

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ზაზა ჯავაშვილი

**ყვარლის ფიჭლის საფუძველზე ფორიანი
მასალების მიღება და მათი თვისებების
შესწავლა**

სადოქტორო პროგრამა „ქიმიური – და ბიოლოგიური ინჟინერია“
შიფრი – 0410

დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი
2016 წ

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის
ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი
სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფესორი **თეიმურაზ ჭეიშვილი**

რეცენზენტები: _____

დაცვა შედგება ----- წლის ”-----” -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სხდომაზე,
კორპუსი -----, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი პროფ.

ზ. გელიაშვილი

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა: ფორიან არაორგანულ მასალებს განსაკუთრებული ადგილი უკავიათ ისეთ სამრეწველო დარგებში, როგორცაა სამშენებლო საქმე, თბოტექნიკა, აგროტექნიკა, ქიმიური მრეწველობა და სხვა. მათი გამოყენების სფეროების და სპეციფიკის განმსაზღვრელი წინაპირობა მათ თვისებრივ მაჩვენებლებშია. ესენია: დაბალი მოცულობითი წონა (სიმსუბუქე), საჭირო (მოთხოვნადი) სიმტკიცე, დაბალი თბოგამტარობა, მდგრადობა წყლის და სხვა რეაგენტებთან მიმართებაში, შერჩევითი ადსორბციული და აბსორბციული უნარი და ა.შ.

ფორიანი მასალების გამოყენების სფეროები საკმაოდ ფართოა და ასევე მრავალფეროვანია მათი კლასიფიკაცია გამოყენების სფეროებთან, თვისებებიდან და ფიზიკური მდგომარეობიდან გამომდინარე. ასეთი სახის მასალების კლასიფიკაციაში დამატებით გამოყოფენ იმ სანედლეულო ბაზას, რომლისაგან მიღებული იქნა ფორიანი მასალა.

სანედლეულო ბაზის მიმართებაში საგულისხმოა ის გარემოება, რომ არაორგანული ფორიანი მასალის მიღება შესაძლებელია მრავალი სახის ნედლეულიდან – ბუნებრივი ქანებიდან და ტექნოგენური ნედლეულიდან. მიუხედავად არსებული პროგრესისა, მაღალი ფორიანობით გამორჩეული მასალების მიღების ახალი პრინციპების ძიება დღემდე გრძელდება. მიმდინარე მომენტის ძირითად ამოცანად მიჩნეულია ფორიანი მასალების წარმოების სფეროში მაქსიმალურად შესაძლებელი მოცულობით საწარმოო ნარჩენების და არამადნეული წიაღისეულის გამოყენება, რაც საბოლოო ჯამში ტექნოლოგიური ნედლეულის სამრეწველო ბაზის ზრდას განსაზღვრავს.

საქართველოში მოიპოვება მრავალი სახის ბუნებრივი მასალა, რომლებიც პერსპექტიულია მათგან სამრეწველო, აგრარული, სამედიცინო და სხვა დარგში გამოსაყენებელ ფორიან მასალათა მისაღებად. ასეთ მასალებს

შეიძლება მიეკუთვნოს ისეთი მინისებრი ან/და კრისტალური ბუნების წყალშემცველი ქანები, როგორცაა პერლიტები, ობსიდიანი, თიხების რიგი სახეობა და სხვა. მათგან ფოროვანი თბოსაიზოლაციო, აკუსტიკური, ცეცხლგამძლე მსუბუქი ნაკეთობის და სხვა ნაწარმის მიღება ძალზე პერსპექტიულად არის მიჩნეული. გამოყენების სფეროთა მრავალფეროვნება, ნედლეულის ხელმისაწვდომობა, ნედლეულის მომზადების და პროდუქტის მიღების ტექნოლოგიური „მოკლე“ ციკლი, დანადგარების და მათი ექსპლუატაციის სიმარტივე და ა.შ. წინაპირობას ქმნის ასეთი ნედლეულის ფართო გამოყენებისათვის.

ბოლო წლებში აქტიურად განიხილება ყვარლის ადგილმდებარეობის ფიქლების გამოყენების საკითხი თბოსაიზოლაციო, საამშენებლო, კერამიკული, მინისებრი და სხვა სახის ნაწარმის მისაღებად. ამ მიმართულებით ძირითადი აქცენტები გატანილია ფიქლის შემცველ კომპოზიციათა მიღებისა და თვისებების შესწავლაზე, მაგრამ ნაკლები ყურადღება ექცევა ფიქლის, როგორც ნედლეული მასალის ინდივიდუალურ თვისებათა გამოკვლევას, რაც აუცილებელია მისი, როგორც სამრეწველო ნედლეულის, პერსპექტიულობის განსაზღვრისათვის.

აღნიშნული მიმართულებით ჩვენს მიერ დაიგეგმა ყვარლის ფიქლის შესწავლა და მისი ტექნოლოგიურობის დადგენა ისეთი მასალების მისაღებად, როგორცაა ფორიანი მასალები. აღნიშნული საკითხის გადაწყვეტა, გარდა მოსალოდნელი ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტისა, ეკოლოგიური ხასიათი მნიშვნელობასაც იძენს.

ჩვენს მიერ განხორციელებული ექსპერიმენტული კვლევით დადგენილ იქნა გახურებით მიღწეული ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესის ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები (აფუების ტემპერატურული ინტერვალი და ხანგრძლივობა) და მასალის გრანულომეტრიის გავლენა მისი აფუების ხარისხზე. განისაზღვრა აფუებული მასალის ისეთი თვისებები, როგორცაა

ნაყარი წონა (მოცულობითი სიმკვრივე ანუ მარკა), ჰიგროსკოპულობა, წყალშთანთქმა, ტემპერამედეგობა, სიმტკიცე კუმშვაზე და შესწავლილ იქნა აფუებული ფიქლის სტრუქტურული მოწყობა (ფორების სახეობა), რის საფუძველზე გაკეთდა დასკვნა მისი სამრეწველო გამოყენების სფეროებთან მიმართებაში. დამუშავდა რეკომენდაციები ყვარლის ფიქლიდან აფუებული მასალის მიღების საწარმოო ტექნიკურ-ტექნოლოგიურ გადაწყვეტასთან და ამოცანის პრაქტიკულ განხორციელებასთან მიმართებაში. მიჩნეული იქნა, რომ ტექნოგენური ხასიათის ბუნებრივი ქანის-ყვარლის ფიქლის სამრეწველო გადამუშავება ხელოვნურ აფუებულ მასალაში ხელს შეუწყობს საქართველოს სამრეწველო სანედლეულო ბაზის გაფართოებას და ახალი დარგების განვითარებას, ყვარლის რეგიონში არსებულ ეკოლოგიური პრობლემის მოგვარებას.

სამუშაოს მიზანი: სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს ყვარლის ფიქლის, როგორც პერსპექტიული სამრეწველო დანიშნულების ტექნოლოგიური ბუნებრივი ნედლეულის შესწავლა და მისგან აფუებული მასალების მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრების დადგენა, ბუნებრივი ქანიდან თერმული დამუშავებით მიღებული ფორიანი მასალების თვისებათა შესწავლა და მათი წარმოება-გამოყენების მიმართებაში პრაქტიკული რეკომენდაციების შემუშავება.

კვლევის ძირითადი ამოცანები:

– დადგინდეს ყვარლის ფიქლის თერმული დამუშავებისას მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიურ გარდაქმნათა ხასიათი და მისი ფრაქციულობიდან გამომდინარე აფუების პროცესის ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრები (ტემპერატურა, დრო);

– შესწავლილ იქნას აფუებული მასალების მახასიათებელი თვისებები და დადგინდეს მათზე ფორიანი მასალების ფრაქციულების გავლენა, ფორიანი

მასალების შემდგომი პრაქტიკული ფუნქციონალური გამოყენების განსაზღვრისათვის;

– შეირჩეს ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესის განხორციელების ეფექტური ტექნოლოგია და ჩამოყალიბდეს მისი პრაქტიკულად განხორციელების გზები;

– გაიცეს რეკომენდაციები ყვარლის ფიქლიდან მიღებული აფუებული მასალის გამოყენების შესაძლო სფეროებთან მიმართებაში.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა ყვარლის რეგიონში, მდ. დურუჯის ხეობაში კლდოვანი ქანების ბუნებრივი ეროზიის შედეგად წარმოქმნილი ე.წ. ყვარლის ფიქალი – სილიკატური ბუნების და რთული შედგენილობის მასალა.

კვლევის მეთოდები: ყვარლის ფიქლის, როგორც არაორგანული მყარი ბუნებრივი ქანის და მისი თერმული დამუშავებით მიღებული ფორიანი მასალების, შესწავლა განხორციელდა ტექნიკური ანალიზის, არაორგანული აფუებული მასალათა მახასიათებელ თვისებათა შესწავლისას გამოყენებული სტრუქტურული და ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებათა კვლევის მეთოდების გამოყენებით.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე: ყვარლის ფიქლის და მისგან თერმული დამუშავებით მიღებული პროდუქტის-ფორიანი მასალების შესწავლა თერმული, რენტგენოფაზური და პეტროგრაფიული ანალიზის მეთოდებით. ყვარლის ფიქლის და ხელოვნურად მიღებული ფორიანი მასალის მარცვლების ზომის გავლენა მათ მახასიათებელ თვისებებზე (ნაყარი წონა, წყალშთანთქმა, სიმტკიცე კუმშვაზე და ა.შ.) და აფუების პროცესის ოპტიმალური ტექნოლოგიური პარამეტრების დადგენა. შესწავლილ იქნა აფუებული მასალის სტრუქტურული მოწყობა, რის საფუძველზე ის მიეკუთვნება დახურულ ფორიან მასალათა სახეობას.

ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება: ბუნებრივი ნაშალი ქანის - ყვარლის ფიქლის მარცვლების გრანულომეტრიდან და თერმული დამუშავების

პარამეტრების ვარირებით სხვადასხვა მახასიათებელი თვისებრივი მაჩვენებლების მატარებელი მასალების მიღების პროცესის დადგენის საფუძველზე გაკეთდა რეკომენდაციები ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესის სამრეწველო წარმოებასთან და გამოყენების შესაძლო სფეროებთან მიმართებაში.

სამუშაოს მოცულობა და სტრუქტურა: დისერტაცია მოიცავს 135 გვერდს, 27 ცხრილს, 32 ნახაზს. დისერტაცია შედგება შესავლისაგან, ლიტერატურის მიმოხილვისაგან, ექსპერიმენტალური ნაწილისაგან (ექვსი ქვეთავი), დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან.

თავი I. ლიტერატურის მიმოხილვა

ლიტერატურის მიმოხილვა მოიცავს შვიდ ქვეთავს და მასში წარმოდგენილია მასალა, რომელიც შეეხება არაორგანული ფორიანი მასალების კლასიფიკაციას, მათი სტრუქტურული მოწყობის, გარეგანი სახის და ფორმის, მარკიანობის (მოცულობითი წონა), მასალათა დანიშნულების და გამოყენების სფეროებთან მიმართებაში. მოყვანილია და განხილულია მთის ქანების და მინერალების აფუების ხერხები, მათი შერჩევისას არსებული მიდგომები საბოლოო პროდუქტის სახიდან და დანიშნულებიდან გამომდინარე.

დეტალურადაა განხილული ქარსისებრი მასალა – ვერმიკულატიდან იგივე სახელწოდების ფორიანი მასალის მიღების პროცესის თავისებურებები და წარმოდგენილია მისი ძირითადი თვისებები. ნაჩვენებია აფუებული ვერმიკულიტის გამოყენების სფეროები და პერსპექტივები, მასალის მიღების ტექნოლოგიური სირთულეები და თავისებურება. განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო ე.წ. პერლიტის სახელწოდებით გაერთიანებული მასალების აფუების პროცესს და მათ შორის საქართველოს პერლიტურ ქანებს და მათი აფუებით მიღებულ მასალებს. წარმოდგენილია აფუებული პერლიტის მიღების ტექნოლოგია და განსახორციელებელ კონტროლის მექანიზმების ჩვენებით. მოყვა-

ნილია აფუებული პერლიტის გამოყენების ტრადიციული სფეროები და პერსპექტიული მიმართულებები, მათ შორის აგროინდრუსტიაში.

ფორიანი შემავსებლების, როგორც მსუბუქი ბეტონების მისაღები მასალების თაობაზე განიხილება ორი სახის შემავსებლები – ბუნებრივი და ხელოვნური. ბუნებრივიდან გამოიყო ვულკანური (პემზა, შლაკები, ტუფები) და დანალექი (ფორიანი კირქვოვანი და კაჟმიწოვანი ოპოკის, ტრეპელის და სხვ.) წარმოშობის ქანები. განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო ადვილად დნობადი თიხებიდან და თიხაფიქლებიდან, მათი თერმული აფუებით მიღებულ მასალას – კერამზიტს, მის თვისებებს, მიღების ტექნოლოგიასა და გამოყენების სფეროებს.

წარმოდგენილია და კრიტიკულად გაანალიზდა მდ. დურუჯის ხეობაში არსებული, თიხაფიქლის ე.წ. ყვარლის ფიქლის მიზნობრივი შესწავლის შედეგები. რომელთა საფუძველზე გამოთქმულია მოსაზრება მისი სილიკატური მრეწველობის თითქმის ყველა დარგში გამოყენების შესაძლებლობის თაობაზე (მჭიდა მასალები, მინა, მინანქარი და ა.შ.).

ლიტერატურაში არსებულ მონაცემთა საფუძველზე გაკეთდა დასკვნები და ჩამოყალიბდა კვლევის ძირითადი მიმართულებანი, რომელთა პრაქტიკულ მიზნობრივ გადაწყვეტას (ყვარლის ფიქლიდან ფორიანი მასალის მიღება და შესწავლა) მიეძღვნა ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტალური ხასიათის სამუშაო.

თავი 2. შედეგები და მათი განსჯა

საკვლევი ნედლეულის ფიზიკური მდგომარეობის აღწერა და მინერალოგია

ყვარლის ფიქლი, რომელიც წინამდებარე კვლევის ობიექტია, წარმოადგენს კლდოვან ნაშალ ქანს, რომელიც გროვდება მდ. დურუჯის ხეობაში და ტექნოგენური ხასიათის ბუნებრივ ქანებს შეიძლება მიეკუთვნოს. ფიზიკური

მდგომარეობით – ყვარლის ფიქალი წარმოდგენილია ძირითადად მუქი რუხი შეფერილობის, ბრტყელი ფორმის მყარ მდგომარეობაში მყოფი ნატეხებით, რომლებიც განსხვავებული ზომებით ხასიათდებიან. ხელით შეხებისას ფიქსირდება სრიალა გლუვი ზედაპირი, რაც გამოწვეულია მათ ზედაპირზე არსებული მტვრისებრი თხელი დანაფარით. ყვარლის ფიქლის ნატეხოვანი მასალის ზომებთან მიმართებაში აღსანიშნავია, რომ ნედლეული მასალის ძირითადი ნაწილი წარმოდგენილია ბრტყელი ფორმის ნატეხებით. საცრითი ანალიზით დადგინდა, რომ სანედლეულო მასალაში წამყვანი ფრაქცია 10 მმ-ზე მეტი ზომის ნატეხებია, როდესაც N10 საცერში გასული მასალის რაოდენობა 10%-მდე ადის (მტვრისებრი ფრაქციის ჩათვლით).

ჩვენს მიერ ჩატარებულ პეტროგრაფიული შესწავლით დადგინდა, რომ ბუნებრივ მდგომარეობაში მყოფი ყვარლის ფიქალი წარმოადგენს კრისტალო-კლასტურ წვრილმარცვლოვან და ზონალური აგებულების ფიქალს, რომელშიც სხვადასხვა სახის მინერალებია წარმოდგენილი. მათგან კვარცი და პლაგიოკლაზები ქმნიან გრანობლასტურ სტრუქტურას. აღნიშნული მინერალები ცნობილნი არიან იმით, რომ ისინი დედამიწის ქერქის ზედა ნაწილის მთავარი ქანწარმოქმნელები არიან, კერძოდ მაგმატურ და მეტამორფულ ქანებში.

ყვარლის ფიქალში აგრეთვე წარმოდგენილია მუქი ყავისფერი შეფერილობის მატარებელი მაგნეზიალურ-რკინიანი ქლორიტების აგრეგატები, რომლებიც სერიციტის ქერცლებთან ერთად იკავებს კვარც-პლაგიოკლაზის ნატეხებს შორის სივრცეებს. ყვარლის ფიქალში მცირე რაოდენობითაა წარმოდგენილი K-ის მინდვრის შპატის (ორთოკლაზი) კრისტალები, რომლებიც როგორც დამოუკიდებელი მინერალები – ჩანართები გვხვდება. ასევე შეიმჩნევა ძალიან წვრილი ფერადი ზოლები (მუქი ყავისფერი, რომელიც შავში გადადის), რომლებიც აგებულია ორგანული ნივთიერების – სავარაუდოდ ბითუმისაგან.

ყვარლის ფიქალში დაფიქსირდა აგრეთვე მსგავსი კრისტალების ცალკეული ინდივიდები, რომელთა ბუნების განსაზღვრა, მათი რაოდენო-

ბრივად მცირე კონცენტრაციიდან გამომდინარე, ვერ მოხერხდა. ვარაუდის დონეზე, აღნიშნული ჩანართი კრისტალები შეიძლება იყვნენ: პერცინიტი ($FeAl_2O_4$), მაგნეზიოფერიტი ($MgFe_2O_4$) ან მაგემიტი ($x - Fe_2O_3$), რომელთა სტრუქტურული მოწყობისათვის დამახასიათებელია კუბური სინგონია.

ყვარლის ფიქალის საფუძველზე ფორიანი მასალის მიღების შესაძლებლობის დადგენა

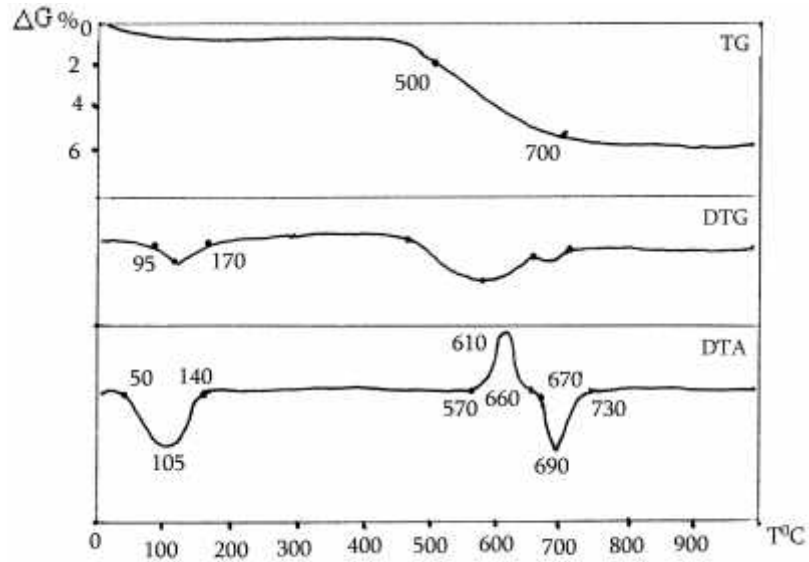
გარკვეული ქიმიური შედგენილობის ყვარლის ფიქალზე (ცხრ.1) ჩატარებული თერმული ანალიზით (DTA, DTG, TG მრუდები, ნახ.1) გამოვლინდა მასალის მიერ ჰიდრატული წყლის (მაქსიმუმი 105°C-ზე მოდის) დაკარგვის უნარი, ხოლო 140°C ტემპერატურიდან 570°C-მდე სტაბილურობით არის წარმოდგენილი. საკვლევი მასალა მნიშვნელოვან გარდაქმნებს განიცდის 570-730°C, რაც DTA მდუდის სვლით ფიქსირდება და ორი სახასიათო რეფლექსებითაა წარმოდგენილი 570-660°C ინტერვალში განლაგებული ეგზოთერმული და 630-735°C დაფიქსირებული ენდოთერმული რეფლექსებით. აღსანიშნავია, რომ DTG მრუდზე 570-730°C-ზე აღნიშნულ თერმოთერმული რეფლექსების შეესატყვისება ძალზე სუსტი რეფლექსები, მაგრამ წონის (ΔG) მაქსიმალურად შესაძლებელი კლება.

ცხრილი 1. ყვარლის ფიქალის საკვლევი სინჯის ქიმიური შედგენილობა (წონ. %)

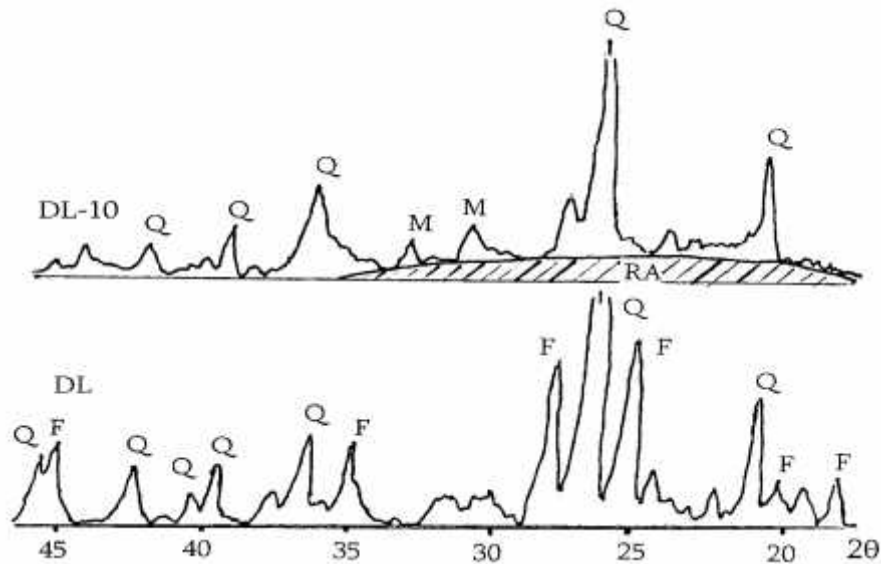
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	SO ₃	დანაკარგი ხურებისას
56,7	19,4	7,2	1,3	0,9	4,7	0,9	6,0

რენტგენოგრაფიული ანალიზით დადგინდა, რომ თერმული დამუშავებით იცვლება მასალის ფიზიკური შედგენილობა, რაც ორმაგი ხასიათისაა – რიგი ფაზათა რაოდენობის შემცირება (პიკების ინტენსიურობის კლება) და ახალი რენტგენოამორფული ფაზის წარმოქმნა. ამ უკანასკნელის არსებობა თერმული დამუშავებითაა განპირობებული და, ძირითადად, მინდვრის შპატიანი და სხვა

ფაზების ამორფულ მდგომარეობაში გადასვლას უკავშირდება. აღნიშნულის დასტურად ნახ. 2-ზე წარმოდგენილი კვარცისათვის (Q) მიკუთვნებული რეფლექსების უცვლელიობა, ხოლო მინდვრისშპატიანი (F) და სხვა შემადგენელი ფაზების (მაგალითად, ქარსის (M), რენტგენოგრამაზე წარმოდგენილი რეფლექსების ინტენსიურობის შემცირება შეიძლება იქნეს მიჩნეული.



ნახ. 1. ყვარლის ფიქალის თერმული ანალიზის შედეგები



ნახ. 2. საწყისი (DL) და 1000°C დამუშავებული (DL-10) ყვარლის ფიქალის რენტგენოგრამების ფრაგმენტები
ძირითადი ფაზების აღნიშვნები: M ქარსები, Q - კვარცი, F - მინდვრის შპატები;
RA - რენტგენამორფული ფაზა

ცხრილი 2. ყვარლის ფიქალის თერმოდამუშავების შედეგები

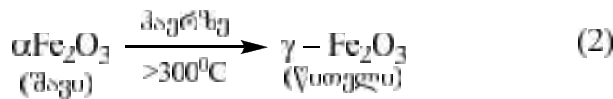
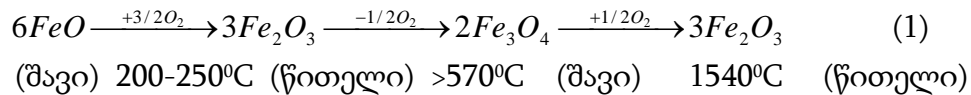
პირობითი აღნიშვნა	დამუშავების პირობები		ვიზუალური შეფასების შედეგები
	ტემპერატურა, °C	დრო, სთ	
DL-1,1	100	3	ფხვიერი, რუხი ფერის მასა
DL-6	600	3	ფხვიერი, ღია ნაცრისფერი მასა
DL-4,5	650	3	იგივე, რაც DL-6
DL-7,5	750	2	იგივე, რაც DL-6
DL-8,5	850	2	ზედაპირზე, მუქი ჩალისფერი, მასაში მურა ფერის ფხვიერი მასა
DL-9,5	950	2	ზედაპირზე მოყავისფერო, ხოლო მასაში მურა ფერის აფუებული მასა
DL-10,5	1050	2	აფუებული, მუქი ყავისფერი მასა

თერმული ანალიზის და რენტგენოგრაფიული კვლევის შედეგებიდან გამომდინარე, ყვარლის ფიქალში თერმულ დამუშავებას უნდა გამოეწვია გარკვეული გარდაქმნები, რაც სრულად დადასტურდა სხვადასხვა ტემპერატურაზე დამუშავებული ფიქალის ფიზიკური მახასიათებლების (ფერი, სახეცვლილება) შეფასებით. ცხრ. 2-ში წარმოდგენილი შედეგებიდან გამომდინარე (საკვლევი ობიექტს ფხვიერი მასალა წარმოადგენდა), შეიძლება ორი ფაქტის გამოყოფა: მასალას ახასიათებს ფერის შეცვლა 600°C-დან, ხოლო აფუებისადმი მიდრეკილება ვიზუალურად შესამჩნევია 900°C-ზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე დამუშავებისას.

ყვარლის ფიქალის პეტროგრაფიამ, თერმულმა და რენტგენოგრაფიამ ანალიზებმა უჩვენა, რომ თერმული დამუშავებისას მიმდინარე პროცესები რთული შეიძლება იყოს, რადგან ფიქალის შედგენილობაში, როგორც ჰიდროალუმინოსიკატები, ასევე გარდაქმნებისადმი მიდრეკილი რკინის ნაერთები (შპინელების და ოქსიდების სახით) არიან წარმოდგენილნი, მით უფრო თუ ქანის შედგენილობაში ორგანული ნაერთების არსებობა არის შესაძლებელი. ყველა ჩამოთვლილი ნივთიერების არსებობა ყვარლის ფიქალში დასტურდება (მაგ. ქლორიტები, რკინაშემცველი ნაერთები და ორგანული - ბითუმი) კვლევის სხვადასხვა მეთოდებით. ჩამოთვლილი ნაერთებიდან და მინერალებიდან

განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ტემპერატურული გარდაქმნებისადმი მიდრეკილი ორი შემადგენელი – ჰიდროალუმინსილიკატები და რკინის ოქსიდური ნაერთები (მაგ. xFe_2O_3).

რკინის ნაერთთა მიმართებაში მოსალოდნელია რკინის ოქსიდური ნაერთების გარდაქმნა, ტემპერატურის ზეგავლენის, ჰაერის ჟანგბადის ან მასალაში არსებული ორგანული ნაერთების ხარჯზე. არ შეიძლება გამოირიცხოს ისევე რკინის ოქსიდების სახეცვლილება ჰიდროქარსული მინერალების მიერ გამოყოფილი წყლის მოლეკულების ან თვით ქანში არსებული თერმული დამუშავებისას წარმოქმნილი რკინის ჰიდროოქსიდების ხარჯზე. რკინის ნაერთების ფიზიკურ და ქიმიურ თვისებათა შორის გამოიყოფერთა სახეცვლილება და ჟანგვა – ადგენის შესაძლო პროცესები:



შესაძლებელია სხვა სახის პროცესების წარმართვაც, მაგრამ სასურველი იქნებოდა დამატებითი მონაცემების მოპოვება ყვარლის ფიქლის შემავალ მინერალებთან და მათ თერმულ გარდაქმნებთან მიმართებაში, რაც დღეისათვის ჩვენთვის ხელმიუწვდომელი არის.

რეაქციათი პირველი მწკრივიდან გამოვყოფდით Fe_2O_3 -ს გადასვლას Fe_3O_4 -ში, რომელიც ჟანგბადის გამოყოფით (წონის კლებით) მიმდინარეობს და დასაწყისი დაახლოებით 570°C-ზე მოდის, ხოლო მე-3 რეაქციას განსაკუთრებულ მნიშვნელობას მივანიჭებდით, რადგან წონის კლებასთან ერთად (ისევე 500°C-დან დაწყებული) იმ ფერთა ცვლას აქვს ადგილი, რაც საკვლევი მასალის მაღალტემპერატურულ პირობებში დამუშავებისას მიიღება (ყავისფერი - მოწი-

თალოში გადადის). რკინის ჰიდროქსიდები შეიძლება თვით საწყის ნედლეულში (ფიქალი) არსებობდეს ან შესაძლებელია მათი ქანში წარმოქმნა, რკინის მარილების არსებობისას, როდესაც მოსალოდნელი ხდება (600°C -ზე უფრო მაღალ ტემპერატურებზე) ჰიდროალუმინსილიკატებიდან წყლის მოლეკულების გამოყოფა.

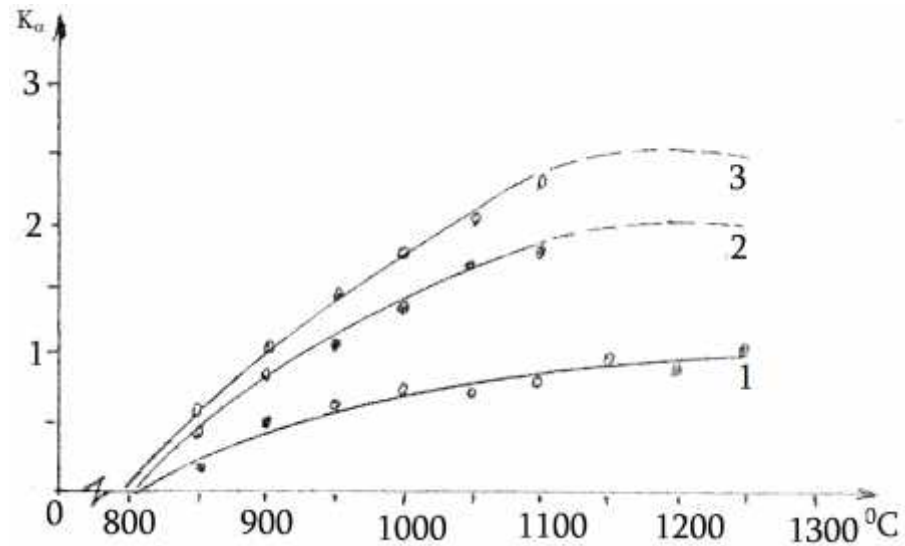
მიზნობრივად ჩატარებული კომპლექსური კვლევით დადგინდა, რომ კრისტალური აღნაგობის და ალუმინსილიკატებისათვის დამახასიათებელი შედგენილობის ყვარლის ფიქლი თერმული დამუშავების შედეგად იცვლის სტრუქტურულ მოწყობას. აღნიშნული ფაქტის დასტურს წარმოადგენს დერევატოგრაფიული და რენტგენოსტრუქტურული კვლევის შედეგები, რომელთა საფუძველზე დადგინდა ყვარლის ფიქლში რთული ხასიათის თერმოგარდაქმნების არსებობა, თერმული დამუშავების შედეგად ამორფული შემადგენლის წარმოქმნა და ფიქალის აფუების შესაძლებლობა, რომლის პიკი 900°C -დან იწყება. ჩატარებული კვლევით ასევე გამოვლინდა, რომ ფიქლის თერმულ დამუშავებას თან ახლავს მასალის ფერის ცვლილება – საწყისი მუქი რუხი შეფერილობა მუქ ყავისფერ შეფერილობით ჩაენაცვლება.

ყვარლის ფიქლის გრანულომეტრიის და თერმული დამუშავების პირობების გავლენა მასალის აფუების ხარისხზე

ყვარლის ფიქლის აფუებისადმი მიდრეკილების დადგენა განხორციელდა მასალის სამი სახის სინჯისათვის – ნატეხები წონით 3-5 მგ (ზოგადი კლასიფიკაციით – ღორღი), ასევე ხელოვნურად დაქუცმაცებული (ყბებიანი მსხვრევანა) ქანიდან საცრითი ანალიზით გამოყოფილი ფრაქციები C (მარცვლების ზომა 2-3 მმ) და E (მარცვლების ზომა 1-2 მმ).

ჩატარებული ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ აფუების მოცულობითი კოეფიციენტის (K_a) მნიშვნელობებს განსაზღვრავს როგორც თერმული დამუშავების ტემპერატურა, ასევე მასალის ფრაქციულობა. თერმოდამუშავების

ტემპერატურის ზრდასთან მიმართებაში გამოვლენილი ზოგადი ტენდენცია გვიჩვენებს, რომ აფუების კოეფიციენტის (K_a) სიდიდის ზრდა დამახასიათებელია ყველა საცდელი ვარიანტის მასალებისათვის, მაგრამ მნიშვნელოვნად იჩენს თავს წმინდა ფრაქციული მასალისათვის (ნახ. 3).



ნახ. 3. ყვარლის ფიქლის აფუების კოეფიციენტის ტემპერატურული დამოკიდებულება

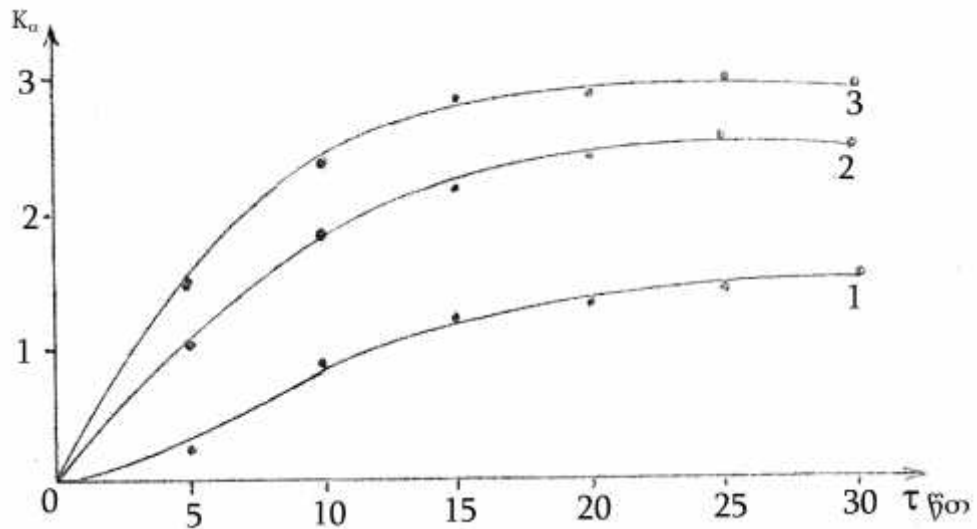
- 1 - მასალის ნატეხები (წონა 3-5 გ); 2 - ფხვნილი ფრაქციულობით 3-5 მმ;
3 - ფხვნილი ფრაქციულობით 1-2 მმ

აღსანიშნავია, რომ 1150°C და მეტ ტემპერატურაზე დამუშავებული ნიმუშები მინისათვის დამახასიათებელი ბზინვარების მქონე ჩანართებს შეიცავენ და ამავდროულად მასალის მარცვლების ნაწილობრივი შეცხოვა (ფხვნილების აგლომერაცია) დაფიქსირდა ვიზუალური დაკვირვებებით. მოყვანილ ფაქტს თან ახლავს მასალის აფუების კოეფიციენტის ზრდის ტენდენციების მცირეოდენი, მაგრამ კლება, რაც მიღებულ K_a -ს სიდიდეთა მრუდზე მკაფიოდ გამოისახება, განსაკუთრებით ფხვნილოვანი ფრაქციულობის მასალისათვის (ნახ.3).

თერმული დამუშავების ხანგრძლივობის გავლენა ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესზე შესწავლილი იქნა მასალათა თერმოდამუშავებით ერთ

კონკრეტულ ტემპერატურაზე (1100°C), როდესაც თერმული დამუშავების დრო 5, 10, 15, 20, 25 და 30 წუთს შეადგენდა (ნახ. 4).

ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ თერმული დამუშავების გავლენა სხვადასხვა ფრაქციულობის ფიქლის მარცვლების აფუების პროცესზე განსაკუთრებით იგრძნობა თერმული დამუშავების საწყისი 20 წუთიანი ინტერვალისთვის. თერმული დამუშავების ხანგრძლივობის შემდგომი ზრდა ნაკლებ გავლენას ახდენს აფუების ინტენსივობაზე და უკვე 30 წუთიანი დაყოვნება აფუების პროცესზე ზეგავლენას პრაქტიკულად არ ახდენს.



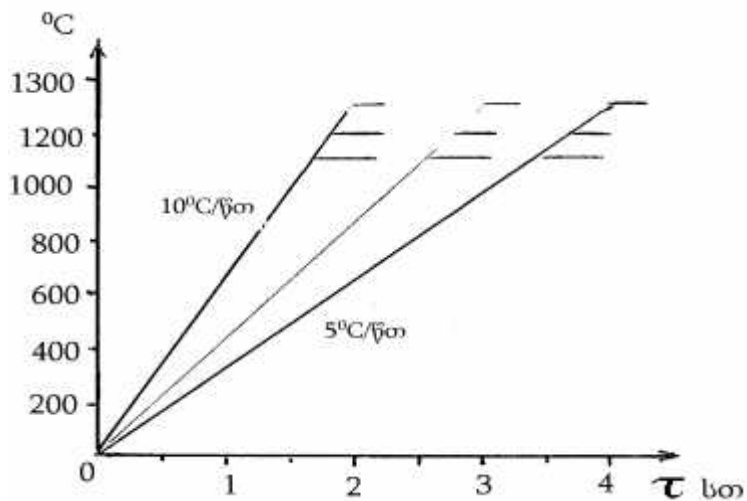
ნახ.4. ყვარლის ფიქლის აფუების მოცულობითი კოეფიციენტის დამოკიდებულება თერმოდამუშავების ხანგრძლივობაზე:
1 - ნატეხები; 2 - ფრაქცია 3-5 მმ; 3 - ფრაქცია 1-2 მმ

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე, ყვარლის ფიქლის მარცვლების აფუების ოპტიმალურ დროის ინტერვალად მიჩნეული იქნა 10-15 წუთი, ხოლო ტემპერატურული ინტერვალი განისაზღვრა 1100-1250°C-ით.

ყვარლის ფიქლის აფუებით მიღებული მასალების თვისებების შესწავლა

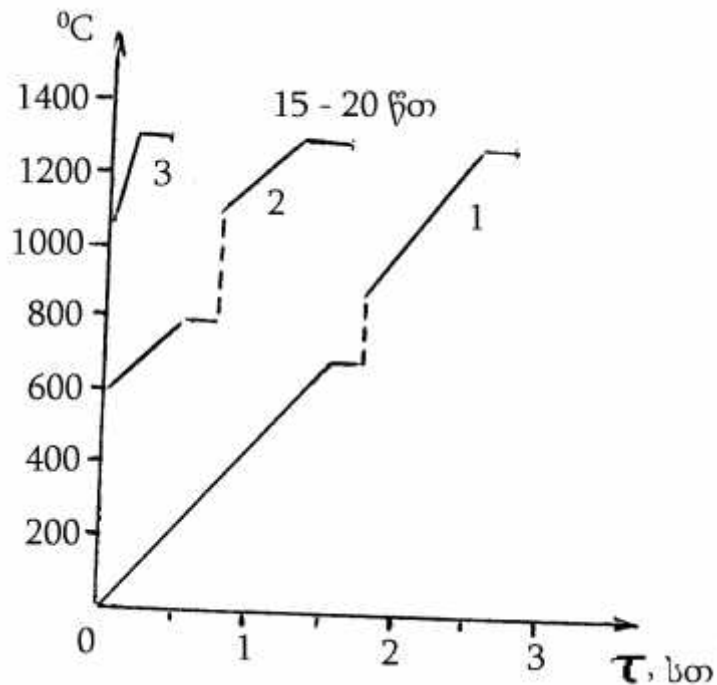
ვინაიდან ყველა სახის ფორიანი მასალის გამოყენების სფეროს განსაზღვრავს მისი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები, ყვარლის ფიქლიდან მიღებული აფუებული მასალისათვის დადგინდა რიგი წამყვანი მახასიათებელი თვისება, და ასევე სტრუქტურის შესაძლო მოწყობა, რასაც თან ახლდა ყვარლის ფიქლიდან ფორიან მასალათა მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრების დაზუსტება.

ყვარლის ფიქლიდან ფორიანი მასალის მიღება, ნედლეულის თერმული დამუშავების ხარჯზე, მოითხოვდა აფუების პროცესის ოპტიმალური რეჟიმების დადგენას. ამ მიზნით შესწავლილ იქნა ყვარლის ფიქლის ფხვნილოვანი ფრაქციების წონითი დანაკარგები მაღალ ტემპერატურაზე (1100 – 1300°C) დაყოვნებისას (სტატისტიკურად რკვევად პირობებში) და დადგინდა მცირეოდენი (დაახლოებით 0,5%-ანი) წონის კლება. დამატებითი კვლევით დადასტურდა, რომ აფუების ინტენსივობის მაქსიმუმი 1200 - 1250°C ტემპერატურულ ინტერვალზე მოდის, ხოლო თერმული დამუშავების ხანგრძლივობა 10-15 წუთს (ლაბორატორიული ცდების პირობებისათვის) უნდა შეადგენდეს.



ნახ.5. მასალათა თერმული დამუშავების გრაფიკი ტემპერატურათა უწყვეტი ზრდის რეჟიმში (ერთი ღუმელი)

მასალათა თერმული დამუშავების ოპტიმალური რეჟიმის დასადგენად ორი მიდგომა იქნა შერჩეული. პირველ შემთხვევაში ტემპერატურათა ზრდის სიჩქარე განსაზღვრავდა ღუმელში მასალის დაყოვნების დროს, რომლის ძირითადი შემადგენელი ტემპერატურის აწევაზე მოდის და ჯამში 2-დან 4 სთ-მდე შეადგენს. ერთ ღუმელში (ტემპერატურის ოთახის ტემპერატურიდან აფუების მაქსიმალურ ტემპერატურამდე აყვანით) თერმულად დამუშავებული ნიმუშები გარდაიქმნებოდნენ ფოროვან მასალაში და ამ დროს საწყისი სინჯები (ნედლეულის მასალის ნატეხები) ფიზიკური დაშლისადმი ტენდეციას არ ავლენდნენ (ნახ. 5).



ნახ.6. მასალათა თერმული დამუშავება ორსაფეხურიანი რეჟიმით (მუფელი-ღუმელი)

1 და 2 – მუფელში განსხვავებული საწყისი ტემპერატურით;
3 – ღუმელში ნიმუშის მოთავსებით 1100°C -ზე

ცხრილი 3. განსხვავებული თერმული რეჟიმით დამუშავებული ყვარლის ფიქლის მარცვლების ნაყარი მოცულობითი წონა

N	ფიქლის მარცვლების ფრაქციულობა, მმ	თერმული დამუშავების პირობები			საშუალო ნაყარი მოცულობითი წონა,კგ/მ ³
		რეჟიმი	ტემპერატურის გრადიენტი ან ეტაპობრივი ცვლა	პროცესის ხანგრძლივობა, წთ	
1	1 – 5	ტემპერატურის უწყვეტი აწევა	10°C/წთ	120	0,78
2	1 – 5	ტემპერატურის საფეხურებრივი ცვლა (რეჟიმი 1)	20-600-1250°C	160	0,67
3	1 – 5	ტემპერატურის საფეხურებრივი ცვლა (რეჟიმი 2)	600-800-1250°C	90	0,55

სპეციალურად დამზადებული ცილინდრული ფორმის ლითონის (ხურვალმედეგი ფოლადი) ყალიბების გამოყენებით განხორციელდა ფიქლის დამუშავება ორსაფეხურიანი ტემპერატურული რეჟიმებით, რაც წარმოდგენილია შესაბამისი გრაფიკებით ნახ.6-ზე. ითახის ტემპერატურიდან ცხელ ლუმელში (1000-1100°C) მოთავსებული მასალა ვერ უძლებდა თერმულ დარტყმას და მისი მარცვლები იმსხვრეოდა სპეციფიკური ხმოვანი ეფექტების წარმოქმნით. ამიტომ, ნახ.6-ზე წარმოდგენილი მრუდი 3-ის მიხედვით განხორციელებული რეჟიმი მიუღებლად იქნა მიჩნეული. რადიკალურად განსხვავებული შედეგები იქნა მიღებული მასალათა 1 და 2 რეჟიმებით თერმული დამუშავებისას. ორივე შემთხვევაში ნედლეულის მარცვლები (ნატეხები) არ იმსხვრეოდა, ხოლო აფუების ხარისხი (ვიზუალური დაკვირვებით) სასურველი იყო. 1 და 2 რეჟიმებს შორის არსებობს განსხვავება, რაც ძირითადად პროცესის ხანგრძლივობას უკავშირდება. გარდა აღნიშნული დაკვირვებისა, ჩვენს მიერ დადგინდა აფუების ხარისხი, შესაბამისი რეჟიმებით დამუშავებული

მასალებისათვის. ცხრილ 3-ში წარმოდგენილი ექსპერიმენტული კვლევის შედეგების მიხედვით აფუების საუკეთესო ხარისხი მიიღწევა თერმული დამუშავების შემდეგი ორსაფეხურიანი რეჟიმის განხორციელებით: საცდელი სინჯი მოთავსდება პირველ ღუმელში (600°C), რომელშიც ტემპერატურა 800°C -მდე აიყვანება, რის შემდეგაც ცხელი მასალა გადაიტანება 1100°C -მდე გახურებულ მეორე ღუმელში, მასში ტემპერატურის მომდევნო აწევით 1250°C -მდე და ამ ტემპერატურაზე სინჯის (მასალის მარცვლების ზომისა და ულუფის წონის გათვალისწინებით) დაყოვნება ხდება 15 – 20 წუთის განმავლობაში. თერმული დამუშავების მოყვანილი რეჟიმის უპირატესობამ და მისმა ცნობილ საწარმოო პროცესებთან მსგავსებამ (ვერმიკულიტის და კერამზიტის მიღების ტექნოლოგიები) განსაზღვრა მომდევნო კვლევებში აღნიშნული ტექნოლოგიით მიღებული მასალების ძირითადი საექსპლუატაციო თვისებების შესწავლა.

საკვლევი მასალის – ყვარლის ფიქლის თერმული დამუშავებით წარმოიქმნა ფოროვანი მასალა, რასაც თან ახლავს მოცულობის მკვეთრი ზრდა, რომლის ძირითადი განმსაზღვრელი სიდიდე – აფუების კოეფიციენტია (K_r). აფუების კოეფიციენტის დადგენა შესაძლებელი გახდა საწყისი ნედლეულის – ყვარლის ფიქლის და მისგან თერმული დამუშავებით მიღებული ფოროვანი მასალის ნაყარი სიმკვრივების (ნაყარი მოცულობითი წონების) შედარებით, ანუ K_r -ს მნიშვნელობის განსაზღვრით ($K_r = \gamma_{ფ} / \gamma_{ფ0}$). ამ მიმართულებით განხორციელებული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 4-ში. კვლევა ჩატარდა ხუთი სხვადასხვა ზომის მარცვლების შემცველი სინჯებისათვის, როგორც საწყისი ნედლეულის, ასევე ხელოვნურად მისგან მიღებული ფოროვანი მასალებისთვის.

**ცხრილი 4. ფორიანი მასალის აფუების მოცულობითი კოეფიციენტის (K_r)
სიდიდეები**

№	მასალის სინჯში მარცვლების ზომა, მმ	მასალათა სახეობა და მათი ნაყარი სიმკვრივე, კგ/მ ³		მასალის აფუების კოეფიციენტი (K_r)
		ბუნებრივი ფიქალი ($\gamma_{\text{ფ}}$)	აფუებული ფიქალი ($\gamma_{\text{ა}}$)	
1	0,25 – 0,5	1050	620	1,7
2	0,5 – 1,0	1200	520	2,3
3	1,0 – 2,0	1230	500	2,5
4	2,0 – 3,0	1250	480	2,6
5	3,0 – 5,0	1280	470	2,7
6	5,0 – 10,0	1350	420	3,2
7	10,0 – 20,0	1380	350	3,9

მიღებული შედეგები გვიჩვენებს, რომ აფუების კოეფიციენტის მნიშვნელობათა განმსაზღვრელი პირობა – მასალის გრანულომეტრიაა. წმინდა ფრაქციებიდან (0,25 – 0,5 მმ) მსხვილ ნატეხოვან მასალაზე (5 – 20 მმ) გადასვლა საშუალოდ თითქმის ორჯერ ზრდის აფუების კოეფიციენტის სიდიდეს.

მიღებულ ფორიან მასალათა წყალთან ურთიერთობის შეფასება განხორციელდა სამი განსხვავებულ მახასიათებელ თვისებათა შესწავლით – განისაზღვრა საწყისი ქანის და მისგან მიღებული ფორიანი მასალის მარცვლების გრანულომეტრიის გავლენა მათ სორბციულ უნარზე, წყალშთანთქმაზე და წყალმედეგობაზე (ე.წ. გარბილების კოეფიციენტი). დადგინდა, რომ ფორიანი მასალა ხასიათდება დაბალი სორბციული ($\omega = 0,3 - 0,8\%$), ხოლო მაღალი წყალშთანთქმის ($\omega = 5 - 160 \%$) უნარით, რომელთა სიდიდეთა განმსაზღვრელი ფაქტორი – მასალათა მარცვლების ზომაა (წმინდაფრაქციული მასალა სიდიდეთა უფრო მაღალ მნიშვნელობებს იძლევა). ფორიანი მასალების წყალმედეგობის განსაზღვრამ, რაც ფარდობითი სიმტკიცის სიდიდეთა დადგენის საფუძველზე განხორციელდა, ასევე გამოავლინა მარცვლების გრანულომეტრიის გავლენა წყალმედეგობაზე - რაც მცირეა მასალათა მარცვლების ზომა,

მით უფრო მეტად მდგრადია მასალა წყლის მოქმედების მიმართ ($K_{გრ.} = 0,7 \div 1,0$).

დადგინდა მარცვლების ფრაქციულობის მკვეთრი გავლენა მასალის მექანიკურ სიმტკიცეზე, რომელიც 2,4-დან 15,4-მდე მპა-ის ზღვრებში იცვლება, შესაბამისად 20 და 2 მმ ზომის მარცვლისათვის. ოპტიმალური ტემპერატურული რეჟიმით მიღებულ აფუებულ მასალათა ტემპერატურამედევობა 900°C -ზე მეტია, რაც მათი პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორად შეიძლება იქნას მიჩნეული.

ექსპერიმენტული გზით განხორციელდა ყვარლის ფიქლის ფორიანობის, ფორების სახეობათა და სტრუქტურული მოწყობის განსაზღვრა. საწყისი ქანის და მისგან მიღებული ფორიანი მასალის ორი სიდიდის – მასალების კუთრი და მოცულობითი წონების, ასევე ჭეშმარიტი (სრული) და მისი ორი შემადგენლის (ღია და დახურული ფორები) მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 5-ში. დადგინდა, რომ აფუებული მასალის სრული ფორიანობა თითქმის 10-ჯერ აღემატება საწყისი ქანის - ფიქლის ფორიანობას. სრული ანუ ჭეშმარიტი ფორიანობის შემადგენელი ფორების ორი სახეობიდან დისპროპორცია დახურულ ფორიანობაზე მოდის და ფარდობა საწყის და აფუებულ მასალათა $P_{\text{ღ}}$ სიდიდეთა შორის (69,3/2,2) 30-ს აღემატება.

ცხრილი 5. საწყის ნედლეულში და აფუებულ მასალაში ფორების სახეობათა რაოდენობა

მასალის დასახელება	სიმკვრივეთა სახეობა და მნიშვნელობები, გ/სმ ³		მასალაში ფორების სახეობა რაოდენობა, %		
	ჭეშმარიტი (γ)	მოჩვენებითი (ρ)	ჭეშმარიტი (სრული), $P_{\text{ჭ}}$	ღია (მოჩვენებითი) $P_{\text{ღ}}$	დახურული $P_{\text{დ}}$
საწყისი ნედლეული (ყვარლის ფიქალი)	2,69	2,45	7,5	5,3	2,2
აფუებული მასალა (1250°C ; 10-12 წთ)	2,53	0,52	78,8	9,5	69,3

ექსპერიმენტის შედეგების და რიგი ცნობილი მასალების ფორიანობის მნიშვნელობების შედარებამ, საშუალება მოგვცა გამოგვეთქვა მოსაზრება, რომ ფიქლის აფუებით მიღებული მასალა უჯრედოვანი აღნაგობის უნდა იყოს. ამავე დროს, ფორიანობის ხარისხით მიღებული მასალები ცოტაოდენ ჩამორჩებიან ისეთ ფორებიან „კლასიკურ“ მასალას, როგორცაა ქაფმინა, (მისი სრული ფორიანობა 85 – 90%-ს შეადგენს, როდესაც აფუებული ყვარლის ფიქლისთვის ის დაახლოებით 80%-ია).

ფიქლიდან მიღებული ფორიანი მასალის მახასიათებელი თვისებები და მისი საწარმოო პირობებში მიღების ტექნოლოგიის საკითხები

ყვარლის ფიქლის აფუებით მიღებული ფორიანი მასალის თვისებათა შესწავლით შესაძლებელი გახდა მისი ძირითადი მახასიათებელი თვისებების შეჯამებული სახით წარმოდგენა. უნდა აღინიშნოს, რომ კვლევის შედეგების ანალიზისას ჩვენს მიერ პირობითად იქნა მიკუთვნებული ოპტიმალურს ისეთი მასალები, რომლებიც გამოირჩევიან დაბალი, კერძოდ 350 – 450 კგ/მ³ ნაყარი მოცულობითი წონით. ასეთი მასალების ძირითადი თვისებრივი მაჩვენებლები მოყვანილია შედეგების შემაჯამებელ ცხრ. 6-ში.

ისეთი სახის ნაწარმის, როგორცაა ყვარლის ფიქლის აფუების შედეგად მიღებული ფორიანი პროდუქტი, წარმოების ტექნოლოგია დამუშავებული არ არის. ყვარლის ფიქლის აფუებასთან მიმართებაში პრაქტიკული გამოცდილების არ არსებობის მიუხედავად, არის გარკვეული მსგავსება ფიქლის აფუებისა და თიხაფიქლის (კერამიტი) აფუების პროცესთა შორის. აღნიშნული ბუნებრივი მასალების თვისებათა შედარებით (ცხრ.6) გამოვლენილ მსგავსებათა და მასალათა აფუების ცნობილი ტექნოლოგიებიდან გამომდინარე, ჩვენ ვეცადეთ წარმოგვედგინა ფიქლის აფუების, ჩვენი აზრით რეალურთან მიახლოებული, ტექნოლოგიური სქემა. აღნიშნულ საკითხთან დაკავშირებით

ჩვენი მოსაზრება და წინადადებები წარმოდგენილია შესაბამისი ტექნოლოგიური სქემის სახით (ნახ. 7).

ცხრილი 27. კერამზიტის და ფოროვანი ყვარლის თიხაფიქლის თვისებათა შედარება და გამოყენების მოსალოდნელი სფეროების განსაზღვრა

N	თვისება (მახასიათებელი)	ფორიანი მასალა		შედარების შედეგები (მსგავსება)
		კერამზიტი (საქარხნო პროდუქტი)	ყვარლის ფიქალი (ლაბ. კვლევა)	
1	აფუების პარამეტრები: - ტემპერატურა, °C - ხანგრძლივობა, წთ	1100 – 1200 3 – 5	1150 – 1250 10 – 12	არის დასაზუსტებელია საწარმოო პირობებისათვის
2	სიმტკიცე (მპა) მარკიანობის მიხედვით (ნაყარი სიმკვრივე, კგ/მ ³) 250 300 400 600	(სტანდარტით) 0,6 0,8 1,4 3,0	 1,8 2,2 4,3 10,1	ფიქლის უპირატ. ” ” ”
3	სტრუქტურული მოწყობა (ფორების სახე)	დახურული	დახურული	არის
4	მოცულობითი წონა, კგ/მ ³	150 – 1300	200 - 1200	არის
5	ტემპერატურამედეგობა, °C	1100-მდე	> 900	დასაზუსტებელია
6	წყალშთანთქმა, %	(სტანდარტით) 10 – 20	(ლაბორატორიული შესწავლით) 15 – 20	არის
7	თბოგამტარობის კოეფიციენტი (კჯ/მ.სთ.გრად.)	1,2 – 1,8	დადგენილი არ არის	–
8	გამოყენების სფერო - ნაყარი სითბოიზოლაცია -თბოსაიზოლაციო ნაკეთობა: ●კერამიკულ შემკვრელზე ●თბოსაიზოლაციო ბეტონები (სიმტკიცე კუმშვაზე 0,5-3,5 მპა) ● კონსტრუქციული თბოსაიზოლაციო ბეტონები (სიმტკიცე კუმშვაზე 3,5-7,5 მპა)	+ + + +	+ +? +? +?	არის მოსალოდნელია შესასწავლია (მოსალოდნელია) შესასწავლია (მოსალოდნელია)

როგორც ცნობილია აფუების პროცესის ჩატარება შესაძლებელია სხვადასხვა სახის დანადგარებით, კერძოდ გამოწვით შახტურ, მბრუნავ მილა ღუმელში ან მცირეგაბარიტიან ვერტიკალური აგრეგატებით. მათ შორის თავისი მცირე მასალატევადობით და ტექნოლოგიური პროცესების კონტროლის განხორციელების შესაძლებლობიდან გამომდინარე, უპირატესობას ბოლო ორ აგრეგატს ანიჭებენ. მაგრამ იმის გათვალისწინებით, რომ ფიქალის ნატეხები ვერ უძლებენ თერმულ დარტყმას (ნაადრევად იმსხვრევიან თერმოდარტყმის პირობებში), ჩვენი არჩევანი შეჩერდა ორ საფეხურიან რეჟიმზე, რომლის საფუძველზე ყვარლის ფიქლის აფუების პროცესის ტექნოლოგიური სქემა იქნა შედგენილი (ნახ. 7).

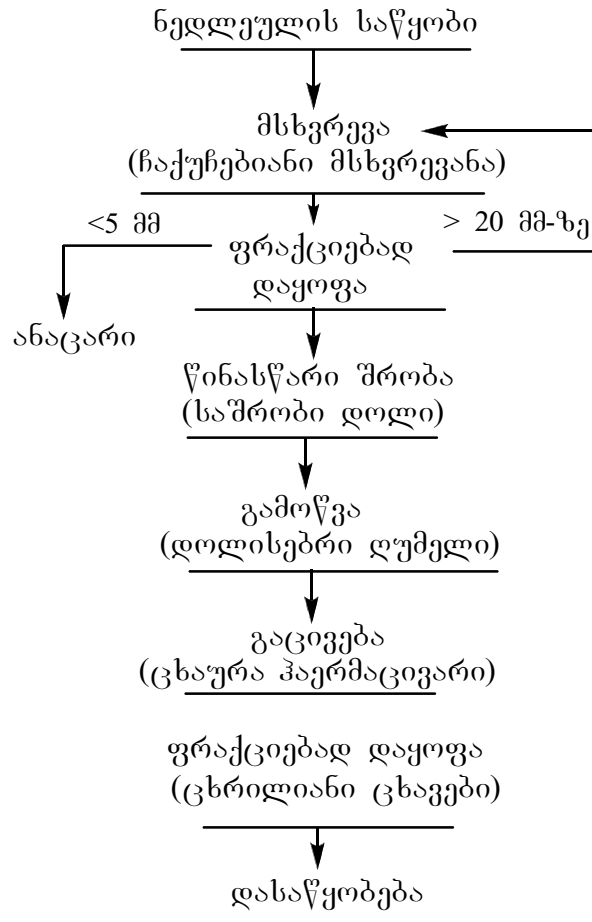
ორი მილა ღუმელების (საშრობი და გამოწვის) შემცველი აგრეგატი შესაძლებელს გახდის აფუებული ფიქალის მიღებას შემდეგი ტექნიკურ-ეკონომიკური პარამეტრების ფარგლებში:

- წარმადობა, მ³/სთ 4 – 5
- ბუნებრივი აირის ხარჯი, მ³/სთ 70 - 80
- აფუებული ფიქალის ნაყარის მოსალოდნელი სიმკვრივე, კგ/მ³ 350 – 450

სპეციალური ლიტერატურიდან აღებულ მონაცემთა საფუძველზე, შესაძლებლად ჩავთვალეთ წარმოგვედგინა აფუებული ფიქალის მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრები ორი შესაძლო ვარიანტისათვის:

1 – ფიქალის აფუება განხორციელდება უწყვეტ ციკლში მბრუნავ ღუმელში (ვარიანტი A, ცხრ. 7)

2 – აფუებული ფიქალის მიღება წარიმართება ორსაფეხურიანი ტექნოლოგიის გამოყენებით (ვარიანტი B, ცხრ. 7).



ნახ. 7. ყვარლის ფიქალიდან აფუებული (ფორიანი) მასალის მიღების რეკომენდირებული ტექნოლოგიური სქემა

რაც შეეხება კერამზიტის და აფუებული ყვარლის ფიქლის თვისებებს, რომლებიც ცხრ. 6-შია წარმოდგენილი, შესაძლებელია მთელი რიგი შესატყვისობათა და თვისებათა სიდიდეთა მიმართ განსხვავებათა გამოყოფა. მსგავსება ვლინდება: აფუების ტემპერატურულ ინტერვალთან, მოცულობით ნაყარ წონებთან და ფორიანი მასალების წყალშთანთქმასთან მიმართებაში. რაც შეეხება ორივე მასალისათვის თერმული დამუშავების ხანგრძლივობას (კერამზიტის წარმოება 3 – 5 წთ, ხოლო ყვარლის თიხაფიქალი 10-12 წთ) – აღსანიშნავია რომ კერამზიტის მიღების თერმოდამუშავების დრო აღებულია საწარმოო პირობებში პროცესის ჩატარებისას (მილა ღუმელებში მასალა ინტენსიურად გადაადგილდა და უფრო ინტენსიურად ხდება მისი ცალკეული მარ-

ცვლების მიერ სითბოს აღქმა), ხოლო ყვარლის ფიქლისათვის – ლაბორატორიულ პირობაში, როდესაც ქოთანში მოთავსებული ასაფუებელი მასალის (ქანის) ქვედა ფენების გახურება მეტ დროს მოითხოვს.

ცხრილი 7. აფუებული ფიქლის მიღების ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვის პარამეტრები

№	ტექნოლოგიური პროცესების (ეტაპების) და პარამეტრების დასახელება	განზ. ერთ.	მნიშვნელობა
A	უწყვეტი პროცესი მზრუნავ ღუმელში		
1	აფუების პროცესის ტემპერატურა მასალის მიწოდების მხრიდან	⁰ C	1250 ± 25
2.	ღუმელის ტემპერატურა	⁰ C	200 – მდე
3	ღუმელში ტემპერატურის აწევის სიჩქარე	⁰ C/წთ	30 – მდე
4.	ღუმელიდან გამოსული მასალის ტემპერატურა	⁰ C	300-მდე
B	ორსაფეხურიანი პროცესი		
1	მასალის წინასწარი გახურების ღუმელი: - ტემპერატურა ჩატვირთვის მხრიდან - მასალის გახურების სიჩქარე - მასალის დამუშავების ტემპერატურული ინტერვალი	⁰ C ⁰ C/წთ ⁰ C	200 -მდე 15 – 20 600 - 700
2	აფუების (ძირითადი) ღუმელი - ტემპერატურა მასალის მიწოდების მხრიდან - ტემპერატურის აწევის სიჩქარე - აფუების ტემპერატურა - აფუების ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო - ღუმელიდან გამოსული მასალის ტემპერატურა	⁰ C ⁰ C/წთ ⁰ C ⁰ C წთ	მეტია 500 30 – 40 1250 ± 25 10- 15 300 - მდე

კერამიტიკის მექანიკური სიმტკიცე (ყველა მარკასთან მიმართებაში) უფრო დაბალია, ვიდრე ყვარლის თიხაფიქლიდან მიღებული მასალა ავლენს. აფუებული ყვარლის ფიქლის მექანიკური სიმტკიცე კუმშვაზე სამჯერ აღემატება კერამიტიკისათვის მიღებულ აუცილებელ სიმტკიცეს, რაც ფორიანი ყვარლის ფიქლის გამოყენების პერსპექტიულობის განმსაზღვრელ ფაქტორად შეიძლება იქნას მიჩნეული.

გამოყენების სფეროებთან მიმართებაში, ყვარლის ფიქლიდან მიღებული ფორიანი მასალის მიზნობრივი გამოყენება დიდი ვარაუდით შესაძლებელი იქნება მაღალტემპერატურული თბოაგრეგატების (საქვაბე, ღუმელები და ა.შ.) გარე იზოლაციაში, კერძოდ ნაყარი თბოსაიზოლაციო მასალის სახით. სხვა გამოყენების სფეროები უკვე დამატებითმა კვლევით სამუშაოებმა უნდა გამოავლინოს, მაგრამ ფორიანი ფიქლის თვისებებიდან გამომდინარე მოსალოდნელია მისი გამოყენება პერიმეტრალური დანიშნულების თბოსაიზოლაციო ბეტონების (ნაკეთობათა სახით) და მიზნობრივი დანიშნულების (სხმული ნაკეთობანი და კონსტრუქციები) კონსტრუქციული ბეტონების მისაღებად.

დასკვნა

ჩატარებული სამუშაოს საფუძველზე მიღებულია შედეგები, რომელთა საფუძველზე გაკეთდა დასკვნები:

√ ყვარლის ფიქლში, რომელიც ხასიათდება რთული მინერალოგიური შედგენილობით, მისი თერმული დამუშავებისას შესაძლებელია სტრუქტურული გარდაქმნები, რაც დადასტურდა პეტროგრაფიული შესწავლით, თერმული და რენტგენოფაზური კვლევის მეთოდებით და თვისებათა შედარებით;

√ თერმული დამუშავება განაპირობებს ყვარლის ფიქლში ამორფული შემადგენლობა წარმოქმნას და აფუების პროცესის დაწყებას, რომლის ინტესივობის პიკი 900°C-დან იწყება;

√ შესაძლებლადაა მიჩნეული, რომ ყვარლის ფიქლის აფუების გამომწვევ მიზეზთა შორის წამყვანია მასში წარმოდგენილი რკინის შემცველი ნაერთების (მინერალების) ტემპერატურული გარდაქმნა და ასევე ჰიდროალუმინოსიკატური მინერალებიდან ნარჩენი სტრუქტურული წყლის გამოყოფა;

√ დადგინდა, რომ ყვარლის ფიქლის აფუების მოცულობითი კოეფიციენტის მნიშვნელობებს განსაზღვრავს მისი თერმული დამუშავების ტემპერატურა და ხანგრძლივობა, რომელთა ოპტიმალური მნიშვნელობები განისაზღვრა ტემპერატურის 1150°C-დან 1250°C-მდე, ხოლო ხანგრძლივობის 10-12 წუთიანი ინტერვალებით;

√ ყვარლის ფიქლის აფუებისადმი მიდრეკილების განმსაზღვრელი ფაქტორია ბუნებრივი ქანის მარცვლების გრანულომეტრია - სტაციონალური (იდენტური პარამეტრების დაცვით) თერმული დამუშავების პირობებში წვრილმარცვლოვანი ფრაქციები (1 – 2 მმ) თითქმის ორჯერ უკეთ აფუვდება, ვიდრე მსხვილმარცვლოვანი (მეტია 5 მმ-ზე) მასალა;

√ შეირჩა ყვარლის ფიქლის თერმული დამუშავების განსხვავებული ექვსი რეჟიმი, რომელთაგან გამოვლინდა ტექნოლოგიურობით საუკეთესო - რეკომენდაცია გაეწია ყვარლის ფიქლის თერმული დამუშავების ორსაფეხურიან რეჟიმს: 600°C-ზე პირველ ღუმელში შეტანა შემდგომი ტემპერატურის აწევით 750-800°C-მდე და ცხელი მასალის გადატანა მეორე ღუმელში (საწყისი ტემპერატურით დაახლოებით 1100°C)

სადაც 1250°C-ის მიღწევის შემდეგ ხდება მისი დაყოვნება 15 – 20 წუთის განმავლობაში;

√ ორსაფეხურიანი თერმული დამუშავების რეჟიმის ხანგრძლივობა ლაბორატორიული ცდების შემთხვევაში შეადგენს 90 წუთს, უზრუნველყოფს მასალის მარცვლების გრანულომეტრიის შენარჩუნებას (გამორიცხავს მასალას არასასურველ ნაჩქარევ მსხვრევას) აფუების პროცესის დაწყებამდე;

√ ოპტიმალური ორსაფეხურიანი რეჟიმის მასალათა მარცვლების თერმული დამუშავებისას მიიღწევა აფუების მაღალი ხარისხი, რაც 0,25-დან 20,0 მმ-ანი ფრაქციულობის შემთხვევაში, შესაბამისად ვლინდება აფუების კოეფიციენტის მნიშვნელობათა ზრდაში 1,7-დან 3,9-მდე;

√ ყვარლის ფიქლის თერმული დამუშავებით მიღებული ფორიანი მასალებისათვის დადგინდა, რომ მათი ფრაქციულობიდან გამომდინარე შესაძლებელია 0,35-0,65 გ/სმ³ ნაყარი მოცულობითი სიმკვრივის მქონე პროდუქტის – ფორიანი მასალის მიღება;

√ დადგინდა ფორიანი მასალების გრანულომეტრიის გავლენა მათ წყალშთანთქმის უნარზე (5 – 160%) და სიმტკიცეზე (კუმშვაზე: 2,4 – 15,4 მპა) იმ პირობის გათვალისწინებით, რომ ფორიანი მასალის მარცვლების ზომების ზრდა ამცირებს ორივე მახასიათებლის მნიშვნელობებს;

√ მშრალი და წყლით ნაჯერი ფორიანი მასალების კუმშვაზე სიმტკიცეთა სიდიდეების ფარდობების გათვლით მიღებული ე.წ. გარბილების კოეფიციენტის ($K_{გარბ.} = 0,7 \div 1,0$) მნიშვნელობათა საფუძველზე გაკეთდა დასკვნა, რომ ფორიანი ყვარლის ფიქალი მიეკუთვნება წყალმედვე მასალათა სახეობას ($K_{გარბ.} \geq 0,75$);

√ ყვარლის ფიქლის აფუებით მიღებული მასალისათვის (1250°C, 10 – 12 წთ) განისაზღვრა ჭეშმარიტ ($\gamma_{\text{ჭეშ}}=2,53$ გ/სმ³) და მოჩვენებით ($\rho = 0,52$ გ/სმ³) სიმკვრივეთა მნიშვნელობები და დადგინდა, რომ აფუებული ყვარლის ფიქლისათვის დამახასიათებელია დაახლოებით 80%-ანი ჭეშმარიტი (სრული) ფორიანობა, ხოლო სტრუქტურული მოწყობის განმსაზღვრელი-დახურული ფორებია (დაახლოებით 70%), როდესაც ღია ფორებზე 10%-ზე ნაკლები მოდის;

√ შემუშავდა ყვარლის ფიქლიდან ფორიანი მასალის მიღების ტექნოლოგიური სქემა, რომელსაც საფუძვლად დაედო ორსაფეხურიანი თერმული დამუშავების

პროცესი. წარმოდგენილია რეკომენდაციები ტექნოლოგიური პროცესის განხორციელების გზის და რეჟიმების ჩვენებით;

√ ყვარლის ფიქლიდან მიღებულ ფორიანი მასალების თვისებათა კომპლექსური შეფასების საფუძველზე ჩამოყალიბდა და წარმოდგენილია რეკომენდაციები თერმული დამუშავებით მიღებული მასალების გამოყენების შესაძლო სფეროებთან მიმართებაში, კერძოდ მაღალტემპერატურული ნაყარი თბოსაიზოლაციო მასალის და შემსუბუქებული ბეტონის ნაწარმის მისაღებად გამოყენებული შემავსებლის სახით.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. თ. ჭეიშვილი, ზ. ჯავაშვილი. ყვარლის ფიქლის საფუძველზე ფორიანი მასალის მიღების შესაძლებლობის შესწავლა. საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი „კერამიკა“ N2(32), 2014, გვ. 49-52.
2. ზ. ჯავაშვილი, თ. ჭეიშვილი. ფორიანი არაორგანული მასალების მიღების და გამოყენების პერსპექტივა საქართველოში. ჟურნალი ინტელექტუალი, N28, 2015, გვ.112-116.
3. ზ. ჯავაშვილი, თ. ჭეიშვილი. ადგილობრივი ბუნებრივი ქანების გამოყენებით ფოროვანი მასალების მიღება და შესწავლა. სტუ-ს შრომები, N4(498), 2015, გვ.37-41.

დისერტაციის ძირითადი შედეგების აპრობაცია:

1. Z. Javashvili, T. Cheishvili. Obtaining and studying porous heat insulating materials with the use of local natural rocks. Inonovative technologies in metallurgy and materials science. Book of Abstracts. Tbilisi, Georgia, 2015, p. 154-155.
2. თ. ჭეიშვილი, ზ. ჯავაშვილი. აფუებული თიხაფიქალი, მისი მახასიათებელი თვისებები და გამოყენების პერსპექტივები. საერთაშორისო სამეცნ.პრაქტ. კონფ. „თანამედროვე საინჟინრო ტექნოლოგიები და გარემოს დაცვა“. შრომების კრებული, ნაწ.1, ქუთაისი, 2016, გვ. 130-132.

Abstract

Porous inorganic materials take especial place in many important industrial branches, such as metallurgy, building industry, agroindustry and other, since except direct use, on their basis is possible to get many kinds of light weight materials and wares. Materials of mentioned type are rare in occurrence in nature and basically they are obtained by artificial ways. For this purpose are used natural rocks exposed to foaming, such as perlites, obsidians or easily low-melting (fusible) clays and clay slates. In this direction special attention is paid over recent years to Kvareli slate – natural rock available in Georgia. On the basis of study of mentioned material is expressed an opinion related to the prospect of its use in many fields of silicate industry. However, task-oriented works on Kvareli slate still are not conducted, despite the fact that its application for industrial purposes is accompanied with issues, which are directly related to preservation of ecological balance in geographical region of Kakhetian Kvareli.

It is noteworthy that available data related to rocks of similar nature basically can't be used in respect to Kvareli slate, since the conditions of rock formation in each location to a great extent determine both its chemical and mineralogical composition and, respectively, peculiarities of properties.

The subject of conducted researches is Kvareli slate, interest to which is predetermined not only by importance of development of local raw material base, but also by issues of ecological nature. The work set a goal of solution of specific tasks – determination of optimal parameters for getting foamed materials from Kvareli slate based on granulometry of natural rock and property investigation of obtained porous materials. Consideration of issue in this direction basically had to predetermine processability of Kvareli slate foaming and to define possible areas of application of obtained porous materials.

Study of Kvareli slate foaming process and obtained materials was carried out for determination of properties of rocks and materials of silicate nature in technical analysis, with the use of structural analysis methods of solid silicate materials. Among them one can name the methods of study and determination of chemical, petrographic, X-ray structural, thermal analysis and characteristic properties (bulk weight, water absorption, porosity, thermal stability etc.).

Through comparative study and assessment of products obtained as a result of thermal processing of natural rock – Kvareli slate was established that thermal processing significantly changes mineralogy of surveyed raw material. In finely grained slate of zonal structure are represented both silicate-type (quartz-plagioclase, field spar, chlorites) and spinel-type (basically iron-containing gercite, magnesioferrite, maghemite etc.) minerals, part of which experiences transformation within the range of 570-730°C that can be caused by loss of bound water by separate minerals, modification of their structure and oxidation-reduction processes occurring

in iron-containing minerals. At higher temperature (900-1250°C) begins formation of amorphous phase and foaming process, intensity of which reduces at 1300 and higher temperatures, when takes place slate vitrification – virtually vitrified material (with inclusions of crystalline nature) is obtained.

Through carried out researches is obtained a result, according to which the foaming process of Kvareli slate can be conducted within the range of 1000-1300°C, and effectiveness of foaming process is reached at 1200-1250°C, with holding of foamable material at this temperature within 10-15 minutes. Almost all properties of porous material are depended on grain sizes that creates an opportunity of getting porous material, and in case of 5-20 mm grain particle size is possible to obtain material with formation of cellular structural configuration and having the following characteristic properties: bulk density 350-450 kg/m³, water absorption 15-20%, compressive strength 2-20 gPa, thermal stability at more than 900°C.

In order to carry out Kvareli slate foaming process under production conditions was selected and recommended the thermal processing of Kvareli slate with double-stage mode (with holding at 800 and 1250°C) and was composed a corresponding processing scheme (including raw material preparation and sorting of end product). Values of desirable parameters to be kept at different stages of foaming process technology was determined and represented.

Based on structural configuration of foamed Kvareli slate and importance of its characteristic properties is recommended to use Kvareli slate for getting light weight construction materials and in the form of bulk thermal insulating materials.