

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებებით

ნუგზარ მუმლაძე

A500C (A400C) შესადუღებელი არმატურის წარმოება

შპს „რუსთავის ფოლადის“ პირობებში

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

სადოქტორო პროგრამა - მასალათმცოდნეობა

შიფრი - 0412

თბილისი

2015 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტში ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონთა დამუშავების დეპარტამენტზე სამსახმელო წარმოებისა და ახალი ტექნოლოგიური პროცესების მიმართულებაზე

ხელმძღვანელი: ტმდ, პროფესორი ვასილ კოპალეიშვილი

რეცენზენტი:

დაცვა შედგება 2015 წლის „ ____ ” _____, ____ საათზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი II, აუდიტორია კომპ. ცენტრის სასემინარო დარბაზი (3-ე სართული)

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

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

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი _____

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თემის აქტუალურობა: სადისერტაციო ნაშრომში „A500C (A400C) შესადუღებელი არმატურის წარმოება შპს „რუსთავის ფოლადის“ პირობებში” გაკეთებულია კრიტიკული ანალიზი თუ რა ხარვეზები აქვს საარმატურო ფოლადის წარმოებას, როგორც ფოლადსადნობ, ასევე, წრთობა-თვითმომშვების რეჟიმებში მომუშავე უწყვეტი გლინვის საამქროებში და შემუშავებულია გზები მათ გამოსასწორებლად, როგორც დროებითი სტანდარტის, ასევე, ISO-ს მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად. აღნიშნულის გამო წარმოდგენილი თემა აქტუალურია.

სამუშაოს მიზანი: არსებულ პირობებიდან გამომდინარე, A500C (A400C) შესადუღებელი არმატურის წარმოება ფლ 3 მმ-ის გამოყენებით, რომელიც სტაბილურად დააკმაყოფილებს არსებული სტანდარტების მოთხოვნებსა და მოიძებნება გზები ISO-ს მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად (B500W ტიპის არმატურის წარმოება დენადობის ზღვრით $\sigma_{დენ} \geq 500$ ნ/მმ² ცხლადგლინულ მდგომარეობაში თდ-ის გარეშე, შედუღებადობით საველე პირობებში -C 0,22%; CE 0,43%,).

დასახული მიზნების მისაღწევად ფორმირებული იქნა შემდეგი ამოცანები:

- შეიძლება თუ არა, არსებულ პირობებში (უწყვეტად ჩამოსხმის მანქანის რეკონსტრუქციამდე) $\Phi 100$ მმ-ის სტრუქტურის (ფართო გაგებით) გამოსწორება;
- როგორ შეიძლება მცირე წონის ნადნობების (8-10-12 ტ) გლინვა ისე, რომ არ გვქონდეს ტექნოლოგიით გამოწვეული შეჩერებები-პაუზები;
- შეიძლება თუ არა, დამამთავრებელი უჯრების მიახლოება გამაცივებელ სისტემასთან, რა დადებითი ეფექტები აქვს მას და რა არის საჭირო ამისათვის;
- როგორ შეიძლება სტანდარტის მოთხოვნების ფარგლებში, ნაგლინის მთლიან სიგრძეზე (თავი, შუა, ბოლო) გათანაბრდეს მექანიკური თვისებების მახასიათებლები;

- რადგან ელემენტების Ti, V და სხვა, მოდიფიცირებისა და მიკროლეგირების ზღვრები შესწავლილი იყო სხვა პირობებში (მარტენის 200 ტონიან ნადნობებზე, სამივე განმჟანგველის <Si+Mn+Al> გამოყენებით), ამიტომ საჭიროა დადგენილი იქნეს როდის და როგორ მიიღწევა „შლეიფის“ საჭირო (Ti=0,01-0,02%; N=0,008-0,014%; V=0,07-0,20%) დონე ფოლადის დუპლექს პროცესით დნობისას, რაც მოგვცემს საშუალებას ფართო მასშტაბით იქნეს გამოყენებული 18AΦT;
- რამდენად სრულად ახასიათებს არმატურას, მის ხანგამძლეობას ტრადიციული მახასიათებლების დადებითი შედეგები (σ_s-სიმტკიცის ზღვარი; σ_d-დენედობის ზღვარი; δ₇-ფარდობითი წაგრძელება და ღუნვაზე გამოცდის, ასევე დადებითი შედეგი) და რა არის საჭირო ამ მიდგომის (საკითხის) გასაძლიერებლად.

კვლევის ობიექტი: უწყვეტადსხმული \square 100მმ მიღება ფლ 3 მმ-დან და სხვა-დასხვა დიამეტრის A500C არმატურის წარმოება (NN(10), 12,14,16,18,20, 22, 25, 28, 32 მმ) უწყვეტად გლინვის სორტსაგლინავ დგანზე წრთობათვითმომშვების რეჟიმში; B500W მიღება 18AΦT -დან თდ-ის გარეშე.

კვლევის მეთოდები: კვლევის გამოყენებული მეთოდები მოიცავს ტექნოლოგიურ ციკლს ფოლადის წარმოებიდან მზა პროდუქციის მიღებამდე. ფოლადის დნობა ინდუქციურ ღუმელებში. ფოლადის დნობა დუპლექს პროცესით (ელექტრო-რკალური ღუმელი+ციცხვ-ღუმელი). ფოლადის ქიმიური შედგენილობის კონტროლი ხორციელდებოდა „ARL 3460“ ტიპის სპექტროგრაფისა და ახალი სპექტროგრაფის გამოყენებით, რაც საშუალებას იძლევა, სხვა ელემენტებთან ერთად, დადგენილი იქნას ატომური აზოტის შემცველობა ფოლადში. საჭიროების შემთხვევაში ვადგენდით ფოლადის თხელდენედობას ნეხენძი-სამარინის U-ს მაგვარი სინჯის მეთოდით. თერმული დამუშავების (წრთობათვითმომშვების პროცესი) კონტროლი ხორციელდებოდა უშუალოდ არმატურაზე მექანიკური გამოცდების (გამოცდა გაჭიმვაზე და გამოცდა ღუნვაზე) ჩატარებით. გაჭიმვაზე გამოცდა ტარდებოდა 100 ტონიან, კომპიუტერულ

„CY-6040A 12” ტიპის მანქანაზე (ტაივანი), ხოლო ღუნვაზე გამოცდა ხორციელდებოდა ამ მიზნებისათვის მოდერნიზებულ წნეხზე. მეტალოგრაფიული კვლევების ჩასატარებლად მზადდებოდა ნიმუშები (შლიფები). მათი პრეპარირება წარმოებდა ტრადიციული მეთოდით, მაგალითად, იწამლებოდა 3-5%-იანი HNO_3 -ის გამოყენებით. მიკროსტრუქტურები შეისწავლებოდა მეტალოგრაფიული მიკროსკოპის-Neophot-21-ის საშალებით, სხვადასხვა გადიდებების გამოყენებით: $\times 100$, $\times 400$, $\times 800$ კ.ზ., $\times 2000$. სტრუქტურების გადაღება წარმოებდა ციფრული აპარატის მეშვეობით. იზომებოდა მაკროსისალები ბრინელისა და როკველის წნეხების საშუალებით. თერმული დამუშავების კონტროლი ხორციელდებოდა მიკროსისალის მეთოდის გამოყენებით. იზომებოდა მიკროსისალები მთელ დიამეტრზე, უპირატესად ცენტრი-გული და გარე შრეები-ზედაპირები.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები:

- ფლ 3 მმ-დან მთმდ-ის გამოყენებით A500C ტიპის არმატურის წარმოებას სორტსაგლინავ საამქროში აქვს სირთულეები, რომლებიც დაკავშირებულია, როგორც ფოლადსადნობ, ასევე, ლწდ-ის პროცესებთან. აუცილებელია ინდუქციური ღუმელების განყოფილებაში გამოშვებულმა ლითონმაც გაიაროს რაფინირების სრული პროცესი თანამედროვე ციცხვ-ღუმელში (არ გამოირიცხება, ინდუქციური ღუმელების მთლიანი შეცვლა მძლავრი ელექტრორკალური ღუმელებითა და შესაბამისი სიმძლავრის ციცხვ-ღუმელით. დეგაზაციის სრულად ჩატარებისათვის საჭიროა ნადნობების ვაკუუმირება, ხოლო უწტვეტი ჩამოსხმის დროს მაკროსტრუქტურის გქაუმჯობესებლად, საჭიროა ვიბრაციების უფრო ეფექტური გამოყენება. ფუჩდ-ს აუცილებელია ჩაუტარდეს მოდერნიზაცია (1100მმ-ის შეცვლით 1120მმ-ით). აღნიშნული საშუალებას მოგვცემს, ბევრ დადებით ეფექტთან ერთად, დაუბრუნდეთ განჟანგვის ტრადიციულ პროცესს $\langle \text{Si} + \text{Mn} + \text{Al} \rangle$: $\text{Si} = 0,20 - 0,40\%$; $\text{Mn} = 0,60 - 0,80\%$; $\text{Al} = 0,020 - 0,030\%$.

იმის გამო, რომ ნადნობების საშუალო წონაა 10-12ტონა და გამაცივებელი სისტემა ხელით მართვადია, ამიტომ აუცილებელია ფოლადის ქიმიური შედგენილობის სელექცირება ($C=0,17-0,22\%$; $Si=0,25-0,40\%$; $Mn=0,65-0,80\%$; $S<0,02\%$; $P<0,02\%$ ტიტანისა და ვანადიუმის დამატებით-18ΦT) და შენადნობების 60-100 ტონიან პარტიებად გაერთიანება, რასაც მოყვება, წარმოების მოწესრიგებასთან ერთად, საგრძნობი ეკონომიური ეფექტი.

- საქარხნო ექსპერიმენტზე დაყრდნობით დასაბუთებულია, რომ მიკრო-ლეგირებით, როგორც ტიტანით ($Ti=0,030-0,045\%$), ასევე, ვანადიუმით ($V=0,07-0,14\%$), თერმული დამუშავების გარეშე, სტაბილურად მიიღება A400C, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს დიამეტრების NN25, 28, 32მმ წარმოებისას. ნაჩვენებია, რომ 18ΦT-ზე დამზოგი რეჟიმებით ჩატარებული მთმდ-ა სტაბილურად დააკმაყოფილებს A500C-ის მოთხოვნებს.
- გლინვის სქემების მოდერნიზაცია-დამამთავრებელი უჯრების (IX-X- NN25, 28, 32მმ; XI-XII- NN18, 20, 22მმ) მიახლოება გამაცივებელ სისტემასთან (IX-X უჯრების გადატანა XIII-XIV უჯრების ნაცვლად და XI-XII უჯრების გადატანა, ასევე, XIII-XIV უჯრების ნაცვლად) იძლევა საშუალებას სტაბილურად მივიღოთ მთმდ-ის შემდეგ მექანიკური თვისებების მახასიათებლების მაღალი კომპლექსი, გან-საკუთრებით რღვევისადმი წინააღობის კუთხით ($E_{Tн.მ}$; α_0^T ჯ/სმ²). გლინვის პროცესის ახალი ულუფა $\mu =1,65$, განხორციელებული XIII-XIV უჯრებზე N28მმ გლინვისას, ძველთან ერთად, წრთობის წინ ხელს უნდა უწყობდეს ფრაგმენტი-რებულ აუსტენიტის მიღებას. ასეთ მატრიცაში განხორციელებული $\gamma \rightarrow \alpha$ გარდაქმნა ზრდის სიმტკიცის მაჩვენებლებს, „ახალი ფენომენის“ მსგავსად, პლასტი-კურობის მაღალ დონეზე შენარჩუნებით. ამ მიგნებაში ყველაფერი ახალია და საჭიროებს ძირფესვიან შესწავლას, რისთვისაც აუცილებელია XIII, XIV, XV, XVI უჯრებზე შეიცვალოს ძრავები საჭირო მახასიათებლების მქონე აგრეგატებით.

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე ნათელი გახდა, რომ ტრადიციულ მახასიათებლებთან ერთად (σ_B -სიმტკიცის ზღვარი, σ_w -დენადობის ზღვარი, δ -ფარდობითი წაგრძელება და გამოცდა ღუნვაზე) მნიშვნელოვანი ადგილი უნდა დაიკავოს რღვევის ტოტალურმა ენერგიამ - E_T და რღვევის ტოტალურმა კუთრმა ენერგიამ - α_0^T , რადგან ორივე მახასიათებელი იძლევა სრულ წარმოდგენას აღებული მასალის - ნაკეთობის ხანგამძლეობაზე.

ამ კუთხით საერთოდ გადასახედია ლეგირების თეორიისა და პრაქტიკის საკითხები. რა თქმა უნდა, E_T -ს მანქანურ მონაცემებს უნდა ამაგრებდეს გათვლებით მიღებული შედეგები, რომლებიც შესრულებული იქნება იმავე ექსპერიმენტების მონაცემების გამოყენებით. იგულისხმება, რომ ექსპერიმენტები ჩატარდება სრულად განუანგულ ფოლადზე $\langle Si+Mn+Al \rangle$ ან $\langle Si+Mn+Ti \rangle$ ($Si=0,20-0,40\%$; $Mn=0,60-0,80\%$; $Al=0,020-0,030\%$; ან $Ti=0,020-0,030\%$).

- ტაივანის კომპიუტერული გამომცდელი მანქანის გამოყენებით დამაჯერებლად იქნა დადასტურებული, რომ აღებული ლითონური მასალის რღვევაზე ცხლადგლინულ მდგომარეობაში იხარჯება უფრო მეტი ენერგია, ვიდრე მისი თერმულად (მთმს) დამუშავების შედეგ-სხვანაირედ, თერმული დამუშავებით პლასტიკურობის მახასიათებლები (δ , ψ) გარკვეულად მცირდება, რომელთა ხარჯზე იზრდება სიმტკიცის მახასიათებლები. ამ დროს კრისტალური წყობის დისლოკაციებისა და სხვა დეფექტების სიმკვრივე იზრდება, რითაც სტრუქტურა (ფართო გაგებით) გარკვეულად უახლოვდება კრიტიკულს ($\rho \approx 10^{10}-10^{12} \text{ სმ}^{-2}$). რა თქმა უნდა, ასეთი სტრუქტურის ნგრევაზე-რღვევაზე დაიხარჯება უფრო ნაკლები ენერგია, ვიდრე მაშინ, როცა δ და ψ -ს მნიშვნელობები უფრო მაღალი იყო. აღნიშნული ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დასკვნაა, რომლის საფუძველზე აუცილებელია საწარმომ უნდა გამოუშვას საველე პირობებში შედუღებადი არმატურა-B500W ცხლადგლინულ მდგომარეობაში, თერმული დამუშავების გარეშე, ეს მასშტაბური ამოცანა ჩვენს მიერ წარმატებულად იქნა

გადაწყვეტილი (საწარმოო პირობებში) ფლ 18AΦT-ზე შლეიფისა <Ti=0,01-0,02%; N=0,008-0,014%; V=0,07-0,20%> და „ახალი ფენომენის“ გამოყენებით.

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე (დებულებები გამოტანილი დაცვაზე):

1. გლინვის სქემების მოდერნიზაცია-დამამთავრებელი უჯრების მიახლოება გამაცივებელ სისტემასთან

თანამედროვე წარმოდგენებით, შპს „რუსთავის ფოლადის“ სორტსაგლინავ საამქროს გლინვის სქემის მაგალითზე, გაანალიზებულია მთმდ-ს პროცესი. ნაჩვენებია, რომ პროფილების NN18, 20, 22მმ გლინვა XI-XII უჯრებიდან, ხოლო NN25, 28, 32მმ- IX-X უჯრებიდან დაკავშირებულია, მზა პროდუქციის გაცივების-წრთობის დაწყებამდე, გარკვეულ პაუზებთან (3-4 წმ), რომლებიც ხელს უწყობენ მეტა-დინამიკური რეკლისტარიზაციის განვითარებას (რეკრისტალიზაცია ინკუბაციის პერიოდის გარეშე). ფოლადის სტრუქტურა უახლოვდება გადახურებული მარცვლის მქონე ლითონის სტრუქტურას, შედარებით მცირე ფრაგმენტებით. წრთობა-თვითმოშვების რეჟიმში მომუშავე გამაცივებელი სისტემა აფიქსირებს (უფრო ხშირად) სიმტკიცის მაღალ მაჩვენებლებს დაბალ პლასტიკურობასთან ერთად. გლინვის სქემების მოდერნიზაცია-დამამთავრებელი უჯრის მიახლოება გამაცივებელ სისტემასთან (XI-XII და IX-X უჯრების შეუცვლელი გადატანა XIII-XIV უჯრების ნაცვლად) იძლევა საშუალებას სტაბილურად მივიღოთ მთმდ-ის შემდეგ მექანიკური თვისებების მახასიათებლების მაღალი კომპლექსი, განსაკუთრებით რღვევისადმი წინაღობის კუთხით E_T -ნ.მ-რღვევის ტოტალური ენერგია და α_0^T ჯ/სმ²- E_T -საგან მიღებული რღვევის ტოტალური კუთრი ენერგია. გლინვის პროცესის დამთავრება XIII-XIV უჯრებზე გამოჭიმვით $\mu=1,65$ (N28 მმ არმატურის შემთხვევაში) იძლევა სტრუქტურული მდგენელების ახალ ულუფას, რომელიც არსებულთან (დარჩენილთან!) ერთად განაპირობებს თვისებათა მაღალ კომპლექს, რაც საწინდარია მაღალი ხანგამძლეობის. ჩატარებული კვლევების

საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ არსებული გლინვის სქემების მოდერნიზაცია გვაძლევს საშუალებას მთმდ ჩავატაროთ კვალიფიციურად და ასეთი მიდგომა დადებითი შედეგების სტაბილურად მიღების გარანტიაა. ჩატარებულ კვლევებზე დაყრნობით საჭიროა შეიცვალოს XIII, XIV, XV, XVI უჯრების ამმრავები გლინვის საჭირო მახასიათებლების მქონე აგრეგატებით. ჩატარებული ღონისძიება საშუალებას მოგვცემს პროფილები NN18, 20, 22, 25, 28, 32 მმ ვგლინოთ XIV უჯრიდან, ანდა მათ ჩაუტარდეს კვალიფიციური მთმდ-ა.

2. ცხლადგლინული (თერმული დამუშავების გარეშე), შესადულებელი ($C \leq 0.22\%$; $CE \leq 0.43\%$) A400C და A500C (B500W) არმატურის წარმოების შესაძლებლობები შპს „რუსთავის ფოლადის“ პირობებში 18ΦT გამოყენებით ($V=0.07-0.14\%+Ti=0.01-0.02\%$; $Ti=0.030-0.045\%+V=0.01-0.04\%$); ვანადიუმისა და ტიტანის მიკროლეგირებით ცალცალკე, საწარმოო პირობებში, ყველა პროფილზე მიღებულია ცხლადგლინულ მდგომარეობაში $\sigma_{\infty} \geq 400 \text{ნ/მმ}^2$ - A400C. პარალელურად, იგივე ნამზადზე, ჩატარებულმა მთმდ-მ აჩვენა, რომ ნიმუშების ნგრევაზე ცხლადგლინულ მდგომარეობაში იხარჯება უფრო მეტი ენერგია, ვიდრე მთმდ-ის ჩატარების შეგდეგ, ე. ი. მთმდ-ით ვამცირებთ არმატურის ხანგამძლეობას. აქედან გამომდინარე, აუცილებელია მოინახოს გზები, რომელთა გამოყენებით ცხლადგლინულ მდგომარეობაში, თდ-ის გარეშე, მიღებული იქნება $\sigma_{\infty} \geq 500 \text{ნ/მმ}^2$ და დუღდებოდეს საველე პირობებში (დაცული იყოს: $C \leq 0.22\%$; $CE \leq 0.43\%$). დუპლექს-პროცესის (ელექტრო-რკალური ღუმელი + ციცხვ-ღუმელი) მუშაობამ არგონის გაქრევის დროს დააფიქსირა ნარჩენი ატომური აზოტის შემცველობა $N=0.006-0.013\%$ ფარგლებში. აღნიშნული ფაქტები ადასტურებენ მოსაზრებას, რომ საჭიროა არგონი შეიცვალოს აზოტით, ხოლო აზოტი ($N 0.01\%$) დაკავშირებული იქნეს ტიტანთან, ვანადიუმთან და სხვა ელემენტებთან. ასეთი მიდგომით არენაზე გამოდის „ახალი ფენომენი“ (სამი ელემენტით $Ti=0.01-0.02\%$; $N=0.007-0.014\%$; $V=0.07-0.20\%$, განხორციელებული

მოქმედება, რომელსაც მივყევართ სიმტკიცის მაჩვენებლების მნიშვნელოვან ზრდამდე, პლასტიკურობის მაღალ დონეზე შენარჩუნებით). სხვანაირად, ამ ამოცანის შესასრულებლად ჩვენს მიერ შემუშავებულ კომპოზიციების ნაცვლად (13Г1С2ФТ, განსაკუთრებით 13Г1С1ДФТ –C=0,09-0,17%; Si=0,9-1,2%; Cu=0.8-1,2%; Mn=0,9-1,2%; V=0,07-0,14%;Ti=0,030-0,045%; N=0,007-0,01%; S≤0,02%; P≤0,02%) მიზანშეწონილი ხდება 18АФТ-ს გამოყენება, რაც ძირითადად ამარტივებს არსებული პრობლემის გადაწყვეტას. საწარმოო პირობებში ჩატარებული ექსპერიმენტით (24.04.2013, 18АФТ, #დნ. 874, დუპლექს პროცესი: C=0,22%; Mn=0,80%; Si=0,34%; V=0,195%; Ti=0,019%; N=0,013%; S≤0,023%; P≤0,014%; CE≤0,37%; არმატურა N25მმ- $\sigma_B=660\text{ნ/მმ}^2$; $\sigma_{\text{с}}=526\text{ნ/მმ}^2$; $\delta_7=27\%$) დადასტურებულია „ახალი ფენომენის“ გამოყენებით მიღებულია დადებითი შედეგები პროფილებზე N N25; 18; 16მმ.

3. ენერგეტიკული მახასიათებლების (E_T , a_0^T) მნიშვნელობა მზა პროდუქციის (მაგალითად, არმატურის) ხანგამძლეობის დადგენისას ჩატარებული კვლევების საფუძველზე ნათელი გახდა, რომ ტრადიციულ მახასიათებლებთან ერთად (σ_B -სიმტკიცის ზღვარი, $\sigma_{\text{с}}$ -დენადობის ზღვარი, δ_7 -ფარდობითი წაგრძელება და არმატურის გამოცდა ღუნვაზე), ლითონის ხანგამძლეობის შეფასებისას, მნიშვნელოვანი ადგილი უნდა დაიკავოს ენერგეტიკულმა მახასიათებლებმა: რღვევის ტოტალურმა ენერგიამ (E_T ნ.მ), რომელსაც აფიქსირებს თანამედროვე 100 ტონიანი კომპიუტერული მანქანა უშუალოდ გაუჩარხავი არმატურის გაჭიმვაზე გამოცდის დროს და, ასევე, რღვევის ტოტალური კუთრმა ენერგიამ (a_0^T ჯ/სმ²). ორივე მახასიათებელი (E_T , a_0^T) იძლევა სრულ წარმოდგენას აღებული მასალის ხანგამძლეობაზე, რაც მეტია (მაღალია) მათი მნიშვნელობა, მით მაღალია პროდუქციის (კონსტრუქციის) მედეგობა. საჭიროა გამომცდელი მანქანის მიერ დაფიქსირებული რღვევის ტოტალური ენერგია E_T კონტროლდებოდეს გათვლებით მიღებული შედეგებით, რომლებიც, ასევე, დაეყრდნობა

არსებულ ექსპერიმენტალურ მონაცემებს. ეს მიმართულება მნიშვნელოვნად გაძლიერდება მაშინ, როცა ათვისებული B500W წარმოება, რაც საშუალებას მოგვცემს მზა პროდუქციაზე დადგენილი იქნეს საკონსტრუქციო სიმტკიცის (ხანგამძლეობის) სხვა მაჩვენებლები: დარტყმითი სიბლანტე მდგენელებით $[a_{0,25}(a_{\beta} + a_{\gamma}) \text{ ჯ/სმ}^2]$, გამყიფების ტემპერატურული ზღურბლი-T₅₀, ბზარმედევობა (ჯეი-ინტეგრალი) - J_{IC} ნ/მმ, დაღლილობა - σ_{-1} ნ/მმ² და სხვა ამ რანგის მახასიათებლები (მაგალითად, კოროზიამედევობა ბეტონში; შედუღებადობა).

შედეგების გამოყენების სფერო

არმატურის ხარისხის გასაუმჯობესებლად ორივე მდგომარეობაში (როგორც ცხლადგლინულ, ასევე, მთმდ-ის შემდეგ) აუცილებელია:

- ფოლადსადნობ საამქროში გამოშვებულმა ყველა ლითონმა გაიაროს რაფინირების სრული პროცესი თანამედროვე ციციხვ-ლუმელში;
- ასევე, ყველა ნადნობმა უნდა გაიაროს ვაკუუმირება;
- ნამზადის მაკროსტრუქტურის გაუმჯობესების მიზნით, საჭიროა ვიბრაციების ეფექტური გამოყენება;
- ფუჰმ-ს ჩაუტარდეს მოდერნიზაცია $\square 120\text{მმ}$ -ზე გადასვლით, რაც საშუალებას მოგვცემს გამოუშვათ სრულად განჟანგული ფოლადი <Si+Mn+Al>. მანამდე საჭიროა ალუმინის ნაცვლად გამოვიყენებული იქნას ტიტანი <Si+Mn+Ti>;
- მრავალი კუთხით, მიზანშეწონილია ფოლადის სელექტირება (C=0,17-0,22%; Si=0,25-0,40%; Mn=0,65-0,80%; S \leq 0,02%; P \leq 0,02%, ტიტანისა და ვანადიუმის დამატებით-18 Φ T) და ნადნობების 60-100ტონიან პარტიებად გაერთიანება, რასაც მოყვება წარმოების მოწესრიგებასთან ერთად, საგრძნობი ეკონომიური ეფექტი; აღნიშნული უფრო წარმატებულად განხორციელდება მაშინაც, როცა ათვისებული იქნება B500W წარმოება შლეიფიდ <Ti=0,01-0,02%; N=0,007-0,014%; V=0,07-0,20%, და „ახალი ფენომენით“;

- ასევე, 18ΦT გამოყენებული იქნა A400C-ის წარმოებისას, თერმული დამუშავების გარეშე; ტიტანითა (Ti=0,030-0,045%) და ვანადიუმით (V=0,07-0,14%) მიკრო-ლეგირებული ფოლადი 18ΦT, ცალ-ცალკე იძლევა საშუალებას მიღებული იქნეს ცხლადგლინულ მდგომარეობაში არმატურა A400C.

- სორტსაგლინავ დგანზე ჩატარდეს გლინვის სქემების მოდერნიზაცია, რისთვისაც პირველ რიგში საჭიროა XIII, XIV, XV, XVI უჯრებს (გალებს) შეეცვალოს ამძრავები გლინვისათვის საჭირო მახასიათებლების მქონე აგრეგატებით, აღნიშნული საშუალებას მოგვცემს (ძველი და ახალი პლასტიკური დეფორმაციის ეფექტების გამოყენებით) წრთობა გლობულიარულ ბენიტზე ($V_{გვ.}=20^{\circ}\text{C}/\text{წმ-ში}$) მოვახდინოთ ფრაგმენტირებულ მატრიცაში-აუსტენიტში; ჩვენი ვარაუდი ეყრდნობა საქარხნო ექსპერიმენტების (N28მმ-1000ტონა, N25მმ-800ტონა) შედეგებს, კერძოდ $\Delta N_{28} = E_T^{XIV} - E_T^X = 18000 - 16000 = 2000\text{ფ.მ}$; $\Delta N_{25} = E_T^{XIV} - E_T^X = 13000 - 10000 = 3000\text{ფ.მ}$, ვფიქრობთ გლინვის სქემების მოდერნიზაციით საქმე უნდა გვექონდეს ახალ – „ახალი ფენომენის“ მსგავს ეფექტთან, როცა სიმტკიცის მაჩვენებლების ზრდა არ არის დაკავშირებული პლას-ტიკურობის შემცირებასთან. ახალ კვლევებში დასადგენია: რამ უნდა განაპირობოს ლითონის ხანგამძლეობის ასეთი მნიშვნელოვანი ზრდა (ზოგადი პასუხია-სტრუქტურამ, ფართო გაგებით!).

- წარმოებაში აპრობილებული და რეკომენდებულია B500W-ს საწარმოებლად „ახალი ფენომენი“-ფლ 3^{აა} სელექტით და „შლეიფით“ (C=0,17-0,22%; Si=0,25-0,40%; Mn=0,65-0,80%; S \leq 0,02%; P \leq 0,02%+<Ti=0,01-0,02%; N=0,007-0,014%; V=0,07-0,20%>). აღნიშნული საშუალებას იძლევა ცხლადგლინვის შემდეგ მიღებული იქნეს B500W- $\sigma_{დ} \geq 500\text{ფ.მმ}^2$.

- მზა პროდუქციის ხანგამძლეობის შესაფასებლად საჭიროა ტრადიციულ ფაქტორებთან ერთად (σ_B , $\sigma_{დ}$ δ_7 და გამოცდა ღუნვაზე) გამოყენებული იქნეს ენერგეტიკული ფაქტორები: ნგრევის ტოტალური-

ჯამური ენერგია- E_T ნ.მ და მისგან წარმოებული ნგრევის ტოტალური კუთრი ენერგია- a_0^T ჯ/სმ².

• წინასწარი გათვლებით B500W-ს ათვისება გააუმჯობესებს სორტსაგლინავი საამქროს ეკონომიკურ მაჩვენებლებს. იმავდროულად შეიქმნება პირობები არმატურის დიაგნოსტიკის საკითხები განხორციელდეს სრულყოფილად. დიდ პარტიებზე განისაზღვროს დარტყმითი სიბლანტე მდგენელებით - $a_{0,25}(a_{\beta} + a_{\gamma})$ ჯ/სმ², გამყიფების ტემპერატურული ზღურბლი- T_{50} , ბზარმდეგობა- J_{IC} ნ/მმ, დადლილობა- σ_{-1} ნ/მმ² და სხვა.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურების შესახებ

დისერტაცია წარმოდგენილია 153 გვერდზე, შეიცავს 14 ცხრილს, 19 ნახაზს (სურათს), გამოყენებულ ლიტერატურის 162 დასახელებისაგან შედგენილ ნუსხას.

დისერტაციის სტრუქტურა ტრადიციულია: შესავალი; 1. ლიტერატურის მიმოხილვა; 2. შედეგები და მათი განსჯა; 3. ექსპერიმენტული ნაწილი; დასკვნა; გამოყენებული (ციტირებული) ლიტერატურა.

დისერტაციის სტრუქტურას ქმნის თანმიმდევრულედ 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 (სურათების) ნუსხა, შესავალის, ლიტერატურის მიმოხილვის, შედეგებისა და მათი განსჯის, ექსპერიმენტული ნაწილისა და დასკვნისაგან შედგენილი ძირითადი ტექსტი და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა.

**დისერტაციის ძირითადი შედეგები თავების მიხედვით.
ლიტერატურის მიმოხილვის ძირითადი შედეგები**

კაცობრიობის განვითარების ისტორია მჭიდრო კავშირშია ტექნიკის ისტორიასთან. ეს კი ქმნიდა ყოველგვარ პირობებს-მოთხოვნებს მასალებზე, პირველ რიგში ლითონურ მასალებზე. დასაბუთებულია, რომ ერთ ფორმაციას ცვლიდა მეორე იმიტომ, რომ ახალი უფრო რაციონალურად იყენებდა რესურსებს, ვიდრე ძველი. პირველი ლითონი (-ები), რომელთანაც ადამიანი მოვიდა შეხებაში არამიწიერი-მეტეორიტი და, რა თქმა უნდა, კეთილშობილი (თვითნაბადი) ლითონები Ag, Au და სხვა) იყო. დიდ ხანს გრძელდებოდა ქვის ხანა, რომელსაც მოყვა ბრინჯაოს ხანა, თუ როგორ ისწავლა ადამიანმა სპილენძის მადნების გადამუშავება დღესაც საკამათოა. ალბათ, საწყისს ეტაპზე სპილენძის შემცველი ჟანგეულები იყო გამოყენებული, შემდეგ საერთოდ სპილენძის შემცველი მადნები. ლითონის იარაღის გამოყენება ქვის იარაღის ნაცვლად, უდავოდ წინ გადადგმული დიდი ნაბიჯი იყო. ჩვენს პლანეტაზე აღნიშნული მიმართულებით განვითარების რითმი ერთნაირი არ იყო. ჩამორჩენილ ნაწილებში (მხარეებში) ჯერ კიდევ ქვის ხანა იყო, ხოლო მოწინავეში უკვე დაწყებული იყო რკინისა და მისი შენადნობების გამოყენება. 2011 წლის მონაცემებით დედამიწაზე მილიარდ ტონაზე მეტი ფოლადი იქნა გამოდნობილი, რომლის თითქმის ნახევარი ახალ ლიდერზე-ჩინეთზე მოდის. აღნიშნული უფრო მაღალ დონეზე იქნა აყვანილი 2012 წელს და კიდევ უფრო მაღალი პროგნოზებია გამოთქმული 2013 წლის მოსალოდნელ მიღწევებზე. დღეს ჩვენს პლანეტაზე მეტალურგიული „ბუმი“, როგორც რაოდენობრივი, ასევე, თვისობრივი. მეტალურგიული საწარმოების გამოშვებული პროდუქცია მრავალფეროვანია. მათ შორის მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს საარმატურე ფოლადს და მისგან დამზადებულ სხვადასხვა დიამეტრის მქონე არმატურას (შპს „რუსთავის ფოლადის“ სინამდვილეში NN 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32 მმ). ამ მიმართულებით გაკეთებულია ფართომასშტაბიანი და დეტალური ანალიზი თუ რა გზებით მიიღებოდა

სხვა დასხვა დანიშნულებისათვის საჭირო სიმტკიცის ჯგუფები თერმული დამუშავების გარეშე და მისი გამოყენებით. ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია საბჭოურ სივრცეზე, რადგან მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავება (მთმდ), როგორც თეორიულ, ასევე პრაქტიკულ ასპექტში, შეიქმნა ამ სივრცეში. მთმდ-ის მეთოდებიდან ყურადღების ცენტრშია გლინვის ნაკადში წრთობა-თვითმიშვების პროცესების ანალიზი და მათი გამოყენების შესაძლებლობები.

ISO გადაწყვეტილებით, საჭიროა, არსებული კლასების-სიმტკიცის ჯგუფების ნაცვლად, დამზადდეს ერთი უნიფიცირებული, შედუღებადი ($C \leq 0,22\%$; $CE \leq 0,43\%$) არმატურა B500W (A500C) დენადობის ზღვრით $\sigma_{\text{დ}} \geq 500 \text{ ნ/მმ}^2$ - ცხლადგლინულ მდგომარეობაში, თერმული დამუშავების გარეშე. არსებული მონაცემებით მსოფლიოს ბევრ ქვეყანა, ევროპის ქვეყნებთან ერთად, გადავიდა ISO-ს ახალ სტანდარტზე. ყოფილ საბჭოთა სივრცეში დღეს ძალაშია დროებითი სტანდარტის მოქმედება (10884-94), რომელიც უშვებს მცირენახშირბადიანი ფოლადების (მაგალითად ფლ 3მმ) გამოყენებას წრთობა-თვითმიშვების რეჟიმით. ამ მიდგომაში დაცულია ISO-ს ყველა მოთხოვნა ერთის გარდა: უმაღლესი ორგანო თხოულობს მექანიკური თვისებების საჭირო მახასიათებლები მიღებული იყოს ცხლადგლინულ მდგომარეობაში, თერმული დამუშავების გარეშე. შპს „რუსთავის ფოლადის“ სორტსაგლინავი საამქრო მუშაობს ფლ 3მმ-ის წრთობა-თვითმიშვების რეჟიმში. აქვე საჭიროა აღინიშნოს, რომ დროებითი სტანდარტი არ გამორიცხავს ფოლადი 3ნ.მმ.-ს გამოყენებასაც. შპს „რუსთავის ფოლადის“ პირობებში $\square 100 \text{ მმ}$ -ს უწყვეტად ჩამოსხმა ფლ 3მმ-ს გამოყენებით დაკავშირებულია სირთულეებთან, რის გამოც ალუმინი ამოღებულია ხმარებიდან (ჩინელი კოლეგების გამოცდილება!). ნაჩვენებია, რომ სილიციუმისა და მანგანუმის ნებისმიერი თანაფარდობის გამოყენება არ იძლევა იმ სრული განჟანგვის ეფექტს, რომელიც მიიღება სამივე განმჟანგავის (Si+Mn+Al) ერთდროული გამოყენების დროს. რეალურად საქმე გვაქვს არასრულად განჟანგულ ლითონთან, რომელიც გავლენას

ახდენს ტექნოლოგიის შემდგომ პროცესებზე (ეს პირველი). უნდა აღინიშნოს, ასევე, ნადნობების მცირე წონები (8-10-12 ტონა), რომლებიც განაპირობებენ პაუზებს, რაც საჭიროა ხელითმართვადი გამაცივებელი სისტემის გადაწყობისათვის. აღნიშნული 10-15 წუთიანი პაუზები, დაკავშირებულია ხარჯებთან, რომელთა მინიმუმამდე დაყვანა საჭიროა ყველა ასპექტში (ეს მეორე). მესამე, ასევე, მნიშვნელოვანი ფაქტორია - სორტული საამქროს ნომენკლატურა, რომელიც ფართოვდება: NN (10), 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28. 32 მმ. არმატურის საჭირო ფორმა და გეომეტრიული ზომები მიიღება NN 25, 28, 32 მმ IX-X უჯრებზე; NN 18, 20, 22 მმ XI-XII უჯრებზე; N 16 მმ XIII-XIV უჯრებზე და NN (10), 12 14 მმ XV-XVI უჯრებზე (გაცივება იწყება პაუზის გარეშე). გლინვის დამამთავრებელი უჯრების დაცილება გამაცივებელ სისტემიდან ქმნის პაუზებს, რომლებიც ხელს უწყობენ რეკრისტალიზაციის (მეტადინამიკური) პროცესების განვითარებას, თავისი უარყოფითი გავლენებით (შევნიშნავთ, რომ პაუზებს გაზრდით უარყოფითი გავლენა ძლიერდება), ეს მეოთხე ფაქტორი და ა.შ. ჩატარებული კრიტიკული ანალიზის შედეგად დადგენილი იქნა ამოსახსნელი ამოცანების ნუსხა და ტექნიკურ ლიტერატურაში არსებული მონაცემებზე დაყრდნობით შემუშავდა მათი გადაწყვეტის გზები (მათ შორის მნიშვნელოვანია „მასალათა თვისებების ლაბორატორიის“-„მთლ“, ახლა „მასალათა თვისებების სასწავლო-სამეცნიერო ცენტრი“-„მთსსც“, გამოცდილება და დაგროვილი ექსპერიმენტული შედეგები).

1. შეიძლება თუ არა არსებულ პირობებში (უწყვეტად ჩამოსხმის მანქანის რეკონსტრუქციამდე) 100 მმ-ს სტრუქტურის გამოსწორება, უარყოფითი გავლენების შემცირება.

2. როგორ შეიძლება მცირე წონის ნადნობების გლინვა ისე, რომ არ გვექონდეს ტექნოლოგიით გამოწვეული შეჩერებები-პაუზები.

3. შეიძლება თუ არა დამამთავრებელი უჯრების მიახლოება გამაცივებელ სისტემასთან და რა არის ამისათვის საჭირო.

4. როგორ შეიძლება სტანდარტის მოთხოვნის ფარგლებში ნაგლინის მთლიან სიგრძეზე (თავი, შუა, ბოლო) გათანაბრდეს მექანიკური თვისებების მახასიათებლები.

5. როგორ ამოვხსნათ ISO-ს მოთხოვნები სრულად, ანდა, მივიღოთ ცხლად-გლინულ მდგომარეობაში, თდ-ს გარეშე, დენდობის ზღვარი $\sigma_{\text{დ}} \geq 500 \text{ ნ/მმ}^2$ და საარმატურო ფოლადი დუღდებოდეს საველე პირობებში $C \leq 0.22\%$; $CE \leq 0.43\%$) - B500W მიღება.

6. მიზანშეწონილად მიგვაჩნია, დასმული ამოცანების გარდა უნდა გაკეთდეს კრიტიკული ანალიზი ტიტანის, ვანადიუმის, აზოტის და სხვა ელემენტების გამოყენებასთან დაკავშირებით, აღნიშნული, არ არის „მთლ“ < - > „მთსც“-ში არსებული (დადგენილი) კანონზომიერებათა გადამოწმება, არამედ თავის დროზე ყველაფერი ეს-განჟანგვის, მოდიფიცირების, მიკროლეგირების პროცესები შესწავლილი იყო ალუმინთან ერთად. ალუმინის არ არსებობას მნიშვნელოვანი ცვლილებები შეაქვს, მაგალითად, განჟანგვის საკითხებში. შემუშავებული ტექნოლოგიის (ორასტონიან ნადნობის გაშვების შემდეგ ციცხვში მიეწოდებოდა ალუმინის შოთების საჭირო რაოდენობა, ციცხვის მესამედზე ლითონის „ამოსვლის“ შემდეგ მიეწოდებოდა ყველა საჭირო დანამატი ერთად, მათ შორის ფეროტიტანი 100-150 კგ, $Ti=30\%$ -ს. ყველაფერი ეს იძლეოდა საშუალებას (ამ მოცულობაში!) ტიტანი ყოფილიყო $Ti=0,010-0,015\%$ ფარგლებში, დღეს მოდიფიცირებისათვის საჭირო რაოდენობიდან რჩება, მხოლოდ ტიტანის კვალი. ასევე, მნიშვნელოვანია, რომ გარკვეულ ზღვარს ზემოთ ალუმინის გაზრდა არ იწვევს Al_2O_3 -ის რაოდენობის ზრდას. ალბათ მიზანშეწონილი იქნება ნამზადის (უწყვეტად სხმული) განიკვეთის გაზრდა იმ დონემდე, რაც მოგვცემს საშუალებას დაუბრუნდეთ განჟანგვას სამივე (Si+Mn+Al) ელემენტის გამოყენებით. დღეს კი საჭიროა მნიშვნელოვანი კორექტივების გაკეთება, განსაკუთრებით ტიტანთან დაკავშირებით ($Ti=0,010-0,020\%$ -ის მისაღებად სასტარტოდ საჭიროა $Ti=0,06-0,10\%$ მაინც). რაც შეეხება ვანადიუმს, მისი მიკროლეგირების დონე იცვლება $V=0,07-0,20\%$, რაშიც მოხვედრა არ წარმოადგენს სირთულეს. ხოლო ტიტანის როგორც

მიკრომალეგირებელის დონემდე ასაყვანად საწიროა დამოუკიდებელი ექსპერიმენტების ჩატარება.

7. „ახალი ფენომენის“ გამოყენების სფეროს გაფართოებასთან დაკავშირებით საჭირო იქნება ფლ. 3-ის შემთხვევაში, კომპონენტები ავილოთ შემდეგი თანაფარ-დობით: C=0,17-0,22%; Si=0,30-0,40%; Mn=0,65-0,80%; S 0.02%; P 0.02%. აღნიშნულზე „შლეიფის“ დამატება <Ti=0,01-0,02%; V=0,10-0,20%; N=0,008-0,014%>, ქმნის ახალ ეფექტებს, ე.წ. „ახალ ფენომენს“, რომელიც გამოვლენილია; 1) თერმოციკლური დამუშავების პირობებით (მაგალითად, გამჭოლი დგანების სამართულების მუშაობის პირობები); 2) მილნამზადების გლინვისას აგრეგატ „140“-ზე; 3) არმატურის (მაგალი-თად NN 25, 18, 16 მმ) გლინვისას სორტსაგლინავ საამქროში; 4) სხმული ლითონის ხელოვნურ დამკვლევებისას, რაც თხოულობს ექსპერიმენტულ დასაბუთებას; 5) ეს ეფექტი, ასევე თხოულობს დაზუსტებასა და გამომჟღავნებას რთულ შენადნობებში: 08XH3CДMΦT, 350C1Ю1ДH5MΦT, 200X20ДH5ΦT, 300X30ДH5ΦT და სხვა.

2 თავის „შედეგები და მათი განსჯის“ საკითხები

2.1. A500C საარმატურო ფოლადის NN12-32 მმ წარმოება შპს „რუსთავის ფოლადის პირობებში

პირველ პარაგრაფში განხილულია A500C საარმატურო ფოლადის NN12-32 მმ წარმოება შპს „რუსთავის ფოლადის“ პირობებში. არსებული მოდული მოიცავდა ფოლადის წარმოების ტექნოლოგიურ პროცესებს-ფოლადის წარმოების საამქროს და უწყვეტი გლინვის 16 უჯრედიან ავტომატურ რეჟიმში მართვად სორტულ საამქროს, რომელსაც გააჩნია ხელით მმართველი გამაცივებელი სისტემა წრთობა-თვითმომ-ვების პროცესების ჩასატარებლად. ორივე საამქროში დადგენილია „სუსტი ადგილე-ბი“, რომლებიც საჭიროებენ დროულ-სწრაფ გამოსწორებას. ასეთი მიდგომა აუცილებელია იმიტომ, რომ მსოფლიო ბაზარზე გამოტანილი საარმატურო ფოლადი გადის დეტალურ შემოწმებას. მისი შეფასება ხდება არა ერთი ნიშნით, ამიტომ ყურადღების ცენტრში გვქონდა ყველა დიდი და მცირე ფაქტორი, რომელიც იწვევდა ხარისხის გაუარესებას ან მათ შეეძლოთ

გამოწვიათ ეს პროცესი. ძირითადად ეს საკითხები ჩვენ ასე წარმოგვიდგენია, სასურველი ქიმიური შედგენილობის ფოლადი დნება დუბლექს პროცესით (ძირითადად, დნობა წარმოებს ელექტრორკალურ ღუმელში, მომდევნო - ციხვ-ღუმელში დამუშავებით), რაც იძლევა საშუალებას მავნე მინარევე-ბი (S,P) გვექონდეს ქვედა დონეზე ($S \leq 0,01\%$; $P \leq 0,01\%$), დეგაზაციის სრულად ჩატარებისათვის საჭიროა რაფინირებულმა ფოლადმა გაიაროს ვაკუუმური დამუშავება. უყურადღებოდ არ იყო დარჩენილი უწყვეტი ჩამოსხმის დროს ნამზადის მაკროსკოპული აღნაგობის გასაუმჯობესებლად მმართველი ვიბრაციების გამოყენება და სხვა. დნობებად დახარისხებული ($\approx 100\text{მმ}$) ნამზადი მიეწოდება სორტული საამქროს გამახურებელი ღუმელის ჩამტვირთავ მოწყობილობას. იწყება სორტული ნაგლისის წარმოების საწყისი პროცესები, რომელთა გავლენა თვისებების ჩამოყალიბებაზე ძალზე დიდია. გახურების ტემპერატურა, დაყოვნების ხანგრძლივობა და სხვა, ახდენენ გავლენას ჩვეულებრივ გლინვის პროცესზე. აღწუნული ნახტომურად ძლიერდება, როცა საკითხი ეხება მაღალტემპერატურულ თერმომექანიკურ დამუშავებას-მომდ. ამ პროცესს მოსდევს ფრინავი მაკრატლით მზა პროდუქციის დაჭრა და მაცივარზე გაცივების შემდეგ, ცივად ჭრის მაკრატლით ზომებად დაჭრა და დაპაკეტება.

მიგვაჩნია, საორიენტაციოდ საჭიროა ცნობილი იყოს „დანიელის“ მოდულის (ფოლადი+სორტის წარმოება) დამახასიათებელი ძირითადი ნიშნები. რა თქმა უნდა, ფოლადი ყოველმხრივ გასუფთავებულია. უწყვეტი ჩამოსხმით მიღებული კვადრეტი გადის ინდუქციური დენებით შეხურებას, ტემპერატურის გათანაბრებისათვის. ასეთი კვადრეტი მიეწოდება 16 უჯრიან ავტომატურად მართვად საგლინავ აგრეგატს, რაც მთავრდება, ასევე ავტომატურ რეჟიმებზე მომუშავე გამაცივებელი სისტემით, მას მოსდევს მზა პროდუქციის ზომებად დაჭრა გლინვის ხაზში. ეს პროცესი მთავრდება დაპაკეტებით. „დანიელის“ ახალი სქემით ტექნოლოგიიდან „ამოვარდნილია“ ნამზადების ღუმელში გახურების პროცესი და

თერმომექანიკური დამუშავების შემდეგ მზა პროდუქციის მაცივარზე გაცივების პროცესი. ეს უმაღლესი „პილოტაჟია“ და ჩვენ ჯერ ვერ ავიღებთ მაგალითს „დანიელის“ ახალ ნამოღვაწრიდან. მაგრამ ძალისხმავა არ მოგვიკლია იმ საკითხების გადაწყვეტისას, რომლებიც ქმნიდენ ამინდს სორტულ საამქროში არმატურის წარმოებისას. პირველი საკითხი, რომელმაც მიიპყრო ჩვენი ყურადღება ეს იყო, ე.წ. განჟანგვის „ახალი“ მეთოდი. სამი ელემენტის ნაცვლად ($\langle Si+Mn+Al \rangle$) განჟანგვა ორი ელემენტით $\langle Si+Mn \rangle$ ($Si=0,25-0,40\%$; $Mn=0,65-0,80\%$), ე.ი. განჟანგვის სიიდან ამოღებულია ალუმინი ($Al=0,030-0,035\%$), ჩინელი კოლეგების რეკომენდაციით. რეალურად საქმე გვაქვს არასრულად განჟანგულ ლითონთან. ამ რეალობიდან გამომდინარე, ჩვენს ამოცანას ასეთი სახე ჰქონდა: განჟანგულობის სიღრმის გავლენა ფოლადის თხელდენელობაზე. არსებულ მეთოდებიდან ჩვენ ავირჩიეთ ნეხენძი-სამარინის U-მაგვარი სინჯის მეთოდი. ამ ამოცანის ამოხსნას ჰქონდა ინკუბაციის პერიოდი, რომელიც მთავარი მექანიკოსის სამსახურის დახმარებით წარმატებით გავიარეთ. გაჩნდა წინასწარი მონაცემები, რომელთა მიხედვით განჟანგულ ფოლადს გააჩნია უფრო მაღალი თხელდენადობა, ვიდრე გაუჟანგავს. ეს ის პერიოდია, როცა შეიცვალა მართვის საკითხები (ფოლადსადნობი დამოუკიდებელი გახდა!). ინდუქციური ბლოკიდან ციცხვ-ლუმელი გადატანილი იქნა ელექტრორკალურ ლუმელთან ახლოს. უკვე შეიქმნა პირობები გოგირდის და ფოსფორის $S \leq 0,040\%$; $P \leq 0,040\%$, ნაცვლად ყოფილიყო $S \leq 0,02\%$; $P \leq 0,02\%$, რასაც სერიოზული კორექტივები შეჰქონდა ფოლადის შედგენილობაში. საჭირო შეიქმნა, აგრეთვე, დახვეწილიყო თხელდენელობის გაზომვის მეთოდოლოგია, რაც სხვა საკითხებთან ერთად, გულისხმობდა სამი ელემენტით $\langle Si+Mn+Al \rangle$ განჟანგვის დროს, თავიდან აცილებული ყოფილიყო ავარიული პროცესი (ჩამოუსხმელი ლითონის მცირე ზომებად ჩამოსხმის შესაძლებლობა!). ისე რომ ეს პრობლემური ამოცანა დამოუკიდებელი გახდა, რამაც უფრო ფოკუსირებულად დაგვაკავშირა სორტსაგლინავ საამქროს პრობლემებთან.

პირველ რიგში ყურადღების ცენტრში აღმოჩნდა ტაივანის 100 ტონიანი კომპიუტერული მანქანით მიღებული შედეგები. გამოცდას განიცდიდენ გაუჩარხავი არმატურის ნიმუშები. მანქანა ავტომატურ რეჟიმში აფიქსირებს, როგორც ძალოვან პარამეტრებს, ასევე, დეფორმაციულს. საბოლოოდ ცხრილში მოცემულია: სიმტკიცის ზღვარი σ_B , ნ/მმ²; დენადობის ზღვარი σ_{∞} , ნ/მმ²; რღვევის ძაბვა $\sigma_{Rk}(\sigma_k)$ ნ/მმ²; წაგრძელება ყელის წარმოქმნამდე, მთლიანი წაგრძელება და წაგრძელება დენადობის ზღვრამდე (ყველა %-ებში): რღვევის ტოტალური - ჯამური ენერგია E_T . მმ ნ.მ; მონაცემები იუნგის მოდულზე, ნ/მმ². პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ძალოვანი პარამეტრები ზუსტია და მათ პირდაპირ ვიყენებთ. იგივეს ვერ ვიტყვით ფართობითი წაგრძელების შესახებ. ის შედგება: მთლიანი წაგრძელებისაგან, წაგრძელებისაგან ყელის წარმოქმნამდე და წაგრძელებისაგან დრეკადობის ზღვრებში. დაფიქსირებული წაგრძელებები ტრადიციულისაგან განსხვავდება, ისინი უფრო მაღალია. ჩვენი პოზიცია ასე გამოვხატეთ: ტენზომეტრული გაზომვებით მიღებული მონაცემები გადაგვამოწმებინა კლასიკური მეთოდით. საანგარიშო სიგრძე $L_0=5d_0$ ან $L_0=10d_0$ (შეიძლება ავიღოთ მაგალითად $L_0=100$ მმ ან $L_0=200$ მმ, როცა $d_0=20$ მმ) მონიშნება წერტილებით გასაგლეჯ ნიმუშზე L_0 -ს მნიშვნელობა, ასევე საჭიროა გაგლეჯვის შემდეგ d_k -სა და L_k -ს მნიშვნელობების დაფიქსირება. ქარხნის ტრადიციულ მონაცემებში მოტანილია; სიმტკიცის ზღვარი σ_B , დენადობის ზღვარი σ_{∞} , ნ/მმ²; ფარდობითი წაგრძელება, ხშირად δ_7 და ნიმუშის ღუნვაზე გამოცდის შედეგები (დადებითი ან უარყოფითი). ჩვენ გარკვეული მეთოდოლოგიის გამოყენებით ვანგარიშობთ ტრადიციულის გარდა (σ_B , σ_{∞} , δ_7 , ღუნვაზე გამოცდის შედეგი): $\delta(\delta_1+\delta_2)$, $(\sigma_1+\sigma_2)$, S_k , $E_T(a_0^T)$. 1) ფარდობითი წაგრძელება მდგენელებით $\delta_1+\delta_2=\delta\%$, δ_1 -ფარდობითი წაგრძელება ყელის წარმოქმნამდე-%-ში; δ_2 --ფარდობითი წაგრძელება ყელის გაჩენის შემდეგ, %-ში. 2) ყელის ფარდობითი შევიწროება მდგენელებით $(\sigma_1+\sigma_2=\sigma\%$. σ_1 -დიამეტრის ფარდობითი შევიწროება შემცირება ყელის წარმოქმნამდე σ_1 -%-ში, σ_2 - ფარდობითი შევიწროება

ყელის წარმოქმნიდან რღვევამდე 2 %-ში. S_k -რღვევის ჭეშმარიტი წინაღობა

$$S_k = \frac{P_k}{F_k}, \text{ ნ/მმ}^2. E_T - \text{რღვევის ტოტალური (ჯამური) ენერგია, ნ.მ. და მისგან}$$

ნაანგარიშევი (ანგარიშით მიღებული); α_0^T -რღვევის ტოტალური კუთრი, $\alpha_0^T = E_T/F_0$ ჯოული/სმ².

რღვევის ტოტალური ენერგიის (E_T .ნ.მ) ზრდა მიუთითებს იმაზე, რომ გარდაქმნის დროს, ტრადიციულთან ერთად, სახეზეა გარდაქმნის პროდუქტები, რომლებიც აუმჯობესებენ სტრუქტურას, მაგალითად, ზრდიან პლასტიკურობას. მეორე შემთხვევა (ხშირად არასასურველი), როდესაც პლასტიკურობის შემცირების ხარჯზე ვზრდით სიმტკიცის მაჩვენებლებს. სხვანაირად, სტრუქტურულად ლითონს ვაახლოებთ რღვევის-ნგრევის მდგომარეობასთან, ვუმცირებთ ხანგამძლეობას.

აუცილებელია, ავტომატურ რეჟიმში მომუშავე ტენზომეტრული ანალიზის შედეგები კონტროლირდებოდეს კლასიკური მეთოდით. რღვევაზე დახარჯული ენერგია რღვევის დიაგრამის ფართობის ტოლია

$$S = \frac{\epsilon + S_k}{2} \cdot e; \text{ სადაც } \sigma_e \text{ დენადობის ზღვარია ნ/მმ}^2; S_k - \text{რღვევის-ნგრევის}$$

ჭეშმარიტი წინაღობაა $S_k = \frac{P_k}{F_k}, \text{ ნ/მმ}^2, e - \text{ჭეშმარიტი ფარდობითი}$

$$\text{დეფორმაციაა } e = \int_{l_0}^{l_k} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_k}{l_0} = \ln(1 + u), \text{ } \delta \text{ ფარდობითი დეფორმაციაა.}$$

საჭიროა, აგრეთვე, დაფიქსირებული იქნეს ტოტალური ენერგიის მნიშვნელობები ცხლადგლინვისა - $E_T^{ცხ.გლ}$ და თერმული დამუშავების შემდეგ - $E_T^{თ.ღ}$ ნ.მ, რაც მოგვცემს საშუალებას ვიანგარიშოთ $E_T = E_T^{ცხ.გლ} - E_T^{თ.ღ}$, რაც გვიჩვენებს ენერგიის რა სიდიდით შევამცირეთ პლასტიკურობა, რომ გაგვეზარდა სიმტკიცის მაჩვენებლები.

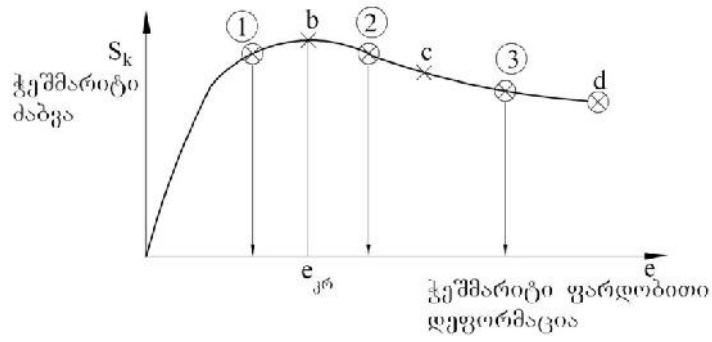
და კიდევ! მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავება (მთმდ) სადისერტაციო ნაშრომში, თანამედროვე წარმოდგენების გამოყენებით, ღრმადაა გაშუქებული. ნაჩვენებია, რომ რაგინდ მაღალი არ იყოს დეფორმაციის ტემპერატურა, მაინც საწყისს ეტაპზე პლასტიკური

დეფორმაცია სრულდება განმტკიცებით (იხილე სქემაზე a შტო), რადგან სისტემას არ შეუძლია შთანთქოს ან გამოყოს (გამოასხივოს) ენერგია უწყვეტად, ამიტომ დგება მომენტი, რაც სპონტანურად ვითარდება რალაქსაციური პროცესები (დინამიკური პოლიგონიზაცია და რეკრისტალიზაცია, ასევე დინამიკური, სქემაზე შტო). ამის შემდეგ განმტკიცებისა და „დარბილების“ პროცესებს შორის მყარდება დინამიკური წონასწორობა, რომელსაც თან სდევს სტრუქტურული სტაბილურობა (სქემაზე cd შტო). ჩვენ გამიზნულად არ ვეხებით ამ რთული პროცესების მექანიზმებს, რომლებსაც საკმარისი დრო, ადგილი, დაეთმო სადისერტაციო ნაშრომში. ჩვენ ვსვამთ ერთ პრაქტიკულ კითხვას და გვსურს გავცეთ პრაქტიკისათვის გამოსაყენებელი პასუხი, როგორ ჩავატაროთ მთმდ-ა ვთქვათ, ჭეშმარიტ კოორდინატებში („S-e“) წარმოდგენილი დიაგრამა და რეალური პროცესი (-ები) მსგავსია, რაც ძალზე ძნელი განსახორციელებელია. სიმარტივისათვის თვითნებურ არედან ვიხილავთ მხოლოდ ერთ (შესაძლებელ) თერმომექანიკურ დამუშავების პროცესს. პირველ შემთხვევაში დამუშავების შემდეგ გვექნება გაზრდილი სიმტკიცის მაჩვენებლები პლასტიკურობის დაბალ მაჩვენებლებთან ერთად (მაგალითად, შედეგები მიღებული პროფილებზე NN 32, 28, 25 მმ). მესამე შემთხვევა ძალიან წააგავს შედეგებს, რომლებიც მიიღება პროფილებზე NN 12, 14, (16) მმ, სიმტკიცისა და პლასტიკურობის მახასიათებლების შედარებით კარგი შეხამებით. მეორე შემთხვევაში გვექნება მექანიკური თვისებების მახასიათებლების ძალზე კარგი შეხამება, რომელსაც განაპირობებს წრთობა ფრაგმენტირებულ აუსტენიტში. ასეთი შედეგები მიღებული გვაქვს „მასალათა თვისებების ლაბორატორიაში“ (ახლა, „მასალათა თვისებების სასწავლო-სამეცნიერო ცენტრი“), საკმარისად რთული ტექნიკის გამოყენებით. რაც შეეხება სორტულ საამქროში არსებულ პროფილებს (NN32-12მმ) აღნიშნული აღნაგობის სტრუქტურის მიღება განუხორციელებელია. ჩვენი მოქმედება შემოიფარგლება, ფოლადი 3 σ -ის, პლასტიკურობის ნაწილის „გადაყვანით“ სიმტკიცეში. ასეთნაირად განმტკიცებული პროფილის ნგრევა-რღვევაზე

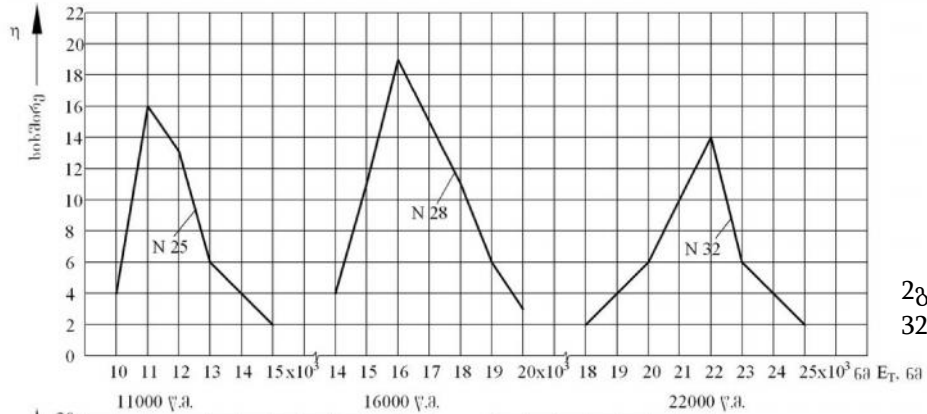
ფოლადის 3-დან მიღებული საარმატურო ფოლადის 12 თვისებები მომდ-ს შემდეგ

ცხრილი 1

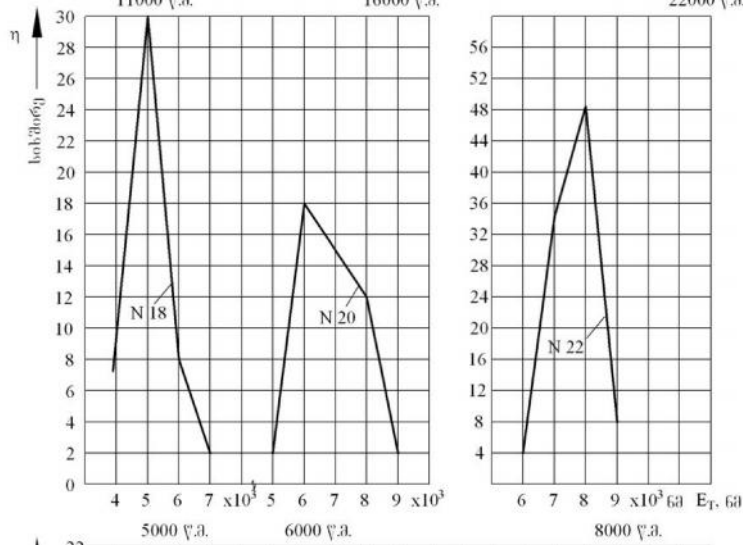
ღნიშნის №	C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	CE, %	S _к , ნ/მმ ²	σ _B , ნ/მმ ²	σ _ღ , ნ/მმ ²	δ=δ ₁ +δ ₂ , %	ψ=ψ ₁ +ψ ₂ , %	ნგრევის ჯამური ენერჯია, E _T , ნ.მ.	ნგრევის კუთრი ენერჯია, α ^T , ჯ/სმ ²
4405	0,20	0,63	0,25	0,043	0,040	0,323	1015	627	512	22=15,3+6,7	52=25+27	1933	1711
4406	0,22	0,62	0,27	0,040	0,035	0,323	1397	651	540	23=14+9	66=12,5+53,5	2074	1835
5001	0,22	0,70	0,32	0,039	0,035	0,337	1162	660	541	24=15+9	65,3=13,3+52	2143	1897
4407	0,21	0,67	0,24	0,042	0,040	0,322	1258	652	515	27=15,5+11,5	62=13+49	1119	990
2332	0,20	0,70	0,27	0,044	0,040	0,317	1302	634	524	20=12,5+7,5	63=11+52	1734	1535
4408	0,22	0,70	0,32	0,035	0,037	0,337	1294	655	527	22=13,5+8,5	63=11,5+51,5	1993	1764
2331	0,21	0,66	0,25	0,040	0,040	0,320	1100	680	583	20=12+8	58=11+47	1901	1682
2333	0,22	0,63	0,25	0,038	0,038	0,343	1198	654	520	24=16+8	68=14+54	2059	1822
3387	0,22	0,65	0,25	0,038	0,030	0,328	1408	700	574	20=13+7	62=12+50	1963	1737
1401	0,24	0,70	0,27	0,045	0,038	0,357	1350	640	550	19=10,6+8,4	65=10+55	1678	1485
2325	0,21	0,64	0,24	0,038	0,028	0,317	978	648	534	20=13+7	50=12+38	1826	1616
4402	0,21	0,60	0,24	0,033	0,031	0,310	1102	679	582	19,4=11,9+7,5	53=10,5+42,5	1925	1704
4397	0,21	0,58	0,29	0,036	0,029	0,317	1162	663	567	18=10,5+7,5	62=10+52	1639	1450



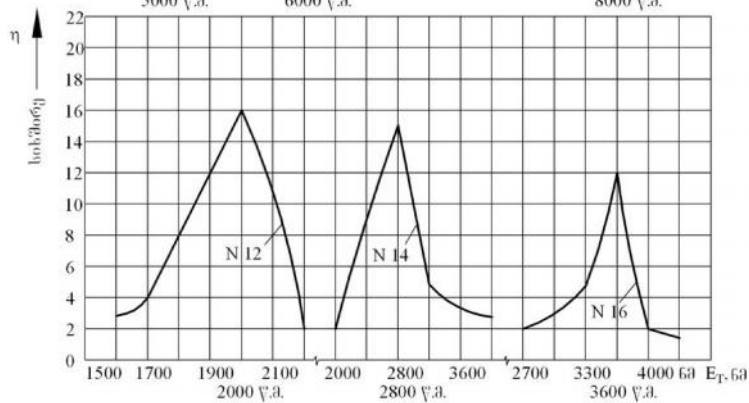
ნახ. 1. (სქემა)



2ა - NN 25, 28, 32 მმ



2ბ - NN 18, 20, 22 მმ



2ს - NN 12, 14, 16 მმ

ნახ. 2ა,ბ,გ. საარმატურე ფოლადების N12-32 მმ ჰისტოგრამები „სიხშირე-რღვევის ჯამური (ტოტალური) ენერგია „E_T“ ნ.მ.

იხარჯება უფრო ნაკლები ტოტალური ენერჯია E_T , ვიდრე იმავე ლითონის რღვევაზე ცხლადგლინულ მდგომარეობაში. ანალოგიურ მონაცემებზე დაყრდნობით ISO სტანდარტი თხოულობს: ფოლადი იყოს შედუღებადი ($C \leq 0,22\%$; $CE \leq 0,43\%$), ხოლო B500W წარმოებისას $\sigma_{\text{ღ}} > 5005/\text{მმ}^2$ მიღებულ იქნეს თერმული დამუშავების გარეშე-ცხლადგლინულ მდგომარეობაში.

ექსპერიმენტის შედეგები მიღებული N12 მოცემულია ცხრილში 1, ხოლო ტოტალური ენერჯიის E_T ცვლილება დიამეტრების მიხედვით წარმოადგენილია სურ. 1ა, ბ, გ; 1ა-ზე- NN28, 25, 32მმ; 1ბ-ზე- NN18, 20,22 მმ; 1გ-ზე- NN12,14,16 მმ.

შემდეგ პარაგრაფში „18ΦT ფოლადის გამოყენება A400C (A500C) არმატურის საწარმოებლად შპს „რუსთავის ფოლადის“ პირობებში განხილულია ფოლადი 3^შ-ის მიკროლეგირების საკითხები. ჩატარებულმა საწარმოო ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ ტიტანისა და ვანადიუმის მიკროლეგირებით ცალ-ცალკე, ყველა პროფილზე მიიღება A400C თვისებები თერმული დამუშავების გარეშე-ცხლადგლინულ მდგომარეობაში.

იგივე კომპოზიციის გამოყენებით (18ΦT) ადვილდება არმატურის თვისებათა გათანაბრება სიგრძეზე (თავი, შუა, ბოლო) მთმდ დროს. ცხრილი 2 მოცემულია ექსპერიმენტული ფოლადის (18ΦT) მექანიკური თვისებების მახასიათებლების ცვლილება ცხლადგლინულ და მთმდ-ის შემდეგ. ექსპერიმენტული მონაცემების განხილვამ აჩვენა, რომ პლასტიკურობის მახასიათებლები თერმული დამუშავების გარეშე უფრო მაღალია, ვიდრე მთმდ-ს შემდეგ. არსებულ ექსპერიმენტულ შედეგებზე დაყრდნობით ლითონს თერმული დამუშავების გარეშე შენარჩუნებული აქვს პლასტიკურობის გარკვეული მარაგი. დისლოკაციებისა და სხვა კრიტალოგრაფიული წყობის დეფექტების სიმკვრივე $< 10^{12}$ კრიტიკულზე, რომლის აყვანაზე 10^{12} სმ⁻²-მდე იხარჯება ენერჯიის გარკვეული რაოდენობა. თუ მხედველობაში გვექნება ბეტონში არსებული არმატურა, მაშინ მას ცხლადგლინულ მდგომარეობაში ექნება უფრო მაღალი ხანგამძლეობა, ვიდრე თერმომექანიკურად დამუშავებულს, სწორედ

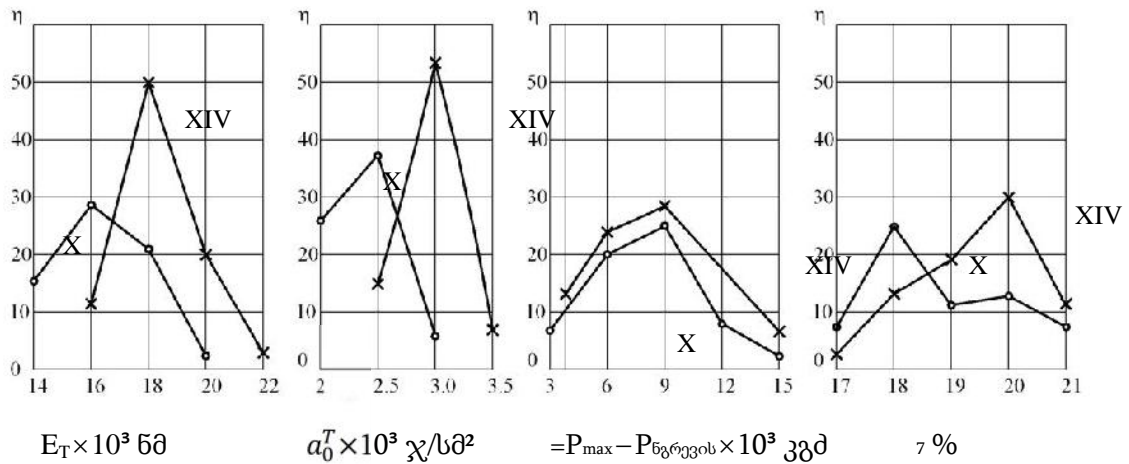
ამიტომ ISO-ს სტანდარტი თხოულობს, რომ თვისებები მიღებული იქნეს თერმული დამუშავების გარეშე-ცხლადგლინულ მდგომარეობაში. ზემოთ აღნიშნულზე დაყრდნობით, საარმატურო ფოლადის ხანგამძლეობის შეფასებისას, მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ენერგეტიკული მახასიათებლების დონე: ნგრევის ჯამური-ტოტალური ენერგია- E_T ნ.მ. და მისგან მიღებული ნგრევის ტოტალური კუთრი ენერგია $-a_0^T$ ჯ/სმ². რაც უფრო მაღალია მათი მნიშვნელობა, მით მაღალია არმატურის (ჩვენს შემთხვევაში) ხანგამძლეობა.

ცხრილი 2. ექსპერიმენტალური ფოლადების (18ΦT) მექანიკური თვისებების მახასიათებლების ცვლილება ცხლადგლინულ და მაღალტემპერატურულ თერმომექანიკური დამუშავების შემდეგ (მომდ)

დნობის №, დამუშავების სახე, არმატურის დიამეტრი / მექანიკური თვისებების მახასიათებლები	რღვევის ჭეშმარიტი წინაღობა S_k , ნ/მმ ²	სიმტკიცის ზღვარი σ_B , ნ/მმ ²	დენადობის ზღვარი σ_e , ნ/მმ ²	ფარდობითი წაგრძელება მდგენელებით $\delta(\delta_1+\delta_2)$ %	ყელის ფარდობითი შევიწროება მდგენელებით $\varphi(\varphi_1+\varphi_2)$ %	რღვევის ჯამური (ტოტალური) ენერგია E_T ნ.მ	რღვევის კუთრი ენერგია a_0^T ჯ/სმ ²
დნ. № 3199 ცხლადგლინული N 20	722	590	414,5	30,5=23+7,5	26=19+7	11074	3527
მომდ-ის შემდეგ	772	722	595	22=13,3+8,7	40=16+24	10649	3391
დნ. № 3882 ცხლადგლინული N 12	1201	616	484	28=18+10	56=45+11	2423	2144
მომდ-ის შემდეგ	1162	617	492	27=17+10	57=46+11	2517	2228
დნ. № 3882 ცხლადგლინული N 14	1369	758	692	20=11,3+8,7	53=39+14	1820	1611
მომდ-ის შემდეგ	1018	760	707	24=11+13	52=34+18	2270	2009
დნ. № 3882 ცხლადგლინული N 14	1046	617	487	25=18+7	52=44+8	4122	2677
მომდ-ის შემდეგ	1104	615	488	25=18+7	53=44+9	3679	2389
დნ. № 3882 ცხლადგლინული N 20	1262	746	664	20=13+7	51=41+10	3470	2253
მომდ-ის შემდეგ	1206	740	663	19=12+7	51=39+12	2989	1941
დნ. № 3882 ცხლადგლინული N 20	770	582	436	27,5=16+11,5	44=32+12	8432	2685
მომდ-ის შემდეგ	776	581	442	31=18+13	44=32+12	9869	3143
დნ. № 3882 ცხლადგლინული N 32	916	711	602	20=11+9	38=26+12	8239	2624
მომდ-ის შემდეგ	919	711	608	22,8=12,5+9,5	40=37+13	7873	2507
დნ. № 3882 ცხლადგლინული N 32	676	602	489	21=14+7	24=18+6	25117	3124
მომდ-ის შემდეგ	677	606	491	22=15+7	24=18+6	28902	3595
დნ. № 3882 ცხლადგლინული N 32	779	736	682	15=8+7	17=10+7	25432	3163
მომდ-ის შემდეგ	754	744	665	16=8+8	19=11+9	21913	2726

მესამე პარაგრაფში მოცემულია არსებული გლინვის სქემების მოდერნიზაციის საკითხები. სუბსტარტს ასეთი საფუძველი ჰქონდა. არსებული საამქროს საგლინავი ნომენკლატურა რთულია NN12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32 მმ. საჭირო გეომეტრიული ზომები NN 25, 28, 32 მმ მიიღება X უჯრედზე, NN 18, 20, 22 მმ მიიღება XII უჯრედზე, N 16 მმ იგლინება XIV-დან. მთლიანი ხაზი გამოყენებულია NN12, 14 მმ-ის დროს. არსებულ იძულებით პაუზებს შესწორებები შეჰქონდათ სტრუქტურათა ფორმირების საკითხებში. გაცივების დაწყებამდე მოქმედებდა მეტადინამიკური რეკრისტა-ლიზაციის პროცესები და ა. შ. ჩვენს მიერ

ავტორეფერატში ხაზგასმით იყო აღნიშნული, რომ სასურველი მთმდ-ის პროცესი ძალზე შორსაა რეალურიდან. არაწრ-თობად ფოლადზე სწრაფი გაცივების გამოყენებით მიიღება სტრუქტურა, სწარმოებს პლასტიკურობის ნაწილის „გადაყვანა“ სიმტკიცის მაჩვენებლებში. დეფორმაციის ახალმა ულუფამ დიამეტრალურად შეცვალა სტრუქტურათა ფორმირების საკითხები. საწარმოო ექსპერიმენტები ჩატარდა არმატურაზე N28 მმ და N 25მმ, აქედან პირველზე ჩატარება N 25 მმ-თან შედარებით ნაკლებად მტკიცეული იყო. სურ. 3-ზე მოცემულია სტატისტიკური ანალიზის შედეგები. ყველა პარამეტრზე მიღებული შედეგი მნიშვნელოვანია, მაგრამ ძალზე ყურადსაღებია შედარების შედეგები მიღებული რღვევის ტოტალური ენერგიების შედარებებისას $E_T^{N28} = E_T^{XIV} - E_T^X \approx 2000$ ნ.მ (შევნიშნავთ, რომ მაგვარი შედეგი N25 მმ-ის დროს კიდევ უფრო მაღალია $E_T^{N25} = E_T^{XIV} + E_T^X \approx 3000$ ნ.მ). მიღებული შედეგი თავისი მნიშვნელობით უტოლდება სამილე შტრიფსების წარმოების ახალ ტექნოლოგიას, როცა ერთფაზა () არეში წარმოებს აუსტენიტის დეფორმაცია შემდგომი გაცივებით $V=20^\circ\text{C}/\text{სეკ}$ წრთობა ბეინიტზე. ამ პირობებში მიღებული გლობულიარული ბეინიტი განსხვავდება წინაარსებულ კონტროლირებად გლინვისაგან ბევრ ასპექტში. ჩვენს მიდგომაში ყველფერი ახალია და აქედან გამომდინარე საჭიროა - დან -მდე დეტალური შესწავლა.ხომ არ დავიჭირეთ მთმდ-ის იდეალური ვარიანტი; შეიძლება გვექონდეს სიმტკიცის ზრდა პლასტიკურობის შეუმცირებლად. არ გამოირიცხება ორივე მახასიათებლის ზრდა დამუშავების შემდეგ. ჩვენ ველოდებით იმ სასურველ დღეს, როცა XIII, XIV, XV, XVI უჯრედებზე არსებული ამძრავები შეიცვლება საჭირო პარამეტრების მქონე ამძრავებით, რითაც მოგვეცემა საშუალება დაწვრილებით იქნეს შესწავლილი საამქროს ძირითადი პროდუქციის (NN 32, 28, 25, 22, 20, 18 მმ) თვისებები გლინვის სქემების მოდერნიზაციის შემდეგ. გვჯერა დამუშავებული გვექნება იგივე მიდგომის ახალი სქემები პროფილებისათვის NN 16, 14, 12 მმ.



სურ. 3. ა,ბ,გ,დ ჰისტოგრამები

ცხრილი 3. ექსპერიმენტალური ფოლადის 18ΦT რღვევის კუთრი (ტოტალური) ენერგიების შედარება ცხლადგლინულ და მთმდ-ს შემდეგ

დნობის N, არმატურის დიამ, რღვევის მმ ჯამური (ტოტალური) კუთრი ენერგ-ბი	რღვევის კუთრი ენერგია ცხლად- გლინულ მდგომარეობაში ახალ a_0^T , ჯ/სმ ²	რღვევის კუთრი ენერგია თერ- მული დამუშავების შემდეგ თხ a_0^T , ჯ/სმ ²	$\Delta a_0^T = \text{ცხლად } a_0^T - \text{თხ } a_0^T$, ჯ/სმ ²	Δa_0^T საშუალო, ჯ/სმ ²
N 3199 N 20 (Ti=0.023%)	3527	3391	136=3527-3391	136
N 3882 N 12 (V=0.08%)	2144	1611	533=2144-1611	376
	2228	2009	219=2228-2009	
N 3882 (V=0.08%) (V=0.03%)	2677	2253	424=2677-2253	436
	2389	1941	448=2389-1941	
N 3882 N 20 (V=0.08%)	2685	2507	178=2685-2507	349
	3143	2624	519=3143-2624	
N 3882 N 32 (V=0.08%)	3124	2726	398=3124-2726	415
	3595	3163	432=3595-3163	

შემდეგი IV პარაგრაფი ეძღვნება „ახალი ფენომენის“ კიდევ ერთი ახალ გამოვლენას ფოლად 18AΦT (C=0,17-0,22%; Si=0,25-0,40%; Mn=0,65-0,80%; P≤0,01%; S≤0,01% + „შლეიფი“ <Ti =0,01-0,2%; N=0,007-0,014%; V=0,07-0,20%>) გლინვისას სორტულ დგანზე. აქაც, როგორ ზემოთ ყველა შემდეგი ახალია, როგორც ცხლადგლინვის პირობებში, ასევე, თერმული დამუშავების

გამოყენებით. ნაშრომის ეს ნაწილი მდიდარია მეტალოგრაფიის შედეგებით, რომლებიც კარგად ავსებენ მექანიკური თვისებების მახასიათებლების ცვლილებას. ცხრილში 4 მოცემულია ექსპერიმენტული შედეგების ძირითადი მონაცემები. განსაკუთრებით შთამბეჭდავია ფარდობითი წაგრძელების მნიშვნელობები $\delta_7=27-35\%$). რა თქმა უნდა, ძალზე საინტერესო იქნება „ახალი ფენომენი“ გლინვის ახალ სქემებთან ერთად.

ცხრილი 4. ფოლადი 18AΦT, დნობის N 7874; მექანიკური თვისებების მახასიათებლების ცვლილება ცხლადგლინული და მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავების შემდეგ

არმატურის დიამეტრი, მმ და დამუშავების სახე	მექანიკური თვისებების მახასიათებლები		
	სიმტკიცის ზღვარი σ_B , ნ/მმ ²	დენადობის ზღვარი σ_d , ნ/მმ ²	ფარდობითი წაგრძელება δ_7 , %
N 25 მმ ცხლადგლინული	660	526	27
N 25 მმ მთმდ	864	795	18
N 25 მმ ცხლადგლინული	657	511	30
N 25 მმ მთმდ	864	786	20
N 18 მმ ცხლადგლინული	684	561	31
N 18 მმ მთმდ	843	782	18
N 18 მმ ცხლადგლინული	689	559	35
N 18 მმ მთმდ	852	779	16
N 16 მმ ცხლადგლინული	699	575	27
N 16 მმ მთმდ	873	811	16,5
N 16მმ ცხლადგლინული	699	571	32
N 16 მმ მთმდ	865	796	19

მესამე თავი „ექსპერიმენტული ნაწილი“ შესრულებულია კვალიფიციურად და გადმოცემულია 18 გვ-ზე. მასში განხილულია: საკვლეო მასალა, მექანიკური გამოცდების მეთოდოლოგია (სტატიკური გამოცდა გაჭიმვაზე, გამოცდა სისალეზე, გამოცდა ღუნვაზე), სტრუქტურული კვლევის მეთოდოლოგია, რომელშიც აქცენტირებულია მიკროსტრუქტურული კვლევის მეთოდები.

აღნიშნულს მოყვება დასკვნა და ინგლისური აბსტრაქტი.

დასკვნა

- სირთულეები, რომლებიც წარმოქმნილია შპს „რუსთავის ფოლადის“ სორტსაგლინავ საამქროში A500C-ის ტიპის არმატურის გლინვისას დაკავშირებულია, როგორც ფოლადსადნობ, ასევე, ლითონების წნევით დამუშავების პროცესებთან.

აუცილებელია ინდუქციური ღუმელების განყოფილებაში გამოშვებულმა ლითონმაც გაიაროს რაფინირების პროცესი თანამედროვე ციცხვ-ღუმელში.

- უწყვეტადსხმული ნამზადის $\square 100$ მმ დეტალურმა შესწავლამ აჩვენა, რომ აუცილებელია ნადნობების ვაკუუმირება, ხოლო უწყვეტი ჩამოსხმის დროს კი - ვიბრატორების ეფექტური გამოყენება.

მოსაგვარებელია ფოლადის სრულად განჟანგვის პროცესი. საჭიროა <Si+Mn> ნაცვლად ტრადიციულ მეთოდზე <Si+Mn+A ან Ti> გადასვლა. ეს კი აუცილებელს ხდის უჩმ-ს ჩაუტარდეს მოდერნიზაცია, რაც მოგვცემს საშუალებას $\square 120$ მმ. აღნიშნულის განხორციელებამდე მიზანშეწონილია განჟანგვა ვაწარმოთ ახალი სამეულით <Si+Mn+Ti>.

ნადნობების მცირე წონები და ხელით მართვის გამაცივებელი სისტემა განაპირობებს აუცილებელ პაუზებს. ამ ამოცანის ამოსახსნელად საჭიროა ფოლადების ქიმიური შედგენილობების სელექტირება (C=0.17-0.20%; Si=0.25-0.40%; Mn=0.65-0.80%; S 0.02%; P 0.02%; ტიტანისა და ვანადიუმის დამატებით - 18ΦT) და ნადნობების 60-100 ტონიან პარტიებად გართიანება, რასაც მოყვება წარმოების მოწესრიგება, საგრძნობი ეკონომიკური ეფექტით.

- დასაბუთებულია, რომ ფლ 3მმ-ის მიკროლეგირებით, როგორც ტიტანით (Ti=0.030-0.045%), ასევე ვანადიუმით (V=0.07-0.14%) ცალ-ცალკე თერმული დამუშავების გარეშე, სტაბილურად მიიღება A400C.

ნაჩვენებია, რომ 18ΦT-ს გამოყენებით ადვილდება A500C-ის მიღება. ტიტანისა და ვანადიუმის გავლენით თანაბრდება თვისებათა მნიშვნელობები მზა პროდუქციის სიგრძეზე, რომლის შემდეგ დამზოგი

რეჟიმებით ჩატარებული მთმდ-ა ხელს უწყობს ერთნაირი თვისებების მიღებას ნაგლინის მთლიან სიგრძეზე.

▪ გლინვის სქემების მოდერნიზაცია - დამამთავრებელი უჯრედების მიახლოება გამაცივებელ სისტემასთან (IX-X უჯრედების შეუცვლელი გადატანა XIII-XIV უჯრედების ნაცვლად არმატურის NN 25, 28, 32 მმ წარმოებისას და XI-XII უჯრედების, ასევე, შეუცვლელი გადატანა XIII-XIV უჯრედების ნაცვლად არმატურის NN 18, 20, 22 მმ წარმოებისას) საშუალებას იძლევა სტაბილურად (მზა პროდუქციის მთელ სიგრძეზე) მივიღოთ მთმდ-ის შემდეგ მექანიკური თვისებების მახასიათებლების მაღალი კომპლექსი, განსაკუთრებით რღვევისადმი წინააღმდეგობის კუთხით (E_T ნ-მ – რღვევის ჯამური – ტოტალური ენერგია და a_0^T ჯ/სმ²–რღვევის ჯამური – ტოტალური კუთრი ენერგია). მაგალითად, N28 მმ-ის გლინვისას XIII-XIV უჯრედებზე საერ-თო გამოჭიმვის კოეფიციენტი $\mu=1.65$, იძლევა სტრუქტურული მდგენელების ახალ ულუფას, რომელიც არსებულთან (ნარჩენთან) ერთად, განაპირობებს თვისებათა მაღალ კომპლექსს, რაც საწინდარია მაღალი ხანგამძლეობის. აღნიშნულის განსახორციელებლად საჭიროა შეიცვალოს XIII, XIV, XV, XVI უჯრედების ამძრავები გლინვისათვის საჭირო მახასიათებლების მქონე აგრეგატებით.

▪ ნაშრომში დასაბუთებულია, რომ ტრადიციულ მექანიკური თვისებების მახასიათებლებთან ერთად (σ_B - სიმტკიცის ზღვარი, ϵ - დენადობის ზღვარი, γ - ფარდობითი წაგრძელება და ღუნვაზე გამოცდის შედეგები) მნიშვნელოვანი ადგილი უნდა დაიკავონ ნიმუშის გაგლეჟვაზე გამოცდის დროს დაფიქსირებულმა ენერგეტიკულმა მახასიათებლებმა–ნგრევის (რღვევის) ჯამურმა–ტოტალურმა ენერგიამ (E_T ნ-მ), ასევე, მისგან წარმოებულმა ნგრევის (რღვევის) ჯამურმა–ტოტალურმა კუთრმა ენერგიამ (a_0^T ჯ/სმ²). ორივე მახასიათებელი ერთად იძლევა სრულ წარმოდგენას ადებუ-ლი ლითონის (მასალის) ხანგამძლეობაზე, რაც მეტია E_T (a_0^T) მით მაღალია ადებუ-ლი პროდუქციის მედეგობა. ამასთან ერთად საჭიროა, გამომცდელი მანქანის მიერ დაფიქსირებული ნგრევის

ჯამური – ტოტალური ენერგია კონტროლდებოდეს გათვლებით მიღებული შედეგებით, რომელთა საფუძველი იქნება არსებული ექსპერიმენტული მონაცემები. ამ მიდგომას გააძლიერებენ: დარტყმითი სიბლანტე მდგენელებით $[a_{0.25}(a_{\beta} + a_{\gamma})]$ ჯ/სმ², გამყიფების ტემპერატურული ზღურბლი (T_{50}), ბზარმე-დეგობა (J_{IC} , ნ/მმ) და სხვა ამ კუთხით შესრულებული ექსპერიმენტული მონაცემები.

▪ გამომცდელი მანქანის (ტაივანი) მიერ დამაჯერებლად დადასტურებულია, რომ აღებული ლითონური მასალის ნგრევაზე (რღვევაზე), ცხლადგლინულ მდგომარეობაში, იხარჯება უფრო მეტი ენერგია, ვიდრე მისი თერმულად (მთმდ) დამუშავების შემდეგ, სხვანაირად, თერმული დამუშავების დროს პლასტიკურობის მახასიათებლები (,) გარკვეულად მცირდება, რომელთა ხარჯზე იზრდება სიმტკიცის მახასიათებლები. ამ დროს დისლოკაციებისა და კრისტალოგრაფიული წყობის სხვა დეფექტების სიმკვრივე იზრდება, რითაც სტრუქტურა (ფართო გაგებით) გარკვეულად უახლოვდება კრიტიკულს ($\approx 10^{11} - 10^{12}$ სმ⁻²). რა თქმა უნდა, ასეთი სტრუქტურის ნგრევაზე დაიხარჯება უფრო ნაკლები ჯამური ენერგია, ვიდრე მაშინ, როცა და -ს მნიშვნელობები უფრო მაღალი იყო. აღნიშნული ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დასკვნაა, რომლის საფუძველზე აუცილებელია საწარმომ გამოუშვას შედურებადი (C 0.22%; CE 0.43%) არმატურა ცხლადგლინულ მდგომარეობაში (თდ-ს გარეშე) დენადობის ზღვრით ≈ 500 ნ/მმ² - B500W. ეს მნიშვნელოვანი ამოცანა ჩვენს მიერ წარმატებულად იქნა გადაწყვეტილი, საწარმოო პირობებში, „ახალი ფენომენის“ - <Ti+N+V> გამოყენებით. ექსპერიმენტული მონაცემებით დადასტურებულია, რომ კომპოზიციას თუ აქვს „შლეიფი“ (Ti=0.01-0.02%; N=0.008-0.014%; V=0.07-0.20%), მაშინ გარკვეული დამუშავების შემდეგ გვექნება „ახალი ფენომენის“ ეფექტი: სიმტკიცის მაჩვენებლების ზრდა, პლასტიკურობის მაღალ დონეზე შენარჩუნებით.

ცნობები დისერტაციის მოცულობისა და სტრუქტურების შესახებ

დისერტაცია წარმოდგენილია 153 გვერდზე, შეიცავს 14 ცხრილს, 19 ნახატს, გამოყენებულ ლიტერატურის 162 დასახელებისაგან შედგენილ ნუსხას.

დისერტაციის სტრუქტურა ტრადიციულია: შესავალი; 1. ლიტერატურის მიმოხილვა; 2. შედეგები და მათი განსჯა; 3. ექსპერიმენტული ნაწილი; დასკვნა; გამოყენებული (ციტირებული) ლიტერატურა.

დისერტაციის სტრუქტურას ქმნის თანმიმდევრულედ 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 (სურათების) ნუსხა, შესავალის, ლიტერატურის მიმოხილვის, შედეგებისა და მათი განსჯის, ექსპერიმენტული ნაწილისა და დასკვნისაგან შედგენილი ძირითადი ტექსტი და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხა.

ინფორმაცია ნაშრომის აპრობაციის შესახებ

- სადისერტაციო ნაშრომის მასალები მოხსენებულ იქნა:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 78-ე საერთაშორისო კონფერენციაზე 2010 წელს, თეზისების კრებული, გვ. 53.

„B500W ტიპის შესადუღებელი არმატურის წარმოება ცხლადგლინულ მდგომარეობაში 13Г1С2ΦТ ტიპის ფოლადებისაგან, განკუთვნილი ჩვეულებრივი რკინაბეტონისათვის“

დოქტორანტი ნუგზარ მუმლაძე, ხელმძღვანელი სრული პროფესორი ვასილ კოპალეიშვილი.

- სადისერტაციო თემასთან დაკავშირებით გამოქვეყნებულია 4 (ოთხი) სამეცნიერო სტატია (2012-2013 წწ) და შექმნილია 3 (სამი) გამოგონება:

- 1) „A500C საარმატურო ფოლადის NN 12-32 მმ წარმოება შპს „რუსთავის ფოლადის“ პირობებში“;
- 2) „18 ტიპის ფოლადის გამოყენება A400C (A500C) არმატურის საწარმოებლად შპს „რუსთავის ფოლადის“ პირობებში“;
- 3) „N 28 მმ არმატურის გლინვა XIV უჯრედიდან X-ის ნაცვლად და მისი გავლენა მზა პროდუქციის თვისებების მახასიათებლებზე შპს „რუსთავის ფოლადის“ პირობებში“; „ახალი ფენომენის“ გამოყენება B500W-ტიპის არმატურის საწარმოებლად“.
- 4) ო. ბარბაქაძე, ვ. კოპალეიშვილი და სხვ. „ლითონური ნადნობის გამოდნობის ხერხი“ საიდენტიფიკაციო ნომერი 12962/01 რომელზედაც 2014-03-04-დან გაცემულია დოკუმენტური დასკვნა #155886 პატენტის გაცემის შესახებ.
- 5) ო. ბარბაქაძე, ვ. კოპალეიშვილი და სხვ. შენადნობის ტემპერატურის საზომი თერმოწყვილი“ საიდენტიფიკაციო ნომერი 12961/01, რომელზედაც 2013-01-11-დან გაცემულია დოკუმენტური დასკვნა #142062 პატენტის გაცემის შესახებ.
- 6) ო. ბარბაქაძე, ვ. კოპალეიშვილი და სხვ. მეტალურგიული ღუმელების მაცივებელი მოწყობილობა საიდენტიფიკაციო ნომერი 12960/01, რომელზედაც 2013-12-03-დან გაცემულია დოკუმენტური დასკვნა #152921 პატენტის გაცემის შესახებ.

არსებული სიახლეები სისტემატურად იყო დოქტორანტ ნუგზარ მუმლაძის მიერ მოხსენებული მეტალურგიის დეპარტამენტის სემინარებზე, რომელსაც ხელმძღვანელობდა დაცვის საბჭოს თავმჯდომარის მოადგილე ტ.მ.დ., სრული პროფესორი ომარ მიქაძე.

Abstract

Requirements for steel in both quantitative and qualitative aspects are growing, resulting in rapid development of metallurgy, among with other industries. For metallurgist it is no longer a dream to obtain a final metal having the desired shape and size a desired structure (structure in a broad sense), a combination of the continuous casting of metal with a continuous rolling process and etc.

Section rolling shop of "Rustavi Steel" is represented: by modern methodical furnace, by XVI-standing controlled continuous rolling mill, which have controlled manually cooling system for high-temperature thermo-mechanical treatment (HTMT), by two flying shears, the first for cutting the damaged ends after VI-th stand, and the second - for cutting the final product in the stream. Cutting to the appropriate size the final products are supplied to the refrigerator and at the end on a cold cutting shear get packets of the desired length and size. For the small dimensions of the finished product storage section rolling shop often uses the area of other shops for the storage of products.

In the present dissertation work main attention focuses on the reinforcement steels, their micro-alloying, on the problem arising, when the nomenclature of the section rolling shop changes in a large range (NN12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32 mm). The observed determines the receiving of the final product from different stands (NN 25; 28, 32 mm - from X-th stand; NN 18, 20, 22 mm - of II-th stand; N16 mm - from XIV-th stand; NN 12, 14 mm - from XVI-th stand). Production of A500C from steel 3 by using HTMT in the Section rolling shop has a complexity, that are associated both with steel-smelting and metal forming processes. It is selected and developed both - traditional and new (original) path-ways for the production in the steel- making and section rolling shops of high quality products, that would suit as a temporary operating standards and existing stricter requirements ISO. For this is necessary, that the steel (liquid metal) issued by the department of induction furnaces come full refining process in a modern furnace-ladle. For a complete degassing is necessary the vacuum treatment of smelt, but at the continuous casting - the use of vibration. For the joining of the 8-12 ton smelts in 60-100 ton batch is necessary selection compositions of steels ($C = 0,17-0,22\%$; $Si = 0,25-0,40\%$; $Mn = 0,65-0,80\%$, addition of titanium and vanadium - 18), after that, among with streamlining of production, a significant economic effect is followed.

Basing on the factory experiments is proved that by micro-alloying as titanium ($Ti=0.030-0,045\%$), that vanadium ($V=0,07-0,14\%$), without heat treatment required for A-400C structure and mechanical characteristics properties are stable obtained. It is shown, that the use of a composition-selected 18 is facilitated the getting of A500C. Under the influence of titanium and vanadium characteristics of the properties along the length of the final product are aligned, and then carried out on the delicate cycle HTMT consistently meets the requirements of A500S.

Modernization of the rolling scheme - approaching of final stands to the cooling system (for example, in the case of NN 28 and 25 mm: carrying without of changing the IX and X stands instead XIII and XIY stands is capable to stably receive after HTMT the high complex of descriptions of mechanical properties, especially from the point of view of break resistance (E_T, Nm ; $a_o^{TY}, J/sm^2$). Completion of the rolling process on XIII - XIY stands with a total stretch $\mu=1,65$ - for N 28 mm gives a new portion of a structural component, which together with the existing, determines the highly complex of properties, which is guarantee of the high durability. On the basis of the investigations it is shown, that the modernization of the existing scheme rolling allows qualified holds of HTMT. Such approach is the guarantor of stable positive

results. Based on the research it is needed replacement drives of XIII, XIV, XV, XVI-th stands by aggregations, having the required characteristics for rolling.

Based on carrying studies it was found out, that in addition to the traditionally essential characteristics (tensile strength σ_B , yield strength σ_s , elongation ϵ_7 and bending test) a significant place have to take the total energy of break with the specific energy of break a_s , since both indicators together provide a complete picture of life time of taken material. It is needed to reach to the testing machine recorded a total (cumulative) controlled energy calculations to be performed on the basis of experimental data.

Using the Taiwanese computer testing machine for tensile, it is convincingly showed that the destruction of hot-rolled reinforcement consumed more energy, than after the heat treatment (HTMT). Otherwise, the heat treatment plastic indices (ϵ_7 , σ_s) to some extent reduced, thereby increasing the strength characteristics. At this time, the density of dislocations and other defects is increasing, due to which the structure approaches to the critical value ($\rho_{cr} 10^{11}-10^{12} \text{ sm}^{-2}$). Of course, on the destruction - break of such a structure up much less total energy is used, than when the σ_B , σ_s values were higher. Noted is one of the most important conclusions, on the basis of which the company necessarily has to produce welded reinforcement B500W ($\sigma_T 500 \text{ N/mm}^2$) in hot-rolled condition without heat treatment. This major problem we have successfully solved (in industrial conditions!) using a "new phenomenon" - $\langle \text{Ti+N+V} \rangle$.