

ირაკლი აბდუშელიშვილი, სტუ-ს დოქტორანტი.

იური კვირიკაძე, სტუ-ს პროფესორი,

ვასილ კობალეიშვილი, სტუ-ს პროფესორი,

ლევან კოტიაშვილი, „დელტას“ თერმული

დამუშავების წამყვანი სპეციალისტი,

ირაკლი ქაშაკაშვილი, სტუ-ს პროფესორი

რეზიუმე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის „მასალათა თვისებების სასწავლო-სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის“ და „სამსხმელო წარმოებისა და ახალი ტექნოლოგიური პროცესების მიმართულების (კათედრის)“ თანამშრომლების მიერ დადგენილია სამილე ფოლადების შეფუთვების ძირითადი პრინციპები, რომელთა გათვალისწინებითაც უწყვეტად სხმული მილნამზადისგან უნაკერო სატუმბო-საკომპრესორო მილების საწარმოებლად იქნა შერჩეული 40AГФТ ფოლადის ქიმიური შედგენილობა და გამოკვლეული იქნა კონტროლირებული ცხელი გლინვის შემდეგ სხვადასხვა რეჟიმით თერმული დამუშავების გავლენა მის მექანიკურ თვისებებზე.

Summary

Employees of “Educational-scientific-research Center of properties of materials” and “Chair of foundry and new technological processes” of Georgian Technical University established tube steels developing basic principles, against which was matched chemical composition of 40NMnVTi steel designed to produce seamless tubing pipes from continuous cast round billets and investigated the effect of different heat treatment conditions after hot controlled rolling on it's mechanical properties.

სანავთობე სორტამენტის მილების მუშაობის პირობები რთულია და არაერთგვაროვანი: სამუშაო ტემპერატურების ფართო ინტერვალი (-60-დან 150-200°C-მდე), ნიშანცვლადი დატვირთვები საბურღი და სატუმბო-საკომპრესორო მილების მუშაობის პროცესში, იმპულსური დატვირთვები სამაგრი მილების კუმულაციური პერფორაციის დროს, კოროზია დაძაბულობის ქვეშ, გოგირდნაყლაბადის გარემოში და სხვა. მუშაობის პირობებიდან გამომდინარე, სანავთობე მილებს უნდა გააჩნდეს მაღალი მექანიკური სიმტკიცე და პლასტიკურობა, წინააღმდეგობა დაღლილობითი და მყიფე რღვევისადმი. რიგი რაიონებისათვის მილების მასალას პირველ

რიგში მოეთხოვება წინააღმდეგობა სულფიდური დასკდომისადმი, ხოლო ჩრდილოეთის რაიონებისთვის – მაღალი ცივმდეგობა. სანავთობე სორტამენტის მილების დასამზადებელი ფოლადების ქიმიური შედგენილობა, ფოსფორისა და გოგირდის გარდა, სტანდარტებში არ არის რეგლამენტირებული, ამიტომ ფოლადის მარკას დამამზადებელი ირჩევს მონოცილობათა კონკრეტული შემადგენლობის და საწარმოს ტექნოლოგიურ შესაძლებლობათა გათვალისწინებით [1-2].

სანავთობე სორტამენტის მილებიდან მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს სატუმბო-საკომპრესორო მილებს რომელთა დანიშნულებაა:

- ჭაბურღილიდან პლასტიკის პროდუქტის (სითხის, აირის, სითხისა და აირის ნარევის და სხვა) ზედაპირზე ამოტანა.
- ჭაბურღილში სითხის ან აირის მიწოდება (აირ-ლიფტური ექსპლუატაცია, ჭაბურღილის გამო-რეცხვა, პლასტიკის ჰიდროგანგრევა, პლასტიკის დანაშალის მჟავური და თერმომჟავური დამუშავება, მისი გახურება ცხელი ორთქლით);
- ჭაბურღილში მონოცილობის ჩაკიდება;
- ჭაბურღილზე საკვლევი სამუშაოების ჩატარება (საკვლევი მონოცილობების ჩაშვება-ამოტანა და სხვ.).

უნაკერო სატუმბო-საკომპრესორო მილები მზადდება სიმტკიცის Π , K, E, Π , M, P ჯგუფის ფოლადებისაგან მოქმედი (რუსეთის თუ დსთ-სა და საბჭოთა) სტანდარტების შესაბამისად, რომელთა მიხედვითაც მილის მასალის სიმტკიცე იზრდება Π -დან P ჯგუფამდე [3-4].

API-ს (American Petroleum Institute) ანუ ანი-ს (ამერიკის ნავთობის ინსტიტუტი) სტანდარტების მიხედვით სატუმბო-საკომპრესორო მილები მზადდება H-40, J-55 და N80 სიმტკიცის ჯგუფების ფოლადებისგან, P-105 – მაღალი სიმტკიცის ჯგუფის ფოლადისგან; გოგირდოვან გარემოში მომუშავე მილები – C-75 და L80 სიმტკიცის ჯგუფების ფოლადებისგან [5].

ცივი კლიმატური პირობების მქონე რეგიონებისთვის ცალკეული ფირმა მილების აწარმოებს უარყოფით ტემპერატურებზე გაზრდილი დარტყმითი სიბლანტის მქონე ფოლადებისგან.

ზოგადად თუ განვიხილავთ სანავთობე მილების წარმოებასთან დაკავშირებულ პრობლემებს, დავინახავთ, რომ მაღალი სიმტკიცის მილების მიღება, მათი თვისებების უზრუნველყოფა სიმტკიცის

ჯგუფების შესაბამისად, ორი ძირითადი გზით არის შესაძლებელი: პირველი გზა არის ფოლადის ლეგირება ძვირადღირებული, უმეტეს შემთხვევაში, მწვანედ დეფიციტური ელემენტებით და შემდეგ ფოლადის ნაწარმის – მიღების სათანადო თერმული დამუშავება, მეორე გზა არის ფოლადის ოპტიმალური და მაღალეფექტური ქიმიური შედგენილობის შემუშავება, მისთვის შესაფერისი და სწორი დეფორმაციული თუ თერმული დამუშავებების რაციონალური რეჟიმების შერჩევა კონკრეტული ქარხნის ტექნოლოგიურ მოწყობილობათა შესაძლებლობების, ტრადიციათა და გამოცდილებათა გათვალისწინებით. ეს მეორე გზა ხშირ შემთხვევაში უპირატესია. ის იძლევა ძვირადღირებული მალეგირებელი ელემენტების უფრო იაფით შეცვლის შესაძლებლობას და ითვისების ნარმოების მასშტაბებს, პროდუქციის სამომხმარებლო თვისებებს – ფასსა და თვითღირებულებას. ამასთანავე ის მოითხოვს ფოლადის სტრუქტურათა ნარმოქმნის პროცესების ღრმად და დანვრილებით შესწავლას თერმული დამუშავების სხვადასხვა რეჟიმზე, რაც იძლევა ფოლადის შინაგანი რესურსების სრულად გამოვლენისა და გამოყენების საშუალებას.

როგორც ლიტერატურის მასალებიდან ჩანს, ჯერ კიდევ დიდია მოთხოვნილება ჩვეულებრივი სიმტკიცის სანავთობე (კერძოდ, სატუმბო-საკომპრესორო და სამაგრ) მიღებზე, მაგრამ მეორეს მხრივ ყოველწლიურად იზრდება მოთხოვნილება სიმტკიცის მაღალი ჯგუფების მიღებზე. მექანიკური თვისებების ასეთი შეხამების მიღწევას კი მხოლოდ მიღების თერმული დამუშავებით თუ ახდენენ. თერმული დამუშავება გულისხმობს წრთობას (ან ნორმალიზაციას) და მაღალტემპერატურულ მოშვებას. თერმული გაუმჯობესება შეიძლება იმ სამილე ფოლადებში განხორციელდეს, რომლებსაც გადაცივებული აუსტენიტის მაღალი მედეგობა გააჩნია, რაც საჭიროა გაცივების სიჩქარეთა ფართო დიაპაზონში, აუსტენიტის დაშლის დაბალტემპერატურული პროდუქტების (მარტენსიტი, ბეინიტი), აუცილებელი რაოდენობით ჩამოსაყალიბებლად [6].

აირსანავთობე სატუმბო-საკომპრესორო მიღების დასამზადებლად სხვადასხვა ქიმიური ელემენტით ლეგირებული ფოლადებია გამოყენებული, რომლებშიც სტრუქტურათა ნარმოქმნას და საჭირო თვისებათა ფორმირებას გამოდნობისა და დეფორმაციული თუ თერმული დამუშავების დროს, განაპირობებენ ისეთი ელემენტების მალეგირებელი, მიკრომალეგირებელი თუ მამოდიფიცირებელი გავლენები, როგორიცაა: მანგანუმი, სილიციუმი, ქრომი, მოლიბდენი, ვანადიუმი, ტიტანი, ბორი, აზოტი და სხვა [7].

მიღების ხარისხის ზრდა უპირველეს ყოვლისა დამოკიდებულია სამილე ფოლადების ხარისხზე, მათში მავნე მინარევების — გოგირდის, ფოსფორის, აირების რაოდენობის შემცირებაზე, როგორც ფოლადის დნობის, ისე მისი ლუმელგარე დამუშავების პროცესში. ყოველივე ეს კი მოითხოვს აგრეთვე ჩამოსხმის პროცესების სრულყოფას, ფოლადის ნარმოების მარტენის მეთოდზე უარის თქმას და ელექტროკ-

ალურ დნობაზე გადასვლას, ლითონის დამუშავებას ციკხვ-ლუმელეებში, უწყვეტად სხმული მილნამზადის გამოყენებას და სხვა [8].

მოკლედ თუ განვიხილავთ ზოგიერთი ელემენტის გავლენას ფოლადის სტრუქტურასა და თვისებებზე შეიძლება აღინიშნოს, რომ ნახშირბადი, რომელიც ფოლადის ქიმიური შედგენილობაში, ცემენტიტის (Fe_3C) სახით იმყოფება, რაოდენობის ზრდასთან ერთად ზრდის ფოლადის სიმტკიცეს, სისაღეს, დრეკადობას და ამცირებს პლასტიკურობას, დარტყმისადმი წინააღმდეგობას, აუარესებს დამუშავებადობას და შედუღებადობას.

სილიციუმი ფოლადის შემცველობაში მცირე რაოდენობით შედის, განსაკუთრებულ გავლენას ფოლადის თვისებებზე არ ახდენს, ხოლო სილიციუმის რაოდენობის გაზრდასთან ერთად იზრდება ფოლადის დრეკადი თვისებები, მაგნიტური შეღწევადობა, კოროზიისადმი წინააღმდეგობა და ჟანგვისადმი წინააღმდეგობა მაღალ ტემპერატურებზე.

მანგანუმი, ისევე როგორც სილიციუმი, ჩვეულებრივ ნახშირბადიან ფოლადებში შედის შედარებით მცირე რაოდენობით და განსაკუთრებულ გავლენას ფოლადის თვისებებზე არ ახდენს, მაგრამ მანგანუმი რკინასთან ნარმოქმნის მყარ ხსნარს და რამდენადმე ზრდის ფოლადის სიმტკიცეს და სისაღეს ამასთან უმნიშვნელოდ ამცირებს პლასტიკურობას. იგი აკავშირებს გოგირდს ნაერთში MnS და ხელს უშლის, ფოლადის მავნე ნაერთის FeS -ის ნარმოქმნას. გარდა ამისა, მანგანუმი არის განმჟანგველი ელემენტი. მანგანუმის მაღალი შემცველობის დროს ფოლადი იძენს განსაკუთრებით მაღალ სისაღეს და ცვეთისადმი წინააღმდეგობას.

გოგირდი ფოლადისთვის მავნე ელემენტს წარმოადგენს. რომელიც მას ჭეშ-ის სახით შეიცავს. ეს ნაერთი ამყიფებს ფოლადს მაღალ ტემპერატურაზე და როგორც ცნობილია, ცხელტეხადობისა და ნითელტეხადობის მოვლენებს იწვევს. გოგირდი ზრდის ფოლადის ცვეთის უნარს, ამცირებს დაღლილობისადმი წინააღმდეგობას და კოროზიამდეგობას.

ფოსფორი აგრეთვე მავნე ელემენტად ითვლება ფოლადისთვის. ის რკინასთან ნარმოქმნის ნაერთს Fe_3P , რომელიც იხსნება რკინაში. ამ ქიმიური ნაერთის კრისტალები ძალზე მყიფეა, ჩვეულებრივ ისინი მარცვლების საზღვრებში განლაგდებიან, ასუსტებენ კავშირს მარცვლებს შორის და ამის შედეგად ფოლადი დაბალ ტემპერატურებზე, ძალზე მაღალ სიმყიფეს იძენს, რასაც, როგორც ვიცით, ცივტეხადობა ეწოდება. ფოსფორის უარყოფითი გავლენა ფოლადზე განსაკუთრებით თავს იჩენს ნახშირბადის მაღალი შემცველობის დროს.

ტიტანი ზრდის ფოლადის სიმტკიცეს და სიმკვრივეს, ხელს უწყობს მარცვლების ზომების შემცირებას. ის კარგი განმჟანგველი, მამოდიფიცირებელი, მიკრომალეგირებელი და მალეგირებელი ელემენტია, თანაც აუმჯობესებს ფოლადის კოროზიამდეგობას.

ვანადიუმი ზრდის ფოლადის სისალესა და სიმტკიცეს, იწვევს სტრუქტურის დაწვრილმარცვლოვნებას, აუმჯობესებს სტრუქტურასა და თვისებებს, მაგრამ ამასთან დეფიციტური და ძვირადღირებული ელემენტია.

ცნობილია აზოტიანი, ვანადიუმით, ნიობიუმით და ტიტანით ლეგირებული, დისპერსულად გასაღებადი ფოლადები. ეს უკანასკნელნი ხასიათდებიან წვრილდისპერსიული ნიტრიდების წარმოქმნით მარცვლების საზღვრებში, რაც ხელს უშლის ამ მარცვლების ზრდას და იძლევა ფოლადის დენადობის ზღვრის და დარტყმითი სიბლანტის ზრდის საშუალებას [9].

ფოლადის ქიმიურ შედგენილობაში შემავალი ელემენტები: ალუმინი, სილიციუმი, ვანადიუმი, ტიტანი და სხვა აზოტთან ურთიერთქმედებისას წარმოქმნიან ნიტრიდებს, რომლებიც მნიშვნელოვნად გავლენას ახდენენ ფოლადის სტრუქტურასა და თვისებებზე, მათ შორის, აუსტენიტის მარცვლის ზომებზეც.

აუსტენიტის მარცვლის ზომა, გარდა ლითონის ბუნებისა, დამოკიდებულია გახურების ტემპერატურასა და ხანგრძლივობაზე. იმ ფოლადებში, რომლებიც წარჩენი ალუმინის საკმაო რაოდენობას შეიცავენ, აუსტენიტის მარცვალი, გარკვეულ ტემპერატურამდე გახურებისას, ნაკლებად იცვლის ზომებს. მარცვალის ინტენსიური ზრდის დაწყების ტემპერატურა და მარცვლის ზომა მნიშვნელოვანი მახასიათებლებია ნახშირბადიანი და ლეგირებული ფოლადებისთვის.

აუსტენიტის მარცვლის ზომა დიდ გავლენას ახდენს ფოლადის მექანიკურ თვისებებზე თერმული დამუშავების შემდეგ. წვრილმარცვლოვან ფოლადებს გააჩნიათ გაზრდილი დენადობის ზღვარი და ამ უკანასკნელის სიმტკიცის ზღვართან თანაფარდობის უფრო მაღალი მნიშვნელობა დიდ დარტყმით სიბლანტესთან ერთად.

0,5%-მდე ნახშირბადის შემცველი ნახშირბადიანი ფოლადების გამყიფების ტემპერატურა დაბლა იწევს მათი ნორმალიზაციის შემდეგ.

აუსტენიტის მარცვლის ზომების მარეგულირებელ ფაქტორთა შორის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია, ფოლადის განჟანგვის ხარისხი, ანუ ფოლადში შეტანილი ალუმინის რაოდენობა.

წვრილმარცვლოვანი ნახშირბადიანი ფოლადის მისაღებად (მარცვლის ზომა №5-8) ე. წ. გახსნილი (წარჩენი) ალუმინის რაოდენობა უნდა იყოს ზღვრებში 0,015-0,030%. რაც შეეხება ტიტანის ნიტრიდის გავლენას ფოლადის დაძვლებასა და აუსტენიტის მარცვლის ზომაზე 0,02-0,04% ტიტანის შემცველობის დროს, იგი უფრო სუსტია, ვიდრე მაგალითად ალუმინის ნიტრიდის გავლენა.

სწორედ ზემოთქმულის გათვალისწინებით არის ჩვენს მიერ შემუშავებული 40AГФТ ტიპის ფოლადის ქიმიური შედგენილობა (ცხრილი 1).

ცხრილი 1. 40AГФТ ტიპის ფოლადის ქიმიური შედგენილობა

ქიმიური ელემენტების შემცველობა მასურ %-ებში									
C	Si	Mn	V	Ti	N	Al	Ca≈	S≤	P≤
0,36-0,44	0,25-0,40	1,30-1,50	0,01-0,14	0,01-0,025	0,007-0,01	0,025-0,035	0,005-0,01	0,02	0,02

ამ ფოლადის ასტონიანი დნობა (ცხრილი 2) გამოდნობილ იქნა ელექტრორკალურ ლუმელში რუსეთის ქ. ვოლგოგრადის მეტალურგიულ ქარხანაში “ნითელი ოქტომბერი”.

ცხრილი 2. ვოლგოგრადის მეტალურგიულ ქარხანაში გადმოდნობილი 40AГФТ ფოლადის ქიმიური შედგენილობა

დნობის №	ელემენტების შემცველობა, მასურ %-ებში									
	C	Si	Mn	S	P	V	Al	Ti	Ca	N
253247	0,40	0,33	1,36	0,016	0,017	0,08	0,029	0,015	0,017	0,014

დნობამ გაიარა ლუმელგარე დამუშავება ციციხე-ლუმელში და უწყვეტად იქნა ჩამოსხმული მრგვალი მილნამზადები დიამეტრით Ø110მმ, რომელთაგანაც საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მასალათა თვისებების სასწავლო-სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრში გაჭიმვასა და დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდებით გამოკვლეული იქნა ლაბორატორიულ საგლინავ დგანზე კონტროლირებული (გახურების ტემპერატურა 900°C, გლინვის სიჩქარე 1,5 მ/წმ, მოჭიმვის ხარისხი 32%) ცხელი გლინვისა და სხვადასხვა რეჟიმზე შემდგომი თერმული დამუშავების გავლენა 40AГФТ ტიპის ფოლადის მექანიკურ თვისებებზე.

გამოცდები გაჭიმვაზე ჩავატარეთ სტანდარტის [10] შესაბამისად FPZ-100 მარკის გამომცდელი მანქანისა და რევერსორის გამოყენებით III ტიპის ხუთჯერად ცილინდრულ (ჰანტელის ფორმის) ნიმუშებზე ნომინალური დიამეტრით 6 მმ. გაჭიმვის პროცესი ხორციელდებოდა 3 მმ/წთ სიჩქარით გაჭიმვის მრუდის ჩანერით. ვსაზღვრავდით დენადობისა და სიმტკიცის ზღვრებს, ფარდობით წაგრძელებას და შევიწროებას ჭეშმარიტ წინალობასთან ერთად და დარტყმით სიბლანტეს სტანდარტის [11] შესაბამისად შარპის ტიპის 5x10x55მმ ზომების ნიმუშებზე MK-30 ტიპის 300ჯ ენერგიის ურნალის გამოყენებით.

თითოეული პოზიციისთვის ვცდიდით 3 ნიმუშს და შემდეგ ვანგარიშობდით დასადგენი სიდიდეების საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობებს. გამოცდების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილში 3.

ფოლადის მდგომარეობა	მექანიკური თვისებების მაჩვენებლები					
	$\sigma_{0.2}$	σ_b	S_k	δ_5	Ψ	KCV
	მგპა	მგპა	გპა	%	%	ჯ/სმ²
მილნამზადი გლინვამდე	390	710	1,5	28	57	56
ცხლად გლინული	655	980	1,4	16	39	73
ცხლად გლინული+ნორმალისაცია 900°C	660	960	1,6	18	54	110
ცხლად გლინული+მოშვება 600°C	630	850	1,4	21	58	123
ცხლად გლინული+ნორმალისაცია 900°C+მოშვება 600°C	660	890	1,6	22	61	142

1. არსებული ფოლადებისა (40ГТ, 38Г1Т, 40ГФ"400" და 40ГФ"140") და ატომური აზოტის გამოყენებით შემუშავებულია სამაგრი და სატუმბო-საკომპრესორო მილების სანარმოებლად განკუთვნილი, უნიფიცირებული (ოპტიმიზებული) 40АГФТ ტიპის ფოლადის კომპოზიცია: C=0,36-0,44%; Si=0,25-0,40%; Mn=1,30-1,50%; S≤0,020%; P≤0,020%; V=0,01-0,20%; Ti=0,01-0,05%; Ca=0,005-0,01%; N=0,007-0,016%, რომელიც მხოლოდ ერთი ელემენტის – ვანადიუმის ცვლილებით იძლევა საშუალებას, ორივე მილსაგლინავ აგრეგატზე ("400"-სა და "140"-ზე) ვანარმოთ არა მარტო სიმტკიცის "K" – $\sigma_d \geq 500 \text{ n/mm}^2$ ($V=0,01-0,04\%$) და "E" – $\sigma_d \geq 560 \text{ n/mm}^2$ ($V=0,07-0,20\%$) ჯგუფების უნაკერო მილები, არამედ გარკვეული სელექტის გამოყენებით, შესაძლებელი ხდება სიმტკიცის უფრო მაღალი ჯგუფების ("J1" – $\sigma_d \geq 660 \text{ n/mm}^2$ და "E" – $\sigma_d \geq 760 \text{ n/mm}^2$) უნაკერო მილების ან სხვა პროდუქციის მიღება. სხვაგვარად, ამოსწილია მასალათმცოდნეობის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი და რთული ამოცანა დცხლადგლინულ მდგომარეობაში მაღალი დენადობის ზღვრის $\sigma_d \geq 760 \text{ n/mm}^2$ მქონე მასალის მიღება.

2. 40АГФТ ტიპის ფოლადზე ჩატარებული კვლევების შედეგებზე დაყრდნობით ნაჩვენებია, რომ კონტროლირებული გლინვა, განხორციელებული მიზანდასახულად და ფოლადის რაციონალურად შემუშავებული ქიმიური შედგენილობით, სტრუქტურათა ჩამოყალიბების პროცესების მართვის საშუალებას იძლევა დაკრისტალებიდან მზა პროდუქციის მიღებამდე, თანაც ისე, რომ ფოლადის ქცევა ტექნოლოგიურ ხაზზე დაემსგავსოს ფუნქციონალურ მასალას. ამ ფოლადის ქიმიური კომპოზიცია ხელს უწყობს მილნამზადის ცივად უდგეფექტო დაჭრას (დაყოფას), ხოლო მეორე შემთხვევაში – მილების ცხლად გლინვის დროს, მექანიკური თვისებების მაღალი მაჩვენებლების მიღებას (დნობა №253246 – $\sigma_s=1030 \text{ n/mm}^2$, $\sigma_d=750 \text{ n/mm}^2$, $\delta_5=13,5\%$, $\Psi=54\%$).

პირველ შემთხვევაში მასალა ამჟღავნებს პლასტიკურობის საკმარისად მაღალ მარაგს. მოყვანილი თვისებათა კომპლექსი, მიღებული ცხლად გლინვის შემდეგ, ახალია. ჩვენი პოზიცია ("მუშა ჰიპოთეზა") შეიძლება ასე ჩამოვყალიბოთ: მაღალ ტემპერატურაზე დეფორმაციისას მყარი ხსნარიდან (აუსტენიტიდან) გამოიყოფა ძალზე წვრილდისპერსული ფაზები, რომლებიც ხელს უშლიან მარცვლების ფრაგმენტების ერთმანეთის ხარჯზე ზრდას. აზრობრივად, ასეთი სტრუქტურა ცხლადგლინულ მდგომარეობაში ემსგავსება განმტკიცებულ დურალუმინებს, როდესაც მეორად ფაზებს კოჰერენტული კავშირი აქვს ფუძესთან. აღნიშნულზე მიუთითებს თვისებათა გარკვეული დეპრესია თერმული დამუშავების დროს.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Трубы нефтяного сортамента: Справочник / Под общ. ред. А. Е. Сарояна.–Изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Недра, 1987.
2. Ткаченко В. А., Шевченко А. А., Стрижак В. И., Пикинер Ю. С. Трубы для нефтяной промышленности. Москва: Металлургия. 1986.
3. ГОСТ 633–80. Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия.
4. ГОСТ Р 52203–2004. Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним. Технические условия.
5. API 5L. Технические условия на трубы для трубопроводов. Отдел разведки и добычи. изд 42. Даллас: АНИ. 2000, С. 19.
6. Фарбер В. М. Пути повышения конструктивной прочности труб. В сборнике "Достижения в теории и практике трубного производства" (Материалы 1-й Российской конференции по трубному производству "Трубы России – 2004"). Научный редактор А. А. Богатов. Екатеринбург: Издательство Уральского государственного технического университета. 2004, С. 390-394.
7. Пикеринг Ф. Б. Физическое металловедение и разработка сталей. Пер. англ. Москва: Металлургия. 1982.
8. Кашакашвили Г. В., Жордания И. С., Булгаков В. П. и др. Повышение качества непрерывнолитых заготовок для труб нефтяного сортамента. Сталь. 1986, №7. С. 30-31.
9. Гудремон Э. Специальные стали. Москва: Металлургиздат, 1959. Т. 1.
10. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.
11. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.