

მაღალი ბალისტიკური ეფექტიანობის ლითონკერამიკული ფილების მიღების ტექნოლოგიის კვლევა-დამუშავება

**ზაქარია ძელაშვილი, თეიმურაზ ნაშიჩიშვილი, ზურაბ
ასლამაშაშვილი, გიორგი პარუნაშვილი, გარეგინ ზახაროვი,
მიხეილ ჩიხრაძე, კონსტანტინე პაპავა
სსიპ - ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და
მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი**

აბსტრაქტი

სამუშაოში განხილულია Ti-B და Ti-B-N სისტემის ფუძეზე გაზრდილი განივი გაბარიტების ლითონკერამიკული ბალისტიკური დარტყმამდეგი, ცვეთამდეგი, მხურვალმდეგი და კოროზიამდეგი ფილების მისაღებად შერჩეული კაზმის TiB₂, TiB₀₆ და TiBN თმს-ელექტროგლინვის პროცესი. კერძოდ, განხილულია სინთეზირებული კაზმის დენადობის ანალიზი, დეფორმაციის კერაში გამკვრივების დინამიკა, გეომეტრიული ჩქაროსნული და ძალოვანი პარამეტრები და მის საფუძველზე შემუშავებულია ტექნოლოგიური რეჟიმები, რომლებიც უზრუნველყოფს გლინვისა და სინთეზის სიჩქარეთა აუცილებელ ტოლობას გლინვის მთელი პროცესის მანძილზე და კომპაქტირებული მასალის მიღებას. განხილული რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის საფუძველზე, ნაჩვენებია მიღებული TiB₀₆ მასალის სტრუქტურული სურათები, რომელს აგებულებაც ადასტურებს მაღალი ინტენსივობის დინამიური დარტყმითი დატვირთვისადმი კარგ მედეგობას. ჩატარებული ბალისტიკური გამოცდებით დადგინდა მასალის მე-3 კლასის დაცვისუნარიანობა.

საკვანძო სიტყვები:

ჯავშანკერამიკა, სიმკვრივე, სისალე, თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზი, ელექტროგლინვა, კომპაქტირება

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCTION HIGH BALLISTIC EFFICIENCY METAL CERAMIC PLATES

ZAQARIA MELASHVILI, TEIMURAZ NAMICHEISHVILI, ZURAB ASLAMAZASHVILI, GEORGE PARUNASHVILI, GAREGIN ZAKHAROV, MIKHEIL CHIKHRADZE, KONSTANTINE PAPAVA
LEPL - FERDINAND TAVADZE METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE INSTITUTE

ABSTRACT

The work is discussed the process of SHS-Electric rolling for obtaining metal-ceramic ballistic impact-resistant, wear-resistant, heat-resistant and corrosion-resistant plates of increased geometric size he from selected chasm of TiB₂, TiB₆ and TiBN in the system of Ti-B and Ti-B-N. The paper describes, in particular, the fluidity analysis of the synthesized chasm, the dynamics of hardening in the deformation core, geometric acceleration and force parameters. On their bases technological modes are developed, which provide the necessary equality of rolling and synthesis speeds during the whole rolling process for obtaining compact material. Based on the discussed X-ray structural analysis, structural images of the obtained TiB₆ material are shown, the structure of which proves good resistance to high-intensity dynamic impact loads. Ballistic tests were performed to determine the 3rd level (class) protection of the material.

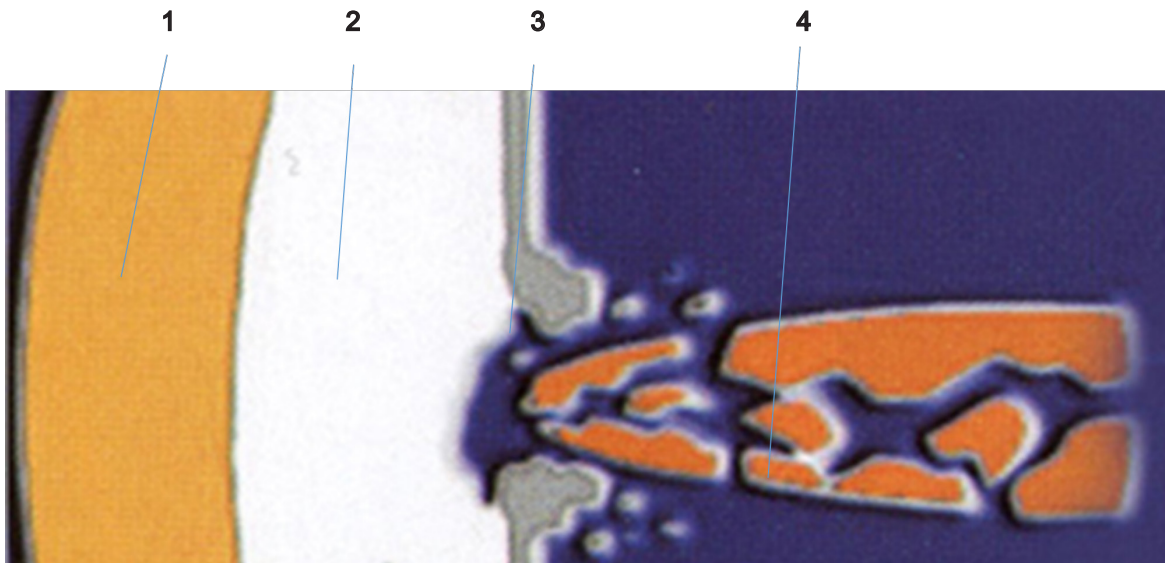
KEYWORDS:

Armor Ceramics, hardness, strength, Self-propagating High-temperature Synthesis, Electric Rolling, compaction

შესავალი

თანამედროვე ჯავშანდაცვის ეფექტიანობისადმი წაყენებული მზარდი მოთხოვნები განაპირობებს დარტყმამდევე ახალი მასალების შექმნასა და წარმოებას, რომელთა არსებულ მასალებთან შედარებით ძირითადი უპირატესობაა დაბალი სიმკვრივე (წონა) და მაღალი სისალე (სიმტკიცე). ასეთ მასალათა რიგს განეკუთვნება კერამიკა და ლითონკერამიკა.

გამანადგურებელი ელემენტების მაღალ სიჩქარეებზე მიყენებული დარტყმისას, კერამიკულ მასალებს ახასიათებთ განმტკიცების კარგი მექანიზმი. ეს განსაკუთრებით კარგად მუშაობს კუმულატიური ჯავლის ზემოქმედებისას ჯავშანში გამოყენებული კერამიკა ეფექტურად მუშაობს მრავალშრიან ჯავშანკონსტრუქციაში, როგორც მონყობილობის დამამსხვრეველი ელემენტი. მისი მიზანია მოხვედრილი ჭურვის დანაწევრება ან ზემოქმედების სწრაფი შესუსტება, ანუ მოხვედრილი ჭურვის კინეტიკური ენერჯის გაბნევა. ხოლო ჯავშან სისტემის მომდევნო ელემენტისათვის გაადვილებულია გაბნეული, შესუსტებული კინეტიკური ენერჯის შთანთქმა (სურ. 1)



სურ. 1. მრავალშრიანი საჯავშნე სისტემის დაზიანების სქემა;
1-ჭურვი, 2- ბოჭკოვანი შრე, 3- კერამიკა, 4- კიდურა დამცავი ელემენტი.

ჩატარებული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ არსებობს დიდი პოტენციური დაცვის კერამიკული საშუალებების ბალისტიკური ეფექტურობის შემდგომი ზრდისათვის. კერძოდ, დღესდღეობით განიხილება რამდენიმე საბაზისო მიდგომა ამ პრობლემის გადასაწყვეტად, რომელთა შორის მეტად პერსპექტიულია კერამიკული მასალის სტრუქტურის სრულყოფა ნანო, მიკრო და მაკრო დონეზე. აგრეთვე ისახება რიგი ოპტიმალური სტრუქტურულ-ტექნოლოგიური პარამეტრების შერჩევის შესაძლებლობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ კერამიკული ჯავშანელემენტების ბალისტიკური ეფექტის მაქსიმალურ ზრდას. ამავდროულად მოცემული ამოცანის პრაქტიკული გადაწყვეტა მოითხოვს როგორც თეორიული, ისე ექსპერიმენტალური მეთოდებით კვლევებს.

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები

ლითონკერამიკული ფილების მიღების მრავალ მეთოდს შორის გამოირჩევა ფ.თავაძის მეტალურჯისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტში დამუშავებული თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზისა (თმს) და ელექტროგლინვის შერწყმული პროცესი [1], რომლის რეალიზაციის ძირითადი პირობაა კაზმის სინთეზისა და გლინვის სიჩქარეთა ტოლობა და თბური დანაკარგების კომპენსაცია დეფორმაციის კერაში მახურებელი დენის გატარებით, რაც უზრუნველყოფს სინთეზირებული კაზმის იზოთერმულ ბლანტ-პლასტიკურ მასის მიწოდებას საგლინავ დგანში.

წარმოდგენილი სამუშაოს ძირითად მიზანს წარმოადგენს თმს-ელექტროგლინვით გაზრდილი გაბარიტების (10-12×135×210)მმ³ მქონე დინამიური დატვრთვებისა და იმპულსური დარტყმებისაგან, (HRC

65 --- KCU 0.5 მკ/მ² და HRC 50 --- KCU 0.9 მკ/მ²) დამცავი ფილების და მიღების პროცესების თეორიულ კვლევას და შესაბამისი ტექნოლოგიების დამუშავებას. აღნიშნულის რეალიზაციის მიზნით ინსტიტუტში არსებულ „დუო-260“ საგლინავი დგანის ბაზაზე განხორციელდა თმს-ელექტროგლინვის დანადგარის მონყობა და გაშვება. კვლევების მიზანანია Ti-B და Ti-BN, სისტემის ფუძეზე თმს ელექტროგლინვის მეთოდით შეიქმნას დიდი გაბარიტების ისეთი მასალები, რომლებსაც ექნებათ სალი შენადნობების დამახასიათებელი თვისებები მაღალ დარტყმით სიბლანტესთან ერთად.

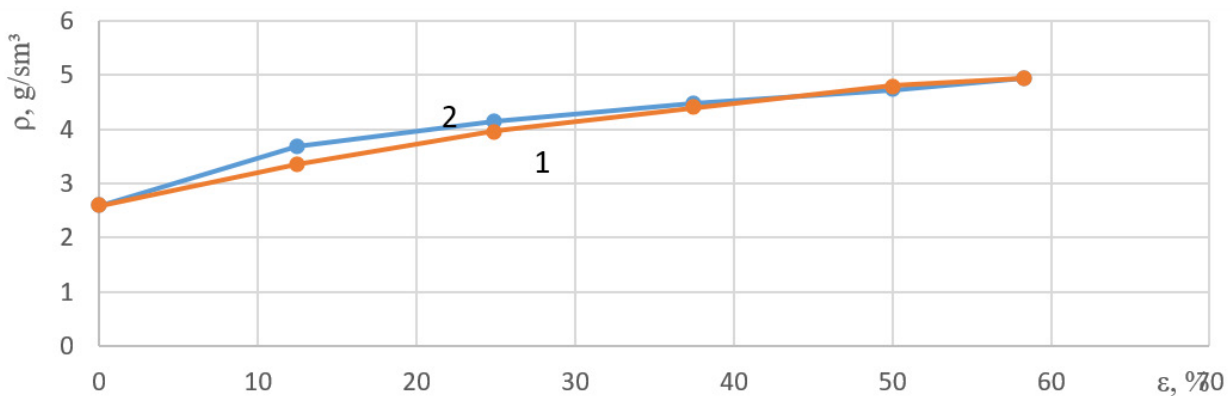
თეორიული ანალიზის მიზნით Ti-B და Ti-B-N ფუძეზე დიდი გაბარიტების მქონე ფილების მისაღებად, შემადგენლობის შესარჩევად და სამიზნე პროდუქტის თბური ეფექტის შესაფასებლად ჩატარდა თერმოდინამიკური ანგარიში სპეციალური კომპიუტერული პროგრამა Thermo-ს გამოყენებით. ამ კაზმებისათვის დამუშავებული და გაანალიზებული იქნა თმს-ელექტროგლინვის პროცესი, ბრიკეტებიანი კონტეინერის მომზადებისა და ელექტროგლინვის ოპტიმალური გეომეტრიული, ჩქაროსნული და ძალური პარამეტრების დასადგენად.

დეფორმაციის კერაში, შესვლის კვეთიდან გამოსვლის კვეთამდე, მოჭიმვებისგან (დეფორმაციისგან) დამოკიდებულებით, გამკვრივების დასადგენად, თეორიული ანალიზისა და გლინვის პროცესში დამუხრუჭებული ნამზადიდან ამოჭრილი ტემპლებების გაზომილი სიმკვრივების საფუძველზე მიღებულ იქნა ემპირიული ფორმულა [2]:

$$\rho_x = \rho_0 + (\rho_1 - \rho_0) (\epsilon_x / \epsilon)^{0,5} \quad (1)$$

სადაც: ρ_x - სიმკვრივე საძიებელ კვეთში, გ/სმ³; ρ_0 - საწყისი სიმკვრივე, გ/სმ³; ρ_1 - ნაგლინის სიმკვრივე, გ/სმ³; ϵ_x და ϵ - დეფორმაციის კერის საძიებელ კვეთისა და ჯამური ფარდობითი დეფორმაციებია, %.

(1) გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ დეფორმაციის კერის გასწვრივ ფარდობითი დეფორმაციისათვის სიმკვრივის მნიშვნელობები. ემპირიული გამოსახულებების სანდოობა პარამეტრების ცვლის ფართო დიაპაზონში შემონმებული იქნა ექსპერიმენტებით. ექსპერიმენტალურ და ემპირიულ გამოსახულებით მიღებულ მნიშვნელობებს შორის ფარდობითი ცდომილება შეადგენს 2-4%. დეფორმაციის კერის თითოეული უბნის საწყისი და საბოლოო სიმკვრივების მნიშვნელობები განსაზღვრული იქნა ექსპერიმენტალურად და გამოთვლილი (1) გამოსახულებით (სურ. 2)



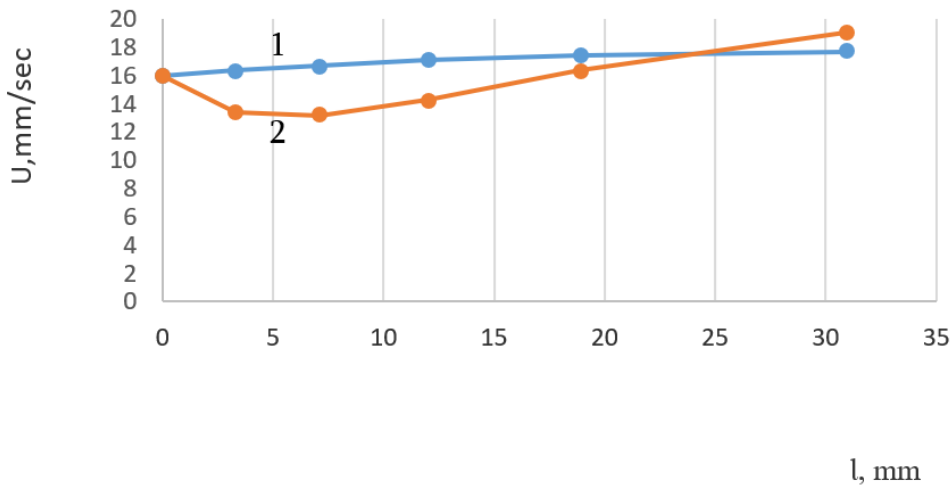
სურ.2. TiB06 მასალის სიმკვრივის ცვლილება გაგლინული მასალის ფარდობითი დეფორმაციის ცვლილებისას: 1 - ექსპერიმენტალური მონაცემები; 2 – (1) გამოსახულებით გამოთვლილი

ხარისხიანი უფრო ნაკეთობის მისაღებად აუცილებელია მასალის სიმკვრივეზე ფარდობითი დეფორმაციის ხარისხის გავლენის შესწავლა. ფხვნილოვანი კაზმის სიძვირიდან და დეფიციტიდან გამომდინარე, ექსპერიმენტების რაოდენობის შემცირების მიზნით შესწავლილ იქნა კონუსური (სოლისებრი) ნიმუშის გლინვის პროცესი, როდესაც ნაგლინი წარმოადგენს ცვლადი მოჭიმვებით მიღებულ მასალას. ამ მასალის ნებისმიერი კვეთისათვის განისაზღვრება შესატყვისი მოჭიმვა (ფარდობითი დეფორმაცია), შეტაცების მიმდინარე კუთხე, სიმკვრივე და გლინვის სხვა პარამეტრები. ნაგლინის წინა თავიდან ბოლომდე განხორციელებული ფარდობითი დეფორმაცია შეადგენდა 0-65%. [2]

ასევე ექსპერიმენტალური კვლევების პროცესში გაგლინული იქნა, კონტეინერში მოთავსებული ერთი და იგივე სისქის დაბრიკეტებული კაზმის ბრტყელი ნიმუშები სხვადასხვა მოჭიმვებით ($\Delta H=3\text{მმ}, 6\text{მმ}, 9\text{მმ}, 12\text{მმ}, 14\text{მმ}$). დეფორმაციის კერის სიგრძე პირობითად დაყოფილი იქნა უბნებად. თითოეული უბნის საწყისი

და საბოლოო კვეთები მიჩნეული იქნა, როგორც დეფორმაციის კერაში ნამზადის შესვლისა და გამოსვლის კვეთები, რომელთათვის მასების მუდმივობის კანონის თანახმად, მათემატიკური გარდაქმნებით მიღებულია ნამზადის გადაადგილების სიჩქარის განმსაზღვრელი გამოსახულება, რომლის საშუალებითაც განსაზღვრული იქნა ნამზადის გადაადგილების სიჩქარის ცვლილება დეფორმაციის კერის გასწვრივ.

დეფორმაციის კერის გასწვრივ გლინვის ნაკლებად ცვლადი და ნამზადის საკმაოდ ცვლადი სიჩქარეების ეპიურა წარმოაჩენს დეფორმაციის კერის ჩამორჩენისა და წინსწრების ზონათა სიგრძეების მნიშვნელობებს (სურ. 3).



სურ. 3. გლინის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელისა (1) და ნამზადის გადაადგილების (2) სიჩქარის ცვლილება დეფორმაციის კერის გასწვრივ

თმს პროცესით მიღებული ნამზადი წარმოადგენს ფორიან მასალას, რომლის შემდგომი ცხლად წნევით დამუშავებისას (გლინვისას), მიიღება დაგეგმილი მექანიკური თვისებებისა და გაბარიტული ზომების ნაკეთობა. დეფორმაციის კერაში, სინთეზირებული კაზმის ჩამოყალიბებული მარცვლები უახლოვდება ერთმანეთს და გამოსვლის კვეთში მიიღება გამკვრივებული მასალა, მნიშვნელოვნად მცირდება ფოროვანი სიცარიელებები და გარკვეული მოჭიმვისას, ფარდობითი ფორიანობა მცირდება 2-5%-მდე. ნამზადის კვეთში მოჭიმვის შედეგად უპირატესად ადგილი აქვს კუმშვას, მარცვლები გადაადგილდებიან ვერტიკალური მიმართულებით. მიაღწევს, რა გარკვეულ შეჭიდულებას, კაზმი იწყებს გრძივი მიმართულებით დენადობას. ამრიგად, თმს-ელექტროგლინვისას პროცესი მიმდინარეობს მარცვალთშორისი და ნაწილაკებთშორისი ძვრითი დეფორმაციით. დეფორმაციის კერის გასწვრივ მასალის სიმკვრივის ზრდა დამოკიდებულია კაზმის კომპაქტირების ხარისხზე [3].

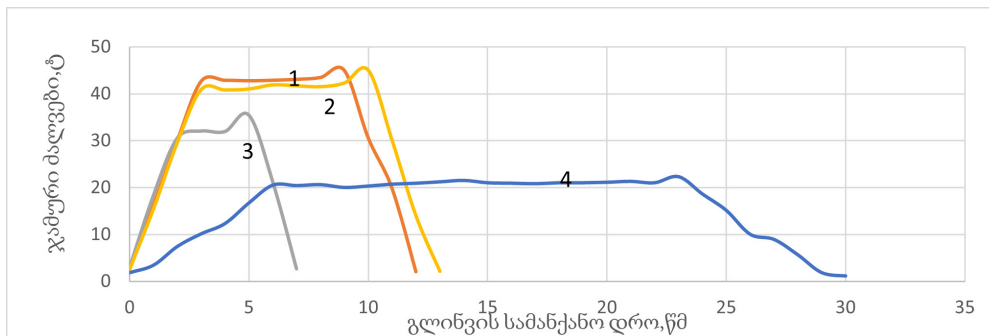
როგორც სურ.3-დან ჩანს, დეფორმაციის ზრდასთან (ფორიანობის შემცირებასთან) ერთად მცირდება დეფორმაციის კერაში შესვლისას კონტინენტის გადაადგილების სიჩქარე. ამას განაპირობებს ის, რომ მოჭიმვის ზრდასთან ერთად მცირდება კომპაქტირების ინტენსივობა. სინთეზირებული კაზმი გადაედინება უპირატესად განივი მიმართულებით, მართალია იზრდება გლინების წრიული სიჩქარის ვექტორის ჰორიზონტალური მდგენელი, მაგრამ არ შეიმჩნევა ხახუნის ძალების მკვეთრი ზრდა, რომელიც თავის მხრივ უზრუნველყოფს ნამზადის გრძივ გადაადგილებას. $\epsilon=25\%$ -დან დეფორმაციის გარკვეულ მნიშვნელობამდე (54-55%), ნამზადის სიჩქარის ჩამორჩენა გლინის სიჩქარესთან მცირდება. ამ დროს მიმდინარეობს ინტენსიური კომპაქტირება, ანუ სინთეზირებული TiB06 მარცვლები გადაადგილდებიან უპირატესად ვერტიკალური მიმართულებით და გამოჭიმვა მინიმალურია. დეფორმაციის ზრდასთან ერთად ($\epsilon=54-55\%$), იზრდება TiB06 მარცვლებისა და ტიტანის ფაზის გამოჭიმვა და შესაბამისად მცირდება ფორიანობა, ამრიგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ გლინვა უნდა წარმართოს $\epsilon>54\%$ ფარდობითი მოჭიმვის პირობებში. ოპტიმალურ რეჟიმს წარმოადგენს $\epsilon=54-58\%$, რომლის დროსაც ფარდობითი ფორიანობა მცირდება 2-3%-მდე. დეფორმაციის შემდგომი ზრდა უმნიშვნელოდ მოქმედებს მასალის კომპაქტირებაზე, აუარესებს საგლინავი დგანის ქმედითუნარიანობას, შეტაცების პირობებს და შესაბამისად გლინვის სტაბილურობას.

TiB06 კაზმის ჩქაროსნული პირობის დარღვევის შემთხვევაში, თუ ადგილი აქვს გლინების კუთხური სიჩქარის შემცირებას, იზრდება ჯამური ძალები, რაც გამოწვეულია დეფორმაციის კერიდან წვის ფრონტის დაშორებით ანუ დაყოვნების დროის გაზრდით, რომელიც თავისთავად იწვევს წვის ფრონტის გადაადგილებისა და ნამზადის გადაადგილებას შორის სხვაობის ზრდას. კაზმი ცივდება, იზრდება დეფორმაციისადმი წინაღობა

და ბზარწარმოქმნის საშიშროება. თუ გლინების სიჩქარე ოპტიმალურ სიჩქარეზე მეტია, ხდება წვის ფრონტისა და ნამზადის გადაადგილების სიჩქარეთა სხვაობის შემცირება, ანუ წვის ფრონტი უახლოვდება დეფორმაციის კერის საწყის წერტილს, თმს პროდუქტში იზრდება თხიერი ფაზის რაოდენობა და ნამზადის სტრუქტურა დაუფორმირებელი რჩება ანუ ადგილი აქვს არა სრულ კომპაქტირებას, ე.ი. იზრდება ფორიანობა.

ცნობილია, რომ თვითგავრცელებად მაღალტემპერატურულ სინთეზის პროცესში კაზმის დეფორმაციისას დროით ტექნოლოგიურ პარამეტრებს მნიშვნელოვანი გავლენა გააჩნია. განსაკუთრებით დეფორმაციამდე დაყოვნების დროს [4,5], რომელიც განსაზღვრავს დეფორმაციის პროცესში თხევადი ფაზის რაოდენობრივ მნიშვნელობას, რაც კაზმის კომპაქტირების პროცესზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს. სამუშაოში დადგენილია ზემოაღნიშნული დროითი პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობები და განისაზღვრა პროცესის მიმდინარეობის დინამიკა.

ზოგადად, Ti-B და Ti-B-N ფუძეზე სინთეზის სიჩქარე - 8-35 მმ/წმ; სინთეზის ტემპერატურა - 2200-27000 OC; თმს ინიციებისათვის დენი 6-7 კა, ხურების დრო - 5-12 წმ. ნიმუშის ფორმირების ოპტიმალური ხვედრითი წნევები- 0,3-0,7კგ/მმ2 (3,0-7,0 MII). ქვემოთ მოყვანილი დატვირთვის დიაგრამებიდან ჩანს (სურ.4), რომ გლინვის დამყარებული პროცესის ბოლო უბნებზე შეიმჩნევა გლინებზე დატვირთვის ზრდა.



სურ.4. ზოგიერთი მასალის ჯამური ძალევის ცვლილება თმს-ელექტროგლინვისას
1-Ti-TN; 2-Ti-BN; 3-Ti-Tib; 4-Ti-BN(Ti-80%,BN—20%)

ეს გამოწვეულია ნამზადის ბოლოს სინთეზის სიჩქარის ზრდისას ნამზადის გადაადგილების სიჩქარის ჩამორჩენით, სინთეზის კვეთის დაშორებითა და დაყოვნების დროის გაზრდით, რომლის დროსაც ცივდება ნამზადი და იზრდება დეფორმაციისადმი წინააღმდეგობა. ე.ი. ირღვევა ბალანსი და თმს ფრონტისა და ნამზადის გრძივი გადაადგილების სიჩქარეთა ტოლობა გარკვეულ წილად ვერ უზრუნველყოფს წვის ფრონტის თანაბარ დაშორებას. ცხრ.1-ში მოცემულია ზოგიერთი მასალის ბრიკეტის ცივად წნევისა და თმს-ელექტროგლინვით კომპაქტირების პარამეტრები

ცხრილი.1. ზოგიერთი მასალის კომპაქტირების პარამეტრები

მასალა	Ti-TiN	Ti-BN	Ti-TiB	TiB ₀₆	Ti-80% BN-20%
კონტეინერის ზომები, მმ	24x125x210	21x125x210	21x125x210	21x125x210	21x125x210
ცივად დაწნევის ძალვა, ტ	20	100	20	100	100
სინთეზის სიჩქარე, მმ/წმ	18,7	35	16	18	7
ფარდობითი მოჭიმვა, %	58,3	57,1	57,1	52	50
გლინების ბრუნვის სიხშირე, ბრ/წთ	1,4	2,32	1,19	1,34	0,5

გლინვის ხანგძლივობა, წმ	11,2	6,0	13,1	11,7	30
მაქს. ძალვა გლინვისას, ტ	45	33,5	45	17,3	22,3
საშ.ხვედრითი წნევა, კგ/სმ ²	47	45	55	33	40
ინიც. ხურების დენი, კა	6	6,5	7	7	7
ბრიკეტის სიმკვრივე, გ/სმ ³	2,19	2,3	2,85	2,6	2,3
მასალის სიმკვრივე, გ/სმ ³	4,52	4,12	4,31	4,12	4,0
სისალე, HRA	85	82	87	76	74

შედეგები

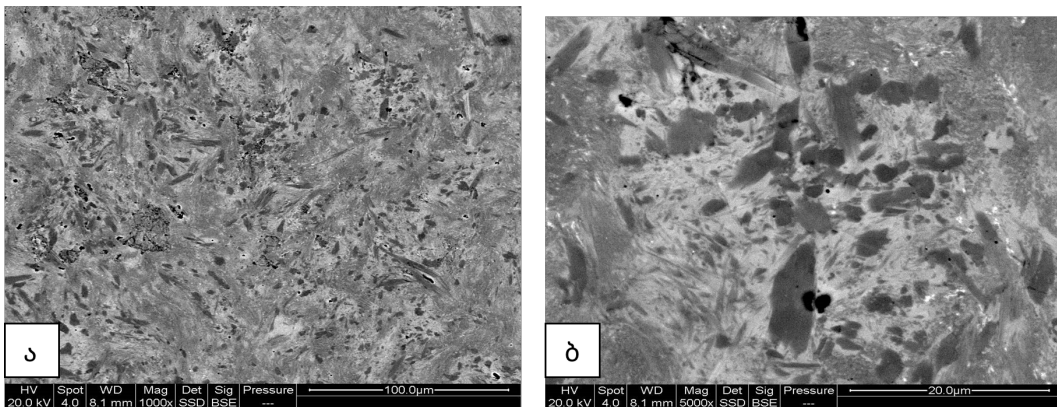
თეორიული და პრაქტიკული კვლევების საფუძველზე, დადგინდა იქნა დარტყმამდეგი ლითონკერამიკული ფილების მიღების შემდეგი ტექნოლოგიური სქემა:

- კაზმების შემადგენლობის შერჩევა, რომელიც უზრუნველყოფს ხარისხიანი მაღალი დარტყმამდეგი და კოროზიამდეგი თვისებების ლითონკერამიკული ფილების მიღებას;
- კაზმები არევა ბურთულებიან წისქვილში 24 საათის განმავლობაში;
- განისაზღვრა ცივად დაბრიკეტების ძაღვები -5-100ტ დიაპაზონში;
- დგინდება თმს სიჩქარე;
- 0,5 მმ სისქის თუნუქის ფურცლიდან კონტეინერის, ზომებით (25x126x210მმ) დამზადება;
- განისაზღვრა გაზრდილი გაბარიტების 10x135მმ კვეთის ფილების მისაღებად, კონტეინერში ბრიკეტების განივი განლაგების სქემა, რომელიც წარმოადგენს ე.წ. ბრიკეტის „კბილურ“ გადაბმას და უზრუნველყოფს განივი მიმართულებით სინთეზირებული კაზმისაგან მონოლითური მასალის ჩამოყალიბებას;
- დადგინდა სინთეზის სიჩქარის შესაბამისი ნამზადის გადაადგილების გრძივი სიჩქარე და შესაბამისად გლინების ბრუნვათა რიცხვი;

- დგინდება სინთეზის თბური ინციცირებისათვის მისაწოდებელი დენის სიმკვრივე დროში;

ზემოთ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე, საგლინავი დგანის აწყობისათვის გამოყენებულ იქნა გლინებზე ყუთოვანი კალიბრი და გლინვისათვის ფარდობითი მოჭიმვა შეადგენდა 55-60% (58%); გლინვის შემდეგ ხორციელდება ნაგლინის დატვირთვის ზემოქმედების ქვეშ მდორე გაციება.

შემოთავაზებული თმს-ელექტროგლინვის ტექნოლოგიური პროცესით მიღებულია გრადიენტული, კოროზიამდეგი, დარტყმამდეგი მეტალოკერამიკული ნამზადები, რომელთაც ჩაუტარდა მეტალოგრაფიული კვლევები, რომლის შედეგი ნაჩვენებია სურ.5-ზე.



სურ.5. TiBo₆ მასალის მიკროსტრუქტურა ა) გადიდება X1000 ბ)გადიდება X 5000

TiB_{0.6} მასალის მიკროსტრუქტურებიდან ჩანს [6], რომ ჰექსაგონალური ტიტანის ფაზა Ti წარმოდგენილია ქაოტურად ორიენტირებული ძალიან თხელი რამოდენიმე ათეული ნმ-ის სისქის ფირფიტების სახით, რაც გვაფიქრებინებს, რომ მასალის ასეთმა აგებულებამ, მაღალი ინტენსივობის დინამური დარტყმითი დატვირთვის დროს, უნდა უზრუნველყოს, დარტყმითი ენერჯის აკუმულირება და მასალის დინამური დატვირთვისადმი კარგი მედეგობა (სურ.5).

მიღებული მასალებისათვის ჩატატრებული იქნა ბალისტიკური გამოცდები, რომელმაც აჩვენა მე-3 კლასის დამცავუნარიანობა.

გამოყენებული ლიტერატურა

- T.Namicheishvili, A.Tutberidze, Z.Melashvili, G.Tavadze, Z.Aslamazashvili, G.Oniashvili, G.Zakharov. Method for obtaining inorganic product from powder exothermic chasm, Saqpatenti. Patent P 6541 . LEPL Ferdinand Tavadze Metallurgy and Materials Science Institute, 2016.
- Investigation of the Fluidity of the Synthesized Charge in the Deformation Site on SHS-Electrical Rolling. Melashvili Z, Tutberidze a.,Namicheishvili T ,Aslamazashvili Z., Papava K.,Parunashvili G., Basilaia g. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., vol. 14, no. 4, 2020
- А. П. Гаршин. В. И. Кулик, А. С. Нилов, Д. А. Провоторов.Ударопрочные материалы на основе технической керамики: достижения и перспективы повышения баллистической эффективности.Новие огнеупори. №4, 2016. с.53-67
- В.В. Подлесов, А.М. Столин, А.В. Радугин, А.Г. Мержанов Технологические основы СВС-экструзии. //Инженерно-физический журнал, 1992, т. 63, №5.
- Подлесов В.В., Столин А.М., Мержанов А.Г. СВС-экструзия электродных материалов и их применение для электроискрового легирования стальных поверхностей // ИФЖ.-1993.-Т.- 63.- №5.
- G. Tavadze, G. Oniashvili, Z. Melashvili, Z. Aslamazashvili, G. Zakharov Obtaining and structural analysis of TiB_{0.6} metal-ceramic tiles with SHS electric-rolling process. IMS 2021.4th International Conference “Modern technologies and methods of inorganic materials science”. Proceedings SEPTEMBER 2021, 2021.TBILISI, GEORGIA, 178-184