

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მზია თაბაგარი

გამჭოლი დგანების მაღალმედეგი სამართულების საწარმოებ-
ლად განკუთვნილი C08Cr1Ni5Si1Cu1MoVTi ტიპის ფოლადის
შემუშავება და მისი გამოყენების სხვა პერსპექტივები

სადოქტორო პროგრამა - მასალათმცოდნეობა

შიფრი - 0412

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის
მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონთა დამუშავების
დეპარტამენტის სამსხმელო წარმოებისა და ახალი ტექნოლოგიური
პროცესების მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: პროფ. ვ. კოპალეიშვილი

რეცენზენტები: -----

დაცვა შედგება ----- წლის "-----" -----, ----- საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და
მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო კოლეგიის

სხდომაზე, კორპუსი 2-ე, აუდიტორია -----

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს

ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის – ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი -----

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა სადისერტაციო თემა აქტუალურია, ვინაიდან შპს „რუსთავის ფოლადის“ მილსაგლინავი აგრეგატების „400“-ისა და „140“-ის გამჭოლი, ავტომატური და შემომგლინავი დგანების სამართულების მედეგობის გაზრდა აუმჯობესებს წარმოების სტაბილურობას და მზა პროდუქციის ხარისხს. ეს საკითხები კი ყოველთვის აქტუალურია ზემოხსენებული საწარმოსათვის.

სამუშაოს მიზანი: გამჭოლი დგანების სამართულების მედეგობისა და მათთვის შემუშავებული C08Cr1Ni5Si1Cu1MoVTi ტიპის ფოლადის გამოყენების სფეროს გაზრდა.

კვლევის ობიექტი: გამჭოლი დგანების სამართულების ფოლადი და მისი მიღებისა და დამუშავების ტექნოლოგია.

კვლევის მეთოდები: ქიმიური და მიკროსტრუქტურული ანალიზები; გამოცდები გაჭიმვასა და დარტყმით სიბლანტეზე; მიკროსისალის გაზომვა.

სტატისკური გამოცდები გაჭიმვაზე ჩატარებული იქნა ტაივანში წარმოებულ CY-6040A12 ტიპის მიკროკომპიუტერიან უნივერსალურ 100-ტონიან გამჭიმავ მანქანაზე, ГОСТ 1497-84 სტანდარტის მიხედვით ცილინდრულ (ჰანტელის ფორმის) III ტიპის ხუთჯერად და შვიდჯერად ნიმუშებზე მუშა ნაწილის დიამეტრებით 10 (გამჭიმავ მანქანაზე MP-100) და 6 მმ (გამჭიმავ მანქანაზე FPZ-100). გამოსაცდელი ნიმუშების ზომებს გამოცდამდე და მის შემდეგ ვსაზღვრავდით მიკრომეტრითა და შტანგენფარგლით. გაჭიმვის პროცესი ხორციელდებოდა სიჩქარით 3 მმ/წთ გაჭიმვის მრუდის ჩაწერით. ვსაზღვრავდით მექანიკურ თვისებათა შემდეგ მაჩვენებლებს:

1. დენადობის ფიზიკური ($\sigma_{\text{ფ}} = \frac{P_{\text{ფ}}}{F_0}$, ნ/მმ² ანუ მგპა) ან პირობითი ($\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$, ნ/მმ²

ანუ მგპა) ზღვარი;

2. სიმტკიცის ზღვარი – დროებითი წინაღობა $\sigma_s = \frac{P_{\max}}{F_0}$ ნ/მმ²;

3. ფარდობითი წაგრძელება $\delta = \frac{\ell_K - \ell_0}{\ell_0} \cdot 100\%$;

4. ყელის ფარდობითი შევიწროება $\psi\% = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \cdot 100\%$.

დარტყმით სიბლანტის განსაზღვრისათვის ГОСТ 9454-78-ის მიხედვით გამოყენებული იქნა მენაჟეს ტიპის 5 x 10 x 55 მმ და 10 x 10 x 55 მმ ზომებიანი ნიმუშები U-ს მაგვარი 2 მმ-იანი ჩანაჭრით 300 ჯ ენერგიის მქონე ურნალზე. ნიმუშები დამზადებული იყო ნამზადების გაფრეზვით, ყოველი მხრიდან და შემდეგ ხდებოდა გაფრეზილი ზედაპირების გახეხვა. ჩანაჭერი უკეთდებოდა, ამ მიზნით სპეციალურად გადაღესილი და სათანადო ზომებზე დაყვანილი ფრეზის საშუალებით.

სტრუქტურული კვლევებისას მიკროსტრუქტურა გამოკვლეული იქნა მეტალოგრაფიული მიკროსკოპით Neophot-21. კვლევებისათვის განკუთვნილი ნიმუშები, წინასწარ ექვემდებარებოდა სპეციალურ მომზადებას. ხდებოდა მათი ამოჭრა შესაბამისი ნამზადიდან. საკვლევი ზედაპირი იხეხებოდა ზუმფარის ქაღალდზე. ხეხვას ვიწყებდით უხეში მარცვლოვანების მქონე ქაღალდიდან და ვამთავრებდით ნულოვანი ქაღალდით (ყოველი გადასვლის დროს იცვლებოდა ხეხვის მიმართულება 90°-ით). გახეხილ ზედაპირს ვაპრიალებდით მაუდგადაკრულ მბრუნავ დისკზე, რომელსაც წინასწარ ვაწვეთებდით ბენზინს და ვუსვამდით ქრომის ჟანგისაგან დამზადებულ სპეციალურ პასტას ("ГОИ").

ამგვარად მომზადებული საკვლევ ნიმუშს მთლიანად ვასუფთავებდით ბენზინით, ხოლო მის გაპრიალებულ ზედაპირს კი დამატებით ვწმენდდით სპირტში დასველებული ბამბის ტამპონით და მხოლოდ ამის შემდეგ ვწამლავდით აზოტმჟავის (HNO₃) 3-5%-იან სპირტხსნარში დასველებული ბამბის ტამპონით. ბოლოს კი ხეხის მოწამლულ ზედაპირს ვწმენდდით სპირტში დასველებული ბამბის ტამპონით.

საკვლევი ნიმუშების მიკროსტრუქტურების ყველა დამახასიათებელი თავისებურებათა სრული გამოვლენის მიზნით მიკროხეხვებს ვათვალისწინებდით და ციფრული ფოტოაპარატით ვიღებდით სურათებს სხვადასხვა – 100, 400, 800 და 2000 გადიდებაზე.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები:

1. შემუშავებულია $C08Cr1Ni5Si1Cu1MoVTi$ -ტიპის ფოლადი და მისგან მიღებული საგლინავი აგრეგატი „400“-ის გამჭოლი დგანების სტაბილურად მაღალმედეგი სამართულების წარმოების ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს სამართულების რეკორდულ მედეგობას – 1500-1700 მილს, რაც განაპირობა მტკიცე და მაღალ პლასტიკურმა გლობულარულმა ბეინიტმა (ე. წ. „სუპერ ბეინიტმა“) ზემოაღნიშნული ფოლადის სტრუქტურაში.
2. შემუშავებულ კომპოზიციას თან ახლავს მამოდიფიცირებელი და მიკრომალეგირებელი ელემენტების (ტიტანის, ვანადიუმის, მოლიბდენის და სხვა) მიკროდანამატები, ე. წ. „შლეიფები“ (მაგალითად $<Ti+N+V>$), რომელთა გავლენით სხვადასხვა პირობებში ადგილი აქვს „ახალი ფენომენის“ გამოვლენას: სიმტკიცის მაჩვენებლების მნიშვნელოვან ზრდას პლასტიკურობის გარკვეულ დონეზე შენარჩუნებით. ალბათ, წარმოქმნილი მეორადი ფაზები ძალზე დისპერსიულია და „გადალახვადი წინაღობები“ დისლოკაციებისათვის.
3. მილსაგლინავ აგრეგატ „400“-ზე მიღებული შედეგები პირდაპირ გადაიტანება აგრეგატ „140“-ზე, რა თქმა უნდა, პრეციზიული მეტალურგიის მეთოდების სრული გამოყენებით. განსხვავებული მხოლოდ აგრეგატ „140“-ის გამჭოლი დგანის სამართულების ფორმისა და გეომეტრიული ზომების მიღების ტექნოლოგია (კერძოდ: ისხმება საჭირო ზომებთან მიახლოებული სხმულები, რომლებიც საჭირო ფორმებამდე და გეომეტრიულ ზომებამდე დაიყვანება ჭედვა-შტამპვით, ბოლოს კი – ცივ მდგომარეობაში ჭრით დამუშავებით). მზა სამართულებს თერმული დამუშავება და ექსპერტიზა უტარდებათ აგრეგატ „400“-ის გამჭოლი დგანის სამართულების ანალოგიურად. სამართულების მოსალოდნელმა მედეგობამ 1500 მილს უნდა გა-

დააჭარბოს.

4. თუ გვაქვს გამიზნული კომპოზიცია „შლეიფით“ $<Ti+N+V>$ ან $<Ti+N+Nb>$ ან $<Ti+N+V, Nb>$ ან სხვა და ტექნოლოგიური პროცესი, რომელიც უნდა ითვალისწინებდეს, გარკვეული სახით, ლითონების წნევით დამუშავებას, მაშინ ასეთი დამუშავების შემდეგ სიმტკიცის მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად იზრდება, პლასტიკურობის მაჩვენებლების მაღალ დონეზე შენარჩუნებით. ეს შესასწავლი მოვლენა ჩვენი რედაქციით ცნობილია „ახალი ფენომენის“ სახელწოდებით, რომელიც ჯერ-ჯერობით გამოვლენილი და შესწავლილია:

4.1. მილნამზადების გაჭოლვის პროცესი ფოლადებზე 10XH3MΦT და 08XH5CΦMΦT;

4.2. სატუმბო-საკომპრესორო მილების გლინვა „140“-ზე ფოლადისაგან 40AΦT;

4.3. B500W-ს ტიპის შესადუღებელი ($C=0,22\%$; $CE=0,43\%$) არმატურის წარმოება თერმული დამუშავების გარეშე ცხლად გლინული ფოლადისაგან 18AΦT;

4.4. ინსტრუმენტის (სამართულები, სახაზავები) საწარმოებელი კომპოზიციები (გამჭოლი დგანების სამართულებისათვის – 08XH5CΦMΦT, ავტომატური დგანის სამართულებისათვის – 17X5H4CΦMΦT, შემომგლინავი დგანების სამართულებისათვის – 350C1Ю2ДH5MΦT, გამჭოლი და შემომგლინავი დგანების სახაზავებისათვის – 110X28ДH5MΦT) შეიცავს „შლეიფს“ და აქვს სამივე კომპონენტი.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე:

1. შემუშავებულია C08Cr1Ni5Si1Cu1MoVTi-ტიპის ფოლადი და მისგან მილ-საგლინავი აგრეგატი „400“-ის გამჭოლი დგანების სტაბილურად მაღალმედვი სამართულების წარმოების ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს სამართულების რეკორდულ მედეგობას – 1500-1700 მილს,
2. გამოკვლეულია C08Cr1Ni5Si1Cu1MoVTi-ტიპის ფოლადის სტრუქტურა და თვისებები და დადგენილია, რომ თვისებების გაუმჯობესება დაკავშირ-

რებულია ამ ფოლადის სტრუქტურაში მტკიცე და მაღალპლასტიკური გლობულარული ბეინიტის (ე. წ. „სუპერ ბეინიტის“) წარმოქმნით.

3. შემუშავებულ კომპოზიციას თან ახლავს მამოდიფიცირებელი და მიკრო-მალეგირებელი ელემენტების (ტიტანის, ვანადიუმის, მოლიბდენის და სხვა) მიკროდანამატები, ე. წ. „შლეიფები“ (მაგალითად $<Ti+N+V>$), რომელთა გავლენით სხვადასხვა პირობებში ადგილი აქვს „ახალი ფენომენის“ გამოვლენას: სიმტკიცის მაჩვენებლების მნიშვნელოვან ზრდას პლასტიკურობის გარკვეულ დონეზე შენარჩუნებით, რისი მიზეზიც უნდა იყოს წარმოქმნილი ძალზე დისპერსიული მეორეული ფაზები – დისლოკაციებისათვის „გადალახვადი წინაღობები“.

4. დადგენილია, რომ მილსაგლინავ აგრეგატ „400“-ზე მიღებული შედეგები პირდაპირ გადაიტანება აგრეგატ „140“-ზე, რა თქმა უნდა, პრეციზიული მეტალურგიის მეთოდების სრული გამოყენებით. განსხვავებული მხოლოდ აგრეგატ „140“-ის გამჭოლი დგანის სამართულების ფორმისა და გეომეტრიული ზომების მიღების ტექნოლოგია (კერძოდ: ისხმება საჭირო ზომებთან მიახლოებული სხმულები, რომლებიც საჭირო ფორმებამდე და გეომეტრიულ ზომებამდე დაიყვანება ჭედვა-შტამპვით, ბოლოს კი – ცივ მდგომარეობაში ჭრით დამუშავებით). მზა სამართულებს თერმული დამუშავება და ექსპერტიზა უტარდებათ აგრეგატ „400“-ის გამჭოლი დგანის სამართულების ანალოგიურად. სამართულების მოსალოდნელმა მედეგობამ 1500 მილს უნდა გადააჭარბოს.

5. სასამართულე და სამილე ფოლადების გარდა „ახალი ფენომენი“ გამოვლენილია $C_{0,18}NMnVTi$ -ტიპის ფოლადისაგან არმატურის გლინვისას სორტსაგლინავ დგანზე.

6. რეკომენდებულია $C_{0,08}Cr_{1}Ni_{5}Si_{1}Cu_{1}MoVTi$ -ტიპის ფოლადის გამოყენება საჯავშნე მასალად.

ზემოთ აღნიშნულზე დაყრდნობით **დაცვაზე გამოგვაქვს სამი ძირითადი დებულება:**

1. ქართული პატენტით იქნება დაცული ნაშრომში გამოყენებული, გამიზ-

ნულად შემუშავებული კომპოზიცია 08XH5CДMΦT. არ არის გამორიცხული ასევე გვექნეს ქართული პატენტი მასალის თერმულ დამუშავებაზე, რომელიც არსებული დაკომპაქტებული მოწვისაგან განსხვავდება იმით, რომ საჰომოგენიზაციო მოწვას მოჰყვება სამართულების გარანტირებული შეცივება $\sim 500^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურამდე (რასაც იმპულსით უზრუნველყოფს სამართულში ჩამონტაჟებული თერმულ-ელექტრული პირომეტრის „ცხელი ბოლო“) $\gamma \rightarrow \alpha$ გარდაქმნის ჩასატარებლად, შემდგომი გახურება 920°C -ზე 40 წუთის დაყოვნებით და გაცივება ჰაერის აქტიური ნაკადით. აღნიშნული უზრუნველყოფს გლობულარული ბეინიტის გარანტირებულ მიღებას სამართულების ზედაპირულ შრეებში მხურვალმდეგი შრის ქვეშ.

2. სამართულების მინიმალური მედეგობა მილსაგლინავ აგრეგატზე „400“ იქნება $n_2 \geq 1000$ მილზე, რაც საწარმოს მისცემს საშუალებას იყოს ინსტრუმენტის ექსპორტიორი!
3. გლობულარული ბეინიტის ანუ ე. წ. „სუპერ ბეინიტის“ გამოყენება ახალ ამპლუაში – საჯავშნე მასალად სასტარტო მონაცემებით: საშუალო დონის სიმტკიცე მაღალ პლასტიკურობასა და სიბლანტესთან ერთად, რომელთაც გააუმჯობესებს პერფორაციები.

შედეგების გამოყენების სფერო: მასალათმცოდნეობა და მეტალურგია, მათ შორის, მილსაგლინავი აგრეგატების „400“-ისა და „140“-ის გამჭოლი დგანების სტაბილურად მაღალმედეგი სამართულების წარმოება.

ეს სიახლე აპრობირებულია შპს „რუსთავის ფოლადში“.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურის შესახებ: დისერტაცია წარმოდგენილია 105 გვერდზე, შეიცავს 7 ცხრილს, 41 სურათს, გამოყენებული ლიტერატურის 74 დასახელებისგან შედგენილ ნუსხას, შედგება შესავლის, სამი თავის (1. ლიტერატურის მიმოხილვა; 2. შედეგები და მათი განსჯა; 3. კვლევაში გამოყენებული მეთოდები) და დასკვნისაგან.

დისერტაციის სტრუქტურას ქმნის ერთმანეთის თანმიმდევრულად განლაგებული ტიტულის გვერდი – თავფურცელი, ხელმოწერების გვერდი

– დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში დისერტაციის განხილვის რეკომენდაცია, საავტორო უფლების გვერდი, რეზიუმე ქართულ ენაზე, რეზიუმე ინგლისურ ენაზე, შინაარსი, ცხრილების ნუსხა, ნახაზების ნუსხა, შესავლის, ლიტერატურის მიმოხილვის, შედეგებისა და მათი განსჯის, კვლევაში გამოყენებული მეთოდებისა და დასკვნისაგან შედგენილი ძირითადი ტექსტი და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა.

პუბლიკაციები: სადისერტაციო თემაზე გამოქვეყნებულია 5 სტატია, და საერთაშორისო კონფერენციების 3 თეზისი.

დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით

პირველი თავი მოიცავს ლიტერატურის მიმოხილვას. აქ მიმოხილულია უნაკერო მილების წარმოებისას (მათ შორის, შპს „რუსთავის ფოლადში“ აგრეგატზე „400“) მილნამზადის განდრეუბისა და მასრის მიღებისათვის საჭირო განივ-ხრახნული გლინვის გამჭოლი დგანის სამართულები და გამოყენებული მასალა. სამართულის მუშაობის პირობებისა და არსებული ლიტერატურული მონაცემების გათვალისწინებით დასმული იქნა ფოლადის ორიგინალური ქიმიური შედგენილობისა და მისი თერმული დამუშავების რაციონალური რეჟიმების შემუშავების ამოცანა.

ამავე თავში მიმოხილულია ბეინიტური გარდაქმნის კინეტიკა და მექანიზმი და დადგენილია, რომ ჯერ კიდევ არ არის გამოვლენილი, შესწავლილი და, მით უმეტეს, ამოწურული აღნიშნული მასალის თვისებების შემდგომი გაუმჯობესების ყველა შესაძლებლობა და ამის გათვალისწინებით დასახულია შემდგომი კვლევის მიზანი ფოლადის უკეთესი ქიმიური შედგენილობის შერჩევა. ამისათვის საბაზოდ აღებულია ბეინიტური ფოლადი 10XH3MΦT (რომლითაც ადრე 12XH3A მარკის ფოლადი იქნა შეცვლილი) და მისი თერმული დამუშავების მოდერნიზებული რეჟიმი (დაკომპაქტებული ორმაგი მოწვა, რომლითაც ადრინდელი ერთმაგი მოწვა იქნა ჩანაცვლებული).

მეორე თავი მოიცავს შედეგებსა და მათ განსჯას. ამ თავში განხილულია ბეინიტური კლასის ფოლადის სამართულების მედეგობის გაუმჯობესების პროგნოზირება ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული თერმოციკლირების შედეგების ანალიზის შემდეგ. ამ მეთოდის გამოყენებით შეიძლება შესწავლილი იქნეს:

- 1) მყარი ხსნარის მდგომარეობა, მისი გაჯერებულობა (განსაკუთრებით ეფექტურია ნახშირბადის შემცველობისას $C \leq 0,10\%$).
- 2) ნიშანცვლადი, თერმოციკლური და სხვა, აღნიშნულის მაგვარი დატვირთვებისას, ლითონის დეგრადაციის დაწყების დადგენა – ნგრევის (რღვევის) დაწყების ჩათვლით;
- 3) აუსტენიტის დაშლის ახალი ტიპის კინეტიკური დიაგრამების (იზო, ანიზო ჩვეულებრივი და ცხელი პლასტიკური დეფორმაციის გავლენით) აგება და სხვ.

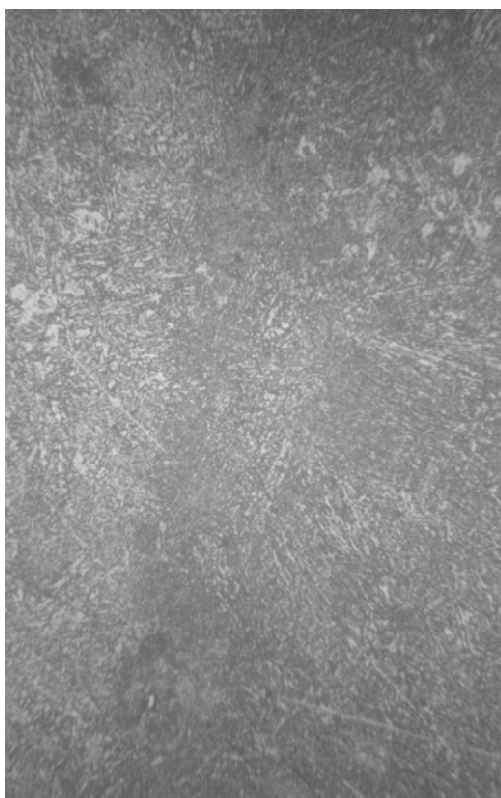
შემჩნეულია, რომ ციკლთა რიცხვის გაზრდით ფუძის სისაღე კლებულობდა (1000 ციკლის შემდეგ ფერიტის მიკროსისაღე 1300 ნ/მმ^2 -დან შემცირდა 900 ნ/მმ^2 -მდე). ამ პროცესს თან ახლდა მანამდე უცნობი განმტკიცების პროცესი (ჩვენი რედაქციით: „დისპერსიული განმტკიცების პროცესი“!). დღეს წარმოებაში ჩაშვებულია 10XH3MΦT-ტიპის ფოლადის ბაზაზე შექმნილი 08XH5CДMΦT ტიპის კომპოზიცია მრავალი სიახლით, მათ შორის „შლეიფით“ $\langle \text{Ti+N+V} \rangle$ და „ახალი ფენომენით“ გლობულარულ ბეინიტში.

ამავე თავშია განხილული ფოლადის მიღებისა და დამუშავების ტექნოლოგია, რომელიც ითვალისწინებს $\langle \text{Ti+N+V} \rangle$ „შლეიფის“ და „ახალი ფენომენის“ გამოყენებას სამართულების მედეგობის გასაუმჯობესებლად. ამისათვის ატომური აზოტის საჭირო რაოდენობა ($N=0,007-0,014\%$) მიიღება სპონტანურად, ლითონის დნობისას ელექტრორკალურ ღუმელში (ამოცანა მარტივდება, როცა გამოყენებულია დუპლექს-პროცესი ელექტრორკალური ღუმელი+ციცხვ-ღუმელი). გარდა ამისა, შესაძლებელია აგრეთვე სასურველი შედგენილობის კომპოზიცია გამოდნობილი იქნეს ინდუქციურ ღუმელებში აზოტის შემცველი შენადნობების გამოყენებით, მაგალითად: Fe+Si+N .

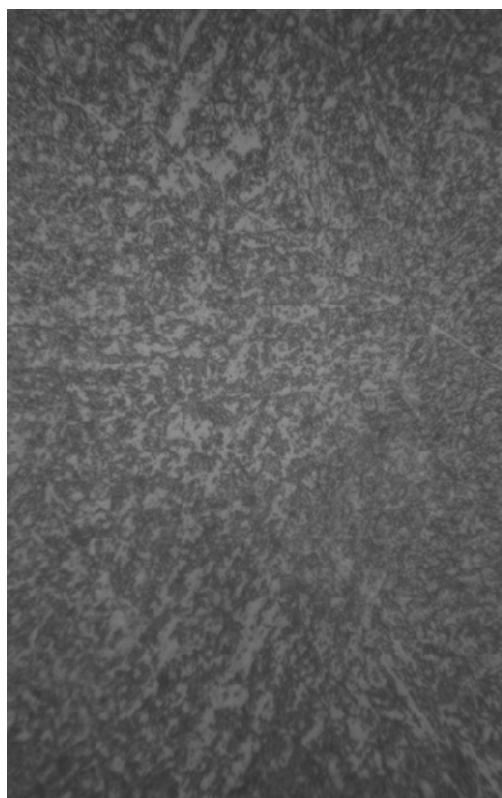
ვფიქრობთ, „ახალ ფენომენს“, მის სრულ „გახსნას“ ბევრის გაკეთება შეუძლია ამ მიმართულებით. ახალ ფენომენამდე ყველა შედეგი (ყველა გაუმჯობესება) შესწავლილი იყო დეტალურად და ახლა ჯერი ამ პრობლემის შესწავლაზეა. არსებულ მონაცემებზე დაყრდნობით, საქმე გვაქვს კლასიკური ენით და ჩვენი რედაქციით „დისპერსიულ განმტკიცებასთან“. სიმტკიცის ზრდა პლასტიკურობის მაღალ დონეზე შენარჩუნებით გვკარნახობს, რომ კოჰერენტული ან ჩვეულებრივი მეორეული ფაზები ძალზე დისპერსიულია, ნანოკრისტალების თანაზომადია.

სამართულებისათვის ფოლადის შერჩევისას საკვლევ მასალად გამოყენებული იყო 08XH5CДMΦT ტიპის კომპოზიცია, რომლის ფუმეს წარმოადგენდა ფოლადი 10XH3MΦT ასეთი კორექციით: ნახშირბადი უნდა ყოფილიყო კომპოზიციის ქვედა დონეზე, ხოლო მალეგირებელი ელემენტები – ზედა დონეზე. ფოლადში მალეგირებელ ელემენტებად ბეინიტური გარდაქმნის მოწესრიგებისთვის შეტანილ იქნა 0,50-1,2 % სილიციუმი და, მრავალი დანიშნულებით – 0,8-1,2 % სპილენძი. ამ კომპოზიციაში სპილენძი შეტანილ იქნა ბეინიტური გარდაქმნისათვის მეტად საჭირო ელემენტის – მოლიბდენის უარყოფითი გავლენის გასაწეიტრალეზად. ის აძლიერებს ნიკელის დადებით გავლენას და მოლიბდენის მსგავსად მონაწილეობს ე. წ. „ხვერდოვანი შრის“ ჩამოყალიბებაში. მისი სუბოქსიდები აქტიურად მონაწილეობს გაჭოლვის პროცესებში და სხვა.

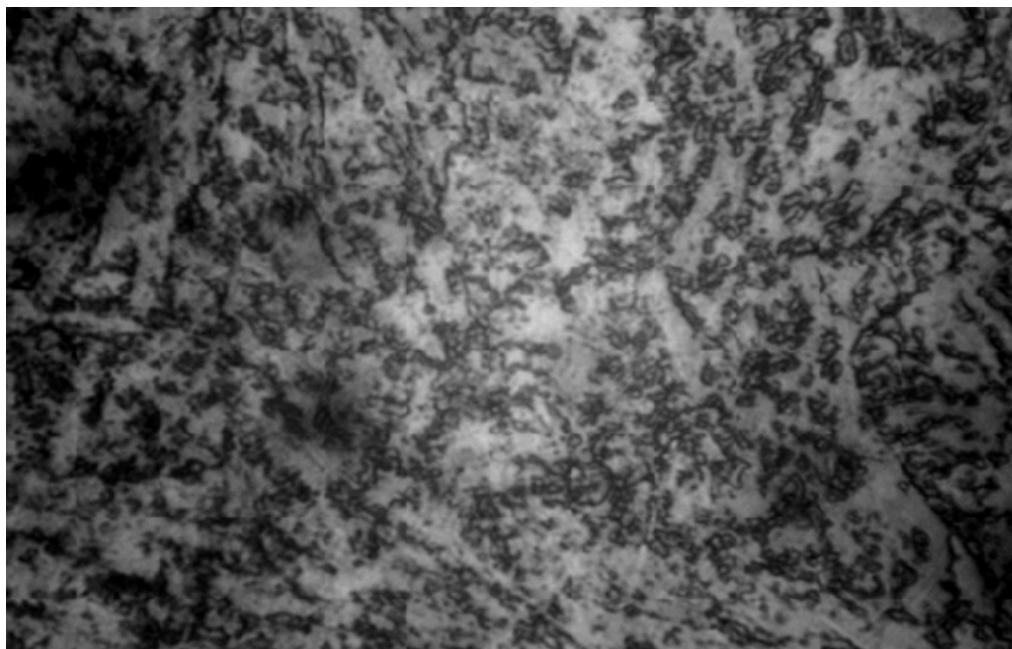
საკვლევმა ობიექტმა – ბეინიტური კლასის დაბალნახშირბადიანმა 08XH5CДMΦT ტიპის ფოლადმა გაუმჯობესების სერიოზული საქარხნო გზა (12XH3A→10XH3MΦT→08XH5CДMΦT→...) გაიარა, რის შედეგადაც მილსაგლინი „აგრეგატი 400“-ის გამჭოლ დგანებზე მუშაობისას მისგან დამზადებული სამართულების მედეგობა რეკორდული (1000, 1500, 1700 მილი) აღმოჩნდა, რაც უახლოვდება 2000 მილს. ეს კომპოზიცია 08XH5CДMΦT გადაეცა წარმოებას, მისი რეკორდული მედეგობა, ჯერ-ჯერობით 1700 მილია. ამ ფოლადზე ჩატარებული კვლევების შედეგები წარმოდგენილია სურათებზე 1-3 და ცხრილში 1.



ა) x 100

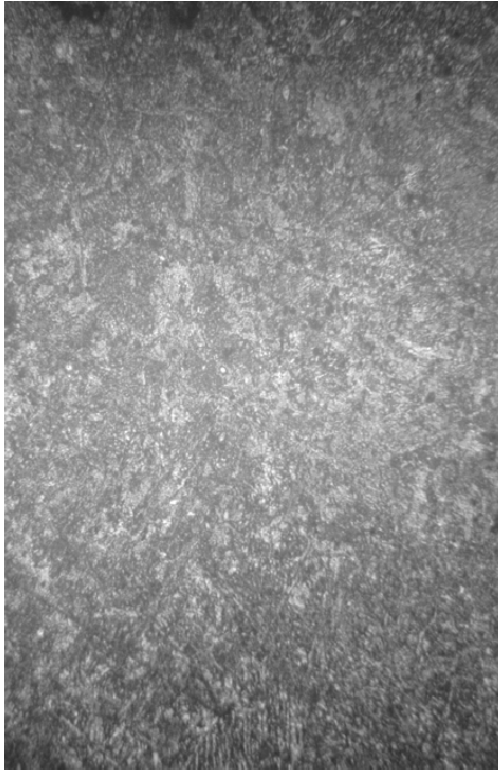


ბ) x 400

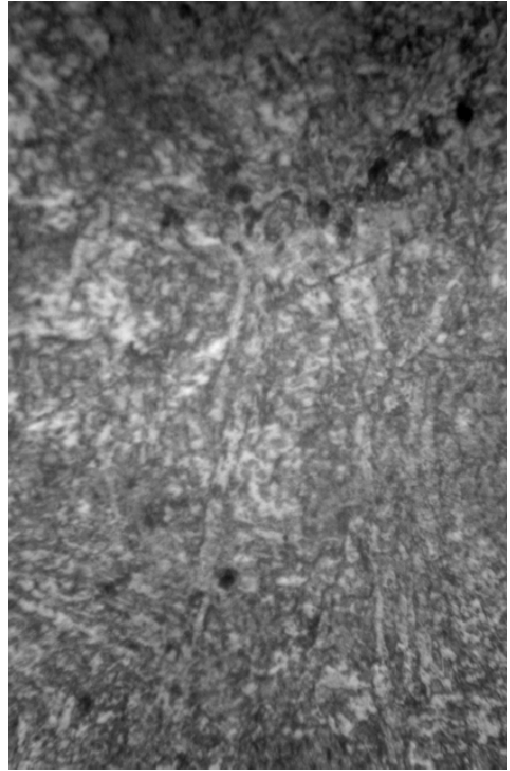


გ) x 800

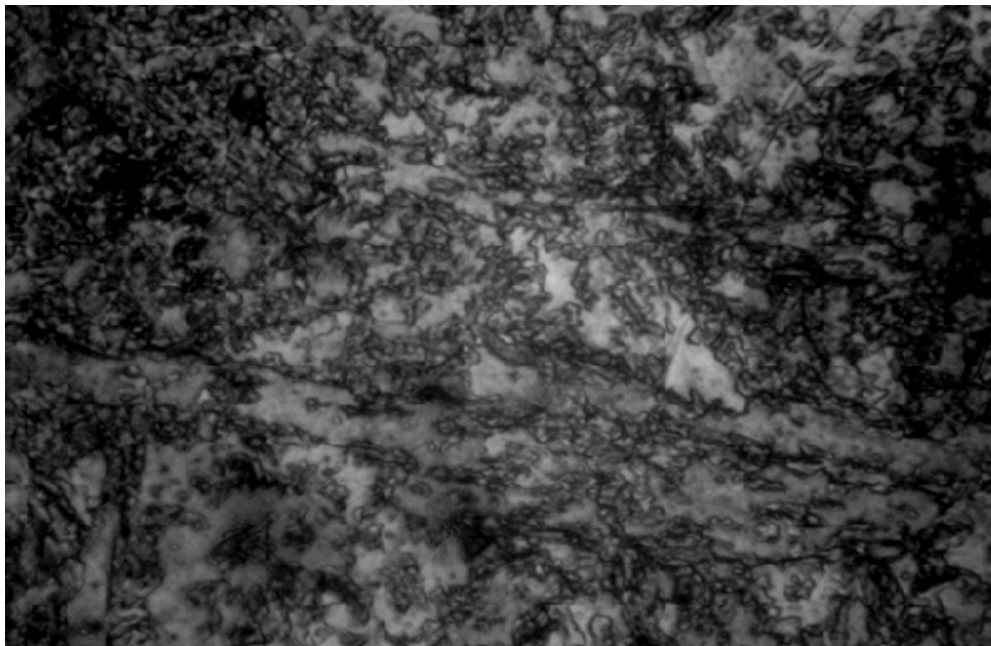
სურათი 1. ფოლადი 08XH4C/DMΦT, გამჭოლი დგანის სამართული, დნ. №133.



ა) x 100

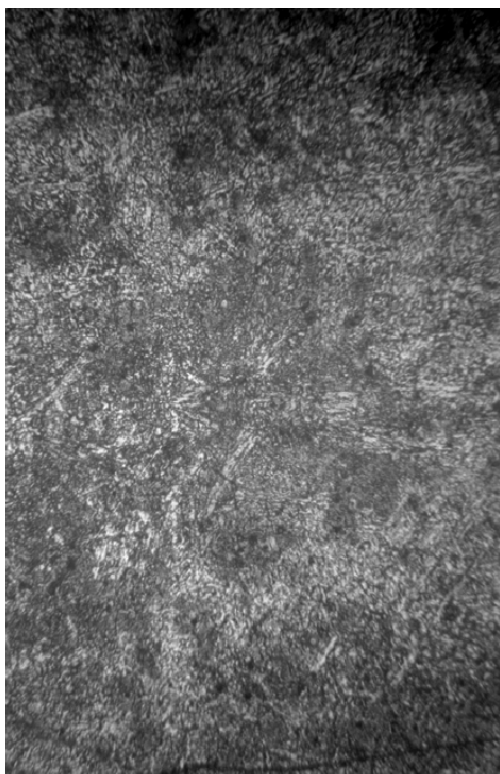


ბ) x 400

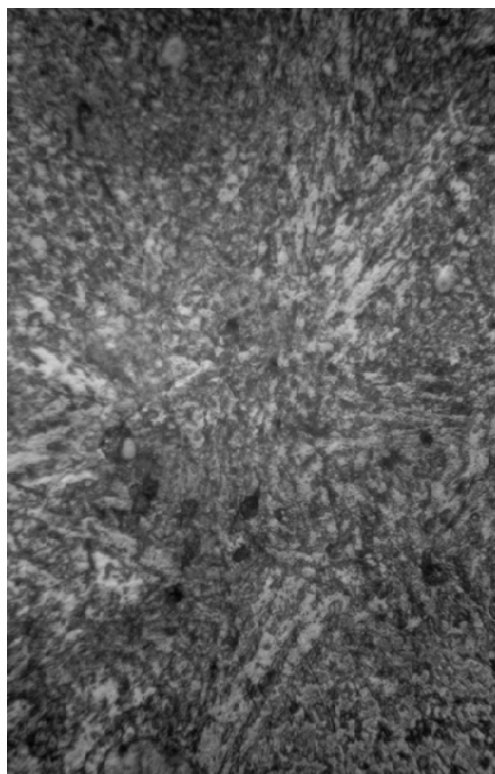


გ) x 800

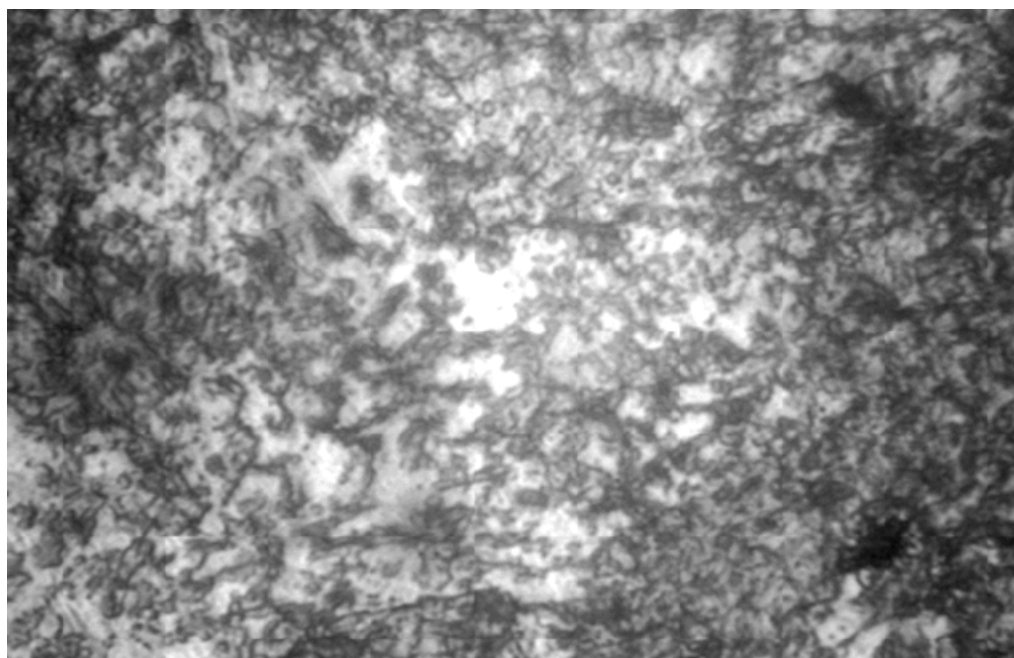
სურათი 2. ფოლადი 08XH4C/DMΦT, გამჭოლი დეგანის სამართული, დნ. №673.



ა) x 100



ბ) x 400



გ) x 800

სურათი 3. ფოლადი 08XН4СДМФТ, გამჭოლი დგანის სამართული, დნ. №1016.

ცხრილი 1. 08XH5CДMΦT ფოლადის მექანიკურ თვისებათა მაჩვენებლები A₁-ის ქვემოთ 10-დან 2200 ციკლის ფარგლებში თერმოციკლირების შემდეგ

ციკლთა რიცხვი, n	10	500	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
დენადობის ზღვარი, ნ/მმ ²	250	500	900	1050	1150	2000	2250	2400	2000
ფარდობითი წაგრძელება, %	35	33	31	30	28	27	26	24	16

მესამე თავი ეხება კვლევაში გამოყენებულ მეთოდებს, კერძოდ, – საკვლევ მასალას, მის თერმულ დამუშავებას და კვლევის მეთოდიკას, რაც მოიცავს მექანიკური გამოცდების – გაჭიმვაზე სტატიკური გამოცდების, დარტყმითი სიბლანტის განსაზღვრის და მიკროსტრუქტურული კვლევის მეთოდიკებს.

საკვლევ მასალად გამოყენებული იყო 08XH5CДMΦT ტიპის შემუშავებული კომპოზიცია, რომლის ფუძეს წარმოადგენდა ფოლადი 10XH3MΦT ასეთი კორექციით: ნახშირბადი უნდა ყოფილიყო კომპოზიციის ქვედა დონეზე, ხოლო მალეგირებელი ელემენტები – ზედა დონეზე. ფოლადში მალეგირებელ ელემენტებად ბენიიტური გარდაქმნის მოწესრიგე ბისტოვის შეტანილ იქნა 0,50-1,2 % სილიციუმი და, მრავალი დანიშნულებით – 0,8-1,2 % სპილენძი.

საწარმოო დნობებიდან ნიმუშები აღებული იქნა მხოლოდ დნობის პროცესის სრული ციკლის გავლის შემდეგ, რომლებიც ჩამოსხა ცილინდრული ფორმის მილებში გაცივების მაღალი სიჩქარით დასაკრისტალბლად და მიწის ყალიბებში დაბალი სიჩქარით გაცივებისთვის.

ხდებოდა ჩამოსხმული ნიმუშების ზედაპირის გასუფთავება, მექანიკური დამუშავება და შემდეგ – თერმული დამუშავება ჩვენ მიერ შემუშავებული ე. წ. „დაკომპაქტებული ორმაგი მოწვის“, რეჟიმის მიხედვით. მოწვა ტარდებოდა გახურებით $t=A_{C3}+100\div150^{\circ}C$ ტემპერატურაზე სამი საათის განმავლობაში, შემდეგ ხდებოდა შეცივება ლუმელთან ერთად Ar_1 ტემპერატურის ქვემოთ და ნორმალიზაცია $t=A_{C3}+50\div70^{\circ}C$ ტემპერატურიდან, ერთი საათის განმავლობაში. ასეთი თერმული დამუშავება აუმჯობესებს სტრუქტურას, და რაც მთავარია, სამართულის ზედაპირზე წარმოქმნის ე. წ. „ხავერდოვან ზედაპირულ შრეს“, რომელსაც გარკვეულ სიღრმეზე მოჰყვება სტრუქტურული შრე – გლობულარული ბენიტი,

ორივე შრის არსებობა და მათი შენარჩუნება ცალსახადაა უზრუნველყოფილი, ფუძის შედგენილობითა და დამუშავების ხერხის ერთობლივი ეფექტით. საკვლევ შენადნობში დამატებით სპილენძისა და მოლიბდენის შემოტანამ სხვა დანამატებთან ერთად (V, Ti, Al, N), გააუმჯობესა „ხვერდოვანი ზედაპირული შრის“ მიღებისა და მედეგობის პირობები, რაც საბოლოო ჯამში ემსახურება გამჭოლი დგანების სამართულის მედეგობის გაზრდას.

უნდა აღინიშნოს, რომ დღეს „ხვერდოვანი ზედაპირული შრის“ წარმოქმნის პროცესი საფუძვლიანადაა შესწავლილი. აქვეა აღსანიშნავი, რომ ე. გუდრემონის პოზიცია თითქმის უცვლელ დარჩა (რკინა-ნიკელის შენადნობების, Ni=2-4%, მაღალ ტემპერატურაზე ჟანგვის დროს რკინა იმყოფება მყარ ხსნარში, რომელიც უპირატესად იჟანგება. მის ადგილს, ხენჯის ქვემოთ, იკავებს ნიკელი. გარკვეული დროის შემდეგ ზედაპირზე წარმოიქმნება თითქმის სუფთა ნიკელის შრე, ხოლო ჟანგვითი პროცესი გრძელდება ლითონის შიგნით. სწორედ ეს შრე წარმოადგენს სამართულების მედეგობის გაზრდის უმთავრეს ფაქტორს.

ლაბორატორიულ პირობებში ნიმუშების გახურება თერმული დამუშავებისათვის (ნორმალიზაციისა და მოწვისათვის) წარმოებდა ნიქრომიან და სილიტის მახურებლიან მუფელის ღუმელებში, რომელთა სამუშაო სივრცის ტემპერატურის გასაზომად ვიყენებდით ПП-63 ტიპის პოტენციომეტრთან მიერთებულ ქრომელ-ალუმელის თერმოწყვილს.

ჩამოსხმული საკვლევი მასალა და კვლევისათვის განკუთვნილი მზა სამართული იჭრებოდა ნამზადებად. მათგან ჩარხვით ან ფრეზვით და ხეხვით მზადდებოდა სტანდარტული ზომებისა და ფორმების მქონე საკვლევი ნიმუშები და ხორციელდებოდა მათი შემდგომი კვლევა – გამოცდები გაჭიმვასა და დარტყმით სიბლანტეზე და მიკროსტრუქტურის კვლევა.

ინფორმაცია ნაშრომის აპრობაციის შესახებ

ნაშრომის მასალები მოხსენებული იქნა:

1. საერთაშორისო კონფერენციაზე „ინოვაციური ტექნოლოგიები მეტალურგიასა და მასალათმცოდნეობაში“ 2015 წლის 16-18 ივლისს თბილისში. (In-

ternational Conference "Innovative Technologies in Metallurgy and Materials Science" ITMMS-2015. July 16-18, 2015, Tbilisi, Georgia. Georgian Technical University, Georgian Foundrymen and Materials Scientists Society. Tbilisi, Georgia, 2015, pp. 65-67. V. kopaleishvili, N. Mumladze, Z. Tabatadze, M. Tabagari, O. Barbakadze, R. Bakradze. Production of hot rolled weldable unified rebar B500W without heat treatment).

2. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების სექციაში. მაღალმედეგი, გამჭოლი დგანების სამართულების საწარმოებლად განკუთვნილი, დაბალნახშირბადიანი ბეინიტური კლასის, 08XH4C $\overline{D}$ M $\overline{P}$ T-ტიპის ფოლადის ყოველმხრივი შესწავლა, მისი გამოყენების სფეროს გაზრდის მიზნით (ხელმძღვანელი – ვ. კოპალეიშვილი). საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 84-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის თეზისების კრებული. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2017. გვ. 163.
3. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 85-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების სექციაში. მილსაგლინავი აგრეგატების „400“ და „140“ გამჭოლი დგანების სამართულების წარმოება ბეინიტური კლასის დაბალნახშირბადიანი 08XH5C $\overline{D}$ M $\overline{P}$ T-ტიპის ფოლადისაგან (ხელმძღვანელი – ვ. კოპალეიშვილი).

დასკვნა

1. მილსაგლინავი აგრეგატი „400“-ის გამჭოლი დგანების სტაბილურად მაღალმედვეგი ($n \geq 1000$ მილზე) სამართულების დასამზადებლად აუცილებელია მათი წარმოების ტექნოლოგიური პროცესები (დაყალიბების, გამოდნობის, თერმული დამუშავების, მზა პროდუქციის ექსპერტიზის) სისტემატურად ტარდებოდეს პრეციზიული მეტალურგიის მეთოდების გამოყენებით. დღეს რეკორდული მედეგობა 1500-1700 მილს უტოლდება!
2. მილსაგლინავ აგრეგატ „400“-ზე მიღებული შედეგები პირდაპირ გადაიტანება აგრეგატ „140“-ზე, რა თქმა უნდა, პრეციზიული მეტალურგიის მეთოდების სრული გამოყენებით. განსხვავებული მხოლოდ აგრეგატ „140“-ის გამჭოლი დგანის სამართულების ფორმისა და გეომეტრიული ზომების მიღების ტექნოლოგია (კერძოდ: ისხმება საჭირო ზომებთან მიახლოებული სხმულები, რომლებიც საჭირო ფორმებამდე და გეომეტრიულ ზომებამდე დაიყვანება ჭედვა-შტამპვით, ბოლოს კი – ცივ მდგომარეობაში ჭრით დამუშავებით). მზა სამართულებს თერმული დამუშავება და ექსპერტიზა უტარდებათ აგრეგატ „400“-ის გამჭოლი დგანის სამართულების ანალოგიურად. ჩვენი გათვლებით (ტექნოლოგიის სრული ათვისების შემდეგ), სამართულების მედეგობამ 1500 მილს უნდა გადააჭარბოს.
3. შემუშავებულია მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა ტექნიკური შეფერხებების გარეშე გავაგრძელოთ მუშაობა ფოლად 08XH5CДMΦT-ზე. ჩამოვასხათ საჭირო რაოდენობით 100 მმ ზომის კვადრატული ნამზადი, დავადგინოთ საკონსტრუქციო სიმტკიცე, ხოლო დადებითი შედეგების მიღების შემდეგ გავაგრძელოთ მუშაობა სლაბების ჩამოსასხმელი კრისტალიზატორის შესაძენ-შესაქმნელად და საჭირო ფურცლების მისაღები გზების მოსაძიებლად.
4. დასაბუთებულია, რომ არგონის გამოყენება ტექნიკურად და ტექნოლოგიურად აზრს კარგავს, ვინაიდან იგივეს შეასრულებს აზოტი (რაც ჩვენს ანგარიშში მოგვცემს +100 ლარს). ორ ელექტრორკალურ ღუმელში წარმოქმნილი ატომური აზოტი გადაყვანილი იქნება TiN-ში. ეს კი სხვა წარმოქ-

მნილ ქიმიურ ნაერთებთან (TiN, AlN, VC, VN, TiC და სხვა) ერთად მიიღებს აქტიურ მონაწილეობას სტრუქტურათა ჩამოყალიბებაში, რაც „ახალი ფენომენის“ საფუძველია.

5. არსებული ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის შედეგები გვაძლევს საშუალებას, სადისერტაციო თემატიკის წარმატებით შესრულებისას, პრეტენზია გვქონდეს დასაცავად გამოსატან შემდეგ სამ განზოგადებულ დებულებაზე:

5.1. ქართული პატენტით იქნება დაცული ნაშრომში გამოყენებული, გამოიზნულად შემუშავებული კომპოზიცია $C08Cr1Ni5Si1Cu1MoVTi$. არ არის გამორიცხული ასევე გვექნეს ქართული პატენტი მასალის თერმულ დამუშავებაზე, რომელიც არსებული დაკომპაქტებული მოწვისაგან განსხვავდება იმით, რომ საპრომოგენიზაციო მოწვას მოჰყვება სამართულების გარანტირებული შეცივება $\sim 500^{\circ}C$ ტემპერატურამდე (რასაც იმპულსით უზრუნველყოფს სამართულში ჩამონტაჟებული თერმულ-ელექტრული პირომეტრის „ცხელი ბოლო“) $\gamma \rightarrow \alpha$ გარდაქმნის ჩასატარებლად, შემდგომი გახურება $920^{\circ}C$ -ზე 40 წუთის დაყოვნებით და გაცივება ჰაერის აქტიური ნაკადით. აღნიშნული უზრუნველყოფს გლობულარული ბეინიტის გარანტირებულ მიღებას სამართულების ზედპირულ შრეებში მხურვალმედეგი შრის ქვეშ.

5.2. სამართულების მინიმალური მედეგობა მილსაგლინავ აგრეგატზე „400“ იქნება $n_2 \geq 1000$ მილზე, რაც საწარმოს მისცემს საშუალებას იყოს ინსტრუმენტის ექსპორტიორი!

5.3. გლობულარული ბეინიტის ანუ ე. წ. „სუპერ ბეინიტის“ გამოყენება ახალ ამპლუაში – საჯავშნე მასალად. სასტარტო მონაცემებით: საშუალო დონის სიმტკიცე მაღალ პლასტიკურობასა და სიბლანტესთან ერთად, რომელთაც გააუმჯობესებს პერფორაციები.

**დისერტაციის ძირითადი შინაარსი
წარმოდგენილია შემდეგ შრომებში**

1. ვ. კოპალეიშვილი, ნ. მუმლაძე, ზ. ტაბატაძე, მ. თაბაგარი, ო. ბარბაქაძე. „ახალი ფენომენის“ გამოყენება B500W ტიპის არმატურის საწარმოებლად. გამომცემლობა „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“, „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“ 2013 წ. №3(28) გვ. 14-38.
2. ვ. კოპალეიშვილი, ნ. მუმლაძე, ზ. ტაბატაძე, მ. თაბაგარი, ო. ბარბაქაძე, რ. ბაქრაძე. არმატურის გლინვა ახალი სქემების გამოყენებით XIII-XIV გა-ლებიდან, მისი ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით შ.პ.ს. „რუსთავის ფო-ლადის“ პირობებში. გამომცემლობა „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებ-ლობა“, „ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა“, 2015 წ. №2(33), გვ. 23-49.
3. ვ. კოპალეიშვილი, ნ. მუმლაძე, ზ. ტაბატაძე, მ. თაბაგარი, ო. ბარბაქაძე, რ. ბაქრაძე. უალუმინოდ, მხოლოდ <Si+Mn>-ით არასრულად განჟანგული, სელექტირებული ფოლადი 3 მმ-ის სრულად განჟანგვის ხერხი, განკუთ-ვნილი $\square 100$ მმ-ის ჩამოსასხმელად უ.ჩ.დ.-ზე. საქართველოს ნავთობი და გაზი, 2015 წ. №31, გვ. 114-125.
4. ვ. კოპალეიშვილი, ნ. მუმლაძე, ზ. ტაბატაძე, მ. თაბაგარი, ი. ქაშაკაშვილი, ო. ბარბაქაძე, რ. ბაქრაძე. შესადუღებელი ($C \leq 0,22\%$; $CE \leq 0,433\%$), უნიფიცი-რებული არმატურის B500W-ს წარმოება დენადობის ზღვრით $\sigma_d \geq 500$ ნ/მმ² ცხლადგლინულ მდგომარეობაში, თერმული დამუშავების გარეშე. საქარ-თველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. თბილისი: საგამომცემ-ლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2016. №1(499). გვ. 159-173.
5. ვ. კოპალეიშვილი, მ. თაბაგარი, ი. ქაშაკაშვილი, ო. ბარბაქაძე. გამჭოლი დგანების მაღალმედეგი სამართულების საწარმოებლად განკუთვნილი დაბალნახშირბადიანი ბეინიტური კლასის 08XH4C Φ M Φ T ტიპის ფოლა-დის ყოველმხრივი შესწავლა მისი გამოყენების სფეროს გაზრდის მიზ-ნით. მეცნიერება და ტექნოლოგიები. თბილისი: საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2016. №3(723). გვ. 80-90.

Abstract

C08Cr1Ni5Si1Cu1MoVTi-type steel composition and its technology for producing highly resistant piercing mill mandrels for the aggregate "400" are elaborated, which is result of strength and high plasticity of globular bainite ("super bainite") in the above-mentioned steel structure.

The elaborated composition is accompanied by the micro-additives of the modifying and micro-alloying elements (titanium, vanadium, molybdenum, etc.) which underlie the "new phenomenon" in different conditions: maintaining a significant increase in strength indices at a certain level of plasticity. Perhaps the generated secondary phases are very disturbing, which are not "impassable barriers" for dislocations.

The results obtained in the pipe producing aggregate "400" are directly transmitted to the aggregate "140", of course, using full of precision metallurgy methods. Different is only technology of piercing mill mandrels from obtaining for aggregate "140" (namely: castings are pouring the closer to the required measures, which will be reduced to necessary geometrical sizes by forging-forming and final machining in the cold condition). Thermal treatment and expertise is same as for piercing mill mandrels of the aggregate "400". The expected resistance of mandrels must exceed 1500 miles.

The "new phenomenon" is revealed: during exploitation of piercing mill mandrels, during rolling of round billets from C0,40NMnVTi steel on the pipe producing aggregate "140", during rolling of rebars from C0,18NMnVTi steel on the section rolling mill.

The illustrations show that the existence of "slip" is accompanied by a "new phenomenon". Because of this, in the study stage, we have developed all the other alloys designed to produce the tools of pipes.

The preliminary results obtained on the C0,18NMnVTi steel are presented in the given work. Their analysis allows us to use the ISO requirements to manufacture B500W-type, uniform, welding bars in the hot rolled condition without heat treatment. The results obtained after thermal treatment of this steel are also important.

Today, under the "Rustavi Steel" LLC, realized steel 3kl is reinforced by rapid cooling. At this time, the indicators of strength are increasing at the expense of a certain level of plasticity characteristics. The upper level of carbon ($C \leq 0,22\%$) and the permissible level of carbon equivalents ($CE 0,043\%$) were considered to be qualified for the complications related to thermal processing to be carried out.

After tapping of steel into the ladle 50% of the required amount of aluminum (5 kg Al) is adding. It quickly melts and forcibly mix. This condition continues until liquid steel fills half of the ladle. In this period takes place deep deoxidation of steel by the aluminum ($3FeO + 2Al \rightarrow 3Fe + Al_2O_3$) and a rapid slagging of formed oxide. Aluminum with nitrogen produces nitride AlN.

From this stage, participation in the process of stagnation is $\langle Si + Mn \rangle$. Traditional processes are completed and finally the oven-oven takes place in the

oven. The "white slag" installed actively involves stainless steel refining.

After comparing stainless steel chemical composition, we add 5 kg of titanium and if re-analysis showed Ti 0,02%, then steel is fully transparent. Developed compounds (TiC, TiN, AlN, VC, VN, etc.) are actively involved in the process of formation of structures. If "Tile" = T01 = 0,01-0,02%; N = 0,01-0,02%; V = 0,1-0,2% is planned to be used, then it is necessary that after adding vanadium, stainless steel common chemical composition so that Ti ~% N ~ 0,01-0,015%; V = 0,1-0,2%.

It was shown that the fragmentation of austenite, the increase of secondary phase dispersion, the equal distribution of the elements of the fragmentation, the "release" of the base leads to increase of the blast resistance. These factors were added to e. Year Complex impact of the "new phenomenon" - chemical composition of alloy + "slip" <Ti+N+V> + Processing in the technological process, which increases the strength by saving of plasticity.

The technology of producing high resistant piercing mill mandrels of the aggregate "400" and C0,12CrNi3-type high quality steel have undergone serious transformation in order to increase the resistance of mandrells. In the 80th and 90th of the last century, the original method of production and the C0,10Cr1Ni3MoVTi-type composition was developed, by which the resistant of mandrels increased twice and more (the number of pierced shells rized from 200-300 To 500-600).

For today to the manufacture is delivered mandrell producing method together with C08Cr1Ni5Si1Cu1MoVTi-type composition and investigation of its structure and properties enables increase the sphere of this steel use.