

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ვახტანგ ფეიქრიშვილი

ნიკელ-ალუმინის და ტანტალ-ალუმინის ფხვნილოვანი
მასალების ბაზაზე გაუმჯობესებული თვისებების
კომპოზიციური მასალების მიღება მაღალ ტემპერატურაზე
აფეთქებით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად
წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიის,
მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის
მასალათმცოდნეობის საგანმანათლებლო პროგრამაში
და სსიპ გრიგორ წულუკიძის სამთო ინსტიტუტში

ხელმძღვანელი:

ტ.მ.დ., სრული პროფესორი მიხეილ ოქროსაშვილი _____

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის
სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

სამუშაოს ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალობა. დღეისათვის მსოფლიოს თითქმის ყველა განვითარებული ქვეყნის მეცნიერთა მიერ ჩატარებულ კვლევებში იყო არაერთი მცდელობა, ალტერნატიული დარტყმითი ტალღებით დაწნეხის და აფეთქების პროცესის გამოყენებით უზრუნველყოთ თვისებათა მაღალი კომპლექსის მქონე კომპოზიტების მიღება და, ხშირ შემთხვევაში, საწყისი მასალებისათვის დამახასიათებელი უნიკალური სტრუქტურისა და თვისებების შენარჩუნება კომპოზიტებში. მიუხედავად ამისა, კვლევის აღნიშნულ მიმართულებებში ჯერ კიდევ მონაცემების მნიშვნელოვანი დეფიციტი აღინიშნება. ინფორმაციის დეფიციტი განსაკუთრებით მჟღავნდება ძნელდნობადი ლითონების ფხვნილთა ნარევის ბაზაზე კომპაქტირებულ ნიმუშებში ინტერმეტალური ნაერთების ჩამოყალიბებასთან დაკავშირებით.

საკმაოდ ფართო კვლევებია მიძღვნილი ალუმინის ნიკელიდების და ტანტალიდების (Al-Ni (Ta) შესწავლისადმი. როგორც კვლევის შედეგებიდან გამომდინარეობს, ალუმინის 5 სხვადასხვა ინტერმეტალიდიდან ყველაზე მეტ ყურადღებას AlNi და AlNi₃ ნაერთების შესწავლა იმსახურებს. რაც შეეხება ალუმინის ტანტალიდებს, ყველაზე მიმზიდველად წარმოჩენილია AlTa და Al₃Ta ნაერთები მათი მაღალი რეაქციულობისა და სიმკვრივის გამო, რომლებმაც შეიძლება ფართო გამოყენება ჰპოვონ რეაქტორულ ტექნოლოგიებსა და სამხედრო დანიშნულებით.

ალუმინიდების მიღების მრავალი მეთოდია შესწავლილი. მაგალითად, თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზი (თმს), რომელიც საბოლოო პროდუქტის მიღებას უშუალოდ დასაკომპაქტირებელი ფხვნილებიდან უზრუნველყოფს და არ იკვეთება სხვა სტანდარტულ მიდგომებთან. თმს პროცესი Al + Ni ნარევისათვის გულდასმით არის შესწავლილი მრავალი სამეცნიერო ჯგუფის მიერ. ნაჩვენებია, რომ თმს რეაქციის ინიცირება ხდება მხოლოდ ზღვრული ტემპერატურის მიღწევისას. რეალურად იგი ალუმინის დნობის ტემპერატურის ($T_{\text{დნ}} = 663^{\circ}\text{C}$) მახლობლობაში ძევს. დადასტურებულია, რომ რეაქციის სტაბილურობა მნიშვნელოვანწილად

არის დამოკიდებული ისეთ პირობებზე, როგორებიცაა რეაქციაში შესული მასალების საწყისი წნევა, ტემპერატურა, მარცვლის ზომა და გახურების სიჩქარე.

თმს პროცესით მიღებული პროდუქტები ხშირად ფოროვანია. ფორიანობის ძირითადი მიზეზი Al, Ni, Ta საწყისი რეაგენტების და რეაქციის შედეგად მიღებულ Al-Ni და Al-Ta ფაზებს შორის ხვედრითი მოცულობების სხვაობა წარმოადგენს. ფორიანობა შეიძლება შემცირდეს მაღალი ინტენსივობის წნევის ან დარტყმითი ტალღების გამოყენებით. დარტყმითი ტალღით დაწნების ტექნიკა წარმატებით იქნა გამოყენებული Al-Ni ფაზების სტრუქტურების ფორმირების გენერირებისათვის უშუალოდ ფხვნილთა ნარევიდან. დარტყმითი ტალღით კონსოლიდირების პროცესში წნევა სწრაფად გადაადგილდება ფხვნილოვან მასალაში, რასაც ნაწილაკების ურთიერთხახუნით გამოწვეული შინაგანი ტემპერატურის ზრდასთან და კომპაქტირებული მასის შემდგომ სწრაფ გაცივებასთან მივყავართ. დადგენილია, რომ ამ მოვლენათა კომბინაცია საწყისი ფაზის სტრუქტურის (მეტასტაბილური, სინთეზირებული კომპოზიციები) შენარჩუნების შესაძლებლობას იძლევა.

დარტყმითი ტალღებით კონსოლიდირებული ნიმუშები ხშირად სუსტი მარცვალთშორისი კავშირებითა და დაწნების დაბალი ხარისხით გამოირჩევიან. აღნიშნული ხარვეზები შესაძლებელია ან წნევის მომატებით, ან შემდგომი შეცხოვის პროცესების გამოყენებით გამოსწორდეს.

ცივად დარტყმითი ტალღებით დაწნების ალტერნატიული ვარიანტია ფხვნილების წინასწარი გახურება და მათი დაწნება ცხელ მდგომარეობაში. წინასწარი გახურება ზრდის ნაწილაკების პლასტიკურ თვისებებს და, აქედან გამომდინარე, იზრდება მათი დეფორმაციის უნარი. ცხელ მდგომარეობაში დაწნება აადვილებს ფხვნილების განმკვრივებას მიუხედავად იმისა, არის თუ არა მარცვალის ზომა ოპტიმიზირებული, თუმცა სუსტი დაწნების კვალი მრავალ შემთხვევაში კვლავ შეიმჩნევა. აღნიშნული მეთოდის საშუალებით წარმატებით იქნა მიღებული Ni-Al და Ta-Al ინტერმეტალური ფაზები.

შემჩნეულია, რომ ფხვნილთა ნარევებში, რომლებიც მოცულობითი პროპორციებით შეესაბამება $AlNi_3$ ან $AlNi$ სტექიომეტრიულ პროპორციებს, ქიმიური რეაქცია სტაბილურად მიმდინარეობს. ცხლად დაწნების მეთოდის უპირატესობაა წნევის იმპულსის სწრაფი გადაადგილება მოცულობაში თანმდევი ხახუნით გამოწვეული შინაგანი ტემპერატურის სწრაფი ზრდით და მომდევნო სწრაფი ადიაბატური გაცივებით. ამ მოვლენათა თანმიმდევრობა თმს პროცესით მიღებული ინტერმეტალური ნაერთებისა და მათი სტრუქტურების შენარჩუნების საშუალებას იძლევა.

ცხლად აფეთქებით Ni-Al კომპოზიციის ფხვნილების დაწნების პროცესი წულუკიძის სამთო ინსტიტუტის მეცნიერების მიერ არის შესწავლილი. დასაწნები ფხვნილთა ნარევის წინასწარი გახურება მიზნად ისახავს ფხვნილების შინაგანი ენერჯის გაზრდას ეგზოთერმული რეაქციის დასაწყებად, ინტერმეტალური ფაზების ფორმირებას და მიღებული ფაზების დეფორმაციის უნარის გაზრდას შემდგომი დაწნების პროცესში.

კვლევებში გამოყენებული იყო შესაბამისი პროპორციით, ნიკელის თხელი ფენით პლაკირებული ალუმინის ფხვნილი. დადგენილია, რომ გახურების ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით სხვადასხვა სტექიომეტრიის Al-Ni კომპოზიციები (Ni-50%Al და Ni-20%Al) შესაძლებელია ტრანსფორმირებული იქნას Ni-Al სისტემის სხვადასხვა ინტერმეტალიდებში.

ჩატარებული კვლევების ანალიზი საფუძველს იძლევა ვივარაუდოთ, რომ დაწნეხილი ნამზადების სიმკვრივისა და ზომების გაზრდისა და ნაკეთობის სიმეტრიისა და გეომეტრიული ფორმის ერთდროული შენარჩუნების მიზნით საჭიროა საკითხისადმი ახლებური მიდგომა. კერძოდ, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ფეთქებადი მასალის (მუხტის) ჰორიზონტალურის ნაცვლად ვერტიკალური კონფიგურაციით განთავსება, რაც მუხტის მასისა და მისი დიამეტრის გაზრდის საშუალებას იძლევა. როგორც შედეგი, ეს მნიშვნელოვნად გაზრდის დარტყმითი ტალღის ფრონტზე იმპულსის ხანგრძლივობას, რაც ძალზე მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს ფხვნილების აფეთქებით დაწნების ტექნოლოგიაში.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული კომპაქტირების მეთოდის სიახლე მდგომარეობს ჯერ ერთი, ფხვნილის მოცულობაში დარტყმითი ტალღის სწრაფ გავლაში და მეორე, ხახუნით გამოწვეულ შინაგანი ტემპერატურის ზრდაში შემდგომი სწრაფი გაცივებით.

როგორც გამომდინარეობს წარმოდგენილი მასალიდან, მეტად პერსპექტიულია ცხლად აფეთქებით და, მით უმეტეს, აღნიშნულ პროცესთან თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის (თმს) შეხამებით სრულიად განსხვავებული, გაუმჯობესებული თვისებების და მინიმალური ფორიანობის მქონე კომპოზიტების მიღება. შემოთავაზებული ტექნოლოგია დიდ პერსპექტივებს სახავს კომპოზიტებში Ni-Al და Ta-Al სისტემების ქიმიური ნაერთების ფორმირების შესაძლებლობებში, რაც დღემდე არაერთი მეცნიერის კვლევის საგანს წარმოადგენს. ყოველივე ეს სადისერტაციო ნაშრომის დიდ პერსპექტიულობასა და აქტუალობაზე მიუთითებს.

სამუშაოს მიზანი. ა) Ni-Al და Ta-Al ფხვნილთა ნარევის ცხლად აფეთქებით დაწნეხის (ცად) ტექნოლოგიის გამოყენებით ღეროს ფორმის ნამზადების მიღება თეორიული სიმკვრივის მახლობლობაში ზნარებისა და სხვა დეფექტების გარეშე;

ბ) ოთახის ტემპერატურაზე წინასწარი დაწნეხის მეთოდის შემუშავება და იმ ძირითადი პარამეტრების დადგენა, რომლებიც მათი შემდგომი ცხლად მოწნეხის გზით სწორი გეომეტრიისა და უდეფექტო ნამზადების მიღებას უზრუნველყოფს;

გ) კომპაქტირების ალტერნატიული მეთოდის შემუშავება - ცხლად აფეთქებით დაწნეხის კომბინირება თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის (თმს) პროცესთან.

დ) Ni-Al და Ta-Al ფხვნილთა ნარევისაგან დამზადებული კომპოზიტების სტრუქტურისა და თვისებების კვლევა და მათი ურთიერთდამოკიდებულების დადგენა დატვირთვის ინტენსივობაზე, იმპულსის ხანგრძლივობასა და დაწნეხის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით.

სამუშაოს მიზნების მისაღწევად სადოქტორო დისერტაცია ითვალის-

წინებს საკითხისადმი ორიგინალურ მიდგომას. სიახლე იმაში მდგომარეობს, რომ ცილინდრული ფორმის ნამზადების მისაღებად გათვალისწინებულია Ni-Al და Ta-Al ფხვნილთა ნარევების მაღალი რეაქტიულობის უნარიანობა და აფეთქების შემდგომი თმს ტექნოლოგიური პროცესები.

შემოთავაზებული ტექნოლოგიის რეალიზაციის მიზნით ცილინდრული ფორმის ნამზადების დაწნეხა ორ ეტაპად ხორციელდებოდა:

ა) პირველ ეტაპზე ხდებოდა ფხვნილთა ნარევის დაწნეხა ოთახის ტემპერატურაზე 5-20 გპა დატვირთვის ინტენსივობით. მისი მიზანია საწყისი ფხვნილთა ნარევის წინასწარი სიმკვრივის გაზრდა და ფხვნილის შემადგენელი მარცვლების ზედაპირების გააქტიურება;

ბ) მეორე ეტაპზე წინასწარ დაწნეხილი ცილინდრული ნიმუშები ხელმეორედ იწნეხებოდა ცხელ მდგომარეობაში, 300-1000° C ტემპერატურაზე 10 გპა ინტენსივობის დარტმითი ტალღებით.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. დღეისათვის მოწინავე ქვეყნებში თანამედროვე ტექნიკისა და მანქანათამშენებლობის განვითარება დიდი აქტუალურობით აყენებს საკითხს ახალი მასალების შექმნისა და მათი წარმოების მიმართულებით. კოსმოსური ტექნოლოგიების განვითარება, ოპტოელექტრონიკა, ლაზერული ტექნოლოგიები სულ უფრო და უფრო ახალ მოთხოვნებს უყენებენ არსებულ მასალებს თუ კომპოზიციებს. უფრო მეტიც, ხშირ შემთხვევაში ისინი მოითხოვენ თვისობრივად ახალი მასალების შექმნას ან არსებულის თვისებების გაუმჯობესებას ერთდროულად მათი გეომეტრიისა და ფორმის შეცვლით, რაც არსებული ტრადიციული ტექნოლოგიების გამოყენებით შეუძლებელი ხდება.

ერთ ერთი ასეთი მასალების რიგს Al-Ni და Al-Ta ინტერმეტალური ნაერთების ბაზაზე შექმნილი კომპოზიტები განეკუთვნება. აღნიშნული ინტერმეტალური კომპოზიციები მათი მაღალი კოროზიამდებობის, უჟანგაობის, არატოქსიკურობისა და დაბალი ფასის გამო შეიძლება განვიხილოთ, როგორც პერსპექტიული მასალები, რომლებაც კოსმოსურ ტექნოლოგიებსა

და ელექტრონიკაში გამოყენების დიდი პოტენციალი გააჩნიათ.

არსებული ტრადიციული ტექნოლოგიები, როგორცაა სტატიკურად დაწნეხა და კომპაქტირების მეთოდები, არ იძლევიან აღნიშნული კომპოზიციებიდან ხარისხოვანი გრძელტანიანი ცილინდრული ნამზადების მიღების შესაძლებლობას. ტრადიციული გამოდნობის მეთოდები კი არაეფექტურია და დიდ დანაკარგებთანაა დაკავშირებული.

ლიტერატურული წყაროების ანალიზი და საკუთარი გამოცდილება გვიკარნახებს, რომ ჩვენს მიერ დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად, ანუ კვლევის ობიექტების, Al-Ni და Al-Ta კომპოზიციების მაღალი სიმკვრივის ცილინდრული ნამზადების მისაღებად, შესაძლებელია ცხლად აფეთქებით დაწნეხის ტექნოლოგია ყველაზე ეფექტური მეთოდი აღმოჩნდეს.

ჩვენს მიერ შერჩეული ტექნოლოგია ითვალისწინებს პირველ საფეხურზე ინტერმეტალური კომპოზიციის საწყისი ნარევი ფხვნილების ოთახის ტემპერატურაზე მოწნეხას, რაც მიზნად ისახავს მათი წინასარი სიმკვრივის გაზრდას და დასაწნეხი მარცვლების ზედაპირების გააქტიურებას, რაც მეორე საფეხურზე, ცხლად დაწნეხისას, ნამზადებში დიდი წნევის შექმნას, ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობას და ინტერმეტალიდების ჩამოყალიბებას უზრუნველყოფს;

მეორე საფეხურზე წინასწარ დაწნეხილი და გამკვრივებული ნამზადები 800-1100°C-ზე აფეთქებით წნეხება, რაც ნარევებში ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობას, AlNi და AlTa ინტერმეტალური ნაერთების ჩამოყალიბებას და მათ ბაზაზე გაზრდილი სიმკვრივის ცილინდრული ნამზადების მიღებას განაპირობებს.

საწყის მასალად Ta-Al კომპოზიციის გამოყენების შემთხვევაში ცხლად დაწნეხა ხორციელდებოდა თმს ტემპერატურის (940°C) როგორც ქვემოთ, ასევე ზემოთ, რაც შესაბამისად მიზნად ისახავდა ალუმინის ტანტალიდების ფორმირების შესაძლებლობების კვლევას თმს პროცესის დაწყებამდე და მის შემდგომ. საჭირო ტემპერატურის მისაღწევად ფხვნილთა ნარევის გახურება 2-4 წუთის განმავლობაში ხორციელდებოდა.

მასალების ცხლად აფეთქებით დაწნეხისათვის (ცად) გამოიყენებოდა სსიპ გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტში ერთობლივად შექმნილი ავტომატური ექსპერიმენტული რობოტი. იგი საშუალებას იძლევა მაღალ ტემპერატურულ ინტერვალში, $200\div 1200^{\circ}\text{C}$ ცხელი დაწნეხით მოვახდინოთ ოთახის ტემპერატურაზე კომპაქტირებული კომპოზიციური ნამზადების ხელმეორედ დაწნეხა ფეთქებადი მასალის დეტონაციის შედეგად წარმოქმნილი დარტყმითი ტალღებით. დატვირთვის ინტენსივობა შეადგენდა 5-20 გპა.

აფეთქებით დაწნეხა ხორციელდებოდა ცილინდრული, ღერძულ-სიმეტრიული დინამიური დატვირთვის სქემით. დარტყმითი ტალღების ინიცირებისათვის გამოიყენებოდა სამრეწველო ფეთქებადი მასალები იგდანიტი (ANFO) და გრანულიტი (AC-4) NH_4NO_3 . დეტონაციის სიჩქარეები შესაბამისად შეადგენს 2200-2800 მ / წმ და 2600-3200 მ/წმ.

შერჩეულია ფხვნილთა კომპაქტირების ისეთი მოწყობილობა და მეთოდი, რომელიც დასაკომპაქტირებელ მასალაში საწყისი მაღალი ტემპერატურის შექმნას და ერთდროულად მაღალი დინამიკური წნევის (100 კბარი-ს ფარგლებში) განვითარებას უზრუნველყოფს. აღნიშნული მეთოდის გამოყენებისას ტემპერატურის ცვლილების დიაპაზონი შემოისაზღვრება $25\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ -ით. ჩვენს მიერ შემუშავებული დანადგარის კონსტრუქციის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ იგი ფაქტიურად არ ზღუდავს ფეთქებადი მასალების რაოდენობის გაზრდისა და დარტყმითი ტალღის მოქმედების დროის რეგულირების შესაძლებლობას 5 მიკროწამიდან 20 მიკროწამამდე. იგი დასაწნეხ მასალებში დატვირთვის ხანგრძლივობის მნიშვნელოვნად (2-3-ჯერ მაინც) გაზრდის საშუალებასაც იძლევა.

მიღებული ნიმუშები შემდგომში გრძივად და განივკვეთზე იჭრებოდა დაწნეხის პროცესზე, აფეთქებით დეფექტების ჩამოყალიბებზე, სტრუქტურულ და ფაზურ ცვლილებაზე, აგრეთვე ფორმირებული ფაზების განაწილების ხასიათზე ტექნოლოგიური პარამეტრების გავლენის შესწავლის მიზნით.

ამგვარად, დასმული ამოცანებიდან გამომდინარე, შეირჩა ექსპერი-

მენტებში გამოყენებული საწყისი მასალები, შემუშავდა ნიმუშების მიღებისა და კვლევის მეთოდოლოგია.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

1. შემუშავებულია კონსტრუქცია და დამზადებულია დამხმარე ვიბრაციული მოწყობილობა კონტეინერში ფხვნილების წინასწარი აფეთქებით დაწნების წინ შემჭიდროებისათვის. შემუშავებულია ჩაწნების პროცესის ტექნოლოგია და განსაზღვრულია ოპტიმალური პარამეტრები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ნამზადების მიღებას ცად-ით დამუშავების შემდეგ დეფექტების გარეშე და ერთგვაროვანი თვისებებით მის მთელ მოცულობაში.

2. ჩატარებულია ექსპერიმენტების სერია ნიკელით პლაკირებული ალუმინისა და Ni-Al ფხვნილთა ნარევის კომპოზიციების მისაღებად ცად მეთოდის გამოყენებით, რაც მიზნად ისახავდა ინტერმეტალური ნაერთების მიღებას ალუმინის ნიკელიდების სახით. დადგენილია, რომ Al-Ni-ის ინტერმეტალური ნაერთები ყალიბდება დარტყმითი ტალღებით ინიცირებული ქიმიური რეაქციების ხარჯზე. საწყის მასალად პლაკირებული Ni-50%Al კომპოზიციების გამოყენების შემთხვევაში წვით სინთეზის პროცესი და ალუმინის ნიკელიდების წარმოქმნა არ მიმდინარეობს. Ni-Al ფხვნილთა ნარევის კომპოზიციები გაცილებით უფრო აქტიური და პრაქტიკული აღმოჩნდა სხვადასხვა ტიპის ინტერმეტალური Ni-Al ნაერთების ჩამოსაყალიბებლად.

3. Ni-Al კომპოზიციების კვლევის შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ წვით სინთეზის რეაქციის მიმდინარეობის მიზეზი არის ცად-ის წინ წინასწარ დაწნეხილი ნამზადების დაბალი სიმკვრივე და ალუმინის დაბალი აქტიურობა სარეაქციო ნარევეებში. პლაკირებული ფხვნილების დაწნების პროცესში მუშაობს მხოლოდ დასაწნეხი ნაწილაკების ზედაპირები და შესაბამისად მხოლოდ ნიკელის ფაზაა აქტიურ პოზიციაში დარტყმითი ტალღის ფრონტზე. ალუმინის ფაზა ბლოკირებულია ნიკელის ზე-

დაპირის მიერ აქტიური ხახუნის თუ შეჯახების პროცესებისაგან საერთო საზღვრების ჩამოყალიბების პროცესში. პლაკირებული ფხვნილებისაგან განსხვავებით, ჩვეულებრივი ფხვნილთა ნარევები მეტი აქტიურობით გამოირჩევიან წვით სინთეზის რეაქციის თვალსაზრისით დაბალი წინასწარი სიმკვრივეების შემთხვევაშიც კი.

4. ნაჩვენებია, რომ რომ WC -ს გამოყენება და წინასწარი სიმკვრივის გაზრდა ცად-ის წინ განაპირობებს პრაქტიკულად სრული წვით სინთეზის რეაქციას Ni-Al კომპოზიციაში და სხვადასხვა მოდიფიკაციის ალუმინის ნიკელიდების ფორმირებას.

5. სუფთა Ni-Al კომპოზიციებში სინთეზის რეაქციის ინიცირება დარტყმითი ტალღის ფრონტის უკან და სხვადასხვა ალუმინის ნიკელიდების ფორმირება შესაძლებელია განხორციელდეს ტემპერატურისა და დატვირთვის ინტენსიურობის გაზრდის ხარჯზე.

6. დადგენილია, რომ Ta-Al კომპოზიციებში სრულყოფილი თმს რეაქციის მიმდინარეობა იწყება 940°C-დან საწყისი ტანტალისა და ალუმინის ფაზების სრული ტრანსფორმაციით ტანტალის ალუმინაიდებში. ჩამოყალიბებული ინტერმეტალური ნაერთების ტიპს ($TaAl$, $TaAl_2$ და $TaAl_3$) საწყის ფხვნილებში კომპონენტების პროცენტული შემცველობა განსაზღვრავს ატომური წონების მიხედვით.

7. დადგენილია, რომ ჩვენს მიერ შემუშავებული თმს და ცად ტექნოლოგიების კომბინირებითა და ურთიერთშეთავსებით შესაძლებელია ტანტალის ალუმინაიდების მიღება თეორიული სიმკვრივის მახლობლობაში სრულყოფილი სტრუქტურითა და მაღალი მექანიკური მახასიათებლებით. ბზარების წარმოქმნის ასაცილებლად და უდეფექტო ინტერმეტალური კომპოზიციების მისაღებად ცად-ით დაწნების ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს თმს-ის ინიცირების ტემპერატურას (940°C).

8. შესწავლილია პასიური B_4C დანამატის გავლენა დაწნების პროცესზე და ტანტალ-ალუმინის ინტერმეტალური კომპოზიციების სტრუქტურის ფორმირებაზე. დადგენილია, რომ თმს და ცად ტექნოლოგიების

კომბინირებისას ადგილი აქვს ბორის კარბიდის დისოციაციას, ბორისა და ნახშირბადის გადანაწილებას რეაქციის პროდუქტებში და დამოუკიდებელი, ახალი ფაზების (TaB , Ta_2AlC) ფორმირებას.

შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო ნაშრომში მიღებული შედეგები ფართო გამოყენებას ჰპოვებს რეაქტორულ ტექნოლოგიებში, ატომურ ენერგეტიკასა და სამხედრო მიზნებისათვის. ალუმინთან ტანტალის რეაქციის შედეგად მიღებული გაზრდილი კონსტრუქციული სიმტკიცის მქონე ინტერმეტალური ტანტალის ალუმინალები გამოიყენება χ და ნეიტრონული გამოსხივებისაგან დამცავ და შთანთქმელ საკონტეინერო მასალებად რეაქტორულ ტექნოლოგიებში, ხოლო მაღალი სიმკვრივის მქონე Ta_2Al და $TaAl$ კომპოზიციები ცილინდრული ნაშაბადები საკმაოდ პერსპექტიულ მასალებად გვევლინება ახალი თაობის ჭურვების ქობანების სახით ბალისტიკაში. ამჟამად მიმდინარეობს კვლევები მიღებული შედეგების ბირთვული ტექნოლოგიებში და ბალისტიკისა სფეროში დანერგვისათვის.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლისაგან, ხუთი თავისაგან, დასკვნებისა და ციტირებული ლიტერატურისგან. სამუშაო შეიცავს 110 ნაბეჭდ გვერდს, 5 ცხრილს, 6 ნახაზს, 45 სურათსა და 34 დასახელების ბიბლიოგრაფიას.

შესავალი. დღეისათვის მსოფლიოს თითქმის ყველა განვითარებული ქვეყნის მკვლევარის ყურადღების ცენტრშია მოქცეული ახალი კომპოზიციური მასალების მიღების არატრადიციული ტექნოლოგიების შემუშავება და მათი ქცევის შესწავლა მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში. ასეთი გაზრდილი ინტერესი ძირითადად განაპირობა ახალი, თვისებათა უნიკალური შეხამების მქონე მასალების ძიებამ, რაც აუცილებელია ტექნიკისა და მრეწველობის მრავალი დარგის შემდგომი განვითარებისათვის.

უკანასკნელ ხანებში გაჩნდა ახალი მიმართულებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ მაღალი სიმკვრივისა და თითქმის უფრო მასალის მიღებას

სრულყოფილი სტრუქტურითა და მაღალი ფიზიკო-მექანიკური თვისებებით. დიდ ინტერესს იმსახურებს ახალი ინტერმეტალური მასალები, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი რადიაციული და თბომედეგობით, ამასთანავე ხასიათდებიან მექნიკური და პლასტიკური მახასიათებლების კარგი ურთიერთშეხამებით, რაც უზრუნველყოფს მათ დიდ დატვირთვებზე გარანტირებულ მუშაობას როგორც ტემპერატურის ფართო დიაპაზონში, ისე სხვადასხვა აგრესიულ გარემოში. ტექნოლოგიური პროცესების რაციონალური მართვით შეიძლება წინასწარ დასახული ქიმიური შედგენილობის და სტრუქტურის მქონე მასალებისა და ნაკეთობების მიღება, რომლის რეალიზაციაც პრაქტიკულად შეუძლებელია მეტალურგიული წარმოების ტრადიციული მეთოდებით. გარდა ამისა, ფხვნილთა მეტალურგიის ძირითადი უპირატესობა მასალების მცირე დანაკარგებით განისაზღვრება.

სალი და კერამიკული მასალების აფეთქებით დაწნეხა მაღალ წნევას და ფეთქებადი მასალის დიდ მუხტს მოითხოვს, რასაც დადებითთან ერთად უარყოფითი მხარეც გააჩნია. კერძოდ, მაღალმა წნევამ შეიძლება დასაწნეხი კონტეინერის მასალის სიმტკიცის ზღვარს გადააჭარბოს და დაამსხვრიოს, რის გამოც შეუძლებელი გახდება დაწნეხილი მასალის არა თუ გეომეტრიული ფორმის, არამედ საერთოდ, მისი შენარჩუნება. აფეთქებამდე ნამზადის წინასწარი გახურება ნაწილაკების სიმკვრივის შემცირებას და ფოლადის კონტეინერის ელასტიურობის გაზრდას უზრუნველყოფს, რაც ფეთქებადი მასალის რაოდენობის შემცირებისა და დაბალი დეტონაციის სიჩქარის მქონე ფეთქებადი მასალის გამოყენების საშუალებას იძლევა. წინასწარი მაღალი ტემპერატურა განსაკუთრებით დადებითი როლს თამაშობს ძნელდნობადი და სალი მასალების ცხლად აფეთქებით შეერთებისა და დაწნეხის პროცესში. გახურებისას ფხვნილი რბილდება და იზრდება მისი პლასტიკურობის მახასიათებლები. ასეთ პირობებში დაწნეხა-კომპაქტირების მექანიზმი მარცვლების პლასტიკური დეფორმაციისა და მათი ურთიერთშეჯახების გზით რეალიზირდება, რაც საერთო მარცვალთმორი-

სი საზღვრების ჩამოყალიბებას განაპირობებს. ეს პროცესი მნიშვნელოვნად გაადვილებულია დაბალი ინტენსივობის დატვირთვის პირობებშიც კი.

საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს გრიგოლ წულუკიძის სამთო ინსტიტუტში უკვე არსებობს მსგავსი პრობლემების გადაწყვეტის საკმაო გამოცდილება და მეცნიერული შედეგები. წინასწარი კვლევების ანაღვი საფუძველს იძლევა დავასკვნათ, რომ ნიკელ-ალუმინისა და ტანტალ-ალუმინის კომპოზიციის მისაღებად პროცესი შეიძლება ორი გზით განხორციელდეს: ფხვნილის ცხლად აფეთქებით და შემდეგ თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზით და პირიქით, თავდაპირველად თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის წარმართვით, ხოლო შემდეგ ეტაპზე - ცხლად აფეთქებით.

კვლევებში ყურადღება გამახვილებულია ისეთი ტექნოლოგიის შემუშავებაზე, რომელიც თერთფაზა ნიკელ-ალუმინისა და ტანტალ-ალუმინის კომპოზიტებში ალუმინადების ჩამოყალიბებას უზრუნველყოფს.

კვლევები ითვალისწინებდა აგრეთვე ცად ტექნოლოგიით მაღალი სისალის WC-NiAl და B₄C-TaAl კომპოზიციების მიღებას ერთფაზა NiAl და TaAl შემაკავშირებელ მატრიცაში; ტანტალისა და ნიკელის ალუმინადების ფორმირების პირობების შესწავლას, ნაზადების მაკრო და მიკროსტრუქტურების, ფიზიკო-მექანიკური და ელექტრული თვისებების ცვლილების ხასიათის კვლევას ტექნოლოგიური პროცესის პარამეტრებზე დამოკიდებულებით.

ტანტალის მაღალი სიმკვრივე ($\gamma=16.4$ გ/სმ³) და Ta-Al სისტემის ასევე მაღალი რეაქტიულობა ის მთავარი წინაპირობებია, რაც აღნიშნული მასალების დიდ პერსპექტიულობაზე მიუთითებს. ცად-ის ტექნოლოგიის გამოყენება შესაძლებლობას იძლევა ამ სისტემაში გაცილებით უფრო მაღალი დატვირთვის ინტენსიურობის (წნევის) განვითარების გზით წარმატებით გადაწყდეს წარმოებაში წამოჭრილი არაერთი პრობლემა, რაც ძირითადად განპირობებულია დასაწნეხი ფხვნილის თითქმის ორჯერ უფრო მაღალი სიმკვრივით. პრობლემის წარმატებით გადაჭრა უნდა დავაკავშიროთ

აგრეთვე თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის ინიცირების შესაძლებლობასთან, რაც ინტერმეტალური ნაერთების ჩამოყალიბებას უზრუნველყოფს.

ამგვარად, ლიტერატურული წყაროების ანალიზიდან გამომდინარე, შეიძლება გაკეთდეს ერთი ძირითადი დასკვნა: როგორც საქართველოში, ისე საზღვარგარეთის განვითარებულ ქვეყნებში, ფხვნილოვანი მასალებისა და მათი ნარევების კომპაქტირების, ნახევარფაბრიკატებისა და მზა ნაკეთობის მიღების ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას ცხლად აფეთქების ტექნოლოგია წარმოადგენს. აღნიშნული მიმართულებით კვლევების ძირითად მიზანს წარმოადგენს დაწნების ოპტიმალური პარამეტრების დადგენა დასაწნები მასალის გვარობის (ფხვნილთა ფიზიკური და ქიმიური ბუნების, დისპერსიულობის ხარისხის და ა.შ) გათვალისწინებით, რამაც უნდა უზრუნველყოს სრულყოფილი, უდეფექტო სტრუქტურისა და თვისებათა სასურველი კომპლექსის მქონე კომპოზიციური მასალების მიღება. ყოველივე ეს მიუთითებს კვლევის მიმართულების აქტუალობასა და მისი შემდგომი განვითარების პერსპექტიულობაზე.

ცილინდრული გეომეტრიის ფორმის ნაკეთობის დაწნება ნიკელ-ალუმინისა და ტანტალ-ალუმინის კომპოზიციებიდან ორ საფეხურად არის შესრულებული:

ა) პირველ საფეხურზე ხორციელდება ოთახის ტემპერატურაზე საწყისი ფხვნილების ნარევის აფეთქებით მოწნება დატვირთვის ინტენსივობით 20 გპა-მდე. მისი მიზანია ნამზადის წინასწარი სიმკვრივის გაზრდა და ნარევაში ნაწილაკების ზედაპირების გააქტიურება;

ბ) მეორე საფეხურზე, იგივე წინასწარ დაწნეხილი ცილინდრული ნიმუში, განმეორებით განიცდის აფეთქებით მოწნევას ცხელ მდგომარეობაში 200-1100°C ტემპერატურაზე. დატვირთვის ინტენსიურობა არ აღემატება 10 გპა.

ცილინდრული ნიმუშის მეორადი აფეთქებით მოწნევა მიმდინარეობს ელექტრო ღუმელში მისი 800-1000°C-მდე წინასწარი გახურების

შემდეგ. მაღალი ინტენსიურობის დარტყმითი ტალღები განაპირობებს ნაწილაკების ზედაპირების დენადობას და მარცვალთშორისი საზღვრების ჩამოყალიბებას, რაც გამორიცხულია სტატიკური დაწნეხის პირობებში.

თავი 1. გაკეთებულია პრობლემის ირგვლივ არსებული ლიტერატურული მონაცემების დეტალური ანალიზი. მიმოხილულია ახალი მასალების მიღების თანამედროვე მეთოდები; კომპოზიციური და გამოყენებული მასალების მიმოხილვა და ზოგადი დახასიათება; ნაწილაკთა მოცულობითი დეფორმაციები; გამკვრივების პროცესები გახურებისას და ოთახის ტემპერატურებზე; ზოგიერთი ტექნოლოგიური პარამეტრის გავლენა შეცხობის პროცესზე და შეცხობილი მასალების თვისებებზე; შეცხობის პროცესები ერთკომპონენტური და მრავალკომპონენტური სისტემებში; შეკავშირების მექანიზმები და წნევის გავლენა დარტყმით გამკვრივებული მასალების სუბსტრუქტურაზე.

განხილულია ფხვნილების აფეთქებით დაწნეხის თავისებურებანი. გაანალიზებულია ფორიან გარემოში დარტყმითი ტალღების აღძვრისა და გავრცელების კანონზომიერებები. ჩამოყალიბებულია პირობები, რომლის დროსაც ფხვნილების კომპაქტირების დროს ხდება ნაწილაკებს შორის საერთო საზღვრების ჩამოყალიბება.

აფეთქებით დაწნეხას თან სდევს ფაზური გარდაქმნები, რაც არაერთი ნივთიერების მეტასტაბილური ფაზების მიღების შესაძლებლობას იძლევა. აღნიშნული ფაზები ხასიათდებიან სტრუქტურული დეფექტების მაღალი კონცენტრაციით და კრისტალიტების მცირე ზომით, რაც განაპირობებს მათი თვისებების სპეციფიკურობას სხვა მეთოდებით მიღებული ნიმუშების თვისებებთან შედარებით. ამიტომ ამ საკითხების განხილვას სამუშაოში ჯეროვანი ყურადღება აქვს დათმობილი.

თავი 2. წარმოდგენილია ექსპერიმენტული კვლევების ძირითადი შედეგები და მოცემულია მათი ანალიზი.

მასალების წინასწარი გახურება ერთ-ერთ მნიშვნელოვან და საპასუხისმგებლო საფეხურს წარმოადგენს მათი შემდგომი აფეთქებით დამუშავებისათვის.

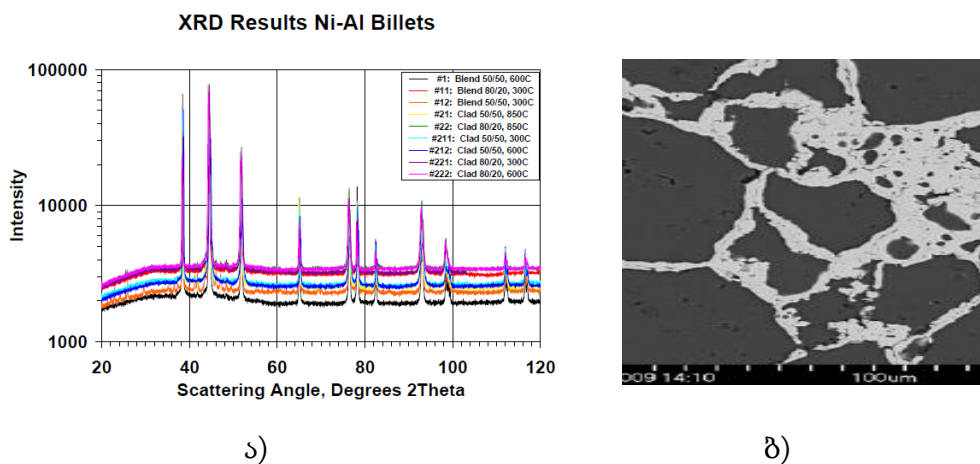
წინასწარ მომზადებული ნიმუშები პირველ საფეხურზე 10 გპა დატვირთვის ინტენსივობით იწნეხებოდა, მეორე საფეხურზე კი ხდებოდა მათი განმეორებითი მოწნეხვა მაღალ ტემპერატურებზე: ნიკელ-ალუმინის შემთხვევაში 200-1000°C ინტერვალში, ხოლო ტანტალ - ალუმინის შემთხვევაში, თმს პროცესის მიმდინარეობის გამო, ტემპერატურა 3000°C -მდეც კი აღწევდა. პირველ საფეხურზე მოწნეხილი ნიმუშების სიმკვრივე თეორიული სიმკვრივის 80%-ს არ აღემატება მაშინ, როდესაც მეორე საფეხურზე დამუშავების შემდეგ ეს მაჩვენებელი 98,8-99,4% შეადგენს.

Ni-Al და Ta-Al კომპოზიციების ფაზური შემადგენლობა ატომური წონის მიხედვით იმ პროპორციით იყო გათვლილი, რომ მიგველო სტექიომეტრიული ფაზები NiAl, NiAl₂, Ni₃Al, Ta₂Al, TaAl, TaAl₂ და TaAl₃.

საბოლოო ექსპერიმენტები Ni-Al სისტემის კვლევის პროცესში ჩატარებულია 1000°C-მდე ტემპერატურულ ინტერვალში, ხოლო Ta-Al კომპოზიციის შემთხვევაში - ა) თმს ტემპერატურის ქვემოთ და შემდგომ თმს პროცესის განხორციელებით; ბ) თმს ტემპერატურის ზემოთ, ანუ თავდაპირველად თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის განხორციელებით და ამ პროცესში ჩამოყალიბებული სტრუქტურის აფეთქებით შემდგომი დაწნეხით.

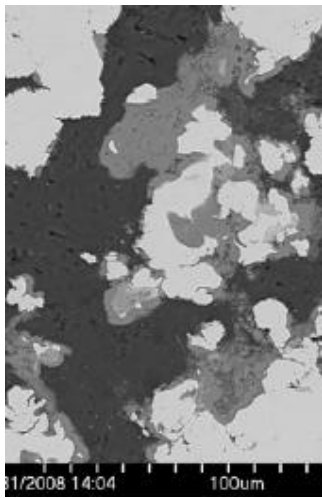
როგორც კვლევის შედეგებიდან გამომდინარეობს, თმს პროცესის მიმდინარეობის ტემპერატურა ტანტალ-ალუმინის კომპოზიციებისათვის მნიშვნელოვნად აღემატება ალუმინის დნობის ტემპერატურას და დაახლოებით 940°C შეადგენს. ამიტომ მიზნად დავისახეთ შეგვეფასებინა დარტყმითი ტალღებით ინიცირებული თვითგავრცელებადი სინთეზი Ni, Ta და Al ფაზებს შორის. ცალკეულ შემთხვევაში გამოყენებული იყო აგრეთვე კომპოზიციები ვოლფრამის კარბიდის დანამატებით.

1-ელ სურათზე წარმოდგენილია ცხლად დაწნეხილი ნიკელ-ალუმინის კომპოზიციის ფხვნილის დიფრაქციული სურათი (ა) და მიკროსტრუქტურა (ბ). როგორც დიფრაქციული სურათიდან გამომდინარეობს, რეაქცია ნიკელსა და ალუმინს შორის პრაქტიკულად არ მიმდინარეობს. კომპოზიციის მხოლოდ უმნიშვნელო რაოდენობა მონაწილეობს რეაქციაში და რტყმითი ტალღის ფრონტზე, რომელიც ფრონტის გავლის შემდეგ ნიკელიდებს წარმოქმნის. ამას ადასტურებს დიფრაქციულ სურათზე $2\theta=39^\circ$ კუთხეზე გაჩენილი მაქსიმუმი.

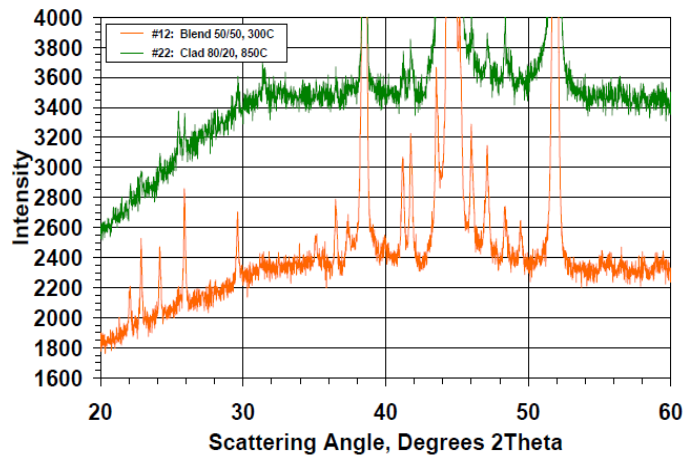


სურათი 1. პლაკირებული და ნარევი Ni-Al კომპოზიციის ფხვნილებისაგან ცად ტექნოლოგიით მიღებული ნიმუშების დიფრაქციული სურათი (ა) და დაწნეხილი Ni-20%Al პლაკირებული კომპოზიციის მიკროსტრუქტურა (ბ).

ზემოთაღნიშნულისაგან განსხვავებით, მე-2 სურათზე წარმოდგენილი სხვადასხვა პირობებში დაწნეხილი Ni-Al კომპოზიციის მიკროსტრუქტურა (ა) და დიფრაქციული სურათი (ბ) ადასტურებს ახალი პიკების წარმოქმნის, ანუ პრაქტიკულად ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობისა და ნიკელის ალუმინადების ჩამოყალიბების ფაქტს. ამასთან, ნარევი და პლაკირებული ფხვნილებისაგან მიღებულ კომპოზიტებში ადგილი ქვს სხვადასხვა მოდიფიკაციის ალუმინის ნიკელიდების წარმოქმნას, რაც დასტურდება 300°C -ზე ცად ტექნოლოგიით მიღებული ნარევი კომპოზიციის კვლევის შედეგებით (სურათი 2 ა). მიკროსტრუქტურაზე ადვილად შეიმჩნევა მესამე ფაზის არსებობა.



XRD Results Ni-Al Billets



ბ

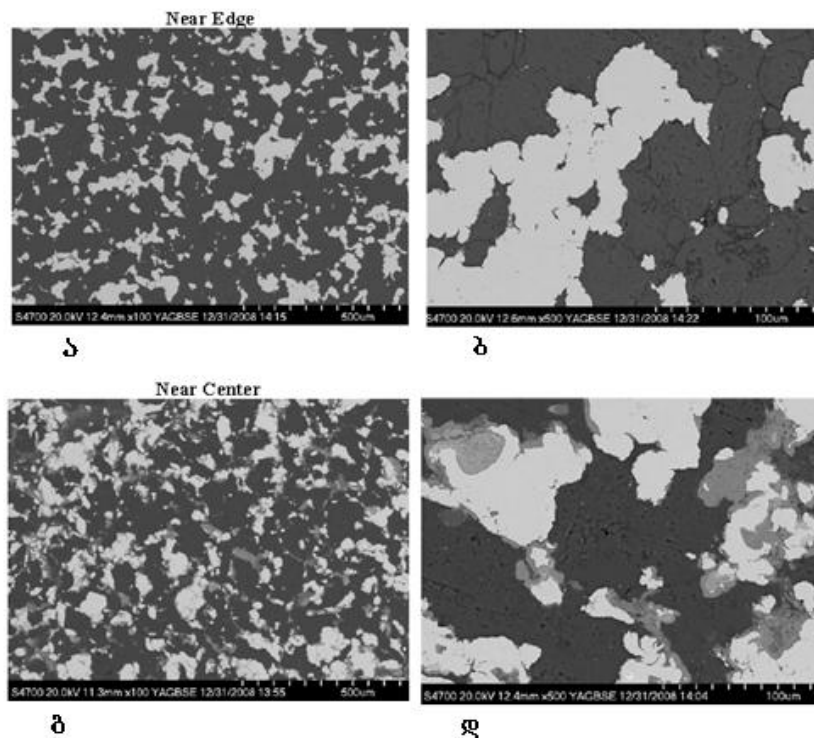
სურათი 2. პლაკირებული და ნარევი Ni-Al კომპოზიციის ფხვნილებისაგან 300°C და 850°C ტემპერატურებზე ცად-ით მიღებული ნიმუშების მიკროსტრუქტურა (ა) და დიფრაქციული სურათი (ბ)

პლაკირებული და ნარევი ფხვნილებისაგან სხვადასხვა პირობებში ცად-ით დაწნებით მიღებული Ni-Al კომპოზიციების მიკროსტრუქტურული კვლევის მონაცემების ანალიზი (სურათი 3, 4) საფუძველს იძლევა დავასკვნათ, რომ იგი სრულ შესაბამისობაშია რენტგენოსტრუქტურული კვლევის შედეგებთან. კერძოდ, ცად-ით 300 და 850 °C ტემპერატურებზე მიღებული Ni-Al-ის როგორც ნარევი, ასევე პლაკირებული ფხვნილების მიკროსტრუქტურები წვით სინთეზის რეაქციის ინიცირებაზე და გამდნარ ალუმინსა და ნიკელს შორის რეაქციის მიმდინარეობაზე მიუთითებენ. როგორც შედეგი, აღნიშნულ ზონებში, დარტყმითი ტალღის ფრონტის უკან, ალუმინის ნიკელიდი მიიღება, რაც ასევე მიკროსტრუქტურული ანალიზის მონაცემებით დასტურდება.

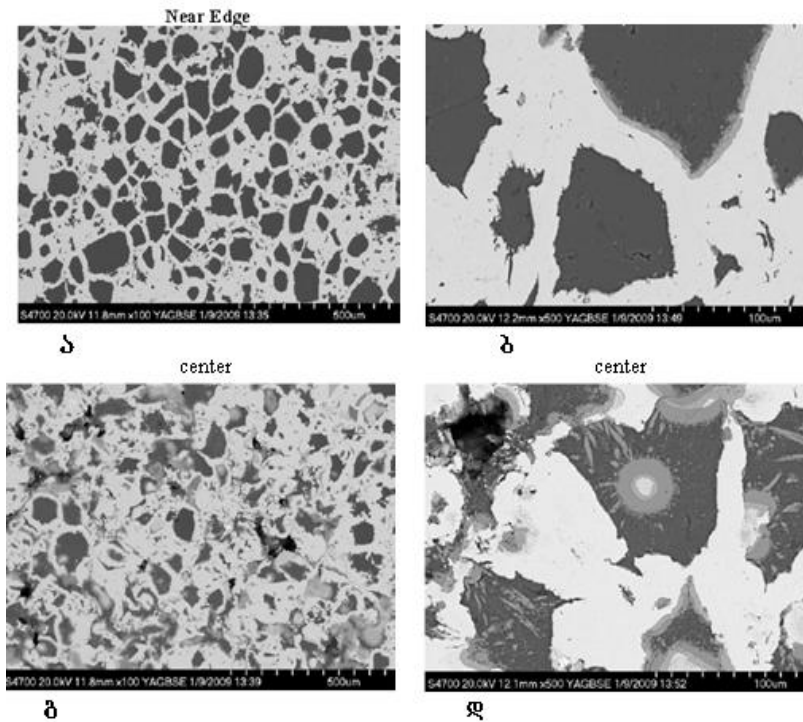
მიკროსტრუქტურული ანალიზიდან ასევე გამომდინარეობს, რომ წვით სინთეზის რეაქცია ძირითადად ნიმუშის ცენტრალურ ზონებში მიმდინარეობს, პერიფერიული ზონების სტრუქტურა კი სუფთა ალუმინისა და ნიკელის ფაზებისაგან შედგება. ეჭვგარეშეა, რომ წვით სინთეზის რეაქცია

ნიმუშის ცენტრალურ ზონებში განპირობებულია დარტყმითი ტალღების ინტერფერენცია-ურთიერთგადაკვეთით ნამზადის ამ უბნებში, რაც წნევის და ტემპერატურის მნიშვნელოვან ზრდას და, როგორც შედეგი, ალუმინის ნიკელიდების ფორმირებას განაპირობებს (იხ. სურათი 3, 4 და 5).

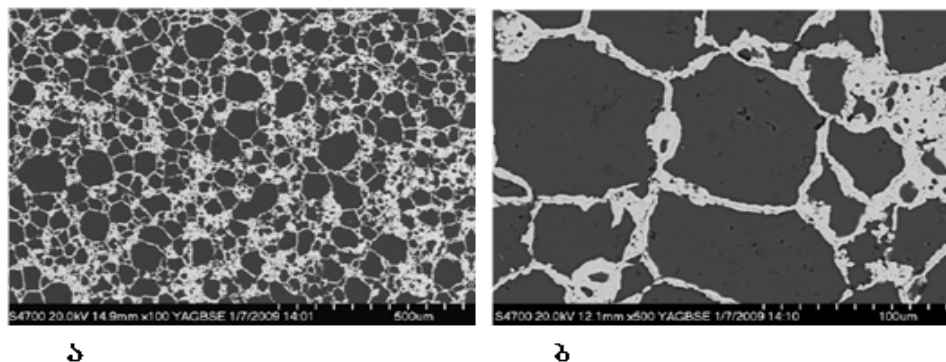
წვით სინთეზით რეაქცია და ალუმინის ნიკელიდების წარმოქმნა შეინიშნება აგრეთვე სხვა ტემპერატურებზე მიღებულ, მაგალითად, პლაკირებული Ni-20%Al კომპოზიციის ფხვნილისაგან ცად-ით 600°C-ზე მიღებულ ნიმუშებში (სურათი 6). ანალოგიური სურათი შეინიშნება როგორც ნიმუშის პერიფერიებში, ისე ცენტრალურ ნაწილში.



სურათი 3. ცხლად აფეთქებით 300°C ტემპერატურაზე Ni-50%Al კომპოზიციის (მექანიკური ნარევი) ფხვნილისაგან დაწნეხილი ნიმუშის მიკროსტრუქტურა. ა, ბ - პერიფერიული ზონები; გ, დ - ცენტრალური ზონა.

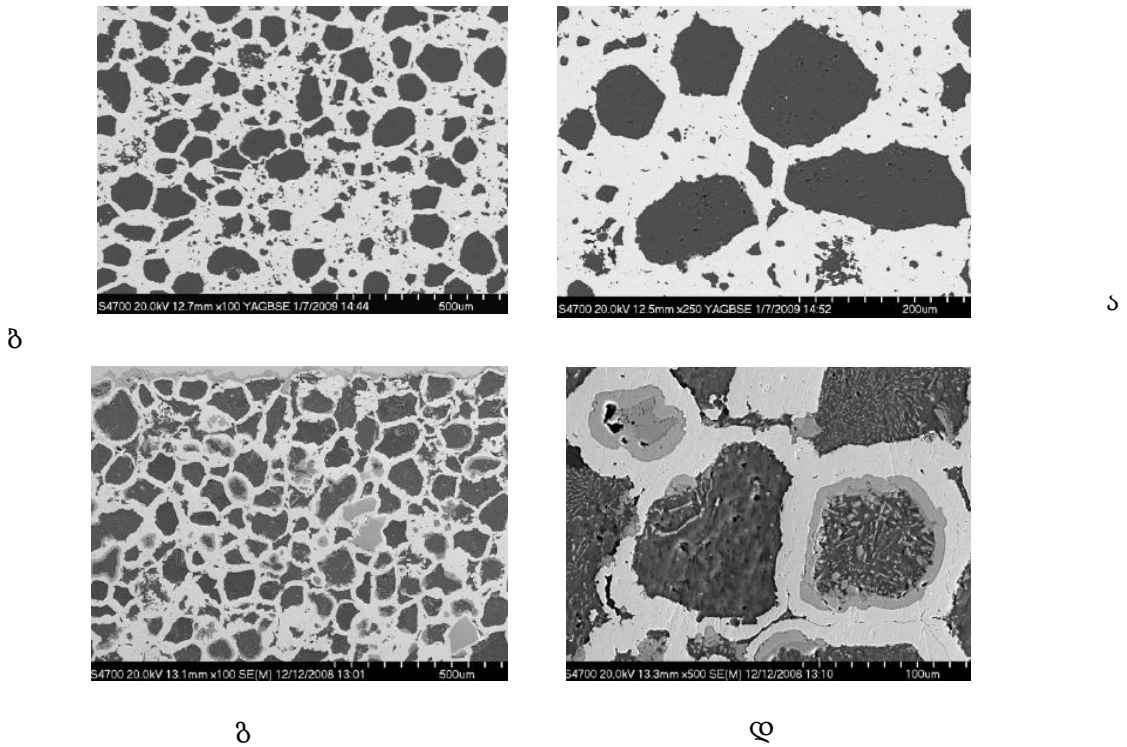


სურათი 4. აფეთქებით ცხლად 850°C ტემპურატურაზე Ni-50%Al კომპოზიციის პლაკირებული ფხვნილისაგან დაწნეხილი ნიმუშის მიკროსტრუქტურა. ა, ბ პერიფერიული ზონები; გ, დ - ცენტრალური ზონები.



სურათი 5. ცხლად აფეთქებით 300°C ტემპურატურაზე Ni-50%Al პლაკირებული კომპოზიციის ფხვნილისაგან დაწნეხილი ნიმუშის მიკროსტრუქტურა. ა, ბ - პერიფერიული ზონები.

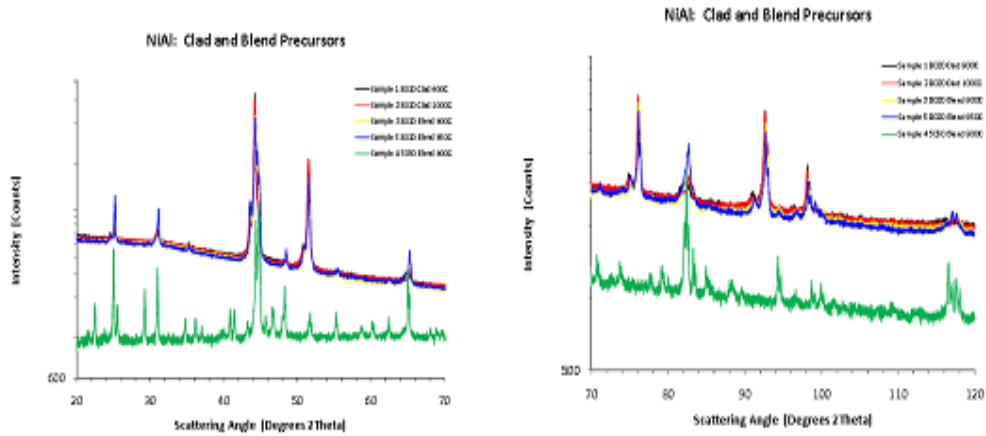
ამგვარად, განზოგადების სახით შეიძლება აღინიშნოს, რომ ცენტრალურ ნაწილში ალუმინის ნიკელიდების ფორმირება მაშინ ხდება, როდესაც პერიფერიები მხოლოდ სუფთა ნიკელისა და ალუმინისაგან შედგება. რაც შეეხება ცად-ით მიღებულ სხვა ნამზადებს, მათში ალუმინის ნიკელიდების კვალი არ არის აღმოჩენილი, რაც იმის დამადასტურებელია, რომ წვით სინთეზის რეაქცია მათში ვერ განხორციელდა.



სურათი 6. ცხლად აფეთქებით 600°C ტემპერატურაზე Ni-20%Al პლაკირებული კომპოზიციის ფხვნილისაგან დაწნეხილი ნიმუშის მიკროსტრუქტურა. ა, ბ - პერიფერიული ზონები; გ, დ - ცენტრალური ზონები.

10 გპა წნევით 900°C ტემპერატურაზე ცად-ით დაწნეხის გზით მიღებული Ni-Al კომპოზიციების დიფრაქციული სურათის (სურათი 7) ანალიზიდან გამომდინარე, ცენტრალურ და პერიფერიულ ზონებში მკვეთრად არის გამომჟღავნებული ფაზურ შემადგენლობაში განსხვავება. მიღებულ შედეგებს იმ დასკვნამდე მივყავართ, რომ ფხვნილთა ნარევის შემადგენელი ნიკელისა და ალუმინის ფაზების დაბალი აქტიურობა და წვით სინთეზის რეაქციის უუნარობა დაბალი ინტენსიურობის მოწინებით და ნიმუშების დიდი ზომებით არის გამოწვეული. ამ მოსაზრების დასადასტურებლად ჩვენს მიერ შერჩეული იყო ორი გზა:

1. შეგვემცირებინა დასაწნეხი ნიმუშების დიამეტრი;
2. გაგვეზარდა გამოყენებული ფეთქი მუხტის დეტონაციის სიჩქარე და როგორც შედეგი, მიგველო უფრო მაღალი დაწნეხის ინტენსიურობა.



ა

ბ

სურათი 7. ნარევი (ა) და პლაკირებული (ბ) Ni-Al კომპოზიციის ფხვნილებიდან 900 °C ტემპერატურაზე მიღებული ნიმუშების დიფრაქციული სურათი

როგორც დიფრაქციული სურათებიდან ჩანს, მხოლოდ 900 °C-ზე დაწნეხილი Ni-50%Al ნარევი ფხვნილის კომპოზიციები იძლევიან სრული წვით სინთეზის რეაქციას. აღსანიშნავია, რომ 1000 °C -ზეც კი სრული წვით სინთეზი Ni-20%Al კომპოზიციასში შეუძლებელია.

ცხრილი 1. Al-Ni კომპოზიციების კვლევის შემაჯამებელი შედეგები

ნუმერი	T [°C]	ეტაპი		სიმკვრივე [გ/სმ ³]	სისსაღე [გპა] 0.5კგ
		რაოდენობა	ფხვნილის ტიპი		
Ni-20%Al	900	2	ნარევი	5.75	2.9
Ni-20%Al	950	2	ნარევი	5.86	3.2
Ni-20%Al	900	2	პლაკირებული	5.45	2.1
Ni-20%Al	1,000	2	პლაკირებული	5.32	2.9
Ni-50%Al	900	2	პლაკირებული	6.21	6.5

დამატებითი პიკების გამოჩენა დიფრაქციული სურათის წინა კუთხეებში ადასტურებს ნაწილობრივ წვით სინთეზის ტენდენციას.

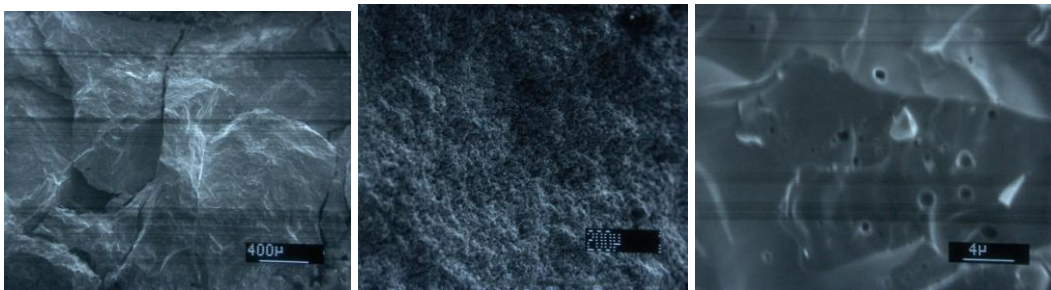
როგორც 1-ელი ცხრილის მონაცემებიდან გამომდინარეობს, 900 °C-ზე დაწნეხილი ნარევისა და პლაკირებული ფხვნილებისაგან მიღებული ნიმუ-

შეზღვევის მახასიათებლებში უმნიშვნელო სხვაობა შეინიშნება, რაც შეიძლება წვის პროცესში ნაწილობრივი სინთეზით და ექსპერიმენტის პირობებიდან გამომდინარე, სხვადასხვა მოცულობის ნიკელის ალუმინაიდების ფორმირებით აიხსნას.

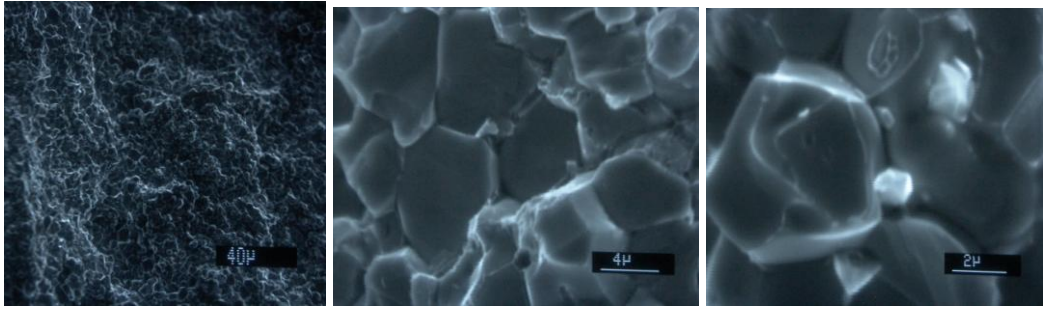
მაგალითის სახით 8-9 სურათებზე მოყვანილია ცად-ითა და თმს-ს პროცესების კომბინირებით დაწნეხილი, სხვადასხვა ფაზური შემადგენლობის ზოგიერთი Ta-Al კომპოზიციის სტრუქტურები.

როგორც მიკროსტრუქტურების ანალიზიდან გამომდინარეობს, ნიმუშები ყველა შემთხვევაში მაღალი სიმკვრივით გამოირჩევიან. არ შეინიშნება ბზარები და სხვა ტიპის დეფექტები. მიკროსტრუქტურებიდან აშკარად ჩანს კომპოზიტების ერთფაზა აგებულებულება, რაც ტანტალის ინტერმეტალიდებს უნდა მიეკუთვნებოდეს.

მე-10 სურათზე წარმოდგენილია აფეთქებით ცხლად დაწნეხილი Ta-Al კომპოზიციის დიფრაქციული სურათები სხვადასხვა ფაზური შემადგენლობის შემთხვევაში. მათი შედარება საწყისი ფხვნილების დიფრაქციულ სურათებთან აშკარად გვიჩვენებს ტანტალისა და ალუმინის ახალი ფაზების არსებობას, რაც აფეთქების შედეგად წარმოქმნილი ტანტალის ალუმინაიდები უნდა იყოს. სუფთა ტანტალისა და ალუმინის მაქსიმუმები დიფრაქციულ სურათზე აფეთქების შედეგად მიღებულ კომპოზიციებში არ შეიმჩნევა, რაც Ta და Al საწყის ფაზებს შორის მიმდინარე წვით სინთეზის სრულფასოვან რეაქციაზე მიუთითებს.



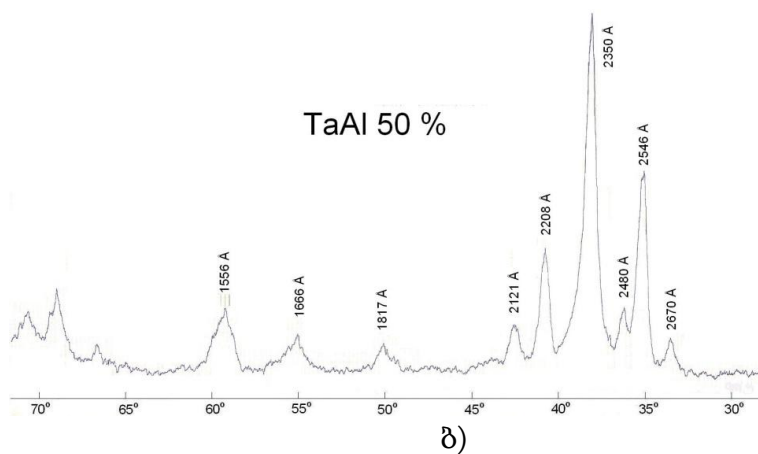
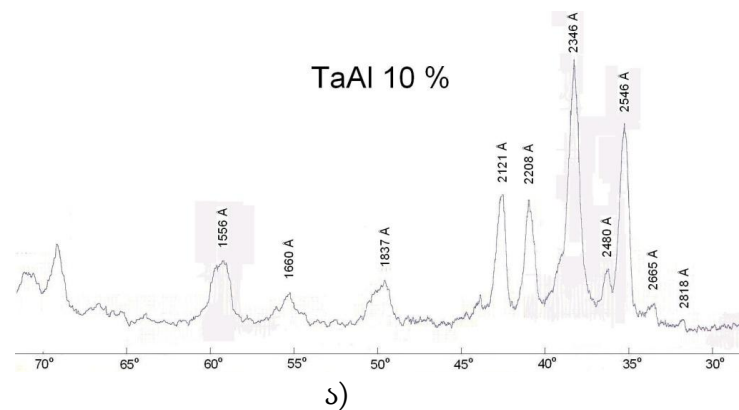
სურათი 8. აფეთქებით ორ საფეხურად 920°C ტემპერატურაზე დაწნეხილი Ta-33%Al (TazAl) კომპოზიციის მიკროსტრუქტურა სხვადასხვა გადიდების დროს. დატვირთვის ინტენსიურობა P=10გპა.



სურათი 9. აფეთქებით ორ საფეხურად 920°C ტემპერატურაზე დაწნეხილი Ta-75%Al (TaAl₃) კომპოზიციის მიკროსტრუქტურა სხვადასხვა გადიდების დროს. დატვირთვის ინტენსიურობა P=10გპა.

მე-11 და მე-12 სურათებზე წარმოდგენილია ტანტალის ალუმინადების მექანიკური და ელექტრული თვისებების ცვლილების ხასიათი ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით. რელაქსაციის მაქსიმუმის შედარებით მაღალი მნიშვნელობა Ta-50%Al კომპოზიციის შემთხვევაში განპირობებული უნდა იყოს რელაქსაციით მარცვლების საზღვრებზე. ასეთ შემთხვევაში პიკის სიმაღლე დამოკიდებულია მარცვლების ფართობზე, რომელიც მაქიმალურ მნიშვნელობას მაშინ ღებულობს, როდესაც ფაზების მოცულობითი თანაფარდობა ტოლია. გარდა აღნიშნულისა, ნიკელის ალუმინადების ფორმირება ხელს უწყობს აღნიშნულ ეფექტს. ეს მოსაზრება დასტურდება რენტგენოსტრუქტურული კვლევების მონაცემებით, სადაც გამოიყვანებულია ახალი ინტერმეტალური ფაზების ჩამოყალიბების ფაქტი.

ამგვარად, ჩვენს მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული მონაცემების განზოგადება საფუძველს იძლევა უდაოდ გამოიკვეთოს ის უპირატესობა, რაც გააჩნია აფეთქებით დაწნეხის ტექნოლოგიაში ტანტალისა და მისი კომპოზიციების გამოყენებას. მათი მაღალი სიმტკიცე, ელასტიურობა და ძლიერი რეაქციის უნარიანობა ინტენსიური დარტყმითი ტალღების შექმნის შესაძლებლობას იძლევა, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ფხვნილთა ნარევის შემადგენელი ნაწილაკების ზედაპირების პლასტიკურ დენადობას, აადვილებს ძლიერი მარცვალთშორისი საერთო საზღვრების ჩამოყალიბებას და ახალი ინტერმეტალური ნაერთების სინთეზს სრულყოფილი სტრუქტურითა და გაუმჯობესებული მექანიკური თვისებებით.

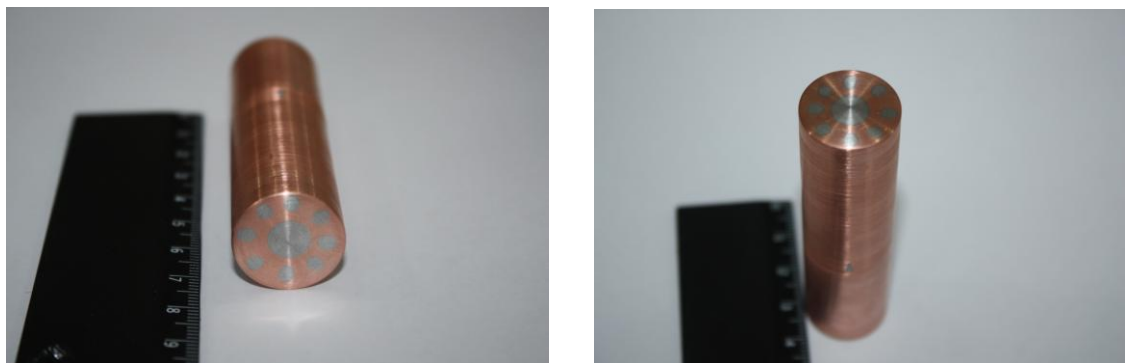


სურათი 10. აფეთქებით ორ საფეხურად 920°C ტემპერატურაზე დაწნეხილი Ta-Al კომპოზიციების დიფრაქციული სურათი. ა) Ta-10%Al; ბ) Ta-50%Al.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია პასიური დანამატი, ბორის კარბიდი (B₄C), რომელიც ფხვნილის სახით ემატებოდა საწყის მასალებს. B₄C დანამატის გამოყენება მიზანად ისახავდა მისი გავლენის შესწავლას წვით სინთეზის პროცესზე დარტყმითი ტალღის ფრონტზე და ახალი, უდეფექტო და მაღალი სიმკვრივის, ნეიტრონების მიმართ გაზრდილი შთანმთქმელი თვისებების მქონე Ta-Al-B₄C რეაქტორული მასალის მიღებას.

მეტალორაფიული კვლევით დადგენილია, რომ Ta-Al-10%B₄C კომპაქტირებული ნიმუშები გამოირჩევიან სრულყოფილი და უდფექტო სტრუქტურით. რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით დგინდება მისი სამფაზა შედგენილობა, სადაც ჩამოყალიბებულია ახალი, TaAl₃, Ta₂AlC და TaB ფაზები. შედეგების ანალიზი ცხადყოფს, რომ ცხელ მდგომარეობაში აფეთქებით დარტყმითი ტალღის ფრონტზე და მის შემდგომ ადგილი აქვს ბორის კარბიდის ატომურ დონეზე დაშლას და ბორისა და ნახშირბადის ატომების გადანაწილებას. როგორც შედეგი, სინთეზის გზით ყალიბდება ტანტალის ბორიდი TaB და ტანტალის კარბოალუმინატი Ta₂AlC.

მე-11 სურათზე მოყვანილია ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგების პრაქტიკული რეალიზაციის ერთ-ერთი მაგალითი, სადაც ერთმანეთთან შერწყმულია რამდენიმე ტექნოლოგიური პროცესი: წვით სინთეზის რეაქცია, აფეთქებით ცხლად დაწნება, შეერთება და გრძელტანიანი კომბინირებული ნაკეთობის მიღება. პროცესი განხორციელებულია სპილენძის მატრიცაში ტანტალის ალუმინადის ღეროების სინთეზით და შემდგომ კომბინირებული მატრიცის აფეთქებით დაწნების გზით.



სურათი 11. წვით სინთეზის რეაქციის (თმს) და ცხლად აფეთქების დაწნების (ცად) ტექნოლოგიების კომბინირებით მიღებული ტანტალის ალუმინადის ღეროებით ლეგირებული სპილენძის ცილინდრული ნამუხადი.

დასკვნები

1. შემუშავებულია კონსტრუქცია და დამზადებულია დამხმარე ვიბრაციული მოწყობილობა კონტეინერებში ფხვნილების წინასწარი აფეთქებით დაწნეხის წინ შემჭიდროებისათვის. შემუშავებულია ჩაწნეხის პროცესის ტექნოლოგია და ოპტიმალური პარამეტრები, რომლებიც უზრუნველყოფს ბზარებისა და მაკროდეფექტებისაგან თავისუფალი ნამზადების მიღებას ცად-ით დამუშავების შემდეგ, რაც, თავის მხრივ, ნამზადის თვისებების ერთგვაროვნებას განაპირობებს მის მთელ მოცულობაში.

2. ჩატარებულია ექსპერიმენტების სერია ნიკელით პლაკირებული ალუმინისა და Ni-Al ფხვნილთა ნარევის კომპოზიციების მისაღებად ცად მეთოდის გამოყენებით, რაც მიზნად ისახავდა ინტერმეტალური ნაერთების მიღებას ალუმინის ნიკელიდების სახით. დადგენილია, რომ Al-Ni-ის ინტერმეტალური ნაერთები ყალიბდება დარტყმითი ტალღებით ინიცირებული ქიმიური რეაქციების ხარჯზე. საწყის მასალად პლაკირებული Ni-50%Al კომპოზიციების გამოყენების შემთხვევაში წვით სინთეზის პროცესი და ალუმინის ნიკელიდების წარმოქმნა არ მიმდინარეობს. Ni-Al ფხვნილთა ნარევის კომპოზიციები გაცილებით უფრო აქტიური და პრაქტიკული აღმოჩნდა სხვადასხვა ტიპის ინტერმეტალური Ni-Al ნაერთების ჩამოსაყალიბებად.

3. Ni-Al კომპოზიციების კვლევის შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ წვით სინთეზის რეაქციის მიმდინარეობის მიზეზი არის ცად-ის წინ წინასწარ დაწნეხილი ნამზადების დაბალი სიმკვრივე და ალუმინის დაბალი აქტიურობა სარეაქციო ნარევეებში. პლაკირებული ფხვნილების დაწნეხის პროცესში მუშაობს მხოლოდ დასაწნეხი ნაწილაკების ზედაპირები და შესაბამისად მხოლოდ ნიკელის ფაზა არის აქტიურ პოზიციაში დარტყმითი ტალღის ფრონტზე. ალუმინის ფაზა პასიურ პოზიციაში რჩება და ბლოკირებულია ნიკელის ზედაპირის მიერ აქტიური ხახუნის თუ შეჯახების პროცესებისაგან საერთო საზღვრების ჩამოყალიბების პროცესში. პლაკირებული ფხვნილებისაგან განსხვავებით, ფხვნილთა ნარე-

ვები გამოირჩევიან მეტი აქტიურობით წვით სინთეზის რეაქციის მხრივ დაბალი წინასწარი სიმკვრივეების შემთხვევაშიც კი. 300°C და 900°C ტემპერატურებზე დაფიქსირებული სინთეზის რეაქციები აღნიშნულის დასტურს წარმოადგენს.

4. ნაჩვენებია, რომ რომ WC -ს გამოყენება და წინასწარი სიმკვრივის გაზრდა ცად-ის წინ განაპირობებს პრაქტიკულად სრულ წვით სინთეზის რეაქციას Ni-Al კომპოზიციაში და სხვადასხვა მოდიფიკაციის ალუმინის ნიკელიდების ფორმირებას.

5. სუფთა Ni-Al კომპოზიციებში სინთეზის რეაქციის ინიცირება დარტყმითი ტალღის ფრონტის უკან და სხვადასხვა ალუმინის ნიკელიდების ფორმირება შესაძლებელია განხორციელდეს ტემპერატურისა და დატვირთვის ინტენსიურობის გაზრდის ხარჯზე.

6. დადგენილია, რომ Ta-Al კომპოზიციებში სრულყოფილი თმს რეაქციის მიმდინარეობა იწყება 940°C -დან საწყისი ტანტალისა და ალუმინის ფაზების სრული ტრანსპორმაციით ტანტალის ალუმინაიდებში. ჩამოყალიბებული ინტერმეტალური ნაერთების ტიპს (T_2Al , TaAl , TaAl_2 და TaAl_3) საწყის ფხნილებში კომპონენტების პროცენტული შემცველობა განსაზღვრავს ატომური წონების მიხედვით.

7. დადგენილია, რომ ჩვენს მიერ შემუშავებული თმს და ცად ტექნოლოგიების კომბინირებითა და ურთიერთშეთავსებით შესაძლებელია ტანტალის ალუმინაიდების ინტერმეტალური ნაერთების მიღება თეორიული სიმკვრივის მახლობლობაში სრულყოფილი სტრუქტურითა და მაღალი მექანიკური მახასიათებლებით. ბზარების წარმოქმნის ასაცილებლად და უდეფექტო ინტერმეტალური კომპოზიციების მისაღებად ცად-ით დაწნეხის ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს თმს-ის ინიცირების ტემპერატურას, რაც 940°C შეადგენს.

8. შესწავლილია პასიური B_4C დანამატის გავლენა დაწნეხის პროცესზე და ტანტალ-ალუმინის ინტერმეტალური კომპოზიციების სტრუქტურის ფორმირებაზე. დადგენილია, რომ თმს და ცად ტექნოლოგიების კომ-

ბინირებისას ადგილი აქვს ბორის კარბიდის დისოციაციას, ბორისა და ნახშირბადის გადანაწილებას რეაქციის პროდუქტებში და დამოუკიდებელი, ახალი ფაზების (TaB, Ta₂AlC) ფორმირებას.

ნაშრომის აპრობაცია. სამუშაოს შედეგები წარმოდგენილია შემდეგ კონფერენციებზე:

„მე-12 საერთაშორისო სიმპოზიუმი აფეთქების ენერჯის გამოყენებით ახალი მასალების მიღებაზე: მეცნიერება, ტექნოლოგიები, ბიზნესი და ინოვაციები“. „Explosive Production of New Materials: Science, Technology, Business and Innovations“ (EPNM2014), E.P.N.M. 2014, 25-30 მაისი, კრაკოვი, პოლონეთი;

„მე-11 საერთაშორისო სიმპოზიუმი აფეთქების ენერჯის გამოყენებით ახალი მასალების მიღებაზე: მეცნიერება, ტექნოლოგიები, ბიზნესი და ინოვაციები“. „Explosive Production of New Materials: Science, Technology, Business and Innovations“ (EPNM2012), E.P.N.M. 2012, 02-06 მაისი, სტრასბურგი, საფრანგეთი;

„აკადემიკოს ფერდინანდ თავაძის დაბადებიდან 100 წლისთვისადმი მიძღვნილი“ საერთაშორისო კონფერენციის მასალები, თბილისი, საქართველო, 4-6 ივნისი 2012 წ.

გამოქვეყნებული ნაშრომები

დისერტაციის შინაარსი ასახულია 8 გამოქვეყნებულ შრომაში:

1. B. Godibadze, A. Peikrishvili, L. Kecskes, G. Mamniashvili, E. Chagelishvili, **V. Peikrishvili** and M. Tsiklauri. “Hot explosive consolidation of nanostructured Ta-Al composites”, XI EPNM; France, Strasbourg- 2012, 2-6 May.
2. J. Chicvinidze, S. Ashimov, M. Machaidze, O. Magradze, G. Donadze, G. Dvali, E. Chagelishvili, M. Tsiklauri, B. Godibadze, A. Dgebuadze and **V. Peikrishvili**. “Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O composites by shock consolidation technology”, XI EPNM; France, Strasbourg - 2012, 2-6 May.
3. B. Godibadze, **V. Peikrishvili**, E. Chagelishvili, A. Peikrishvili, M. Tsiklauri, and A. Dgebuadze “SHOCK-INDUCED PHASE SEGREGATION IN Ta-

- Al-B₄C CERAMICS” Proceeding of XII EPNM’14; Poland, Krakow, May 24-31, 2014,
4. A. Peikrishvili, G. Mamniashvili, E. Chagelishvili, B. Godibadze, M. Tsiklauri, A. Dgebuadze, and **V. Peikrishvili** “LIQUID-PHASE SHOCK-ASSISTED CONSOLIDATION OF SUPERCONDUCTING MgB₂ COMPOSITES” Proceeding of XII EPNM’14; Poland, Krakow, May 24-31, 2014,
 5. A. Peikrishvili E. Chagelishvili, **V. Peikrishvili**, B. Godibadze and M. Tsiklauri “Hot Explosive Fabrication of Novel Materials from Nanocrystalline Tungsten and Clad Ni-Al Powders” report to ERO of US ARL # W911NF-08-1-0038, London, England, 2010, 28p (Unlimited)
 6. **ვ. ფეიქრიშვილი**, ბ. გოდიბაძე, ა. დგებუაძე, მ.ოქროსაშვილი. “ტანტალ - ალუმინის ინტერმეტალური ნაერთების ფორმირება ცხლად აფეთქებით დაწნეხილ ნიმუშებში, სამთო ჟურნალი (შპპ 621.762.4), თბილისი, 2014 (პუბლიკაციის პროცესში);
 7. ა. დგებუაძე, **ვ. ფეიქრიშვილი**, ბ. გოდიბაძე, ე. ჩაგელიშვილი, მ. წიკლაური, ა. ფეიქრიშვილი. “ცხლად დარტყმითი ტალღებით დაწნეხილი ნანოსტრუქტურული ვოლფრამი-ვერცხლის კომპოზიციის სტრუქტურის შესწავლა (შპპ 621.762.4), თბილისი, 2014 (პუბლიკაციის პროცესში);
 8. A. Peikrishvili E. Chagelishvili, **V. Peikrishvili**, B. Godibadze and M. Tsiklauri , A. Dgebuadze“Fabrication Novel nanostructural Tungsten Based Composites” Proceeding of 13th International Cermaic Congress & 6th Forum on New Materialsof CIMTEC’14, Montecatini-Terme, Italy, June8-19, 2014.

Abstract

The main purpose of presented work is to combine Hot explosive consolidation technology (HEC) and Self propagated High Temperature syntheses processes (SHS) and to obtain rods with low porosity and improved properties.

The first stage investigation includes development of constructions for explosive consolidation of powders and preparing correspondent measuring devices to study structure and property of obtained billets from Ni-Al and Ta-Al compositions. The experiments to optimize preliminary consolidation parameters and to obtain perfect billets without “Makh”’s steam in the central part of rods were carried out too.

The formation of final product by SHS process takes place depending of starting composition of powders. The presented work shows that the initiation of SHS process starts at definite temperature but obtained products in many cases contains porous that is result of difference of volumes between the reaction phases of Al, Ni & Ta and formed final intermetallic compound products of Ni-Al & Ta-Al. The porosity may be reduced using high intensity shock waves.

The alternative variant of cold shock wave consolidation is application of preheating temperature and compacting of powders in hot condition that is realized in presented work.

The novelty of non -traditional approach of presented dissertation is that taking into account the high reactivity of Ni-Al & Ta-Al powder blends and in order to realize SHS process after explosive consolidation the experiments were carried out in two stage:

- a) At first stage there took place consolidation of powder blend at room temperature with intensity of loading 5-20GPa in order to increase preliminary density of billets and to activate surfaces of consolidated particles before HEC.
- b) At second stage the preliminary compacted cylindrical billet is reloaded again in hot condition at temperatures 300-1000° C with intensity of shock loading of 10GPa.

In case of Ta-Al composites hot consolidation were carried out above and below of SHS temperature that was equal to 940°C with preliminary or further formation of intermetallic tantalum aluminades. The time of heating billets before loading was under 30 minute.

The explosive consolidation were realized by cylindrical, axis-symmetrical dynamic set-up of loading by application of industrial explosive materials such as Igdanite (ANFO) and Granulite (AC-4) with detonation velocity up to 3200 km/sec.

Using HEC method there were obtained aluminum nickelades from clad and blend Ni-Al composition powders. There is shown that formation of Al-Ni intermetallic compounds there takes place based on chemical reactions initiated by shock waves. In contrast to blend powders the chemical reactions in clad Ni-Al composition powders not takes place. As for blend powders they are characterized with more activity even at low density during the combustion synthesis.

The full SHS reaction in Ta-Al powder composites starts from 940°C with transformation of all Ta and Al into the tantalum aluminades. The type of obtained intermetallic compounds depends from percentage of separate phases in starting composition. During the combining of HEC and SHS processes the dissolution of B₄C additives with further redirection of B and C atoms and formation new TaB and Ta₂AlC phases there takes place.

There are investigated structure-property relationship of consolidated Ni-Al and Ta-Al samples depending on loading intensity , pulse duration and temperature of compacting.

