

ხათუნა ლეჟავა

თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის
მიღება ადგილობრივ ნედლეულზე

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის
მოსაპოვებლად

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო
ივლისი, 2016

© საავტორო უფლება "ხათუნა ლეჟავა" 2016

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამშენებლო ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ხათუნა ლეჟავასმიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის მიღება ადგილობრივ ნედლეულზე და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

ივლისი, 2016 წელი

ხელმძღვანელი: თამარ ესაძე, ასოც. პროფესორი

რეცენზენტი: არჩილ ყუბანეიშვილი, პროფესორი

რეცენზენტი: ზეინაბ ქარუმიძე, პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2016

ავტორი: ხათუნა ლეჟავა

დასახელება: თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი
ბეტონის მიღება ადგილობრივ ნედლეულზე.

ფაკულტეტი: სამშენებლო ფაკულტეტი

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: ივლისი, 2016 წელი

ინდივიდუალური პროგნოზების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

სადისერტაციო ნაშრომში განხილულია ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის მისაღებად ჩატარებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები.

ნაშრომი შედგება სამი თავისაგან: შესავლის-ანალიტიკური მიმოხილვის, ექსპერიმენტული ნაწილისა და ბეტონის წარმოების ტექნოლოგიური სქემისაგან. ნაშრომს თან ერთვის ცხრილების, ნახაზების, თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებისათვის გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა.

შესავალში მოცემულია ნაშრომის ზოგადი დახასიათება, თემის აქტუალობა. აღწერილია კვლევის ობიექტი, კვლევის მეთოდები და სამუშაოს სტრუქტურა.

სამშენებლო ინდუსტრიაში დიდი პროგრესის მიღწევა შესაძლებელია თანამედროვე სამეცნიერო და მაღალგანვითარებული ტექნოლოგიების ბაზაზე, რაც უზრუნველყოფს პროდუქციის მაღალ ხარისხს, ნედლეულის ეფექტურ გამოყენებასა და რესურსების ეკონომიას. ბოლო წლების განმავლობაში მსოფლიო პრაქტიკაში ფართო გამოყენება ჰპოვა სხვადასხვა სახის მხურვალმედეგმა ბეტონებმა. ამერიკის შეერთებულ შტატებსა და იაპონიაში მათ ჩანაცვლეს ძვირადღირებული ცეცხლგამძლე მასალების 60-70%. ამერიკის შეერთებულ შტატებში მხურვალმედეგმა ბეტონებს იყენებენ ელექტრორკალურ და სხვადასხვა სახის გამახურებელ ღუმელებსა და ჭებში. იაპონიაში არაფორმირებულმა ცეცხლგამძლე მასალებმა ფართო აღიარება მოიპოვა ნავთობგადამამუშავებელი და ნავთობქიმიური ღუმელების მშენებლობაში, რამაც სტიმული მისცა მოცემული თვისებების მქონე მხურვალმედეგი ბეტონების დამუშავებას შავი ლითონების წარმოებაში. იაპონიაში მხურვალმედეგ ბეტონებს ამზადებენ თიხამიწოვან, ფოსფატურ და ნატრიუმის სილიკატის შემკვრელებზე.

ცეცხლგამძლე მასალებისა და ნაკეთობების გარედან შემოტანა საკმაოდ ძვირი ჯდება. ამიტომ, მეტად აქტუალურია ადგილობრივი რესურსების საფუძველზე, ენერგეტიკული დანახარჯების მკვეთრი შემცირებით მოცემული ხარისხის მხურვალმედეგი ბეტონის მიღება. ტექნოლოგიური, ეკონომიური, სანიტარულ-ჰიგიენური და დეფიციტურობის პოზიციიდან გამომდინარე დიდ ინტერესს იჩენენ მხურვალმედეგი ბეტონებისადმი სილიკატ-ნატრიუმიან სისტემებზე. თხევადი მინა შეცვლილია წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდით, რაც აუმჯობესებს ბეტონის ნარევის ერთგვაროვნებას; გამორიცხავს სილიკატ-ლოდიდან თხევადი მინის მიღების ენერგოტევად ოპერაციას; საშუალებას იძლევა შემცირდეს სადულაბო წყლის რაოდენობა, რაც უზრუნველყოფს სიმტკიცის მომატებას; ამცირებს სილიკატ-ლოდის ხარჯს, რის გამოც მატულობს ბეტონის გამოყენების ტემპერატურა, იძლევა ბეტონის მშრალი ნარევის ცენტრალიზებულად დამზადების საშუალებას, რომლის ტრანსპორტირება შესაძლებელია ნებისმიერ მანძილზე, ხოლო ბეტონი მზადდება უშუალოდ მომხმარებელთან.

ამიტომ ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით მაღალ-ტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონის მისაღებად ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, არჩევანი გაკეთდა სილიკატ-ნატრიუმიან უწყლო შემკვრელზე.

სამუშაოს მომდევნო თავში გადმოცემულია ექსპერიმენტების ჩატარების თანმიმდევრობა, დახასიათებულია გამოყენებული მასალები, ხელსაწყოები და მოწყობილობები შემკვრელისა და ბეტონის მიღების ტექნოლოგია, მათი ფიზიკურ-მექანიკური და თბოტენიკური თვისებები.

თეორიულად და ექსპერიმენტულად დასაბუთებულია შემკვრელისა და მხურვალმედეგი ბეტონის მიღების შესაძლებლობა წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდის, ვულკანური წიდის - კარატეკესა და კორუნდის საფუძველზე. ვულკანური წიდა და კორუნდი გამოყენებული იქნა, როგორც შემკვრელში, ასევე ბეტონში შემკვრებად, რაც განაპირობებს

შედგენილობის მცირეკომპონენტობას, ეს კი თავის მხრივ ამარტივებს ტექნოლოგიას. ერთნაირი ნივთიერი შედგენილობა იძლევა იმის გარანტიას, რომ ტემპერატურის ცვლილებისას საკონტაქტო ფენებში შინაგანი დაძაბულობები იქნება მცირე, რაც გაზრდის მასალის თერმომდგრადობას. სილიკატ-ლოდისა და კარატეპესაგან დამზადებულმა შემკვრელის ნიმუშებმა თერმოდამუშავების შემდეგ აჩვენა მაღალი სიმტკიცე, ხოლო ცეცხლგამძლეობის გაზრდის მიზნით, საჭირო გახდა კორუნდის დამატება. ამასთანავე, აღსანიშნავია, რომ კომპონენტები, რომლებიც შედიან წიდის შედგენილობაში – CaO ; Al_2O_3 ; MgO და სხვა, მაღალ ტემპერატურებზე სილიკატ-ლოდის აქტიურ კაჟმიწასთან წარმოქმნიან ცეცხლგამძლე ნაერთებს: $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$; $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$.

ექსპერიმენტების საფუძველზე მოხდა კომპოზიციური შემკვრელის შედგენილობის ოპტიმიზაცია და განისაზღვრა მის სიმტკიცეზე მოქმედი შემდეგი ფაქტორები: დაფქვის სიწმინდე, წყალ-შემკვრელის დამოკიდებულება და სითბური დამუშავების რეჟიმი, რომელიც უზრუნველყოფს სილიკატ-ლოდის გაღებობას, გაუწყლოებას და სისტემის გამყარებას. შემკვრელის ფიზიკურ-ქიმიურმა, რენტგენოგრაფულმა და მიკროსკოპულმა კვლევებმა დაადასტურა, რომ მიღებული შემკვრელის საფუძველზე შესაძლებელია მხურვალმედეგი ბეტონის მიღება მაღალტემპერატურული ღუმელების ამონაგისათვის.

ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე მოხდა ბეტონის შედგენილობის ოპტიმიზაცია, შემვსებების გრანულომეტრიული შედგენილობის შერჩევა ბეტონის ნარევისათვის, სადულაბე წლის ხარჯის ოპტიმალური რაოდენობის განსაზღვრა, ბეტონის ნარევის მომზადების, მისი ფორმირების მეთოდებისა და შრობის რაციონალური რეჟიმების შერჩევა. მზა ბეტონის თერმომექანიკური და თბო-ფიზიკური თვისებები განისაზღვრა ასევე სახელმწიფო სტანდარტით რეგლამენტირებული მეთოდებით.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებულია თბო-საიზოლაციო-კონსტრუქციული, მაღალტემპერატურული, მხურვალმედეგი ბეტონი ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით, რომლის თერმომექანიკური და თბო-ფიზიკური თვისებები აკმაყოფილებს მისადმი წაყენებულ მოთხოვნებს და იძლევა მათი გამოყენების საშუალებას სხვადასხვა ღუმელების ამონაგისათვის. მესამე თავში წარმოდგენილია საწარმოს ტექნოლოგიური სქემა, რომელიც ძალიან მარტივია. ბეტონის შედგენილობის მცირეკომპონენტანობა თავისთავად ამარტივებს ტექნოლოგიას და ამცირებს ნაკეთობის თვითღირებულებას.

Resume

The dissertation discusses the use of local raw materials for heat-insulation construction of heat resistant concrete to get the results of theoretical and experimental survey.

The work consists of three chapters: introduction, analytic review, the experimental part and technological schemes for the production of concrete. The work is attached by the tables, drawings, and the literature list of experimental and theoretical studies.

The introduction describes the general characterization of the work, the topic, the object of the research, research methods and structure of the work.

Great progress is possible in the construction industry on a highly developed modern scientific technologies basis, which ensure the high quality of products, raw materials and efficient use of resources economy. In recent years on a practice is widely used the various types of heat resistant concrete. In the United States and Japan, they were replaced by expensive refractory materials 60-70% . In the United States is used the heat resistant concrete and different kinds of warming electric stoves in wells. Not formal refractory materials of the oil and petrochemical furnaces construction get the wide recognition in Japan, which gave a boost to the properties of heat resistant concrete processing of ferrous metals industry. Japan industry prepared the heat-resisting concrete using clay soil, phosphate and sodium silicate astringents.

Refractory materials and products imported from the outside is quite expensive. That's why it becomes so important to get the resistant concrete using the basis local resources with given sharp decline of the energy cost. Technological, economic, sanitary and deficiency position of the industry show much interest of the heat-sodium silicate systems of the concrete. The liquid glass is replaced by finely ground silicate-modified stone, which improves the homogeneity of the concrete mixture; it excludes operations of energy consuming of acquisition the stone-silicate liquid glass; it makes possible to decrease water solution, which provides an increase strength; reduces the costs of silicate-rock, with consequent increases in the use of concrete temperature, makes possible to get the concrete dry mixture of manufacturing method, which can be transported by any distance, while the concrete is made directly by the consumer, therefore, the concrete will be made exactly by consumer.

Therefore, after all above mentioned, for the acquisition of high-temperature heat resistant concrete of local raw materials was choice sodium silicate anhydrous solution.

The next chapter of the work dedicated to the sequence of experimentation, characterized the used materials, tools and equipment of solution and technology of making the concrete, and their physical and mechanical, and heat technical quantities.

Theoretically and experimentally substantiated that the mortar and heat resistant concrete possible to have to make finely ground silicate-rock, volcanic slag –Karatepe and corundum. Volcanic slag and corundum were used as a solution and filler in concrete, it makes small competitiveness of the composition, in turn, simplifies the technology. The same material composition ensures that the temperature changes in the contact layers of the inner tensions will be small, which will increase the thermostability of material. The samples made from the silicate-rock and karatepesa showed a high resistance after the heat treatment, and for the increasing the fire resistance becomes necessary to add the corundum for the solution. It is notable that the components that are included in the composition of the slag - CaO; Al₂O₃; MgO and other, of the higher temperatures silicate rock-active silica form the refractory compounds: 3Al₂O₃ · 2SiO₂; CaO · SiO₂; MgO · SiO₂.

The optimization of the binder composition consisting was reached during the experiment, and also was established following factors influenced on the strengthening: the sanctity of grinding, water-binder attitude and thermal treatment mode, which provides a silicate-rock melt, hydration, and extending the system. Physical-chemical, radiography and microscopic studies of the binder have confirmed that it is possible to heat the binder based on the adoption of concrete lining of high-temperature ovens.

The basis of experimental survey provided optimization of the composition of the concrete, and selection of the granulometric composition of the filler for the concrete mixture, to define the optimal rate of the water flow, and rational mode selection of the concrete mixture, and its forming methods, and drying. Ready-mixed concrete and thermo-physical properties of the heat defined and regulated by the state regulatory standard methods.

As the result of studies conducted on the basis of the obtained heat-insulating construction of high-temperature heat resistant concrete using local raw materials, whose heat and thermo-physical properties in compliance with its requirements and allows him to use a variety of fast and complete ovens lining.

The third section presents the technological scheme of the enterprise, which is very simple and that is because of the small constituent concrete composition technology simplifies and reduces the cost of the product.

სარჩევი

შესავალი	14
თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა.....	18
1.1. ზოგადი საკითხები.....	18
1.2. მხურვალმედეგი ბეტონების კლასიფიკაცია	36
თავი 2. ექსპერიმენტული ნაწილი.....	41
2.1. კვლევების ჩატარების მეთოდოლოგია და გამოყენებული	
სტანდარტებია.....	41
2.1.1. ნიმუშების საჭირო რაოდენობის განსაზღვრა და შედეგების	
სტატისტიკური დამუშავება.....	42
2.2. გამოყენებული მასალების დახასიათება.....	43
2.2.1. სილიკატ-ლოდი	44
2.2.2. ვულკანური წიდა (კარატეპე)	45
2.2.3. კორუნდი	45
2.3. კომპოზიციური შემკვრელის ოპტიმალური შედგენილობის	
განსაზღვრა.....	46
2.4. კომპოზიციური შემკვრელის ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა.	57
2.5. თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის	
შედგენილობის შერჩევა.....	63
2.6. შემვსების გრანულომეტრიული შედგენილობის შერჩევა ბეტონის	
ნარევისათვის.....	65

2.7. სადულაზე წყლის ხარჯის ოპტიმალური რაოდენობის განსაზღვრა.....	69
2.8. . ბეტონის ნარევის მომზადების რეჟიმის,ფორმირების მეთოდისა და სითბური დამუშავების რეჟიმის შერჩევა.....	71
2.9. ცეცხლგამძლეობა.....	74
2.10. თერმომდგრადობა.....	75
2.11. თბოგამტარობის განსაზღვრა.....	80
2.12. დეფორმაციის განსაზღვრა მაღალ ტემპერატურებზე (მიტვირთვით).....	81
2.13. ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტის განსაზღვრა	91
თავი 3. საწარმოს ტექნოლოგიური სქემა.....	94
3.1.ძირითადი დასკვნები.....	97
გამოყენებული ლიტერატურა	99

ცხრილების ნუსხა

1. მხურვალმედეგი ბეტონების კლასები მათი გამოყენების მაქსიმალური ტემპერატურების მიხედვით;
2. მხურვალმედეგი ბეტონების ჯგუფები მათი მოცულობითი მასის მიხედვით;
3. შემვსებების კლასები მათი მარცვლოვანი შედგენილობების მიხედვით;
4. სახელმწიფო სტანდარტის გათვალისწინებით გამოსაცდელი ნიმუშების რაოდენობა;
5. სილიკატ-ლოდის ქიმიური შედგენილობა;
6. ვულკანური წილის - კარატეკეს ქიმიური შედგენილობა;
7. კორუნდის ქიმიური შედგენილობა;
8. სილიკატ-ნატრიუმის კომპოზიტების ცეცხლგამძლეობა;
9. შემკვრელის ოპტიმალური შედგენილობის განსაზღვრის შედეგები;
10. თერმოდამუშავების რეჟიმის გავლენა შემკვრელის ნიმუშების სიმტკიცეზე;
11. შემკვრელის დაყალიბების მეთოდები და რეჟიმები;
12. შემკვრელის ქიმიური შედგენილობა;
13. ბეტონის ნარევის მომზადების რეჟიმის გავლენა საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეზე მათი 200°C ტემპერატურაზე თერმოდამუშავების შემდეგ;
14. ბეტონის ნიმუშების სიმტკიცის დამოკიდებულება ვიბროდაყალიბების პარამეტრებზე;
15. მხურვალმედეგი ბეტონის ცეცხლგამძლეობის დამოკიდებულება შემკვრელის რაოდენობაზე;
16. ცეცხლგამძლე მასალების თბოგამტარობა;
17. მხურვალმედეგი ბეტონის თბოგამტარობა;
18. სხვადასხვა ცეცხლგამძლე მასალების დეფორმაციის ტემპერატურის დამოკიდებულება მათ ფაზურ შედგენილობასა და ცეცხლგამძლეობაზე;
19. კომპოზიციური შემკვრელის რაოდენობის გავლენა მხურვალმედეგი ბეტონის დეფორმაციის ტემპერატურაზე 0,2მგპა დატვირთვის ქვეშ
20. მასალების ხარჯი ერთი ტონა ბეტონის ნარევის მოსამზადებლად;

ნახაზების ნუსხა

1. უწყლო ნატრიუმის სილიკატის ხსნადობის სიჩქარის დამოკიდებულება " $H_2O:Na_2SiO_3$ " თანაფარდობაზე;
2. $+200^{\circ}C$ ტემპერატურაზე გამომშრალისილიკატ-ნატრიუმიან კომპოზიციურ მჭიდაზე დამზადებული ნიმუშების სიმკვრივისა (ρ) და სიმტკიცის ($R_{კუმ}$) დამოკიდებულება წყალ/შემკვრელის თანაფარდობაზე;
3. კომპოზიციური შემკვრელის (სილიკატ-ლოდი; კარატეპე; კორუნდი) რენტგენოგრამა - $200^{\circ}C$ ტემპერატურაზე;
4. კომპოზიციური შემკვრელის (სილიკატ-ლოდი; კარატეპე; კორუნდი) რენტგენოგრამა - $800^{\circ}C$ ტემპერატურაზე;
5. კომპოზიციური შემკვრელის (სილიკატ-ლოდი; კარატეპე; კორუნდი) რენტგენოგრამა - $1000^{\circ}C$ ტემპერატურაზე;
6. კომპოზიციური შემკვრელის (სილიკატ-ლოდი; კარატეპე; კორუნდი) რენტგენოგრამა - $1100^{\circ}C$ ტემპერატურაზე;
7. კომპოზიციური შემკვრელის (სილიკატ-ლოდი; კარატეპე; კორუნდი) რენტგენოგრამა - $1400^{\circ}C$ ტემპერატურაზე;
8. წვრილი და მსხვილი ფრაქციის მარცვლებს შორის წყვეტის შეფასების, გრაფიკი;
9. წყ/შემკვრელის დამოკიდებულება ბეტონის სიმტკიცესა და ზოგად სიმკვრივეზე;
10. ცეცხლგამძლე მასალების დეფორმაციის დიაგრამა სიმტკიცისა და პროპორციულობის ზღვრების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე;
11. დეფორმაციული მრუდები კუმშვაზე გახურების სხვადასხვა ტემპერატურაზე ;
12. დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე.
13. საწარმოს ტექნოლოგიური სქემა.

შესავალი

სახელმწიფოს სამრეწველო დამოუკიდებლობის ხელშეწყობის მიზნით უაღრესად მნიშვნელოვანია ისეთი ტექნოლოგიური პროცესების შექმნა, რაც უზრუნველყოფს პროდუქციის წარმოებისას დეფიციტურ მასალათა მინიმალურ ხარჯს, ენერგეტიკული რესურსების მაქსიმალურ ეკონომიას და სატრანსპორტო ხარჯების მკვეთრ შემცირებას.

ბოლო სამი ათეული წლის განმავლობაში მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში თბური აგრეგატების მშენებლობასა და მათი ექსპლუატაციის საქმეში, არსებული ძვირადღირებული და დეფიციტური ცეცხლგამძლე მასალების ნაცვლად, წარმატებით გამოიყენება მხურვალმედეგი ბეტონები. მხურვალმედეგი ბეტონებისადმი მასშტაბური ინტერესი დაკავშირებულია დიდ ეკონომიურ ეფექტთან და მაღალი ტემპერატურის მოქმედების პირობებში ამ ბეტონებისაგან დამზადებული ნაკეთობებისა და კონსტრუქციების ხანგამძლეობასთან.

ცეცხლგამძლე და მხურვალმედეგი მასალებისა და ნაკეთობების გამოყენებას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მეტალურგიული, ცემენტის, მინის, კერამიკის მრეწველობისათვის, ასევე მრავალი სხვა პროფილის ქარხნისა და კომუნალური სამსახურის თბური აგრეგატების მუშაობისათვის. თითქმის ყველა დანადგარს, რომელშიც იწვის სათბობი ესაჭიროება აღნიშნული მასალების გამოყენება. უმეტესად გავრცელებულია მცირე ზომის მზა ცეცხლგამძლე ნაკეთობების გამოყენება, მაგრამ ბოლო ათეულ წლებში თანდათანობით მეტ გამოყენებას პოულობს მხურვალმედეგი ბეტონი, რომელიც საშუალებას იძლევა მსუბუქი და მძიმე ცეცხლგამძლე შემვსებების გამოყენებით, დამზადდეს დიდი ზომის, თბოსაიზოლაციო და კონსტრუქციული დანიშნულების, ნებისმიერი ფორმის რთული ნაკეთობა.

ცეცხლგამძლე მასალებისა და ნაკეთობების გარედან შემოტანა საკმაოდ ძვირი ჯდება. ეს ხელს უშლის თბური დანადგარების სტაბილურმუშაობას და პროდუქციის შეუფერხებლად გამოშვებას.

აღნიშნულის გამო, მეტად აქტუალურია ადგილობრივი რესურსების საფუძველზე, ენერგეტიკული დანახარჯების მკვეთრი შემცირებით, მოცემული ხარისხის მხურვალმდეგი მასალების სინთეზი. ამასთან, შესაძლებელია მიღწეული იქნას ცეცხლგამძლე ნაკეთობებისა და ნედლეული მასალების ტრანსპორტირებისათვის საჭირო მნიშვნელოვანი თანხების ეკონომია. აღნიშნული ამოცანა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს დღევანდელ დღეს, რამდენადაც მისი გადაწყვეტა რესურსების მომჭირნეობით ხარჯვის გარდა განამტკიცებს საქართველოს სამრეწველო დამოუკიდებლობას.

ასეთ ბეტონებს მთელი რიგი უპირატესობები გააჩნიათ ცალობით გამომწვარ ნაკეთობებთან შედარებით: მათი ტექნოლოგია არ საჭიროებს ყველაზე ძვირადღირებულ და რთულ პროცესს - გამოწვას; საექსპლუატაციო თვისებებს იძენენ მუშაობის პროცესში მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებისას; საშუალებას იძლევა დამზადდეს დიდგაბარიტანი ფასონური ნაკეთობები რომელთაც აქვთ ნაკერების მინიმალური რაოდენობა; შესაძლებელია მიღებული იქნას ბეტონები წინასწარ დაგეგმილი თვისებებით ყველა სახის თბური აგრეგატისა და მათი ცალკეული ნაწილებისათვის, აგრესიული გარემოს მახასიათებლებისა და მუშაობის პირობების გათვალისწინებით.

ამიტომ აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს წინასწარ დაგეგმილი თვისებების მქონე ისეთი მხურვალმდეგი ბეტონების შედგენილობის დამუშავება, რომლებიც არა მარტო სრულყოფილად ჩაანაცვლებენ არსებულ გამომწვარ ცეცხლგამძლე ნაკეთობებს არამედ, ექნებათ უკეთესი ხარისხობრივი მაჩვენებლები და საექსპლუატაციო ვადები. ამ პრობლემის გადაჭრის მიზნით აუცილებელია ჩატარდეს ბეტონის თვისებების თეორიული დამუშავება და ისეთი ექსპერიმენტული კვლევები რომლებიც პასუხობს წაყენებულ მოთხოვნებს.

სადისერტაციო ნაშრომის მიზანი და კვლევის ამოცანა-ნაშრომის მიზანია ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით, სილიკატ-ნატრიუმ-იანიკომპოზიციური მჭიდის საფუძველზე თბოსაიზოლაციო-კონსტ-

რუქციული, მხურვალმედეგი ბეტონის მიღება, მაღალტემპერატურებზე მომუშავე ღუმელების ამონაგისათვის.

დასახული მიზნის მისაღწევად დაისვა და გადაწყდა შემდეგი კერძო ამოცანები:

- თეორიული და ექსპერიმენტული ანალიზის ჩატარება ადგილობრივი ნედლეულის შესარჩევად;
- ბეტონისა და შემკვრელის შედგენილობების ოპტიმიზაცია;
- შემკვრელების გრანულომეტრიის განსაზღვრა;
- ტექნოლოგიური პარამეტრების გავლენის შესწავლა მხურვალმედეგი ბეტონების თვისებებზე;
- მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონის თბო-ფიზიკური და თერმომექანიკური თვისებების კვლევა.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე:

- თეორიულად დასაბუთებულია და ექსპერიმენტულად დამტკიცებულია მხურვალმედეგი ბეტონის მიღების შესაძლებლობა დაფუძვლილი სილიკატ-ლოდის, სადამოს საბადოს ადგილმდებარეობის ვულკანური წიდის (კარატეპე) და კორუნდის გამოყენებით;
- მიღებულია ცნობები მხურვალმედეგი ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების რაოდენობრივი თანაფარდობის გავლენის შესახებ შემკვრელისა და ბეტონის თვისებებზე, სიმტკიცეზე, მოცულობითი მასაზე, ცეცხლგამძლეობაზე, თერმომექანიკურ და თბოტექნიკურ თვისებებზე;

ნაშრომის პრაქტიკული მნიშვნელობა - ჩატარებული კომპლექსური კვლევების საფუძველზე ადგილობრივი ნედლეულის ბაზაზე, მიღებულია მხურვალმედეგი ბეტონი, რომელიც პასუხობს მეტალურგიული და სხვა მაღალტემპერატურებზე მომუშავე სამრეწველო ღუმელების ამონაგის საექსპლუატაციო მოთხოვნებს. ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენების შედეგად შემცირდება გამოშვებული პროდუქციის თვითღირებულება.

შემკვრელისა და ბეტონის ნარევის დამზადების შემოთავაზებული ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა მივიღოთ მხურვალმედეგი ბეტონი, რომლის სიმტკიცე 180-200°C ტემპერატურაზე სითბური დამუშავების შემდეგ არის 35-40 მგპა, ხოლო 1850°C ტემპერატურაზე გამოწვის შემდეგ- 40-42 მგპა, დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა 0,2მგპა დატვირთვის ქვეშ არის 1520°C. თერმომდგრადობა -25-27 თბოცვლა, ცეცხლგამძლეობა - 1950°C.

თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა

1.1. ზოგადი საკითხები

სახელმწიფოს სამრეწველო დამოუკიდებლობის ხელშეწყობის მიზნით უაღრესად მნიშვნელოვანია ისეთი ტექნოლოგიური პროცესების შექმნა, რაც პროდუქციის წარმოებისას უზრუნველყოფს დეფიციტურ მასალათა მინიმალურ ხარჯს, ენერგეტიკული რესურსების მაქსიმალურ ეკონომიას და სატრანსპორტო ხარჯების მკვეთრ შემცირებას. ნაშრომში ფართოდ არის გამოყენებული უცხოელ მეცნიერთა შრომები ცეცხლგამძლე მასალებისა და მხურვალმედეგი ბეტონების შესახებ.

ბოლო სამი ათეული წლის განმავლობაში მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში თბური აგრეგატების მშენებლობასა და მათი ექსპლუატაციის საქმეში წარმატებით გამოიყენება მხურვალმედეგი ბეტონები, არსებული ძვირადღირებული და დეფიციტური ცეცხლგამძლე მასალების ნაცვლად. მხურვალმედეგი ბეტონების ფართო მასშტაბით გამოყენება აგრეთვე, დაკავშირებულია დიდ ეკონომიურ ეფექტთან და მაღალი ტემპერატურის მოქმედების პირობებში /200-2000°C/ მხურვალმედეგი ბეტონებისაგან დამზადებული ნაკეთობებისა და კონსტრუქციების ხანგამძლეობასთან.

ცეცხლგამძლე და მხურვალმედეგი მასალებისა და ნაკეთობების გამოყენებას გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მეტალურგიული, ცემენტის, მინის, კერამიკის მრეწველობის და სხვა პროფილის ქარხნებისა და კომუნალური სამსახურის თბური აგრეგატების მუშაობისათვის. თითქმის ყველა დანადგარს, რომელშიც იწვის სათბობი ესაჭიროება აღნიშნული მასალები. უმეტესად გავრცელებულია მცირე ზომის მზა ცეცხლგამძლე ნაკეთობების გამოყენება, მაგრამ ბოლო ათეულ წლებში თანდათანობით მეტ გამოყენებას პოულობს მხურვალმედეგი ბეტონი, რომელიც საშუალებას იძლევა დამზადდეს დიდი ზომის, ნებისმიერი რთული ფორმის ნაკეთობა მსუბუქი და მძიმე ცეცხლგამძლე შემკვებების გამოყენებით, რომელთაც ექნებათ თბოსაიზოლაციო და კონსტრუქციული

დანიშნულება. ასეთი ბეტონების დასამზადებლად იყენებენ თიხამიწოვან ცემენტს, პორტლანდცემენტს მიკროშემავსებებით, თხევად მინას, ფოსფატურ და სხვა მჭიდა მასალებს.

ცეცხლგამძლე მასალებისა და ნაკეთობების გარედან შემოტანა საკმაოდ ძვირი ჯდება. ეს ხელს უშლის თბური დანადგარების სტაბილურ მუშაობას და პროდუქციის შეუფერხებლად გამოშვებას აღნიშნულის გამო, მეტად აქტუალურია ადგილობრივი რესურსების საფუძველზე ენერგეტიკული დანახარჯების მკვეთრი შემცირებით მაღალი ხარისხის მხურვალმედეგი მასალების სინთეზი. ამასთან, შესაძლებელია მიღწეულ იქნას ცეცხლგამძლე ნაკეთობებისა და ნედლეული მასალების ტრანსპორტირებისათვის საჭირო მნიშვნელოვანი თანხების ეკონომია. აღნიშნული ამოცანა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს დღევანდელ დღეს, რამდენადაც მისი გადაწყვეტა რესურსების მომჭირნეობით ხარჯვის გარდა განამტკიცებს საქართველოს სამრეწველო დამოუკიდებლობას.

ბოლო წლების განმავლობაში მსოფლიო პრაქტიკაში ფართო გამოყენება ჰპოვა სხვადასხვა სახის მხურვალმედეგმა ბეტონებმა, მათ შეცვალეს ძვირადღირებული ცეცხლგამძლე მასალების 60-70% და ინტენსიურად იწერება ამერიკის, იაპონიის გერმანიის და სხვა ქვეყნების მრეწველობაში. ასეთ ბეტონებს მთელი რიგი უპირატესობები გააჩნიათ ცალობით გამომწვარ ნაკეთობებთან შედარებით: მათი ტექნოლოგია არ საჭიროებს ყველაზე ძვირადღირებულ და რთულ პროცესს - გამოწვას; საექსპლუატაციო თვისებებს იძენენ მუშაობის პროცესში მაღალი ტემპერატურების ზემოქმედებისას; საშუალებას იძლევა დიდგაბარიტიანი ფასონური ნაკეთობების მიღებისა და აქვთ ნაკერების მინიმალური რაოდენობა; შესაძლებელია მიღებული იქნას ბეტონები წინასწარ დაგეგმილი თვისებებით ყოველგვარი თბური აგრეგატის და მათი ცალკეული ნაწილებისათვის, აგრესიული გარემოს მახასიათებლებისა და მუშაობის პირობების გათვალისწინებით.

მხურვალმედეგი ბეტონების წარმოებაში წამყვანი ადგილი უჭირავს ამერიკის შეერთებულ შტატებსა და იაპონიას. ამერიკის შეერთებულ შტატებში მხურვალმედეგი ბეტონებმა ფართო გამოყენება ჰპოვა ელექტრორკალურ და სხვადასხვა სახის გამახურებელ ღუმელებსა და ჭებში.

1960-1970-იან წლებში იაპონიის მრეწველობის სწრაფად მზარდმა ტემპმა ბიძგი მისცა ცეცხლგამძლე მასალების ახალი სახეობების წარმოების დაწესებას. არაფორმირებულმა ცეცხლგამძლე მასალებმა განსაკუთრებით ფართო აღიარება მოიპოვა ნავთობგადამამუშავებელი და ნავთობქიმიური ღუმელების მშენებლობაში, რამაც სტიმული მისცა მოცემული თვისებების მქონე მხურვალმედეგი ბეტონების დამუშავებას შავი ლითონების წარმოებაში.(35)

დღეისათვის შავი მეტალურგია მოიხმარს არაფორმირებული მხურვალმედეგი ბეტონების 40%-ზე მეტს, ახლო მომავალში კი მოსალოდნელია, რომ ამ რიცხვმა მიაღწიოს 50-70%.(23,52,53,54).

იაპონიაში მხურვალმედეგ ბეტონებს ამზადებენ თიხამიწოვან ცემენტებზე, ფოსფატურ მჭიდრებასა და ნატრიუმის სილიკატზე.(21,56) ისეთი ზონებისათვის, სადაც საჭიროა მსუბუქი კონსტრუქციები და თბოიზოლაცია გარდა მაღალი ცეცხლგამძლეობით გამორჩეული მხურვალმედეგი ბეტონებისა, ამზადებენ მსუბუქ მხურვალმედეგ ბეტონებსაც. მხურვალმედეგი ბეტონები მზადდება შამოტის, თიხამიწოვანი და მაღალთიხამიწოვანი შემვსებების გამოყენებით. დაწყებული 1970 წლიდან ინგლისში, რუმინეთში, ჩეხოსლოვაკიაში საფრანგეთსა და მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნებში მხურვალმედეგ ბეტონებს იყენებენ პრაქტიკულად ყველა სახის გამახურებელ ღუმელებში, დომენურ ღუმელებსა და გამახურებელ ჭებში. (35,55,58)

მხურვალმედეგ ბეტონებზე მეცნიერული ცოდნის განვითარებაში დიდი წვლილი შეიტანეს რუსმა მეცნიერებმა: პ.ბუნდნიკოვმა; კ.ნეკრასოვმა; ა.ტარასოვამ; ი.გორლოვმა და სხვა. მნიშვნელოვანი კვლევები იქნა

ჩატარებული მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში, ვ.კუიბიშევის სახელობის სამშენებლო კონსტრუქციების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში, საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში, ვ. ქუთათელაძის სახელობის საშენ მასალათა კვლევით ინსტიტუტში და სხვა.

სამშენებლო ინდუსტრიაში დიდი პროგრესის მიღწევა შესაძლებელია მხოლოდ, თანამედროვე სამეცნიერო და მაღალ-განვითარებული ტექნოლოგიების ბაზაზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ პროდუქციის მაღალ ხარისხს, ნედლეულის ეფექტურ გამოყენებას და რესურსების ეკონომიას. ამასთან ერთად, მაღალი ტექნოლოგიების დანერგვა შეუძლებელია ფიზიკის, ქიმიის და სხვა ფუნდამენტური მეცნიერებების უკანასკნელი მიღწევების გამოყენების გარეშე. აქედან გამომდინარე უკანასკნელ პერიოდში ნანოტექნოლოგიები ითვლება ყველაზე პერსპექტიულ და მაღალგანვითარებულ ტექნოლოგიებად, რაც აღნიშნულია მთელი მსოფლიოს მეცნიერების მიერ 2005–2025 წლების „მშენებლობის სამგზავრო რუკა“-ში.

ნანოტექნოლოგიების მე-7 საერთაშორისო კონფერენციის (ვისბადენი 2004წ) რეკომენდაციების თანახმად, გამოყოფენ ნანომასალების შემდეგ ტიპებს: ნანოფოროვანი სტრუქტურები, ნანონაწილაკები, ნანომილები, ნანობოჭკოები, ნანოდისპერსიები (კოლოიდები), ნანოსტრუქტურული ზედაპირები და აფსკები, ნანოკრისტალები და ნანოკლასტერები.

ნანოტექნოლოგიებისა და ნანომასალების გამოყენება საშუალებას იძლევა მივიღოთ გაუმჯობესებელი მახასიათებლების მქონე სამშენებლო მასალები. (2, 45,46)

აღსანიშნავია, იმ კვლევების პერსპექტიულობა და აქტუალობა, რომლებიც მიმართულია ნანოსტრუქტურული საშენი მასალების ნომენკლატურული გაფართოებისათვის, მათ შორის მაღალმოდულურ სილიკატურ სისტემებზე (პოლისილიკატებზე) დამზადებული

მხურვალმედეგი ბეტონები, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი საექსპლუატაციო თვისებებით.

ამ მიმართულებით დიდი სამუშაოებია ჩატარებული კაჟმიწა ქანების გამოყენებით სხვადასხვა სახის ტრადიციული და ახალი ტიპის საშენი მასალების დამუშავებისათვის, რადგანაც თანამედროვე მრეწველობის აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს ნანოდისპერსული, ამორფული, კაჟმიწაშემცველი და განსხვავებული ფიზიკო-ქიმიური თვისებების მქონე მასალების მიღება.

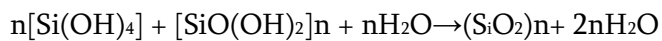
ამ მასალების გამოყენების ეკონომიკური მიზანშეწონილობაა – მათი პოლიფუნქციულობა. გარდა ტრადიციული სახით მათი გამოყენებისა, როგორც დანამატი - რეზინის, პლასტმასის, ქაღალდის, ადსორბენტებისა და სხვა წარმოებებში. აღსანიშნავია, ასევე, ნანოდისპერსული ქიმიურად სუფთა ამორფული კაჟმიწაზე გაზრდილი მოთხოვნილება მრეწველობის სხვა მაღალგანვითარებულ დარგებშიც. (2 ,45,46)

ამ ქანის პოლიფუნქციულობის გათვალისწინებით ივარაუდეს ისეთი ახალი თაობის საშენი მასალების მიღება, რომელთა წარმოება მოითხოვს მცირე რაოდენობით სათბობ-ენერგეტიკულ და სხვა მატერიალურ დანახარჯებს, რაც განპირობებულია ნანოდისპერსული კაჟმიწისაგან ნატრიუმის პოლისილიკატის შემკვრელის მიღებით.

ნანოდისპერსული კაჟმიწის გამოყენების შესაძლებლობა, რომლის შემადგენლობაშიც არის 20%-ზე მეტი ბუნებრივი კაჟმიწა ნედლეული ნატრიუმის პოლისილიკატის მისაღებად, ზრდის შემკვრელ მასალად მისი მოხმარების პერსპექტივებს. მოსკოვის რკინა-ბეტონის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტის მეცნიერების მამა-შვილ ტოტურბიევიძის სამეცნიერო ნაშრომებში განხილულია მხურვალმედეგი კაჟმიწოვანი ბეტონის მისაღებად ჩატარებული კვლევების შედეგები, სადაც შემკვრელად გამოყენებულია ბუნებრივი ამორფული ნანოდისპერსული კაჟმიწა ნედლეულისა და უწყლო ნატრიუმის სილიკატის ერთობლივი სინთეზით მიღებული ნანოდისპერსული ნატრიუმის პოლისილიკატი. (46,45)

აღსანიშნავია, ასევე, რომ მრეწველობაში გამოყენებულ სხვა ცეცხლგამძლე მასალებთან შედარებით თხევადი მინა გამოირჩევა მაღალი ადჰეზიური თვისებებით, მისი შეწებების უნარი 3-5-ჯერ უფრო მეტია, ვიდრე ცემენტების, რაც უზრუნველყოფს მათ საფუძველზე მაღალხარისხოვანი მხურვალმედეგი ბეტონების მიღებას.

თხევადი მინა წარმოადგენს რთულ ქიმიურ ნივთიერებას, რომელშიც ვლინდება იონური, კოლოიდური და პოლიმერული ხნარების თვისებები. ცნობილია, რომ თხევად მინაზე დამზადებული ბეტონებისა და დუღაბების შემკვრელი თვისებების უზრუნველყოფა დამოკიდებულია ნარევებში გამამყარებელი დანამატების შეყვანაზე. რუსი მეცნიერების ა.პ. ტარასოვასა და კ.დ. ნეკრასოვის სამეცნიერო კვლევებით დადგენილია, რომ თხევადი მინის საფუძველზე მიღებული ბეტონების თვისებები დამოკიდებულია გამამყარებლის სახესა და წვრილად დაფქვილ დანამატზე. (34,43) ყველაზე მეტად გავრცელებულ დანამატად ითვლება ნატრიუმის კაჟმიწაფტორიტი - NaSiF_6 და კალციუმის სილიკატები - β და $\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ და $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. გამყარების პროცესი მიმდინარეობს სტადიებად სილიციუმმჟავას გელის $n[\text{Si}(\text{OH})_4]$ წარმოქმნით და შემდგომ მისი პოლიმერიზაციით:



გახურებისას პოლიმერიზაციის პროცესი ჩქარდება, რაც განპირობებულია ადსორბირებული და ქიმიურად დაკავშირებული წყლის მოცილებით. აქედან გამომდინარე შემკვრელის გამყარება დამოკიდებულია დისპერსულ სისტემად გარდაქმნაზე, ისეთი მყარი ფაზის მიღებაზე, რომელსაც აქვს შემკვრელი თვისებები.

ცნობილია, რომ ადჰეზიური კავშირები წარმოიქმნება ქიმიური, ან მოლეკულური ძალების ურთიერთქმედების შედეგად. ურთიერთქმედების ძალა იზრდება მყარი სხეულების ხვედრითი ზედაპირის გაზრდით. ხშირად კონკრეტულ პირობებში ადგილი აქვს ქიმიურ ურთიერთქმედებასაც, რაც აძლიერებს ნივთიერებებს შორის კავშირს. თხევადი მინის ადჰეზიურობა (შეწებების უნარი) შეიძლება მნიშვნელოვან

ზღვრებში შეიცვალოს $\text{SiO}_2\text{:Na}_2\text{O}$ თანაფარდობით და ნატრიუმის სილიკატის გაუწყლოების ხარისხით (მისი კონცენტრაციით წყალხსნარში).

თხევადი მინა და მისი წყალხსნარი არ გამოირჩევა მნიშვნელოვანი კოჰეზიური სიმტკიცით, აქედან გამომდინარე ამ თვისების გარეშე ის ვერ წარმოქმნის მწებავ ნაერთებს, რაც აუცილებელია მხურვალმედეგი ბეტონებისათვის და სხვა მაღალი მექანიკური სიმტკიცის მქონე მასალებისათვის. იმისათვის, რომ თხევადმა მინამ შეიძინოს საჭირო კოჰეზიური სიმტკიცე, ან უნდა მოხდეს მისი გაუწყლოება გამოშრობით, ან მასში შევიყვანოთ წვრილდისპერსული გამამყარებელი დანამატები. დაგეგმილი სამონტაჟო სიმტკიცის მხურვალმედეგი ბეტონების მიღების უზრუნველსაყოფად უნდა გამოვიწვიოთ ისეთი ქიმიური პროცესები, რომლის შედეგაც იქნება თხევადი მინის გამაგრება.

მეორეს მხრივ, კომპოზიტებში, რომელთა შემდგენლობაში შედის მნიშვნელოვანი რაოდენობით ტუტე კომპონენტები ხასიათდებიან დაბალი ცეცხლგამძლეობით, ისინი ვერ უძლებენ მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებას, ამ აუცილებელი მაჩვენებლის გაზრდის მიზნით, შემკვრელის შემადგენლობაში შეჰყავთ წვრილად დაფქვილი ცეცხლგამძლე კომპონენტი.

მხურვალმედეგი ბეტონების სხვადასხვა შედგენილობების მონაცემების ანალიზი, ადასტურებს თხევად მინაზე დამზადებული მხურვალმედეგი ბეტონების მრავალკომპონენტიანობას. აღსანიშნავია, რომ 1მ^3 ბეტონისათვის თხევადი მინის მაღალი ხარჯი (300კგ-დან 500კგ-მდე) დაკავშირებულია ბეტონის ნარევის მაღალ წყალშემცველობასთან და წვრილად დაფქვილი ცეცხლგამძლე დანამატებისა და სხვა გამამყარებლების კაზმის შემადგენლობაში შეყვანის აუცილებლობასთან.

მეცნიერ ა.პ. ტარასოვას (43) მიერ მხურვალმედეგი ბეტონების სხვადასხვა შედგენილობების მიხედვით გაკეთებული მონაცემთა ანალიზი ადასტურებს, რომ თხევად მინაზე დამზადებული ბეტონები მრავალკომპონენტიანია.

სამშენებლო პრაქტიკამ დაამტკიცა, რომ განსაკუთრებული ეფექტურობით გამოირჩევა მხურვალმედეგი ბეტონები, რომლებიც დამზადებულია თხევადი მინის შემკვრელზე (31,33,34,42,43). ამ ბეტონების სტრუქტურისა და საექსპლუატაციო თვისებების აქტიურმა მართვამ სხვადასხვა ტექნოლოგიური ფაქტორების ცვლით, შესაძლებელი გახდა დანერგილიყო სხვადასხვა დანიშნულების მქონე მხურვალმედეგი ბეტონებისათვის ისეთი საიმედო ტექნოლოგიები, რაც უზრუნველყოფდა წინასწარ დაგეგმილი თვისებების მასალების მიღებას.

თხევადი მინისა და სხვადასხვა გამამყარებლების საფუძველზე მიღებული სილიკატური კომპოზიტის გამაგრების თეორია ახსნილია რუსი მეცნიერების: კ. დ. ნეკრასოვის, ა.პ. ტარასოვას, ვ.მ. მოსკვინას, ბ.დ.გლუხოვსკისა და სხვა ავტორთა მიერ. (4,9,10,29,31,34,42,43)

ამასთან ერთად დასაბუთებულია, რომ სილიკატური კომპოზიტების გამაგრება პირველ რიგში გამოწვეულია ტუტე გარემოში კოლოიდური კაჟმიწის კოაგულაციით, რომელიც აცემენტებს შემვსების ნაწილაკებს.

ცნობილია, რომ სილიციუმმჟავას ჰიდროზოლებს, რომლებიც ატარებენ უარყოფით მუხტს $[\text{Si}(\text{OH})_6]^-$ შეუძლიათ კოაგულირდნენ საპირისპიროდ დამუხტული მეტალების (Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+}) იონებთან და შეამცირონ ორმაგი ელექტრონული ფენა, რაც, თავის მხრივ, იწვევს ნაწილაკების კონდენსირებას. (3,8,39,43)

ვ.კუიბიშევის სახელობის სამშენებლო კონსტრუქციების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტის კათედრის სამეცნიერო კვლევებით ი. პ. გორლოვის ხელმძღვანელობით დაადგენილია რომ ბუნებრივი მინები, რომლებიც შეიცავენ ამორფულ კაჟმიწას ტუტე ხსნარებში აქტივაციით იძენენ კოაგულაციის უნარს, რის საფუძველზეც მიღებულ იქნა მთელი რიგი მხურვალმედეგი ბეტონებისა. (12,15,16,18)

სილიკატ-ნატრიუმთან კომპოზიციურ შემკვრელზე დამზადებული მხურვალმედეგი ბეტონების შემდგომი გაუმჯობესების მიზნით ვ.კუიბიშევის სახელობის სამშენებლო კონსტრუქციებისა და მოსკოვის

რკინა-ბეტონის სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტების მონაწილეობით ჩატარებულმა კომპლექსურმა სამეცნიერო სამუშაოებმა საფუძველი დაუდო ჰიპოტეზას თხევადი მინის შეცვლის შესაძლებლობის შესახებ დისპერსული სილიკატ-ლოდით.

ნატრიუმის ტუტე-სილიკატის, ანუ სილიკატ-ლოდის შემკვრელი თვისებები ჯერ კიდევ 1960-იან წლებში შესწავლილი იქნა მეცნიერ ვ. დ. გლუხოვსკის მიერ. მდინარის ქვიშის შემვსებით, 5%-მდე წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდითა და ასადულაბეხელი წყლით დამზადებულმა ნიმუშებმა 150-200C⁰ ტემპერატურაზე თერმული დამუშავების შემდეგ სიმტკიცე აჩვენა 40-45 მგპა. (9)

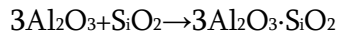
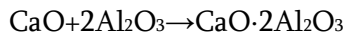
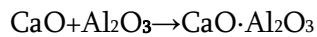
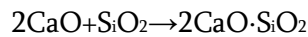
კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდი შეიძლება გამოყენებული იქნას, როგორც შემკვრელი მხურვალმედეგი ბეტონებში კომპოზიტის სახით - ერთობლივად წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდი და ცეცხლგამძლე შემვსები. (19,30,44,48) სხვადასხვა სილიკატ-ნატრიუმთან მხურვალმედეგ კომპოზიტებზე დამზადებული მხურვალმედეგი ბეტონების გამაგრების პროცესი ხორციელდება 180-200C⁰ ტემპერატურამდე გახურებით და ამ ტემპერატურაზე დაყოვნებით.

ამ ტექნოლოგიით მხურვალმედეგი ბეტონების მიღება და მათი გამოყენების ტემპერატურის გაზრდა შესაძლებელია ტუტე კომპონენტის შემცველობის შემცირების ხარჯზე, როდესაც სილიკატ-ლოდის რაოდენობა ბეტონში არის 2-დან 5%-დე, განსხვავებით თხევად მინაზე დამზადებული ბეტონებისაგან, რადგან ასეთ ბეტონებში უფრო მეტია ტუტე კომპონენტის რაოდენობა.

მაღალტემპერატურებზე მომუშავე სხვადასხვა სამრეწველო ღუმელების ამონაგისა და მეტალურგიული ღუმელების სხვადასხვა კონსტრუქციული ელემენტებისათვის საჭიროა სილიკატ-ნატრიუმთან კომპოზიციურ შემკვრელისა და მაღალცეცხლგამძლე კორუნდის შემცველი შემვსების საფუძველზე მიღებულ იქნას ისეთი მხურვალმედეგი ბეტონი,

რომელსაც ექნება მაღალი ცეცხლგამძლეობა, მაღალი თერმომდგრადობის მაჩვენებელი და მაღალი დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა მიტვირთვისას.

დასახული მიზნის მისაღწევად წამოიწია ვარაუდმა შექმნილიყო სილიკატ-ნატრიუმის კომპოზიტი, რომლის შედგენილობაც იქნებოდა: სილიკატ-ლოდი, კარბონატული ქანი და ალუმინის ოქსიდი. შრომის შემდეგ საკმარისი სამონტაჟო სიმტკიცე მიიღება მაღალცეცხლგამძლე და თერმომდგრადი ნაერთების ხარჯზე, რომლებიც წარმოიქმნება იმ ქიმიური რეაქციების მიხედვით:



რომლებიც მიმდინარეობს 800-1400 C⁰ ტემპერატურულ ინტერვალში და უფრო მაღალ ტემპერატურებზე. (11) წარმოქმნილი ცეცხლგამძლე ნაერთები მნიშვნელოვნად აუმჯობესებენ ბეტონის საექსპლუატაციო თვისებებს.

დიდი ხნიდან არის ცნობილი კარბონატული ქანების უნარი, გააუმჯობესოს შემკვრელის მექანიკური თვისებები. ჯერ კიდევ დ.ი მენდელეევიამ გამოთქვა ვარაუდი კრისტალიზაციის ცენტრების წარმოქმნის შესახებ $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ ტიპის კარბონატულ კირში. (17,37), ხოლო ხენგლინმა (59) აღმოაჩინა, რომ ხსნადი მინისა და CaCO_3 -ის ნარევის ავტოკლავური დამუშავების შემდეგ შესამჩნევად უმჯობესდებოდა ავტოკლავური მასალის სიმტკიცე, წარმოქმნილი მტკიცე კალციუმის სილიკატის ხარჯზე. კოლოიდური ქიმიიდან ცნობილია, რომ ძნელადხსნადი ისეთი ნაერთები როგორებიცაა, მაგალითად: AgCl , AgI , CaCO_3 კრისტალურ მესერში შეიცავენ ისეთ იონებს, რომლებიც ფლობენ ნარჩენი ვალენტობის ძალებს და წარმოქმნილი $m[\text{CaCO}_3] \cdot n\text{Ca}^{2+}$ ტიპის მიცელები ხსნარიდან არჩევითად იერთებენ საპირისპიროდ დამუხტულ იონებს.

ნატრიუმის სილიკატის, კარბონატული ქანისა და ალუმინის ოქსიდის (თიხამიწა, ან კორუნდი) ერთობლივი დაფქვა ხელს უწყობს კომპონენტების მნიშვნელოვან აქტივაციას კრისტალური მესრის დარღვევის ხარჯზე და ნარჩენი ვალენტობის მქონე Ca^{2+} და Al^{3+} იონების წარმოქმნას. (24)

პროექტირებული სილიკატ-ნატრიუმის კომპოზიტის საფუძველზე მიღებული ბეტონის ნარევის გარდაქმნა მონოლითურ სისტემად უნდა მოხდეს სილიკატ-ლოდის ნაწილაკების ზედაპირების გაუწყლოებისა და მაღალი ადჰეზიური თვისებების შექმნის ხარჯზე. შემდგომი უფრო ინტენსიური გახსნა სილიკატ-ლოდის ნაწილაკების ზედაპირების უნდა მოხდეს ბეტონის გახურებისას $80-95C^0$ -მდე, აქედან გამომდინარე გაიზრდება საკონტაქტო ფართობი შემვსებთან. Ca^{2+} და Al^{3+} იონების საპირისპირო იონების არსებობა ხელს შეუწყობს სილიციუმქავას გელის კოაგულაციას. შემდგომ ტემპერატურის გაზრდით $180-200C^0$ -მდე ხდება სისტემიდან წყლის პრაქტიკულად მთლიანად მოცილება და სისტემის გამტკიცება, რაც უზრუნველყოფს ნაკეთობის სამონტაჟო სიმტკიცეს.

კონტაქტური ზონის გაუწყლოების შემდეგ სილიკატ-ლოდის ნაწილაკების ბირთვები, რომელთაც აქვთ მნიშვნელოვანი კოჰეზიური სიმტკიცე ხელს უწყობენ საკმარისად მყარი და მტკიცე სისტემების ფორმირებას.

შემკვრელში ქიმიურად აქტიური კომპონენტის (ნატრიუმის სილიკატი) რაოდენობა მაღალ (სამუშაო) ტემპერატურებზე განაპირობებს კონტაქტურ ზონაში ახალწარმონაქმნების წარმოშობას და მაღალი ხარისხით განამტკიცებს კონტაქტს მყარ ნაწილაკებს შორის.

ასეთ სისტემებში ასადუღაბებელი წყლის შემცირებული რაოდენობა თავიდან აგვაცილებს შრობით შეჯდენას, მნიშვნელოვნად შეამცირებს მასალებში შინაგან დაძაბულობას და როგორც შედეგი გაზრდის ნაკეთობის თერმომდგრადობას. კარბონატული ქანი და ალუმინის ოქსიდი (თიხამიწა ან კორუნდი) ბეტონის ნარევის ხდის უფრო პლასტიურს.

ზემოთ გამოთქმული მოსაზრებები ეფუძნება ადრე ჩატარებული კვლევების შედეგებს, ასევე სხვადასხვა მკვლევართა მიერ ჩატარებული საძიებო ექსპერიმენტის მონაცემებს. აქედან გამომდინარე ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორის გათვალისწინებით, რომელიც მოქმედებს ფორმირებულ ნარევი დისპერგირებული სილიკატ-ლოდის დამატებით წარმოქმნილი მწებავი კონტაქტების სიმტკიცეზე, საჭიროა გამოიყოს სხვადასხვა პირობებში სილიკატ-ლოდის წყალში ხსნადობაც.

ბევრი კვლევითი სამუშაო მიემდგვნა სილიკატ-ლოდის წყალში ხსნადობის საკითხს, რომელზეც გავლენას ახდენს სილიკატური მოდული, გაწყლოვანების ხარისხი (მასითი თანაფარდობა წყალსა და სილიკატ-ლოდს შორის), ტემპერატურა, წნევა, სილიკატ-ლოდის დისპერსულობის ხარისხი და გახსნის პირობები (ავტოკლავური, ადულებით და ა.შ.). ცნობილია, რომ სილიკატ-ლოდის ხსნადობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მის კაჟმიწოვან მოდულზე, $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ პროცენტულ მასით თანაფარდობაზე. სილიკატ-ლოდის დაბალმოდულური სახეები (კაჟმიწოვანი მოდული არა უმეტეს 2-ისა) ადვილად იხსნებიან წყალში, მაგრამ წყალთან წარმოქმნიან არადგრად მწებავ კონტაქტებს. გარდა ამისა მათში ტუტე კომპონენტის მაღალი შემცველობა განაპირობებს დაბალ ცეცხლმედეგობას მასალებში, ხოლო სილიკატ-ლოდის მაღალმოდულურ სახეებს (სილიკატური მოდული 3-ზე მეტი) ახასიათებთ დაბალი ხსნადობა მაღალი ტემპერატურისა და წნევის პირობებშიც კი.

სხვადასხვა მიზნებისათვის ფართოდ გამოიყენება სილიკატ-ლოდი სილიკატური მოდულით 2,3-3. უცხოელი სპეციალისტების მიერ დაწვრილებით იქნა შესწავლილი სილიკატ-ლოდის წყალში ხსნადობის დამოკიდებულება $\text{H}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ თანაფარდობაზე, სილიკატ-ლოდის დისპერსულობაზე და წყლის ტემპერატურაზე. დადგენილია, რომ პირველ რიგში უფრო აქტიურად სილიკატ-ლოდის გახსნა მიმდინარეობს $90-95^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე, და მეორე, $\text{H}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ -ის განსაზღვრული

თანაფარდობისას. სილიკატ-ლოდის ხსნადობის ინტენსიურობა მცირდება ამ თანაფარდობის შემცირებით 1:1-თან.

ეს აიხსნება იმით, რომ მწვავე ტუტის კონცენტაცია მეტი რაოდენობის წყალში მცირდება, რის შედეგადაც სუსტდება მისი პეპტიზაციური ზემოქმედების უნარი SiO_2 -ზე, რომელიც სილიკატ-ლოდის ნაწილაკების ზედაპირზე წარმოქმნის აფსკს, რაც ამცირებს ხსნადობას ხვა მასალების მსგავსად. სილიკატ-ლოდის ხვედრითი ზედაპირის გაზრდით იზრდება მისი ხსნადობაც.

ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ სილიკატ-ლოდის აქტივობა წყალთან მიმართებაში და მწებავი კონტაქტების რაოდენობა გაიზრდება მისი ხვედრითი ზედაპირის გაზრდით, რაც არსებითად დამოკიდებულია ცეცხლგამძლე დანამატების ბუნებასა და ხასიათზე. შემვსების ნაკლებად სწორი და მკვრივი ზედაპირი მჭიდრო, მწებავი კონტაქტების წარმოსაქმნელად საჭიროებს მწებავი ნივთიერების ზედმეტ ხარჯს. სილიკატ-ლოდის გახსნის ინტენსივობაზე, დიდ გავლენას ახდენს $\text{H}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ თანაფარდობა, რომელზეც დამოკიდებულია მწებავი კონტაქტების რაოდენობა და ხარისხი.

აღსანიშნავია, რომ კომპოზიტები, რომლებშიც გამოყენებულია მკვრივი შემვსებები და რომელთა მარცვლებსაც აღენიშნებათ ნაკლები დეფექტები საჭიროებენ ნაკლები რაოდენობის სადულაზე წყალს, ვიდრე ის კომპოზიტები, რომლებიც დამზადებულია ფოროვან შემვსებებზე.

ბეტონის ნარევის მომზადების, ნაკეთობების ფორმირებისა და მათი თერმოდამუშავების პროცესში მეტად მნიშვნელოვანია სილიკატ-ლოდის მოქმედება მაღალი ადჰეზიური თვისებების შემენის თვალსაზრისით. ამასთან ერთად უნდა დადგინდეს მასალის სიმტკიცის დამოკიდებულება რიგ ტექნოლოგიურ ფაქტორებზე: დისპერსულობის ხარისხზე და მასალაში სილიკატ-ლოდის თანაბარ გადანაწილებაზე; ფორმირებული მასის საწყის ტენიანობაზე, წვრილდისპერსული მყარი კომპონენტის სახეზე და ამ კომპონენტის მასით თანაფარდობაზე სილიკატ-ლოდთან. ამ დამოკიდე-

ბულებების უფრო სრულად შესწავლის საფუძველზე უნდა განისაზღვროს რაციონალური ტექნოლოგიური ხერხები.

კომპოზიტის მომზადების ტექნოლოგია გულისხმობს სილიკატ-ლოდისა და მინერალური გამამყარებლის ერთად დაფქვას სხვადასხვა თანაფარდობით. კომპოზიციურ შემკვრელში სილიკატ-ლოდის პროცენტული შემცველობა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გამომშრალი ნიმუშების სიმტკიცეზე. შემვსების სახეობის მიხედვით კომპოზიტში სილიკატ-ლოდის ზღვრულად დასაშვებ რაოდენობაა 20-25%. ამ შემთხვევაში კომპოზიციური მჭიდა მასალა ხასიათდება მაღალი სიმტკიცით. შემკვრელში სილიკატ-ლოდის ამრაოდენობას შეესაბამება მწებავი კონტაქტების მეტი რიცხვი, რომელთა რაოდენობის გაზრდა ხელს უწყობს სისტემისმოცულობით-შევსებულკომპოზიციაში გადასვლას. სილიკატ-ლოდის რაოდენობის გაზრდით მასალაში ტუტის რაოდენობა იზრდება, რის შედეგადაც არსებითად მცირდება მხურვალმედეგი ბეტონის სამუშაო ტემპერატურა.

სილიკატ-ნატრიუმისანი მჭიდა მასალის სიმტკიცეზე არსებით ზეგავლენას ახდენს კომპოზიტის შემადგენელი კომპონენტების დისპერსულობა, სიმკვრივე და მინერალური შემვსების მარცვლების ზედაპირის ხასიათი.

ლიტერატურული წყაროებისა და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების ანალიზმა შექმნა მხურვალმედეგი ბეტონების მიღებისწინაპირობა სილიკატ-ნატრიუმისანი კომპოზიციურ შემკვრელზე. ამასთან დაკავშირებით გამოიკვეთა შემდეგი ძირითადი შედეგები:

ძირითადად კომპოზიტის მჭიდა თვისებები ვლინდება მწებავი კონტაქტების წარმოქმნის ხარჯზე, რომელთა სიმტკიცე და ხანგამძლეობა თავისთავად დამოკიდებულია მათი წარმოქმნის პირობებზე. კომპოზიციური მჭიდა მასალების ძირითადი თვისებების აქტიური მართვა შეიძლება განხორციელდეს რიგი ტექნოლოგიური ფაქტორების შეცვლით: კომპოზიტში სილიკატ-ლოდის რაოდენობით, $H_2O:Na_2SiO_3$ თანაფარდობით, კომპონენტების

დაფქვის ხარისხით, სხვადასხვა სახის ცეცხლგამძლე შემვსებების გამოყენებითა და ნიმუშების ფორმირების და დაყალიბების სხვადასხვა პარამეტრებით.

მაღალი სიმტკიცის, სხვადასხვა ცეცხლგამძლე კომპონენტებით მიღებული დაგეგმილი ცეცხლგამძლეობის კომპოზიციური შემკვრელის მისაღებად, აუცილებელია მივიღოთ ჰომოგენური ნარევი, მოხდეს ამ ნარევის რაც შეიძლება მკვრივად ჩაწყობა და მათი სითბური დამუშავებისათვის შეირჩეს ოპტიმალური რეჟიმი.

ასეთ შემკვრელზე დამზადებული მხურვალმედეგი ბეტონების უფრო მაღალი საექსპლუატაციო თვისებები მიიღწევა მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა სამუშაო ტემპერატურებზე პირველადი გახურებისას წარიმართება სისტემის გამამარტივებელი ისეთი ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები, რომლებიც თან სდევს კონტაქტურ ზონებში ცეცხლგამძლე ახალ-წარმონაქმნებს მასალების მოცულობის მნიშვნელოვანი ცვლილებების გარეშე.

ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე, სისტემაში - "დისპერსირებული სილიკატ-ლოდი და ცეცხლგამძლე ფხვნილი" მტკიცე მწებავი კონტაქტების წარმოსაქმნელად უნდა განხორციელდეს შემდეგი აუცილებელი პირობები: სილიკატ-ლოდის წვრილად დაფქვილი ნაწილაკები თანაბრად უნდა გადანაწილდეს ცეცხლგამძლე მასალის ფხვნილში; ამ ნაწილაკების ზედაპირზეთხელი მწებავი აფსკის წარმოსაქმნელადუნდა მოხდეს მათიგაწყლოვანება და მწებავი კონტაქტების განსამტკიცებელი პირობების შექმნა.

ტექნოლოგიური, ეკონომიური, სანიტარულ-ჰიგიენური და დეფიციტურობის პოზიციიდან გამომდინარე, დიდ ინტერესს იჩენენ მხურვალმედეგი ბეტონებისადმი სილიკატ-ნატრიუმთან სისტემებზე. თხევადი მინა შეცვლილია წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდით, რომლის გამოყენება ბეტონის ნარევის ერთგვაროვნების გაუმჯობესების საშუალებას იძლევა; გამორიცხავს სილიკატ-ლოდიდან თხევადი მინის მიღების ენერგოტევად ოპერაციას; საშუალებას იძლევა შემცირდეს

სადუღაბო წყლის რაოდენობა, რაც, თავის მხრივ, უზრუნველყოფს სიმტკიცის მომატებას; ამცირებს სილიკატ-ლოდის ხარჯს, რის გამოც მატულობს ბეტონის გამოყენების ტემპერატურა, იძლევა ბეტონის მშრალი ნარევის ცენტრალიზებულად დამზადების საშუალებას, რომლის ტრანსპორტირება შესაძლებელია ნებისმიერ მანძილზე, ხოლო ბეტონი მზადდება უშუალოდ მომხმარებელთან.

თბური აგრეგატების მშენებლობასა და რემონტისათვის გამოიყენება სხვადასხვა შემკვრელისა და შემვსებების საფუძველზე დამზადებული მხურვალმედეგი ბეტონები.

მხურვალმედეგმა ბეტონებმა გაიარეს შემოწმება სხვადასხვა ტიპის მეტალურგიულ ღუმელებში. მაღალი საექსპლუატაციო თვისებები გამოვლინდა ბეტონების იმ ნაკეთობებში, სადაც შემვსებად გამოყენებული იყო კორუნდი, შამოტი და დინასი.

მხურვალმედეგ ბეტონებში შემვსებად დეფიციტური და ძვირადღირებული ელექტროკორუნდის გამოყენება ეკონომიურად გამართლებულია, ვინაიდან თუ ექსპლუატაციის ტემპერატურა ასეთი ბეტონებისა შეესაბამება სხვა ტრადიციული მულტიკორუნდული ან მულიტის ცეცხლგამძლე მასალების გამოყენების ტემპერატურას, სანაცვლოდ მათი ექსპლუატაციის პირობები ართულებს საჭირო ხარისხის ნაკეთობების მიღების შესაძლებლობას სხვა შემვსებებზე. (47,48)

კორუნდის გამოყენებით მიღებული მხურვალმედეგი ბეტონებისაგან დამზადდა და წარმატებით გამოიყენება ფასონური ქვები (სურათი 1) გამახურებელი ღუმელების ამონაგისათვის, ნაცვლად გამომწვარი ცეცხლგამძლე ნაკეთობებისა, რომლებიც მზადდება ინდივიდუალური შეკვეთებით ცეცხლგამძლე ნაკეთობების საწარმოში.

რუსეთის სხვადასხვა საწარმოო კომბინატებში გამოიყენება კედლის ფასონური ამონაგი მეთოდური ღუმელის გახურების ზონისათვის. ორწლიანი ექსპლუატაციის შემდეგ კედლის მდგომარეობა იყო დამაკმაყოფილებელი და

დატოვებული იქნა შემდგომი ექსპლუატაციისათვის კიდევ ორწლიანი პერიოდით.
(სურ.2)

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ღუმელის კედლის ამონაგი მუშაობს ხშირი თერმოცვლის პირობებში დაახლოებით 150-200-ჯერ წელიწადში. ის უძლებს სითბური რეჟიმების მკვეთრ ცვლას. გარდა ამისა მისი ექსპლუატაცია მიმდინარეობს აგრესიულ გარემოში განსაკუთრებით თხევადი საწვავის წვის დროს.

მასალის ექსპლუატაციის ხანგრძლივობის გათვალისწინებით გამომწვარი ცეცხლგამძლე ნაკეთობების შეცვლა მხუვალმედეგი ბეტონებით, მოცემულ შემთხვევაში შესაძლებლობას იძლევა 2-2,5-ჯერ შემცირდეს დეფიციტური ცეცხლგამძლე ნედლეულის ხარჯი ერთი ტონა ფოლადისათვის. ამასთან ერთად სამჯერ მცირდება შრომითი რესურსების დანახარჯი და რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია არ საჭიროებს ისეთ ენერგოტევად ოპერაციას როგორცაა გამოწვა, ეს კი ამცირებს საწვავის ხარჯს.



სურ.1 მხურვალმედეგი ბეტონისაგან დამზადებული ღუმელის ამონაგის ფასონური ქვები



სურ.2 მხურვალმედეგი ბეტონისაგან დამზადებული ღუმელი
2 წლიანი ექსპლუატაციის შემდეგ

მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს ახალი და უფრო ეფექტური მხურვალმედეგი ბეტონების მიღება არადეფიციტური შემკვრელის საფუძველზე, რომლებიც ჩაანაცვლებენ მაღალთიხამიწოვან ცემენტებისა და თხევადი მინის საფუძველზე მიღებულ მხურვალმედეგ ბეტონებს.

მხურვალმედეგი მასალების, მათ შორის მხურვალმედეგი ბეტონების ერთერთი მთავარი მოხმარებელია მეტალურგიული მრეწველობა. გარდა ამისა, დღეისათვის აქტუალური და მოთხოვნადია ოპტიკურ-ბოჭკოვანი კაბელების წარმოება, რომელიც მიიღება კვარცის ქვიშის მაღალ ტემპერატურაზე დნობით. საქართველო მდიდარია ოპტიკური ბოჭკოს წარმოებისათვის საჭირო კვარცის ქვიშის საბადოებით, ამიტომაც სახელმწიფოს ეკონომიური დამოუკიდებლობის ხელშეწყობის მიზნით,

პრიორიტეტული იქნება ახალი ტიპის მხურვალმედეგი ბეტონის გამოყენება მათ წარმოებაშიც.

1.2. მხურვალმედეგი ბეტონების კლასიფიკაცია

მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონები ეწოდება გამოუწვავ კომპოზიციურ მასალებს, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი ცეცხლგამძლეობით 1500°C ტემპერატურიდან და ზევით. მხურვალმედეგი ბეტონები შედგება ცეცხლგამძლე შემვსებებისაგან, მჭიდა მასალებისაგან, დანამატებისაგან და ფორებისაგან, ის მყარდება ნორმალურ ტემპერატურაზე, ხოლო ექსპლუატაციისას მაქსიმალური ტემპერატურის პირობებში ხასიათდება მინიმალური ჯდენით.

მხურვალმედეგი ბეტონი კლასიფიცირდება შემდეგი ძირითადი თვისებების მიხედვით:

- გამოყენების ზღვრული ტემპერატურის;
- მოცულობით მასის;
- სტრუქტურის;
- სიმტკიცის;
- შემკვრელის სახეობის
- შემვსების სახეობის;
- ჩაწყობისა და შემკვრივების მეთოდების.

გამოყენების მაქსიმალური ტემპერატურის მიხედვით მხურვალმედეგი ბეტონები იყოფა 18 კლასად. (ცხრილი №1) /300°C ტემპერატურიდან 1700-2000°C ტემპერატურა და უფრო მეტი.

**მხურვალმედეგი ბეტონის კლასები მათი გამოყენების მაქსიმალური
ტემპერატურის მიხედვით**

ცხრ. №1

ბეტონების კლასი	გამოყენების მაქსიმალური ტემპერატურა C°
3	300°
6	600°
7	700°
8	800°
9	900°
10	1000°
11	1100°
12	1200°
13	1300°
14	1400°
15	1500°
16	1600°
17	1700°
18	1700°- დან 2000°-მდე

მხურვალმედეგი ბეტონების გამოყენების მაქსიმალურ ტემპერატურად მიიღება ის ტემპერატურა, რომელზეც 5 საათის განმავლობაში ხაზობრივი ჯდენა დატვირთვის გარეშე არ აღემატება 5%. ბეტონის გაფართოება მომსახურების ტემპერატურაზე დასაშვებია 3%-მდე. (25,42)

მოცულობითი მასის მიხედვით მხურვალმედეგი ბეტონები იყოფა შემდეგ ჯგუფებად. (ცხრილი №2)

მხურვალმედეგი ბეტონებისათვის შემკვრელი მასალები მათი გამყარების ხასიათის მიხედვით იყოფიან შემდეგ ჯგუფებად:

1. ჰიდროტრადიციული მჭიდა მასალები, რომლებშიც დისპერსული ფაზის სახით გამოიყენება თიხამიწოვანი, მაღალ თიხამიწოვანი ცემენტები, პორტლანდცემენტი და სხვა;
2. პოლიმერიზებული მჭიდა მასალები, რომლებიც შეიცავენ ორთოფოსფორმჟავას და მის მარილებს, ხსნად მინას და სხვა.
3. კოაგულაციური მჭიდა მასალები, ეს არის ცეცხლგამძლე თიხა, ბენტონიტი და სილიციუმორგანული ნივთიერებები.
4. ორგანული შემკვრელები - სახამებელი, დეკსტრინი, თერმორეაქტიული პროდუქტები და სხვა.

მხურვალმედვი ბეტონის ჯგუფები მათი მოცულობითი მასების მიხედვით

ცხრ. №2

ბეტონის ჯგუფები	მოცულობითი მასა კგ/მ ³
ზემძიმე	2500 და მეტი
მძიმე	2200 -2500
შემსუბუქებული	1800 -2200
მსუბუქი	500 - 1800
ზემსუბუქი	500 და ნაკლები

შემკვრელის სახეობა შეირჩევა ორი ძირითადი პირობიდან გამომდინარე: ბეტონების მუდმივ მოცულობისა და საჭირო სიმტკიცის მიხედვით ყველა ტემპერატურ ინტერვალში – ოთახის ტემპერატურიდან ექსპლუატაციის ტემპერატურამდე.

შემკვრელები ქიმიურ-მინერალოგიური შემადგენლობის მიხედვით იყოფიან კლასებად და ტიპებად. (25,26)

მარცვლოვანი შედგენილობის მიხედვით შემვსებები იყოფა კლასებად. (ცხრილი №3). ჩაწყობისა და შემკვრივების მეთოდების მიხედვით მხურვალმედეგი ბეტონები არის ვიბრირებული, დაპრესილი, დატკეპნილი და ჩამოსასხმელი.

შემვსებების კლასები

ცხრ. №3

შემვსების კლასები	შემვსების დასახელება	ზომები მმ	
		მინ	მაქს
1	ღორღოვანი	15	25
2	ღორღოვანი	10	15
3	მსხვილმარცვლოვანი	5	10
4	საშულომარცვლოვანი	-	5
5	წვრილმარცვლოვანი	-	2
6	წვრილმარცვლოვანი	-	1
7	თხელმარცვლოვანი	-	0,5
8	მიკრომარცვლოვანი	-	0,06

სხვადასხვა სამეურნეო დარგებში გამოყენებული თანამედროვე თბური აგრეგატები თავისთავად წარმოადგენენ მსხვილ საინჟინრო ნაგებობებს, რომლებიც მუშაობენ რთულ ტემპერატურულ პირობებში, რაც იწვევს მხურვალმედეგი მასალების ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების ცვლილებებს, აგრეთვე მნიშვნელოვან დაძაბულობას და დეფორმაციებს ბეტონის კონსტრუქციებში. მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედების პირობებში მომუშავე მხურვალმედეგი ბეტონების ხარისხი და თვისებები ფასდება რიგი ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლების მიხედვით: სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე ნორმალურ და მაღალ ტემპერატურებზე, თერმულ მდგრადობა, ცეცხლგამძლეობა, დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა მიტვირთვის დროს, ხაზობრივი ჯდენა, თერმული გაფართოების კოეფიციენტი და თბოგამტარობა.

მხურვალმედეგი ბეტონების სიმტკიცე მცირედად დამოკიდებულია შემვსების სიტკიცეზე, ბეტონის სტრუქტურის რღვევა გახურებისას იწყება შემაცემენტებელი გარსების დაზიანებით და შემვსების მარცვლებს შორის კონტაქტით. მხურვალმედეგი ბეტონების სიმტკიცე ძირითადად განისაზღვრება მისი სტრუქტურით. სტრუქტურის ხარისხი დამოკიდებულია შემვსების გრანულომეტრიულ შემადგენლობაზე და ბეტონის ერთგვაროვნების კოეფიციენტზე. (41)

თავი 2. ექსპერიმენტული ნაწილი

2.1. კვლევების ჩატარების მეთოდთა და გამოყენებული სტანდარტები

ფიზიკურ-ტექნიკური და ქიმიურ-მინერალოგიური მაჩვენებლების განსაზღვრისათვის გამოყენებული იქნა შემდეგი სახელმწიფო სტანდარტები:

1. გამოყენებული მასალების, შემკვრელის და მხურვალმედეგი ბეტონის შედგენილობის განსაზღვრისათვის გამოყენებული იქნა ГОСТ-2642-86 „ქიმიური ანალიზის მეთოდები ცეცხლგამძლე თიხების, კაოლინის, შამოტის, გრაფიტ-შამოტის, კვარციტის და დინასის ნაკეთობების“;
2. შემკვრელისა და ბეტონის ცეცხლგამძლეობა განისაზღვრა ГОСТ-4069-69 – „ცეცხლგამძლე მასალები და ცეცხლგამძლე ნედლეული. ცეცხლგამძლეობის განსაზღვრის მეთოდები“;
3. კომპოზიციური შემკვრელი ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა, ჩატარდა ГОСТ-5382-73 შესაბამისად. რენტგენოსკოპული კვლევა კირენტგენოგრაფული დიფრაქტომეტრის - «ДРОН-2»-ის გამოყენებით, ხოლო მიკროსკოპული ანალიზი «Неофот» და МИМ-8М მიკროსკოპების გამოყენებით.
4. სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე განისაზღვრა ჰიდრავლიკურ წნეხზე კუბების გამოცდით ზომებით: 100x100x100მმ. 150x150x150მმ. სახელმწიფო სტანდარტის „ცეცხლგამძლე ნაკეთობები. კუმშვაზე სიმტკიცის ზღვარის განსაზღვრის მეთოდი“ მიხედვით -ГОСТ-4071-80;
5. მხურვალმედეგი ბეტონის სიმკვრივის დასადგენად გამოყენებული იქნა ГОСТ-2211-65 – „ცეცხლგამძლე მასალები და ცეცხლგამძლე ნედლეული. სიმკვრივის განსაზღვრის მეთოდები“;

6. შემკვრელის ხვედრითი ზედაპირი განსაზღვრა ΠCX-2-ის გამოყენებით, სტანდარტის GOCT-210-76 მიხედვით;
7. თერმომედეგობაგანსაზღვრა GOCT-7874-83-ით – „ცეცხლგამძლე მასალები და ცეცხლგამძლე ნედლეული. თერმული მდგრადობისგანსაზღვრის მეთოდი“
8. მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობისას დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა განსაზღვრა(მიტვირთვით) GOCT-23283-78-ით – „ცეცხლგამძლე ნაკეთობები. მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობისას დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა განსაზღვრის მეთოდი (მიტვირთვით)“
9. თბოგამტარობის კოეფიციენტი განსაზღვრა GOCT-12170-85-ით – „ცეცხლგამძლე ნაკეთობები. თბოგამტარობის განსაზღვრის მეთოდი“.
10. თერმული გაფართოების ხაზობრივი კოეფიციენტი განსაზღვრა ოპტიკური მეთოდით. მეთოდური ლიტერატურის MH-14-430-26-83 მიხედვით.

2.1.1. ნიმუშების საჭირო რაოდენობის განსაზღვრა და შედეგების სტატისტიკური დამუშავება.

ფიზიკურ-ტექნიკური მაჩვენებლების დასადგენად გამოსაცდელი ნიმუშების რაოდენობა შერჩეულ იქნა სახელმწიფო სტანდარტის მოთხოვნების შესაბამისად. სახელმწიფო სტანდარტში სადაც, მითითებული არ იყო ნიმუშების რაოდენობა, გამოიცადა არანაკლები სამი ნიმუშისა. გამოსაცდელი ნიმუშების რაოდენობა ბეტონის ოპტიმალურ შემადგენლობისათვის შეირჩა სახელმწიფო სტანდარტის GOCT-8179-85-ის – „ცეცხლგამძლე ნაკეთობები“-ის მოთხოვნების შესაბამისად. გამოსაცდელი ნიმუშების რაოდენობა მოცემულია ცხრილში №4

გამოსაცდელი ნიმუშების რაოდენობა

ცხრ.4

N	მახასიათებლები	ნიმუშების რაოდენობა ცალობით
1	გარეგნული ნიშნები და ზომები	მთლიანი სერია
2	თერმომდგრადობა	3
3	ზოგადი სიმკვრივე	5
4	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	5
5	დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა მიტვირთვისას	1
6	ცეცხლგამძლეობა, ქიმიური შემადგენლობა, სიმკვრივე.	საშუალო სინჯი ხუთი ნიმუშისა სიმტკიცის ზღვარზე

2.2 გამოყენებული მასალების დახასიათება

თეორიულად და ექსპერიმენტულად დასაბუთებულია შემკვრელისა და მხურვალმედეგი ბეტონის მიღების შესაძლებლობა წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდის, ვულკანური წიდის-კარატეპესა და კორუნდის საფუძველზე.

სილიკატ-ლოდისა და კარატეპესაგან დამზადებულმა ნიმუშებმა თერმოდამუშავების შემდეგ აჩვენა მაღალი სიმტკიცე, მაგრამ მაღალ ტემპერატურაზე ხდებოდა მათი გაღივება და ჩაჯდომა, რაც გამოწვეული იყო მასალაში ტუტის რაოდენობით, რომელიც ნარევი შეჰქონდა სილიკატ-ლოდს და, ნაწილობრივ, ვულკანურ წიდას. ცეცხლგამძლეობის გაზრდის მიზნით, საჭირო გახდა კორუნდის დამატება, რომელიც დადებით გავლენას ახდენს შემკვრელის თბოტექნიკურ თვისებებზე, რაც აღნიშნულია ბევრი ავტორის ნაშრომშიც. კორუნდი ზრდის სიმტკიცეს, ცეცხლგამძლეობას და ამცირებს ჯდენას. იგი წარმოდგენილია მულიტის კრისტალური ფაზით და კრისტობალიტით. კორუნდის შედგენილობაში არსებული ალუმოსილი-

კატური მინა არის ქიმიურად არამდგრად მდგომარეობაში, იგი ტუტე გარემოში აქტიურდება და მონაწილეობს ისეთი მდგრადი ალუმოსილი-კატური ნაერთების წარმოქმნაში, რომლებიც უზრუნველყოფენ სისტემის ცეცხლგამძლეობის მომატებას. ასევე, აღსანიშნავია, ვულკანური წიდის - კარატეპეს მაღალფორიანობა, რაც აუმჯობესებს მასალის თბოფიზიკურ თვისებებს, ამასთანავე კომპონენტები, რომლებიც შედიან წიდის შედგენილობაში – CaO; Al₂O₃; MgO და სხვა, მაღალ ტემპერატურებზე სილიკატ-ლოდის აქტიურ კაჟმიწასთან წარმოქმნიან ცეცხლგამძლე ნაერთებს: 3Al₂O₃·2SiO₂; CaO·SiO₂; MgO·SiO₂.

2.2.1. სილიკატ-ლოდი

მოცემულ საუშაოში შემკვრელად გამოყენებულია სილიკატ-ლოდი. სილიკატ-ლოდის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილში №5.

სილიკატ-ლოდის ქიმიური შედგენილობა

ცხრ.№5

ნედლეულის დასახელება	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ხ.დ
სილიკატ-ლოდი	70,6	2,25	1.05	7,13	0,77	1,1	9,14	6,76	1,2

სილიკატ-ლოდი ერთგვაროვანი, გამჭვირვალე, უფორმო ნამსხვრევია ბაცი მომწვანო, მოყვითალო ან მოცისფრო შეფერილობით სილიკატ-ლოდის ზომებია – არანაკლებ 20მმ –ისა და არაუმეტეს 150მმ. დასაშვებია ნამსხვრევები ზომებით 20მმ–ზე ნაკლები და 150მმ–ზე მეტი, თუ მათი საერთო მასა არ აღემატება პარტიის საერთო მასის 50%-ს. მრეწველობა უშვებს სილიკატ-ლოდს სილიკატური მოდულით 2,6–3,0 სილიკატ-ნატრიუმი წარმოადგენს ამორფულ ნივთიერებას.

2.2.2. ვულკანური წიდა-კარატეპე (სალამოს საბადო)

ვულკანური წიდა კარატეპეს საბადო მდებარეობს საქართველოში დაბა ნინოწმინდიდან 21კმ-ში. იგი წარმოადგენს ფორიანი სტრუქტურის მოყვითალო-ყავისფერ, მუქ ნაცრისფერ და მოყვითალო-ნაცრისფერ გრანულირებულ ქანს. ნატეხების ძირითადი მასა წარმოადგენილია მურა წითელი შეფერილობის ვულკანური მინით. ვულკანური მინის მასაში არის პლაგიოკლაზის ლეისტები და პიროქსენის მონოკლინური სახესხვაობის მიკროსკოპული მარცვლები. ფორები ძირითადად არასწორი სფერული მოხაზულობისაა, ზომით 1მმ-მდე ერთეულ შემთხვევაში 5მმ-მდე. წვრილფოროვან გრანულეებში მათი რაოდენობა არის 15–35%, ხოლო მსხვილფორიანში–55%. შედგენილობის მიხედვით ქანი მიეკუთვნება ანდეზიტ-ბაზალტის ფორიან სახესხვაობას. ვულკანური წიდის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილში №6.

კარატეპეს ქიმიური შედგენილობა %-ში

ცხრ. 6

ნედლეულის დასახელება	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ხ.დ
კარატეპე	57,7	19,78	5,03	8,88	4,68	0,16	1,53	1,14	1,1

ნაყარი მოცულობითი მასა – 1000–1300კგ/მ³; მოცულობითი მასა მუდმივ მასამდე გამოშრობის შემდეგ – 1600–1900კგ/მ³.

2.2.3. კორუნდი

კორუნდი შეჰყავთ მაღალთიხამიწოვანი ბეტონის შემკვრელის შემდგენლობაში მაღალცეცხლგამძლე და თერმომდგრადი SiO₂ და CaO ნაერთების წარმოსაქმნელად 1000°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე, ხოლო ბეტონში Al₂O₃ რაოდენობის გაზრდის მიზნით.

კორუნდს აქვს კრისტალური სტრუქტურა, მოლეკულური მასა – 101,96, სიმკვრივე – 3,99გ/სმ³.

სისტემებში, რომლებიც შეიცავენ კაჟმიწას კორუნდი უმეტესად გვხვდება, მულიტთან ერთად. სისტემაში CaO:Al₂O₃ კორუნდი წარმოქმნის CaO:nAl₂O₃ ტიპის ნაერთებს, რაც დამოკიდებულია CaO:Al₂O₃ მოლეკულურ თანაფარდობაზე. უმეტეს შემთხვევაში წარმოიქმნება მაღალცეცხლგამძლე კალციუმის ალუმინატი – CaO:6Al₂O₃, რომლის დნობის ტემპერატურა – 1950–2000°C-ია. კორუნდის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია ცხრილში №7.

კორუნდის ქიმიური შედგენილობა

ცხრ. №7

ნედლეულის დასახელება	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	TiO ₂
კორუნდი	0,8	97	0,1	0,5	0,5	1,0	0,1

ელექტროლლობადი კორუნდი მიიღება ტექნიკური თიხამიწის ან ბოქსიტის დნობით ელექტროლუმელებში 2000–2400°C-ზე. ლლობად კორუნდს არ ახასიათებს დამატებითი ჯდენა გამოირჩევა მნიშვნელოვანი მდგრადობით, როგორც მჟავა, ისე მეტალებისა და მინების მიმართ.

წვრილად დაფქვილი კორუნდი ხელს უწყობს ბეტონის ნარევის პლასტიურობის გაზრდას.

2.3 კომპოზიციური შემკვრელის ოპტიმალური

შედგენილობის განსაზღვრა

ლიტერატურული წყაროებისა და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების ანალიზით თეორიულად და ექსპერიმენტულად დასაბუთებულია წვრილად დაფქვილი სილიკატ-ლოდის (მინის წარმოების ნარჩენის) საფუძველზე შემკვრელისა და მხურვალმედეგი

ბეტონის მიღების შესაძლებლობა. ამასთან გამოვლინდა შემდეგი ძირითადი შედეგები:

წვრილად დისპერსირებულ სილიკატ-ლოდის ნაწილაკებს წყალთან ურთიერთქმედებისას აქვთ ზედაპირზე გაწყლოვანების უნარი და ახასიათებთ მაღალი ადჰეზიურობა, რომელიც იზრდება მექანიკური აქტივობის ხარჯზე დისპერგირებისას. ამასთან გაწყლოვანებული ზედაპირული ფენა უნდა ხასიათდებოდეს ფრიად მცირე, მაგრამ შეწებებისათვის საკმარისი სისქით და არ შეიცავდეს მნიშვნელოვან დეფექტებს.

კონტაქტური ზონების გაწყლოვანების შემდეგ სილიკატ-ლოდის ნაწილაკების ბირთვები, რომლებიც ხასიათდებიან მნიშვნელოვანი კოჰეზიური სიმტკიცით ხელს უწყობენ საკმაოდ მყარი სიტემების ფორმულირებას.

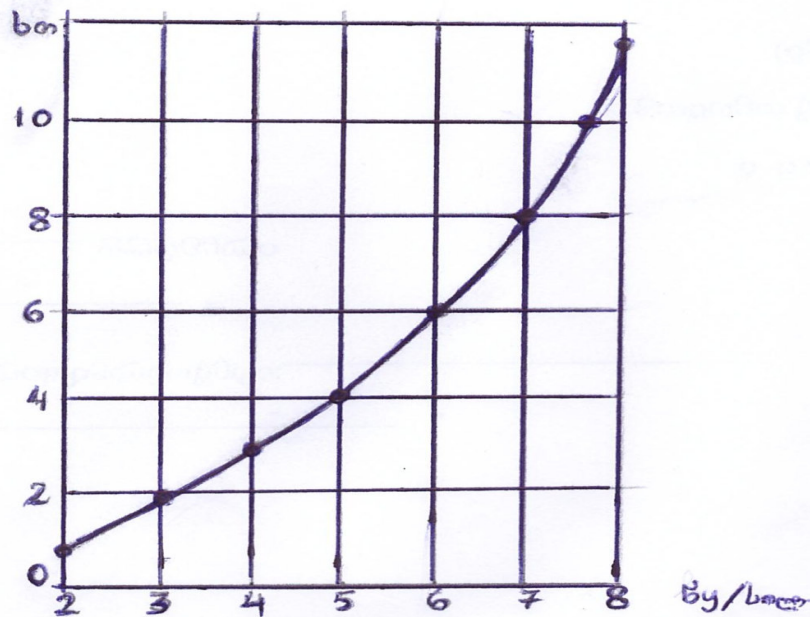
მრავალი კვლევითი სამუშაო მიემდგნა სილიკატ-ლოდის ხსნადობის საკითხს, რომელზეც გავლენას ახდენს სილიკატური მოდული, გაწყლოვანების ხარისხი (მასითი თანაფარდობა წყალსა და სილიკატ-ლოდს შორის), ტემპერატურა, წნევა, სილიკატ-ლოდის დისპერსულობის ხარისხი და გახსნის პროცესის პირობები (ავტოკლაჟური, ადუღებით და ა.შ.).

ცნობილია, რომ სილიკატ-ლოდის ხსნადობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მის თიხამიწოვან მოდულზე, ასევე $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ პროცენტულ მასით თანაფარდობაზე. სხვადასხვა მიზნებისათვის ფართოდ გამოიყენება სილიკატ-ლოდი სილიკატური მოდულით 2,3-3. სილიკატ-ლოდის დაბალმოდულური სახეები (კაჟმიწოვანი მოდული არა უმეტეს 2-ისა) ადვილად იხსნებიან წყალში, მაგრამ წყალთან წარმოქმნიან არადგრად მწებავ კონტაქტებს. გარდა ამისა, მათში ტუტე კომპონენტის მაღალი შემცველობა განაპირობებს დაბალ ცეცხლმედეგობას მასალებში, ხოლო სილიკატ-ლოდის მაღალმოდულურ სახეებს (სილიკატური მოდული 3-ზე მეტი) ახასიათებთ დაბალი ხსნადობა მაღალი ტემპერატურისა და წნევის პირობებშიც კი.

ამიტომ ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, არჩევანი შევაჩერეთ სილიკატ-ლოდზე, რომლის სილიკატური მოდულია 2,8.

უცხოელი სპეციალისტების მიერ დაწვრილებით იქნა შესწავლილი სილიკატ-ლოდის წყალში ხსნადობის დამოკიდებულება $H_2O:Na_2SiO_3$ თანაფარდობაზე, სილიკატ-ლოდის დისპერსულობაზე და წყლის ტემპერატურაზე. დადგენილია, რომ უფრო აქტიურად სილიკატ-ლოდის გახსნა მიმდინარეობს $90-95^{\circ}C$ ტემპერატურაზე, $H_2O:Na_2SiO_3$ -ის განსაზღვრულითანაფარდობისას. სილიკატ-ლოდის ხსნადობის ინტენსიურობა მცირდება ამ თანაფარდობის შემცირებით 1:1-თან. (ნახაზი 1)

უწყლო ნატრიუმის სილიკატის ხსნადობის სიჩქარის დამოკიდებულება " $H_2O:Na_2SiO_3$ " თანაფარდობაზე



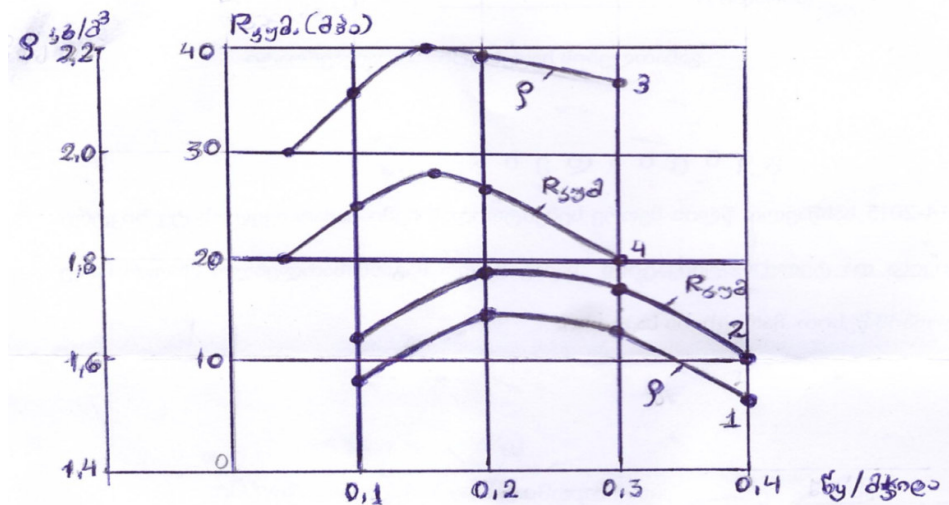
ნახ.1.უწყლო ნატრიუმის სილიკატის ხსნადობის სიჩქარის დამოკიდებულება " $H_2O:Na_2SiO_3$ " თანაფარდობაზე

ეს აიხსნება იმით, რომ მეტი რაოდენობის წყალში მწვავე ტუტის კონცენტრაცია მცირდება, რის შედეგადაც სუსტდება მისი პეპტიზაციური

ზემოქმედების უნარი SiO_2 -ზე, ის სილიკატ-ლოდის ნაწილაკების ზედაპირზე წარმოქმნის აფსკს, რაც სხვა მასალების მსგავსად ამცირებს ხსნადობას, ხოლო სილიკატ-ლოდის ხვედრითი ზედაპირის გაზრდა ხელს უწყობს ხსნადობის ინტენსიურობას.

ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ წყალთან მიმართებაში სილიკატ-ლოდის აქტივობა და მწებავი კონტაქტების წარმოქმნის შესაძლებლობა იზრდება მისი ხვედრითი ზედაპირის გაზრდით, რაც არსებითად დამოკიდებულია ცეცხლგამძლე დანამატების ბუნებასა და ხასიათზე. შემცვლების ნაკლებად სწორი და მკვრივი ზედაპირი მჭიდრო, მწებავი კონტაქტების წარმოსაქმნელად საჭიროებს მწებავი ნივთიერების ზედმეტ ხარჯს. სილიკატ-ლოდის გახსნის ინტენსივობა, თავისთავად დამოკიდებულია მწებავი კონტაქტების რაოდენობაზე და ხარისხზე, რაზეც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს $\text{H}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ თანაფარდობა (ნახაზი 2)

+200C° ტემპერატურაზე გამომშრალისილიკატ-ნატრიუმთან კომპოზიციურ მჭიდაზე დამზადებული ნიმუშების სიმკვრივისა (ρ) და სიმტკიცის ($R_{\text{კომ}}$) დამოკიდებულება წყალ/შემკვრელის თანაფარდობაზე



ნახ.2: +200C° ტემპერატურაზე გამომშრალისილიკატ-ნატრიუმთან

კომპოზიციურ მჭიდარე დამზადებული ნიმუშების სიმკვრივისა (ρ) და სიმტკიცის ($R_{კჰა}$) დამოკიდებულება წყალ/შემკვრელი თანაფარდობაზე

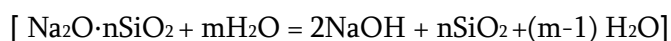
1,2 - შამოტის ცეცხლაგამძლე კომპონენტთან

3,4 - კორუნდის ცეცხლაგამძლე კომპონენტთან.

№2 ნახაზზე ნაჩვენებია შამოტისა და კორუნდის ცეცხლაგამძლე დანამატებით დამზადებული ნიმუშების სიმკვრივისა და სიმტკიცის დამოკიდებულება წყალ/შემკვრელის ფაქტორზე. ხოლო ცემენტის ხსნარების მსგავსი, ექსტრემალური ხასიათის მრუდების ანალიზი საშუალებას იძლევა გამოითქვას შემდეგი ვარაუდები:

კომპოზიტებს, რომლებშიც გამოყენებულია მკვრივი შემვსებები და მათ მარცვლებს აღნიშნებით მინიმალური დეფექტები ესაჭიროებათ ნაკლები რაოდენობის სადულაზე წყალი, ვიდრე იმ კომპოზიტებს, რომლებიც დამზადებულია ფოროვან (შამოტის) შემვსებებზე. $H_2O:Na_2SiO_3=1:0,9-0,8$ თანაფარდობის ცეცხლაგამძლე ფხვნილები, საშუალებას იძლევა მივიღოთ უფრო მაღალი სიმტკიცის შემკვრელი. კორუნდის შემთხვევაში წყალი/მჭიდარე ოპტიმალური თანაფარდობისას სიმტკიცე მცირედად იხრება მარცხნივ. ამის მიზეზია წყლის შემცირება, რომელიც იხარჯება კორუნდის ზედაპირული მარცვლების დასასველებლად, წყლის იმ რაოდენობასთან შედარებით, რომელიც საჭიროა ფოროვანი შამოტის მარცვლების დასასველებლად.(47,48)

წყლისა და ნატრიუმის სილიკატის რაციონალური თანაფარდობით მიღებული შედეგები სრულიად შეესაბამება ადრე ჩატარებული კვლევების დასკვნებს, რითაც დასტურდება, რომ მწვავე ტუტის კონცენტრაციის გაზრდით სილიკატ-ლოდის ჰიდროლიზის დროს:



იზრდება სილიკატ-ლოდის გაუხსნელ ნაწილში SiO_2 -ის ხნადობაც.

ამრიგად კვლევებით დადგენილია, რომ წვრილად დისპერსირებული სილიკატ-ლოდის საფუძველზე შესაძლებელია ეფექტური შემკვრელი ნივთიერების მიღება.

იმის დასადგენად თუ, რამდენად ეფექტური იქნება მხურვალმედეგ ბეტონებში სილიკატ-ლოდზე დამზადებული შემკვრელის გამოყენება ჩატარებულია მთელი რიგი ექსპერიმენტებისა სილიკატ-ნატრიუმთან სხვადასხვა კომპოზიტების მხურვალმედეგობის გამოსაკვლევად. ამ კვლევების შედეგები მოცემულია (ცხრილში №8)

სილიკატ-ნატრიუმთან კომპოზიტების ცეცხლგამძლეობა

ცხრ.№8

კომპონენტების სახეობები	კომპონენტები %-ში მასების მიხედვით		ცეცხლგამძლეობა C°
	ცეცხლგამძლე დანამატები	სილიკატ- ლოდი	
კორუნდი	95	5	1850
	90	10	1750
	80	20	1600
შამოტი	95	5	1450
	90	10	1350
	80	20	1220

ამრიგად, ლიტერატურული წყაროებისა და ექსპერიმენტული კვლევების შედეგების ანალიზმა შექმნა წინაპირობა, სილიკატ-ნატრიუმთან კომპოზიციურ მჭიდარ მხურვალმედეგი ბეტონების მიღებისა.

ამ კომპოზიტების მჭიდა თვისებები ძირითადად გამოვლინდება მწებავი კონტაქტების წარმოქმნის ხარჯზე, რომელთა სიმტკიცე და ხანგამძლეობა თავისთავად დამოკიდებულია მათი წარმოქმნის პირობებზე.

კომპოზიციური მჭიდა მასალების ძირითადი თვისებების აქტიური მართვა შეიძლება განხორციელდეს რიგი ტექნოლოგიური ფაქტორების შეცვლით: კომპოზიტში სილიკატ-ლოდის რაოდენობით, კომპონენტების დაფქვის სიწმინდით, $H_2O:Na_2SiO_3$ თანაფარდობით, სხვადასხვა სახის ცეცხლგამძლე შემკვებების გამოყენებით და ნიმუშების დაყალიბებისა და ფორმირების სხვადასხვა მეთოდებით. (47,48)

სხვადასხვა ცეცხლგამძლე კომპონენტების გამოყენებით, მაღალი სიმტკიცის, დაგეგმილი ცეცხლგამძლეობის კომპოზიციური შემკვრელის მისაღებად, აუცილებელია მიღწეულ იქნას ნარევის ჰომოგენურობა, ამისათვის უნდა მოხდეს ნარევის რაც შეიძლება მკვრივად ჩაწყობა და მათი სითბური დამუშავებისათვის ოპტიმალური რეჟიმების შერჩევა.

ამრიგად კომპოზიციური შემკვრელის დამუშავება ეფუძნება შემდეგ გარემოებებს:

- კომპოზიციური შემკვრელის თვისებები ძირითადად ვლინდება მწებავი კონტაქტების წარმოქმნის ხარჯზე სილიკატ-ლოდის ზედაპირული ფენის გახსნისას, რომელთა სიმტკიცე დამოკიდებულია მათი წარმოქმნის პირობებზე.
- კომპოზიციური შემკვრელის ძირითადი თვისებები დამოკიდებულია: სილიკატ-ლოდის რაოდენობაზე, ცეცხლგამძლე კომპონენტის სახეზე, დაფქვის სიწმინდესა და „წყალ-შემკვრელის“ თანაფარდობაზე.
- კომპოზიციურ შემკვრელზე მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე მხურვალმედეგი ბეტონის მიღება შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, როცა სამუშაო ტემპერატურაზე პირველადი გახურებისას მასში წარიმართება სისტემის ისეთი გამამარტივებელი პროცესები - ფიზიკურ-ქიმიური მოვლენები, რომლებიც კონტაქტურ ზონებში თან ახლავს ცეცხლგამძლე წარმონაქმნებს მასალების მოცულობების არსებითი ცვლილების გარეშე.

მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონისა და შემკვრელისათვის შეირჩა შემდეგი მასალები: მინის წარმოების ნარჩენი სილიკატ-ლოდი, ცეცხლგამძლე დანამატად ელექტროდნობადი კორუნდი, ხოლო ადგილობრივი სადამოს საბადოს ანდეზიტ-ბაზალტის ფორიანი ქანის სახესხვაობა ვულკანური წიდა-კარატეპე.

იქედან გამომდინარე, რომ სილიკატ-ლოდის ხსნადობის ინტენსიურობაზე, დამოკიდებულია წებვადი კონტაქტების წარმოქმნა, რომელზეც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დამოკიდებულება „წყალი/შემკვრელი“. სიმტკიცის მაქსიმუმი მიღებული იქნა, როცა ეს თანაფარდობა იყო 0,2, რადგან „წყალი/შემკვრელი“-ის თანაფარდობის შემცირება იწვევდა შემადგენელი კომპონენტების გაუწყლოებას და არასაკმარისი წებვადი კონტაქტების წარმოქმნას.

შემკვრელის ოპტიმალური შედგენლობის დასადგენად ნედლეულის სხვადასხვა პროცენტული შედგენილობებით მზადდებოდა კუბები ზომებით 5x5x5სმ, ხდებოდა მათი სიმტკიცის ზღვარის დადგენა კუმშვაზე ($R_{კუმ}$), 200C⁰-ზე გამოშრობის შემდეგ და 1650C⁰-ზე გამოწვის შემდეგ. ამასთანავე ისაზღვრებოდა მათი ცეცხლგამძლეობაც. მიღებული შედეგები მოყანილია (ცხრილში №9)

შემკვრელის ოპტიმალური შედგენლობის განსაზღვრის შედეგები

ცხრ. №9

შემკვრელის შედგენილობა %-ში	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე 200C ⁰ გამოშრობის შემდეგ (მგპა)	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე 1650C ⁰ გახურების შემდეგ (მგპა)	ცეცხლგამძლეობა (C ⁰)
სილიკატ-ლოდი - 15% ელექტროკორუნდი - 25% კარატეპე - 60%	40-42	42-44	1850

მიღებული შედეგების საფუძველზე ოპტიმალურად ჩაითვალა შემკვრელის შემდეგი პროცენტული შედგენილობა: სილიკატ-

ლოდი:კორუნდი:კარატეპე-15:25:60; შემკვრელის ასეთმა ოპტიმალურმა შედგენილობამ სიმტკიცე კუმშვაზე მოგვცა $R_{კუმ}=42-44$ მგპა; ცეცხლგამძლეობა - $1850C^{\circ}$, რაც სრულებით საკმარისია იმისათვის, რომ ასეთი კომპოზიტის საფუძველზე მივიღოთ მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონი, რომლის სამუშაო ტემპერატურა იქნება $1950C^{\circ}$.

შემკვრელის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დაფქვის ხარისხი. შემკვრელის კომპონენტებს შორის ურთიერთქმედების ინტენსიურობის ასამაღლებლად საჭიროა გაიზარდოს რეაგირებადი ფაზების საკონტაქტო ზედაპირების ფართობები. ამ პროცესის დასაჩქარებლად საჭიროა გამოყენებული მასალების მარცვლების ზედაპირების ზომების შემცირება. მარცვლების ზედაპირების ფართობების გაზრდით იზრდება ნიმუშების სიმტკიცე.

კომპონენტების ხვედრითი ზედაპირების დამოკიდებულების დასადგენად სიმტკიცეზე კომპონენტებს, რომელთაც ჰქონდათ სხვადასხვა ხვედრითი ზედაპირი ვამზადებით ნიმუშებს ზომებით $5x5x5$ სმ, ხოლო $200C^{\circ}$ -ზე თერმული დამუშავებისა და გაციების შემდეგ ნიმუშები იცდებოდა სიმტკიცის ზღვარის დასადგენად კუმშვაზე. სიმტკიცის ინტენსიური ზრდა ხდებოდა, როცა მასალების ხვედრითი ზედაპირი იყო $S_{ზ}=3000$ სმ²/გ. მაგრამ, ვინაიდან ხვედრითი ზედაპირის შემდგომი გაზრდა უმნიშვნელოდ ზრდიდა სიმტკიცეს, ხოლო კომპონენტების უფრო დაწვრილმანებით კი იზრდებოდა დაფქვის ხანგრძლივობა, რაც თავისთავად იწვევდა ზედმეტი ელექტროენერგიის ხარჯვას, ამიტომ მასალების ოპტიმალური ხვედრითი ზედაპირი მივიჩნიეთ $S_{ზ}=3000$ სმ²/გ.

სილიკატ-ლოდის წყალში ხსნადობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ტემპერატურა და წყალთან ურთიერთქმედების დრო. ამისათვის უნდა შეირჩეს ოპტიმალური შრობის რეჟიმი. შრობის რეჟიმის შესარჩევად ნიმუშების გამოშრობა ხდებოდა სხვადასხვა რეჟიმით და შემდგომ ისაზღვრებოდა მათი სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე. ამიტომ შეირჩა შრობის ისეთი რეჟიმი, რომლის დროსაც მივიღეთ სიმტკიცის ზღვარის

მაქსიმალური მაჩვენებელი. (ცხრილში №10) მოცემულია თერმოდამუშავების სხვადასხვა რეჟიმის გავლენა ნიმუშების სიმტკიცეზე.

თერმოდამუშავების რეჟიმების გავლენა შემკვრელის ნიმუშების სიმტკიცეზე

ცხრ.№10

N	თერმოდამუშავების რეჟიმი	დრო (სთ)	სიმტკიცე კუმშვაზე მგპა
1	ტემპერატურის აწევა90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა200°C დაყოვნება	1სთ 0,5 სთ 1სთ 0,5 სთ	28
2	ტემპერატურის აწევა90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა200°C დაყოვნება	1სთ 1სთ 1სთ 1სთ	32,5
3	ტემპერატურის აწევა90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა200°C დაყოვნება	1სთ 1,5სთ 1სთ 2სთ	35,7
4	ტემპერატურის აწევა90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა200°C დაყოვნება	1,5სთ 2სთ 1,5სთ 2სთ	38
5	ტემპერატურის აწევა90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა200°C დაყოვნება	1,5სთ 2,5სთ 2სთ 2,5სთ	41,5
6	ტემპერატურის აწევა90°C დაყოვნება ტემპერატურის აწევა200°C დაყოვნება	1,5სთ 3სთ 2სთ 3სთ	41,8

90–95°C–ზე დაყოვნების ხანგრძლივობის გაზრდა (2,5სთ–ზე მეტი) პრაქტიკულად არ იძლევა სიმტკიცის მომატებას. ტემპერატურის აწევით 200°C–ზე და ამ ტემპერატურაზე დაყოვნებით მიიღწევა სილიკატ–ლოდის პრაქტიკულად მთლიანად გაუწყლოება, წებვადი კონტაქტები იღებს

კოჰეზიურ სიმტკიცეს და ხდება მთელი სისტემის დამონოლითება. ამიტომ მიღებული შედეგების საფუძველზე განხილული რეჟიმებიდან შეირჩა რეჟიმი 5.

ნაკეთობის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნარევის გამკვრივების მეთოდი და დაყალიბების რეჟიმი. გამოსაცდელი ნიმუშების შემკვრივებას და დაყალიბებას ვაწარმოებდით სამი განსხვავებული მეთოდითა და დაყალიბების სხვადასხვა პარამეტრებით. ცხრილში №11 მოცემულია დაყალიბების მეთოდების და რეჟიმების დამოკიდებულება სიმტკიცის მაჩვენებლებზე. მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ სიმტკიცის ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი ჰქონდათ ნიმუშებს მაშინ, როდესაც ვიბრირებას ვახდენდით $P=0,0015$ მგპა მიტვირთვისას, რხევის სიხშირე იყო $f=50$ ჰც, რხევის ამპლიტუდა $A=0,2-0,25$ მმ-ს და ვიბრირების დრო კი $t=120$ წმ.

შემკვრელის დაყალიბების მეთოდები და რეჟიმები

ცხრ. №11

დაყალიბების მეთოდი	დაყალიბების რეჟიმი	სიმტკიცე კუმშვაზე მგპა
ვიბრირება მიტვირთვის გარეშე	$f=50$ ჰც $A=0,2-0,25$ მმ $t=60$ წმ	36
ვიბრირება მიტვირთვით	$f=50$ ჰც $A=0,2-0,25$ მმ $P=0,0015$ მგპა $t=60$ წმ	38,5
ვიბრირება მიტვირთვით	$f=50$ ჰც $A=0,2-0,25$ მმ $P=0,0015$ მგპა $t=120$ წმ	42

ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ სილიკატ-ნატრიუმის კოპოზიტის „სილიკატ-ლოდი-კარატეპე-კორუნდი“ სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს შემდეგი ფაქტორები: დაფქვის სიწმინდე, წყალ-

შემკვრელის დამოკიდებულება და სითბური დამუშავების რეჟიმი, რომელიც უზრუნველყოფს სილიკატ-ლოდის გაღობას, გაუწყლობას და სისტემის გამყარებას.

2.4. კომპოზიციური შემკვრელის ფიზიკურ-ქიმიური

კვლევა

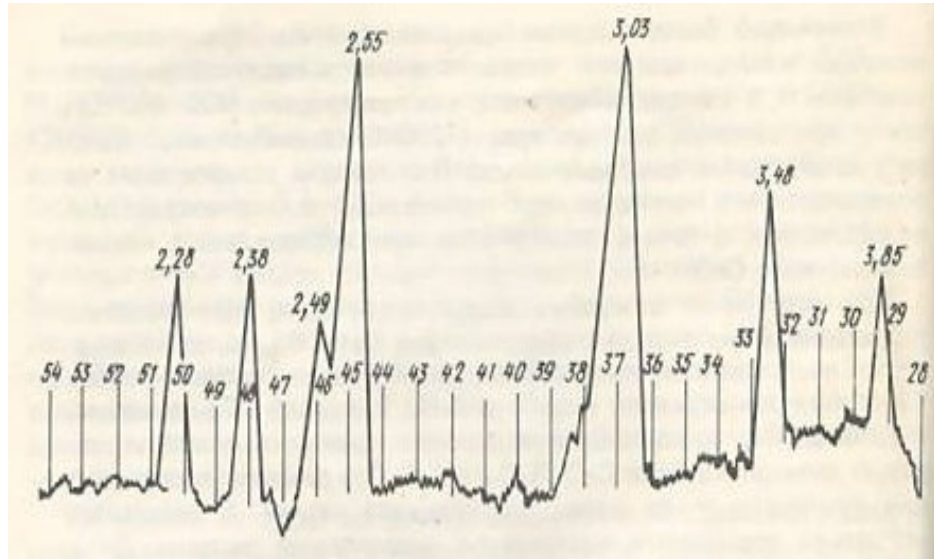
იმისათვის, რომ გაგვეჩვენოს ტემპერატურული ცვლილებების პირობებში შემკვრელში მიმდინარე პროცესები ჩატარდა შემკვრელის ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა. შემკვრელის ქიმიური შედგენილობა მოცემულია (ცხრილში №12)

შემკვრელის ქიმიური შედგენილობა

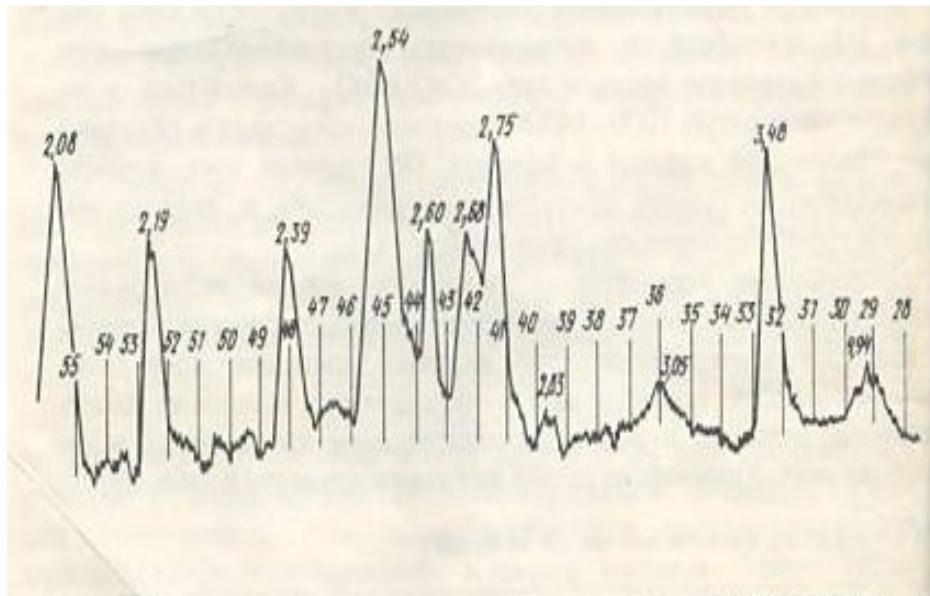
ცხრ. №12

შემკვრელის კომპონენტები%-ში	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ბ. დ
სილიკატ-ლოდი - 15% კარატეპე -60% კორუნდი -25%	15,6	60,1	1,5	15,5	2,1	2,4	1,03	1,8

ცხრილის მონაცემებით დასტურდება, რომ სისტემაში მაღალ-ცეცხლგამძლე კომპონენტის რაოდენობა - Al₂O₃ -65,5%-ია, ხოლო ტუტის-28,33%, რაც დადებითად მოქმედებს შემკვრელის თერმომექანიკურ თვისებებზე. შემკვრელის კომპონენტების SiO₂:Al₂O₃ თანაფარდობა შეადგენს 1/4; SiO₂:CaO-1/1 CaO:Al₂O₃ -1/3,8, ეს კი ხელს უწყობს ისეთი ტიპის მაღალცეცხლგამძლე ნაერთების წარმოქმნას როგორებიცაა: 2CaO·SiO₂; 3CaO·SiO₂; 3Al₂O₃·2SiO₂.



ნახ.3 კომპოზიციური შემკვრელის (სილიკატ-ლოდი; კარატეპე; კორუნდი)რენტგენოგრამა - 200°C ტემპერატურაზე.

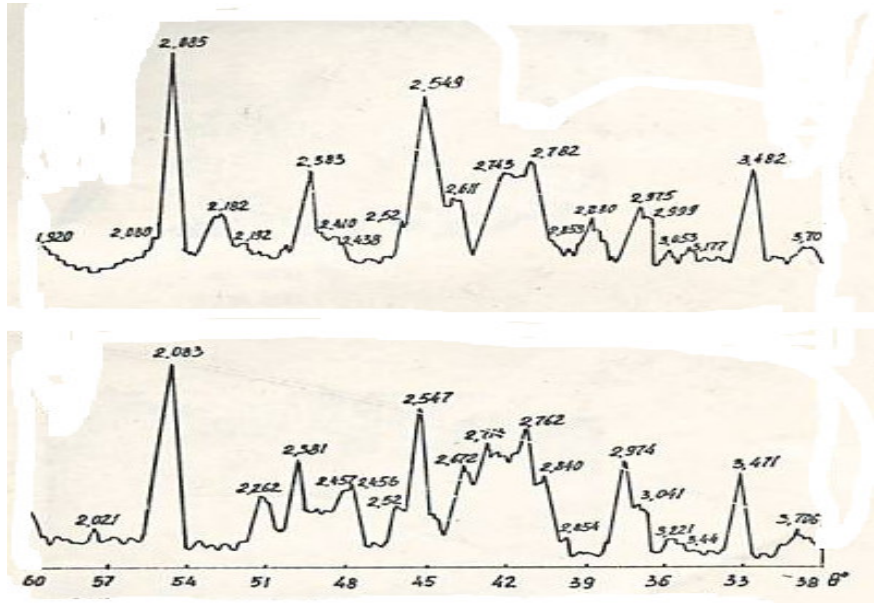


ნახ.4 კომპოზიციური შემკვრელის (სილიკატ-ლოდი; კარატეპე; კორუნდი) რენტგენოგრამა - 800°C ტემპერატურაზე.

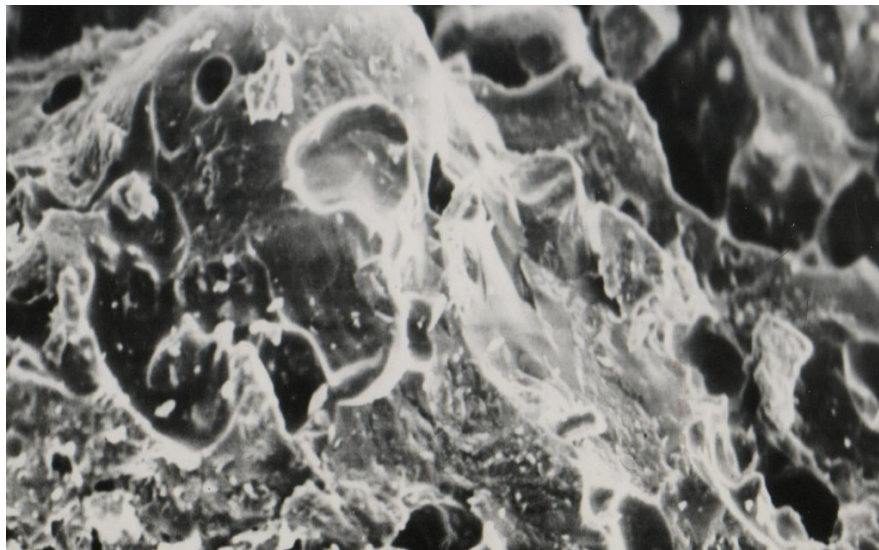
შემკვრელის რენტგენოგრამების შედარებამ 200°C ტემპერატურაზე გამოშრობისა და 800°C გახურების შემდეგ (ნახ. 3, 4) აჩვენა, რომ შრობის შემდეგ (200°C) შემკვრელის ძირითადი შემადგენელია კორუნდი - $dA^\circ(3,48; 2,55; 2,38)$; $CaCO_3$ - $dA^\circ(3,85; 3,03; 2,49; 2,28)$ და ამორფული მასა ნატრიუმის სილიკატის სახით. 800°C -ზე გახურების შემდეგ მიმდინარეობს $CaCO_3$ -ის დისოციაცია. ამ შემთხვევაში ძირითად ფაზებს წარმოადგენს: კორუნდი - $dA^\circ(3,48; 2,54; 2,37)$; კალციუმის ოქსიდი - $dA^\circ(2,75; 2,68; 2,19)$, ასევე შეინიშნება ისეთი ნაერთები, როგორებიცაა: $5CaO \cdot 3Al_2O_3$ - $dA^\circ(4,94)$; $CaO \cdot Al_2O_3$ - $dA^\circ(3,03)$; და $2CaO \cdot SiO_2$ - $dA^\circ(2,83)$. აქედან გამომდინარე ამ ტემპერატურაზე ყველაზე მნიშვნელოვან პროცესს წარმოადგენს $CaCO_3$ -ის დეკარბონიზაცია და, შესაბამისად, იწყება მაღალცეცხლგამძლე ნაერთების წარმოქმნა. ამ ნაერთების წარმოქმნის ინტენსიურობა იზრდება შემდგომ ტემპერატურის მომატებით.

ტემპერატურის 1000°C და 1100°C - მდე მომატებისას ხდება კორუნდის მარცვლების ინტენსიური გახსნა და იწყება კალციუმის ალუმინატების წარმოქმნა. ძირითად ფაზებს წარმოადგენს: კორუნდი - $dA^\circ(3,482; 2,549; 2,383; 2,065; 1,739)$; ერთკალციუმიანი ალუმინატი - $CaO \cdot Al_2O_3$ - $dA^\circ(3,177; 2,975; 2,850; 2,520; 2,410; 2,192; 1,920)$; კალციუმის ორთოსილიკატი $\beta 2CaO \cdot SiO_2$ - $dA^\circ(3,053; 2,880; 2,782; 2,743; 2,611; 2,438; 2,182)$; და კალციუმის სილიკატი $\beta 2CaO \cdot SiO_2$ - $dA^\circ(2,880; 2,782; 2,743; 2,611; 2,438)$. (ნახაზი.5)

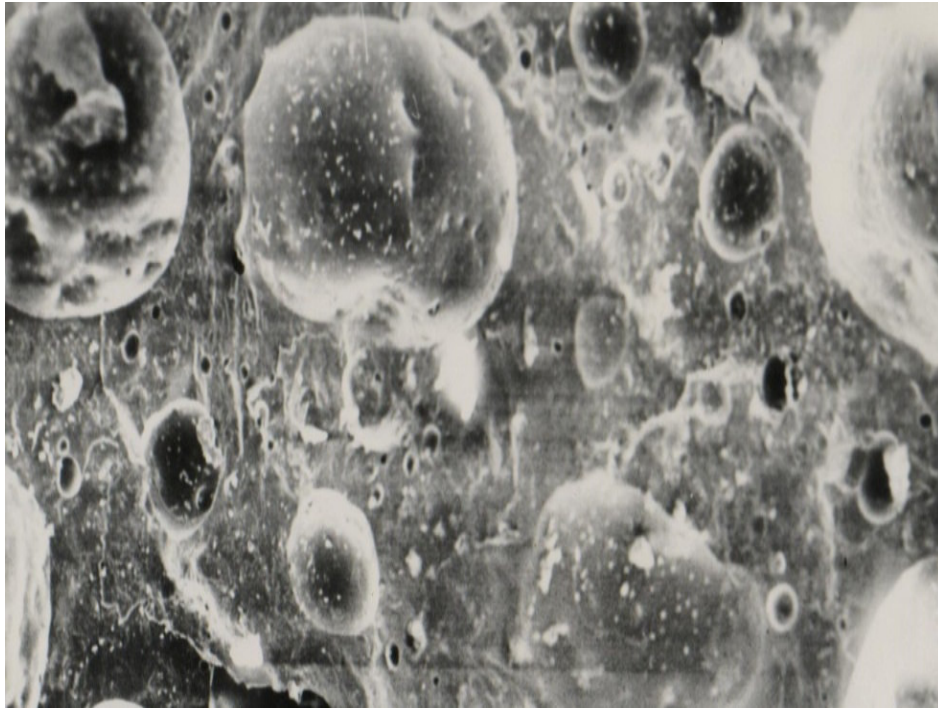
სურათზე 4-ზე გამოსახული 1000°C ტემპერატურაზე თერმულად დამუშავებული შემკვრელის მიკროსტრუქტურიდან ჩანს, რომ კორუნდის - αAl_2O_3 და CaO ურთიერთქმედების შედეგად კორუნდის მარცვლების ზედაპირმა დაკარგა სისუფთავე, ხოლო მარცვლების ზომები შემცირდა და მნიშვნელოვნად გაიზარდა კალციუმის სილიკატის რაოდენობა. 1100°C ტემპერატურაზე (სურათი 5) ხდება სილიკატური ფაზების მომატება და



ნახ.5 კომპოზიციური შემკვრელის (სილიკატ-ლოდი; კარატეპე; კორუნდი) რენტგენოგრამები თერმული დამუშავების შემდეგ ა) - 1000°C, ბ) - 1100°C.



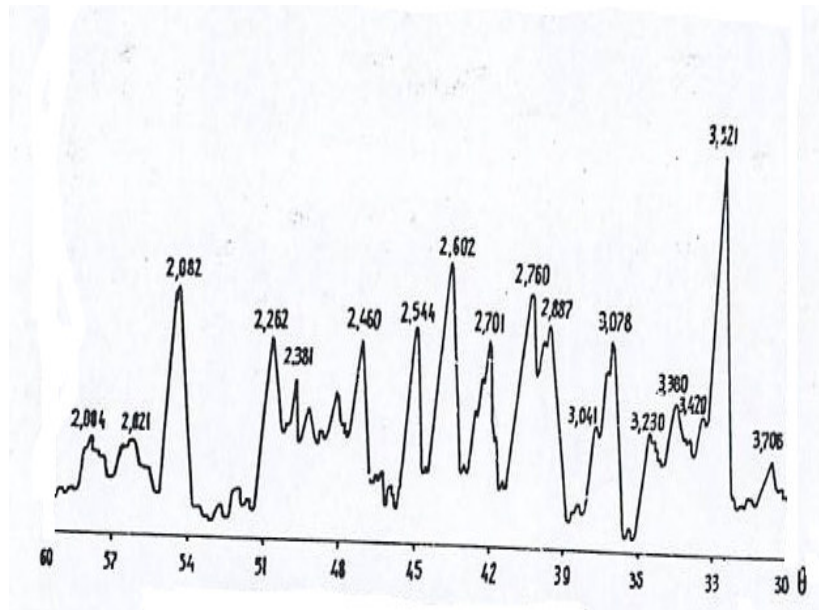
სურ.4. შემკვრელის მიკროსტრუქტურა 1000°C თერმული დამუშავების შემდეგ



სურ.5. შემკვრელის მიკროსტრუქტურა 1100°C თერმული დამუშავების შემდეგ

კალციუმის ალუმინატების დისპერსული კრისტალების სწორკუთხოვანი და პრიზმული ფაზების წარმოქმნა. ტემპერატურის გაზრდისას 1200°C-მდე შეინიშნება შემდეგი ძირითადი ფაზები კორუნდი - $dA^\circ(3,471; 2,547; 2,381; 2,083; 1,771)$; ერთკალციუმიანი ალუმინატი - $CaO \cdot Al_2O_3 - dA^\circ(3,706; 3,221; 2,974; 3,853; 2,524; 2,410; 2,021)$; $\beta 2CaO \cdot SiO_2 - dA^\circ(3,041; 2,762; 2,714; 2,678; 2,262; 1,892; 1,812)$; უმნიშვნელო რაოდენობით გალენიტი $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 - dA^\circ(3,716; 3,062; 2,840; 2,451; 2,402)$.

როგორც მოსალოდნელი იყო ტემპერატურის გაზრდისას 1000°C, 1100°C, 1200°C, 1400°C-მდე (ნახაზი.6) მნიშვნელოვანი ინტენსიურობით წარმოიქმნება მაღალ ცეცხლგამძლე ნაერთები.

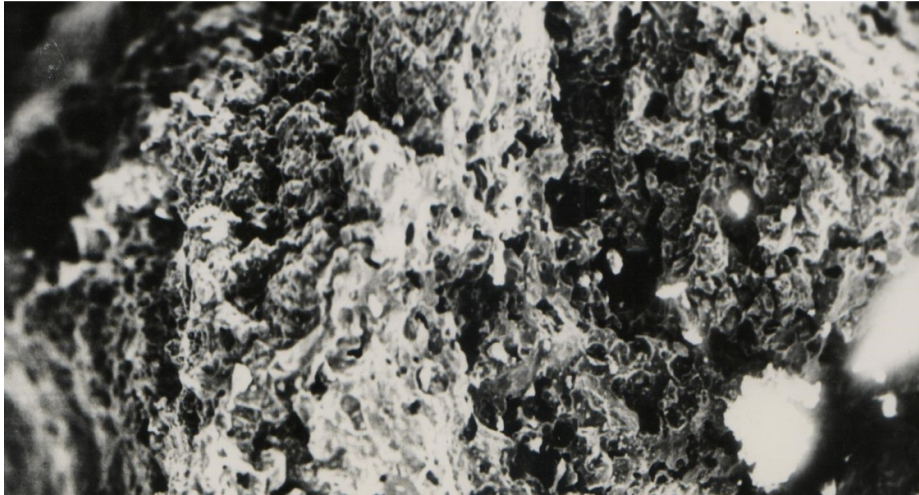


ნახ. 6. კომპოზიციური შემკვრელის (სილიკატ-ლოდი; კარატეპე; კორუნდი) რენტგენოგრამა 1400°C თერმული დამუშავების შემდეგ.

შემგომი გახურებით 1600°C ტემპერატურამდე კორუნდის გარდა სისტემაში შეინიშნება ორკალციუმიანი სილიკატი, კალციუმის დიალუმინატი, რომელიც წარმოქმნის წვრილ ნემსისებურ კრისტალურ აგრეგატებს და მულიტს. (სურათი.6)

გახურება 1600°C ტემპერატურამდე იწვევს შემკვრელის საბოლოო სტრუქტურისა და ფაზური შედგენილობის ჩამოყალიბებას, ფორიანობის შემცირებას, მულიტისა და კალციუმის დიალუმინატის რაოდენობის გაზრდას. შემკვრელის სტრუქტურაში ასევე შეინიშნება $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ და $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ მარცვლები, რომლებიც თანაბრად არის გადანაწილებული მულიტისა ნემსისებურ სტრუქტურასა და კალციუმის დიალუმინატში.

ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ შემკვრელი არათუ კარგავს პირველსაწყის სიმტკიცეს, როგორც ამას ადგილი აქვს ჰიდრავლიკურ შემკვრელებში არამედ, პირიქით 20-30%-ით იმატებს.



სურ.6. 1600°C ტემპერატურამდე გახურებული შემკვრელისმიკროსტრუქტურა

2.5. თბოსაიზოლაციო-კონსტრუქციული მხურვალმედეგი ბეტონის შედგენილობის შერჩევა

ცნობილია, რომ ნებისმიერი მასალის მისაღებად კომპონენტების რაოდენობის გაზრდა ართულებს ტექნოლოგიას, ზრდის საწარმოს სამრეწველო ფართობს, ართულებს ტექნიკას და ამცირებს საწარმოს ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს, ამიტომ, სადაც ამის შესაძლებლობა არის ცდილობენ მხურვალმედეგი ბეტონის მისაღებად შემოიფარგლონ ორ-სამ კომპონენტის ნარევის გამოყენებით. ასეთი მიდგომა მხურვალმედეგი ბეტონების დაპროექტებისას საშუალებას იძლევა არსებითად გამარტივდეს საწარმოს ორგანიზება, ასევე

გახურებისას ბეტონში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები და ამით უზრუნველყოფილ იქნას გახურებულ ზონაში მასალების ფიზიკურ-ქიმიური ერთგვაროვნება, რაც ხშირ შემთხვევებში დადებით ზეგავლენას ახდენს ბეტონის თერმოდგრადობაზე. აქედან გამომდინარე მხურვალმდეგი ბეტონისათვის შეირჩა იგივე მასალები შემვსებებად, რაც შემკვრელისათვის. ესენია: ანდეზიტ-ბაზალტის ფორიანი ქანის სახესხვაობა ვულკანური წიდა -კარატეპე და ელექტროდნობადი კორუნდი.

სილიკატ-ნატრიუმის კომპოზიციური მჭიდის საფუძველზე მიღებული ბეტონის პროექტირების ძირითად პრინციპებს წარმოადგენს: სილიკატ-ლოდის მინიმალური საჭირო რაოდენობა ბეტონის შედგენლობაში, შემვსების მსხვილ, საშუალო და წვრილ ფრაქციებს შორის ისეთი თანაფარდობის მიღწევა, რომელიც განაპირობებს მაღალ სიმკვრივეს მარცვლების ჯდენისას და მინიმუმამდე შეამცირებს მარცვალთშორის ფორიანობას. (11,12,13,14)

ბეტონის შედგენლობაში სილიკატ-ლოდის მინიმალური საჭირო რაოდენობა ძირითადად განისაზღვრება ბეტონის სიმტკიცით მისი 180-200°C გამოშრობის შემდეგ.

თხევად მინაზე დამზადებული ბეტონებისაგან განსხვავებით, დამუშავებული ბეტონების ადვილჩაწყობადობა განისაზღვრება ასადულაბებელი წყლის რაოდენობით და პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული ბეტონში ნატრიუმის სილიკატის რაოდენობაზე. რაც პრინციპულად განასხვავებს აღნიშნულ ბეტონებს თხევად მინაზე დამზადებული ბეტონებისაგან. მოცემულ შემთხვევაში ადვილჩაწყობადობა არ არის დამოკიდებული ბეტონში ტუტე კომპონენტის რაოდენობაზე, რაც ბეტონის შედგენილობის დაპროექტებისას იძლევა მეტ თავისუფლებას, მაგრამ ბეტონში სასურველია იყოს წყლის ისეთი რაოდენობა, რომელიც შექმნის საუკეთესო პირობებს სილიკატ-ლოდის გახსნისათვის.

ამრიგად ბეტონის შედგენილობის შერჩევისას გათვალისწინებული უნდა იქნას შემდეგი პირობები: მოიძებნოს რაციონალური თანაფარდობა

შემდგომების მსხვილ და წვრილ ფრაქციებს შორის; შეირჩეს შემკვრელისა და ასადულაბეხელი წყლის რაციონალური რაოდენობები. ბეტონის საბოლოო შედგენილობას აზუსტებენ საცდელი ნიმუშების შედეგების მიხედვით.(11,12,13,14)

2.6. შემდგომების გრანულომეტრიული შედგენილობის შერჩევა ბეტონის ნარევისათვის

გრანულომეტრიული შედგენილობა არსებით ზეგავლენას ახდენს ცეცხლგამძლე მასალების თვისებებზე.

ცეცხლგამძლე შემდგომების გრანულომეტრიული შედგენილობის რაციონალური შერჩევის საკითხს ეძღვნება როგორც ჩვენი, ასევე უცხოელ მკვლევართა მრავალი კვლევითი სამუშაო.

შემდგომების გრანულომეტრიული შედგენილობა არეგულირებს არა მარტო ჯდენას, არამედ, ნაკეთობების სხვა ისეთ მნიშვნელოვან თვისებებსაც, როგორებიცაა სიმტკიცე და თერმომდგრადობა.

შემდგომების ფრაქციებს შორის ოპტიმალური თანაფარდობისა და მარცვლების სიმსხოს ზედა ზღვრისწორად განსაზღვრას არსებითი მნიშვნელობა აქვს მხურვალმედეგიბეტონისათვის, ვინაიდან მაღალ ტემპერატურებსა და მასალის მონცვლეობით გახურების და გაცივების დროს სტრუქტურაში არსებული დეფექტები კიდევ უფრო გაღრმავდება და მოიმატებს. ლიტერატურაში ამ საკითხთან დაკავშირებით გვხვდება ბევრი რეკომენდაციები, მაგრამ ხშირად ისინი ატარებენ კონკრეტულ და ურთიერთგამომრიცხავ ხასიათს.

ცალკეულ, კონკრეტულ შემთხვევაში შემდგომებისმარცვლების სიმსხოს ზედა ზღვრის და ნარევიში ფრაქციებს შორის ოპტიმალური თანაფარდობის შერჩევა ხდება, შემაცემენტებელი ნივთიერებისა და შემდგომების საზღვარზე ტანგენციალური დამაბულობების გათვალისწინებით, რომლებიც გამოწვეულია მათი განსხვავებული თერმული გაფართოების კოეფიციენტებით.

მსხვილმარცვლოვანი შემვსები მხურველმედეგ ბეტონში ასრულებს მაარმირებელ ფუნქციას. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ შემვსების მარცვლების სიმსხოს ზედა ზღვრის გაზრდით ბეტონის მაკროსტრუქტურის ერთგვაროვნება მცირდება. მსხვილი შემვსებზე დამზადებულ ბეტონში უფრო ადრე წარმოიქმნება თმისებრი ბზარები და მათი რაოდენობა უფრო მეტია იქ სადაც შემვსების მარცვლების სიმსხო მეტია.

წვრილ შემვსებზე დამზადებულ მხურვალმედეგ ბეტონებს აქვთ უფრო ერთგვაროვანი სტრუქტურა თანაბრად გადანაწილებული ფორებით, რაც უზრუნველყოფს მაღალ ტემპერატურაზე სიმტკიცის მაღალ მაჩვენებელს. წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა ზრდის დეფორმაციის ზღვრის ტემპერატურას მიტვირთვისას.

როგორც ლიტერატურული მონაცემებიდან არის ცნობილი, ცეცხლგამძლე მასალების ქიმიური და ფიზიკური ბუნებიდან გამომდინარე, შემვსების მარცვლების სიმსხოს ზედა ზღვარი მხურვალმედეგი ბეტონებისათვის შეიძლება მერყეობდეს ფართო ზღვრებში - 0,4-5მმ-დე.

შემვსებები მხურვალმედეგ ბეტონებში შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ქიმიურად აქტიური კომპონენტები, რომლებიც შემკვრელთან ურთიერთქმედებისას მაღალ ტემპერატურაზე წარმოქმნის განსაზღვრული თვისებების მქონე ბეტონის სტრუქტურას. ამ თვალსაზრისით უპირატესობა უნდა მივანიჭოთ იმ ბეტონებს, რომელთაც აქვთ წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა, რადგანაც მყარფაზოვანი რეაქციების ინტენსივობა დამოკიდებულია საკონტაქტო ზედაპირების სიდიდეზე. მხურვალმედეგი ბეტონების ძირითადი თვისებებს განსაზღვრავს ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები, რომლებიც მიდინარეობს, როგორც გამყარების სტადიაზე, ასევე, ბეტონის ექსპლუატაციის ტემპერატურამდე გახურების პროცესშიც.

დადგენილია, რომ ერთი ფრაქციის მარცვლები არ იძლევა საკმარისად მკვრივად ჩაწყობის საშუალებას, ამიტომ, როგორც წესი, იყენებენ მრავალფუნქციურ ნარევებს სხვადასხვა ზომის მარცვლებით. ასეთი ნარევები იძლევა თეორიულ შესაძლებლობას მიღწეულ იქნას

ბეტონის მინიმალური ფორიანობა, რადგანაც მსხვილი ზომის მარცვლებს შორის სივრცეს შეავსებს უფრო პატარა ზომის მარცვლები.

ფრაქციების რაციონალური შერჩევა საშუალებას იძლევა შემცირდეს მარცვალთშორისი ცარიელობები, რომლებიც წარმოიქმნება მსხვილ და საშუალო ზომის მარცვლებს შორის, ასევე შემცირდეს გამოწვის შედეგად წარმოქმნილი შინაგანი დაძაბულობები. გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს შემვსების წვრილ ფრაქციას 0,5 მმ-ზე ნაკლები მარცვლების ზომით. მისი რაოდენობის გაზრდით მაშინაც კი თუ მარცვლების სიმსხოს ზედა ზღვარი გაიზრდება 5მმ-მდე, მოიმატებს ბეტონის, როგორც სიმკვრივე, ასევე სიმტკიცეც, ხოლო თერმომდგრადობა კი შემცირდება. წვრილმარცვლოვანი ფრაქციის რაოდენობის შემცირება, მაშინაც კი თუ მარცვლების ზღვრულ სიმსხო შევამცირებთ მივიღებთ ნაკეთობის გაფხვიერებულ სტრუქტურას დაბალი სიმტკიცით, თუმცა თერმომდგრადობა ამ დროს მოიმატებს, ხოლო ნაკეთობის სტრუქტურის ზედმეტი გაფხვიერება უარყოფითად აისახება სიმტკიცისადა თერმომდგრადობაზე.

აქედან გამომდინარე, წვრილი ფრაქციის რაოდენობა არსებით ზეგავლენას ახდენს ნაკეთობის სტრუქტურაზე, რაც პირველ რიგში აისახება მასალების სიმტკიცის მახასიათებლებზე. მაქსიმალური სიმტკიცე უნდა შეესაბამება მარცვლების უფრო მჭიდრო ჩაწყობას. საშუალო ფრაქციის რაოდენობის გაზრდა იწვევს მსხვილი მარცვლების გაწევას, რის გამოც ხდება წვრილი ფრაქციების მოძრაობა ერთი ღრუდან მეორეში და წყობის გაფხვიერება. საშუალო ფრაქცია ასრულებს ჩამკეტის როლს და ეწინააღმდეგება წვრილი ფრაქციის მოძრაობას./5,40,49/

განასხვავებენ ჩაწყობის ორ ძირითად ტიპს, რომელიც ეფექტურად ამცირებს ცარიელობას:

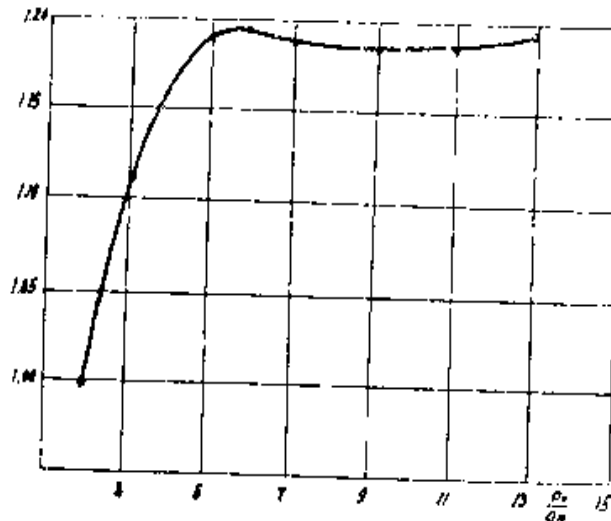
- უწყვეტი ჩაწყობა, დაფუძნებულია მოცულობის შევსებაზე ყველა ზომის მარცვლებით - ზედა ზღვრიდან მინიმალურამდე- ნულთან მიახლოებული.

- წყვეტილი ჩაწყობა, რომლის დროსაც მოცემული ფრაქციის მარცვლებს შორის არ არის შუალედური ზომის მარცვლები. ამასთან ერთად მარცვლები ყველაზე დიდი ფრაქციისა წარმოქმნიან ჩონჩხს, რომელთა შორის ცარიელობები შევსებულია განსაზღვრული ზომის მომდევნო ფრაქციებით. ცარიელობები შეიძლება შეივსოს მესამე ფრაქციით და ასე შემდეგ. ჩაწყობის სიმკვრივის გაზრდის მიზნით, უფრო ეფექტურია წყვეტილი ჩაწყობა.

ზოგიერთი ავტორი მიიჩნევს, რომ წყვეტილი შემადგენლობის შემსვების გამოყენება იძლევა შემსვების მარცვლების უფრო მკვირვად ჩაწყობის საშუალებას, ყოველი მომდევნო ფრაქციის მარცვლების ზომა უნდა შეადგენდეს წინა ფრაქციის მარცვლების ზომის 1/6-1/7. წყვეტილი მარცვლოვანი შემადგენლობის შემსვების გამოყენება ამცირებს ბეტონის წყალმომთხოვნელობას და ბეტონის ნარევი ჰაერის მოცულობას. (27,28,29)

წვრილი და მსხვილი ფრაქციის მარცვლებს შორის წყვეტის შეფასებისათვის, ი.ს კაინარსკი გვთავაზობს გრაფიკს (ნახ.7).

ნარევის ნაყარი მოცულობითი მასის დამოკიდებულება წვრილი და მსხვილი ფრაქციის მარცვლების თანაფარდობაზე.



ნახ.7 - ნარევის ნაყარი მოცულობითი მასისდამოკიდებულება ორი ფრაქციის $a_{ფ3}$ - წვრილი და $a_{ა6}$ - მსხვილიმარცვლების თანაფარდობაზე

გრაფიკიდან ჩანს, რომ თანაფარდობის გაზრდით მსხვილი ფრაქციის საშუალო ზომის მარცვლებსა და წვრილი ფრაქციის საშუალო ზომის მარცვლებს შორის 6-მდე მაქსიმალური ნაყარი მასა იზრდება, ხოლო წვრილი ფრაქციის მარცვლების ზომის შემდგომი შემცირებით ნარევის სიმკვრივე არსებითად არ იცვლება.

წვრილმარცვლოვანი მხურვალმედეგი ბეტონებისათვის ყველაზე რაციონალურად მიიჩნევენ შემვსებების სამფრაქციულ ნარევებს, სადაც ფრაქციათა მარცვლებს აქვთ შემდეგი ზომები: 5-2,5;1,25-0,63; და 0,14მმ-ზე ნაკლები. (16)

ამრიგად მხურვალმედეგი ბეტონისათვის ჩვენ შევარჩიეთ შემვსებები შემდეგი ფრაქციებით: მსხვილი ფრაქცია 3-5 მმ, საშუალო ფრაქცია 1-1,25 მმ და წვრილი ფრაქცია 0,14-0,315 მმ ზომის მარცვლებით.

2.7.სადულაბე წყლის ხარჯის ოპტიმალური რაოდენობის

განსაზღვრა

წყალი, რომელიც საჭიროა მხურვალმედეგი ბეტონის მოსამზადებლად უნდა პასუხობდეს სახელმწიფო სტანდარტის მოთხოვნებს. სადულაბე წყლის რაოდენობა წარმოადგენს ძირითად ფაქტორს ნარევის ადვილჩაწყობადობის უზრუნველსაყოფად. სასურველია ბეტონში იყოს იმდენი წყალი, რამდენიც საუკეთესო პირობებს შექმნის სილიკატ-ლოდის გასახსნელად.

განსხვავებით თხევად მინებზე დამზადებული ბეტონებისაგან, კომპოზიციურ მჭიდაზე დამზადებული მხურვალმედეგი ბეტონის ადვილჩაწყობადობა განისაზღვრება სადულაბე წყლის რაოდენობით და პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული ბეტონში ნატრიუმის სილიკატის

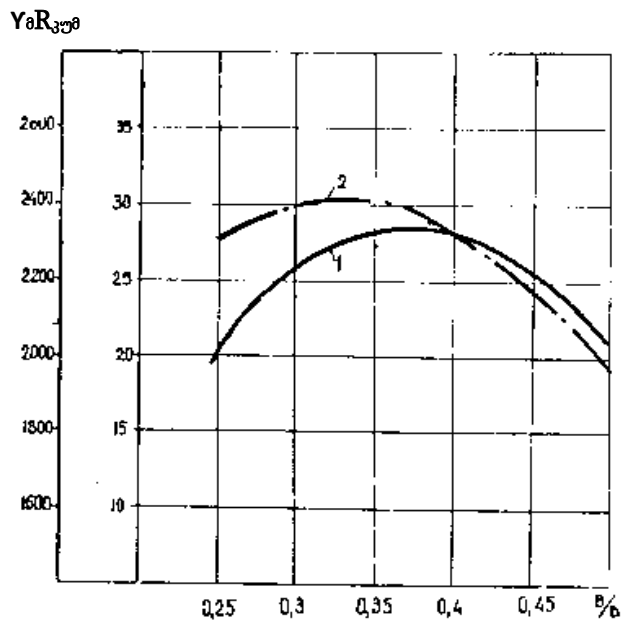
რაოდენობაზე, ვინაიდან ბეტონის ადვილჩაწყობადობა არ არის დამოკიდებული ტუტე კომპონენტის რაოდენობაზე ამიტომ, ეს ფაქტორი იძლევა მეტი თავისუფლების საშუალებას ბეტონის შედგენილობის დაპროექტებისას.

ბეტონში შემკვრელისა და შესაბამისად სილიკატ-ლოდის მინიმალური საჭირო რაოდენობა ძირითადად განისაზღვრება ბეტონის სიმტკიცით (სამონტაჟო სიმტკიცით) მისი სითბური დამუშავებისას დაბალ ტემპერატურაზე 180-200°C-ზე.

კვლევები ტარდებოდა შერჩეული გრანულომეტრიული შედგენილობის ბეტონებზე, სადაც სილიკატ-ნატრიუმის შემკვრელის რაოდენობა იყო 20%-მდე.

სადულაბე წყლის ოპტიმალური რაოდენობის დასადგენად წყლისა და შემკვრელის სხვადასხვა თანაფარდობებით დამზადდა 10x10x10სმ ზომის ბეტონის ნიმუშები, მოხდა მათი ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით და შემდგომ თერმული დამუშავება.

წყლისა და შემკვრელის სხვადასხვა თანაფარდობების გავლენა ბეტონის თვისებებზე ნაჩვენებია ნახაზზე 8.



ნახ.8 - წყ/შემკვრელის დამოკიდებულება ბეტონის სიმტკიცესა და ზოგად სიმკვრივეზე. (1.სიმტკიცე კუმშვაზე; 2.ზოგადი სიმკვრივე).

სადულაბე წყლის არასაკმარისი რაოდენობა იწვევდა ნიმუშების რღვევას. საუკეთესო მაჩვენებლები ჰქონდათ ნიმუშებს, როდესაც წყლისა და შემკვრელის თანაფარდობა იყო 0,32-0,35, სწორედ ეს თანაფარდობა ჩავთვალეთ ოპტიმალურად.

2.8. ბეტონის ნარევის მომზადების რეჟიმის, ფორმირების მეთოდისა და სითბური დამუშავების რეჟიმის შერჩევა

ბეტონის ერთგვაროვნება მიიღწევა სწორად დადგენილი მორევის ხანგრძლივობით, აქედან გამომდინარე მცირდება მისი სიმტკიცეც. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მივაღწიოთ მასის ერთგვაროვნებას მხურვალმდე ბეტონში, რადგან სტრუქტურის არაერთგვაროვნება არსებითად მოქმედებს ცეცხლგამძლეობაზე და თერმომექანიკურ თვისებებზე. შემკვრელის მარცვლებისა და კომპოზიციური შემკვრელის თანაბარი გადანაწილება ხელს უწყობდეს მწებავი კონტაქტების მაქსიმალური რიცხვის წარმოქმნას, ბეტონის სტრუქტურის ერთგვაროვნების შენარჩუნებას შემკვრელში მიდინარე რეაქციების დროს და ასევე მაქსიმალური თერმომდგრადობის მიღწევას.

ბეტონის ნარევის ასარევად გამოვიყენეთ იძულებითი მოქმედების ბეტონსარევი. არევის ხარისხზე დიდ ზეგავლენას ახდენს მისი ხანგრძლივობა და რეჟიმი.

ბეტონის ნარევის მომზადებისას შესწავლილი იქნა კომპონენტების არევის ოთხი სხვადასხვა რეჟიმი:

რეჟიმი I – ყველა კომპონენტის ჩატვირთვა ერთდროულად წყალთან ერთად და არევა – 3-4წთ;

რეჟიმი II – ყველა კომპონენტის ჩატვირთვა, არევა მშრალად 1-2წთ, 30% წყლის მიწოდება და არევა –1წთ, დარჩენილი წყლის დამატება და არევა – 2–3წთ;

რეჟიმი III – ყველა კომპონენტის ჩატვირთვა ერთდროულად, მშრალად არევა – 3–4წთ, წყლის დამატება და არევა 4–5წთ;

რეჟიმი IV - შემსვების წვრილი ფრაქციისა და შემკვრელის ერთობლივი ჩატვირთვა, არევა მშრალად – 2–3წთ, შემსვების მსხვილი ფრაქციის დამატება და არევა – 2წთ წყლის დამატება და საბოლოო არევა-3წთ.

ბეტონის ნარევისაგან, დამზადდა ნიმუშები 10x10x10სმ, მოხდა მათი ვიბროდაყალიბება(მიტვირთვით), შემდგომ ნიმუშების თერმოდამუშავება, რის შემდეგაც განისაზღვრა ნიმუშების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე. შედეგები ნაჩვენებია (ცხრილში №13)

ბეტონის ნარევის მომზადების რეჟიმის გავლენა საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეზე მათი 200°C ტემპერატურაზე თერმოდამუშავების შემდეგ

ცხრ. №13

კომპონენტების არევის რეჟიმი	საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცე მათი 200°C თერმოდამუშავების შემდეგ(მგპა)
რეჟიმი I	არა ნაკლებ 25
რეჟიმი II	არა ნაკლებ 28
რეჟიმი III	არა ნაკლებ 30
რეჟიმი IV	არა ნაკლებ 35

ცხრილში მოყვანილი შედეგები ადასტურებს, რომ შემკვრელის საუკეთესო გადანაწილება და თანაბარი სტრუქტურების მიღების შესაძლებლობა მიიღწევა კომპონენტების გულდასმით მშრალად არევით და შემდგომ წყლის დამატებით. ამასთან ერთად აუცილებელია შემკვრელი გადანაწილდეს ჯერ წვრილ ფრაქციაში, ხოლო შემდეგ წვრილი ფრაქციის გადანაწილება მოხდეს საშუალო ფრაქციაში. ბეტონის

ნარევის მომზადებისას, მიღებული შედეგების საფუძველზე შეირჩა IV რეჟიმი.

ბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებლებზე გავლენას ახდენს ბეტონის ნარევის შემკვრივების მეთოდი და რეჟიმი. სიმტკიცის დასადგენად გამოიყენა ერთნაირი შედგენლობების, მაგრამ განსხვავებული მეთოდებით დაყალიბებული ნიმუშები. კვლევების შედეგები მოყვანილია (ცხრილში №14)

ბეტონის ნიმუშების სიმტკიცის დამოკიდებულება ვიბროდაყალიბების პარამეტრებზე

ცხრ.№14

დაყალიბების მეთოდი	ვიბრირების პარამეტრები	მიტვირთვის დადების დრო	სიმტკიცე მგპა (200°C) გამოშრობის შემდეგ	სიმტკიცე მგპა (1850°C) გამოწვის შემდეგ
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვის გარეშე	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=120 წმ	-	18	20,2
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,15 მმ t=60 წმ P=0,0015 მგპა	ვიბრაციის დაწყებისთანავე	25	28,6
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25მმ t=90 წმ P=0,0025მგპა	ვიბრაციის დაწყებისთანავე	27,5	33
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=120 წმ P=0,0015მგპა	ვიბრაციის დაწყებისთანავე	31,2	36,5
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=120 წმ P=0,0015 მგპა	20 წმ-ის შემდეგ ვიბრაციის დაწყებიდან	35	40
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=120 წმ P=0,0015 მგპა	30 წმ-ის შემდეგ ვიბრაციის დაწყებიდან	34,5	39

შერჩეულ იქნა შრობის რაციონალური რეჟიმი და ოპტიმალურად მიჩნეულ იქნა შემდეგი:

ტემპერატურის აწევა-90-95°C-მდე -----1სთ
დაყოვნება-----1სთ
ტემპერატურის აწევა-200°C-მდე -----1სთ
დაყოვნება-----1სთ

2.9. ცეცხლგამძლეობა

მაღალ ტემპერატურაზე ცეცხლგამძლე მასალები გარბილდებიან და გაედინებიან ამა თუ იმ თხევადი ფაზის სიბლანტის გამო. ცეცხლგამძლეობა ეწოდება მასალის თვისებას გაუძლოს მაღალი ტემპერატურის მოქმედებას და გაულღობლად წინააღმდეგეს მაღალ ტემპერატურათა ზემოქმედებას.

მხურვალმედეგი ბეტონის ცეცხლგამძლეობა ძირითადად დამოკიდებულია ქიმიურ შედგენილობაზე. ამიტომ ცეცხლგამძლეობა არის მხურვალმედეგი ბეტონის შემადგენელი კომპონენტების რაოდენობებისა და ნედლეულის სისუფთავის შეფასების მახასიათებელი.

ბეტონის ცეცხლგამძლეობაზე არსებით გავლენას ახდენს კომპოზიციური შემკვრელის რაოდენობა. შემკვრელის რაოდენობის გაზრდა იწვევს სილიკატ-ლოდის პროცენტული შემცველობის გაზრდასაც, ლლობადი ფაზის მომატების შედეგად მცირდება დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა მიტვირთვისას, რაც განაპირობებს ბეტონის ცეცხლგამძლეობის შემცირებას.

ცეცხლგამძლეობის განსასაზღვრავად დადგენილი ზომისა და ფორმის ნიმუშებს ახურებენ მოცემული სიჩქარით.

ბეტონის ცეცხლგამძლეობა განისაზღვრა ГОСТ-4069-69-ის შესაბამისად სტანდარტულ ნიმუშად ვიყენებდით 30 მმ სიმაღლის მქონე სამწახნაგა წაკვეთილ პირამიდას, ეგრეთწოდებულ „კონუსს“ რომლის ქვედა ფუძის დიამეტრი არის 8 მმ, ხოლო ზედა ფუძის გვერდი 2 მმ.

მაღალ ტემპერატურაზე ნიმუში თანდათან იწყებს გარბილებას და წარმოიქმნება თხევადი ფაზა, ამ უკანასკნელის სიბლანტის მომატებასთან ერთად კონუსი საკუთარი წონის გავლენით ფუძისკენ იხრება. ნიმუშის დაცემის მომენტის შესაბამისი ტემპერატურა, როდესაც ნიმუშის წვერო ფუძის დონემდე ეშვება მიღებულია ცეცხლგამძლეობად. ამ მომენტში მასალის შესაბამისი სიბლანტე ფართო ზღვრებში მერყეობს და არის $1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$ პაზი.

ღუმელის გახურების სიჩქარე 1000°C ტემპერატურამდე რეგლამენტირებული არ არის, რაც შეეხება 1000°C -დან 1500°C ტემპერატურამდე გახურების სიჩქარეს იყო $10-15^{\circ}\text{C}/\text{წთ-ში}$, ხოლო 1500°C -ზე ზემოთ $3-15^{\circ}\text{C}/\text{წთ-ში}$.

ბეტონის ცეცხლგამძლეობის დამოკიდებულება შემკვრელის რაოდენობაზე მოყვანილია ცხრილში №15

მხურვალმდეგი ბეტონის ცეცხლგამძლეობის დამოკიდებულება შემკვრელის რაოდენობაზე

ცხრ. №15

მაჩვენებელი	შემკვრელის შემცველობა %				
	10	15	20	25	30
ცეცხლგამძლეობა	1920	1920	1950	1930	1910

2.10. თერმომდგრადობა

სამრეწველო ღუმელებში ცეცხლგამძლე ამონაგის გახურებისას ტემპერატურის ცვლილება, ან უწყვეტი მოქმედების დანადგარებში ტემპერატურის მერყეობა იწვევს ნაკეთობის დაზარვას.

უმრავლესობა ცეცხლგამძლე ნაკეთობებისა ირღვევა მათი არასაკმარისი ცეცხლგამძლეობის გამო იმაზე დაბალ ტემპერატურებზე ვიდრე მათი ცეცხლგამძლეობაა, ანუ საექსპლუატაციო ტემპერატურა.

ნაკეთობების ცეცხლგამძლეობა დამოკიდებულია მათ სტრუქტურაზე და თვისებებზე, ასევე ნაკეთობის ზომებზე, ფორმაზე და თერმული დატვირთვის რეჟიმზე.

თერმოდგრადობის რეგულირებაში მნიშვნელოვანია სტრუქტურის როლი, რომელიც განსაზღვრავს მისი შეფასებისა და თერმული რღვევის ეფექტური წინააღმდეგობის ამაღლების მიზნით თვისებების გამოყენების მიზანშეწონილობას.

მაქსიმალური დაძაბულობის თეორიის მიხედვით სხეული ირღვევა მაშინ, როდესაც მისი სიმტკიცე ნაკლებია მასში წარმოქმნილ მაქსიმალურ თერმულ დაძაბულობაზე.

პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ ხშირ შემთხვევებში ფორიანობის გაზრდას თან ახლავს თერმოდგრადობის გაზრდა.

ჯერ კიდევ 1930 წელს ბ.ი პინესის ნაშრომში „ცეცხლგამძლე ნაკეთობების არაერთგვაროვნება“ გამოთქმული იყო მოსაზრება, რომ ფორიანობამ შეიძლება შეამციროს არაერთგვაროვნებით გამოწვეული ლოკალური დაძაბულობა, ანუ ხელი შეუშალოს ბზარების შემდგომ გავრცელებას. მაგრამ რამდენადაც ფორიანობის გაზრდა ჩვეულებრივად ამცირებს ნაკეთობის მექანიკურ სიმტკიცეს, შეიძლება ვივარაუდოთ თერმოდგრადი ნაკეთობების მისაღებად ოპტიმალური ფორიანობის არსებობა, თუმცა როგორც გვაჩვენებს კინგერი ასეთი ოპტიმალური ფორიანობა არ არსებობს.

უწყვეტი ან პერიოდული ქმედების სამრეწველო ღუმელებისა და საცეცხლეებში ცეცხლგამძლე ამონაგის ხურების ტემპერატურის ცვალებადობამ შეიძლება გამოიწვიოს ნაკეთობის დასკდომა. დროთა განმავლობაში ნაკეთობა ამ ბზარებზე გაიპობა და იწვევს მის სრულ დაშლას.

ცეცხლგამძლე ნაკეთობის ცხელ და ცივ ზედაპირებს შორის არსებულ შრეებში ტემპერატურული გრადიენტის სიდიდე დამოკიდებულია ხურებისა და გაცივების პირობებზე, აგრეთვე ტემპერატურის გამტარობის a კოეფიციენტზე. ტემპერატურის გამტარობის კოეფიციენტი ახასიათებს მასალაში ტემპერატურის გავრცელების სიჩქარეს:

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma} \text{მ}^2/\text{სთ} \quad (1)$$

სადაც: λ - არის თბოგამტარობის კოეფიციენტი კკალ/მ.სთ.გრად

c - თბოშემცველობა კკალ/კგ.გრად

γ - მასალის მოცულობითი წონა გ/სმ³

განტოლებიდან ჩანს, რომ ხურებისა და გაცივების თანაბარი პირობების შემთხვევაში რაც უფრო მეტია მასალის თბოგამტარობა მით მით უფრო ნაკლებია ტემპერატურული გრადიენტი. ცეცხლგამძლე მასალის ცალკეული შრის არათანაბარზომიერი ხურება იწვევს ამ შრეებს შორის ძვრის ძაბვის წარმოქმნას.

ძვრის სიდიდე დამოკიდებულია არათანაბარზომიერად გახურებული შრეების გაფართოების ცვლილების სიდიდეზე, და მაშასადამე, ტემპერატურულ გრადიენტზეც. ცალკეული შრის გაფართოების აბსოლუტური სიდიდე განპირობებულია მასალის გაფართობის კოეფიციენტით a , რომელიც დამოკიდებულია ნაკეთობის ქიმიურ-მინერალოგიურ შედგენილობაზე და აგრეთვე ფორმასა და ზომაზე. ამგვარად ცეცხლგამძლე ნაკეთობაში ტემპერატურული ვარდნილის გავლენით წარმოქმნილი ძვრის სიდიდე პირდაპირპროპორციულია თერმული გაფართოების კოეფიციენტისა α და უკუპროპორციულია a ტემპერატურის გამტარობის, ან λ თბოგამტარობის.

ცეცხლგამძლე ნაკეთობის გაცივების დროს ზედაპირული შრეები იკუმშებიან და განიცდიან გამჭიმავი ძაბვის ზემოქმედებას ამ შემთხვევაში წარმოიქმნება ბზარები, უპირატესად გაცივებადი ზედაპირების პერპენდიკულარ სიბრტყეში, ხოლო ხურების დროს გაფართოებული

ზედაპირული შრეები განიცდიან კუმშვას და ნაკეთობაში წარმოიქმნება ძვრის ძაბვები.

ფარდობითი ძვრისადმი ცეცხლგამძლე ნაკეთობის წინააღმდეგობის უნარი დამოკიდებულია მის მექანიკურ და დრეკად თვისებებზე. მასალის დრეკადი თვისებები ხასიათდება დრეკადობის (კუმშვისა ან ჭიმვის) და ძვრის მოდულებით მყიფე მასალათა ჭიმვის მოდული შეიძლება გამოისახოს შემდეგნაირად:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2)$$

სადაც, σ - არის გამჭიმავი ძაბვა,

ε - მაქსიმალური ფარდობითი წაგრძელება.

ანალოგიურად გამოისახება ძვრის მოდულიც G . დრეკადობის და ძვრის მოდულებს შორის არსებობს შემდეგი დამოკიდებულება:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (3)$$

სადაც, μ პუასონის კოეფიციენტია.

ცხადია, რომ ცეცხლგამძლე ნაკეთობის თერმომედეგობა მით უფრო მაღალია, რაც უფრო მაღალია მაქსიმალური დრეკადი წაგრძელება ε , ან შესაბამისი დრეკადი ძაბვა, ანუ რაც ნაკლები იქნება ჭიმვის და ძვრის მოდული, და რაც მეტი იქნება ჭიმვისა და ძვრისადმი წინააღმდეგობა ზღვრული სიდიდეები.

ზემოთ ჩამოყალიბებული კანონზომიერებანი საშუალებას გვაძლევენ დავადგინოთ შემდეგი ურთიერთკავშირი ცეცხლგამძლე მასალათა თერმომედეგობასა და მათ ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს შორის; ეს ურთიერთკავშირი წარმოქმნილ ტემპერატურულ გრადიენტში განსაზღვრავს ფარდობითი ძვრების სიდიდესა და ცეცხლგამძლე მასალის უნარს - გაუძლოს ამ ძვრადობის დროს მრღვევ ძაბვებს.

თერმული მედეგობის კოეფიციენტი ტოლია:

$$\frac{\alpha \varepsilon}{a} = \frac{\lambda \varepsilon}{c \gamma a} = \frac{\lambda \sigma}{c \gamma a E} \quad (4)$$

მაგრამ ეს კოეფიციენტი არ გამოსახავს ცეცხლგამძლე მასალის ხურებისა და გაცივების პირობათა თავისებურებებს, რომელთა მიხედვით იცვლება ამ ფორმულაში მასალის თბოგამტარობის მნიშვნელობა. არ ჩანს აგრეთვე მისი კავშირი ცეცხლგამძლე ნაკეთობის ფორმასა და ზომასთან.

მეტად რთულია აგრეთვე ჭიმვისა და ძვრის მოდულის განსაზღვრა მაღალ ტემპერატურებზე; აღნიშნული გარემოებები და განსაკუთრებით ფორმისა და ზომის გამოთვლის ფაქტორთა სირთულე აფერხებს ამ დამოკიდებულებათა ფართო გამოყენებას ცეცხლგამძლე ნაკეთობების თერმომედეგობის შესაფასებლად. ამჟამად ჯერ კიდევ არ მოგვეპოვება საკმარისი ექსპერიმენტული მასალა სხვადასხვა ცეცხლგამძლე ნაკეთობის დრეკადი თვისებების შესაფასებლად სხვადასხვა ტემპერატურის პირობებში. არ არსებობს ასევე სისტემატური მონაცემები, რომლის საუბველზეც დავადგენდით რაიმე ქიმიურ-მექანიკური შედეგნილობის მქონე ცეცხლგამძლე მასალის დრეკად თვისებათა დამოკიდებულებას აგებულებისაგან. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ შამოტის მაგნეზიტის, ქრომიტისა და კორუნდის შემადგენელი მარცვლების სიდიდეთა ზრდით შესაძლებელია ცეცხლგამძლე ნაკეთობათა თერმომდგრადობის მნიშვნელოვნად გაზრდა. მაგალითად ტემპერატურის მეტად მოკლე (1250-1450°C) ინტერვალში კორუნდის წაგრძელებული კრისტალების სწრაფ ზრდას ერთი მხრივ თან სდევს სტრუქტურის გაფაშრება და თერმული მედეგობის გაზრდა.

მასის გადამუშავებისა და ნაკეთობის დაყალიბების ამა თუ იმ მეთოდმაც შეიძლება მნიშვნელოვნად გაზარდოს თერმული მდგრადობა.

ვინაიდან თერმომედეგობის გაანგარიშების მეთოდი მეტად რთულია და არასრულყოფილი მისი მნიშვნელობა ისაზღვრება უშუალოდ. (1)

პრაქტიკაში ცეცხლგამძლე ნაკეთობების თერმომდგრადობას ადგენენ თერმოცვლის მეთოდით, მისი არსი მდგომარეობს შემდეგში ნაკეთობებს ჯერ სწრაფად ახურებენ 1300°C-მდე და შემდგომ აციებენ გამდინარე წყალში. თერმომდგრადობის მაჩვენებლად მიჩნეულია თერმოცვლის ის

რიცხვი, რომელსაც გაუძლებს ნიმუში მისი პირვანდელი მასის 20%-ის დაკარგვამდე.

თერმომედეგობა განისაზღვრა ГОСТ-7874-83-ის მიხედვით დამზადდა ბეტონის კუბები ზომებით 10x10x10სმ რომლებსაც ვათავსებდით ღუმელში და სწრაფად ვახურებდით 1300°C-მდე ვაყოვნებდით 40 წუთის განმავლობაში, შემდეგ 5 წუთი ვაცივებდით წყლიან აბაზანაში, წყლიდან ამოღებულ ნიმუშებს 10 წუთის განმავლობაში ვაჩერებდით ოთახის ტემპერატურაზე და შემდგომ ისევ ვათავსებდით ღუმელში. ნიმუშებმა მათი პირვანდელი მასის 20%-ის დაკარგვამდე გაუძლო 25-27 თბოცვლას.

2.11. თბოგამტარობის განსაზღვრა

დიდი მნიშვნელობა აქვს ცეცხლგამძლე ნაკეთობების თბოგამტარობას და იგი განსაზღვრავს მეტალურგიულ ღუმელებში სითბოს დანაკარგს მისი კედლებიდან.

ზოგიერთი ცეცხლგამძლე მასალის თბოგამტარობის მაჩვენებლები მოცემულია ცხრილში №16

ცეცხლგამძლე მასალების თბოგამტარობა

ცხრ.№16

ცეცხლგამძლე მასალები	თბოგამტარობა ვტ/მკ °C		
	200	500	1000
შამოტის	1,16	1,34	1,51
დინასის	1,16	1,40	1,63
მულტიკორუნდის	2,16	1,76	1,51
მაგნეზიტის	5,82	4,66	3,5
კორუნდის	29,1	10,04	5,82

კრისტალური სხეულების თბოგამტარობა ტემპერატურის გაზრდით მცირდება, თუმცა 1500°C-ზე მაღალ ტემპერატურებზე მცირედად იზრდება, რაც გამოწვეულია გახურებული სხეულის სითბოგადაცემის გაზრდით. ამორფული სხეულების თბოგამტარობა იზრდება ტემპერატურის მომატებით. მხურვალმედეგი ბეტონების თბოგამტარობა დამოკიდებულია მისი მიკროსტრუქტურის ხასიათზე და შემადგენელ ფაზებზე. მრავალფაზოვან სტრუქტურაში თბოგამტარობის ზოგადი სიდიდე ახლოს არის ყველაზე დიდი ფაზის თბოგამტარობასთან.

ბეტონის თბოგამტარობა განისაზღვრასხვადასხვა ტემპერატურაზე 114x114x65მმ ზომის ნიმუშებზე, სახელმწიფო სტანდარტის -ГОСТ-12170-76 მიხედვით. კვლევების შედეგები მოცემულია ცხრილში №17

მხურვალმედეგი ბეტონის თბოგამტარობა

ცხრ. 17

დასახელება	თბოგამტარობა ვტ/მკ °C		
	350	610	800
მხურვალმედეგი ბეტონი	1,14	0,96	0,89

თბოგამტარობის დაბალი კოეფიციენტი ხელს უწყობს სითბოს დანაკარგის შემცირებას თბური აგრეგატების მუშაობისას.

2.12. დეფორმაციის განსაზღვრა მაღალ ტემპერატურებზე დატვირთვის ქვეშ

ცეცხლგამძლე მასალების გამოცდა დეფორმაციაზე დატვირთვის ქვეშ მაღალი ტემპერატურის მოქმედებისას განსაზღვრავს მასალების უნარს გაუძლოს ერთდროულად დატვირთვისა და მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებას.

ცეცხლგამძლე მასალებს ახასიათებთ გარკვეული დრეკადი თვისებები, ვინაიდან დრეკადი დეფორმაციები მეტად უმნიშვნელოა მათი უშუალოდ განსაზღვრა ძნელია.

ცეცხლგამძლე მასალათა დრეკადი თვისებების დასახასიათებლად შემოღებულია ჭიმვისა და ძვრის მოდულები.

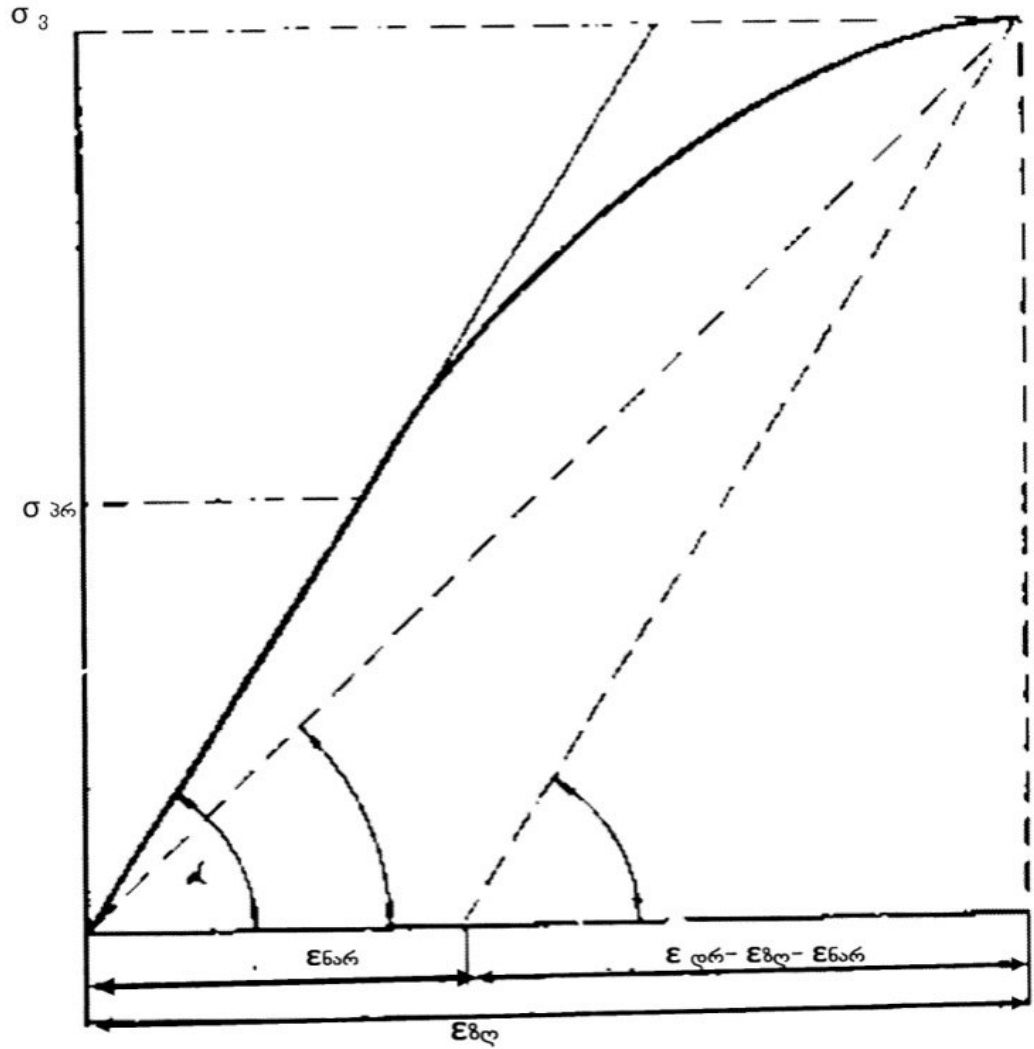
ჭიმვის მოდული $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ კგ/სმ², (5) სადაც გამჭიმავი ძაბვაა, ხოლო ϵ - ფარდობითი წაგრძელება. სუფთა ძვრის მოდული $G = \frac{\tau}{\gamma}$ კგ/სმ², (6) სადაც τ ძვრის ძაბვაა, ხოლო γ - ფარდობითი გადაადგილება. ამ ორ მოდულს შორის გარკვეული დამოკიდებულება არსებობს.

ხურების ტემპერატურის აწევით, ჩვეულებრივ, მცირდება დრეკადი დეფორმაცია, რომელიც ხასიათდება ϵ ფარდობითი წაგრძელებით, ან τ ფარდობითი ძვრით და იგი მხოლოდ, იშვიათ შემთხვევაში მატულობს. 800-900°C-ის მახლობლად შამოტის მასალები ამჟღავნებენ პლასტიკური დეფორმაციის თვისებას, ე. ი. მათში წარმოქმნილი დეფორმაციები შეიძლება გაწონასწორდეს პლასტიკური დეფორმაციით. ნაწილობრივ, ამით აიხსნება ის ფაქტი, რომ 1000°C-ის ზემოთ ცეცხლგამძლეები ნაკლებად მგძნობიარენი არიან ტემპერატურის მკვეთრი ცვალებადობის მიმართ. უფრო მაღალ ტემპერატურაზე დრეკად თვისებებს ინარჩუნებენ უპირატესად კრისტალური აგებულების მქონე ცეცხლგამძლეები, როგორცაა მაგალითად, მაგნეზიტი, კორუნდი და სხვა. ხურების შედეგად პლასტიკური თვისებების შექმნა უმეტეს შემთხვევაში აიხსნება ცეცხლგამძლე მასალაში წარმოქმნილი მინისებური ფაზის გარბილებით.

მაღალ ტემპერატურაზე დრეკადი დეფორმაციის სიდიდეების უშუალო გაზომვით დრეკადობის მოდული განსასაზღვრავად საჭიროა რთული ნიმუშების დამზადება და მცირე დეფორმაციათა ზუსტად გაზომვა, რაც მეტად რთულია. ცეცხლგამძლე მასალების დრეკადი თვისებების დასადგენად იყენებენ აგრეთვე დინამიკურ მეთოდებსაც, რომლებიც ემყარება ბგერითი ტალღებით გამოწვეული დრეკადი რხევების აღრიცხვას. (1,6)

ცეცხლგამძლე მასალების უმრავლესობა განიცდის ისეთ დეფორმირებას როგორც ნაჩვენებია დეფორმაციის დიაგრამაზე (ნახაზი 9.)

დეფორმაციის დიაგრამა



ნახ.9- დეფორმაციის დიაგრამის დახასიათება

σ_{პრ} - პროპორციულობის ზღვარი

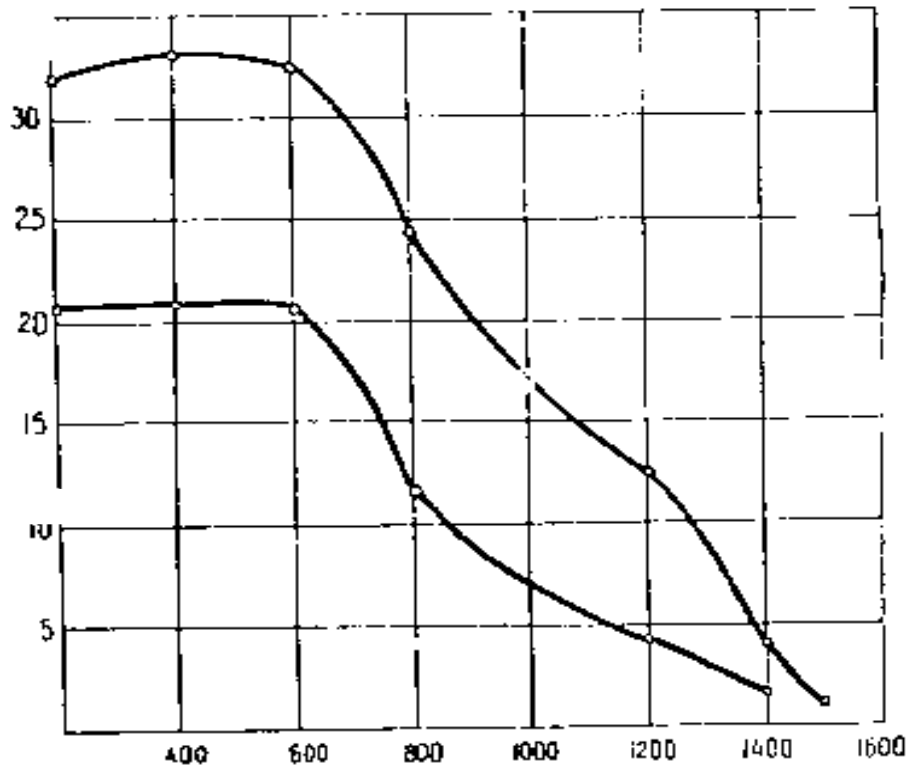
ε_{ნარ} - ნარჩენი დეფორმაცია

ε_{ზღ} - ზღვრული დეფორმაცია

ε_{დრ} - დრეკადობის დეფორმაცია

ნახაზზე - 10 ნაჩვენებია ყველაზე საშიში ტემპერატურული ინტერვალი 800°C დან 1000°C -მდე რაც დაკავშირებულია სილიკატ ლოდის დნობასთან.

სიმტკიცისა და პროპორციულობის ზღვრების
დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

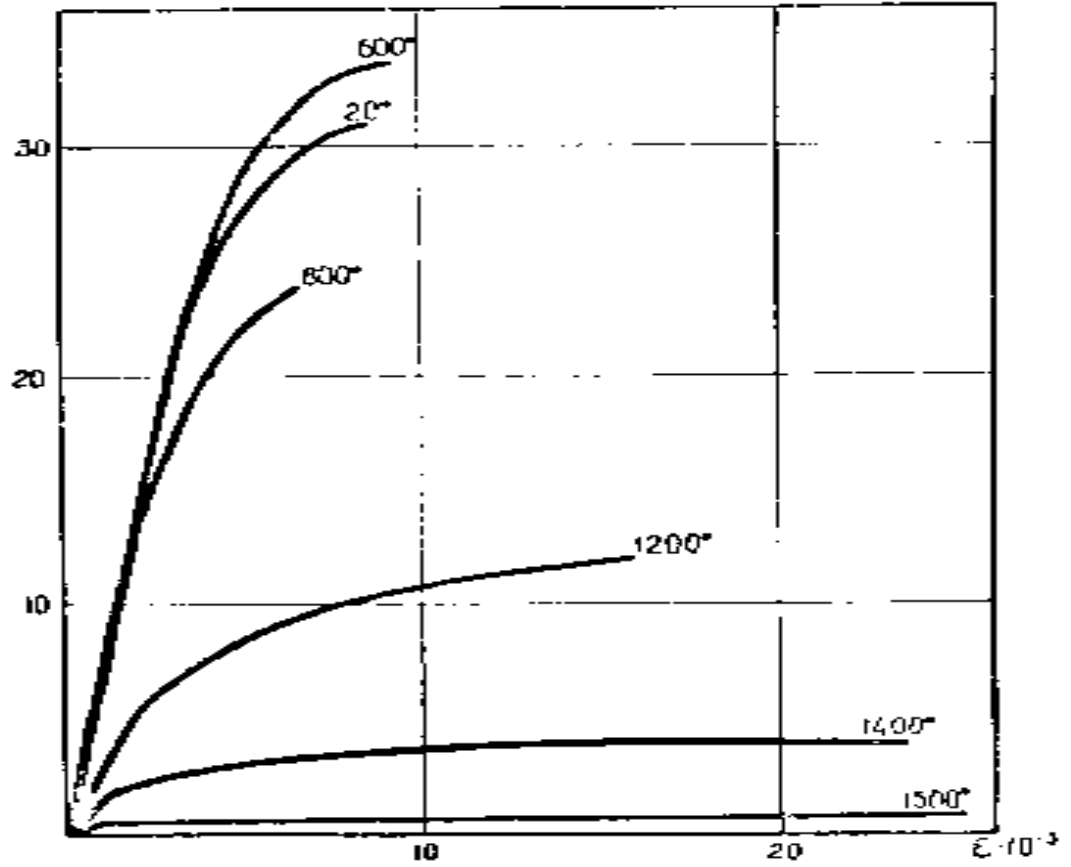


ნახ.10 - სიმტკიცის ზღვარისა- $R_{კუმ}$ (1)და
პროპორციულობის ზღვარის $\sigma_{პ}$ (2)
დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

ნახაზებზე (11,12). ნაჩვენებია სილიკატ-ნატრიუმთან კომპოზიციურ შემკვრელზე დამზადებული მაღალთიხამიწოვანი ბეტონის ნიმუშების

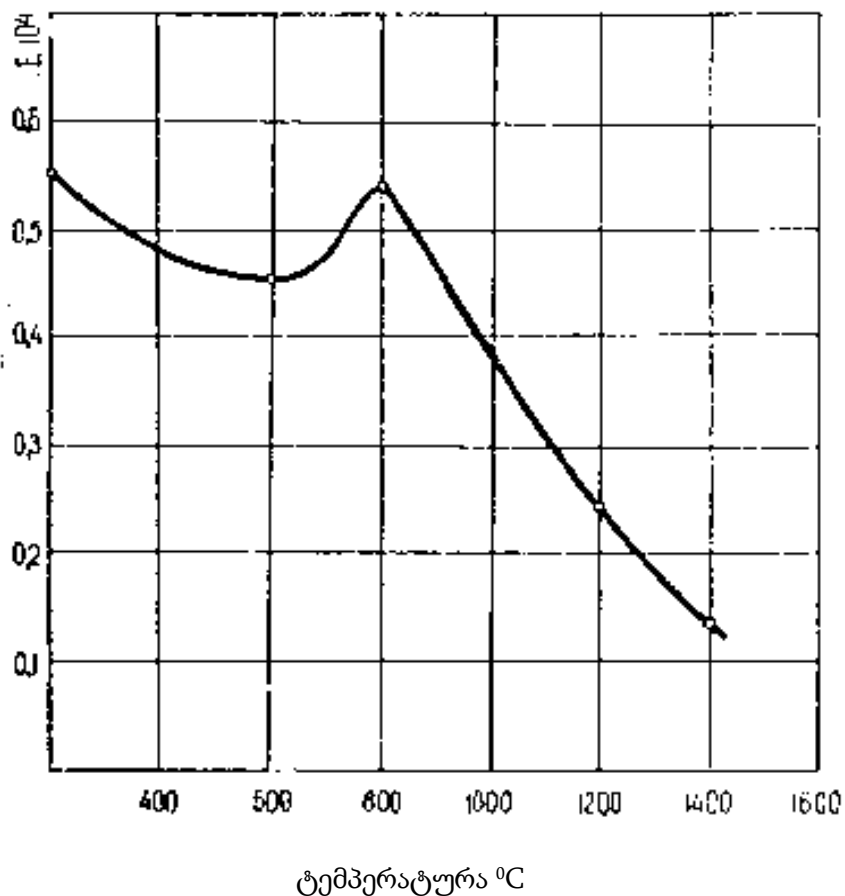
გამოცდის შედეგები, რომლითაც ირკვევა გახურებული ნიმუშების სიმტკიცისა და დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულება გახურების მოცემულ ტემპერატურებზე.

დეფორმაციული მრუდები ღერძულ კუმშვაზე გახურების სხვადასხვა ტემპერატურაზე



ნახ.11 - დეფორმაციული მრუდები ღერძულ კუმშვაზე გახურების სხვადასხვა ტემპერატურაზე (20,600,800,1200,1400,1500°C)

დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულება
ტემპერატურაზე



ნახ.12 დრეკადობის მოდულის - E დამოკიდებულება
ტემპერატურაზე.

სამშენებლო სიმტკიცე მაღალ ტემპერატურაზე ხასიათდება ტემპერატურით, რომელზეც ნაკეთობა გარკვეული ხარისხით გარბილდება. ეს უკანასკნელი გამოისახება 0,2მგპა სტატიკური დატვირთვის შემოქმედებით გამოწვეული ცეცხლგამძლე ნაკეთობის დეფორმაციის სიდიდით.

სამრეწველო ღუმელებისა და საცეცხლეებში ვერტიკალურ კედლებზე პრაქტიკულად მნიშვნელოვნად ნაკლები დატვირთვა მოდის,

ვიდრე საკონტროლო 0,2მგპა დატვირთვაა. ცეცხლგამძლე ნაკეთობების დეფორმაციის ტემპერატურას განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ეძლევა მაღალტემპერატურული ღუმელებისა და საცეცხლების განმზღვენ თაღებში მათი გამოყენების დროს. თაღის ქვედა გახურებული ნაწილი, რომელზედაც მოღის დიდი დატვირთვა გარბიღების შედეგად შეიძლება დაჯღეს, დეფორმირღეს და ჩამოინგრეს. გაღამეტხურებით და შესაბამისად გარბიღების შედეგად შეიძლება დეფორმირღეს კეღელი საკუთარი წონის გავღენით.

ცეცხლგამძლე ნაკეთობების დეფორმაცია ტემპერატურის აწევისას 0,2 მგპა დატვირთვის ქვეშ ძირითადად დამოკიდებულია ცეცხლგამძლე მასაღების ქიმიურ-მინერალოგიურ ბუნებაზე და დეფორმაციის საწყის ტემპერატურაზე. შესამჩნევ გავღენას ახღენს ასევე ბეტონის ნაკეთობის მაკროსტრუქტურაც (მარცვლოვანი შედგენიღობა, ფორების რაოღენობა და მათი ადგიღმღებარეობა)

უფრო მკვრივი ცეცხლგამძლე მასაღები დეფორმაციას იწყებენ (გარბიღების დასაწყისი, კუმშვის 4% და 40%) უფრო მაღალ ტემპერატურებზე. დეფორმაციის დასრუღების (20%-40%) ტემპერატურა უპირატესად დამოკიდებულია ქიმიურ შემადგენღობაზე და არ არის დამოკიდებული მის სტრუქტურაზე.

სუღთა კრისტაღური ნივთიერებათა გარბიღების ტემპერატურა უნდა უახლოვღებოღეს მათი ლღობის ტემპერატურას, ვინაიღან მათი პლასტიკური დეფორმაცია ლღობის ტემპერატურის მახღობღად იწყება. ამ დროს დიდი მნიშვნეღობა ეძლევა ცეცხლგამძლე მასაღის კრისტაღურ აგებუღებას. რაც უფრო მჭიდროდ არის გაღახღართული, ურთიერთმეზრდიღი და შეწებებული ძირითადი ნივთიერების კრისტაღები მით უფრო სუსტია თხევადი ფაზის მავნე ზეგავღენა და მაღაღია დეფორმაციის ტემპერატურა. (1,6,16)

ცხრიღში 18 ნაჩვენებია სხვადასხვა ცეცხლგამძლე მასაღების დეფორმაციის ტემპერატურის დამოკიდებუღება მათ ფაზურ

შემადგენლობასა და ცეცხლგამძლეობაზე. როგორც ცხრილიდან №18 ჩანს შამოტისა და მაღალთიხამიწოვან ნაკეთობებში ტემპერატურის მომატებისას კაჟმიწისა და თიხამიწის გახსნის გამო განუწყვეტლივ იზრდება თხევადი ფაზის რაოდენობა და შესაბამისად სიბლანტეც.

სხვადასხვა ცეცხლგამძლე მასალების დეფორმაციის ტემპერატურის დამოკიდებულება მათ ფაზურ შედგენილობასა და ცეცხლგამძლეობაზე

ცხრ. №18

ცეცხლგამძლე ნაკეთობები	ძირითადი ოქსიდის შემცველობა %-ში	მინის ფაზის რაოდენობა %-ში	ცეცხლგამძლეობა	დეფორმაციის ტემპერატურა		
				4% დეფორმაცია	40% დეფორმაცია	დნობის ინტერვალი
დინასის	96	10-15	1730	1660	1670	10
მაგნეზიტის	92	5-8	2300	1550	1580	30
შამოტის	40-55	50	1750	1400	1600	200
მაღალ-თიხამიწის	75 მულიტი 15 კორუნდი	10-15	1800	1550	1730	180
კორუნდის	99	0,15	2060	1900	1950	50

ამიტომ მათი დეფორმაციის ტემპერატურული ინტერვალი მნიშვნელოვნად მაღალია (50-200°C) და აქვს მდორე ხასიათი. ნაკეთობები ხშირ შემთხვევაში არ ირღვევა და იღებენ კასრისმაგვარ ფორმას.

კომპოზიციურ შემკვრელზე დამზადებული ბეტონის ფაზურ შედგენილობაზე და ცეცხლგამძლეობაზე არსებით გავლენას ახდენს შემკვრელის რაოდენობა ბეტონში.

კვლევა ჩატარდა სახელმწიფო სტანდარტის - ГОСТ-23283-78 მოთხოვნების შესაბამისად. სტანდარტის მიხედვით ცდისათვის დამზადდა შემკვრელის სხვადასხვა რაოდენობით ცილინდრული ფორმის ნიმუშები რომელთა დიამეტრი იყო - 3,6 სმ, ხოლო სიმაღლე - 5,0 სმ. ნიმუშების ნომინალური ზომებიდან გადახრა დასაშვებია $\pm 1\%$. მუფელის ღუმელის ცენტრში ნიმუში მაგრდება ღერძზე ისე, რომ მისი სიმაღლის შუა ნაწილი მოხვდეს სათვალთვალო მილის ცენტრში, რომელსაც იყენებენ ნიმუშის ტემპერატურას გასაზომად. ნიმუშის ზემოდან და ქვემოდან ღერძებს შორის თავსდება გამაძლიერებელი საფენები, რომელთა დიამეტრი-50მმ-ია, ხოლო სისქე 10მმ. ნიმუშის ზემოდან მაგრდება მექანიკური მოწყობილობა მიტვირთვისათვის და დეფორმაციის სიდიდის გასაზომად. გახურების სიჩქარე 800°C -მდე იყო წუთში 10°C , ხოლო 800°C -ზე ზემოთ წუთში 4°C . ტემპერატურას 1300°C -მდე იზომება პლატინის თერმოწყვილებითა და პირომეტრით, ხოლო 1300°C -ზე ზემოთ თერმომეტრით. ნიმუშის ტემპერატურა და დეფორმაცია იზომება ყოველ 10 წუთში. გამოცდა მიმდინარეობს მანამ, სანამ ნიმუშის დეფორმაცია არ მიაღწევს მისი პირვანდელი სიმაღლის 40%, ან არ დაირღვევა ნიმუშის მთლიანობა.

დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურისა და 0,2 მგპა დატვირთვის ქვეშ ბეტონის რღვევის დამოკიდებულება შემკვრელის რაოდენობაზე მოცემულია ცხრილში №19

კომპოზიციური შემკვრელის რაოდენობის გავლენა მხურვალმედეგი ბეტონის
დეფორმაციის ტემპერატურაზე 0,2მგპა დატვირთვის ქვეშ

ცხრ.№19

შემკვრელის რაოდენობა	დეფორმაციის ტემპერატურა °C		
	საწყისი დეფორმაცია	დეფორმაცია 4%	დეფორმაცია 40%
10	1280	1335	1340
15	1400	1480	1500
20	1520	1560	1580
25	1520	1560	1560
30	1460	1480	1480
40	1320	1340	1350

როგორც ცხრილი 2.10-ის მონაცემებიდან ჩანს ბეტონში, როდესაც შემკვრელის ოპტიმალური რაოდენობაა 20%, დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა და 4%-იანი დეფორმაციის ტემპერატურაა 1560°C, ხოლო 40%-იანი დეფორმაციისა 1580°C. 4%-იანი დეფორმაციის ტემპერატურა ყველა განხილულ შემთხვევაში მცირედად განსხვავდება ნაკეთობის 40%-იანი დეფორმაციის ტემპერატურისაგან, რაც დამახასიათებელია ხშირ შემთხვევაში ბეტონებისათვის. შემკვრელის რაოდენობის გაზრდით ბეტონში მცირდება როგორც დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა, ასევე დეფორმაციის ტემპერატურული ინტერვალი. ეს ადასტურებს იმას, რომ შემკვრელის რაოდენობის გაზრდით იზრდება ბეტონში ისეთი ნაერთების რაოდენობა, რომელთაც აქვთ დაბალი ლღობის ტემპერატურა და რომლებიც ზრდიან თხევადი ფაზის რაოდენობას მარცვლების ზედაპირზე, ეს კი ხელს უწყობს ნაკეთობების რღვევას.

როდესაც ბეტონში შემკვრელის რაოდენობა 20%-ზე ნაკლებია ბეტონი ხასიათდება არასრულყოფილი სტრუქტურით და დაბალი სიმტკიცით.

2.13. თერმული გაფართოების ხაზობრივი კოეფიციენტის განსაზღვრა

ცეცხლგამძლე ნაკეთობები გახურების შედეგად ფართოვდებიან, ხოლო გაცივების შემდეგ კი კვლავ იძენენ საწყის მოცულობას. თერმულ გაფართოებაზე დამოკიდებული ცეცხლგამძლე მასალის სწრაფი გახურებისა და გაცივების დროს წარმოქმნილი დაძაბულობები, ამიტომ იგი დიდ გავლენას ახდენს ნაკეთობათა თერმომედეგობაზე.

თერმული გაფართოება დამოკიდებულია მოცემული მასალის მხოლოდ ქიმიურ-მინერალოგიურ შედგენილობაზე და ხასიათდება შემდეგი მაჩვენებლებით:

- 1) თერმული გაფართოების საშუალო კოეფიციენტი:

$$\alpha_{საშ} = \frac{L_t - L_{t_0}}{L_{t_0}(t - t_0)} \quad (7)$$

$$\beta_{საშ} = \frac{V_t - V_{t_0}}{V_{t_0}(t - t_0)} \quad (8)$$

სადაც: L_{t_0} და V_{t_0} - ნიმუშის საწყისი სიგრძე და მოცულობაა ოთახის ტემპერატურაზე, ხოლო L_t და V_t - ნიმუშის სიგრძე და მოცულობაა გახურების შემდეგ

- 2) თერმული გაფართოების პროცენტი

$$\frac{L_t - L_{t_0}}{L_{t_0}} \cdot 100\% \quad (9)$$

სადაც: Lt_0 - ნიმუშის სიგრძეა 0°C -ზე ანოთახის ტემპერატურაზე
 Lt - ნიმუშის სიგრძე ცდის ტემპერატურაზე

სხეულის მოცულობითი გაფართოება - β 1°C -ზე სამჯერ მეტია ხაზობრივ გაფართოებაზე $\beta = 3 \cdot a_{საშ}$

თერმული ხაზობრივი გაფართოების პროცენტული სიდიდე 0°C -დან მოცემული ტემპერატურამდე ინტერვალში გამოითვლება ასე:

$$a_{საშ} \cdot t \cdot 100\% \quad (10)$$

ცეცხლგამძლე მასალების თვისებების დასახასიათებლად მნიშვნელოვანია არამარტო საშუალო თერმული გაფართოება, არამედ, გაფართოების პროცესის თანაბარზომიერება ცალკეულ ტემპერატურულ უბნებზე.

თერმული გაფართოების კოეფიციენტი დამოკიდებულია ატომებს შორის კავშირის ენერგიებზე: მასალებს რომლებსაც აქვთ ძლიერი ატომური კავშირები მათ ახასიათებთ უფრო დაბალი თერმული გაფართოება. მაგალითად რაც უფრო მაღალია ჟანგეულების დნობის ტემპერატურა, მით უფრო მცირეა მათი თერმული გაფართოების კოეფიციენტი. უფრო რთული სტრუქტურის მქონე მასალებს, როგორც არის მაგალითად მხურვალმედეგი ბეტონი მათთვის ასეთ კანონზომიერებას ახასიათებს გადახრები. უმეტესი მასალების ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი უწყვეტად იზრდება ტემპერატურის გაზრდით. (1,6,16)

ქვემოთ ცხრილში №20 ნაჩვენებია სხვადასხვა ტიპის ცეცხლგამძლე მასალების თერმული ხაზობრივი გაფართოების სიდიდეები.

ცეცხლგამძლე მასალების თერმული გაფართოების ხაზობრივი
სიდიდეები.

ცხრ. №20

N	მასალებისდასახელება	$\alpha_{საშ} 10^{-6}C$
1	შამოტი	4,5-6
2	მულიტი	5,5-5, 8
3	მულიტოკორუნდი	7-7,5
4	კორუნდი	8-8,5
5	მაგნეზიტი	14-15
6	ქრომიტი	9-11
7	დინასი	11,5-13
8	კვარცის მინა	0,4-10

თერმული გაფართოების ხაზობრივი კოეფიციენტის საშუალო სიდიდე განისაზღვრა 80მმ სიგრძის და 20მმ დიამეტრის მქონე ნიმუშების გახურებისას საექსპლუატაციო ტემპერატურამდე სხვადასხვა ტემპერატურულ უბნებზე მათი პირველი და მეორე გახურების მონაცემების საფუძველზე. გახურების სიჩქარე შეადგენდა $250^{\circ}-300^{\circ}C/სთ$ -ში თერმული გაფართოების ხაზობრივი კოეფიციენტის (7) ფორმულით. გამოთვლების საფუძველზე მივიღეთ, რომ პირველი გახურებისას თერმული გაფართოების ხაზობრივი კოეფიციენტი $\alpha_{საშ}=9,3 \cdot 10^{-6}C$, ხოლო განმეორებითი გახურებისას $\alpha_{საშ}=6,2 \cdot 10^{-6}C$.

თავი 3. საწარმოს ტექნოლოგიური სქემა

მხურვალმედეგი ბეტონის ნაკეთობების დამზადების ტექნოლოგია მოიცავს შემდეგ ოპერაციებს:

1. ნედლეული მასალების მომზადება:
 - დამსხვრევა;
 - შემკვრელის ყველა კომპონენტის ერთობლივი დაფქვა ხვედრითი ზედაპირის მისაღებად $S_{\text{ხვ}} = 3000 \pm 10 \text{ სმ}^2/\text{გ}$;
 - შემსვების გაცრა ფრაქციების მიხედვით:
5-3მმ; 1,25-1,0მმ; 0,315მმ და ნაკლები;
2. ნედლეული მასალების დოზირება წონითი დოზატორით;
3. ბეტონის ნარევის მომზადება;
4. ბეტონის ნარევის დაყალიბება ვიბრირებით მიტვირთვისას;
5. განყალიბებული ნაკეთობების დაბალტემპერატურული თბოდამუშავება 200°C -მდე.

მხურვალმედეგი ბეტონის ნაკეთობების წარმოების ტექნოლოგიური სქემა წარმოდგენილია ნახაზზე 13. ბეტონის ნარევის შედგენილობა პროცენტებში მასების მიხედვით და მასალების ხარჯი ერთი ტონა ბეტონისათვის მოცემულია ცხრილში №2

მასალების ხარჯი ერთი ტონა ბეტონის ნარევის მოსამზადებლად

ცხრილი №20

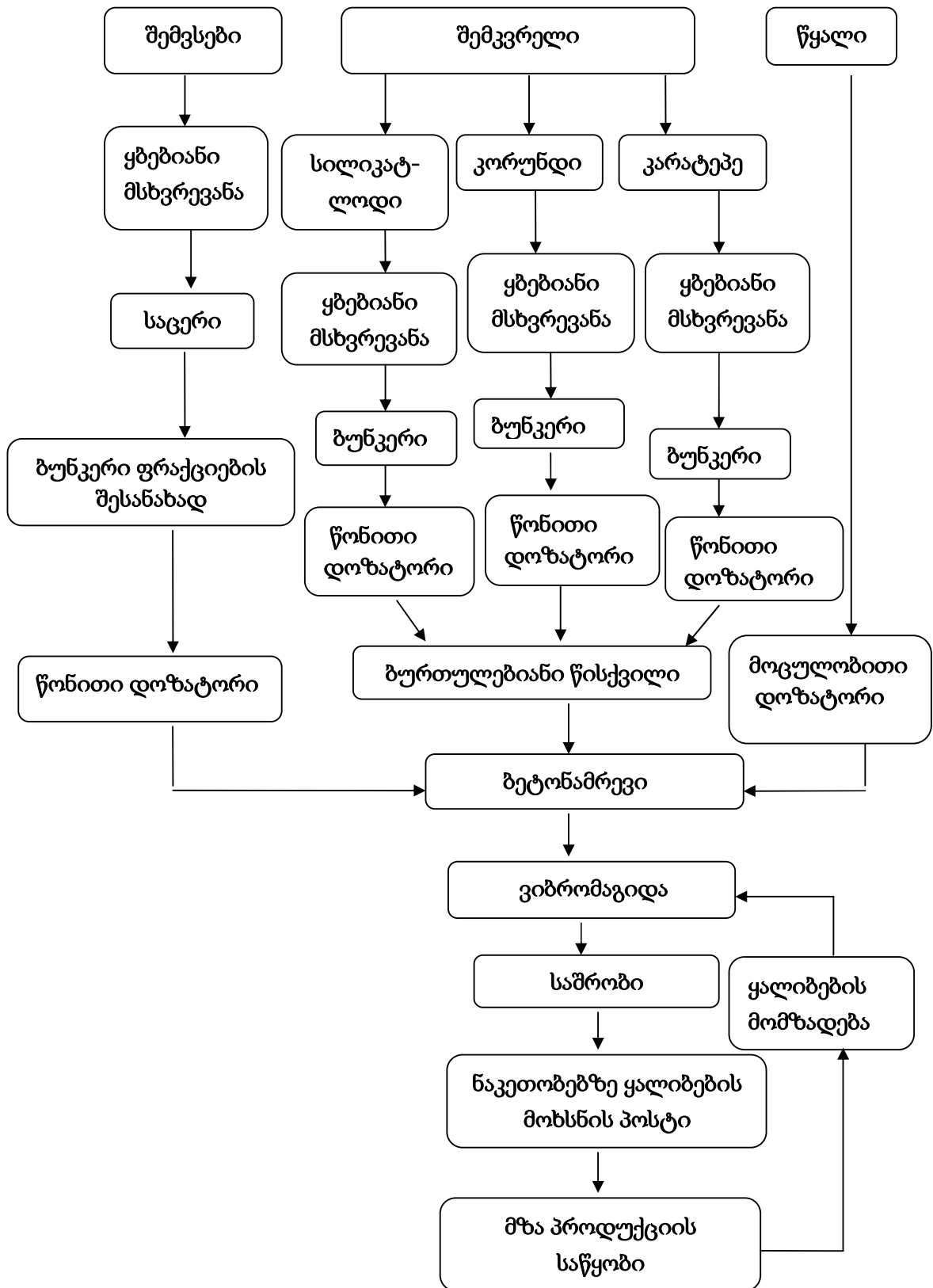
მასალები	კომპონენტების შემცველობა	
	%	მასა, კგ
შემვსები ფრაქციების მიხედვით მმ		
კარატეპე (ვულკანური წიდა)	15	150
მსხვილი ფრაქცია - 5-3მმ	40	400
წვრილი ფრაქცია -0,315-0,16		
ელექტროკორუნდი	25	250
საშუალო ფრაქცია -1,25-1მმ	20	
შემკვრელი	3	30
სილიკატ-ლოდი	5	50
კორუნდი	12	120
კარატეპე		
სულ:	100%	
წყალი 100% ზემოთ	6,5	65
სულ:		1065კგ

ბეტონის ნარევის მშრალი კომპონენტები მასითი დოზირების შემდეგ გადადის ბეტონამრევში, არევა ხორციელდება განსაზღვრული რეჟიმის შესაბამისად, რომელიც შედგება შემდეგი ოპერაციებისაგან :

- წვრილი ფრაქციისა და შემკვრელის არევა 2-3წთ.
- შემვსების დარჩენილი ნაწილის შერევა არევა 2 წთ.

საწარმოს ტექნოლოგიური სქემა

ნახ.13



3.1. ძირითადი დასკვნები:

1. სილიკატ-ნატრიუმის კომპოზიციურ შემკვრელზე მიღებულია ახალი სახის მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონი, რომლის გამოყენების ტემპერატურაა 1950°C;
2. მიღებულია შემკვრელი სილიკატ-ლოდის, ვულკანური წიდის-კარატეპესა და კორუნდის საფუძველზე, შემდეგი პროცენტული თანაფარდობებით: სილიკატ-ლოდი:კორუნდი:კარატეპე - 15:25:60. შემკვრელის თერმომექანიკური თვისებები დამოკიდებულია შემდეგ ტექნოლოგიურ ფაქტორებზე: კომპონენტების პროცენტულ შედგენილობაზე, დისპერსულობის ხარისხზე, წყალ/შემკვრელის თანაფარდობაზე და შრობის რეჟიმზე. მიღებული შემკვრელის თვისებების მაჩვენებლებია: სიმტკიცე შრობის შემდეგ - 42-44-მგპა, სიმტკიცე მაღალ ტემპერატურაზე გამოწვის შემდეგ - 40-42-მგპა, ცეცხლგამძლეობა კი - 1850°C. მიღებული შემკვრელი საშუალებას იძლევა, რომ მის საფუძველზე მიღებული იქნას მაღალტემპერატურული მხურვალმედეგი ბეტონი;
3. დადგენილია, რომ სილიკატ-ლოდის ხსნადობის ინტენსიურობაზე გავლენას ახდენს მისი დისპერსულობის ხარისხი და $H_2O:Na_2SiO_3$ თანაფარდობა. მოცემულ შემთხვევაში შემკვრელის მაღალი აქტივობა შეიმჩნევა, როდესაც კომპოზიტის შემადგენელი კომპონენტების ხვედრითი ზედაპირი $S_{\Sigma}=3000$ სმ²/გ, ხოლო „წყალი/შემკვრელი“-ის თანაფარდობა არის 0,2;
4. ფიზიკურ-ქიმიური კვლევების შედეგებმა აჩვენა, რომ კომპოზიტში შემავალი კომპონენტები უზრუნველყოფენ, მაღალი ცეცხლგამძლე ნაერთების წარმოქმნას მაღალი ტემპერატურის მოქმედებისას. ამ ტემპერატურებზე მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების შედეგად წარმოიქმნება ისეთი ცეცხლგამძლე ნაერთები როგორებიცაა: კალციუმის, მაგნიუმის სილიკატები და მულიტი.

5. დადგენილია დამოკიდებულება შემვსების გრანულომეტრული შედგენილობისა და ბეტონის ისეთ თვისებებს შორის, როგორცაა სიმკვრივე, სიმტკიცე, თერმომდგრადობა და სხვა. შეირჩა შემვსებების გრანულომეტრიული შედგენილობა - მსხვილი ფრაქცია 3-5 მმ; საშუალო ფრაქცია 1-1,25; წვრილი ფრაქცია 0,14-0,315მმ;
6. ბეტონის სიმტკიცე და მაღალი თერმომექანიკური მაჩვენებლებლები მიიღწევა, როდესაც შემკვრელი ბეტონში არის 20%. ბეტონის სიმტკიცესა და სიმკვრივეზე გავლენას ახდენს არევის რეჟიმი და დაყალიბების მეთოდი. საუკეთესო მაჩვენებლები შეესაბამება ბეტონის ნარევს, როდესაც წყალ/შემკვრელის თანაფარდობაა - 0,32, ხოლო ნიმუშების დაყალიბება მოხდა შემდეგი პარამეტრებით: რხევის სიხშირე - $f=50\text{ჰც}$, რხევის ამპლიტუდა $A=0,25\text{მმ}$, $P=0,0015\text{მგპა}$ მიტვირთვა 20 წამის თავისუფალი ვიბრირების შემდეგ. ვიბრირების მთლიანი დრო $t=120\text{წმ}$;
7. დადგენილია, რომ შემკვრელისა და შემვსების ერთნაირი ქიმიური შედგენილობა განაპირობებს მაღალი ტემპერატურების ცვლილებებისას საკონტაქტო ფენებში შინაგანი დამაბულობები შემცირებას, რაც გაზრდის ნაკეთობის თერმომდეგობას. ბეტონის მცირეკომპონენტთანობა კი ამარტივებს ტექნოლოგიას და ამცირებს ნაკეთობის თვითღირებულებას.

ლიტერატურა:

1. ბუდნიკოვი პ.პ.; ბერეჟნოი ა.ს; ბულავინი ი.ა.; კალიოგა გ.პ.; კუკოლევი გ.ვ.;პოლუბოიარინოვი დ.ნ. - კერამიკისა და ცეცხლგამძლეების ტექნოლოგია -„განათლება“ თბილისი 1974წ.
2. Айлер Р. – Химия кремнезема /пер. с англ- М. Мир 1982 г.-416 стр/
3. Айлер Ю.Н., Маркова Е.В. Плановский Ю.В. – Планирование эксперимента при пойске оптимальных решений Москвау Наука 1971 г.-/286 стр/
4. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян.-Термодинамика силикатов Москва. Стройздат -1972 г. /стр. 351/;
5. Баженов Ю.М. –Технология бетона –Москва, АСВ 2007г, /528 стр/;
6. Будников П. П. Полубояринова Д.Н – Химическая технология керамики и огнеупоров. Москва.1972г
7. Буров В.Ю. – Жаростойкие бетоны для футеровки зоны спекания цементных вращающихся печей – Авторефер. Москва, АСВ 1994г, /31 стр/;
8. Воицкий С.С. – Курс коллоидной химий Москва. Химия -1975 г. /стр. 511/;
9. Глуховский В.Д. – Грунтосиликаты. Киев. Госстройиздат УССР -1959 г. /стр. 126/;
10. Глуховский В.Д. – Щелочные щелочно-земельные гидравлические вяжущие и бетоны- Высшая школа 1979 г. /стр. 225/;
11. Гогоци Г.А.; Гдушевский Я.Л. – Классификация огнеупоров по характеру хрупкости и оценка их термостойкости – Огнеупоры 1978г. №4 /стр. 48-52/;
12. Горлов Ю.П.; Меркин А.П.; Зейфман и др – Свойство и испытание огнеупорных бетонов новых типов – Огнеупоры 1981г. №4 /стр. 47-48/;
13. Горлов Ю.П.; Меркин А.П.; Устенко – Технология теплоизоляционных материалов Москва. Стройздат -1980 г. /стр. 390/;

14. Горлов Ю.П. – Лабораторный практикум по технологий тепло-изоляционных материалов - Москва Высшая школа -1982 г. /стр. 236/;
15. Горлов Ю.П.; Меркин А.П.; Буров В.Ю. и др – А.сб. №1102783 Бетонная смесь – Б.И.1984г. №26/стр. 57/;
16. Горлов Ю.П.; Меркин А.П.; Зейфман М.И.; Тотурбиев Б.Д. – Жаростойкие бетоны на основе из природных и техногенных стекол. 1992г.
17. Горчаков Г.И. – Строительные материалы. Москва Высшая школа 1981г. /стр. 415/;
18. Дантбеков А.М. Мелкозернистый жаростойкий, цирконовый бетон на вулканическом стекле. Автореферат канд. диссертаций. Москва 1983г. /стр. 20/;
19. Деменков Д.Я., Чеченев В.А., Тотурбиев Б.Д. и др. Модернизация методических печей ЛНЦ-1700 – Металлургия, 1985г. №3 /стр. 31-33/;
20. Драгоман Н; Камерман; Бардеян Д. – Футировка из огнеупорного бетона печей для обжига пирита – Огнеупоры 1977г. №1 /стр. 50-61/;
21. Жуков А.В. Тенденция развития производство огнеупоров за рубежом- реферат- Огнеупоры №7 1978 г / стр.54-59/
22. Инструкция по технологий приготовления и применение жаростойких бетонов – СН. -78 Москва Госстрой СССР -1978г. /стр. 75/;
23. Икамура Я. Огнеупоры и их применение (перевод с японского) Москва.1982 г И / стр.290/
24. Каинарский И.С. –Процессы технологий огнеупоров. Москва. Металлургия 1969 г И / стр.350/
25. Кашеев И.В. – Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок – Справочное издание: В двух книгах. Кн. 1 Производство огнеупоров Москва Интернет Инжинеринг 2000г /663 стр/

26. Кащеев И.В ; Грищенко Е.Е.; – Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок – Справочное издание: В двух книгах. Кн. 2 Служба огнеупоров Москва Интернет Инжинеринг 2002г /656 стр/
27. Кащеев И.В – Огнеупоры : материалы, изделия, свойства и применение – Каталог-справочник издание: В двух книгах. Кн. 1 Теплоэнергетик 2003г /336 стр./
28. Кащеев И.В – Огнеупоры : материалы, изделия, свойства и применение – Каталог-справочник издание: В двух книгах. Кн. 2 Теплоэнергетик 2003г /320 стр./
29. Комиссаренко Б.С.; Мизурьев С.А.; Жигулина А.Ю. – Модифицированные жидкостекольные системы как основа для жаростойкого заполнителя Строительные материалы №10 2001г /27-28 стр./
30. Конструкций футировок и индустриальные методы тепловых агрегатов. Материалы всесоюзной научно-технической конеренций Днепропетровск 1984г. 11-13 сентября
31. Корнеев В.И., Данилов В. В. - Растворимое и жидкое стекло – Стройиздат, 1996 г./25 стр./
32. Мантуров З.А. – Исследование дилатометрических и основных теплофизических свойств безобжигового жаростойкого теплоизоляционного материала- Вестник ДГТУ №10 2010г /50-58 стр./
33. Некрасов, К.Д.,Тарасова А.П. - Жароупорный химический стойкий бетон на жидком стекле. Москва- Госхимиздат 1959г ./150-стр./
34. Некрасов, К.Д.,Тарасова А.П. - Жаростойкие бетоны на жидком стекле с различными добавками. В сборнике Жаростойкие бетоны. Москва- Стройиздат 1964г ./2-22 стр./
35. Огнеупорный бетон армированный волокнами из коррозионной стали Черметинформация. Сер.-Новости черной металургий за рубежом Москва.1977 г №64-И / стр.20-21/

36. Очагова И.Г. Самченко В.И. Состояние и перспективы развития огнеупорной промышленности США. Япония. ФРГ. - реферат-Огнеупоры №7 1984 г / стр.56-61/
37. Пащенко А.А., Сербин В.П., Старчевская Е.А. – Вяжущие материалы Киев. Высшая школа 1975 г / стр.420/
38. Пивинский Ю.Е. – Неформованные огнеупоры справочное издание В двух книгах. Кн. 1 Общие вопросы технологий Москва Теплотехник,2004г /448 стр./
39. Писаренко Л.П., Поспелова К.А., Яковлева А.Г. – Курс коллоидной химий. Москва Высшая школа –1989г. /стр. 77-130/;
40. Стрелов К.К. – Теоретические основы технологий огнеупорных материалов Москва Metallurgia –1985г. /стр. 480/;
41. Стрелов К.К. – Структура и свойства огнеупоров. Москва Metallurgia – 1982г. /стр. 208/;
42. Тарасова А .П. – Растворимое стекло как вяжущее жаростойкого бетона – Бетон и железобетон. 1972г №2 -/12-15 стр/
43. Тарасова А .П. – Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе –Москва.1985г
44. Тотурбиев Б.Д., Горлов Ю.П., Ахмедханова А.Э. и др. А.св.№1102785 бетонная смесь Б.И. 1984г. №26. /57 стр/
45. Тотурбиев А.Б. – Жаростойкое композиционное вяжущее на полисиликатах /Бетон и железобетон 2012 г. N3 -/5-8 стр/
46. Тотурбиев Б. Д. – Строительные материалы на основе силикат-натриевых Композиций. – Москва Стройздат -1988 г.-/208 стр./
47. Тотурбиев Б.Д.; Порсуков А.А. – Корундовый жаростойкий бетон с повышенными эксплуатационными свойствами –Бетон и железобетон №4 2006г, /13-15 стр/;

48. Тотурбиев Б.Д.; Порсуков А.А. – Жаростойкое композиционное вяжущее
–Бетон и железобетон №3 2006г, /12-16 стр/;
49. Хежев Т.А.; Хежев Х.А. – Эффективные огнезащитные составы на пористых заполнителях – Вестник ВолГАСУ Стр-во и архитю 2010 Вып 17 (36) /70-73 стр/;
50. Хлыстов А.И.; Коренькова С.Ф.; Шеина Т.В. – Применение жаростойкого бетона на основе силикатно-натриевого вяжущего –Бетон и железобетон №9 1992г, /17-19 стр/;
51. Хлыстов А.И.; Божко А.В.; Соколова С.В.; Рязов З.Т. – Повышение эффективности и улучшение качества футеровочных конструкций из жаростойкого бетона –Огнеупоры и техническая керамика №3 2004г, /26-31 стр/;
52. Banerjee S. - Monolithic refractories. Singapoore-New Jersey-London-Hong-Kong: World Scentific Publishing Co Pte Ltd. 1998. / 311 p/
53. Nahashi H Tsuno M. Hayaishi M. - Used refractories recycle technology in melting shop // Taikabutsu- Refractories. 2000. V 52 No 4, 178-184.
54. Nishkawa A. - Technology of monolithic refracoties Plibrico Japan Comp Ltd Tokyo. 1996. 598 p
55. Ruelle 1. Richez G. - Refractory Supplier plays a key roll in fumace construction // 7 Glass 2000 V 77 No. 5 Pp 144-145.
56. Jshikawa M. Taoka K. - Energy and Resource Saving and Dusty Environment in Monolithic Refractones // Taikabutsu-refractories 2000 V 52 No. 4 Pp.234-239.
57. Die fouerfest –ihdustrie – Contin.Stohlmarkt,1980 N5 /s.269-277/
58. Petzold A. Ulbricht J. Feuerbeton und betonartige feuerfeste Masse und Materialien. Deutcher Veriag fur Grundstoffindustrie. Leipzig-Stuttgart. 1994. 322p
59. Henglein F. Reiter. Untersuchungen uber Kolkgebungene dampfgehörtete Kunstesteine. Beinheft TIZ, 1955 s. 48