

სპეცდანიშნულების ლითონკერამიკული მასალების თმს¹- ელექტროგლინვისას დეფორმაციის კერაში სინთეზირებული მასალის დენადობის მოდელირებით მასათა დენადობის კვლევა და მის საფუძველზე სინთეზისა და გლინვის სიჩქარეთა კორექტირება

ზაქარია მელაშვილი

ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის
ლითონური მასალების წნევით დამუშავების
ლაბორატორიის უფროსი,
უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი,
ტექნიკურ მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი

თეიმურაზ ნამიჩიშვილი

ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის დირექტორის
მრჩეველი სამეცნიერო დარგში,
ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი

ზურაბ ასლამაზაშვილი

ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის
თმს ლაბორატორიის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი,
ტექნიკურ მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი

გიორგი პარუნაშვილი

ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის
ლითონური მასალების წნევით დამუშავების
ლაბორატორიის მკვლევარი მთავარი სპეციალისტი

მიხეილ ჩიხრაძე

ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის
თმს ლაბორატორიის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი,
ტექნიკურ მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი

გიორგი ბასილაია

ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის
ლითონური მასალების
წნევით დამუშავების ლაბორატორიის
მკვლევარი სპეციალისტი

აბსტრაქტი

სამუშაოში განხილულია თმს-ელექტროგლინვით Ti-B და Ti-BN სისტემის ფუძეზე, ლითონ-კერამიკული მასალების პლასტიკური დეფორმაციისას, მასათა დინების კვლევა. თერმოდინამიკური გათვლებით განსაზღვრულია კაზიმის ოპტიმალური შემადგენლობა და სინთეზზე მოქმედი პარამეტრები. მოყვანილია, დეფორმაციის კერაში, გარდამავალი პროცესისას, შესვლის კვეთიდან გამოსვლის კვეთამდე კაზიმის სიმკვრივის განმსაზღვრელი კორექტირებული ემპირიული ფორმულა. გაანალიზებულია ე.წ. “უარყოფითი” გამოჭიმვის მოვლენა და მის საფუძველზე განსაზღვრულია სინთეზირებული მასალის სიგრძის მატება სხვადასხვა მოჭიმვის რეჟიმებსა და კაზიმის სიმკვრივის ცვლილებისას. დეფორმაციის კერამდე, სინთეზის წვის ფრონტის კვეთის მუდმივი დაშორების პირობიდან გამომდინარე (დაყოვნების დროის მუდმივობა), გათვლილია გლინვის სიჩქარის ცვლილება სინთეზის სხვადასხვა სიჩქარისას.

საკვანძო სიტყვები:

ჯავშანკერამიკა, სიმკვრივე, თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზი, ელექტროგლინვა, კომპაქტირება, მასათა დენადობა, გლინვის სიჩქარე, გლინვის ბრუნვათა რიცხვი.

¹ თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზი

Study of the Mass Flow by Modeling the Flow of the Synthesized Material in the Deformation Center during SHS²-Electrical Rolling of Special Purpose Metal-Ceramic Materials and Relevant Adjustment of the Synthesis and Rolling Speeds

Zakaria Melashvili

Head of Metal Materials Pressure Processing Laboratory, Senior Research Scientist
Ferdinand Tavadze Metallurgy and Materials Science Institute, Doctor of Technical Science

Teimuraz Namicheishvili

Scientific Advisor of Director, Ferdinand Tavadze Metallurgy and Materials Science Institute
Doctor of Technical Science

Zurab Aslamazashvili

Chief Research Scientist of SHS Laboratory, Ferdinand Tavadze Metallurgy and Materials
Science Institute, PhD in Technical Sciences

Giorgi Parunashvili

Researcher-Chief Specialist of Metal Materials Pressure Processing Laboratory, Ferdinand
Tavadze Metallurgy and Materials Science Institute

Mikheil Chikhradze

Senior Research Scientist of SHS Laboratory, Ferdinand Tavadze Metallurgy and Materials
Science Institute, PhD in Technical Sciences

Giorgi Basilaia

Research Specialist of Metal Materials Pressure Processing Laboratory, Ferdinand Tavadze
Metallurgy and Materials Science Institute

Abstract

The article discusses the study of mass flow during plastic deformation of metal-ceramic materials on the basis of Ti-B and Ti-BN system with SHS-electrical rolling. Thermodynamic calculations determine the optimal composition of the charges and the parameters affecting the synthesis. A corrected empirical formula for determining the density of the charge in the center of deformation, during the transition from the entry section to the exit section, is given. The so-called “negative” stretching event is analyzed and the length increase of the synthesized material is determined on the basis of different stretching regimes and changes in the charge density. Based on a constant distance of the front intersection of the combustion synthesis to the center of deformation (constant delay time), the change in the rolling speed for different speeds of synthesis is calculated.

Keywords:

Armor ceramics, density, self-propagating high-temperature synthesis, electrical rolling, compaction, mass flow, rolling speed, number of rotations of rolls.

² Self-propagating high-temperature synthesis

შესავალი

თანამედროვე ტექნიკის განვითარება მოითხოვს მაღალი ხარისხის სპეცთვისების მასალებს, რომელიც მოიცავს ერთდროულად სხვადასხვა აგრესიული გარემოსადმი წინააღმდეგობას (კოროზიამდეგობა, ცვეთამდეგობა და სხვა), გამოირჩევიან მაღალი მექანიკური თვისებებით (დარტყმამდეგობა, სისაღე, სიმტკიცე) და ავლენენ მდგრადობას მაღალი ტემპერატურებზე ექსპლუატაციისას (მხურვალმდეგობა, ხენჯმდეგობა). ასეთ მასალებს მიეკუთვნება ლითონკერამიკული და კერამიკული, ერთშიანი და მრავალშიანი, ფენოვანი, გრადიენტული თვისებების მქონე მასალები, რომელთა მიღების მეთოდები თმს წნეხით, ლიტერატურაში ფართოდაა განხილული. ზემოთ მოყვანილი თვისებების, შეუზღუდავი გრძივი და გაზრდილი განივი გაბარიტების ლითონკერამიკული და კერამიკული ფილების მიღების შესაძლებლობას იძლევა ფ.თავადის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტში დამუშავებული თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზისა (თმს) და ელექტროგლინვის შერწყმული პროცესი.³ ამ პროცესის სირთულიდან გამომდინარე სინთეზირებული მასის ძვრითი დეფორმაციისა და სასურველი ხარისხის კომპაქტირებისათვის საჭიროა თხიერი ფაზა, ამიტომ ასეთი ფილების მისაღებად შერჩეულია Ti-B და Ti-BN სისტემის ფუძის ნაერთები, რომლებიც აკმაყოფილებენ დაგეგმილ თვისებებს. ამ ნაერთების სინთეზისას წარმოიქმნება TiB, TiB₂, TiN და Ti₂N მარცვლები და ტიტანის თხიერი ფაზა. კომპაქტირებისას, ეს უკანასკნელი ასრულებს შემკვრელისა და ე.წ. საპოხის როლს.

თმს პროცესის თერმოდინამიკური ანალიზი საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ წვის პროდუქტების ტემპერატურა და შემადგენლობა, იმ დაშვებით, რომ პროცესი ადიაბატურია და სინთეზის პროდუქტებში დამყარებულია სრული ქიმიური წონასწორობა.

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები

ჩატარებული თერმოდინამიკური გათვლებით შეირჩა საკაზმე ნარევის შემადგენლობა, კერძოდ:

Ti-B სისტემისათვის: Ti-75%, B-25%; Ti-80%, B-20%;

Ti-B-Cu სისტემისათვის: Ti-70%, B-26%, Cu-4%; Ti-75%,

Ni-Ta-Ni-Cr-C სისტემისათვის: Ti-20%, Ta-51,9%, Ni-10%, Cr-18%, C-0,1%;

Ti-10%, Ta-61,9%, Ni-10%, Cr-18%, C-0,1%

თმს-ელექტროგლინვით ხარისხიანი ფილების მიღების პროცესზე (მაღალი:სისაღე,კოროზიამდეგობა,ცვეთამდეგობა,ბალისტიკური დარტყმამდეგობა და დაბალი ფორიანობა) მოქმედებს შემდეგი პარამეტრები:

1. კაზმის დისპერსიულობა, გამოშრობის ხარისხი, აქტივიზაცია და არევის ხარისხი;
2. ცივად წინასწარი დაბრიკეტების ძალები;
3. კონტეინერში ბრიკეტების განლაგება;
4. კონტეინერის ზომები.

სინთეტიკური კომპოზიციური კერამიკული მასალის (სკკმ) სინთეზი ხორციელდება ტექნოლოგიური სქემის მიხედვით, რომლის პირველი ეტაპი მოიცავს:

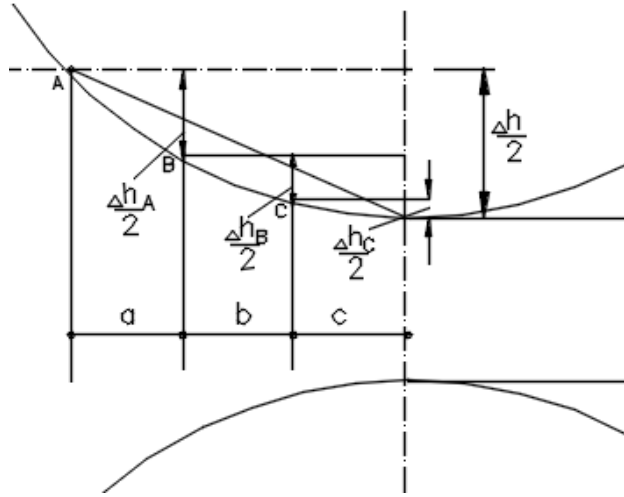
1. საწყისი კომპონენტების გამოშრობას;
2. კაზმის დოზირებას;
3. კომპონენტების შერევას;
4. კაზმის წინასწარი დაწნეხვას - ნიმუშის ფორმირებას;

დიდი განივი გაბარიტებისა და შეუზღუდავი სიგრძის ფილების მისაღებად შემუშავებული თმს-ელექტროგლინვის პროცესის ტექნოლოგიური სქემების დასამუშავებლად საჭიროა სინთეზირებული მასის დენადობის კანონზომიერების კვლევა დეფორმაციის კერაში.

კვლევებმა აჩვენა, რომ თმს -ელექტროგლინვის პროცესში ძირითადი ტექნოლოგიური პარამეტრები განიცდიან მოსალოდნელზე მეტ ცვლილებებს.⁴ მაგალითად, თმს-ელექტროგლინვის პროცესში, კომპაქტური ლითონების გლინვისაგან განსხვავებით, ბლანტი, ცხელი სინთეზირებული მასალის გამოჭიმვა ხორციელდება არა მარტო გლინვის მიმართულებით, არამედ საწინააღმდეგო მიმართულებითაც. ამ მოვლენის შესასწავლად, დეფორმაციის კერას მთელ სიგრძეზე წარმოსახვით ვყოფთ თანაბარი სიგრძის მონაკვეთებად. თითოეული უბნის წინა და უკანა კვეთები განიხილება როგორც დეფორმაციის კერაში ნამზადის შესვლისა და გამოსვლის კვეთები (სურ.1).

3 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 y.

4 Melashvili Z, Tutberidze A.,Namicheishvili T. ,Aslamazashvili Z., Papava K.,Parunashvili G., Basilaia G. Investigation of the Fluidity of the Synthesized Charge in the Deformation Site on SHS-Electrical Rolling. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., vol. 14, no. 4, 2020 y.



სურ.1. დეფორმაციის კერის წარმოსახვით დაყოფა თანაბარი სიგრძის $a=b=c$ მონაკვეთებად.

დეფორმაციის პროცესში, ყოველ უბანში, გახურებული ბლანტი პლასტიკური მასალა მიედინება სამი, კუმშვის ვერტიკალური, განივი და გრძივი მიმართულებით. ამასთან, გრძივი დეფორმაცია მიმდინარეობს როგორც გლინვის („დადებითი“ გამოჭიმვა), ისე მის საწინააღდეგო („უარყოფითი“ გამოჭიმვა) მიმართულებით. ეს მოვლენა შემდეგნაირად აიხსნება: ვინაიდან ბლანტი მასის გადინება ძირითადად ნაკლები წინააღმდეგობის მიმართულებით მიმდინარეობს, ჩვენს შემთხვევაში კი, ყოველი წინა უბნის ფორიანობა მეტია შემდგომი უბნის ფორიანობაზე, მასალის გარკვეული ნაწილი სწორედ ამ, ნაკლები წინააღმდეგობის მიმართულებით მიედინება.

დეფორმაციის კერის გასწვრივ საწყისი უბნიდან ბოლო უბანამდე ზოგადად მიმდინარეობს საკაზმე მასალის თანდათანობითი გამკვრივება, მცირდება ე.წ. კერძო $\Delta \rho$ მოჭიმვა (უბანზე მოქმედი მოჭიმვა). მცირდება აგრეთვე უბნებს შორის მასალათა სიმკვრივის (ფორიანობის) განსხვავება, აქედან გამომდინარე, თანდათანობით იზრდება „დადებითი“ და მცირდება „უარყოფითი“ გამოჭიმვა. „უარყოფითი“ კერძო გამოჭიმვების ჯამი იწვევს ნაგლინის გარკვეულწილად „უარყოფით“ გამოჭიმვას. აქედან, თმს-ელექტროგლინვის პროცესში ნაგლინის გრძივი მიმართულების სრული ნამატი არის „დადებითი“ და „უარყოფითი“ გამოჭიმვების ჯამი.

თმს-ელექტროგლინვისას, დეფორმაციის კერაში, გარდამავალ პროცესში, შესვლის კვეთიდან გამოსვლის კვეთამდე, მოჭიმვების (დეფორმაციის) გავლენით გამკვრივების მნიშვნელობების დასადგენად გამოყენებულია ემპირიული კორექტირებული გამოსახულება:

$$\rho x = \rho_0 + (\rho_1 - \rho_0)(\epsilon x / \epsilon)(1 - 0,01 L x), \quad (1)$$

სადაც: ρx - სიმკვრივეა საძიებელ კვეთში, გ/სმ³; ρ_0 - საწყისი სიმკვრივეა, გ/სმ³; ρ_1 - ნაგლინის სიმკვრივეა, გ/სმ³; ϵx და ϵ - დეფორმაციის კერის საძიებელი კვეთისა და ჯამური ფარდობითი დეფორმაციებია, %; $L x$ - დეფორმაციის კერის სიგრძე ნამზადის შესვლის კვეთიდან საძიებო კვეთამდე, მმ.

(1) გამოსახულება გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ დეფორმაციის კერის გასწვრივ გაგლინული მასალის ნებისმიერი კვეთის, ფარდობითი დეფორმაციისაგან დამოკიდებული საძიებელი სიმკვრივის მნიშვნელობები. ემპირიული გამოსახულების სანდოობა შემოწმებულია ექსპერიმენტებით Ti-B და Ti-BN სისტემის ფუძეზე ლითონკერამიკული მასალის თმს ელექტროგლინვისას ცვლადების ფართო დიაპაზონში. ფარდობითი ცდომილება შეადგინა 2-4%.

თმს-ელექტროგლინვისას, დამყარებულ პროცესში ნაგლინის ბოლო მონაკვეთი (საერთო სიგრძის დაახლოებით 10%) ირღვევა, ან წყდება ძირითად ტანს. ეს აიხსნება იმით, რომ „უარყოფითი“ გადინება ცვლის ნამზადის ელექტროგლინვის ტემპერატურულ რეჟიმს. „უარყოფითი“ გადინების მაღალ ტემპერატურის სინთეზირებული კაზმი მასაგადატანით შეაღწევს რა შეტაცების კვეთის წინ არსებულ კაზმის წვის ზონაში, იწვევს მისი სიმკვრივის გარკვეულწილად ზრდას და ახლომდებარე ჯერ აუნთებელი მასის ე.წ. „შეხურების ზონის“ დამატებით გათბობას. ანალოგიურ ზეგავლენას ახდენს ფორეზში დაგროვილი მაღალტემპერატურული აირი, რომელიც ფილტრაციული რეჟიმით ინტენსიურად ვრცელდება ნამზადის ამ აუნთებელ ნაწილებსკენ. ამით ადვილდება კაზმის შემდეგი ულუფის ანთების პროცესი, რის გამოც იზრდება წვის ფრონტის გადაადგილების სიჩქარე. წვის ფრონტი თანდათანობით ცილდება გლინებში შეტაცების კვეთს, ამავე დროს ნამზადის ბოლო გადაადგილდება შეტაცების კვეთისაკენ ე.ი. ისინი მოძრაობენ შემხვედრი მიმართულებებით და მათი შეხვედრის კვეთში წყდება სინთეზური წვა, ნამზადის ეს ბოლო მანაკვეთი აღარ ღებულობს დამატებით თბურ ენერგიას, იწყება მისი დაჩქარებული გაცივება და შეტაცების კვეთამდე მიღწევისას ასწრებს გაცივებას თმს ფაზური ჩამოყალიბების ტემპერატურაზე დაბლა, მასალა ხდება არადეფორმირებადი, მყიფე და შემდგომი დეფო-

რმაცია იწვევს მასში ბზარების გაჩენას და ნამზადის რღვევასაც კი.⁵

ზემოთქმულიდან გამომდინარე ნაგლინის ბოლო მონაკვეთის რღვევის ძირითადი მიზეზი არის გლინვის სიჩქარისა და კაზმის წვის ფრონტის გადაადგილების სიჩქარეთა სინქრონიზაციის დარღვევა, კერძოდ, გლინვის სიჩქარის ჩამორჩენა.

კაზმის წვის ფრონტის გადაადგილების სიჩქარის გლინვის სიჩქარესთან სინქრონიზაციისათვის საჭირო ხდება გლინვის ჩქაროსნული რეჟიმის კორექტირება. გლინვის ისეთი სიჩქარის შერჩევა, რომ ნამზადის ბოლო მონაკვეთი შეტაცების კერას მიაღწეს გახურებულ ბლანტ პლასტიკურ მდგომარეობაში.

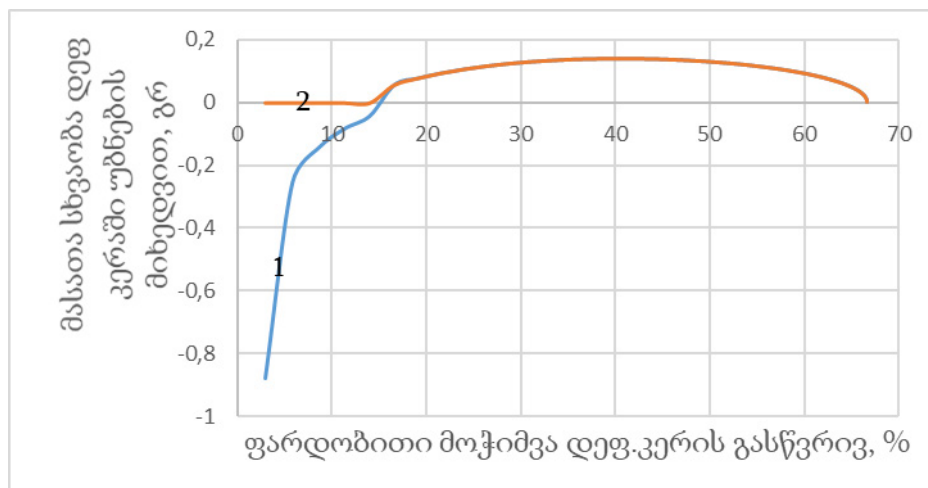
დეფორმაციის კერის გარკვეულ კვეთებში საერთო ჯამურ მოჭიმვაზე დამოკიდებული კერძო Δh_i მოჭიმვების განსაზღვრისათვის, დეფორმაციის კერის გეომეტრიდან გამომდინარე მიღებულია ფორმულა, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია გამკვერევის პროცესის ანალიზი:

$$\Delta h_i = \frac{2i+1}{n^2} \Delta h \quad (2)$$

სადაც: n - პირობითად დაყოფილი უბნების რაოდენობა; $i = 0 \div (n-1)$; Δh - ჯამური მოჭიმვა.

დეფორმაციის კერა არ წარმოადგენს დიდ არეს და სინთეზირებული მასის სტრუქტურული ჩამოყალიბება ხდება მცირე დროში, ამიტომ ბლანტ პლასტიკურ მდგომარეობაში მყოფი მასა განიცდის მრავალმხრივ გადაადგილებას. კომპაქტირების ხარისხის გაზრდის მიზნით, ვირჩევთ კალიბრში გლინვას, რომლის დროსაც განივი გადაადგილება შეზღუდულია. უნდა აღინიშნოს, რომ კომპაქტური ლითონების ცხლად გლინვისგან განსხვავებით, რომლის დროსაც მოქმედებს მოცულობის მუდმივობის კანონი, უგაზო წვისას თმ სინთეზირებული ფორიანი მასალების გლინვისას ადგილი აქვს მასათა მუდმივობის პირობებს. ე.ი. დეფორმაციის კერაში შესვლის კვეთსა და გამოსვლის კვეთებში მიწოდებული კაზმისა და ნაგლინის მასალის მასები თითქმის უცვლელია. მოცულობები მცირდება დეფორმაციის კერის გასწვრივ და კაზმის კომპაქტირების ხარჯზე იზრდება მასალის სიმკვრივე. Ti-B და Ti-BN სისტემის ფუძეზე TiB₆, TiB₂ TiBN კაზმების გლინვისათვის, სხვადასხვა საწყისი ნიმუშის და მისაღები მასალის გაბარიტული ზომებისათვის, აგრეთვე კაზმის სხვადასხვა სიმკვრივის მნიშვნელობებისათვის, დეფორმაციის კერის თითოეული უბნისათვის განისაზღვრა: კერძო მოჭიმვები, კვეთის მოცულობები, სიმკვრივეები, უბნების მიხედვით შესაბამისი გამკვერევისათვის (კომპაქტირებისათვის) საჭირო და წარმოსახვით მიწოდებული სინთეზირებული კაზმის მასა და ამ მასებს შორის სხვაობა, რომელიც შემდგომ ნაწილდება ნაგლინის სიგრძეზე გამოჭიმვის სახით.

ცივად დაბრიკებული $\rho_0=2,50$ გ/სმ³ სიმკვრივის, 24x210x350მმ³-ის ზომის კონტეინერში მოთავსებული TiBN კაზმის, 66,7% ფარდობითი დეფორმაციისას გაგლინული მასალის თეორიული ანგარიშის მონაცემები მოყვანილია სურ.2.



სურ.2. გარდამავალი პროცესისას, წარმოსახვით მიწოდებული და დაკომპაქტირებული მასალის მასათა სხვაობა დეფორმაციის კერაში პირობითად დაყოფილი უბნების მიხედვით (1-პირველადი ანგარიშით, 2-კორექტირებული).

სურ.2-დან ჩანს, რომ გლინვის გარდამავალ პროცესში პირველიდან მეხუთე უბნამდე მიწოდებულ და დაკომპაქტირებული მასალის მასათა სხვაობა უარყოფითი მნიშვნელობისაა (მრუდი 1), ანუ დაკომპაქტირებული მასალის მასა აღემატება მიწოდებული მასალის მასას, რაც შეუძლებელია. ეს განპი-

5 ზ.მელაშვილი, თ.ნამიჩიშვილი, ზ.ასლამაზაშვილი, გ.პარუნაშვილი, გ.ზახაროვი, მ.ჩიხრაძე, კ.პაპავა. მაღალი ბალისტიკური ეფექტიანობის ლითონკერამიკული ფილების მიღების ტექნოლოგიის კვლევა-დამუშავება. სსიპ-დავით აღმაშენებლის სახ. საქ. ეროვნ. თავდაცვის აკადემიის სამეცნ. პრაქტ. კონფერენციის ნაშრომთა კრებ. გორი, 2021 წ., გვ. 61-68

როვნებულია იმით, რომ მასალის დეფორმაციის კერაში შესვლის მომენტიდან კალიბრის შევსებამდე ხდება პლასტიკური მასის თავისუფალი განივი გადაადგილება. იზრდება უბნის მოცულობა და არსებული მოჭიმვა ვერ უზრუნველყოფს შესაბამის სიმკვრივის ჩამოყალიბებას. ეს კი თავისთავად ამცირებს კომპაქტირების ხარისხს. ამ დროს (1) გამოსახულებით გამოთვლილი სიმკვრივის მნიშვნელობა აცდენილია რეალურს და საჭიროა მისი კორექტირება. ამ შემთხვევაში მიწოდებული და დაკომპაქტირებული მასები ტოლია და შესაბამისად მოსალოდნელია მასალის დაბალი სიმკვრივე. მეექვსე უბნიდან, ყუთოვანი კალიბრი შევსებულია და მისი გვერდები ზღუდავს მასის გვერდით გადაადგილებას, შემდგომი უბნების მოცულობები მცირდება და კომპაქტირების ხარისხიც იზრდება (მრუდი 2). ჭარბი მასა ნაკლები წინააღმდეგობის გამო გადაადგილდება მეტად ფორიანი და ნაკლები სიმკვრივის მქონე უკანა უბნებისაკენ და მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს დამყარებული პროცესისას. დამყარებულ პროცესში ჭარბი მასა თანდათანობით იზრდება და როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული აწევა რა შეთბობის უბანს, ზრდის სინთეზის ტალღის გადაადგილების სიჩქარეს და ანთების ზონა თანდათანობით ცილდება დეფორმაციის კერაში შესვლის კვეთს, ანუ გვიანდება სინთეზირებული მასალის დეფორმაცია. თმს-ელექტროგლინვის პირობიდან გამომდინარე, რომელიც ითვალისწინებს სინთეზისა და გლინვის სიჩქარეთა ტოლობას, საჭიროა ანთების კვეთიდან დეფორმაციის კერაში შესვლის კვეთამდე, მასალის სიგრძის ზრდის შესაბამისად, გაზრდილი იქნას გლინვის სიჩქარე. სხვადასხვა რეჟიმებისათვის, ნამზადის სიგრძეზე, მასალის სიგრძის მატება მოცემულია ცხრ.1 და 2-ში.

ცხრ.1. TiBN მასალების თმს ელექტროგლინვისას სიგრძეთა ნამატი და სიმკვრეები, კაზმის სხვადასხვა სიმკვრივისას და დეფორმაციის რეჟიმებისას, მოსალოდნელი ნაგლინი მასალის სიმკვრივე $\rho_1 = 5,2$ გ/სმ³.

ε%	კაზმის სიმკვრივე $\rho_0 = 2,10$ გ/სმ ³ ფორიანობა 59,6%				კაზმის სიმკვრივე $\rho_0 = 2,49$ გ/სმ ³ ფორიანობა 52,1%				კაზმის სიმკვრივე $\rho_0 = 3,05$ გ/სმ ³ ფორიანობა 41,3%			
	ρ_1 გ/სმ ³	Δl სმ	ფორიანობა Π. %	ρ_1 კორექტ გ/სმ ³	ρ_1 გ/სმ ³	ფორიანობა Π. %	Δl სმ	ρ_1 კორექტ გ/სმ ³	ρ_1 გ/სმ ³	ფორიანობა Π. %	Δl სმ	ρ_1 კორექტ გ/სმ ³
50	4,67	-5	10,2	4,01	4,73	9,1	0,2	-	4,80	7,7	+7,5	-
52,4	4,73	-4,9	9,1	4,21	4,78	8,1	1,5	-	4,84	6,9	+9,2	-
54,5	4,79	-2,8	7,9	4,41	4,83	7,1	2,9	-	4,88	6,2	+10,9	-
56,5	4,83	-1,6	7,1	4,61	4,87	6,4	4,3	-	4,91	5,6	+12,7	-
58,3	4,88	-0,5	6,2	4,81	4,91	5,6	5,7	-	4,94	5,0	+14,5	-
61,9	4,96	+2,1	4,6	-	4,98	4,2	8,8	-	5,00	3,9	+18,5	-
63,6	5,00	+3,6	3,9	-	5,01	3,7	10,7	-	5,02	3,5	+20,7	-
65,2	5,04	+5,0	3,8	-	5,04	3,8	12,5	-	5,05	2,9	+23,0	-
66,7	5,07	+6,5	2,5	-	5,07	2,5	14,2	-	5,07	2,5	+25,3	-

ცხრ.2. TiB მასალების თმს ელექტროგლინვისას სიგრძეთა ნამატი და სიმკვრეები კაზმის სხვადასხვა სიმკვრივისას და დეფორმაციის რეჟიმებისას მოსალოდნელი ნაგლინი მასალის სიმკვრივე $\rho_1 = 4,52$ გ/სმ³

ε%	კაზმის სიმკვრივე $\rho_0 = 2,0$ გ/სმ ³ ფორიანობა 55,8%				კაზმის სიმკვრივე $\rho_0 = 2,5$ გ/სმ ³ ფორიანობა 44,7%				კაზმის სიმკვრივე $\rho_0 = 2,67$ გ/სმ ³ ფორიანობა 40,9%			
	ρ_1 გ/სმ ³	ფორიანობა Π. %	Δl სმ	ρ_1 კორექტ გ/სმ ³	ρ_1 გ/სმ ³	ფორიანობა Π. %	Δl სმ	ρ_1 კორექტ გ/სმ ³	ρ_1 გ/სმ ³	ფორიანობა Π. %	Δl სმ	ρ_1 კორექტ გ/სმ ³
50	4,16	8,0	-2,9	3,82	4,22	6,6	+4,6	-	4,25	6,0	+7,0	-
52,4	4,21	6,9	-1,7	4,01	4,26	5,8	+6,2	-	4,28	5,3	+8,8	-
54,5	4,25	6,0	-0,4	4,20	4,30	4,9	+7,7	-	4,32	4,4	+10,4	-
56,5	4,29	5,1	+0,8	-	4,33	4,2	+9,3	-	4,35	3,8	+12,4	-
58,3	4,33	4,2	+2,0	-	4,36	3,5	+11,0	-	4,37	3,3	+14,0	-
61,9	4,40	2,7	+4,9	-	4,42	2,2	+14,6	-	4,42	2,2	+18,0	-
63,6	4,43	2,0	+6,5	-	4,44	1,8	+16,7	-	4,45	1,6	+20,1	-
65,2	4,46	1,3	+8,1	-	4,47	0,7	+18,7	-	4,47	0,7	+22,3	-
66,7	4,49	0,7	+9,6	-	4,49	0,7	+21,8	-	4,49	0,7	+24,9	-

ცხრ.1 და 2-დან ჩანს, რომ საწყისი სინთეზირებული მასალის დაბალი სიმკვრივისა ($\rho_0 = 2,10$ და $\rho_0 = 2,0$ გ/სმ³) და ფარდობითი დეფორმაციისას ($\epsilon = 50-58,3\%$ და $\epsilon = 50-54,5\%$) ნაგლინის სიგრძე იკლებს. ეს ნიშნავს იმას, რომ აღნიშნული პარამეტრები ვერ უზრუნველყოფენ მოსალოდნელი სიმკვრივის მნიშვნელობებით კომპაქტირებას. ე.ი. გაგლინული მასალის სიმკვრივე მოსალოდნელზე დაბალია. რეალური სიმკვრივის განსაზღვრისათვის საჭიროა მათი კორექტირება. რეალური სიმკვრივის მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილის ბოლო გრაფაში. სხვა დანარჩენ შემთხვევაში აღნიშნება სიგრძის ნამატი და როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული, ეს ნამატი ნაწილდება სინთეზირებული, გასაგლინი მასალის სიგრძეზე.

ამრიგად, სინთეზირებული მასის ელექტროგლინვის პროცესისას საჭიროა ტექნოლოგიური პარამეტრების (გეომეტრიული, ჩქაროსნული და ძალოვანი) გათვალისწინებით, გლინვის სიჩქარის ცვლილება, რომ არ დაირღვეს სიჩქარეთა ბალანსი.

თმს-ელექტროგლინვისას აუცილებელი პირობაა თმს და ელექტროგლინვის სიჩქარეთა თანხვედრა, ანუ $V_{\text{სინ}} = V_{\text{გლ}}$,

გასაგლინი L0 სიგრძის ნამზადის სინთეზირების და გლინვის დრო ტოლია

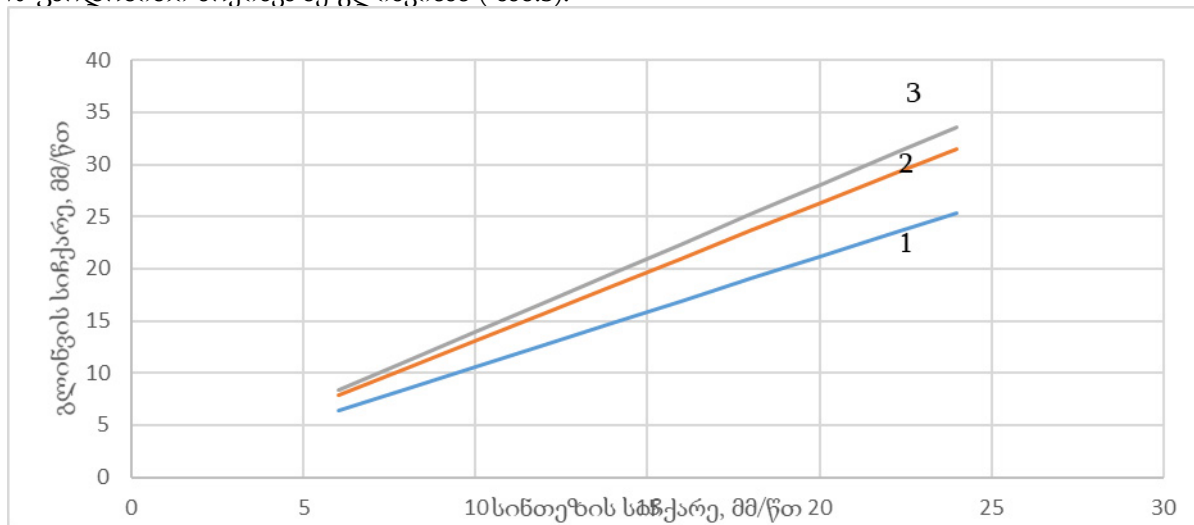
$t_{\text{სინ}} = L0/V_{\text{სინ}}$ $t_{\text{გლ}} = L0/V_{\text{გლ}}$.

ნამზადის სიგრძის მატება ხდება სინთეზის შემდეგ და რადგან $t_{\text{სინ}} = t_{\text{გლ}} = (L0 + \Delta L)/V1$, ამიტომ

ნამზადის ნამეტი სიგრძის, გლინვის სიჩქარე იქნება:

$$V1 = (L0 + \Delta L) / t_{\text{სინ}} \cdot (3)$$

ქვემოთ მოყვანილია სხვადასხვა სინთეზის სიჩქარეზე, კორექტირებული გლინვის სიჩქარეები $\epsilon = 58,3\%$ ფარდობითი მოჭიმვაზე გლინვისას (ნახ.3):



სურ.3. კორექტირებული გლინვის სიჩქარე, სინთეზის სხვადასხვა სიჩქარისგან დამოკიდებულებით ($\epsilon = 58,3\%$); 1- $L=370\text{მმ}$, 2- $L=460\text{მმ}$, 3- $L=490\text{მმ}$

ცხრ.3-ში მოყვანილია გლინვის სიჩქარის ნამატი სინთეზის სხვადასხვა სიჩქარისგან დამოკიდებულებით ($\epsilon = 58,3\%$).

ცხრ.3. გლინვის სიჩქარისა და გლინვის ბრუნთა რიცხვის ნამატი სინთეზის სხვადასხვა სიჩქარისგან დამოკიდებულებით ($\epsilon = 58,3\%$).

ს _{სინ} , მმ/წმ	n _{გლ} , ბრ/წთ	Δ s, მმ/წმ				Δ n, ბრ/წთ		
		ნაგლინის სიგრძე, L=350მმ	ნაგლინის სიგრძე, L=370მმ	ნაგლინის სიგრძე, L=460მმ	ნაგლინის სიგრძე, L=490მმ	ნაგლინის სიგრძე, L=370მმ	ნაგლინის სიგრძე, L=460მმ	ნაგლინის სიგრძე, L=460მმ
6	0.48	0.35	1.89	2.4	0.03	0.15	0.19	
8	0.64	0.45	2.50	3.19	0.04	0.20	0.26	
10	0.80	0.57	3.14	4.00	0.05	0.25	0.32	
12	0.96	0.67	3.75	4.78	0.05	0.30	0.38	
14	1.12	0.80	4.40	5.60	0.06	0.35	0.45	
16	1.28	0.89	5.01	6.37	0.07	0.40	0.51	
18	1.44	1.07	5.71	7.26	0.08	0.46	0.58	
20	1.60	1.14	6.29	8.00	0.09	0.50	0.64	
22	1.76	1.27	6.93	8.82	0.10	0.57	0.71	
24	1.92	1.34	7.51	9.56	0.11	0.60	0.77	

თმს-ელექტროგლინვის სიჩქარეთა ბალანსის შენარჩუნების მიზნით, აუცილებელია ნამეტი გლინვის სიჩქარის გადანაწილება ნამზადის სიგრძეზე. რადგან უგაზო წვისას სინთეზის სიჩქარე მუდმივია, ამიტომ საჭიროა გლინვის სიჩქარე მისი საწყისი მნიშვნელობიდან თანაბრად გაიზარდოს.

შედეგები

თერმოდინამიკური გათვლებით შერჩეულია კაზმების შემადგენლობა, რომელიც უზრუნველყოფს ხარისხიანი მაღალი სისალისა და დარტყმამდეგი, კოროზიამდეგი, ცვეთამდეგი თვისებების ლითონკერამიკული ფილების მიღებას;

ექსპერიმენტალური კვლევების საფუძველზე შემოთავაზებულია დეფორმაციის კერაში, გარდამავალ ეტაპზე სიმკვრივის განმსაზღვრელი ემპირიული გამოსახულება.

თეორიული და პრაქტიკული კვლევების საფუძველზე, შესწავლილ და გაანალიზებულ იქნა სპეცდანიშნულების ლითონკერამიკული მასალების თმს-ელექტროგლინვისას, დეფორმაციის კერაში სინთეზირებული მასალის დენადობის მოდელირებით მასათა დენადობის კვლევა და მის საფუძველზე სინთეზისა და გლინვის სიჩქარეთა კორექტირება;

დადგენილ იქნა სპეცდანიშნულების ლითონკერამიკული ფილების მიღების შემდეგი ტექნოლოგიური სქემა: კაზმების შერჩევა; კაზმების არევა ბურთულებიან წისქვილში 24 საათის განმავლობაში; ცივად დაბრიკეტება ძალებით -5-100ტ დიაპაზონში; თმს სიჩქარე და მისი ცვლილების შესაბამისი

ნამზადის გადაადგილების გრძივი სიჩქარე და გლინების ბრუნვითა რიცხვი; კონტეინერი, ზომებით 25x126x210მმ 0,5 მმ სისქის თუნუქის ფურცლიდან.

საგლინავი დგანის აწყობისათვის გამოყენებულ იქნა გლინებზე ყუთოვანი კალიბრება და გლინვისათვის შეირჩა ფარდობითი მოჭიმვა 55-66%; გლინვის შემდეგ ხორციელდება ნაგლინის დატვირთვის ზემოქმედების ქვეშ მდორე გაციება.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. 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 y;
2. Melashvili Z, Tutberidze A.,Namicheishvili T. ,Aslamazashvili Z., Papava K.,Parunashvili G., Basilaia G. Investigation of the Fluidity of the Synthesized Charge in the Deformation Site on SHS-Electrical Rolling. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., vol. 14, no. 4, 2020 y;
3. ზ.მელაშვილი, თ.ნამიჩეიშვილი, ზ.ასლამაზაშვილი, გ.პარუნაშვილი, გ.ზახაროვი, მ.ჩიხრაძე, კ.პაპავა. მაღალი ბალისტიკური ეფექტიანობის ლითონკერამიკული ფილების მიღების ტექნოლოგიის კვლევა-დამუშავება. სსიპ-დავით აღმაშენებლის სახ. საქ. ეროვნ. თავდაცვის აკადემიის სამეცნ. პრაქტ. კონფერენციის ნაშრომთა კრებ. გორი, 2021 წ., გვ. 61-68;