

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მაია ბალახაშვილი

მაღალცეცხლგამძლე დოლომიტ-სერპენტიტური
კომპოზიტის მიღება და კვლევა

ავტორეფერატი

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

თბილისი
2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ქიმიური ტექნოლოგიის დეპარტამენტის ბიონანოსამედიცინო, კერამიკული და პოლიმერული კომპოზიტების ტექნოლოგია, ინსპექცია, კონტროლი მიმართულებაზე და შ.პ.ს. “საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნულ ცენტრში”.

ხელმძღვანელები: პროფ. ზ. კოვზირიძე

პროფ. ნ. ნიჟარაძე

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება -----წელი”-----“-----, -----საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი-----

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება თემის აქტუალობა

თანამედროვე ტექნიკის სწრაფი განვითარება მოითხოვს მეტალურგიის სფეროში მაღალი სიმტკიცისა და ხარისხის ფოლადის წარმოებას. ეს საჭიროებს მაღალი საექსპლოატაციო თვისებების მქონე მაღალცეცხლგამძლე მასალების მიღებას.

მეტალურგიის თბური აგრეგატების და ცემენტის გამოსაწვავი მბრუნავი ღუმელების მაღალტემპერატურულ შეცხოების ზონაში მაგნეზიტური ცეცხლგამძლეები გამოიყენება. მაგნეზიტური მასალები ხასიათდებიან მაღალი ცეცხლგამძლეობით $>1900^{\circ}\text{C}$ -ზე (პერიკლაზის 2800°C) და მდგრადობით ფუძე თვისებებისა და რკინაშემცველი ნაღებების მიმართ.

მაგნეზიტური ცეცხლგამძლეების: მაგნეზიტურ-ქრომიტული, ქრომმაგნეზიტური, პერიკლაზ-შპინელიდური, პერიკლაზური ნედლეულია მაგნეზიტი, რომლის მარაგის შემცირებამ მთელს მსოფლიოში მეცნიერთა წინაშე მკაცრად დააყენა ამოცანა არსებულის თვისებების გაუმჯობესების და მათი შეცვლის შესაძლებლობის ძიებისა სხვა რომელიმე ფუძე შედგენილობის ცეცხლგამძლეებით.

პირველი მიმართულებით აღსანიშნავია სრულყოფა და ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებების გაუმჯობესება ნახშირბად-პერიკლაზური ცეცხლგამძლეებისა, როგორც ნახშირბადშემცველი დანამატის, ასევე ორგანული შემკვრელების შერჩევის გზით და წარმოების ტექნოლოგიის დამუშავებით.

მეორე მიმართულებით განვითარებულ ქვეყნებში უკვე დაიწეს მაგნეზიტური ცეცხლგამძლეების შეცვლა სხვა ფუძე შედგენილობის მასალებით სადაც ნედლეულის სახით იყენებენ დოლომიტებს

ეს პრობლემა განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოსათვის, სადაც ტრადიციული ცეცხლგამძლე ნედლეული არ მოიპოვება და შესაბამისად არ არის განვითარებული ეს დარგი. არის მეტალურგიული და ცემენტის გამოსაწვავი წარმოებები მაღალტემპერატურული პროცესებით, რომელთა საჭიროებისათვის შესაბამისი ძვირადღირებული ნაკეთობები საზღვარგარეთიდან შემოიტანება.

საქართველოში არის დოლომიტების და სერპენტინიტის საბადოები, რომელთა გამოყენება შესაძლებელია ფუძე შედგენილობის მაღალცეცხლგამძლე მასალის მისაღებად. დოლომიტების გამოყენება შეზღუდულია მისი დაშლის შედეგად მიღებული აქტიური კალციუმის ოქსიდის მაღალი ჰიდრატაციის გამო. დოლომიტ-სერპენტინიტის ნარევის გამოწვისას კი შესაძლებელია კალციუმის ოქსიდის შეკავშირება სერპენტინიტის SiO_2 -თან კალციუმის სილიკატების წარმოქმნით, რომლებიც მაღალცეცხლგამძლე კომპონენტებია. ერთდროულად სერპენტინიტის შემცველი მაგნიუმის ოქსიდი გაზრდის დოლომიტის MgO -ს, რაც ასევე მნიშვნელოვანია.

სამუშაოს მიზანი

ჩვენი სამუშაოს მიზანია საქართველოს დოლომიტის და სერპენტინიტის ყველა საბადოს შესწავლა, მათი ვარგისობის დადგენა დოლომიტის და სერპენტინიტის ნარევის გამოწვით მაღალცეცხლგამძლე კლინკერის მისაღებად. შემდეგ მიღებული კლინკერის ბაზაზე ტორკრეტ-ბეტონისა და მაღალცეცხლგამძლე კომპოზიტის წარმოების ტექნოლოგიის დამუშავება სხვადასხვა დანამატისა და შემკვრელის გამოყენებით, მეტალურგიის თბური აგრეგატების და ცემენტის გამოსაწვავი მბრუნავი ღუმელის შეცხოების ზონის ამონაგისათვის მაგნეზიტიური ცეცხლგამძლეების შესაცვლელად.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები

კვლევის ობიექტი იყო საქართველოს დოლომიტებისა და სერპენტინიტების საბადოები, მათი შესწავლა და ვარგისობის დადგენა დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის მისაღებად. კლინკერის ბაზაზე მაღალცეცხლგამძლე ნახშირბადშემცველი კომპოზიტის მიღება და კვლევა.

სამუშაოს შესასრულებლად გამოყენებულ იქნა კვლევის თანამედროვე მეთოდები. ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრისათვის სახელმწიფო სტანდარტებით დადგენილი მეთოდები და ხელსაწყო-დანადგარები:

- ცეცხლგამძლეობა. მაღალტემპერატურული სილიტის ღუმელი.
- თერმული მედეგობა. მაღალტემპერატურული სილიტის ღუმელი.
- სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას. ჰიდრაულიკური წნეხი.
- ფორიანობა და სიმკვრივე. ვაკუუმური აპარატი.
- რენტგენოსტრუქტურული ანალიზი. დიფრაქტომეტრი “ДРОИ-3”.
- თერმოგრაფიული ანალიზი. დერივატოგრაფზე G-1500D.
- ელექტრონული მიკროსკოპია. რასტრული ელექტრონული მიკროსკოპი.
- მიკრორენტგენოსპექტრული ანალიზი. OXFORD instrumentals დეტექტორზე X-max.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

სამუშაოში შესწავლილია საქართველოში არსებული დოლომიტების (აბანო, სკური, მუხური) და სერპენტინიტების (წნელისის, საჩხერის) საბადოები, დადგენილია მათი ვარგისობა დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის მისაღებად.

საწყის ეტაპზე (წნეხფხვნილების მომზადება) დადგინდა დოლომიტისა და სერპენტინიტის დაფქვის ოპტიმალური რეჟიმი სასურველი ზომის ფხვნილების და დოლომიტ-სერპენტინიტის ნარევის ოპტიმალური თანაფარდობის მისაღებად. თეორიულად იქნა გათვლილი კლინკერის სასურველი მინერალოგიური შედგენილობა.

პირველად იქნა შესწავლილი დოლომიტისა და სერპენტინიტის 3:1 და 4:1 თანაფარდობით მიღებული ნიმუშების შეცხოებისა და მინერალების წარმოქმნის პროცესები გამოწვის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით. დადგენილია კლინკერის ოპტიმალური შედგენილობა და გამოწვის რეჟიმი.

დადგინდა, რომ ორივე შემთხვევაში დოლომიტისა და სერპენტინიტის ქიმიური ურთიერთქმედებისას ხდება ახალი ფაზების: პერიკლაზის, ალიტის და ბელიტის წარმოქმნა, რომელთა შემცველობა მათ თანაფარდობაზეა დამოკიდებული.

შესწავლილი იქნა შემკვრელების გავლენა დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ფიზიკურ-ტექნიკურ თვისებებზე და დადგინდა შემკვრელის სახეობა და დანამატის რაოდენობა.

დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ბაზაზე მიღებულ იქნა ოპტიმალური ტორკრეტ-ბეტონი..

ნახშირბადშემცველი დოლომიტ-სერპენტინიტური მაღალცეცხლ-გამძლე კომპოზიტის მისარებად შესწავლილ იქნა სხვადასხვა ნახშირბადშემცველი დანამატი. დადგინდა დანამატის სახეობა და ოპტიმალური რაოდენობა, ნიმუშების დასაყალიბებელი ოპტიმალური წნევის სიდიდე.

ნახშირბადშემცველი დანამატის დაქანგვის თავიდან ასაცილებლად კომპოზიტის შემადგენლობაში დამატებულ იქნა ანტიდამუხანგავი-სილიციუმი.

სამუშაოს მეცნიერულ სიახლეს წარმოადგენს დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის მიღება მის ბაზაზე ნახშირბადშემცველი დოლომიტ-სერპენტინიტური კომპოზიტის მიღება ბელიტის შემცველობის გარეშე. მისი არსებობა არასასურველია, პოლიმორფული გარდაქმნის შედეგად განიცდის მოცულობის ცვლილებას და იწვევს ნაკეთობის დაბზარვას.

რენტგენოსტრუქტურული, პეტროგრაფიული, ელექტრონული მიკროსკოპიის და ელექტრონულსპექტრული ანალიზით დადგინდა კლინკერისა და კომპოზიტის ფაზური შედგენილობა. ძირითადი მინერალებია: პერიკლაზი და ალიტი. მცირე რაოდენობით წარმოიქმნება C_4AF , C_2F და C_3A , რომლებიც ქმნიან შუალედურ ნივთიერებას და ახელს უწყობენ შეცხობის პროცესს.

პირველად მიღებულ იქნა ნახშირბადშემცველი დოლომიტ-სერპენტინიტური კომპოზიტი. ნახშირბადიანი მასალები ასრულებენ კლინკერის შემკვრელის როლს დაყალიბებისას, დაყალიბების შემდეგ, გამოწვის დროს და გამომწვარი ნაკეთობისათვის. გამომწვარ მასალაში ნახშირბადის ნაწილაკები ერთმანეთთან კონტაქტისას წარმოქმნის აგრეგატებს და მთელი ნაკეთობის მოცულობაში ქმნის უწყვეტ ჯაჭვებს და ზრდის მის საექსპლუატაციო თვისებებს.

სიახლეა ის, რომ ნახშირბადშემცველი დოლომიტ-სერპენტინიტური კომპოზიტის ბაზაზე მიღებული ნაკეთობები გამოირჩევიან უფრო მაღალი თერმული მედეგობით (1300⁰C-წყალი) 7-8 თბოცვლა, არსებულ მონოფაზურ პერიკლაზნახშირბადოვან ცეცხლგამძლეებთან შედარებით, რომელთა თერმული მედეგობა 3-4 თბოცვლაა. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ცემენტის გამოსაწვაში მბრუნავი ღუმელების შეცხოების ზონის ამონაგისათვის, რომელსაც მუშაობა უწევს სწრაფი ტემპერატურის ცვლილების პირობებში. შესწავლილი იქნა მიღებული მასალების თვისებები და განსაზღვრულ იქნა მათი გამოყენების სფეროები.

შედგების გამოყენების სფერო

დამუშავებული დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის გამოყენება შესაძლებელია ტორკრეტ-ბეტონის დასამზადებლად. ტორკრეტ-მასის ზირითადი კომპონენტები: მჭიდა მასალა, მსხვილი და წვრილი შემავსებელი შეიძლება დამზადებული იქნას დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ბაზაზე სათანადო ფრაქციული და რაოდენობრივი შედგენილობით, რომელიც იქნება დამუშავებული ჩვენს მიერ.

ტორკრეტ-ბეტონის გამოყენება შესაძლებელია მეტალურგიული ღუმელების ამონაგის შესასრულებლად და ცხელი რემონტის ჩასატარებლად.

ნახშირბადშემცველი დოლომიტ-სერპენტინიტური კომპოზიტი-საგან დამზადებული ნაკეთობები (აგურის სახით) შეიძლება იქნას გამოყენებული მეტალურგიული თბური დანადგარების და ცემენტის გამოსაწვაში მბრუნავი ღუმელების შეცხოების ზონის ამონაგისათვის.

დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ბაზაზე შესაძლებელია სატკეპნი მასის მომზადება ინდუქციური ღუმელების ამონაგისათვის.

დამუშავებული ტექნოლოგია ჩაინერგება ძირულის “ცეცხლგამძლე ნაკეთობათა კომბინატში”, რომელიც ცეცხლგამძლე ნედლეულია არარსებობის გამო არ მუშაობს დაყ ველა უბანი მოწესრიგებულია.

დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა

ნაშრომი შედგება შესავლის, სამი თავისა და დასკვნისაგან, წარმოდგენილია 148 ნაბეჭდ გვერდზე, შეიცავს 19 ცხრილს, 29 ნახაზს და ერთვის ციტირებული ლიტერატურის ნუსხა (119 დასახელება).

ნაშრომის შედეგები

ექსპერიმენტისათვის გამოყენებულ იქნა დოლომიტები (აბანოს, სკურის, მუხურის), სერპენტინიტები (წნელისის, საჩხერის), გრაფიტი, ტექნიკური ნახშირბადი, ტყბულის ქვანახშირის გამდიდრების ნარჩენები, ცეცხლგამძლე თიხა, სილიციუმი, ნახშირბადის ბოჭკო და პლასტიფიკატორები.

დოლომიტი არის კალციუმისა და მაგნიუმის ორმაგი მარილი ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). საქართველოს დოლომიტის საბადოებიდან ყველაზე მეტად შესწავლილი და გამოყენებულია აბანოს ადგილმდებარეობის დოლომიტი. გარეგნულად დოლომიტი ნატეხების სახითაა, ღია მოყვითალო ნაცრისფერიდან ვარდისფერამდე.

სერპენტინიტები მთის ქანებია, რომლებიც მთლიანად მინერალ სერპენტინისაგან ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) შედგებიან და ითვლებიან მაგნიუმის ჰიდროსილიკატების ჯგუფის წარმომადგენლად.

გრაფიტი - ნახშირბადის ერთ-ერთი პოლიმორფული მოდიფიკაციაა. სტრუქტურა შრეებრივია. შრეებში ნახშირბადის ატომები განლაგებულია წესიერი ექვსკუთხედის წვეროებში. მეზობელ ატომებს შორის მანძილია $1,42\text{Å}$, ხოლო შრეთა შორის $-3,55\text{Å}$. ყოველი შრის ფარგლებში კავშირი ატომებს შორის მტკიცეა, კოვალენტური.

ტექნიკური ნახშირბადი არასრული წვის ან ნახშირწყალბადის თერმული დაშლის დისპერსიული ნახშირბადიანი პროდუქტია. შედგება შავი ფერის სფერული ნაწილაკებისაგან. ნაწილაკთა საშუალო ზომაა $100-3500\text{Å}$. მოჩვენებითი სიმკვრივე $50-500\text{კგ/მ}^3$. ნაწილაკები წარმოიქმნება ნახშირბადის ატომებისაგან შემდგარი ფენებისაგან.

ტყბულის ქვანახშირის ნარჩენები ძირითადად აგებულია სხვადასხვა შემადგენლობის ქანის ნატეხებისაგან, რომელთაგან ძირითადად უნდა აღინიშნოს სხვადასხვა მარცვლოვანი ალევრიტები,

ჰუმუს და ნახშირშემცველი არგილიტები.

თიხები დანალექი მთის ქანებია, თავისი შედგენილობით მიეკუთვნებიან წყლიან ალუმოსილიკატებს. ძირითადი შემადგენელი ოქსიდებია: Al_2O_3 , SiO_2 და H_2O .

სილიციუმი მუქი ნაცრისფერი კრისტალური ნივთიერებაა მეტალისებრი ელვარებით, რომელსაც აქვს კუბური ფორმის კრისტალური მესერი. სილიციუმის მიღება ხდება ადღენით კაჟმიწისაგან ელექტრულ რკალში გრაფიტის ელექტროდებს შორის.

კომპოზიციურ მასალებს, რომლებიც არმირებულია ნახშირბადოვანი ბოჭკოებით, ახასიათებთ მაღალი დრეკად-სიმტკიცური მახასიათებლები, აგრესიული გარემოს მიმართ ქიმიური მდგრადობა, გაზრდილი ცვეთამედეგობა, თბო- და ელექტროგამტარებლობა, დაბალი თერმიული გაფართოების კოეფიციენტი, მდგრადობა თერმიული და რადიაციული დარტყმების მიმართ.

პლასტიფიკატორები ორგანული ნივთიერებებია, რომლებიც შეჰყავთ მასალებში მათთვის პლასტიურობის მისაცემად (უნარი შეუქცევადი დეფორმაციების) და მაღალპლასტიური მდგომარეობის გაფართოებისათვის. პლასტიფიკატორების შეყვანა ამცირებს წყალგამტარობას, ზრდის სიმტკიცეს.

საქართველოს დოლომიტებისა და სერპენტინიტების შესწავლა და მათი ვარგისობის დადგენა დოლომიტ - სერპენტინიტური კლინკერის მისაღებად

საქართველოში დოლომიტის საბადოებია: აბანოს, სკურის და მუხურის.

სერპენტინიტის ორი საბადოა: წნელიისა და საჩხერის, საკმაოდ დიდი მარაგით.

შესწავლილ იქნა საქართველოს დოლომიტისა და სერპენტინიტის ყველა საბადო და ჩატარდა მათი შედარებითი კვლევა.

ქიმიური შედგენილობა აბანოს, სკურისა და მუხურის საბადოს დოლომიტების მოცემულია ცხრილში 1.

დოლომიტების შემადგენელი ძირითადი ოქსიდებია CaO და MgO . ამ ოქსიდების შემცველობა სამივე საბადოს დოლომიტში თითქმის

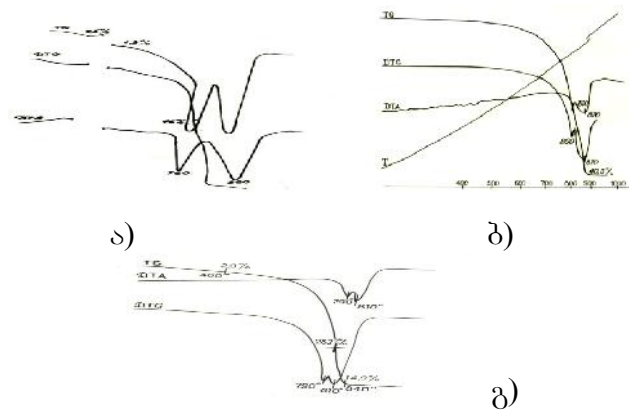
ერთნაირია (ცხრილი). მინარევების სახით შეიცავენ მცირე რაოდენობით SiO₂, Al₂O₃- ს და ტუტე ოქსიდებს.

ცხრილი 1. დოლომიტების ქიმიური შედგენილობა

საბადოს დასახელება	ოქსიდების შემცველობა, მას.%													სინესტე	ს.დ.
	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	CaO	SO ₃	MnO	R ₂ O ₅	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	R ₂ O			
აბანო	0,88	2,62	18,23	4,50	32,01	0,38	0,7	-	-	-	-	0,13	0,21	40,77	
სკური	0,08	2,04	19,93	-	32,25	0,14	0,02	0,12	0,03	0,1	1,3	-	-	45,8	
მუხური	0,1	0,06	20,65	1,26	31,29	-	-	-	-	-	-	-	0,12	46,52	

მათ შედგენილობაში მიუხედავად მცირე განსხვავებისა, ისინი ერთმანეთის იდენტური არიან. ეს დასტურდება თერმოგრაფიული და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის შედეგებით..

სამივე საბადოს დოლომიტის თერმოგრამა წარმოდგენილია ნახ.1-ზე.

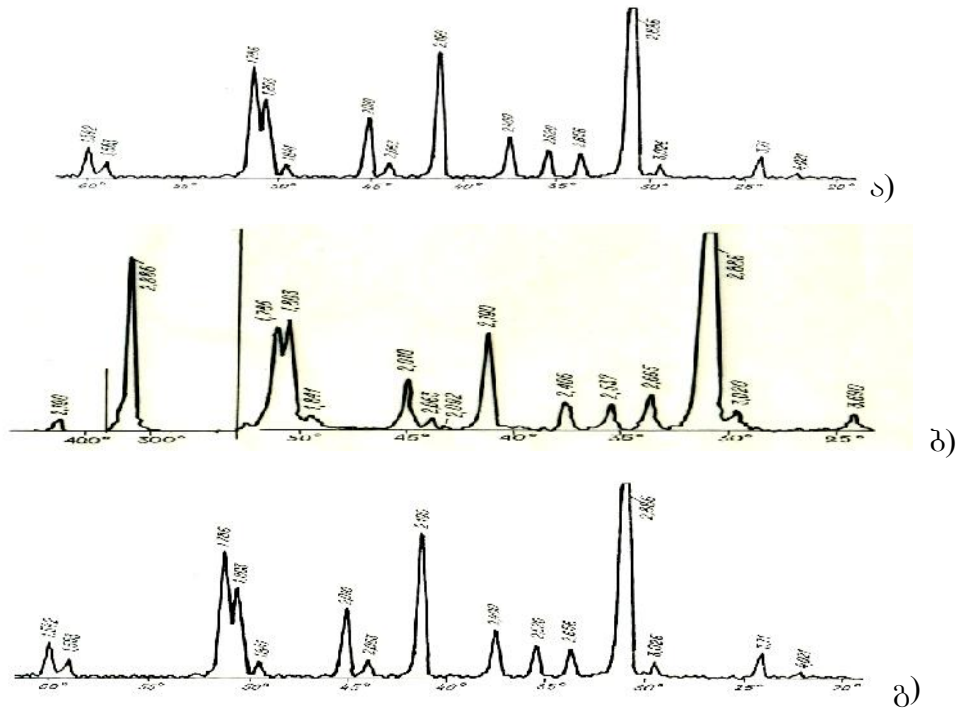


ნახ. 1. დოლომიტების თერმოგრამები: ა) აბანოს; ბ) სკურის; გ) მუხურის

სამივე თერმოგრამაზე დაფიქსირებულია დოლომიტისათვის დამახასიათებელი ენდოფექტები: აბანოს 760 და 810⁰C, სკურის 810 და 870⁰C, ხოლო მუხურის 790 და 810⁰C. სამივე შემთხვევაში თითქმის ერთნაირ ტემპერატურულ ინტერვალში, კერძოდ 760⁰C-დან იწყება CaMg(CO₃)₂-ის დაშლა კარბონატებად, MgCO₃-ის დაშლის ენდოპიკია 760, 790 და 810⁰C-ია, ხოლო CaCO₃-ის 860, 870 და 810⁰C-ზე.

ნახ.2-ზე წარმოდგენილია აბანოს, სკურის და მუხურის საბადოების დოლომიტის რენტგენოგრამები.

სამივე რენტგენოგრამაზე დაფიქსირებულია მათი ძირითადი მინერალის CaMg(CO₃)₂ დიფრაქციული მაქსიმუმები d_{hkl}-4,02; 3,71; 3,026; 2,656; 2,520; 2,190; 2,063; 2,010; 1,803; 1,786 Å⁰, რომელთა ინტენსივობა სამივე შემთხვევაში თითქმის ერთნაირია.



ნახ. 2. დოლომიტის დიფრაქტოგრამები: ა) აბანოს, ბ) სკურის; გ) მუხურის.

ქიმიური, თერმული და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის შედეგები ნათლად მეტყველებენ სამივე საბადოს დოლომიტის იდენტირობაზე.

ასევე ჩავატარეთ წნელისის და საჩხერის სერპენტინიტის საბადოების შედარებითი კვლევა ქიმიური, თერმული და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის საშუალებით. ქიმიური ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 2, თერმოგრამები და რენტგენოგრამები შესაბამისად ნახ. 3 და 4-ზე.

ცხრილი 2. სერპენტინიტების ქიმიური შედგენილობა

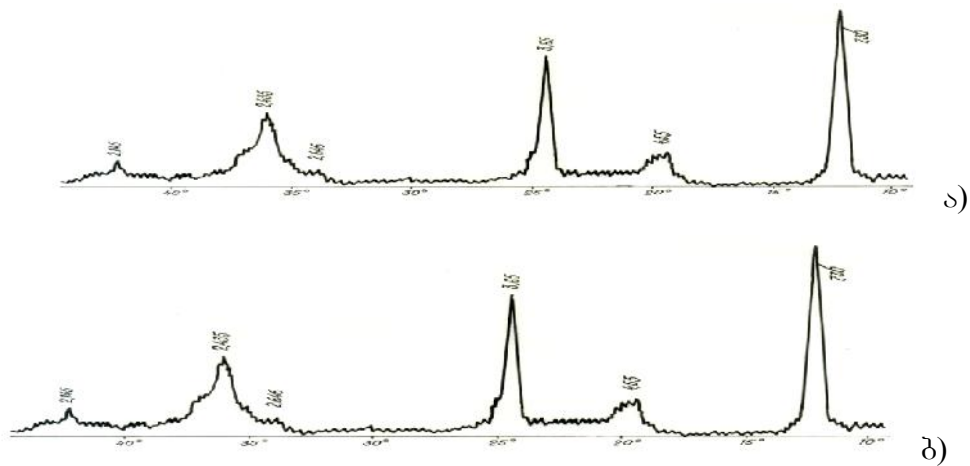
საბადოს დასახელება	ოქსიდების შემცველობა, მას.%								
	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	CaO	SO ₃	R ₂ O	სინესტე	ხ.დ.
წნელისის	8,20	1,70	39,36	37,22	0,56	0,3	0,13	0,32	12,20
საჩხერის	6,45	2,57	33,69	39,92	1,47	-	-	-	15,90

სერპენტინიტის ორივე საბადოს (ცხრილი 2) ძირითადი კომპონენტებია SiO₂ და MgO, რომელთა შემცველობა შესაბამისად 37,22 და 39,36 მას.% (წნელისის საბადო) და 39,92 და 33,69 მას. % (საჩხერის). სერპენტინიტების თერმოგრამაზე (ნახ.3) სამი ენდოთერმული ეფექტია, მაქსიმუმებით: 90⁰C, 650⁰C და 790⁰C და ერთი ეგზოთერმული ეფექტი მაქსიმუმით 810⁰C, რომელიც დამახასიათებელია სერპენტინიტებისათვის.



ნახ. 3. სერპენტინიტების თერმოგრამები: ა) წნელისის; ბ) საჩხერის

სერპენტინიტების რენტგენოგრამები წარმოდგენილია ნახ. 4-ზე, რომელზეც გამოკვეთილია ძირითადი შემადგენელი კომპონენტი მინერალი სერპენტინი $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. მისი დიფრაქციული მაქსიმუმებია: d_{hkl} - 7,30; 4,55; 3,65; 2,646; 2,495; 2,145 Å .



ნახ.4. სერპენტინიტის რენტგენოგრამა: ა) წნელისის; ბ) საჩხერის.

ორივე საბადოს სერპენტინიტის შედარებითი კვლევის შედეგებიდან ჩანს, რომ ქანები ძირითადად შედგებიან მინერალ სერპენტინიზაგან, რომელიც სერპენტინიტში საერთო მასის 80%-მდეა.

დოლომიტებისა და სერპენტინიტების შესწავლის შედეგად ნათელია მათი ვარვისობა მაღალცეცხლგამძლე კლინკერის მისაღებად და შემდგომი კვლევებისათვის შეიძლება ორივე საბადოს სერპენტინიტის და სამივე ადგილმდებარეობის დოლომიტის გამოყენებით.

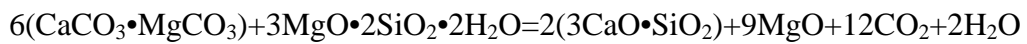
დოლომიტისა და სერპენტინიტის ბაზაზე მაღალცეცხლგამძლე კლინკერის მიღება და კვლევა

ცეცხლგამძლეების წარმოებაში დოლომიტების გამოყენება შეზღუდულია მასში თავისუფალი CaO-ს არსებობის გამო, ამიტომ ამ

ნედლეულის გამოყენება შესაძლებელია კალციუმის ოქსიდის გადაყვანით მაღალცეცხლგამძლე კალციუმის სილიკატებად.

ცეცხლგამძლე კლინკერის მისაღებად ავირჩიეთ მიმართულება:

კალციუმის სილიკატების სინთეზი დოლომიტზე მაგნიუმის ბუნებრივი ჰიდროსილიკატის (სერპენტინიტის) დამატებით, რომელიც მიმდინარეობს შემდეგი რეაქციით:



როგორც რეაქციიდან ჩანს, სერპენტინიტის შემადგენელი SiO_2 შეიძლება დაუკავშირდეს დოლომიტის კალციუმის ოქსიდს და წარმოიქმნას კალციუმის სილიკატები, რაც ხელს შეუწყობს დოლომიტის CaO -ს შემცირებას. ერთდროულად კლინკერის შედგენილობა სერპენტინიტიდან გამდიდრდება მაგნიუმის ოქსიდით, რომელიც მიიღება მინერალ პერიკლაზის სახით. მიღებული კლინკერის ძირითადი ფაზები იქნება $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, MgO და შუალედური ნივთიერება, რომელიც შეიძლება შედგებოდეს C_4AF , C_3A და სხვა ნივთიერებებისაგან. ძირითადი კომპონენტები მაღალცეცხლგამძლე, ამის გამო მიღებული კლინკერის ბაზაზე შესაძლებელი იქნება ცეცხლგამძლე ნაკეთობის მიღება.

კლინკერის მისაღებად დოლომიტისა და სერპენტინიტის ნარევის თანაფარდობა გამოვთვალოთ ამ მასალების ქიმიური შედგენილობის მიხედვით. კვლევისათვის გამოვიყენეთ მუხურის საბადოს დოლომიტი და საჩხერის ადგილმდებარეობის სერპენტინიტი. ცხრილში 1-2 მოცემულია მათი ქიმიური შედგენილობები. ჩვეულებრივად კლინკერის შედგენილობა განისაზღვრება გაჯერების კოეფიციენტის, სილიკატური და თიხამიწოვანი მოღულების დახმარებით. ჩვენ შევარჩიეთ გაჯერების კოეფიციენტის KH -ის მნიშვნელობები 0,85 და 0,95. მათი დახმარებით მოვახდინეთ დოლომიტ-სერპენტინიტის თანაფარდობისა და თეორიულად სასურველი მინერალოგიური შედგენილობის გათვლა.

$\text{KH}=0,85$ და $\text{KH}=0,95$ მნიშვნელობებისათვის მივიღეთ ნედლეულის ნარევის კომპონენტებს (დოლომიტი, სერპენტინიტი) შორის თანაფარდობა 3:1 და 4:1 შესაბამისად. მიღებული ორივე თანაფარდობისათვის (3/1 და 4/1) ნედლეული მასალების ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილში 3 გადათვლილი 100%-ზე.

ცხრილი 3. ნედლეული მასალების ქიმიური შედგენილობა

გადათვლილი 100%-ზე.

ნედლეულის დასახელება		ოქსიდების შემცველობა, %						
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	CaO	სინესტე	ხ.დ.
3/1	დოლომიტი	0.08	0.04	15.49	0.94	23.47	0.09	34.89
	სერპენტინიტი	1.61	0.64	8.42	9.98	0.37	-	3.97
4/1	დოლომიტი	0.08	0.05	16.52	1.01	25.03	0.10	37.22
	სერპენტინიტი	1.29	0.51	6.74	7.98	0.29	-	3.18

ცხრილში 4 მოცემულია თეორიულად გათვლილი როგორც კაზმის, ასევე კლინკერის ქიმიური შედგენილობები, დოლომიტ-სერპენტინიტის გაჯერების კოეფიციენტის $KH=0,85$ და $KH=0,95$ მნიშვნელობებისას, რომლების მიხედვით ჩატარდა შემდეგი კვლევა. დოლომიტ-სერპენტინიტის 3/1 თანაფარდობისას კალციუმის სილიკატების შემცველობა აღწევს 53,8, პერიკლაზის 39,16%-ს, 4/1 თანაფარდობისას შესაბამისად 49,58 და 41,80 %-ია (ცხრილი 5).

დოლომიტისა და სერპენტინიტის ნარევის გამოწვისას იგი განიცდის მთელ რიგ ფიზიკურ-ქიმიურ ცვლილებას.

ცხრილი 4. კაზმისა და კლინკერის ქიმიური შედგენილობები

ნედლეულის დასახელება	თანაფარ-დობა	ოქსიდების შემცველობა, მას. %							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	სინესტე	ხ.დ.	ჯამი
დოლომიტ-სერპენტინიტის ნარევი	3/1	10,92	0,68	23,91	23,84	1,69	0,09	38,86	100
	4/1	8,99	0,56	23,26	25,32	1,37	0,10	40,4	100
დოლომიტ-სერპენტინიტის კლინკერი	3/1	17,89	1,11	39,16	39,05	2,77	-	-	100
	4/1	15,11	0,94	39,10	42,55	2,30	-	-	100

კლინკერის მინერალოგიური შედგენილობის გაანგარიშებული მახასიათებლები, $KH=0,85$ და $KH=0,95$ მნიშვნელობისას მოცემულია ცხრილში 5.

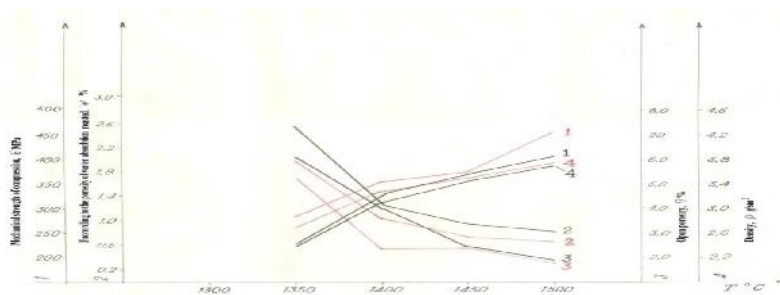
ცხრილი 5. მინერალოგიური შედგენილობების გაანგარიშებული მახასიათებლები

კლინკერი	KH	მინერალების შემცველობა, მას.%				
		C ₃ S	C ₂ S	C ₄ AF	C ₂ F	MgO
1	0,85	37,97	15,83	5,29	1,75	39,16
2	0,95	49,58	-	6,78	1,84	41,80

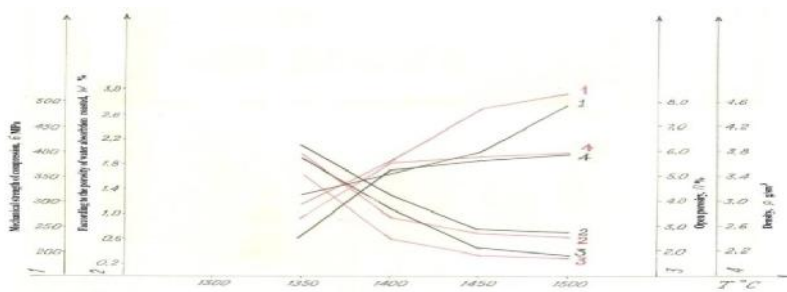
KH-ის სხვადასხვა მნიშვნელობისას იცვლება თავისუფალი CaO-ს შემცველობა, ამიტომ კლინკერის მიღების რეჟიმის პროექტირებისათვის აუცილებელია იმის მცდელობა, რომ იგი შეიცავდეს მინიმალური რაოდენობით თავისუფალ კალციუმის ოქსიდს. შევისწავლეთ დოლომიტ-სერპენტინიტის ნარევის გამოწვისას შეცხოვისა და მინერალების წარმოქმნის პროცესები გამოწვის ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით.

დავაყალიბეთ ნიმუშები, რომლებიც გამოიწვა სილიტის ღუმელში 900,1000,1100,1200,1300,1400,1450,1500⁰ C-ზე.

0-1000⁰ C –მდე ტემპერატურის აწევის სიჩქარე იყო 10⁰ C/წთ. 1000-1400⁰ C-მდე 6⁰ C/წთ.ბოლო ტემპერატურაზე დაყოვნება შეადგენდა 1 და 4 საათს.მასალების შეცხოვისა და მინერალების წარმოქმნის პროცესის შეფასება მოხდა ფორიანობის, სიმკვრივის და სიმტკიცის ზღვარის განსაზღვრით, აგრეთვე დიფერენციალურ-თერმული, რენტგენოსტრუქტურული, პეტროგრაფიული და ელექტრონული მიკროსკოპიის მეთოდებით. შედეგები წარმოდგენილია ნახაზებზე 5,6. ცხრილში 6.



ნახ. 5.დოლომიტ-სერპენტინიტის 3/1 თანაფარდობით მიღებული ნიმუშების წყალშთანთქმა, ფორიანობა, სიმკვრივე და სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას. შავი ხაზი 1საათი, წითელი ხაზი 4საათი

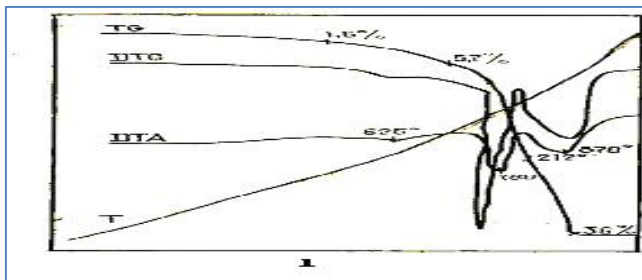


ნახ. 6. დოლომიტ-სერპენტინიტის 4/1 თანაფარდობით მიღებული ნიმუშების წყალშთანთქმა,ფორიანობა, სიმკვრივე და სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას შავი ხაზი 1საათი, წითელი ხაზი 4საათი.

ცხრილი 6. კლინკერის ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები

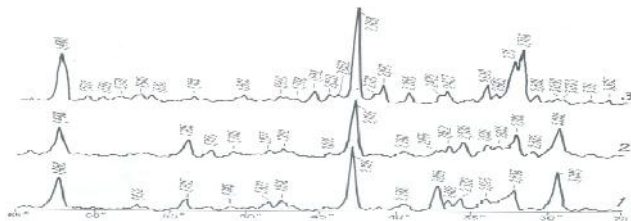
კომპონენტების თანაფარდობა, მას.%		გამოწვ ტემპ., ⁰ C	დაყოფნება, ბოლო ტემპ., სთ	ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები			
დოლომიტი	სერპენტი-ნიტი			სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას, σ კ., მპა	წყალშთან-თქმა, w, %	ფორი-ანობა, II, %	სიმკვრივე, ρ, გ/სმ ³
3	1	1350	1	228	2,50	6,10	2,40
			4	282	2,00	5,40	2,69
		1400	1	333	1,29	4,00	3,09
			4	352	1,12	2,30	3,29
		1450	1	368	0,92	2,44	3,42
			4	372	0,78	2,40	3,58
		1500	1	408	0,82	1,93	3,70
			4	454	0,67	1,88	3,72
4	1	1350	1	318	2,10	5,80	2,52
			4	296	1,98	5,10	2,74
		1400	1	355	1,30	3,63	3,45
			4	377	0,99	2,50	3,62
		1450	1	400	0,77	2,08	3,64
			4	480	0,70	1,85	3,69
		1500	1	492	0,70	1,85	3,76
			4	517	0,62	1,82	3,78

დოლომიტ- სერპენტინიტის ნარევის თერმოგრამა მოცემილია ნახ.7-ზე.

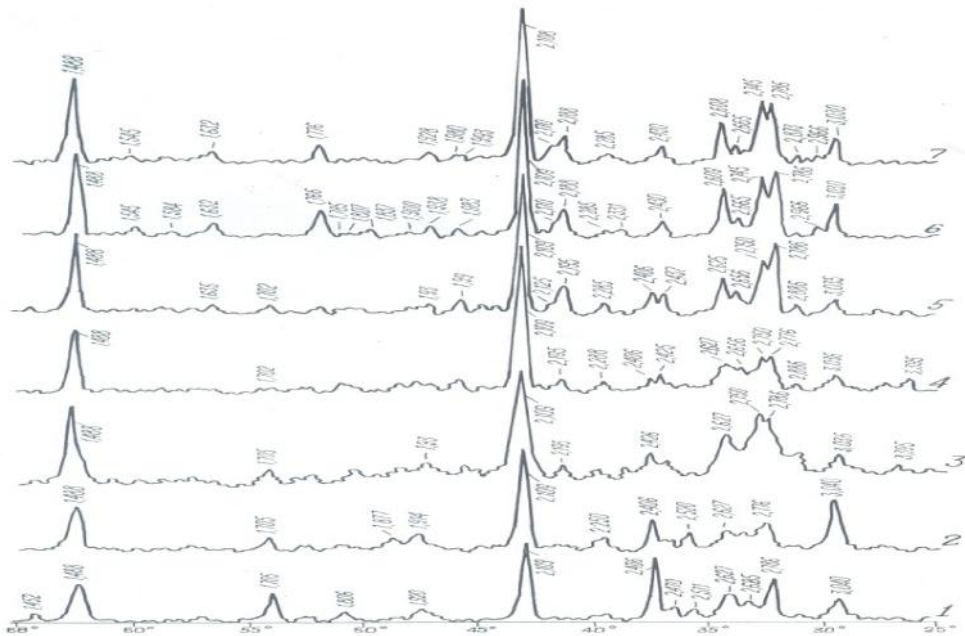


ნახ. 7. დოლომიტის და სერპენტინიტის ნარევის თერმოგრამა

რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ნახაზზე 8,9.



ნახ. 8. კლინკერი 1-ის რენტგენოგრამა, 1-900, 2 -1000, 3-1450⁰ C

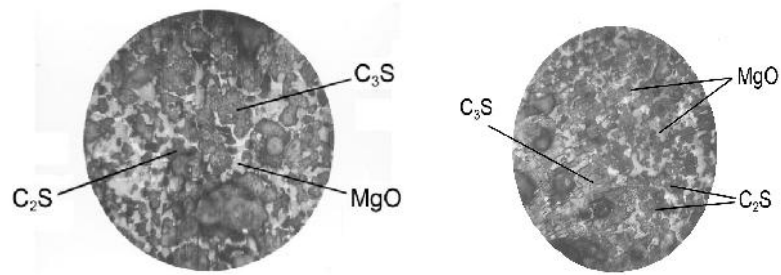


ნახ. 9. კლინკერი 2-ის რენტგენოგრამა, 1-900, 2-1000, 3-1100, 4-1200,
5-1300, 6-1400, 7-1450° C

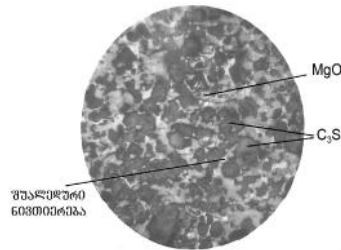
რენტგენოგრამაზე ნახაზი 8, 9 დაფიქსირებულია MgO-ს დამახასიათებელი დიფრაქციული მაქსიმუმები d_{hkl} 2,109; 1,48 Å⁰. CaO – d_{hkl} 2,406; 1,705 Å⁰, Ca(OH)₂ - d_{hkl} 2,627; 2,47 Å⁰ და CaCO₃- d_{hkl} 3,04; 1,80 Å⁰.

1000°C გამომწვარი ნიმუშების რენტგენოგრამაზე იგივე სურათია, რაც 900°C-ზე, მხოლოდ შემცირებულია ინტენსივობით CaCO₃ და Ca(OH)₂-ის დამახასიათებელი პიკები, ორივე შემთხვევაში - 3:1 და 4:1 თანაფარდობებისას. 1000° C-მდე გამოწვის შემდეგ ნიმუშები ჰაერზე იბზარებიან, იგი გამოწვეულია 800⁰-ის ზევით კარბონატების დაშლით მიღებული MgO და CaO-ს ჰიდრატირებით. 1100°C-ზე არ არის CaCO₃ და CaO-ეს უკანასკნელი ჩნდება კალციუმის სილიკატების სახით. 1200 და 1300°C -ზე გამომწვარი შეიცავს კრისტალური პერიკლაზისა და კალციუმის სილიკატების გარკვეულ რაოდენობას, მათ შორის ორკალციუმიან სილიკატსაც, რომელიც 1400 და 1450°C -ზე თანდათან მცირდება. ბელიტი (C₂S) და პირველადი მინერალები იხსნებიან თხევად ფაზაში, რომელიც ამ ტემპერატურებზე ჩნდება. C₂S ურთიერთქმედებს თავისუფალ CaO-სთან, რომლის პიკები ჰქრებიან და წარმოიქმნება ალიტი. ძნელდობადი ორკალციუმიანი სილიკატი, რომლის ღლობის ტემპერატურა 2100°C-ია, განიცდის ალოტროპიულ სახეცვლილებას, რაც იწვევს კლინკერის დაშლას ფხვნილის სახით.

ეს დასტურდება ჩატარებული პეტროგრაფიული (ნახ. 10, 11) და ელექტრონული მიკროსკოპიის (ნახ. 12, 13) კვლევითი ანალიზით.



ნახ. 10. 1450⁰ C –ზე გამომწვარი კლინკერი 1-ის მიკროსტრუქტურა, X200



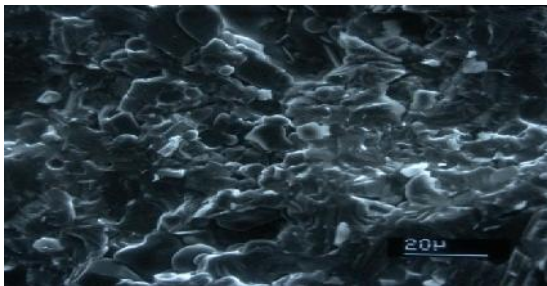
ნახ. 11. 1450⁰ C –ზე გამომწვარი კლინკერი 2-ის მიკროსტრუქტურა, X200



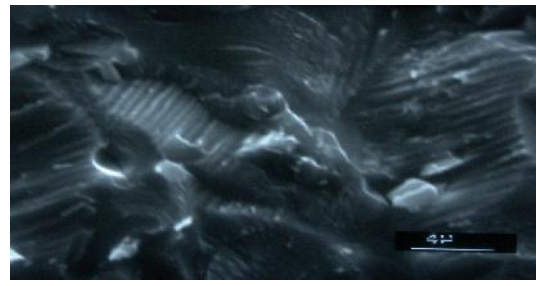
ა) X1000



ბ) X2000



გ) X3000



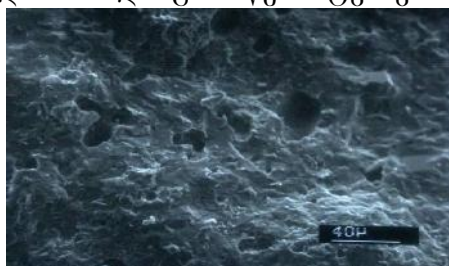
დ) X3500

ნახ. 12. 1450⁰ C –ზე გამომწვარი კლინკერი 1-ის ელექტრონულმიკროსკოპული სურათები სხვადასხვა გადიდებისას: ა) X1000, ბ) X2000, გ) X3000, დ) X3500

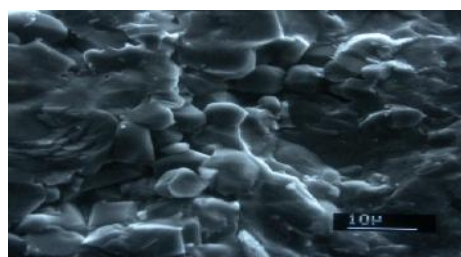
ნახაზიდან 11 ჩანს, რომ 1450⁰ C გამომწვარი კლინკერი 2 ძირითადად შედგება MgO-სა და C₃S-ის კრისტალებისაგან. კრისტალური ფაზის სრული იდენტიფიკაცია წარმოდგენილია ელექტრონული მიკროსკოპიის სურათებზე (ნახ. 12, 13). კლინკერი 1-ის შემთხვევაში ძირითადი ფაზებია: პერიკლაზი, ალიტი და ბელიტი. კლინკერი 2-ის სურათზე არ ჩანს ბელიტის კრისტალები.

ამრიგად, დოლომიტ-სერპენტინიტის გამოწვისას ქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად ხდება ახალი ფაზების: პერიკლაზის, ალიტის და ბელიტის წარმოქმნა. ახალწარმოქმნილი მინერალების შედგენი-

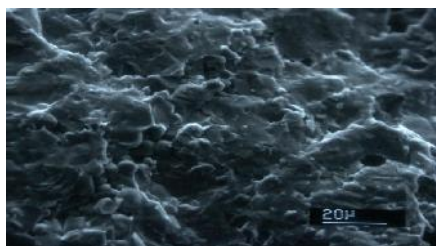
ლობა, მათი შემცველობა განისაზღვრება აღებული ნარევის თანაფარდობით და გამოწვის ტემპერატურით.



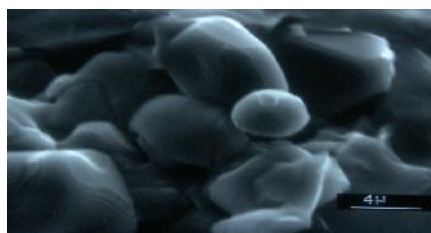
ა) X1000



გ) X3000



ბ) X2000



დ) X3500

ნახ. 13. 1450⁰ C-ზე გამომწვარი კლინკერი 2-ის ელექტრონულმიკროსკოპიული სურათები სხვადასხვა გადიდებისას: ა) X1000, ბ) X2000, გ) X3000, დ) X3500

ნარევის თანაფარდობისას 4:1 მიმდინარეობს კალციუმის ოქსიდის სრული შეკავშირება კალციუმის ორთოსილიკატთან და 1450-1500⁰ C – ზე გამოწვით მიიღება სასურველი ფაზური შედგენილობის მაღალხარისხოვანი კარგად შემცხვარი დოლომიტ-სერპენტინიტის კლინკერი.

შემკვრელების გავლენა დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ფიზიკურ-ტექნიკურ თვისებებზე

შემკვრელების დანიშნულებაა – მისცეს მასას საყალიბო თვისებები და ისეთი მექანიკური სიმტკიცე, რომელიც საკმარისი იქნება დაყალიბებული ნაკეთობის შემდგომი ოპერაციებისათვის.

ექსპერიმენტისათვის ჩვენ შევარჩიეთ შემდეგი შემკვრელები: მაგნიუმის სულფატის 25%-იანი ხსნარი, ტექნიკური ლიგნოსულფონატების წყალხსნარი, მეთილცელულოზა და პოლივინილის სპირტი. ექსპერიმენტით მიღებული შედეგების შესადარებლად შემკვრელი ნივთიერების სახით გამოვიყენეთ წყალი. გამომწვარი ნიმუშების ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები წარმოდგენილია ცხრილში 7. ცხრილი 7-დან ჩანს, რომ ყველაზე კარგი ფიზიკურ-ტექნიკური მახასი-

ათებლებით გამოირჩევა ნიმუში C₃, რომელიც მომზადდა კლინიკურზე მეთილცელულოზას წყალხსნარის (10%) დამატებით.

ცხრილი 7. კლინიკურის ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები

№	შემკვრელის სახეობა	კლინიკური	დამატებული ხსნარის რაოდენობა, მას. %	ფიზიკურ-ტექნიკური მაჩვენებლები				
				სიმკვრივის ზღვარი კუმშვისას, გ/სმ ³	წყალშთანთქმა, w, %	ფორიანობა, Π, %	მორგებუბითისიმკვრივე, ა/სმ ³	ჩაჯდომის სიდიდე, r, %
C ₁	მაგნიუმის სულფატი	100	10	269.9	5.86	16.2	2.92	10.06
C ₂	ტექნიკური ლიგნოსულფო ნატი	100	10	335.9	2.01	9.20	3.25	12.17
C ₃	მეთილცელულოზა	100	10	453.6	1.15	5.03	3.34	12.34
C ₄	პოლივინილის სპირტი	100	10	331.2	2.30	6.78	3.26	12.20
C ₅	წყალი	100	10	192.0	7.80	18.56	2.92	8.38

ამრიგად, წყალთან შედარებით შემკვრელის ყველა სახეობის გამოყენებისას გაუმჯობესდა დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინიკურის ფიზიკურ-ტექნიკური მაჩვენებლები შემდეგი თანმიმდევრობით: წყალი, მაგნიუმის სულფატის ხსნარი, პოლივინილის სპირტი, ტექნიკური ლიგნოსულფონატები, მეთილცელულოზას ხსნარი.

დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინიკურის გამოყენება მეტალურგიული თბური აგრეგატების ამონაგის ტორკრეტირებისათვის

ტორკრეტ – ბეტონის ნარევის შემადგენელია მჭიდა მასალა, მსხვილი და წვრილი შემავსებელი, წმინდად დაფქული დანამატი-პლასტიფიკატორი, გამაგრების დამაჩქარებლები და წყალი. ტორკრეტ-მასის მოსამზადებლად ძირითადი კომპონენტის სახით გამოვიყენეთ ლაბორატორიაში ჩვენს მიერ მიღებული კლინიკური, რომლის ქიმიური და მინერალოგიური შედგენილობიდან ჩანს, რომ კალციუმის სილიკატების შემცველობა აღწევს 53,8, ხოლო პერიკლაზის 39,16 %-ს. კლინიკურის ფიზიკურ-ტექნიკური მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში 6. კლინიკურისაგან მოვამზადეთ ფრაქციები 3-5 მმ და 1-3 მმ და მჭიდა მასალა <0,063მმ-ზე, თანაფარდობით: მას. %: 3-5მმ – 30%; 1-3მმ – 35%; <0,063 – 30%.

წმინდად დაფქული დანამატი, როგორც პლასტიფიკატორი ემატება ტორკრეტ-მასას მის ნაწილაკებს შორის ხახუნის შესამცირებლად, ძვრადობისა და სიმკვრივის გასაზრდელად. წმინდად დაფქული დანამატის სახით გამოვიყენეთ ჩასოფ-იარის საბადოს ცეცხლგამძლე თიხა. შევისწავლეთ კლინკერის ცეცხლგამძლეობის დამოკიდებულება ცეცხლგამძლე თიხის დანამატისაგან. ავირჩიეთ 5-10%-ის ოდენობით.

შევარჩიეთ ტორკრეტ-მასის ოპტიმალური შედგენილობა და შევისწავლეთ ტორკრეტ-ბეტონის თვისებები.

მაღალცეცხლგამძლე ნახშირბადშემცველი კომპოზიტი

დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ბაზაზე მაღალი ხარისხის მაღალცეცხლგამძლე კომპოზიტის მისაღებად შევარჩიეთ სხვადასხვა ნახშირბადშემცველი დანამატი და შევისწავლეთ მათი გავლენა კომპოზიტის ფიზიკურ-ტექნიკურ თვისებებზე, აგრეთვე ამ თვისებებზე დანამატების რაოდენობის ცვლილების გავლენა.

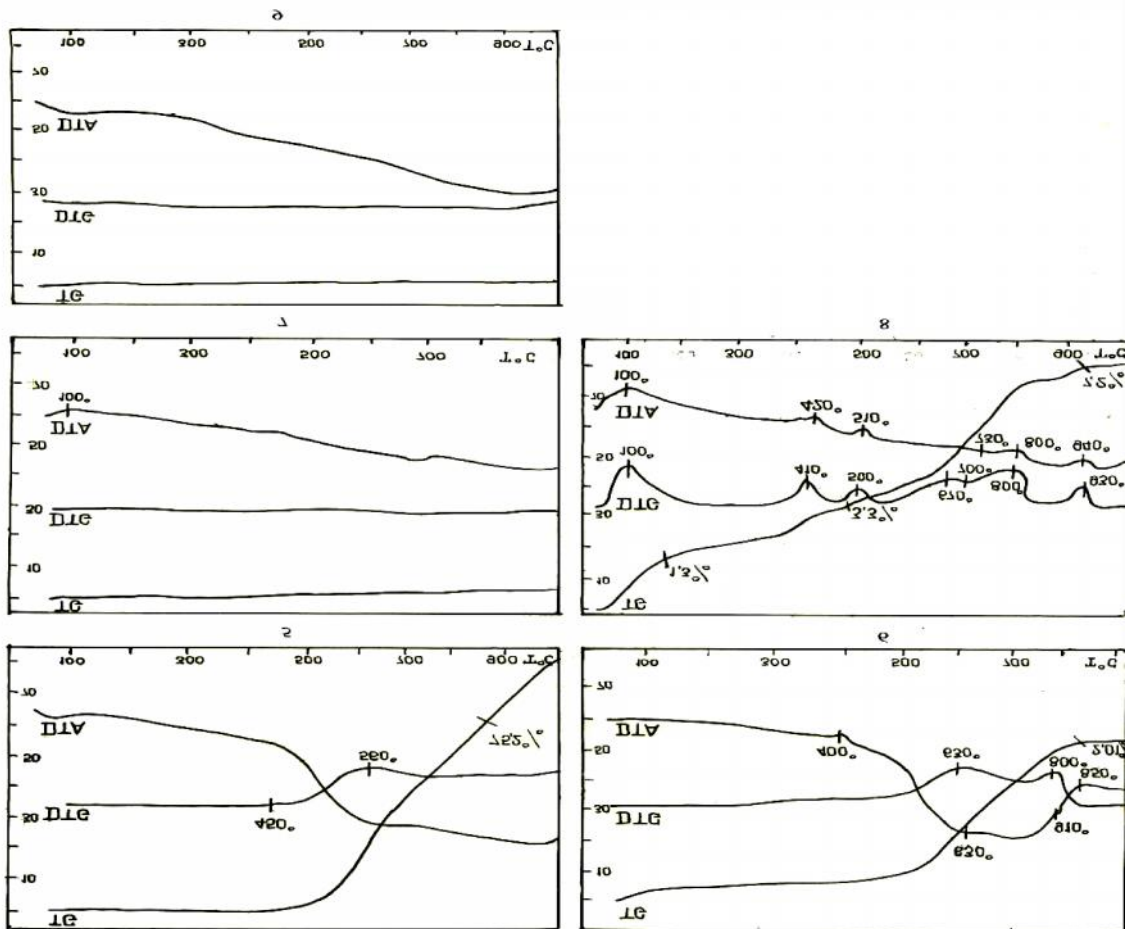
დანამატის სახით გამოვიყენეთ ტყიბულის ქვანახშირის გამდიდრების ნარჩენები, გრაფიტი, ტექნიკური ნახშირბადი და ნახშირბადის ბოჭკო.

გამომწვარ მასალაში ნახშირბადის ნაწილაკები ერთმანეთთან კონტაქტისას წარმოქმნის აგრეგატებს და მთელი ნაკეთობის მოცულობაში ქმნის უწყვეტ ჯაჭვებს. დავაყალიბეთ ნიმუშები კლინკერზე სხვადასხვა დანამატით და შევისწავლეთ მისი თვისებები (ცხრილი 8).

ნახშირბადშემცველი დანამატის სახით შერჩეულია ტექნიკური ნახშირბადი. ქიმიური პროცესების შესასწავლად გამოვიყენეთ დიფერენციალურ თერმული მეთოდი. შედეგებიდან ჩანს, რომ მიღებულია ნახშირბადშემცველი კომპოზიტი გარკვეული ფაზური შედგენილობით, რომელიც არ შეიცვლება გახურებისას. ესმიგვანიშნებს მის შემადგენლობაში სტაბილური კალციუმის სილიკატების არსებობაზე.

ცხრილი 8. ნარევის შემაღვენლობა და ძირითადი თვისებები

ნიმუშის ნომერი	ნარევის შედგენილობა, მას. %							ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები					
	კლინკერი	გრაფიტი	თიხა	ტყიბულის ქვანახშირის ნარჩენები	ტექნიკური ნახშირბადი	ნახშირბადის ბოჭკო	წყალი	სიმტეცის ზღვარი კუმულისის, მპა	ღია ფორიანობა %	მორფებითი სიმკვრივე/სმ ³	ცმცხლგამბ-ლელობა, °C	თერმული მედეობა (1300°C-წყალი) თბოცვლა	
1	90	10	—	—	—	—	10	98,80	18,20	2,31	1770	6	
2	85	15	—	—	—	—	10	58,30	20,05	2,08	1770	6	
3	85	—	7,5	7,5	—	—	12	110,30	11,60	2,60	1580	6	
4	80	—	10	10	—	—	12	121,10	15,00	2,58	1550	6	
5	70	—	15	15	—	—	12	—	—	—	<1500	—	
6	90	—	—	—	10	—	10	162,80	13,90	2,41	1770	6	
7	95	—	—	—	—	5	10	107,50	18,70	2,22	1770	7	
8	94	—	—	—	—	6	10	85,00	20,20	2,16	1770	7	
9	85	—	—	15	—	—	11	126,90	14,02	2,67	1770	7	



ნახ.14. დერივატოგრამები: 1. ტექნიკური ნახშირბადის; 2. ტექნიკური ნახშირბადისა და კლინკერის ნარევის; 3. კლინკერისა და ქვანახშირის ნარჩენის ნარევის გამომწვარი ნიმუში; 4. კლინკერისა და ტყიბულის ქვანახშირის ნარჩენების ნარევის. 5. კლინკერისა და ტყიბულის ქვანახშირის ნარჩენების ნარევის გამომწვარი ნიმუში.

გრაფიტის ნანოფხვნილის გავლენა დოლომიტ-სერპენტინიტური კომპოზიტის თვისებებზე

დანამატის სახით გამოვიყენეთ გრაფიტის ნანოფხვნილი, მარკით TIMREX KS 6, რომლის კუთრი ზედაპირია 20მ²/გ. საინტერესო იყო გრაფიტის ნანოფხვნილის დანამატის რაოდენობის და დაწნეხვის წნევის ცვლილების გავლენა მიღებული კომპოზიტის თვისებებზე. კვლევა ჩავატარეთ MgSO₄-ის 20%-იანი ხსნარისა და წყლის გამოყენებით (ცხრილი 9).

ცხრილი 9. ნიმუშების ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები

N	დოლომიტ-სერპენტინიტ-თანაფარდობა	შემადგენლობა, %		დაყალიბების წნევა, მპა	შემკვრელის სახეობა და რაოდენობა,		გამოწვის ტემპერატურა, T ^o C	წყალშთანთქმვა, ა,	ფორიანობა, II, %	მოჩვენებითი სიმკვრივე ...გ/სმ ³	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას,
		კლინიკური	გრაფიტი		წყალი	MgSO ₄					
D ₁	4/1	90	10	80	10	-	1450	6,28	14.50	2.93	180.70
D ₂	4/1	90	10	100	10	-	1450	5,72	13.80	3.05	192.60
D ₃	4/1	85	15	80	10	-	1450	5,35	13.00	3.00	198.30
D ₄	4/1	85	15	100	10	-	1450	5,20	13.00	3.26	209.70
D ₅	4/1	90	10	80	-	10	1450	6.12	14.10	3.26	187.30
D ₆	4/1	90	10	100	-	10	1450	5.00	12.90	2.98	200.8
D ₇	4/1	85	15	80	-	10	1450	4.40	12.40	3.09	206.50
D ₈	4/1	85	15	100	-	10	1450	4.31	12.10	3.53	181.20

ამ მონაცემებით ოპტიმალურია დაწნეხვის წნევა 100მპა, გრაფიტის ნანოფხვნილი 15% და შემკვრელი შეიძლება იყოს მაგნიუმის სულფატის ხსნარიც და წყალი, რადგან წყალის გამოყენების შემთხვევაშიც მიღებულია დამაკმაყოფილებელი შედეგი.

ნიმუშების გამოწვის დროს შესაძლებელია ნახშირბადის დაჟანგვა, რაც გავლენას ახდენს ცეცხლგამძლე ნაკეთობების ცვეთაზე და მათი ძირითადი ნაკლია. ამიტომ ანტიდამჟანგავის სახით შევარჩიეთ სილიციუმი. საინტერესო იყო აგრეთვე კომპოზიტის თვისებებზე კომპლექსური მოქმედების პლასტიფიკატორის გავლენის შესწავლაც. ამისათვის ჩავატარეთ ერთი სერია ექსპერიმენტისა, სადაც შემკვრელის სახით გამოვიყენეთ მეთილცელულოზას ხსნარი. შევარჩიეთ გამოწვის რეჟიმი:

1000°C -მდე ტემპერატურის აწევის სიჩქარე იყო 10°C/წთ, შემდეგ 1420°C - მდე -5°C /წთ.

ცხრილი10. ნიმუშების ფიზიკურ- ტექნიკური მახასიათებლები

ნიმუშის ნომერი	ნარევის მას. %		შედგენილობა,			ფიზიკურ-ტექნიკური მაჩვენებლები				
	კლინკერი	გრაფიტი	სილიციუმი	მეთილცელულოზა	პლასტიფიკატორი	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას, მპა	ღია ფორიანობა, P%	მოჩვენებითი სიმკვრივე P გ/სმ ³	ცეცხლგამძლეობა, °C	თერმული მდგრადობა, (1300°C-წყალი), თბოცვლა
დ61	100	-	-	8	0,8	312,70	13,20	3,05	>1770	7
დ62	88,5	10	1,5	10	-	67,00	14,20	2,45	>1770	7
დ63	82,7	15	2,0	10	-	101,40	13,80	2,99	>1770	7
დ64	82,5	15	3,0	10	0,8	345,00	10,10	3,25	>1770	7

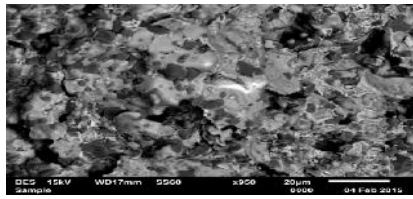
საუკეთესო შედეგებია მიღებული კომპლექსური მოქმედების პლასტიფიკატორის დამატების შემთხვევაში, სიმტკიცის ზღვარი კუმშვისას არის 312მპა. ყველა შედგენილობის ნიმუშის ცეცხლ-გამძლეობა აღემატება1770°C. საბოლოოდ ოპტიმალური შედგენილობაა: კლინკერი-შემკვრელი-გრაფიტი-სილიციუმი პლასტიფიკატორი (დ64).

ჩავატარეთ ნიმუშების დნ8 (ცხრ.9) ფაზური ანალიზი რენტგენოსტრუქტურული და ელექტრონული მიკროსკოპიის მეთოდებით.საიდანაც ჩანს, რომ კომპოზიტის ძირითადი შემადგენელი მინერალებია MgO-პერიკლაზის სახით და სამკალციუმიანი სილიკატი-ალიტი.

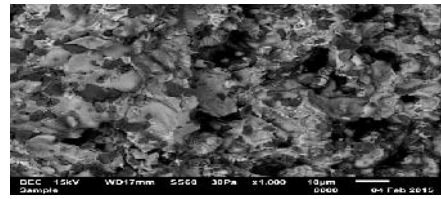
ელექტრონულ მიკროსკოპული კვლევა ჩატარდა JEOL ფირმის ელექტრონულ-რასტრული(მასკანირებელი) მიკროსკოპით YSM 65 OLW–ს საშუალებით. მეთოდი ეფუძნება არეკვლილი ელექტრონების და მეორადი ელექტრონების-ამოტვორცილები ელექტრონების ასახვას. არეკვლილი ელექტრონების საშუალებით კომპოზიტის ფაზური ანალიზის შედეგი წარმოდგენილია ნახაზზე 24, X950 და X1000 გადიდებისას და ნახაზზე 25 X130, X1000, X1900, X2700, X5000.

კომპოზიტის დნ8 ნიმუშის ელექტრონული მიკროსკოპიის ნახაზებზე (15,16) ნაჩვენებია კარგად შემცხვარი ზედაპირი, რომელზეც გამოკვეთილია კრისტალები პერიკლაზისა და ალიტის. მცირე რაოდენობით შეიმჩნევა ბელიტის ჩანართებიც. სურათი უფრო ნათელი ხდება

დიდი გადიდების შემთხვევაში. შუალედური ნივთიერებები: C_3A , C_2F , და C_4AF კომპოზიტში განაწილებულია არათანაბრად.

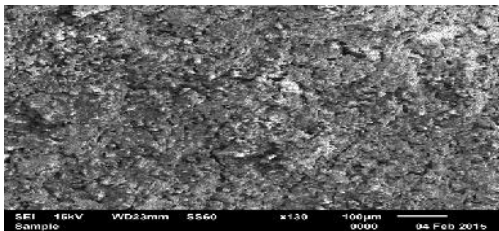


ა) X950

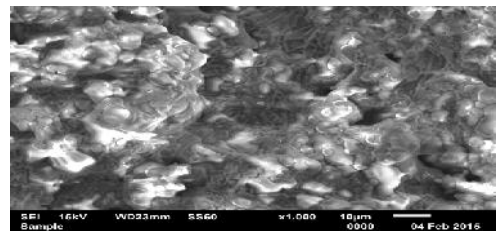


ბ) X1000

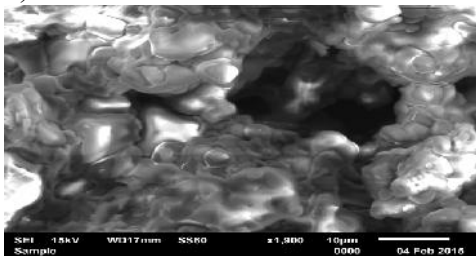
ნახ. 15. დოლომიტ-სერპენტინიტური კომპოზიტის დნ8-ის ელექტრონულ-მიკროსკოპული სურათები სხვადასხვა გადიდებისას ა) X950, ბ) X1000



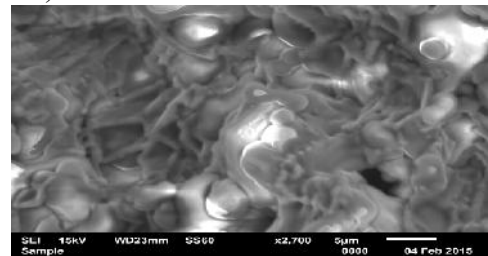
ა) X130



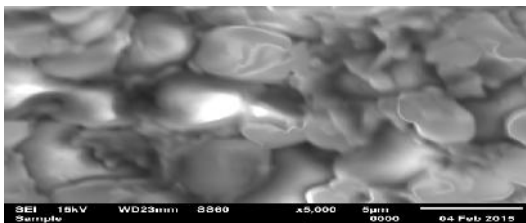
ბ) X1000



გ) X1900



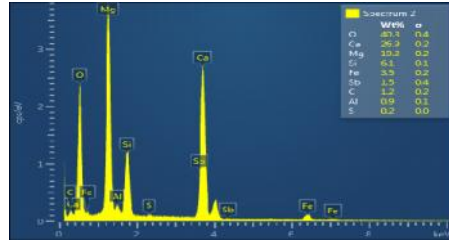
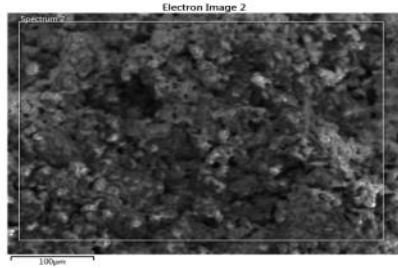
დ) X2700



ე) X5000

ნახ.16. დოლომიტ-სერპენტინიტური კომპოზიტის დნ8-ის ელექტრონულ-მიკროსკოპული სურათები სხვადასხვა გადიდებისას ა) X130, ბ) X1000 ბ) X1900, დ) X2700, ე) X5000.

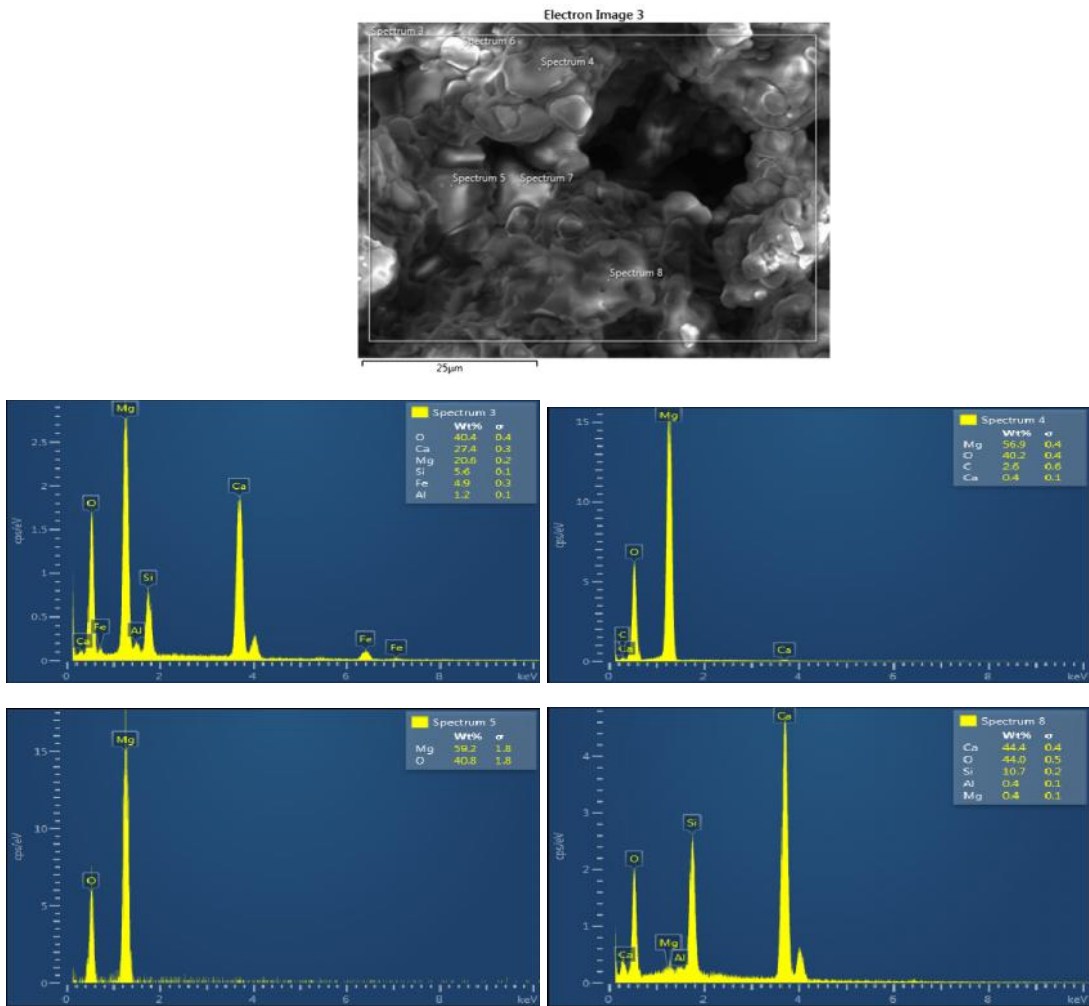
აღიტი წარმოდგენილია არასწორი ფორმის ერთმანეთთან შეზრდილი კრისტალებით. ადგილებში არის მსხვილი ტაბლეტების ფორმის კრისტალების სახით, რომელიც გადაჭრელებულია პერიკლაზით. შუალედური ნივთიერება განაწილებულია ამ მინერალებს შორის არათანაბრად. იგივე ნიმუშის მიკრორენტგენოსპექტრული ანალიზი ჩატარდა OXFORD instrumentals დეტექტორზე X-max, რის საშუალებითაც ვიღებთ კომპოზიტის შემცველ ელემენტთა ზოგად შემადგენლობას. ანალიზის შედეგები მოცემულია ნახაზზე 17.



ნახ. 17. დოლომიტ-სერპენტიტური კომპოზიტის დნ8-ის მიკრორენტგენოსპექტრული ანალიზი.

ნახაზზე 17 წარმოდგენილია დნ8 კომპოზიტის მიკრორენტგენოსპექტრული ანალიზი მონაკვეთზე spectrum 2, შემაღლებულ ელემენტთა სქემა და მათი პროცენტული შემცველობა, საიდანაც ჩანს, რომ კომპოზიტის შემაღლებული ძირითადი მინერალების პერიკლაზის და ალიტის შემცველი ელემენტებია უანგზადი, კალციუმი, მაგნიუმი და სილიციუმი. მათი პროცენტული შემცველობაა შესაბამისად 40,3; 26,9; 19,3 და 6,1%. ეს მონაცემები ემთხვევა თეორიულად გათვლილ შედეგებს. სქემაზე ნახშირბადი 1,2%-ის ოდენობითაა. ჩვენი აზრით, ეს მცირეა კომპოზიტში შემცველ ნახშირბადთან შედარებით. შესაძლებელია არ დაფიქსირდა ნანოფხვნილი ან კიდევ საკვლევ უბანზე (ნახ.17) იგი შესაბამისი შემცველობისაა. რკინა და ალუმინი უთუოდ შუალედური ნივთიერებების: C_3A , C_2F და C_4AF არსებობით არის განპირობებული კომპოზიტში.

ნახ.18-ზე წარმოდგენილი მიკრორენტგენოსპექტრული ანალიზი მონაკვეთზე spectrum3 ანალოგიურია ნახ.17-ის spectrum2, აქვე მოცემულია ელემენტთა ამსახველი სქემები შედარებით მოკლე უბნებზე spectrum4-8. ჩვენ განვიხილავთ spectrum4,5 და 8-ს. რაც თვალსაჩინო სურათს იძლევა იმ უბანზე არსებული ფაზის შემაღლებული ელემენტების შემცველობის შესახებ. მაგალითად: spectrum 4 და 5 გვიჩვენებს პერიკლაზის შემცველი ელემენტების Mg-ისა და O –ს პროცენტულ შემცველობას. ნახშირბადის რაოდენობა აქ 2,6%-ია, რაც ადასტურებს ჩვენს მიერ ზემოთ გამოთქმულ მოსაზრებას. spectrum8 კი ალიტის შემცველი ელემენტების პროცენტულ შემცველობას, რაც ამ უბანზე ალიტის არსებობას ადასტურებს. კომპოზიტისა და კლინკერის ელექტრონულმიკროსკოპიული სურათები ერთმანეთის იდენტურია.

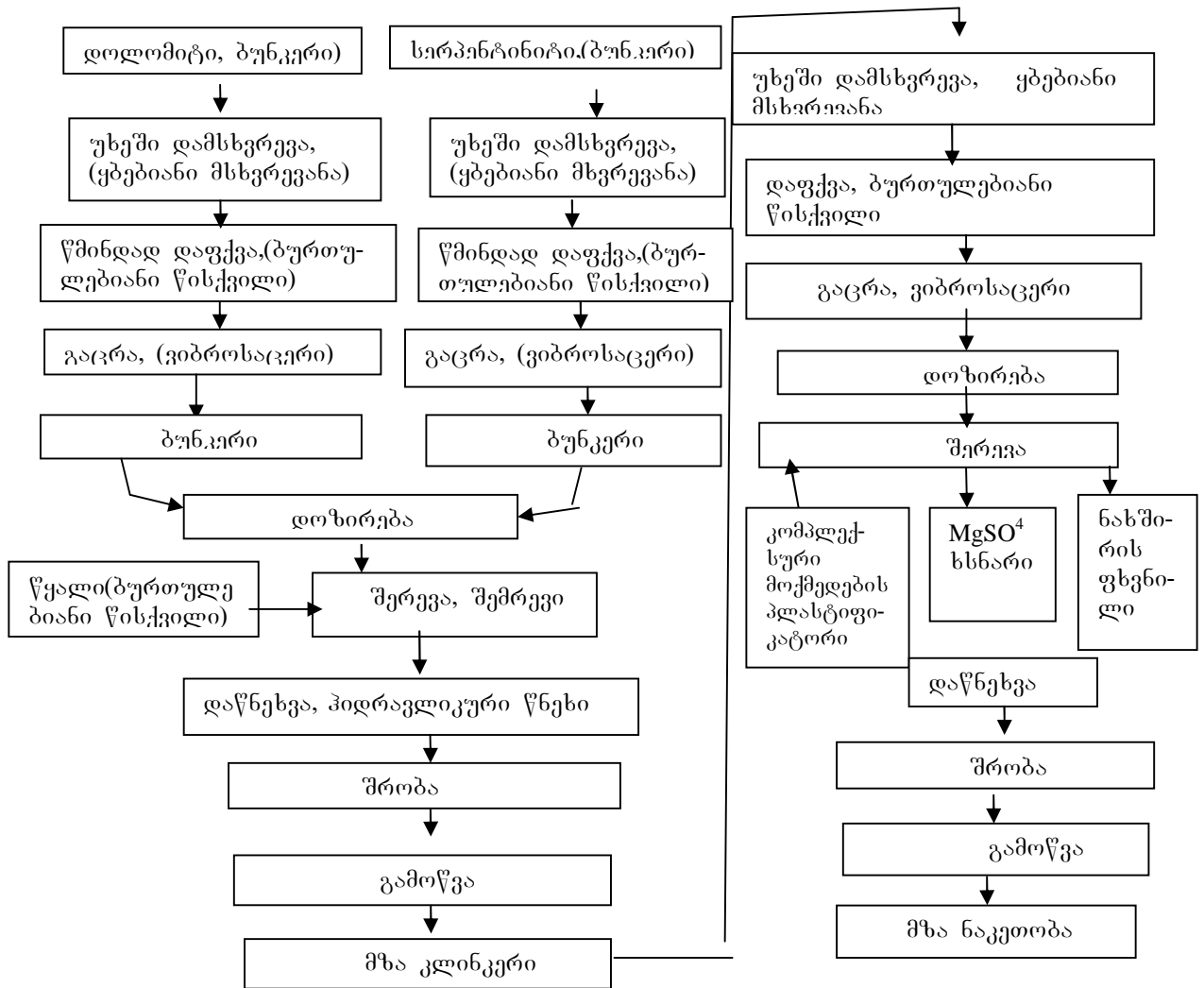


ნახ.18. დოლომიტ-სერპენტინიტური კომპოზიტის დნმ-ის მიკრორენტგენოსპექტრული ანალიზი.

ნახშირბადშემცველი კომპოზიტის წარმოების ტექნოლოგიური სქემა

მოცემული ტექნოლოგიური სქემის მიხედვით დოლომიტის ბაზაზე მაღალცეცხლგამძლე ნახშირბადშემცველი კომპოზიტის მისაღებად წინასწარ დამუშავდება საწყისი კომპონენტები: დოლომიტი და სერპენტინიტი. ისინი ყებებიან მსხვრევანაში დამსხვრევის შემდეგ წმინდად დაიფქვება ბურთულებიან წისქვილში და საცერში გატარების შემდეგ მოთავსდება ბუნკერში.

გარკვეული თანაფარდობით აღებული დოლომიტი და სერპენტინიტი დოზირების შემდეგ მოთავსდება ამრევიში, სადაც დანესტიანდება წყლით, რომელიც დოლომიტ-სერპენტინიტის ნარევის დაემატება 10 %-ის ოდენობით.



დანესტიანებული ნარევისაგან დაიწნეხება ნიმუშები ბრიკეტები პიდრავლიკურ წნეხზე. ერთი დღეამის შემდეგ გამოშრება საშრობში და შემდეგ გამოიწვევა ღუმელში 1400-1450°C ტემპერატურაზე.

მიღებული კლინკერი დამსხვრევა ყბებიან მსხვრევანაში და შემდეგ წმინდად დაიფქვება ფოლადის ბურთულიებიანი წისქვილში. ფხვნილი მოთავსდება დოზატორში, შემდეგ ამრევიში, სადაც გარკვეული რაოდენობით დაემატება გრაფიტის ფხვნილი და დანესტიანდება მეთილცელულოზას ხსნარით. დანესტიანებული ნარევი დაყალიბდება პიდრავლიკურ წნეხზე და დაყალიბებული ნაკეთობა გაშრება ჰაერზეერთი დღეამის განმავლობაში და შემდეგ საშრობში 110°C ტემპერატურაზე. გამოიწვევა ღუმელში. გამოწვის ტემპერატურა უნდა იყოს 1400-1450°C, ბოლო ტემპერატურაზე დაყოვნება 1 საათი. ნაკეთობები ღუმელის გამორთვის შემდეგ გაცივდება ღუმელთან ერთად თავისუფალი რეჟიმით.

დასკვნა:

1. შესწავლილია საქართველოს დოლომიტების (აბანოს, სკურის, მუხურის) და სერპენტინიტის საბადოები (წნელისის, საჩხერის) და დადგენილია, რომ სამივე საბადოს დოლომიტისა და ორი საბადოს სერპენტინიტის ვარგისობა მაღალცეცხლგამძლე დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის მისაღებად.
2. გაჯერების კოეფიციენტის α -ის მნიშვნელობისათვის ($\alpha = 0,85$ და $\alpha = 0,95$) შერჩეულია დოლომიტისა და სერპენტინიტის თანაფარდობა 3:1 და 4:1 და შესწავლილია მიღებული ნიმუშების გამოწვისას შეცხოებისა და მინერალების წარმოქმნის პროცესები დამოკიდებულებით.
3. შესწავლილია მიღებული ნიმუშების ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებები და დადგენილია, რომ დოლომიტ-სერპენტინიტის თანაფარდობისას 4:1 უკეთესი ფიზიკურ-ტექნიკური მაჩვენებლები მიიღება. რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით შესწავლილია 3:1 (კლინკერი1) და 4:1 (კლინკერი2) თანაფარდობით მიღებული ნიმუშების 900-1450°C-ზე გამოწვისას მიმდინარე ქიმიური პროცესები.
4. ნარევის თანაფარდობისას 4:1 ხდება სრული შეკავშირება დოლომიტის დაშლის შედეგად მიღებული CaO-სი სერპენტინიტის SiO₂-თან C₃S-ის წარმოქმნით და ნარევის გამოწვით 1400-1450°C-ზე მიიღება სასურველი ფაზური შედგენილობის მაღალხარისხოვანი კლინკერი.
5. შესწავლილია შემკვრელის გავლენა დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ფიზიკურ-ტექნიკურ თვისებებზე, განსაკუთრებით მაღალი მაჩვენებელი მიიღება მეთილცელულოზას დამატებით.
6. შესწავლილია დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერი ტორკრეტ-მასის მისაღებად მეტალურგიული თბური დანადგარების ამონაგის ტორკრეტირებისათვის. მიღებულია მაღალი ფიზიკურ-ტექნიკური თვისებების ტორკრეტ-ბეტონი და დადგენილია კლინკერის ვარგისობა ტორკრეტ-ბეტონის მისაღებად.
7. შერჩეულია დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ბაზაზე მაღალცეცხლგამძლე ნახშირბადშემცველი კომპოზიტის მისაღებად ნახშირბადშემცველი დანამატები: ტყიბულის ქვანახშირის

გამდიდრების ნარჩენები, გრაფიტი, ტექნიკური ნახშირბადი, ნახშირბადის ბოჭკო და შესწავლილია მათი გავლენა კომპოზიტის ფიზიკურ-ტექნიკურ თვისებებზე. ამ თვისებებზე დანამატების რაოდენობის ცვლილების გავლენა კომპოზიტის რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის შედეგები იძლევა ნახშირბადშემცველი კომპოზიტის ფაზური შედგენილობის ნათელ სურათს.

8. ჩატარებულია კვლევა დაყალიბებულ წნევაზე და დამატებული გრაფიტის ნანოფხენილის რაოდენობის ცვლილების გავლენის დასადგენად კომპოზიტის ფიზიკურ-ტექნიკურ თვისებებზე. ოპტიმალურია დაყალიბების წნევა 100მპა, გრაფიტის ნანოფხენილის დანამატის რაოდენობა 15% და შემკვრელის სახით შერჩეულია მეთილცელულოზას ხსნარი. კომპოზიტის შემცველი ნახშირბადის დაუანგვის თავიდან აცილების მიზნით კაზმში შეყვანილია ანტიდამუანგავის სახით სილიციუმი და შერჩეულია გამოწვის რეჟიმი. ამასთანავე კაზმში შეყვანილია კომპლექსური მოქმედების პლასტიფიკატორი, რომელთა საფუძველზე დადგენილია, რომ დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ბაზაზე შესაძლებელია მაღალცეცხლგამძლე ნახშირბადშემცველი კომპოზიტის მიღება.
9. კომპოზიტის ფაზური ანალიზი ჩატარებულია რენტგენოსტრუქტურული და ელექტრონული მიკროსკოპიის მეთოდებით. საბოლოოდ ოპტიმალური შედგენილობაა: კლინკერი-შემკვრელი-გრაფიტი-სილიციუმი-პლასტიფიკატორი.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. Z.Kovziridze, N.Nizharadze, D.Gventsadze, M.Balakhashvili. Study of dolomite from the Skuri deposit for receiving high refractory composite, 1st International Conference for Students and Young Scientists on materials Processing Science, October 10-13, 2010, Tbilisi, Georgia. p.162-168
2. კოვზირიძე ზ., ნიჟარაძე ნ., ბალახაშვილი მ., მშვილდაძე მ., საქართველოს დოლომიტები და სერპენტინიტები ცეცხლგამძლე მასალების წარმოებისათვის, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი “კერამიკა” 2 (30), 2013, გვ. 10-14.

3. კოვზირიძე ზ., ნიჟარაძე ნ., ბალახაშვილი მ., მშვილდაძე მ., დოლომიტისა და სერპენტინიტის ახალი საბადოების ბაზაზე მაღალცეცხლგამძლე კლინკერის მიღება, საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის შრომები, ქუთაისი, 2013, 6-7 ივნისი, გვ.285-288.
4. Kovziridze Z. , Nizharadze N .,Balakhashvili M., Nikoleishvili E.,Mshvildadze M. , Processes of sintering and mineral formation at firing of dolomite and serpentinite mix saqarTvelos keramikosTa asociaciis Jurnal "keramika", 2(28)2012, 1(29)2013 gv.77-86.
5. კოვზირიძე ზ., ნიჟარაძე ნ., ბალახაშვილი მ., შემკვრელების გავლენა დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ფიზიკურ-ტექნიკურ მახასიათებლებზე, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა", 1 (31), 2014, გვ. 3-6.
6. კოვზირიძე ზ., ნიჟარაძე ნ., ბალახაშვილი მ., დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის გამოყენება მეტალურგიული თბური აგრეგატების ამონაგის ტორკრეტირებისათვის, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა", 2(32), 2014, გვ. 32-39.
7. კოვზირიძე ზ., ნიჟარაძე ნ., ქინქლაძე ვ., ნეფარიძე ნ., ბალახაშვილი მ., ცეცხლგამძლე კომპოზიტის მიღება დოლომიტ-სერპენტინიტური კლინკერის ბაზაზე, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა" №1(18), თბილისი, 2008, გვ 12-16.
8. კოვზირიძე ზ., ნიჟარაძე ნ., გვენცაძე დ., ბალახაშვილი მ., მშვილდაძე მ., ჩიტორელიძე ა., ნახშირბად შემცველი დანამატებისა და შემკვრელების გავლენა დოლომიტ-სერპენტინიტური მაღალ ცეცხლგამძლე კომპოზიტის თვისებებზე, კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა" №1(22), თბილისი, 2010, გვ 9-13.
9. კოვზირიძე ზ., ნიჟარაძე ნ. , ბალახაშვილი მ., მესტვირიშვილი ზ., გრაფიტის ნანოფხვნილის გავლენა დოლომიტ-სერპენტინიტური კომპოზიტის თვისებებზე, საქართველოს კერამიკოსთა ასოციაციის ჟურნალი "კერამიკა", №17, 1(33), 2015, გვ. 22-31.

Abstract

In production practice of ferrous metallurgy field of highly developed countries a necessity of high and super-high quality steel production was created, relative to this in order to increase the quality of fireproofs it is necessary to make next new leap. Together with other factors one of the important things is perfection of carbon containing magnesium fireproofs because they are considered as main materials for metallurgic thermal aggregates and fettling of caking zone of rotatory furnaces for cement burning.

Periclase-carbon fireproofs imbibition is done with organic bindings and adding hard carbon containing components causing drastic improvement of exploitation properties. Due to magnesite raw materials deficit looking for new materials is going on parallel. For this purpose using dolomites is started in many countries.

In Georgia there is no fireproofs production due to non-existence of raw materials. Demands on such products are satisfied with imported expensive materials but in Georgia there are dolomite and serpentine mines. In order to receive their high fireproof bricks a starting condition was reaction between magnesium hydrosilicate and calcium oxide received by dolomite destruction, in the result of which it was possible to receive magnesium oxide as periclase and calcium silicates.

Technology of dolomite-serpentine bricks and basing on it high fireproof products using bindings and supplements is discussed in the work.

Mines of dolomites (Abano, Skuri, Mukhuri) and serpentines (Tsnelisi, Sachkhere) of Georgia and their reserves are studied. The research is done with chemical, thermographic and X-ray structure analysis. In the result of study suitability of dolomite of all three mines and serpentines of two mines is determined for receiving brick.

For meaning of saturation coefficient ($\alpha = 0,85$ and $\alpha = 0,95$) dolomite and serpentine ratio (3:1 and 4:1) is chosen and theoretically desirable mineralogic composition is supposed. Processes of burning dolomite-serpentine mixture and mineral production depending on burning temperature and physical and chemical properties of received samples are learnt. It is determined that at 4:1 dolomite-serpentine ratio better physical and technical data are received. Burning temperature is optimal 1450°C and at last temperature delay is 4 hours.

In both cases at dolomite-serpentine mixture burning (brick 1 and 2) in the result of chemical interaction new phases are created: periclase, alite and belite – composition of which is determined by the ratio of taken mixture and burning temperature. At mixture ratio 4:1 complete binding of CaO received after dolomite destruction with SiO_2 receiving C_3S . That is proved by the results of petrographic and electron-microscope analysis.

Dolomite-serpentine brick for receiving castable-refractory mass is learnt for gunite work of metallurgic thermal aggregate fettling. Main components for receiving castable-refractory masses: tight material, large and small fillers, plasticizer and binding accelerators. A castable-refractory concrete of high physical and technical properties, suitability of castable-refractory concrete is determined.

For receiving high fireproof composite containing carbon on next level various carbon containing supplements and their influence on composite physical and technical properties are learnt.

The study for determination of influence of graphite nanopowder amount alteration plus molded pressure and binder type a trial is done. On composite physical and technical properties. Optimal molded pressure 100mpa , for determination of

influence of graphyte nanopowder amount alteration and binder type on composite physical and chemical properties. Moldede pressure is optimal 100 mpa, amount of graphyte nanopowder supplement is 15% andmethilcelulose solution is chosen asa binder.

To avoid composite containing carbone oxydation mixture includes antioxidant silicon and burning regimen is chosen. In the same time mixture contains plasticizer, phase analysis of optimal composition samples by the methods of X-ray structure and electron microscope, optimal compositionis: brick- graphyte – silicon – plasticiser- binder.