის შესახებ მასალათა სტაბილურიდან მეტასტაბილურ მდგომარეობაში გადასვლის პროცესში.

**მეთოდი.** კერამიკულ მასალათა მიკრო- და მაკროსტრუქტურული, მიკრო- და მაკრომექანიკური მახასიათებლების შესწავლისა და განზოგადების საფუძველზე შერჩეული იქნა ფორმულის პარამეტრები.

**შედეგები.** ფორმულა მოიცავს მაკრომექანიკური თვისებებიდან: დრეკადობის და ელასტიკურობის მოდულს, მექანიკას ღუნვაზე სამი და ოთხ წერტილიანი დატვირთვით, კუმშვასა და წყვეტაზე. მიკრომექანიკური მახასიათებლებიდან მოიაზრებს: ბირბაუმის, ბრინელის, შორის, როკველის სამივე პარამეტრს, კნუპის, ვიკერსის და მოოსის სკალას. მორფოლოგიური მახასიათებლებიდან: კრისტალური, მინისებური და ფორიანი ფაზის მასობრივი მოცულობით და ხაზობრივ თვისებებს. დაძაბულობის ინტენსივობის კრიტიკულ კოეფიციენტს. ფორმულაში შემოტანილია სრულიად ახალი განსაზღვრება – მატრიცაში ფორიანი ფაზის განაწილების ფაქტორი.

(საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი-საქპატენტი. დეპონირების დამადასტურებელი მოწმობა 7136. ნაწარმოები: კერამიკულ მასალათა და კომპოზიციების მექანიკური მოდულის ფორმულა. დეპონირებულია 2017. 10. 11.).

**დასკვნა.** ამდენად, წარმოდგენილი ფორმულა არის კრებსითი ხასიათის და მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერი კერამიკული მასალებისა და კერამიკული კომპოზიტების ტექნოლოგიაში.

**საკვანძო სიტყვები:** მექანიკური მოდული; კრისტალური ფაზა; მინისებური ფაზა; ფორიანი ფაზის მატრიცაში განაწილების ფაქტორი; მაკრომექანიკა; მიკრომექანიკა; Kic.

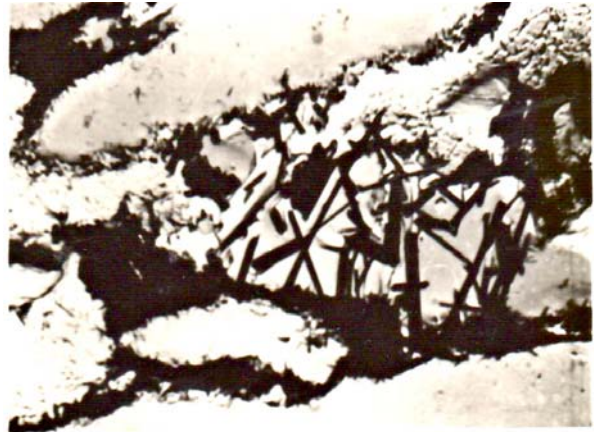
### 1. შესავალი

მასალათა მორფოლოგიური კვლევისას მნიშვნელოვანი როლი განეკუთვნება კრისტალურ ფაზას, რომელიც სტრუქტურის ყველაზე გამაძლიერებელ მდგენელს წარმოადგენს. კრისტალური ფაზის განაწილება მატრიცაში და მისი ზომები, მნიშვნელოვნად მოქმედებს მექანიკურ თვისებებზე (სურ. 1ა და ბ). წერილობითი პერსიული ზომები, 5 მკმ-ზე ნაკლები და მათი თანაბარი განაწილება ზრდის კერამიკის ნებისმიერი სახეობის მექანიკას, ხოლო მათი დიდი ზომები, როგორცაა 20-40 მკმ და მეტი, და არათანაბარი განაწილება მასალის მასაში, ამცირებს არა მარტო მექანიკურ, არამედ სხვა საექსპლოატაციო თვისებებსაც, როგორცაა თერმული და აირთერმული მედეგობა დარტყმების მიმართ, ელექტრო და მაგნიტური თვისებები, ხანმედეგობა და ექსპლუატაცია რთული დაძაბულობების პირობებში, მაგ. ელექტროგადამცემ ხაზებზე და ა.შ. (1-3).

მინისებური ფაზა კრისტალურ ფაზასთან შედარებით წარმოადგენს მატრიცის სუსტ მდგენელს, მაგრამ თუ მასში თანაბრად არის განაწილებული კრისტალები და ფორები, მაშინ ის იქნება შემაკავშირებელი და შემამჭიდებელი ამ ფაზებისათვის. რა თქმა უნდა, მცირე ოდენობის მინისებური ფაზა ამ შემთხვევაში შედარებით დადებით როლს შეასრულებს, მაგ. მყარ ფაზათა შეცხოების დროს, როდესაც მისი მოცულობითი წილი ნაკლებია 12%-ზე. შერეული (12-30 მას.%) და თხილფაზური შეცხოების დროს (მეტე 30 მას. %-ზე), რა თქმა უნდა მასალათა მექანიკა შედარებით სუსტია. ფორიანი ფაზა ასევე კომპლექსურ ზეგავლენას ახდენს კერამიკის სხვადასხვა თვისებებზე.



ა)



ბ)

**სურ. 1. კერამიკული ნიმუშის მორფოლოგიური ელექტრონულ მიკროსკოპული სურათი x 5400. ა) მინისებური ფაზა არმირებული მულიტის კრისტალებით. ბ) ნაწილობრივ არმირებული მულიტის კრისტალებით. ღია ფერის უბნები მინისებური ფაზებია**

დიდი მნიშვნელობა აქვს ფორმის ზომას, მათ მოცულობით წილს, ფორმას, არის ეს დახურული და მრგვალი ფორმის, გამჭოლი თუ ნახევრად გამჭოლი. რაც უფრო წვრილდის-პერსიულია ფორმები მატრიცაში და თანაბრად არის განაწილებული, მით ძლიერია, ხანმედგია და მდგრადია მასალა თერმული, აირთერმული დარტყმების და მექანიკური დაძაბულობების და დარტყმების მიმართ. ფორმები მნიშვნელოვნად მოქმედებს ნაკეთობათა კომპლექსურ თვისებებზე. მათი მომრგვალებული ფორმა, მცირე ზომები – 5 მკმ-ზე ნაკლები და თანაბარი განაწილება ზრდის კერამიკის მედეგობას გარე დატვირთვების მიმართ. როდესაც ღია ფორიანიბა წყალ-შთანთქმის მიხედვით ნულის ტოლია, მაშინ დახურული ფორმების მოცულობითი წილი მატრიცაში ძირითადად მერყეობს 1.5-9 მოც. %-ს შორის. რაც შეეხება თვალთ უხილავ მიკრობზარებს, გრიფიტის მიხედვით ისინი ნებისმიერ თერმულად დამუშავებულ მასალაშია (4.5). მექანიკური დატვირთვის პირობებში, მაგ. წყლის ტურბინების ან აირტურბინების მფრინავ აპარატებში სასტარტო ამუშავების პროცესში, დაძაბულობების ინტენსივობები მაქსიმალურია. ამ დროს თავს იჩენს დაძაბულობების ინტენსივობა ბზარის წვეროსთან და კრიტიკულ შემთხვევაში ხდება ბზარის, განსაკუთრებით დიდი ზომის ბზარების განვითარება მოწყვეტის გზით (6). ბზარი ამ დროს შეიძლება განვითარდეს 2000 მ/წმ სიჩქარით. და გამოიწვიოს მყისიერი კატასტროფა. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს დაძაბულობის ინტენსივობის კრიტიკული კოეფიციენტი –  $K_{ic}$ , რომელიც დაკავშირებულია დრეკადი ენერჯიის განთავისუფლების კრიტიკულ ინტენსივობასთან ან დაშლის სიბლანტესთან  $G_{ic}$ . მოცულობითი დაძაბულობების

მდგომარეობაში  $K_{ic}^2 = E G_{ic} (1-\mu^2)$ , სადაც  $\mu$ -პუასონის კოეფიციენტი. დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტი (დიკ) არის სიდიდე და განსაზღვრავს ნორმალურ დაძაბულობას  $\sigma_y$  წერტილში, რომელიც მცირე დაცილებით მდებარეობს  $r$  ბზარის წვეროდან და გამოხატავს ადგილობრივ დაძაბულობებს ბზართან ახლოს. სხეული ბზარით, დატვირთვის დროს აღწევს წონასწორობის ზღვრულ მდგომარეობას, რომლის დროსაც ბზარი ან უკვე იწყებს მოძრაობას, ან შეუძლია დაიდრას ადგილიდან, მოცემული დატვირთვის მცირე მატების დროს. ამ შემთხვევაში დაძაბულობის ინტენსივობის კოეფიციენტი იქნება კრიტიკული ამ მასალისათვის მოცემული დატვირთვის პირობებში. დრეკად სხეულში ბზარით, თუ ღერძი  $y$  ბზარის მიმართულების პერპენდიკულარულია, დიკ-ი ასიმპტოტურ მიახლოებაში განისაზღვრება გამოსახულებით  $K = \lim \sqrt{2\pi} \sigma_y$ , სადაც  $K_{ic}$  არის სიდიდე, რომელიც ახასიათებს მასალის დაშლის და გვიჩვენებს მყიფე ბზარის განვითარებას მოწყვეტის გზით ბლანტ დაშლას (6).

**2. ძირითადი ნაწილი**

$K_{ic}$  კერამიკული მასალისათვის მნიშვნელოვანი პარამეტრია, ამიტომ ეს სიდიდე შევიტანეთ ჩვენ ფორმულაში, რომლის მათემატიკური გამოსახულება ასეთია:

$$M = \frac{K_{vol} \cdot E \cdot K_{ic} \cdot P_a}{Km \cdot G_{vol} \cdot P_{vol} \cdot P_m} \text{ MPa/mm}^2$$

სადაც  $K_{vol}$  არის კრისტალური ფაზის მოცულობითი წილი მატრიცაში;  $E$  – ელასტიურობის



მოდული; Kic – დაბაბულობის ინტენსივობის კრიტიკული კოეფიციენტი; Pd – მასალაში ფორების გადანაწილების ფაქტორი; Km – კრისტალების საშუალო ზომა მასალაში; Gvol. – მინისებური ფაზის მოცულობითი წილი მასალაში; Pvol. – ფორიანი ფაზის მოცულობითი წილი მასალაში; Pm – ფორების საშუალო ზომა. აქ ყურადღებას ვამახვილებთ სრულიად ახალ სიდიდეზე, Pd – მასალაში ფორების გადანაწილების ფაქტორზე, რომელიც ჩვენ ხელთ არსებული ინფორმაციით საერთაშორისო დონეზე არსად არ არის გამოყენებული. ეს სიდიდე განისაზღვრა 1-ის ტოლად და მისი მნიშვნელობის შეფასება მთლიანად დამოკიდებულია მკვლევარზე, გამომდინარე მორფოლო-

გიური სურათიდან. იმისდა მიხედვით, თუ როგორ არის ფორები მასალაში გადანაწილებული, ფაქტორის სიდიდე შეიძლება იცვლებოდეს 1-დან 0.8-დე და განისაზღვროს 1. 1-ით, იმ შემთხვევაში, თუ ფორები თანაბრად არის მატრიცაში გადანაწილებული და დაახლოებით ერთი ზომისაა. ფორები შემცხვარ კონსოლიდირებულ მასალაში არის მომრგვალებული ფორმის. 2. 0.9-ით იმ შემთხვევაში, თუ ფორების გადანაწილება არათანაბარია და 3. 0.8-ით, თუ ფორების კოალესცენციის<sup>1</sup> პროცესია დაწყებული, ანუ მასალა თერმულად დამუშავდება მისი სინთეზის ტემპერატურასთან შედარებით მაღალ ტემპერატურულ არეში (სურ 2 ა და ბ).



სურ. 2. ცელზიანის ელექტროკერამიკის ფორიანი ფაზის მორფოლოგიური სურათი. ა) 1450°C-ზე გამომწვარი, ბ) 1500°C-ზე გამომწვარი

სურ. 1-ზე მოცემულია სამკომპონენტის სისტემაში BaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> კერამიკის შეცხოების ტემპერატურებზე გამომწვარი ნიმუშები. ორივე შემთხვევაში ღია ფორიანობა წყალშთანთქმის მიხედვით ნულის ტოლია. 1450°C არის ამ კერამიკის ოპტიმალური შეცხოების ტემპერატურა, ანუ როდესაც მასალა მზად არის ინდუსტრიაში ექსპლუატაციისათვის. 1500°C-ს პირობებში, კერამიკა იმყოფება შეცხოების ინტერვალში, წყალშთანთქმა ნულის ტოლია, მაგრამ მატრიცაში მიმდინარეობს ფორების კოალესცენცია, რაც სურათზე ბ) ნათლად ჩანს. აშკარაა, რომ ამ შემთხვევაში მექანიკური სიმტკიცე ღუნვაზე იკლებს და შეადგენს 66 MPa. 1450°C-ზე მექანიკა ღუნვაზე არის 79 MPa. ამ შემთხვევაში ფორების გადანაწილების ფაქტორი აიღება 0.8. 79x0.8=63.2. სხვაობა 66-სა და 63.2-ს შორის არის ცდომილება – 4.24%. სხვა მრავალ შემთხვევაში ნაანგარიშევი ფორების მასალაში გადა-

ნაწილების ფაქტორი თავსდება ამ ცდომილების ფარგლებში (7-9). ფორმულის დანარჩენი პარამეტრები იანგარიშება სტრუქტურული კვლევის შედეგად მიღებული ოპტიკური და ელექტრონულ-მიკროსკოპული სურათებიდან. რაც შეეხება Kic-ს, იანგარიშება ცნობილი ფორმულით:

$$Kic = \frac{0.035 HV\sqrt{a}}{F (HV/FE)^{2/5} \sqrt{b/a}} \text{ MPa/mm}^2$$

სადაც, F არის ფორმის ფაქტორი, რომელიც გულისხმობს ნაწილაკის ან მასალის უდიდესი მახასიათებელი ზომის ფარდობას უმცირესთან და კერამიკისათვის აიღება საშუალოდ 3-ის ტოლად; HV – მიკროსისაღე ვიკერსის მიხედვით; E – ელასტიურობის მოდული – MPa; b – ანაბეჭდის ბზარის სიგრძე – მკმ.; a – ანაბეჭდის დიაგონალის ნახევარი – მკმ.;

<sup>1</sup> კოალესცენცია, ფორების ზრდა მყარ სხეულში, ფორების გაერთიანება, რასაც თან ახლავს მათი ჯამური ზედაპირის შემცირება საერთო მოცულობის უცვლელობის დროს. ფორების კოალესცენციის პროცესი შეინიშნება შეცხოების ბოლო სტადიებზე და განისაზღვრება მსხვილი ფორების ზომების ზრდით, მცირე ზომის ფორების ვაკანსიური ხსნადობის შედეგად.



ვეიბულის ცნობილ ფორმულაში, რომელიც ახასიათებს მასალის სიმტკიცეს ან დეფორმაციის სხვადასხვა კონკრეტული სახეობების მიმართ წინაღობას და არის მყიფე სხეულის დაშლის დაძაბულობის განაწილების ფუნქციის ხარისხის მაჩვენებელი (6), დაფუძნებულია „სუსტი უბნის“ ჰიპოთეზაზე. მას აქვს შემდეგი სახე:

$$P = 1 - \exp \left\{ - \left( \frac{\sigma - \sigma_1}{\sigma_0} \right)^m \right\},$$

სადაც, P არის დაშლის ალბათობა;  $\sigma$  – დაშლის დაძაბულობა;  $\sigma_1$  – ზღვრული დაძაბულობა, ანუ დაძაბულობა, რომლის ქვემოთაც დაშლა არ მიმდინარეობს;  $\sigma_0$  – ნორმირების პარამეტრი; m – ვეიბულის მოდული.

ვეიბულის განაწილების ფუნქცია მისაღებად მყიფე სხეულების ისეთი დაშლის აღწერისათვის, რომლებშიც დაშლა ინიცირებულია მოცულობითი ან ზედაპირული დეფექტებით.

### 3. დასკვნა

ჩვენ მიერ შემუშავებულ ფორმულაში პროცესი აღიწერება არა მარტო მოცულობითი და ზედაპირული დეფექტებით, არამედ მიკრო- და მაკროსტრუქტურული მოცულობითი და ზედაპირული – კრისტალური, მინისებური და ფორიანი ფაზური შედგენილობით, მათი მატრიცაში გადანაწილებით, მასობრივი მოცულობითი წილით, პროცენტული შემცველობით და მათი განვითარებით და გარდაქმნებით ქიმიური და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების შედეგად მასალათა კონსოლიდაციის პროცესში.

აღნიშნული თვისებები განისაზღვრება ექსპერიმენტულად. უმნიშვნელოვანესს წარმოადგენს სრულიად ახალი, ფორების მასალაში გადანაწილების ფაქტორი, რომელიც ჩვენი ინფორმაციით ჯერ არსად და არცერთ ფორმულაში არ გამოყენებულა. საგულისხმოა ფორმულაში დაძაბულობის ინტენსივობის კრიტიკული კოეფიციენტის შეტანა, რომელიც მნიშვნელოვან მიკრო და მაკრომექანიკურ პარამეტრებს მოიცავს. ჩვენი

ფორმულა ამომწურავ პასუხს იძლევა მასალათა კომპლექსურ თვისებებზე და გამოყენებადი ნებისმიერი კერამიკული მასალებისა და კერამიკული კომპოზიტებისათვის, როგორებიცაა, მეტალოკერამიკა, ბიკერამიკა, მინაკერამიკა, მინამეტალოკერამიკა და სხვ. ისინი გამოიყენება ტექნიკის მრავალ მოწინავე დარგში, თანამედროვე ტექნოლოგიებში და საყოფაცხოვრებო პირობებში.

### ლიტერატურა

1. Zviad Kovziridze, Hans Walter Henricke, Fridrich Kharitonov. Thermomechanics of Ceramics. Monograph. Fachhochschule Karlsruhe Hochschule fuer Technik. Karlsruhe. Germany. 1998
2. Ганс Валтер Хеннике, Фридрих Яковлевич Харитонов, Звиад Давидович Ковзиридзе. Бариосодержащая электрокерамика стойкая к термоударам. Монография Издательство Тбилисского Университета Тбилиси. Грузия. 1992.
3. ზ. კოვზირიძე, ნ. ნიჟარაძე, გ. ტაბატაძე, ჯ. ანელი. კერამიკული და პოლიმერული კომპოზიტები. მონოგრაფია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2016.
4. Budworth D.W. Theory of pore closure during sintering. Trans. Brit. Ceram. Soc. 69. 1970 p. 29 31
5. Griffith A.A. Phil. Trans. Roy. Soc. London A.221. 1920
6. Шведков Е. Л., Ковенский И. И., Денисенко Э. Т., Зырин А. В. Словарь Справочник по Новой Керамике. Академия Наук Украины Институт Проблем Материаловедения. Киев. Наукова Думка 1991. С. 115-116
7. Burggraf A. I. Korngroesse. Korngroessenverteilung und Korngrenzen im Zusammenshaften 27. 1977. IV6 s.102-104
8. Dudrova E. Kubelik I. Influence of Sintering Conditions upon the porosity and the strength of compacts. Powder Met., 3. 1979 4. 1. P. 183-185
9. W. Kollenberg. Technische Keramik. Monograph. Vulkan-Verlag Essen. Deutschland. S.68.

UDC 621.9.02

## FORMULA OF MECHANICAL MODULE FOR CERAMIC MATERIALS

Z. Kovziridze

**Resume: Goal.** A module is used to describe resistance of materials to various particular forms of mechanical strength or deformation of materials. If in its latter meaning the definition “module” is used for characterization of mechanical properties of a wide specter of materials, and in our case of ceramic materials, at the transition of materials from stable to meta-stable state, that is in the process of disintegration of materials, mechanical module should play a significant role. The research pursued to develop a formula of mechanical module, which would provide us with exhaustive answer about macro- and micro-mechanical properties, macro- and micro-structural constituents, about the role of crystal, glass and porous phases in the process of transition of materials from stable to meta-stable state.

**Method.** Parameters of the formula were selected on the basis of the study and generalization of micro- and macro-structural, micro- and macro-mechanical characteristics of ceramic materials.

**Results.** The formula covers the following macro-mechanical properties: module of shift and elasticity, mechanics: at bending with three and four point charge, at contraction and rupture. From micro-mechanical characteristics it considers: Birbaum, Brinner, Schore, all three Rockwell’s parameters, properties according to Knup, Wickers and Moos’s scale. From the morphological characteristics it considers: mass-volumetric and linear properties of crystalline, glass and porous phases; critical stress intensity factor. Absolutely new definition is introduced into the formula, the factor of porous phase spreading in a lattice.

(National Center of Intellectual property of Georgia “Georgian Patent”, Certificate of Deposition # 7136. "Formula of Mechanical Modulus of Ceramic Materials and Composites". 2017.10.11).

**Conclusion.** Thus the offered formula is of a cumulative character and it can be used in technology of any ceramic material and ceramic composites.

**Key words:** mechanical module; crystalline phase; glass phase; factor of spreading of porous phase in the lattice; macro-mechanics; micro-mechanics; Kic.

---

შპს 666.946.6

## ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე მაღალცეცხლამძლე ბეტონების მიღება

ზ. კოვზირიძე, ნ. ნიჭარაძე, თ. პეტრიაშვილი, მ. ბალახაშვილი

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

E-mail: kowsiri @gtu.edu.ge

**რეზიუმე:** მიზანი. ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე მაღალი ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებების მქონე ცეცხლგამძლე ბეტონის მიღება და ამ ტექნოლოგიის დამუშავება.

**მეთოდი.** კვლევა ჩატარებულია ქიმიური, რენტგენოსტრუქტურული, თერმოგრაფიული, ელექტრონული მიკროსკოპიის მეთოდებით.

**შედეგი.** მიღებულია ორი სხვადასხვა შედგენილობის, მსურველგამძლე და მაღალცეცხლგამძლე მაღალი ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებების ბეტონი.

**დასკვნა.** მიღებული ცეცხლგამძლე ბეტონების გამოყენება შესაძლებელია მეტალურგიული თბური დანადგარების მაღალტემპერატურული ზონების ამონაგისათვის.

**საკვანძო სიტყვები:** ცეცხლგამძლე ბეტონი; პორტლანდცემენტი; სერპენტინიტი; დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერი; კვლევის ფიზიკურ-ტექნიკური მეთოდები; მეტალურგიული თბური დანადგარები; ამონაგვი.

### 1. შესავალი

ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში გამოყენებული თანამედროვე თბური აგრეგატები მსხვილი საინჟინრო მოწყობილობაა, რომლებიც რთულ ტემპერატურულ პირობებში მუშაობენ. მათი ცეცხლგამძლე მასალებზე მოქმედება იწვევს ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ცვლილებას და კონსტრუქციების დაძაბულობას. ამის შედეგია თბური დანადგარების შედარებით სწრაფი გამოსვლა მწყობრიდან, რომლებიც აგებულია ცეცხლგამძლე აგურებით. დიდ ხარჯებთანა დაკავშირებული მათთვის რემონტის ჩატარება, ძვირადღირებული აგურებისა და მნიშვნელოვანი შრომითი ხარჯების გამო. ამასთან დაკავშირებით, გაჩნდა ახალი ცეცხლგამძლე მასალებისა და სამშენებლო კონსტრუქციების შექმნის აუცილებლობა, რომლებიც აგრეგატების ხანმედგობას გაზრდიდა. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად, დღის წესრიგში დადგა ცეცხლგამძლე ბეტონებისა და რკინაბეტონის დამუშავებისა და ჩანერგვის საკითხი. დამუშავებულია ცეცხლგამძლე ბეტონების ტექნოლოგია და თბური აგრეგატების კონსტრუქციები [1, 2].

მიუხედავად მიღწეულისა, სისტემური თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები დღესაც

მიმდინარეობს ბეტონებზე მაღალი ტემპერატურების მოქმედების შესასწავლად და ძიება მათი ცეცხლგამძლეობის ამაღლებისა და ახალი სახეობის ცეცხლგამძლე ბეტონების მისაღებად.

ცეცხლგამძლე ბეტონი არის სპეციალური სახის ბეტონი, რომელიც მაღალი ტემპერატურის ხანგრძლივი მოქმედებისას ინარჩუნებს მოცემულ (დასაშვებ) ზღვრებში ძირითად ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს. ცეცხლგამძლეობის მიხედვით ბეტონები იყოფა შემდეგ ჯგუფებად:

- მაღალცეცხლგამძლე, ცეცხლგამძლეობით 1580–1770°C.
- მსურველგამძლე, ცეცხლგამძლეობით 1250–1580°C.

ცეცხლგამძლე ბეტონით ამოგებული თბური აგრეგატების მუშაობის გამოცდილებამ აჩვენა, რომ ამ მასალების გამოყენება:

- არ მოითხოვს წინასწარ გამოწვას, რომელიც აუცილებელია ცეცხლგამძლე აგურების წარმოებისას; თბური დამუშავება ხორციელდება თბური აგრეგატის გაშვებისა და ექსპლუატაციის დროს;
- არ საჭიროებს შრომატევადი სამუშაოების ჩატარებას აგურების გახეხვის და ღუმელში ამონაგის წყობის გაკეთებისას;
- იქმნება არაძვირადღირებული მასალების გამოყენების შესაძლებლობა, კერძოდ: წიღების, ტუფების, პემზის და სხვ. რაც გარკვეულ ეკონომიას იძლევა.
- მიიღწევა თბური აგრეგატების მშენებლობის დაბალი თვითღირებულება;
- გაჩნდება ნებისმიერი ფორმის ღუმლების კონსტრუქციები.

ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი, მიანიშნებს ცეცხლგამძლე ბეტონების გამოყენების პერსპექტივაზე.

ცეცხლგამძლე ბეტონების შედგენილობაა – ჰიდრაულიკური ან საპაერო მჭიდა მასალა, შემავსებელი და წმინდად დაფქული მინერალური დანამატი. მოთხოვნილებისგან გამომდინარე ბეტონი შეიძლება დამზადდეს სხვადასხვა მჭიდა მასალის გამოყენებით. სხვა ტიპის ბეტონების შემავსებლისგან განსხვავებით ჩვენ მიერ შემუშავებული შემავსებელი უნდა იყოს ისეთი მასალებისგან შემდგარი, რომელთაც ექნებათ საკმარის მაღალი ცეცხლგამძლეობა. ასეთი შეიძლება იყოს: შამოტი, ქრომიტი, მაგნეზიტი და სხვ. [3-6].

ცნობილია, რომ ცეცხლგამძლეობის თვალსაზრისით მჭიდო მასალებს შორის უკეთესია პორტლანდცემენტი. იმისათვის, რომ პორტლანდცემენტზე დამზადებულმა ბეტონმა მაღალი ტემპერატურის მოქმედებისას შეინარჩუნოს საკმარისი სიმტკიცე, მის შედგენილობაში შეჰყავთ წვრილდისპერსიული დანამატები, რომლებიც შეიცავენ აქტიურ ამორფულ კაჟმიწას. პორტლანდცემენტის ბაზაზე ცეცხლგამძლე ბეტონების მიღების არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ბეტონის შემადგენელი წმინდადაფუჭი დანამატი შეაკავშირებს რა ცემენტის ქვის თავისუფალ CaO-ს მაღალ ტემპერატურებზე გახურებისას, ხელს შეუწყობს აუცილებელი სიმტკიცისა და სტრუქტურის შენარჩუნებას მისი გაცივების შემდეგაც. მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებისას ბეტონის სიმტკიცე დამოკიდებულია შემავსებლის სახეობაზე და მის მინერალოგიურ ბუნებაზე [7-12].

## 2. ძირითადი ნაწილი

ჩვენი მიზანია ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე ახალი შედგენილობის ცეცხლგამძლე ბეტონის მიღება მაღალი ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებებით და ტექნოლოგიის დამუშავება.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, მაღალ-ცეცხლგამძლე ბეტონის მისაღებად, შევარჩიეთ ორი შედგენილობა:

### 1. შედგენილობა:

მჭიდა მასალა – პორტლანდცემენტი;  
 შემავსებელი – მსხვილი და წვრილი ფრაქციის მაგნეზიტური აგურის ლეწი;  
 დანამატი – 800°C გამომწვარი წმინდადაფუჭი სერპენტინიტი.

### 2. შედგენილობა:

მჭიდა მასალა – პორტლანდცემენტი;  
 შემავსებელი – მსხვილი და წვრილი ფრაქციის მაგნეზიტური აგურის ლეწი;  
 დანამატი – წმინდადაფუჭი დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერი.

მშრალი ნარევის თანაფარდობა კომპონენტებს შორის მასის მიხედვით %-ში შეადგენდა: პორტლანდცემენტი: წმინდადაფუჭი დანამატი: შემავსებელი – 18:6:76

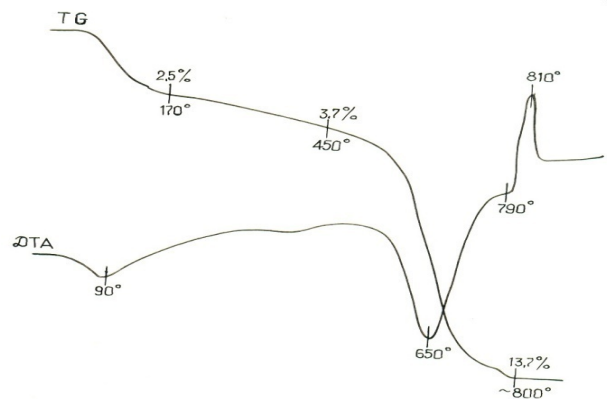
მაგნეზიტური აგურის ლეწი მომზადდა შემდეგნაირად: ლეწი დავამსხვრიეთ ებებიან მსხვრევანაში და მოვამზადეთ მსხვილი შემავსებელი მარცვლების ზომით (5-25მმ) და წვრილი – (0.15-5მმ). გაცივლი და საჭირო ზომის მარცვლების მქონე მსხვილი და წვრილი შემავსებელის კარგად არევის შემდეგ, მომზადდა გარკვეული გრანულომეტრული შედგენილობის ნარევი.

წმინდადაფუჭი დანამატის სახით პირველი შედგენილობის – ბეტონი 1-ის, შემთ-

ხვევაში გამოვიყენეთ 800°C გამომწვარი წმინდადაფუჭი სერპენტინიტი. იგი აღნიშნულ ტემპერატურაზე გამოწვის შენდევ შეიცავს აქტიურ SiO<sub>2</sub>-ს. 700-900°C-ზე მას შეუძლია შევიდეს რეაქციაში CaO-სთან და შებოჭოს იგი. თავისუფალი CaO არსებობა, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ამცირებს ბეტონის სიმტკიცეს.

საქართველოში არსებული საჩხერის სერპენტინიტის საბადოში აღებული პარტიიდან, ფხვნილი მომზადდა შემდეგნაირად: სერპენტინიტი დავამსხვრიეთ ებებიან მსხვრევანაში, შემდეგ დავფუჭეთ ბურთულებიან წისქვილში,

სერპენტინიტის გახურების დიფერენციალურ მრუდზე (ნახ. 1), სამი ენდოთერმული ევექტია მაქსიმუმებით: 90°C, 650°C და 790°C და ერთი ეგზოთერმული ევექტი მაქსიმუმით 810°C, რომელიც დამახასიათებელია სერპენტინიტებისათვის. პირველი ენდოპიკი 90°C დაკავშირებულია ჰიდროსკოპული წყლის დაკარგვასთან, მეორე 650°C, გამოწვეულია მინერალ სერპენტინის დეჰიდრატაციით, რომლის დროსაც ირღვევა მისი კრისტალური მესერი. 650°C-ზე კრისტალიზაციური წყლის სრული დაკარგვის შემდეგ რჩება დეჰიდრატირებული რენტგენლამორფული სერპენტინი 3MgO.2SiO<sub>2</sub>, რომელსაც მეტასერპენტინს უწოდებენ. მესამე ენდოევექტი – 790°C-ზე მიანიშნებს სერპენტინიტში მცირე რაოდენობით მაგნეზიტის – MgCO<sub>3</sub>-ის, არსებობაზე, რომელიც ამ ტემპერატურაზე იშლება. ასევე აღინიშნება ერთი ეგზოთერმული ევექტი მაქსიმუმით 810°C, რომელიც დამახასიათებელია სერპენტინიტებისათვის.



ნახ. 1. სერპენტინიტის თერმოგრამა.

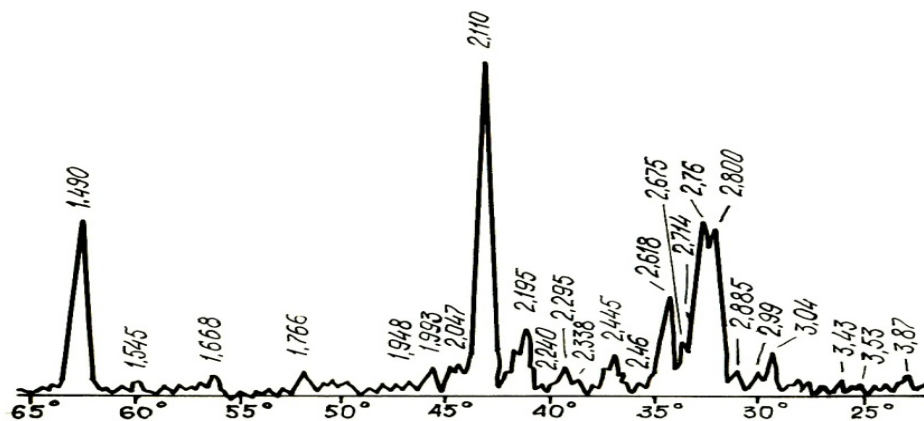
სერპენტინიტის ქიმიური შედგენილობიდან (ცხრილი 1) ჩანს, რომ იგი დიდი რაოდენობით შეიცავს MgO-ს – 33,69 %-ს, რომელიც რეაქციაში შევა ადვილად ღლობად კომპონენტებთან და შედეგად წარმოქმნის ცეცხლგამძლე მინერალებს.

სერპენტიტის ქიმიური შედგენილობა

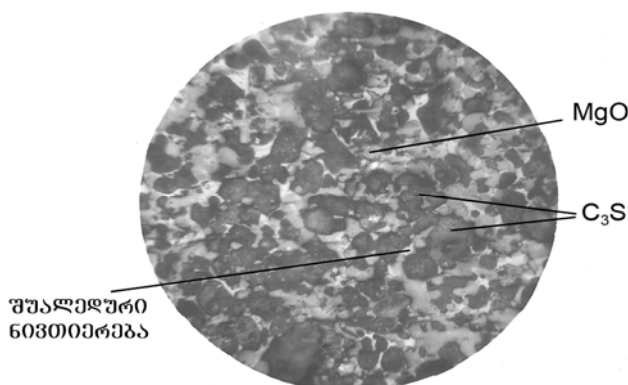
საბადოს დასახელება	ოქსიდების შემცველობა, მას.%								
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	სინესტე	ხ.დ.
საჩხერის	6,45	2,57	33,69	39,92	1,47	-	-	-	15,90

მეორე შედგენილობის, ბეტონი 2-ის, შემთხვევაში მოვამზადეთ დოლომიტ-სერპენტიტური კლინკერი შემდგენიარად: დოლომიტისა და სერპენტიტის 4:1 თანაფარდობა გამოვწვიით 1400°C-ზე. მისი შემადგენელი ძირითადი ფაზებია სამკალ-ციუმიანი სილიკატი – 3CaOSiO<sub>2</sub>, პერიკლაზი MgO [13, 14], რაც კარგად ჩანს რენტგენოსტრუქტურული, პეტროგრაფიული და ელექტრონული მიკროსკოპიის კვლევების

მონაცემებით (ნახ. 2, 3, 4). ეს მინერალები მაღალცვცხვამძლეა. მასში მცირე რაოდენობით მიიღება არასასურველი მინერალი - ორკალციუმიანი სილიკატი, რომელიც დაუკავშირდება პორტლანდცემენტის CaO-ს, შებოჭავს მას და წარმოქმნის 3CaOSiO<sub>2</sub>-ამიტომ მიღებული კლინკერის გამოყენება, როგორც წმინდად დაფუძელი დანამატისა, შესაძლებელი იქნება მაღალცვცხვამძლე ბეტონის მისაღებად.

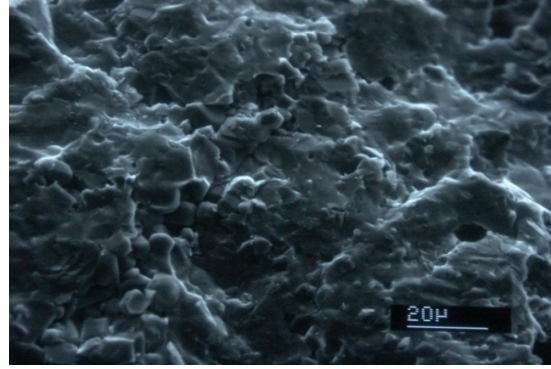
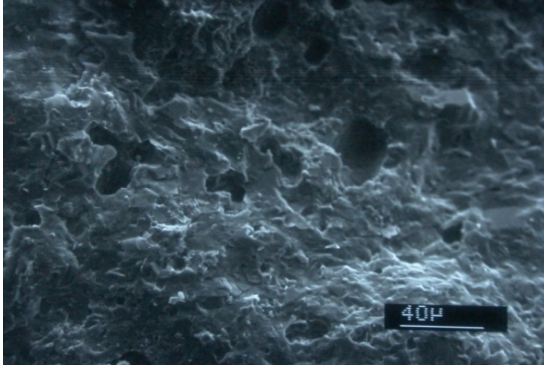


ნახ. 2. დოლომიტ-სერპენტიტური კლინკერის რენტგენოგრამა

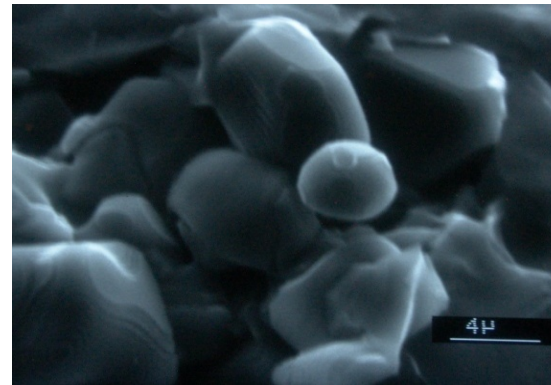
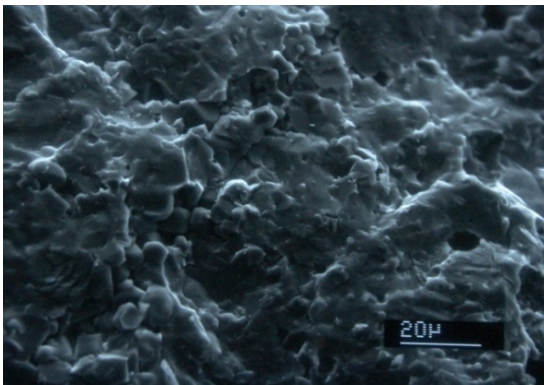


ნახ. 3. 1450°C-ზე გამომწვარი კლინკერი 2-ის მიკროსტრუქტურა, X200





ა) X1000 ბ) X2000



გ) X3000 დ) X3500

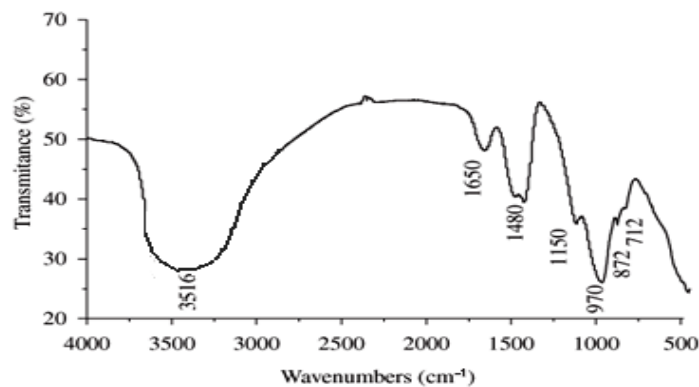
**ნახ. 4. 1450°C-ზე გამომწვარი კლინკერი 2-ის ელექტრონულმიკროსკოპული სურათები სხვადასხვა გადიდებისას:**  
 ა) X1000, ბ) X2000, გ) X3000, დ) X3500

ბეტონის შემადგენლობის შერჩევისას გავითვალისწინეთ მეცნიერულად დასაბუთებული შემდეგი პირობები:

- წყალცემენტის თანაფარდობა, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს 0.6;
- 1მ<sup>3</sup> ბეტონის მოსამზადებლად ცემენტის ხარჯი არ უნდა იყოს 250კგ-ზე ნაკლები;
- ბეტონის ძვრადობა უნდა უზრუნველყოფდეს ბეტონის ჩაწობას ვიბრირების მეთოდით და უნდა შეადგენდეს 30-40მმ სტანდარტული კონუსის მიხედვით.

ბეტონის ნარევი მომზადდა კომპონენტთა შემდეგი თანაფარდობით - პორტლანდცემენტი: წმინდადღაფქული დანამატი: შემავსებელი - 18:6:76. მოსამზადებლად გამოვიყენეთ პორტლანდცემენტი, მარკით 400. დაყალიბებისას ბეტონის

ნიმუშები გავამკვრივეთ ვიბრომაგიდაზე ვიბრირებით და დაყალიბებული ნიმუშები დავაცოვინეთ ჰაერზე 28 დღის განმავლობაში, შემდეგ გამოვაშრეთ 110°C-ზე თერმოსტატში და გავახურეთ 800, 1000, 1250 და 1400°C ტემპერატურებზე. ტემპერატურის აწევის სიჩქარე იყო 150°C საათში, ხოლო ბოლო ტემპერატურაზე დაცოვინება შეადგენდა 3 საათს. გარკვეულ ტემპერატურამდე გახურების შემდეგ შევისწავლეთ გაცივებული ნიმუშების ნაწილის ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები. შედეგები მოცემულია ცხრილში 3. მიღებული ცვცსლგამძლე ბეტონის იდენტიფიკაცია მოვახდინეთ ინფრაწითელი (FTIR) სპექტრებით, რომელიც მოცემულია ნახ. 5-ზე.



ნახ. 5. ცეცხლგამძლე ბეტონის FTIR სპექტრი

საკვლევი ნიმუშის ინფრაწითელი სპექტრები გადავიღეთ Ge-ის მაგიდაზე (Avatar Multi-Bounce Flat Plate 45 degree Ge). FTIR სპექტრებმა აჩვენეს, რომ ჩვენ მიერ მიღებული მასალა შეიცავს ცეცხლგამძლე ბეტონისათვის დამახასიათებელ შთანთქმის ყველა ზოლს, მათ შორის კაფიოდ შეიმჩნევა ბეტონის მასაში არსებული წყლის OH-ჯგუფების აბსორბციით გამოწვეული შთანთქმის ზოლი 3516სმ-1 უბანში. (წყალცემენტის თანაფარდობა არ აღემატება 0.6).

მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობისას ნებისმიერი მასალის თვისებები და ხარისხი ფასდება სხვადასხვა ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლებით: სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას ნორმალურ და მაღალ ტემპერატურაზე, თერმული მედეგობა, ცეცხლგამძლეობა, მაღალ ტემპერატურაზე დატვირთვისას დეფორმაციის დაწყების ტემპერატურა, ჩაჯდომა, თერმული გაფართოება, თბოგამტარობა. ყველა ეს თვისება განპირობებულია მასალის ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობით, სტრუქტურით, ფორიანობით, მოცულობითი წონით და სხვა. ცეცხლგამძლე ბეტონების მუშაობის მაქსიმალური ვადა განისაზღვრება ამ თვისებათა ერთობლიობით. ყველა ჩამოთვლილი თვისება განესაზღვრეთ შესაბამისი სტანდარტების მიხედვით. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 2, 5.

ცეცხლგამძლეობა მოცემულია ცხრილში 2.

ცხრილში 2 მოცემული მონაცემებიდან ჩანს, რომ პირველი შედგენილობის ბეტონის გამოყენება შესაძლებელია თბურ აგრეგატებში, რომელთა სამუშაო ტემპერატურა არ აღემატება 1450°C-ს, ე.ი. მიღებულია მსურველგამძლე ბეტონი, ხოლო ბეტონი 2 არის მაღალცეცხლგამძლე და მისი გამოყენება შესაძლებელია 1800°C-მდე. განისაზღვრა ბეტონების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას სხვადასხვა ტემპერატურაზე გახურებისას. ცდებმა აჩვენეს, რომ ცეცხლგამძლე ბეტონის 1 და 2 ცხრილებში მოცემული ნიმუშების სიმტკიცე 800 და 1000°C-ზე შემცირდა და უფრო გაიზარდა იმ ნიმუშების სიმტკიცესთან შედარებით, რომლებიც

არ დამუშავდა ტემპერატურაზე და ინახებოდა ნორმალურ პირობებში (ცხრილი 3).

ერთიანი პირობებში მიღებული ნიმუშების გახურებისას 800°C, 1000°C, 1250°C და 1400°C-ზე უკეთეს შედეგს იძლევა ის ნიმუშები, სადაც წმინდადაფქული დანამატის სახით გამოყენებულია დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერი. შევისწავლეთ აგრეთვე ბეტონზე გახურების ხანგრძლივობის გავლენა. 800°C-ზე ნიმუშები გავახურეთ 2 და 8 საათის განმავლობაში, ეს ტემპერატურა შევარჩიეთ იმ მოსაზრებიდან გამომდინარე, რომ უფრო მეტად სიმტკიცე მხოლოდ ამ ტემპერატურაზე გახურებისას შემცირდა ცხრილი 3-ის მიხედვით.

გახურების ხანგრძლივობის მიხედვით ბეტონების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას, მოცემულია ცხრილში 4.

ნიმუშების გულდასმით დათვალიერებისას აღმოჩნდა, რომ არც ერთ ნიმუშზე 8 საათიანი გახურების შემთხვევაში არც ღია, არც მცირე ბზარები არ შეინიშნება, პრაქტიკულად სიმტკიცე არ შემცირდა არც ერთი დანამატის გამოყენების შემთხვევაში. უნდა აღინიშნოს, რომ სხვადასხვა ტემპერატურაზე გახურებისა და მისი ხანგრძლივობის შესწავლისას დადგინდა წმინდა დაფქული დანამატის სახით დოლომიტ-სერპენტინიტის კლინკერის გამოყენების უპირატესობა. ცეცხლგამძლე ბეტონების მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობისას ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მაჩვენებელი და პარამეტრია ჩაჯდომის სიდიდე. კონსტრუქციაში გამოუწვავი ბეტონები განიცდიან ტემპერატურის ზემოქმედებას. ამიტომ ხდება ბეტონის ჩაჯდომა, კერძოდ თბური აგრეგატის ექვლოატაციის პროცესში. განისაზღვრა მშრალი ნიმუშების ჩაჯდომა გახურებამდე და გახურების შემდეგ.

ბეტონი 1-თვის დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა არის 1100-1200°C, ხოლო ბოლო 1250-1350°C; ბეტონი 2-სთვის საწყისია 1250-1300°C, ბოლო კი 1350-1400°C. მიღებული შედეგები მოცემულია ცხრილში 5.



**ბეტონი 1 და 2-ის ცეცხლგამძლეობა**

მჭიდა მასალა	წმინდად დაფუძული დანამატის სახეობა	შემავსებელი	ბეტონის შემადგენელი ნაწილის თანაფარდობა, %, მასის მიხედვით	ცეცხლგამძლეობა, °C
პორტლანდცემენტი	800°C-ზე გამომწვარი სერპენტინიტი	მაგნეზიტური აგურის ლეწი	18:6:76	1550
პორტლანდცემენტი	დოლომიტ-სერპენტი-ნიტური კლინკერი	მაგნეზიტური აგურის ლეწი	18:6:76	>1750

**ბეტონის 1 და 2-ის სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას ნიმუშების სხვადასხვა ტემპერატურაზე გახურებისას**

წმინდად დაფუძული დანამატის სახეობა	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას, კგ/სმ <sup>2</sup>				
	გახურების ტემპერატურის, °C შემდეგ				ნიმუში გახურების გარეშე
	800	1000	1250	1400	
800°C-ზე გამომწვარი სერპენტინიტი	160	130	398	670	400
დოლომიტ-სერპენტი-ნიტური კლინკერი	180	148	420	880	410

**ბეტონების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას ნიმუშების გახურების ხანგრძლივობის მიხედვით**

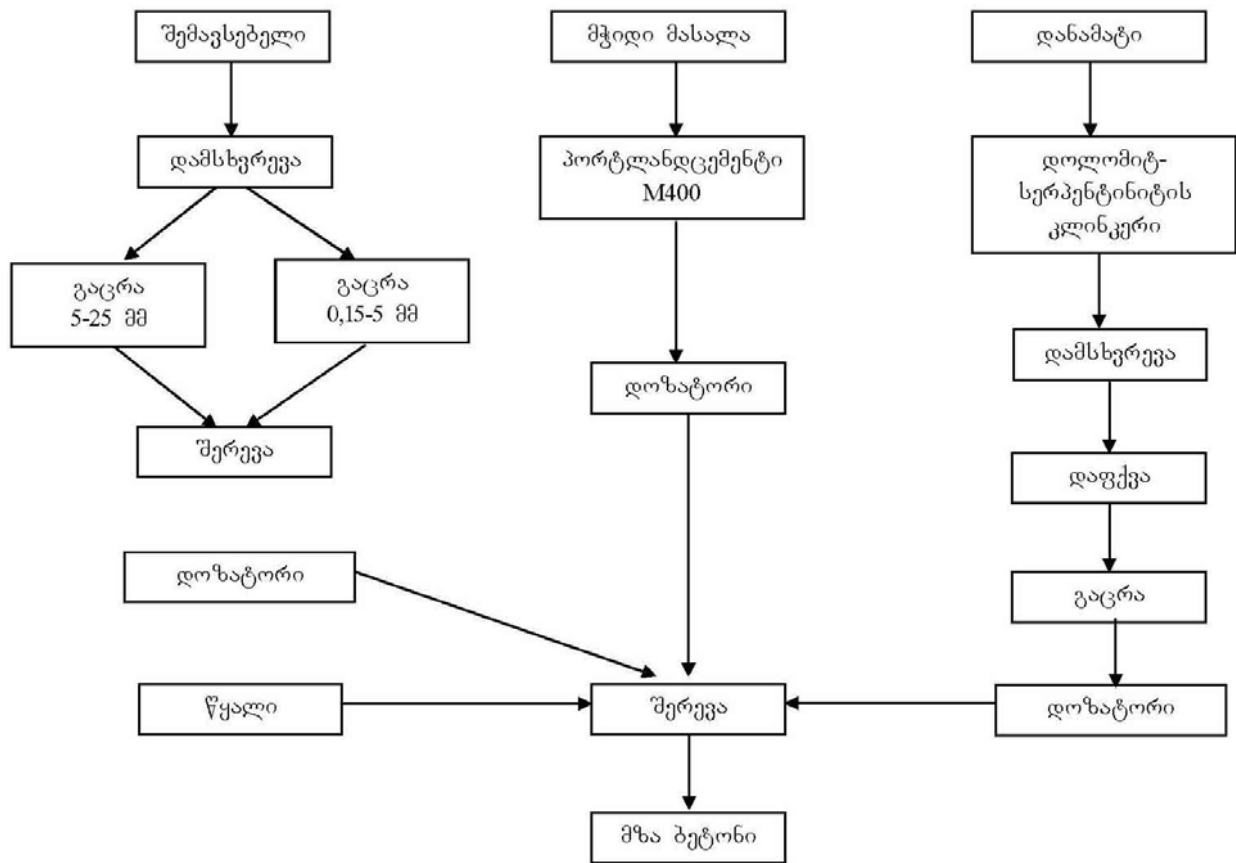
წმინდად დაფუძული დანამატის სახეობა	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას 800°C-ზე, კგ/სმ <sup>2</sup>	
	2	8
800°C-ზე გამომწვარი სერპენტინიტი	160	160
დოლომიტ-სერპენტი-ნიტური კლინკერი	180	180

**ცეცხლგამძლე ბეტონების ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები**

შედგენილობა	ცეცხლგამძლეობა, °C	დატვირთვისას დეფორმაციის ტემპერატურა, °C		სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას, კგ/სმ <sup>2</sup>	თერმული მდებარეობა (800°C-წყალი), თბოცვლა	ჩაჯდომა, %
		საწყისი	ბოლო			
ბეტონი 1	1550	1100-1200	1250-1350	160-670	18-20	0,5-0,7
ბეტონი 2	>1750	1250-1300	1350-1400	180-880	>25	0,5-0,7

აღსანიშნავია, რომ ყველა ფიზიკურ-ტექნიკური პარამეტრით უკეთესი შედეგები მივიღეთ ბეტონი 2-ის შემთხვევაში, იგი მაღალცეცხლგამძლეა. მისი გამოყენება შესაძლებელია მაღალ ტემპერატურაზე თბური აგრეგატების მუშაობისას, როგორც დამცავი ამონაგვი. ასევე შესაძლე-

ბელია ბეტონი 1-ის გამოყენება შედარებით დაბალ ტემპერატურებზე მომუშავე აგრეგატების ამონაგვის სახით, კერძოდ 1450°C-მდე. დამუშავდა ცეცხლგამძლე ბეტონის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა (ნახ. 6.).



ნახ. 6. ცეცხლგამძლე ბეტონის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა

### 3. დასკვნა

ცეცხლგამძლე ბეტონის მისაღებად შერჩეულია ძირითადი კომპონენტები: მჭიდა მასალა, წმინდადაფქული დანამატი და შემავესებელი.

#### 1. შედგენილობა:

- მჭიდა მასალა - პორტლანდცემენტი;
- შემავესებელი - მსხვილი და წვრილი ფრაქციის მაგნეზიტური აგურის ლეწი;
- დანამატი - 800°C გამომწვარი წმინდადაფქული სერპენტინიტი.

#### 2. შედგენილობა

- მჭიდა მასალა - პორტლანდცემენტი;
- წმინდადაფქული დანამატი - დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერი.
- შემავესებელის სახით შერჩეულია მაგნეზიტური აგურის ლეწი.

მშრალი ნარევის თანაფარდობა კომპონენტებს შორის მასის მიხედვით %-ში შეადგენს: პორტლანდცემენტი: წმინდადაფქული დანამატი: შემავესებელი – 18:6:76.

შესწავილია ორი წმინდადაფქული დანამატის ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები და შედგენილობა, კერძოდ: ა) 800°C გამომწვარ სერპენტინიტის და ბ) დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის გამოყენების შემთხვევაში.

➤ განისაზღვრა მათი ზეგავლენა პორტლანდცემენტის ცეცხლგამძლეობაზე.

შემუშავდა ცეცხლგამძლე ბეტონების 1 და 2-ის ოპტიმალური შედგენილობა – გამოყენებულია ადგილობრივი ნედლეული, კერძოდ, მეტალურგიული ქარხნის ნარჩენები (მაგნეზიტური აგურის ლეწი) პორტლანდცემენტთან და წმინდადაფქულ დანამატთან (სერპენტინიტი და კლინკერი) ერთად. დადგენილია, რომ პირველი შედგენილობის ბეტონის გამოყენება შესაძლებელია თბურ აგრეგატებში, რომელთა სამუშაო ტემპერატურა არ აღემატება 1450°C-ს, ე.ი. მიღებულია მსურველ-გამძლე ბეტონი, ხოლო ბეტონი 2 არის მაღალ-ცეცხლგამძლე და მისი გამოყენება შესაძლებელია 1800°C-მდე. შემუშავებულია ცეცხლგამძლე ბეტონის მომზადების ტექნოლოგია.

### ლიტერატურა

1. Г.М. Васильева, Г.Е. Штефан, А.Я. Хавкин и др. Бетонная смесь. А.с. СССР № 1345592 С 04 В 28/04. 1985. - БИ № 9.
2. Г.Е. Штефан, А.И. Меркулова, Г.М. Васильева и др. Бетонная смесь. А.с. СССР № 1578104 С 04 В 28/02. - 1990. - БИ № 26.

3. Г.М. Васильева, Г.Е. Штефан и др. Тепловые изменения жаростойких шлакобетонов и их компонентов. 1984. - с.32 – 33 .
4. Е.П. Герасимов - М.: Энергия. Жаростойкий бетон для электропечей. Харьков. Энергия, 1969. - 145 с.
5. Ю.П. Горлов, А.П. Меркин, М.И. Зейфман и др. бетоны на основе композиций из природных и техногенных стекол. Москва, Стройиздат, 1986, - 142 с
6. А.Н. Абызова. Жаростойкие материалы и бетоны. Челябинск. АБВ -1978. 86 с.
7. Н.А. Фомичев. Жаростойкие бетоны на основе металлургических шлаков. Москва, Стройиздат, 1972. -129 с.
8. В.И. Резванцев, А.В. Еремин. Шлаковые асфальтобетонные покрытия. Воронеж: ВГУ, 2002. - 157 с.
9. В.И. Резванцев, А.В. Еремин. Прочностные свойства жаростойких бетонов Омск. СибАДИ,- 1998.- с. 154-156.
10. Г.Е. Штефан, Г.М. Васильева, и др. Использование местных шлаковых материалов в жаростойких бетонах. Белгород: БГТУ Шухова. - 1976.- с 117-120.
11. Г.Е. Штефан, А.И. Меркулова, И.В. Бредис. Шлакобетоны химически стойкие для дымовых труб. Липецк. ЛипПИ - 1987.- 16 9с.
12. В.Н. Ярмаковский, В.Ф. Степанова и др. Влияние минеральной добавки на свойства умереннопоризованного конструкционно-теплоизоляционного шлакопемзобетона. Воронеж: ЦЧКИ, 1982.- с. 60-64.
13. კოვირიძე ზ., ნიჯარაძე ნ., ბალახაშვილი მ., მშვილდაძე მ., დოლომიტისა და სერპენტინის ახალი საბადოების ბაზაზე მაღალტემპერატურულ კლინკერის მიღება, საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის შრომები, ქუთაისი, 2013, 6-7 ივნისი, გვ. 285-288.
14. Kovziridze Z., Nizharadze N ., Balakhashvili M., Nikoileishvili E., Mshvildadze M. Processes of sintering and mineral formation at firing of dolomite and serpentinite mix ,Journal of the Georgian Ceramists Association “Ceramics” 2(28)2012, 1(29)2013. P.77-86.

UDC 666.946.6

## OBTAINING OF HIGH-REFRACTORY CONCRETES ON THE BASIS OF LOCAL RAW MATERIAL

Z. Kovziridze, N. Nijaradze, T. Petriashvili, M. Balakhashvili

**Resume: goal.** Obtaining of refractory concrete of high physical-technical properties on the basis of local material and development of technology of its obtaining.

**Method.** The research was implemented by chemical, X-ray structural, thermographic and electro microscopic methods.

**Results.** Two types of high-temperature and high-refractory concretes of various composition were obtained which are characterized by high physical-technical properties.

**Conclusion.** The obtained refractory concretes can be used for lining of high-temperature zones of metallurgical thermal aggregates.

**Key words:** refractory concrete; Portland-concrete; serpentinite; dolomite –serpentinite clinker; physical-technical methods of research. metallurgical thermal aggregates; lining.

შპს 666.762.93

**კომპოზიტის მიღება მეტალოთერმული და აზოტირების პროცესებით**

**Si- SiC-Al-ბეოკოლიმერის სისტემაში**

**ზ. კოვზირიძე, ნ. ნიჟარაძე, გ. ტაბატაძე, თ. ჭეიშვილი, ზ. მესტირიშვილი, მ. მშვილდაძე, ნ. დარახველიძე**

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

E-mail: kowsiri@gtu.ge

**რეზიუმე:** მიზანი. კომპოზიტის მიღება SiC-SiAlON სისტემაში მეტალოთერმული პროცესით აზოტის მედიაში.

**მეთოდი.** სიალონი არის მყარი მეტალოქსიდური ხსნარი ნიტრიდში. მისი არსებობის არე განიხილება ოთხ კომპონენტთან  $Si_3N_4$ -AlN-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> სისტემაში. წარმოდგენილ ნაშრომში სიალონის შემცველი კომპოზიტი ალუმო-თერმული პროცესით აზოტის გარემოში გეოპოლიმერის (კაოლინი პროსიანაია და პოლოგის ცეცხლგამძლე თიხა – უკრანია), სილიციუმის კარბიდის, მეტალური სილიციუმის, ალუმინის ნანოფხვნილის ნარევისა და არაგაციის პერლიტის მცირე დანამატებით, მიღებულია რეაქციული შეცხოების მეთოდით. ამ მეთოდის უპირატესობა ის არის, რომ კომპონენტები თერმული დამუშავების პროცესში ურთიერთქმედებენ ერთმანეთთან:  $Si_3N_4$ , Si, AlN აქტიურდება და SiALON წარმოიქმნება შედარებით დაბალ 1250-1300°C ტემპერატურაზე. ნათელია, რომ ALN-ის ჩანერგვა  $Si_3N_4$ -ის კრისტალურ მესერში ასეთ დაბალ ტემპერატურაზე შედარებით ადვილია, ვინაიდან  $Si_3N_4$  სტრუქტურა ჯერ კიდევ არ არის სრულყოფილი და ფორმირების პროცესშია.

**შედეგი.**  $\beta$ -SiAlON ჩამოყალიბდა: SiC, სილიციუმი, ალუმინის ნანო ფხვნილისა და გეოპოლიმერის ბაზაზე 1450°C ტემპერატურაზე. რეაქციული შეცხოების მეთოდით მიღებული კარბიდ-სიალონური კომპოზიტის წყალშთანთქმა ფორიანობის მიხედვით, შეადგენს 13-15%. მიღებული ნიმუშები გატარდა ებებიან მსხვერველანაში და გადაიფქვა ატრიტორულ წისქვილში დისპერსიულობით, მიკრო ფხვნილის მიღებამდე. შემდეგ, ნიმუშები ცხლად დაიწნეხა 1620°C ტემპერატურამდე. დაწნეხვის წნევა შეადგენდა 30 Mpa. დაყოვნების დრო გამოწვის ბოლო ტემპერატურაზე – 8 წთ. დაწნეხილი ნიმუშების წყალშთანთქმა ფორიანობის მიხედვით შეადგენდა 0.5%-ზე ნაკლებს. თვისებების შემდგომი შესწავლა ამ ნიმუშებზე გაგრძელდა. აღსანიშნავია, რომ მასალათა სიმაგრე და ცვეთამდებობა იმატებს მათში სილიციუმის კარბიდის შემცველობის მატებით.

**დასკვნა.** ნაშრომში მოყვანილია SiC-SiAlON კომპოზიტის მიღების პროცესები და მისი ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები. ფაზათა კომპო-

ზიციები შესწავლილია რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის მეთოდით, ხოლო სტრუქტურა, ოპტიკური და ელექტრონული მიკროსკოპული მეთოდებით.

ელექტრულმა თვისებებმა გვიჩვენა, რომ ცხელი წნეხით მიღებული ნიმუში A2 ნიშნით უფრო დაბალი წინაღობის მატარებელია, ვიდრე ფორიანი მასალა B, რომლისგანაც ის იქნა მიღებული. აღნიშნული უნდა უკავშირდებოდეს ცხელი წნეხით მიღებული მასალის, რეაქციულად შემცვარი სტრუქტურადან-მკვრივ სტრუქტურაში გადასვლას. მიღებული მასალები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ჯავშანტექნიკაში, თერმოწვევილის დამცავ გარსაცმებში – 18–20 გაზომვა გამძლე მატალებში და კონსტრუქციებში, ცეცხლგამძლე ამონაგის სახით.

**საკვანძო სიტყვები:** SiAlON; SiC; ალუმინოთერმული პროცესები; აზოტის გარემო; კომპოზიტი.

**1. შესავალი**

კერამიკა, რომელიც Si-Al-O-N სისტემაში სხვადასხვა ფაზებს შეიცავს, სიალონები ეწოდება. ისინი სიმონების კლასს ეკუთვნიან [1]. სიალონების სტრუქტურულ ერთეულს წარმოადგენს (Si, Al) ტეტრაედრი მსგავსად ტეტრაედრისა  $SiN_4$  სილიციუმის ნიტრიდში და სილიციუმის ოქსინიტრიდში –  $SiN_2O$ . სიალონები შეიცავენ ისეთ სტრუქტურულ ტიპებს და ფაზებს, რომლებიც ეფუძნება: ალუმინის ნიტრიდს, აპატიტს, სილიციუმის  $\alpha$  და  $\beta$  ნიტრიდებს, სილიციუმის ოქსინიტრიდს, შპინელებს და სხვ. მათი მიღება შეიძლება ნეიტრალურ ატმოსფეროში 1600°C-ზე, რეაქციული შეცხოებით 2000°C-ზე, ცხელი წნეხით 1750°C-ზე ან უფრო მაღალ ტემპერატურებზე ნარეგებში: ალუმინის ნიტრიდი და სილიციუმი, ალუმინის ოქსიდი და სილიციუმის ოქსიდი, სილიციუმის ოქსინიტრიდი, ასევე ლითიუმ-ალუმინის ან მაგნიუმ-ალუმინის შპინელებით. ერთფაზიანი სიალონი შესაძლებელია არსებობდეს შედარებით ვიწრო უბანში ფორმულით  $Si_6-xAl_xO_xN_{(8-x)}$ , სადაც  $x$  იცვლება 0-დან 5-მდე. სიალონების  $Si_3Al_3O_3N_5$  სისტემაში, რომელიც სტრუქტურულად ახლოა სილიციუმის ნიტრიდ-

თან, ხოლო ქიმიური თვისებებით ალუმინის ოქსიდთან უკეთ არის შესწავლილი. სიალონების რამდენიმე ტიპი არსებობს: α; β; X; O<sup>1</sup>; H; R [2-6]. მათი გამოყენება კონსტრუქციული მასალების სახით შესაძლებელია 1300°C–

მდე დამუხანგავ და 1800°C–მდე არადამუხანგავ გარემოში [6-8]. ცხრილში 1, მოცემულია სიალონების ქიმიური შედგენილობები და სტრუქტურული ტიპები.

ცხრილი 1

**სიალონური ფაზების სახელწოდება და სტრუქტურა**

სახელწოდება	სიალონის ქიმიური ფორმულა	სიალონის სტრუქტურის ტიპი
α	Me <sub>x</sub> (SiAl) <sub>12</sub> (ON) <sub>16</sub> X=0÷2	α-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
β	Si <sub>6-x</sub> Al <sub>x</sub> N <sub>8-x</sub> X=0 ÷ 4,2	β-Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
O <sup>1</sup>	Si <sub>2-x</sub> Al <sub>x</sub> O <sub>1+x</sub> N <sub>2-x</sub> X=0,04÷ 0,4	Si <sub>2</sub> ON <sub>2</sub>
X	Si <sub>2-x</sub> Al <sub>1-x</sub> O <sub>x</sub> N <sub>1-x</sub> x= 0,04 ÷ 0,2	3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • 2SiO <sub>2</sub>
H	SiAl <sub>3</sub> O <sub>2</sub> N <sub>3</sub> SiAl <sub>3</sub> O <sub>2</sub> N <sub>5</sub>	AlN
R	SiAl <sub>4</sub> O <sub>2</sub> N <sub>4</sub> SiAl <sub>6</sub> O <sub>2</sub> N <sub>6</sub>	AlN

Si-Al-O-N სისტემა შეიძლება იყოს ოთხკომპონენტური და სქემატურად ის შეიძლება წარმოვადგინოთ ტეტრაედრის სახით, რომლის კვანძებში მოთავსებულია შემადგენელი ელემენტები (სურ. 1). ორმაგი ნაერთები განლაგდებიან ტეტრაედრის წიბოებზე. ამასთან, 1800<sup>0</sup>-მდე, ისინი ინარჩუნებენ ნორმალურ ვალენტობას. ამავე დროს სისტემის ოთხელემენტური ყველა შესაძლო კომბინაცია განლაგდება Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-AlN სიბრტყეში და შეიძლება გაყოფილი იყოს ორი ტოლგვერდა სამკუთხედის სახით, რომლებიც წარმოადგენენ სამმაგ Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> და Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-AlN სისტემას [9-13].

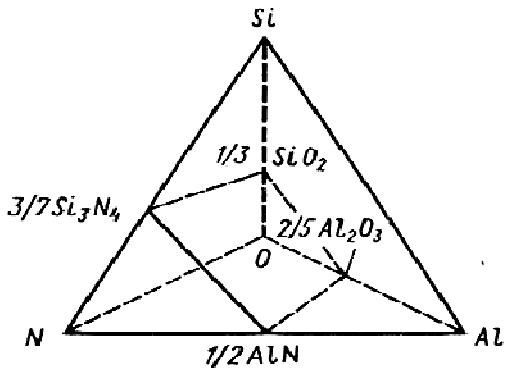
**2. ძირითადი ნაწილი**

მე-2 ცხრილში მოცემულია საკვლევი ობიექტის მატერიალური შემადგენლობა. პოლოგის თიხის ქიმიური შედგენილობა ასეთია (მას.%): SiO<sub>2</sub>-47.92, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-35.20, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-2.06, CaO-0.40, MgO-0.30, ხურებითი დანაკარგი – 12.24. ცეცხლგამძლეობა – 1710-1730<sup>0</sup>C. კაოლინის ქიმიური შედგენილობა, (მას.%): SiO<sub>2</sub> – 46.45, TiO<sub>2</sub> – 0.33, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 38.70, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0.46, MgO – კვალი, CaO – 0.36, Na<sub>2</sub>O – 0.45, K<sub>2</sub>O-0.60, ხ.დ. 13.63. ცეცხლგამძლეობა – 1770<sup>0</sup>C.

ცხრილი 2

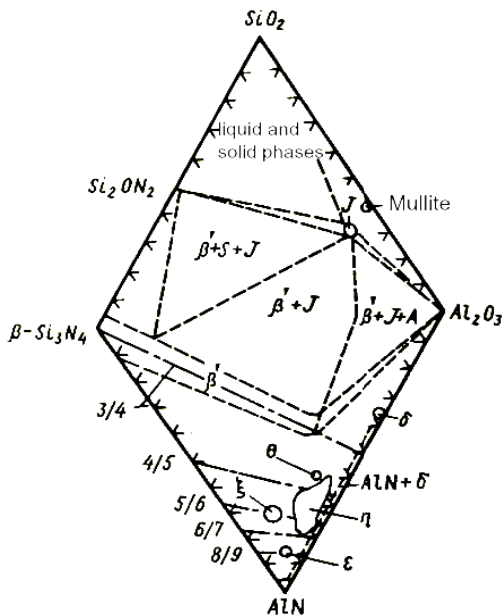
**CN-7 კომპოზიტის მატერიალური შემადგენლობა, მას.%**

დასახელება	გეოპოლიმერი		Al	SiC	Si	პერლიტი (სომხეთი)	MgO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	კაოლინი პროსიანაია (უკრაინა ც/გ)	პოლოგის თიხა						
CN 7	13.9	4.63	23.15	27.78	25.00	2.78	0.92	1.8



სურ. 1. Si-Al-O-N სისტემაში შემადგენელი კომპონენტების განაწილების სქემა

წონასწორული ფაზური დიაგრამა, რომლის ფაზები განიხილება, როგორც სიალონები, ნახევრებია სურ. 2-ზე. ერთფაზიანი მხარე ( $\beta^1$ -სიალონი) განლაგებულია X შედგენილობის გასწვრივ  $(Al_2O_3/AlN)+(1-X) Si_3N_4$ , სადაც  $X=0\div 0,8$ , მაგრამ ხაზები კათიონი/ანიონის თანაფარდობით  $=3/4$ . მყარი ხსნარების წარმოქმნა -  $Al_2O_3$ -სა და AlN-ის  $\beta$ - $Si_3N_4$ -ში, არ მოითხოვს ჩანერგილი კათიონებისა და ანიონების ვაკანსიების არსებობას  $\beta$ - $Si_3N_4$ -ს კრისტალურ მესერში.  $Al^{3+}$  და  $O^{2-}$  კონცენტრაციის გაზრდით მყარ ხსნარში შეიმჩნევა  $\beta$ - $Si_3N_4$ -ის მესერის ხაზოვანი ზრდა [14-21].

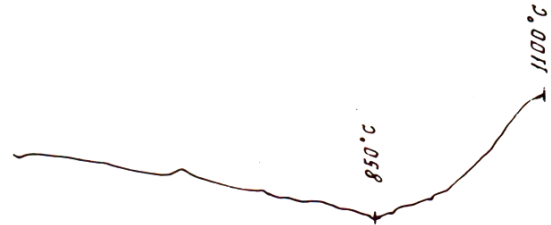


სურ. 2.  $Si_3N_4$ -AlN - $Al_2O_3$ - $SiO_2$  სისტემის ფაზური დიაგრამა

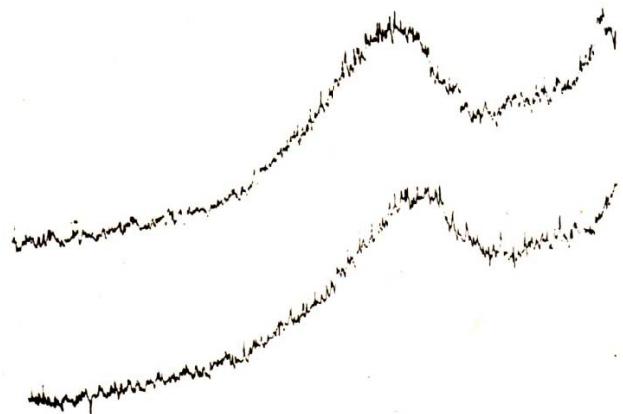
მკრელი ინსტრუმენტული სიალონების ოპტიმალური ფაზური შედგენილობაა 75% სიალონი და 25% მინისებური ფაზა. ჩვენ ნარევეში შევიყვანეთ არაგაციის (სომხეთი) მინისებური პერ-

ლიტი 3 მას%-მდე, რომელიც შედგება 96% მინისებური ფაზისაგან, ხოლო დანარჩენი - სტრუქტურული წყალი და აირებია. პერლიტი განიცდის დეჰიდრატაციას  $860^{\circ}C$ -ზე, ამ დროს ხდება სტრუქტურის გაფაშრება და ეს ხელს უწყობს დიფუზური პროცესების ინტენსიფიკაციას და ახალი ფაზების წარმოქმნისთვის პირობების შექმნას. სურ. 3-ზე მოცემულია პერლიტის თერმოგრამა, ხოლო სურ. 4-ზე ნედლი და  $900^{\circ}C$ -ზე გამომწვარი პერლიტის რენტგენოგრამები, რითიც დასტურდება, რომ ის წარმოადგენს მთლიანად მინისებურ ფაზას. პერლიტის ქიმიური შედგენილობა შემდეგია (მას.%):  $SiO_2$ -73.48,  $Al_2O_3$ -14.03,  $Fe_2O_3$ -0.62,  $CaO$ -0.60,  $MgO$ -0.47,  $SO_3$ -0.25,  $R_2O$ -6.50, ხ.დ.-3.42. [22].

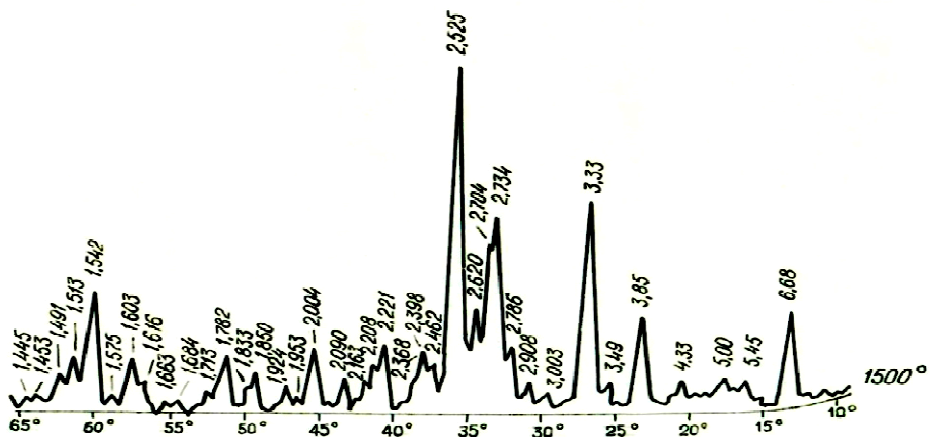
რენტგენოგრამაზე (სურ. 5) მეტალოთერმული და აზოტირების მეთოდით,  $1450^{\circ}C$ -ზე რეაქციული შეცხოვით მიღებული CN-7-ის ძირითადი ფაზა  $\beta$ -სიალონია. კომპოზიტი შეიცავს  $\beta$ -სიალონთან ერთად სილიციუმის კარბიდს, უმნიშვნელო რაოდენობით შეიცავს X სიალონსაც. CN-7 კომპოზიტის მატრიცაში გამოკვეთილია სილიციუმის კარბიდის მარცვლები, რომელთა ზომა აღემატება ახალწარმოქმნილი სილიციუმის ნიტრიდის მარცვლების ზომას [23].



სურ. 3. პერლიტის თერმოგრამა



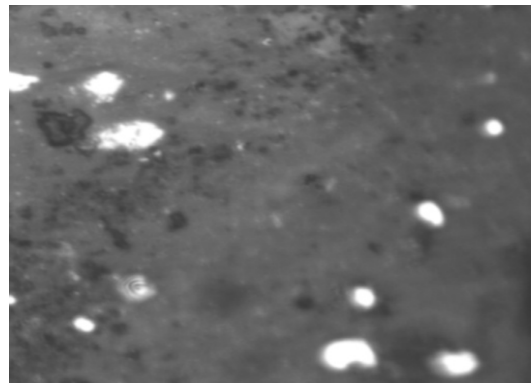
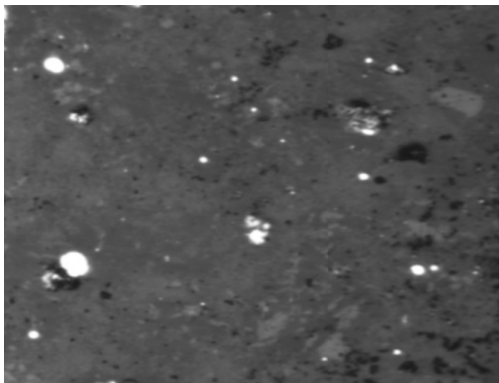
სურ. 4. პერლიტის რენტგენოგრამები. ა) ზედა - ნედლი პერლიტი, ბ) ქვედა - გამომწვარი  $900^{\circ}C$



სურ. 5. რეაქციულად შემცვარი CN-7 კომპოზიტის X-RAY (1450°C)

CN-7 კომპოზიტების მიკროსტრუქტურული კვლევის მონაცემები (სურ. 6), თანხვედრაშია რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის შედეგებ-

თან, საიდანაც ჩანს, რომ ამ კომპოზიტების მატრიცას წარმოადგენს მ-სიალონი.



CN-7 X-200 CN-7 X-500

სურ. 6. CN-7 კომპოზიტის ოპტიკურ-მიკროსკოპული მორფოლოგია

კომპოზიტის მისაღებად შერჩეული ნედლეულები: კაოლინი, ალუმინის ნანოფხვნილი, SiC, Si, პერლიტი, დანამატების სახით- Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO და პოლოგის თიხა დოზირების (აწონვა) შემდეგ გადაიფქვა ფაიფურის ბურთულებიან წისქვილში. ნაკეთობის მისაღებად ნარევი დაიწნეხა ჰიდრაულიკური წნეხის საშუალებით 20 MPa წნეხის ქვეშ. დაყალიბებული ნიმუშები გამოვაშრეთ ჰაერზე ერთი დღეამის განმავლობაში და შემდეგ საშრობში 110°C ტემპერატურაზე. გამოიწვა სილიტის ღუმელში აზოტის გარემოში 1400-1500°C, საბოლოო ტემპერატურაზე დაყოვნება შეადგენდა 30 წთ-ს. მზა ნაკეთობა ღუმლის გამორთვის შემდეგ, ღუმელთან ერთად გაცივდა თავისუფალი რეჟიმით.

მკვრივი ნაკეთობის მისაღებად რეაქციული შეცხობისა და ნიტროალუმოთერმული მეთოდებით მიღებული კომპოზიტი CN-7, გატარდა ყბები-

ან მსხვერველანაში, გადაიფქვა ბურთულებიან წისქვილში 8 საათის განმავლობაში და შემდეგ ატრიტორულ წისქვილში 8-10 წთ-ის განმავლობაში.

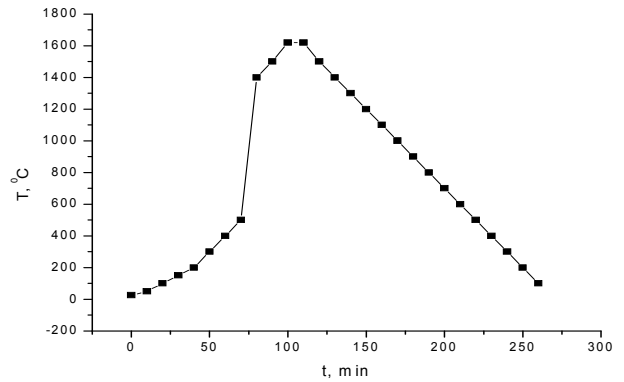
ცხელი დაწნეხვისას დაბალ ტემპერატურებზე რეკრისტალიზაციის აქტიური პროცესი, ე.ი. შეცხობადი ნივთიერების მარცვლების ზომის ზრდა, ჯერ კიდევ არ იწყება. ე.ი. შედეგად შეცხობილ ნაკეთობას ექნება წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა და მაღალი ფარდობითი სიმკვრივე.

ცხელი წნეხვისათვის პრეკურსორი მომზადდა თერმოსტატში 150°C-ზე, ცივად დაიწნეხა ორჯერადად – 12-15 MPa. და 20-25 MPa. წნევით. ცხლად დაიწნეხა 1620°C-ზე 30 MPa. წნეხის ქვეშ, ვაკუუმში შეადგენდა 10<sup>-3</sup> Pa-ს, დაყოვნება საბოლოო ტემპერატურაზე 10-12 წთ. გამოწვის რეჟიმი იყო: 20-500°C-მდე 70°C/წთ, 500-1400°C-მდე 150°C/წთ, 1400-1620 °C-მდე კი 10 °C/წთ. გაცივება



10°C/წთ. გამოწვის ტემპერატურული რეჟიმი წარმოდგენილია სურ. 7-ზე.

შესწავლილ იქნა 1620°C-ზე ცხლად დაწნეხილი ნიმუშის ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 3. ცხლად დაწნეხილი ნიმუშის წყალშთანთქმა ფორიანობის მიხედვით ნაკლებია 0,3%-ზე, ხოლო სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას, 1910 MPa. სისაღე შეადგენს HV-19.70. ჩვენ მიერ ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ 1620°C საკმარისია ნიმუშების სრული გამკვრივებისათვის.



სურ. 7. CN-7-ის ცხელი წნეხით 1620°C-ზე გამოწვის ტემპერატურული რეჟიმი

ცხრილი 3

ცხლად დაწნეხილი CN-6 ნიმუშის ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები

კომპოზიტის ინდექსი	ღია ფორიანობა w, %	საერთო ფორიანობა, P, %	სიმკვრივე, ρ, g/cm <sup>3</sup>	დაწნეხვის წნევა, MPa.	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას, σ <sub>კ</sub> , MPa.	სიმტკიცის ზღვარი ღუნვისას, σ <sub>ღ</sub> , MPa.
CN-7 (1600 <sup>0</sup> )	0,28	3.10	3,17	30	1910	470

ცხრილი 4

ცხლად დაწნეხილი CN-7 ნიმუშის მექანიკური მახასიათებლები

კომპოზიტის ინდექსი	K <sub>ic</sub> , MPa.	მსხვრევადობის ფაქტორი, B, MPa.	n-ფაქტორი
CN-7 (1620 <sup>0</sup> )	5.54	4,56	-2.44

მასალის მსხვრევადობის გაანგარიშებული ფაქტორის მნიშვნელობა მოცემულია ცხრ. 4-ში.

მიკროსისალის ექპერიმენტულად დადასტურებული მნიშვნელობიდან გამომდინარე და დაბაბულობის ინტენსივობის კრიტიკული კოეფიციენტის დახმარებით (K<sub>ic</sub>):B=Hv/K<sub>ic</sub>, განმარტებულ იქნა მსხვრევადობის რაოდენობრივი ფაქტორი (B). ნიმუშში მსხვრევადობის ფაქტორის დაბალი მნიშვნელობა, გულისხმობს ბზარის კატასტროფული გავრცელების დაბალ შესაძლებლობას, მანქანური დამუშავების დროს [24].

Anstis-ის [25] მიხედვით  $K_{ic}=0.0016 P/C_0^{3/2} (E/H)^{1/2}$  GPa, სადაც P არის დატვირთვა ნიუტონში – N; C<sub>0</sub>-ბზარის სიგრძე ანაბეჭდის ცენტ-

რიდან ბზარის წვერომდე მეტრებში; EE – იუნგის მოდული გიგაპასკალებში – GPa; V – მოკროსისალე ვიკერსის მიხედვით გიგაპასკალებში – GPa.

მასალათა მანქანური დამუშავებისათვის მნიშვნელოვან პარამეტრს წარმოადგენს n-ფაქტორი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ვიმსჯელოთ მასალაზე, მისი მანქანური დამუშავების სიმართივის შესახებ. n=0,643-0,122 Hv, კერამიკა და კერამიკული კომპოზიტი ადვილად დასამუშავებელი იქნება თუ მას აქვს n-ის დადებითი მნიშვნელობა [24]. ჩვენი მასალის შემთხვევაში, როგორც ჭრით, ასევე მანქანური დამუშავება ხეხვაზე, მასალის მაღალი სიმაგრის გამო

რთულია. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ დისკების აღმასის ქარგოლით ჭრის დროს, წავაწყდით დიდ წინააღმდეგობას, რამაც დააზიანა რამდენიმე აღმასის ქარგოლი და ამან, ბუნებრივია გამოიწვია მასალაში ბზარების განვითარება. ამ მოვლენამ მასალის მექანიკური თვისებები რამდენადმე შეამცირა. სასურველია ყოფილიყო ლაზერული ჭრით დამუშავების შესაძლებლობა.

მიღებული მასალების დინამიკური მიკროსისალე და დრეკადობის მოდული, განისაზღვრა თანამედროვე ISO-14577 საერთაშორისო სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამის დინამიკურ ულტრა მიკროსისალის ტესტერზე DUH-211S, რომელიც მყარი სხეულების ზედაპირების მექანიკური მახასიათებლების (მიკროსისალე, დრეკადობის მოდული) დასადგენად გამოიყენება. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 5.

ცხრილი 5

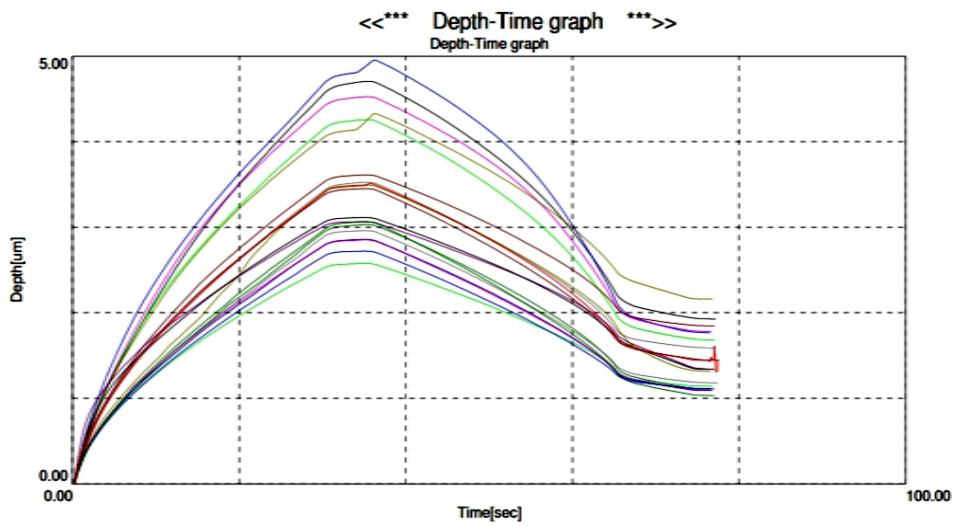
**CN-7 კომპოზიტის ტექნიკური მახასიათებლები**  
 <<Test condition-SiAlon-200 >>

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

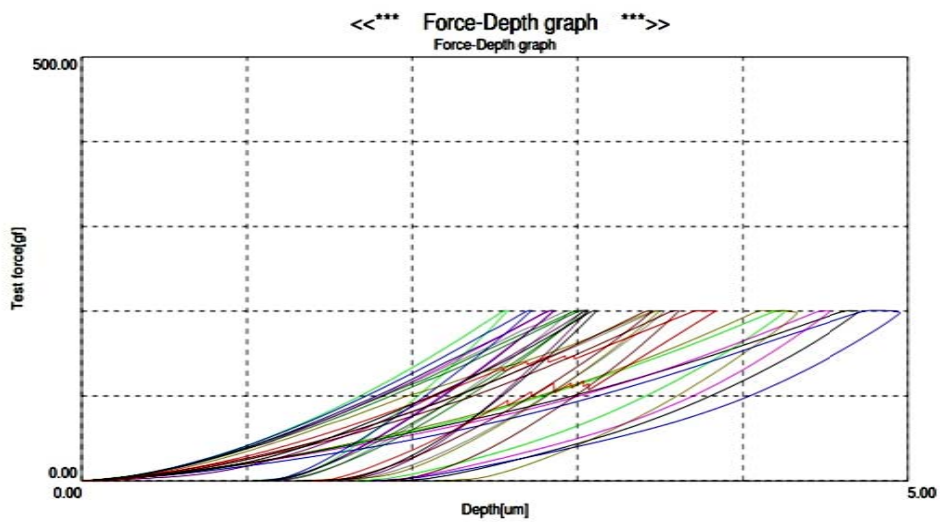
<< Test result >>

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

სურ. 8-ზე მოცემულია კომპოზიტის მიკრომექანიკური მახასიათებლები.



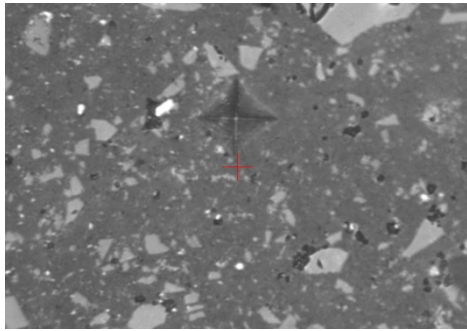
a)



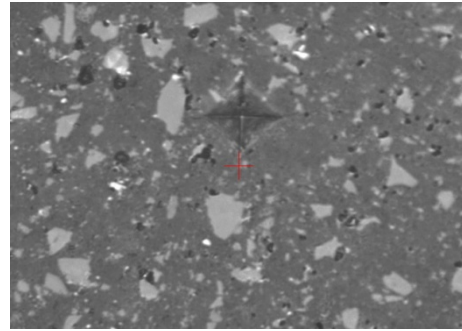
b)

სურ. 8. CN-7 კომპოზიტის მიკრომექანიკური მახასიათებლები 2N დატვირთვისას. ა) ინდენტორის მასალაში ჩაღრმავების დამოკიდებულება დროზე, ბ) ინდენტორის დატვირთვის დამოკიდებულება ანაბეჭდის სიღრმეზე

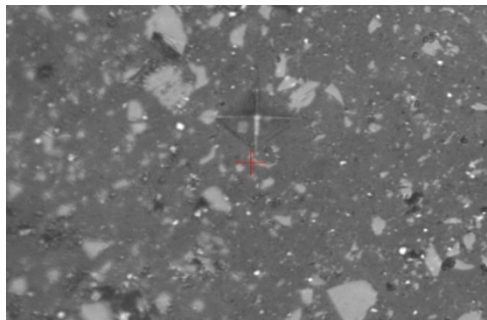
ინდენტორის ანაბეჭდების სურათები მატრიცაში, მატრიცის და მარცვლების საზღვარზე და მარცვალში მოცემულია სურათებზე 9, 10 და 11.



a)

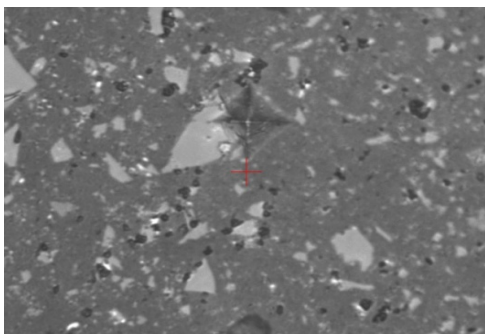


b)

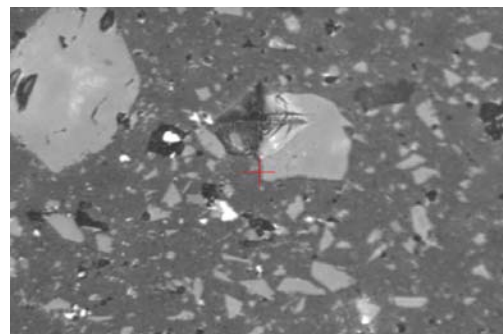


c)

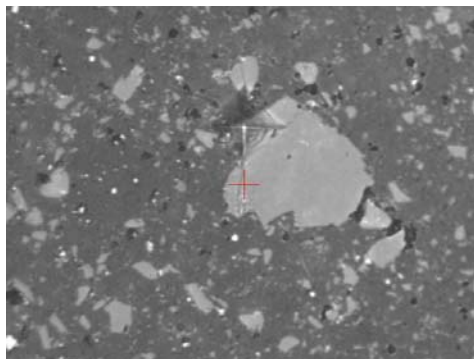
სურ. 9. a), b), c) ანაბეჭდები აღებულია მატრიცაზე



a)

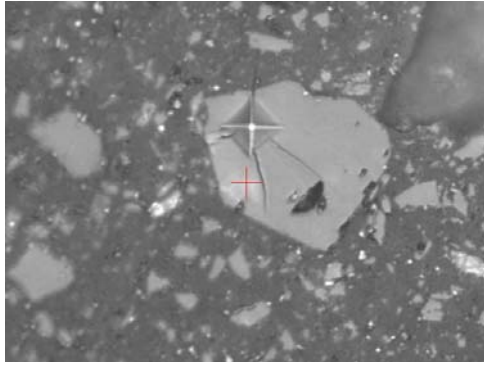


b)

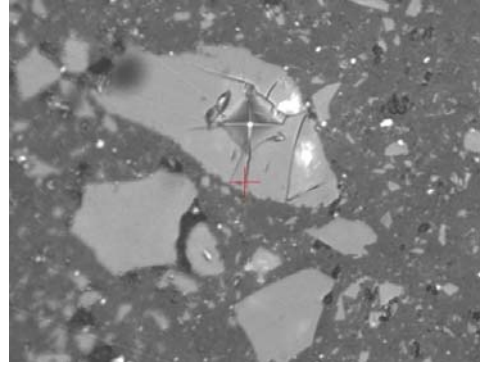


c)

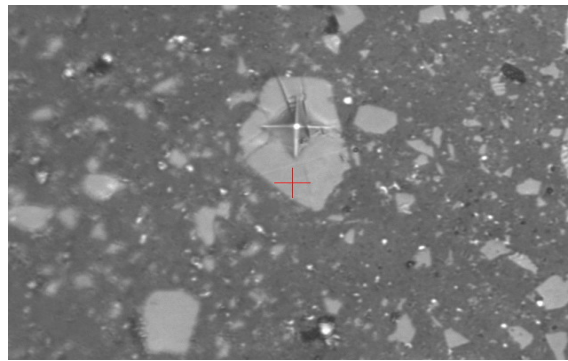
სურ. 10. a), b), c) ანაბეჭდი აღებულია სილიციუმის კარბიდისა და მატრიცის საზღვარზე



a)



b)



c)

**სურ. 11. a), b), c) ანაბეჭდი აღებულია სილიციუმის კარბიდის მარცვალზე**

სურ. 8, 9, 10 და 11 უნდა განვიხილოთ ერთიან კონტექსტში.

შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 5, სადაც მოცემული გვაქვს CH 7-ის 1620°C-ზე ცხლად დაწნეხილ ნიმუშზე ჩატარებული ტესტის შედეგები, ანაბეჭდი აღებულია მატრიცაში (სურ. 9), ანაბეჭდის აღება მოხდა რამდენიმეჯერ, შედეგები კი მოცემულია ცხრილში, სადაც საშუალო სიმაგრე არის HV:19,70გპა. დინამიკური სისაღე DH-8.9 GPa, დრეკადობის მოდული E-145 MPa.

მე-9 სურათზე ნაჩვენებ SiAlON მატრიცაში აღებული ანაბეჭდი გვიჩვენებს, რომ მისი ფორმა გამოკვეთილი წიბოებით მკვეთრია, წიბოების გასწვრივ სურათი 9 ა-ზე ბზარი არ შეინიშნება. სურათ ბ-ზე ანაბეჭდის მარჯვენა წიბოს გასწვრივ შეინიშნება მცირე 6.6  $\mu\text{M}$  ზომის ბზარი, ხოლო სურათ გ)-ზე ასევე ანაბეჭდის მარჯვენა წიბოს გასწვრივ, შეინიშნება მცირე 7.0  $\mu\text{M}$  ზომის ბზარი, რაც სიალონის მატრიცის ერთგვაროვნებასა და მაღალ ფარდობით სიმკვრივეზე მეტყველებს.

საინტერესო შედეგებია მატრიცისა და მარცვლის საზღვარზე აღებული ანაბეჭდების

მიხედვით. სურათი 10 ა)-ზე ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე 17  $\mu\text{M}$  -ია. მარცვალზე ბზარის საშუალო სიგრძე- 5.75  $\mu\text{M}$ . ბზარის გაგრძელება მატრიცაში არ შეინიშნება. სურ. 10 ბ)-ზე ანაბეჭდის დიაგონალი 12  $\mu\text{M}$ -ია, ხოლო ბზარის საშუალო სიგრძე მარცვალზე- 5.22  $\mu\text{M}$ . ბზარის გაგრძელება მატრიცაში არც აქ შეინიშნება. მარცვალი ერთ ადგილას არის გაბზარული. სურ. 10 ც)-დან ჩანს, რომ ანაბეჭდის სიგრძე 12  $\mu\text{M}$ , ხოლო ბზარის საშუალო სიგრძე-11.71  $\mu\text{M}$ -ია.

მე-5 ცხრილში მოცემულია კომპოზიტ CN 7-ის მიკროსტრუქტურაში არსებული SiC მარცვლების ტესტირების შედეგები. ინდენტირება ხდებოდა SiC მარცვლებზე 2 ნ დატვირთვისას.

სილიციუმის კარბიდის მარცვლებზე აღებული ანაბეჭდის საზღვრები მკვეთრია (სურ. 11 a), b), c)) ბზარი, რომელიც მარცვალზე ინდენტორის დატვირთვის შედეგად წარმოიშევა, არ ვრცელდება მარცვლის საზღვრის იქით. მატრიცა, მისი მაღალი მექანიკური თვისებების და ენერჯის დისიპაციის გამო, ახშობს ბზარის გაგრძელებას და

კომპოზიტის სიმტკიცე ინარჩუნებს თავის მნიშვნელობას. ასეთი დიდი ზომის მარცვლები ერთეულია (ცხრილი 8) და ამის მიხედვით მასალის მექანიკურ თვისებებზე მსჯელობა არარელევანტურია, ვინაიდან მათი დისპერსიულობის ხარისხის გაზრდა არ წარმოადგენს პრობლემას, ხოლო კვლევისათვის საინტერესო სურათს იძლევა. განსაკუთრებით საინტერესოა სურ. 11 ბ). ამ შემთხვევაში ბზარი ანაბეჭდის მარჯვენა მხარეს იმდენად ძლიერად ვითარდება, რომ ის ვრცელდება მატრიცამდე, ეჯახება ძლიერ მატრიცას, ბრუნდება უკან, დიაგონალურად გადასერავს მარცვალს და მარცვლის მეორე მხარეს შეეჯახება ისევ მატრიცას, მაგრამ მას ვერ არღვევს. უნდა აღინიშნოს, რომ ბზარი ინარჩუნებს მაღალ ენერგიას და ვითარდება დიაგონალურად SiC მარცვლის მეორე მხარეს, კარგავს რა ენერგიას, ვეღარ აღწევს მატრიცამდე. ქვედა წიბოდან გაფრცვლებული ბზარი აღწევს მატრიცამდე, მაგრამ ენერგიის დისიპაცია მარცვალში და მატრიცის  $K_{ic}$  იმდენად მაღალია, რომ ბზარი მატრიცასთან ქრება. სურ. 11a) და c)-ზე ნათლად ჩანს ბზარის განვითარების მიმართულებები. როგორც ცნობილია  $K_{ic}$ -ს ამ შემთხვევაშიც, მასალის ბზარმედევობის საკითხში დიდი მნიშვნელობა აქვს, ვინაიდან ბზარი მოწყვეტის შემდეგ ვითარდება 2000 მ/წმ სიჩქარით და ამ დროს მასალის მედეგობა განისაზღვრება არა მარტო ბზარის მატრიცაზე დარტყმითი სიჩქარით, არამედ  $K_{ic}$  მნიშვნელობით.

დინამიკური მიკროსისალე (DH) განისაზღვრება ტესტირების პროცესში ინდენტორზე მოდებული დატვირთვის სიდიდისა და მისი მასალაში შეღწევის სიღრმით, მისი მნიშვნელობა იანგარიშება ფორმულით:  $DH=a \times F/h^2$ ; სადაც  $a$  მუდმივი სიდიდეა და დამოკიდებულია ინდენტორის ფორმაზე, იგი ვიკერსის ინდენტორისთვის ტოლია:  $a=3,8584$ .

მეთოდის უპირატესობა, ჩვეულებრივ სტატიკური ანუ ანაბეჭდის წრფივი ზომების (დიაგონალი) დადგენასთან შედარებით, მდგომარეობს იმაში, რომ ის შეიცავს როგორც პლასტიკურ, ისე დრეკად მდგენელებს. გაზომვების შედეგები არ არის დამოკიდებული ანაბეჭდის ზომებზე, დატვირთვებსა და დრეკადი აღდგენის არაერთგვაროვნებაზე.

დინამიკური სისალე განისაზღვრა დატვირთვა-განტვირთვის რეჟიმში, მანამდე, სანამ მოხდება დრეკადი რელაქსაცია. თითოეულ კონკრეტულ დატვირთვაზე შეიდი ანათვალის ადებით, ორი უკიდურესი მნიშვნელობის უგულვებელყოფით და დარჩენილი ხუთი სიდიდის გასაშუალებით. მიკროსისალის შესაბამისი მნიშვნელობა განისაზღვრებოდა ავტომატურად. დაყოვნების დრო დატვირთვის მაქსიმუმზე შეადგენდა 5 წმ-ს, განტვირთვის ბოლოს – 3 წმ-ს (სურ. 8 a, b).

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

დატვირთვა-განტვირთვის დამოკიდებულების გრაფიკიდან (სურ. 8) განისაზღვრება ელასტიკურობის მოდულის სიდიდე სიხისტის –  $S=(dF/dh)h-h_{max}$ -ის დადგენით. ის წარმოადგენს დატვირთვა-განტვირთვის გრაფიკის მხებს განტვირთვის საწყის წერტილში. ხელსაწყო განსაზღვრავს საკვლევი მასალის ელასტიკურობის მოდულს, რომლის საშუალო სიდიდეც ჩვენი ნიმუშის შემთხვევაში ტოლია  $E=145$  MPa. (ცხრ. 5). ანაბეჭდების სურათები სრულ თანხვედრაშია სურ. 8-ზე მიღებულ გრაფიკულ მონაცემებთან.

როგორც სურ. 8 a)-დან ჩანს, ანაბეჭდის ალება მიმდინარეობდა 78 წამის განმავლობაში. ალებულ იქნა 18 ანაბეჭდი. თითოეული ანაბეჭდის სიღრმე განსხვავებულია ერთმანეთისაგან და იცვლება 2.5-დან 5  $\mu$ M-დე. როგორც ჩანს 2N დატვირთვა ამ მასალისათვის ოდნავ მეტია ოპტიმალურზე. იგივე დასტურდება ტესტის ძალის გამოყენებისას (200გრ. დაახლოებით=2N-ს) ანაბეჭდის სიღრმის ალების დროს (სურ. 8 b) ). ამ შემთხვევაშიც ანაბეჭდის სიღრმეები ყოველი 18-ვე ტესტისათვის განსხვავებულია და იცვლება 2.5-დან 5  $\mu$ M-მდე.

შედარებისათვის მოგვყავს ცხრილი 6 და სურ. 12, რომელზეც ნაჩვენებია, რომ ყველა ანაბეჭდი სიალონის მატრიცაში თითქმის ერთი და იმავე სიღრმისაა 1N (100 გრ) დატვირთვის დროს. შეიძლება დავასკვნათ, რომ ოპტიმალური დატვირთვა ამ შემადგენლობის მასალისათვის არის 1N.

CN-7 კომპოზიტის ტექნიკური მახასიათებლები  
1N დატვირთვისას

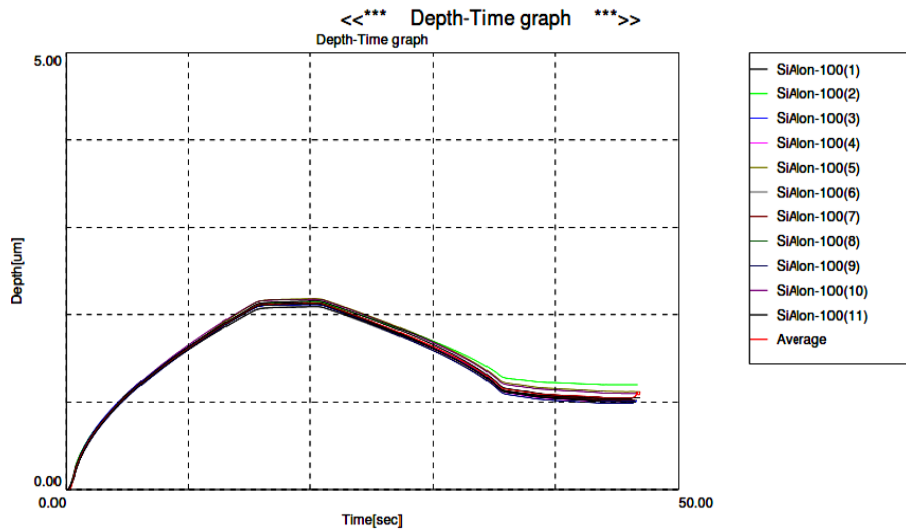
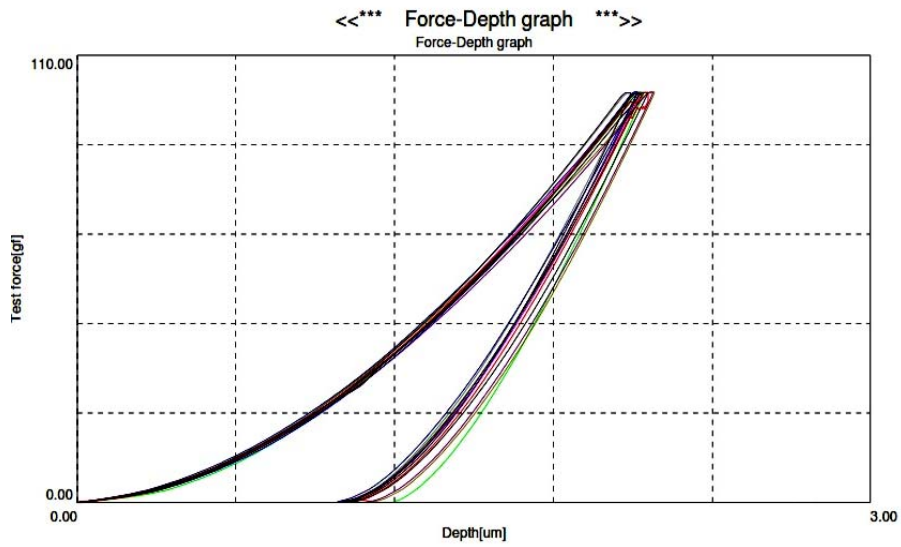
## &lt;&lt; Test condition-SiAlon-100 &gt;&gt;

Test mode	Load-unload		
Sample name	SiAlon-zv	Sample No.	#1
Test force	100.000[gf]	Minimum force	0.200[gf]
Loading speed	1.0(7.1448[gf/sec])	Hold time at load	5[sec]
Hold time at unload	3[sec]	Test count	23
Parameter name	Temp	Parameter	20
Comment	20.06.17-SiAlon-zv-100;DHV5-3		
Poisson's ratio	0.190		
Cf-Ap,As Correction	ON	Indenter type	Vickers
Read times	2	Objective lens	50
Indenter elastic 1.140e+006[N/mm2] Indenter poisson's ratio0.070			

## &lt; Test result&gt;

SEQ	Fmax [gf]	hmax [um]	hp [um]	hr [um]	DHV-1	DHV-2	Eit [N/mm2]	Length [um]	HV	Data name
1	100.753	2.0927	1.0353	1.3623	1124.606	4595.143	2.023e+005	12.133	1269.108	SiAlon-100(1)
2	100.862	2.1408	1.1973	1.4454	1075.849	3439.729	2.028e+005	10.673	1641.878	SiAlon-100(2)
3	100.954	2.1185	1.0085	1.3472	1099.608	4852.203	1.911e+005	11.989	1302.427	SiAlon-100(3)
4	100.844	2.1300	0.9980	1.3526	1086.598	4949.256	1.881e+005	11.623	1384.295	SiAlon-100(4)
5	100.935	2.1822	1.1183	1.4290	1036.181	3945.265	1.855e+005	12.721	1156.721	SiAlon-100(5)
6	100.624	2.0945	1.0240	1.3135	1121.301	4691.482	1.921e+005	11.843	1330.428	SiAlon-100(6)
7	100.551	2.1229	1.0193	1.3350	1090.715	4731.042	1.868e+005	11.551	1397.624	SiAlon-100(7)
8	100.826	2.1357	1.0016	1.3362	1080.626	4912.610	1.834e+005	11.550	1401.679	SiAlon-100(8)
9	100.826	2.1173	0.9846	1.2881	1099.473	5084.458	1.815e+005	11.404	1437.730	SiAlon-100(9)
10	100.825	2.1761	1.0974	1.4160	1040.858	4092.733	1.848e+005	11.697	1366.620	SiAlon-100(10)
11	100.807	2.1566	1.0491	1.3859	1059.580	4477.130	1.857e+005	-----	-----	SiAlon-100(11)
Average	100.801	2.1334	1.0485	1.3646	1083.218	4524.641	1.895e+005	11.718	1368.851	
Std. Dev.	0.120	0.029	0.064	0.049	28.966	502.835	7155.469	0.529	125.730	
CV	0.119	1.372	6.141	3.617	2.674	11.113	3.777	4.518	9.185	





**სურ. 12. CN-7 კომპოზიტის მიკრომექანიკური მახასიათებლები 1 N დატვირთვისას ა) ინდენტორის მასალაში ჩაღრმავების დამოკიდებულება დროზე, ბ) ინდენტორის დატვირთვის დამოკიდებულება ანაბექტის სიღრმეზე**

ამ შემთხვევაში ვიკერსის მიხედვით სისაღე 13.68 GPa ტოლია. ანაბექტის საშუალო სიღრმე – 2.13  $\mu\text{M}$ -ია. დინამიკური სისაღე  $\text{DHV} = 10.83 \text{ GPa}$ .  $E = 189 \text{ MPa}$ . ანაბექტის დიაგონალი – 11.71  $\mu\text{M}$ . ცხრილი და გრაფიკული მასალა გვიჩვენებს, რომ სიალონური მატრიცა ჰომოგენურია და თვისებებში, მიუხედავად მატრიცის სხვადასხვა ადგილებში აღებული ანათვლებისა, რყევები არ ახასიათებს (ცხრილი 6).

ცხრილში 7 მოცემულია ანაბექტებისა და ბზარების საშუალო ზომები.



## ანაბეჭდებისა და ბზარების საშუალო ზომები

ანაბეჭდის სურათის №	ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე, a, $\mu\text{M}$	ანაბეჭდის დიაგონალის ნახევარი a/2, $\mu\text{M}$	ბზარის საშუალო სიგრძე $\ell$ , $\mu\text{M}$	SiC-ს მარცვლის ზომები, რომელზედაც ანაბეჭდია, $\mu\text{M}$	შენიშვნა
14	12,135	6,067	10,4	A-50,8 B-28,8	ანაბეჭდი აღებულია აღნიშნული ზომის მარცვალზე
16	12,428	6,214	10,4	A-54,8 B-25,6	-,-
17	14,474	7,237	8,2	A-33,3 B-20,8	-,-
საშ.			9,667		
3	16,959	8,479	5,75	A-17,24 B-10,34	ანაბეჭდი აღებულია აღნიშნული ზომის მარცვალსა და მატრიცის საზღვარზე
12	12,135	6,067	5,22	A-17,24 B-17,24	-,-
13	11,989	5,994	11,71	A-20,64 B-27,59	-,-
საშ.			7,56		
2	14,621	7,310	ბზარი არ ფიქსირდება		ანაბეჭდი აღებულია მატრიცაზე
4	15,644	7,822	7		-,-
7	17,179	8,589	6,8		-,-
საშ.			4,5		

**მასალათა მექანიკური მოდული.**

მასალის მექანიკური მოდულის გათვლისათვის გამოყენებული იქნა კოეფიციენტის მოდული

$$M = \frac{Kvol \cdot E \cdot Kic \cdot Pa}{Km \cdot Gvol \cdot Pvol \cdot Pm} \text{ MPa} / \mu\text{M}^2.$$

$Km \cdot Gvol \cdot Pvol \cdot Pm$

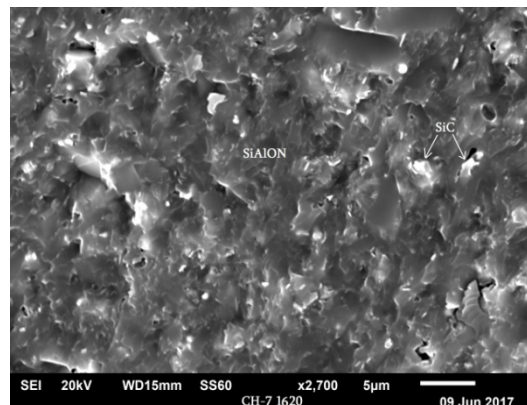
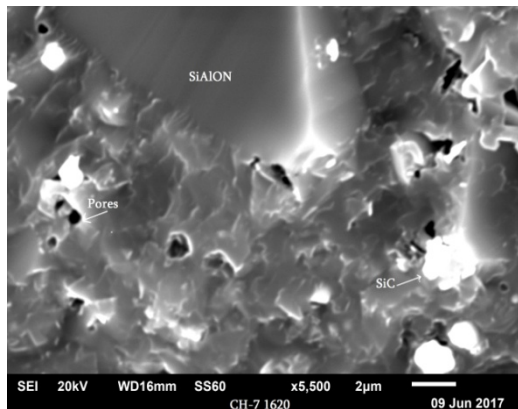
სადაც, Kvol. არის მასალაში კრისტალური ფაზის მოცულობა %-ში; E – ელასტიურობის მოდული – MPa; Kic – დაბაბულობის ინტენსივობის კრიტიკული კოეფიციენტი; Pa – ფორების მატრიცაში გადანაწილების ფაქტორი, რომელიც თანაბარი გადანაწილების შემთხვევაში 1-ის ტოლია, 0.9-ის ტოლი – არათანაბარი გადანაწილების შემთხვევაში და 0.8-ის ტოლი – ფორების

კოაგულაციის შემთხვევაში. Km – მატრიცაში კრისტალების საშუალო ზომა  $\mu\text{M}$ ; Gvol – მატრიცაში მინისებური ფაზის შემცველობა %-ში; Pvol. – მატრიცაში ფორების მოცულობა – %; Pm – მატრიცაში ფორების საშუალო ზომა –  $\mu\text{M}$ . მოდულის განზომილებაა MPa/  $\mu\text{M}^2$ . ფორულაში ვერ იქნება გათვალისწინებული გრიფიტის [26] ბზარები, დისლოკაციები კრისტალებში, ნანო დეფექტები მინაში, თუმცა ფორულა სრულ წარმოდგენას გვაძლევს მასალის გარეგანი დატვირთვების წინააღმდეგ მედეგობის შესახებ, რომელიც მიახლოებულია ატომთა შორის კავშირების სიძლიერის გათვლილ მნიშვნელობებთან. ამიტომაც არის შეტანილი ფორულაში ელასტიურობის მოდული.

ფაზური ანალიზისათვის ჩატარებული იქნა ელექტრონულ-მიკროსკოპული და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი, ხოლო Kic-ს ანგარიშისათვის ჩატარდა მიკრომექანიკური თვისებების კვლევა, რომლის შედეგებიც ზემოთ არის განხილული. ნიმუშების სტრუქტურულ-მორფოლოგიური და ელემენტური შედგენილობის კვლევა შესრულებულია იაპონური კომპანია JEOL-ის მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპით JSM-6510LV, რომელიც აღჭურვილია ინგლისური კომპანია OXFORD INSTRUMENTS -ის ენერგოდისპერსიული მიკრორენტგენოსპექტრალური ანალიზატორით – X-Max<sup>N</sup>. ზედაპირის ელექტრონული გამოსახულებების მიღება წარმოებდა როგორც მეორად (SEI), ასევე არეკვლილ (BES) ელექტრონებში, 20 კეV ამარჯობელი ძაბვის გამოყენებით. ზოგიერთ შემთხვევაში, ზედაპირული მუხტის შემცირების მიზნით, ნიმუშების დაფარვა ხდებოდა Pt-ის,

დაახლოებით 10 ნმ, ფენით, იაპონური კომპანია JEOL-ის ვაკუუმური დაფარვის მოწყობილობით JEC-3000 FC.

ელექტრონული მიკროსკოპიული მორფოლოგიური სურათები სხვადასხვა გადიდებაზე მასალაში ფორიანი ფაზის შემცველობას გვიჩვენებს. მე-8 ცხრილში მოცემულია შედეგები ფორების ანალიზის შესახებ. ფორები ძირითადად მომრგვალებულია, მაგრამ ასეთის არ არსებობის შემთხვევაში, აღებულია ფორების განივი და გრძივი მონაცემები და ნაანგარიშებია საშუალო დიამეტრული შედეგი. დახურული ფორების საერთო მოცულობა აღწევს 2.4 %-ს. გამჭოლი და ნახევრად გამჭოლი ფორები მატრიცაში არ აღინიშნება. მორფოლოგიური სურათებიდან გამომდინარე მივიღეთ, რომ ფორების გადანაწილება მასალაში არ არის სრულად თანაბარი. მივიჩნიეთ რომ ფორების მატრიცაში გადანაწილების ფაქტორი ტოლია 0.9-ს.



სურ. 13. ცხლად დაწნეხილი CN 7 მასალაში ფორიანი ფაზის ანალიზი

ცხრილი 8

ფორიანი ფაზის ანალიზი

ანაბეჭდის სურათის №	მხედველობის არე S, $\mu\text{m}^2$	დათვლილი ფორების რიცხვი, n	უდიდესი ფორას Dmax. $\mu\text{m}$	უმცირესი ფორას Dmin. $\mu\text{m}$	ფორების Dmid. $\mu\text{m}$	ფორების შემცველობა, %
27	1100	9	2.2	0.4	1.6	2.85
30	1600	18	2.8	0.8	1.9	3.35
საშ.		27			1.75	3.10

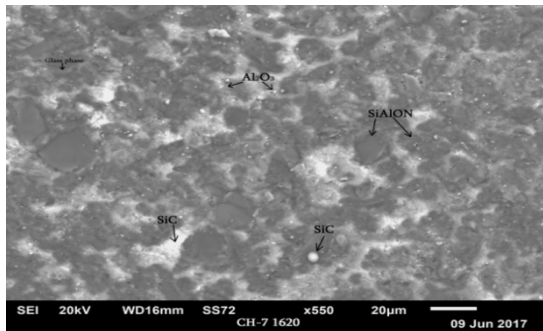
კრისტალური ფაზის შემცველობა და საშუალო ზომები

კრისტალური ფაზის ანალიზის შედეგები მოცემულია ცხრილში 8, საიდანაც ჩანს, რომ დათვლილი იქნა მარცვლების საკმაოდ დიდი რაოდენობა, როგორც სილიციუმის კარბიდი, ასევე სიალონი და ალუმინის ჟანგი, რაც გვაძლევს იმის საშუალებას, რომ ვიმსჯელოთ მა-

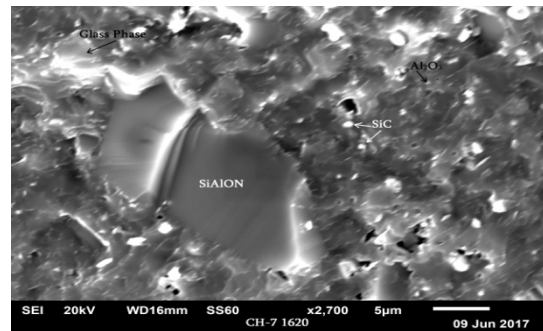
ტრიცის კრისტალური ფაზის ამ მდგენელებზე. სიალონი შეადგენს მატრიცის დაახლოებით 57%-ს. სილიციუმის კარბიდი დაახლოებით 27%-ს. ფორების შემცველობა დაახლოებით 2%-ია. რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი გვაჩვენებს ალუმინის ჟანგის რეფლექსებს, რომელიც სავარაუდოდ ძირითადად გეოპოლიმერიდან გამოეყო. შესაძლებელია მცირე რაოდენობა შეიქმნა

ალუმინის ნანოფხენილისაგან, ვინაიდან აზოტი გაუსუფთავებელია. მისი შემცველობა მივიღეთ 6%-ს ტოლად. რაც შეეხება მინისებურ ფაზას,

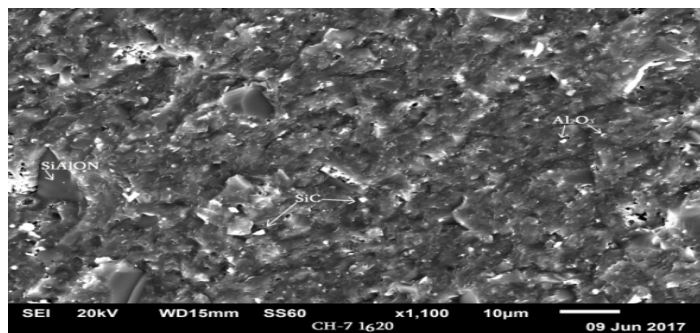
პერლიტი მოლიანად მინისებური მასაა, რომელიც ლღვება 1240°C-ზე [22].



a)



b)



c)

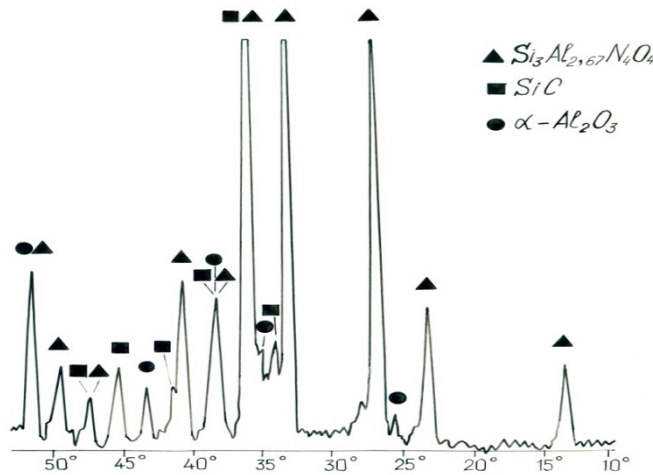
სურ. 14. CN 7 a), b), c) სიალონის კრისტალური ფაზის შემცველობა და მათი საშუალო ზომები

სავარაუდოდ, შემადგენლობაში გეოპოლიმერის ინგრედიენტებთან დამატებული 3% პერლიტი, წარმოშობს ევთექტიკურ ნაღობებს, განსაკუთრებით ტუტე ჟანგულებთან და შედეგად, მასალაში მინისებური ფაზის შემცველობა იმატებს. მისი შემცველობა მივიღეთ 7.4 %-ის ტოლად. SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> და SiAlON მარცვლების ზომები და შემცველობა მატრიცაში მოცემულია ცხრილში 9.

ცხრილი 9

SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> da SiAlON მარცვლების ზომები და შემცველობა მატრიცაში

ანბეჭდის სურათის №	ფაზის დასახელება	მხედველობის არე S, µM <sup>2</sup>	დათვლილი მარცვლების რიცხვი, n	უდიდესი მარცვლის Dmax. µM	უმცირესი მარცვლის Dmin. µM	მარცვლების Dmid. µM	ფაზის შემცველობა, %
17	SiC	1740	85	33,05	2,70	4,80	26,8
13	SiC	3225	300	23,00	2,75	4.90	27,6
საშ.						4.85	27,2
5	SiAlON	35500	250	19,60	5.50	8.60	53,0
32	SiAlON	8200	200	24,30	5,80	7.50	59,8
26	SiAlON	1400	220	21,70	5,30	8.50	59,3
საშ.						8.20	56,4
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35500	60	2.60	1.27	1.93	5.7
მარცვლების საერთო საშუალო ზომა						5.0	კრისტალური ფაზის საერთო შემცველობა, %-89.3



სურ. 15. CN 7 კომპოზიტის X-ray

ეს ჩანს, როგორც X-ray-დან, ასევე ელექტრონულ-მიკროსკოპული სურათებიდანაც.

ელასტიკურობის მოდული ავიდეთ საშუალო 145 MPa-ს ტოლად (ცხრ. 5). ამდენად კოეზიონის მოდულის ფორმულა რიცხობრივ გამოსახულებაში მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$M=89.3x 145x 5.54x0.9/ 5.00x 7.60x1.75x3.10=313 \text{ MPa}/\mu\text{M}^2$$

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ამ ფორმულაში არ გაითვალისწინება გრიფიტის [26] დეფექტები როგორც მატრიცაში და მინისებურ ფაზაში, ასევე დისლოკაციები და სხვა სახის დეფექტები კრისტალურ ფაზებში. ფაიფურისათვის 50% მინისებური ფაზით, 25% მულიტითა და 25% კვარცის კრისტალური ფაზით, თუ მივიღებთ, რომ ელასტიკურობის მოდული ტოლია დაახლოებით 75 MPa,  $K_{ic} = 3.5$ , ხოლო ფორიანი ფაზის და კრისტალების იმ ზომას იგივეს რაც ჩვენს ცხრილებშია დაფიქსირებული, მოცემული მოდულის სიდიდე შეადგენს 8.7 Mpa/ $\mu\text{M}^2$ . სიალონური კერამიკა ბევრად ძლიერია ფაიფურზე.

### მასალის ელექტრო თვისებები

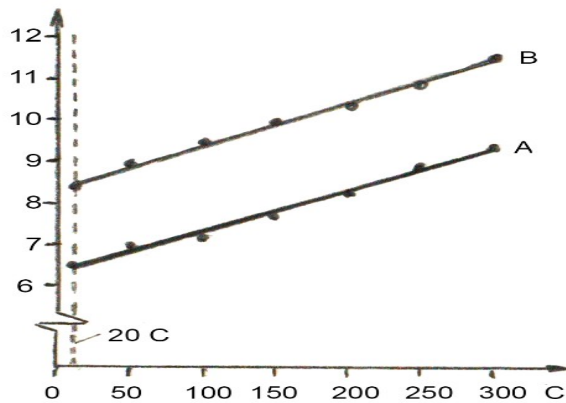
ცხელი წნეხით მიღებული მასალის ელექტრომახასიათებლების მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 10, ხოლო დამოკიდებულება “წინაღობა-ტემპერატურა” წარმოდგენილია ნახ. 15-ზე, სადაც საკვლევი მასალა აღინიშნა “A” ინდექსით. იმავე ცხრილში და ნახაზზე მოყვანილია ნიტროალუმინთერმული მეთოდით მიღებული საწყისი მასალის ელექტრომახასიათებლები (აღინიშნა ინდექსით “B”), რომლებიც აღებულია [27]-დან.

დამოკიდებულება “ $\lg\rho - T$ ” სწორხაზოვანია და A და B ვარიანტებით მიღებული მასალებისთვის პარარელური წრფეებითაა წარმოდგენილი (სურ. 16). ასევე, იდენტურია  $\alpha_T$  და E-ს მნიშვნელობები, რაც დენის გადატანის მექანიზმის უცვლელობაზე მიუთითებს (ცხრ. 9). განსხვავება ფიქსირდება მხოლოდ წინააღობათა სიდიდეებში იმ თავისებურებით, რომ ცხელი წნეხით მიღებული ნიმუში A 2 ნიშნით უფრო დაბალი წინააღობის მატარებელია, ვიდრე ფორიანი მასალა B, რომლისგანაც ის იქნა მიღებული. აღნიშნული უნდა უკავშირდებოდეს ცხელი წნეხით მიღებული მასალის რეაქციულად შემცვეარი სტრუქტურიდან მკვრივ სტუქტურაში გადასვლას.

ცხრილი 10

### მასალის მიღების პირობების გავლენა მის ელექტრომახასიათებლებზე

ნიმუშის №	ნიმუშის მიღების ხერხი	ელექტროწინააღობა 298 K-ზე, $\lg\rho$ , $\lambda\cdot\text{m}$	ელექტროწინააღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი, $\alpha_T \cdot 10^{-2}$ , $K^{-1}$	გამტარობის აქტივაციის ენერჯია, E, eV
A	ცხელი წნეხა	6,4	2,3	1,08
B	ნიტროალუმინთერმული სინთეზი	8,4	2,3	1,08



სურ. 16. ცხელი წნეხით (A) და ნიტროალუმინთერმული სინთეზით (B) მიღებული მასალების ელექტროწინააღობათა ცვლილება ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით

### 3. დასკვნა

მეტალთერმული და აზოტირების პროცესების მეშვეობით რეაქციული შეცხოების მეთოდით სინთეზირებულია SiC კომპოზიტი SiAlON სისტემაში. მკვრივი მასალის მისაღებად ფორიანი (13-15%) კომპოზიტი დაწვრილმანების შემდეგ 1620°C-ზე ცხლად დაიწნება და შემდგომი კვლევიები ჩატარდა, როგორც მიკრო და მაკრომექანიკური, ასევე სტრუქტურული, ოპტიკური და ელექტრონული მიკროსკოპული მეთოდებით. შესწავლილ იქნა ფორიანი ფაზა, განისაზღვრა მისი პროცენტული შემცველობა და ზომები. განისაზღვრა კრისტალური მდგენელების: სიალონის, სილიციუმის კარბიდის და ალუმინის ჟანგის მატრიცაში პროცენტული შემცველობა და მარცვლების ზომები. შედეგებმა აჩვენა, რომ სიალონის წარმოქმნა იწყება 1200°C-დან და ინტენსიურად ვითარდება 1350-1450°C-ის ინტერვალში. ამით ჩვენ მნიშვნელოვნად დაგვიერთ სიალონის სინთეზის ტემპერატურა, რეაქციული შეცხოებისათვის დაახლოებით 550°C-ით და ცხელი წნეხისათვის დაახლოებით 130°C-ით, რასაც მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელი მინისებური პერლიტის დანამატმა. ღუმლის გაცივების პროცესი თავისუფალია და მასალაში ტემპერატურის კლება ფაზათა ცვლილებაზე არ მოქმედებს. მიღებულია B- სიალონი სილიციუმის ნიტრიდის სტრუქტურით. ამას ხელს უწყობს ასეთ დაბალ ტემპერატურებზე სილიციუმის ნიტრიდის ჯერ კიდევ ახლადწარმოქმნილი არასრულყოფილი კრისტალური მესერი, რომელიც თავისი შედარებით დიდი სივრცეების გამო სტრუქტურაში იღებს ალუმინის ოქსიდს, ალუმინის ნიტრიდს და სილიციუმის ოქსიდს. შემდეგ, შედარებით მაღალ – 1350-1450°C ტემპერატურებზე იგი ფორმირდება B- სიალონის სტრუქტურაში. მიღებული მასალა ხასიათდება მაღალი საექსპლუატაციო თვისებებით. მექანიკა ღუნვაზე შეადგენს 470 MPa, ხოლო კუმშვაზე – 1910 MPa. მიკრომექანიკურმა

ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ბზარი ხშირ შემთხვევაში სიალონის მატრიცაში არ წარმოიქმნება და თუ წარმოიქმნა არის მცირე ზომის. ასეთივე შედეგია მატრიცა-SiC მარცვლის საზღვარზე. SiC-ს მარცვლები შერჩეული იქნა დიდი ზომის, ასეთები სულ რამდენიმეა- 50 μm-ის რაიონში და მათში ბზარების გავრცელება ინტენსიურია. საჭიროა SiC ფხვნილის წინასწარ კონგლომერატში შერევაშდე, დისპერსიულობის ხარისხის ამაღლება ატრიტორულ ან ტევლონის წისკვილებში ფხვნილის ორჯერ გადაფქვით. გათვლილი იქნა მასალის მსხვრევადობის B ფაქტორი, რომელიც არ არის მაღალი. ეს გვიჩვენებს ბზარის სწრაფი გავრცელების დაბალ შესაძლებლობებს, ხოლო n ფაქტორის უარყოფითი მნიშვნელობა გვიჩვენებს მასალის მაღალ სიმაგრეს, გაუძღლოს გარე მექანიკურ დატვირთვებს მანქანური დამუშავების დროს. შედეგი დადასტურდა ალმასის ქარგოლებით ნიმუშების ტრისას, როდესაც რამდენიმე ქარგოლი დაიმტვრა. კომპოზიტის ეს მაღალი თვისებები დადასტურდა კოვზირიძის მექანიკური მოდულის – 2462 MPa/ μm<sup>2</sup> გაანგარიშებისას. მიღებულმა შედეგმა მოლოდინს გადააჭარბა. ამ მოდულში არ გაითვალისწინება კრისტალური და მინისებური ფაზების ნაწილი დეფექტები, დისლოკაციები, გრიფიტის ბზარები, მაგრამ შეიძლება მასალათა მედეგობის შესახებ რეალური მსჯელობა გარეგანი დატვირთვების შემთხვევაში მასალა მიღებული მყარ ფაზური შეცხოებით. ამას ადასტურებს მინისებური ფაზის შედარებით მცირე 12%-ზე ნაკლები შემცველობა.

ელექტრული თვისების შესწავლამ გვიჩვენა, რომ α<sub>T</sub> და E –ს მნიშვნელობები იდენტურია, რაც დენის გადატანის მექანიზმის უცვლელობაზე მიუთითებს (ცხრ. 9). განსხვავება ფიქსირდება მხოლოდ წინააღობათა სიდიდეებში იმ თვისებებურებით, რომ ცხელი წნეხით მიღებული ნიმუში A2 ნიშნით უფრო დაბალი წინააღობის მატარე-



ბელია, ვიდრე მასალა B, რომლისგანაც ის იქნა მიღებული. შესაძლებელია ასეთი განსხვავება ფორიანი მასალის მკვრივ სტრუქტურაში გადასვლით იყოს გამოწვეული.

### ლიტერატურა

1. Шведков Е. Л., Ковенский И.И., Денисова Э. Т., Зырин А.В., -Словарь Справочник по новой керамике. Киев. Наукова Думка. 1991. Стр. 182
2. Ekstrom T., Kall P.O., Nygren M., Olsson P.O. - Dense Single-Phase Beta-Sialon Ceramics by Glass-Encapsulated Hot Isostatic Pressing. -J .of mat. Sci.-1989. V.24. p. 1853-1862.
3. Rosenflanz A., I-Wei-Chen.- Phase Relationships and Stability of a-SiALON,-J.Am.Ceram. Soc. 1999. V.82. №4. P. 25-28.
4. Стрелов К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов:учеб. пособие для вузов / К. К. Стрелов, И. Д. Кашеев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 1996. – с. 608.
5. Чухолина Л.Н. Способ получения порошка сиалона. <http://bd.patent.su/2378000> უკანასკნელად იქნა გადაამოწმებული – 18. 11.2012.
6. Zheng G, Zhao J., Gao Z., Cao Q., - Cutting performance and wear mechanisms at Sialon-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> graded nano-composite ceramic cutting tools/ The International Journal of advanced Manufacturing Technology, 2012 V.58 , I. 1-4. P. 19-28.
7. Tressler R. E. Theory and Experiment in Corrosion of Advanced Ceramics//Corrosion of Advanced Ceramics/ NATO ASI Series E: Applied Sciences/Ed. K.G.Nickel.-The Netherlands. 1994. #267. p. 3-22.
8. Piekarczyk J., Lis J., Bialoskorski J.- Elastic Properties, Hardness and Indentation Fracture Toughness of beta-Sialons/ Key Engineering Materials.- 1990. V. 89-91, p. 542-546.
9. Trigg M. B., Jack K.H. SiALON Ceramics// J. Mat. Sci.- v.23. 1988. p. 481-487.
10. Jiang X., Baek Y. K., Lee S. M., Kang S.J.L. //Formation of an a – SiALON Layer on β – SiALON and its effect on Mechanical properties., J.Am. Ceram. Soc., 1998, v.81, № 7, p. 1907 – 1912.
11. Zhen-Kun H.// Formation of N-phase and phase relations in MgO-Si<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system. J. Am. Ceram. Soc., v.77, p. 3251, 1994.
12. Лавриенко В.А и др. Высокотемпературное окисление порошков β-сialона в потоке воздуха // Огнеупоры и техническая керамика. 2005, №2, с.8-11.
13. Phelps F. E./Process for producing silicon aluminum oxynitride by carbothermic reaction/USA Pat. No. 4977113, C01B 033/26-№351660;/ Заявл.15.05.89. Оpubл. 11.12.90.
14. Gauckler L.J., Beshovic S., Petrow G.- In books: Nitrogen Ceram. Proc.Nato Ady. Study Inst. Canderbury, 1976. Noordhoff-Leyden, 1977, p. 405-414.
15. Yeh C. L., Sheng K. C., Effect of α-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and AlN additional on formation of α-SiAlON by combustion synthesis / // Ibid. – 2011. – Vol. 509, iss. 2. – P. 529-534.
16. Cutler I. B.(USA)/ Process for producing a solid solution of aluminium oxide in silicon nitride/Pat.3960581 USA, C04D 035/58- №465222; Заявл.29.04.74; Оpubл.01.06.76; p. 16
17. Cho Y. W., Carles J.A., Synthesis of nitrogen ceramic powders by carbothermal reduction and nitridation. Part 2 Silicon aluminium oxynitride (sialon)/Mater. Sci.,1991. V.7 p.399.
18. Гавриш А. М., Пучков А.Б., Боярина и др., Образование β-сialона в системе Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-AlN,Огнеупоры, 1988, №8, с. 28-29.
19. Гузман И.Я., Тумакова Е.И., Федотов А.В. Сопоставительное исследование некоторых свойств материалов на основе композиций SiC+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> и SiC – Si<sub>2</sub>N<sub>2</sub>, М.,Огнеупоры, 1970, №3, с. 44-48.
20. Ogbuji L.U.J.T.- Role of Si<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O in the Passive-Oxidation of Chemically-Vapor-Deposited Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>,- J. Am. Ceram. Soc.-1992, v.75-№11. P. 2995-3000.
21. Washburn M.E., Love R.W. A Silicon Carbide Refractory with a Complex Nitride Bond Containing Silicon Oxynitride// Am. Ceram. Soc. Bull. – V.41. – 1962.- #7. – p. 447-449.
22. Ковзиридзе З.Д. Разработка научных основ и технологии получения цельсияновой и алюмосиликатной керамики с использованием барита и перлита. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Тбилиси 1993, Стр. 41-50.
23. Z. kovziridze, N. Nizharadze, G. Tabatadze, T. Cheishvili, Z. Mestvirishvili, E. Nikoleishvili, M. Mshvildadze, N.Darakhvelidze Obtaining of Nanocomposites in SiC-SiALON and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiALON System by Alumothermal Processes. Journal of Electronics Cooling and Thermal Control. 2014. 4. Pp.2-13
24. B. Eftekhari Yekta1, Z. Hamnabard2 Investigation of the Mechanical Properties and Machinability of Fluorophlogopite-Gehlenite Glass-ceramics. Journal of Ceramic Science and Technology. Vol.4 No. 4 2013. pp. 193-196. Baden-Baden. Germany. www.ceramic-science.com
25. Anstis, G.R., Chantikul, P., Lawn, B.R., Marschall, D.B. A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness I, direct crack measurements. J.Am. Ceram.Soc. 1981.Vol. 64,No.9, p. 533.
26. Griffith A.A. Phil. Trans. Roy. Soc. London A221 1920.
27. ზ. კოვზირიძე, ნ. ნიჟარაძე, თ. ჭეიშვილი, გ. ტაბატაძე, მ. მშვილდაძე, ზ. მესტვირიშვილი, ე. ნიკოლეიშვილი. ნიტროალუმინოერმული პროცესებით სიალონების მიღება, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი“ კერამიკა”, №2, (32), 2014, გვ. 23-31.

UDC 666.762.93

## OBTAINING OF COMPOSITE VIA METAL-THERMAL AND NITROGEN PROCESSES IN THE SiC-Si-AL-GEOPOLYMER SYSTEM

Z. Kovziridze, N. Nijaradze, G. Tabatadze, T. Cheishvili, M. Mshvildadze, N. Daraxvelidze, Z. MestviriSvili

**Resume: Goal.** obtaining of composite in the SiC-SiALON system with the metal-thermal method in the nitrogen medium.

**Method.** SiALON-s are solid metal oxide solutions in nitrides. Area of their presence is considered in four-component system -  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -ALN- $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ . In the present paper SiALON-containing composite was obtained through alum-thermal process in the nitrogen medium on the base of Geopolymer (kaolin and poly clay – Ukraine), SiC, aluminum nano-powder and Si powder with small additives of perlit (Aragatz, Armenia) by the reactive baking method. The advantage of this method is that compounds, which are newly formed thanks to interaction going on at thermal treatment:  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , Si, AlN are active, which contributes to SiALON formation at relatively low temperature, at 1250-1300<sup>0</sup>C. It is evident that inculcation of ALN in crystal skeleton of  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  is easier since at this temperature interval crystal skeleton of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  is still in the process of formation.

**Results.**  $\beta$ -SiALON was formed at the sintering of SiC-aluminium and silicium powder, geopolymer at 1450<sup>0</sup>C. Porosity of carbide SiALON composite obtained by reactive sintering, according to water absorption, equals to 13-15%. The samples were fragmented in a jaw-crusher and were powdered in attrition mill till micro-powder dispersion was obtained. Then samples were hot-pressed at 1620<sup>0</sup>C under 30 MPa pressure. Hold-time at the final temperature was 8 min. Sample water absorption, according to porosity, was less than 0.5%. Further studies were continued on these samples. It should also be stated that strength and wear resistance of SiALONs increase in their presence in silicium carbamide containing composites.

**Conclusion.** the paper offers processes of formation of SiC-SiALON composites and their physical and technical properties. Phase composition of the composites was studied by X-ray diffraction method, while the structure was studied by the use of optic and electron microscope. Obtained materials are used in protecting jackets of thermo couples used for melted metal temperature measuring (18-20 measuring) and for constructions used for placing objects in factory furnaces.

**Key words:** alum-thermal process; nitrogen medium; SiALON; SiC; composite.

---



შპს 669.168

**სილიკომანგანუმის გამოდნობის პროცესში ღუმლების მუშაობის ეფექტიანობის შეფასება**

**ზ. სიმონგულაშვილი, გ. ქურდაძე, მ. მიქელაძე**

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

E-mail: Z.Simongulashvili@gmail.com

**რეზიუმე:** მიზანია სილიკომანგანუმის მიღების პროცესში, საკაზმე ნედლეულის ტექნოლოგიური გადამუშავების სტადიაზე მანგანუმის დანაკარგების და ღუმლების მუშაობის ეფექტიანობის განსასაზღვრად შემუშავდა მანგანუმის ბალანსზე დამყარებული მეთოდიკა. სამუშაოს მიზანია თეორიულ და ექსპერიმენტულ კვლევებზე დაყრდნობით შემუშავდეს გამოყენებული ნედლეულის ხარისხის და ლითონში მანგანუმის შემცველობასთან დამოკიდებულებით მანგანუმის ლითონში ამოკრევის საანგარიშო ფორმულა.

**მეთოდი:** სილიკომანგანუმის დნობების მატერიალური ბალანსების გაანალიზებას ვახდენდით მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდით.

**შედეგები:** მიღებული მათემატიკური გამოსახულებების საფუძველზე შესაბამისი გამოთვლებით, შეგვიძლია რაოდენობრივად შევაფასოთ მანგანუმის ლითონში ამოკრევა, ნედლეულის ხარისხზე, ლითონსა და წიდაში მანგანუმის მასურ წილზე დამოკიდებულებით. სილიკომანგანუმის გამოდნობის დროს მანგანუმშემცველ ნედლეულში მანგანუმის 1%-ით შემცირება (42-30% Mn ფარგლებში), იწვევს მანგანუმის ამოკრევის 0,59-1,3%-ით შემცირებას.

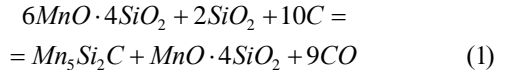
**დასკვნა:** შემუშავებულ იქნა სილიკომანგანუმის გამოდნობის ეფექტიანობის გამოსაანგარიშებელი მეთოდიკა, რომელიც გამოიყენება მადანადმდგენი ელექტროლუმების მუშაობის გასაანალიზებლად, ტექნოლოგიური პროცესების მართვის და წარმოების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების პროგნოზირებისათვის.

**საკვანძო სიტყვები:** სილიკომანგანუმი; მანგანუმის მადანი; ლითონი წიდა; ამოკრევა; მანგანუმი; სილიციუმი.

**1. შესავალი**

ცნობილია, რომ ფეროშენადნობების გამოდნობის ტექნოლოგიის ძირითად ხარისხობრივ მაჩვენებლებს წარმოადგენს წამყვანი ელემენტის შენადნობში ამოკრევის სიდიდე ( $\eta$ ) და მისი ოქსიდის შემცველობა საბოლოო წიდაში. მანგანუმის ფეროშენადნობები იწარმოება უწყვეტი ნახშირბადოტერმული პროცესით, რომელიც ემყარება მანგანუმშემცველი ნედლეულის ოქსი-

დების კოქსის ნახშირბადით აღდგენას რეაქციებით (1), რომლის დროსაც:



პროცესის ეფექტიანობა განისაზღვრება მანგანუმის ამოკრევით ( $\eta_{Mn}$ ). იგი თავის მხრივ, გამოითვლება მანგანუმის ნედლეულის მიერ შეტანილი მანგანუმის ლითონში გადასვლის ხარისხით:

$$\eta_{Mn} = \frac{Q_{ლით.}[Mn]}{Q_{Mnგდლ.} \langle MnO \rangle \cdot 0,7746} \quad (2)$$

სადაც  $\langle MnO \rangle$ ,  $(MnO)$ ,  $[Mn]$  - შესაბამისად არის მანგანუმის ოქსიდების მასური წილი მანგანუმშემცველ ნედლეულში, წიდაში და მანგანუმის შემცველობა ლითონში;  $Q_{Mnგდლ.}$  - არის გადასამუშავებლად მიწოდებული მანგანუმშემცველი ნედლეულის მასა; 0,7746 - მანგანუმზე გადასათვლელი კოეფიციენტი.

ელექტროდნობის რეალურ პირობებში მანგანუმის ამოკრევის სიღრმე დამოკიდებულია ღუმლის აბაზანაში არსებულ თერმოდინამიკურ პირობებზე, რომელიც პირველ რიგში, განისაზღვრება პროცესის ტემპერატურით და კაზმში აღმდგენლის რაოდენობით, რომელიც ჩვეულებრივად გამოისახება როგორც ფარდობა კოქსში არსებული მყარი ნახშირბადისა კაზმში მანგანუმის შემცველობასთან -  $C_{\text{ყ}}/Mn$ . მოცემულ ფაქტორებზე დიდ გავლენას ახდენს გამოყენებული მანგანუმშემცველი ნედლეული, პირველ რიგში, მასში მანგანუმის შემცველობა, აგრეთვე სილიციუმის ოქსიდის და ფუძე ოქსიდების თანაფარდობა, რაც აუცილებელს ხდის კაზმში სხვადასხვა ფლუსის წარმომქმნელი მასალების დამატებას. განხილული ფაქტორები ახასიათებენ ტექნოლოგიის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს, რომლებიც საბოლოო ჯამში დნობის პროდუქტებს შორის მანგანუმის განაწილებას განსაზღვრავენ [1, 2].

**2. ძირითადი ნაწილი**

ღუმლების მუშაობის ეფექტიანობის და ტექნოლოგიური გადამუშავების სტადიაზე მანგანუმის დანაკარგების განსასაზღვრად შემუშავდა მეთოდიკა, რომელიც დამყარებულია მანგანუმის

ბალანსზე. როგორც დახურულ და ჰერმეტიკულ ლუმბებში სილიკომანგანუმის გამოდნობის მატერიალური ბალანსების გამოთვლები გვიჩვენებენ, მანგანუმის დანაკარგები აორთქლებაზე არ აღემატება 0,5-1,0% [2, 3], ამიტომ ჩვენ დასაშვებად ჩავთვალეთ, რომ პრაქტიკულად გამოდნობის პროცესში მონაწილე მთელი მანგანუმი ნაწილდება ლითონსა და წიდას შორის, ანუ:

$$[\eta_{Mn}] + (\eta_{Mn}) = 1. \quad (3)$$

გამოთვლების პროცესში ვუშვებთ, რომ ნედლეულში და წიდაში მანგანუმის შემცველობა გადათვლილია მანგანუმზე, ხოლო მანგანუმის მასების ჯამი ლითონში და წიდაში, ტოლია მიწოდებული ერთეული მანგანუმიანი ნედლეულის მასისა. მაშინ მანგანუმიანი ნედლეულიდან ლითონის და წიდას გამოსავალი იქნება:

$$\frac{\langle Mn \rangle [\eta_{Mn}]}{[Mn]} + \frac{\langle Mn \rangle (1 - [\eta_{Mn}])}{(Mn)} = 1, \quad (4)$$

ხოლო მანგანუმიანი ნედლეულის ხარჯი ( $\varphi$ ) ყოველ ერთეულ ლითონზე იქნება:

$$\frac{[Mn]}{\langle Mn \rangle} + \frac{K (Mn)}{\langle Mn \rangle} = \varphi, \quad (5)$$

სადაც  $K$  – წიდას ჯერადობაა.

(4) და (5) ტოლობებიდან სირთულეს არ წარმოადგენს განსაზღვრით თანაფარდობა მანგანუმის ტექნოლოგიური ამოკრევის განსაზღვრისათვის ჩამოსხმის პროცესში დანაკარგების გაუთვალისწინებლად:

$$\eta_{Mn} = \frac{1 - (Mn) \langle Mn \rangle}{1 - (Mn) [Mn]}. \quad (6)$$

მანგანუმის მიღებული თანაფარდობა ლითონში, წიდასა და ნედლეულში საშუალებას გვაძლევს რაოდენობრივად შევაფასოთ მანგანუმის ლითონში ამოკრევა, ნედლეულის ხარისხზე, ლითონსა და წიდაში მანგანუმის მასურ წილზე დამოკიდებულებით. სილიკომანგანუმის მიღების პროცესის ძირითადი მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1

სილიკომანგანუმის დნობის პროცესის ძირითადი მაჩვენებლები

შენიშვნა	მაჩვენებლები	$[Mn]$ , %	$\eta_{Mn}$ , %	$\eta_{Si}$ , %	$K$	$C_{\text{ჟ}} / Mn$	$SiO_2 / Mn$	$\langle Mn \rangle$ , %	$(Mn)$ , %
სილიკომანგანუმი (0,35-0,5% P)		68-74	79-84	33-42	1,1-1,5	0,36-0,41	1,01-1,05	38-41	11-14

მანგანუმიანი ფეროშენადნობების, კერძოდ სილიკომანგანუმის, გამოდნობის ტექნოლოგიის ანალიზი (6) გამოსახულების გათვალისწინებით, გვიჩვენებს, რომ შენადნობში მანგანუმის შემცველობის 1%-ით (სხვა ელემენტების მასური წილის გაზრდის ხარჯზე, მაგალითად რკინის ან სილიციუმის) შემცირება იწვევს მისი ამოკრევის გაზრდას საშუალოდ 0,30-0,35%-ით, რაც ეთანადება [4, 5] მონაცემებს. მანგანუმის ამოკრევაზე, სხვა ფაქტორებთან შედარებით, ყველაზე დიდ გავლენას ახდენს მისი შემცველობა მანგანუმიან ნედლეულში. სილიკომანგანუმის გამოდნობის დროს ნედლეულში მანგანუმის წილის 1%-ის (42–30%  $\langle Mn \rangle$ ) შემცირება იწვევს მანგანუმის ამოკრევის შემცირებას 0,59-1,3%-ით, რაც კარგად ეთანადება [5] სამუშაოში მოყვანილ მონაცემებს, რომელშიც დიდი რაოდენობის სამრეწველო მონაცემების დამუშავებით მიღებულია აღნიშნული სიდიდის მნიშვნელობა 0,75-1,75%-ის ფარგლებში. გამოთვლების შედეგები (6) გამოსახულების დახმარებით, ნომოგრამების სახით მოყვანილია ნახაზზე 1, სადაც წიდაში მანგანუმის მასური წილი 9-14%-ის ფარგლებში მერყეობს. ლითონში მანგანუმის შემცველობის ცვლილება,

ბუნებრივია, გამოიწვევს მრუდების დახრის შეცვლას, ანუ ნახაზზე მოყვანილი მონაცემები სამართლიანია მხოლოდ ლითონში მანგანუმის შემცველობის მოცემული მნიშვნელობისათვის, რადგანაც გამოთვლების პროცესში ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ვდებულობთ მის ერთადერთ მნიშვნელობას.

ტექნოლოგიური პროცესის ეფექტიანობა განპირობებულია არა მარტო მანგანუმის ამოკრევით, რომელიც განისაზღვრება (6) გამოსახულებით, არამედ ელემენტის დანაკარგებით გამოშვებიდან საწყობამდე განვლილ გზაზე. ეს დანაკარგებია ციცხვებში ქერქული ნარჩენები, საჩამოსხმო მანქანებზე გაშხეფება და სხვ. დანაკარგების რაოდენობრივად განსაზღვრა შესაძლებელია წიდას ჯერადობის ( $K$ ) საშუალებით, რომელიც გამოითვლება წიდას და ლითონის მასათა შეფარდებით. ტექნოლოგიური ჯერადობის, რომელიც (6) გამოსახულებით შეესაბამება ელემენტის ამოკრევას და (4)–(5) თანაფარდობის გამოყენებით, მივიღებთ:

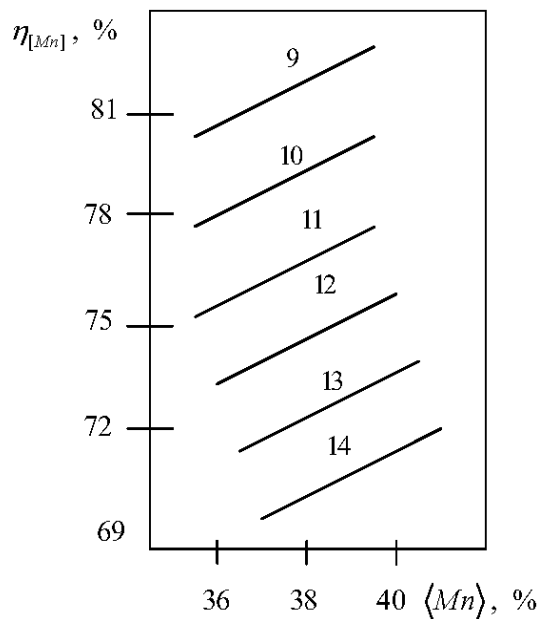
$$K = \frac{[Mn] - \langle Mn \rangle}{\langle Mn \rangle - (Mn)}. \quad (7)$$

მოცემული თანაფარდობიდან, წილის ჯერადობის განსასაზღვრად, შესაძლებელია აგრეთვე მივიღოთ შემდეგი კერძო გამოსახულებები:

$$K = \frac{(1-\eta_{Mn})[Mn]}{\eta_{Mn}\langle Mn \rangle} \text{ და } K = \frac{[Mn]}{\eta_{Mn}\langle Mn \rangle} - 1. \quad (8)$$

გამოსახულებების (7) და (8) ანალიზი გვიჩვენებს, რომ წილის ჯერადობა მცირდება მაშინ, როდესაც მცირდება შენადნობში მანგანუმის მასური წილი და იზრდება მანგანუმის ამოკრეფა. შესაბამისად, სილიკომანგანუმში მანგანუმის შემცველობის შემცირება ბაზურ-დასაშვებ რაოდენობამდე, იწვევს არა მარტო მანგანუმის ამოკ-

რეფის გაზრდას, არამედ საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ მანგანუმის დანაკარგები საბოლოო წილებში. გარდა ამისა, ლითონის და წილის გამოსავალი განისაზღვრება საწყისი მანგანუმიანი ნედლეულის ხარისხით (მასში მანგანუმის შემცველობით) და იქედან მანგანუმის ამოკრეფის სიღრმით. ნედლეულში მანგანუმის შემცველობის გაზრდით წილის ჯერადობა მცირდება. ამრიგად, წილის ჯერადობა წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესის ეფექტიანობის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს.



ნახ. 1. მანგანუმის შემცველ ნედლეულსა და საბოლოო წილებში მანგანუმის ტექნოლოგიური ამოკრეფის დამოკიდებულება მანგანუმის რაოდენობასთან ფეროსილიკომანგანუმში -  $\Phi CMn(0,35-0,5\%P)$ ,  $[Mn] = 74\%$

$\langle Mn \rangle$  - მანგანუმის შემცველობა ნედლეულში;  
(9,10.....14) მანგანუმის შემცველობა წილაში

თავის მხრივ, შენადნობში მანგანუმის შემცველობა, ლითონში გადასული მანგანუმის ფარდობის ტოლია მის სრულ რაოდენობასთან და გამოსახება:

$$[Mn] = \frac{\langle Mn \rangle \eta}{1 - [(1-\eta)\langle Mn \rangle / (Mn)]}. \quad (9)$$

მოცემული თანაფარდობა სამართლიანია  $\langle MnO \rangle$ ,  $(MnO)$  და  $\eta$  ერთადერთი მნიშვნელობისათვის და წილის ფაქტობრივი ჯერადობისთვის  $K$ , რომელიც გვიჩვენებს თუ რამდენჯერ მეტი ან ნაკლები უნდა იყოს წილის მასა ლითონის მასაზე. იგი ტოლია:

$$K[Mn]_{\text{გაქ.}} = [Mn]_{(9)} \text{ ან } K[Mn]_{(9)} = [Mn]_{\text{გაქ.}}$$

სადაც  $[Mn]_{\text{გაქ.}}$ ,  $[Mn]_{(9)}$  - მანგანუმის ფაქტობრივი რაოდენობა შენადნობში და (9) გამოსახულებით მიღებული გამოთვლების შემთხვევაში.

მანგანუმის ამოკრეფის ფაქტობრივი რაოდენობის საპოვნელად აუცილებელია (8)-(9) განტოლებათა სისტემის ამოხსნა  $\langle MnO \rangle$ ,  $(MnO)$ ,  $[Mn]$  ცნობილი მნიშვნელობისათვის და წილის ფაქტობრივი ჯერადობის შემთხვევაში. გამოთვლები მიმდინარეობს მანგანუმის ამოკრეფის ისეთი მნიშვნელობის დასადგენად, რომლისთვისაც სამართლიანია მოცემული თანაფარდობები. ამრიგად, ჩვენ მივიღებთ მანგანუმის ლითონში ამოკრეფის ფაქტობრივ მნიშვნელობას წილის

ჯერადობის, გამოყენებული მანგანუმშემცველი ნედლეულის ხარისხის და წიდაში მანგანუმის მასური წილის რაოდენობის საფუძველზე.

მანგანუმის ამოკრევის სიდიდის  $\eta_1$  (6) გამოსახულებით და  $\eta_2$  (8) და (9) თანაფარდობებით, შესაძლებელია განისაზღვროს მანგანუმის დანაკარგები:

$$\Pi = (\eta_1 - \eta_2) \cdot 100\% , \quad (10)$$

სადაც  $\eta_1$  – არის მანგანუმის ტექნოლოგიური ამოკრევა, რომელიც მიღწეულია უშაულოდ ღუმელზე და განსაზღვრავს ლითონის ქიმიურ შედგენილობას;  $\eta_2$  – არის ე.წ. მანგანუმის კომერციული ამოკრევა, რომელიც ითვალისწინებს მანგანუმის დანაკარგებს მისი ღუმლიდან გამოშვებიდან მზა პროდუქციის მიღებამდე (რეალიზაციამდე). აქ გათვალისწინებული არაა სხმულის ფრაქციონირების დროს მიღებული დანაკარგები.

ტექნოლოგიის ეფექტიანობის კოეფიციენტი კი იქნება:

$$\mathcal{O} = \eta_1 / \eta_2 .$$

აუცილებელია შემდეგი შენიშვნის გათვალისწინება. ზემოთ მოყვანილი ყველა გამოთვლა ჩატარებულია ლითონის ერთეულ რაოდენობაზე. მანგანუმის შემცველობაში იგულისხმება მისი მასური წილი პირველად წიდურ ნაღვლებში, საიდანაც მიმდინარეობს ალდგენის პროცესი. მაგალითად, მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის უფლუსო გამოდნობის შემთხვევაში, კაზში შედგება მხოლოდ მანგანუმიანი ნედლეულით (მადნების ნარევი) და კოქსწვრილათი, ამიტომ გამოთვლების დროს მხედველობაში მიიღება ნედლეულში მანგანუმის ფაქტობრივი შემცველობა. ფერომანგანუმის ფლუსიანი მეთოდით მიღების შემთხვევაში კაზმს დამატებით მიეწოდება კირქვა (სილიციუმის ალდგენის ხარისხის დასათრგუნად და შესაჩერებლად), რასაც მიყვავართ მანგანუმის მასური წილის შემცირებამდე პირველად წიდურ ნაღვლებში, საიდანაც ხდება ელემენტების ალდგენა. ასე მაგალითად: მაღალნახშირბადიანი ფერომანგანუმის ფლუსიანი მეთოდით დნობის დროს კირქვის ხარჯი ერთ ტონა წიდის 0,9-1,1 ფუძიანობის შემთხვევაში ნედლეულზე შეადგენს 340-370 კილოგრამს, ამიტომ (6), (7) და (8) გამოსახულებებში  $\langle MnO \rangle$  მნიშვნელობა უნდა შეიცვალოს 1,15-1,17-ით. შესაბამისად, გამოთვლების დროს ნედლეულში მანგანუმის შემცველობა უნდა შეიცირდეს 15-17%-ით მის ფაქტობრივ სიდიდესთან

შედარებით. ფეროსილიკომანგანუმის გამოდნობის დროს კაზში დამატებით შეყავთ კვარციტი, საიდანაც წიდაში გადადის მის მიერ შეყვანილი  $SiO_2$ -ის 10% [6-8]. ამიტომაც მოცემულ შემთხვევაში, როგორც გამოთვლები და საბაღანსო დნობების შედეგები გვიჩვენებს, მანგანუმის მასური წილის შემცირების კოეფიციენტი ნედლეულში ტოლი იქნება 1,01.

### 3. დასკვნა

შემუშავებულ იქნა სილიკომანგანუმის გამოდნობის ეფექტიანობის გამოსაანგარიშებელი მეთოდიკა, რომელიც გამოიყენება მაღალმდგენი ელექტროლუმლების მუშაობის გასაანალიზებლად, ტექნოლოგიური პროცესების მართვისათვის და წარმოების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების პროგნოზირებისათვის. ამ მეთოდის დახმარებით შესაძლებელია აგრეთვე სხვა ელემენტების ამოკრევის გამოანგარიშება ფეროშენადნობების ნახშირბადოერმული მეთოდით მიღების პირობებში.

### ლიტერატურა

1. Коволь А.В., Гасик М.И., Люборец И.И. и др. Сравнительная оценка качества сырья для выплавки марганцевых сплавов // Сталь, 1997, №1, с. 27-30.
2. Гасик М.И. Марганец - М.: Metallurgy, 1992. – 608 с.
3. Толстогузов Н.В. Теоретические основы восстановления марганца, кремня и примесей при плавке ферромарганца и силикомарганца. Учеб. пособие. – Новокузнецк: СибМИ, 1991, - 128с.
4. Гасик М.И. Ишутин В.М., Шевченко В.А. и др. Повышение извлечения марганца при выплавке металлического марганца, модифицированного железом // Сталь, 1985, №6, с. 38-41.
5. Гасик М.И. Электротермия марганца. – Киев: Техника, 1979, - 196с.
6. Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И. Metallurgy марганца Украины. - Киев: Техника, 1996, - 472с.
7. Гасик М.И., Хитрик С.И., Горбачев Р.Ф. и др. Повышение качества марганцевых концентратов и ферросплавов. – Днепропетровск: Проминь, 1972, - 109с.
8. Куцин В.С., Кучер И.Г., Ольшанский В.И. и др. // Сталь, 2006, №6, с. 74-77.

UDC 669.168

## DEFINITION OF EFFICIENCY OF OVENS WORK DURING MELTING PROCESS OF SILICON MANGANESE

Z. Simongulashvili, G. Kurdadze, M. Mikeladze

**Resume: goal.** Worked out method to define loss of manganese and efficiency of ovens work in the process of manganese production, while recycling of raw material components, which is based on balance of manganese.

The aim of the work is to work out calculation formula for picking up manganese in metal due to theoretical and experimental researches, in accordance of quality of used raw materials and content in the metal.

**Methods.** We analyze the material balance of silicon manganese melting by Mathematical statistics.

**Results.** Due to the obtained mathematical computation, in accordance of appropriate calculation, we can evaluate the quantity of manganese in metal, depending on raw materials, depending on the massive share of manganese in metal and slag. 1 % of Manganese reduced in manganese containing raw materials during silicon manganese melting. (within 42-30%) It will reduce pick up of manganese by 0,59 - 1,3%.

**Conclusion.** Calculation method of silicomanganese melting efficiency has been elaborated, which is used to analyze working process of ore restoring electric ovens, for management of technological processes, to predict technology and economic indicators of production.

**Key words:** Silicon manganese, Manganese ore, Metal slag, Pick up, Manganese, Silicium.

---

შპს 543.42

## პიროგალოლის აზოწარმოებულთან Fe(III)-ის კომპლექსნაერთების სინთეზი და კვლევა

ი. უგრეხელიძე<sup>1</sup>, მ. ცინცაძე<sup>1</sup>, ა. მაგერაშვილი<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 69

<sup>2</sup> ბაქოს სახელმწიფო უნივერსიტეტი, აზერბაიჯანი, 1148, ბაქო, ზ. ხალილოვის ქ. 23

E-mail: [m.tsintsadze@gtu.ge](mailto:m.tsintsadze@gtu.ge)

**რეზიუმე:** სპექტროფოტომეტრული მეთოდით შესწავლილ იქნა რკინის (III) კომპლექსწარმოქმნა აზონაერთებთან, რომელიც სინთეზირებულია პიროგალოლის და 2-ოქსი-5-ნიტროამინის საფუძველზე. **მიზანი.** სამუშაოს მიზანია ბინალურ და შერეულიგანდიან კომპლექსწარმოქმნაზე მესამე კომპონენტის გავლენა. კომპლექსების სპექტროფოტომეტრული მახასიათებლების დადგენა და სხვადასხვა მეთოდებით მათი შემადგენლობის განსაზღვრა. ასევე, გარე იონებისა და შემნიღბავი ნივთიერებების გავლენა კომპლექსწარმოქმნაზე. **მეთოდები.** სინთეზირებული რეაგენტის შედგენილობა და აღნაგობა დადგენილია ანალიზის სხვადასხვა ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით. ხსნარების pH-ს ვაკონტროლებდით მინის ელექტროდიანი იონომეტრის საშუალებით. ოპტიკურ სიმკვრივეს ვზომავდით სპექტროფოტომეტრზე 1 სმ ფენის სისქის კიუვეტში. **შედეგი.** სინთეზირებული რეაგენტი რკინა (III)-თან წარმოქმნის შეფერილ კომპლექსს. კომპლექსწარმოქმნის დამოკიდებულების შესწავლამ გარემოს მუდმივობასთან აჩვენა, რომ ბინარული კომპლექსის მაქსიმალური გამოსავალი შეინიშნება, როცა pH=4;  $\lambda_{max}=405$  ნმ-ს შესაბამისად, ხოლო რეაგენტის მიერ მაქსიმალური სინათლის შთანთქმა აღინიშნება, როცა pH=4;  $\lambda_{max}=375$  ნმ. რკინის სრული შებმა კომპლექსში მიიღწევა რეაგენტის ორმაგი სიჭარბისას. კომპლექსწარმოქმნის რეაქციის წონასწორობა მყარდება მყისიერად, ხოლო ხსნართა ოპტიკური სიმკვრივე უცვლელია ერთი დღის განმავლობაში. **დასკვნა.** სპექტროფოტომეტრული მეთოდით შესწავლილია პიროგალოლის და 2-ოქსი-5-ნიტროამინის საფუძველზე სინთეზირებულ აზონაერთებთან რკინის (III) კომპლექსწარმოქმნა. ასევე მესამე კომპონენტის გავლენა ბინარული კომპლექსების კომპლექსწარმოქმნაზე. მონახულია კომპლექსების წარმოქმნის ოპტიმალური პირობები. შესწავლილია გარე იონების და შემნიღბავი ნივთიერებების გავლენა კომპლექსწარმოქმნაზე. დადგენილია ერთგვაროვან ნაერთებში მორეაგირე კომპონენტების თანაფარდობა და ბერის კანონზე დაქვემდებარების ინტერვალი.

**საკვანძო სიტყვები:** სპექტროფოტომეტრული მეთოდი; რკინა(III)-ის განსაზღვრა; მრავალ-

ლიგანდიანი კომპლექსები; მესამე კომპონენტის გავლენა; დიფენილგუანიდინი; ტრიფენილგუანიდინი; ფენანტროლინი.

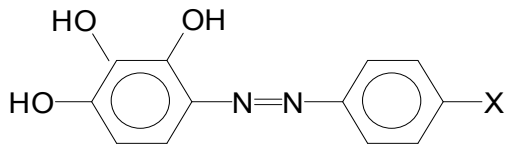
### 1. შესავალი

ბუნებრივ და სამრეწველო ობიექტებზე რკინა (III)-ის ფოტომეტრული განსაზღვრის მრავალი მეთოდი ცნობილი [1-3]. თუმცა ამ მეთოდების უმრავლესობა ანალიზურად მოუხერხებელია. ასევე ცნობილია, რომ OH<sup>-</sup> ჯგუფების და აზოტის დონორი ატომების შემცველი რეაგენტები ყველაზე ხელსაყრელად ითვლება რკინა (III)-ის განსაზღვრისთვის [4, 5]. ვინაიდან რკინის განსაზღვრის უფრო ზუსტი, მგრძობიარე და მაღალი შერჩევითობის მქონე ფოტომეტრული მეთოდების შემუშავება საკმაოდ აქტუალურია ანალიზურ ქიმიაში, ამიტომ Fe(III)-ის პიროგალოლის აზოწარმოებულთან კომპლექსწარმოქმნის შესწავლა პრაქტიკულ ინტერესს იწვევს. ლიტერატურული მონაცემებით დადგენილია, რომ პიროგალოლის აზოწარმოებულების გამოყენებისას არაორგანული იონების ფოტომეტრული განსაზღვრისას იზრდება არა მარტო მგრძობიარეობა, არამედ, ზოგ შემთხვევაში, განსაზღვრის არჩევითობაც. ცნობილია, რომ პიროგალოლის საფუძველზე აზონაერთები პერსპექტიულ რეაგენტებს წარმოადგენს მეტალების [1] ზოგიერთი იონების განსაზღვრისთვის. ეს განპირობებულია იმით, რომ პიროგალოლის სამი ჰიდროქსილის ჯგუფები კომპლექსების წარმოქმნის საშუალებას იძლევა აზოჯგუფის აზოტის ატომის უშუალო მონაწილეობით, რის შედეგადაც აღიძვრება ბმა მეტალი-აზოტი [2]. მოცემული კვლევა ეძღვნება Fe(III)-ის 2,3,4-ტრიოქსიაზობენზინთან (ტაბ), 2,3,4-ტრიოქსი-4-ფტორაზო-ბენზინთან (ტფაბ), 2,3,4-ტრიოქსი-4-ბრომაზო-ბენზინთან (ტბაბ), 2,3,4-ტრიოქსი-4-იოდოაზო-ბენზინთან (ტსიაბ)-თან ურთიერთქმედების სპექტროფოტომეტრულ შესწავლას დიფენილგუანიდინის (დფგ), ტრიფენილგუანიდინის (ტფგ) და ფენანტროლინის (ფენ) თანაობისას.

### 2. ძირითადი ნაწილი

ექსპერიმენტალური ნაწილი: ხსნარები და რეაგენტები. რეაგენტი სინთეზირებულია მეთოდ-

დიკით [2], მისი შედგენილობა და აღნაგობა დადგენილია ანალიზის სხვადასხვა ფიზიკო-ქიმიური მეთოდებით.



X=-H, -F, -Cl, --Br, -J

რკინის საწყისი ხსნარი ( $1 \cdot 10^{-1} M$ ) მოვამზადეთ მეტალური რკინის (ყ.ძ.ა) ზუსტი წონაკის გახსნით კონც. HC-შიგაცხელებისას [7]. მუშა ხსნარები რკინის ნაკლები შემადგენლობით დამზადდა საწყისი ხსნარის განზავებით. აზონაერთების ( $R_1, R_2, R_3, R_4$ ).

$1 \cdot 10^{-3} M$  ხსნარები დავამზადეთ ეთანოლში გახსნით, ხოლო რეაგენტი ( $R_5$ ) – აცეტონში გახსნით. საჭირო მჟავიანობის შესაქმნელად გამოვიყენეთ ფიქსონალი HCl (pH 1-2) დაამიკურაცეტატური ხსნარები (pH 3-11). ხსნარების pH-ს ვაკონტროლებდით მინის ელექტროდიანი იონომეტრის – И-130 საშუალებით.

**ხელსაწყოები.** ხსნარების ოპტიკურ სიმკვრივეს ვზომავდით სპექტროფოტომეტრზე «Lambda-40» (ფირმა «PerkinElmer») კომპიუტერული უზრუნველყოფით და ფოტოელექტროკოლორიმეტრზე КФК-2 1 სმ ფენის სისქის კიუვეტში. ხსნარების pH-ს ვაკონტროლებდით pH-121 მარკის მინის ელექტროდიანი pH-მეტრით.

**შედგენები და მათი განსჯა:** სინთეზირებული

რეაგენტი რკინასთან წარმოქმნის შეფერილ კომპლექსს. კომპლექსწარმოქმნის დამოკიდებულების შესწავლამ გარემოს მჟავიანობასთან აჩვენა, რომ ბინარული კომპლექსის მაქსიმალური გამოსავალი შეინიშნება, როცა pH=4 ( $\lambda_{max}=405$  ნმ) შესაბამისად. ხოლო რეაგენტის მიერ მაქსიმალური სინათლის შთანთქმა აღინიშნა, როცა pH=4 ( $\lambda_{max}=375$  ნმ). რკინის სრული შემთხვევაში კომპლექსში მიიღწევა რეაგენტის ორმაგად ჭარბი აღებისას. კომპლექსწარმოქმნის რეაქციის წონასწორობა მყარდება მყისიერად, ხოლო ხსნართა ოპტიკური სიმკვრივე, უცვლელია ერთი დღის განმავლობაში.

დადგინდა, რომ მესამე კომპონენტების არსებობისას (ფენ, დფგ, ტფგ), წარმოიქმნება სხვადასხვა ლიგანდიანი კომპლექსები. მათი მიღებისას შეინიშნება ბინარული კომპლექსის გადანაცვლება სპექტრთან შედარებით, ხოლო კომპლექსწარმოქმნის ოპტიკური pH გადაინაცვლებს უფრო მჟავა გარემოსკენ pH=1 (ფენ), pH=2 (დფგ, ტფგ). კომპლექსების მიერ მაქსიმალური სინათლის შთანთქმა შეინიშნება 4136მ Fe(III) - R – დფგ-სთვის, 4116მ Fe-(III)-R-ტფგ-სთვის და 4176მ Fe(III)-R-ფენ-სთვის. Fe(III)-R ბინარული კომპლექსის გამოსავალი მაქსიმალურია, როცა რეაგენტის (R) კონცენტრაციაა  $8 \cdot 10^{-5} MR$ , ხოლო სხვადასხვა ლიგანდიანი კომპლექსებისთვის Fe(III)-R-დფგ  $8 \cdot 10^{-5} MR$  და  $4,8 \cdot 10^{-5} MR$ , Fe-(III)-R-ტფგ  $8 \cdot 10^{-5} MR$  და  $5,2 \cdot 10^{-5} MR$ ; Fe(III)-R-ფენ  $8 \cdot 10^{-5} MR$  და  $4 \cdot 10^{-5} MR$  შესაბამისად.

ცხრილი 1

**რკინა (III)-ის კომპლექსწარმოქმნის ძირითადი ფოტომეტრული მახასიათებლები მესამე კომპონენტების თანაობისას**

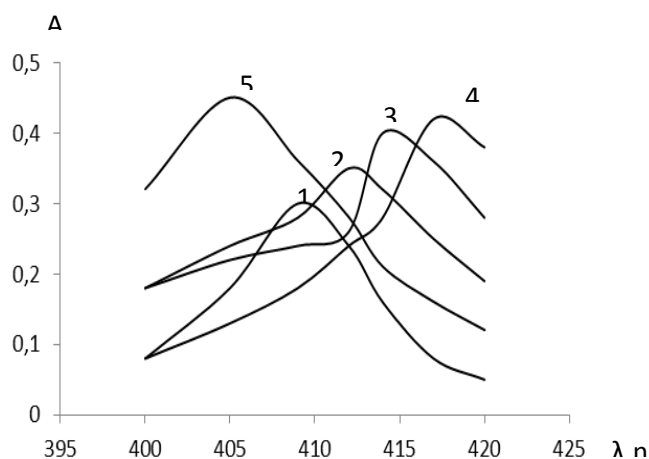
კომპლექსები	pH <sub>ობ</sub>	$\lambda_{ობ}$	$\Delta\lambda$	$\epsilon \cdot 10^{-3}$	ღებ	კომპონენტების თანაფარდობა	გრად. გრაფიკის სწორხაზოვანი ინტერვალის მკვ/მლ
Fe(III)-R	4	405	30	4,70±0,01		1:1	0,90-5,38
Fe(III)-R-დფგ	2	413	38	6,20±0,01		1:1:1	0,45-3,58
Fe-(III)-R-ტფგ	2	411	36	6,90±0,01		1:1:1	0,45-3,58
Fe(III)-R-ფენ	1	417	42	8,6±0,01		1:1:1	0,22-2,74

კომპონენტების ხსნარების შერევისას ყველა კომპლექსი წარმოიქმნება მყისიერად, მაგრამ ისინი განსხვავდებიან მდგრადობით. მაგალითად, თუ ბინარული კომპლექსი მდგრადია ერთი დღის განმავლობაში და გაცხელებისას  $60^{\circ}C$ -მდე, სხვადასხვა ლიგანდიანი კომპლექსები მდგრადია ერთ დღეზე უფრო ხანგრძლივად და  $80^{\circ}C$ -მდე გაცხელებისას.

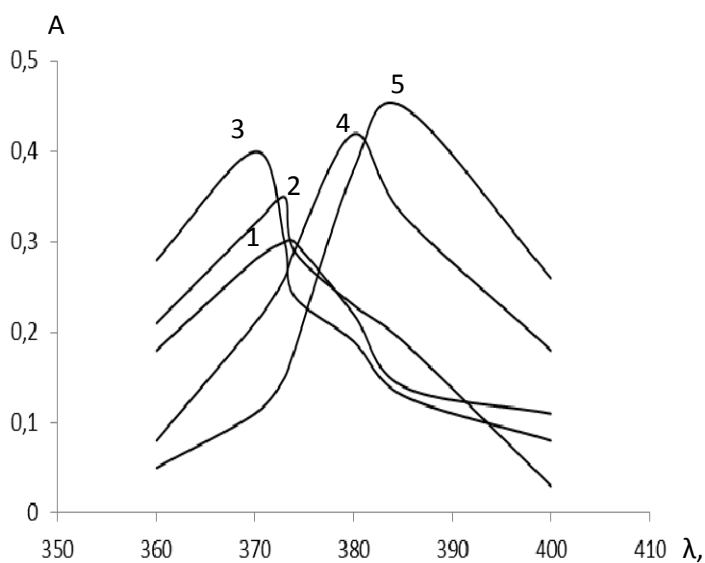
მიღებული კომპლექსების შემადგენლობაში შემაჯავლი კომპონენტების თანაფარდობა დადგე-

ნილია იზომოლარული სერიის, სტარიკ ბარბანელის მიახლოებითი გამოსავლიანობის და წონასწორობის გადანაცვლების მეთოდებით [5]. დადგენილი იქნა მიღებული შეფერილი ნაერთების შედგენილობა და ტოლია  $M_2$  [4]. კვლევის შედეგად აგებული იქნა დაგრადულირებული გრაფიკები და განსაზღვრული იქნა საკვლევი კონცენტრაციების დიაპაზონები.





ნახ.1. რკინა(III)-ის რეაგენტთან კომპლექსების შთანთქმის სპექტრები შესაბამისი სისტემების pH-ის ოპტიმალური მნიშვნელობისას. 1. Fe-R<sub>1</sub>, 2. Fe-R<sub>2</sub> 3. Fe-R<sub>3</sub>, 4. Fe-R<sub>4</sub>, 5. Fe-R<sub>5</sub>C=1·10<sup>-3</sup>M, C<sub>r,1;2;3;4;5</sub>=1·10<sup>-3</sup>M,



ნახ. 2. რეაგენტების ხსნარების შთანთქმის სპექტრები შესაბამისი სისტემების pH-ის ოპტიმალური მნიშვნელობისას. 1. R<sub>1</sub>, 2. R<sub>2</sub>, 3. R<sub>3</sub>, 4.-R<sub>4</sub>, 5. R<sub>5</sub>C=1·10<sup>-3</sup>M

### 3. დასკვნა

დადგენილია კონცენტრაციის ინტერვალი, სადაც დაცულია ბერის კანონი - 0,45-5,38 (FeR<sub>1</sub>), 0,45-3,58 (FeR<sub>2</sub>), 0,45-3,58 (FeR<sub>3</sub>), 0,22-2,74 (FeR<sub>4</sub>), 0,22-274 (FeR<sub>5</sub>), შესაბამისად.

ასტახოვის მეთოდით განესაზღვრეთ პროტონების რაოდენობა, რომელიც გამოიყო კომპლექს-წარმოქმნის შედეგად და დადასტურდა კომპლექ-

სებში კომპონენტების მითითებული თანაფარდობა.

კომპლექსების მდგრადობის მუდმივები იანგარიშება ცნობილი მეთოდით [4]. გაანგარიშებების მიხედვით lgK<sub>1</sub>=6,72±0,05 (FeR<sub>1</sub>), lgK<sub>1</sub>=6,63±0,06 (FeR<sub>2</sub>), lgK<sub>1</sub>=6,78±0,04 (FeR<sub>3</sub>), lgK<sub>1</sub>=6,88±0,06 (FeR<sub>4</sub>), lgK<sub>1</sub>=6,97±0,05 (FeR<sub>5</sub>).

რკინა(III)-ის სინთეზირებულ რეაგენტებთან რეაქციის  
პირითადი ფოტომეტრული მახასიათებლები

რეაგენტი	$\lambda_{\text{max}}$ , ნმ	$\lambda_R$ , ნმ	pH	Fe <sup>III</sup> R	$\epsilon \times 10^{-3}$	Ig $\beta$	ბერის კანონზე დაქვემდებარებული ინტერვალის მკვ/მლ
ტაბ(R <sub>1</sub> )	409	372	3	1:2	6,4±0,01	6,72±0,05	0,45-5,38
ტაბ(R <sub>2</sub> )	412	370	3	1:2	7,6±0,01	6,63±0,06	0,45-3,58
ტაბ(R <sub>3</sub> )	414	367	4	1:2	7,2±0,01	6,78±0,04	0,45-3,58
ტაბ(R <sub>4</sub> )	417	379	4	1:2	8,6±0,01	6,88±0,06	0,22-2,74
ტიაბ(R <sub>5</sub> )	405	384	5	1:2	10,4±0,01	6,97±0,05	0,22-274

შესწავლილ იქნა იონების და შენიღბული ნივთიერებების ზემოქმედება რკინა(III)-ის ჰალოგენოანაცვლებულ ანილინთან კომპლექსწარმოქმნაზე, რომელიც სინთეზირებულ იქნა პიროგალლის საფუძველზე.

#### ლიტერატურა

1. Нагиев Х.Дж. Закономерности образования и аналитическое применение разнолигандных комплексов азосоединений на основе пирогаллола и триарилметановых красителей с некоторыми металлами. Дис.док.хим.наук : Баку 2011, 440 с.
2. Гамбаров Д.Г. Синтез и свойства неорганических соединений М.: Баку, 1984. с. 138 .
3. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ.: Наука, 1964, с. 261.
4. Булатов М.И. Калинкин Н.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа Л.: Химия, 1986, с.432.
5. Бабаев А.К. Фотометрическое определение железа(III) и некоторых сопутствующих элементов – дикетонами и их азометиновыми производными Дис.канд.хим.наук Баку, 1982, с. 188.

UDC 543.42

## COMPLEXOFORMATION AND SPECTROPHOTOMETRIC STUDY OF FE (III) WITH PYROGALLOL AZODERIVATIVES

I. Ugrexelidze, M. Tsintsadze, A. Mageramov

**Resume:** Examined spectrophotometrically complexing iron (III) with an azo compound synthesized by pyrogallol and 2-hydroxy-5-amine derivatives. The effect of the third component in the complex formation of a binary complex. Studied spectrophotometric characteristics of the complexes, the compositions of the various methods defined. The effect of foreign ions and masking substances on the complexation.

**Objective.** The aim of the work is the influence of the third component on binary and mixed-ligand complex formation. Determination of spectrophotometric characteristics of complexes and definition of their composition with different methods. Also the effect of foreign ions and masking substances on complex formation.

**Methods.** The composition and structure of synthesized reagents are determined by different physical-chemical methods of analysis. pH of solution were controlled by means of glass electrode ionometer. Optical density was measured on spectrophotometer in 1 cm thickness cuvette. PH of solution were controlled by means of glass electrode ionometer.

**Result.** Synthesized reagent with Fe (III) produces colored complex. The study of dependence of complex formation on atmospheric acidity has shown that maximum outlet of binary complex is observed when pH=4, according to  $\lambda_{\text{max}}=405$  nm, and maximum absorption of light by reagent is observed when pH=4;  $\lambda_{\text{max}}=375$  nm. The complete merging of iron in complex is achieved in double excess of reagent. The balance of complex formation reaction is instantaneous, while the optical density of the solutions remain unchanged for one day.

**Conclusion.** Using spectrophotometric method, the complex formation of Fe (III) with synthesized azo compounds is studied, on the basis of pyrogallol and 2-hydroxy-5-amine derivatives. Also the effect of the third component on the complex formation of binary complexes. The optimal conditions of complex formation has been found. The effect of foreign ions and masking substances on complex formation has been studied. The correlation of the reconstituted components in the homogeneous compounds and the subordinating interval on the law of Beer are established.

**Key words:** determination of iron (III); complex formation; mixed-ligand; spectrophotometric method; ethylenediamine; diphenylguanidine ;triphenylguanidine.

**Cu(II)-ის კომპლექსწარმოქმნა 3 – 2[2ჰიდრო 3,5 დისულფოფენილაზო] 2 – 4β**

**პენტაჰიდრონთან მისამე კომპონენტის თანაობისას**

მ. ქოჩიაშვილი<sup>1</sup>, მ. ცინცაძე<sup>1</sup>, ფ. ჩირაგოვი<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 69

<sup>2</sup> ბაქოს სახელმწიფო უნივერსიტეტი, აზერბაიჯანი, 1148, ბაქო, ზ. ხალილოვის ქ. 23

E-mail: w.tsintsadze@gtu.ge

**რეზიუმე:** მიზანი. ამ სამუშაოს მიზანია სპექტროფოტომეტრული მეთოდით Cu(II)-ის განსაზღვრა კომპლექსნაერთებში 3 – 2[2ჰიდრო 3,5 დისულფოფენილაზო] 2–4β პენტაჰიდრონთან (R)-თან დიფენილგუანიდინის (დფგ), ტრიფენილგუანიდინის (ტფგ) და ეთილენდიამინის (ედ) თანაობისას. შემუშავებულ იქნას მთის ქანებში სპილენძის განსაზღვრა ფოტომეტრული მეთოდით.

**მეთოდი.** სინთეზური ნაერთის შედგენილობა და აგებულება დადგენილია სხვადასხვა ფიზიკურ-ქიმიური მეთოდებით, სისუფთავე დადგენილია ქაღალდის ქრომატოგრაფიული მეთოდით. pH-ის კონტროლს ვაწარმოებთ მინის ელექტროდებიანი H-130 იონომეტრის საშუალებით. ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივეს ვზომავდით სპექტროფოტომეტრის Lambda 40 და ფოტოკოლორიმეტრ KΦK-2 საშუალებით, 1 სმ სისქის კიუვეტებით.

**შედეგი.** რეაგენტი სინთეზირებულია ცნობილი მეთოდით და სპილენძის იონთან წარმოქმნის მყარ კომპლექსნაერთს. კომპლექსნაერთის წარმოქმნა დამოკიდებულია pH-ზე. მაქსიმალური შეჭიდებაა როდესაც pH=4; λ<sub>აქს.</sub>=454 ნმ და მაქსიმალური სინათლის შთანთქმა 309 ნმ-ის ტოლია.

**დასკვნა.** სხვადასხვალიგანდიანი კომპლექსები წარმოქმნება უფრო მჟავა გარემოში, ვიდრე ბინარული. კომპლექსწარმოქმნისას მატულობს მთლიანი შთანთქმის კოეფიციენტები და მცირდება სპილენძის აღმოჩენის ქვედა ზღვარი.

დადგინდა, რომ სხვადასხვა ლიგანდიანი კომპლექსების თანაფარდობაა Cu(II):R:T<sub>pH</sub>=1:2:1; ხოლო ბინალურ კომპლექსში – 1:2.

**საკვანძო სიტყვები:** სპილენძის განსაზღვრა; კომპლექსწარმოქმნა; სხვადასხვა ლიგანდიანი; სპექტროფოტომეტრული მეთოდი; ეთილენდიამინი; დიფენილგუანიდი; ტრიფენილგუანიდი.

**1. შესავალი**

როგორც ცნობილია [1-3], აცეტილაცეტონის და მისი C-ალკილ და აზომეთინის წარმოებულები ქმნიან მდგრად კომპლექსებს მეტალის იონებთან. ეს რეაგენტები გამოიყენება მეტალების აღმოსაჩენად [4].

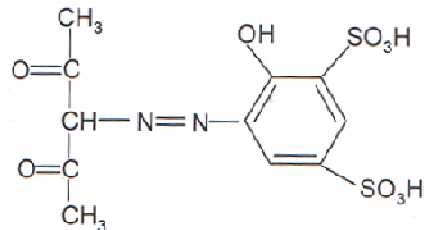
β დიკეტონები აზოწარმოებულები წარმოადგენენ უპირატეს რეაგენტს Cu(II)-ის აღმოსაჩენად [5-7]. [8]-დან ცნობილია, რომ აცეტილაცეტონის აზოწარმოებულების წყალხსნარი სამ ტაუტომეტრულ ფორმაშია. თითოეული ტაუტომეტრულ ფორმას ახასიათებს მაღალი რეაქციის უნარიანობა. აშკარაა, მეტალების იონების შეჭიდულობა სხვადასხვა (ლიგანდიანი) დონორულ ატომებთან (N, O). კომპლექსწარმოქმნა მიმდინარეობს ამა თუ იმ ტაუტომეტრულ ფორმებში, რის შედეგადაც რეაქცია ხასიათდება მაღალი შერჩევითობის უნარით. ამიტომ, ახალ β-დიკეტონების წარმოებულების სინთეზი, მათი კომპლექსწარმოქმნა მეტალებთან, ძლიერ აქტუალურია.

სამუშაოს მიზანია სპექტროფოტომეტრული მეთოდით Cu(II)-ის განსაზღვრა 3/2-ჰიდროქსი - 3,5 დისულფოფენილაზო (პენტაჰიდრო 2,4 დიფენილ გუანიდინის, (დფგ), ტრიფენილგუანიდინის (ტფგ) ეთილენდიამინის (ედ) თანაობისას.

**2. ძირითადი ნაწილი**

ექსპერიმენტალური ნაწილი:

რეაგენტი სინთეზირებულია ცნობილი მეთოდით [9], მისი შედგენილობა და აგებულება დადგენილია სხვადასხვა ფიზიკურ, ქიმიური მეთოდებით. სინთეზური ნაერთის სისუფთავე დადგენილია ქაღალდის ქრომატოგრაფიული მეთოდით. რეაგენტის სტრუქტურული ფორმულაა:



სპილენძის (II) ხსნარს (1×10<sup>-3</sup>M) ამზადებენ მეტალური სპილენძისაგან (99,9%) [10]. აუცილებელი პირობების შესაქმნელად, pH-ისთვის გამოყენებულია HCl-ის ფიქსანალი (pH 1-2) და ამინო აცეტატური ბუფერული ხსნარი (pH 3-11). pH-ის კონტროლს ვაწარმოებდით მინის ელექტროდებიანი H-130 იონომეტრის საშუალებით. ხსნარის ოპტიკურ სიმკვრივედ ვზომავდით სპექტროფო-

ტომეტრის Lambda 40 და ფოტოკოლორიმეტრ KΦK-2 საშუალებით, კიუვეტების 1 სმ სისქით.

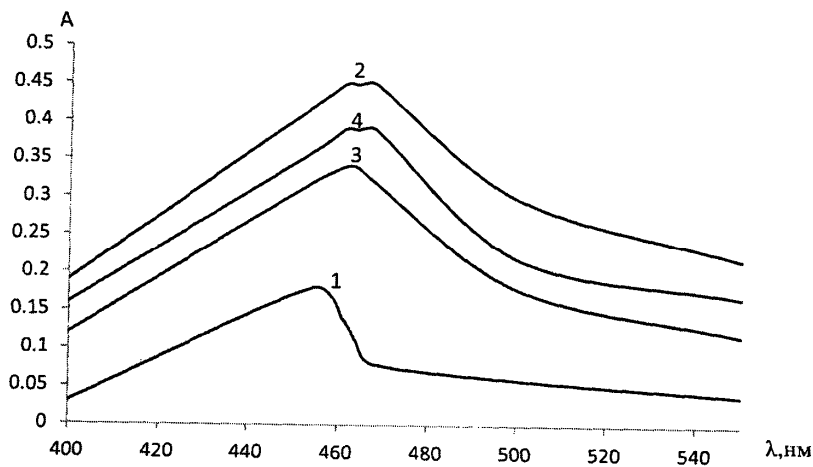
შედგები და მათი განსჯა:

დადგენილია, რომ რეაგენტი Cu(II) იონებთან წარმოქმნის შეფერილ კომპლექს ნაერთს. კომპლექსწარმოქმნა მაქსიმალურია, როცა pH=3 ( $\lambda_{max}=468$  ნმ). რეაგენტს მაქსიმალური შუქშთან-თქმა არის 309 ნმ-ზე.

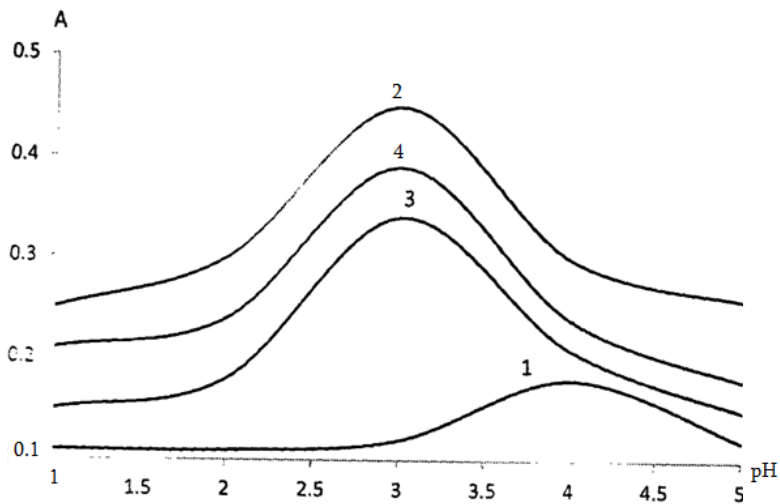
მე-3 კომპონენტის თანაობისას ედ, დფგ, ტფგ, ოპტიმალური pH კომპლექსწარმოქმნის დროს გადაინაცვლებს უფრო მუჟავა გარემოში pH=3 (CuR – ედ), (CuR – დფგ), (CuR – ტფგ). მაქსი-

მალური შუქშთანთქმა ტოლია, როცა  $\lambda=468$  ნმ (CuR – ედ),  $\lambda=461$  ნმ (CuR – დფგ) და  $\lambda=464$  ნმ (CuR – ტფგ). მე-3 კომპონენტის თანაობისას წარმოიქმნება სხვადასხვა ლიგანდიანი კომპლექსები. სპექტროფოტომეტრული კვლევის შედეგები მოცემულია 1 ცხრილში.

ცხრილიდან ჩანს, რომ სხვადასხვალიგანდიანი კომპლექსები წარმოიქმნება უფრო მუჟავა გარემოში, ვიდრე ბინალურში. სხვადასხვა ლიგანდიანი კომპლექსების წარმოქმნის დროს მატულობს მოლეული შთანთქმის კოეფიციენტები, მცირდება ქვედა ზღვარი სპილენძის აღმოსაჩენად.



ნახ. 1. Cu(II) კომპლექსწარმოქმნა რეაგენტთან მესამე კომპონენტის ედ, დფგ, ტფგ თანაობისას 1. CuR; 2. CuR – ედ; 3. CuR – დფგ; 4. CuR – ტფგ



ნახ. 2. კომპლექსნაერთებში ოპტიკური სიმკვრივის დამოკიდებულება λ-ზე. 1. CuR; 2. Cu-R – ედ; 3. Cu-R – დფგ; 4. CuR – ტფგ

ძირითადი ფოტომეტრული მახასიათებლები  
Cu(II) კომპლექსწარმოქმნის დროს

კომპლექსი	pH <sub>ობტ</sub>	λ <sub>ობტ</sub>	ε	კომპონენტების თანაფარდობა	ბერის კანონზე დაქვემდებარე- რებული ინტერვალი
Cu-R	4	454	15600	1 : 2	0,25-3,07
Cu-R- ედ	3	468	25700	1 : 2 : 1	0,13-2,72
Cu-R – დფგ	3	461	23200	1 : 2 : 1	0,13-2,72
Cu-R – ტფგ	3	464	24000	1 : 2 : 1	0,13-2,72

**3. დასკვნა**

დადგინდა რომ კომპლექსის გამოსავლიანობა  
CuR მაქსიმალურია  $8 \cdot 10^{-5}$  MR.

Cu –(II) R- ედ  $8 \cdot 10^{-5}$  M(R). Cu –(II) R- ედ  $8 \cdot 10^{-5}$   
M(R) და  $3,2 \cdot 10^{-5}$  M(ედ)

Cu –(II) R- დფგ  $8 \cdot 10^{-5}$  M(R) და  $4,8 \cdot 10^{-5}$  M(დფგ)

Cu –(II) R- ტფგ  $8 \cdot 10^{-5}$  M(R) და  $4 \cdot 10^{-5}$  M(ტფგ)

გამოყენებულმა მეთოდებმა გვიჩვენა, რომ  
თანაფარდობა სხვადასხვა ლიგანდიანი კომპ-  
ლექსებისათვის არის Cu(II):R:T<sub>pH</sub>=1:2:1 ბინალურ  
კომპლექსში კი 1:2.

შესწავლილ იქნა გარეშე იონების ზეგავლენა  
Cu(II) ფოტომეტრული განსაზღვრის დროს ბინა-  
ლურ და შერეულლიგანდიან კომპლექსებში.  
ცხრილი 2.

მცირე დასაშვები რაოდენობა გარეშე ნივთიერებების სპილენძი (II) განსაზღვრის დროს,  
ბინალურ და შერეულლიგანდიან კომპლექსნაერთებში. (ცდომილება 5%)

იონი ან ნივთიერება	R	Cu-R	Cu-R-ედ	Cu-R- დფგ	Cu-R- ტფგ	ეფსილონი	2-ამინო-4-ფენილბუტენ 2-OH-4
Na(I)	*	*	*	*	*		
K(I)	*	*	*	*	*		200
Ba(II)	*	*	*	*	*		
Ca(II)	*	*	*	*	*		50
Ce(II)	*	*	*	*	*		60
Mn(II)	*	*	*	*	*		15
Ni(II)	39	59	64	74	79		30
Co(II)	250	270	285	293	297		90
Al(III)	*	*	*	*	*		15
Sm(III)	*	*	*	*	*		40
Fe(III)	7	27	35	43	48		1
Ga(III)	520	550	555	567	569	60	20
Bi(III)	30	45	52	68	74		100
Sn(IV)	153	168	175	189	213		
Hf(IV)	350	364	379	386	390		
Ti(IV)	360	369	389	423	442	0	45
Zr(IV)	685	695	710	715	743	0.1	
Mo(VI)	140	152	164	175	189	3	15
W(VI)	267	275	283	305	310	100	
C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	98	117	132	158	171		1
ედტა	8	12	19	28	43		1
შარდოვანა	85	105	128	144	165		
თიოშარდოვანა	55	80	89	98	106		
ლიმონმჟავა	950	978	1025	1030	1035		
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> × 12H <sub>2</sub> O	670	691	716	734	750		40
ღვინის მჟავა	258	278	291	324	349		30
F <sup>-</sup>	257	274	300	315	327		10

სპილენძი (II)-ის განსაზღვრა მთის ქანებში:  
ანალიზისთვის ვიღებდით სტანდარტულ ნიმუ-  
შებს: (I A) 519-84 II, (% вес.) (B- 0,0015; Ba- 0,023;

Be- 0,00009; S- 0,04; V- 0,032; Cr- 0,014; Cs- 0,00009;  
Cu- 0,022; Zr- 0,013; H<sub>2</sub>O- 0,97; Nb- 0,0008; Th- 0,0025;  
U- 0,00008; Co- 0,0046; Zn- 0,015; F- 0,025; Ga-

0,0046; Ge- 0,00016; Li- 0,0014; Mo- 0,00017; Sc- 0,0043; Pb- 0,0005; Sn- 0,00035; SiO<sub>2</sub>- 49,1; TiO<sub>2</sub>- 1,85; Ni- 0,0090; Pd- 0,005; La- 0,0014; Ce- 0,0026; Pr- 0,00027; Yb- 0,00038; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- 14,23; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- 15,22; FeO- 10,26; MnO- 0,21; CaO- 10,20; MgO- 5,74; Na<sub>2</sub>O- 2,49; K<sub>2</sub>O- 0,7; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- 0,21; Sr- 0,027; Ta- 0,00012; Nd- 0,0015; Sm- 0,0005; W- 0,00007; Eu- 0,00023).

ანალიზის მსვლელობა: ნახშირბადშემცველ მინის ჭიქაში 5გ ნიმუშს ვხსნილით 10 მლ ნარევიში HF+9 მლ HCl+3 მლ HNO<sub>3</sub>. მიღებულ პასტას ვამუშავებდით 5-6 მლ HNO<sub>3</sub>-ით 70-80<sup>o</sup>C-ზე HF-ის მოლიანად გადადენამდე. მიღებულ ნალექს ვხსნილით წყალში და ვფილტრავდით 50 მლ-ის მოცულობის კოლბაში და ფილტრატს ვავსებდით გამოხდილი წყლით ჭდემდე. სპილენძი (II)-ის ფოტომეტრული განსაზღვრისთვის მიღებულ ნიმუშს ვათავსებდით 25 მლ-ის მოცულობის კოლბაში, ვამატებთ 2 მლ 1X10<sup>-3</sup> M ხსნარს R, 1 მლ 1X10<sup>-3</sup> M ხსნარს ედ და ვავსებდით ხსნარით ჭდემდე, pH 3. ხსნარების ოპტიკურ სიმკვრივეს ვზომავდით 490 ნმ 1 სმ სისქის კიუვეტებში, КФК-2-ზე. ნიმუშში სპილენძის შემცველობაა Cu (2,20±0,02)·10<sup>-2</sup>%.

#### ლიტერატურა

1. Пешкова В.М., Мельчакова Н.В.β-Дикетоны. М.: 1986. с. 200.
2. Проблемы химии и применения β-дикетонатов металлов. Отв. ред. акад. В.И.Спицын. М.: Наука, 1982. с. 265.

3. Чырагов Ф.М., Гасанов И.Я., Гамбаров Д.Г., Грановская П.Б. Экстракционно-фотометрическое определение железа (III) с помощью метил-(2-оксопропил)-N-(п-фторфенил)азометина // Журн. аналит. химии. 1992. Т.47. №7. с. 1241-1245.
4. Чырагов Ф.М. Некоторые неорганические и аналитические аспекты производных β-дикетонатов // Журн. Изв. БГУ, 1997. №2. с.29-38.
5. Алиева Р.А., Басаргин Н.Н., Сульхнеджад Р.Г., Чырагов Ф.М и др. Новая методика определения меди в вулканогенной породе и сплава//Журнал Аналитическая химии. 2011., № 9. Т.66, с. 871-875.
6. Проблемы химии и применения β-дикетонатов металлов // Под. ред. В.И.Спицына. М.: Наука, 1982, с. 265.
7. Чырагов Ф.М. Комплексные соединения металлов с производными β-дикетонов: синтез, строение, свойства и аналитическое применение. Дис. док. хим.наук. Баку, 2003, с. 264 .
8. Махмудов К.Т. Исследование и аналитическое применение комплексов меди(II) с азопроизводными β-дикетонов. Дис. на соиск. канд. хим. наук. – Баку, 2006. с. 215.
9. Бусев А.И. Синтез новых органических реагентов для неорганического анализа. М.: Изд-во МГУ, 1972 г. с. 245.
10. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. М.:Химия, 1964. с. 386.
11. Подчайнова В.Н., Симонова л.н. Аналитическая химия меди. М.: Химия, 1970, с. 417с.

UDC 543.42

### STUDYING OF COMPLEXOFORMATION OF COPPER (II) WITH 3-[2-HIDROXI-3,5-DISULPHO PHENYL AZO]PENTADION-2,4 IN THE PRESENCE OF THIRD COMPONENTS

M. Qochiashvili, M. Tsintsadze, F. Chiragov

**Resume: Goal.** Complex formation of Cu(II) with 3-[2-hydroxy-3,5-disulphophenylazo]pentadion-2,4 in the presence of third components by spectrophotometric method has been studied. Molar light absorbance coefficients of complexes CuR, CuR-ED, CuR-DPHG and CuR-TPHG are equal to 15600, 25700, 23200 and 24000. The obey to Beer's law is observed in region 0,25-3,07 mcg/ml for CuR, 0,13-2,72 mcg/ml for CuR-ED, CuR-DPHG and CuR-TPHG. The photometric method has been applied for studying determination of copper(II) in the mountain rock.

**Method.** The composition and structure of synthetic compounds are determined by various physical and chemical methods, the purity is determined by chromatographic method of paper. PH control is conducted by means of electrode glass H-130 ionometer. The optical density of the solution was being measured by means of spectrophotometer Lambda 40 and photo colorimeter KFK (КФК) -2, with 1 cm cuvettes.

**Result.** The reagent is synthesized by a well-known method and produces solid complex compound with copper ion. The formation of complex compound depends on pH. Maximum absorption is when pH, max. =454 nm and maximum light absorption is equal to 309nm.

**Conclusion.** Formation of complexes with various liganda in a more acid environment than binary. Molar absorption coefficients increase during complex formation and the lower margin of copper detection decreases. It has been established that correlation of complexes with various ligand is Cu (II) R: TpH = 1:2; and in binary complex 1:2.

**Key words:** determination of copper; complex formation; mixed-ligand; spectrophotometric method; ethylenediamine; diphenylguanidine; triphenylguanidine.

**ნანოვერცხლის უმცველი ანტიბაქტერიული კომპოზიტივი ამინომჟავური ბიოდებრადირებადი პოლიმეტაკრილამიდის და პოლიმეტაკრილამიდის საფუძველზე**

შ. ცხადაძე<sup>1</sup>, ნ. კუპატაძე<sup>2</sup>, დ. ტულუში<sup>2</sup>, რ. ქაცარავა<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 69

<sup>2</sup> ქიმიისა და მოლეკულური ინჟინერიის ინსტიტუტი, საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, კახა ბენდუქიძის საუნივერსიტეტო კამპუსი, საქართველო, 0159, თბილისი, დავით აღმაშენებლის ხეივანი 240

E-mail: tskhadadzesh@gmail.com

**რეზიუმე:** მიზანი. სამუშაოს მიზანია ვერცხლის ნანონაწილაკების შემცველი ანტიბაქტერიული პრეპარატების მიღება ჩვენ მიერ პირველად სინთეზირებული ბიოდებრადირებადი პოლიმერების – პოლიმეტაკრილამიდის (PEA) და პოლიმეტაკრილამიდის (PEU) საფუძველზე, ენერჯის იაფი წყაროს - დღის სინათლის გამოყენებით.

**მეთოდი.** ვერცხლის ნანონაწილაკებს ვიღებდით ვერცხლის ნიტრატის ფოტო-ქიმიური აღდგენით ეთანოლის არეში. აღდგენით პროცესზე ფიზიკური ზემოქმედებისათვის ვიყენებდით ენერჯის იაფ წყაროს – დღის სინათლეს, ხოლო ნაწილაკების მასტაბილიზირებლად PEA-ს და PEU-ს, რომლებიც შემდგომ ეტაპზე ასრულებდნენ ბიოკომპოზიტური პრეპარატების მატრიქსის ფუნქციას.

**შედეგები.** მიღებულია და შესწავლილია ანტიბაქტერიული ნანოვერცხლის შემცველი კომპოზიტები ბიოდებრადირებადი PEA-სა და PEU-ის საფუძველზე. შევნიშნავთ, რომ დღის სინათლის გამოყენებით ვერცხლის ნანონაწილაკების მიღება ჩვენ მიერ განხორციელებულია პირველად [1]. ასევე პირველადაა გამოყენებული ბიოდებრადირებადი PEA და PEU საწყის, ვერცხლის ნაწილაკების ფორმირების ეტაპზე, ნაწილაკების მასტაბილიზირებელი პოლიმერებად, ხოლო საბოლოოდ კი მატრიქსებად მიზნობრივი ბიოკომპოზიტებისათვის (მიიღება უშუალოდ სარეაქციო ნარეგების გამოყენებით, მათი განცალკევების და დამატებითი დამუშავების გარეშე). მიღებული ნანოსუსპენზია დახასიათებულია ელექტრონული სპექტრებით – ვერცხლის ნანონაწილაკების პლაზმონის შთანთქმით, დინამიკური შუქგაბნევის მეთოდით (DLS) და ტრანსმიზიური ელექტრონული მიკროსკოპით (TEM).

**დასკვნა.** დავადგინეთ, რომ PEA-სა და PEU-ს შორის ვერცხლის ნანონაწილაკების საუკეთესო მასტაბილიზირებელია PEA, რომელიც ამავდროულად იძლევა განმეორებად შედეგებს. PEU ნაკლებად ეფექტიანია როგორც ვერცხლის ნანონაწილაკების ჩამოყალიბება-სტაბილიზაციის, ასევე შედეგების სტაბილურობის თვალსაზრისით.

**საკვანძო სიტყვები:** ნანოვერცხლი; ფოტოქიმიური აღდგენა; ეთანოლის ხსნარი; დღის სინათლე; ბიოდებრადირებადი პოლიმერები; პოლიმეტაკრილამიდი; პოლიმეტაკრილამიდი.

**1. შესავალი**

პათოგენური ბაქტერიების ახალი შტამები, რომლებიც მდგრადია პრაქტიკულად ყველა ანტიბიოტიკის მიმართ, თანამედროვე მედიცინის ერთ-ერთი ყველზე მწვავე პრობლემაა. შესაბამისად, ინფექციის საწინააღმდეგო ალტერნატიული საშუალებების მოკვლევა და განვითარება თანამედროვე ფარმაციისა და ბიომედიცინის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი გამოწვევაა.

ბაქტერიები ადვილად კოლონიზდება ქსოვილებისა და ქირურგიული ინსტრუმენტების, იმპლანტების, ორთოპედული ნაკეთობების, კათეტერების და ა.შ. ზედაპირზე, რაც იწვევს ე.წ. ბიოფილმის (Biofilm) წარმოქმნას. ბიოფილმი წარმოადგენს უთხელეს აფსკს, რომელსაც ბაქტერიული კომუნები ნებისმიერ ზედაპირზე რამდენიმე საათში წარმოქმნიან. ინსტრუმენტები და ნაკეთობების ორგანიზმში მოხვედრის/იმპლანტაციის შემთხვევაში, ბიოფილმი წარმოადგენს ინფექციის ბუდეს – იგი პერიოდულად იშლება და ქმნის ინფიცირების ახალ კერას. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ბრძოლა ბაქტერიების წინააღმდეგ და ბიოაფსკის პრევენცია თანამედროვე მედიცინის მნიშვნელოვანი ამოცანაა. მედიცინის გარდა, პათოგენურ და არასასურველი ბიოქიმიური პროცესების გამომწვევ ბაქტერიებთან ბრძოლა მნიშვნელოვანია ბიოლოგიასა და კვებით მრეწველობაში, მედიცინაში, ფარმაციაში, შესაფუთ მასალებში და სხვ.

ეფექტიან ანტიბაქტერიულ პრეპარატთა ჩამონათვალში ერთ-ერთი ყველაზე პერსპექტიულია ვერცხლის ნანონაწილაკები. დადგინილია, რომ ვერცხლის ნანონაწილაკებს გააჩნიათ ანტიმიკრობული აქტივობა ღვინისა და პათოგენური მიკროორგანიზმების, სოკოებისა და ვირუსების 650 შტამის მიმართ [2, 3], ამასთან ეს აქტივობა ვლინდება ძალზე დაბალი კონცენტრაციებისას



(10 ppm) [4, 5]. ვერცხლის ნანონაწილაკების ანტიმიკრობიული აქტივობის ფართო სპექტრი დაკავშირებულია მათ მრავალფეროვან და ოლიგოდინამიკურ ანტიმიკრობულ მექანიზმთან [6]. დადგენილია, ასევე ვერცხლის ნანონაწილაკებისა და რიგი ანტიბიოტიკების სინერგიული ეფექტი, რომელიც აძლიერებს ანტიბიოტიკების აქტივობას მიკრობული შტამების მიმართ [7, 8].

სპეციფიკური ანტიბაქტერიული თვისებების მქონე, მდგრადი და ბიოშეთავსებადი ვერცხლის ნანონაწილაკების მიღება უმნიშვნელოვანესი ტექნოლოგიური გამოწვევაა. ვერცხლის ნანონაწილაკები ფიზიოლოგიურ არეში განიცდიან მნიშვნელოვან ცვლილებას, როგორც არის, მაგალითად, აგრეგაცია და ზედაპირის ინაქტივაცია, რაც მნიშვნელოვნად ასუსტებს მათ ანტიბაქტერიულ ეფექტიანობას. მხედველობაშია მისაღები აგრეთვე ის გარემოებაც, რომ ვერცხლის ნანონაწილაკები ამჟღავნებენ ციტოტოქსიკურობას, რაც ზღუდავს მათ გამოყენებას ბიომედიცინაში. გამომდინარე აღნიშნულიდან, მნიშვნელოვანია კომპრომისული გამოსავლის მოძებნა – ვერცხლის ნანონაწილაკების სტაბილიზაცია აქტივობის შენარჩუნებით, ხოლო პარალელურად მათი ციტოტოქსიკურობის შემცირება, ანუ ბიოთავსებადობის გაუმჯობესება. ამიტომ ლოგიკურია, რომ დღეისათვის მნიშვნელოვანი ძალისხმევაა ფოკუსირებული ვერცხლის ნანონაწილაკების შერწყმაზე ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებებსა და პოლიმერებთან [9]. ამგვარი შერწყმის შედეგად მიიღება მდგრადი ანტიბაქტერიული ნანოკომპოზიტი ახალი, მოდიფიცირებული თვისებებით, რაც მიუწვევდომელია ცალკე აღებული კომპონენტისათვის.

უმეტესწილად ნანონაწილაკების მისაღებად იყენებენ სამ კომპონენტთან სისტემას, რომელიც მოიცავს ვერცხლის მარილებს, აღმდგენ აგენტებს და სტაბილიზატორებს. ყველაზე ხშირად გამოიყენებენ ვერცხლის ნიტრატს. ვერცხლის იონი ( $Ag^+$ ) ვერცხლის ნეიტრალურ ნაწილაკებში ( $Ag^0$ ) გადაყვით ქიმიური მეთოდით, გამოიყენებენ რა სხვადასხვა აღმდგენებს, როგორებიცაა  $NaBH_4$ , ფორამიდი, დიმეთილფორამიდი, ეთანოლი, ტრიეთანოლამინი, ჰიდრაზინი და სხვ. [10]. ქიმიურ აღდგენას ხშირად აწარმოებენ წყალ-სხნარებში მასტაბილიზირებელი აგენტების გამოყენების გარეშე [11]. ქიმიური მეთოდი არის მარტივი და ეფექტიანი, მაგრამ აღმდგენი აგენტების უმეტესობის ტოქსიკურობა და გარემოზე დამაზიანებელი ზემოქმედება რჩება პრობლემად. ამ თვალსაზრისით პერსპექტიული აღმდგენი აგენტია ეთანოლი. ბოლო წლებში პოპულარული ხდება ბუნებრივი (ძირითადად მცენარეული) წარმოშობის აღმდგენი აგენტები [12]. აღნიშნულ პრობლემათა ჭრილში სულ უფრო მეტ პოპულარობას იძენს აღდგენის ფიზიკური მეთოდები,

როგორებიცაა  $\gamma$ -გამოსხივება, ულტრაიისფერი გამოსხივება, მიკროტალღური და ულტრაბგერითი დამუშავება, ლაზერული გამოსხივება, ელექტროქიმიური მეთოდი და სხვ. [10, 11, 13, 14]. მოწოდებული ფიზიკური მეთოდების გამოყენება დაკავშირებულია საკმაოდ ძვირადღირებული აპარატურის გამოყენებასთან, რაც მათ ნაკლად შეიძლება ჩაითვალოს.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ვერცხლის ნანონაწილაკების მიღებისას აუცილებელია მასტაბილიზირებელი აგენტების გამოყენება, რათა თავიდან ავიცილოთ მათი აგრეგირება. შემოთავაზებული და გამოცდილია მრავალი მასტაბილიზირებელი აგენტი, როგორებიცაა გრძელჯაჭვიანი ალიფატური მჟავები (სტეარინის, პალმიტინის, ლაურილის და სხვ.) და ამინები (ლაურინილამინი და სხვ.), ასევე ბუნებრივი და სინთეზური წარმოშობის პოლიმერები – სახამებელი და კარბოქსიმეთილირებული სახამებელი, ჰეპარინი, ქიტოზანი და კარბოქსი-მეთილირებული ქიტოზანი, პოლივინილის სპირტი, პოლი-N-ვინილ-პიროლიდონი და სხვ. [15-22]. ამ მიზნისათვის გამოყენებულ პოლიმერებს შორის ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტიანი მასტაბილიზირებელი აგენტია პოლი-N-ვინილ-პიროლიდონი (PVP), რომელიც ამავდროულად ხასიათდება მაღალი ბიოშეთავსებადობით (გამოიყენება სისხლის პლაზმის შემცველად [23]), ფირწარმოქმნის უნარით და ხსნადობით ეთანოლში. პოლი-N-ვინილპიროლიდონი ეფექტიანად გამოიყენეს მასტაბილიზირებელი აგენტის სახით ვერცხლის ნანონაწილაკების მიღებისას ვერცხლის ნიტრატის აღდგენით ეთანოლის ხსნარში მიკროტალღური გამოსხივების ზემოქმედებით [24, 25]. ამ პროცესის ნაკლია ის, რომ მოითხოვს საკმაოდ ძვირადღირებულ მიკროტალღურ დანადგარს და გარკვეული სიფრთხილის დაცვას, რათა აირიდონ ეთანოლის აღუდება და ამოშრობა.

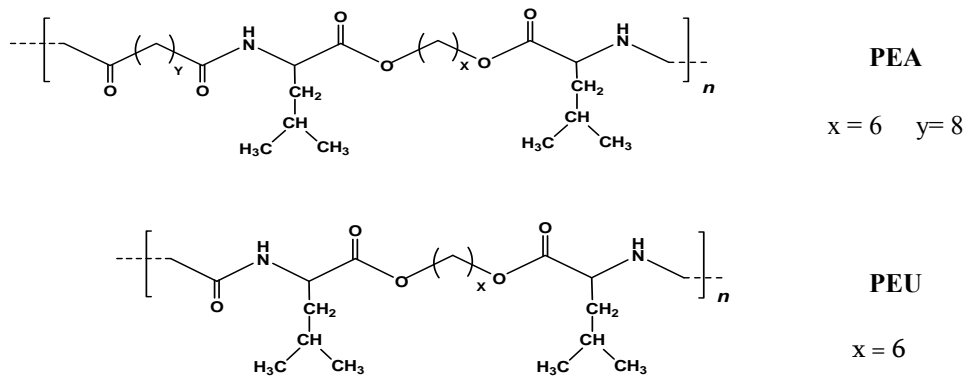
## 2. ძირითადი ნაწილი

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ [1], ადრინდელ კვლევებში დავამუშავეთ ვერცხლის ნანონაწილაკების მიღების ერთსაფეხურიანი, იაფი და მარტივი ფოტოქიმიური აღდგენის მეთოდი (დღის სინათლის გამოყენებით), გამოვიყენეთ რა მასტაბილიზირებელ აგენტად გამოვიყენეთ პოლი-N-ვინილ-პიროლიდონი (PVP). მივიღეთ სასურველი ზომის ( $\leq 10$  ნმ) ვერცხლის ნანონაწილაკები. ცნობილია, რომ როდესაც ნაწილაკების დიამეტრი არის 50 ნმ-ს ქვემოთ, ამიდის ჯგუფის აზოტის ატომი (რომელიც მრავლადაა PVP-ში) ასტაბილირებს ნანონაწილაკებს, ურთიერთქმედებს რა ვერცხლთან და აყალიბებს დამცავ გარსს, რითაც ხელს უშლის ნანონაწილაკების აგლომერაციას (შეწებებას) [1]. მიუხედავად იმისა, რომ PVP კარგი მასტა-

ბილიზირებელი აგენტია, ნანოკომპოზიტის მატრიქსის სახით მის გამოყენებას მაინც გააჩნია ისეთი შეზღუდვები, როგორებიცაა მაღალი ხსნადობა წყალში (აღვილად გამოირეცხება ნანოკომპოზიტის ფირიდან), და არადეგრადირებადი ბუნება, რაც, მისი წყალში უხსნარ ფორმაში გადაყვანის შემთხვევაშიც კი, ვერ უზრუნველყოფს ფირის ზედაპირიდან ნანოვერცხლის უწყვეტ და კონტროლირებად გამოყოფას. აქედან გამომდინარე, ლოგიკური იყო შემდგომ ცდებში გამოგვეყენებინა ბიოდეგრადირებადი, ეთანოლში ხსნადი და წყალში უხსნარი პოლიმერები, კერძოდ, ჩვენ ლაბორატორიაში პირველად სინთეზირებული პოლიესტერამიდი და პოლიესტერშარდოვანა (სქემა 1), რომლებიც PVP-ს მსგავსად ჯაჭვში შეიცავენ ნანონაწილაკის მასტაბილიზირებელ ამიდურ ჯგუფების

აზოტის ატომებს. მნიშვნელოვანია, რომ აღნიშნული პოლიმერების „საშენ ბლოკებად“ გამოყენებულია არატოქსიკური ნივთიერებები – ამინომჟავა ლეიცინი და ალიფატური ნივთიერებები - 1,6-ჰექსანდიოლი და სებაცინის მჟავა.

ვერცხლის ნანონაწილაკებს ვიღებდით PEA-სა და PEU-ს (1,0 გ) და ვერცხლის ნიტრატის (0,1 გ) სპირტხსნარის (40,0 მლ) დღის სინათლით დასხივებით. PEA-სა და PEU-ს ხსნარებს ერთდროულად ვდგამდით ფანჯრის რაფაზე, რაც უზრუნველყოფდა ერთნაირ პირობებს ორივე ხსნარისთვის. შევნიშნავთ, რომ ფანჯრის მინა ასრულებს შუქფილტრის როლს, რადგან ატარებს მხოლოდ სპექტრის ხილულ ნაწილს და არ ატარებს მოკლელტალღოვან ულტრაიისფერ გამოსხივებას.



სქემა 1. კვლევაში გამოყენებული ბიოდეგრადირებადი პოლიმერები, პოლიესტერამიდი (PEA) და პოლიესტერშარდოვანა (PEU).

აღდგენის პროცესსა და მის შედეგად ვერცხლის ნანონაწილაკების წარმოქმნაზე მეტყველებს ის გარემოება, რომ საწყისი უფერული ხსნარი ხილული სხივების გავლენით იფერება ყავისფრად<sup>1</sup>. შევნიშნავთ, რომ სიიაფისა და სიმარტივის გარდა, შემოთავაზებული მეთოდი არის ეკოლოგიურად დამზოგი, ვინაიდან არ მოითხოვს ვერცხლის იონის (Ag<sup>+</sup>) ატომურ ვერცხლამდე (Ag<sup>0</sup>) აღსადგენად სპეციალური რეაგენტების (სშირად ტოქსიკური) გამოყენებას - ამ ფუნქციას ასრულებს ეთილის სპირტის მოლეკულები. Ag<sup>+</sup>-იონების აღდგენის პროცესი ეთანოლის ხსნარში მიმდინარეობს სქემა 2-ის შესაბამისად:

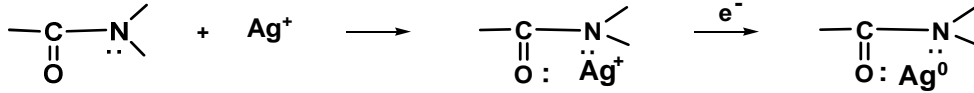


სქემა 2. ვერცხლის იონის აღდგენა ატომურ ვერცხლამდე ეთანოლის ხსნარში

<sup>1</sup> შევნიშნავთ, რომ მასტაბილიზირებელი დანამატების - PEA-სა და/ან PEU-ის გარეშე AgNO<sub>3</sub>-ის ფოტოქიმიური აღდგენის პროცესი ეთანოლში არ მიმდინარეობს.

მას შემდეგ, რაც წარმოიქმნება ვერცხლის ატომები, ისინი იწყებენ გაერთიანებას (ზრდას) ნანონაწილაკების ჩამოყალიბებამდე. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, თუ ნაწილაკების დიამეტრი არის 50 ნმ-ს ქვემოთ, ამიდის ჯგუფი (აზოტის ატომი)

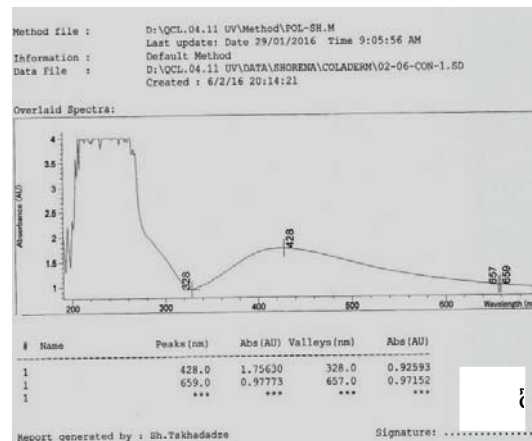
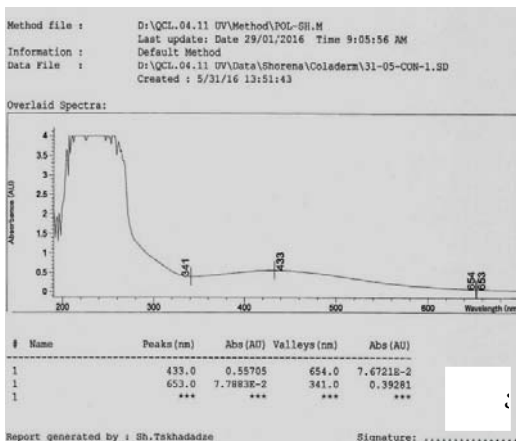
ურთიერთქმედებს ვერცხლთან და აყალიბებს დამცავ გარსს, რითაც ხელს უშლის ნაწილაკების აგლომერაციას (შეწყობას). მასტაბილიზერებელი კომპლექსის წარმოქმნა ამიდურ ბმასა და ვერცხლის იონს შორის აღწერილია სქემა 3-ზე:



სქემა 3. კომპლექსწარმოქმნა პოლი-N-ვინილპიროლიდონსა და ვერცხლის ატომს შორის

მოვახდინეთ მიღებული ნანოსუსპენზიების კვლევა ულტრაიისფერი სპექტროსკოპიის გამოყენებით (Agilent 8453 UV-visible Spectroscopy System). ცნობილია, რომ ვერცხლის ნანონაწილაკი წარმოადგენს პლაზმონს და აქვს შთანთქმის მაქსიმუმი ელექტრონულ სპექტრში დაახლოებით 400-460 ნმ დიაპაზონში, ნანონაწილაკის ზომისგან დამოკიდებულებით [24,25]. ამასთან დადგენილია, რომ რაც უფრო ახლოსაა შთანთქმის მაქსიმუმი 400 ნმ-თან და რაც უფრო ვიწროა შთანთქმის პიკის ნახევარსიმაღლე, მით უფრო მცირეა ნაწილაკის ზომა. ვერცხლის ნანონაწილაკების – ზო-

მით 10 ნმ ან ქვემოთ, შთანთქმის მაქსიმუმი მდებარეობს 400-420 ნმ-ის დიაპაზონში. ჩვენ მიერ, PEA თანაობისას მიღებული ვერცხლის ნანონაწილაკების () ელექტრონული შთანთქმის სპექტრები მოყვანილია ქვემოთ (ნახ. 1), საიდანაც ჩანს, რომ ვერცხლის ნანონაწილაკების პლაზმონის შთანთქმის მაქსიმუმი ( $\lambda_{max}$ ) სინათლეზე დაყოვნებიდან 1 სთ-ის შემდეგ არის 433 ნმ, ხოლო 24 სთ-ის შემდეგ 428 ნმ, რაც ნაწილაკების საკმაოდ მცირე ზომებზე მიუთითებს.



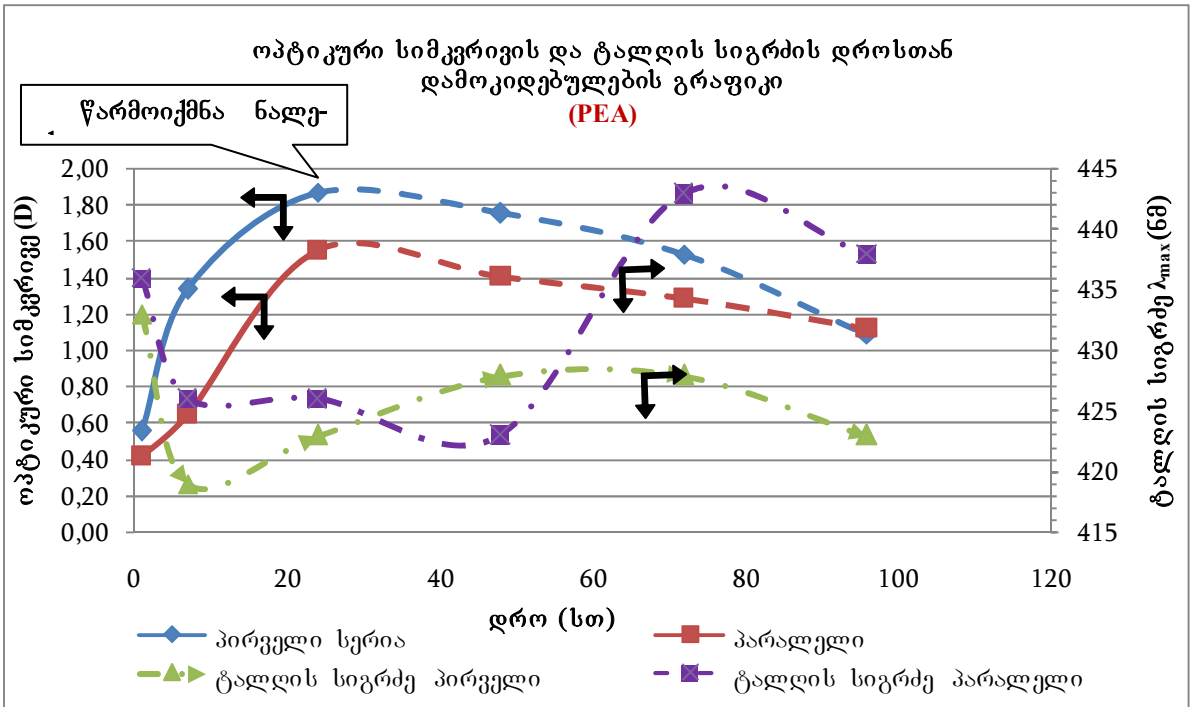
ნახ. 1. ვერცხლის ნანონაწილაკების უი-სპექტრი სინათლეზე დაყოვნებიდან 1 სთ-ის (ა) და 24 სთ-ის (ბ) შემდეგ ბიოდეგრადირებადი PEA-ის თანაობისას.

შევისწავლეთ ვერცხლის ნანონაწილაკების ოპტიკური პარამეტრების ცვლილება დროში. შევნიშნავეთ, რომ სისტემა მრავალჯერ გადიოდა სინათლე-სიბნელის ციკლს (ვტოვებდით დამით სიბნელეში).

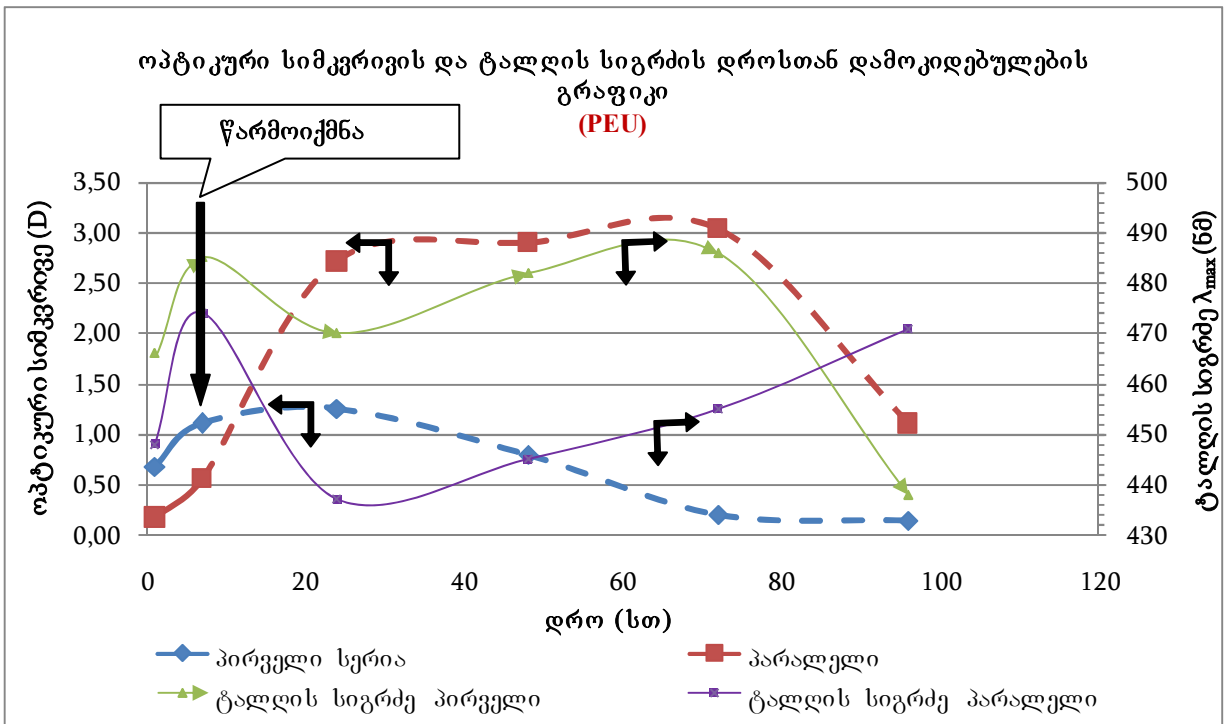
მიღებული შედეგები – ნანოსუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივის და შთანთქმის მაქსიმუმის ცვლილება დროში წარმოდგენილია ნახ. 2-ზე (PEA-ის თანაობისას) და ნახ. 3-ზე (PEU-ს თანაობისას) (ექსპერიმენტი ჩავატარეთ ორ პარალელურ სერიად).

როგორც, ნახ. 2-დან ჩანს, PEA-ანი ნანოსუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივე დროში თანდათან

იზდება და აღწევს მაქსიმუმს დაყოვნებიდან ჯამური 24 სთ-ის შემდეგ. შემდგომი დაყოვნებისას ხსნარი თანდათანობით იმღვრევა, რაც ნაწილაკების აგრეგაციასა და დამსხვილებაზე მიუთითებს. იწყება ვერცხლის გამოლექვა (ჭურჭლის ფსკერზე წარმოიქმნება შავი ნალექი), რის შედეგადაც ნანოსუსპენზიის ოპტიკური სიმკვრივე დროში მცირდება (გაზომვას ვაწარმოებდით ჯამური 100 სთ-მდე). ექსპერიმენტის პირველ სერიაში ტალღის სიგრძე მერყეობს 419-439 ნმ-ს შორის, ხოლო პარალელურში – 423-443 ნმ-ს შორის, რაც იმას მიუთითებს, რომ მიღებული ნაწილაკების ზომები არის სასურველ დიაპაზონში.



ნახ. 2. პოლიესტერამიდიანი (PEA) ხსნარების ოპტიკური სიმკვრივის და ტალღის სიგრძის დროსთან დამოკიდებულების გრაფიკი.



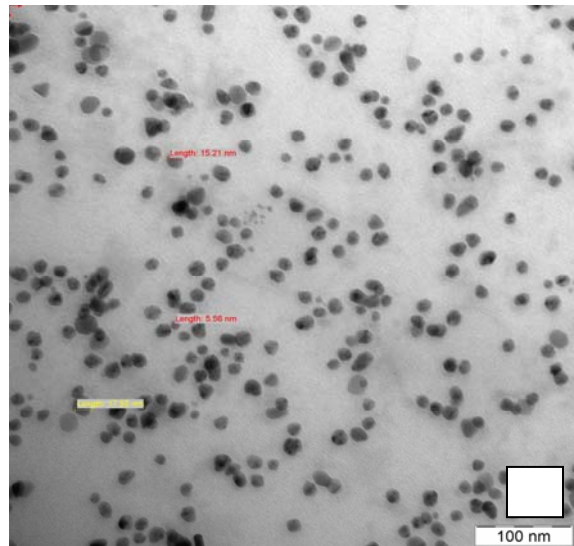
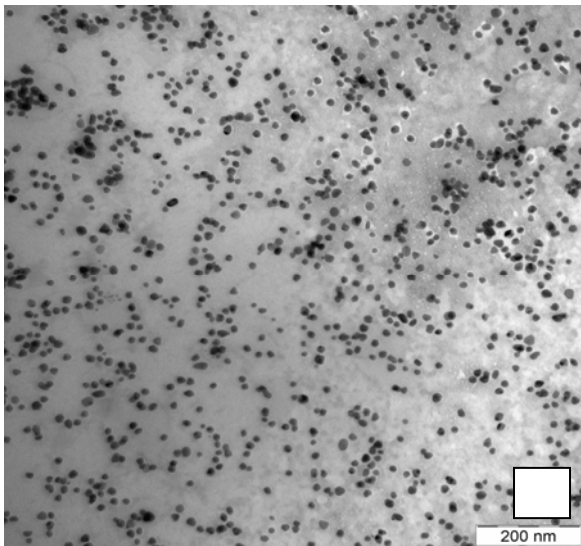
ნახ. 3. პოლიესტერჰარდოვანიანი (PEU) ხსნარების ოპტიკური სიმკვრივის და ტალღის სიგრძის დროსთან დამოკიდებულების გრაფიკი.

PEU თანაობისას ოპტიკური სიმკვრივე ექსპერიმენტის დადგმიდან თანდათან იზრდება და პირველ ექსპერიმენტში მაქსიმუმს აღწევს სინათლეზე დაყოვნებიდან 24 სთ-ის შემდეგ, ხოლო პარალელურში - 72 საათის შემდეგ (ნახ. 3), თუმცა ამ დროისათვის ვერცხლის ნაწილაკების ნაწილი გამოლექილია, და ოპტიკური სიმკვრივის ზრდა მაინც ფიქსირდება – პირველ სერიაში ოპტიკური სიმკვრივე იზრდება 1,3-მდე, ხოლო მეორე სერიაში  $\approx$ 3-მდე (რაც შეიძლება დაკავშირებულია ხსნარის შემდგრევეასთან მსხვილი ნაწილაკების წარმოქმნის ხარჯზე), ეს კი მიუთითებს ექსპერიმენტის არასათანადო განმეორებადობაზე. პირველ ექსპერიმენტში ტალღის სიგრძე მერყეობს 466-486 ნმ-ს შორის, ხოლო პარალელურში - 437-471 ნმ-ს შორის, რაც ასევე მიუთითებს არასათანადო განმეორებადობასა და შედარებით მსხვილი ნაწილაკების წარმოქმნაზე.

მიღებული შედეგები გვიჩვენებს, რომ შესწავლილ პოლიმერებს შორის ვერცხლის ნანონაწილაკების უკეთესი მასტაბილიზირებელია PEA, რომელიც ამავედროულად იძლევა უფრო მდგრად შედეგებს. PEU ნაკლებად ეფექტიანი აღმოჩნდა

როგორც ვერცხლის ნანონაწილაკების ჩამოყალიბება-სტაბილიზაციის, ასევე შედეგების განმეორადობის თვალსაზრისით.

შესაბამისად, შემდგომი კვლევები გავაგრძელებთ PEA თანაობისას მიღებულ ნანონაწილაკებზე. შევისაწავლეთ PEA-ის თანაობისას მიღებული ნანონაწილაკების მახასიათებლები დინამიკური შუქგაბნევის მეთოდისა (DLS) და ტრანსმისიური ელექტრონული მიკროსკოპიის (TEM) გამოყენებით. DLS-ით განვსაზღვრეთ ნანონაწილაკების ზომები და დავადგინეთ, რომ ეთანოლის ხსნარში ჩამოყალიბებული ნანონაწილაკების საშუალო ზომა არის 50 ნმ (დასხივების დრო – 24 სთ). ეს არ გამორიცხავს, რომ ნაწილაკების ნაწილი იყოს სასურველი, 10 ნმ-ზე ნაკლები ზომის. ტრანსმისიური ელექტრონული მიკროსკოპიით ნანონაწილაკების გამოკვლევამ დაადასტურა, რომ ნარევეში საკმაოა 10 ნმ-ზე ნაკლები ზომის ნაწილაკები, რაც მიღებული კომპოზიტის მაღალ ბაქტერიციდულ აქტივობას განსაზღვრავს. ამ მონაცემების გამოქვეყნებას ვგეგმავთ შემდგომ პუბლიკაციაში.



ნახ. 4. TEM გამოსახულება ვერცხლის ნანონაწილაკები (სხვადასხვა გადიდებაზე) მიღებულია ფოტოქიმიური (დღის სინათლის) დასხივებით. დასხივების დრო: 24 სთ.

### 3. დასკვნა

მივიღეთ ნანოვერცხლის შემცველი სუსპენზიები ბიოდეგრადირებადი PEA-ის და PEU-ის როგორც მასტაბილიზირებელი პოლიმერების თანაობისას, რისთვისაც გამოვიყენეთ ჩვენი ადრინდელი კვლევების საფუძველზე დამუშავებული ერთსაფეხურიანი, ვერცხლის ნიტრატის ფოტოქიმიური აღდგენის მეთოდი ეთანოლის არეში. დავადგინეთ, რომ PEA-სა და PEU-ს შორის ვერცხლის ნანონაწილაკების საუკეთესო მასტაბილიზირებელია PEA, რომელიც ამავდროულად იძლევა უფრო სტაბილურ შედეგებს. შედეგად მივიღეთ ნანოსუსპენზია, რომელშიც ვერცხლის ნანონაწილაკების ნარევის საშუალო ზომაა 50 ნმ რაც დავადგინეთ DLS მეთოდით. TEM გამოკვლევებით დადგინდა, რომ ამ ნარევაში საკმაოა სასურველი, 10 ნმ-ზე ნაკლები ზომის ბაქტერიციდული აქტივობის მატარებელი ნანონაწილაკები.

### ლიტერატურა

1. Tskhadadze Sh., Kupatadze N., Gaprindashvili R., Tugushi D., Katsarava R. Preparation of Silver Nanoparticles by Simple Photochemical Method. *Journal of Georgian Ceramists' Association* Vol.18.2(36).2016 pg. 60-67.
2. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Journal of Nanotechnology*, 2005;16(10):2346.
3. Ahmad MB, Lim JJ, Shameli K, Ibrahim NA, Tay MY, Chieng BW. Antibacterial activity of silver bionanocomposites synthesized by chemical reduction route. *Chemistry Central Journal*, 2012;6(1):101.
4. Baker C, Pradhan A, Pakstis L, Pochan DJ, Shah SI. Synthesis and antibacterial properties of silver nanoparticles. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2005;5(2):244-249.
5. Hsueh YH, Lin KS, Ke WJ, et al. The antimicrobial properties of silver nanoparticles in *Bacillus subtilis* are mediated by released  $Ag^+$  ions. *Journal of PLOS One*, 2015 ;10(12):e0144306.
6. Agnihotri S, Mukherji S, Mukherji S. Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5–100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy. *Journal of RSC Adv.*, 2014;4(8):3974-3983.
7. Fayaz AM, Balaji K, Girilal M, Yadav R, Kalaichelvan PT, Venketesan R. Biogenic synthesis of silver nanoparticles and their synergistic effect with antibiotics: a study against gram-positive and gram-negative bacteria. *Journal of Nanomedicine*, 2010;6(1):103-109.
8. Shahverdi AR, Fakhimi A, Shahverdi HR, Minaian S. Synthesis and effect of silver nanoparticles on the antibacterial activity of different antibiotics against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Journal of Nanomedicine*, 2007;3(2):168-171.
9. Potara M, Jakab E, Damert A, Popescu O, Canpean V, Astilean S. Synergistic antibacterial activity of chitosan-silver nanocomposites on *Staphylococcus aureus*. *Journal of Nanotechnology*, 2011, 22, 135101.9.
10. Yoksan, R. and S. Chirachanchai, Silver nanoparticles dispersing in chitosan solution: Preparation by  $\gamma$ -ray irradiation and their antimicrobial activities. *Journal of Materials Chemistry and Physics*, 2009. 115(1): p. 296-302.
11. Roldán M. V., Pellegrini N., and Sanctis O., Electrochemical Method for Ag-PEG Nanoparticles Synthesis. *Journal of Nanoparticles*. 2013, Article ID 524150, 7 pages.
12. L Wen et al., Symbiosis Theory-Directed Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Application in Infected Wound Healing. *International Journal of Nanomedicine*, 2016 ,11, 2757-2767.
13. Jiang H., Moon K., Zhang Z. et al., Variable Frequency Microwave Synthesis of Silver Nanoparticles. *Journal of Nanoparticle Research*, 2006, 8, 117-124.
14. Zamiri R., Zakaria A., Ahangar H.A., Darroudi M., Zamiri G., Rizwan Z., and Drummen G. The effect of laser repetition rate on the LASiS synthesis of biocompatible silver nanoparticles in aqueous starch solution *International Journal of Nanomedicine*, 2013:8, 233-244.
15. Tudorachi N., Synthesis of antimicrobial polymer composition and in vitro drugs release study e-Polymers, 2008, Paper No. 131.
16. Zhang Z, Zhang L, Wang S, et al. A convenient route to polyacrylonitrile/silver nanoparticle composite by simultaneous polymerization-reduction approach. *Polymer*, 2001;42:8315-8318.
17. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, Holt K, Kouri JB, Ramírez JT, Yacaman MJ. *Journal of Nanotechnology*, 2005, 16(10), 2346-2356.
18. Wei D., Sun W., Qian W. Ye Y., Ma X., The synthesis of chitosan-based silver nanoparticles and their antibacterial activity. *Journal of Carbohydrate Research*, 344, 2375–2382 (2009).
19. Filippo E., Serra A., Manno D., Poly(vinyl alcohol) capped silver nanoparticles as localized surface plasmon resonance-based hydrogen peroxide sensor. *Journal of Chemical Science Direct* 2009, Volume 138, 625-630.
20. Hettiarachchi, M.A. & Wickramarachchi, P.A.S.R., Synthesis of chitosan stabilized silver nanoparticles using gamma ray irradiation and characterization. *Journal of Science of the University of Kelaniya Sri Lanka*. 6, 2011, pp.65-75.
21. Wang B., Zhuang X., Deng W., Cheng B., Microwave-Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles in Alkaline Carboxymethyl Chitosan Solution. *Engineering*, 2, 387-390 (2010). doi:10.4236/eng.2010.25050

22. Lei Z., Fan Y., Preparation of silver nanocomposites stabilized by an amphiphilic block copolymer under ultrasonic irradiation. *Materials Letters* 60, 2006, 2256-2260.
23. Thrower W.R., Campbell H., Plasmosan: a synthetic substitute for plasma, *The Lancet*, 1951, 257 (6664), 1096-1099.
24. Kildeby N. L., Andersen O. Z., Røge R.E., *P3 Project*, Institute for Physics and Nanotechnology - Aalborg University 2005-2006, 87p.
25. He R., Qian X., Yin J., Zhu Z., Preparation of polychrome silver nanoparticles in different solvents. *J. Mater. Chem.*, 2002, 12, 3783–3786.
- 

UDC 66.08

## NANOSILVER CONTAINING ANTIBACTERIAL COMPOSITES ON THE BASE OF THE AMINO ACID BIODEGRADABLE POLYESTERAMIDES AND POLYESTERUREAS

Sh. Tskhadadze, N. Kapatadze, D. Tugushi, R. Katsarava

**Resume: Goal.** The aim of the work was developing antibacterial nanocomposites containing silver nanoparticles on the base of the amino acid biodegradable polymers, using a cheap source of energy - daylight irradiation. **Method.** The silver nanoparticles were fabricated by photochemical (applying daylight irradiation) reduction of silver nitrate in ethanol solution using biodegradable polyesteramides (PEA) and polyesterureas (PEU) as particles stabilizer. **Results.** Antibacterial composition containing the nanosilver were obtained on the basis of biodegradable PEA and PEU using daylight as a source of energy. The obtained nanosuspension was characterized by UV-Vis spectroscopy (by the absorption of the nanosilver plasmon), Dynamic light scattering (DLS) and Transmission electron microscopy (TEM). **Conclusion.** Comparing stabilizing effects of PEA and PEU it was found that better stabilizer was PEA which at the same time gave reproducible results. Mean size of the silver nanoparticles was about 50 nm (DLS) among which a substantial quantity of the particles with the desired size <10 nm was observed (TEM).

**Key words:** nanosilver; photochemical reduction; daylight; ethanol solution; biodegradable polymers; poly(ester amide)s; poly(ester urea)s.

---



**ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუშების პროცესის შესწავლა**

თ. ჭეიშვილი, ნ. ომანიძე

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

E-mail: tcheishvili@gtu.ge

**რეზიუმე:** მიზანი. შესწავლილია 5 მმ-მდე ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის აფუშების საკითხები, რაც განხორციელდა მათი თერმული დამუშავებით 1200°C-ზე. ექსპერიმენტი ჩატარდა როგორც ბუნებრივ ქანზე, ასევე მისი და ორგანული დანამატებისგან შედგენილ კომპოზიციებზე. ორგანულ დანამატებად აღებული იქნა ნამუშევარი ავტომობილის ზეთი, ნახერხი და ქვანახშირის წვრილმანი.

**მეთოდი.** საკვლევე მასალათა აფუშებისადმი მიდრეკილება შეფასდა ნაყარი მოცულობითი წონების განსაზღვრის საფუძველზე.

**შედეგი.** დადგინდა, რომ ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუშების პროცესის განმსაზღვრელი ფაქტორებია: საკვლევი ბუნებრივი ქანის მარცვლების ზომა, დანამატის სახეობა და მისი რაოდენობა.

**დასკვნა.** ორგანული ბუნების დანამატის ცალკეული სახეობისათვის დადგენილია ის ოპტიმალური რაოდენობა, რომელიც უზრუნველყოფს ფიქალის მარცვლების აფუშების მაქსიმუმის მიღწევას.

**საკვანძო სიტყვები:** ფიქალი; ფრაქციულობა; ორგანული დანამატი; თერმული დამუშავება; ნაყარი წონა.

**1. შესავალი**

არაორგანულ ფორიან მასალებს განსაკუთრებული ადგილი უკავიათ ისეთ სამრეწველო დარგებში, როგორცაა სამშენებლო საქმე, თბოტექნიკა, აგროინდუსტრია, ქიმიური მრეწველობა და სხვ. ნედლეულის ბაზასთან დაკავშირებით შეიძლება აღინიშნოს, რომ ფორიანი არაორგანული მასალების მიღება, შესაძლებელია მრავალი სახის ნედლეულიდან, მათი თერმული დამუშავებით და რომლებიც საქართველოშიც მოიპოვება. ამ მხრივ შეიძლება გამოიყოს ისეთი მინისებრი და კრისტალური ბუნების წყალშემცველი ქანები, როგორცაა პერლიტები, ოპსიდიანები, თიხის რიგი სახეობები და სხვ. [1-4].

ბოლო წლებში აქტიურად განიხილება ყვარლის ადგილმდებარეობის ფიქლის სამრეწველო გამოყენების საკითხები, რაც პირველ რიგში განპირობებულია რეგიონალური ეკოლოგიური პრობლემებით. ამ მხრივ საგულისხმოა ის სამუ-

შაოები, რომლითაც დადასტურდა ყვარლის ფიქლის აფუშების შესაძლებლობა 1150-1300°C თერმული დამუშავებით [5-7].

ამავე დროს, გასათვალისწინებელია ის რეკომენდაციები, რომლებიც უკავშირდება 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის მასალის თერმულ აფუშებას – მათი გამოყენება რეკომენდებული არ არის და ისინი ტექნოლოგიურ ნაყარს წარმოადგენს. ამის მიზეზია ის, რომ ე.წ. ქვიშის ფრაქციულობის (0,5-5 მმ) მარცვლების თერმული დამუშავებისას, ადგილი აქვს ნაადრევ შეცხობას და გამინებას. აღნიშნული ფაქტორი აფერხებს მსხვილი ფრაქციულობის მასალის მიღების პროცესს [8-9].

აღნიშნულიდან გამომდინარე დაიგეგმა ექსპერიმენტი, რომლის მიზანია 5 მმ-ზე ნაკლები ფრაქციულობის ყვარლის ფიქლის თერმული დამუშავებით წარმართული აფუშების შესწავლა, რაც განხორციელდა როგორც ფიქლის მონოკაზმის, ასევე განსხვავებული გრანულომეტრიის ფიქლის მარცვლებისა და ორგანული დანამატების საფუძველზე მიღებული ნარევების მეშვეობით.

**2. ძირითადი ნაწილი**

ექსპერიმენტი მიზნად ისახავდა ყვარლის ფიქლის ოთხი განსხვავებული ფრაქციულობის შესწავლას:

- δ=0,5-1,0 მმ (δ<sub>საშ.</sub>=0,75 მმ – წმინდა ქვიშა);
  - δ=1,0-2,0 მმ (δ<sub>საშ.</sub>=1,5 მმ – საშუალო ქვიშა);
  - δ=2,0-3,0 მმ (δ<sub>საშ.</sub>=2,5 მმ – მსხვილი ქვიშა);
  - δ=3,0-5,0 მმ (δ<sub>საშ.</sub>=4,0 მმ – მსხვილი ქვიშა).
- „ყვარლის ფიქალი – ორგანული დანამატი“ – ასეთ კომპოზიციითა შესადგენად გამოყენებული იქნა სამი სახის ორგანული ბუნების მასალა:
- ნამუშევარი ავტომობილის ზეთი (შემდგომში „ზეთი“);
  - ნახერხი (მერქნის გადამუშავების ნარჩენი); ფრაქციულობა 1-5 მმ;
  - ქვანახშირის წვრილმანი (ტყბულის საბადოს) ფრაქციულობა 1-3 მმ.

ორგანული დანამატები 1-5 წონ.%-ის რაოდენობით, ძირითადი საკვლევი მასალის – ფიქლის 100%-ს ზევით აიღებოდა.

შედგენილი იქნა სამი სახის კომპოზიცია:

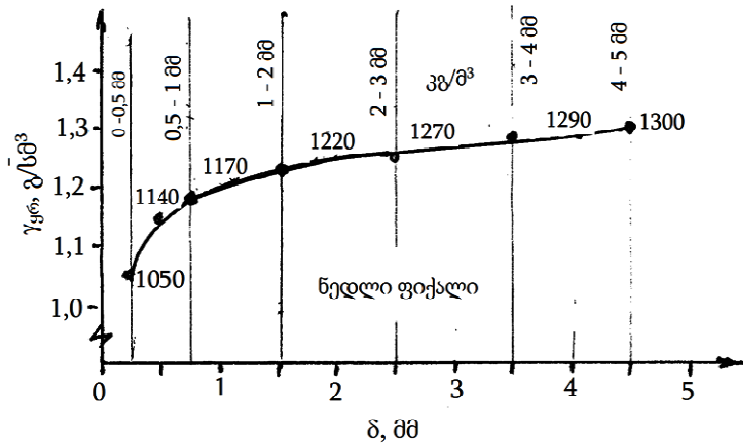
- A – ფიქალი + ზეთი (სერია SO);
- B – ფიქალი + ნახერხი (სერია SF);

C – ფიქალი + ქვანახშირი (სერია SC).

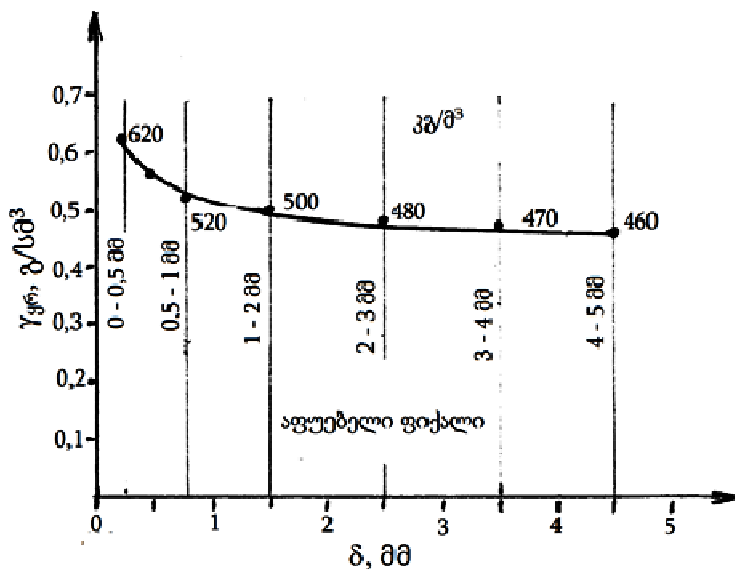
ბუნებრივი ქანის და დანამატისაგან შედგენილი ნარევი მზადდებოდა მათი ინტენსიური არევიტ (ფაიფურის ჯამი, შპატელი) 2–3 წთ-ის განმავლობაში და 20–30 წუთიანი დაყოვნებით ასაფუებელ ქოთანში და შემდეგ ელექტრო გამახურებლიან ღუმელში მოთავსებამდე. ღუმელში ტემპერატურა 1200°C-მდე იზრდებოდა დაახლოებით 2 სთ-ის განმავლობაში (10°C/წთ) და ცდის მაქსიმალურ ტემპერატურაზე მასალის აფუება 10-15 წუთიანი დაყოვნებით ხდებოდა. ღუმლიდან

გამოტანილი აფუებული მასალა ცივდებოდა ოთახის ტემპერატურაზე, ქოთანი ხელოვნურად იმსხვრეოდა, აფუებული მასალა იცრებოდა და გამოიყენებოდა შემდგომი კვლევისათვის, რაც ცნობილი მეთოდიკით განხორციელდა [10, 11].

თავდაპირველად განისაზღვრა ნედლი (ბუნებრივი) და 1200°C-ზე თერმულად დამუშავებული ფიქლის ნაყარი მოცულობითი წონები. საკვლევად აღებული სხვადასხვა ფრაქციულობის მასალისათვის მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 1 და ნახ. 2-ზე.



ნახ. 1. ნედლი ფიქალის ფრაქციულობის გავლენა ნაყარის მოცულობით წონაზე

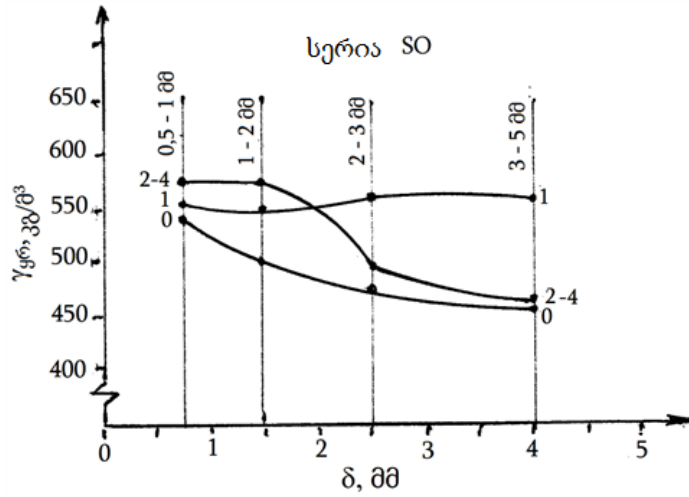


ნახ. 2. ტემპერატურის უწყვეტი ზრდის რეჟიმით მიღებული ფიქლის ნაყარი მოცულობითი წონის დამოკიდებულება მასალის ფრაქციულობაზე

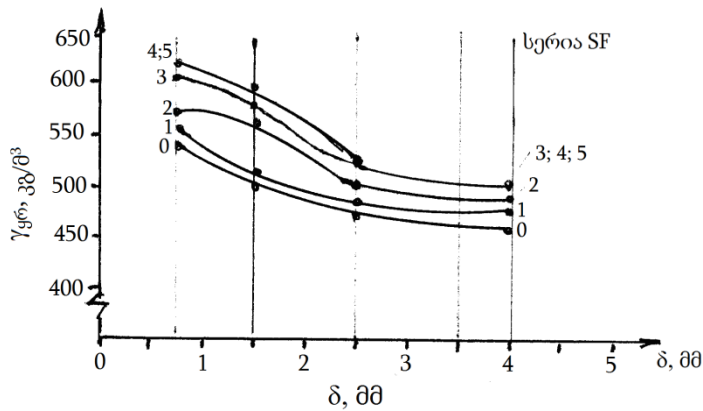
როგორც ნედლი, ასევე თერმულად აფუებული მასალისათვის ფიქსირდება ნაყარი მოცულობითი წონების ( $\gamma_{\text{ყრ}}$ ) ცვლილება მასალის ფრაქციულობასთან მიმართებაში. მაგრამ, როგორც წარმოდგენილი გრაფიკული მასალიდან ჩანს, ფრაქციულობის ზრდა განსაზღვრავს  $\gamma$ -ს სიდიდეთა ზრდას 1050-დან 1300 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე ნედლი ბუნებრივი ქანისათვის და პირიქით, აფუებული (დანამატების გარეშე) ფიქლის ნაყარი მოცულობითი წონების კლებას 620-დან 460 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე. აქედან, ფიქლის მონიკაჟმის აფუება მით უფრო ძლიერია, რაც შეტია ასაფუებლად აღებული მასალის ფრაქციულობა.

აფუების ხარისხზე ორგანული ბუნების დანამატების გაგლემა განისაზღვრა SO, SFF და SC სერიის შედგენილობებისათვის, როდესაც ზეთის,

ნახერხის და ნახშირის დანამატების ოდენობა 1, 2, 3, 4 და 5 წონ.%-ს შეადგენდა 100 წონ. ნაწ. მასალაზე, 100%-ზე ზემოთ აღებული წონის სახით. ექსპერიმენტის შედეგებმა აჩვენა, რომ ორგანული დანამატის სახეობათა გაგლემა ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესზე ერთგვაროვანი არ არის, მაგრამ ზოგადი ტენდენცია ნაყარი წონების შემცირებასთან დაკავშირებით შენარჩუნებულია – მასალის ფრაქციულობის ზრდა ამცირებს ნაყარი მოცულობითი წონების მნიშვნელობებს (ნახ. 3-5). გარკვეული მსგავსება იკვეთება ნახერხის და ნახშირის დანამატებად გამოყენების შემთხვევაში, მაგრამ უფრო ეფექტანია ნახშირის დანამატით მიღებული ნარევების აფუება (სერია SC).



ნახ. 3. ზეთის დანამატის რაოდენობის გაგლემა ყვარლის ფიქლის ნაყარ მოცულობით წონაზე

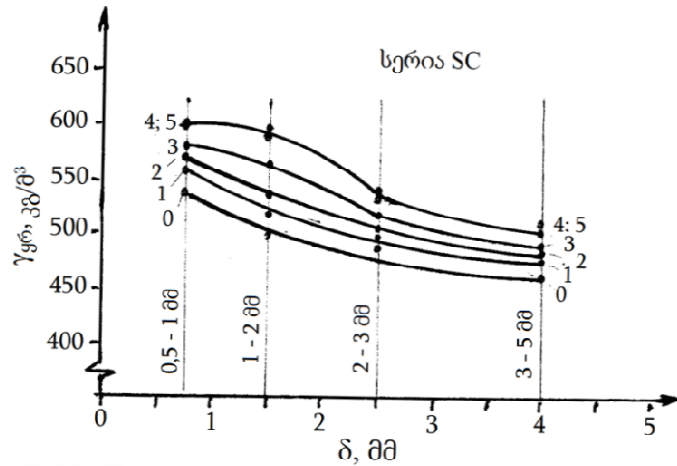


ნახ. 4. ნახერხის დანამატის რაოდენობის გაგლემა აფუებული ყვარლის ფიქლის ნაყარ მოცულობით წონაზე

ნახშირის გამოყენება დანამატად საშუალებას იძლევა მიღებული იქნას ფორიანი მასალა 470–600 კგ/მ<sup>3</sup> ნაყარი მოცულობითი წონებით, როდესაც ნახერხის შემთხვევაში 470–630 კგ/მ<sup>3</sup> მოცულობითი წონის ფორიანი მასალის მიღების შესაძლებლობა იქმნება.

ზეთის დანამატად გამოყენების შემთხვევაში (სერია S0) ეფექტიანია 2–4 წონ.% ზეთის შემ-

ცველი ნარეგების თერმული დამუშავება, რადგან ამ შემთხვევაში განსაკუთრებით შეიმჩნევა მასალათა ნაყარი მოცულობითი წონების მკვეთრი კლება (აფუების ხარისხის ზრდა). სულ მცირე 2%-ანი ზეთის დანამატის გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტიანი აღმოჩნდა 2–5 მმ ფრაქციულობის ყვარლის ფიქალისათვის (ნახ. 3, მრუდების 2–4).

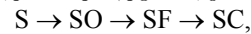


ნახ. 5. ნახშირის დანამატის რაოდენობის გავლენა აფუებული ყვარლის ფიქლის ნაყარ მოცულობით წონაზე

სამივე კომპოზიციაში მიღებული მასალები-სათვის განისაზღვრა სიმტკიცე კუმშვაზე ( $\sigma$ , მპა) ოპტიმალური ნარეგებისათვის და კერძოდ, 2% ზეთის, 4% ნახშირის ან 4% ნახერხის შემცველობისას. სხვადასხვა ფრაქციულობის მასალებისათვის მიღებული შედეგები წარმოდგენილია 1 ცხრილში.

ექსპერიმენტით მიღებული შედეგებიდან ჩანს და მკაფიოდ ფიქსირდება მასალის გრანულომეტრიის და დანამატის სახეობის გავლენა მიღებულ მასალათა სიმტკიცეზე: გრანულომეტრიის

ზრდა ამცირებს სიმტკიცეს, ხოლო დანამატი მასალის გავლენა შემდეგი მწკრივით ჩაიწერება:



ანუ ყველა ფრაქციულობის მასალისათვის, ყველაზე ნაკლები სიმტკიცე აქვს „სუფთა“ ფიქალს, ხოლო შედარებით მაღალი სიმტკიცეებით გამოირჩევა ნახშირის დანამატი შედგენილი კომპოზიციებიდან მიღებული აფუებული მასალები. ფრაქციულობის და დანამატის სახეობის შერჩევით შესაძლებელია 6,7–13,3 მპა სიმტკიცის მქონე მასალების მიღება.

ცხრილი 1

ოპტიმალური ნარევიდან მიღებული აფუებული მშრალი მასალების ნაყარი მოცულობითი წონები და სიმტკიცე კუმშვაზე

მასალის ინდექსი	მშრალი აფუებული მასალის მოცულობითი წონები (γ <sub>ყრ</sub> , კგ/მ <sup>3</sup> ) და სიმტკიცე კუმშვაზე (σ <sup>1</sup> , მპა)							
	ფრ. 0,5 – 1 მმ		ფრ. 1 – 2 მმ		ფრ. 2 – 3 მმ		ფრ. 3 – 5 მმ	
	γ <sub>ყრ</sub>	σ <sup>1</sup>	γ <sub>ყრ</sub>	σ <sup>1</sup>	γ <sub>ყრ</sub>	σ <sup>1</sup>	γ <sub>ყრ</sub>	σ <sup>1</sup>
S	540	8,2	500	7,9	475	7,2	460	6,7
SO - 2	560	9,9	550	9,8	490	7,7	480	7,5
SF - 4	620	12,4	595	11,3	525	8,9	505	6,2
SC - 4	595	13,3	595	13,2	525	9,1	495	7,9

### 3. დასკვნა

• შესწავლილია წმინდაფრაქციული (ქვიშა) ყვარლის ფიქლის აფუების შესაძლებლობა და აღნიშნულ პროცესზე ორგანული სახეობის დანამატების გავლენა;

• დადგინდა, რომ აფუების პროცესზე ორგანული დანამატების (ამორტიზებული ზეთი, ნახერხი, ნახშირი) გავლენა ინდივიდუალურია და ზოგადად, უწყვეტი რეჟიმით ტემპერატურის აწევისას, განაპირობებს მიღებული ფორიანი მარცვლების ნაყარი მოცულობითი წონების ზრდას;

• განისაზღვრა აფუების მაქსიმალური სიდიდის მისაღწევი ორგანული დანამატების ოპტიმალური რაოდენობა, რაც შეადგენს: ზეთი – 2%, ნახერხი და ნახშირი 3–4%;

• დადგინდა, რომ მიღებულ მასალათა სიმტკიცე კუმშვაზე მაღალია (6,7–13,3 მპა) და ის დამოკიდებულია მასალათა ნაყარ მოცულობით წონაზე და ფრაქციულობაზე, კერძოდ რაც ნაყარზე ფრაქციულობა და მეტია მასალის ნაყარი მოცულობითი წონა, მით უფრო მაღალი სიმტკიცეების მნიშვნელობები ფიქსირდება.

### ლიტერატურა

1. ზ. ჯავაშვილი, თ. ჭეიშვილი. ფორიანი არაორგანული მასალების მიღების და გამოყენების პერსპექტივა საქართველოში. ჟურნალი „ინტელექტუალი“, №28, 2005, 112-116 გვ.
2. Каменецкий С.П., Перлиты. ГИЛ по строительству и строительным материалам – М. 1963 – 280 с.
3. ნ. კაკაბაძე, ნ. ქორქაშვილი, თ. მეტონიძე. აფუებული პერლიტი და მისი გამოყენება. თბილისი, საბჭოთა საქართველო, 1966, 143 გვ.

4. Природные ресурсы Грузинской ССР т. 2 Неметаллические полезные ископаемые. Изд. АН СССР. М. 1959 – 380 с.
5. ლ. გაბუნია, ი. ქამუშაძე, ვ. შაფაქიძე, ი. გეჯაძე. აფუებული მასალების მიღება ადგილობრივი მაგმური ქანების გამოყენებით. კერამიკა, 2011, №2, 3 – 5 გვ.
6. რ. სხვიტარიძე, ე. შაფაქიძე, ი. გიორგაძე, შ. ვერულავა. თიხაფიქალშემცველი ნატანით-ყვარლის წალეკვის ეკორისკის, ხოლო მაღალეფექტური საშენი მასალების წარმოებით სიღარიბის შემცირების ხელშეწყობას, კალაპოტიდან ნატანის ამოწმენდა – გატანა – უტილიზაციის ინოვაციური ტექნოლოგიები. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „მშენებლობა“. №3 (38), 2015, 26-31 გვ.
7. თ. ჭეიშვილი, ზ. ჯავაშვილი. ყვარლის ფიქლის საფუძველზე ფორიანი მასალების მიღების შესაძლებლობების შესწავლა. კერამიკა, №2, (38), 2014, გვ. 49-52.
8. დ. ჯავაშვილი, თ. ჭეიშვილი. ადგილობრივი ბუნებრივი ქანების გამოყენებით ფორიანი მასალების მიღება და შესწავლა. სტუ-ს შრომები, №4, (498), 2015, 37-41 გვ.
9. პ. ბუნდნიკოვი, ა. ბერეჟნი, ი. ბელავინი და სხვ. კერამიკისა და ცეცხლგამძლეების ტექნოლოგია. თბილისი, განათლება, 1983.
10. Лукин Е.С., Аверианов Н.Т. Технический анализ и контроль производства керамики. М. Строиздат, 1975, 271 с.
11. ვ. სიხარულიძე, ნ. დევიძე. ლაბორატორიული სამუშაოები სამშენებლო კერამიკისა და ხელოვნური ფორიანი შემგებების ტექნოლოგიაში. სპი-ს ტიპოგრაფია. თბილისი, 1989, 48 გვ.

UDC 553. 541. 549

## STUDY OF THE SWELLING PROCESS OF FINELY-GRAINED FRACTIONS OF KVARELISHALE

T. Cheishvili, N. Omanidze

**Resume: Gool.** There are studied issues of swelling of Kvareli shale grains with up to 5 mm fraction carried out via their thermal processing at 1200°C. Experiment was conducted in relation to both natural rocks and to compositions with the involvement of shale and organic additives. Worked-out automobile oil, sawdust and culm were taken as organic additives.

**Method.** Tendency of studied materials toward swelling was assessed on the basis of bulk weight determination.

**Results.** It is established that among determining factors of swelling process of finely-grained shale fractions are: size of natural rock grains, type of additive and its quantity.

**Conclusion.** For separate types of additives of organic origin is determined the optimum quantity, which provides maximum swelling of grains.

**Key words:** shale; granulometry; organic additives; thermal processing; bulk weight.

# შ ი ნ ა ა რ ს ი

<b>გ. გაფრინდაშვილი, ს. სანაძე.</b> მხატვრული მომინანძრება ალბენითი ცეცხლის ტემპიკით (მმ-5 ხერხი) .....	5
<b>ნ. დედარიანი, ს. ნოზაძე, დ. ჯინჭარაძე, ნ. ბოკუჩავა.</b> საქართველოს გუნებრივ ნედლეულზე დამზადებული თხევადი კიბინურ-კოსმეტიკური საკონი .....	12
<b>ა. კანკაძე.</b> მცირე ბიზნესის რეგიონული განვითარების პრობლემები. მათი გადაწყვეტის გზები და საინვესტიციო გარემოს გაუმჯობესების ღონისძიებები .....	16
<b>ზ. კოფჩირიძე.</b> კერამიკულ მასალათა მქანისკური მოდულის ფორმულა .....	20
<b>ზ. კოფჩირიძე, ნ. ნიუარაძე, თ. პეტრიაშვილი, მ. ბალახაშვილი.</b> ალბილობრივი ნედლეულის გაზაზხა მაღალცეცხლბამაძე პეტონების მიღება .....	25
<b>ზ. კოფჩირიძე, ნ. ნიუარაძე, გ. ტაბატაძე, თ. ჭეიშვილი, ზ. მესტვირიშვილი, მ. მშვილდაძე, ნ. დარახველიძე.</b> კომპოზიტის მიღება მეთალეთერმული და ანოტირების პროცესებით Si- SiC-Al-ბიოპოლიმერის სისტემაში .....	33
<b>ზ. სიმონგულაშვილი, გ. ქურდაძე, მ. მიქელაძე.</b> სილიკომანბანშემის გამოდნობის პროცესში ლუმების მუშაობის ეფექტიანობის შეფასება .....	52
<b>ი. უგრეხელიძე, მ. ცინცაძე, ა. მაგერამოვი.</b> პირობალოლის ანოწარმოებულშემთან Fe(III)-ის კომპლექსნაერთების სინთეზი და კვლევა .....	57
<b>მ. ქონიაშვილი, მ. ცინცაძე, ფ. ჩირაგოვი.</b> Cu(II)-ის კომპლექსწარმოქმნა 3 – 2[ჰიღრო 3,5 დისულფოფენილაზო] 2 – 4β პენტაღიონთან მესამე კომპონენტის თანაობისას .....	61
<b>შ. ცხადაძე, ნ. კუპატაძე, დ. ტულუში, რ. ქაცარავა.</b> ნანოვირცხლის შემცველი ანტიბაქტერიული კომპოზიტები ამინომჟავური ბიოღებრაღირებადი პოლიესტერამიდების და პოლიესტერშარღოვანების საფუძველზე .....	65
<b>თ. ჭეიშვილი, ნ. ომანიძე.</b> ყვარლის ფიქლის წვრილმარცვლოვანი ფრაქციების აფუჭების პროცესის შესწავლა .....	73

# CONTENTS

<b>G. Gaprindashvili, S. Sanadze.</b> ARTISTIC ENAMELING WITH BY REDUCING FLAME TECHNIQUE (FIFTH METHOD) .....	5
<b>N. Devdariani, Kh. Nozadze, D. Jincharadze, N. Bokuchava.</b> LIQUID HYGIENIC-COSMETIC SOAP BASED ON NATURAL RAW MATERIALS OF GEORGIA .....	12
<b>A. Kankadze.</b> PROBLEMS OF SMALL BUSINESS DEVELOPMENT AND WAYS OF THEIR SOLUTION AND ACTIONS OF IMPROVEMENT OF INVESTMENT ENVIRONMENT .....	16
<b>Z. Kovziridze.</b> FORMULA OF MECHANICAL MODULE FOR CERAMIC MATERIALS 20	
<b>Z. Kovziridze, N. Nijaradze, T. Petriashvili, M. Balakhashvili.</b> OBTAINING OF HIGH-REFRACTORY CONCRETES ON THE BASIS OF LOCAL RAW MATERIAL .....	25
<b>Z. Kovziridze, N. Nijaradze, G. Tabatadze, T. Cheishvili, M. Mshvildadze, N. Daraxvelidze, Z. MestviriSvili.</b> OBTAINING OF COMPOSITE VIA METAL-THERMAL AND NITROGEN PROCESSES IN THE SIC-SI-AL-GEOPOLYMER SYSTEM .....	33
<b>Z. Simongulashvili, G. Kurdadze, M. Mikeladze.</b> DEFINITION OF EFFICIENCY OF OVENS WORK DURING MELTING PROCESS OF SILICON MANGANESE .....	52
<b>I. Ugrexelidze, M. Tsintsadze, A. Mageramov.</b> COMPLEXOFORMATION AND SPECTROPHOTOMETRIC STUDY O OF FE (III) WITH PYROGALLOL AZODERIVATIVES .....	57
<b>M. Qochiashvili, M. Tsintsadze, F. Chiragov.</b> STUADING OF COMPLEXOFORMATION OF COPPER (II) WITH 3-[2-HIDROXI-3,5-DISULPHO PHENYLAZO]PENTADION-2,4 IN THE PRESENCE OF THIRD COMPONENTS .....	61
<b>Sh. Tskhadadze, N. Kupatadze, D. Tugushi, R. Katsarava.</b> NANOSILVER CONTAINING ANTIBACTERIAL COMPOSITES ON THE BASE OF THE AMINO ACID BIODEGRADABLE POLYESTERAMIDES AND POLYESTERUREAS .....	65
<b>T. Cheishvili, N. Omanidze.</b> STUDY OF THE SWELLING PROCESS OF FINELY-GRAINED FRACTIONS OF KVARELISHALE .....	73



kompiuterul i uzrunvel yofa x. ungi aZi s  
redaqtori m. kal andaZe

## saqarTvel os keramikosTa asociacia 2007 wl idan gawevrianda keramikosTa msofi io federaciaSi

## saqarTvel os keramikosTa asociacia 2002 wl idan evropis keramikosTa asociaciis wevria

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

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

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

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

*Редакция может публиковать материалы, не разделяя точку зрения автора.*

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

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

Tbilisi, `keramika~, Vol. 19. 2(38). 2017  
masal is gadabelvdvi sas Jurnal is miTi Teba aucil ebel ia  
ТБИЛИСИ, "КЕРАМИКА", Vol. 19. 2(38). 2017  
При перепечатке ссылка на журнал обязательна  
TBILISI,"CERAMICS", Vol. 19. 2(38). 2017  
Reference of magazine is obligatory on reprinting

pirobiTi nabeWdi Tabaxi 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>

---

---