

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ზურაბ ავალიშვილი

გაუმჯობესებული ალმასკომპოზიციური მასალის  
მიღება ნანოტექნოლოგიების გამოყენებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი  
2016 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის მასალათმცოდნეობის საგანმანათლებლო პროგრამაში

ხელმოწერები:

სრული პროფესორი ნ.ლოლაძე -----

ასოც. პროფესორი მ.წეროძე -----

რეცენზენტი: -----

რეცენზენტი: -----

დაცვა შედგება ----- წლის “-----“ -----, ----- საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისმართი: 0175, თბილისი, მ.კოსტავას 68.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება თემის აქტუალობა

ნებისმიერი მასალის თვისებების კომპლექსს უმეტეს წილად განაპირობებს მისი მიღების ტექნოლოგიური პარამეტრები. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება მიღების პირობებს მრავალკომპონენტური კომპოზიციური მასალების ფორმირებისას. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ტექნოლოგიური პარამეტრების ზეგავლენა ისეთი მასალის მიღებისას, რომელსაც განეკუთნება ალმასკომპოზიციური და სხვ. ზესალი მასალები. ისეთი პარამეტრების ცვალებადობა, როგორცაა საწყისი ფხვნილოვანი კომპონენტების მარცვლოვანება, მარცვლების ფორმა და გეომეტრია, პრესვადობა და შესაბამისად პლასტიფიკატორების გამოყენების აუცილებლობა, შეცხობის წნევის და ტემპერატურის მნიშვნელობები, შეცხობის გარემო და სხვა მთლიანად განაპირობებენ მიღებული მასალის ხარისხს. უმეტეს შემთხვევაში, ალმასი გამოიყენება ალმასკომპოზიტში, როგორც კომპოზიტის შემადგენელი ძირითადი კომპონენტი.

ყველა წაყენებული მოთხოვნის ერთობლიობის მქონე მასალის შექმნა თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების გლობალურ ამოცანას წარმოადგენს. დასმული პრობლემის გადაწყვეტა ხორციელდება ახალი შედგენილობების და ბუნების მქონე მასალებისა და პროგრესული ტექნოლოგიების გამოყენებით.

ალმასური დამუშავების თეორიიდან და პრაქტიკიდან ცნობილია, რომ ამჟამად მაღალი ხარისხის და მსხვილმარცვლოვანი ალმასური კრისტალების –რომლებიც არმირებული არიან ძვირადღირებული ალმასკომპოზიტები, ჭრის პოტენციალური შესაძლებლობები ძალიან დაბალ დონეზე (10-20%-ით) არის გამოყენებული. დანარჩენი კრისტალების მასა ალმასური დამუშავების პროცესში ისე ვარდება კომპოზიტის ლითონური მატრიციდან და გადადის შლამში, რომ ვერ (არ) ასრულებს სასარგებლო სამუშაოს. ამიტომაც, ასეთი კატეგორიის ალმასკომპოზიციური მასალის მუშაობის ექსპლუატაციური მაჩვენებლის გაუმჯობესება ძალიან მნიშვნელოვანია და დიდ ეკონომიურ ეფექტთანაა დაკავშირებული.

ალმასკომპოზიტის მუშაობის ექსპლუატაციურ მაჩვენებლებს უპირველეს ყოვლისა განსაზღვრავენ ალმასკომპოზიტის შემკვრელის შემადგენლობები. მიიმე პირობებში სამუშაოდ გათვალისწინებული ალმასების შემკვრელად ძირითადად ლითონური ან ლითონ-კერამიკული სისტემები გამოიყენება. შემკვრელის კონცენტრაცია ამ შემთხვევაში არის არანაკლებ 50%. მოხმარების ექსტრემალური პირობების გამო, ამ ტიპის შემკვრელებს შესაბამისად წაეყენებათ მთელი რიგი მკაცრი მოთხოვნები.

შემკვრელის დანიშნულებაა ალმასური კრისტალების დაჭერა. შემკვრელი ალმასების კრისტალების ხარისხთან და კონცენტრაციასთან ერთად ალმასური ინსტრუმენტის ვარგისიანობის განმსაზღვრელია. შემკვრელის ხარისხი განსაზღვრავს ალმასის მოხმარების პოტენციალს. შემკვრელის მუშა უნარი ხასიათდება ორი ძირითადი თვისებით: შემკვრელის მიერ მარცვლების დაჭერის სიმტკიცით (ალმასდაჭერის უნარი) და შემკვრელის ცვეთამედეგობით. ალმასდაჭერის უნარი განისაზღვრება მარცვლების მექანიკური ჩაჭერის სიმტკიცით და ალმასის შემკვრელთან ქიმიური კავშირით. ალმასდაჭერის უნარი დამოკიდებულია შემკვრელის მექანიკურ თვისებებზე და შემკვრელის ადგეზიის უნარზე ალმასთან.

მსოფლიო პრაქტიკაში ამ კლასის ალმასკომპოზიტების მიღებისას ძირითადად გამოიყენება ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდი - რაც გულისხმობს საწყისი კაზმის (ალმასის მარცვლები + განსაზღვრული შემადგენლობის მეტალის ფხვნილთა ნარევი) ცივად დაპირესვას შესაბამისი ფორმის მისაღებად და შემდგომ მის შეცხობას განსაზღვრულ ტემპერატურაზე სპეც. ღუმელში აღმდგენ ან ინერტულ არეში ან ვაკუუმში.

მოწინავე ქვეყნებში წარმოებებში ძირითადად გამოიყენება შედარებით მაღალტექნოლოგიური ცხელი პრესვის მეთოდი. ოპერაცია ხორციელდება ძირითადად გრაფიტის პრეს-ფორმაში (აღმდგენი არე). ამ შემთხვევაში ზღვრული შესაძლებელი თერმოდინამიკური პარამეტრებია ტემპერატურა 850-900°C (ალმასის თერმომედეგობის ზღვარი) წნევა 400-500კგ/სმ<sup>2</sup> (სპეც.გრაფიტების სიმტკიცის ზღვარი). პროცესის ტემპერატურული შეზღუდვა აუცილებელს ხდის კომპოზიტის შემადგენლობაში დიდი რაოდენობით

გამოვიყენოთ დაბალტემპერატურული (Cu, Sn, Zn, Al და სხვ.) მეტალები რომელნიც ხასიათდებიან დაბალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით და ცუდი ადგილობრივობით ნახშირბადის – ალმასის მიმართ. მიტომ, კვლევა იმ მიმართულებით, რომ შემკვრელებად გამოყენებული იქნას გაუმჯობესებული მაჩვენებლების მქონე სისტემები წარმოადგენს მეცნიერებისა და ტექნოლოგიის აქტუალურ ამოცანას.

### თემის სიახლე და მიზანი

ალმასური ინსტრუმენტის ლითონშემკვრელს მოეთხოვება ძალიან მაღალი ცვეთამდეგობა. ცვეთამდეგობის განმსაზღვრელ ერთერთ ძირითად პარამეტრს (სხვა მახასიათებლებთან ერთად) წარმოადგენს მასალის სისაღე. უკვე არსებული და აპრობირებული მაღალი სისაღის მქონე შემაკავშირებლები ძირითადად წარმოადგენენ ლითონკერამიკული ბუნების შემაკავშირებლებს – Co+WC სისტემას. ასეთი ტიპის კომპოზიტებში WC-ს წილი შეადგენს 80 –90%-ს რაც მნიშვნელოვნად აძვირებს პროდუქციას (WC-ს სიძვირის გამო) და გარდა ამისა, მოითხოვს შეცხოვის პროცესის მაღალ ტემპერატურაზე (1100 – 1200<sup>0</sup>C) წარმართვას. გარდა ამისა, მოითხოვს ან მაღალი ხარისხის და ღირებულების ბუნებრივი ალმასების გამოყენებას, ან უმაღლესი მარკის მაღალი თერმომდეგობის მქონე მსხვილი ფრაქციის ხელოვნური ალმასების კრისტალების მოხმარებას. ასეთი მახასიათებლების ალმასები დეფიციტური და შესაბამისად ძვირადღირებულები არიან. ეს გარემოება გარკვეულწილად აფერხებს ლითონკერამიკული შემკვრელების ბაზაზე დამზადებული ალმასური ინსტრუმენტების ფართო გამოყენებას მათ შორის საამშენებლო ინდუსტრიაში სამუშაოში შემოთავაზებულია ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში გამოსაყენებელი ალმასკომპოზიტების ექსპლუატაციური მაჩვენებლების გაუმჯობესება და მათი ალმასურ ინსტრუმენტში ეფექტური გამოყენება.

მიზნის მიღწევა განხორციელდა ახალი ტექნოლოგიური პროცესის გამოყენებით და ახალი, არალითონკერამიკული შემკვრელის მოძიებით.

ექსპლუატაციური მახასიათებლებისა და ეკონომიური მაჩვენებლების გასაზრდელად შეიქმნა და აპრობირებულ იქნა ახალი შემადგენლობის ლითონური შემკვრელები ალმასური ინსტრუმენტისათვის.

დაგეგმილი თვისებების მატარებელი შემკვრელის მიღებაში სიახლე მდგომარეობს იმაში, რომ, ლითონური კომპონენტები ისეა შეჩეული, რომ შეცხოებისას (P,T, ) პარამეტრების ვარირებით ადგილი აქვს ინტენსიურ ფაზწარმოქმნის პროცესს სისაღის მომატებით, რაც თავის მხრივ განაპირობებს ლითონკერამიკული შემკვრელისაგან განსხვავებით ბუნებით ერთგვაროვანი მასალის მიღებას ნაკლები საკონტაქტო გამყოფი ზედაპირებით, ასევე იძლევა ფიზიკურ-ქიმიური და მექანიკური მახასიათებლების რეგულირების შესაძლებლობას.

### **შედეგების გამოყენების სფერო**

ალმასური ინსტრუმენტის გამოყენების ძირითადი სფეროებია:

- ყველა მარკის სალი შენადნობებისაგან დამზადებული დეტალებისა და საჭრელი ინსტრუმენტების ასაღესად და დასამუშავებლად;
- ნახევარგამტარი მასალების დასაჭრელად და დასამუშავებლად;
- კერამიკების, ფერიტებისა და სიტალების დასამუშავებლად;
- გრაფიტებისა და სხვა ნახშირბადოვანი მასალების დასამუშავებლად;
- არმირებული ორგანული მასალებისა და არმირებული მინა მასალების დასამუშავებლად;
- ძვირფასი ქვების დასამუშავებლად;
- ბუნებრივი და ხელოვნური ქვების საჭრელად, სახეხად და გასაპრიალებლად;
- ფაიფურის, მხატვრული და ტექნიკური მინის დასამუშავებლად;
- ყველა ტიპის ცეცხლგამძლე მასალის დასამუშავებლად.
- სამშენებლო მასალების ფართო გამის – ბეტონები, რკინაბეტონები, ასფალტბეტონები და სხვ. დასამუშავებლად.
- გაზის, ნავთობის ჭაბურღილების ბურღვისას, სამკებრო-გეოლოგიური სამუშაოების დროს.

ალმასური ინსტრუმენტი ჩვეულებრივ აბრაზივებთან შედარებით უზრუნველყოფს დამუშავების ხარისხს, სიზუსტეს, მედეგობას, შრომის პირობებისა და წარმოების კულტურის ამაღლებას.

## დისერტაციის მოცულობა და სტრუქტურა

სადოქტორო ნაშრომი შედგება: შესავალისაგან, ლიტერატურული მიმოხილვისაგან, რომელიც მოცავს 7 ქვეთავს; შედეგების განსჯისაგან, რომელიც განისაზღვრა 9 ქვეთავით და დასკვნისაგან. ნაშრომი წარმოდგენილია 135 ნაბეჭდ გვერდზე, მოიცავს 34 ნახაზს, 24 სურათსა და 23 ცხრილს.

### ნაშრომის აპრობაცია

დისერტაციის შედეგების შესახებ მოხსენებულია საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ახალგაზრდა მეცნიერთა კონფერენციაზე, ბაკურიანი, 2016წ. 26 - 28 თებერვალი.

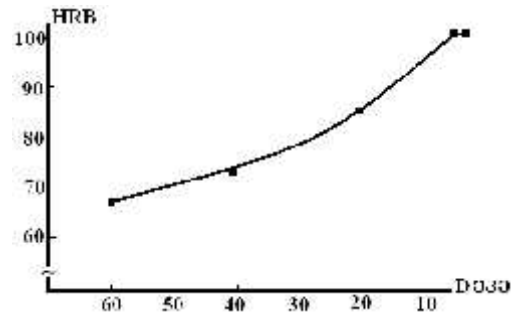
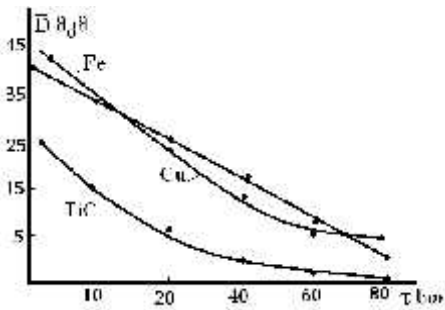
გამოქვეყნებულია 4 სამეცნიერო სტატია რეფერირებად სამეცნიერო ჟურნალებში.

### ნაშრომის შედეგები და განსჯა

მიზანს წარმოადგენდა შედარებით მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე ალმასკომპოზიციური მასალის მიღება მომავალში ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში გამოსაყენებლად. კერძოდ, ალმასური ინსტრუმენტის წარმოებისათვის.

აქედან გამომდინარე, პოტენციალურ მასალას წაეყენებოდა ძირითადი მოთხოვნა - ჰქონოდა მაღალი სისაღე, ცვეთამედგობა და გარკვეული დონის სიმტკიცე. ერთერთ განმსაზღვრელ მახასიათებელს, რომელიც განაპირობებს ალმასკომპოზიციური მასალის მუშაუნარიანობას, წარმოადგენს შერჩეული ლითონური შემკვრელის ალმასდაჭერის უნარი. გარდა ამისა, შექმნილიყო მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას მოგვცემდა საწყისი მაკროგანზომილებიანი ფხვნილოვანი კომპონენტები გადაგვეყვანა ულტრადისპერსულ ზომებში. შექმნილი ტექნოლოგიით გვეძლევა საშუალება ერთი და იგივე საწყისი ნედლეულის გამოყენების პირობებში კომპლექსურად გაგვეუმჯობესებინა საბოლოო პროდუქცია, ანუ აგვემაღლებინა ხარისხის მაჩვენებელი – შესაბამისად შეგვემცირებინა თვითღირებულება.

დაგეგმილი ალმასკომპოზიციური მასალის მიღებისათვის გამოყენებული იყო ტრადიციული ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდი. ლითონური შემკვრელის საწყის კომპონენტებად გამოყენებული იყო ლითონთა დისპერსული ფხვნილები: სპილენძი, ნიკელი, რკინა, კობალტი, კალა და სხვა. მიღებული ფხვნილები შემდგომი დაწვრილმარცვლოვანების მიზნით გადიოდნენ შემდგომი აქტივაციის პროცესს. აქტივაციის პროცესი – დაფქვა ხორციელდება ბურთულებიან წისქვილში.



ნახ.1. ფხვნილების მარცვლების საშ.ზომის დამოკიდებულება აქტივაციის დროზე ნახ.2. შემცხვარი მასალის სისაღის დამოკ.საწყ. ფხვნილის დისპერსულობაზე

ჩვენს მიერ გამოყენებული დოლის კონსტრუქციისთვის დადგენილი იქნა ფხვნილოვანი ტიტანის კარბიდის, სპილენძის, კობალტის და რკინის მარცვლის ზომების დამოკიდებულება დაფქვის დროზე ანუ აქტივაციის პროცესის კინეტიკა. შემუშავებული მეთოდის გამოყენებით მიღებული შედეგები მოყვანილია (ნახ.1).

ფხვნილების აქტივაციის შედეგად მიღებული სხვადასხვა დისპერსიულობის ფხვნილები შემდგომში გამოყენებულ იყვნენ კომპოზიციურ მასალების მისაღებად. როგორც მოსალოდნელი იყო, აქტივაციის შედეგად, მიღებული წვრილმარცვლოვანი ფხვნილების გამოყენებამ შესამჩნევად გააუმჯობესა მიღებული, მაგ. Fe-Cu-Sn-Ni სისტემის ცხობილების ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები, შეცხოების იმავე P - T პირობებისათვის (ნახ.2).

ცხელი პრესვის ტექნოლოგიურ ოპერაციას სასურველი შემაღენლობის მასალების მიღებისას სხვა ოპერაციებთან შედარებით (ჩამოსხმა, შეცხოვა ვაკუუმში და სხვა) საგრძნობი უპირატესობები გააჩნია.

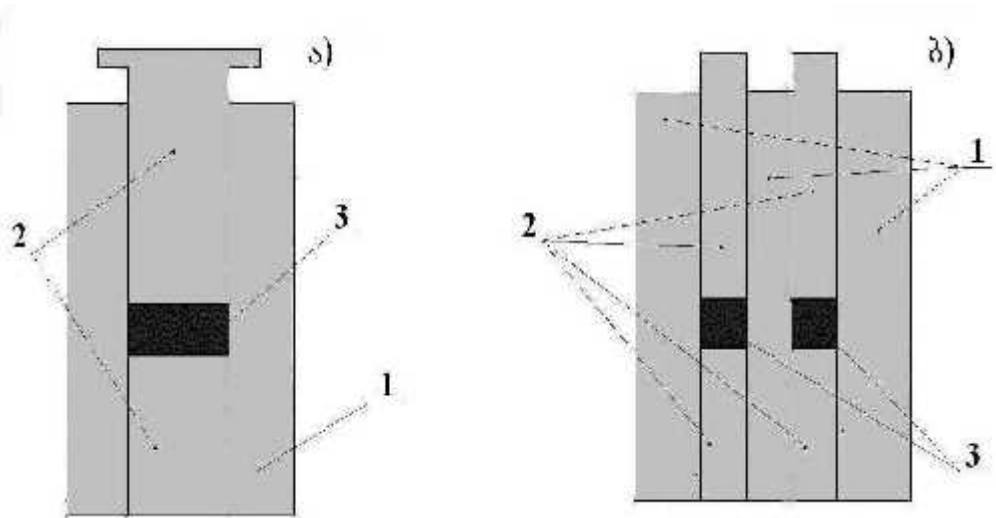


მიუხედავად მრავალი დადებითი ფაქტორისა, რაც თან ახლავს მასალების ფორმირებას მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში, განსაკუთრებით ისეთი მასალებისა, რომელთა შექმნა სხვა ცნობილი მეთოდებით შეუძლებელია, პროცესი ხასიათდება მრავალნაირი სირთულეებით, რომელთა გადაჭრა ზოგიერთ შემთხვევაში ითხოვს სხვადასხვა სფეროში აპრობორებული მაღალტექნოლოგიური მეთოდების გამოყენებას. ასე მაგალითად, უმნიშვნელოვანეს ამოცანას წარმოადგენს დაგეგმილი P - T პარამეტრების შექმნა მინიმალური გრადიენტებით სარეაქციო არის მთლიან მოცულობაში, საჭირო პარამეტრების ზუსტი შენარჩუნება † დროის განმავლობაში და შესაბამისი კონტროლის განხორციელება.

წარმოდგენილ სამუშაოში ჩატარებული იყო სერია ექსპერიმენტებისა, რომელიც მიმართული იყო კომპოზიციური მასალების შეცხოების პირობების გაუმჯობესებისკენ. კერძოდ, შემუშავებული და გამოყენებული იყო ცხელი პრესვის პროცესში მუშა არის ანაწყოების კონსტრუქციები ახალი თბო და ელექტროსაიზოლაციო მასალების გამოყენებით.

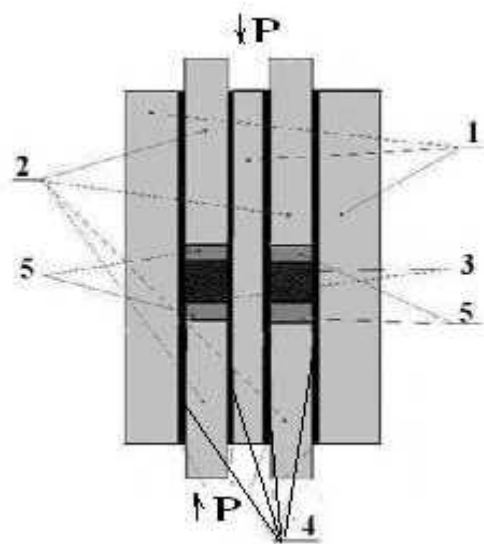
ამოცანას წარმოადგენდა გამოვლენილიყო დამოკიდებულება პირდაპირი გახურების მეთოდის პირობებში რეალიზებული P - T პარამეტრების ერთგვაროვნებასა (გრადიენტებისა) და შემცხვარი ნიმუშის ისეთი ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს შორის, როგორიც არის ნიმუშის სიმკვრივე, სისაღე, სიმტკიცე და სხვა.

ნახ.3 მოყვანილია პროცესში კომპოზიციური მასალის შეცხოებისას გამოყენებული ცხელი პრესვის არსებული სტანდარტული სქემები. ექსპერიმენტების ჩატარებისას ადგილი ჰქონდა სხვადასხვა გეომეტრიის ნიმუშების მიღებას; ერთ შემთხვევაში ხდებოდა ცილინდრული ფორმის (დიამეტრი w 18 მმ და სიმაღლე h 8-9 მმ), ხოლო მეორეში 24×8×8 მმ ზომის ძელაკების შეცხოება.



ნახ. 3. ცილინდრული ფორმის ნიმუშის შესაცხობი წნეხ-ფორმა ა), ძელაკის ფორმის ნიმუშის შესაცხობი ასაწყობი წნეხ-ფორმა ბ).  
1 - მატრიცა, 2- პუანსონი, 3- ნიმუში

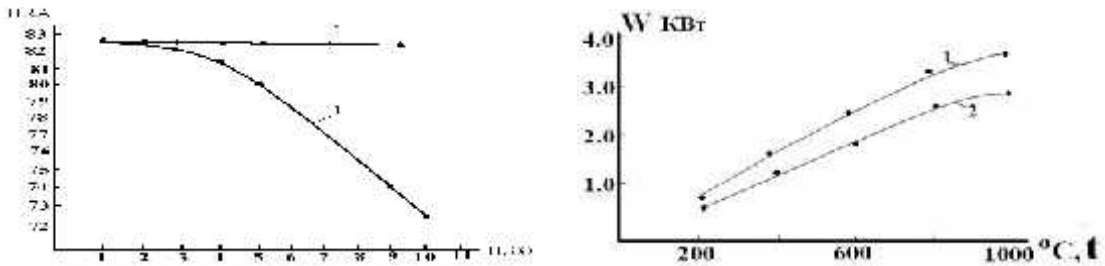
შეცხობის პროცესის პირობების შემდგომი გაუმჯობესების მიზნით - რაც განაპირობებს შესაცხობი დეტალის სიმაღლის გაზრდის შესაძლებლობებს, ჩვენს მიერ შერჩეული ანაწყოების სქემით გამოყენებული იქნა ორმხრივი პრესვის მეთოდი.



ნახ. 4. სეგმენტის ფორმის ნიმუშის შესაცხობი წნეხ-ფორმა დამცავი დანაფარით და თბოიზოლაციით ორმხრივი წნეხვისას.  
1 - მატრიცა, 2- პუანსონი, 3- ნიმუში, 4-დანაფარი,  
5- თერმო იზოლატორი

ნახ. 4-ზე მოყვანილი წნეხფორმის ანაწყოების საბოლოო სქემის გამოყენებამ საშუალება მოგვცა ფაქტიურად გაგვეთანაბრებინა მიღებული შემცხვარი ნიმუშების მახასიათებლები (სისალეები) დეტალების მთლიან მოცულობაში.

ნახ. 5-ზე მოყვანილია სისალეების ცვალებადობა ნიმუშის მოცულობაში – კერძოდ სიმაღლეში, მათი შეცხოებისას, როგორც ერთმხრივი, ასევე ორმხრივი პრესვის პირობებში. წარმოდგენილი დამოკიდებულებიდან ნათლად ჩანს, ორმხრივი პრესვის უპირატესობა. გარდა ამისა,  $Al_2O_3$  და  $SiO_2$  ბაზაზე შექმნილმა გრაფიტ-კერამიკულმა თბო და საიზოლაციო მასალებმა და მათმა გამოყენებამ საშუალება მოგვცა გარდა ტემპერატურული გრადიენტის მინიმუმამდე დაყვანისა, შეგვემცირებინა ცხელი პრესვის ენერგოდანახარჯები 20-30%-ით, რაც კიდევ ერთი ნაბიჯია პროცესის ეფექტურობის გაზრდის მიმართულებით ნახ. 6.



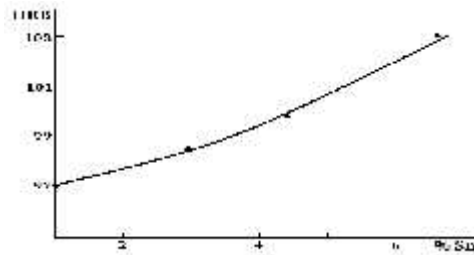
ნახ. 5. სისალის HRB ცვლილება ნიმუშის ნახ.6. მოც. T მუშა მოცულობის გახურის სიმაღლესთან მიმართებაში მოხმარებული ელ. სიმძლ. ცვლილება  
 1) ერთმხრივი პრესვა 2) ორმხრივი პრესვა წნეხფორმის სხვადასხვა ანაწყოებისათვის

წარმოდგენილ სამუშაოში მოყვანილია ზოგიერთი ექსპერიმენტალური მონაცემი Co-Cu-Sn სისტემის და ცალკე მასში შემავალი ქვესისტემის Cu-Sn შეცხოებისა, სხვადასხვა თერმოდინამიკური (P-T) და კინეტიკური (t) პარამეტრებისას.

Co-Cu-Sn სისტემის მიმართ ინტერესი განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ იგი წარმოადგენს სტუის “აღმასების და კომპოზიციური მასალების სამეცნიერო ცენტრში” შექმნილი ლითონშემკვრელის ბაზურ შემადგენლობას და გამოირჩევა მაღალი მახასიათებლებით აღმასურ ინსტრუმენტში აღმასური დამუშავების სხვადასხვა ოპერაციებზე. აღნიშნული

შემკვრელის ექსპლუატაციური მახასიათებლების გაუმჯობესებისათვის საჭირო გახდა მონახულიყო საშუალება შენადნის მასალის ისეთი ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების კომპლექსურად ასამაღლებლად, როგორცაა: სისაღე, სიმტკიცე, დარტყმითი სიბლანტე, ალმასის კრისტალის ზედაპირისადმი ადგეზია, თბოგამტარობა, დასამუშავებელი მასალისადმი ხახუნის კოეფიციენტის შემცირება და სხვ.

ქვემოთ მოყვანილია შერჩეული Co-Cu-Sn შემადგენლობის სისტემაში კალის (Sn) შემცველობის ზეგავლენა შენადნის სისაღეზე (ნახ.7).



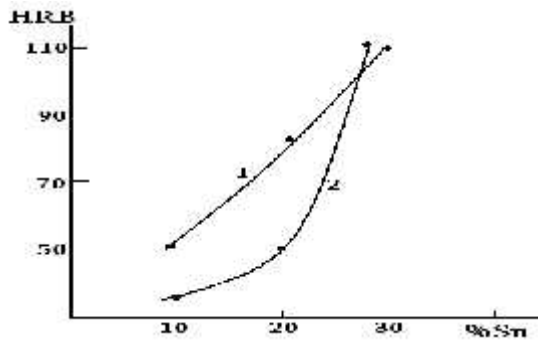
ნახ. 7. ცხობილის სისაღის ცვლილების დამოკიდებულება კალის შემცველობაზე სისტემაში Co-Cu-Sn (სადაცCo-70%) შეცხობისას -  $T=800^{\circ}\text{C}$ ,  $P=350\text{კგ/სმ}^2$ ,  $\dot{\epsilon}=120\text{წმ}$ .

კალის კონცენტრაციის ზრდა 0დან 7%-მდე იწვევს სისაღის საგრძნობ მომატებას არა ნაკლებ 10 ერთეულისა. კალის შემცველობის შემდგომ მომატებას თან ახლავს შენადნში ჭარბი თხევადი ფაზის წარმოშობა და შესაბამისად ითხოვს შეცხობის ტემპერატურის მკვეთრ შემცირებას რაც არ არის რეკომენდირებული. კალის ზეგავლენით სისაღის მომატება ამ შემთხვევაში განპირობებული უნდა იყოს შესამჩნევი რაოდენობის ინტერმეტალიდების წარმოშობით, რაც გარკვეულ წილად ფიქსირდება შესაბამისი ნიმუშების მიკროსისაღების ანალიზით. კალის კონცენტრაციის მატებასთან ერთად ფიქსირდება მიკროუბნები გამორჩეულად მაღალი სისაღეებით, საორიენტაციოდ, სხვადასხვა სტექიომეტრიის  $\text{CuSn}$  -ის შემცველობით.

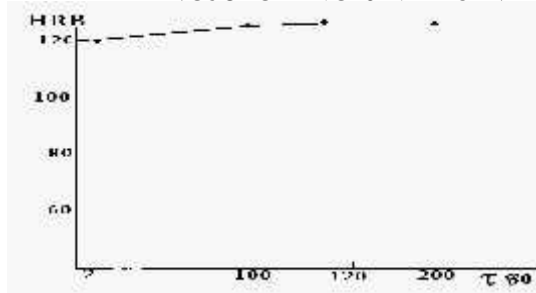
ამ ვარაუდის მეცნიერული დასაბუთებისთვის ჩატარდა სერია ექსპერიმენტებისა Co-Cu-Sn სისტემიდან მასში შემავალი (Cu -Sn) ქვესისტემების შესასწავლად შეცხობის სხვადასხვა თერმოდინამიკურ და კინეტიკური პარამეტრების პირობებში.

შესწავლილი იყო ნახსენები შემადგენლობის მიკრო და მაკრო სისაღების დამოკიდებულება  $P - T - \ddagger$  პარამეტრებზე და აგრეთვე Ni-ით ლეგირების ეფექტზე (ნახ.8-10) შედარებისათვის Cu -Sn შენადნი კალის სხაგდასხვა შემცველობით მიღებულ იქნა ინდუქციურ ღუმელში გამოდნობით და შემდგომი ჩამოსხმით (ნახ.8).

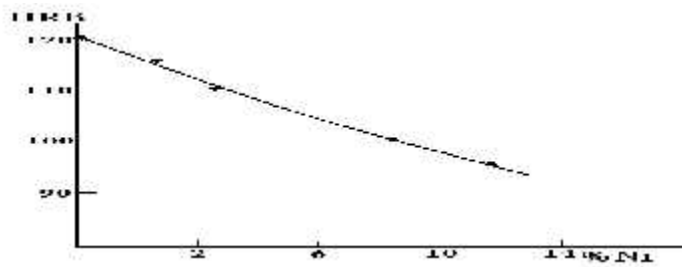
მიღებული და წარმოდგენილი შედეგები იძლევა შემდგომი ძირითადი მოკლე დასკვნების გაკეთების საშუალებას. Cu-Sn სისტემაში კალის კონცენტრაციის ზრდა იწვევს სისაღების და მიკრო სისაღების (ნახ.8). მნიშვნელოვან ზრდას, რაც განპირობებულია ინტერმეტალიდების წარმოშობის ინტენსიფიკაციით.



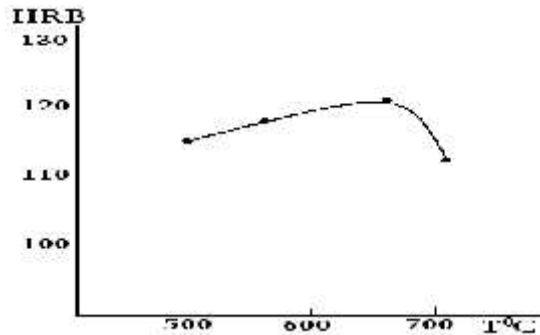
ნახ. 8. 1) ცხობილის სისაღის დამოკიდებულება კალის შემცველობაზე სისტემაში Cu-Sn შეცხობისას -  $T=700^{\circ}\text{C}$ ,  $P=350\text{კგ/სმ}^2$ ,  $\ddagger=120\text{წმ}$ .  
 2) ცხობილის სისაღის დამოკიდებულება კალის შემცველობაზე სისტემაში Cu-Sn ინდუქციურ ღუმელში გადნობით და ჩამოსხმით.



ნახ. 9. ცხობილის სისაღის ცვლილების დამოკიდებულება შეცხობის დროზე სისტემისათვის Cu-Sn (სადაც Cu-70%) შეცხობისას -  $T=685^{\circ}\text{C}$ ,  $P=350\text{კგ/სმ}^2$



ნახ. 10. ცხობილის სისალის ცვლილების დამოკიდებულება ნიკელის შემცველობაზე სისტემაში Cu-Sn-Ni (სადაც Cu-70%) შეცხობისას –  $T=685^{\circ}\text{C}$ ,  $P=350\text{კგ/სმ}^2$ ,  $\ddagger=120\text{წმ}$ .



ნახ. 11. Cu-70%-Sn-30% შემადგენლობის ცხობილის სისალის ცვლილების დამოკიდებულება შეცხობის ტემპერატურაზე შეცხობისას –  $P=350\text{კგ/სმ}^2$ ,  $\ddagger=120\text{წმ}$ .

70%Cu –30%Sn შემადგენლობაში შენადნის სისალის მნიშვნელობები ფიქსირებული ტემპერატურის ( $685^{\circ}\text{C}$ ) და წნევის ( $P=350\text{კგ/სმ}^2$ ) მიღების პირობებში ფაქტიურად არ არის დამოკიდებული პროცესის ხანგრძლივობაზე და იცვლება უმნიშვნელოდ. (ნახ.9) ეს გარემოება ცხადყოფს რომ შერჩეული პარამეტრების პირობებში შენადნის სისალე ფაქტიურად აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობებს 2წმ-ნი ხანგრძლივობის დროს, რაც მეტყველებს მიმდინარე ინტერმეტალური ნაერთების წარმოშობის პროცესის მაღალ სიჩქარეებზე. ნიკელის შეყვანა Cu –Sn შენადნში მკვეთრად ამცირებს აღნიშნული ქიმიური რეაქციის ინტენსივობას (ნახ.10).

შეცხობის ტემპერატურის გააღენა შენადნის სისალეზე უმნიშვნელოა ტემპერატურულ ინტერვალში  $500-685^{\circ}\text{C}$  პროცესის უფრო მაღალი ტემპერატურები ამცირებენ ინტერმეტალიდების რაოდენობას, რაც საგარაუდოდ განპირობებულია მათი დაშლით. (ნახ.11).

ინტერესის საგანს წარმოადგენდა შერჩეულ საბაზო სისტემებში Co – Cu – Sn –ში შემავალი დაბალდნობადი ქვესისტემების Cu-Sn –ის სტრუქტურის

და ფაზური შემაღგენლობის დადგენა სხვადასხვა  $P - T - t$  პარამეტრების პირობებში შეცხოების დროს. იმის გათვალისწინებით, რომ შეცხოების პროცესის ხანგრძლივობა  $t$  შეზღუდულია 120 – 180 წმ. ე.ი. საქმე გვაქვს Cu-Sn სისტემაში ფაზარმოქმნის არაწონასწორულ – კინეტიკურ რეჟიმთან.

ქედან გამომდინარე, არსებული და ლიტერატურაში კარგად გაშუქებული ამ სისტემის წონასწორული დიაგრამები არ იძლევიან სრულყოფილი პროგნოზირების საშუალებას ამა თუ იმ ფაზების წარმოშობის თაობაზე.

მიღებული ნიმუშების უფრო დრმა ანალიზისათვის ჩატარდა მათი რენტგენოგრაფიული კვლევა.

№1 ნიმუში წარმოადგენს 70%Cu+30%Sn შენადნს, რომელიც მიღებულია ინდუქციურ ღუმელში გამოდნობით და ჩამოსხმით. №1 ნიმუშის კრისტალური მესრის სტრუქტურა და მესრის პარამეტრები ( $F 43m$ ,  $\alpha = 17.9553 \cdot 0.001\text{\AA}$ ) შეესაბამება  $\alpha$  –ფაზის მონაცემებს. მისი ქიმიური შედგენილობა სხვადასხვა ლიტერატურული წყაროს მონაცემებით რამდენადმე განსხვავებულია ( $Cu_{31}Sn_8$ ,  $Cu_{41}Sn_{11}$ ,  $Cu_{327}Sn_{88.08}$ ), დიფრაქტოგრამაზე  $\alpha$  –ფაზის გარდა სხვა კრისტალური ფაზა არ ფიქსირდება. №2 ნიმუში წარმოადგენს 70%Cu+30%Sn შემაღგენლობის შენადნს, შემცხვარს  $T = 685^{\circ}C$ ,  $P = 350 \text{ კგ/სმ}^2$ ,  $t = 120 \text{ წმ}$  პირობებში. №2 ნიმუში ორი კრისტალური ფაზისაგან შედგება. ძირითადი  $\alpha$  –ფაზის გარდა ფიქსირდება  $\alpha'$  –ფაზის (მყარი ხსნარი სპილენძის საფუძველზე; სივრცული ჯგუფი ( $F m\bar{3}m$ ,  $\alpha = 3.699 \cdot 0.001\text{\AA}$ ) შესაბამისად სუსტი დიფრაქციული მაქსიმუმებიც. №3 ნიმუში წარმოადგენს 80%Cu+20%Sn შემაღგენლობის შენადნს, შემცხვარს  $T = 700^{\circ}C$ ,  $P = 350 \text{ კგ/სმ}^2$ ,  $t = 120 \text{ წმ}$  პირობებში (ნახ. 8). №3 ნიმუშიც ორი კრისტალური ფაზისაგან შედგება. თუმცა, №2 ნიმუშისაგან განსხვავებით ძირითადად ფიქსირდება  $\alpha'$  –ფაზის (მყარი ხსნარი სპილენძის ფუძეზე; სივრცული ჯგუფი ( $F m\bar{3}m$ ,  $\alpha = 3.699 \cdot 0.001\text{\AA}$ ) შესაბამისი დიფრაქციული მაქსიმუმები.  $\alpha$  –ფაზის შესაბამისი დიფრაქციული მაქსიმუმები შედარებით სუსტია. აღსანიშნავია, რომ №1, №2 და №3 ნიმუშების  $\alpha$  –ფაზის

ტექსტურა განსხვავდება ერთმანეთისაგან (განსხვავებულია დიფრაქციული მაქსიმუმების ინტენსივობების ფარდობითი მნიშვნელობების პროპორციები).

აღსანიშნავია კიდევ ერთი გარემოება, ზემოთ ნახსენებ Co – Cu – Sn შემადგენლობის კომპოზიციაში მიღებული ნიმუშების მაქსიმალური სისაღეები არ აღემატება 104 –105 HRB ერთეულს და იგი გამოირჩევა ზომიერი სიმტკიცით  $\sigma_b = 80 - 90$  კგ/მმ<sup>2</sup>. ასეთი პარამეტრების მქონე შემაკავშირებელი კარგად მუშაობს საშუალო და დაბალი კატეგორიის გრანიტების დამუშავებისას. მაღალი აბრაზიულობის მქონე მასალების (ბეტონების) და ასევე ასფალტბეტონის დასამუშავებლად სავარაუდოდ სასურველია უფრო მაღალი სისაღის და შესაბამისი ცვეთამედგობის მქონე შემაკავშირებელი.

სამუშაოს ფარგლებში, რომელშიც გამიზნული იყო აღმასკომპოზიციური მასალის შექმნა საამშენებლო ინდუსტრიაში გამოსაყენებლად, ძირითადი ყურადღება მიმართული უნდა ყოფილიყო ისეთი მასალების დამუშავებისაკენ, როგორცაა ბეტონი, არმირებული ბეტონი და ასფალტბეტონი, რადგანაც ამ მასალების წილი საამშენებლო ინდუსტრიაში ბევრად მეტია ბუნებრივ ქვებთან შედარებით.

აქედან გამომდინარე, გამოიკვეთა ამოცანა, შექმნილიყო ისეთი შემადგენლობის შემაკავშირებელი, რომელიც დახასიათდებოდა უფრო მაღალი სისაღით და შესაბამისად ცვეთამედგობით. ამავდროულად, მისი შეცხოების ტემპერატურა იქნებოდა ზომირ ფარგლებში ( 850), რაც საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნან შედარებით არადეფიციტური ხელოვნური აღმასური კრისტალები (AC160T; AC200T). ასევე, გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ საამშენებლო ინდუსტრიაში გამოყენებულ ზოგიერთ აღმასურ ინსტრუმენტს უწევს მშრალ პირობებში მუშაობა ანუ წყლით გაციების გარეშე. ასეთი მოთხოვნა განპირობებულია წმინდა საამშენებლო ტექნოლოგიური მოთხოვნიდან გამომდინარე, მაგ. ბეტონის მოჭიმული იატაკების ხეხვა– პოლირების დროს. მშრალ პირობებში მომუშავე აღმასური ინსტრუმენტის მუშა ზედაპირზე ტემპერატურებმა შეიძლება მიაღწიოს 400 -500<sup>0</sup>C, ხოლო ლოკალურ



უბნებზე 500 -600<sup>0</sup>C, ეს გარემოება დამატებით მოთხოვნებს უყენებს მუშა ზედაპირის გეომეტრიას და რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია, ფუნქციონალური მჭრელი ნაწილის აღმასკომპოზიციურ მასალას. კერძოდ, აღმასკომპოზიტის ლითონშემკვრელს – შემაკავშირებელს. მას დამატებით მოეთხოვება აღნიშნულ ტემპერატურულ ინტერვალში (300 -500<sup>0</sup>C) ფიზიკურ–მექანიკური მახასიათებლების (სისაღე, სიმტკიცე და ა.შ.) შენარჩუნება. ამ გარემოების გათვალისწინებით, დაიგეგმა შედარებით დაბალდნობადი კომპონენტების Cu-ის ჩანაცვლება და შესაბამისად Cu-Sn, ქვესისტემაში თხევადი ფაზის წარმოშობის გამორიცხვა. დაიგეგმა Co,, Co-Sn,, Co - Sn – Ni, სისტემების გამოყენება, რომელშიც წონასწორობის დიაგრამიდან გამომდინარე Sn –ის 20%- ით შემცველობის პირობებშიც გამოირიცხება თხევადი ფაზის წარმოშობა 1180<sup>0</sup>C –მდე, გარდა ამისა, 500 - 800<sup>0</sup>C ტემპერატურულ ინტერვალში, Sn აქტიურად ურთიერთქმედებს Ni–თან და Co-თან სხვადასხვა სტექიომეტრიის მაღალი სისაღის მქონე ინტერმეტალიდების წარმოშობით (სტანიდები, დისტანიდები).

ცხრილი 1. Co – Sn – Ni სისტემის ლითონშემკვრელების შემადგენლობები და მიღების პირობები

სისტემა	T	τ	P
Co-Sn 100 -0% 90 -10% 85 -15% 80 -20%	800-880 <sup>0</sup> C	2-200წმ	350კგ/სმ <sup>2</sup>
Co-Sn-Ni 90-4-6% 80-8-12% 70-12-18% 60-15-25% 50-20-30% 40-24-36%	820-880 <sup>0</sup> C	120-180წმ	350კგ/სმ <sup>2</sup>

ცხრ. 1. მოყვანილია შერჩეული სისტემის ლითონშემკვრელების შემადგენლობები და მიღების პირობები, ხოლო ჯამურ ცხრილში (ცხრ.2), მიღებული შედეგები. მათ შორის სისაღეები, მიკროსისაღეები,

სიმტკიცეები ღუნვაზე და ზოგიერთი საექტალონო და საბაზო ნიმუშის დარტყმითი სიბლანტეები.

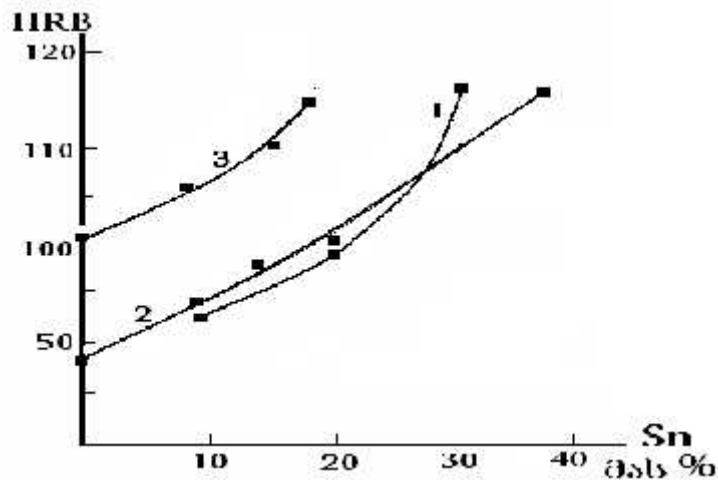
ცხრილი 2. შერჩეული სისტემის ლითონშემკვრელების მიღების და ექსპერიმენტალური შედეგების ჯამური ცხრილი

ნიმუში	შეცხობის T°C	ფაზური შემადგენლობა	მიკრო სისალე HV	სისალე HRC	სიმტკიცე ღუნვაზე კგ/მმ <sup>2</sup>	დარტყმითი სიბლანტე KCU კჯ/მ <sup>2</sup>
Ni	900			45 (HRB)		11,2
Fe-Cu –Ni- Sn 51-32-9-8%	790		140-220	23	101	5,8
Co	820		238-333			
	860	Co Co	200-370	28	176	5,8
	880		223-360			
Co აქტივირ.	820		200-380			
	860		270-390	29	179	5.9
	880		260-395			
Co-Sn 85-15%	820		300-580			
	850	Co Co მკ. სსნარი Sn-ის Co-ში Co <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub>	360-690	36	56	3,7
	880		373-520			
Co-Sn აქტივირ.	820		260-450			
	860		350-540	38	61	3.9
	880		380-517			
Co-Sn-Ni 70-12-18%	820		260-450			
	860	Co Co Co <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub>	290-870	35	76	5,4
	880		270-610			
Co-Sn-Ni 70-12-18% აქტივირ,	820					
	860		327-456	37	80	6.0
	880					
Co-Sn-Ni 60-16-24%	820					
	860	Co Co Co <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> Ni <sub>3</sub> Sn	301-429	38	73	5,7
	880					
Co-Sn-Ni 50-20-30%	820					
	860	Co Co Co <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> Ni <sub>3</sub> Sn	261-471	42	74	
	880					
Co-Sn-Ni	820					

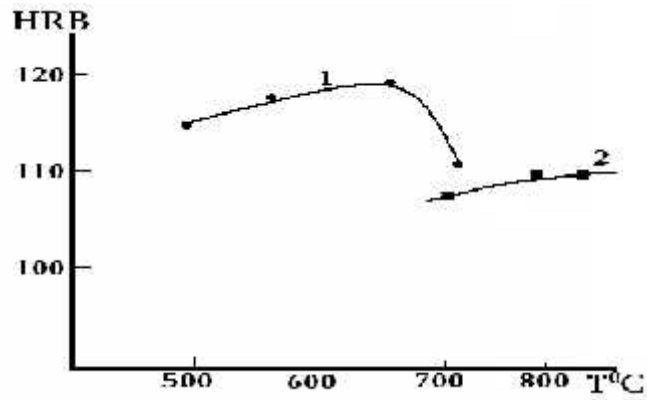
40-24-36%	860	Co Co Co <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> Ni <sub>3</sub> Sn		44		
	880					
Co-Sn-Ni 60-16-24% BN-0,1%	820					
	860	Co Co Co <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> Ni <sub>3</sub> Sn		39		
	880					

ამ თვალსაზრისით, იმედის მომცემი უნდა იყოს Co – Sn – Ni სისტემა. კანონზომიერება მეორდება, კალის კონცენტრაციის მომატება Co – Sn სისტემაში იწვევს სისალის მკვეთრ ამადლებას (ნახ. 12). ნიკელის დამატება შედარებით ამცირებს სისალეს და ზრდის სიმტკიცეს (ცხრ.2).

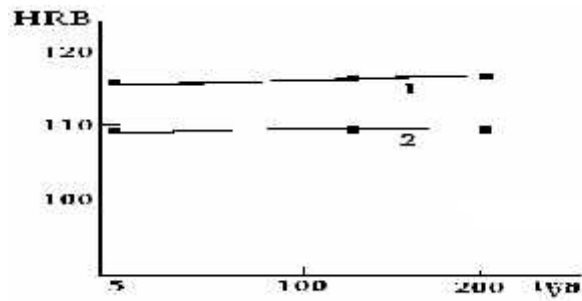
მიღებული ექსპერიმენტალური შედეგების ანალიზმა საშუალება მოგვცა გამოგვევლინა გარკვეული კანონზომიერებები ორ და სამკომპონენტიან სისტემებში შემადგენლობისა და ცხელი პრესვის პროცესის კინეტიკური პარამეტრების ვარიაციის გავლენისა შემცხვარ ნიმუშების ზოგიერთ ფიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებზე. ნახ. 12 – 16 მოყვანილია Cu-Sn; Ni-Sn; Co – Sn და Co- Sn-Ni სისტემების ნიმუშების სხვადასხვა პარამეტრებზე დამოკიდებულების ჯამური მრუდები.



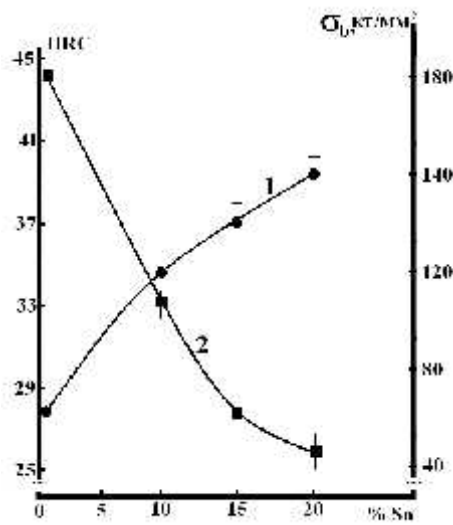
ნახ. 12. ცხობილების სისალის დამოკიდებულება კალის შემცველობაზე  
1. Cu-Sn; 2. Ni-Sn; 3. Co – Sn T= 700 -900°C; P=350 კგ/სმ<sup>2</sup>.



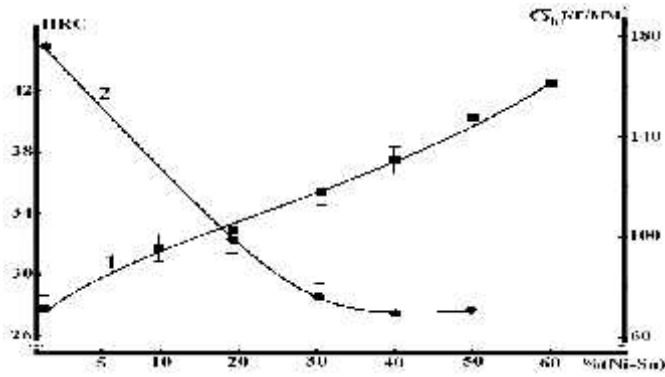
ნახ. 13. ცხობილების სისაღის ცვლილების დამოკიდებულება შეცხობის ტემპერატურაზე 1. Cu70%-Sn30% ; 2. Co85% - Sn15%



ნახ. 14. ცხობილების სისაღის ცვლილების დამოკიდებულება შეცხობის დროზე 1. Cu70%-Sn30% ; 2. Co85% - Sn15%



ნახ. 15. Co-Sn სისტემების ცხობილების სისაღის(1) და სიმტკიცის (2) დამოკიდებულება კალის შემცველობაზე



ნახ. 16. Co- Sn-Ni სისტემების შემცხვარი ნიმუშების სისხლის (1) და სიმტკიცის (2) დამოკიდებულება (Ni-Sn)-ის პროცენტულ შემადგენლობაზე

უფრო დეტალური ინფორმაციის მისაღებად ჩატარებულ იქნა საბაზოდ შერჩეული სისტემების Co, Co-Sn, და Co-Sn-Ni შემცხვარი ნიმუშების რენტგენოგრაფიული და ელექტრონომიკროსკოპული კვლევა.

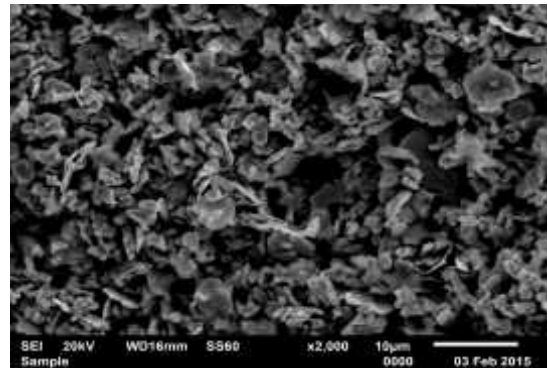
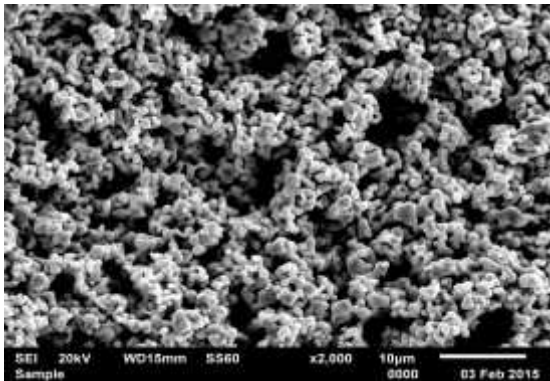
კერძოდ, ჩატარებულ იქნა ცხობილების ფაზური ანალიზი.

გამოკვლეული იყო შემცხვარი ნიმუში #1.Co, #2.85% Co-15%Sn, #3. 70%Co-12%Sn-18%Ni, და #4. 70%Co-12%Sn-18%Ni აქტივირებული ფხვნილებით შემცხვარი.

№1 ნიმუში შეიცავს *r* - კობალტს (P63/mmc,  $a b 2.503 \pm 0.1\text{Å}$ ,  $c 4.05 \pm 0.1\text{Å}$ ) მაღალტემპერატურულ *s* - კობალტს (Fm3m,  $a 3.538 \pm 0.01\text{Å}$ ) და მიკრორაოდენობით კობალტის ჟანგს. №2 ცხობილი შეიცავს *r* - კობალტს (P6/mmc,  $a b 2.50 \pm 0.01\text{Å}$ ,  $c 4.07 \pm 0.01\text{Å}$ ); *s* - კობალტს (მაღალტემპერატურული მოდიფიკაცია) (Fm3m,  $a 3.546 \pm 0.01\text{Å}$ ); ინტერმეტალიდს -Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub> და სავარაუდოდ კალის ჟანგს (SnO<sub>2</sub>). აღსანიშნავია, რომ Co-Sn, შემადგენლობის ნიმუშში კობალტის ორივე მოდიფიკაციაში სუფთა კობალტთან შედარებით პარამეტრები გაიზარდა სავარაუდოდ მასში Sn-ის გახსნის გამო და მყარი ხსნარის წარმოშობით. №3. ნიმუში შეიცავს *r* - კობალტს (P6/mmc,  $a b 2.503 \pm 0.01\text{Å}$ ,  $c 4.05 \pm 0.01\text{Å}$ ); *s* - კობალტს (მაღალტემპერატურული მოდიფიკაცია) (Fm3m,  $a 3.538 \pm 0.01\text{Å}$ ); ინტერმეტალიდს -Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub> და მიკრორაოდენობით სავარაუდოდ კობალტის ჟანგს CoO. №4. ნიმუში შეიცავს *r* - კობალტს (P63/mmc,  $a b 2.503 \pm 0.1\text{Å}$ ,  $c 4.05 \pm 0.1\text{Å}$ ) *s* - კობალტს (მაღალტემპერატურული მოდიფიკაცია) (Fm3m,  $a 3.538 \pm 0.01\text{Å}$ ) ინტერმეტალიდს-Co<sub>3</sub>Sn<sub>2</sub> და მიკრორაოდენობით კობალტის ჟანგს.

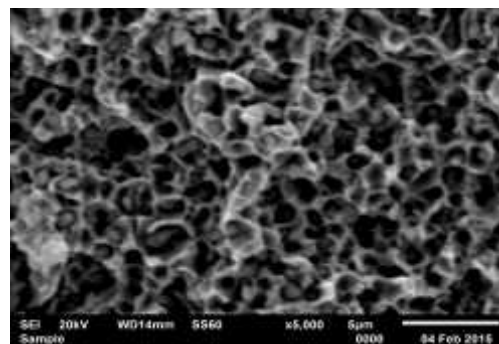
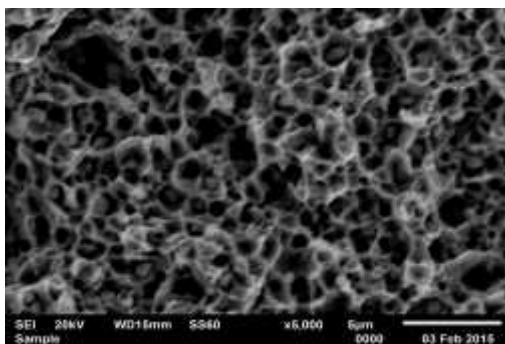
სამუშაოში წარმოდგენილია შერჩეული შემადგენლობის ცხოხილების ელექტრონულ – მიკროსკოპული კვლევის შედეგები.

მოყვანილია როგორც საწყისი, ასევე აქტივირებული (აქტივაციის დრო 50 სთ) კობალტის ფხვნილის და მისი გამოყენებით მიღებული Co, Co-Sn და Co-Ni-Sn შემადგენლობის ცხოხილების ფრაქტოგრამების მიკროსკოპული ანალიზი. სურათებზე 1, 2 საწყისი და აქტივირებული Co ფხვნილები.



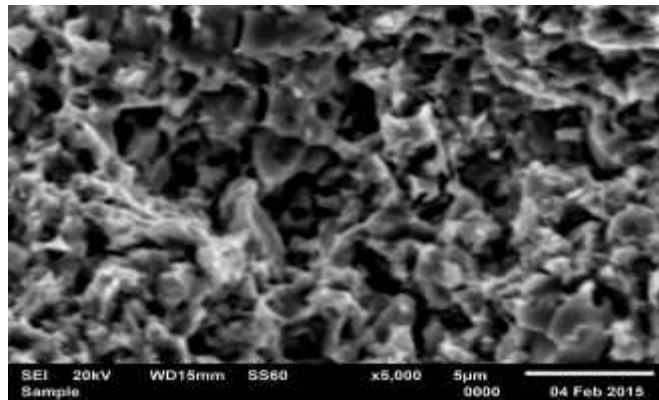
სურათი 1. Co საწყისი ფხვნილი      სურათი 2. Co საწყ. ფხვნილი აქტივირებული მიღებული შედეგების ანალიზი იძლევა შემდეგი დასკვნების გაკეთების საშუალებას:

1. საწყისი კობალტის ფხვნილი წარმოდგენილია სფეროიდური ფორმის 1 – 3 მკმ ზომის მარცვლებისაგან. აქტივაციის პროცესი (50სთ) მნიშვნელოვნად ცვლის მარცვლების გეომეტრიულ ფორმას. სფეროიდული ფორმა ძირითადად შესაბამისად ფირფიტური გეომეტრიით საშუალო განზომილებებით 1 X 2 X 5 მკმ.



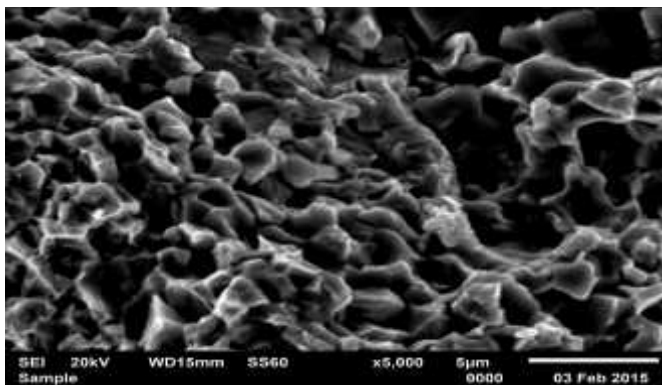
სურათი 3. შემცხვარი Co      სურათი4. შემცხვარი Co აქტივი ფხვნილით.

2. მყარი შეცხოების პირობებში ( $T - 820 - 880^{\circ}\text{C}$ ;  $P - 350$  კგ/სმ<sup>2</sup>) კობალტის ცხობილი წარმოადგენს მონოლითს (ფიქსირებული აღნაგობის). ფორების სიდიდე  $0.5 - 2$  მკმ. აქტივირებული ფხვნილისაგან შემცხვარი ნიმუში ხასიათდება ნაკლები ფორიანობით. წარმოქმნილი ფორები ხასიათდებიან იგივე ზომებით ( $0.5 - 1.5$  მკმ); უმნიშვნელოდ მომატებულია სიმკვრივე; რაც შეეხება ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებს, ცვლილება გამოიხატა 1-2 ერთეულით მომატებულ სისაღეში (სურათი 3, 4).



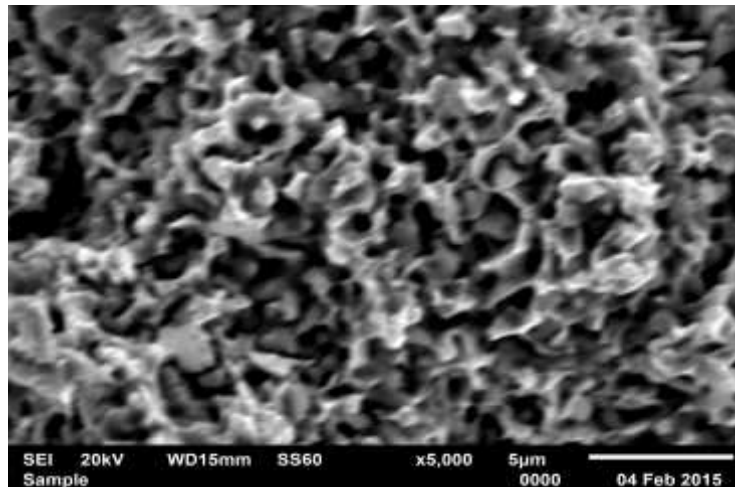
სურათი 5. შემცხვარი Co – Sn

3. Co-Sn, სისტემის ფრაქტოგრამმა (სურ.5) ხასიათდება უფრო ერთგვაროვანი სტრუქტურით. ფორიანობა მნიშვნელოვნად არის შემცირებული. Co-Sn-Ni, ნიმუშის ტესტი (სურ.6) ხასიათდება საკმაოდ მაღალი ერთგვაროვნებით. ფორიანობა არ არის მკაცრად გამოხატული საწყისი Co ფხვნილისაგან შემცხვარ ნიმუშთან შედარებით. მიკროსკოპული და სპექტრალური ანალიზი აჩვენებს მიკროარაერთგვაროვანი უბნების არსებობას, აღინიშნება მიკროუბნები გამდიდრებული Sn-ის შემცველობით.



სურათი 6. შემცხვარი Co – Sn – Ni

4. აქტივირებული ფხვნილებით მიღებული Co-Sn-Ni სისტემის ცხობილის ნიმუშები (სურათი 7) ხასიათდებიან შედარებით უფრო მაღალი ერთგვაროვნებით. შეიმჩნევა ტენდენცია უფრო წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურისაკენ. ამავე დროს აღნიშნული ნიმუშების სისაღებები მომატებულია 3 – 4 ერთეულით (ცხრ. №2).



სურათი 7. შემცხვარი Co – Sn – Ni აქტივირებული ფხვნილებით.

გარდა გრანულომეტრიული და მორფოლოგიური ცვლილებებისა, რომელსაც ადგილი აქვს საწყისი კომპონენტების – ლითონური ფხვნილების დამუშავების შემდეგ წისქვილებში (ბურთულებიანი და პლანეტარული) ე.წ. “აქტივირებული” Fe-ის და Co-ის ფხვნილების გამოყენებისას აღმასკომპოზიციური მასალების შეცხოებისას, გამოვლინდა რიგი მნიშვნელოვანი გარემოებებისა. “აქტივირებული” ფხვნილების გამოყენებისას მატულობს კაზმის პრესვადობა და შესამჩნევ ფარგლებში მცირდება კომპოზიციის შეცხოებისათვის საჭირო ტემპერატურა – 15-20<sup>0</sup>C-ით. საჭირო ოპტიმალურ ტემპერატურად იგულისხმება მისი ის მინიმალური მნიშვნელობა, როდესაც შესაძლებელია დაგეგმილი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების მიღება. ეს ფაქტი კარგ თანხვედრაშია ლიტერატურულ მონაცემებთან. სადაც ნაჩვენებია, რომ პლანეტარულ, ცენტრიდანულ წისქვილში დამუშავებული, აქტივირებული ფხვნილების შეცხოების პროცესის აქტივაციის ენერგია მცირდება.



შერჩეული შემაღენლობის Co, 85%Co-15%Sn,, 60%Co-16%Sn-24%Ni, კომპოზიტები ხასიათდებიან მიღების მაღალი ტექნოლოგიურობით (პრესვალობა, შეცხობის ტემპერატურა) და მაღალი ფიზიკურ- მექანიკური მახასიათებლებით (HRB,  $\sigma_b$ , KCU). შემდგომში ისინი გამოყენებულ იქნენ ალმასური ინსტრუმენტის დასამზადებლად ალმასკომპოზიციურ ელემენტებში (სეგმენტებში) ლითონშემკვრელებად. მათ ბაზაზე დამზადებული ალმასური ინსტრუმენტების ექსპლუატაციური მახასიათებლების დადგენა განხორციელდა ბურღვის ოპერაციაზე.

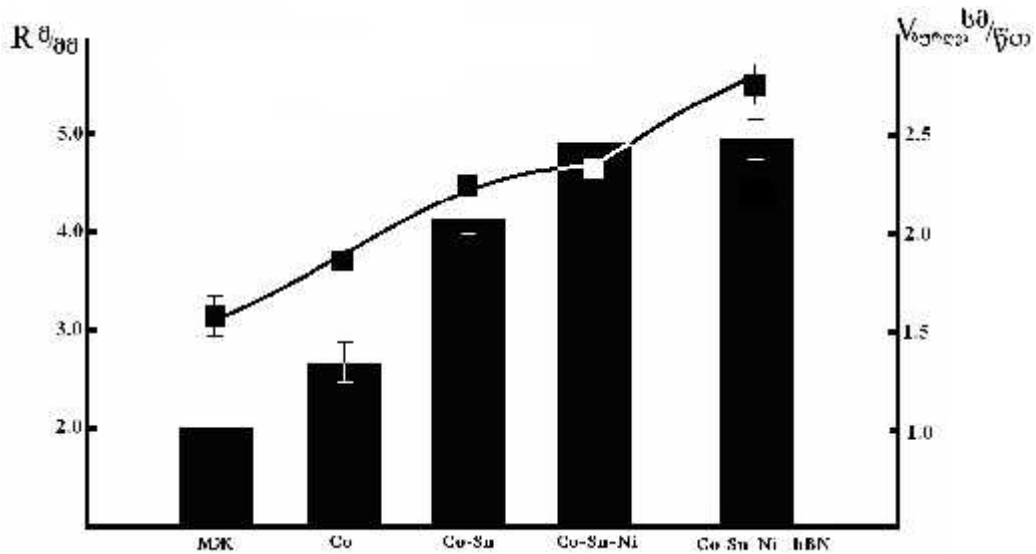
ბურღვის ოპერაციაზე ინსტრუმენტის გამოცდა ხორციელდებოდა არმირებული ბეტონის ფილებში გამჭოლი ნახვრეტების გაკეთებით. ფილების სისქე 50მმ, ბეტონის მარკა M 400, არმირების კონცენტრაცია 6%. ბეტონი არმირებული იყო  $\Phi$  16მმ დიამეტრის არმატურით.

მედევობის ცდები ჩატარებული იყო რკინა-ბეტონის ბურღვისას მილისებრი სეგმენტური ალმასური ბურღით სპეციალურ გამოსაცდელ სტენდზე (სურათი 8). მილისებრი ალმასური ბურღის დიამეტრი შეადგენდა  $\Phi$ 60მმ ბურღის თავი აღჭურვილი იყო 6 ალმასური სეგმენტით, ზომა 21X6X3 მმ, მჭრელი წიბოს(სეგმენტის) სისქე შეადგენდა 3მმ.



სურათი 8. სტენდი და მასზე მიმდინარე ბურღვის ტექ.ოპერაცია

ნახ. 17-ზე წარმოდგენილია ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული სხვადასხვა შემადგენლობის ალმასკომპოზიტით აღჭურვილი ალმასური ინსტრუმენტის წარმადობისა და მედეგობის მნიშვნელობები. შედარებისათვის ამავე სურათზე დატანილია ცნობილი, სტანდარტული შემადგენლობის (MЖ, M6-01) ალმასკომპოზიტით აღჭურვილი ინსტრუმენტის ექსპლუატაციური მაჩვენებლები, რომელიც ფართოდ გამოიყენება მშენებლობაში ბეტონების დამუშავებისას.



ნახ.17. სხვადასხვა შემადგენლობის ალმასური ბურღების წარმადობის და მედეგობის შედარებითი მონაცემები

მიღებულია დადებითი შედეგები. 85%Co-15%Sn და 60%Co-16%Sn-24%Ni შემადგენლობის კომპოზიტები მუშაუნარიანობით მნიშვნელოვნად აღემატებიან სტანდარტულ M6-01-ისა და Co შემკვრელებით დამზადებულ ინსტრუმენტებს.

მოყვანილი შედეგები ცხადყოფენ, ჩვენს მიერ შერჩეული შემადგენლობის ლითონშემკვრელების გამოყენება ალმასურ ინსტრუმენტში მკვეთრად ამაღლებს მის მედეგობას. ამავე დროს ჭრის ოპერაციის სიჩქარე რჩება მაღალ დონეზე.

შესწავლილია ნამუშევარი სეგმენტების მუშა ზედაპირების ტოპოგრაფია. სურ.9 გამოსახულებებზე ჩანს მიღებული დადებითი ეფექტის ძირითადი გამომწვევი მიზეზები.



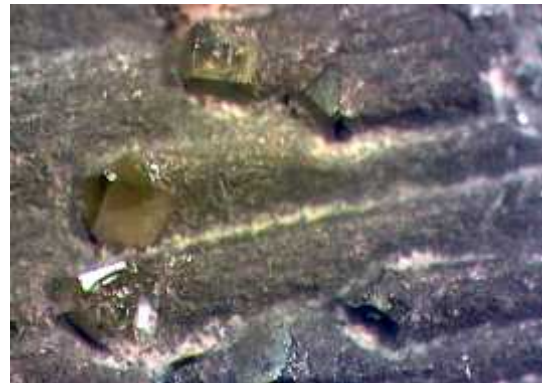
Fe-Cu-Sn-Ni



Co



Co-Sn



Co-Sn-Ni

სურათი 9. სხვადასხვა შემადგენლობის ალმასკომპოზიტის მუშა ზედაპირები დასამუშავებელ მასალასთან ურთიერთქმედების შემდეგ

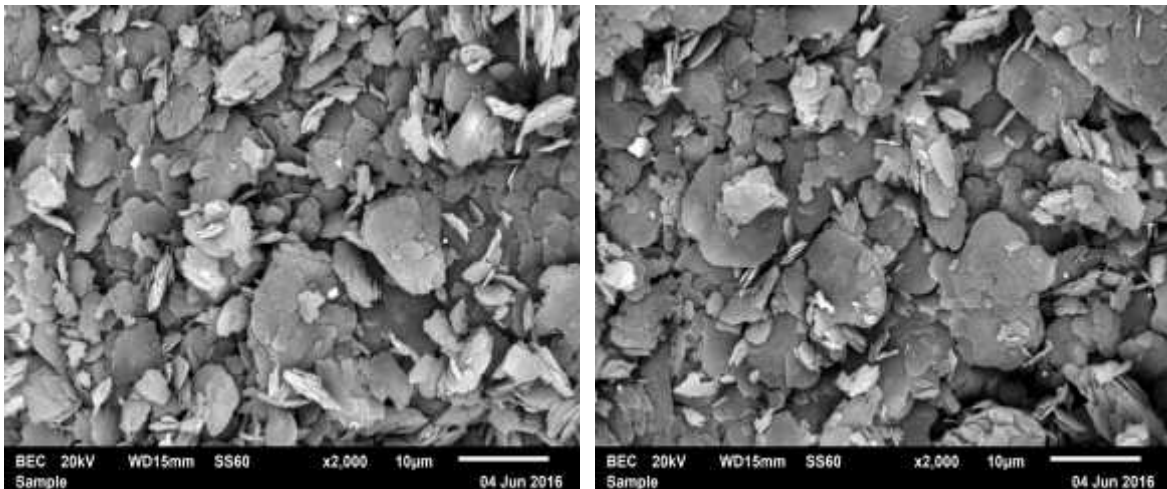
შერჩეულ Co-Sn და Co-Sn-Ni შემადგენლობის შემკვრელებში მნიშვნელოვნად მომატებულია ალმასდაჭერის უნარი, რაც გამოიხატება ალმასების გამოშვების დამახასიათებელი სიდიდის  $\epsilon$ -ის მკვეთრი მომატებით.

გარდა ამისა, შეცვლილია ნამუშევარი ალმასური კრისტალების მორფოლოგიური სურათი. სტანდარტული M6-01 მარკის შემკვრელში ჩასმული ალმასური კრისტალები გამოირჩევიან მუშაობის პროცესში მიღებული მრავალი დეფექტებითა და ბზარებით (სურ. 9) ეს გარემოება ჩვენის აზრით, შეიძლება გამოწვეული იყოს მუშაობის პროცესში

მომატებული ლოკალური ტემპერატურებით, რისი მიზეზიც შეიძლება იყოს Fe-Cu-Sn-Ni შენადნის მაღალი ხახუნის კოეფიციენტი დასამუშავებელი მასალის ზედაპირის მიმართ.

მიღებული შედეგების შემდგომი გაუმჯობესების მიზნით, დაიგეგმა და ჩატარდა შემადგენლობის 60%Co-16%Sn-24%Ni სისტემის შემდგომი ლეგირება ულტრადისპერსული დანამატებით. შეირჩა ჰექსოგონალური მოდიფიკაციის ბორის ნიტრიდი hBN. დანამატის რაოდენობა 0.1%.

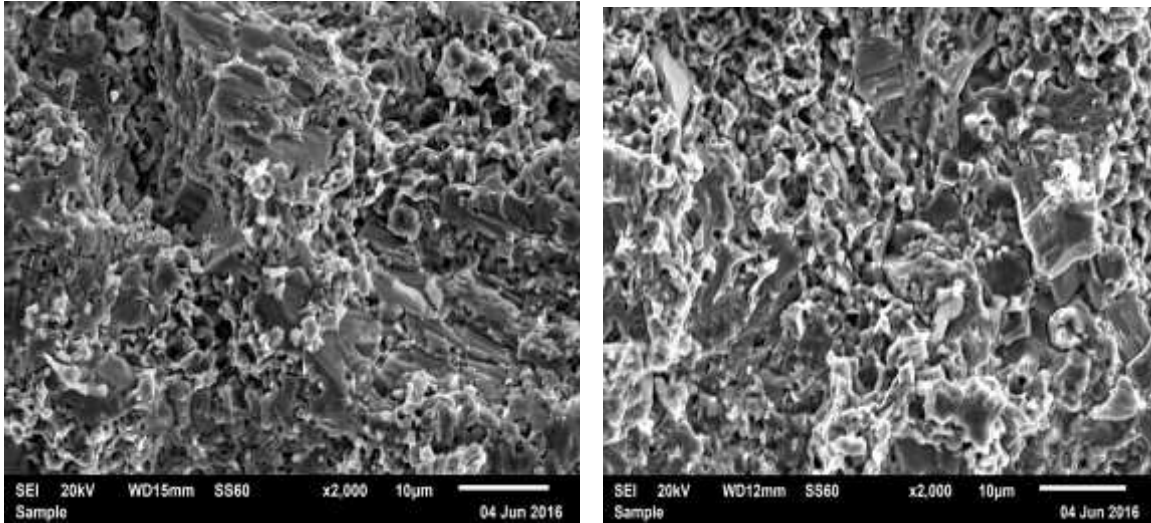
საწყისი მარცვლოვანების (10-15მკმ) hBN (სურ.10) დამუშავდა პლანეტარულ ცენტრიდანულ საფქვავეში “Pulverisette 7 Premium line“ 6-7 წთ. განმავლობაში. დამუშავებული hBN ფხვნილი შესაბამისი დოზით შემდგომში შეერია კონკრეტული შემადგენლობის – 60%Co-16%Sn-24%Ni ფხვნილოვან კაზმს იმავე დანადგარზე.



ა) ბ)  
სურათი 10. hBN ა)საწყისი და ბ)პლანეტარულ-ცენტრიდანულ წიქვილში დამუშავებული ფხვნილები

60%Co-16%Sn-24%Ni+0.1%hBN შემადგენლობების სეგმენტებით დამზადებული ალმასური ინსტრუმენტის მუშაობის მახასიათებლები მოყვანილია ნახ.17, საიდანაც ჩანს რომ, მაღალი მედეგობის მაჩვენებლების შენარჩუნებასთან ერთად შესაძინევად გაიზარდა ინსტრუმენტის მიერ რეალიზებული ჭრის სიჩქარეც. მიღებული ფაქტი ჩვენის აზრით განპირობებულია იმ ფაქტორით, რომ hBN წარმოადგენს რა ფენოვანი სტრუქტურის მასალას (სურ.10,11), გრაფიტის მსგავსად “მშრალ საპოს”

ნივთიერებას. იგი თავისი თვისებებიდან გამომდინარე, ამცირებს ხახუნის კოეფიციენტს ინსტრუმენტის ლითონურ მატრიცასა და დასამუშავებელი მასალის ზედაპირს შორის. ამ დროს მცირდება როგორც დინამიური, ასევე თბური დატვირთვები ალმასურ კრისტალებზე. უმჯობესდება ჭრის პირობები, მაღლდება წარმადობა.



სურათი 24. ა) Co-Sn-Ni და ბ) Co-Sn-Ni-hBN შემადგენლობის ცხობილების ნიმუშების ფრაქტოგრაფები

### დისერტაციის ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია შრომებში

1. ზავალიშვილი. ცხელი დაწნევის პირობებში მიღებული Co-Sn და Co-Ni-Sn შემადგენლობების ფიზიკურ – მექანიკური თვისებების დამოკიდებულება ქიმიურ შემადგენლობაზე. ახალგაზრდა მეცნიერთა კონფერენცია, საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია, ბაკურიანი, 26–28 თებერვალი, 2016, თეზისები.
2. Авалишвили З.А., Церодзе М.П., Лоладзе Н.Т. Влияние некоторых физико=механических свойств металлической связки на эффективность работы алмазного инструмента. //European research : Innovation in science, Education and Technology. XI International scientific and practical conference, Moscow, 23-25 Desember 2015, Изд. "Проблемы науки", 10(11),2015.стр.46-54.
3. ზავალიშვილი, შ.წეროძე, მ.წეროძე, ი.ძიძიშვილი, ნ.ლოლაძე. ალმასკომპოზიციური მასალების ზოგიერთი ფიზიკურ-მექანიკური

პარამეტრის გაგენა აღმასური დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის ეფექტურობაზე// GEN, GFID, №3, 2015, გვ.55–58.

4. Авалишвили З. А., Церодзе М.П., Дзидзишвили Ю.Г., Лоладзе Н.Т. Изучение влияния P-T-† параметров горячего прессования на твердость сплавов систем Co-Cu-Sn, Cu-Sn и Cu-Sn –Ni используемых в качестве связок алмазкомпозиционного материала. // GEN, GFID, №4, 2014, стр.35-3.

5. Лоладзе Н.Т., Церодзе Ш.П., Церодзе М.П., Дзидзишвили Ю.Г., Авалишвили З. А., Сулаберидзе З.Г. Конструкция ячейки камер высокого давления для спекания алмазкомпозиционных материалов. // GFID, GEN, №2, 2014, стр.73-76.

### დასკვნა

1. შემუშავებული და აპრობირებულია სარეაქციო არის ანაწყოების სქემა ახალი თბო და საინჟინერო მასალების გამოყენებით ცხელი პრესვის ტექნოლოგიურ ოპერაციაზე გამოსაყენებლად. დადგენილია, რომ შემუშავებული მეთოდოლოგია მნიშვნელოვნად ამადლებს მიღებული ცხობილების ხარისხს, ხოლო პროცესის ენერგოტევალობა მცირდება 40-50%-ით.

2. ჩამოყალიბებულია კონკრეტულ სფეროში გამოყენებული აღმასკომპოზიციის ლითონური შემკვრელისათვის მოთხოვნილ თვისებათა ძირითადი პარამეტრები.

3. შესწავლილია Cu-Sn, Cu-Sn-Ni, Co-Sn, Co-Sn-Ni სისტემების შენადნთა ფიზიკურ-ქიმიური და ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დამოკიდებულება კომპონენტების ქიმიურ შემადგენლობაზე და შეცხოების თერმოდინამიკურ და კინეტიკურ პარამეტრებზე.

4. ჩატარებული სტრუქტურული და ფაზური კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ ცხელი პრესვის პირობებში, სტრუქტურირების და ფაზარმოქმნის პროცესები მიმდინარეობენ კინეტიკურ რეჟიმში.

5. დადგენილია, რომ Co-Sn, Co-Sn-Ni სისტემებში კალის კონცენტრაციის მომატებით მკვეთრად მაღლდება ცხობილის სისაღე. სისაღის მომატება ტემპერატურულ ინტერვალში 790-880°C განპირობებულია  $Co_3Sn_2$  და  $Ni_3Sn$  ინტერმეტალიდების ინტენსიური წარმოშობით.

6. ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე დადგინდა, რომ დასახულ მოთხოვნათა კომპლექსს მაქსიმალურად პასუხობს Co-Sn-Ni შემადგენლობის სისტემა. შედეგი ქიმიური შემადგენლობით Co=40%, ხოლო კალა და ნიკელი წარმოდგენილია შემდეგი თანაფარდობით 3 : 2.
7. შექმნილია სხვადასხვა შემადგენლობის ალმასკომპოზიციური მასალებით არმირებული ალმასური ინსტრუმენტი. ინსტრუმენტის გამოცდა განხორციელდა რკინა-ბეტონის ბურღვის ოპერაციაზე გამოსაცდელ სტენდზე საწარმოსთან მიახლოებულ პირობებში.
8. დადგენილია, რომ შემოთავაზებული 60%Co-16%Sn-24%Ni შემადგენლობის შემკვრელის ალმასკომპოზიტები 60 და 80% -ით აღემატებიან ჭრის უნართა და მედეგობით ფართო მოხმარებაში არსებულ ანალოგებს.
9. შესწავლილია საბაზო შემადგენლობის 60%Co-16%Sn-24%Ni შემკვრელზე მიკროდისპერსული hBN დანამატის გავლენა. დადგენილია, რომ ნანოტექნოლოგიის ელემენტების გამოყენება ალმასკომპოზიტის მიღებისას რეალურად ამადლებს პროცესის ეფექტურობას. კერძოდ, შესამჩნევად მაღლდება ალმასური დამუშავების პროცესის წარმადობა

## Abstract

The aim of the work is create diamond composite material with elevated operating indications to be used in various fields of industry. The presented work aims to find new efficient metal binders and there effective usage for sintering diamond composite materials.

Research was carried out and corresponding technology stated for the composites where the main component is a large sized, high quality diamond mono-crystals. The mentioned types of diamond composites are produced to be used in extreme conditions, accordingly rigid requirements are placed upon them.

The metal components of the planned compositions with various chemical consistency, structure, phase compositions and correspondingly physical-mechanical characteristic where used to fabricate the diamond composite materials. Presented work will by all means make moderate contribution in search of new systems of binders for diamond-composite materials and to overcome the technological difficulties occurring in the course of diamond application. There are presented some technological aspects of production diamond composite materials on the basis of metal binders by method of hot isostatic pressing. Some technical solutions are elaborated which enable to increase the sintering process technological effectiveness of diamond composite materials with specified geometrical dimensions. There were studies and investigated different constituency alloys of Cu-Sn, Cu-Sn-Ni, Co-Sn and Co-Sn-Ni system sintered in various P-T- parameters by method of hot pressing.

For studying of Me-Me systems electro microscopy, X-ray structure, X-ray phase, X-ray spectral methods of investigation were carried. Investigation of physical-mechanical properties of sintered metallic system, such as macro and micro hardness, solidity limit on bending and impact viscosity by means of corresponding methodology was carried out. The alloys with highest characteristics where used as binders in diamond composite materials sintering process.

It was studies and revealed the influence of hBN additives presence in Co-Sn-Ni system on physical-mechanical characteristics of sinters. Operating characterizes of diamond composite materials (cutting ability, wear resistance) on the operation of concrete and reinforced concrete drilling process were studied on the test stands. The experimental date stated that diamond composite materials based on systems Co-Sn-Ni and Co-Sn-Ni-hBN have exploitation index 30-40% higher than that some analogies.