

ბიზნეს-ინჟინერინგი ქიმიასა და ფარმაციაში

ერთსაფეხურიანი ტექნოლოგიით მიღებული ცელზიანის კერამიკა

*ზვიად კოვზირიძე, სტუ-ს სრული პროფესორი
როდამ მჭედლიშვილი, სტუ-ს დოქტორანტი*

XX

ელექტროსაიზოლაციო მასალებს წაეყენებათ მაღალი მოთხოვნები მექანიკური და ელექტრული სიმტკიცის, თერმული მედეგობის, მაღალი ხვედრითი მოცულობითი ელექტრული წინაღობის, და სხვა თვისებათა მიმართ. ინდუსტრიაში გამოყენებულ კერამიკულ იზოლატორებს შორის ფაიფურის მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია [1-3]. მასალები, რომლებიც $BaO - Al_2O_3 - SiO_2$ სისტემას მიეკუთვნება გამოიყენება ელექტრონიკაში, ელექტროტექნიკაში, ცეცხლგამძლე ცემენტების, ტექნიკური მინის, ძნელლღობადი კერამიკული მასალების მისაღებად [4-5]. მასალაში ბარიუმის იონის დადებითი მოქმედება მდგომარეობს იმაში, რომ მისი დიდი რადიუსის გამო (0,143 ნმ) იგი ამკვრივებს მასალის სტრუქტურას და ამით ხელს უშლის ელექტროგამტარობას, რომელიც მცირე რადიუსის იონებით არის განპირობებული [6-7].

ამოცანას წარმოადგენდა ბარიუმის კარბონატისა და თიხურის ბაზაზე ცეცხლგამძლე, თერმიული და გაზოთერმიული დარტყმების მიმართ მედევი, მაღალი ელექტროწინაღობის მქონე ცელზიანის კერამიკის მიღება ერთსაფეხურიანი ტექნოლოგიით. ასეთი მასალის მიღების ტექნოლოგიაში გათვალისწინებულია მონოკლინური ცელზიანის წინასწარი სინთეზი $1500 - 1600^{\circ}C$ – ზე ბარიუმის კარბონატის და კაოლინის ნარევის შეცხობით. ტექნოლოგიის მეორე ეტაპზე მიღებული შენაცხობის ბაზაზე, მაღლობების დამატებით მკვრივად შემცხვარი კერამიკის მიღება განმეორებითი გამოწვით $1600 - 1650^{\circ}C$ –ზე. ჩვენს მიერ შემუშავებული ტექნოლოგიით, შემადგენლობები მზადდებოდა კაოლინის, ცეცხლგამძლე თეთრადწვადი თიხის და ბარიუმის კარბონატის ბაზაზე. ქიმიური შედგენილობები მოცემულია ცხრილში 1.

ცხრილი 1

გამოყენებული ნედლეული მასალების ქიმიური შედგენილობა, მას (%-ში)

მასალა	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	BaO	CO ₂	ს.დ
პერლიტი არაგაცის (სასომხეთი)	73,50	14,00	0,80	0,70	0,50	0,20	–	4,70	3,20	–	–	2,40
კაოლინი პროსიანაია (უკრაინა)	47,50	37,40	0,42	0,50	0,25	–	0,40	0,33	0,20	–	–	13,00
ც/ვ თიხა ვესიოლოე (უკრაინა)	46,90	37,85	0,82	0,25	0,50	–	0,95	კვალი	კვალი	–	–	12,70
BaCO ₃	–	–	–	–	–	–	–	–	–	77,70	22,30	22,30
1410°C-ზე გამომწვარი ფაიფურის ლეწი	73,40	20,90	0,40	0,80	0,15	–	0,20	2,70	1,45	–	–	–

გამოყენებული ნედლეული მასალების ბაზაზე- ლევეები ჩატარებული იქნა შერჩეულ C_6 და C_8 შემად-
მომზადდა 24 სხვადასხვა შედგენილობის მასა, გენლობაზე. ცხრილი 2.
რომელთაგან შერჩეული იქნა ორი და შემდგომი კვ-

ცხრილი 2

C_6 და C_8 მასების მატერიალური და მასალების ქიმიური შედგენილობა, მას %

ინდექსი	$BaCO_3$		კალიონი პროსიანაია (უკრაინა)			პერლიტი არაგაცის (სასომხეთი)			ც/ვ თიხა ვესიოლოე (უკრაინა)		1410°C-ზე გამომწვარი ფაიფურის ლენი
C_6	45		43			0,5			6,5		5
C_8	40		47			1			7		5
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	TiO_2	K_2O	Na_2O	BaO	ხ.დ
C_6	27,65	19,55	0,25	0,28	0,16	0,01	0,24	0,33	0,14	34,96	16,41
C_8	30,29	21,17	0,28	0,31	0,17	0,01	0,25	0,39	0,23	31,10	15,84

ტექნოლოგიურად მასა მზადდებოდა სველი
დაფქვის მეთოდით 12 სთ განმავლობაში. პირველი
ჩატვირთვა 8 სთ, ხოლო მეორე - 4 სთ. ნიმუშე-
ბი: ფილები $50 \times 50 \times 8$ მმ, კუბები 10×10 მმ და
ლეროები $l=50$ მმ, წახნაგებით $a=b=5$ მმ მომზადდა
შლიკერის გაუწყლოებით მიღებული ცომის-
გან პლასტიური დაყალიბების მეთოდით,
გამოიშრო ჰაერზე და თერმოსტატში და
გამოიწვა SiC ლუმელებში: 850, 900, 950, 1000,

1050, 1100, 1200, 1370, 1400, 1430 და 1470°C
ტემპერატურებზე შემდეგი რეჟიმით: 0 – 500°C
– 3°C/წთ; 500 – 700°C – 2°C/წთ, 700°C - 1350°C
– 5°C/წთ; 1350°C – საბოლოო ტემპერატურა -
2°C/წთ. დაყოვნება საბოლოო ტემპერატურაზე
– 40 წთ.

(1) ფიზიკური და ტექნიკური თვისებები:
მასალათა თვისებები წარმოდგენილია ცხრი-
ლში №3.

ცხრილი 3.

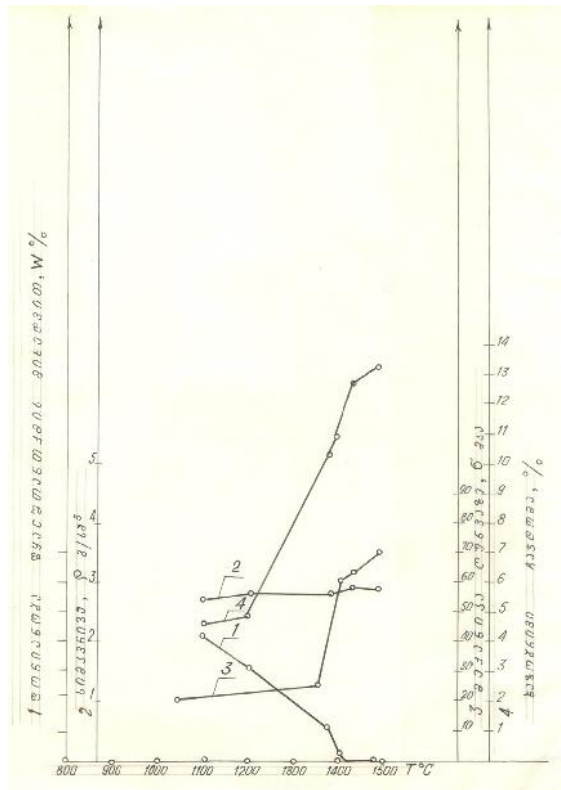
სინთეზირებულ მასალათა ფიზიკური და ტექნიკური თვისებები

მაჩვენებელი	მაჩვენებლის სიდიდე	
	C_6	C_8
გამოწვის ტემპერატურა, T°C	1430 - 1470	1430 - 1470
ფორიანობა წყალშთანქმის მიხედვით W% გამომწვარი, T°C		
1400	1,87	1,20
1430	0,13	0,14
1470	0,04	0,04
მექანიკური სიმტკიცე ლუნვაზე, დღ მპა გამომწვარი, T°C		
1400	61,40	61,70
1430	64,70	66,40
1470	70,00	74,00
მექანიკური სიმტკიცე კუმშვაზე, დკ მპა გამომწვარი, T°C		
1400	236,50	233,80
1430	412,80	410,60
1470	442,80	436,70
სიმკვრივე, P გ/სმ ³ გამომწვარი, T°C		
1400	2,81	2,78
1430	2,97	2,95
1470	3,00	3,12

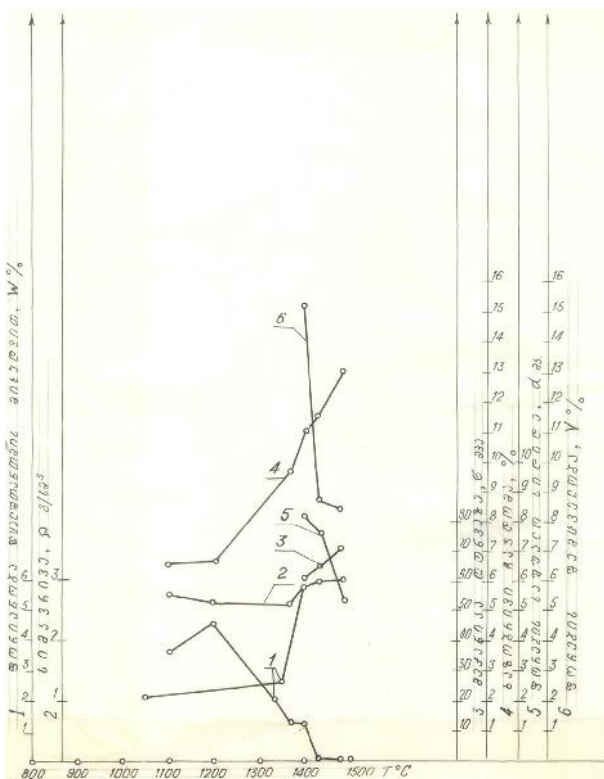
ელასტიკურობის მოდული $E, N \cdot \text{მმ}^2 \cdot 10^3$ გამომწვარი, $^{\circ}\text{C}$ 1430 1470	74,40 77,50	73,50 77,30
ძრავის მოდული $G, N \cdot \text{მმ}^2 \cdot 10^3$ გამომწვარი, $^{\circ}\text{C}$ 1430 1470	29,20 31,30	28,80 30,90
პუასონის კოეფიციენტი, μ გამომწვარი, $^{\circ}\text{C}$ 1430 1470	0,281 0,283	0,282 0,284
თბოტევადობა $C_p, \text{ჯ} / \text{კგ}^{\circ}\text{K}$ 20- 200 $^{\circ}\text{C}$ გამომწვარი, $^{\circ}\text{C}$ 1470	612	641
თბოგამტარებლობა, $\lambda, \text{ვტ} / \text{მ} \cdot \text{K}$, გამომწვარი, $^{\circ}\text{C}$ 1430 1470	1,28 2,30	1,98 2,24
ქიმიური შედგენა ისე დუილის შემდეგ, % წყლის მიმართ, NaOH (35%)	99,80 99,00	99,68 99,10
ხვედრითი მოცულობითი წინაღობა: P ომ/სმ, $^{\circ}\text{C}$ 23 100 150 200 250 300	10^{-14} 10^{-12} 10^{-11} 10^{-11} 10^{-11} 10^{-10}	10^{-14} 10^{-12} 10^{-12} 10^{-11} 10^{-11} 10^{-11}
დიელექტრიკული დანაკარგების კუთხის ტანგენსი, 1 მპკ 20 $^{\circ}\text{C}$, ტგდ. 10^{-14}	2	3
თერმიული ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი, $\alpha, 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ინტერვალში: 20-100 $^{\circ}\text{C}$ 20-900 $^{\circ}\text{C}$	2,42 4,10	2,44 4,14
თერმიული შედგენა წყლის მიმართ, $^{\circ}\text{C}$ ციკლი თერმოსტატი –წყალი (17 $^{\circ}\text{C}$) ყოველი 20 $^{\circ}\text{C}$ -ს შემდეგ. ხარკორტის მეთოდი	420	430

ყველა თვისება განსაზღვრული იქნა საერთო აღიარებული მეთოდებით. ძრავისა და ელასტიკურობის მოდული განსაზღვრული იქნა “კრაუტკრემერის” ხელსაწყოთი ულტრაბერის მეთოდით. თბოფიზიკა – “Colora” - თერმოკონდუქტომეტრზე მედეგობა თერმიული დარტყმების მიმართ ხარკორტის მეთოდით. X – ray ანალიზი DROH 3-ზე.

მორფოლოგიური ფაზური ანალიზი CAM - SCAN-ის ელექტრონული მიკროსკოპის მეშვეობით. ფორიანი ფაზის ანალიზი ჩატარდა Zeiss - Wang -ს ხელსაწყოზე.
სურ. 1 და 2-ზე წარმოდგენილია ცელზიანის C_6 და C_8 მასალათა სტრუქტურულ – მექანიკური მახასიათებლები.



სურ. 1. მეექვსე შემაღენლობის სტრუქტურულ – მექანიკური მახასიათებლები.



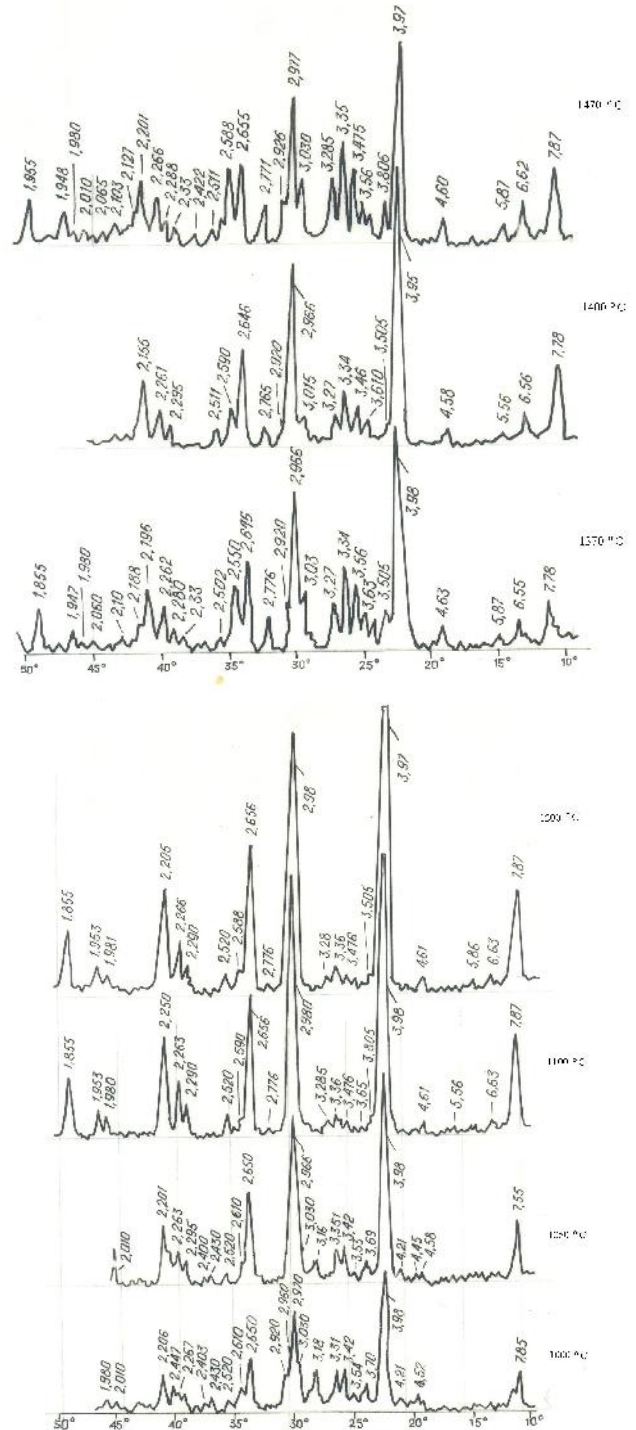
სურ. 2. მერვე შემაღენლობის სტრუქტურულ – მექანიკური მახასიათებლები

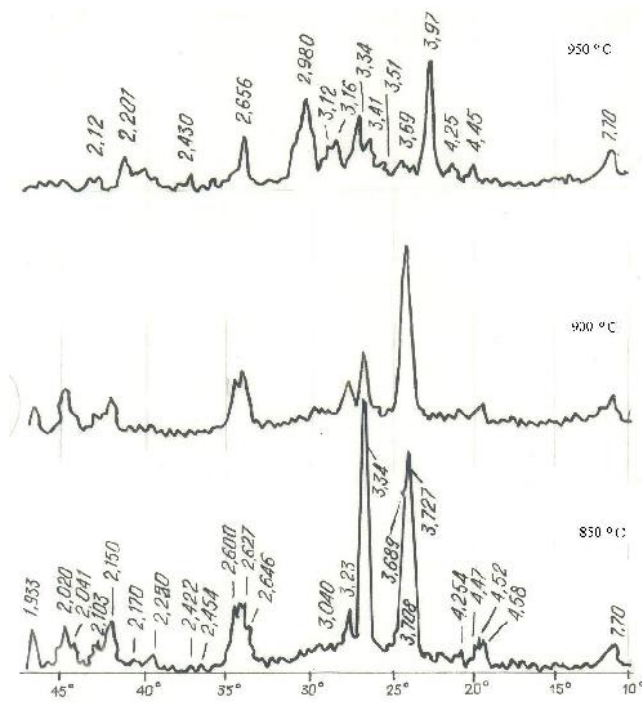
(2) ფაზური ანალიზი:

რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი ჩაკატარეთ დიფრაქტომეტრ DROH - 3 –ზე.

850°C-ზე გამომწვარი C_6 ნიმუშის რენტგენოგრა-მაზე (სურ. 3) დაფიქსირებულია $BaCO_3$ -ის დამახასიათებელი პიკები, რომელთა დიფრაქციული მაქსიმუმებია: $d_{hkl}=4,5; 4,26; 3,34; 2,62; 2,15; 2,02 \text{ \AA}^0$.

900°C-ზე გამომწვარი ნიმუშების რენტგენოგრა-მაზე შეტყობილებულია $BaCO_3$ -ის დამახასიათებელი პიკების ინტენსივობა.





სურ. 3. მეექვსე შედგენილობის რენტგენოგრამები

950°C-ზე დაფიქსირებულია ახალი ფაზა – ციპრიტი $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

$d_{\text{hkl}} = 7,70; 3,97; 2,98; 2,6; 2,20 \text{ \AA}$ და რენტგენომორფული ფაზა. 1000°C-ზე ასევე დაფიქსირებულია ციპრიტი $d_{\text{hkl}} = 7,87; 3,98; 2,99; 2,65; 2,20 \text{ \AA}$ და აღსანიშნავია, რომ ბევრად უფრო ინტენსიურად, ვიდრე 950°C-ზე, რაც ნიშნავს იმას, რომ იგი წარმოიქმნა მეტი რაოდენობით. ერთდროულად გამოჩნდა ცელზიანის-- $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ რეფლექსები:

$d_{\text{hkl}} = 3,41; 3,36; 3,03 \text{ \AA}$.

1050°C-ზე გამოძვარი ნიმუშების რენტგენოგრამაზე კიდევ უფრო გაზრდილი პიკებია, დამახასიათებელი ციპრიტისათვის ვიდრე 1000°C-ზე. ცელზიანის დამახასიათებელი დიფრაქციული მაქსიმუმების ინტენსივობა ამ ტემპერატურულ ინტერვალში უცვლელია. ცელზიანი 1100°C და 1200°C იმავე რაოდენობით და ინტენსივობით აღინიშნება როგორც 1000°C-ზე (სურ.3)

1370°C-ზე მნიშვნელოვნად შემცირდა ციპრიტის $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ დამახასიათებელი ხაზების ინტენსივობა (სურ.3) და შესაძინევად იზრდება ცელზიანის რეფლექსები: $d_{\text{hkl}} = 6,55; 5,87; 4,63; 3,63; 3,56; 3,34; 3,27; 3,03; 2,92; 2,76 \text{ \AA}$.

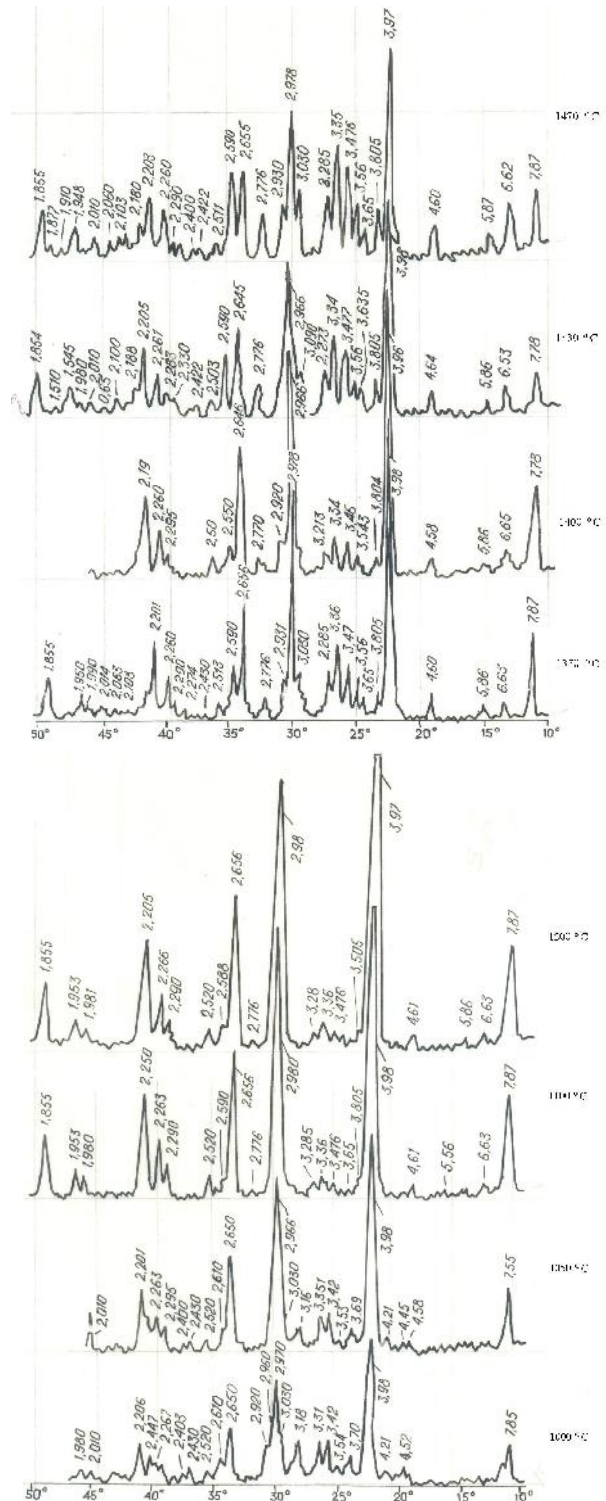
1400°C-ზე ცელზიანი იმავე ინტენსივობითაა, როგორც 1370°C-ზე.

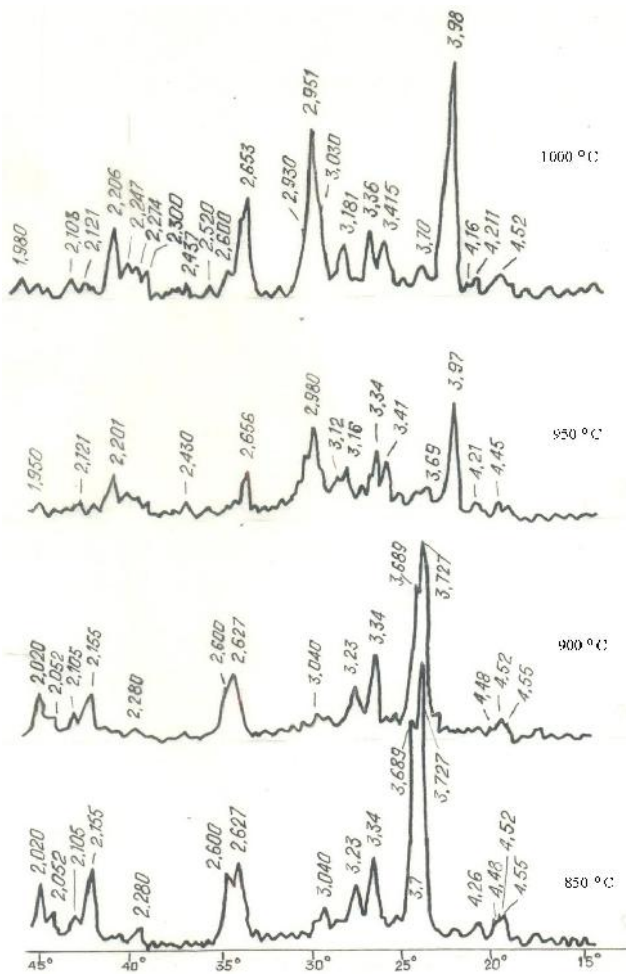
1470°C-ზე ციპრიტის ინტენსივობა იგივეა, როგორც 1370°C ცელზიანის პიკები გაიზარდა: $d_{\text{hkl}} = 6,62; 5,87; 3,80; 3,56; 3,47; 3,35; 2,77; 2,58 \text{ \AA}$.

850°C-ზე გამოძვარი C_6 ნიმუშის რენტ-

გენოგრამაზე (სურ. 4) დაფიქსირებულია BaCO_3 -ის დამახასიათებელი პიკები, რომლის დიფრაქციული მაქსიმუმებია: $d_{\text{hkl}} = 4,58; 4,25; 3,7; 3,68; 3,34; 3,23; 2,62 \text{ \AA}$. 900°C-ზე შემცირებულია BaCO_3 -ის დამახასიათებელი პიკების ინტენსივობა. 950°C-ზე, ამ შემთხვევაშიც როგორც C_6 ში დაფიქსირებულია ციპრიტი- $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $d_{\text{hkl}} = 7,70; 3,97; 2,98; 2,65; 2,20 \text{ \AA}$.

შეინიშნება რენტგენომორფული ფაზა.





სურ. 4. მერვე შედგენილობის რენტგენოგრამები

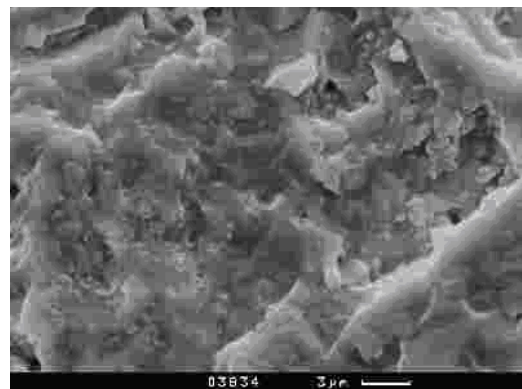
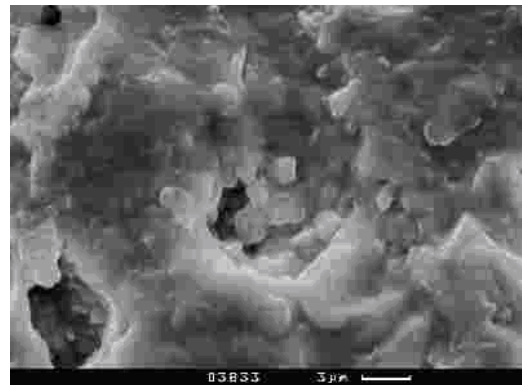
1000°C-ზე; 1050°C; 1100°C და 1200°C-ზე გამოძვარი ნიმუშების რენტგენოგრამაზე ციმბრის დამახასიათებელი პიკები კიდევ უფრო გაზრდილია, ხოლო ცელზიანის რაოდენობა იგივეა: $d_{hkl}=3,47; 3,36; 3,28; 3,03; 2,76; 2,52 \text{ Å}$ (სურ. 4).

1370°C-ზე 1400°C გამოძვარი ნიმუშების რენტგენოგრამაზე მნიშვნელოვნად შემცირდა ციმბრის დამახასიათებელი ხაზების ინტენსივობა და შესაძლებელია იზრდება ცელზიანის პიკების ინტენსივობა: $d_{hkl}=6,55; 5,87; 3,80; 3,65; 3,56; 3,47; 2,28 \text{ Å}$.

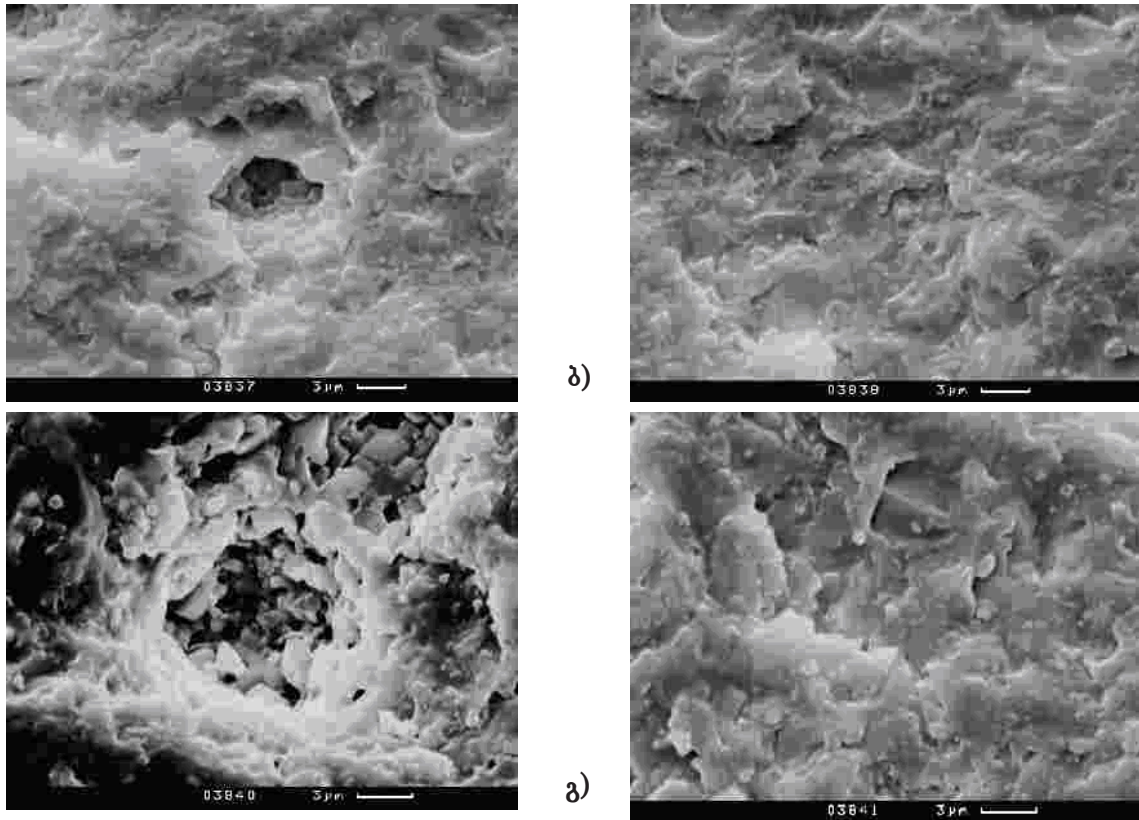
1430°C-ზე 1470°C-ზე ციმბრის ინტენსივობები ერთი და იგივეა, ხოლო ცელზიანის პიკები გაიზარდა $d_{hkl}=6,62; 5,87; 3,80; 3,56; 3,47; 3,35; 3,28 \text{ Å}$.

ელექტრონულ – მიკროსკოპული ანალიზი ჩატარდა C_8 შედგენილობის მასალაზე. შერჩეულ იქნა 1400°C, 1430°C-ზე და 1470°C –ზე გამოძვარი ნიმუშები. ყველა შემთხვევაში გადიდება იყო X 4000. თითოეულ ტემპერატურულ ნიმუშზე შესწავლილი იქნა ორ-ორი უბანი – სურ.5 სამივე შემთხვევაში დაფიქსირდა კრისტალური წარმონაქმნები, რომლებიც შედარებით გამოკვეთილია 1430°C-ზე და 1470°C –ზე გამოძვარი ნიმუშებში.

აქ აშკარაა მასაში ცელზიანის და ციმბრის რაოდენობრივი უპირატესობა ბარიუმის ალუმინატებთან და სილიკატებთან შედარებით, რომელთა მასობრივი პროცენტული შემცველობა მინიმალურია და X – ray ანალიზის მიხედვით არ უნდა აღემატებოდეს 1-3 მას %-ს. მთლიანი მასა გადაფარულია ცელზიანის და ციმბრის კრისტალებით. ასევე არ არის გამოკვეთილი მულიტის და კვარცის კრისტალები. სავარაუდოდ მულიტი ფურცლოვანი და არა ნემსისებური ფორმისაა, გადაფარულია უპირატესი კრისტალური მასით – ცელზიანით და ციმბრით, კვარცის და მულიტის შემცველობა მეტად მცირე – სავარაუდოდ 1-2%-ით. ამიტომ მათი პიკები რენტგენოგრამებზე მხოლოდ ერთი რეფლექსით $d_{hkl}=3,34$ და $2,20 \text{ Å}$ შესაბამისად აღინიშნება და ისიც არა ყველა ტემპერატურაზე 950°C –ზე. ვფიქრობთ, რომ ბარიუმის კარბონატის ნაწილობრივი დაშლის პროცესში გამოთავისუფლებული BaO მოიხმარს როგორც ახლადწარმოქმნილ მულიტს და არ აძლევს მას განვითარების საშუალებას. BaO ასევე მოიხმარს თიხურით შემადგენლობაში შეყვანილ კვარცს ცელზიანისა და ციმბრის წარმოქმნით. სამივე ნიმუშზე აშკარად შეინიშნება ფორები, რომლებშიც განთავსებულია ცელზიანის და ციმბრის კრისტალები. ბოლო 1470°C –ზე გამოძვარი ნიმუშში ნათლად ჩანს ფორას შევსების პროცესი კრისტალების ზრდის ხარჯზე, რაც დიფუზიური პროცესებით უნდა იყოს განპირობებული.



ა)

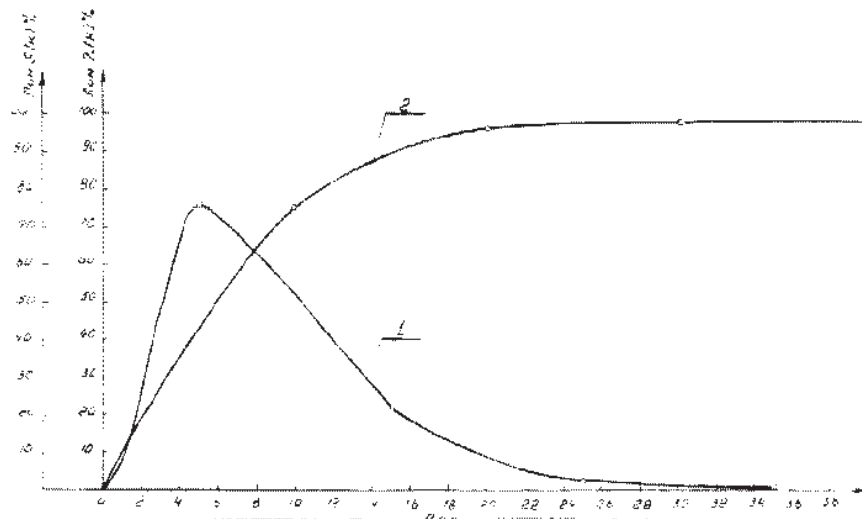


სურ.5. C_8 მასალის ელექტრონულ – მიკროსკოპიული სურათები გამოშვარი: ა)1400°C; ბ)1430°C; გ)1470°C X 4000.

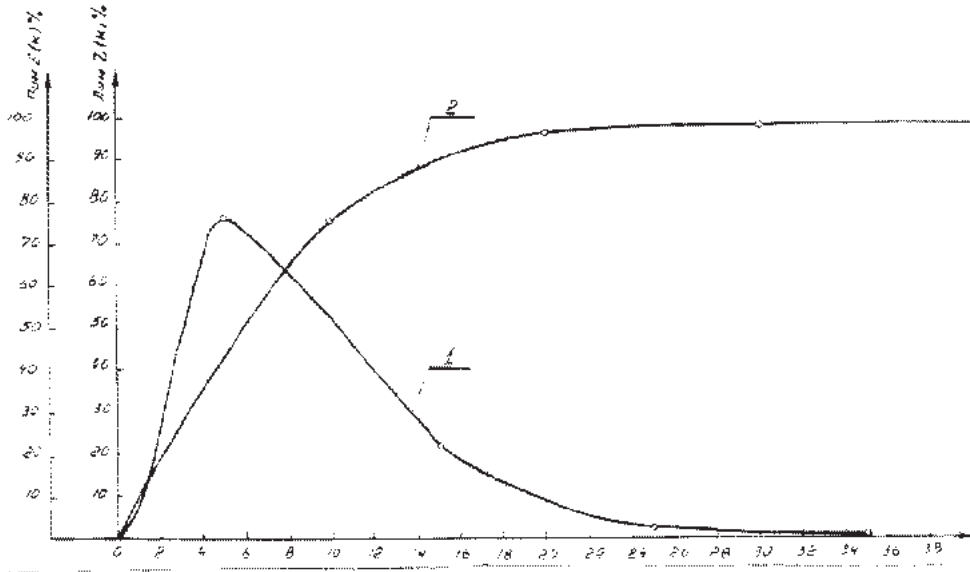
(3) ფორიანი ფაზის ანალიზი:

თერმიული დაბეჭადებით ნედლეული მასალის ნარევის შეცხოვის და გამკვერევის პროცესში კერამიკის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია ფორიანობის სიდიდის რაოდენობრივი განსაზღვრა. ტექნოლოგიური პროცესების და კონგლომერატში ნედლეული მასალების გარდაქმნების მიხედვით ფორებს აქვთ სხვადასხვა ფორმა, ამასთან მათი გადანაწილება მატრიცაში მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მზა

პროდუქტის მთელ რიგ თვისებებზე [8-15, 16] შესწავლილ იქნა C_8 მასალის ფორიანი ფაზის ანალიზი 1400°C, 1430°C და 1470°C – ზე გამოშვარი ნიმუშებისათვის - სურ. 6-7. სურ. 6-ზე მოცემულია მატრიცაში ფორების ზომებისა და მათი გადანაწილების მდგომარეობა, ხოლო სურ.7-ზე დახურული ფორიანობის ხაზობრივი ანალიზი, ფორების სიხშირისა და ფორიანობის ჯამური სიხშირის მიხედვით.



სურ.6. ფორების სტრუქტურა C_8 კერამიკაში შეცხოვის ინტერვალის სხვადასხვა ტემპერატურაზე.



სურ.7. C_8 კერამიდის დახურული ფორიანობის საზოგადოებრივი ანალიზი: 1 – ფორების სიხშირე; 2 – ფორიანობის ჯამური სიხშირე.

ანალიზი შესრულებულია C_8 მასალის მკვრივი შეცხობის ინტერვალში. ფორების განაწილების მრუდი აჩვენებს, რომ მასალა შეიცავს 75%-მდე ფორებს ზომით ნაკლები 5 მკ-ზე. ჯამური მრუდი გვიჩვენებს, რომ 14 მკ-ზე ნაკლები ფორების წილი 95%-ია. შეცხობის ბოლო სტადიაზე - 1470°C -ზე მასალა შეიცავს მთლიანი ფორების დაახლოებით 70%-ს ზომით ნაკლებს 4 მკ-ზე (1 მრუდი) და 90%-მდე ზომით ნაკლებს 12 მკ. მხოლოდ ფორიანობის მთლიანი შემცველობის 5 და 10%-ს შესაბამისად შეცხობის დასაწყის და საბოლოო სტადიაზე აქვთ ზომები მეტი ოპტიმალურზე - 9 მკ-ზე - ბუდვორტის მიხედვით.

(4) შედეგები და მათი განსჯა:

ჩვენ მიერ სინთეზირებული მასალები წარმატებით უნდა მუშაობდნენ თერმული და გაზოთერმიული დარტყმების წინააღმდეგ. რაოდენობრივი შეფასება მედეგობისა თერმოდარტყმების მიმართ, ძირითადად ითვალისწინებს დრეკად სხეულში წარმოქმნილი პირველი რიგის თერმოდრეკადი დაძაბულობების მიმართ წინააღმდეგობის განსაზღვრას. როგორც ცხრილი 3-დან ჩანს, მასალას აქვს საკმაოდ მაღალი მექანიკური თვისებები და დაბალი საზოგადოებრივი გაფართოების კოეფიციენტი. ამას დიდი მნიშვნელობა აქვს, რათა სამსახურის რთულ პირობებში წარმოქმნილი ტემპერატურული დაძაბულობები აღმოჩნდეს დაბალი ამ თვისებებზე და მასალამ გაუძლოს თერმოდარტყმებს [7]. ამასთან საკმაოდ მაღალია ძრავ-

ბისა და ელასტიკურობის მოდული, რაც მიუთითებს მასალაში ძლიერი ატომთაშორისი კავშირების არსებობას [8], ამას შეუძლია განაპირობოს მასალის მაღალი წინააღმდეგობა ბზარების ჩასახვის და მათი გავრცელების მიმართ. ეს შეიძლება გამოყენებულ იქნეს კერამიკის შეფასებისას, იმსახუროს მაღალი გრადიენტების და ტემპერატურების პირობებში.

ჩვენს მიერ სინთეზირებული მასალებისათვის, გამოვიყენეთ ხარკორტის მეთოდი, რომელიც ითვალისწინებს თბოგადაცემას წყლით გაციებით. ციკლური გახურება იწყებოდა 140°C -ზე, გაჩერებით ბოლო ტემპერატურაზე 20 წთ ტემპერატურის გათანაბრებისათვის სხეულში, შემდგომი გაცივებით წყლის ვანაში 17°C -ზე 10 წთ-ის განმავლობაში. ციკლი მეორედებოდა ყოველი 20°C -ს შემდეგ. ფილებზე 420°C -მდე ბზარები არ შეიმჩნეოდა. ასეთი მაღალი მაჩვენებელი განპირობებული იყო არა მარტო თვისებებით, არამედ მასალაში შედარებით მაღალი დახურული ფორიანობით, რომელიც ჩვენი ვარაუდით ხელს უწყობს დაძაბულობების და წარმოქმნილი ბზარების ენერგიის დისიპაციას ფორებში და ამ ენერგიის არა მაგისტრალურ არამედ დენდრიტულ გაშლას, რაც მასალის მედეგობას ხელს უწყობს [6]. ამას გარდა, მაღალი თერმომედეგობა მასალისა განპირობებულია იმითაც, რომ დანამატები მინისებური (96 მას %) პერლიტისა ხელს უწყობს მონოკლინური ცელზიანის წარმოქმნას [7], რომელიც თავისუფალია

პოლიმორფული გარდაქმნებისაგან და გამოირჩევა მკვრივი და ერთგვაროვანი სტრუქტურით, მაღალი მექანიკური და ელექტრული სიმტკიცით.

შესწავლილია მატრიცული თვისებები ფორიანი ფაზის მიხედვით – ცხრილი 4.

ცხრილი 4.

C₈ მასალის მატრიცული თვისებები

ტემპერატურა, °C მაჩვენებელი	1400	1430	1470
ფორების საშუალო სიდიდე, d მკ	8,1	7,6	5,3
ფორების შორის საშუალო მანძილი მატრიცაში, l მკ	49,6	93,1	97,8
ფორების შემცველობა, V%	15,2	8,7	8,5

როგორც ბუდვორტმა გვიჩვენა, ყოველ სინთეზირებულ მასალაში, საერთო ფორიანობა დაახლოებით 9%-ია და ისინი მნიშვნელოვნად მოქმედებენ მასალათა ფიზიკურ და ტექნიკურ თვისებებზე [9]. ჩვენ მიერ სინთეზირებული მასალების საერთო ფორიანობა, როგორც ცხრილი 4 – დან ჩანს ეთანადება ბუდვორტის მონაცემებს.

მონაცემებიდან ჩანს, რომ შეცხოების პროცესი მიმდინარეობს სწორი რეჟიმით. დინამიურად იზრდება ფორებს შორის საშუალო მანძილი მატრიცაში და მცირდება მათი საერთო მოცულობა, რაც გამოიხატება სიმკვრივის და მექანიკის ზრდაში. ელექტრული თვისებები აღწევს თავის მაქსიმუმს - ცხრილი 3. ფორებს აქვთ მომრგვალებული ფორმა. ის ფაქტი, რომ მკვრივი შეცხოების - 1430°C – თან ახლო ტემპერატურაზე - 1400°C – ზე მასალაში მაღალი საერთო ფორიანობაა, გამოწვეულია იმით, რომ 1400°C – ზე მიმდინარეობს ბარიუმის კარბონატის ძირითადი მასის დაშლა [6]. ამ ტემპერატურის ზევით მიმდინარეობს მასალის ინტენსიური შეცხოება. X – ray ანალიზმა გამოავლინა ცელზიანის მიღების ტექნოლოგიაში დღემდე უცნობი კრისტალური ფაზა – ციმრიტი, რაც ჩვენი აზრით ბარიუმის კარბონატის შეყვანით ნარევეში, პირდაპირი გზით – წინასწარი გახურების გარეშე უნდა იყოს განპირობებული. კარბონატის ნაწილობრივი დაშლის შედეგად უკვე 950°C – ზე წარმოიქმნება სრულიად ახალი ფაზა - ციმრიტი, რომელიც თავისი სრულყოფილი მონოკლინური [19-23] სტრუქტურის გამო, ხელს უნდა უწყობდეს მკვრივი მასალის მიღებას.

950°C – დან გამოთავისუფლებული ბარიუმის ჟანგი, მოიხმარს კალინიტის ნარჩენს და მეტ – ნაკლები მონაცვლეობით, ტემპერატურის

აწვეის პროცესში წარმოიქმნება ცელზიანის და ციმრიტის ფაზა (სურ. 3-4) რაც დასტურდება ელექტრონულ – მიკროსკოპიული კვლევებით (სურ.5) ჩვენს მიერ სინთეზირებულ მასალებში პროცეს, რომელსაც მიყავს მასალა შეცხოვამდე, წარმოდგენილია შეცხოვით თხიადი ფაზის თანხლებისას, რომელიც რეაგირებს მყარ ფაზასთან. აქ გარკვეული როლი ენიჭება მინისებურ პერლიტს, რომლის შეცხოების ტემპერატურაა 1130°C, ხოლო ლღობის - 1240°C. მისი მცირე დანამატები 0,5-1,5 მას %, ხელს უწყობს მასალაში მინისებური ფაზის 2-8 მას %-ით წარმოქმნას. ფუნდამენტურმა კვლევებმა კერამიკულ სისტემებში აჩვენეს, რომ გამკვრივების პროცესის სწრაფი და სრული მიმდინარეობისათვის აუცილებელია თხიადი ფაზის გარკვეული რაოდენობა, შესაძენევი ხსნადობა მყარი ფაზისა თხევადში და თხიადი ფაზით მყარი ფაზის სრული დასველება. [24]

ჩვენი აზრით ეს პროცესი მიმდინარეობს ჩვენ მიერ სინთეზირებულ მასალებში [25,26].

მიღებულია ცელზიანის კერამიკა ერთსაფეხურიანი ტექნოლოგიით. ტექნოლოგიიდან მთლიანად ამოღებულია ბარიუმის და კალინის ბაზაზე შენაცხოვის მიღება 1500-1600°C ტემპერატურაზე, ხოლო კერამიკის სინთეზის ტემპერატურა არსებული ტექნოლოგიის მეორე საფეხურთან შედარებით შემცირებულია 80-100°C-ით, რაც საერთო ჯამში მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ეფექტს განაპირობებს. მასალაში გამოვლენილია ახალი ფაზის – ციმრიტის შემცველობა, რომელიც თავისი კარგი სტრუქტურული, მექანიკური, თერმიული ელექტრული თვისებების გამო ხელს უწყობს მიღებული პროდუქტის მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების შენარჩუნებას. დადგენილია მიღებული მასალის სტრუქტურის კავშირი მის ფიზიკურ და ტექნიკურ თვისებებთან.

მიღებული ცელზიანის კერამიკა მისი საექსპლუატაციო თვისებების გათვალისწინებით წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ელექტრონიკისა და ელექტროტექნიკის ინდუსტრიაში.

მადლიერება: გვინდა მადლობა გადავუხადოთ გვრ ბრემენის უნივერსიტეტის კერამიკული მასალებისა და ნაკეთობების კათედრას, ასევე კლაუსტალის ტექნიკური უნივერსიტეტის არამეტალური მასალების ინსტიტუტს ექსპერიმენტის ჩატარების პროცესში გულისხმიერი დამოკიდებულებისა და თანადგომისათვის.

ლიტერატურა

- Schwiete H.E., Miiller-Hesse H., Planz J.E. Investigation of the $\text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ sistem with the aid of infrared spectroscopy. "Forschungsber", 1961, 1998, p. 170
- Гинзбург А.С. О некоторых искусственных бариевых алюмосилкатах Изд. Тетраградского политехнического института 1915, т.23, вып. 1, с. 207.
- Ивухина А.К., Панова Я.И. О некоторых свойствах гексагонального цельзиана, полученного методом Вернейля - "кристаллография", 1964, т. 9, вып. 4, с. 560.
- Nadachowski. Some experiments on the refractory barium aluminate cement. - "Silicates Industrie", 1962, vol.27, 1 & - *, p.355
- Г. Н. Масленникова, Ф. Яхаритонов-Электрокерамика, стойкая к термоударам. Москва "Энергия" 1977, с. 9-10, 11-18. 163- 175.
- Богородицкий Идр. - Керамика на основе цельзиана - "Вопросы радиоэлектроники", 1961, серия 3, вып. 6, с. 114.
- Кингери У.Д. - Введение в керамику. Стройиздат, Москва 1964.
- Krockel O. - Der einflub der Porositat auf die mechanisch Festigkeit voh keramischen Werkstoffen. Silikattechnik 23, 1972, 3 s. 83-87.
- Stabenow R., Hehhicke H.W. - Untersuchung zum Phasenaufbau, Gefuge und mechanischen Eigenschaften von Toherdeporzellan. Ker. Zeitschv.
- 12 Scholze H., Kausku W. - Blaschverteilung in Povzellanglasuren. Ker. Zeitschr. 20.112, 1968
- Hestner I., Scholze H. - Massenspektrometrische Untersuchungen zum Einflub der Brennatmosphare auf die Blasenbildung in Porzellan-glasuren. Ber Dk G. 49, 1972, 1. 357-362
- Dudrova E., Kubelik I. - Influence of Sintering Conditions upon the porosity and the strength of compacts. Powder Met, 3, 1979 4, 1. 183-185.
- Oel H.J. - Das sintern vos Glasern als Auswirkung von zahigkat und Oberflachenspannung Ber. DKG 37, 1960, 9, s. 424-428.
- Helga Gollisch - Szibov - Zum Zusammensetzung der gefugedaten und Mechanischen Eigenschaften von Povzellan. Dis zur Erlengung des Grades eines Doktor Ingenieur 1979 april TU Clausthal s. 3-117.
- W. Kollenberg - Technische keramik, Vulkan - Verlag Essen, s 54-58.
- Carron, M. K., M. E. Mrose, and A.N. Reiser (1964) New data on cymrite, a hydrated silicate of barium and aluminum. (abstr) . Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 82,26.
- Seki, Y. and G.C. Kennedy (1964a) Phase relations between cymrite, $\text{BaAlSi}_3\text{O}_8(\text{OH})$. and celsian, $\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Amer. Mineral. 49, 1407-1426. - (1964b) The breakdown of potassium feldspar, KAlSi_3O_8 , at high temperatures and high pressures. Amer. Mineral. 49, 1407-1426.
- Smith, J. V. (1965) X - ray emission microanalysis of rock-forming minerals: I. Exsperimantal Techniques. J. Geol. 73, 6, 830-864.
- Smith, W.C., F.A. Bannister, end M. H. Hey (1949) cymrite, a new barium mineral from the Benallt manganese mine, Rhiw, Carnarvonshire, Mineral Mag. 28, 206, 676-681.
- ზ.დ. კოვზირიძე დისერტაცია ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორის ხარისხის მოსაპოვებლად "ბარიტისა და პერლიტის გამოყენებით ცელზიანის და ალუმოსილიკატური კერამიკის მიღების სამეცნიერო საფუძვლებისა და ტექნოლოგიის დამუშავება "თბილისი" 1993 საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, გვ. 83-150.
- რ. მჭედლიშვილი, გ. ღონაძე, თ. ჭეიშვილი, ზ. კოვზირიძე, Study of electrical properties of celsian ceramics produce with single - stage technology ceramics, journal of the Georgian Ceramicts AssoCiation 1 (27) . 2012, Tbilisi, Georgia p 41-47.
- რ. მჭედლიშვილი, ი. ბერძენიშვილი, ზ. კოვზირიძე. Thermodynamic analysis of high - temperature behavior of the system $\text{BaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$