

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მარინა ყიფიანი

წინასწარგანსაზღვრული თვისებების მქონე აირალური
დანაფარების მიღება და კვლევა

სადოქტორო პროგრამა – მასალათმცოდნეობა

შიფრი – 0412

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარმოდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2017 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის ფერადი ლითონების მეტალურგიის მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი : პროფესორი იზოლდა კახნიაშვილი

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება ----- წლის „-----“ -----, ----- საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის -----

----- ფაკულტეტის სადისერტაციო

საბჭოს სხდომაზე, კორპუსი -----, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 69

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატის- ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

თემის აქტუალობა და სამუშაოს მიზანი

ჩვენს სამუშაოში მოცემულია შერჩეული შედგენილობის კონგლომერირებული, კომპოზიციური ფხვნილების მიღების ტექნოლოგია და ტემპერატურის ზეგავლენა მათში მიმდინარე სტრუქტურულ და ფაზურ გარდაქმნებზე. ასევე განხილული და გამოკვლეულია მათგან მიღებული დანაფარების სხვადასხვა თვისებები, კონკრეტულად ადჰეზიური სიმტკიცე (დანაფარი-დასაფარი მასალის საზღვარზე), ცვეთა და ასევე მხურვალმედეგობა. ყოველივე ეს სამუშაოს ხდის მეტად საინტერესოს და აქტუალურს.

აირთერმული გაფრქვევის გამოყენების სფეროს გაფართოებამ განაპირობა ათეულობით დასახელების ლითონის, შენადნის, კარბიდის, ოქსიდის და სხვადასხვა ფხვნილების შემუშავების აუცილებლობა. თუმცა, როგორც ცდამ აჩვენა, ძირითადი ტექნიკური მახასიათებლები ჩვეულებრივ მიიღწევა ლითონური და კერამიკული ფხვნილების ნარეგების გამოყენებისას.

წარმოდგენილი სამუშაოს მიზანია (Ni-Al) და (Al₂O₃-Ni) სისტემებით ლეგირებული (Ti-Si) კონგლომერირებული ფხვნილოვანი კაზმის გამოკვლევა, ასევე იმის დადგენა, თუ როგორ მოქმედებს აირალური სანთურის მიერ გამომუშავებული ტემპერატურა ასეთი, კომბინირებულად ლეგირებული ფხვნილებიდან მიღებული დამცავი დანაფარების სტრუქტურაზე და თვისებებზე, უფრო კონკრეტულად კი, დამცავი დანაფარი - დასაფარი მასალის ადჰეზიური სიმტკიცის ზღვარზე, ასევე ცვეთასა და მხურვალმედეგობაზე.

ჩვენს სამუშაოში განხილულ კონგლომერირებულ, კომპოზიციურ ფხვნილებში ორი ეკზოთერმული რეაქციის მქონე სისტემის არსებობისას, სადაც ერთ-ერთ სისტემაში (Ni-Al) ეკზოთერმული რეაქცია იწყება შედარებით უფრო დაბალ (600°C) ტემპერატურაზე და რეაქციის შედეგად გამოყოფილი სითბოს ადიაბატური მატება სტარტს აძლევს მეორე სისტემის (Ti-Si) ეკზოთერმულ რეაქციას (1300°C), (ანუ სხვა

სიტყვებით რომ ვთქვათ, ერთ კომპოზიციაში მიმდინარე რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბო გამოიყენება მეორის დასაწყებად) და ამ რეაქციისას მიღებული ტემპერატურის ადიაბატური მატება კიდევ უფრო ზრდის აირის ალში მოხვედრილი გაფრქვეული ფხვნილის ჯამურ ტემპერატურას. შედეგად, კიდევ უფრო უმჯობესდება მისგან მიღებული დანაფარის ხარისხი (ადჰეზიური სიმტკიცე, მხურვალმედეგობა, ცვეთამედეგობა და სხვა თვისებები).

ამრიგად, ჩვენს მიერ შემუშავებული შემადგენლობის მქონე კონგლომერირებული ფხვნილების შემთხვევაში, საშუალება გვძლევს, რომ პლაზმური დანაფარების ნაცვლად, რომელთა თვითღირებულება გაცილებით უფრო მაღალია და ტექნოლოგიური პროცესი კი - ბევრად უფრო რთული, გამოიყენებულ იქნას დამცავი დანაფარების მიღების აირალური მეთოდი, რომელიც ეკონომიურად ბევრად უფრო მომგებიანია და ტექნოლოგიურად კი - მარტივი.

ამასთანავე უნდა აღინიშნოს, რომ კომპოზიციური ფხვნილების დაფრქვევის თეორიაში არ არის სისტემატიზირებული ასეთი დაფრქვევის მრავალი ასპექტი. უფრო მეტიც, ტექნიკურ და სამეცნიერო ლიტერატურაში არა გვაქვს მოცემული დაფრქვევის დროს ფაზათა შორის ურთიერთქმედებების თეორია, ვერსად ვერ ვხვდებით ფხვნილებში არსებული ფაზური გარდაქმნის მექანიზმებისა და კინეტიკის განხილვას, ეს კიდევ უფრო საინტერესოს ხდის სამუშაოს.

აირთერმული დანაფარებისათვის საჭირო თანამედროვე ტექნოლოგიები და მოწყობილობები ნაწილობრივ არ იძლევა საშუალებას, რათა ფხვნილების ნარეგებისგან გაფრქვევით მიღებულ იქნას მაღალხარისხიანი დანაფარები, რომლებსაც ექნებათ სხვადასხვა დნობის ტემპერატურები, სიმკვრივე და ა.შ. ამიტომ, ამ ბოლო დროს განვითარდა ახალი მიმართულება – კომპოზიციური ფხვნილების აირთერმული გაფრქვევა. ეს ფხვნილები წარმოადგენენ არა უბრალოდ

მექანიკურ ნარევებს, არამედ მათ თითოეულ მარცვალში არის საწყისი კომპონენტების ინტეგრირებული კომპლექსები.

საწყისი კომპონენტების ასეთი ინტეგრირება ვითარდება ორი მიმართულებით: პლაკირებული ფხვნილების მიღება საწყის ნაწილაკზე სხვა მასალის ერთი ან რამდენიმე შრის დატანით და ფხვნილების მიღება წვრილდისპერსიული საწყისი ნაწილაკების უფრო მსხვილ ნაწილაკებად კონგლომერირების გზით. ამავე დროს საყურადღებოა თერმულად მორეაგირე ფხვნილების გამოყენება დანაფარების დაფრქვევისას, რომლებიც დამატებით თერმულ ეფექტს იძლევიან. სწორედ ასეთ უმნიშვნელოვანეს თემებს ეძღვნება სამუშაო.

კვლევის ობიექტი

კვლევის ძირითად ამოცანებს წარმოადგენდა:

- წინასწარგანსაზღვრული თვისებების მქონე ფხვნილების შერჩევა და მათგან მიღებულ აირალურ დანაფარებში მიმდინარე პროცესების დამუშავება და ანალიზი;

- (Ti-Si) სისტემის შემადგენლობის (რომელიც იძლევა Ti_5Si_3 -ს) ფხვნილის დიფერენციალურ-თერმული ანალიზის ჩატარება და ევზოთერმული რეაქციის საწყისი ტემპერატურის დადგენა;

- (Ti-Si) სისტემის კონგლომერირებული ფხვნილების მეტალოგრაფიული ანალიზი და შემადგენლობის დადგენა. მათგან დამცავი დანაფარების მიღება და კვლევა;

- პლაკირებული (Al-Ni) ფხვნილით (Ti-Si) სისტემის ლეგირება. მალეგირებელი ფხვნილის ოპტიმალური რაოდენობის დადგენა და დიფერენციალური თერმული ანალიზი. მათგან მიღებული დამცავი დანაფარების თვისებების გამოკვლევა;

- (Al_2O_3 -Ni) პლაკირებული ფხვნილებით (Ti-Si) კონგლომერირებული სისტემის ლეგირება. მათგან მიღებული დამცავი დანაფარების

თვისებების დადგენა;

- კომბინირებული ფხვნილოვანი მასის: (Al-Ni) და (Al₂O₃ -Ni), ასევე ძირითადი ფხვნილოვანი (Ti-Si) სისტემის, დიფერენციალური თერმული ანალიზის ჩატარება და ლევირების ხარისხის დადგენა. შესაბამისი ოპტიმალური შემადგენლობის დამცავი დანაფარების მიღება და კვლევა;

- პლაკირებულ სისტემებში მისი ფენის რასტრულ ელექტრონულ მიკროსკოპიული კვლევა და ნანოკრისტალური აგებულების დადგენა;

- ოპტიმალური შემადგენლობის ფხვნილოვანი მასალის რასტრულ ელექტრონულ მიკროსკოპიული კვლევა და მიღებული დამცავი დანაფარების თვისებების დადგენა;

კომპოზიციური მასალების აღსანიშნავად ტექნიკურ ლიტერატურაში გავრცელებულია რამდენიმე ტერმინი: პლაკირებული ფხვნილები, ეკზოთერმულად მორეაგირე ფხვნილები (ინტერმეტალიდური კომპოზიციისათვის მათი ურთიერთქმედებისას ეკზოთერმული ეფექტით), კომპოზიციური ფხვნილები, აგლომერირებული ფხვნილები (ფხვნილებისათვის, რომლებიც მიიღება შეცხობით, გაგლინვით, დამსხვრევით ან შემკვრელთან შერევით და შემდგომი შრობით შერევისას ან გაფრქვევისას) და ა.შ.

ამრიგად, კომპოზიციური ფხვნილოვანი მასალა – ესაა რთული შემადგენლობის ფხვნილი, რომლის ყოველი გრანულომეტრულად დამოუკიდებელი ნაწილაკი შედგება რამდენიმე კომპონენტის მიკრომოცულობისგან, რომლებიც განსხვავდებიან ერთმანეთისგან ქიმიური შემადგენლობით და მთლიანობაში ყოველი ნაწილაკი იდენტურია სხვა დანარჩენი ნაწილაკების ხარისხობრივი შემადგენლობის.

ამ განსაზღვრების მიხედვით კომპოზიციური ფხვნილი განსხვავდება დისპერსიულად განმტკიცებული (კომპონენტების მოცულობის ზომების მიხედვით) შენადნების ფხვნილებისაგან და სხვადასხვა ფხვნილოვანი

მასალის მექანიკური ნარევისაგან (შემადგენლობის ხასიათის მიხედვით).

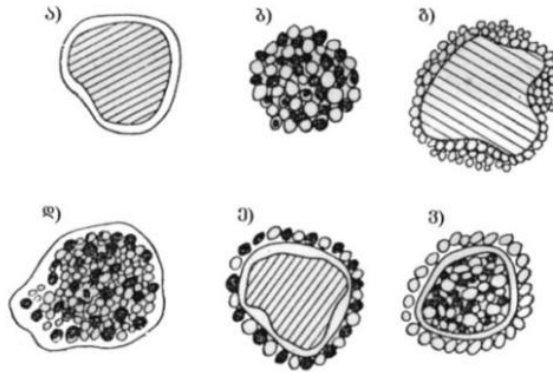
ასევე არ უნდა აგვირიოს ეს ტერმინი „ფხვნილოვანი კომპოზიციის“ ტერმინში, რომელიც თავისი ზუსტი შინაარსით განსაზღვრავს კომპაქტურ კომპოზიციურ მასალას, რომელიც მიიღება ფხვნილოვანი მასალებისგან.

ეკოთერმულად მორეაგირე ფხვნილების შემთხვევაში, გახურებისას მიმდინარეობს ქიმიური რეაქცია, რაც განპირობებულია კომპონენტების ურთიერთქმედებით და წარმოიქმნება დანაფარები, რომელთა შემადგენლობა მკვეთრად განსხვავდება საწყისი შემადგენლობისაგან. თერმონეიტრალურ კომპოზიციებში ასევე შესაძლებელია ურთიერთქმედება კომპონენტების დნობის შედეგად (განსაკუთრებით სისტემაში ლითონი-ლითონისებრი შენაერთი). ცალკე ჯგუფში უნდა გამოიყოს ფხვნილები ოქსიდების ბაზაზე, რომლებიც დნობისას ინტენსიურად იშლება და წარმოქმნის ახალ შენაერთებს ფხვნილის კომპონენტებთან.

სამუშაოში წარმოდგენილია აირთერმული გაფრქვევისთვის გამოყენებული ყველაზე უფრო ცნობილი კომპოზიციური ფხვნილები. ლიტერატურიდან ვიცით, რომ ყველა პლაკირებული ფხვნილიდან ჭარბობს ნიკელით პლაკირებული, ხოლო ფხვნილები, რომლებიც შეიცავენ ალუმინს, ყველაზე უფრო გავრცელებულია კონგლომერირებული ტიპის ფხვნილებს შორის.

კომპოზიციური ფხვნილის ნაწილაკების კონსტრუქცია განპირობებულია მისი მიღების თავისებურებით და იყოფა ორ ჯგუფად: პლაკირებული და კონგლომერირებული ნაწილაკები. გარდა ამისა, შეიძლება განხილულ იქნას ნაწილაკი, რომელიც მიიღება ორივე განხილული მეთოდით და გვამღვეს შერეულ კომპოზიციებს (ნახ.1).

კომპონენტებს შორის ურთიერთქმედებების ხასიათიდან გამომდინარე, მათი გახურებისას, ფხვნილები შეიძლება გაიყოს ორ დიდ ჯგუფად: თერმონეიტრალური და ეკზოთერმულად მორეაგირე.



ნახ.1. კომპოზიციური ფხვნილების კონსტრუქციები

- ა) პლაკირებული ნაწილაკი ერთი შრით;
- ბ) ჰომოდისპერსული კონგლომერირებული ნაწილაკები;
- გ) ჰეტეროდისპერსული კონგლომერირებული ნაწილაკები;
- დ)-ვ) შერეული ტიპის ფხვნილები (პლაკირებულის და კონგლომერირებულის კომბინაცია)

კომპოზიციური ფხვნილების განხილული ტიპები (პლაკირებული, კონგლომერირებული) შესაძლებელია კლასიფიცირდეს ნაწილაკის სტრუქტურის ჩამოყალიბების ტექნოლოგიის გათვალისწინებით, სხვადასხვა ფიზიკური, ფიზიკო-მექანიკური და ფიზიკო-ქიმიური მეთოდებით. კომპოზიციური ფხვნილების შემუშავების და მათი აირთერმული დაფრქვევის პროცესის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულებაა ნაწილაკების გაცხელების პროცესის შეთავსება ახალი ნაერთების სინთეზთან.

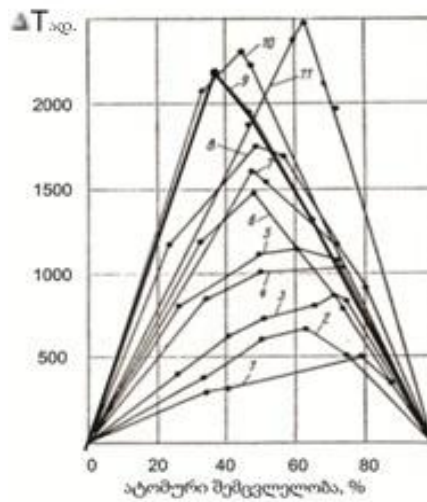
ინტერმეტალიდების წარმოქმნის თბური ეფექტი გარკვეულწილად დაკავშირებულია არა მარტო კომპოზიციის ტიპთან, არამედ მის შემადგენლობასთანაც. კერძოდ, ტემპერატურის ადიაბატური მატების დამოკიდებულება კომპოზიციის მეორე კომპონენტის შემადგენლობასთან მოცემულია ნახ.2-ზე.

$\Delta T_{ად}$ -ის სიდიდე გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta T_{ად} = Q_{ჟ} / C_p$$

სადაც, $Q_{\text{ჟ}}$ - ურთიერთქმედების თბური ეფექტია, კჯ/მოლი; C_p - თბოტევადობა.

C_p მერყეობის შედეგად, ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის $\Delta T_{\text{ად}}$ სიდიდის შერჩეული გასაშუალებული მნიშვნელობა წარმოადგენს საორიენტაციოს, მაგრამ საშუალებას იძლევა, რომ შეფასდეს სისტემაში აღმოცენებული ტემპერატურის მატების ხარისხი და გაიყოს კომპოზიციათა ჯგუფები ეფექტის ინტენსიურობის მიხედვით.



ნახ.2 ტემპერატურის ადიაბატური მატების დამოკიდებულება კომპოზიციის მეორე კომპონენტის შემადგენლობასთან
 1-Cr-Al; 2- Cu-Al; 3- Fe-Al; 4- Ti-Ni; 5- Ti-Al; 6-Co-Si; 7- Co-Al; 8- Ni-Al; 9- Ti-Si; 10- Zr-Si; 11-Re-Si

$\Delta T_{\text{ად}}$ -ის მაქსიმალური მნიშვნელობები (1500-2500 K) გვხვდება სისტემების სილიციდების წარმოქმნისას: Si-Ti, Si-Zr, Si-Re. შემდეგ მოდიან ალუმინიდები (800-1600 K- Ce, Co, Ni, Ti, Zr; და 300-800 K - Cr, Cu, Fe, Mn).

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ჩვენს მიერ საბაზისო კომპოზიციად შეირჩა (Ti-Si) და მისგან მიღებული დანაფარის თვისებების გაუმჯობესების მიზნით, შემდგომ ვახდენდით მის დამატებით ლეგირებას.

აირთერმული დანაფარებისთვის საჭირო კომპოზიციური ფხვნილების მისაღებ ტექნოლოგიაში პლაკირების და კონგლომერირების

მეთოდები ხშირ შემთხვევაში ერთმანეთს უნდა ედრებოდეს მათი ტექნიკურ-ეკონომიური მახასიათებლებით. ამ თვალსაზრისით კონგლომერირება ხშირად უპირატეს პოზიციაზეა, ხოლო მდგენელებს შორის ურთიერთქმედების ინტენსივობის თვალსაზრისით, პლაკირებული ფხვნილები უფრო მეტ ეფექტურობას ავლენენ.

კონგლომერირების არსებული მეთოდების საერთო რაოდენობიდან, დანაფარების დასაფრქვევად საჭირო კომპოზიციური ფხვნილების მისაღებ პრაქტიკაში გამოიყენება კონგლომერატების ფორმირების მეთოდები არაორგანული და ორგანული შემკვრელების გამოყენებით, ფხვნილოვანი ნარევების გლინვა, წინასწარი შეცხობა და მიღებული ცხოხურას დამსხვრევა, ასევე თვითგავრცელებადი მაღალ-ტემპერატურული სინთეზი (თმს). ამ მიმართულებით საყურადღებოა თვალსაჩინო ქართველი მეცნიერის, ოთარ ოქროსცვარიძის შრომები.

აირთერმული დაფრქვევისთვის საჭირო კომპოზიციური ფხვნილების მიღების მეთოდი შემკვრელი ნივთიერებების გამოყენებით დღესდღეობით სულ უფრო აქტუალური ხდება. ეს პირველ რიგში დაკავშირებულია იმასთან, რომ შესაძლებელს ხდის კომპოზიციების მიღებას ნებისმიერი კომპონენტების კომბინაციის ბაზაზე. გარდა ამისა, მისი განხორციელების ტექნოლოგიური ვარიანტები გამოირჩევიან უბრალოებით და ეკონომიურობით. უცხოური ფირმები ამ მიზნით იყენებენ „ჰაბარტ“-ის ფირმის (Habart, აშშ) შემრევებს, ან ბრაუნის ტიპის გამაფრქვეველ საშრობებს.

კონგლომერაციისათვის საჭირო შემრევების მუშაობის პრინციპი მდგომარეობს საწყისი ფხვნილების და შემკვრელი ნივთიერების მთლიანი მოცულობის განუწყვეტელი შერევის შეთავსებაში შრობით შემკვრელის გამხსნელით მოცილებასთან. შემაკავშირებელი ნივთიერებების ჩამონათვალი და მათი თვისებები მოცემულია 1-ელ ცხრილში.

კონგლომერაცია შემკვრელებზე გაშრობისას როგორც ამრევებში, ასევე გაფრქვევის პროცესში, ყოველთვის არ უზრუნველყოფს ფხვნილის ნაწილაკთა საკმაო სიმტკიცეს. ამიტომ, რიგ შემთხვევებში, კონგლომერირებასთან შეიძლება დამატებით გამოყენებულ იქნას მაღალტემპერატურული შეცხოვა, რაც შესაძლებელს ხდის ნაწილაკთა სიმტკიცის გაზრდასა და შემკვრელის მოცილებას.

ცხრილი1. შემკვრელი ნივთიერებების თვისებები

შემკვრელი ნივთიერება	შშრალი ნაწილის წონითი წილი, %	გამხსნელი	გამხსნელის დუდილის ტემპერატურა, °C
ლაქი HL-62	11,0	აცეტონი, 646 მარკის გამხსნელი	55,5-57
ფენოლური ლაქი	52,5	ეთილის სპირტი	78,3
ფენოლოსპირტი	47,9	დისტილირებული წყალი	100
თხევადი მინა	40,0	წყალი	100

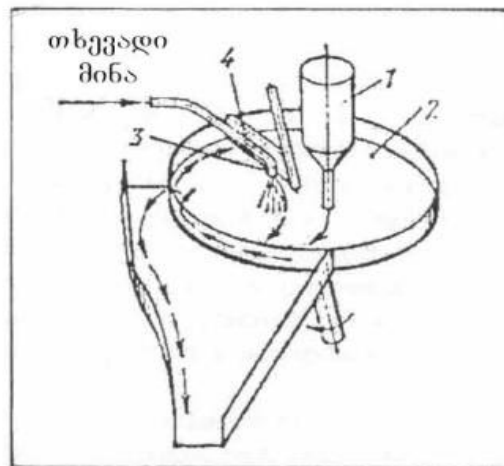
იმასთან დაკავშირებით, რომ მხოლოდ მაღალი დნობის ტემპერატურის მქონე (ოქსიდები, კარბიდები, ნიტრიდები, ბორიდები, მოლიბდენი, ვოლფრამი, ქრომი, ტანტალი და სხვ.) მასალების კონგლომერირებაა შესაძლებელი შეცხოვის ტემპერატურაზე, რომელიც დნობის ტემპერატურის ნახევარია, მიიღწევა კონგლომერაციის მაღალი ხარისხი და ფხვნილების ნაწილაკთა მაღალი სიმტკიცე.

კონგლომერატული ტიპის ფხვნილის მიღების ერთ-ერთ პერსპექტიულ საშუალებას წარმოადგენს კომპონენტების დეფორმირება გლინვის გზით ან ბურთულოვან წისქვილში შერევით.

ჩვენს შემთხვევაში ფხვნილების კონგლომერირებას ვაწარმოებდით სპეციალურად შექმნილ გრანულატორზე (რომელიც დაპროექტებული და შექმნილია ორგანიზაცია „დელტა“-ში), დანადგარის მუშაობის პრინციპული სქემა მოცემულია მე-3 ნახაზზე. დისკური გენერატორი წარმოადგენს გლუვ დისკს (2) კიდეთი, რომელიც დახრილია

ჰორიზონტისადმი კუთხით, რომელიც რეგულირდება ექსპერიმენტატორის მიერ.

ბუნკერიდან (1) დისკზე უწყვეტად მიეწოდება მშრალი ფხვნილოვანი კაზმი, რომლის შრეზე გამაფრქვევლიდან (3) გაიფრქვევა შემკვრელი სითხე –თხევადი მინა. კაზმზე დაცემისას, თხევადი მინის წვეთები ზედაპირული დაჭიმულობის ძალით შეიტაცებენ ფხვნილის ნაწილაკებს და წარმოქმნიან გრანულების ჩანასახებს.



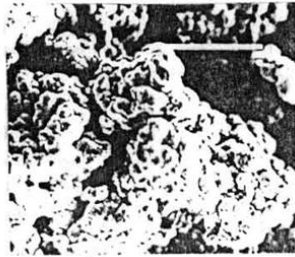
ნახ.3 დისკური გრანულატორის მუშაობის სქემა

- 1- მშრალი კაზმის ბუნკერი;
- 2-მბრუნავი დისკი;
- 3-გამაფრქვეველი;
- 4-დანა

დისკის ბრუნვის დროს ფხვნილის ნაწილაკები მოძრაობენ ფსკერისკენ და წვრილი ნაწილაკები ეწებებიან მის სველ ზედაპირს. შედეგად, გრანულების ჩანასახები ზომებში იზრდებიან. ხახუნის და ცენტრიდანული ძალის წყალობით გრანულები ეკრობიან ფსკერს, ასევე დისკების ბორტებს და ამოდიან უწყვეტად მოწოდებული მშრალი კაზმის ზედაპირზე, აღწევენ დანამდე (4) და შემდეგ თავიდან ეშვებიან ქვემოთ, დისკის ბორტებისკენ, თან სველდებიან. ამ დროს მსხვილი და წვრილი ფრაქციები მოძრაობენ განსხვავებული ტრანექტორიებით, ხდება გრანულების სეგრეგაცია სიდიდეების მიხედვით და გრანულატორიდან მხოლოდ უფრო მსხვილი გრანულების მოწოდება. მიღებული

გრანულების ზომების რეგულირება ხდება დისკის დახრისა და ბრუნვის სიჩქარის ცვლილებით. ასეთ დისკურ გრანულატორში მშრალი კაზმის შერევა შემკვრელ ნივთიერებასთან და გრანულაცია შეთავსებულია.

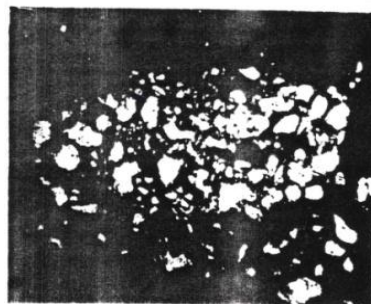
ამ დანადგარზე მიღებული Ti-Si კონგლომერირებული ფხვნილის მიკროსტრუქტურა წარმოდგენილია მე-4 ნახაზზე.



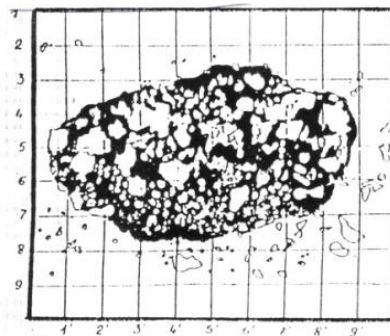
ნახ.4 (Ti-Si) ტიპის კონგლომერირებული ფხვნილის მორფოლოგიური სურათი
(გადაღებულია რასტრულ ელექტრონულ მიკროსკოპზე $\times 1500$)

აღნიშნული შემადგენლობის კონგლომერირებული ფხვნილისაგან, რომელიც თავისი ქიმიური შემადგენლობით შეესაბამება Ti_5Si_3 -ს, მომზადდა მიკროშლიფი და შესწავლილი იქნა მისი მიკროსტრუქტურა (ნახ.5).

მე-6 ნახაზზე წარმოდგენილია მიღებული ფხვნილის პლანიმეტრია. რაოდენობრივი მეტალოგრაფიული ანალიზით (კონკრეტულად, „როზევალი“-ს მეთოდით) განისაზღვრა ტიტანისა და სილიციუმის პროცენტული შემადგენლობა. ოპტიკური მიკროსკოპის „შავი ველის“ რეჟიმში თეთრი უბნები არის ტიტანი, შავი კი - Si.



ნახ. 5 Ti-Si სისტემის კონგლომერირებული ფხვნილის მიკროსტრუქტურა



ნახ. 6 Ti-Si სისტემის ფხვნილის პლანიმეტრული სურათი

მიკრორენტგენოსპექტრალურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ასეთი ტიპის ფხვნილებში ყველაზე მეტი მიკროუბნები (>50%) შეინიშნება შემადგენლობით Ti=76%, Si=23,0% . ხოლო შემდეგ, მცირე რაოდენობით უბნები შემადგენლობით Ti=65%, Si=35% და Ti=46%, Si=54%.

ამდენად, ჩვენს მიერ შერჩეული Ti-Si სისტემის ფხვნილებისგან, აირალური ალის ჩირადანში მოხვედრის შემდეგ (მაღალი გადახურების გამო), მიღებულ დანაფარებში ვლინდება დანაფარების კარგი შეჭიდულობა, ანუ ადჰეზიური და კოჰეზიური სიმტკიცე. ამ მოსაზრების დასასაბუთებლად ჩატარებული იქნა აირალური დამცავი დანაფარების მიღების ტექნოლოგიური პროცესი.

მოცემულ სამუშაოში აირალური გაფრქვევა ტარდებოდა პატონის სახელობის ელექტროშედულების ინსტიტუტში (უკრაინა) შემუშავებული და დამზადებული სანთურით Л-5405. მე-7 ნახაზზე მოცემულია ჩვენს მიერ ექსპერიმენტში გამოყენებული სანთურა.



ა)

ბ)

გ)

ნახ. 7 აირალური გაფრქვევისთვის საჭირო სანთურის საერთო შესახებობა

- ა) სანთურა დაშლილ მდგომარეობაში;
- ბ) სანთურა აწყობილ მდგომარეობაში;
- გ) სანთურა მუშაობის პროცესში

მუშა აირად გამოიყენებოდა პროპან-ბუტანის და ჟანგბადის ნარევი. დანაფარს ვლებულობდით კონგლომერირებული კომპოზიციური ფხვნილის საშუალებით, რომლის შემადგენლობაში იყო Ti=76%, Si=23%.

დაფარვის დისტანცია შეადგენდა 150 მმ-ს, ხოლო დანაფარის სისქე 3 მმ-ს. დაფარვას ვახდენდით ფოლად 45-ზე, რომელიც იყო მომწვარ

მდგომარეობაში, ხოლო მისი დასაცავი ზედაპირი წინასწარ დამუშავდა ჰიდროჰავლური მეთოდით. შესწავლილი იქნა მიღებული დანაფარების სტრუქტურა (ნახ.8)



ნახ.8 Ti-Si სისტემის დაფრქვეული დანაფარის სტრუქტურა

დანაფარის გამოცდის შედეგად გამოვლინდა შემდეგი საექსპლოატაციო თვისებები:

1. ადჰეზიური სიმტკიცე $\delta_{ად.} = 55,3$ მგპა;
2. ცვეთამდეგობა = $21,5 \times 10^{-6}$ კგ;
3. მხურვალმდეგობა = $2,5$ მგ/სმ².

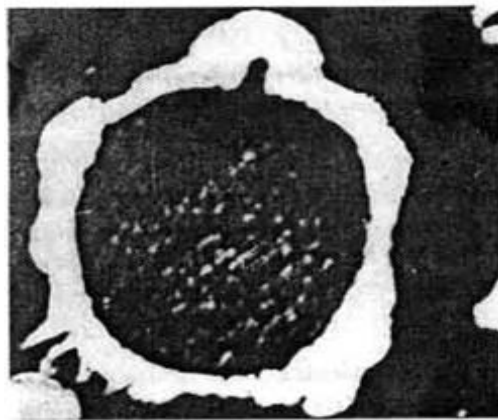
უკვე არსებულ პლაკირების მათოდთა შორის, რომელიც გამოიყენება გასაფრქვევი კომპოზიციური ფენილების შემთხვევაში, თავდაპირველად გამოყენებულ იქნა მარილებიდან წყალბადის საშუალებით ნიკელის ან კობალტის აღდგენა. ეს მეთოდი დღესაც გამოიყენება უცხოური, გაფრქვევისთვის საჭირო ფხვნილების დამამზადებელი ფირმების (Metco) მიერ, თუმცა, ფეთქებადსახიფათო წყალბადის გამოყენებისას აუცილებელია, დანადგარებისათვის დაცული იქნას განსაკუთრებული უსაფრთხოების მოთხოვნები, რაც ართულებს ექსპლუატაციას, ხოლო ნარჩენებისგან გასუფთავება კი დაკავშირებულია დამატებით ხარჯებთან.

ალუმინიდების მისაღებად ევტექტიკურ დამცავ დანაფარებში გამოყენებულია ნიკელით პლაკირებული ალუმინის ფხვნილი, რომელიც მიღებული იყო ნიკელის მარილის წყალხსნარიდან წყალბადის

საშუალებით აღდგენით, ანუ ავტოკლავური მეთოდით. მე-9 ნახაზზე წარმოდგენილია ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით მიღებული ფხვნილის მორფოლოგია .

Al-Ni დიაგრამის ანალიზიდან გამომდინარე, Al და Ni-ს შორის წარმოიქმნება შემდეგი ინტერმეტალიდები: $NiAl_3$, Ni_2Al_3 , NiAl, Ni_3Al . როგორც NiAl შემადგენლობის დიფერენციალურმა თერმულმა ანალიზმა (დ.თ.ა.) აჩვენა, ფაზათა შორის ურთიეთქმედება იწყება $620-630^{\circ}C$ -ზე (ე.ი. როცა Al იწყებს დნობას) და პირველი პიკი ევზოთერმული რეაქციისა შეესაბამება $650-680^{\circ}C$ -ს, ხოლო მეორე, უფრო დიდი სიმძლავრის პიკი შეინიშნება $910-1000^{\circ}C$ ინტერვალში.

მიღებული პროდუქტის რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით დადგინდა, რომ დ.თ.ა.-პროდუქტი ძირითადად შედგება NiAl ინტერმეტალიდისგან და ასევე, მცირე რაოდენობით Ni_3Al -გან. აგრეთვე ძალზე მცირე რაოდენობით შეინიშნება Al_2O_3 -სა და NiO ჩანართები.



ნახ.9 ჰიდრომეტალურგიული მეთოდით მიღებული ფხვნილის მორფოლოგია

მიღებული მონაცემის საფუძველზე Ni-Al ფხვნილოვანი სისტემისთვის შემუშავებულია ე.წ. „პროგნოზირების ფაზური დიაგრამა“. პლაკირების დროს, შემადგენლობაზე მარცვლის სიდიდის გავლენის გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ დანაფარის სისქე ფხვნილის ყველა ფრაქციულობის ფარგლებში, რომელმაც განიცადა პლაკირება, პრაქტიკულად მუდმივი რჩება.

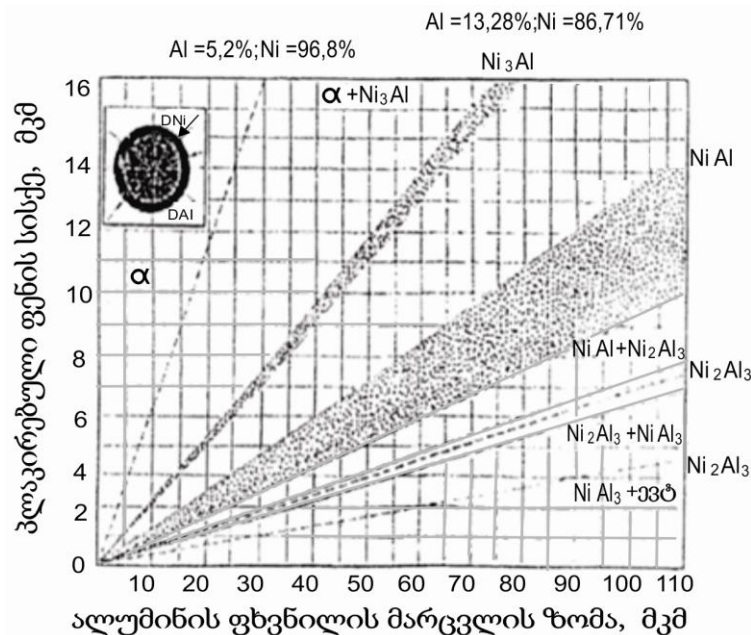
ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ პლაკირების ელემენტის შემცველობა უკუპროპორციულია მარცვლის ზომისა.

„პროგნოზირების ფაზური დიაგრამა“ საშუალებას იძლევა არჩეული იყოს, თუ რომელი ინტერმეტალიდი გვინდა რომ იყოს სტრუქტურაში და ამ შემთხვევაში რა გრანულომეტრული შემადგენლობის უნდა იყოს საწყისი Al-ის ფხვნილი და ასევე, თუ რა სისქის Ni-ის პლაკირებული ფენა შეესაბამება მას.

არსებობს ინტერვალები, რომლებშიც შეიძლება ჩაჯდეს ჩვენთვის სასურველი მარცვლის ზომები და შესაბამისად შეირჩეს მასზე პლაკირებული ფენის სისქეები. ყოველივე ეს კი თვალსჩინოდ აისახება „პროგნოზირების ფაზურ დიაგრამა“-ზე.

მე-10 ნახაზზე წარმოდგენილია ალნიშნული დიაგრამა.

დიაგრამაზე ვხედავთ ინტერვალს, რომელშიც ჯდება ჩვენს მიერ ლეგირებისთვის შერჩეული პლაკირებული ფხვნილი, რომელიც იძლევა თერმულადმორეაგირე Ni-Al შემადგენლობის კომპოზიციური ფხვნილის მიღების შესაძლებლობას.



ნახ.10 „პროგნოზირების ფაზური დიაგრამა“

Ti-Si სისტემის ლეგირებას ასევე ვახდენდით პლაკირებული (Al_2O_3 -

Ni) ფხვნილებით. ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ni}$) სისტემის ქიმიური შემადგენლობა იყო შემდეგი: Ni-80% ; Al_2O_3 - 20%. ეს ფხვნილებიც, როგორც წინა შემთხვევაში, მიღებული იყო პლაკირებით, ავტოკლავური მეთოდით. ასეთი ფხვნილების ზედაპირული მიკროსკოპია შესწავლილ იქნა რასტრულ-ელექტრონულ მიკროსკოპზე.

კვლევის მეთოდები:

1. დამცავი დანაფარების კვლევის მიკროსკოპიული მეთოდი

მიკროსკოპულ კვლევას ვატარებდით მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპზე “Neophot-30» 500 და 2000 გადიდებით. საკვლევი ობიექტის ამოჭრა დანაფარებთან ერთად ხდებოდა დანაფარების მართობულ სიბრტყეში ქარგოლის გამოყენებით. შემდეგ იგი იხეხებოდა შესაბამისი მარცვლოვანების ზუმფარა ქაღალდებზე და პრიალდებოდა Cr_2O_3 -ის შემცველი პასტით სპეციალურ გასაპოლირებელ ჩარხზე. შესაბამისი რეაქტივით დამუშავების შემდეგ ხდებოდა ნიმუშების სტრუქტურის ფოტოგრაფირება ფირზე “Codak-200”.

2. რენტგენოფლორესცენციური კვლევის მეთოდი

აღნიშნულ სპექტომეტრზე ანალიზი ტარდება საკვლევი მასალის რღვევის გარეშე, როგორც კომპაქტურ, ასევე ფხვნილოვან მდგომარეობაში, მისი შემცველობის დასადგენად. ამ დროს შესაძლებელია მასალაში Mg(12)-დან Pu (94)-მდე ნებისმიერი ელემენტის შემცველობის განსაზღვრა. მეთოდი ეფუძნება საკვლევი მასალის რენტგენით დასხივების შედეგად მიღებული გამოსხივების სპექტრის კვლევას, რაც ელექტრონების შიდა ორბიტალიდან უფრო მაღალ ენერგეტიკულ დონეზე გადასვლისას წარმოიქმნება. ექსპერიმენტის დროს აღნიშნული მეთოდით ვსაზღვრავდით

საკვლევ ფხვნილებში და მიღებულ დანაფარებში არსებული ელემენტების შემცველობას.

პროცენტული რაოდენობის დადგენისას გამოსაკვლავი ელემენტის შემცველობის დიაპაზონია 0,001-100%-მდე. განსაზღვრის ცდომილებაა 0,03-0,6%.

3. რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის მეთოდი

რენტგენოსტრუქტურულ ანალიზს ვაწარმოებდით უნივერსალურ დიფრაქტომეტრზე „ДРОН-3М“. დიფრაქციული გამოსხივება რეგისტრაციას გადიოდა პროპორციულ (აირად) სტინცალიაციურ მთვლელებზე ან ნახევარგამტარ სილიციუმის და გერმანიუმის (ლეგირებული ლითიუმით) აღმრიცხველებზე. გამოსხივების ამპლიტუდა პროპორციულია რენტგენული კვანტის ენერჯის, რაც საშუალებას გვაძლევს, რომ მოხდეს დიფერენცირება შესაბამის ტალღის სიგრძეზე.

ფხვნილები გამოკვლევის წინ ირეოდა ეპოქსიდის წებოში და თავსდებოდა კვეტებში. გაშრობის შემდეგ ასევე დაფრქვეული ნიმუშები იხეხებოდა ზუმფარის ქაღალდზე და სწორი ზედაპირის მიღების შემდეგ თავსდებოდა დანადგარზე გამოსაკვლევად.

4. კვლევა მიკროსისალზე

დანაფარების მიკროსისალეს ვსაზღვრავდით ხელსაწყო ПМТ-3-ზე. იგი ერთდროულად წარმოადგენს მეტალოგრაფიულ მიკროსკოპს და სისალის საზომსაც. მიკროსისალის გაზომვა სწარმოებდა ГОСТ 9450-76-ის შესაბამისად. დატვირთვის სიდიდე რეგულირდება 2-დან 100 გრამამდე, იდენტორს წარმოადგენს ალმასის პირამიდა 136°-იანი კუთხით. სისალეს ვანგარიშობდით მოქმედი P ძალის შეფარდებით ანაბეჭდის ფართობთან:

$$H_{\text{მიკრო}} = 1,8544 P/b^2, \text{ მგპა}$$

სისაღის გაზომვისთვის წინასწარ ვამზადებდით დანაფარის მიკროშლიფს, ვამუშავებდით რეაქტივით და მიკროსკოპის საშუალებით ვირჩევდით გასაზომ უბანს.

5. ადჰეზიური სიმტკიცის განსაზღვრა შტიფტის მეთოდით

ადჰეზიური სიმტკიცის ზღვარს განვსაზღვრავდით შტიფტის მეთოდით.

ადჰეზიური სიმტკიცე ტოლია :

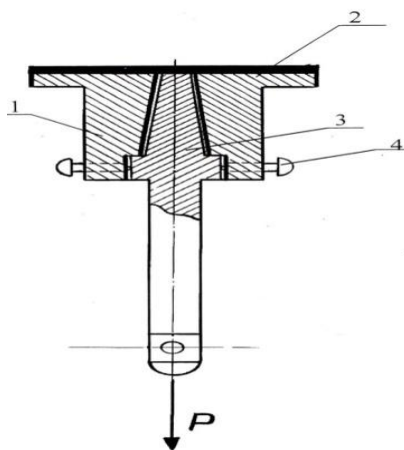
$$\sigma = P/F$$

სადაც, P –დატვირთვაა ნიმუშზე ნ–ში;

F – ნიმუშის განივი კვეთი მმ²–ში.

მე-11 ნახაზზე ნაჩვენებია ადჰეზიური სიმტკიცის განსაზღვრის შტიფტის მეთოდის სქემა .

შტიფტის მეთოდით გამოცდის სქემის მიხედვით, მატრიცასთან შეჭიდულობის ზონაში შტიფტის დიამეტრი კონუსურად მცირდება დანაფარის მიმართულებით. ამით მიიღწევა გაზომვის სიზუსტის გაზრდა, თუმცა რთულდება გამოცდისთვის ნიმუშების დამზადება.



ნახ.11 ადჰეზიური სიმტკიცის განსაზღვრა შტიფტის მეთოდით

- 1- დასაფარი მასალა;
- 2- დანაფარი;
- 3- შტიფტი;
- 4- ფიქსატორები

მეთოდის არსი მდგომარეობს იმ ზღვრული დატვირთვის განსაზღვრაში, რომელზეც ხდება დანაფარისა და მატრიცის გამყოფ ზედაპირზე რღვევა, რის საფუძველზეც გამოითვლება დანაფარის ადჰეზიური სიმტკიცე.

ცდომილების მინიმუმამდე შემცირების მიზნით, გამოცდის დაწყებამდე ვახდენდით ხელსაწყოს ტარირებას: 400 °C-ზე მომწვარი ალუმინის მავთულის გაჭიმვაზე გამოცდით (მომწვარი ალუმინის სიმტკიცის ზღვარი შეადგენს 250 მგპა-ს). აუცილებლობის შემთხვევაში ვსაზღვრავდით შესწორების სიდიდეს.

მოწყობილობის კონუსს და ბუდეს ვამზადებდით ჩარხზე, ვსვამდით ერთმანეთში და ვამაგრებდით დამჭერებით. ზედაპირს ვამუშავებდით აბრაზიულ-ჭავლური მეთოდით, ვფარავდით დანაფარით, ვუშვებდით დამჭერებს და იწყებოდა გამოცდის ციკლი.

კვლევის ეს მეთოდი ჩვენს მიერ გამოყენებული იყო როგორც საბაზისო, ოპტიმალური შემადგენლობის, კონგლომერირებული ფხვნილისგან აირალური მეთოდით დაფრქვეული დანაფარის კვლევისას (და ეს მონაცემები შედარდა ლიტერატურაში არსებული კლასიკური ფხვნილებისგან მიღებული დანაფარების შესაბამის თვისებებს), ასევე უკვე პლაკირებული ფხვნილების სისტემებით ლეგირებული (ლეგირების ხარისხი 10%) საბოლოო ფხვნილოვანი კაზმისგან მიღებული დანაფარების თვისებების გაანალიზებისას.

6. დამცავი დანაფარების მიკრორენდგენოსპექტრალური ანალიზის

ჩატარების მეთოდიკა

დანაფარის სტრუქტურული მდგენელების ქიმიური შემადგენლობის და ასევე მიკრომოცულობებში ელემენტების გადანაწილებას ვსწავლობდით მიკრორენტგენოსპექტრალური ანალიზატორის „КАМЕБАКС МИКРО“-ს საშუალებით.

ამ დროს აუცილებელია ვიცოდეთ საკვლევი ნიმუშიდან

წამოსული რენტგენული გამოსხივების ინტენსივობა, რომელსაც ადარებენ ეტალონიდან მიღებულ ინტენსივობას. ხშირ შემთხვევაში ეტალონებად გამოიყენება სუფთა ლითონები ან ცნობილი ქიმიური შემადგენლობის შენადნობები.

პირველი მიახლოებით საკვლევი ობიექტის ქიმიური შემადგენლობა ისაზღვრება ფორმულით:

$$C = I_{\text{ნიმუში}} / I_{\text{ეტალონი}} \times 100\%$$

სადაც, $I_{\text{ნიმუში}}$ - საკვლევი ნიმუშიდან გამოსხივების ინტენსივობა;

$I_{\text{ეტალონი}}$ - ეტალონიდან გამოსხივების ინტენსივობა

მიღებული პირველადი მონაცემები მიეწოდება ADP-11 ამერიკული გამომთვლელი მანქანის მიკროპროცესორს "MICKOBEAM", სადაც მიღებული პირველადი შედეგები მუშავდება ყველა შესაძლო ფაქტორის გათვალისწინებით, რის შედეგადაც მიიღება ზუსტი მონაცემები.

7. ფხვნილების გრანულომეტრული შემადგენლობის განსაზღვრის მეთოდი

ფხვნილების გრანულომეტრული ანალიზი ჩატარებულია „TA-2“ ტიპის მრიცხველზე (ფირმა „კულტერ“ საფრანგეთი). იგი საშუალებას იძლევა ჩატარებულ იქნას ნაწილაკების (ზომით 0,4-დან რამდენიმე ათას მიკრონამდე) მთლიანი გრანულომეტრული ანალიზი.

ამ მეთოდით განისაზღვრა ნაწილაკების დიფერენციალური და ინტეგრალური გადანაწილების მრუდების ხასიათი და დათვლილი იქნა მათი რაოდენობა.

8. მხურვალმედეგობაზე გამოცდის მეთოდი

ნიმუშებს მხურვალმედეგობაზე ვცდიდით წონითი მეთოდით. ფოლადი 3-დან ამოჭრილ ნიმუშებს ზომებით $D=25$ მმ და $h=10$ მმ, სადაც ნაწიბურები იხსნებოდა 45° -იანი კუთხით მთელ პერიმეტრზე, ზედაპირი

მთლიანად იფარებოდა დამცავი დანაფარით და თავსდებოდა გამომწვარ ტიგელებში. ნიმუშებს მხურვალმედეგობაზე გამოცდა უტარდებოდათ მუფელურ ლუმელში 1000°C-ზე 7 საათის განმავლობაში. მხურვალმედეგობას ვსაზღვრავდით წონის დანაკარგით „BMF-200” სასწორის საშუალებით.

მხურვალმედეგობის სიჩქარეს (**K**) ვანგარიშობდით შემდეგი ფორმულით:

$$K=q/S \cdot t$$

სადაც, **q** - ნიმუშის წონის დანაკარგია გრამებში;

t - გამოცდის ხანგრძლივობა, საათებში;

S - გამოსაცდელი ზედაპირის ფართი, მ²-ში.

გაზომვების ცდომილებას ვანგარიშობდით შესაბამისი მეთოდით და იგი შეადგენდა 2,23%-ს.

9. დანაფარის ცვეთამედეგობაზე გამოცდის მეთოდი

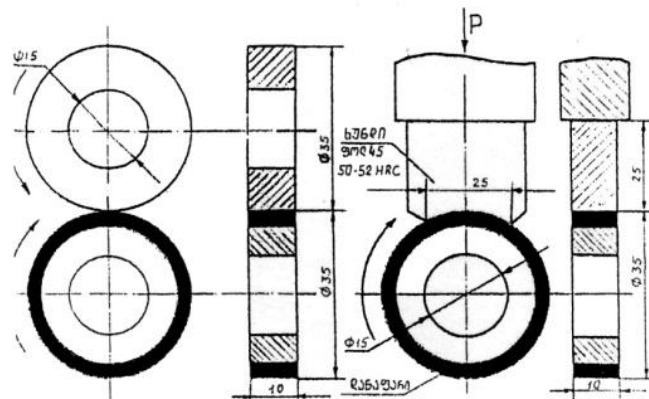
ცვეთაში იგულისხმება ნაკეთობის ზომების ან წონის შემცირება ხახუნის ზეგავლენით.

ცვეთაზე გამოსაცდელი მანქანის, კონკრეტულად კი „CML-2”-ის პრინციპიალური სქემა მოცემულია სურათზე. აღნიშნულ გამოსაცდელ მანქანაზე შეიძლება იყოს გამოკველეული როგორც სრიალის, ასევე გორვის ცვეთის პარამეტრები.

გამოცდის წინ ნიმუშებს ვასუფთავებდით და ვწონიდით. ექსპერიმენტიდან გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ აღნიშნულ ოპერაციას ისევ ვიმეორებდით და ვადგენდით წონით დანაკარგებს.

გამოსაცდელი მრგვალი ნიმუშები მაგრდებიან აღნიშნული მანქანის ზედა და ქვედა ღერძებზე. რომლებიც ბრუნავენ ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით.

ჩვენს შემთხვევაში ცვეთამედეგობას ვსწავლობდით ნიმუშების წყვილებზე: დიკო-ხუნდი.



ნახ.12 ცვეთამდეგობაზე გამოსაცდელი ნიმუშების ზომები და გამოცდის პრინციპიპალური სქემა ხუნდის მასალად ვილებდით ფოლადი 45-ს, სისალით 50÷52 HRC.

10. დასაფარი ზედაპირის წინასწარი დამუშავება აბრაზიულ-აირჭავლური მეთოდით

ნაკეთობების ზედაპირების აქტივაციისათვის ხშირად მიმართავენ აბრაზიულ-აირჭავლურ დამუშავებას. ასეთი სახის დამუშავებით, დასაფარი ნიმუშის ზედაპირი ღებულობს არაერთგვაროვანი სიმაღლეების მქონე უსწორმასწორო რელიეფს 10-60 მკმ-ის ფარგლებში (ზოგჯერ ეს სიდიდე აღწევს 100 მკმ-ს). ლითონური აბრაზივი არ უნდა შეიცავდეს ჟანგეულებს. იგი გამოიყენება ისეთი მასალების დასამუშავებლად, რომელთა სისაღე 50 HRC-ზე მაღალი არ არის. მისი გამოყენება არ შეიძლება იმ შემთხვევაში, თუ ნაკეთობზე დასატანი გვაქვს მხურვალმედეგი ან კოროზიამედეგი დანაფარები და ასევე ალუმინის, სპილენძის ან მათი შენადნობებისგან დამზადებული ნაკეთობების ზედაპირების დასამუშავებლად.

ჩვენ გამოვიყენეთ აბრაზიულ-ჰაერჭავლური დამუშავების ხელის სამარჯვი, რომელიც ფხვნილს იწოვს რეზერვუარიდან. აბრაზივი, რომელიც დამზადებული იყო ელექტროკორუნდისგან და გააჩნდა მარცვლოვანება 700-1000 მკმ-ის ფარგლებში.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე

კონგლომერირებული, ეკზოთერმულად მორეაგირე ფხვნილების სისტემის – (Ti-Si) ლეგირებას ვახდენდით თერმოფექტის მქონე (Ni-Al) და თერმონეიტრალური (Al_2O_3 -Ni) პლაკირებული ფხვნილებით, მალეგირებლების ოპტიმალური რაოდენობის დადგენას და მიღებული აირალური დამცავი დანაფარების თვისებების კვლევას ვაწარმოებდით შემდეგნაირად:

თავდაპირველად ვახდენდით (Ti-Si) სისტემების ლეგირებას შემდეგი რაოდენობებით: 5%, 10%, 15%. მალეგირებული ფხვნილების შემადგენლობა იყო:

ა) Ni-Al შემდეგი შემადგენლობით: Ni= 80%, Al=20%, მარცვლის ზომა \leq 45 მკმ;

ბ) Al_2O_3 -Ni შემდეგი შემადგენლობით: Al_2O_3 = 20%, Ni=80%, მარცვლის ზომა \leq 45 მკმ.

ორივე შემთხვევაში ფხვნილები მიღებული იყო პლაკირებით, ავტოკლაჟური მეთოდით.

Al-Ni მდგომარეობის დიაგრამის ანალიზიდან გამომდინარე, ალუმინსა და ნიკელს შორის წარმოიქმნება შემდეგი ინტერმეტალიდები: NiAl_3 ; Ni_2Al_3 ; NiAl; Ni_3Al . რენტგენოგრაფული ანალიზით დადგინდა, რომ ნიკელით პლაკირებული ფენის სისქე ალუმინის მარცვალზე შეესაბამება Ni=67% და Al=33%.

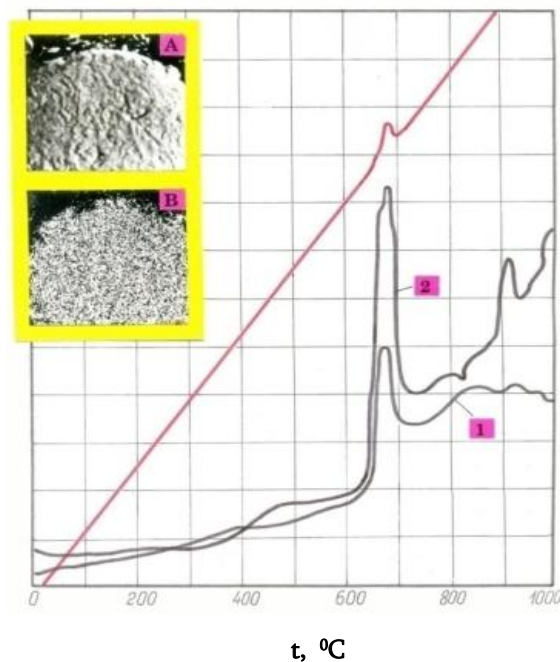
როგორც სამეცნიერო გამოკვლევებმა აჩვენა, ასეთი სისტემის ფხვნილებში მიღებულ აირალურ დანაფარებში ფაზების რაოდენობის ცვლილება მკვეთრად არის დამოკიდებული ნიკელის პროცენტულ რაოდენობასთან.

როგორც ცნობილია, Ni-Al სისტემა გამოირჩევა იმით, რომ სისტემაში მიმდინარეობს ეკზოთერმული რეაქცია.

შესწავლილია Ni-Al სისტემის კონგლომერირებული ფხვნილები და შედარებულია იგივე სისტემის პლაკირებულ ფხვნილებთან. ორივე შემთხვევისთვის მიმდინარე რეაქციები წარმოდგენილია მე-13 ნახაზზე.

როგორც კვლევებმა აჩვენა, პლაკირებულ ფხვნილებში მნიშვნელოვანია ნიკელის უფრო სრულყოფილი კონტაქტი ალუმინთან, ვიდრე კონგლომერირებისას, შედეგად ასეთი რეაქციების დროს ტემპერატურის ადიაბატური მატება უფრო მაღალია და იგი აღწევს 1700-2200°C-ს. დიაგრამიდან ასევე ჩანს, რომ Ni-Al ურთიერთქმედების საწყისი ტემპერატურული დიაპაზონია 600-660°C, რომლის შემდეგაც იწყება მიმართული დიფუზია ალუმინისა, შუალედური ფაზების $NiAl_3$ და Ni_2Al_3 გავლით, რის გამოც სისტემაში წარმოიქმნება ე.წ. კირკენდელის ეფექტი, ანუ ნაწილაკის ცენტრში წარმოიქმნება ფორი.

$\Delta t/t$



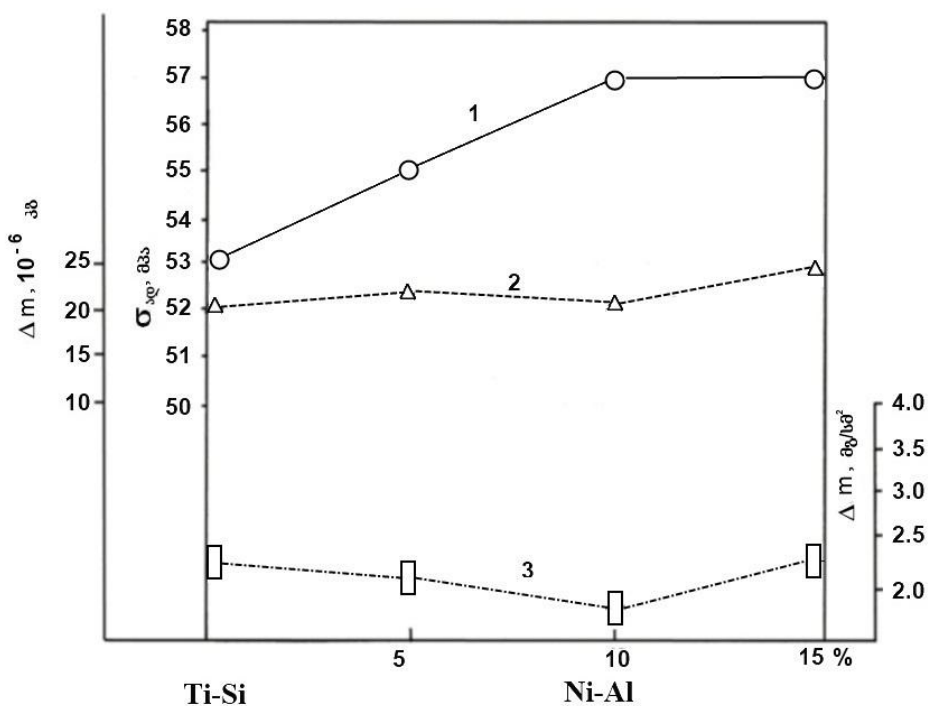
ნახ. 13 Ni-Al სისტემაში მიმდინარე რეაქციების თერმოგრამები

- 1- კონგლომერირებული ფხვნილებისათვის,
- 2- პლაკირებული ფხვნილებისათვის.
- A-შთანთქმულ ელექტრონებში,
- B- NiK_{α} გამოსხივებაში

კვლევის შემდეგ ეტაპს წარმოადგენდა (Ni-Al) ლეგირების ხარისხის დადგენა Ti-Si სისტემისთვის. Ni-Al სისტემით ლეგირების პროცენტული რაოდენობა შეადგენდა 5, 10, 15 %-ს.

შესწავლილი იქნა ასეთი ლეგირებული კონგლომერირებული სისტემების აირთერმული დანაფარების მექანიკური (ადჰეზიური) სიმტკიცე (ნახ.14, მრუდი 1) და საქსპლოატაციო თვისებები, კონკრეტულად კი მხურვალმედეგობა და ცვეთამედეგობა (ნახ14, მრუდი 3, 2).

როგორც დიაგრამიდან სჩანს, ადჰეზიური სიმტკიცე Ni-Al სისტემით ლეგირების შემთხვევაში, მაქსიმუმს აღწევს, როცა ლეგირების ხარისხი უტოლდება 10%-ს და იგი იზრდება 53 მგპა- დან 57 მგპა- მდე.



ნახ. 14 Ti-Si სისტემის Ni-Al პლაკირებული ფხვნილებით ლეგირების რაოდენობის გავლენა აირთერმული დანაფარების თვისებებზე:
 მრუდი 1- ადჰეზიური სიმტკიცე ($\sigma_{ად}$, მგპა);
 მრუდი 2- ცვეთამედეგობა (Δm წონის დანაკარგი 10^{-6} კგ);
 მრუდი 3- მხურვალმედეგობა (Δm მგ/სმ²)

ასევე ადგილი აქვს ცვეთამდეგობის ზრდასაც, 10% Ni-Al სისტემით ლეგირების შემთხვევაში, $0,210 \times 10^{-6}$ კგ- დან $0,18 \times 10^{-6}$ კგ-მდე. უნდა აღინიშნოს, რომ ლეგირების რაოდენობის შემდგომი მატება ცვეთამდეგობას აღარ ზრდის, არამედ პირიქით - ამცირებს.

ანალოგიური ხასიათი გააჩნია მხურვალმდეგობასაც. 10% Ni-Al სისტემით ლეგირების შემთხვევაში იგი ტოლია $1,97$ მგ/სმ², ხოლო დამატებითი ლეგირების შემთხვევაში (15%), მცირდება და შეადგენს $2,94$ მგ/სმ²-ს.

სამუშაოს მეცნიერული სიახლეა ისიც, რომ კონგლომერირებულ კომპოზიციურ ფხვნილებში ორი ეკზოთერმული რეაქციის მქონე სისტემის არსებობის პირობებში, ერთ-ერთ სისტემაში (Ni-Al) ეკზოთერმული რეაქცია იწყება შედარებით უფრო დაბალ (600°C) ტემპერატურაზე და რეაქციის შედეგად გამოყოფილი სითბოს ადიაბატური მატება სტარტს აძლევს მეორე სისტემის (Ti-Si) ეკზოთერმულ რეაქციას (1300°C). ანუ, ერთ კომპოზიციაში მიმდინარე რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბო გამოიყენება მეორის დასაწყებად.

თავის მხრივ, ამ რეაქციის მიმდინარეობისას მიღებული ტემპერატურის ადიაბატური მატება კიდევ უფრო ზრდის აირის ალში მოხვედრილი ფხვნილის ჯამურ ტემპერატურას. შედეგად, უმჯობესდება მისგან მიღებული დანაფარის ხარისხი, რაც მის ისეთ თვისებებში მჟღავნდება, როგორცაა: ადჰეზიური სიმტკიცე, მხურვალმდეგობა და ცვეთამდეგობა.

კვლევის შემდგომ ეტაპზე Ti-Si სისტემის ლეგირებას ვახდენდით პლაკირებული (Al_2O_3 -Ni) ფხვნილებით, სადაც მალეგირებელი ფხვნილების რაოდენობას ვცვლიდით და იგი ტოლი იყო 5, 10, 15%- ის.

(Al_2O_3 -Ni) სისტემის ქიმიური შემადგენლობა იყო შემდეგი: Ni-80% ; Al_2O_3 - 20%. ეს ფხვნილები, როგორც უკვე ავლნიშნეთ, მიღებული იყო პლაკირებით, ავტოკლავური მეთოდით.

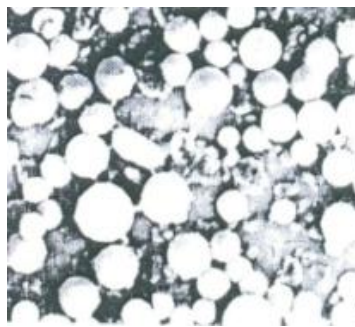
პლაკირების ხარისხის დასადგენად ფხვნილებს ჩაუტარდათ რასტრულ-ელექტრონულ მიკროსკოპიული ანალიზი დიდ გადიდებებზე, რადგან მეტალოგრაფიული შლიფის დამზადება ცუდი პრეპარირების გამო ვერ მოხერხდა.

როგორც მე-15 ნახაზიდან ჩანს, Al_2O_3 -ის ფხვნილის მარცვლები მთელ ზედაპირზე მაღალხარისხვნად არის პლაკირებული ნიკელით და ეს მდგომარეობა შენარჩუნებულია მანამ, ვიდრე დაიწყება მისი გაფრქვევა.



ნახ.15 Al_2O_3 -ის ფხვნილის მარცვლებზე არსებული პლაკირებული ფენა და მისი მორფოლოგია ($\times 20000$)

(Al_2O_3 -Ni) სისტემის პლაკირებული ფხვნილების ზედაპირული სტრუქტურა შესწავლილ იქნა რასტრულ-ელექტრონულ მიკროსკოპზე (ნახ. 16)



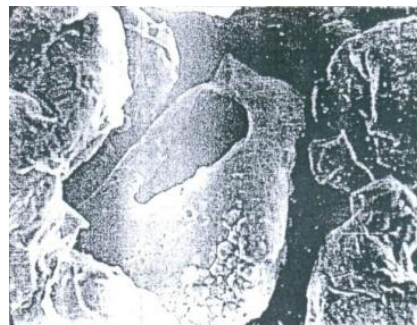
ნახ.16 (Al_2O_3 -Ni) პლაკირებული ფხვნილების რასტრულ-ელექტრონული მიკროსკოპიული სურათი ($\times 1200$)

როგორც სურათიდან ჩანს, Al_2O_3 -ის ფხვნილის მარცვლების მთელი ზედაპირი საუკეთესოდ არის პლაკირებული.

იმისათვის, რომ გაგვერკვია, თუ როგორ მოიქცევა Al_2O_3 -ის ფხვნილის მარცვლებზე პლაკირებული ფენა, საჭირო გახდა მათი

აირალური გაფრქვევა წყალში, რათა დაფიქსირებულიყო მაღალ ტემპერატურაზე წარმოქმნილი სტრუქტურა. ასევე უნდა შეგვესწავლა დაფრქვევის დროს წარმოქმნილი აირების წნევის გავლენა სტრუქტურაზე.

როგორც წყალში გაფრქვეული ფხვნილების რასტრულ-ელექტრონულ მიკროსკოპიულმა ანალიზმა აჩვენა (ნახ.17), პლაკირებული ფენა (ანუ Ni) დნება და სცილდება Al_2O_3 -ის მარცვალს.



ნახ.17 წყალში გაფრქვეული (Al_2O_3 -Ni) მორფოლოგია ($\times 20000$)

სწორედ აღნიშნული ფაქტების გამო, აუცილებელი გახდა პლაკირებული ფენის უფრო ღრმა და საფუძვლიანი ანალიზი. ანალიზი ჩატარდა ისრაელში, ინსტიტუტში „ტექნიონი“, დიდ გადიდებაზე.

ანალიზის შედეგად აღმოჩნდა, რომ პლაკირებული ფენა შედგება ნანოკრისტალური აგებულების მარცვლებისგან, სადაც მათი ზომებია 700-1200 ანგსტრემის რიგის.

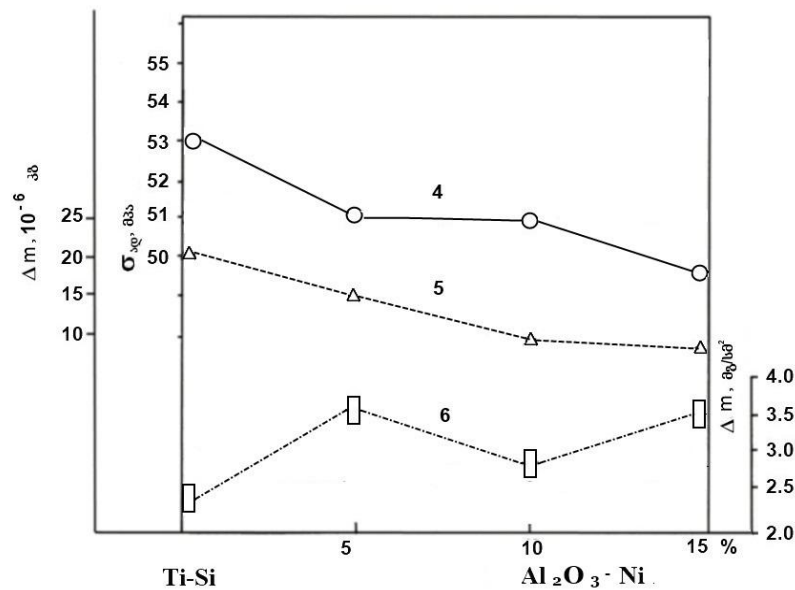
ნიმუშების პრეპარირება ხდებოდა (გრაფიტი-Ni) სისტემაზე, რათა გაადვილებულიყო ნიმუშების პრეპარირება და შემდგომი განჭოლვა.

შესწავლილა აგრეთვე (Al_2O_3 -Ni)-ით ლეგირების პროცენტული რაოდენობის გავლენა ნიმუშის საექსპლოატაციო თვისებებზე (ნახ.18). ადჰეზიური სიმტკიცე (მრუდი 4) 53 მგპა მნიშვნელობიდან ლეგირების ხარისხის გაზრდით თანდათან მცირდება და 45,5 მგპა-ს უტოლდება 15% Al_2O_3 -ის დროს. აღსანიშნავია, რომ ცვეთამედეგობა (მრუდი 5) მუდმივად იზრდება (Al_2O_3 -Ni)-ის რაოდენობის მატებასთან ერთად და

შესაბამისად იცვლება $22,5 \times 10^{-6}$ კგ-დან $10,0 \times 10^{-6}$ კგ-მდე 15% Al_2O_3 -ის შემადგენლობისას.

მზურვალმედეგობა (მრუდი 6) 5% და 15% Al_2O_3 -Ni -ის შემცველობის შემთხვევაში ერთიდაიგივე სიდიდისაა და $3,5$ მგ/სმ² -ს უტოლდება, ხოლო 10%-ის შემთხვევაში იგი მცირდება $2,92$ მგ/სმ²-მდე.

ამრიგად, შერჩეულ იქნა ლეგირების ყველაზე უფრო მისაღები ხარისხი და მან 10% შეადგინა (Al_2O_3 -Ni) სისტემისათვის.



ნახ. 18 Al_2O_3 -Ni-ით ლეგირების პროცენტული რაოდენობის დამოკიდებულება საექსპლოატაციო თვისებებზე (ცვეთამედეგობა(5), ადჰეზიური სიმტკიცე(4), მზურვალმედეგობა(6))

როგორც აღნიშნული სამუშაოს წინა ნაწილში ჩატარებული კვლევითი სამუშაოებიდან ჩანს, ოპტიმალური რაოდენობა ორივე, (Ni-Al) და (Al_2O_3 -Ni) მალეგირებლი სისტემებისთვის შეესაბამება 10%-ს, რადგანაც 5%-ით ლეგირება ვერ უზრუნველყოფს დანაფარების ადჰეზიური სიმტკიცის, მზურვალმედეგობისა და ცვეთამედეგობის მაღალ მაჩვენებლებს, ხოლო 15%-ით ლეგირებისას იგივე თვისებები ან უმნიშვნელოდ უმჯობესდება, ან რიგ შემთხვევებში უარსდება კიდევ.

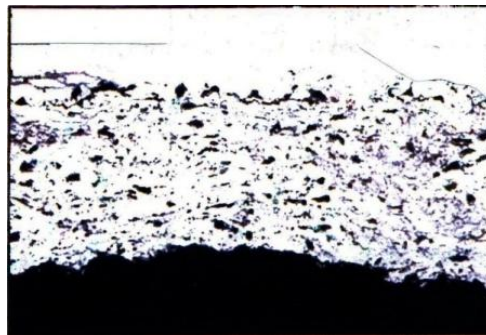
შედეგად დადგინდა ფუძისა და მალეგირებელი სისტემების ოპტიმალური რაოდენობები და იგი შემდეგია: (Ti-Si) - 80%; (Ni-Al) - 10%; (Al₂O₃-Ni) - 10%.

წარმოდგენილი შემადგენლობის ფხვნილოვანი ნარევისგან მიღებულია აირალური დამცავი დანაფარები და შესწავლილია მათი თვისებები და სტრუქტურა.

დანაფარების მიღება ხდებოდა იგივე უკრაინული წარმოების დანადგარზე 15405, ჩვენს მიერ შემუშავებული ტექნოლოგიური პროცესებით და იგივე დისტანციიდან – 150 მმ.

მე-19 ნახაზზე წარმოდგენილია აღნიშნული (ოპტიმალური რაოდენობით, კომბინირებულად ლეგირებული) ფხვნილოვანი ნარევით მიღებული აირალური დანაფარის სტრუქტურა.

დანაფარი გამოირჩევა მჭიდრო აგებულებით და დაახლოებით თანაბარი მარცვლის ზომებით. გარდამავალ ზონაში ლითონი-დანაფარი, არ აღინიშნება რაიმე დეფექტები: ბზარები ან ატკეჩვის ნიშნები.



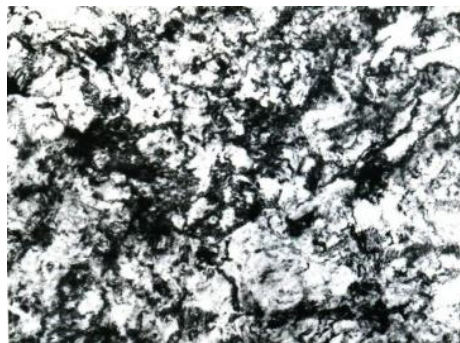
ნახ.19 აირალური დანაფარის მიკროსტრუქტურა (×100). დაფარვა შესრულებულია ოპტიმალური ლეგირების შედეგად მიღებული ფხვნილიდან

იგივე ნიმუშის გამოკვლევისას უფრო დიდ გადიდებაზე (×500) და მისი რეაქტივით დამუშავებით აღმოჩნდა, რომ იგი შედგება სუფთა (Ni-Al) სისტემით მიღებული დანაფარებისთვის დამახასიათებელი, ტალღური და ფენოვანი სტრუქტურული ელემენტებისგან (ნახ. 20).



ნახ. 20 აირალური დანაფარის მიკროსტრუქტურა (×500)

სპეციალური ხსნარებით დამუშავებული დანაფარის ნიმუშები სტრუქტურულად შესწავლილი იქნა რასტრულ ელექტრონულ მიკროსკოპზე (ნახ.21), გამადიდებლობით (×20000). გამოკვლევამ აჩვენა, რომ ინტერმეტალიდი (Ni-Al), Ti_5Si_3 და Al_2O_3 წარმოქმნიან სუფთა მექანიკურ ნარევს, არავითარი გარდამავალი ზონები ამ ფაზებს შორის არ შეინიშნება, ასევე არ შეინიშნება ბზარები. შეიძლება ითქვას, რომ ფაზების შენება დაფრქვევის დროს ხდება მაღალი ხარისხით და კარგი შეჭიდულობით. ამ მოსაზრებას კარგად ადასტურებს აგრეთვე მიკრორენტგენოსპექტრალური ანალიზი, რომელიც ჩატარებულ იქნა ხელსაწყოზე - KAMEBAX MIKRO. სხივის სკანირების დროს მალეგირებელი ელემენტების კონცენტრაციების შეცვლა ხდებოდა მკვეთრად, საიდანაც მტკიცდება, რომ ფაზათა შორის გარდამავალი ფენა არ არსებობს.

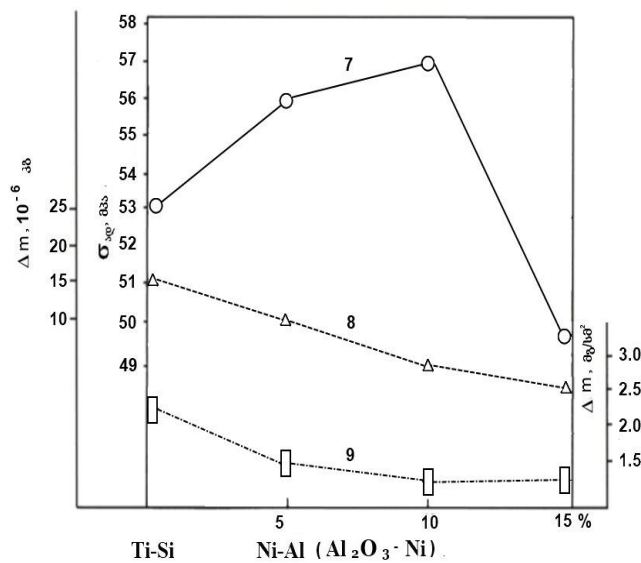


ნახ.21 დანაფარის სტრუქტურის რასტრულ ელექტრონულ მიკროსკოპიული ანალიზი (×20000)

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ წარმოქმნილ ფაზებს შორის ურთიერთქმედება 0,05 მკმ-ზე დაბალია და მისი სიდიდე შეიძლება იყოს ანგსტრემების რიგის.

შესწავლილია ოპტიმალური რაოდენობით ლეგირების შედეგად მიღებული ფხვნილებისგან წარმოებული დანაფარები., რომლის საბოლოო შედეგები ასეთია (ნახ.22):

ადჰეზიური სიმტკიცე (მრუდი 7) ლეგირების ხარისხის მომატებასთან ერთად იზრდება და 10% კომბინირებული ლეგირების შემთხვევაში იგი ტოლია 57 მგპა-ის, ხოლო როცა 15%-ით ლეგირების შემთხვევაში, იგი მკვეთრად ეცემა და უტოლდება 49,5 მგპა.



ნახ. 22 კომბინირებულად ლეგირებული ფხვნილებისგან მიღებული აირალური დანაფარების თვისებები:
 ადჰეზიური სიმტკიცე (7),
 ცვეთამედეგობა (8),
 მხურვალმედეგობა (9)

ცვეთამედეგობა (მრუდი 8) ლეგირების ხარისხის ზრდასთან ერთად უმჯობესდება და 5%-ით ლეგირების ხარისხის დროს 20×10^{-6} კგ-დან მატულობს 15×10^{-6} კგ-მდე, 10÷15% ლეგირების შემთხვევაში იგი შესაბამისად ტოლია 10×10^{-6} კგ და $9,5 \times 10^{-6}$ კგ.

მხურვალმედეგობა (9) ნაკლებად მგრძნობიარეა და უმნიშვნელოდ ცვალებადობს. კერძოდ, ლეგირების 0%-ის შემთხვევაში უტოლდება 2,3 მგ/სმ²-ს , ხოლო 10-15% ლეგირების დროს იგი შესაბამისად ღებულობს მნიშვნელობებს 1,3 და 1,45 მგ/სმ²-ის.

შედეგების გამოყენების სფეროები

სამუშაოს შედეგების გამოყენება მეტად აქტუალურია მძიმე და მსუბუქი მრეწველობის უამრავი მიმართულებით, როგორებიცაა: ენერგეტიკა, სამთო-მეტალურგია, ნავთობგადამუშავება, ავიაცია, კვების მრეწველობა. საყურადღებოა მათი საჭიროება მანქანათმშენებლობაში და განსაკუთრებით სარკინიგზო ტრანსპორტის წარმოების საქმეში.

ჩვენი სამუშაო სწორედ იმითაა საინტერესო, რომ დეტალების არა მარტო აღდგენა-რესტავრაციას ხდის შესაძლებელს, არამედ სწორედ დამცავი ზედაპირების გამოყენების შემთხვევაში გამართლებას პოულობს მთლიან ნაკეთობაზე გაწეული ხარჯები და ასეთი დეტალის ან ნაკეთობის ექსპლოატაციაში უკან დაბრუნება იძლევა მნიშვნელოვან ეკონომიურ ეფექტს. შეიძლება ჩამოითვალოს სარკინიგზო მეურნეობაში დანაფარების გამოყენების შესაძლებლობები. ასეთი დეტალები და კონსტრუქციები შეძლება იყოს: ლიანდაგის საწყისი და ბოლო ნაწილები, რომელსაც ცვეთამედეგი დანაფარი ესაჭიროება, რადგანაც ცვეთის მაღალი ხარისხი ფიქსირდება, ასევე გოგორწყვილები, მათი დემები, სამუხრუჭე ხუნდები, ვაგონების გადასაბმელი ჩამკეტები, ჰიდროამორტიზატორების ჭოკები, რედუქტორის დერძები, თბომავლის შიდაწვის ძრავის მრავალი ელემენტი (მუხლა ლილვები, დგუშები, ცილინდრები, სარქველები და მრავალი სხვ.) ჩვენი სამუშაოს შედეგების გამოყენება შესაძლებელია არა მარტო ამორტიზებული დეტალებისა და ნაკეთობების აღდგენის საქმეში, არამედ აღნიშნული ტექნოლოგიური პროცესი და მასალები შესაძლებელია დაინერგოს თანამედროვე მასალების წარმოებაში, რომლებსაც კონკრეტული მოთხოვნები წინასწარ აქვთ წაყენებული.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ

სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 120 გვერდს. მისი ძირითადი ტექსტური ნაწილი შედგება 5 თავისაგან.

შესავალ ნაწილში გადმოცემულია ზოგადი ცნობები სამუშაოს მიზნისა და მიღებული შედეგების შესახებ.

ლიტერატურული მიმოხილვა გვაწვდის ცნობებს სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებული და სადისერტაციო სამუშაოში დასმული საკითხების შესახებ. იგი შედგება 4 ქვეთავისგან.

შედეგებსა და მათ განსჯაში წარმოდგენილი გვაქვს 14 ქვეთავი. მათში მოცემული გვაქვს ის მეთოდები, რომელიც გამოყენებული იყო ჩატარებული ექსპერიმენტებისა და კვლევების პროცესში. ექსპერიმენტულ ნაწილში უშუალოდ ჩატარებულ ექსპერიმენტზეა საუბარი, იგი შედგება 5 ქვეთავისგან, მათში აღწერილია ფხვნილების მიღება, მალეგირებელი ფხვნილების ოპტიმალური რაოდენობის შერჩევა, მათგან დამცავი დანაფარების მიღება და კვლევა. შედეგების გამოყენების სფეროებში განხილულია მიღებული შედეგების ეფექტურობა კონკრეტული ამოცანების შესასრულებლად და ის შესაძლებლობები, რაც მიღებული მასალების გამოყენებასთანაა დაკავშირებული.

დასკვნაში მოკლედაა შეფასებული სადისერტაციო სამუშაოს შესრულებისას მიღებული შედეგები და მათი ეფექტურობა ეკონომიური თუ ხარისხობრივი თვალსაზრისით.

და ბოლოს, გამოყენებულ ლიტერატურაში წარმოდგენილია ის შრომები, რაც სამუშაოს მსვლელობისას განსაჯაროვდა სხვადასხვა პუბლიკაციების სახით ჩვენს მიერ და ამავე დროს სხვადასხვა ავტორების ის ნაშრომები, რომლებიც გამოყენებული იქნა ჩვენს სამუშაოში.

დასკვნა

1. შერჩეულ იქნა მაღალი თერმოფექტის მქონე ფხვნილოვანი წყვილი, რომლის შემადგენლობაა: $Ti=76\%$, $Si=24\%$. ისინი აირთერმული დანაფარის სანთურის ალში მოხვედრის შემდეგ წარმოქმნიან სილიციდს Ti_5Si_3 ;
2. დადგინდა, რომ დანაფარის სტრუქტურაში წარმოქმნილ სილიციდს, Ti_5Si_3 -ს, გააჩნია საკმაოდ მაღალი ადჰეზიური სიმტკიცე, მაგრამ დაბალი ცვეთამედეგობა და მხურვალმედეგობა. ამიტომაც აუცილებელი გახდა მისი ლეგირება $Ni-Al$ და $Ni-Al_2O_3$ პლაკირებული ფხვნილებით. მათგან $Ni-Al$ -ს გააჩნია საკმაოდ მაღალი თბური ეფექტი და წარმოქმნის მხურვალმედეგ ინტერმეტალიდურ ფაზას, ხოლო $Ni-Al_2O_3$ კი ზრდის ცვეთამედეგობას;
3. დავადგინეთ, რომ კონგლომერირებულ კომპოზიციურ ფხვნილებში ორი ევოთერმული რეაქციის მქონე სისტემის არსებობისას, სადაც ერთ-ერთ სისტემაში ($Ni-Al$) ევოთერმული რეაქცია იწყება შედარებით უფრო დაბალ ($600^{\circ}C$) ტემპერატურაზე და რეაქციის შედეგად გამოყოფილი სითბოს ადიაბატური მატება სტარტს აძლევს მეორე სისტემის ($Ti-Si$) ევოთერმულ რეაქციას ($1300^{\circ}C$), ერთ კომპოზიციაში მიმდინარე რეაქციის დროს გამოყოფილი სითბო გამოიყენება მეორის დასაწყებად, ამ რეაქციისას მიღებული ტემპერატურის ადიაბატური მატება კიდევ უფრო ზრდის აირის ალში მოხვედრილი ფხვნილის ჯამურ ტემპერატურას. შედეგად, უმჯობესდება მისგან მიღებული დანაფარის ხარისხი;
4. საბოლოოდ დანაფარის გამოკვლევამ გვაჩვენა, ადჰეზიური სიმტკიცე ლეგირების ხარისხის მომატებასთან ერთად იზრდება და 10% კომბინირებული ლეგირების შემთხვევაში იგი ტოლია 57 მგპა-ის, ხოლო როცა 15%-ით ვახდენთ ლეგირებას, იგი მკვეთრად ეცემა და უტოლდება 49,5 მგპა-ს. ცვეთამედეგობა ლეგირების ხარისხის ზრდასთან ერთად უმჯობესდება და 5%-ით ლეგირების ხარისხის

დროს 20×10^{-6} კგ-დან მატულობს 15×10^{-6} კგ-მდე, ხოლო 10–15% ლეგირების შემთხვევაში იგი შესაბამისად ტოლია 10×10^{-6} კგ და $9,5 \times 10^{-6}$ კგ; მხურვალმედეგობა ნაკლებად მგრძობიარეა და ლეგირების ხარისხის ზრდასთან ერთად იგი უმნიშვნელოდ ცვალებადობს, კერძოდ ლეგირებამდე უტოლდება 2,3 მგ/სმ²-ს, ხოლო 10-15% ლეგირების დროს იგი შესაბამისად ტოლია 1,3 და 1,45 მგ/სმ²-ის;

5. დადგინდა ფუძისა და მალეგირებელი სისტემების ოპტიმალური რაოდენობები და იგი შეადგენს: (Ti-Si) - 80%; (Ni-Al) - 10%, (Al₂O₃-Ni) - 10%;
6. სამუშაოში წარმოდგენილია აღნიშნული (ოპტიმალური რაოდენობით, კომბინირებულად ლეგირებული) ფხვნილოვანი ნარევით მიღებული აირალური დანაფარის სტრუქტურა. დანაფარი გამოირჩევა მჭიდრო აგებულებით, გარდამავალ ზონაში ლითონი-დანაფარი არ აღინიშნება რაიმე სახის დეფექტი: ბზარები, ატკეზის ნიშნები;
7. ამრიგად, დავადგინეთ, რომ ჩვენს მიერ მოწოდებული შემადგენლობის (Ti-Si სისტემა ლეგირებული 10% (Ni-Al)-ით და 10% (Al₂O₃-Ni)-ით) კონგლომერირებული ფხვნილების შემთხვევაში საშუალება გვეძლევა, რომ პლაზმური დანაფარების მაგივრად, რომელთა თვითღირებულება გაცილებით მაღალია, ხოლო ტექნოლოგიური პროცესი - რთული, რიგ შემთხვევებში დამცავი დანაფარების მიღებისას გამოვიყენოთ აირალური მეთოდი, რომელიც ეკონომიურად ბევრად უფრო მომგებიანია და ტექნოლოგიურად კი გაცილებით მარტივი.

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები ასახულია შემდეგ
პუბლიკაციებში:

1. მ. ყიფიანი, ზ.ოქროსცვარიძე, ლ.ჩხიკვაძე, ი.კახნიაშვილი „Ti-Si სისტემის კონგლომერირებული ფხვნილების კვლევა” საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე. ქიმიის სერია. 2013წ. ტ.39 №1-2. გვ.118-123;
2. მ. ყიფიანი, ზ.ოქროსცვარიძე, „Ti-Si სისტემის კონგლომერირებული ფხვნილებიდან მიღებული აირთერმული დანაფარების ადგილობრივი სიმტკიცისა და მიკროსისალის კვლევა”. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე. ქიმიის სერია. 2013წ. ტ.39 №3-4, გვ.240–242;
3. ყიფიანი მ.ჯ., ოქროსცვარიძე ზ.შ, ჩხიკვაძე ლ.ა, კახნიაშვილი ი.ბ, წილოსანი თ. „კომპოზიციური ფხვნილების აირალური გაფრქვევა გაუმჯობესებული თვისებების მქონე დანაფარების მისაღებად”. საქართველოს საინჟინრო სიახლენი. №1, ტ.73, 2015წ., გვ 108–110;
4. М. Кипиани, З.Окросцваридзе, Л. Чхиквадзе, И.Кахниашвили „КОНГЛОМЕРИРОВАННЫЕ ПОРОШКИ Ti-Si СИСТЕМЫ,,. II საერთაშორისო კონფერენცია, არაორგანული მასალათმცოდნეობის თანამედროვე ტექნოლოგიები და მეთოდები, გვ.335, 2015წ.20–24 აპრილი.

Abstract

Ti-Si conglomerated powder mixture alloyed by Ni-AL and Al₂O₃-Ni systems, technology for obtaining the conglomerated composite powder and the impact of temperature on the ongoing structural and line-to-ground changes were studied in the present thesis. Selection of the above mentioned materials was preconditioned with the fact that formation of silicate in Ti-Si system has higher thermal effect compared with the classical pairs of Ni-Al or Ti-Ni systems. Additionally, the fact that Ti₅Si₃, with the composition: Ti=73,9%, Si=26,08% possesses the highest thermal effect among titanium silicates was considered as well. Therefore Ti₅Si₃ titanium silicate became the basis component in our researches.

Silicate Ti₅Si₃ formed in the coating structure has a high adhesive stability, but a low wear resistance and thermal resistance. Therefore, it was alloyed with the Ni-AL and Ni -Al₂O₃ plated powers. Ni-AL possesses high thermal effect and creates thermal resistant intermetallic phase while Ni - Al₂O₃ increases wear resistance.

The fact that (Ni -Al)system gives thermal effect in the process of thermal impact was considered. The aforementioned effect was used for conducting the work more effectively.

Existence of system with two exothermic reactions in conglomerated composite powder, causes the start of exothermic reaction at relatively low temperature (600°C) in Ni -Al system and the heat adiabatic increase obtained after the reaction gives start to the exothermic reaction (1300°C) in Ti-Si system.

In other words heat produced during the reaction of one composition is used for starting the second reaction. Adiabatic increase of temperature caused by the abovementioned reaction increases the total temperature of the powder in the gas flame. Consequently, its coating level is improved (adhesive hardness, thermal resistance, wear resistance and other characteristics).

We made 5,10 and 15 % foundation alloying in order to determine alloying quality.

Adhesive hardness increases along with the alloying quality. In case of 10% combined alloying it equals to 57 MPa and if alloying amounts 15 % it falls to 49.5 MPa. Wear resistance improves along with the increase of alloying quality and it increases from 20×10^{-6} to 10×10^{-6} kg during the 5% alloying quality. If the alloying amounts 10%, 15% it respectively equals to 10×10^{-6} kg and 9.5×10^{-6} kg.

Thermal resistance is less sensitive and it equals to 2.3 mg/cm² along with the increase of alloying quality, when alloying is 0%. If alloying is 10-15% it relatively equals to 1.3 and 1.45 mg/cm².

Following optimal amount of foundation and alloys have been established: (Ti-Si)-80%; (Ni-Al)10%; (Al₂O₃-Ni)-10%.

Gas coatings were obtained from the powder mixtures of presented compositions and their characteristics and structures were studied.

Thus, provided conglomerated powders give possibility of using more economical and simple gas method to obtain protective coating instead of using more expensive and technologically complex plasma coating .

Using the results of the implemented work is quite actual for several directions of heavy and light industries, such as: energetic, mountain metallurgy, oil processing, aviation, food industry. They are extremely important for engineering and particularly, for the production of rail transport.

The outcomes of the implemented work can be used not only for restoring the amortized details and products, but the above mentioned technological process and materials can also be introduced in the production process of modern materials, having to meet special demands.

-