

ომარ შურაძე

ლითონური ნაკეთობების
თბურთი პროცესებით
დამზადება-დამუშავების
დეფექტები

თბილისი

2021

უაკ 669.620.22

წიგნში მოკლე ფორმით აღწერილია ლითონური ნაკეთობების დამზადება-დამუშავების თბური მეთოდები და მათი გავლენა დეფექტების წარმოქმნის მიზეზებზე. განხილულია სხვადასხვა ფაქტორის გავლენა ნაკეთობის გახურებისა და გაცივების პირობებზე. გაანალიზებულია დეფექტებით წარმოქმნილი წუნის სახეები და მათი აცილების საშუალებები.

ნაშრომის მიზანია დაეხმაროს პრაქტიკოს სპეციალისტებს პოლიკრისტალური ლითონური მასალებიდან ნაკეთობების თბური მეთოდებით დამზადება-დამუშავების პროცესებში წარმოქმნილი დეფექტების მახასიათებელი ნიშნების ამოცნობაში. მათი წარმოქმნის საწარმოო მიზეზების გაანალიზებასა და წუნის აცილების ღონისძიებების შემუშავებაში.

ნაშრომი განკუთვნილია მანქანათმშენებლობისა და მეტალურგიულ საწარმოებში ნაკეთობების თბური პროცესებით დამზადება-დამუშავებით, ხარისხის კონტროლითა და საწარმოო-ტექნიკური ექსპერტიზით დაინტერესებული ლითონმცოდნეების, თერმისტების, საჩამომსხმელო და წნევით დამუშავების დარგების ინჟინერ-ტექნოლოგებისა და კონსტრუქტორებისათვის. ნაშრომის პრაქტიკული ორიენტაციის მიუხედავად, იგი დიდ დახმარებას გაუწევს შესაბამისი დარგების მეცნიერებს, უმაღლესი სკოლის პედაგოგებს, დოქტორანტებს, მაგისტრანტებსა და მაღალი კურსის სტუდენტებს.

რედაქტორი - თეიმურაზ ნამიჩეიშვილი ტექნ. მეცნ. დოქტორი
რეცენზენტი - ვაჟა ღარიბაშვილი ტექნ. აკადემიური დოქტორი
გამოცემის რედაქტორი - ცისანა თოდუა-კარტოზია
კომპიუტერული უზრუნველყოფა - პაატა ქორქიასი
დიზაინერი - ვასილ შურაძე

წიგნი გამოიცა „შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით, გრანტი ნომერი SP-21-272“

IISBN 978-9941-9747-8-6

© ო. შურაძე, 2021

გამომცემლობა შპს „საჩინო“

შ ი ნ ა ა რ ს ი

ავტორისაგან 8

შესავალი 16

თავი I. ლითონური მასალების ხარისხი და წარმოების დეფექტები 22

1.1 მასალის ხარისხი და მისი შეფასება 22

1.2 ლითონის დეფექტების სახეები 24

1.3 საწარმოო დეფექტების პირობითი დაყოფა 27

1.4 ლითონური მასალების დეფექტების ზოგადი მიმოხილვა 32

თავი II. რკინის შენადნობების წარმოების დეფექტები 36

2.1 ნახშირბადისა და მუდმივი მინარეგების გავლენა ფოლადის თვისებებზე 36

2.2 ფოლადების და შენადნობების წარმოების ძირითადი დეფექტების კლასიფიკაცია 41

2.3 თხევადი ლითონის, ზოდებისა და უწყვეტი ჩამოსხმის ძირითადი დეფექტები 50

2.4 ფოლადის ნამზადების გახურების ზოგადი დეფექტები 67

თავი III. ჩამოსხმული ნაკეთობების ძირითადი დეფექტები და მათი წარმოქმნის მიზეზები 73

3.1 საჩამოსხმელო წარმოების ზოგადი მიმოხილვა 73

3.2 ჩამოსხმული ნაკეთობების ძირითადი დეფექტები 81

თავი IV. ლითონების წნევით დამუშავების ძირითადი დეფექტები 149

4.1 ზოგადი მიმოხილვა 149

4.2 დეფორმაციის სახეები 152

4.3 წნევით ცხელი დამუშავების ტემპერატურული ინტერვალის შერჩევა	156
4.4 წნევით ცხელი დამუშავებისას ნამზადების გახურების ხანგრძლივობის განსაზღვრა	161
4.5 წნევით ცხელი დამუშავებისას ნამზადების გახურების დროს წარმოქმნილი დეფექტები	162
4.6 წნევით დამუშავების ზოგადი დეფექტები	165
4.7 გლინვა	176
4.7.1 გლინვის დეფექტები	177
4.8 წნეხა	183
4.8.1.წნეხის დეფექტები	183
4.9 ადიდვა	191
4.9.1 ადიდვის დეფექტები	196
4.10 ჭედვა, ჭედვის არსი და ოპერაციები	201
4.10.1 გასაჭედი ლითონის გახურების პროცესში წარმოქმნილი დეფექტები და მათი აცილების საშუალებები	215
4.10.2 ნაჭედების დეფექტები	220

თავი V. რკინანახშირბადიანი შენადნობების ფაზები და სტრუქტურული მდგენელები	232
5.1 რკინანახშირბადიანი შენადნობების ფაზები	232
5.2 რკინანახშირბადიანი შენადნობების სტრუქტურები	244

თავი VI. მალეგირებელი ელემენტების გავლენა რკინანახშირბადიანი შენადნობების სტრუქტურასა და თვისებებზე	263
6.1 რკინის შენადნობების ძირითადი მალეგირებელი ელემენტები	263
6.2 მალეგირებელი ელემენტების უთიერთობა რკინასთან და მათი განაწილება რკინის შენადნობებში	265

6.3 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა ფოლადის ფაზურ და სტრუქტურულ მდგენელებზე	269
6.3.1 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა ფერიტზე	269
6.3.2 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა აუსტენიტზე	271
6.3.3 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა ცემენტიტზე და კარბიდული ფაზები ლეგირებულ ფოლადებში	274
6.3.4 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა პერლიტურ გარდაქმნებზე	276
6.3.5 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა მარტენსიტულ გარდაქმნასა და მოშვებაზე	277
6.3.6 ცალკეული მალეგირებელი ელემენტის გავლენა ფოლადის თვისებებზე	280
6.3.7 ლეგირებული ფოლადების კლასიფიკაცია	286

თავი VII. ფოლადებისა და შენადნობების

თერმული დამუშავება, დეფექტები და მათი

აცილება-გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები	288
7.1 თერმული დამუშავების არსი და დანიშნულება	288
7.2 თერმული დამუშავების კლასიფიკაცია	298
7.3 ფოლადების გახურებისა და დაყოვნების პროცესების არსი თერმული დამუშავებისას	309
7.4 ლითონის თერმული დამუშავების მეთოდების შერჩევა	312
7.5. თერმული დამუშავების ძირითადი დეფექტების ზოგადი მიმოხილვა	314
7.6. ფოლადის მოღობისა და ნორმალიზაციის არსი	324
7.6.1 მოღობა	324

7.6.2. ნორმალიზაცია	334
7.7 მოღობობისა და ნორმალიზაციის დეფექტები	338
7.8 წრთობა	347
7.8.1 წრთობის არსი	347
7.8.2 წრთობის ტემპერატურის შერჩევა	351
7.8.3 გაცივების პროცესის არსი ფოლადის წრთობისას	355
7.8.4 სტრუქტურული გარდაქმნები წრთობისას	359
7.8.5 წრთობის ძაბვები და მათი წარმოქმნის მიზეზები	362
7.8.6 წრთობისას დეტალების დეფორმაციის გამომწვევი მიზეზები	365
7.8.7 ფოლადის წრთობის დეფექტები	368
7.9 ფოლადის მოშვება	381
7.9.1 ფოლადის მოშვების არსი	381
7.9.2 ფოლადის მოშვების დეფექტები	386
7.10 საიარალო ფოლადების თერმული დამუშავება	392
7.10.1 საიარალო ფოლადების თერმული დამუშავების თავისებურებები	392
7.10.2 საიარალო ფოლადების ვაკუუმურ-თერმული დამუშავების თავისებურებები	397
7.10.3 საიარალო ფოლადების თერმული დამუშავების დეფექტები	403

თავი VIII. განმამტკიცებელი დამუშავებების

სპეციალური სახეები	408
8.1 ზედაპირული წრთობა მაღალი სიხშირის დენით	408
8.2 ალით ზედაპირული წრთობა	415
8.3 ფოლადის თერმომექანიკური დამუშავება	416

8.4 ზედაპირული მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავება	420
8.5 თერმოციკლური დამუშავება	420
8.6 სიცივით დამუშავება	422
8.7 საფანტჭავლური ცივჭედვა	427
თავი IX. ქიმიურ-თერმული დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესები	429
9.1 ქიმიურ-თერმული დამუშავების არსი	429
9.2 დანახშირბადიანება	435
9.3 დააზოტება	452
9.4 დააზოტნახშირბადიანება (დაციანება).....	460
9.5 დიფუზიური მეტალიზაცია	468
თავი X. თუჯები	471
10.1 თუჯების სხვადასხვა ნიშნით კლასიფიკაცია და მათი მოკლე დახასიათება.....	471
10.2 თუჯის სხმულების თერმული დამუშავების ძირითადი სახეები.....	474
თავი XI. ლითონის დეტალების თერმული დამუშავების კონტროლი	480
დეფექტების გამოვლენის ძირითადი მეთოდები	488
ლექსიკონი	496
ძირითადი ლიტერატურა	514

ავტორის აგან

მეცნიერების განვითარების მაღალმა დონემ ხელოვნური ინტელექტის სფეროში XX საუკუნის დასასრულს, მასალათმცოდნეებს მისცა საშუალება დაემზადებინათ რეალური სამგანზომილებიანი ობიექტები, კომპიუტერული მოდელის მონაცემების აღწარმოებით. ამჟამად, ადიტიური წარმოების ტექნოლოგიები თანამედროვე მრეწველობის მრავალ დარგში აჩქარებული ტემპებით ინერგება. ნაკეთობის (იგულისხმება მხოლოდ ლითონური ნაკეთობები) კომპიუტერული მოდელის 3D ფორმატში აღწარმოებისა და დეტალების დამზადების ერთი ძირითადი ტექნოლოგია შერჩევითი ლაზერული დნობაა (SLM - Selective laser melting). იგი ადიტიური წარმოების პროცესია, რომელიც რთული გეომეტრიული ფორმის, ხშირად თხელკედლიანი და ღრუტანიანი, ლითონური ობიექტების – დეტალების შექმნის საშუალებას იძლევა.

სამგანზომილებიანი მოდელის შესაქმნელად ლაზერის მძლავრი (200 - 1000 ვტ) სხივის გამოყენებით ლითონის ფხვნილის ნაწილაკები (ციფრული მოდელის შესაბამისად) ერთმანეთს თანდათან “მიედნობა” და მიიღება სასურველი ზომისა და ფორმის დეტალი. მეცნიერებმა, საკვანძო პარამეტრების - ლაზერის სიმძლავრის, სიჩქარის, ლაზერული სკანირების ხაზებს შორის მანძილების, სკანირების ხერხისა (ნაწილებად დაყოფის) და ფხვნილოვანი შრის სისქის ცვლილებით, შეძლეს ნაკეთობების დამზადება უმრავლესი ლითონური მასალისაგან.

SLM ტექნოლოგიისათვის საწყისი მასალა ფხვნილოვანი ლითონები და მათი შენადნობებია, მათ შორის უჟანგავი, საიარაღო

და სხვა მაღალტექნოლოგიური ფოლადები, ტიტანი და ალუმინი თავიანთი შენადნობებით და სხვ. ამ ტექნოლოგიით დამზადებული პროდუქციის ხარისხი იმდენად მაღალია, რომ მათი დამზადების ტექნოლოგიური ციკლიდან გამოირიცხა მექანიკური დამუშავების აუცილებლობა, ასევე ალბეჭდვის პროცესის ინერტული აირით შევსებულ სამუშაო კამერაში ჩატარებით სახარჯო მასალების ოქსიდიზაცია. ამდენად, SLM ტექნოლოგია, პრაქტიკულად, უნარჩენო წარმოებაა.

აღსანიშნავია, რომ ზოგ სფეროში SLM ტექნოლოგიის გამოყენებისათვის საჭიროა ზემოდალი სიმკვრივის (ფორიანობა <1%-ზე) ნაწილაკები. ნებისმიერი ფორი და სიცარიელე ნაკეთობის დეფორმაციის წყარო და, შესაბამისად, მისი სუსტი რგოლია. ამდენად, SLM ტექნოლოგია ახალ ამაღლებულ მოთხოვნებს უყენებს ფხვნილოვან ლითონურ მასალებს. აქედან გამომდინარე, გაჩნდა აუცილებლობა, რომ ახალი ტექნოლოგიის მოთხოვნების შესაბამისად განვითარდეს ფხვნილთა მეტალურგიაც.

3D ფორმატში ალბეჭდვის (კომპიუტერული მოდელირების, ალტერნატიული კონსტრუირების) დასაწყისად ითვლება სამგანზომილებიანი ციფრული მოდელის 20–100 მკმ სისქის შრეებად დაყოფა. 3D პრინტერზე მიერთებულ კომპიუტერში იტვირთება სამგანზომილებიანი ფიზიკური მოდელის ასაგებ შრეთა “ნახაზები” (მზა ფაილი) სტანდარტულ STL (სტერეო ლითოგრაფიულ) ფორმატში. 3D ალბეჭდვის საწარმოო ციკლის დასაწყისში, 3D პრინტერის სპეციალური პლატფორმის შუაში, იყრება სასურველი სისქის საწყისი ლითონური ფხვნილი. ფხვნილის გასწორებისა და კომპიუტერიდან გადაცემული კოორდინატების შესაბამისად, პირველი შრის ლაზერით გადნობის შემდეგ,

მიიღება დასამზადებელი გეომეტრიული ობიექტის “პირველი სართული”. 3D პრინტერი, კომპიუტერიდან ნაკარნახები ყოველი შემდეგი შრის ნახაზის შესაბამისად ადნობს ფხვნილის შემდეგ შრეს ჰომოგენურ მასამდე და, წინა შრეზე შედნობით, თანდათან იმეორებს ციფრული მოდელის შრეების კონტურს. საბოლოოდ კი ყალიბდება რეალური სამგანზომილებიანი ობიექტი.

3D აღბეჭდვის შესაძლებლობები განუსაზღვრელია. სპეციალისტების განსაზღვრებით, “რასაც დახატავთ, იმას შექმნით”. 3D აღბეჭდვის პრაქტიკული გამოყენების სფერო მრავალგვარია (დაწყებული ავიაკოსმოსურით, დამთავრებული სათამაშოების დამზადებით).

ყოველდღიურად მატულობს ლითონური მასალების 3D აღბეჭდვის სამრეწველო პროდუქცია. ლაბორატორიულ პირობებში 3D აღბეჭდვის გამოყენებით ლითონისაგან მიღებული პირველი დეტალი 1989 წელს აღიბეჭდა. საწარმოებში SLM ტექნოლოგიის ფართოდ დანერგვისა და მისი მასშტაბების საილუსტრაციოდ განვიხილოთ ორი მაგალითი: 1. პირველადი ალუმინისა და მზა ალუმინის ნაკეთობების წამყვანი საერთაშორისო მწარმოებელი კომპანია Alcoa 2014 წლის ნოემბერში აცხადებს, რომ გეგმავს სამგანზომილებიანი აღბეჭდვის დანერგვასა და გამოყენებას რეაქტიული ძრავების საკომპლექტებელი და სხვა პროდუქციის წარმოებაში; 2. მსოფლიოში რეაქტიული ძრავების ყველაზე მსხვილი მიმწოდებელი - კომპანია General Electric (GE) 3D აღბეჭდვას იყენებს ისეთი საკომპლექტებელი დეტალების დასამზადებლად, რომელთა შექმნაც სტანდარტული ტექნოლოგიებით შეუძლებელია. კომპანიამ დაგეგმა სავაჭრის ფრქვევანების გამოშვება ტურბოვენტილატორული

რეაქტიული ძრავების (LEAP) შემდეგი თაობისათვის. ამასთან, სურს აღბეჭდოს სამგზავრო Boeing 777X-ის თვითმფრინავებისათვის ყველაზე მძლავრი რეაქტიული ძრავების GE9X-ის საკომპლექტებელი ნაწილები.

აღსანიშნავია, რომ GE-ს ტურბინების მსუბუქი ფრთებისათვის დაგეგმილი აქვს გამოყენება 3D აღბეჭდვის რევოლუციური პროცესის (იტალიური აეროკოსმოსური კომპანია Avio-სა და შვედური კომპანიის Arcam-ის ერთობლივად დამუშავებული მეთოდის) – დნობა ელექტრონული სხივით (EBM - electron beam melting), რომლის დროსაც ლითონური ფხვნილის გასაღნობად, ლაზერის ნაცვლად, ელექტრონების კონა გამოიყენება.

ცხადია, შეუძლებელია წინასწარმეტყველება უახლოეს დროში მოსალოდნელი აღმოჩენებისა, მაგრამ მეცნიერულ პროგნოზსაც აქვს არსებობის უფლება, მას შეუძლია შეგვახედოს მომავალში. უნდა ვივარაუდოთ, რომ კომპიუტერული მოდელებით და ზედმიწევნით ზუსტი ექსპერიმენტებით შესაძლებელი გახდება ეფექტურად განისაზღვროს ლითონური ნაკეთობების ტექნოლოგიური პარამეტრები და ფართოდ დაინერგოს მრეწველობაში ნანომეტრული ფხვნილებიდან დეტალების დამზადების SLM მეთოდი.

ზოგადად, ტექნიკური პროგრესი განპირობებულია თანამედროვე მრეწველობის (მანქანათმშენებლობის, ავიაკოსმოსურ, ელექტრონიკის კავშირგაბმულობის და სხვა) დარგებში გამოყენებული და მომავლის განმსაზღვრელი მასალების მონაცემებით. ტექნიკური გარღვევების მაგალითები აჩვენებს, რომ ისინი, ძირითადად, უკავშირდებიან მასალების ახალი სპეცი-

ფიკური თვისებების გამოვლენას და მათ მიღებას. თანამედროვე პირობებში დიდი მოლოდინია მასალების მაღალტექნოლოგიური წარმოების განვითარებისა და ნანოკრისტალური მასალების ათვისებისადმი. ის, რომ მასალათა თვისებები დამოკიდებულია ნანომეტრული ნაწილაკების გეომეტრიულ ზომებზე, მასალათმცოდნეობას განვითარების ფართო პერსპექტივას უქმნის. თანამედროვე მეცნიერთა საერთო აღიარებით, უახლოეს მომავალში ნანომეტრული ტექნოლოგიები ადამიანის მოღვაწეობის თითქმის ყველა სფეროს (მედიცინას, გენეტიკას, ენერგეტიკას, და მრავალ სხვას) მოიცავს და რადიკალურ გავლენას მოახდენს მეცნიერულ-ტექნიკურ პროგრესზე.

მიუხედავად იმისა, რომ მრეწველობის მრავალ დარგში სწრაფად მიმდინარეობს უახლესი მეცნიერულ-ტექნოლოგიური სიახლეების ათვისება, ისტორიული გამოცდილებებიდან გამომდინარე, დასაშვებია იმის ვარაუდი, რომ პროგნოზირებად მომავალში, მრეწველობაში მათ საყოველთაო ჩანერგვას მრავალი წელი დასჭირდება. აქედან გამომდინარე, თანამედროვე სამრეწველო საწარმოებში ჯერ კიდევ დიდი მნიშვნელობა აქვს რელიზებადი ტექნოლოგიური პროცესების პრობლემებიდან ერთ-ერთის, კერძოდ, დეფექტების წარმოქმნის შესაძლებლობების შემცირებას ლითონური ნაკეთობების თბური მეთოდებით დამზადება-დამუშავებისას.

ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების გარდამავალ პერიოდში წარმოქმნილი მრავალი და მნიშვნელოვანი პრობლემის მიუხედავად, სახელმწიფო, რომელსაც სურს თანამედროვე ეროვნული მრეწველობის განვითარება, ვალდებულია ითვა-

ლისწინებდეს ამ დარგის სპეციფიკას – რომ უმაღლესი ხარისხისა და მაღალი საიმედოობის პროდუქციის შესაქმნელად საწარმოები უნდა ითვისებდნენ უახლეს ტექნოლოგიებს, უნდა აღიჭურვონ მათი წარმოების შესაბამისი საშუალებებით, პროდუქციის ხარისხის კონტროლის თანამედროვე უმაღლესი დონის მეთოდებითა და აპარატურით. ამასთან, ამ სფეროს წარმატებით განვითარებისათვის აუცილებელია ქვეყანამ იზრუნოს მეცნიერების, კონსტრუქტორებისა და წარმოებაში დასაქმებული საინჟინრო-ტექნიკური პერსონალის საწარმოო-ტექნიკური ინტელექტის სიახლეთა შესაბამის დონემდე ამაღლებაზეც. ასეთი ღონისძიებები საწარმოო პროცესების ნებისმიერი პრობლემური საკითხის ადგილზევე დროულად, ოპერატიული გადაწყვეტისა და კითხვებზე ფოკუსირებული ადეკვატური პასუხის მიღების შესაძლებლობას შექმნის. საწარმოს ეფექტური მუშაობის საწინდარი კი წარმოების პროცესში გამოვლენილი დეფექტების დროული და სწორი გამოცნობაა, მათი წარმოქმნის მიზეზებში სწრაფად გარკვევა და პრევენციის ღონისძიებების სრული შემუშავება.

ჩვენს ამოცანას წარმოადგენს პოლიკრისტალური ლითონური მასალებიდან ნაკეთობების თბური დამზადება-დამუშავების პროცესებში წარმოქმნილი დეფექტების განზოგადება, სისტემატიზაცია, ანალიზი და მათი აღმოფხვრის ცალკეული რეკომენდაციების შემუშავება. დეფექტების წარმოქმნის მიზეზების დადგენა შეუძლებელია თუ არ გვეცოდინება დეტალის დამუშავებისას შენადნობებში მიმდინარე გარდაქმნები. ამდენად, აუცილებელი გახდა მოგვეტანა თბური ამა თუ იმ დამუშავების მოკლე მიმოხილვა - განსახილველი დამუშავების თეორიის ზოგადი ელემენტები. წიგნში აქცენტი არ კეთდება

რომელიმე კონკრეტული დეტალის (შენადნობის) დამზადება-დამუშავებაზე.

ნაშრომში კონსპექტური სახითაა წარმოდგენილი გლინვის, წნეხის, ადიდვის პროცესები, ხოლო უფრო დეტალურად - თავსუფალი ჭედვისა და შტამპვის პროცესები, ამ დროს წარმოქმნილი დამუშავების დეფექტები.

კონსტრუქციულად ნაშრომი ისეა წარმოდგენილი, რომ სპეციალისტს ამა თუ იმ დამუშავების დეფექტების ანალიზთან ერთად მიეწოდება მათი წარმოქმნისა და ნაკეთობის (ნამზადის) დაზიანების მიზეზები. რეკომენდებულია მათი აცილების ეფექტური პრაქტიკული საშუალებები. ნაშრომი ხასიათდება გარკვეული ინსტრუქციულობით, რითაც გამოირიცხა ნაკლებმნიშვნელოვანი დაწვრილებითი ახსნა-განმარტებები. ხშირად დეფექტების დასახელებასთან არ არის მოცემული მათი აღმოფხვრის საშუალებები. ასეთ შემთხვევებში დეფექტი თავისი ბუნებით იმდენად გამჭვირვალეა, რომ ახსნის გარეშეც ნათელია მისი გამომწვევი მიზეზები და აღმოფხვრის ხერხები.

ნაშრომი ლითონური ნაკეთობების თბური დამზადება-დამუშავებისას წარმოქმნილი დეფექტების ანალიზის პირველ მცდელობას წარმოადგენს. ამდენად, მას ვერ ექნება “ამომწურავობისა” და “დასრულებულობის” პრეტენზია. მასში წარმოდგენილია ნაკეთობის თბური დამზადება-დამუშავებისას წარმოქმნილი მხოლოდ უმნიშვნელოვანესი დეფექტები. ნაშრომის შექმნის პროცესში ვერ მოხერხდა ავტორთა ჯგუფის ჩამოყალიბება, რომელიც უზრუნველყოფდა თბური დამუშავებისას სტრუქტურაზე ზემოქმედებისა და, შესაბამისად,

შენადნობების თვისებებზე გავლენის ყველა ნიშნის ჩვენებას წარმოების სხვადასხვა დარგში.

ვიმედოვნებთ, ნაშრომი მეცნიერულ-მეთოდურ დახმარებას გაუწევს დარგის სპეციალისტთა დიდ ჯგუფს – კონსტრუქტორებს, ტექნოლოგებს, სხვადასხვა ტემპერატურულ პირობებში ნაკეთობების დამზადება-დამუშავებით დასაქმებულ პრაქტიკოსებს, საკონტროლო და მეტალოგრაფიული ლაბორატორიების თანამშრომლებს. ვფიქრობთ, გახდება მათი მუდმივი სამუშაო-საცნობარო თანამგზავრი. დაეხმარება ნაკეთობებში დეფექტების წარმოქმნის მიზეზების კვლევისას, მათი აცილების ღონისძიებების შემუშავებისას, საწარმოში წარმოქმნილი პრობლემის გადასაჭრელად საკუთარი ცოდნის კონკრეტულ ამოცანებთან მისადაგებასა და პრობლემის გადაწყვეტის პრაქტიკული უნარ-ჩვევების ჩამოყალიბება-განვითარებაში. გააერთიანებს და განამტკიცებს მათი პრაქტიკული მოღვაწეობის ნიჭსა და თეორიული აზროვნების უნარს.

დასასრულ, გულითად მადლობას მოვახსენებთ საქმიანი და კეთილგანწყობილი თანამშრომლობისათვის ქალბატონ ცისანა თოდუა-კარტოზიას, თეიმურაზ ნამიჩეიშვილსა და ვაჟა ლარიბაშვილს (წიგნის რედაქტირებისა და რეცენზირებისათვის), ასევე ერთგულ მეგობრებს – ბატონებს: პაატა ქორქიას, ჯონი ალანიასა და ირაკლი ლაგვილავას წიგნის გაფორმებისას გაწეული თანადგომისათვის.

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

თანამედროვე ტექნიკის მოთხოვნები საკონსტრუქციო მასალების თვისებებზე მზარდი და განსაკუთრებულია. მაღალ სიმტკიცესთან და პლასტიკურობასთან ერთად ისინი, ძირითადად, უნდა ხასიათდებოდნენ დარტყმითი დატვირთვებისადმი მაღალი წინააღმდეგობით, სიბლანტის მარაგით, ნიშანცვლადი დატვირთვებისას დადლილობისადმი მაღალი წინააღმდეგობით, ხახუნის პირობებში მუშაობისას ცვეთამდეგობით, მყიფე რღვევისა და ბზარის გავრცელებისადმი მაღალი წინააღმდეგობით, მაღალი კოროზიამდეგობით.

დეტალებში (კონსტრუქციებში) დეფექტები – ძაბვების კონცენტრატორები მეტ-ნაკლები რაოდენობით ყოველთვის არსებობენ. დეტალის ან კონსტრუქციის შრომისუნარიანობაზე მათი გავლენა მრავალი ფაქტორით განისაზღვრება და, როგორც წესი, დამოკიდებულია დეფექტის ხასიათზე (ზომაზე, ფორმაზე, განლაგებაზე), მასალის თვისებებსა და ექსპლუატაციის პირობებზე. მნიშვნელოვანია განისაზღვროს კონსტრუქციაში ზღვრულად დასაშვები დეფექტების რაოდენობა, რამეთუ უდეფექტო კონსტრუქციის დამზადება პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამასთან, კონსტრუქციებში მასალის საიმედოობა და, შესაბამისად, ნაკეთობის საექსპლუატაციო შესაძლებლობები ხასიათდება არა ცალკე აღებული სიმტკიცის რომელიმე მაჩვენებლით, არამედ – მექანიკური თვისებების კომპლექსით.

დღეისათვის, ყველა გამოყენებული თანამედროვე და უახლოეს მომავალში პროგნოზირებადი საკონსტრუქციო მასალებიდან

სიმტკიცის მოთხოვნილ პარამეტრებს ყველაზე სრულად ფოლადები და შენადნობები პასუხობენ. მხოლოდ ისინი ახამებენ მექანიკური თვისებების მაღალ მაჩვენებლებს კარგ ტექნოლოგიურობასა და შედარებით დაბალ სარეალიზაციო ფასთან. ამის გამო ლითონური შენადნობები მრეწველობის მრავალი დარგისათვის უმნიშვნელოვანესი და შეუცვლელი საკონსტრუქციო მასალებია. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ შენადნობების ხარისხისა და მექანიკური მახასიათებლების ამაღლება ზრდის დეტალის სამუშაო რესურსს, ამცირებს მის განიკვეთს, შესაბამისად - ლითონის ხარჯს.

საკონსტრუქციო შენადნობების უმეტესობისათვის საკონსტრუქციო სიმტკიცის უმნიშვნელოვანესი პარამეტრებია: დენადობის ზღვარი ($\sigma_{დენ}$), ცივმეტეხობის ზღურბლი ანუ სიმყიფის კრიტიკული ბლანტ-მყიფე გადასვლის ტემპერატურა ($T_{კრ}$), დარტყმითი სიბლანტის (KCU, KCV, KCT) დონე და ძაბვის ინტენსიურობის კოეფიციენტი (K_{1C}). აღნიშნული პარამეტრების დასაშვები სიდიდეების კომპლექსის გარეშე კონსტრუქციის საიმედოობა არ იქნება უზრუნველყოფილი, ე.ი. პროდუქციის ხარისხი მოთხოვნილ მაჩვენებლებს ვერ დააკმაყოფილებს.

პროდუქციის ხარისხი შენადნობების დამამზადებელი საწარმოსა და მომხმარებლის მუდმივი ყურადღების საგანია. თანამედროვე ტექნიკის დონის უწყვეტი ზრდის პარალელურად ფართოვდება მოთხოვნები ლითონური მასალების თვისებებსა და ხარისხზე. ლითონური პროდუქციის უდიდესი მომხმარებლები - მანქანათმშენებელი, ავიამშენებელი, ენერგეტი-

კული, სამშენებლო, და სხვა თანამედროვე სამრეწველო საწარმოები მოწოდებული არიან გააუმჯობესონ გამოშვებული პროდუქციის ხარისხი ახალი მოთხოვნების შესაბამისად. ისინი, თავის მხრივ, მუდმივად მზარდ მოთხოვნებს უყენებენ მეტალურგიული პროდუქციის ხარისხს. ამდენად, მეტალურგიული მრეწველობის სპეციალისტთა უპირველესი ამოცანაა ლითონდამამუშავებელი მრეწველობის უზრუნველყოფა მოთხოვნილი სორტამენტის ხარისხიანი ლითონური შენადნობებით. ისინი იღწვიან საწყისი მასალებისა და ნახევარფაბრიკატების მოცემული რაოდენობიდან მიიღონ უფრო მეტი მაღალხარისხოვანი მეტალურგიული პროდუქცია.

ზოგადად, ლითონების გამოყენება მოითხოვს ორი პრობლემის გადაწყვეტას: მეტალურგებმა მადნიდან უნდა მიიღონ მაღალხარისხოვანი ლითონი; ლითონთმცოდნეებმა კი ის უნდა გადაიყვანონ სისხლის, სიმტკიცისა და სიბლანტის თვალსაზრისით უპირატესად სასარგებლო მდგომარეობაში, ამასთან, ისე, რომ განმტკიცებამ მისი გამყიფება არ გამოიწვიოს.

ლითონური ნაკეთობა დამზადება-დამუშავების პროცესში გადის რთულ ტექნოლოგიურ ციკლს: დნობას, ჩამოსხმას, წნევით დამუშავებას, ჭრით მექანიკური დამუშავებას, თერმულ დამუშავებას და სხვა დეტალებთან შეერთებას (კონსტრუქციის აწყობას). ზოგი ნაკეთობის დამზადებისას შესაძლებელია ცალკეული ოპერაციის ამოვარდნა ტექნოლოგიური ჯაჭვიდან ან რომელიმეს რამდენჯერმე განმეორება. ყოველი ოპერაცია ლითონის ფიზიკური და სტრუქტურული მდგომარეობის ცვლილებას იწვევს. შესაბამისად, ლითონის ნაკეთობაში დამაბული მდგომარეობის სიდიდე და ხასიათი იცვლება. ასეთი მუდმივი

ცვლილებებისას ნაკეთობაში დამზადება–დამუშავების დეფექტების წარმოქმნის ალბათობა გზადაგზა მატულობს. გარკვეული დეფექტის წარმოქმნა უკავშირდება როგორც ლითონის მიღებას, ისე ცალკეული სახის დამუშავებას. აქედან გამომდინარე, ნაშრომში დეფექტების ზოგად დახასიათებასთან ერთად, კონკრეტული დამუშავების პროცესების განხილვისას, ცალკეა ნაჩვენები მათი წარმოქმნის მიზეზები და ხელშემწყობი გარემოებები. ნაშრომის ასეთი კონსტრუქცია საშუალებას იძლევა კონკრეტული დამუშავებების დეფექტების და მათი აღმოფხვრა-აცილების ღონისძიებების შესახებ (საჭიროების შემთხვევაში) ბროშურები იქნეს გავრცელებული.

ნაკეთობის დამზადება–დამუშავების ტექნოლოგიურ პროცესებში შესაძლებელია ნაირგვარი დეფექტის წარმოქმნა, მათ შორის: მასალის შედგენილობის (ჩანართები, სიმციფის გამომწვევი მინარევები და ა.შ.); დნობისა და ნამზადების მიღების (ფორიანობა, ჩაჯდომის ნიჟარები, არალითონური ჩანართები, განშრევებები, ჩანაგლინები); მექანიკური დამუშავების (მინარევები, ანგლეჯები, ხიწვები, კაწრულები, ბზარები, ჩანაჭრები, ჭარბი ლოკალური პლასტიკური დეფორმაციები); შედუღების (ბზარები, შეუდუღებლობა, ფორები, შენაჭრები, შედუღების ნარჩენი ძაბვები, ძირითადი ლითონის სტრუქტურის ცვლილება თერმული გავლენის ზონაში და ა.შ.); თერმული დამუშავების (გადახურება, გადაწვა, წრთობის ბზარები, გაუნახშირბადობა, ჭარბი ნარჩენი აუსტენიტი და სხვ.); ზედაპირული დამუშავების (ქიმიური დიფუზია, წყალბადური გამციფება, მექანიკური თვისებების გაუარესება და სხვ.); აწყობის (კაწრულები, ანგლეჯები, შესადუღებელი ნაწიბურების წანაცვლებები, დეტალების ზომების შეუსაბამოებები და სხვ.).

ლითონური ნაკეთობის დამუშავების პროცესში მექანიკური და ქიმიურ-თერმული ზემოქმედების შედეგად იცვლება მასალის სიმტკიცის მახასიათებლები, მყიფე რღვევისადმი გამძლეობა, კოროზიული მედეგობა და სხვ. ლითონის თვისობრივი ცვლილება იწვევს დეფექტების წარმოქმნის ინტენსიურობის ცვლას, რის გამოც მანქანებისა და აგრეგატების ყველაზე უფრო საპასუხისმგებლო კვანძებში გამოყენებულ ლითონურ ნაკეთობებს უტარდება საგულდაგულო ანალიზი, დამზადება-დამუშავების პროცესებში მოსალოდნელი (ამა თუ იმ სახის) დეფექტის წარმოქმნის ალბათობის განსასაზღვრად.

ქარხნების პრაქტიკულ საქმიანობაში ფოლადებსა და შენადნობებში გარეგნულად ძნელად შესამჩნევი დეფექტების იდენტიფიკაციისას (მათი მრავალსახეობის გამო) ჩნდება მნიშვნელოვანი სიძნელე. საკითხს ართულებს დეფექტური ლითონის წნევით ან თერმულად დამუშავების პროცესი. ამ დროს განსაკუთრებით ძნელია განისაზღვროს ზედაპირული დეფექტების წარმომავლობა, რადგან, გახურებისას, ნაკეთობის ზედაპირზე მოქმედი ჰაერი ან ღუმლის ატმოსფერო იწვევს ლითონის ზედაპირული შრის ქიმიური შედგენილობის ცვლილებას (ჟანგვას, გაუნახშირბადოებას, დეფექტის ზონაში ოქსიდების, ნიტრიდების და სხვა ფაზების წარმოქმნას). ზედაპირული დეფექტის სახისა და წარმოქმნის წყაროს საიმედოდ განსაზღვრა ხერხდება მხოლოდ მას შემდეგ, რაც დეფექტი წარმოიქმნება.

დეფექტის აღმოჩენის შემდეგ მისი წარმოქმნის მიზეზების სარწმუნოდ დასადგენად ხშირად აუცილებელია ზედაპირული და შინაგანი დეფექტების შესწავლა კონტროლის კომპლექსური მეთოდებით. ლითონპროდუქციის ხარისხის ობიექტური კომპ-

ლექსური შეფასება საშუალებას იძლევა (კონკრეტული ნაკეთობისათვის) შედგეს დეფექტების კლასიფიკატორი და ამის საფუძველზე დამუშავდეს პროდუქციის ხარისხის მართვის ეფექტური მეთოდები. ვიმედოვნებთ, უმთავრესი დეფექტების კლასიფიკაციისა და მათი აცილების ღონისძიებების სისტემატიზაციის სახელმძღვანელო დანიშნულებით გამოყენება ხელს შეუწყობს ლითონური პროდუქციის ხარისხის ამაღლებას.

თავი I

ლითონური მასალების ხარისხი და წარმოების დეფექტები

1.1 მასალის ხარისხი და მისი შეფასება

ლითონური მასალების წარმოების პროცესში წარმოქმნილი დეფექტების აღწერამდე მოკლედ განვიხილოთ ნაკეთობის ხარისხის შეფასების წესები. მასალის თვისებების ერთობლიობას, რომელიც აკმაყოფილებს დანიშნულების შესაბამის განსაზღვრულ მოთხოვნებს, ეწოდება ხარისხი. ლითონის დამზადებისა და გამოყენების კონკრეტული პირობების მიხედვით, ხარისხის დონე განისაზღვრება ამ მასალის ერთი ან რამდენიმე თვისების რაოდენობრივი მახასიათებლის მაჩვენებლით.

ხარისხის მაჩვენებელი მახასიათებელი თვისებების რაოდენობის მიხედვით იყოფა ერთეულად და კომპლექსურად. ხარისხის ერთეული მაჩვენებელი ხასიათდება პროდუქციის მხოლოდ ერთი თვისებით (მაგ., ფოლადის სისალე), კომპლექსური მაჩვენებელი კი - რამდენიმე თვისებით. პროდუქცია ითვლება ხარისხიანად მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ შესაფასებელი თვისებების კომპლექსი მთლიანად აკმაყოფილებს ხარისხის დადგენილ მოთხოვნებს. კომპლექსური მაჩვენებელია, მაგ., ქიმიური შედგენილობის, მექანიკური თვისებების, მიკრო- და მაკროსტრუქტურის და სხვ. მონაცემები. ხარისხის კომპლექსური მაჩვენებლები აისახება ნორმატიულ დოკუმენტში (მაგ., სტანდარტში).

ხარისხის კონტროლის მეთოდებია: ვიზუალური დათვალიერება, ორგანოლეპტიკური ანალიზი და ინსტრუმენტული კონტროლი. ხარისხის განსაზღვრის სტადიების მიხედვით ასხვავებენ წინასწარ, შუალედურ და საბოლოო კონტროლს. წინასწარი კონტროლისას ფასდება საწყისი ნედლეულის ხარისხი, შუალედურისას - დადგენილი ტექნოლოგიური პროცესის წარმართვის სიზუსტე. საბოლოო კონტროლი განსაზღვრავს მზა პროდუქციის ხარისხს, მის ვარგისიანობას და ნორმატიული დოკუმენტის მოთხოვნებთან შესაბამისობას. ვარგისად ითვლება პროდუქცია, რომელიც სრულად პასუხობს ნორმატიული დოკუმენტის მოთხოვნებს. ნორმატიული დოკუმენტის მოთხოვნიდან გადახრილი და დეფექტური პროდუქცია წუნდებულად ითვლება.

მოთხოვნილი ხარისხის პროდუქციის წარმოებაზე არსებით გავლენას ახდენს გამოყენებული კონტროლის საშუალებების სახე (მთლიანობადარღვეული, დაურღვეველი) და მოცულობა. ამჟამად ყველა მოწინავე სამრეწველო საწარმოში ყოველი კონკრეტული სახის პროდუქციისათვის დამუშავებულია მუდმივმოქმედი საწყისი და შუალედური კონტროლის სახეები და მეთოდები. ისინი შესაძლებელს ხდიან დაბალი ხარისხის პროდუქციის დროულ გამოვლენა-წუნდებას. დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის ნებისმიერ ეტაპზე, წუნდების გამოძწევი დეფექტების აღრიცხვისას გროვდება პირველადი ინფორმაციული მასალა, რომლის ანალიზის საფუძველზეც ხდება ტექნოლოგიური პროცესის კორექტირება და დეფექტის გამოძწევი მიზეზების აღმოფხვრა.

ლითონური პროდუქციის ხარისხი განისაზღვრება ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით, ქიმიური შედგენილობითა და

სტრუქტურით, რადგან მასალის თვისება დამოკიდებულია სტრუქტურაზე, ის კი თავის მხრივ, დამოკიდებულია ქიმიურ შედგენილობაზე. ამდენად, ხარისხის შეფასებისას უნდა განისაზღვროს თვისებები, შედგენილობა და შეფასდეს მასალის სტრუქტურა.

12 ლითონის დეფექტების სახეები

ლითონებისა და შენადნობების ნებისმიერი თვისების კვლევის ამოსავალს წარმოადგენს კრისტალური აღნაგობა. იდეალიზებულ კრისტალში ატომებს უჭირავთ მკაცრად განსაზღვრული მდებარეობა და ქმნიან სამგანზომილებიან კრისტალურ გისოსს. რეალურ კრისტალებში, ჩვეულებრივ, შეინიშნება გადახრები ატომების განლაგების იდეალური წყობიდან (სტატიკური დეფექტები). გარდა ამისა, არსებობს ნაწილაკების თბური რხევებით გამოწვეული დეფექტებიც (დინამიკური დეფექტები).

კრისტალში დეფექტები ჩნდება კრისტალის ზრდისას, თბური, მექანიკური და ელექტრული ზემოქმედებით, ასევე ნეიტრონებით, ელექტრონებით, რენტგენისა და ულტრაიისფერი სხივებით დასხივებისას (რადიაციული დეფექტები და მისთანანი).

პრაქტიკაში განიხილება დეფექტების შემდეგი ზოგადი სახეები:

ნულგანზომილებიანი (წერტილოვანი) დეფექტი არის სიცარიელე, წარმოქმნილი იდეალური სქემის კრისტალურ გისოსში, კრისტალის ძირითადი ატომის (იონის) მიერ მისთვის

განსაზღვრული ადგილის დატოვებისას. გისოსის ასეთ სიცარიელებს ვაკანსიები ეწოდება. კრისტალური გისოსის დეფექტს წარმოადგენს უცხო (მინარევი) ატომი (იონი), რომელიც ჩაანაცვლებს თავისუფალ ადგილზე ძირითად ატომს ან ჩაინერგება ძირითად ატომებს შორის. წერტილოვან დეფექტად ითვლება ნორმალური მდებარეობიდან გადაადგილებული ძირითადი ატომიც (კვანძთშორისი ატომი). ორი სხვადასხვაგვარი, დადებითი და უარყოფითი ატომისაგან შედგენილ იონურ კრისტალებში წერტილოვანი დეფექტები წყვილ-წყვილად წარმოიქმნება. ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშნის ორი ვაკანსია ქმნის შოტკის დეფექტს, ხოლო კვანძთშორისი იონისა და მისგან დატოვებული ვაკანსიის წყვილი - ფრენკელის დეფექტს. კრისტალის წერტილოვანი დეფექტებია აგრეთვე კრაუდიონები და ფოკუსონები;

ერთგანზომილებიანი (ხაზობრივი) – დეფექტი, წარმოიქმნება რეალურ კრისტალში, ზოგიერთი ატომური სიბრტყის გაწყვეტისას. გაწყვეტილი (ზედმეტი) სიბრტყის კიდეები ქმნის კიდურა დისლოკაციებს, ხოლო სიბრტყეების დაგრახისას წარმოიქმნება, ე.წ., ხრახნული დისლოკაცია. ზოგჯერ ხაზობრივ დეფექტს ქმნის ჯაჭვურად (მიჯრით) განლაგებული წერტილოვანი დეფექტებიც;

ორგანზომილებიანი დეფექტი, წარმოიქმნება კრისტალებში ერთმანეთის მიმართ სხვადასხვა (მცირე) კუთხით მობრუნებული კრისტალის უბნების საზღვრებით; ორეულების საზღვრები; წყობის დეფექტები (ერთატომიანი დეფექტების შრე); ელექტრული და მაგნიტური დომენების საზღვრები; ანტი-ფაზური საზღვრები შენადნობებში. ზედაპირული დეფექტებია დისლოკაციების რიგები და ბადეები. ბადეების ერთობლიობა

პოლიკრისტალებში წარმოქმნის მარცვლის საზღვრებს. მარცვლის საზღვრებზე ხშირად იკრიბება მინარევი ატომები და უცხო ნაწილაკები;

სამგანზომილებიან (მოცულობით) დეფექტებს, იწვევს ფორების და არხების წარმოქმნელი ვაკანსიების გროვები; სხვადასხვა დეფექტზე დალექილი ნაწილაკები, თავმოყრილი მინარევები და სხვა.

დეფექტები კრისტალში იწვევენ დრეკად დამახინჯებებს. შედეგად წარმოიქმნება რღვევის გამომწვევი შინაგანი ძაბვები; დეფექტები ეწინააღმდეგებიან დამაგნიტებისა და ელექტრული პოლარიზაციის პროცესებს, ამცირებენ პლასტიკურობას, მოქმედებენ სიმტკიცის, ელექტრული, ოპტიკური და მაგნიტური თვისებების მახასიათებლებზე.

მრავალგვარი დეფექტი ერთდროულად არსებობს რეალურ პოლიკრისტალურ ლითონებსა და შენადნობებში. მაგალითად: წმინდა სტრუქტურის (ატომური მასშტაბის) ვაკანსიები, დისლოკაციები, შედარებით უხეში სუბმიკრობზარები, წარმოქმნილი კრისტალის ბლოკების საზღვრებზე. კიდევ უფრო უხეში მიკრო- და მაკროსკოპული დეფექტები. უკანასკნელი წარმოიქმნება ნაკეთობის არასრულყოფილად დამზადება-დამუშავებისას ან მრავალკომპონენტის შენადნობების დაბალი ტექნოლოგიურობისას. დეფექტი ვლინდება მთლიანობის ან ერთგვაროვნობის დარღვევისას. ლითონურ ნამზადებში, ნახევარფაბრიკატებსა და ნაკეთობებში მოსალოდნელი დეფექტები ერთმანეთისგან განსხვავდებიან ზომით, განლაგებით, ბუნებით და წარმოშობის ისტორიით.

1.3 საწარმოო დეფექტების პირობითი დაყოფა

ლითონური მასალების თბური დამუშავების დეფექტების კლასიფიკაცია პირობითი ხასიათისაა. იგი ხდება სხვადასხვა ნიშნით. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი:

ხაზობრივი ზომის მიხედვით ასხვავებენ ლითონის დეფექტების სამ ტიპს: მაკროდეფექტებს (>50 მკმ-ზე); მიკროდეფექტებს (10-50 მკმ) და სუბმიკროდეფექტებს (<10 მკმ-ზე). დეტალებისა და ნახევარფაბრიკატების ზედაპირებზე, მაკროშლიფებზე, ქიმიურად დამუშავებულ ზედაპირებსა და მაკრორღვევის ზედაპირებზე მაკროდეფექტების არსებობა ვლინდება ვიზუალურად, შეუიარაღებელი თვალით ან ლუპის გამოყენებით (X 30-მდე). მიკროდეფექტები ვლინდება მიკროშლიფებისა და მიკრორღვევის რელიეფების სინათლის მიკროსკოპით შესწავლისას. ფოლადში ყოველთვის ჭარბობს მიკროდეფექტები, რადგან თხევად ლითონს მაკროსკოპული ჩანართები ადვილად შეიძლება მოსცილდეს, ხოლო გამყარებულ ლითონში მათი წარმოქმნის პირობები პრაქტიკულად არ არსებობს. სუბმიკროდეფექტები შეიძლება გამოვლინდეს მხოლოდ ელექტრონულ-მიკროსკოპული ანალიზით.

წარმოშობის მიხედვით: დეფექტები არსებობს მეტალურგიული და არამეტალურგიული.

მეტალურგიული დეფექტები იყოფა 4 ჯგუფად:

- საჩამომსხმელო წარმოშობის დეფექტები (ლითონის დნობისას და სხმულების მიღებისას სხმულში მოხვედრილი მაგ., წიღისა და არალითონური ჩანართები, გამყარებისას წარმოქმნილი ჩაჯდომის ნიჟარები, ცხელი და ცივი ბზარები, აირული ფორები, ლიკვაცია და მისთ.);
- დეფორმაციული წარმოშობის დეფექტები (ბზარები, ბუმტები, ნაკეცები, განშრევა, ბეწვბზარები, ზოლოვნება, ფურჩები და სხვ.);
- ფხვნილოვანი და გრანულაციური ტექნოლოგიების დეფექტები (უცხო ლითონების ჩანართები, არალითონური ჩანართები, ფორიანობა, არამთლიანობები და სხვ.);
- თერმული დამუშავების დეფექტები (გადაწვა, გაუნახშირბადოება, ბზარები, დაბრეცა და სხვ.).

არამეტალურგიული დეფექტები წარმოიქმნება:

ფასონური სხმულებიდან დეტალებისა და ნაკეთობების დამზადებისას, ნახევარფაბრიკატების დეფორმირებისას, ლითონთა შერთების პროცესებში (შედულების, რჩილვის და დამოქლონების დეფექტები), მექანიკური დამუშავებისას, თერმული დამუშავებისას და ა.შ.

გარდა აღნიშნულისა, წარმოშობის მიზეზების მიხედვით, დეფექტები შეიძლება იყოს:

ა) საკონსტრუქციო დეფექტები - ტექნიკურ მოთხოვნებთან შეუსაბამობა, კონსტრუქციის არასრულყოფილება, კონსტრუირებისას დაშვებული შეცდომა, ნაკეთობის მასალისა და თერმული დამუშავების შეცდომით შერჩევა, ნაკეთობის ზომების არასწორი განსაზღვრა, ძაბვების კონცენტრატორების არსებობა,

ძაბვების განაწილების არასწორად გათვალისწინება, მზიდი უნარისა და საექსპლუატაციო დატვირთვების შეცდომით გაანგარიშება, მოხახუნე კვანძების არასაკმარისი დაცვა და სხვ.;

ბ) საწარმოო დეფექტები - ნაკეთობის დამზადების, რემონტის, აღდგენის ან მიწოდების ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევით გამოწვეული ნორმატიული დოკუმენტების მოთხოვნებთან შეუსაბამობა. ძირითადი საწარმოო დეფექტებია:

– შედგენილობის (ჩანართები, სიმყიფის გამომწვევი მინარევები და სხვ.);

– ნამზადების დნობისა და ჩამოსხმის (ფორიანობა, ჩაჯდომის ნიჟარები, არალითონური ჩანართები, განშრევებები);

– მექანიკური დამუშავების (ანაგლეჯები, ხიწვები, სიღამწვრეები, ბზარები, განაჭრები, ლოკალური ჭარბი პლასტიკური დეფორმაცია);

– შედუღების (ბზარები, ნარჩენი ძაბვები, ჩაღრმავებები, ნაკერის არასაკმარისი სიღრმე, ძირითადი ლითონის ცალკეული უბნების თერმული დაზიანებები);

– თერმული დამუშავების (წრთობის ბზარები, გაუნახშირბადოება, ჭარბი ნარჩენი აუსტენიტი და სხვ.).

– ზედაპირების დამუშავების (ქიმიური დიფუზია, წყალბადური გამყიფება, მექანიკური თვისებების დაქვეითება და სხვ.).

– მექანიკური, ქიმიური და ტემპერატურული ზემოქმედების (სიმტკიცის ზღვრის, მყიფე რღვევისადმი წინააღობის, კოროზიული მედეგობის და სხვ. ცვლილებები);

აწყობისას წარმოქმნილი საწარმოო დეფექტები:

– შეერთებების სიხისტის კარგვა (კუთხვილიანი და მოქლონური შეერთებების შესუსტება);

– ზედაპირების კონტაქტის დარღვევა (შესაერთებელი დეტალების მიბჯენის ფართობის შემცირება). ამ დროს ირღვევა შეერთების ჰერმეტიულობა და მატულობს დარტყმითი დატვირთვები;

– დეტალების ჩასმის დეფექტები (ღრეჩოს გაზრდა ან ჭექის შემცირება);

– ზომების დეფექტები (თანაღერძულობის, პერპენდიკულარულობის, პარალელურობის და ა.შ. დარღვევა). ასეთ შემთხვევებში ხდება ექსპლუატაციისას დეტალების გახურება, დატვირთვის გაზრდა, გეომეტრიული ფორმის სახეცვალება, დეტალების დესტრუქცია;

გ) საექსპლუატაციო - დეფექტები გამოწვეული ცვეთის, დაღლილობის, კოროზიის, არასწორი ექსპლუატაციის მიზეზებით (მათ შორის ყველაზე ხშირია: მუშა ზედაპირების ზომებისა და გეომეტრიული ფორმის ცვლილება; მუშა ზედაპირების ურთიერთგანლაგების მოთხოვნილი სიზუსტის დარღვევა; მექანიკური დაზიანებები; კოროზიული დაზიანებები; დეტალის მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების ცვლილება).

დეტალებისა და კონსტრუქციების დეფექტებია:

– მთლიანობის დარღვევა (ბზარები, ნატეხები, განაწყვეტები და სხვ., წარმოქმნილი ექსპლუატაციის პროცესში დასაშვებ დატვირთვაზე გადამეტებისას, ციკლური ნიშანცვლადი ან დარტყმითი დატვირთვებით დეტალის მასალის დაღლილობისას);

– ნაკეთობის ფორმისა და ზომების შეუსაბამობა (ღუნვა, დაგრეხა, შენატყლეულები და სხვ.). ფორმისა და ზომების ცვლილების მიზეზები შეიძლება იყოს აგრეთვე: დეტალებზე დინამიკური დატვირთვებით, დეტალის ზედაპირების არათანაბარი ცვეთით, შინაგანი ძაბვებით, ნარჩენი დეფორმაციებით და სხვ. გამოწვეული ცვეთა;

დ) ნაკეთობაში განლაგების მიხედვით:

– ლოკალური (მიკრო- და მაკრობზარები, ფორები, ჩანართები, კაწრულები და ა.შ.);

– მოცულობითი (დაუშვებელი ფორმისა და ზომების არასასურველი ფაზები, ძირითადი მალეგირებელი ელემენტებისა და მინარევების საშუალო და ლოკალური ქიმიური შედგენილობების შეუსაბამობა ტექნიკურ პირობებთან);

– ზედაპირული (სხვადასხვა ფორმისა და ზომის ბზარები, ხორკლიანობა, ელემენტების ამოწვა და ა.შ.);

– მოცულობის ან ზედაპირის შეზღუდულ ზონებში წარმოქმნილი დეფექტები (ლიკვაცია, არასრული წრთობისა და კოროზიული დაზიანებების ზონები, ადგილობრივი ციკქედვა და სხვ.).

ე) ადგილმდებარეობის მიხედვით:

– შინაგანი (სიღრმითი);

– გარეგანი (ზედაპირული, ზედაპირქვეშა);

ვ) გამოსწორების შესაძლებლობის მიხედვით:

– აცილებადი;

– არააცილებადი.

პროდუქციის წუნთან წარმატებული ბრძოლისათვის აუცილებელია დეფექტების წარმოშობის მიზეზებისა და მათი აცილების მეთოდების ცოდნა. ლითონის ნაკეთობებში დეფექტების წარმოშობის გზა მათი დნობის პროცესიდან იწყება. ნაშრომში ყურადღება გადატანილია, ძირითადად, ნაკეთობისათვის თბური მეთოდებით სასურველი გეომეტრიული ფორმის მინიჭების და შემდგომი დამუშავების პროცესებში წარმოქმნილი დეფექტების განხილვაზე. მაღალტემპერატურული ტექნოლოგიური პროცესებით ნაკეთობების მიღების (ჩამოსხმის, ჭედვის, სხვადასხვა სახის პლასტიკური დეფორმაციის და სხვ.) და შემდგომი დამუშავების (მაგ., სხვადასხვა სახის თერმული დამუშავების) არასრულყოფილი ოპერაციებით ნაკეთობაში, როგორც წესი, მრავალი სახის დამუშავების დეფექტი წარმოიქმნება და გროვდება. დეფექტების შემცირება (ან გამორიცხვა) მექანიკური თვისებების მახასიათებლების ამაღლების და პროექტით მოთხოვნილი მაღალხარისოვანი პროდუქციის მიღების ერთ-ერთი რაციონალური ხერხია.

14 ლითონური მასალების დეფექტების ზოგადი მიმოხილვა

საწარმოში ნაკეთობის დამზადების ნებისმიერ სტადიას თანახლავს მისი საექსპლუატაციო და ტექნოლოგიური პარამეტრების ცვლილების რისკები ფორმულირებული კონსტრუქტორების მიერ. ნაკეთობებში კრიტიკული დეფექტების (დეფექტი, რომლის ნაკეთობაში არსებობისას, კონსტრუქცია ფუნქ-

ციონალურად უვარგისია. ასეთი კონსტრუქციის დანიშნულებისამებრ გამოყენება იწვევს შენობის, ნაგებობის, მისი ნაწილის ან კონსტრუქციული ელემენტის სიმტკიცის, მდგრადობისა და საიმედოობის შემცირებას) სისტემატიზაცია, ანალიზი, წუნის წარმოშობის ფაქტორების აღმოფხვრის პროცესების ოპტიმიზაცია და დეფექტების მინიმიზაცია წარმოადგენს მოთხოვნილი საექსპლუატაციო ხარისხის მქონე პროდუქციის მიღების გარანტს. ლითონის არატექნოლოგიურობით ან ნაკეთობის დამზადება-დამუშავების რომელიმე ეტაპზე გამოყენებული არასრულყოფილი ტექნოლოგიით დეფექტების წარმოქმნის პირობების კვლევა-დიაგნოსტიკა და მიღებული დასკვნების პრაქტიკაში გამოყენება აუმჯობესებს ნაკეთობის ხარისხს და ამცირებს წუნდებულ პროდუქციას.

ზოგადად, ლითონური მასალების დეფექტის თანამედროვე განმარტება შემდეგნაირია: 1. ლითონნაკეთობის ან ნახევარპროდუქტის დეფექტი წარმოადგენს ტექნიკური პირობებით გათვალისწინებული მოთხოვნებიდან გადახრებს, რომლებიც ნაწილობრივ ან მთლიანად არღვევენ მოცემული სახის ნაკეთობის სამომხმარებლო ღირებულების განმსაზღვრელ თვისებათა ერთობლიობას (ქიმიურ შედგენილობას, სტრუქტურას, მთლიანობას და სხვ.). ლიტერატურაში გვხვდება სხვაგვარი განმარტებებიც: 1. დეფექტი არის ლითონის ან შენადნობის კრისტალურ გისოსში ნაწილაკების (ატომების, იონების, მოლეკულების) განლაგების პერიოდულობის დარღვევა, რომელიც იწვევს მათი ფიზიკური და სხვა თვისებების ცვლილებებს; 2. გამოყენებითი ტექნიკური თვალსაზრისით დეფექტი არის ნორმალური (სტანდარტით გათვალისწინებული) ხარისხიდან გადახრა, რაც აქვეითებს ლითონისა და ნაკეთობის სამომხმარებლო ხარისხს.

პრაქტიკაში, თუ რომელიმე პარამეტრის ნორმიდან გადახრა მოცემული ნაკეთობის მუშაობაზე არსებით გავლენას არ ახდენს, მას დეფექტად არ თვლიან. ამასთან, ზოგიერთი გადახრა დეფექტია მხოლოდ ერთ კონკრეტულ შემთხვევაში (მაგ., დეტალის დადლილობაზე მუშაობისას), ხოლო მეორე შემთხვევაში (მაგ., სტატიკური დატვირთვისათვის) მას შეიძლება მნიშვნელობა არ ჰქონდეს.

საწარმოო პროცესებში ხარისხის პრობლემების გამოვლენისა და დეფექტების შესახებ მონაცემების სრული ანალიზისათვის აუცილებელია მათი აღრიცხვა და ცალკეული დეფექტის წარმოქმნის მიზეზების ანალიზი. იგი მოიცავს დეფექტის სახის, ადგილის, წარმოშობის მიზეზის, მის გამოსარიცხად გატარებული ოპერაციების ჩამონათვალს და მის საბოლოო შეფასებას. წარმოებული პროდუქციის მაღალი ხარისხის სტაბილურად შენარჩუნება შესაძლებელია დეფექტების მინიმუმამდე შემცირებით ან მათი სრული აცილებით. დეფექტების რეგისტრაციითა და მათი წარმოქმნის რეალური მიზეზების ანალიზის საფუძველზე ჩატარებული კორექტირება დეფექტების განმეორებით წარმოქმნას გამორიცხავს.

ნაკეთობის დამზადება-დამუშავების დეფექტების უდიდესი ნაწილი წარმოიქმნება მათი სხვადასხვა ტემპერატურულ პირობებში დამუშავებისას. დღეისათვის ლითონური მასალებისა და ნაკეთობების სხვადასხვა ტემპერატურულ პირობებში დამზადება-დამუშავების დეფექტების შესახებ ერთიანი, სისტემატიზებული ცნობები და ტექნიკური ანალიზი ქართულ ენაზე არ არსებობს.

პრაქტიკაში გამოყენებული შენადნობები ძირითადად წერტილოვანი, ხაზობრივი, ზედაპირული და მოცულობითი არასრულყოფილებებისაგან შედგება. ლითონური მასალა, ნებისმიერი ტექნოლოგიური დამუშავების შემდეგ, ყოველთვის შეიცავს: ვაკანსიების ან კვანძთშორისი ატომების დიდ რაოდენობას, საწყისი დისლოკაციების დიდ სიმკვრივეს, მიკროზარებს, ჩანართებს, დამზადების დეფექტებს და სხვ. მიკრო- და მაკროსკოპული დეფექტები განაპირობებს სტრუქტურის არერთგვაროვნებას, მოქმედებს ნაკეთობის სიმტკიცეზე, ამცირებს მის საექსპლუატაციო თვისებებს ან იწვევს რღვევას.

თავი II

რკინის შენადნობების წარმოების დეფექტები

2.1 ნახშირბადისა და მუდმივი მინარევების გავლენა ფოლადის თვისებებზე

ფოლადებისა და რკინის სხვა შენადნობების თვისებებზე მუდმივი მინარევების გავლენის ხასიათი განისაზღვრება ძირითად კომპონენტთან - რკინასთან - დამოუკიდებელი ფაზის წარმოქმნის უნარიტა და ამ ფაზის წარმოქმნის ადგილით. მუდმივ მინარევებს მიეკუთვნება ნახშირბადი, მანგანუმი, სილიციუმი, გოგირდი, ფოსფორი, ასევე აირები - წყალბადი და აზოტი. აირებთან ერთად ფოლადებისა და შენადნობების “სავალდებულო” კომპონენტებად ითვლება მუდმივი (ტექნოლოგიური) მინარევები. დნობისას (P, S)-ის, განჟანგვისას (Si, Mn)-ის და კაზმიდან - ლითონის ჯართიდან (Ni, Cr)-ის მოხვედრა შენადნობში გარდუვალია, ხოლო მათი მოცილება ფოლადის დნობისას არის რთული. მოკლედ განვიხილოთ თუ რა დეფექტების წარმოქმნას უწყობენ ხელს მუდმივი მინარევები.

ნახშირბადი რკინასთან წარმოქმნის მყარ ხსნარს - Fe_{α} -ს და ცემენტიტს - Fe_3C -ს. ფოლადის თვისებებზე ნახშირბადის გავლენა, ძირითადად, განისაზღვრება ცემენტიტის თვისებებით და დაკავშირებულია ძირითადი სტრუქტურული მდგენელების - ფერიტისა და ცემენტიტის რაოდენობის ცვლილებაზე. ნახშირბადის კონცენტრაციის 1,2%-მდე ამადლებისას მატულობს: სიმტკიცე, სისალე, ცივმეტეხობის ტემპერატურული ზღურბლი (0,1%C ამადლებს ცივმეტეხობის ტემპერატურულ ზღურბლს $20^{\circ}C$ -ით), დენადობის ზღვარი, ელექტროწინააღობა

და კოერციტიული ძალა. ამავე დროს მცირდება სიმკვრივე, სითბოგამტარობა, სიბლანტე, პლასტიკურობა, ფარდობითი წაგრძელება, ფარდობითი შევიწროება და ნარჩენი მაგნიტური ინდუქცია. მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ფიზიკური თვისებების ცვლილება იწვევს მთელი რიგი ტექნოლოგიური თვისებების (შტამპვისას - დეფორმირებადობის, შედუღებისას - შედუღებადობის და სხვ.) გაუარესებას.

კარგი შედუღებადობით გამოირჩევა დაბალნახშირბადიანი ფოლადები. საშუალო და განსაკუთრებით მაღალნახშირბადიანი ფოლადების შესადუღებლად აუცილებელია მათი წინასწარ შეთბობა, შენელებული გაცივება და ბზარების წარმოქმნის ხელშემშლელი სხვა ტექნოლოგიური ოპერაციების ჩატარება.

მანგანუმი (0,8%-მდე), ფოლადებისა და შენადნობების დნობისას, განჟანგვის ხარისხის გასაუმჯობესებელი და გოგირდის მავნე გავლენის ასაცილებელი ტექნოლოგიური დანამატია. იგი შედის Fe_{α} მყარი ხსნარის შედგენილობაში და, როგორც ტექნოლოგიური მინარევი, ფოლადის თვისებებზე მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენს.

სილიციუმი, ფოლადებისა და შენადნობების დნობისას, განმჟანგველი ტექნოლოგიური დანამატია. ნადნობის გამყარების შემდეგ მისი რაოდენობა ლითონში 0,37%-ს არ უნდა აღემატებოდეს. სილიციუმი იხსნება Fe_{α} მყარ ხსნარში და იგი, როგორც ტექნოლოგიური მინარევი, ფოლადის თვისებებზე გავლენას არ ახდენს. მიუხედავად ამისა, მისი შემცველობა შედუღებისთვის განკუთვნილ ფოლადებში 0,12 - 0,25%-მდე იზღუდება.

გოგირდი, როგორც ტექნოლოგიური მინარევი, ფოლადებში 0,035 - 0,06%-ის ზღვრებში მერყეობს. იგი პრაქტიკულად არ

იხსნება აუსტენიტში და ფოლადში მყოფე FeS-ის და MnS-ის სულფიდების ევტექტიკის (დნობის ტემპერატურა 985°C) სახით იმყოფება. თანაც ევტექტიკა, როგორც წესი, მარცვლის საზღვრებზე კრისტალდება. ფოლადებში გოგირდის შემცველობის მატება მნიშვნელოვნად ადაბლებს მექანიკურსა და ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს, კერძოდ, ამცირებს პლასტიკურობას, დარტყმით სიბლანტეს, ცვეთისადმი წინააღმდეგობას და კოროზიულ მედეგობას. დიდი რაოდენობით გოგირდის შემცველობა ცხელი დეფორმაციისას იწვევს წითელმეტეხობას (ვლინდება ჩანახევების სახით FeS ჩანართებზე). გარდა ამისა, გოგირდის ამაღლებული შემცველობა მზა ნაკეთობების შედუღებადობას ადაბლებს.

ფოსფორი, როგორც ტექნოლოგიური მინარევი, ფოლადში 0,025 - 0,045%-ის ზღვრებში იცვლება. იგი შედის Fe_α მყარი ხსნარის შედგენილობაში. ფოლადებსა და შენადნობებში ფოსფორი, გოგირდთან ერთად, უმთავრესი მავნე მინარევია. მისი შემცველობის უმნიშვნელო გაზრდაც კი, ერთდროულად, სიმტკიცისა და დენადობის ზღვრების, სიმყიფის კრიტიკული ტემპერატურისა და ცივმეტეხობის ზღურბლის ამაღლებას იწვევს. ადაბლებს პლასტიკურობასა და სიბლანტეს. ფოსფორის ასეთი მოქმედება მისი კრისტალშიგა ლიკვაციით და ლითონში მარცვლის ზრდის ხელშეწყობით აიხსნება. ფოსფორის მავნე მოქმედება განსაკუთრებით ძლიერად ვლინდება ნახშირბადის ამაღლებული შემცველობისას.

ჟანგბადი და აზოტი მეტისმეტად მცირე რაოდენობით იხსნებიან ფოლადში და აბინძურებენ მას არალითონური ჩანართებით (ოქსიდებით, ნიტრიდებით, აირული ფაზით). ისინი უარყოფით გავლენას ახდენენ ლითონის თვისებებზე, იწვევენ

მექანიკური თვისებების ანიზოტროპიას, ამდლებენ სიმყიფეს და ცივმეტეხობის ზღურბლს, ადაბლებენ სიბლანტესა და გამძლეობას. ჟანგბადის 0,03%-ზე მეტი შემცველობა ფოლადებში იწვევს დაძველებას, ხოლო 0,1% - ცხელმეტეხობას. აზოტი ამდლებს ფოლადის სიმტკიცესა და სისაღეს, მაგრამ ადაბლებს პლასტიკურობას. აზოტის მაღალი შემცველობა იწვევს დეფორმაციულ დაძველებას. დაძველების პროცესი ოთახის ტემპერატურაზე ნელა ვითარდება და მნიშვნელოვნად ჩქარდება 250°C-მდე გახურებისას.

ხარისხიანი ნახშირბადიანი ფოლადი გამყარების შემდეგ მით უფრო სუფთა და ხარისხიანია, რაც უფრო დაბალია მასში (გამყარებამდე) ჟანგბადის საერთო შემცველობა. გახსნილი ჟანგბადის შემცველობა გამყარების მომენტში განსაზღვრავს ამა თუ იმ ტიპის (მდულარე, ნახევრადმშვიდი, მშვიდი) ფოლადის მიღებას.

აზოტი ნადნობში გადადის ატომების (არა მოლეკულურის) სახით. აზოტის ხსნადობა მცირდება რკინის თხევადი მდგომარეობიდან მყარში გადასვლისას (რკინასა და ფოლადში აზოტის ხსნადობებს შორის სხვაობა უმნიშვნელოა). აზოტის აირული ფაზიდან რკინაში გადასვლა არის ორი პროცესის ჯამი: ა) აზოტის მოლეკულის ატომებად დისოციაცია და ბ) რკინაში აზოტის ატომების გახსნა. აზოტი თხევადი ლითონისაგან შთაინთქმება მისი დნობის ყველა პერიოდში. ატმოსფერო არის აზოტის უშრეტი წყარო. რაც უფრო მჭიდრო კონტაქტია გამდნარ ფოლადსა და ატმოსფერულ აზოტს შორის, მით უფრო მეტი აზოტი ხვდება ფოლადში.

ფოლადის თვისებებზე აზოტის გავლენის ძირითადი მიზეზი მისი კრისტალიზაციისას და $\gamma \rightarrow \alpha$ გარდაქმნისას აზოტის ხსნადობის შემცირებაა (α -ფაზაში აზოტის ხსნადობა ოთახის ტემპერატურაზე 0.015 - 0,001 %-ს შეადგენს). ფოლადში მაღალ ტემპერატურებზე ნიტრიდწარმოქმნილი ელემენტების (Ti, Al, Zr, V) არარსებობისას, α -რკინის წარმოქმნის შემდეგ α -ფაზაში გახსნილი ნიტრიდი, ოთახის ტემპერატურაზე, გადაჯერებულ მდგომარეობშია და იწყება მისი გამოყოფა რკინის ნიტრიდების (Fe_2N , Fe_4N) სახით. გაცივების შემდეგ აზოტის ნიტრიდების გამოყოფა შეიძლება დიდხანს გაგრძელდეს. დაბალ ტემპერატურებზე გამოყოფილი ჩანართები მაღალი ხარისხის დისპერსიულობით (1 - 3 მკმ) ხასიათდება. ისინი განლაგდებიან კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეებზე და ხელს უშლიან დისლოკაციების გადაადგილებას. ამის შედეგად დარტყმითი სიბლანტის, ფარდობითი წაგრძელებისა და ფარდობითი შევიწროების მაჩვენებლები მცირდება. პრაქტიკულად დადგენილია, რომ, ფოლადის ნაკეთობების შენახვისას ან ექსპლუატაციისას, დარტყმითი სიბლანტის შემცირება გრძელდება და მინიმუმს აღწევს 20 - 40 დღის ინტერვალში. დაძველების შედეგად ფოლადის დარტყმითი სიბლანტე 4 - 6-ჯერ მცირდება. დაძველების პროცესი ოთახის ტემპერატურაზე ნელა ვითარდება და მნიშვნელოვნად ჩქარდება ნაწრთობი ფოლადის გახურებით 250°C ტემპერატურამდე (ხელოვნური დაძველებით) ან ცივი პლასტიკური დეფორმაციით. დაძველებისადმი მიდრეკილება ფოლადის მნიშვნელოვანი ნაკლია. იგი დამახასიათებელია ალუმინით და ვანადიუმით გაუქანგავი დაბალნახშირბადიანი ფოლადებისათვის.

წყალბადი ფოლადებში Fe_α მყარი ხსნარის შედგენილობაში ან გროვდება ფორებსა და დისლოკაციებზე. მისი შემცველობის ზრდა ფოლადებსა და შენადნობებში იწვევს სიმყიფის ზრდას. გარდა ამისა, ნაგლინ ნაკეთობებში ხელს უწყობს ფლოკენების გაჩენას, რომლებიც ინიცირებენ რღვევის პროცესს. ფლოკენების შემცველი ლითონი მრეწველობაში არ გამოიყენება.

2.2 ფოლადების და შენადნობების წარმოების ძირითადი დეფექტების კლასიფიკაცია

ფოლადისა და შენადნობების წარმოება ორ სტადიად ხორციელდება. პირველ სტადიაზე ფოლადსადნობ აგრეგატებში მიიღება სასურველი ქიმიური შედგენილობის და ტემპერატურის გამდნარი ლითონი, მეორე სტადიაზე - გამდნარი ლითონიდან ისხმება ზოდები ან სხმული ნამზადები (წარმოებული ფოლადის $\approx 5\%$ -მდე). ორივე სტადიაზე რთული ფიზიკური, თბური და ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები მიმდინარეობს. წუნდებული პროდუქციის შესამცირებლად აუცილებელია წუნის წარმოშობის მიზეზების გამოვლენა და მათი აცილების ღონისძიებების დროულად გატარება.

მოთხოვნილი ხარისხის შენადნობის მისაღებად დნობა და ჩამოსხმა ტექნოლოგიური ინსტრუქციების მკაცრი დაცვით უნდა მოხდეს, ვინაიდან აქ წარმოშობილი მრავალი დეფექტი არაგამოსწორებადია. ფოლადის ჟანგვითი რაფინირების დასასრულს თხევად ლითონში ჟანგბადის, გოგირდის, ფოსფორის, აზოტისა და სხვა არასასურველი მინარევების ფაქტობრივი რაოდენობა მეტია, ვიდრე მათი ხსნადობა მყარ მდგომარეობაში

(ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე). ე.ი. თხევადი ლითონი, მყართან შედარებით, ამ ელემენტების გადაჯერებული ხსნარია. გამდნარი ლითონის კრისტალიზაციისა და გაცივებისას გარდუვალია ხსნარიდან მინარევების გამოყოფა სხვადასხვა ქიმიური ნაერთის სახით. ამ მინარევებიდან მხოლოდ CO არის აქროლადი. დანარჩენი წარმოქმნის არალითონური ჩანართების დამოუკიდებელ კონდენსირებულ ფაზებს, რომლებიც ფიქსირდებიან მყარ ფოლადში ამა თუ იმ ხარისხით. ფოლადებში არალითონური ჩანართების წყაროს წარმოადგენენ, აგრეთვე, ცეცხლგამძლე მასალები და წიდა, რომლებთანაც თხევადი ლითონი შეხებაშია დნობისა და ჩამოსხმის პროცესში.

ფოლადების სადნობ აგრეგატებში დნობისას მათში ჟანგვა-აღდგენის პროცესები არ მთავრდება. ფოლადის გამოშვებისას ლითონის ჭავლი ღარსა და ციცხვში ჰაერის ატმოსფეროს ზეგავლენას განიცდის. გრძელდება ჟანგვითი პროცესები და აზოტის შთანთქმა. ელემენტების ჟანგვის ხარისხი დამოკიდებულია გამოშვების ხანგრძლივობაზე, ტურბულენტობასა და ჭავლის ვარდნის სიმაღლეზე. თუ ფოლადის შედგენილობაშია ჟანგბადთან მაღალი სწრაფვის ელემენტები (Al, Ti, Zr, Si, Cr), მაშინ ჩამოსხმისას ისინი აქტიურად ურთიერთქმედებენ ატმოსფეროს ჰაერთან და ელემენტების ამოწვა მატულობს. ამასთან, ნადნობში მნიშვნელოვნად იზრდება არალითონური ჩანართებისა (2 - 2,5-ჯერ) და აზოტის შემცველობა (20 - 25 %-ით).

აირები იხსნება ყველა ლითონსა და შენადნობში. ფოლადში გახსნილ აირებად იგულისხმება აზოტი და წყალბადი. ისინი გადადიან ფოლადში ღუმლის ატმოსფეროდან, თუჯიდან, ჯართიდან, ფეროშენადნობებიდან. აზოტის შთანთქმა ხდება ღუმლის ატმოსფეროდან წიდის შრის გავლითაც. ნადნობის

კრისტალიზაციის დაწყებამდე გაცივების, კრისტალიზაციისა და შემდგომი გაცივების პროცესში ლითონიდან გამოიყოფა აირები, რომლებიც ნახევარფაბრიკატებში ან მზა ნაკეთობებში ქმნიან მანკებს. აირების ხსნადობა როგორც თხევად, ისე მყარ მდგომარეობაში დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, წნევაზე, ასევე ლითონებისა და შენადნობების შედგენილობაზე.

აზოტის გავლენა ფოლადის თვისებების ცვლილებაზე დამოკიდებულია ლითონში მისი არსებობის ფორმებზე. ლითონებში აზოტი ქმნის ჩანერგვის მყარ ხსნარს, კონცენტრირდება კრისტალური სტრუქტურის დეფექტებთან ან გამოიყოფა დამოუკიდებელი - ნიტრიდული - ფაზის სახით. დაბალნახშირბადიან ფოლადებში აზოტი იწვევს დაძველებას. დროთა განმავლობაში სიმტკიცის მახასიათებლები (σ_m , σ_s) მატულობს, ხოლო პლასტიკურობისა და სიბლანტის (δ , Ψ , KCU) მახასიათებლები მცირდება.

წყალბადის გავლენა მექანიკურ თვისებებზე წყალბადური სიმყიფით გამოიხატება. -100-დან +100°C-მდე ტემპერატურულ ინტერვალში მცირდება პლასტიკური თვისებები. გარდა ამისა, წყალბადს უკავშირდება ნახშირბადიან და ლეგირებულ ფოლადებში ისეთი დეფექტების წარმოქმნა, როგორცაა ფლოკენები, შიფერული რღვევის რელიეფი, მაკროსტრუქტურის ლაქოვანი არაერთგვაროვნება და სხვა.

მალეგირებელი ელემენტები სხვადასხვაგვარად მოქმედებენ წყალბადისა და აზოტის ხსნადობაზე შენადნობებში. C, Si, B, O, P ამცირებენ წყალბადის ხსნადობას, ხოლო Ti, Zr, Nb წყალბადთან წარმოქმნიან მტკიცე ნაერთებს - ჰიდრიდებს და ამალლებენ

წყალბადის ხსნადობას შენადნობებში. აირების ხსნადობაზე მოქმედებენ შენადნობების დნობის მეთოდებიც.

ნახშირბადიანი და ლეგირებული ფოლადები გარდუვლად შეიცავენ არალითონურ ჩანართებს. არალითონური ჩანართები (ოქსიდური, სულფიდური, ნიტრიდული, ფოსფიდური, კარბიდული) და აირები (წყალბადი, აზოტი) არასასურველ გავლენას ახდენენ მათ ფიზიკურქიმიურ, ფიზიკურ-მექანიკურ და სასამსახურო თვისებებზე. ფოლადისათვის განსაკუთრებით არასასურველია მარცვლის საზღვრებზე თხელი ფირის სახით განთავსებული ადვილმდნადი სულფიდური ჩანართები. ისინი გახურებისას ასუსტებენ მარცვლებს შორის კავშირს და ხელს უწყობენ ნაგლეჯებისა და ბზარების წარმოქმნას ზოდების ნამზადებში. განსაკუთრებით არასასურველია მკვეთრი კუთხეების მქონე ძნელდნობადი ჩანართები. ისინი წარმოადგენენ ძაბვების კონცენტრატორებს და ნაკეთობის რღვევის დაწყების წყაროებს. არალითონური ჩანართების გავლენის ხარისხი დამოკიდებულია ლითონის გლინვის მიმართულებაზე. ისინი განსაკუთრებით უარყოფითად მოქმედებენ ლითონის გლინვის განივ მიმართულებაზე.

არალითონური ჩანართები, როგორც წესი, არღვევენ ლითონის მთლიანობას, ლითონთან შედარებით აქვთ განსხვავებული გაფართოების კოეფიციენტი და სხვადასხვაგვარი დეფორმირებადობა. ამავე მიზეზებითაა გამოწვეული ელექტროტექნიკური, ანტიკოროზიული და სხვ. თვისებების მნიშვნელობათა შემცირებაც. ისინი ამცირებენ ფოლადის დაღლილობის სიმტკიცეს და ცვეთამდეგობას. ყოველი ფოლადის შედგენილობაშია წიდის, სულფიდებისა და ოქსიდების ჩანართები. თხევადი ფოლადი ნებისმიერი ხერხით დნობისას შეხებაშია

განჟანგვის პროდუქტებთან: წიდასთან, ლუმლისა და ციცხვის ამონაგის მასალებთან, რომელთა ნაწილაკებიც დნობისა და ჩამოსხმისას გადადიან ფოლადში. პრაქტიკამ აჩვენა, რომ დნობისა და ჩამოსხმის სათანადო პირობებში შესაძლებელია ფოლადში არალითონური ჩანართების შემცველობის მინიმალურ რაოდენობამდე დაყვანა.

ფოლადებისა და შენადნობების წარმოების ძირითადი არალითონური ჩანართების კლასიფიკაცია ხდება სხვადასხვა ნიშნით:

1. წარმოშობის მიხედვით ასხვავებენ ეკზოგენურ და ენდოგენურ ჩანართებს (ზოგი ავტორი ამატებს ეკზოენდოგენურსაც):

ეკზოგენურს (გარეგანი წარმოშობის ჩანართებს) მიეკუთვნება ფოლადში საკაზმე მასალებიდან გადასული არალითონური ჩანართები, ცეცხლგამძლე მასალების რღვევის პროდუქტები. ეკზოგენურს მიეკუთვნება, აგრეთვე, წიდა, რომელსაც თხევადი ფოლადის ნაკადი წარიტაცებს გამოშვებისა და ჩამოსხმის პროცესებში. განსაკუთრებით საშიშია ცეცხლგამძლე მასალების წვრილი ნაწილაკები. 0,1 - 0,5 მმ ზომის ნაწილაკები ადვილად ამოტივტივდებიან ლითონიდან და გადადიან წიდაში. გამოშვებისა და ჩამოსხმის პროცესების ნორმალურად მიმდინარეობისას ფოლადი ეკზოგენური ჩანართებისაგან უმნიშვნელოდ ზიანდება. მათი რაოდენობა საერთო ჩანართების 5 - 10 %-ს არ აღემატება. ზოგადად, ეკზოგენური ჩანართების ზომები მნიშვნელოვნად მეტია ენდოგენურზე;

ენდოგენური (შინაგანი წარმოშობის) ეწოდება არალითონურ ჩანართებს, რომლებიც წარმოიქმნებიან თვითონ ლითონში ფოლადსადნობ აგრეგატებში დნობისას მიმდინარე სხვადასხვა

ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების, განჟანგვის, თხევად მდგომარეობაში გაცივებისა და შემდგომი კრისტალიზაციის შედეგად. ენდოგენური ჩანართების ძირითადი რაოდენობა წარმოიქმნება ჟანგბადის, გოგირდის, აზოტის განმჟანგველებთან და ფოლადის შედგენილობაში შემავალ სხვა კომპონენტებთან ურთიერთქმედებისას;

ეკზოენდოგენური ჩანართები წარმოიქმნება მაშინ, როცა ეკზოგენურზე გამოიყოფა ენდოგენური ჩანართები. ასეთი პროცესი შესაძლებელია თხევად ფოლადში განმჟანგველების შეტანისას. ამ დროს წარმოქნილი ენდოგენური ჩანართები გამოიყოფა ფეროშენადნობებში არსებულ ეკზოგენურ ჩანართებზე.

2. ქიმიური შედგენილობის მიხედვით ასხვავებენ ოქსიდურ, სულფიდურ, ფოსფიდურ, კარბიდულ და ნიტრიდულ არალითონურ ჩანართებს:

ოქსიდური ჩანართები შეიცავს $FeO, MnO, SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2$ -ს და ა.შ., ასევე მათ ნაერთებს - სილიკატებს, ალიუმინსილიკატებს, ფერიტებს. ოქსიდურ ჩანართებში კომპონენტთა თანაფარდობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რით და რა ხარისხით არის განჟანგული ლითონი. გაუჟანგავ ფოლადში ჭარბობს FeO , მანგანუმით განჟანგულში - MnO და FeO , ხოლო ალუმინით განჟანგულში - Al_2O_3 (0,03 - 0,05% ნარჩენი ალუმინი). ოქსიდური ჩანართების რაოდენობა დამოკიდებულია, უმთავრესად, განჟანგვის წინ ლითონში არსებულ ნარჩენი ჟანგბადის რაოდენობასა და ლითონიდან განჟანგვის პროდუქტების მოცილების ხარისხზე. ე.ი. განჟანგვამდე ლითონის მინიმალური დაჟანგულობა და გამყარებამდე ფოლადის განჟანგვის

პროდუქტების მაქსიმალური მოცილება არის გარანტი მზა ფოლადში ოქსიდური ჩანართების დაბალი შემცველობისა;

სულფიდური ჩანართები შედგება FeS , MnS , Al_2S_3 , ZrS_3 და სხვა ნაერთებისაგან. კომპონენტებისა და სულფიდური ჩანართების რაოდენობის თანაფარდობის ცვლილების კანონზომიერება ანალოგიურია ოქსიდური ჩანართების თანაფარდობის კანონზომიერებისა. ფოლადში გვხვდება რთული – ორი ან რამდენიმე სულფიდისგან შედგენილი და ოქსისულფიდური ჩანართები. მზა ფოლადში სულფიდური ჩანართების რაოდენობის შემცირების ყველაზე ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს ლითონში (ნადნობში) გოგირდის საერთო რაოდენობის შემცირება;

ნიტრიდული ჩანართები შედგება Si_3N , AlN , VN , TiN , ZrN და სხვა ნაერთებისაგან. განჟანგვის წინ თხევად ლითონში აზოტის სიმცირის გამო, როგორც წესი, მზა ფოლადში მათი (ნიტრიდული ჩანართების) რაოდენობა უმნიშვნელოა. მაგრამ თუ ფოლადი განჟანგულია აზოტთან მაღალი სწრაფვის მქონე ელემენტებით (Ti , Zr , Al და სხვ.), მაშინ ჩამოსხმისას ჰაერთან კონტაქტისას ჰაერის აზოტი ინტენსიურად იხსნება და, შესაბამისად, ლითონში ნიტრიდების რაოდენობა მკვეთრად მატულობს. ჩამოსხმისას ასეთი ლითონის ჭავლი აუცილებლად უნდა იქნეს დაცული ჰაერის ზემოქმედებისგან ინერტული აირით (არგონით);

კარბიდული ჩანართები წარმოიქმნებიან მაღალნახშირბადიან ფოლადებში და იწვევენ მათ განმტკიცებასა და სისალის ამალლებას. ლეგირებისას, კარბიდწარმომქმნელი ელემენტები ჩაენაცვლებიან რკინას ცემენტიტში ან წარმოქმნიან დამოუკიდებელ, მყარ ფოლადში მდგრად და უხსნად (Ti -ის, Nb -ის ან Zr -

ის) კარბიდებს. ნახშირბადის მიმართ ჭარბი კარბიდწარმოქმნელი ელემენტები იხსნებიან მყარ ხსნარში. კარბიდწარმოქმნელი ელემენტებია Cr, W, V, Mo, Ti, Nb და სხვ. ჭრით დამუშავებისას სალი და მყიფე კარბიდული ჩანართები იწვევენ მჭრელი ინსტრუმენტის ცვეთას. მოხახუნე სხეულების ზედაპირებზე ისინი ირღვევიან და ამოიფხვნიებიან ძირითად ლითონზე ადრე;

ფოსფიდური ჩანართები გამოიყოფა, უპირატესად, Fe_2P და Mn_5P_2 შედგენილობის ევტექტიკის სახით. ფოსფიდური ჩანართების რაოდენობა მზა ფოლადში, ძირითადად, დამოკიდებულია ფოსფორის კონცენტრაციაზე თხევად ლითონში. ამიტომ, მზა ფოლადში ფოსფიდური ჩანართების რაოდენობის შესამცირებლად, აუცილებელია ფოსფორის დაბალი კონცენტრაციის ($<0,010\%$) შემცველი ნადნობის მიღება.

3. ფორმისა და ლითონის მოცულობაში განაწილების ხასიათის მიხედვით არის:

– ლითონის მარცვლის საზღვრებზე თხელი ფირის სახის ყველაზე საშიში ჩანართები. ასეთი ჩანართების ასაცილებლად აუცილებელია თხევადი ლითონი განჟანგვის წინ შეიცავდეს გოგირდისა და ჟანგბადის მინიმალურ რაოდენობას. ამასთან, განჟანგვა-ლეგირებისათვის გამოყენებული უნდა იყოს ისეთი ელემენტები, და თანაც იმ რაოდენობით, რომ აცილებული იქნეს რკინის ოქსისულფიდების წარმოქმნა;

– საშიში ჩანართების ჯგუფში შედის მახვილი წახნაგების მქონე ჩანართებიც. ისინი წარმოადგენენ ძაბვების კონცენტრაციისა და ნაკეთობის რღვევის ადგილს. ასეთი ჩანართები წარმოიქმნება,

ჩვეულებრივ, კრისტალიზაციისას, როდესაც ლითონში განჟანგვის წინ მავნე მინარევების მაღალი შედგენილობაა, ხოლო განჟანგვა-ლეგირების პროდუქტების დნობის ტემპერატურა მნიშვნელოვნად აღემატება მოცემული შენადნობის გამყარების ტემპერატურას;

– ნაკლებად საშიშია ლითონის მოცულობაში უწყესრიგოდ განლაგებული მომრგვალებული ფორმის შედარებით მსხვილი ჩანართები. ისინი (ძირითადად სილიკატური ჩანართები) წარმოქმნიდან იმ შემთხვევებში, როდესაც მათი დნობის ტემპერატურა ნაკლებია ლითონის კრისტალიზაციის ტემპერატურაზე.

ლითონის მოცულობაში თანაბრად განაწილებული წვრილი სუბმიკროსკოპული ჩანართები ყველაზე ნაკლები ზიანის მომტანია (ზოგ შემთხვევაში სასარგებლოცაა). თერმულად გამტკიცებადი ფოლადების წარმოებისას აუცილებელია მცირე ზომის პირველადი (აუსტენიტური) მარცვლის მიღება. ეს შესაძლებელი ხდება იმ შემთხვევაში, როცა ლითონი კრისტალიზაციის წინ შეიცავს მრავალ მცირე ზომის მოცულობაში თანაბრად განაწილებულ არალითონურ ჩანართებს. ისინი იქცევიან ისე, როგორც კრისტალიზაციის ცენტრები და უზრუნველყოფენ ლითონის წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის მიღებას.

ამრიგად, ლითონების წარმოების თანამედროვე პირობებში, არალითონური ჩანართები ცალსახად მავნედ არ ითვლება. არალითონური ჩანართების ძირითადი წილი მოდის ოქსიდებსა და სულფიდებზე. ამ ჩანართებს მინიმალური ზიანი მოაქვთ მაშინ, როცა ისინი მთელ მოცულობაში თანაბრად განაწილებული წვრილი გლობულების სახით გამოიყოფიან. ოქსიდებისა

და სულფიდების ასეთი რაციონალური გამოყოფა ხდება ტუტე-მიწა ლითონებით, უპირველესად კალციუმით განჟანგვისას.

აღსანიშნავია, რომ ზოგ შემთხვევაში არალითონური ჩანართები ხელს უწყობენ ფოლადის ხარისხის ამაღლებას, მაგრამ უმრავლეს შემთხვევაში ისინი უარყოფითად მოქმედებენ ფოლადის თვისებებზე. ვინაიდან მათი უარყოფითი გავლენის სრული გამორიცხვა შეუძლებელია, ამოცანა დაიყვანება ჩანართების რაოდენობის მაქსიმალურ შემცირებაზე. თუ გამყარებულ ლითონში მცირე ზომის სფერული ფორმის მოცულობაში თანაბრად განაწილებული (ძირითადად ეხება ოქსიდურ და სულფიდურ ჩანართებს) არალითონური ჩანართების რაოდენობა შემცირდება, მაშინ პრობლემა ჩაითვლება წარმატებით გადაწყვეტილად. ამოცანის გადაწყვეტის პრინციპი და პრაქტიკული ხერხები ცნობილია: მზა ფოლადში გოგირდის კონცენტრაციის შესაძლებელ დონემდე შემცირება ხდება მისი დესულფურაციით ჟანგვითი რაფინირებისა და განჟანგვა-ლეგირების დროს. ოქსიდური ჩანართების შემცირება გაცილებით რთულია.

2.3 თხევად ლითონის, ზოდებისა და უწყვეტი ჩამოსხმის ძირითადი დეფექტები

თხევად ლითონში ამა თუ იმ სახის დეფექტის არსებობა დამოკიდებულია ფოლადის მარკასა და დნობის ტექნოლოგიაზე. დეფექტიანი თხევადი ლითონიდან მიღებულ სხმულებში შეიძლება დამატებით გაჩნდეს ზედაპირული და შინაგანი დეფექტები. ზოგი მათგანი, გარდუვალია, მაგ., არალითონური ჩანართები სხმულებში და მათი მავნე გავლენის აცილება დიდ

გარჯას მოითხოვს. შემდგომი გადაკეთებისას სხმულებში დეფექტების უმრავლესობა შენარჩუნდება და, შესაბამისად, დაბლდება პროდუქციის ხარისხი, მცირდება ვარგისი ლითონის გამოსავალი.

განვიხილოთ თხევადი ფოლადის, ზოდებისა და ნამზადების დეფექტების ცალკეული სახეები, რომლებიც განსაზღვრული ფორმის ნაკეთობის მიღების პროცესებშიც ვლინდება დამზადება-დამუშავების დეფექტების სახით:

I. მოთხოვნილ ქიმიურ შედგენილობასთან შეუსაბამობა.

მალეგირებელი ელემენტებისა და მინარევების (C, Mn, Si, Cr, Ni, P, S და სხვ.) ძალიან მაღალი ან ძალიან დაბალი შემცველობა (რომელიც ცილდება ნორმალური განაწილების არეს) განიხილება როგორც დეფექტი მხოლოდ მაშინ, როდესაც ამის გამო უარესდება მასალის საექსპლუატაციო თვისებები. ანალიზის შედეგების ცალკეული გადახრის შეფასებისას აუცილებელია, ფოლადის საერთო შედგენილობის გარდა, მხედველობაში იქნეს მიღებული გამოდნობის ხერხიც (მეტალურგიული ბუნება), რომელიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მის თვისებებზე. ნედლეული მასალების შედგენილობისა და ტექნოლოგიური ფაქტორების რხევების გამო, ანალიზის ზღვრების დაცვა ხდება განსაზღვრული განზნევის არის საზღვრებში. იგი სხვადასხვაა დნობის თითოეული ხერხისათვის, თითოეული ელემენტისა და თითოეული სახის ფოლადისათვის. ამ არის შევიწროება შესაძლებელია ყოველი დნობის ერთნაირი ნედლეული მასალებით და ერთნაირ სადნობ აგრეგატებში ჩატარებით. ანალიზის ზღვრების შემდგომი შემცირების მიზნით ტარდება ნახევარფაბრიკატების ან მზა პროდუქციის შერჩევა და გამოცდები. ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო თვისებების

უმნიშვნელო რხევების მისაღებად, უმეტეს შემთხვევაში, მინარევების თანაბარი განზნევა და მეტალურგიული პროცესის გამართულობა უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე შედგენილობის ვიწრო ზღვრები.

მოთხოვნილ ქიმიურ შედგენილობასთან შეუსაბამობის წარმოქმნის მიზეზები არის შემდეგი: შეცდომა დაშვებული კაზმის გაანგარიშებისას; დნობის არასწორი წარმართვა; შენადნობის ცალკეული კომპონენტის ამოწვა. მოცემული შედგენილობიდან გადახრის შედეგად იცვლება შენადნობის სამუშაო მახასიათებლები. ასეთი სხმულების გამოყენება არ შეიძლება საპასუხისმგებლო დანიშნულების ნაკეთობების დასამზადებლად;

II. არალითონური ჩანართები. ისინი წარმოიქმნებიან დნობის ტექნოლოგიის დარღვევისას - ფოლადის წიდებით, განჟანგვის პროდუქტებით, ცეცხლგამძლე მასალებით და, მათ შორის, რეაქციის პროდუქტებით გაჭუჭყიანებისას. ჩანართებს არასწორი ფორმა აქვთ და სხმულის სხვადასხვა ადგილზე არიან განლაგებული. წიდის ჩანართები, ძირითადად, სხმულის ზედა ნაწილშია განთავსებული. წნევით დამუშავებისას ჩანართები დეფორმირდებიან გლინვის ბოჭკოების მიმართულებით და ფიზიკურად განცალკავებულად რჩებიან მათ მიერ გაყოფილი ლითონის ზედაპირებიდან;

III. ჩაჯდომის ნიჟარები. მათი წარმოქმნის მიზეზი არის ლითონის მოცულობის შემცირება თხევადიდან მყარ მდგომარეობაში გადასვლისას. ერთი და იმავე მასის ლითონის მოცულობა თხევად მდგომარეობაში უფრო მეტია, ვიდრე მყარში. ამიტომ, ლითონი გამყარებისას ვერ ავსებს პირველად

გამყარებული კრისტალიზატორის ფორმის გარსის შიგა მოცულობას. როცა ზოდში კრისტალიზაციის პროცესში არასაკმარისია თხევადი ლითონის დამატებით მიწოდება, მაშინ ნარჩენი სითხის მენისკი სულ უფრო ქვევით ეშვება. ამ დროს ზოდის შიგნით და მის ზედა ნაწილში თანდათან წარმოიქმნება სიცარიელები, რომლებსაც ჩაჯდომის ნიჟარებს უწოდებენ. ზოდის ზედა ნაწილში ჩაჯდომის ნიჟარები ქმნიან ძაბრისებრ, ხოლო ღერძის გასწვრივ, ზოგ შემთხვევაში თითქმის მთელ სიმაღლეზე - სხვადასხვა ფორმის სიღრუეებს. ასხვავებენ პირველადი და მეორეული ჩაჯდომის ნიჟარებს. პირველადი, ძირითადად, თავმოყრილია ზოდის ზედა ნაწილში და მისი მოცილება ხდება ზოდის თავის მოჭრით. ამის გამო, ლითონის (ზოდის) მასის 25%-მდე გადასადნობად ბრუნდება (ამ მხრივ უწყვეტ ჩამოსხმას დიდი უპირატესობა აქვს. იგი, პრაქტიკულად, გამორიცხავს ჩაჯდომის ნიჟარების გაჩენას.). მეორეული ჩაჯდომის ნიჟარები ვრცელდება მთელ ზოდში, სხვადასხვა სიმაღლეზე. ლითონის წნევით დამუშავებისას ასეთი ნიჟარები მთლიანობის დარღვევის მრავალგვარ სახედ გარდაიქმნება.

ზოდის თავში ჩაჯდომის ნიჟარების ლოკალიზაციისათვის აუცილებელია შეირჩეს ზოდის რაციონალური ფორმა, ლითონის ჩამოსხმის ტემპერატურა და ჩამოსხმის სიჩქარე. ბოყვზე უნდა დაიდგას გახურებული სანამატე ზესადგამი. ასეთ პირობებში ჩაჯდომის ნიჟარების გავრცელება შემოისაზღვრება ზოდის იმ ნაწილით, რომელიც შემდეგ ზოდს ჩამოეჭრება;

IV. ლიკვაცია - ზოდის ქიმიურ შედგენილობაში შემავალი ელემენტების არათანაბარი განაწილება მოცულობაში. იგი, ზოდის სხვადასხვა უბანზე, კრისტალიზაციის რთული პროცესებით

გამოწვეული ქიმიური არაერთგვაროვნებაა. ლიკვაციური ლითონები ხასიათდებიან ფიზიკურ-ქიმიური და სასამსახურო თვისებების არაერთგვაროვნებით. ასხვავებენ შემდეგი სახის ლიკვაციებს:

– ზონალური ლიკვაცია - ქიმიური ელემენტების არაერთგვაროვნება განპირობებული გამყარების ხასიათით ზოდის ცალკეულ ზონაში (“სიმაღლეზე და განივკვეთზე”). ანუ ელემენტების (ან ჩანართების) კონცენტრაციის სხვაობა ზოდის გულსა და ნაპირს, აგრეთვე ზოდის ქვედა და თავის ნაწილებს შორის;

– დენდრიტული ლიკვაცია, ანუ კონცენტრაციის სხვაობა ცალკეული მარცვლის შიგნით. იგი გამოწვეულია პირველად კრისტალურ ჩონჩხად დაკრისტალებულ უფრო სუფთა და ღერძთშორის მოცულობებში უკანასკნელად დაკრისტალებული ლითონების შედგენილობებს შორის სხვაობით. დენდრიტული ლიკვაციისათვის დამახასიათებელია მარცვლის საზღვრების გამდიდრება ლიკვაციური ელემენტებით და არაწონასწორული სტრუქტურული მდგენელების წარმოქმნა (ქრომის, ვოლფრამის, ვანადიუმის და სხვა მალეგირებელი ელემენტების რთული კარბიდების თავმოყრით გამოსახული ფოლადის ქიმიურ-ფიზიკური არაერთგვაროვნება, ე.წ. კარბიდული სეგრეგაცია);

– ლიკვაცია აირის ბუშტებთან. მისი წარმოქმნის მიზეზია დედა ხსნარის გამდიდრება ფოლადის გამყარების დასაწყისში აირებით ავსებული თავდაპირველი სიცარიელების მიერ შეწოვილი მინარევებით. მინარევებით გამდიდრებული ადგილები შეინიშნება მთლიანად დახურულ ბუშტებთანაც.

ლიკვაცია შეიძლება იყოს დადებითი ან უარყოფითი. ლიკვაცია დადებითია თუ საძიებო ელემენტის კონცენტრაცია გამყარე-

ბული ზოდის მოცემულ ადგილზე უფრო მაღალია, ვიდრე მისი კონცენტრაცია ჩამოსხმის შუა პერიოდში აღებული ციფხვის სინჯში, ხოლო უარყოფითია თუ განსახილველი ელემენტის კონცენტრაცია დაბალია.

ლიკვაციის წარმოქმნის მთავარი ჰიპოტეზებია:

– შერჩევითი კრისტალიზაცია - პირველ რიგში კრისტალდება ის შენადნობი, რომელიც მდიდარია კრისტალიზაციის (დნობის) უდიდესი ტემპერატურის მქონე ელემენტებით, ამ დროს დედა ხსნარი მდიდრდება კრისტალიზაციის დაბალი ტემპერატურის მქონე ელემენტებით;

– ელემენტების განსხვავებული ხსნადობა თხევადსა და მყარ მდგომარეობაში.

ელემენტებიდან ყველაზე მეტად ლიკვაციურია გოგირდი, ფოსფორი და ნახშირბადი. ელემენტების უდიდესი ლიკვაცია აღინიშნება ზოდის ღერძის გასწვრივ და ზოდის თავის ნაწილებში. დაბალ ტემპერატურაზე ჩამოსხმულ ზოდებში ლიკვაცია მცირდება (მცირდება კრისტალიზაციის პერიოდი). ჩამოსხმის სიჩქარე ლიკვაციის ხარისხზე მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენს. ზოდის მასის გაზრდით, სხვა თანაბარ პირობებში, კრისტალიზაციის პერიოდი მატულობს და, შესაბამისად, იზრდება ლიკვაციის ხარისხი. ლიკვაციის სრული აცილება შეუძლებელია, რადგან ის განპირობებულია გამყარებისას მიმდინარე ფიზიკური პროცესებით. ზონალური ლიკვაციის მნიშვნელოვანი შესუსტება მიიღწევა ფოლადის სილიციუმითა და ალუმინით განჟანგვისას (მშვიდი ფოლადი). ასეთ შემთხვევაში მცირდება აირების სასიკეთო მოქმედება ჩანართების მოცილებაზე. არ წარმოიქმნება ზოდის პლასტიკური და

რბილი გარე ზონა, რომელიც არამგრძნობიარეა ზედაპირული ბზარების წარმოქმნის მიმართ და კარგი დამუშავებადობით ხასიათდება. იმ დროს, როდესაც ზონალური ლიკვაციის აცილება პრაქტიკულად შეუძლებელია, შესაძლებელია კრისტალშიგა ლიკვაცია შერბილდეს მაღალ ტემპერატურებზე მოლბობითა და ლითონის პლასტიკური დეფორმაციით. თუ ლიკვაცია არ აღემატება ნორმას და არ ეხება ნამზადის გარე ნაწილებს, ის არ შეიძლება ჩაითვალოს ლითონის ნაკლად. საიარალო ფოლადებში ძლიერი ზონალური ლიკვაცია ძალიან მავნეა. ის ლითონში კავშირებს იმდენად ასუსტებს, რომ ლიკვაციურ ნაწილებში უმნიშვნელო დატვირთვის დროსაც კი შესაძლოა მოხდეს რღვევა. ძლიერ გამოხატული ლიკვაციით ფოლადების ნაკეთობების (განსაკუთრებით მაღალლეგირებული ფოლადების) წრთობისას შეიძლება წარმოიქმნას წრთობის ბზარები. ძლიერი ლიკვაცია წიდის ჩანართებთან შეხამებით წარმოქმნის შიფერულ ან ბოჭკოვან რღვევის რელიეფებს.

ჩამოსხმა ფოლადსადნობი პროცესების დამამთავრებელი სტადიაა, რომელიც დიდ, ზოგჯერ გადამწყვეტ, გავლენას ახდენს ზოდებისა და სხმული ნამზადების ხარისხზე. იმის გამო, რომ ზოდის სხვადასხვა ნაწილში გაცივების სხვადასხვა პირობებია, შესაბამისად, მისი შედგენილობა და თვისებებიც განსხვავებულია.

განვიხილოთ ბოყვში ჩამოსხმული და უწყვეტად ჩამოსხმული ლითონის ზოდებისა და ნამზადების კრისტალიზაციის თავისებურებები:

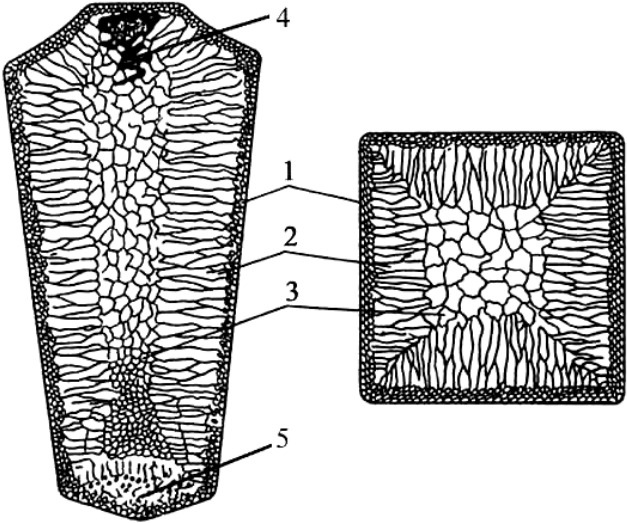
– ბოყვში ჩამოსხმული ზოდი. მისი ზედაპირი მკვრივი და წვრილმარცვლოვანია, ხოლო ცენტრალური ნაწილი - მსხვილ-მარცვლოვანი. ამავე დროს, ადვილმდნადი მდგენელების უმეტესი ნაწილი (გოგირდი, ფოსფორი, ნახშირბადი და არალითონური ჩანარტები) გროვდება ზოდის ცენტრალურსა და ზედა ნაწილებში. ელემენტების უდიდეს ლიკვაციას ადგილი აქვს ზოდის გრძივი ღერძის გასწვრივ.

მშვიდი ფოლადის ზოდის გრძივ კვეთში სურ. 1-ის შესაბამისად გვაქვს:

1. ზოდის ქერქი (ზედაპირული ზონა), რომელიც ეკვრის ბოყვის კედლებს. ბოყვის შედარებით ცივ კედლებთან თხევადი ლითონის პირველი შეხებისას, მკვეთრი ტემპერატურული გრადიენტის შედეგად გადაცივებული ლითონის თხელ შრეში კრისტალიზაციის ცენტრების დიდი რაოდენობა ჩაისახება. ამის შედეგად წვრილი ნებისმიერად ორიენტირებული კრისტალების თხელი ფენა, ე.წ. ზოდის ქერქი, მიიღება. იგი შედგება დეზორიენტირებული მცირე კრისტალების - დენდრიტებისაგან. ქერქის ქიმიური შედგენილობა პრაქტიკულად ისეთივეა, როგორც ჰქონდა თხევად ლითონს ბოყვში ჩასხმისას;

2. არალითონური ჩანარტებისაგან თითქმის თავისუფალი, სხმულის ცენტრისკენ მიმართული, მსხვილი დენდრიტული სვეტოვანი კრისტალების (ტრანსკრისტალური) ზონა. ქერქის კრისტალიზაციისას ბოყვის კედელსა და თხელ ქერქს შორის, თხევადი და მყარი ლითონის მოცულობებს შორის სხვაობის შედეგად წარმოქმნილი ღრეჩო ივსება გაცივებისას გამოყოფილი აირებით. ბოყვის კედლებიდან სითბოს შემდეგი არინება ხდება ამ აირების გავლით და კრისტალიზაციის პროცესი

ნელდება. კრისტალიზაციის მეორე პერიოდში, ნაკლები ინტენსიურობით გაცივების გამო, კრისტალებს საშუალება ეძლევა უფრო ხანგრძლივი დროით განვითარდნენ ზოდის სიღრმეში - ცენტრისკენ;



სურ. 1. მშვიდი ფოლადის ზოდის აგებულების სქემა:
 1. წვრილმარცვლოვანი ქერქი; 2. სვეტოვანი კრისტალების ზონა;
 3. ტოლლერმა კრისტალების ზონა; 4. ჩაჯდომის ნიჟარა;
 5. დალექვის კონუსი

3. ტოლლერმა კრისტალების ზონა. სვეტოვანი კრისტალების წინსვლისას თხევადი გულის ტემპერატურა დაბლდება. ცენტრალური ზონის ტემპერატურის გამყარების ტემპერატურასთან გათანაბრებისას იწყება ტოლლერმა მსხვილი კრისტალების კრისტალიზაცია. ამ ზონის ლითონში თავმოყრილია არალითონური ჩანართების უდიდესი რაოდენობა;

4. ჩაჯდომის ნიჟარა. იგი ტოლია თხევადი და მყარი ლითონის მოცულობებს შორის სხვაობისა;

5. დალექვის კონუსი, ანუ სხმულის ქვედა ნაწილში განთავსებული “ნაწვიმი” კრისტალების ნალექი. იგი წარმოიქმნება თხევადი ლითონის ზედა შრეებიდან ცალკეული კრისტალების დაშვებით (გრავიტაციის გავლენით).

ფოლადის ზოდების ხარისხის გაუმჯობესების ძირითადი მიმართულებებია: ფოლადის ჩამოსხმა წიდისა და დამცავი საფარის (ფენილის) ქვეშ; ბრიკეტების გამოყენება ფოლადის ჩამოსხმისას; ფოლადის სუსპენზიური ჩამოსხმა. ლეგირებული ფოლადების ხარისხიანი ზოდების მისაღებად გამოიყენება სინთეზური წიდები და დამცავი საფარი. ადვილჟანგვადი ელემენტების (ალუმინი, ტიტანი და სხვ.) შემცველი ლეგირებული ფოლადების ჩამოსხმისას ყველაზე ეფექტურია თხევადი წიდების და ადვილმდნობი ეგზოთერმული ნარევების გამოყენება.

რაციონალურად ითვლება თხევადი წიდის მიღება უშუალოდ ბოყვებში, ლითონის სარკეზე ფხვნილისებრი და დაბრიკეტებული ეგზოთერმული ნარევების (და)წვითა და გადნობით. ზოდებისა და სხმულების სუსპენზიური ჩამოსხმისას ნაღნობში სხმული ლითონის მარცვლის დაწვრილმანების მიზნით იქმნება კრისტალიზაციის აქტიური ცენტრები. სუსპენზიური ჩამოსხმა იყოფა ეგზოგენურ, ენდოგენურ და შეთავსებულ ჩამოსხმებად. ეგზოგენური ჩამოსხმისას ნაღნობში შეჰყავთ 15 %-მდე დანამატები (რკინის ფხვნილი, ფოლადისა და თუჯის საფანტი, სხვადასხვა ლითონის გრანულები და სხვ.). ენდოგენური სუსპენზიური ჩამოსხმისას ნაღნობის მოცულობაში სხვადასხვა ტექნოლოგიური ხერხის დახმარებით (მექანიკური,

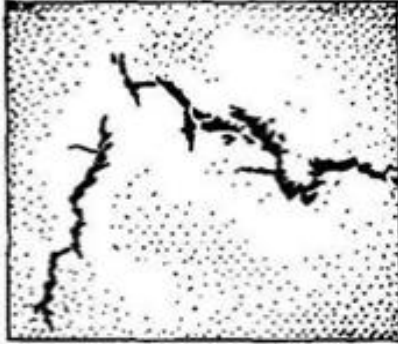
ულტრაბგერის ან ელექტრომაგნიტური) იქმნება დამატებითი კრისტალიზაციის ენდოგენური ცენტრები. სუსპენზიური ჩამოსხმით მნიშვნელოვნად იზრდება ფოლადის ზოდების ხარისხი. მიიღება ერთგვაროვანი დისპერსიული სტრუქტურა სამსხმელო დეფექტების მინიმალური განვითარებით;

– უწყვეტი ჩამოსხმის ზოდი. უწყვეტი ჩამოსხმისას ლითონის კრისტალიზაციის პროცესი განსხვავებულია ბოცვში ჩამოსხმისას ზოდის კრისტალიზაციის პროცესისაგან და, შესაბამისად, განსხვავებულია დეფექტების გამოყოფის ფაქტორებიც. უწყვეტი ჩამოსხმისას თხევადი ლითონი უწყვეტად მიეწოდება წყლითსაცივებელ სპილენძის კრისტალიზატორს (გლუვი ან ტალღოვანი ფორმის, მუშა ზედაპირით. სიგრძე 500 - 1500 მმ) და გამოსავალზე მიიღება ზოდის (განივკვეთზე დამოკიდებულებით) 8 - 25 მმ-იანი სისქის გამყარებული ლითონის ქერქი. კრისტალიზატორიდან გამოსული ზოდის შიგა ნაწილი თხევად მდგომარეობაში რჩება და მისი სრული გამყარება მეორეული გაცივების ზონაში ხდება. შემდეგ უწყვეტი ზოდი ხვდება აირით ჭრის ზონაში და სასურველი ზომის ნამზადებად იჭრება. ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმა, კლასიკური ჩამოსხმის მეთოდებთან (ზევიდან, სიფონური) შედარებით, შემდეგი ძირითადი უპირატესობებით ხასიათდება: ფოლადის უწყვეტი ჩამოსხმის პირობებში, დაჩქარებული კრისტალიზაციის შედეგად, იზრდება ლითონის ერთგვაროვნება და უმჯობესდება მისი ხარისხი; ზოდის თავისა და ბოლოს მოჭრის მნიშვნელოვანი შემცირებით იზრდება ვარგისი ლითონის გამოსავალი 10 - 12 %-ით; ტექნოლოგიური სქემიდან გამოირიცხება ბოცვების მომზადების საამქრო, ზოდსახდელი განყოფილება, მომჭიმავი დგანები, ბლუმინგები, სლაბინგები და მათი მოწყობილობები;

უწყვეტი ჩამოსხმა უზრუნველყოფს მაღალ მწარმოებლურობას და ამსუბუქებს შრომის პირობებს; ქმნის ჩამოსხმის პროცესის სრული მექანიზაცია-ავტომატიზაციის წანამძღვრებს; შესაძლებელია უწყვეტი ჩამოსხმის გლინვასთან შეუღლება და სხვ.

უწყვეტი ჩამოსხმის ზოდების გავრცელებული დეფექტებია ბზარები: შინაგანი, გარეგანი, გრძივი და განივი. შინაგანი დეფექტების წარმოშობის ერთ-ერთი მიზეზია მეორეული გაცივების დიდი ინტენსიურობა. ამ დროს გარე შრეების ტემპერატურის სწრაფი დაწვევის გამო მათში წარმოიქმნება გამჭიმავი ძაბვები, ხოლო ლითონის შიგა, უფრო ცხელ შრეებში - მკუმშავი ძაბვები. კრისტალიზატორის კედელსა და ნამზადის ზედაპირს შორის ხახუნის დიდი ძალის არსებობისას, ჩვეულებრივ, წარმოიქმნება განივი ცხელი ბზარები, ჩანახევები და ნაგლეჯები (სურ. 2). გრძივი ცხელი ბზარები უმეტესად მიიღება მრგვალი და სწორკუთხა კვეთის ნამზადების უწყვეტი ჩამოსხმისას.

უწყვეტი ზოდების სერიოზული დეფექტებია ღერძული ფორიანობა და ღერძული ლიკვაცია. ღერძული ფორიანობის გამომწვევი მიზეზია წვრილი და მსხვილი ფორების თავმოყრა გამყარების ფრონტების შეხვედრის ზონაში, ზოდის თბური ცენტრის გასწვრივ. უწყვეტად ჩამოსხმული ნამზადის ღერძული ფორიანობებია: განწერტებული ფორები - ღერძის ზონაში, გაბნეული ან თავმოყრილი მცირე კვეთის ჩაჯდომის ფორები; თავმოყრილი - სხმულის თბური ცენტრის გასწვრივ კონცენტრირებული ჩაჯდომის მსხვილი ფორები, იწვევენ ღერძის ზონაში ჩაჯდომის არამთლიანობას.



სურ. 2. ცხელი ბზარები ზოდის ცენტრალურ ნაწილში

ღერძული ფორიანობა და ღერძული ლიკვაცია მჭიდროდაა დაკავშირებული ერთმანეთთან. ჩვეულებრივ, ფორიანობას თან ახლავს ლიკვაცია. ღერძული ლიკვაცია არის ღერძული ქიმიური არაერთგვაროვნება და მინარევებით გამდიდრებული ან გაღარიბებული ღერძული ზონა.

უწყვეტი ჩამოსხმისას დეფექტები მინიმუმამდე დაიყვანება ჩამოსხმის ტემპერატურისა და ჩამოსხმის სიჩქარის ოპტიმალური რეჟიმების შერჩევით, ლითონის ჭავლის კარგად დაცენტრებით, ტალღოვანწახნაგებიანი კრისტალიზატორის გამოყენებით და კრისტალიზატორის უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობით. საპოხის სწორად შერჩევა და კრისტალიზატორის კედლებზე მისი თანაბარი მიწოდება ამცირებს ხახუნის ძალას. შედეგად იზრდება ზოდის გამოჭიმვის სიჩქარე და უმჯობესდება ნაშხადის ზედაპირი. თხევადი წილის ქვეშ ჩამოსხმა, როგორც წესი, ხელს უწყობს ზედაპირული დეფექტების აცილებას.

ლითონის კრისტალიზაციისას, დნობის პროცესში გახსნილი აირების გამოყოფის შედეგად, ზოდებში წარმოიქმნება აირული

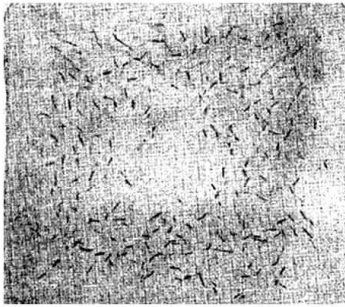
ფორიანობა და აირული ბუშტები. დეფექტები გაბნეულია ზოდის მთელ მოცულობაში ან თავმოყრილია ქერქვეშა შრეში. წიდის ჩანართებისგან განსხვავებით, აირულ ბუშტებს მომრგვალებული ფორმა აქვს. წნევით დამუშავებისას ზოდის შუაგულის ბუშტები შედუღდება, ხოლო ქერქვეშა - დაიწნეება. გახურებისას დაწნეხილი ბუშტი შეიძლება ამოიბურცოს და ბზარის სახით გაშიშვლდეს;

V. ფლოკენები - ფოლადის შინაგანი მეტალურგიული მანკი. იგი წარმოადგენს წვრილ, მოკლე, კლაკნილ, შინაგან ბზარებს, რომლებსაც რღვევის რელიეფში თოვლის ფიფქის სახე აქვს. მათ წარმოქმნას სხვადასხვა ფაქტორის ერთობლივი მოქმედება განაპირობებს. ამასთან, გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს დადაბლებული დიფუზიური ძვრადობის ტემპერატურულ ინტერვალში (200-დან 100 °C-მდე) მყარი ხსნარიდან წყალბადის გამოყოფით განვითარებულ მაღალ წნევას. პროცესს ხელს უწყობენ თერმული ძაბვები და კრისტალთშორისი ლიკვაცია. ფლოკენები წარმოიქმნება ნაკეთობის გაცივებისას “წყალბადისაგან არასაკმარისად გათავისუფლებულ” ფოლადში, ლოკალური გარდაქმნებისა და ცხელი პლასტიკური დეფორმირების შემდეგ. თხევად ფოლადში გახსნილი წყალბადი გაცივებისას და, განსაკუთრებით, ფაზური გარდაქმნებისას, ხსნადობის მკვეთრი შემცირების გამო, მიისწრაფის გამოყოფისაკენ. ის ავსებს ყველა სიცარიელეს კრისტალური გისოსის დეფექტების ჩათვლით. ამასთანავე, ატომური წყალბადი გარდაიქმნება რა მოლეკულურად, იგი ავითარებს მაღალ წნევას და იწვევს ლითონის მყიფე რღვევას. ფლოკენები, უმეტეს შემთხვევაში, გვხვდება ნაჭედი და ნაგლინი მსხვილი ნამზადების ცენტრალურ ზონაში, უფრო იშვიათად - სხმულ

ფოლადებში (ზოდებში). ფლოკენებით დაზიანებული ნამზადებიდან დაშტამპული ნაჭედები, ლითონის ნაჭრების ჩამოცილებით, ზოგჯერ სკდება. იგი გამოვლინდება წრთობის შემდეგ, ჭრით მექანიკურ დამუშავებაზე ნამატის მოხსნის ან ექსპლუატაციაში დეტალის მთლიანობის დაკარგვისას.

ცხლად დეფორმირებისას, როგორც წესი, ლითონში შინაგანი სიცარიელების რაოდენობა მცირდება და მატულობს სხეულის შიგნით წყალბადით გამოწვეული წნევა. როდესაც წყალბადის წნევა გადააჭარბებს ფოლადის სიმტკიცეს, ლითონში წარმოიქმნება შინაგანი წყვეტები - ფლოკენები. სურ. 3. ა და ბ-ს შესაბამისად, განივი ტემპლეტის მჟავათი ღრმა ამოჭმის შემდეგ, ფლოკენები ვლინდება რადიალურად მიმართული ბეწვა ბზარების, ხოლო ნაწრთობი ფოლადის რღვევის რელიეფებში – ძირითადი რუხი მასისაგან განსხვავებული, მსხვილმარცვლოვანი, ტექსტურირებული, მომრგვალებული ფორმის ნათელი მოვერცხლისფრო ლაქების (ფიფქების) სახით. ფლოკენები არის, ჩვეულებრივ, ნაკეთობის კვეთის ცენტრალურ ნაწილში (ჩამოსხმულ ლითონში ფლოკენები ნებისმიერადაა განლაგებული).

შინაგანი ბზარები ფოლადის ნაჭედ და ნაგლინ პროდუქციაში მკვეთრად აუარესებენ ფოლადის მექანიკურ თვისებებს. ლითონის რღვევისადმი წინააღობის შემცირება ხდება ძაბვების კონცენტრაციის ადგილებში, მაგ., კრისტალური გისოსის დეფექტების თავმოყრასთან, არალითონურ ჩანართებთან.



ა



ბ

სურ. 3. ფლოკენები ფოლადში: ა - განივკვეთის მაკროშლიფი; ბ - ნაწრთობი ფოლადის გრძივი რღვევის რელიეფი

ამის გამო, საპასუხისმგებლო ნაკეთობებში ფლოკენებიანი ფოლადის გამოყენება დაუშვებელია. ფლოკენები მოულოდნელი ავარიების მიზეზია ნაკეთობის ნიშანცვლადი დატვირთვის პირობებში მუშაობისას.

ფლოკენები ზოდებში არ შეინიშნება, მაგრამ დნობის პირობებიდან გამომდინარე, შესაძლოა ლითონს ახასიათებდეს დიდი ან მცირე ფლოკენმგრძობიარობა. ასეთი სახის შინაგანი ბზარების წარმოქმნას ხელს უწყობს ქიმიურად არაერთგვაროვანი ზოდის სტრუქტურული გარდაქმნებისას განვითარებული ან ნამზადის სწრაფი გაცივებისას წარმოქმნილი შინაგანი ძაბვები. ფლოკენების წარმოქმნის ძირითადი მიზეზი არის, როგორც აღნიშნული იყო, ფოლადში არსებული წყალბადის ამალღებული რაოდენობა; ამ პროცესის მექანიზმს კი, უდიდესი ალბათობით, მიკროარამთლიანობების ზედაპირებზე წყალბადის ადსორბცია და ზედაპირული ენერჯის შემცირება წარმოადგენს. წყალბადის ამალღებული ადსორბციის ზონის წარმო-

ქმნას (სადაც ჩაისახება ფლოკენები) სტიმულს აძლევენ ფოლადში სტრუქტურული გარდაქმნისას აღძრული შინაგანი გამჭიმავი ძაბვები, პლასტიკური დეფორმაცია და არათანაბარი გაცივება.

დადგენილია, რომ ფლოკენები წარმოიქმნება ჭედვის ან გლინვის შემდეგ 200 °C -ის ქვევით სწრაფი გაცივებისას. დეფორმირებული ფოლადის მყარი ხსნარიდან გამოყოფილი (დნობისას თხევად ლითონში გახსნილი) წყალბადი იწვევს ძლიერ შინაგან ძაბვებს და ფლოკენების წარმოქმნას. ფლოკენები, უპირატესად, ქრომისა და ნიკელის შემცველ საკონსტრუქციო ფოლადებში წარმოიქმნება. მათი წარმოქმნის ასაცილებლად ლითონს, ცხელი პლასტიკური დეფორმაციის შემდეგ, ნელა აცივებენ ან 250 - 200°C -ის ინტერვალში აყოვნებენ, რაც საშუალებას აძლევს წყალბადს დატოვოს ლითონი.

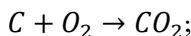
ფლოკენებისადმი მიდრეკილია მარტენსიტული და პერლიტური კლასის ლეგირებული და ნახშირბადიანი ფოლადები (საკონსტრუქციო, სასაკისრე, საჯავშნე, სარელსო და ა.შ.); აუსტენიტური და კარბიდული კლასის (უჟანგავ და სწრაფმჭრელ) ფოლადებში ეს დეფექტები არ გვხვდება. შენადნობებში წყალბადის შემცირების და, შესაბამისად, ფლოკენმგრძობიარობის დადაბლების ძირითადი ხერხებია: ლითონის თხევადი აზაზანის ინტენსიური დუღილი; წყალბადის და ტენის მოსაცილებლად წინასწარ გავარვარებული მშრალი მისართი მასალების გამოყენება; დეფორმირების წინ მაღალ ტემპერატურაზე ხანგრძლივი გახურება; ცხელი დეფორმაციის დასასრულის მაღალი ტემპერატურა და შესამღებელი მაქსიმალური მოჭიმვის შერჩევა; ცხელი დეფორმაციის შემდეგ ნელი გაცივება

(სავალდებულოა 100°C-მდე); ფლოკენსაწინააღმდეგო სპეციალური თერმული დამუშავება (1100 - 1150 °C -ზე ზოდების ხანგრძლივი დროით მოღობა); ლითონში თხევადი ლითონის ვაკუუმირება წყალბადის შემცველობას ამცირებს უსაფრთხო დონემდე.

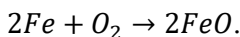
2.4 ფოლადის ნამზადების გახურების ზოგადი დეფექტები

შრომის ნაყოფიერება და ნაკეთობის ხარისხი დამოკიდებულია ფოლადის ნამზადების გახურებისას გახურების ოპტიმალური ტექნოლოგიის შერჩევაზე. გახურების პროცესში იცვლება ლითონის სტრუქტურა, ზედაპირული შრის თვისებები და მახასიათებლები. მაღალ ტემპერატურაზე ღუმლის ატმოსფეროსა და ლითონის ზედაპირის ქიმიური ურთიერთქმედებისას ვითარდება ორი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი პროცესი:

– ფოლადის ზედაპირული შრეების გაუნახშირბადოება. პროცესი განპირობებულია ნამზადის (ნაკეთობის) ზედაპირული შრის ნახშირბადისა და ჰაერის ჟანგბადის ქიმიური ურთიერთქმედებით. ამ დროს ზედაპირული შრეებიდან ამოიწვება ნახშირბადი:



– რკინის ჟანგვა. იგი იწვევს ფოლადის ზედაპირზე რკინის (ან სხვა ლითონების) ხენჯის წარმოქმნას:



გაუნახშირბადოების და ჟანგვის პროცესების ინტენსიურობა დამოკიდებულია გახურების ტემპერატურასა და ხანგრძლივობაზე, აგრეთვე შენადნობისა და ღუმლის აირული ატმოსფეროს ქიმიურ შედგენილობაზე. ეს პროცესები დიფუზიურია და, ბუნებრივია, ტემპერატურის ამაღლებისას ჩქარდება. მაგალითად, ფოლადების ინტენსიური ჟანგვა იწყება 900°C ტემპერატურიდან, 1000 °C-ზე გახურებისას ჟანგვადობა 2-ჯერ იზრდება, ხოლო 1200 °C-ზე 5-ჯერ.

ქრომნიკელიანი მზურვალმედეგი ფოლადები გახურებისას, პრაქტიკულად, არ იჟანგება. ლეგირებული ფოლადების ზედაპირზე წარმოიქმნება თხელი და მკვრივი ჟანგეულის ფენა, რომელიც ნაკეთობას იცავს შემდეგი ჟანგვისაგან. მათი ჭედვისას ზედაპირზე არსებული თხელი ჟანგეულის ფურჩი არ სკდება. ნახშირბადიანი ფოლადები პირიქით, გახურებისას ნახშირბადს კარგავენ ზედაპირული შრის 2 - 4 მმ-ის სიღრმემდე. შედეგად მცირდება სიმტკიცე და სისალე, წრთობადობა კი უარესდება. გაუნახშირბადოება განსაკუთრებით უარყოფითად მოქმედებს წრთობისთვის განკუთვნილ მცირე ზომის ნაჭედებზე. 100 მმ² ზომის კვეთის ნახშირბადიანი ფოლადები შეიძლება სწრაფად გახურდეს. დასაშვებია 1300°C ტემპერატურიან ღუმელში მათი წინასწარი შეთბობის გარეშე მოთავსება. ბზარების წარმოქმნის ასაცილებლად მაღალლეგირებული და მაღალნახშირბადიანი ფოლადების გახურება უნდა მოხდეს დაბალი სიჩქარით.

გახურების პროცესში შესაძლებელია ფოლადის მარცვლოვნების და, აქედან გამომდინარე, მისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების (განსაკუთრებით პლასტიკურობის) მკვეთრი ცვლილება. უხეშმარცვლოვნებას იწვევს:

- გადახურება (წნევით ცხელი დეფორმირების ან თერმული დამუშავებისათვის ნამზადების გახურებისას);
- გახურების ძალიან დიდი დრო (დაბალი სიჩქარით გახურება);
- რეკრისტალიზაცია (გახურება რეკრისტალიზაციის კრიტიკულ ტემპერატურაზე) კრიტიკული დეფორმაციის (2 - 10 %) შემდეგ.

უხეშმარცვლოვნების წარმოქმნის საშიშროება წარმოიშობა იმ შემთხვევებში, როდესაც გახურების ტემპერატურა მნიშვნელოვნად გადააჭარბებს ზედა კრიტიკულ წერტილს ან გახურება მაღალ ტემპერატურაზე ძალიან ხანგრძლივია. მსხვილი მარცვლის წარმოქმნას იწვევს ასევე ძალიან ნელი გახურება კრიტიკული წერტილების მახლობლად (დაბალნახშირბადიან არალეგირებულ ფოლადებში). ფოლადის მგრძობიარობა მსხვილმარცვლიანობისადმი დამოკიდებულია მის ქიმიურ შედგენილობასა და გამოდნობის ხერხზე. არალეგირებულ ფოლადებში უხეში მარცვალი შეიძლება აცილებული იქნეს A_3 -ზე მაღლა ხანმოკლე გახურებით და სწრაფი გაცივებით, ხოლო მაღალლეგირებულ ფოლადებში, უმეტესწილად, მხოლოდ ცხელი დეფორმირებით. გამოდნობის ხერხისა და დნობის პროცესების წარმართვაზე (ალუმინის შემცველობაზე) დამოკიდებულებით მარცვლის ზრდის ტემპერატურა ცვალებადია, იგი მაღლდება ალუმინის შემცველობის მატებასთან ერთად.

მსხვილმარცვლოვნება წარმოიქმნება რბილი ფოლადის მუქწითელი ვარვარების ტემპერატურაზე დეფორმაციის კრიტიკული ხარისხით (7 - 20%) დეფორმირების შემდგომი რეკრისტალიზაციისას. იგი წარმოიქმნება, აგრეთვე, ფოლადის წნევით

ცივი დეფორმირების (ცივად გლინვა, ადიდვა) შემდგომ კრიტიკულ ტემპერატურულ ინტერვალში (650 - 850 °C) თერმულად დამუშავებისას. ასეთი მსხვილმარცვლოვნება შეიძლება გამოსწორდეს შემდგომ, Ac_3 -მდე გახურებისას. გარდაქმნების უნარის არმქონე ფერიტული კლასის ფოლადებში მსხვილმარცვლოვნება შეიძლება აცილებული იქნეს მხოლოდ ცხელი დეფორმირებით. მსხვილი მარცვლის წარმოქმნა შეინიშნება აუსტენიტურ ფოლადებშიც, მაღალ ტემპერატურებზე (1100°C) ხანგრძლივი გახურებისას. მსხვილი მარცვალი სასურველია სატრანსფორმატორო სილიციუმისანი ფოლადის ფურცლებში, რადგან ის ამცირებს ელექტრულ დანაკარგებს.

ჭედვისათვის მნიშვნელოვანია ლითონის ნამზადების გახურების ტემპერატურის რეგულირება. ფოლადების შედგენილობის მიხედვით იცვლება გახურების სიჩქარე. ჭედვისას აუცილებელია ჭედვის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურების დაცვა. გადახურებული ნამზადის გამოსწორება განმეორებითი თერმული დამუშავებითაა შესაძლებელი, მაგრამ იგი მოითხოვს დამატებით დროსა და ხარჯებს. გახურების დადგენილ საბოლოო ტემპერატურაზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე გახურება მასალის გადაწვას იწვევს. ამ დროს სუსტდება მარცვლებს შორის კავშირები და ლითონი ჭედვისას ირღვევა. გადაწვა არის თბური დამუშავების გამოუსწორებელი დეფექტი.

ჭედვის დასასრულის ტემპერატურაზე უფრო დაბალ ტემპერატურებზე ლითონის დეფორმირება ნამზადში ბზარების წარმოქმნას იწვევს. ჭედვის დასასრულის ტემპერატურაზე 20 - 30 °C-ით უფრო მაღალ ტემპერატურაზე ლითონში მიმდინა-

რეობს რეკრისტალიზაცია და წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის ფორმირება. ამდენად, მიზანშეწონილია ლითონის დეფორმირება შეწყდეს ასეთ ტემპერატურებზე.

ლითონის გახურებისას ლუმელში მიმდინარე პროცესები გავლენას ახდენს მის შემდგომ დამუშავებასა და ხარისხზე. ლითონის გახურების ხარისხზე მოქმედი მთავარი ფაქტორია ლუმლის ატმოსფეროს შედგენილობა. მაღალ (1150 - 1350 °C) ტემპერატურებზე ლითონის ზედაპირის ჟანგვის პროცესთან ერთად ხდება მისი ინტენსიური გაუნახშირბადოება. ლითონის ზედაპირიდან ნახშირბადის ამოწვა იწვევს ნაკეთობის ზედაპირის სიმტკიცის მახასიათებლების შემცირებას და ამნელებს მექანიკურ დამუშავებას. ჟანგვისა და გაუნახშირბადოების პროცესების ინტენსიურობა დამოკიდებულია გახურების ტემპერატურასა და დროზე.

ნაკეთობის ზედაპირზე ხენჯის წარმოქმნა იწვევს ლითონის ამოწვას, ამცირებს სითბოგამტარობას, რაც, თავის მხრივ, ამცირებს ლუმელში ნაკეთობის გახურების სიჩქარეს, აუარესებს ზედაპირის ხარისხს, ამნელებს მექანიკურ დამუშავებას და ამცირებს ნამზადის ხაზობრივ ზომებს. ამის გამო, გასახურებელი ნამზადის ზომები აიღება გარკვეული ნამეტით, რომელიც ითვალისწინებს ამოწვაზე ლითონის დანაკარგს. წნევით დამუშავებისას ლითონის გახურებაზე ნამეტი შეადგენს 2 - 5%-ს, თერმული დამუშავებისას - 0,5 - 2%-ს, ხოლო ზოგადად ცხელი დამუშავების საერთო ციკლისას - 7 - 8%-ს. პრაქტიკაში ხენჯის მოცილება ხდება მექანიკურად ან ქიმიურად (ამოჭმით).

ხენჯის წარმოქმნა შეიძლება თავიდან ავიცილოთ თუ საწრთობად გახურებისას ნაკეთობა დაიფარება დამცავი პასტით

(თხევადი მინა - 100 გ, ცეცხლგამძლე თიხა - 75 გ, გრაფიტი - 25 გ, ბორაკი - 14 გ, კარბორუნდი - 30 გ, წყალი - 100 გ.). გამრობის შემდეგ პასტით დაფარული ნაკეთობის გახურება ხდება ჩვეულებრივად. წრთობის შემდეგ ნაკეთობა ირეცხება სოდიან ცხელ წყალხსნარში. სწრაფმჭრელი ფოლადის ინსტრუმენტების დაჟანგვის თავიდან ასაცილებლად იყენებენ ბორაკით დაფარვას. ამ მიზნით 850°C-მდე გახურებულ ინსტრუმენტს ჩაძირავენ ნაჯერ წყალხსნარში ან ბორაკის ფხვნილში.

გარდა ზედაპირული დეფექტებისა (ჟანგვა-გაუნახშირბადობის), გახურების რეჟიმის დარღვევისას, მოსალოდნელია ნაკეთობის როგორც გადახურება, ისე გადაწვა. გახურების გავლენა დეტალურად იქნება წარმოდგენილი სხვადასხვა ტექნოლოგიური დამუშავების (წნევით, თერმულად, ქიმიურ-თერმულად და სხვ.) შესაბამის ნაწილებში - წარმოქმნილი დეფექტების განხილვისას.

თავი III

ჩამოსხმული ნაკეთობების ძირითადი დეფექტები და მათი წარმოქმნის მიზეზები

3.1 საჩამოსხმელო წარმოების ზოგადი მიმოხილვა

საჩამოსხმელო წარმოება მიეკუთვნება ლითონების ცხელი დამუშავების პროცესებს. იგი დეტალის კონფიგურაციისა და ზომების შესაბამისი სამსხმელო ყალიბების დამზადების, განსაზღვრული ქიმიური შედგენილობის, თხევადი ლითონით შევსებული და გამყარებული ფასონური ნაკეთობის მიღების პროცესია. ჩამოსხმით მიღებულ ნაკეთობას სხმული ეწოდება.

ჩამოსხმა ითვლება რთული გეომეტრიული ფორმის ნამზადების მიღების ყველაზე მარტივ, სწრაფ და იაფ სამრეწველო მიმართულებად. ნაჭედებთან შედარებით სხმულებს ახასიათებს მეტი ფორიანობა და ქიმიური შედგენილობის არაერთგვაროვნება, რის გამოც მათი მექანიკური თვისებები უფრო დაბალია.

თანამედროვე სამრეწველო საწარმოებში ლითონისა და შენადნობების (თითქმის ყველა სახის) ჩამოსხმით მზადდება მრავალგვარი ზომისა და ფორმის დეტალები. რთული კონფიგურაციის დეტალების მისაღებად (თუ არ ჩავთვლით უახლესი ადიტიური წარმოების ტექნოლოგიებს) ჩამოსხმის შეცვლა ჭედვის, შტამპვის, შედულების და სხვ. ტექნოლოგიური პროცესებით შეუძლებელია. სხმული შეიძლება იყოს მზად დეტალი ან ნამზადი (მცირე ნამეტით დამუშავებაზე), რომელ-

საც ზუსტი ზომებისა და ზედაპირის მოთხოვნილი სისუფთავის მისაღებად მთელი ზედაპირის ან მისი ცალკეული ნაწილის მექანიკური დამუშავება ესაჭიროება. ჩამოსხმის ზოგი სპეციალური თანამედროვე მეთოდით მიიღება მაღალი გეომეტრიული სიზუსტისა და ზედაპირის მაღალი სისუფთავის სხმულები. მათი შემდგომი მექანიკური დამუშავება მნიშვნელოვნად მცირდება ან სრულიად გამოირიცხება.

სხმულებს დამზადების “საკუთარი” დეფექტები და მანკები ახასიათებს. ამდენად, უდეფექტო სხმულების დამზადება განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია და მუდამ სპეციალისტ - ჩამოსხმელთა ყურადღების ცენტრშია. სხმულებში დეფექტების მრავალსახეობა ართულებს მათი წარმოქმნის მექანიზმების გამოვლენას. ამის გამო, დეფექტების წარმოქმნა ხშირად სხვადასხვაგვარადაა ახსნილი. სხმულის ხარისხის ჩამოყალიბება იწყება დაპროექტებიდან და ტექნოლოგიური დამუშავებებიდან და გრძელდება მისი დამზადების ყველა ეტაპზე. მკვრივი სხმულის მიღებას განაპირობებს: ოპტიმალური შედგენილობის შენადნობის შერჩევა, სხმულის სწორი განლაგება სამსხმელო ყალიბში, ჩამოსხმის სისტემების ოპტიმალური კონსტრუქცია და მრავალი სხვა ფაქტორი. არანაკლები მნიშვნელობისაა ტექნოლოგიური პარამეტრები – დნობის ტემპერატურა და დრო, წიდის რეჟიმი, განჟანგვა, ჩამოსხმის ტემპერატურა და დრო, სამსხმელო და საკოპე ნარევების შედგენილობები და თვისებები, სხმულების გაცივებისა და თერმული დამუშავების რეჟიმები და ა.შ.

სხმულების შედგენილობასა, სტრუქტურასა და თვისებებზე ამდლებული მოთხოვნები უშუალო კავშირშია მოთხოვნებთან საწყის საკაზმე და საყალიბო მასალებზე. კაზმში ნახშირბადის,

სილიციუმის, მანგანუმის, ფოსფორისა და გოგირდის შედგენილობების ტრადიციულ კონტროლთან ერთად, ხშირად, აუცილებელია ჟანგბადის, აზოტის, წყალბადის, სელენის, ტელურის, ტყვიისა და სხვა მიკრომინარეების რაოდენობის კონტროლიც.

ვარგისი სხმულის მიღების უმნიშვნელოვანესი პირობაა ნადნობით სამსხმელო ყალიბის სიღრუის მთლიანად შევსება. სამსხმელო ყალიბის შევსების უნარი დამოკიდებულია ნადნობის თვისებებზე, სამსხმელო ყალიბების მასალასა და სიღრუის კონფიგურაციაზე. თხელკედლიანი და მსხვილგაბარიტიანი დეტალების ჩამოსხმისას სამსხმელო ყალიბის შევსების დროს შესაძლოა ნადნობის ნაკადის შეჩერება ყალიბის სიღრუეში. ასეთ შემთხვევაში მიიღება უკმარსხმული ან სხვა დეფექტიანი სხმული. სამსხმელო ყალიბში ნადნობის ნაკადის შეჩერების შესაძლებლობა დაკავშირებულია გაცივების ინტენსიურობასთან, შენადნობის კრისტალიზაციის ინტერვალის სიდიდესთან და ჩამოსხმის რეალურ პირობებში მისი პირველადი კრისტალიზაციის ხასიათთან.

სამსხმელო ყალიბში ნადნობის გამყარების საწყისი მომენტიდან თანდათან მატულობს მყარი ფაზის რაოდენობა და შესაბამისად მცირდება თხევადი ფაზის რაოდენობა. ზოგადად, სხმულის გამყარებისას წარმოიქმნება სრულიად გამყარებული, ორფაზა (ერთდროულად შეიცავს მყარ და თხევად ფაზებს) და თხევადი ზონები. 20–30 % გამყარებული კრისტალების შემცველ ნადნობს შენარჩუნებული აქვს სამსხმელო ყალიბის სიღრუეში დინების უნარი, მაგრამ ამ დროს მნიშვნელოვნად მცირდება თხელდენადობა. თხელდენადობის შემცირების ხარისხი დამო-

კიდებულია მყარი ფაზის ნაწილაკების ფორმაზე. კრისტალიზაციის საწყის და საბოლოო ტემპერატურებს შორის დიდი ინტერვალის მქონე შენადნობების გამყარებისას წარმოიქმნება განშტოებული კრისტალები – დენდრიტები. დენდრიტები მნიშვნელოვნად ამცირებენ ნადნობის დინებას და მათი ≈ 20 % შემცველობისას მთლიანად ამუხრუჭებენ მას. აღსანიშნავია, რომ ნაკლებად განვითარებული ზედაპირის მქონე მყარი ფაზის 30 %-მდე შემცველი ნადნობები ინარჩუნებენ თხელდენადობას.

კრისტალიზაციის მცირე ტემპერატურული ინტერვალის მქონე შენადნობების სამსხმელო ყალიბში ჩამოსხმისას, არხის კედლებზე წარმოიქმნება გამყარებული ქერქი. არხის კვეთი თანდათან მცირდება და გარკვეულ მომენტში ნადნობის დინება წყდება. კრისტალიზაციის დიდი ტემპერატურული ინტერვალის მქონე შენადნობების ჩამოსხმისას, მათი გამყარების მცირე სიჩქარის დროს ნაკადის წინა ნაწილის ტემპერატურა შესაძლოა გამყარების ტემპერატურამდე შემცირდეს. წარმოქმნილი მყარი ფაზა ნადნობის დინებას ამუხრუჭებს და, საბოლოოდ, მთელ ნაკადს აჩერებს. ასეთ შემთხვევაში არხის კედლებზე მყარი ქერქი წარმოქმნას ვერ ასწრებს. სამსხმელო ყალიბში ნაკადის დინების შეჩერების მიზეზი შესაძლებელია იყოს ორივე განხილული მოვლენის შეხამება. ტემპერატურას, რომლის დროსაც ნადნობი კარგავს თხელდენადობას ნულოვანი დინების ტემპერატურა ეწოდება. ერთნაირად გადახურებული სხვადასხვა შენადნობის თხელდენადობების შედარებით დადგენილია, რომ რაც უფრო მცირეა შენადნობის გამყარების ტემპერატურული ინტერვალი მით უფრო მაღალია თხელდენადობა.

სამსხმელო ყალიბის უნარი შენადნობისათვის სითბოს წაართმევისა განისაზღვრება მისი გამაცივებლობით (თბომაკუმულირებელი უნარით). სუსტი თბომაკუმულირებელი უნარის მქონე ნარევებისაგან დამზადებული ყალიბები ნადნობს უფრო ნელა აარინებს სითბოს და უკეთ ივსება, ძლიერი თბომაკუმულირებელი უნარის მქონე ლითონის ყალიბები კი უფრო ცუდად ივსება. სამსხმელო ყალიბის შევსებისას კედლებით ნადნობის გაცივების ინტენსიურობის შემცირება გამორიცხავს ქერქის წარმოქმნას და ნადნობის თხელდენადობის დაკარგვამდე ხანგრძლივობას ზრდის. შენადნობების ჩასხმისას სამსხმელო ყალიბი უფრო ძლიერ ცხელდება იმ ადგილებში, სადაც მეტი ნადნობი გაივლის. შესაბამისად, ნაკლებად გაცხელებულ ადგილებში ნადნობი უფრო სწრაფად ცივდება.

დენად ნადნობსა და სამსხმელო ყალიბს შორის აღძრული ხახუნის ნადნობის დენას მექანიკურ წინაღმდეგობას უწევს. ნადნობის სამსხმელო ყალიბთან ხახუნის კოეფიციენტი მცირდება ყალიბის მუშა ზედაპირის სიმქისის შემცირებით. დადგენილია, რომ ნედლ ყალიბს უფრო მცირე ხახუნის კოეფიციენტი აქვს, ვიდრე მშრალს. საყალიბო ნარევეში სპეციალური დანამატების შეტანა და მათი შეღებვა მნიშვნელოვნად ამცირებს ხახუნის კოეფიციენტს. ხახუნის მნიშვნელობა განსაკუთრებით მაღლდება ნადნობის ჩამოსხმის სისტემის არხებსა და თხელკედლიანი სხმულის ვიწრო სიღრუეებში დინებისას, აგრეთვე ნაკადის დინების მიმართულების ცვლილებისას.

სამსხმელო ყალიბში ჩამოსხმის ტექნოლოგიური რეჟიმი უნდა უზრუნველყოფდეს ვარგისი სხმულის მიღებას მკაფიო კონტურებით. პრაქტიკულად ეს მიიღწევა ისეთი ტექნოლოგიური

პარამეტრების კომბინირებით, როგორცაა: ჩასხმის ხანგრძლივობა, ჩამოსასხმელი შენადნობის ტემპერატურა, ჩამოსხმის სისტემის კონსტრუქცია, ყალიბის მასალები და მასში სხმულის ოპტიმალური მდებარეობა. გამყარების საწყის ტემპერატურაზე მაღლა გადახურებული შენადნობი განიხილება როგორც სითხე. ამიტომ, მკვებავების ჯამური ფართობის განსაზღვრა ხდება ჰიდრავლიკის კანონების საფუძველზე, ხოლო ჩამოსხმის ხანგრძლივობა განისაზღვრება სხვადასხვა ემპირიული ფორმულით.

საანგარიშო ფორმულების გამოყენებით და ტექნოლოგიის ზედმიწევნით დაცვით შესაძლებელია მკაფიოკონტურიანი სქელკედლიანი სხმულების მიღება. თხელკედლიანი და რთული სხმულების წარმოებისას შესაძლებელია მათი ცალკეული ნაწილის ნაადრევი გამყარება, რაც მთლიანობის დარღვევასა და სხვადასხვა სახის შეურწყმელობას იწვევს.

თანამედროვე საჩამოსხმელო წარმოებაში სხმულების მისაღებად, საყალიბო ნარევებისაგან დამზადებულ სამსხმელო ყალიბებთან ერთად, ფართოდ გამოიყენება ჩამოსხმის სპეციალური მეთოდები: ლითონის ყალიბში (კოკილში), წნევით, ცენტრიდანული, გარსებში და გამოსადნობ მოდელებში ჩამოსხმა.

სამსხმელო ყალიბები შეიძლება იყოს ერთჯერადი ან მრავალჯერადი (მუდმივი). ერთჯერადი ყალიბები მზადდება საყალიბო ნარევისაგან და ვარგისია მხოლოდ ერთი სხმულის მისაღებად. მრავალჯერადი სამსხმელო ყალიბები, ჩვეულებრივ, ლითონისაა. ისინი უძლებენ მრავალჯერ ჩასხმას, გა-

მოიყენებიან წნევით და ცენტრიდანული ჩამოსხმისას. მიუხედავად იმისა, რომ უკანასკნელ დროს შეინიშნება მრავალჯერად ყალიბებში ჩამოსხმაზე გადასვლის ტენდენცია, ჯერ კიდევ სხმულების უმეტესი რაოდენობის ჩამოსხმა (60 %-ზე მეტი) ერთჯერად ყალიბებში ხდება.

ჩამოსხმის მეთოდების შესაბამისად ჩამოსხმის ძირითადი სახეებია:

ა) ჩვეულებრივი ჩამოსხმა - სამსხმელო ყალიბის ნადნობით შევსება ხდება სიმძიმის ძალის გავლენით (თავისუფლად);

ბ) კოკილში ჩამოსხმა - გამოიყენება, ძირითადად, მარტივი კონფიგურაციის მქონე სხმულების ჩამოსასხმელად. ფოლადისაგან ან თუჯისაგან დამზადებულ ყალიბებში იღებენ როგორც ფერადი ლითონების, ისე ფოლადისა და თუჯის სხმულებს.

გ) ცენტრიდანული ჩამოსხმა - გამოიყენება ბრუნვითი ფორმის მქონე სხეულების სხმულების მისაღებად. ნადნობი ისხმება ლითონის მბრუნავ (500 - 1500 ბრ/წთ) ყალიბში და ცენტრიდანული ძალის გავლენით ნაწილდება სამსხმელო ყალიბის შიგა ზედაპირზე. კრისტალიზაციის შემდეგ მიიღება მკვრივი ღრუტანიანი სხმული;

დ) წნევით ჩამოსხმა – გამოიყენება, ძირითადად, მასობრივ ან მსხვილსერიულ წარმოებაში 5 კგ-მდე ალუმინის, სპილენძის, თუთიის და სხვა შენადნობების ძალიან რთული ფორმის სხმულების მისაღებად. ჩამოსხმა ხდება სპეციალური მანქანებით. ნადნობი მიეწოდება შეკუმშული ჰაერის ან დგუშის მიერ განვითარებული წნევით. ეს მეთოდი ლითონის ყალიბის სწრაფ

და კარგ შევსებადობას და, შესაბამისად, მაღალი ხარისხის სხმულის მიღებას უზრუნველყოფს;

ე) გარსში ჩამოსხმა - იყენებენ მასობრივი და მსვილსერიული წარმოების პირობებში. სპეციალურ საბრუნბუნკერიან მანქანაზე წვრილფრაქციული კვარცის ქვიშისა და თერმორეაქტიული პულვერბაკელიტის (ფენოლის თერმორეაქტიული ფისი) ნარევისაგან დამზადებული 6 - 8 მმ სისქის გარსი საშუალებას იძლევა ზომების ამალღებული სიზუსტით ჩამოსხმას თუჯის, ფოლადის და ფერადი შენადნობებისაგან რთული და საპასუხისმგებლო ფასონური სხმულები (100 კგ-მდე).

ვ) გამოსადნობ მოდელებში ჩამოსხმისას გამოიყენება არაგასართი ყალიბები, რომლებიც მზადდება ადვილმდნადი (პარაფინი, სტეარინი, ცუზერინი და სხვ.), ასევე ცეცხლგამძლე მასალისაგან. ამ მასალის შედგენილობაშია მტვრისებრი კვარცი და შემკვრელი (თხევადი მინა, ეთილსილიკატი და სხვ.).

ლითონური სხმულების დასამზადებლად გამოყენებული ძირითადი მასალებია: თუჯი, ფოლადი და ფერადი ლითონების (ალუმინის, სპილენძის, მაგნიუმის, თუთიის, ტიტანის და სხვ.) შენადნობები. ამჟამად ჩამოსხმული ნაკეთობების 75 % მზადდება თუჯისაგან, 20 % - ფოლადისაგან, 3 % - ფიფქისებრგრაფიტისაგან თუჯისა და 2 % - ფერადი ლითონებისაგან. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ ჯერ კიდევ განსაკუთრებულად დიდია საჩამომსხმელო წარმოების მნიშვნელობა. მაგალითად, სხმული დეტალების მასა შეადგენს მანქანათმშენებლობაში მანქანებისა და მექანიზმების საერთო მასის 50 %-ს, ხოლო ჩარხმშენებლობაში - 80 %-ს.

3.2 ჩამოსხმული ნაკეთობების ძირითადი დეფექტები

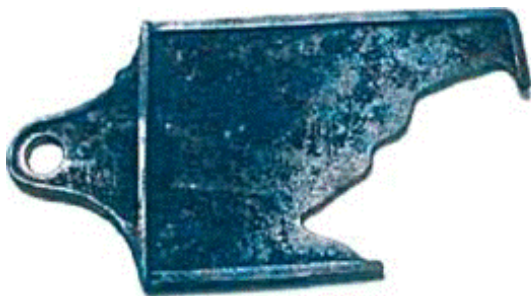
საკვასუხისმგებლო სხმულებისთვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ლითონური ნადნობების შედგენილობისა და გამყარებული სხმულის თვისებების შესაბამისობას. თვისებების შეუსაბამობა, ჩვეულებრივ, განიხილება როგორც მეორადი მოვლენა, ანუ სამსხმელო დეფექტებისა და ქიმიური შედგენილობის გადახრების ცალ-ცალკე ან ერთობლივი გავლენის შედეგი (ცხრილი №1). დეფექტების სწორი იდენტიფიკაცია უზრუნველყოფს მათი წარმოშობის ჭეშმარიტი მიზეზების დადგენას, მათ აღმოსაფხვრელად ეფექტური ღონისძიებების დამუშავებას, დეფექტების გამოვლენის კონტროლის აუცილებელი მეთოდების შერჩევას.

სხმულის გარეგანი დეფექტების აღმოჩენა ხდება ვიზუალურად (ზედაპირის დათვალიერებით) სხმულის ყალიბიდან ამოღებისა და გაწმენდის შემდეგ. შიგა დეფექტების აღმოსაჩენად გამოიყენება დეფექტოსკოპიის რადიოგრაფიული ან ულტრაბგერითი მეთოდები. ამ მეთოდებით დგინდება დეფექტის არსებობა, მისი ზომები და განლაგების სიღრმე. ულტრაბგერით კონტროლისას სხმულის კედელში გამავალი ულტრაბგერის ტალღა დეფექტის (ბზარის, ნიჟარის) საზღვართან შეხვედრისას ნაწილობრივ აირეკლება. ტალღის არეკვლის ინტენსიურობით მსჯელობენ დეფექტის არსებობასა და მის ზომებსა და განთავსების სიღრმეზე. რადიოგრაფიული მეთოდების (რენტგენოგრაფია, გამაგრაფია) გამოყენებისას სხმულებზე ზემოქმედებენ რენტგენის ან გამა გამოსხივებით. ბზარების აღმოსაჩენად იყენებენ ლუმინესცენციურ, მაგნიტურ ან ფერად დეფექტოსკოპიას.

სხმულების ძირითადი დეფექტები ხასიათდება ხუთი ჯგუფით: ფორმის გეომეტრიის შეუსაბამობით; ზედაპირის დეფექტებით; სხმულში არსებული არამთლიანობებით; ჩანართებით, სტრუქტურის შეუსაბამობით. მოკლედ განვიხილოთ თითოეული მათგანი:

I. ფორმის გეომეტრიის შეუსაბამობა

უკმარსხმა - სამსხმელო ყალიბის სიდრუს ნადნობით ნაწილობრივი შეუვსებლობით გამოწვეული სხმულის არასრულყოფილება - მისი ნაწილის არქონა (სურ. 4).

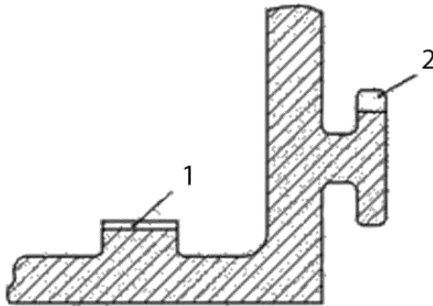


სურ. 4. უკმარსხმაში სხმული

უკმარსხმის შემთხვევაში სხმულის დეფექტი მდებარეობს, ძირითადად, სხმულის ზედა ან მკვებავებიდან ყველაზე უფრო დაშორებულ ნაწილებში. ამ დროს მიღებული სხმული არასრულყოფილი ფორმისაა, მახინჯდება სხმულის კონფიგურაცია და მისი ცალკეული ნაწილის ზომები. სამსხმელო ყალიბის მნიშვნელოვანი შეუვსებლობისას მკვეთრად იცვლება სხმულის კონფიგურაცია. ნაკლები შეუვსებლობა კი იწვევს კონტურისა და სხმულის ცალკეული ნაწილის ზომების დამახინჯებებს. იმ შემთხვევაში, როცა სხმულის ძირითადი

კონფიგურაცია მიღებულია, მაგრამ გარე წიბოები ან კუთხეები რამდენადმე მომრგვალებულია, დეფექტს უწოდებენ მახვილი ნაწიბურების უკმარსხმას.

უკმარსხმა დამოკიდებულია სამსხმელო ყალიბის შევსების ხასიათზე. იგი გამოირიცხება, როცა ნადნობის სითბოს მარაგი საკმარისია ყალიბის უწყვეტი ნაკადით შესავსებად. დეფექტური სხმულების მიღებას ხელს უწყობს სამსხმელო ყალიბის არასწორი ვენტილაცია და ლითონით შევსებისას აირების ბუნებრივი გამოდევნის შეზღუდულ ადგილებში წარმოქმნილი აირის ბალიშები. ისინი ეწინააღმდეგებიან სამსხმელო ყალიბის, უპირატესად, ზედა ან გვერდითი ნაწილების სრულ შევსებას (სურ. 5).



სურ. 5. უკმარსხმა: 1 - 2 აირის ბალიშები

უკმარსხმა ორი ტიპისაა: ნადნობით სამსხმელო ყალიბის სიღრმის ჭეშმარიტი (ჩვეულებრივი) შეუვსებლობა და შევსების შემდეგ სამსხმელო ყალიბიდან (საყალიბეების არასწორი დამაგრებისას, დეფორმირებული საყალიბეებისა და სამოდულო ფილების გამოყენებისას, საყალიბო ნარევის არასაკმარისი სიმტკიცისას, საყალიბო ფორმასა და კოპებს შორის საყალიბო

ნარევის არასაკმარისი სისქისას და სხვ.) ნადნობის ნაწილობრივი გამოდინება.

პირველი ტიპის დეფექტები განლაგებულია სასხმიდან ყველაზე დაშორებულ ადგილებში და დამახასიათებელია რთული კონფიგურაციის თხელკედლიანი სხმულებისათვის. მეორე ტიპის დეფექტებისათვის დამახასიათებელია სხმულის შეუვსებელი ნაწილი (სიღრუის სახის), რომელიც შემოსაზღვრულია მახვილნაპირებიანი თხელი კედლებით. სიღრუეები განლაგებულია სხმულის მასიურ, ბოლოს გამყარებულ ნაწილებში. ნადნობის ნაწილობრივი გამოდინება მოსალოდნელია ყალიბის შევსებიდან გარკვეული დროის შემდეგ (განსაკუთრებით გადახურებული ნადნობის ჩამოსხმისას).

ჩვეულებრივი უკმარსხმა გამოჩნდება სხმულის ყალიბიდან ამოღებისთანავე, ხოლო შეუვსებელი კუთხეები და წიბოები - გაწმენდის შემდეგ. ამავე დროს, ვიზუალურად ადვილი დასადგენია ნადნობის გამოდინების ადგილი. უკმარნასხამი სხმულის ზედაპირი ხასიათდება დაჟანგული ზედაპირითა და კედლების მომრგვალებული ტორსებით.

უკმარსხმის ძირითადი მიზეზები: სამსხმელო ყალიბის შესავსებად საკმარისი თხევადი ლითონის რაოდენობის არაზუსტი გაანგარიშება. ამ დროს წარმოქმნილი უკმარსხმა (უხეში უკმარსხმა) ხასიათდება უკმარნასხამი კედლების ბასრი ნაპირებით, ხოლო ლითონის ზედა დონე სხმულში და ჩამოსხმის სისტემაში ერთ ჰორიზონტალურ სიბრტყეშია; სამსხმელო ყალიბის ძალიან ნელი შევსება (ლითონის წყვეტილი ნაკადის მიწოდება); დგარში ნადნობის არასაკმარისი დაწნევა; ნადნობის ჩამოსხმის

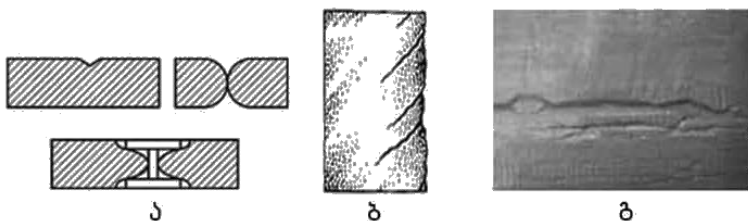
დაბალი ტემპერატურა; ლითონური ყალიბის დაბალი ტემპერატურა; სამსხმელო ყალიბის ცუდი აირგამტარობა. გარდა ამისა, უკმარსხმის სპეციფიკური მიზეზებია: ლითონის განდინება ყალიბის გასართში კოპის შიგა სიღრუიდან ან ყალიბის დარღვეული უბნიდან. ასეთ უკმარსხმას (გამოსვლას) ღრმულის სახე აქვს და უშუალოდ ერთვის ყალიბის ზედაპირს გამოშვებული ხიწვისებრი კიდეებით. სხმულის შიგნით დეფექტის წარმოქმნისას მიიღება ღრუტანიანი სხმული. უმეტეს შემთხვევაში ასეთ დეფექტს თან ახლავს სხვადასხვაგვარი წანაზარდი (კორძი).

შევსებული სამსხმელო ყალიბიდან ლითონის გასართზე განდინება ხდება საყალიბების სუსტი დამაგრების ან მათი არასაკმარისი დატვირთვის შემთხვევებში. ღრუტანიანი კოპების სიღრუეებიდან განდინების მიზეზია: კოპების ცალკეული ნაწილების ცუდი შეერთება ან მათ შორის ღრეჩოს არსებობა; ყალიბის სიღრუესა და კოპის ტორსულ ღია ნაწილებს შორის დაუშვებელი ზომის (დიდი) ღრეჩო; ღრუტანიანი კოპების არასაკმარისი მექანიკური სიმტკიცის გამო მათი ცალკეული უბნების მთლიანობის დარღვევა. მსგავსი უკმარსხმა ხდება ლითონით ყალიბის შევსების შემდეგ, მისი ცალკეული უბნების ადგილობრივი რღვევის ან ჩამოქცევისას. უკმარსხმის მიზეზია, აგრეთვე, ყალიბის ნაადრევად გახსნისას სხმულის მასიური და, შესაბამისად, გვიან გამყარებადი ნაწილიდან ლითონის განდინება. მახვილი კუთხეებისა და წიბოების უკმარსხმის მიზეზია ნადნობით ყალიბის ცუდი დასველებადობა. მასიური და მცირედგანშტოებული სხმულების ჩამოსხმისას ცუდი დასველებადობის გავლენა უმნიშვნელოა, ხოლო თხელკედლიანი სხმულების წარმოებისას კი იგი იწვევს განშტოებული და

ვიწრო არხების, სიღრუეებისა და მახვილი კუთხეების შეუვსებლობას. სხმულის ასეთ დეფექტს მახვილი კუთხეებისა და წიბოების უკმარსხმა ეწოდება.

უკმარსხმისა და ნარჩილების ასაცილებლად (პრაქტიკული რეკომენდაციები მსგავსია) ჩამოსხმის სიტემის კონსტრუქციის გამტარიანობამ ყალიბის შევსებისათვის უნდა უზრუნველყოს ნადნობის ნაკადის აუცილებელი (საჭირო) სიჩქარე. ჩამოსხმის სისტემა უნდა შეირჩეს ისე, რომ ლითონი უწყვეტად მიეწოდოს სხმულის ყველაზე მცირე კვეთის მქონე ნაწილსაც.

შეურწყმელობა - სამსხმელო ყალიბში დადაბლებული თხელდენადობის მქონე ლითონის ჩასხმისას შემხვედრი ჭავლების შეურწყმელობის შედეგად სხმულის კედელში წარმოქმნილი ნებისმიერი ფორმის ზედაპირული ნაოჭი (ნაკეცი) ან წაგრძელებული გამჭოლი ღრეჩო (სურ. 6).

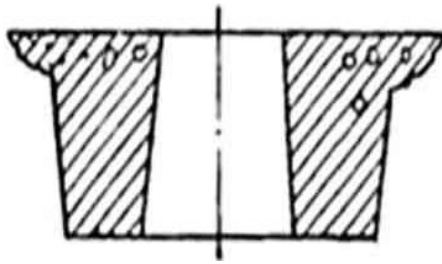


სურ. 6. შეურწყმელობა: ა - სქემები; ბ - სხმულის; გ - ბრტყელი ზოდის ფართო წახნაგზე

შეურწყმელობა დამახასიათებელია კრისტალიზაციის ტემპერატურის ფართო ინტერვალის მქონე შენადნობებისათვის და ჩვეულებრივ შეინიშნება სხმულების თხელ კედლებში. მისი წარმოქმნის მიზეზია ნადნობის დაბალი ტემპერატურა და სამსხმელო ყალიბის შევსების დაბალი სიჩქარე.

დეფექტის აცილება ხდება: ლითონის ჩამოსხმის ტემპერატურისა და მისი თხელდენადობის ამაღლებით, ჩასხმის სიჩქარისა და ფეროსტატიკური დაწნევის გაზრდით, ყალიბის სიღრუეში აირული წნევის შემცირებით და ა. შ.

ყალიბის მოჭიმვა - სამსხმელო ყალიბის დეფორმაციით გამოწვეული სხმულის კონფიგურაციის ადგილობრივი დარღვევა (სურ. 7).

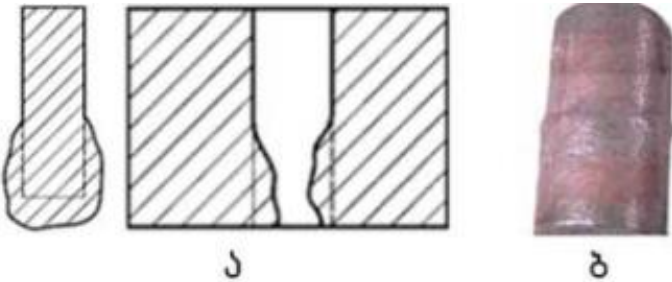


სურ. 7. ფორმის მოჭიმვა

სამსხმელო ყალიბის დეფორმაციას იწვევს ჩამოსხმამდე (აწყობისას) ან ჩამოსხმისას ზოგიერთი ადგილის მეტისმეტი მოჭიმვის შედეგად აღძრული დეფორმაციის მექანიკური ზემოქმედება. მოჭიმვა, ჩვეულებრივ, ვლინდება გასართი ზედაპირების ან კოპების მახლობლად კორძების ან ნებისმიერი ფორმის შესქელებების სახით. სამსხმელო ყალიბის ჩამოქცეული ნაწილი სხმულში ქმნის ქვიშის ჩანართს, ხოლო ნადნობით შევსებული დარღვეული უბნები სხმულზე (უმთავრესად გასართ სიბრტყეზე) - დამახასიათებელ კორძებს. კორძების წარმოქმნის ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზია, აგრეთვე, სამსხმელო ყალიბისა და კოპების ნიშნების ზომათა შეუსაბამობა.

ასეთი მოვლენის ასაცილებლად, ჩამოსხმის ტექნოლოგიის დამუშავებისას, აუცილებელია გათვალისწინება სამსხმელო ყალიბისა და კოპის ნიშნებს შორის საჭირო ზომის ღრეჩოსი, ხოლო ნიშნებზე - დახრებისა. დაუშვებელია გამოყენება ცუდად გამომშრალი და დაბრეცილი კოპებისა, დაბრეცილი და არასწორად დაცენტრებული საყალიბეებისა ან გადახრილი მილისებისა. აუცილებელია დაზიანებული მაცენტრებელი მილისებისა და მანჭვლების დროულად გამოცვლა.

შებერილობა - სხმულის ცალკეული (უპირატესად ჩასხმის მდგომარეობიდან ქვედა) უბნის ადგილობრივი შესქელება (სურ. 8).



სურ. 8. შებერილობა: ა - სქემა; ბ - დეფექტური სხმული

შებერილობას წარმოქმნის საყალიბო ან საკოპე ნარევების დაბალი სიმტკიცე; სამსხმელო ყალიბში ნარევების სუსტი ან არათანაბარი შემჭიდროება; სამსხმელო ყალიბის დაბალი თერმომედეგობა. იგი წარმოიქმნება არასაკმარისად გამკვრივებული სამსხმელო ყალიბის კედლებზე ჩამოსხმული ლითონის სტატიკური წნევით ქვიშის ყალიბის არათანაბარი განბრჯენის ან არასაკმარისი შემჭიდროების შედეგად. მისი აცილება

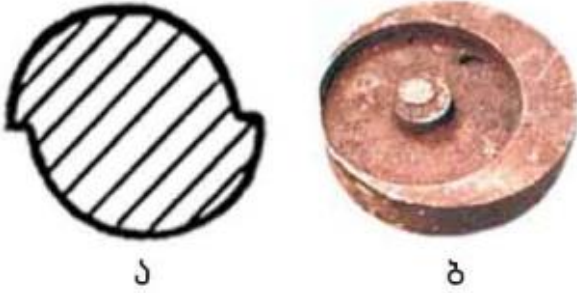
შეიძლება საყალიბო ნარევის ოპტიმალური ხარისხის გამკვრივებით.

სამსხმელო ყალიბში მოხვედრილი ლითონის თბური და ძალური (ლითონის წნევის) ზემოქმედებით ნარევი მკვრივდება. გარდა ამისა, ნედლ ყალიბში წარმოქმნილი ზედაპირული მშრალი ქერქი, ლითონსტატიკური წნევის ზემოქმედებით, დეფორმირდება და გადაადგილდება სამსხმელო ყალიბის სიმკვრივის შესუსტებული – ტენის კონდესაციის - ზონის მიმართულებით. ასეთი მოვლენა იწვევს სამსხმელო ყალიბის სიღრუის გაფართოებას (განსაკუთრებით მის ქვედა ნაწილში, სადაც მაქსიმალური ლითონსტატიკური წნევა მოქმედებს) და, შესაბამისად, სხმულების შებერილობის წარმოქმნას. დეფექტის ასაცილებლად სამსხმელო ყალიბი ისე უნდა გამკვრივდეს, რომ ტენის კონდესაციის ზონის წარმოქმნისა და მისი განუმტკიცებლობის შემდეგ, ჩამოსხმისა და გამყარების პერიოდში, უმნიშვნელო დეფორმაციით აღუდგეს წინ ლითონის ძალურ ზემოქმედებას. რადგან, სამსხმელო ყალიბის ზომაგადასული გამკვრივება იწვევს სხვა დეფექტების (მაგ., გადაფარული ჩაღრმავების) წარმოქმნას, დაცული უნდა იყოს საყალიბო ნარევის დაწნეხის ოპტიმალური წნევა.

შესქელებული დეფექტი არ აუარესებს სხმულის ზედაპირს. არ იწვევს საყალიბო ნარევის ჩანართებს და შენადნობის სტრუქტურის ცვლილებას. ფორმის სიღრუის გადიდება შესამჩნევია ტემპერატურის ამაღლების, თუჯში გრაფიტის შედგენილობის გადიდების და საყალიბო ნარევიში ცეცხლგამძლე თიხის ბენტონიტით შეცვლის შემთხვევებში. საყალიბო ნარევის გაფართოება ნაწილობრივ ამცირებს შებერილობას.

შებერილობის აცილებას ან წუნდებული პროდუქციის რაოდენობის შემცირებას ხელს უწყობს სამსხმელო ყალიბის (საყალიბო ნარევის) გამკვრივების ხარისხის ამაღლება, საყალიბო ნარევის ტენიანობის შემცირება, საყალიბო ნარევი დაფქული ნახშირისა და სქელფისის შეტანა, ნარევის კარგი შერევა.

გადახრა - სამსხმელო ყალიბის, მოდელის ან საყალიბეების გასართზე სხმულის ერთი ნაწილის სხმულის ღერძების ან მისი მეორე ნაწილის ზედაპირის მიმართ დაძვრა (სურ. 9).



სურ. 9. სხმულის გადახრა: ა - სქემა; ბ - დეფექტური სხმული

გადახრა, სამსხმელო ყალიბის დაყალიბებისას, მოდელისა და საყალიბეების აკრების არაზუსტი დაყენებისა და ფიქსაციის შედეგია. შესაძლებელია სხმულის როგორც გარე ნაწილის, ისე შიგა სიღრუეების გადახრა. დეფექტი ვლინდება სხმულის გაწმენდის შემდეგ. გადახრის ზომები თუ მექანიკურ დამუშავებაზე ნამეტს აღემატება - სხმული წუნდებულია.

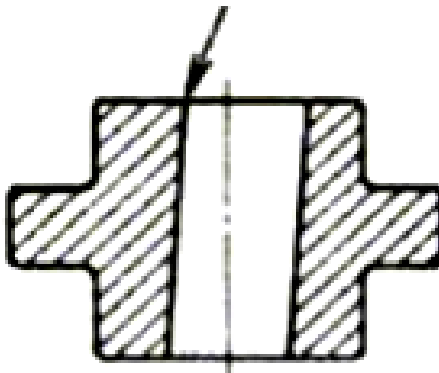
გადახრის ძირითადი მიზეზია მოდელისა და საყალიბეების აღჭურვილობის გაუმართაობა, სამსხმელო ყალიბის დაუდევარი დამზადება და აკრება, კოპების ფიქსატორების არასწორი არჩევა ან სამსხმელო ყალიბში მათი დაუდევრად

დაყენება. გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მაფიქსირებელი მილისებისა და მანჭვლების მდგომარეობას საყალიბებში.

დიდი მასის კოპებისა და საყალიბო ნარევის დაბალი სიმტკიცისას შესაძლებელია კოპის ფიქსატორების ჩაწნევა სამსხმელო ნახევარყალიბის ქვედა ზედაპირში. თუ კოპი არ არის კოპის ნიშნებში დაფიქსირებული, შესაძლებელია იგი ამოტივტივდეს და ჩაეწნოს სამსხმელო ნახევარყალიბის ზედა ზედაპირში (განსაკუთრებით ნედლი დაყალიბებისას). ასეთ შემთხვევებში იყენებენ მაღალი სიმტკიცის ნარევებს ან დიდი საყრდენი ფართობის მქონე კოპის ფიქსატორებს.

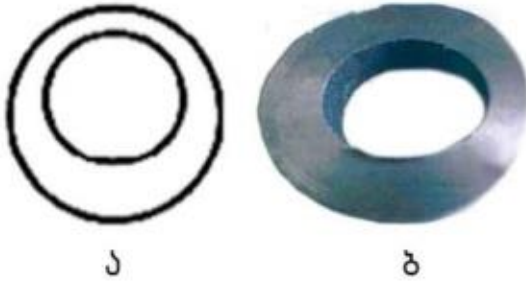
კოპის გადახრა - კოპის გადახრით გამოწვეული, კოპით მისაღები ნახვრეტის, სიღრუის ან სხმულის ნაწილის გადანაცვლება (სურ. 10).

კოპის გადახრა გამოირიცხება თუ ის კარგადაა დაყენებული კოპის ნიშნებში და ეწინააღმდეგება მის გადაადგილებას.



სურ. 10. კოპის გადახრა (სქემა)

ნაირკედლიანობა - მოთხოვნილი ზომებიდან სხმულის კედლის სისქის გადახრა (გაზრდა ან შემცირება). (სურ. 11).



სურ. 11. ნაირკედლიანობა: ა - სქემა; ბ - დეფექტური სხმული

ნაირკედლიანობა გამოწვეულია კოპის გადანაცვლებით, დეფორმაციით ან ამოტივტივებით. დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზია: თიხაქვიშოვან ყალიბებში მოდელის კომპლექტის ზომების დაუშვებელი გადახრა; მოდელებისა და კოპის ყუთების ზომებისა და ფორმის ცვლილება (ექსპლუატაციის პროცესში ცვეთისა და დეფორმაციის შედეგად); სამსხმელო ყალიბისა და კოპების დეფორმაცია შრობისას; სამსხმელო ყალიბის არაზუსტი აკრება; სამსხმელო ყალიბის სიღრუს დაზიანება მოდელის ამოღების ან კოპის დაყენებისას; სამსხმელო ყალიბის სიღრუს დაზიანება ლითონით შევსების, ჩაჯდომის რხევის ან ყალიბით მისი დამუხრჭების პროცესში; დაბრეცა გაცივებისა და თერმული დამუშავების პროცესში; მექანიკური დაზიანება (სხმულის გამოგდებისას, შემოჭრისას, გაწმენდისას და ტრანსპორტირებისას).

მოდელის აღჭურვილობით გამოწვეული სხმულის ზომების შეუსაბამობის ასაცილებლად აუცილებელია წარმოებაში ჩაშვებამდე მათი ზედმიწევნით შემოწმება, ასევე აღჭურვილობის

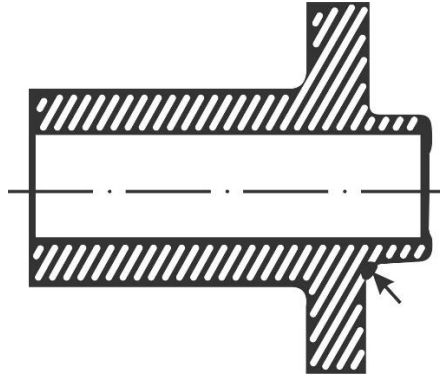
გამოყენებით მიღებული სხმულების საგულდაგულო შემოწმება. მონტაჟის უზუსტობით ზომების დამახინჯება მოდელის სამონტაჟო ფილაზე, საშუალოდ, $\pm 0,15$ მმ-ს შეადგენს და დამოკიდებულია ფილებზე მოდელების ფიქსაციის ხერხზე.

სხმულის ზომებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ხაზობრივი ჩაჯდომის რხევა. იგი დამოკიდებულია ნადნობის ქიმიურ შედგენილობასა და ყალიბის კედლებით ჩაჯდომის მექანიკურ დამუხრუჭებაზე. თუჯში მაგრაფიტბელი ელემენტების (C, Si) კონცენტრაციის მატება იწვევს სხმულის ჩაჯდომის შემცირებას და, პირიქით, გრაფიტიზაციის ხელშემშლელი ელემენტების (Mn, S) შემცველობის მატება - მის ზრდას. თუჯში გოგირდისა და ფოსფორის შემცველობის რხევები უმნიშვნელოა. მანგანუმი კი ნაკლებ გავლენას ახდენს გრაფიტიზაციაზე. შესაბამისად, თუჯის ხაზობრივი ჩაჯდომის ცვლილება ნახშირბადისა და სილიციუმის შემცველობის პროპორციულია.

ჩაჯდომის მექანიკური დამუხრუჭების ხარისხი დამოკიდებულია ფარდობაზე სხმულის კედლებისა ფართობის ჩაჯდომის გამომწვევი კედლების ფართობთან. რაც უფრო მეტია ფარდობა, მით ნაკლებია სხმულის ხაზობრივი ჩაჯდომა. სხმულის ზომების დამახინჯებას იწვევს სამსხმელო ყალიბის კედლებზე თხევადი ლითონის ზემოქმედება. მაგალითად, სამსხმელო ყალიბის მასალის თბური გაფართოება ზოგჯერ იმდენად დიდია, რომ მცირდება სამსხმელო ყალიბის სიღრუის ზომები და, შესაბამისად, სხმულის კედლის სისქეც.

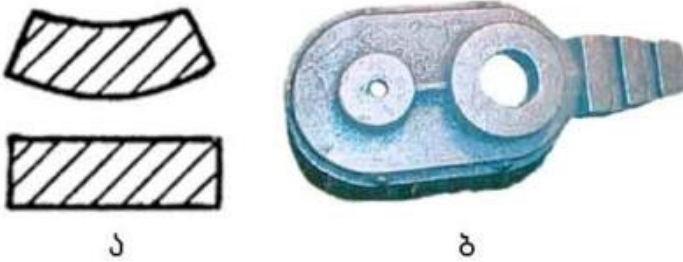
საკოპე ჭარბნასხამი - სამსხმელო ყალიბში კოპის ჩაუდგმელობის ან მისი ჩამოქცევის შემთხვევაში სხმულის ნახვრეტში ან სიღრუეში ჩადვრილი ლითონი (სურ. 12).

მისი წარმოქმნის მიზეზია ღრეჩო კოპის ნიშნებსა და სამსხმელო ყალიბის სიღრუის კონტურებს შორის.



სურ. 12. საკოპე ჭარბნასხამი (სქემა)

დაბრეცა - ჩაჯდომის ძაბვებით გამოწვეული სხმულის ზომებისა და კონტურის ცვლილება სხმულის ცალკეული ნაწილების არათანაბარი გაცივებისას (სურ. 13).



სურ. 13. სხმულის დაბრეცა: ა - სქემა; ბ - დაბრეცილი სხმული

დაბრეცის მიზეზია: ნადნობის ჩამოსხმის განსაკუთრებით მაღალი ტემპერატურა; სხმულის არათანაბარი გაცივება სამსხმელო ყალიბში; სხმულში ძაბვების წარმოქმნა და შეუქცევი

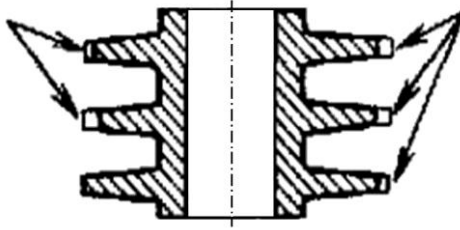
დეფორმაციული ცვლილებები გაცივებისას; დეფექტური სამოდელი ალჟურვილობის გამოყენება; სხმულების არასწორი ჩაწყობა და რეჟიმის დარღვევა თერმული დამუშავებისას; კოპებისა და სამსხმელო ყალიბის ცალკეული ნაწილის არასაკმარისი დამყოლობა; ყალიბიდან სხმულის ნაადრევი გამოგდება.

დაბრეცის ასაცილებლად აუცილებელია: სხმულის შეუღლებული კედლების კვეთების მკვეთრი გადასვლების შემცირება; სხმულის კონსტრუქციაში (სადაც შესაძლებელია) სიხისტის წიბოების, ჰალტელებისა და ტექნოლოგიური ნახვრეტების გამოყენება; სხმულის სხვადასხვა ნაწილის თანაბარი გაცივების უზუნველსაყოფად ჩამოსხმის სისტემის კონსტრუქციის შერჩევა (ლითონის მიწოდება თხელ ადგილებში, განწერტებული ჩამოსხმის სისტემა); მაცივრების გამოყენება; შინაგანი ძაბვების მოსახსნელად თერმული დამუშავების ჩატარება; ნორმალური სიმკვრივის სამსხმელო ყალიბისა და კოპების გამოყენება (დაუშვებელია მათი ზედმეტად გამკვრივება) და სხვ.

დაბრეცის გამოსწორება ხდება უროზე სწორებით, პრესებით, ჩაქურჩის დარტყმებით ან ლუმლებში დატვირთვის ქვეშ დაყოვნებით.

უკმარშევსება - სხმულის კონფიგურაციის შეუსაბამობა ნახაზთან (კონტურის არასიმკვეთრე) (სურ. 14).

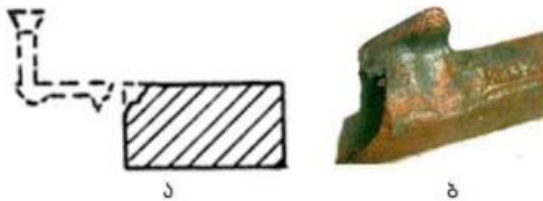
უკმარშევსების მიზეზია მოდელის ცვეთა ან ფორმის არასაკმარისი გამოყვანა.



სურ. 14. უკმარშევსება (სქემა)

ჩანაჭერი - სხმულზე სასხმების მოჭრის, სხმულის შემოჭრის და გაწმენდისას წარმოქმნილი კონტურის დამახინჯებები.

გამოტება - სხმულის გამოგდების, შემოჭრის, სასხმისა და ნამატის ჩამოცლის, გაწმენდის და ტრანსპორტირების პროცესებში წარმოქმნილი სხმულის კონფიგურაციისა და ზომების დამახინჯება (სურ. 15).



სურ. 15. გამოტება: ა - სქემა; ბ - დეფექტური სხმული

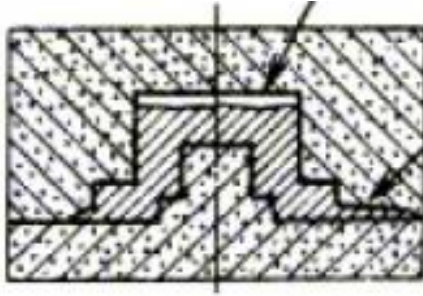
მექანიკური დაზიანებით შესაძლებელია სხმულის მთლიანობის დარღვევა, ხმულის ნაწილის ჩამოტება, ბზარის გაჩენა, გამრუდება და ა.შ. იგი არ არის დაკავშირებული სამსხმელო ყალიბში გამყარების პროცესთან. მისი წარმოქმნის მიზეზია: სამსხმელო ყალიბიდან უდროოდ - ჯერ კიდევ არასაკმარისი სიმტკიცის მქონე სხმულის გამოგდება. ამ შემთხვევაში დარტყმისას და (შე)რყევისას, სხმულის ნაკლებად მტკიცე ცხელი

უბნებიდან აიხლიჩება გამყარებული სასხმი; სასხმის ძაბრის ან ჯამის ჭარბნასხამები (ისინი ართულებენ ყალიბიდან სხმულის გამოგდებას); დეტალების შემოჭრისას და გასწორებისას გაჩენილი ბზარები.

დაზიანების ასაცილებლად საჭიროა სხმულიდან სასხმისა და ნამატების მოცილება (მოტეხა და შემოჭრა) მოხდეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა მკვებავების განივკვეთის ფართობი ნაკლებია სხმულის იმ ნაწილის კვეთის ფართობზე, რომელთანაც კვებაა მიყვანილი (ამასთან, ბრტყელი მკვებავი ყოველთვის უფრო ადვილად ჩამოტყდება, ვიდრე მრგვალი ან კვადრატული); სასხმების ადვილად მოცილების მიზნით მკვებავის მიერთება სხმულის უფრო მასიურ ნაწილთან; მკვებავის კვეთის ფართობის შემცირება დასაშვებ ზღვრებში; ლითონის მიწოდება ნაკლები კვეთის რამდენიმე მკვებავით; ცეცხლით ჩამოწმენდის გამოყენება აუცილებლობის შემთხვევაში; სხმულის ყალიბიდან გამოგდება, მისი სრული გამყარების შემდეგ; ნამატებისა და სასხმების მოცილება სხმულების მოღობვამდე.

ლითონის გამოხეთქა - არასაკმარისი სიმტკიცის ყალიბში ჩამოსხმისას მიღებული არასრული (მოცულობის) ან დამახინჯებული ფორმის სხმული (სურ. 16).

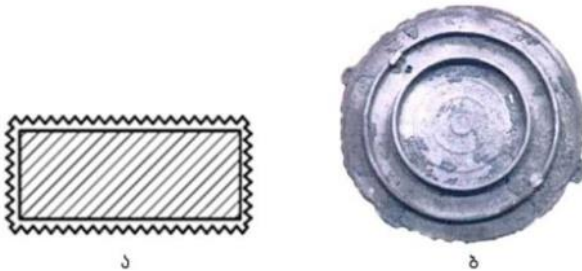
ლითონის გამოსვლა - სიცარიელე სხმულში, შემოსაზღვრული გამყარებული ლითონის თხელი ქერქით. იგი წარმოიქმნება სამსხმელო ყალიბის არასაკმარისი სიმტკიცის ან სუსტად დამაგრებული ყალიბიდან ლითონის გამოდინების დროს.



სურ. 16. ლითონის გამოხეთქის (სქემა)

II. ზედაპირის დეფექტები

მინაწვი სპეციფიკური გამკვრივებული შრე წარმოქმნილი სხმულის ზედაპირთან მტკიცედ შეჭიდებული (ძნელად მოსაცილებელი), ლითონის, მისი ოქსიდებისა და სხვადასხვა სილიკატური ფაზების საყალიბო ნარევთან ფიზიკური და ქიმიური ურთიერთქმედებისას (სურ. 17).



სურ. 17. მინაწვი: ა - სქემა; ბ - დეფექტური სხმული

მინაწვი საყალიბო მასალების მარცვლებია, რომლებიც მათ შორის არსებულ სივრცეში შეღწეული და გამყარებული ნადნობითაა დაცემენტებული. ნადნობის ბუნების მიხედვით ასხვავებენ: მექანიკურ, ქიმიურ და თერმულ მინაწვებს:

– მექანიკური მინაწვი წარმოიქმნება თხევადი ლითონის შეღწევით სამსხმელო ყალიბის ზედაპირის ფორებში (ლითონით დაცემენტებული საყალიბო ნარევის მარცვლები - ლითონკერამიკული ქერქი);

– ქიმიური მინაწვი არის ლითონის ოქსიდების საყალიბე მასალებთან და მის ატმოსფეროსთან ფიზიკურ-ქიმიური ურთიერთქმედების შედეგად ჩამოყალიბებული ქერქი სხმულის ზედაპირზე. მისი წარმოქმნის დასრულების ტემპერატურა მნიშვნელოვნად ნაკლებია ნადნობის გამყარების ტემპერატურაზე. ამის გამო, ქიმიური მინაწვი გაცილებით სქელია მექანიკურზე, ნაკლებ მტკიცეა და დაკავშირებული სხმულის ზედაპირთან (ვიდრე ლითონკერამიკული) და, შესაბამისად, ადვილად მოსაცილებელია.

– თერმული მინაწვი არის საყალიბო მასალის ქვიშის მარცვლების ქერქი, თხევადი ლითონის მაღალი ტემპერატურის გავლენით საყალიბო ნარევის ადვილმდნადი მინარევების ნადნობით დაცემენტებული, სხმულის ზედაპირზე მიდუღებული.

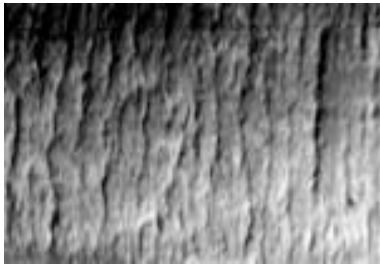
უმეტეს შემთხვევაში წარმოიქმნება კოპლექსური, ანუ ქიმიურ-მექანიკური მინაწვი.

მინაწვის წარმოქმნის მიზეზია საყალიბო ნარევის დაბალი ცეცხლგამძლეობა; მისი დაბინძურება მავნე მინარევებით; სამსხმელო საღებავების დაბალი ხარისხი; მსხვილმარცვლოვანი ქვიშის გამოყენება; ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა; ხანგრძლივი ჩამოსხმა; ლითონის უკმარი განჟანგვა; საყალიბო ნარევის არათანაბარი გამკვრივება (სუსტი, ან პირიქით ძალიან ძლიერი გამკვრივება); ნარევის დაბალი თბოგამტარობა; მცირე

აირშედწევადობა; სხმულის გაწმენდის არადაამაკმაყოფილებელი ხარისხი.

მინაწვების აცილების ძირითადი საშუალებაა მაღალი ცეცხლგამძლე საპირე ნარევების გამოყენება; მისამტვერებით (გრაფიტი, მტვრისებრი კვარცი, ტალკი და სხვ.) ან შესაბამისი სიმკვრივის სამსხმელო საღებავებით სამსხმელო ყალიბის მუშა ზედაპირის დაფარვა; სამსხმელო ყალიბში აღმდგენი ატმოსფეროს წარმომქმნელი საყალიბო ნარევების გამოყენება; ფორების ზომების შემცირება. მცირე ზომის ფორები ეწინააღმდეგებიან ლითონის შეღწევას სამსხმელო ყალიბის სიღრმეში და ამცირებენ ქიმიური რეაქციების პროდუქტებისა და საყალიბო მასალების საკონტაქტო ფართობს;

ნარჩილი (ოქსიდური ნარჩილი) - ლითონის ჩამოსხმისას (ნაადრევად გაცივებული) ნაღნობის ნაკადების არამონოლითური შერწყმა. ხასიათდება სიღრმეში მიმავალი მომრგვალებულ-ნაპირებიანი ნაკერისებრი ფორმით (სურ. 18).



სურ. 18. ნარჩილები

ნარჩილის წარმოქმნის მიზეზია: ჩამოსხმის დაბალი ტემპერატურის ლითონის ჩამოსხმისას შეწყვეტილი (და შემდეგ

გაგრძელებული) ან სხვადასხვა მხრიდან შემოსული ლითონის ჭავლების არასრული შერწყმა.

ნარჩილებიანი სხმული სახიფათოა დატვირთული დეტალები-სათვის. ისინი წარმოიქმნებიან სხმულის მკვებავეებიდან დაშორებულ ადგილებში. იქ მიწოდებული ნადნობის ტემპერატურა მნიშვნელოვნად დაბლდება, ხოლო ჭავლების ზედაპირები, როგორც წესი, ოქსიდების შრით იფარება. სხმულის კონსტრუქციისა და მისი ჩამოსხმის პირობების მიხედვით ნარჩილი შეიძლება იყოს გამჭოლი ან ზედაპირული. სამსხმელო ყალიბის შევსების დაბალი სიჩქარე (ნადნობის ჩამოსხმა მცირე ან წყვეტილი ნაკადით) თხევადი ლითონის ორი ჭავლის შეხების ადგილებში წარმოქმნის სიცარიელებს. მცირე კვეთის სხმულების ჰორიზინტალურ კედლებზე, უპირატესად, გამჭოლი ნარჩილები წარმოიქმნება.

ნარჩილის წარმოქმნის ასაცილებლად აუცილებელია სამსხმელო ყალიბის შევსებისას, მის ნებისმიერ ადგილას ნადნობის ტემპერატურა ნულოვან თხელდენადობაზე მაღალი იყოს. წინააღმდეგ შემთხვევაში ნადნობის ნაკადი შეწყვეტს დინებას და სწრაფად გამყარდება, ხოლო მისი ზედაპირი დაიჟანგება. თუ გამყარებადაწყებული უბანი არ გადნა ჩამოსხმისას მომდინარე გადახურებული მოძრავი ლითონით, მაშინ მათი კონტაქტის ადგილზე წარმოიქმნება ნარჩილი.

ნარჩილების წარმოქმნას ხელს უწყობს ჟანგვის პროცესში წარმოქმნილი, ნადნობში შემავალი კომპონენტების ძნელდნობადი (მაგ., ალუმინისა და ქრომის) ჟანგეულები. ჟანგეულის ფურჩების მექანიკური რღვევისათვის აუცილებელია ნადნობის

ნაკადის სიჩქარის მკვეთრი გაზრდა. ასეთ შემთხვევაში ნადნობის გამდინარე ნაკადით დარღვეული ფურჩების ცალკეული ნაწილები ხვდება ფორმის სიღრუეში და რჩება სხმულში არალითონური ჩანართის სახით. ამდენად, უმრავლეს შემთხვევაში შეუძლებელია ყალიბში ჩამოსხმის სიჩქარის გაზრდა.

ნარჩილების წარმოქმნაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სამსხმელო ყალიბში არსებული აირების წნევა. ამასთან, უდიდეს საფრთხეს წარმოადგენს კოპებიდან გამოყოფილი აირები. სამსხმელო ყალიბის არასაკმარისი ვენტილაციისას, შესაძლოა მასში არსებული აირების უკუწნევა მოძრავ ლითონზე მნიშვნელოვანი იყოს და შეანელოს ნადნობის მოძრაობა. აირების წნევის მკვეთრი ზრდა ახანგრძლივებს სამსხმელო ყალიბის შევსებას და, შესაბამისად, ნარჩილებიანი სხმულის მიღების ალბათობას ამალღებს. მათ ასაცილებლად ჩამოსხმის ტექნოლოგიის დამუშავებისას აუცილებელია გათვალისწინებული იქნეს კოპებისა და სამსხმელო ყალიბის საკმარისი ვენტილაციის უზრუნველყოფა.

სამსხმელო ყალიბის ნადნობით შევსების ხანგრძლივობაზეა დამოკიდებული სხმულის სხვა დეფექტების წარმოქმნაც, მაგალითად, მინაწვის, გადაფარული ჩაღრმავებების, ჩაჯდომის და აირის ნიჟარების, წარეცხვებისა და სხვ. მასიური სხმულების (რომლებშიც ნარჩილების წარმოქმნა ნაკლებსავარაუდოა) სამსხმელო ყალიბის შევსების ხანგრძლივობა განისაზღვრება აღნიშნული დეფექტების წარმოქმნის შესაძლებლობების გათვალისწინებით. შედარებით თხელკედლიანი, განვითარებული ზედაპირების მქონე სხმულების წარმოებისას ნარჩილი ერთ-ერთი ძირითადი დეფექტია. ამიტომ, ასეთი შემთხვევებისა-

თვის სამსხმელო ყალიბის შევსების ხანგრძლივობის განსასაზღვრად აუცილებელია ნადნობის გაცივების პირობების გათვალისწინება. იგი დამოკიდებულია ნადნობის ტემპერატურასა და ქიმიურ შედგენილობაზე; სხმულის კონფიგურაციაზე; მასალისა და სამსხმელო ყალიბის თბოფიზიკურ თვისებებზე. ეს ფაქტორები ჩამოსხმისას უწყვეტად იცვლებიან. ამიტომ რეალური სხმულებისათვის ჩამოსხმის ხანგრძლივობის თეორიული გათვლა (ყალიბში ლითონის გაცივების გათვალისწინებით) დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული.

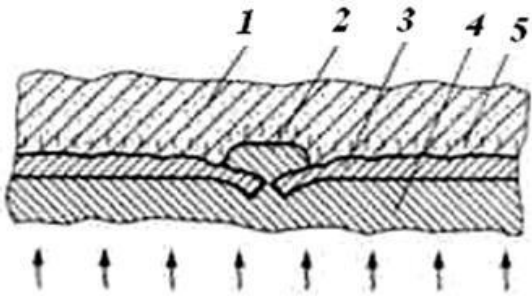
სამსხმელო ყალიბის შევსებადობის გაუმჯობესება მიიღწევა ტემპერატურის ამაღლებითაც, მაგრამ ამ დროს შესაძლოა სხვა დეფექტების გაჩენა (მაგალითად, ჩაჯდომის ნიჟარების). სამსხმელო ყალიბის შევსებადობა უარესდება ნადნობში დიდი რაოდენობით არალითონური ჩანართების არსებობისას. ამიტომ საღი სხმულების მისაღებად საჭიროა კარგად განაწილებული, საკმარისად გადახურებული და დაყოვნებული ნადნობები. ლითონის სამსხმელო ყალიბები, მაღალი გამაცივებელი უნარის გამო, ჩამოსხმის წინ 200 - 400 °C-მდე უნდა გახურდეს. შედარებით თხელკედლიანი და მსხვილი სხმულების მშრალ სამსხმელო ყალიბებში ჩამოსხმისას ასევე რეკომენდებულია ყალიბების წინასწარ შეთბობა. სამსხმელო ყალიბის შევსებადობა უმჯობესდება აგრეთვე მისი ზედაპირის სამსხმელო საღებავებითა და სხვადასხვაგვარი მისამტვერებით დაფარვისას.

ნარჩილების აცილების ძირითად საშუალებებს წარმოადგენს ნადნობის ჩამოსხმის ტემპერატურის ამაღლება; სითბოს აკუმულირების დაბალუნარიანი საყალიბო მასალების გამოყენება; ჩამოსხმის ხანგრძლივობის შემცირება; თხელდენადობის ამაღ-

ლება. პრაქტიკაში თუჯის თხელდენადობა მალდდება ფოსფორის, ხოლო ფოლადის - ნახშირბადისა და სილიციუმის შემცველობის ამალღებით. საწარმოო პირობებში ამ ხერხის გამოყენება იზღუდება, ვინაიდან შენადნობის ქიმიური შედგენილობის ცვლილება მრავალ შემთხვევაში დაუშვებელია.

ნარჩილების ასაცილებლად ეფექტურია ჩამოსხმის ცენტრიდანული მეთოდების გამოყენება;

გადაფარული ჩაღრმავება - სამსხმელო ყალიბში ჩამოსხმისას საყალიბო ნარევის აშრეების შედეგად წარმოქმნილი, ლითონის თხელი შრით გადახურული, საყალიბო ნარევით შევსებული დამრეცნაპირებიანი ჩაღრმავება (სურ. 19).



სურ. 19. გადაფარული ჩაღრმავება: 1 - საყალიბო ნარევის ძირითადი მასა; 2 - გადაფარული ჩაღრმავება; 3 - ყალიბის მშრალი ქერქი; 4 - სხმული; 5 - კონდენსაციის ზონა

გადაფარული ჩაღრმავება უპირატესად წარმოიქმნება ჩამოსხმისას, სხმულის ზევით მიმართულ ბრტყელ ზედაპირებზე თხელკედლიან ადგილებში ან სამსხმელო ყალიბის ცხელ უბნებში. მისი წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები არის სამსხმელო ყალიბის არათანაბარი შემჭიდროება; საყალიბო ნარევის

არადამაკმაყოფილებელი თვისებები (დაბალი სიმტკიცე, მაღალი თერმული ძაბვები); სამსხმელო ყალიბის ძალიან ნელი შევსება; სხმულში არსებული დიდი ბრტყელი ზედაპირები; ტექნოლოგიური დარღვევები ლითონის ჩამოსხმისას (ლითონის მიწოდების არათანაბრობა, ნაკადების წყვეტა); ნარევის ამდლებული ტენიანობა და აირმზადობა; მშრალი ან შემშრალი ყალიბების ხანგრძლივი დაყენება-გასწორება; საყალიბო საღებავის აშრევა ჩამოსხმისას ან შრობისას; აირების მაღალი წნევა ყალიბის სიზრქეში (შუაგულში).

გადაფარული ჩაღრმავებების წარმოქმნის მექანიზმი აიხსნება შემდეგნაირად: ჩამოსხმისას მაღალ ტემპერატურამდე გახურებული ყალიბის ზედაპირული შრეები ტენს კარგავს. წარმოქმნილი წყლის ორთქლის ნაწილი, საყალიბო ნარევის ფორებით, სიღრმეში აღწევს და უფრო ცივ შრეებში კონდენსირდება. ყალიბის მუშა ზედაპირიდან 3 - 5 მმ-ის სიღრმეზე წარმოიქმნება მომატებული ტენიანობის შრე (“სველი შრე”), ანუ, ე.წ., კონდენსაციის ზონა. სხვა შრეებთან შედარებით იგი ხასიათდება გამკვრივებული ნარევის დადაბლებული სიმტკიცით გაჭიმვაზე. ტენის გადაადგილებასთან ერთად ხდება სამსხმელო ყალიბის ზედაპირის გახურება და ცეცხლგამძლე მასალის თერმული გაფართოება. როცა გაცხელებული შრის გაფართოება გამწვანებულია, იგი ამოიბურცება. ამობურცული ქერქი მოწყდება გამკვრივებული ნარევის ძირითადი მასიდან უმცირესი სიმტკიცის შრეზე - კონდენსაციის ზონაში. გახურებული ქერქის ამობურცვას ხელს უწყობს სამსხმელო ყალიბის ფორებში წარმოქმნილი წყლის ორთქლისა და სხვა აირების წნევა.

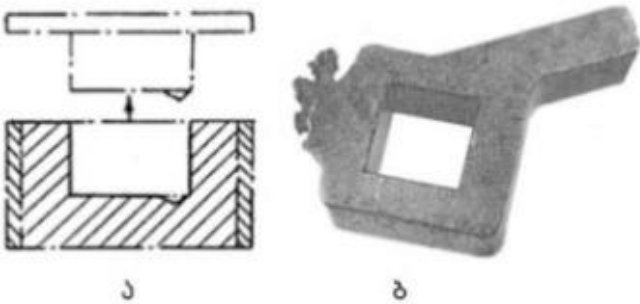
ამობურცული ქერქის მთლიანობის დარღვევა, იწვევს ქერქქვეშა სიღრუის გაჩენას და მასში ლითონის შედინება წარმოქმნის მახასიათებელ წანაზრდებს.

ამრიგად, გადაფარული ჩაღრმავების წარმოქმნის მიზეზი არის ნედლად დაყალიბებისას ტენის კონდენსაციის ზონაში საყალიბე ნარევის შრის გაწყვეტა და წყვეტის სიღრუეში ლითონის შედინება. როგორც წესი, სამსხმელო ყალიბის ზედაპირის ადგილობრივი დასკდომა, აშრეება და ამობურცვა ხდება ამაღლებული ტენიანობის ნარევის გამოყენებისას სამსხმელო ყალიბის იმ გადამეტმკვრივებულ უბნებზე, რომლებიც ხანგრძლივად განიცდიან ნადნობის სითბურ ზემოქმედებას ლითონით შევსებისას.

გადაფარული ჩაღრმავების აცილება შეიძლება მინიმალური სინოტივის ნარევის გამოყენებით; სამსხმელო ყალიბის გადაფარული ჩაღრმავებების წარმოქმნისადმი მიდრეკილი უბნების დაჩხვლევით; ლითონის მშრალ ყალიბებში ჩამოსხმით.

გადაფარული ჩაღრმავებების ასაცილებლად პრაქტიკაში იყენებენ დაბალი თერმული გაფართოების კოეფიციენტის მქონე საყალიბო ნარევის; კონდენსაციის ზონაში გაჭიმვაზე ამაღლებული სიმტკიცისა და ძაბვების რელაქსაციის მაღალი უნარის ნარევის; გადაფარული ჩაღრმავებასაწინააღმდეგე ბადეებს. ამცირებენ ნადნობის სითბური გამოსხივების ხანგრძლივობას სამსხმელო ყალიბის კედლებზე. გარდა აღნიშნულისა, ფართოდ გამოიყენება ნედლი ფორმების ზედაპირული განმტკიცება, შემკვრელი ხსნარების სხურებით. ასეთი ხსნარები ეფექტურია მხოლოდ მაშინ, თუ ის ყალიბის მნიშვნელოვან სიღრმემდე შეაღწევს;

კორძი (წანაზარდი) - ნებისმიერი ფორმისა და ზომის შვერილი სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი სამსხმელო ყალიბის ადგილობრივი დაზიანების (ყალიბის ზედაპირის წარეცხვის) უბნებზე, საყალიბო მასალით დაჭუჭყიანებული ლითონით (სურ. 20).



სურ. 20. კორძი: ა - სქემა; ბ - დეფექტური სხმული

სამსხმელო ყალიბებისა და კოპების დიდი უბნების ჩამოქცევისას მახინჯდება მთელი სხმულის ზომები და კონფიგურაცია. ლითონი ავსებს ჩამოქცეულ უბნებს და სხმულზე ჩნდება, გარეგნულად ჩამოქცეული უბნების შესაბამისი, დამახასიათებელი კორძები (სურ. 21).

კორძების წარმოქმნის მიზეზი არის: საყალიბო ან საკოპე ნარევების დაბალი სიმტკიცე გაჭიმვაზე; ჩამოსხმისას გამოყენებული და განახლებული საბრუნო ნარევი (რომლის სიმტკიცე გაჭიმვაზე, კუმშვაზე სიმტკიცის მუდმივობის მიუხედავად, მკვეთრად ეცემა. შესაბამისად, იქმნება სამსხმელო ყალიბის ადგილობრივი რღვევისა და წანაზარდის წარმოქმნის პირობები); საყალიბო ნარევის მაღალი ტენიანობა; სამსხმელო

ყალიბის ნარევის არასაკმარისი გამკვრივება; ნადნობის ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა.

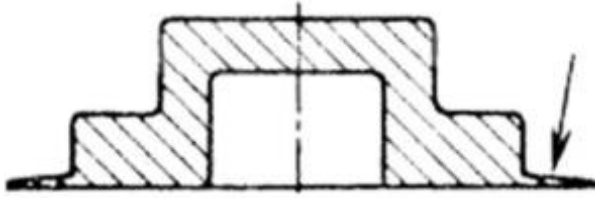


სურ. 21. კორძიანი სხმულის ფრაგმენტი

სამსხმლო ყალიბების ჩამოქცევების ასაცილებლად აუცილებელია: დაყალიბების, აწყობის, ტრანსპორტირებისა და ყალიბში ჩამოსხმის ოპერაციათა ტექნოლოგიების ზედმიწევნით დაცვა;

სამსხმლო ყალიბის კედლების მოსალოდნელ ჩამოქცევებზე საიმედო ცნობების მისაღებად, საბრუნო საყალიბო ნარევების გაჭიმვაზე სიმტკიცის მუდმივი კონტროლი; მოწყობილობებისა და სამოდელო-საკოპე აღჭურვილობის მდგომარეობის შემოწმება; ლითონის სწორად მიწოდება და საყალიბე ნარევების ზედაპირული სიმტკიცის ამაღლება;

ჭარბნასხამი—სამსხმლო ყალიბის გასართის, კოპების ან კოპის ნიშნების ღრეჩოებში თხევადი ლითონის შეღწევით სხმულზე წარმოქმნილი სხვადასხვა ზომისა და ფორმის, ნახაზით გაუთვალისწინებელი, შვერილები - ლითონის თხელი წანაზრდები (სურ. 22).



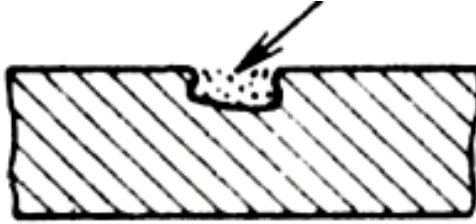
სურ. 22. ჭარბნასხამი (სქემა)

ჭარბნასხამი წარმოიქმნება ფორმის გასართ ზედაპირზე და კოპის ნიშნების გასწვრივ.

ჭარბნასხამის წარმოქმნის მიზეზია: სამსხმელო ყალიბის არასწორი (უხარისხო) აწყობა; ყალიბის სუსტი დამაგრება ან არასაკმარისი დატვირთვა; ყალიბის შიგნით არსებულ ღრეჩოებში და საყალიბეების გართვის სიბრტყეებს შორის ღრეჩოში თხევადი ლითონის შეღწევა; მოდელის კომპლექტის ან საყალიბო აღჭურვილობის დეფექტები (ზომებიდან გადახრები), აგრეთვე საყალიბეების ურთიერთშორის არასაიმედო დამაგრება.

დეფექტების აცილება შესაძლებელია ზომების მაღალი სიზუსტის მქონე სამსხმელო აღჭურვილობის გამოყენებით და საყალიბეების საიმედო დამაგრებით;

დანაგვიანება – ღია სიდრუეები სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი, თხევადი ლითონის ნაკადით წატაცებული და სხმულის ზედაპირში ლოკალიზებულად ჩანერგილი საყალიბო მასალების (უფრო იშვიათად სადნობი აგრეგატების ამონაგისა და წილის ნაწილაკების) რღვევის პროდუქტებით (სურ. 23).



სურ. 23. დანაგვიანების სქემა

დანაგვიანებების წყაროს წარმოადგენს ლითონის ნაკადებით ყალიბის ზედაპირის (განსაკუთრებით მათი გამოშვერილი ნაწილების) წარცხვა; ყალიბის კედლების დასხივება ნადნობის სითბოთი; სამსხმელო ყალიბის ანაქაფი; ასევე, ყალიბებისა და კოპების მექანიკური დაზიანებები აწყობისა და ტრანსპორტირებისას; ქვიშიან ფორმებში დანაგვიანების მიზეზი, ძირითადად, არის სამსხმელო ყალიბის ზედაპირების არასაკმარისი სიმტკიცე, ხოლო მრავალჯერად ყალიბებში – დამცავი დანაფარის არასაკმარისი თერმომდეგობა და სიმტკიცე.

სამსხმელო ყალიბების დაუდევარი შენახვა და ტრანსპორტირება იწვევს სხმულის ზედაპირის დანაგვიანებას გარედან შემოტანილი ნაწილაკებით. ამიტომ, საბოლოო აკრებამდე სამსხმელო ყალიბს, ჩვეულებრივ, გააქრევენ შეკუმშული ჰაერით ან პულვერიზატორის პრინციპით მომუშავე ექვეტორით. გარდა ამისა, დანაგვიანების მიზეზი შეიძლება იყოს ჩამოსხმის სისტემის წარუმატებელი კონსტრუქცია. სამსხმელო ყალიბის კედლის პერპენდიკულარულად (და არა მხებად) მიმართულ ლითონის ჭავლს შეუძლია გამოიწვიოს სამსხმელო ყალიბის კედლის (ან მისი ნაწილის) დარღვევა. წიდის ჩანართების გაჩენა შეიძლება გამოიწვიოს ჩამოსხმის სისტემის ერთ-ერთი ფუნქციის - წიდის ჩანართების შეკავების - შეუსრულებლობამ.

ქვიშოვანი დანაგვიანების პროფილაქტიკის ღონისძიებებია: ტექნოლოგიის მკაცრად დაცვა; სამსხმელო ყალიბის ყურადღებით აკრება; ჩასხმის წინ სამსხმელო ყალიბის დათვალიერება და, საჭიროების შემთხვევაში, გაწმენდა; ჩამოსხმის სისტემის რაციონალური კონსტრუირება; სადნობი აგრეგატების ამონაგის გულდასმით დათვალიერება.

დანაგვიანების ასაცილებლად ერთჯერადი ყალიბების ზედაპირებსა და კოპებს ასხურებენ განმამტკიცებელ ხსნარებს და ლებავენ მინაწვსაწინალო განმამტკიცებელი საღებავებით. ნადნობის სამსხმელო ყალიბებში ჩამოსხმისას გამოყენებული დამცავი დანაფარები უნდა ხასიათდებოდეს ყალიბის კედლებთან მოჭიდების მაღალი ხარისხით, შეიცავდეს თერმომედეგ შემკვრელს და ავლენდეს მაღალ ბზარმედეგობას გახურებისას;

ფირი (ქერცლი, ანატკეჩი) - ლითონის ან ჟანგეულის დამოუკიდებელი შრე, წარმოქმნილი ლითონის უკმარი სიმშვიდით ჩამოსხმისას სხმულის ზედაპირზე (სურ. 24).

ფირის შრეები სხმულის ცალკეულ უბნებზე წარმოქმნილი ნაოჭა უსწორმასწოროებებია. მათი წარმოქმნის მიზეზია: ნადნობის ზედაპირზე წარმოქმნილი ჟანგეულის ფირები და მყარი ქერქები სამსხმელო ყალიბის შევსებისას; ჩამოსხმის დაბალი ტემპერატურა და სიჩქარე; მჟანგავი ატმოსფერო სამსხმელო ყალიბის სიღრუეში და ჩამოსასხმელი ლითონის შედგენილობაში ჟანგბადთან მაღალი სწრაფვის ელემენტების არსებობა. გამდნარი ფოლადი საკუთარ (რკინის) ჟანგეულებს კარგად ხსნის, ხოლო სხვა ელემენტების ჟანგეულებს - სუსტად. ამიტომ, ფირები წარმოიქმნება, უპირატესად, ლეგირებულ ფოლადებში.

ისინი აუარესებენ სამსხმელო ყალიბის შევსებას და აჩენენ სხმულის ზედაპირის დანაოჭებულ უსწორმასწორო დეფექტებს (უცხოურ ლიტერატურაში ამ დეფექტს “სპილოს ტყავს” უწოდებენ).

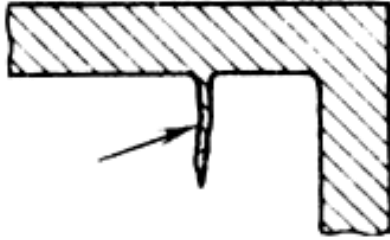


სურ. 24. ფირები სხმულის ზედაპირზე

ფირების წარმოქმნის აცილება შესაძლებელია ლითონის დნობითა და ჩამოსხმით ვაკუუმში ან ნეიტრალური აირების გარემოში; ჩამოსხმის სიჩქარისა და ტემპერატურის ამალღებით და აღმდგენი ატმოსფეროს შექმნით სამსხმელო ყალიბში.

აღმდგენი ატმოსფეროს წარმოსაქმნელად სამსხმელო ყალიბს ღებავენ, წვადი ორგანული ნივთიერებების (ქვანახშირის ფისი, მაზუთი, სქელფისი და სხვ.) შემცველი დანაფარით. იგი გამორიცხავს ლითონის ჟანგვას, მაგრამ ვერ უზრუნველყოფს უკვე დაჟანგული ლითონის აღდგენას. ასეთი ჟანგეულის აღსადგენად სპეციალური დანაფარი გამოიყენება. მის შედგენილობაში ლითონ-აღმდგენლის (ძირითადად, ალუმინის) ფხვნილი შედის;

შენაჟონი ნაწიბური - სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი დაბალი წვრილძარღვი - ნაწიბური. იგი წარმოიქმნება სამსხმელო ყალიბის (კოპის) ზედაპირზე, თბური გაფართოების შედეგად გაჩენილ ბზარში ნადნობის შედივნებისას (სურ. 25).



სურ. 25. შენაჟონი ნაწიბური (სქემა)

დეფექტის წარმოქმნის ძირითად მიზეზს წარმოადგენს სამსხმელო ყალიბებისა და კოპების უხარისხო ზედაპირები; მათი დამზადებისა და შრობის ტექნოლოგიის არ დაცვა; ნახევარყალიბების დარტყმები; მოდელების ფორმიდან და კოპების ყუთებიდან დაუდევარი ამოღება; სამოდელო კომპლექტის გაცვეთა; საღებავის შრის დაზიანება და სხვ.

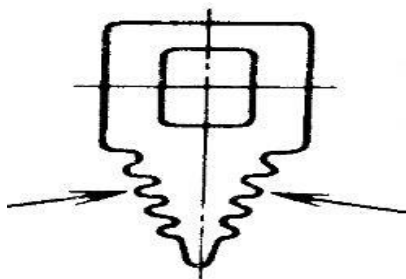
დეფექტების აცილება ხდება ლითონის გამყარების დამაჩქარებელი სხვადასხვა საშუალებების გამოყენებით. მათ შორის, სამსხმელო ყალიბის სითბოს აკუმულაციის უნარის ამაღლებით. მაგალითად, ფოლადის სხმულების დამზადებისას ნარევი რკინის ოქსიდების მტვრისებრი ფრაქციის შეტანით.

სამსხმელო ფორმის (ან კოპის) ზედაპირზე ბზარები პრაქტიკაში ადვილად აღმოსაჩენი და მარტივად შესაკეთებელია;

ჟანგვა (სხმულის) - სხმულის ზედაპირზე დაჟანგული შრის წარმოქმნის პროცესი (ხანგრძლივი და მაღალტემპერატურული თერმული დამუშავების შედეგად);

ზედაპირის დაზიანება - სხმულის ზედაპირის დამახინჯება სამსხმელო ყალიბიდან სხმულის გამოგდების, გაწმენდის ან ტრანსპორტირების პროცესში;

ნაოჭიანობა (ნაკეციანობა) - გლუვი, უმნიშვნელო შემაღლებები და ჩაღრმავებები, წარმოქმნილი სხმულის ზედაპირზე, ლითონის დაბალი თხელდენადობის შედეგად (სურ. 26).

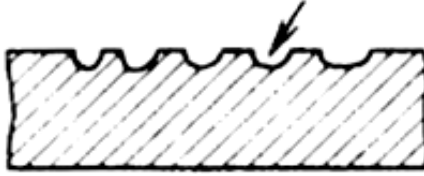


26. დანაოჭება (სქემა)

დეფექტის ასაცილებლად აუცილებელია თხელდენადობის ისე ამალღება, რომ მან არ გამოიწვიოს სხვა დეფექტების წარმოქმნა;

უხეში ზედაპირი - სხმულის ზედაპირი დასაშვებ ნორმებზე გადაჭარბებული სიმქისის პარამეტრებით;

აირული სიმქისე - სფერული ფოსოები სხმულის ზედაპირზე, წარმოქმნილი ლითონის - სამსხმელო ყალიბის გამყოფ ზედაპირზე აირული ნიჟარების ზრდისას (სურ. 27).



სურ. 27. აირული სიმქისე (სქემა)

ზედაპირული აირული ნიჟარები სხმულის ზედაპირზე განთავსებული წვრილი ჩაღრმავებების ან შენატყლეუების სახის დეფექტებია. მათი წარმოქმნა უკავშირდება სხმულის ქერქის გამყარებისას, სამსხმელო ყალიბის სამუშაო ზედაპირზე აირის წნევის მკვეთრ ზრდას.

“ლითონი - სამსხმელო ფორმა” (წყვილის) გამყოფ ზედაპირზე აირების წარმოქმნის წყაროებია: ნარევიდან ტენის ან საყალიბე ნარევის მინერალებში ქიმიურად ბმული წყლის აორთქლება; ნარევისა და დანაფარის შედგენილობებში შემავალი ორგანული დანამატების ამოწვა და მშრალი გამოხდა; საყალიბო ნარევებში კარბონატული მინარევების დაშლა; სამსხმელო ყალიბის ფორებში არსებული აირების თერმული გაფართოება; ქიმიური რეაქციები ნადნობსა და სამსხმელო ყალიბის მასალის ჟანგეულებს შორის.

ერთჯერად ყალიბებში ჩამოსხმულ სხმულებში ზედაპირული აირული ნიჟარების წარმოქმნის ასაცილებლად საყალიბე ნარევეს უნდა ახასიათებდეს მაღალი აირშეღწევადობა, ნაკლები აირმზადობის უნარი და ქიმიური ნეიტრალურობა ჩამოსასხმელო ლითონთან და მის ჟანგეულებთან.

ლითონის ყალიბებში ჩამოსხმისას ზედაპირული აირული ნიჟარების წარმოქმნის მიზეზი არის არასაკმარისად შემთბარი

კოკილი, რომლის ფორებში, ბზარებსა და დანაფარის შრეში შენარჩუნებულია ტენი; ნახშირბადიანი შენადნობების ჩამოსხმისას 400 - 450 °C-ზე მაღლა გადახურებული კოკილი. ასეთ შემთხვევებში ნიჟარებს აჩენს ლითონის ყალიბის ჟანგეულებსა და ნადნობის ნახშირბადს შორის რეაქციის შედეგად გამოყოფილი აირები.

კოკილის გადახურებისას, აირული ნიჟარების წარმოქმნის ასაცილებლად იყენებენ დამცავ დანაფარებს. ისინი გამორიცხავენ ფორმის კედლებთან ნადნობის უშუალო კონტაქტს და კოკილს იცავენ გადახურებისაგან.

III. სხმულში არსებული არამთლიანობები

ცხელი ბზარები - შენადნობების გამყარების ტემპერატურულ ინტერვალში გართულებული ჩაჯდომის გამო, უმეტესად, სხმულის კედლების შეერთების შიგა კუთხეებში წარმოქმნილი სხმულის მთლიანობის წყვეტა ან ჩანახევი (სურ. 28).

ცხელი ბზარი წარმოიქმნება სოლიდუსის ტემპერატურის მახლობელ ტემპერატურებზე სხმულების გამყარების (ძირითადად სწრაფი გამყარების) პროცესში. ამ დროს ლითონის თერმულ კუმშვას ხელს უშლის სამსხმელო ყალიბი, ხოლო ჩაჯდომის ძაბვები ლითონის (იმავე ტემპერატურის შესაბამის) სიმტკიცის ზღვარს უტოლდება. ლითონის ხაზობრივი ჩაჯდომა იწყება სხმულის ზედაპირულ ქერქში ერთმანეთთან შეზრდილი უწყვეტი ჩონჩხის წარმოქმნის მომენტიდან. ამ დროს ლითონი ხასიათდება ძალიან დაბალი სიმტკიცითა და პლასტიკურობით. თერმული და ხაზობრივი ჩაჯდომის დამუხ-

რუქებით აღძრული ძაბვების სიდიდე სწრაფად აღწევს სიმტკიცის ზღვრის მნიშვნელობას და მაღალ ტემპერატურებზე დაკრისტალებული შენადნობის შრე (ჩონჩხი) ირღვევა.



სურ. 28. ცხელი ბზარი

ცხელი ბზარები დენდრიტთაშორის რღვევის ხასიათისაა. მათი დამახასიათებელი ნიშნებია: უსწორმასწორო პროფილი, არასწორი (ნაგლეჯი) ნაპირები (რომლებზეც, ზოგჯერ, დენდრიტები დაიმზირება), მნიშვნელოვანი სიგანე და ძლიერ დაჟანგული ზედაპირები. ცხელი ბზარები წარმოიქმნება რთული შენადნობების გამყარებისას, ძირითადად, ნაკეთობის დიდი განივკვეთიდან მცირეზე მკვეთრი გადასვლის ადგილებში (არაერთდროული გაცივების შედეგად), საყალიბო ნარევის ცუდი დამყოლობისას, ნადნობის ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურის და სხმულის არათანაბარი გაცივების პროცესებში.

ცხელი ბზარების წარმოქმნის ალბათობის შესამცირებლად გამოიყენება: მაქსიმალურად დამყოლი სამსხმელო ყალიბი;

ბზარების წარმოქმნის ტემპერატურაზე უფრო მაღალი სიმტკიცის ზღვრის მქონე შენადნობი; ტექნოლოგიური თვალსაზრისით დამუშავებული სხმულის კონსტრუქცია;

ცივი ბზარები - გამყარებული სხმულის მთლიანობის წყვეტები (სურ. 29).



სურ. 29. ცივი ბზარები

ცივი ბზარები წარმოიქმნებიან სხმულის გამყარების შემდეგ (დაბალ ტემპერატურებზე), თერმული და ჩაჯდომის ძაბვების მოქმედებით. მათი წარმოქმნის მიზეზია სხმულის სქელი კვეთებიდან თხელზე მკვეთრი გადასვლა - შინაგანი ძაბვების მაქსიმალური ზემოქმედების ადგილები; შინაგანი - თერმული ან სტრუქტურული ძაბვების ზემოქმედება (როდესაც სტრუქტურული გარდაქმნები მოცულობის ცვლილებით ხასიათდება); დარტყმები, რომლებსაც შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ცხელი სხმულების დავარდნის ან სხმულის შემოჭრისას.

ცივი ბზარები ყალიბდება პლასტიკური დეფორმაციის ტემპერატურული არიდან დრეკადი დეფორმაციის არეში გადასვლის ტემპერატურაზე დაბლა (ფოლადებისათვის < 620 - 650 °C-ზე,

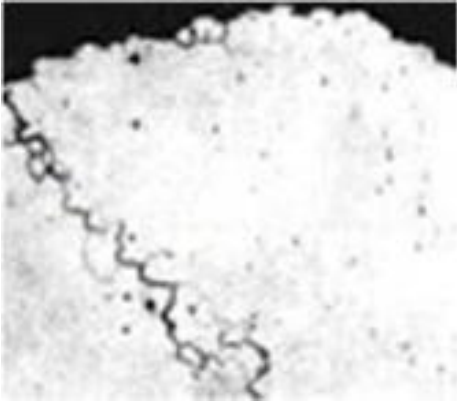
თუჯებისათვის < 400 - 650 °C-ზე). ცხელი ბზარებისგან განსხვავებით, ცივი ბზარები გამოირჩევა, ძირითადად, ნათელი ზედაპირით და სწორხაზოვანი ფორმით. მათი წარმოქმნისას ირღვევა როგორც მარცვლის საზღვრები, ისე ლითონის მარცვლებიც. ბზარების ზედაპირები, წარმოქმნის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით, “ქალა ფერების” ან სრულიად დაუქანგავია. ასეთი ბზარების წარმოქმნის ალბათობა დიდია მაღალლეგირებულ ფოლადებსა და შენადნობებში. ისინი ხასიათდებიან: დაბალი თბოგამტარობით, ნაკლები პლასტიკურობით, სხვადასხვა კუთრი მოცულობის სტრუქტურული მდგენელებითა და მათი ხაზობრივი გაფართოების სხვადასხვა კოეფიციენტებით.

ცივი ბზარების ასაცილებლად, ძირითადად, ითვალისწინებენ სხმულში ბზარის წარმოქმნის მოსალოდნელი ადგილების კონსტრუქციულად განმტკიცებას ან სხმულის ყველა კვანძისათვის გაცივების თანაბარი პირობების შექმნას;

კრისტალთშორისი ბზარები - სამსხმელო ყალიბებში გამყარებისას სხმულის მთლიანობის წყვეტა. დამახასიათებელია ლეგირებული ფოლადების სხმულებისათვის. გამოირჩევა მოგლუვებული ზედაპირით და სარკული ელვარებით (სურ. 30).

კრისტალთშორისი ბზარები წარმოიქმნება პირველადი აუსტენიტის დაშლის ტემპერატურულ ინტერვალში, აუსტენიტის მარცვლების საზღვრებზე განვითარებული შინაგანი ჩაჯდომის ძაბვებისაგან. ფოლადში გახსნილ წყალბადთან ერთად, ამ საზღვრებზე, შესაძლებელია გამოიყოს აუსტენიტში ხსნადობის ზღვარზე გადაჭარბებული ფაზებიც (ყველაზე ხშირად ალუ-

მინის სულფიდები და ნიტრიდები - არალითონური ჩანართები). კრისტალთშორისი ბზარები, როგორც წესი, წარმოიქმნება სხმულის სიღრმეში, მაგრამ შესაძლებელია მათი გამოსვლა ზედაპირზეც.



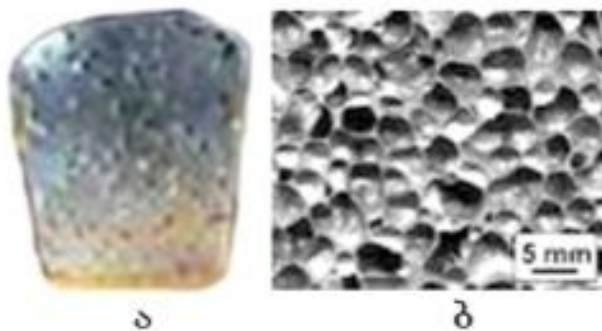
სურ. 30. კრისტალთშორისი ბზარი

დეფექტების ასაცილებლად გოგირდისა და აზოტის შემცველობა შენადნობში დაყვანილი უნდა იქნეს შესაძლებელ მინიმუმამდე. ამავე დროს, სასურველია, აღმდგენი ატმოსფეროს შექმნა სამსხმელო ყალიბში;

ფორიანობა. სიცარიელებით განპირობებული სხმულის დეფექტების დეტალურ აღწერამდე, განვიხილოთ ზოგადად ფორიანობა. ფორიანობა ეს არის ფორების (სამივე განზომილებით, დაახლოებით, ერთნაირი ზომების მოცულობითი არამთლიანობები ლითონებში, ცეცხლგამძლე ნაკეთობებში, ნაჭროვან მასალებში და ა.შ.) ზომებისა და რაოდენობის ერთობლივი მახასიათებელი. იგი წარმოიქმნება მასალის დამზადებისას ან ნაკეთობის ექსპლუატაციისას. ლითონის სხმულებში

ფორიანობა არის ნაკეთობის დეფექტი. სახეების მიხედვით ასხვავებენ საერთო, ღია და დახურულ ფორიანობას, ხოლო გეომეტრიული პარამეტრების მიხედვით - მაკრო-, მიკრო- და სუბმიკროფორებს. ფორიანობა შეიძლება წარმოიქმნას კრისტალიზაციის, წყალბადით გადაჯერებული მყარი ხსნარების დაშლის, დიფუზიური მოღობის, ფხვნილების დაწნეხის და შეცხობის, ლითონის რღვევის პროცესში და სხვ. ასხვავებენ გაბნეულ (სხმული ლითონის მთლიან მოცულობაში განაწილებულ) და ზონალურ (სხმულის განსაზღვრულ უბანზე თავმოყრილ) ფორიანობას. ფორიანობა მნიშვნელოვნად მოქმედებს მასალების ისეთ თვისებებზე, როგორცაა სიმტკიცე, თბოგამტარობა, წყალშთანთქმა და სხვ.;

აირული ფორიანობა - სხმულის გამყარებისას ნადნობიდან გამოყოფილი აირებით სხმულში წარმოქმნილი მცირე ზომის აირული ფორების ან ჩაჯდომის ნიჟარების თავმოყრა, აგრეთვე სტრუქტურული არამკვრივობა (სურ. 31).

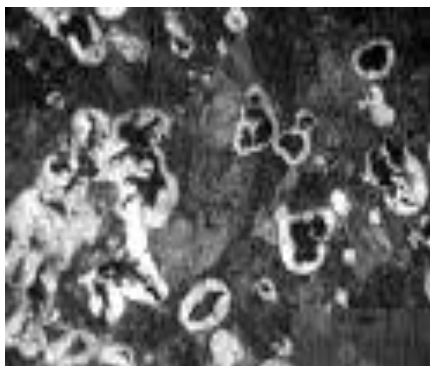


სურ. 31. აირული ფორიანობა: ა - ალუმინის შოთი; ბ - მიკროფორები

სიცარიელები, ჩვეულებრივ, გვხვდება სხმულების ან მისი ცალკეული ნაწილების დიდ მოცულობებში, ერთეული ან თავმოყრილი (ჯგუფური) სახით.

ზოგადად, ნიჟარების, აირული ფორიანობის და აირული ბუშტების წარმოქმნის მიზეზი არის ლითონში დიდი რაოდენობის აირების არსებობა; საყალიბო და საკოპე ნარევების დაბლბეული აირშეღწევადობა და მათი მაღალი აირმზადობის უნარი; სამსხმელო ყალიბის ცუდი ვენტილაცია (დაბალი აირშეღწევადობა, სავენტილაციო არხების არასაკმარისი რაოდენობა); ნადნობის ჩამოსხმის დაბალი ტემპერატურა; ნარევის მაღალი ტენიანობა;

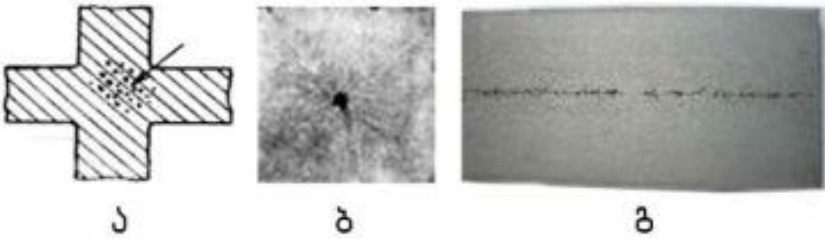
გრაფიტული ფორიანობა - რუხი თუჯის სხმულის დეფექტი, თავმოყრილი ან ობობას ქსელისმაგვარი გრაფიტის მსხვილი გამონაყოფებით. იწვევს ლითონის არამკვრივობას და არღვევს სხმულის ჰერმეტიულობას, რომელიც წნევით (ჰიდრაულიკური ან აირის) გამოცდისას ვლინდება (სურ. 32).



სურ. 32. გრაფიტული ფორიანობა

აღსანიშნავია, რომ თუჯის სხმულების ყველაზე ტიპური მანკებია: საყალიბო ნარეგების და აირული ჩაჯდომის ნიჟარები, “ანაქაფები”, სორსალები, წიდით დაბინძურება, ცივი და ცხელი ბზარები. ეს მანკები ნაკლებადაა დამოკიდებული თუჯის ქიმიურ შედგენილობაზე. ისინი უკავშირდებიან, უმთავრესად, სამსხმელო ყალიბის დამზადების ტექნოლოგიასა და ჩამოსხმის ტექნიკას.

ჩაჯდომის ფორიანობა - კრისტალიზაციისას, ლითონის ჩაჯდომის შედეგად, დენდრიტებს შორის სხმულის მთელ მოცულობაში ან მის ცენტრალურ ნაწილში წარმოქმნილი წვრილი უსწორმასწორო ფორმის სიცარიელები. პრაქტიკულად, ისინი გაბნეულია სხმულის (ზოდის) მთელ კვეთზე ან თავმოყრილია მის რომელიღაც (ცენტრალურ ან უკანასკნელად გამყარებად) ნაწილში (სურ. 33).



სურ. 33. ჩაჯდომის ფორიანობა: ა - სქემა; ბ - ცენტრალური ჩაჯდომის ფორიანობა; გ - ნამზადის ღერძული ჩაჯდომის ფორიანობა (გრძივი ტემპლეტი)

ჩაჯდომის ფორები ხშირად განლაგებულია ძირითადი ჩაჯდომის ნიჟარის ქვევით და მათ გაგრძელებას წარმოადგენს. ჩაჯდომის ფორიანობა და ნიჟარები სხმულის წარუმატებელი

კონსტრუქციის ან სხმულის შესქელებული ნაწილების დამატებითი კვების არარსებობის შედეგია. ჩაჯდომის ფორები წარმოიქმნება ვიწრო სიღრუეებში, სადაც ლითონის მოძრაობა გართულებულია - ზოდებისა და სხმულების ღერძების გასწვრივ, დენდრიტშორის სივრცეებში. ჩაჯდომის ფორიანობის აცილება ხდება იმავე მეთოდებით, რომლითაც ჩაჯდომის ნიჟარების, ასევე სხმულების სიმაღლის შემცირებით, კონუსურობის გაზრდით (შენელებული კრისტალიზაციის პირობების შექმნა) და ნაღნობის ტემპერატურის შემცირებით. ჩაჯდომის ფორების განაწილების ხასიათი დამოკიდებულია შენადნობის კრისტალიზაციის ტემპერატურულ ინტერვალზე. კრისტალიზაციის მცირე ტემპერატურული ინტერვალის მქონე შენადნობები მიდრეკილია კონცენტრირებული ჩაჯდომის ნიჟარის წარმოქმნისკენ, იმ დროს როცა ტემპერატურის ფართო ინტერვალში დაკრისტალელებული შენადნობები იძლევა გა(ნ)ბნეული ჩაჯდომის სიფხვიერეს (სიფაშრეს). ამასთან, აირჩაჯდომის ნიჟარის ზედაპირების ნაწილი არის გლუვი და ნაწილი – მქისე.

აირული ნიჟარები - ლითონური ნაღნობის გამყარებისას ფოლადის სხმულებში, ლითონიდან ან სამსხმელო ყალიბის მასალიდან გამოყოფილი აირებით წარმოქმნილი ღია (ზედაპირული) ან დახურული (შინაგანი), 2 - 3 მმ-ზე მეტი ზომის მომრგვალებული, გლუვზედაპირიანი სიღრუეები (სურ. 34).

აირული ნიჟარები გვხვდება ცალკეული ან სხვადასხვა მოცულობის ბუდეების სახით. სხმულებში მათი გაჩენის წყაროა: საყალიბო და საკოპე ნარევეების მაღალი სინოტივე; ამაღლებული აირმზადი უნარის და დაბალი აირშედწევადობის სამსხმელო ყალიბები (სამსხმელო ყალიბის მასალიდან გამოყოფილი აირებით წარმოიქმნება მხოლოდ ღია აირული ნიჟარები) და

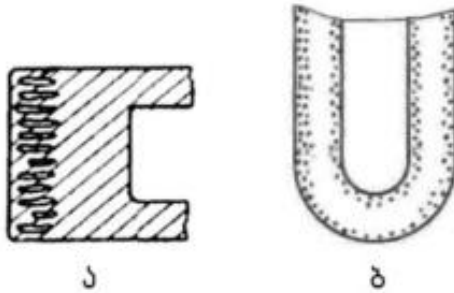
კოპები; ნადნობის ჩამოსხმის დაბალი ტემპერატურა; შენადნობის მაღალი აირნაჯერობა ან აირების მექანიკური წატაცება ყალიბის (კოვილის) შევსებისას ჩამოსხმის სისტემის ელემენტებიდან; კოვილის სიღრუეში მაღალი დონიდან დაბალზე ლითონის გადასხმა.



სურ. 34. აირული ნიჟარები (დეტალის ფრაგმენტი)

ნიჟარების აცილება შეიძლება სხმულის სწორი კონსტრუქციით, მაღალხარისხოვანი მასალების გამოყენებით, მოწყობილობების გამართულობით, სწორი ტექნოლოგიით და მისი მკაცრი დაცვით;

საცრისებრი ნიჟარა - კრისტალიზაციის პროცესში, წყალბადის ამალღებული შემცველობისას (სამსხმელო ყალიბის, ციცხვის ან სხვა ნოტიო მასალებთან შეხების დროს გამოყოფილი აირებით ნადნობის გაჯერებისას), გამყარებად შრეში წარმოქმნილი, სხმულის ზედაპირისადმი ნორმალურად ორიენტირებული, მრავალი წაგრძელებული (ზოგჯერ მომრგვალებული) წვრილი (< 2 - 3 მმ) აირული ჩანართი (სურ. 35).



სურ. 35. საცრისებრი ნიჟარა: ა - სქემა; ბ - დეფექტური სხმულის კვეთი

საცრისებრი ნიჟარები შესაძლოა გამოვიდნენ სხმულის ზედაპირზე ან განთავსდნენ ქერქვეშა შრეებში. მათი აცილება შესაძლებელია სამსხმელო ყალიბში ტენის შემცირებით, აღმდგენი ატმოსფეროს შექმნით და უაზოტო შემკვრელის გამოყენებით;

ჩაჯდომის ნიჟარა - ლითონური ნადნობის გამყარებისას სხმულში წარმოქმნილი ღია ან დახურული, უხეში (დენდრიტების ჩანასახიანი), კრისტალურზედაპირიანი სიღრუე. ჩაჯდომის ნიჟარები ჩაჯდომის ფორიანობისაგან განსხვავებით, უფრო დიდი ზომისაა. ღია ჩაჯდომის ნიჟარების ზედაპირები შესაძლოა იყოს დაჟანგული (სურ. 26).

ჩაჯდომის ნიჟარები, ჩვეულებრივ, წარმოიქმნება სხმულის ყველაზე ბოლოს გამყარებად შესქელებულ ადგილებში (თბურ კვანძებში). სხმულის გამყარებისას, ლიკვაციის გამო, ჩაჯდომის ნიჟარები, როგორც წესი, გოგირდისა და ფოსფორის ამაღლებული შემცველობითაა.



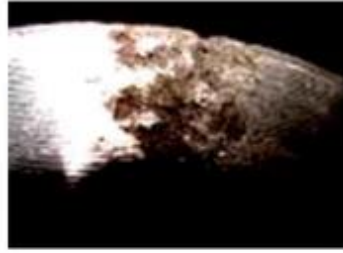
სურ. 36. ჩაჯდომის ნიჟარა

მათი წარმოქმნის მიზეზია - სხმულის ან ჩამოსხმის სისტემის არარაციონალური კონსტრუქცია (ნამატების, სასულეების, სასხმების არასწორი განლაგება, მაცივრების არასაკმარისი ეფექტურობა), ჩამოსასხმელი ლითონის ქიმიური შედგენილობის მოთხოვნილთან შეუსაბამობა და ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა. სხმულებში ჩაჯდომის ნიჟარები წარმოიქმნება ლითონის თხევადი მდგომარეობიდან მყარში გადასვლისას მოცულობის შემცირებით. თუ სხმულებში ჩაჯდომის ნიჟარები დაუშვებელია, მაშინ საჭიროა მოძიება ისეთი შენადნობის, რომელსაც ექნება ანალოგიური საექსპლუატაციო თვისებები და კრისტალიზაციის ნაკლები ტემპერატურული ინტერვალი.

ქვიშიანი ნიჟარა - სხმულებში საყალიბო მასალით მთლიანად ან ნაწილობრივ ავსებული ღია ან დახურული სივრცეები (სურ. 37).



ა



ბ

სურ. 37. ქვიშიანი ღია ნიჟარა (დეტალების ფრაგმენტები):
ა - გადაჩარხული დეტალი; ბ - დაუმუშავებელი სხმული

ქვიშიანი ნიჟარის წარმოქმნის მიზეზებია: ფორმის რღვევა ან წარეცხვა (ცუდი აკრეფისას, ჩასხმამდე, საყალიბო ნარევის მოხვედრა ფორმის სიღრუეში); საყალიბო და საკოპე მასალების არასაკმარისი სიმტკიცე; სამსხმელო ფორმის სუსტი ჩატკეპნა ან გადაწვა შრობისას;

წიდიანი ნიჟარა - ღია ან დახურული წიდით ავსებული (ბუდისებრი არალითონური ჩანართი) სიცარიელები სხმულებში (სურ. 38).



ა



ბ

სურ. 38. წიდიანი ნიჟარა (დეტალების ფრაგმენტები):
ა - გადაჩარხული დეტალი; ბ - დაუმუშავებელი სხმული

ციცხვსა და ჩამოსხმის სისტემაში წიდის ლითონისგან ეფექტური განცალკავების დროს წიდიანი ნიჟარის წარმოქმნის მიზეზია: სადნობი ლუმლების ცეცხლგამძლე (წიდის წარმოქმნის ხელშემწყობი) მასალების რღვევა; ჩამოსასხმელი ნადნობის დაბალი ტემპერატურა და წიდის ცუდი თხელდენადობა.

ნიჟარების, ისე როგორც წუნის ყველა სხვა სახის, აცილება შეიძლება: სხმულის სწორი კონსტრუქციით, გამოყენებული მასალების ხარისხით, მოწყობილობების გამართულობით, სწორი ტექნოლოგიით და ამ ტექნოლოგიის მკაცრი დაცვით. მაგრამ იმ შემთხვევაში, როდესაც სხმულში მანკები უკვე არსებობს, მათი აღმოფხვრა ხშირად ეკონომიკურად მომგებიანია. ნიჟარები, ბზარები, სიფხვიერე (სიფაშრე), ფორიანობა, ნაჭდობები შეიძლება გამოსწორდეს აირული ან ელექტროშედულებით. ასეთ შემთხვევაში მანკის წინასწარ მოცილება ხდება ამოჩხვით, ბურღვით, ან სხვა მეთოდებით, ხოლო მცირე ზომის მანკების შემთხვევაში - მეტალიზაციით.

თუჯის სხმულის ზედაპირიდან დიდი ზომის დეფექტების - ნიჟარებისა და ნახვრეტების - გამოსწორება მათი თხევადი ლითონით ამოვსებით ხდება. გამოიყენება ასევე ლითონის საცობებისა და მილისების ჩახრახნა, რისთვისაც ნიჟარას ხვრეტენ და ჭრიან ხრახნს. გაბნეულ აირულ ფორიანობასთან ბრძოლის ეფექტური საშუალებები, პრაქტიკულად, არ არსებობს. ასეთი სახის შინაგანი არამთლიანობები შეიძლება მნიშვნელოვნად შემცირდეს გამყარების არის შემცირებით, რაც მიიღწევა გამყარების სიჩქარის გაზრდით. ამ უკანასკნელს უზრუნველყოფს თბოაკუმულირების ამაღლებული უნარის მქონე საყალიბო მასალების გამოყენება (წნევით ჩამოსხმულ სხმუ-

ლებში, ქვიშის ყალიბებში ჩამოსხმულთან შედარებით, გაბნეული ფორიანობა გაცილებით ნაკლებია). შინაგანი აირული დეფექტების მიზეზი, როგორც წესი, არის დნობის ტექნოლოგიის დარღვევა ან, უფრო იშვიათად, სამსხმელო ყალიბის მასალისა და ნადნობის ურთიერთქმედება;

ჩაღვრილი წიდა - სამსხმელო ფორმის ნაწილობრივი შევსება წიდით;

სიფხვიერე (სიფაშრე) - სხმულში თავმოყრილი მქისეკედლებიანი (დენდრიტების კვლებით), წვრილი (მიკროსკოპული) ჩაჯდომის ნიჟარებით წარმოქმნილი ლითონის არამკვრივი სტრუქტურა. მისი არსებობა სხმულის ძირითად ლითონში დეფექტად ითვლება.

სიფხვიერის წარმოქმნის მიზეზებია: გამყარების ამაღლებული ტემპერატურული ინტერვალი; სხმულის არახელსაყრელი გეომეტრია; გამდნარი ლითონის არასაკმარისი მიწოდება კრისტალიზაციის პროცესში; ნადნობის ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა; ჩამოსხმის სისტემის არასწორი კონსტრუქცია და ადგილობრივი შესქელებები სხმულებში.

სხმულებში სიფხვიერის ასაცილებლად, შესქელებული ადგილების გაცივების დასაჩქარებლად, დაყალიბებისას, სასულეებთან შეხამებულ მაცივრებს აყენებენ. ამავე მიზნით სასურველია, დეტალის კედლების სისქეების შეძლებისდაგვარად გათანაბრება. ზოგადად, ცდილობენ (ისწრაფიან) სხმულებში ჩაჯდომის ნიჟარები, სიფხვიერესთან ერთად, სასხმის ნაწილში გამოიტანონ. სხმულების წნევით ჩამოსხმა არის სიფხვიერისა და აირული ფორიანობის წარმოქმნის აცილების ყველაზე ეფექ-

ტური საშუალება. ამ დროს აუცილებელია სასულებების ზომების გაზრდა. სიფხვიერე ვლინდება სხმულის მექანიკური დამუშავებისას ან დეფექტოსკოპიით. დეფექტის გამოსასწორებლად ამოჩვენ ლითონის დაზიანებულ ნაწილს და შემდეგ შეადუღებენ;

კოპის ფიქსატორის უკმარშედულება - სხმულში ლითონის ნადნობისა და კოპის ფიქსატორის შეერთების ზედაპირთან წარმოქმნილი არამთლიანობა. სხვაგვარად - კოპის ფიქსატორის უკმარშედულება ეწოდება კოპის ფიქსატორის არასრული გადნობისას წარმოქმნილ დეფექტს.

კოპის ფიქსატორის ფორმა და კვეთი უნდა უზრუნველყოფდეს სხმულში მის სრულ გადნობასა და მის ირგვლივ წარმოქმნილი აირების გამდნარი ლითონიდან მოცილებას. გარდა ამისა კოპის ფიქსატორის უკმარშედულებას ხელს უწყობს: კოპის ფიქსატორის დაჭუჭყიანება; სხმულისა და ფიქსატორის მასების შეუსაბამობა; ნადნობის დადაბლებული ჩამოსხმის ტემპერატურა; სხმულებში კოპის ფიქსატორის არასწორი გამოყენება.

თუჯის კოპის ფიქსატორი შეიცავს 0.6%-მდე ფოსფორს, რომელიც ამცირებს მისი დნობის ტემპერატურას. მაგრამ ძალიან დაბალი დნობის ტემპერატურის მქონე მასალების გამოყენებაც არასასურველია. მათ შეიძლება ვერ გაუძლონ კოპის სიმძიმეს და გამოიწვიონ სხვა დეფექტების წარმოქმნა. სასურველია, კოპის ფიქსატორები გადნეს მომავალი სხმულის გამყარებული ლითონის ქერქის წარმოქმნის მომენტში. გარდა ამისა, კოპის ფიქსატორის მასა ისე უნდა შეირჩეს, რომ გამოირიცხოს მის ირგვლივ შენადნობის სწრაფი გამყარება. კოპის ფიქსატორის ზედაპირი უნდა იყოს სუფთა კოროზიის

ელემენტებისაგან. მისი ზედაპირის კოროზიისაგან დასაცავად სხვადასხვა დამცავი დანაფარი გამოიყენება (მაგ., კალის შენადნობები, ფოსფატირება, ალუმინის პუდრის ფუძეზე დამზადებული საღებავები, მოთუთიება, მონიკელება);

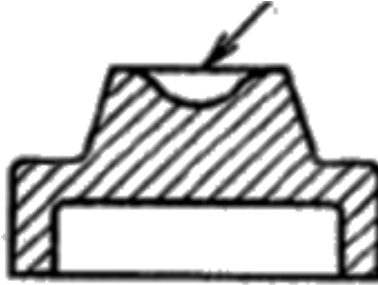
ანაქაფი - სხმულის ადგილობრივი დაზიანება თავმოყრილი აირის ნიჟარებითა და კორმებით (სურ. 39).



სურ. 39. ანაქაფი სხმულში (სქემა)

ანაქაფი წარმოიქმნება სამსხმელო ყალიბის გადამეტენიანებულ ადგილებში, ინტენსიური ორთქლწარმოქმნით ან კოპებიდან სამსხმელო ყალიბის სიღრუეში მექანიკურად შეღწეული აირებით ანუ ნადნობის სამსხმელო ყალიბის ამალღებულ აირმზად უბანთან შეხების ადგილებზე. იგი ხასიათდება გლუვი, დაუქანგავი ზედაპირით. მისი აცილება შეიძლება ყალიბის მასალის ინტენსიური აირწარმოქმნის კერების აღმოფხვრით და ვენტილაციის გაუმჯობესებით;

ჩაჯდომის ფოსო - ლითონის გამყარებისას ჩაჯდომის შედეგად სხმულის ზედაპირზე წარმოქნილი გლუვკედლიანი დამრეცი ზედაპირული ჩაღრმავება (სურ. 40).



სურ. 40. ჩაჯდომის ფოსო (სქემა)

იგი, ჩვეულებრივ, წარმოიქმნება სხმულის თბური კვანძების მომიჯნავე მასიურ ნაწილში. მისი წარმოქმნის მიზეზია: სხმულის რამდენიმე კედლის შემაერთებელი ადგილების ნადნობით არასაკმარისი კვება; სხმულისა და ჩამოსხმის სისტემის არარაციონალური კონსტრუქცია; შენადნობის ქიმიური შედგენილობის მოთხოვნილთან შეუსაბამობა.

ჩამოთვლილი სიცარიელების წარმოქმნის მიზეზების ანლიზი წარმოდგენას იძლევა სხმულებში მათი წარმოქმნის ზოგად სურათზე.

აირული სიცარიელების წარმოქმნის ზოგადი მექანიზმი. სხმულში სიცარიელების წარმოქმნის მექანიზმი და მათი აცილების მეთოდები აირწარმოქმნის წყაროს შესაბამისია. თუ აირები გამოიყოფა სამსხმელო ყალიბებიდან ან კოპებიდან, მაშინ დეფექტი წარმოიქმნება ლითონი - სამსხმელო ყალიბის გამყოფი ზედაპირიდან აირის მექანიკური შეღწევით ნადნობში. პრაქტიკულად, აირი ყოველთვის არის ლითონი - სამსხმელო ყალიბის გამყოფ ზედაპირზე. ლითონში მათი ჩანერგვა შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, როცა სამსხმელო ყალიბში ან კოპში

აირის ჭარბი წნევა აღემატება წინააღმდეგობას ლითონის მხრიდან. ეს წინააღმდეგობა დამოკიდებულია სამსხმელო ყალიბის შესაბამისი წერტილიდან ლითონის სვეტის სიმაღლეზე და თხევადი ნადნობის ხვედრით წონაზე.

სამსხმელო ყალიბის გადამეტენიანებულ ადგილებში ინტენსიურ ორთქლწარმოქმნას და კოპებიდან სამსხმელო ყალიბის სიღრუეში შეღწეულ აირებს თან ახლავს ნადნობის "დუღილის ეფექტი", რის შედეგადაც მიიღება "ანაქაფი".

აირის ბუშტების წარმოქმნის მიზეზია საყალიბო მასალის ფორებიდან გამოსული აირის ნაკადი. ფორის შესართავთან წარმოქმნილი აირის ბუშტი იზრდება მანამ, სანამ ლითონის ზედაპირული დაჭიმულობა (ცდილობს დაამრგვალოს ბუშტი სფეროს ფორმამდე) და ლითონის ამწევი ძალა მას არ მოწყვეტს სამსხმელო ყალიბის ზედაპირიდან. მოწყვეტის ადგილზე იზრდება ახალი ბუშტი და ა.შ. აირის მოცემულ წნევაზე ლითონის უკუწნევის ზრდისას "ანაქაფი" არ წარმოიქმნება. ვიზუალურად სუსტი "ანაქაფები", პრაქტიკულად, შეუმჩნეველია. ძლიერ "ანაქაფებს" თან ახლავს გარეგანი ეფექტი - ლითონის ამოტყორცნა ჯამიდან და სასულეებიდან. ძლიერი "აქაფებისას" ყალიბდება მრავალი მსხვილი ნიჟარა.

სამსხმელო ყალიბში თხევადი ლითონის ნელა გაცივებისას, სხმულის ღია ზედაპირზე გამყარებული ლითონის ქერქის წარმოქმნამდე, ამოტივტივდება აირული ბუშტები და დაბრკოლების გარეშე ცილდება თხევად ლითონს. ასეთ შემთხვევაში აირული ნიჟარები სხმულში არ წარმოიქმნება. პირიქით, სამსხმელო ყალიბში თხევადი ლითონის შედარებით სწრაფი

გაცივებისას გამყარებული ლითონის ქერქი, პრაქტიკულად, მთლიანად ზღუდავს აირის ბუშტების სხმულიდან მოცილებას.

სამსხმელო ყალიბის ლითონით შევსების შემდეგ, მანამ, სანამ ბუშტებს გზაზე ხვდება აირშელწევადი სამსხმელო ყალიბის ან კოპის კედელი, ლითონის დაწნევით შესაძლებელია ასეთი კედლებიდან მათი გამოწნევა. გარკვეული დროის შემდეგ, თუ სამსხმელო ყალიბის კედელი გახდება აირშეულწევი (საღებავის შეცხოვით, ნარევის ზედაპირული შრის შემოდნობით ან ტენის კონდესაციით), მაშინ ნადნობში ნარჩენი აირის ბუშტი რჩება სხმულში და წარმოქმნის ნიჟარას.

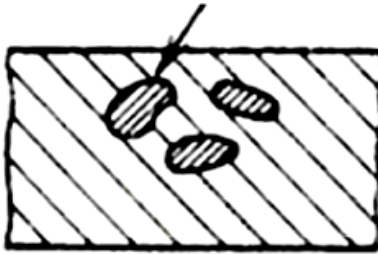
დეფექტის გარეგანი სახის მიხედვით გვხვდება: აირული სიმქისე (სამსხმელო ფორმის ლითონით ცუდი დასველებადობისას), ქერქქვეშა წვრილი აირული ნიჟარები (სამსხმელო ყალიბის ლითონით კარგი დასველებადობისას) ან ქერქქვეშა მსხვილი აირული ნიჟარები.

ლითონის დაბალი სიჩქარით გაცივებისას, ქერქქვეშა ნიჟარები ახლად ამოტივტივებულ აირულ ბუშტებთან გაერთიანების ან თხევად ლითონში გახსნილი აირების შთანთქმისას, ზომებში მატულობენ. აირშეულწევი სამსხმელო ყალიბების გამოყენების დროს “აქაფების” ხანგრძლივობა არ უნდა აღემატებოდეს ლითონით შევსების ხანგრძლივობას, რადგან შეუვსებელი სამსხმელო ყალიბიდან აირის ბუშტების მოცილება (გამოსვლა), ისევე დაუბრკოლებლად ხდება როგორც ღია სამსხმელო ყალიბში. თუ “აქაფება” ხდება ლითონის გამყარების პერიოდში, მაშინ ჩანერგილი აირული ბუშტების მოცილება ნაკლებსავარაუდოა. ამ დროს სამსხმელო ყალიბის კედელთან შეხებაში მყოფი ლითონის თუნდაც თხელი - 0,1 მმ სისქის ქერქი

გადაულახავ წინააღმდეგობად იქცევა მცირე ამწევი ძალის მქონე აირის ბუშტისათვის და, საბოლოოდ, მიიღება ქერქქვეშა აირული ნიჟარები და ფორიანობა.

IV. ჩანართები

ლითონური ჩანართი - სხმულთან გამყოფი ზედაპირის მქონე ნებისმიერი ფორმის უცხო ლითონის ჩანართი (სურ. 41).

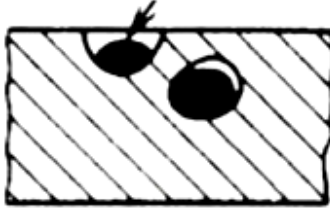


სურ. 41. ლითონური ჩანართები სხმულში (სქემა)

იგი წარმოიქმნება სამსხმელო ყალიბის სიღრუეში უცხო ლითონური მაკრონაწილაკების მოხვედრისას, ფეროშენადნობების და სხვა მალეგირებელი ელემენტების, აგრეთვე შიგა მაცივრების არასრული გადნობისას.

არალითონური ჩანართი - ლითონში მექანიკურად მოხვედრილი ან დნობისა და ჩამოსხმის პროცესებში კომპონენტების ქიმიური ურთიერთქმედებით წარმოქმნილი არალითონური ნაწილაკები.

სორსალი - ცალკე დაკრისტალებული და სხმულთან შეუღლებელი, სხმულის ძირითადი ნაწილის შედგენილობის შესაბამისი, მომრგვალებულო ფორმის ლითონური ჩანართი (ბურთულა) (სურ. 42).



სურ. 42. სორსალი სხმულში (სქემა)

სორსალი წარმოიქმნება სამსხმელო ყალიბში ნადნობის არასწორი ჩასხმისას ჭავლით გაშხეფებული ან ამოფრქვეული ლითონის მასით. ჩასხმის საწყის მომენტში წარმოქმნილი და გამყარებული წვეთები ხვდება ნადნობის ნაკადში და თავიდან დნება. ზოგ შემთხვევაში გაშხეფებისას წარმოქმნილი და გამყარებული ლითონის ბურთულა ხვდება ჯერ კიდევ შეუფსებელი სამსხმელო ყალიბის ზედაპირს, არ დნება და არ ერწყმის სხმულს.

ლითონის გაშხეფების მიზეზია: სასხმის (იგი ნადნობის ჭავლის დანაწილებას განაპირობებს) არასწორი კონსტრუქცია, ყალიბის არასწორი შევსება და საყალიბო ნარევის გადაჭარბებული ტენიანობა.

სორსლის წარმოქმნის ალბათობა მაღალია თხელკედლიანი სხმულების ნედლ ქვიშათიხოვან ფორმებში ჩამოსხმის და ლითონის მუდმივი ფორმების გამოყენებისას. მსგავსი დეფექტები გვხვდება აგრეთვე მშრალ ფორმებში მიღებულ მასიურ სხმულებშიც. ასეთ შემთხვევაში ჩასხმის პროცესში წარმოქმნილი მყარი ლითონური წვეთები სწრაფად იფარება ჟანგეულების ფირით და ხასიათდება დნობის უფრო მაღალი ტემპურატურით, ვიდრე ძირითადი შენადნობი. სხმულების სწრაფი

გაცივება სორსლის ახლიდან გადნობას ეწინააღმდეგება. გარდა ამისა, ჟანგულის ფირები სორსლის ძირითად მასაში მოხვედრისას გაზწარმოქმნას უწყობენ ხელს. თუჯის სხმულებში რკინის ჟანგულების ფირი რეაგირებს ნახშირბადთან. ამ დროს სორსლის ირგვლივ წარმოიქმნება აირის - ნახშირჟანგის - გარსი. სორსალი, აირის გარსთან ერთად, შესაძლებელია ამოტანილი იქნეს ფორმის ზედა ნაწილში და აღმოჩნდეს სხმულის ზედაპირზე ღია ნიჟარებში.

V. სტრუქტურის შეუსაბამობა

გათეთრება - სწრაფი გაცივებისას, ნახშირბადისა და სილიციუმის დაბალი შემცველობის რუხი თუჯის სხმულის მიღების ტექნოლოგიურ პროცესში სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი სალი, მექანიკურად ძნელად დასამუშავებელი უბნები.

თუჯის გათეთრების მიზეზია კაზიმის არასწორი შედგენილობა (ქიმიური შედგენილობიდან გადახრა) და სხმულის სწრაფი გაცივება სამსხმელო ყალიბში. ამ დროს სხმულის თხელ კვეთებში (კედლები, წიბოები და მისთ.) გრაფიტის ნაცვლად გამოიყოფა სტრუქტურულად თავისუფალი ცემენტიტი, ანუ ხდება თეთრი თუჯის სტრუქტურის გამოჩენა რუხ თუჯში (რუხი თუჯის გათეთრება). მისი აცილება შესაძლებელია მოღობობით;

ნახევრულობა - რუხი თუჯის სტრუქტურა, გამოვლენილი ნახშირბადისა და სილიციუმის ამაღლებული შემცველობის თეთრი თუჯის სხმულის ზედაპირულ შრეში. ნახევრულობა დამახასიათებელია სხმულების მასიური უბნებისათვის. მისი წარმოქმნის მიზეზია შენელებული გაცივება. სამსხმელო

ყალიბიდან მომდინარე წყალბადითა და ჟანგბადით სხმულის ზედაპირული შრის გაჯერებისას შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ნახევრულებას მაღალი სიმტკიცის თუჯის სხმულებშიც. ამ დროს წარმოქმნილი მაგნიუმის ოქსიდი ამცირებს მაგნიუმის მამოდიფიცირებელ ზემოქმედებას და სხმულის ზედაპირულ შრეში, გრაფიტის სფეროიდული ფორმის ნაცვლად, წარმოიქმნება ფირფიტოვანი ჩანართები;

ლიკვაცია - ქიმიური, სტრუქტურული და არალითონური ჩანართების განაწილების არაერთგვაროვნება, გამოწვეული კრისტალიზაციით. ანუ სხმულის ცალკეული უბნის ადგილობრივი გამდიდრება შენადნობის ერთი ან რამდენიმე კომპონენტით, ან მინარევით. ეს დეფექტი არ არღვევს ლითონის მთლიანობას, მაგრამ ლიკვაციური არაერთგვაროვნების ზონაში მცირდება ლითონის სიმტკიცე. როგორც აღნიშნული იყო, დენდრიტული ლიკვაციისათვის დამახასიათებელია მარცვლის საზღვრების გამდიდრება ლიკვაციური ელემენტით და არაწონასწორული სტრუქტურული მდგენელების წარმოქმნა. ზონალური ლიკვაციისას სხმულში წარმოიქმნება არაერთგვაროვანი ქიმიური შედგენილობის მიკრომოცულობები, ხოლო სიმკვრივის ლიკვაცია უკავშირდება თხევადი ფაზების ან თხევადი და მყარი ფაზების სიმკვრივეების სხვაობებს. მისი წარმოქმნის მიზეზი არის (გამყარებისას) შერჩევითი კრისტალიზაცია;

ფლოკენი (ფიფქი) - ფოლადში გახსნილი წყალბადის (მნიშვნელოვანი წნევის მოლეკულური წყალბადის) გამოყოფითა და შინაგანი ძაბვებით გამოწვეული სხმულის შინაგანი მიკრორღვევა. დეფექტი წარმოადგენს მოუწესრიგებლად ორიენტირებულ წვრილ ბზარებს, რომლებიც მთლიანად ან ნაწილობრივ

მოიცავს აუსტენიტის პირველადი მარცვლის მოცულობას. თერმულად დამუშავებული სინჯის რღვევის რელიეფში ფლოკენს მქრქალი (ლითონური ბზინვარების გარეშე) მოგლუვებული ზედაპირის მქონე ლაქის სახე აქვს.

სხმულების მიღებისას, ჩამოთვლილი დეფექტების გარდა, მოსალოდნელია ქიმიური შედგენილობის ცვლილებები და მალეგირებელი ელემენტების შემცირება.

ქიმიური შედგენილობის ცვლილება - სხმულის ფორმირებისას ზედაპირულ შრეებში მიმდინარე პროცესებით გამოწვეული (შრის) ქიმიური შედგენილობის ცვლილება. ზედაპირულ შრეში მოსალოდნელია: ჟანგვა, გაუნახშირბადოება, დანახშირადიანება, მალეგირებელი ელემენტების შემცირება, გაზებითა და ნადნობის სამსხმელო ყალიბთან ურთიერთქმედების პროდუქტებით გაჯერება. ფოლადის სხმულების დამზადებისას ნახშირბადის დიოქსიდის და წყლის ხარჯზე წარმოქმნილი სამსხმელო ყალიბის მჟანგავი ატმოსფერო არის წყარო გაუნახშირბადოების, ხოლო ნახშირბადის ოქსიდით და მეთანით შექმნილი აღმდგენი ატმოსფერო - დანახშირბადიანების. განსაკუთრებით დამანახშირბადიანებელია შემკვრელ მასალებად გამოყენებული სინთეზური ფისების თერმოდეტრუქციისას წარმოქმნილი ატმოსფერო. მათგან განსხვავებით, როცა შემკვრელად თხევადი მინაა გამოყენებული, ფორმებში ლითონის ჩასხმისას წარმოქმნილი აირული ფაზა მჟანგავი ანუ გამაუნახშირბადოებელია. თუ გაცივებისას ჩაჯდომის შედეგად სხმულის ზედაპირი ცილდება ფორმის კედლებს, მაშინ, ზედაპირის დანახშირბადიანებასთან ერთად, გამყარების პირველ მომენტებში, ყალიბსა და სხმულს შორის წარმოქმნილი ღრეჩოდან

მოხვედრილი ჰაერის ჟანგბადითაც შესაძლებელია გაუნახშირ-
ბადობა.

მალეგირებელი ელემენტების შემცირება სადნობ მოდელებში
ნადნობის ჩამოსხმისას, სხმულის ზედაპირულ შრეში, მა-
ლეგირებელი ელემენტებისა და საყალიბე მასალების შედ-
გენილობაში შემავალი სილიციუმის ოქსიდების ურთიერთ-
ქმედებით გამოწვეული, შენადნობში შემავალი მალეგირებელი
ელემენტების კონცენტრაციის შემცირება. მალეგირებელი ელე-
მენტების კონცენტრაციის შემცირების სიღრმე დამოკიდე-
ბულია სამსხმელო ყალიბის მასალაზე, სხმულის კედლის
სისქესა და ჩამოსხმის ტემპერატურაზე. მალეგირებელი ელე-
მენტების შემცირების პროცესი შეიძლება მნიშვნელოვნად
შევანელოთ: გარსში სილიკატური შემკვრელის შემცირებით,
სილიციუმის დიოქსიდის არშემცველი ცეცხლგამძლე მასა-
ლების გამოყენებით, სხმულისა და სამსხმელო ყალიბის (ურ-
თიერთობის პერიოდში) აჩქარებული გაცივებით, სამსხმელო
ყალიბისა და ლითონის ტემპერატურის დაწევით, აგრეთვე
ზედაპირული ლეგირებით, შესაბამისი ელემენტების მარილე-
ბის ცეცხლგამძლე სუსპენზიაში შეტანით.

ცხრილი №1. ჩამოსხმული ლითონური დეტალების ძირითადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
1 უცმარსხმა. ლითონით შეუვსებელი სხმულის ელემენტები, სხმულის კედლების არასრული შევსება, სხმულის კონტურის არამკაფიო ასახვა. უცმარსხმულ უბნებში მომრგვალებული კუთხეები და წახნაგები გლუვი ზედაპირით.	2 ლითონის არასაკმარისი რაოდენობა. ჩამოსხმის დაბალი ტემპერატურა. ექიმური შედგენილობის გადახრით გამოწვეული ნადნობის არასაკმარისი თხელდენადობა. შენადნობის არასრული განჯანგვა. გრაფიტის ფიფქს არსებობა თუჯში. ლითონის გამოსვლა ყალიბის გასართბი. სასხმის არხის მცირე დიამეტრი. მკვებავების განიკვევითის მცირე ფართობი. სასხმების არასწორი მიდგომა ყალიბის სიღრმესთან. სხმულის არარაციონალური კონსტრუქცია. სასხმის არხის გამოგნესა. წვირის (შტოფტის) ამოღებისას ყალიბის გამოგნესა საყალიბო მასალის მარცვლებით. ყალიბის ცუდი ვენტილაცია.	3 ლითონის რაოდენობის გადაანგარიშება. ჩამოსხმის ტემპერატურის ამაღლება. ექიმური შედგენილობის ცვლილება. შენადნობის ხარისხიანი განჯანგვა. კაზმიდან მაღალსილიციუმშიანი დაბალი ხარისხის ბრძმედის თუჯების გამორიცხვა. ყალიბის აწყობის ხარისხის ამაღლება. მკვებავების კვეთის ფართობის გადიდება. ნადნობების განწურვებული მიწოდება. შენადნობის მიწოდების ადგილების დაახლოება ყალიბის თხელკედლიან ელემენტებთან. კონსტრუქციის ცვლილება, სხმულის კედლების სისქის გადიდება. სავენტილაციო არხების რაოდენობის გაზრდა სასულეების დაყენება. ყალიბის აირშედწევადობის ამაღლება.

ცხრილი #1-ის გაგრძელება

<p>დაბრეკა. მთლიანობის დაურღვევლად სხმულის ზომებისა და კონფიგურაციის დამახინჯება.</p>	<p>სხმულის კონსტრუქციის არარაციონალურობის გამო, მისი ცალკეული ნაწილის გაცივების არათანაბრობა. ლითონის არასწორი მიწოდება (სქელ კედლებში), რაც აძლიერებს გაცივების არათანაბრობას. ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა. დაბალი სიმტკიცის ყალიბი. არასწორი ჩალაგება თერმული დამუშავებისას.</p>	<p>სხმულის კონსტრუქციის შეცვლა (ჩაჯდომის წიბოების დაყენება, ჰალტელების, კედლების სისქეებისა და ურთიერთგადასვლების ცვლილება). ლითონის მიწოდება სხმულის უფრო თხელ კედლებსა და ნაპირა ნაწილებში. ჩამოსხმის ტემპერატურის შემცირება. ყალიბის შემჭიდროების ხარისხის ამაღლება. სხმულების თანაბრად მჭიდრო ჩალაგება. უკუდახრილი მოდელის გამოყენება. მექანიკურ დამუშავებამდე მბზვების მოსახსნელი თერმული დამუშავების ჩატარება.</p>
<p>მინაწვი. სხმულის უხეში მქისე ზედაპირი, მასთან მიდრეკილი საყალიბო ან საკოპე ნარევის, ნადნობის ოქსიდებისა და მათი საყალიბო მასალების ოქსიდებთან ურთიერთქმედების პროდუქტების შრე.</p>	<p>ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა. ჩამოსხმის დაბალი სიჩქარე. ყალიბის საჭიროზე მეტად შეთბობა ნადნობის მიწოდების ადგილებზე. საყალიბო მასალების არასაკმარისი ცეცხლგამლეობა. ყალიბის მაღალი ფორიანობა. ყალიბის ზედაპირის არასაკმარისი შეღებვა ან მიმტყერვა. საყალიბო და საკოპე ნარევის რეცეპტურის არ დაცვა. ნარევის მომზადების ტექნოლოგიის დარღვევა.</p>	<p>ჩამოსხმის ტემპერატურის შემცირება. ჩამოსხმის სიჩქარის ამაღლება. სასხმების კვეთის ფართობის გადიდება. ნადნობის მიწოდების გაწვერტება, მისი განხორციელება რამდენიმე მკვერავით. მაღალი ცეცხლგამლეობის მასალების (მაგნეზიტის, ქრომიტის) გამოყენება. ქვიშის წმინდა ფრაქციის გამოყენება. ყალიბის შემჭიდროების ხარისხის ამაღლება. საყალიბო მასალებში წერილმარცვლოვანი მასალების (მაგ., მარშალიტის) დამატება. საღებავის ხარისხის გაუმჯობესება და მისი თანაბრად დატანა. ნარევის რეცეპტურის მკაცრად დაცვა. ნარევის მომზადების ტექნოლოგიის დაცვა.</p>

ცხრილი #1-ის გაგრძელება

<p>გადაფარული ჩალრმავებები. შენატყლყვი. სხმულის ზედაპირზე საყალიბო ნარევი შევსებული და ლითონის შრით გადაფარული ვიწრო ღარაკი.</p>	<p>ზზარების არსებობა ყალიბის ზედაპირზე. ყალიბის არათანაბარი და ძლიერი შემჭიდროება. დაბალი აირშეღწევალობა და ყალიბის ცუდი ვენტულაცია. თიხის ამალღებული შემცველობა. გაზურების ყალიბის მსალის ამალღებული მოცულობითი გაფართოება. ყალიბის მასალის დაბალი დეფორმაციული უნარი. ყალიბში ჩამოსხმის არასაკმარისი სიჩქარე. ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა. ყალიბის მაღალი აირმზადობის უნარი.</p>	<p>ყალიბის ხარისხიანად დამზადების უზრუნველყოფა. მოცემულ ტექნოლოგიურ დონემდე ყალიბის თანაბარი შემჭიდროების უზრუნველყოფა. ყალიბის აირშეღწევალობისა და ვენტულაციის ამალღება. ბენტონიტების გამოყენებით თიხის შედგენილობის შემცირება. ყალიბის მასალების მოცულობითი გაფართოების შემცირება - ნედლი ქვიშის შეცვლით ნამუშევარი საყალიბო ნარევიტ. დეფორმაციული უნარის გაზრდა განწერტებული მარცვლოვანი ფუბის მქონე ქვიშის გამოყენებით. სასხმების კვეთის ფართობის გაზრდა. ჩამოსხმის ტემპერატურის დადაბლება. ნარევიტში ორგანული დანამატებისა და ტენის შემცირება. ყალიბის ზედაპირის დაღარვა.</p>
--	---	--

ცხრილი #1-ის გაგრძელება

<p>ცივი ნაჭდევი (ნარჩილი, პირაპირი). სრულად არშეწმული ნადნობის ნაკადებით სხმულზე წარმოქმნილი გამჭოლი ან ზედაპირული ჩაღრმავებები. ზედაპირზე მოჩანს ლითონის ორი ნაკადის შუხების ხაზი, მომრგვალებული ნაპირებით, გზინვარე ზედაპირით.</p>	<p>ჩამოსხმის არასაკმარისი ტემპერატურა. ნადნობის არასაკმარისი თხელდენადობა. ყალიბში ჩამოსხმის არასაკმარისი ტემპერატურა. ყალიბის სიღრმესთან ნადნობის არასწორი მიყვანა. წვეტილი ჩამოსხმა. ყალიბის დაბალი აირშეღწევადობა და ცუდი ვენტილაცია.</p>	<p>ჩამოსხმის ტემპერატურის ამაღლება. თხელდენადობის ამაღლება ნადნობის ქიმიური შედგენილობის კორექტირებით. მკვებავების კვების ფართობის გადიდება. ნადნობის მიყვანის განწურება, მიყვანის ადგილების მიახლოება სხმულის თხელ კედლებთან. ჩამოსხმის უწყვეტობის უზრუნველყოფა. ყალიბში ჩამოსხმისს აირშეღწევადობის ამაღლება და აირების თავისუფალი გამოსვლის უზრუნველყოფა ყალიბის სიღრმის ყველა უბნიდან.</p>
<p>ჩაჯდომის ნიჟარები. ღია ან დახურული უხეში (დენდრეტების ჩანასახიანი) კრისტალურზე დაპირიანი სიღრმე.</p>	<p>მიმართული გამყარების პირობების დარღვევა. ლითონის არასაკმარისი მოცულობა ნამატში და ნამატის არასაკმარისი სიმძლვე. ნამატების არასწორი დაყენება. ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა. ლითონის არასწორი მიყვანა (მიწოდება). ჩამოსხმის დაბალი სიჩქარე ლითონის ქვევიდან მიწოდებისას.</p>	<p>დეტალის კონსტრუქციის კორექტირება, შიგა და გარე მაცვრების წანამატების გამოყენება. ნამატის კონსტრუქციისა და მოცულობის ცვლილება. ნამატების დაყენების ადგილების სწორად შერჩევა. ჩამოსხმის ტემპერატურის დადაბლება. სხმულის სექლკედლიან ადგილებში ლითონის მიყვანა ნამატის ქვევიდან. ჩამოსხმის სიჩქარის ამაღლება.</p>

ცხრილი #1-ის გაგრძელება

ჩაჯდომის ნიჟარები სასხმის არეში.	ფორიანი უსწორმასწორო ზედაპირი ან არასწორი ფორმის სწორწაპირიანი ჩაღრმავებებით.	სასხმზე ჩაჯდომის საწინააღმდეგარო “ქუროს” (“მუფტის”) არეონა ან მისი არასაკმარისი მოცულობა, აგრეთვე მისი მოთავსება 2,0 - 2,5 მმ-ზე მეტი მანძილით ჩამოსხმული დეტალის მკვეთრი გაცივება.
ჩაჯდომის ნიჟარები დეტალის სხვადასხვა ადგილას.	არასწორი ფორმის ჩაღრმავებები სწორი, გლუვი ნაპირებით, მაგრამ მქისე ზედაპირით.	დეტალის სიგრძეზე, სხვადასხვა მოცულობებისას, სასხმის ღარების არასაკმარისი რაოდენობა. ლითონის მცირე მასა.
აირის ნიჟარები დეტალის სხვადასხვა ადგილას.	მომრგვალებული ფორმის ჩაღრმავებები გლუვი ზედაპირებით.	ჩასხმის დროს ნივთიერების ორთქლის გამოყოფა ყალიბიდან ცვილისა და ტენის არასაკმარისი მოცილების გამო, შრობისა და გავარგარებისას.
წიდის ნიჟარები.	ნაგლეჯწაპირებია ან არასწორი ფორმის ნიჟარები.	სხვადასხვა ჟანგულის წარმოქმნა დუღილის წერტილზე ზევით ლითონის გადახურებისას. ყალიბში ზორაკის მოხვედრა.
ცხელი ბზარები. ნარღვევები ან ჩანახევები სხმულში, დაქანებული ზედაპირითა და მახასიათებელი კრისტალური რღვევის რელიეფით.	სხმულის არატექნოლოგიური კონსტრუქცია. კოპების არასაკმარისი დამყოლობა.	სხმულის კონსტრუქციის გაუმჯობესება, კედლების მდორე გადასვლის უზრუნველყოფა, მომრგვალების რადიუსების, ჰალტელების და მისთ. გამოყენება. კოპების დამყოლობის ამაღლება ღრუტანაიანი კოპების გამოყენებით, ნარევეში ხის ნახერხისა და ისეთი შემკვრელების დამატებით, რაც გაზურბული კოპების სიმტკიცის შემცირებას უზრუნველყოფს.

ცხრილი #1-ის გაგრძელება

<p>ცივი ბზარები. სწორზაზოვანი და კლავნილი ნარღვეები ან ჩანახვეები სუფთა ზედაპირითა და კრისტალშიგარღვევის რელიეფით.</p>	<p>სხმულის არატექნოლოგიური კონსტრუქცია. ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა. ლითონის არასწორი მიყვანა. სამსხმელო ყალიბებისა და კოპების ცუდი დამყოლობა.</p>	<p>სხმულის კონსტრუქციის გაუმჯობესება, კედლების სისქეების მიზნობრივი სხვაობის უზრუნველყოფა, ზედაპირების კონსტრუქციისა და დახრების გადიდება და მისთ. ჩამოსხმის ტემპერატურის დადაბლება. სხმულის უფრო თხელ ნაწილებში ლითონის განწერტებული მიყვანის უზრუნველყოფა. სამსხმელო ყალიბების და კოპების დამყოლობის ამაღლება.</p>
<p>მოცულობითი აირული ნიჟარები. ბზინვარეზედაპირიანი, ხშირად მოლურჯო ელფერის, სფერული ან მომრგვალებული ფორმის არამთლიანობები სხმულის მოცულობაში.</p>	<p>აირების მაღალი შემცველობა ლითონში. სამსხმელო ყალიბის დადაბლებული აირუმღვანელობა. სამსხმელო ყალიბის ამაღლებული აირმზადობა. სამსხმელო ყალიბებისა და კოპების არასაკმარისი ვენტილაცია. ჩამოსხმის მაღალი ტემპერატურა. სამსხმელო ყალიბებისა და კოპების არასაკმარისი გაწრობა. სამსხმელო ყალიბებისა და კოპების უზარისხო შედეგა. საყალიბო ნარევის ამაღლებული ტენიანობა.</p>	<p>ნაკლებდაჟანგული კაზმის გამოყენება, ნადნობის ხარისხიანი განჯანგვა და რაფინირება. საყალიბო ნარევის შედგენილობის ცვლილება. სამსხმელო ყალიბებისა და კოპების ვენტილაციის გაუმჯობესება. მკვებავების კვითის ფართობების შემცირება. ჩამოსხმის ტემპერატურის მომატება. შრობისა და შედეგის ტექნოლოგიების დაცვა. საყალიბო ნარევის ტენიანობის დადაბლება.</p>

ცხრილი #1-ის გაგრძელება

<p>ზედაპირული აირუ- ლი ნიჟარები. მომრ- გვალეგული გლუვ- ზედაპირიანი სიღ- რუეები სხმულის ქერქვეშა ზედაპირულ შრეში.</p>	<p>კაოლინური თიხიდან ტენის მოცილების მომენტში, გამყარებული ქერქის გავლით, სამსხმელო ყალიბიდან ნაღობში შეღწეული აირები. ჩამოსხმის მსალაი ტემპერატურა. სხმულის გამყარების დაბალი სიჩქარე.</p>	<p>კაოლინური თიხის რაოდენობის შემცირება ზენტონიტური თიხის გამოყენებით. ჩამოსხმის ტემპერატურის დადაბლება. მოსაპირკეთებელ ნარევეებში უფრო თზოგამტარი მასალების გამოყენება.</p>
<p>ნამეტი. მომრგვალე- ბული ფორმის შეე- რილები ან განსხვავ- ებული სისქისა და სიგრძის სიმქისეები</p>	<p>ფორები მოსაპირკეთებელ შრეში. გამოწვის დროს ტემპერატურის სწრაფი ამადლებისას წარმოქმნილი ბზარები მოსაპირკეთებელ შრეში.</p>	<p>დაყალიბებისა და გამოწვის ტექნოლოგიების დაცვა.</p>
<p>სხმულის კონფიგურაციისა და ზომების შესაბამობა ნახაზთან.</p>	<p>მოდელის არასწორი ზომები. სამსხ- მელო ყალიბის ნაწილების გადახრა და არამჭიდროდ მიჯრა. ყალიბის გადახრა იწვევს სხმულის ერთი ნაწილის დაძე- რას მეორის მიმართ. იგი მიიღება სამს- ხმელო საყალიბეს არასწორი დაცენტ- რებისას. კოპის გადახრა ან არასწორი ზომები. ყალიბში კოპის არასწორი დაყენება ან არამტკიცე ჩამოგება იწვევს კოპის გადახრას და, შესაბამისად, სხმულის კედლის ნაირსისქიანობას.</p>	<p>ნახაზის შესაბამისი მოდელის გამოყენება. ყალიბის ნაწილების სწორი დაცენტრება. კოპების მორგება ნიშნებისა და სხვა ზომების შესაბამისად. სხმულის უფრო გვიან გამოდგება დაზრდვის ასაცილებლად.</p>

თავი IV

ლითონების წნევით დამუშავების ძირითადი დეფექტები

4.1 ზოგადი მიმოხილვა

მანქანათმშენებლობაში დეტალების დიდი ნაწილის დასამზადებლად გამოიყენება ჭრით დამუშავება. სასურველი ფორმისა და ზომის დეტალის მისაღებად აუცილებელია გარკვეული სახის ნამზადი. ნამზადის ძირითადი სახეებია: ნაგლინი, დაწნეხილი და ადიდვით დამზადებული პროფილები, სხმულები, ზოდები, ნაჭედები და შედუღებით მიღებული ნახევარფაბრიკატები.

მეტალურგიული ქარხნიდან მრეწველობის სხვადასხვა დარგს მრავალი სახის ნაგლინი მიეწოდება: სასაქონლო ნამზადები (ბლუმები), მსხვილი ნაჭედების მისაღებად; საერთო დანიშნულების მარტივი სორტული ნაგლინი (მრგვალი, კვადრატული, ექვსკუთხედი და ზოლოვანი), წვრილი და საშუალო ნაჭედებისა და ნაშტამპების მისაღებად; საერთო დანიშნულების პროფილური ნაგლინი (კუთხოვანები, შველერები, ორტესებრი კოჭები), ლითონკონსტრუქციების დასამზადებლად; დარგობრივი და სპეციალური დანიშნულების ფასონური პროფილები - ვაგონმშენებელი, ავტომშენებელი, სოფლის მეურნეობის მანქანათმშენებელი, ელექტროტექნიკური და სხვა სამრეწველო დარგებისათვის; რელსები სარკინიგზო და სამშენებლო მრეწველობისათვის; ფურცლოვანი ნაგლინი (თხელი და სქელი ფურცლები), მრეწველობის თითქმის ყველა დარგისთვის და სხვ.

ნავთობმომპოვებელი მრეწველობისათვის, წყალსადენი, ჰაერსადენები, აირ- და ნავთობსადენი მაგისტრალებისათვის მნიშვნელოვანია სხვადასხვა სახის ნაგლინი მილები:

– ცხლადნაგლინი, ცივნაჭიმი და ცივნაგლინი უნაკერო ფოლადის მილები. გამოიყენება მაღალი წნევის მილსადენებისათვის, ღრუ ცილინდრული ნამზადების, მილისების, მასრების, ღრუ ლილვებისა და ა.შ დასამზადებლად;

– შენადული მილები. გამოიყენება დაბალი და საშუალო წნევის მილსადენების (წყალსადენები, ჰაერსადენები, აირ- და ნავთობსადენები) დასამზადებლად.

– რთული კვეთის მქონე ცხლადწნეხილი პროფილები - ნახევრად შეკრული და ღრუტანიანი მილები. მზადდება, უფრო ხშირად, ალუმინის და სპილენძის შენადნობებისაგან. გამოიყენება კონსტრუქციების, მიმმართველი ელემენტების, კორპუსების ფანჯრების ალათებისა და სხვათა დასამზადებლად;

სხვადასხვაგვარი კონსტრუქციის (კრონშტეინები, ავტომობილების ჩარჩო, სატრანსპორტო მოწყობილობების ძარა და სხვ.) დასამზადებლად გამოიყენება: ნაგლინი, ნაღუნი პროფილები, კუთხოვანები, შველერები, გოფირებული ფურცლები და სხვ.

წარმოების მასალათევადობას განსაზღვრავს ნამზადის ტიპი, კონფიგურაცია და ზომები. მისი შეფასება ხდება ლითონის გამოყენების კოეფიციენტით (ლგკ). იგი დეტალის მასის ნამზადის მასასთან ფარდობის ტოლია. დასამზადებელი დეტალისაგან განსხვავებით ნამზადები აიღება დაშვებებით - ნამეტით და ზენამატით:

– **დაშვება** არის სხვაობა ნაჭედის (ნაშტამპის) ერთი და იმავე ზომის დასაშვებ მაქსიმალურ და მინიმალურ ზომებს შორის. დაშვებით, მოთხოვნილი სიზუსტის შესაბამისად, ისაზღვრება ნაჭედის სიგრძე, სისქე და სიგანე. დაშვება შეიძლება იყოს ამადლებული ან ნორმალური. მის მაჩვენებელზე მოქმედებს ნაკეთობის მასა, ფოლადის ჯგუფი და ნამზადის დამზადების სირთულის ხარისხი. ნაჭედის ზომები, მოთხოვნილი პარამეტრების ზღვრებში, არის ნამდვილი, ხოლო ზომები, რომელთა ზღვრებშიც დასაშვებია რხევები არის ზღვრული. დაშვებაში ასახულია ნომინალური ზომებიდან გადახრის ყველა ელემენტი. გადახრის მიზეზები შეიძლება იყოს: შეუვსებელი დარულების სიღრუეები; უკმარწნეხა მოთხოვნილ სიმაღლემდე; საბოლოო დარულის ცვეთა; ნაჭედის ჩაჯდომის რხევები გაცივებისას; ღერძების სიმრუდე; კვეთის ოვალურობა; გასაჭოლი ნახვრეტების ექსცენტრულობა და სხვ. დაშვებებისა და ნამეტების პარამეტრები უნდა იყოს ოპტიმალური;

ნამეტი არის ლითონის შრე, რომელიც უნდა მოცილდეს ნამზადს მექანიკური დამუშავებისას, ნახაზით განსაზღვრული ფორმის, ზომებისა და დამუშავებული ზედაპირის მოთხოვნილი ხარისხის სიმჭისის მისაღებად. ნამეტის ნამზადის მექანიკური დამუშავებისას დეტალს სცილდება ზედაპირული დეფექტები - მენატყლეუები, მეტნაბეჭები (ზოლიანობები), ნაკეცები, დაშტამპული ხენჯი და გაუნახშირბადოებული შრე. იმ შემთხვევაში, როცა არ არის ნაჭედების მექანიკური დამუშავების საჭიროება, ნამეტი არ გაითვალისწინება;

წანამატი არის შტამპებიდან დაშტამპული ნაჭედის და სამსხმელო ყალიბიდან სხმულის ან მოდელის ამოდების გასაიოლებლად ნამეტზე დამატებული ლითონის მოცულობა. იგი

გამოიყენება შტამპვის პროცესის გასამარტივებლად. წანამატების სახეებია: ზენამატები ფორმის გამარტივებაზე; საშტამპე ქანობები (გარე და შიგა); მომრგვალების რადიუსები; ზღუდარები. კონფიგურაციის გამარტივებით ნამზადი იაფდება, მაგრამ ამავე დროს იზრდება მისი მასა და, შესაბამისად, შემდგომი მექანიკური დამუშავების შრომატევადობა.

4.2 დეფორმაციის სახეები

მანქანათმშენებლობაში ნამზადებისა და დეტალების მიღების ერთ-ერთი ყველაზე ეკონომიური და მაღალმწარმოებლური მეთოდი არის ლითონების წნევით დამუშავება. ამ დროს პლასტიკური მასალები, გარე ძალების ზემოქმედებით, დაურღვევლად და შეუქცევადად დეფორმირდებიან. ლითონების წნევით დამუშავების დანიშნულება, ზოგადად, არის საწყისი ნამზადის ფორმაცვლით (პლასტიკური დეფორმირებით) სასურველი ფორმის ნამზადებისა და მანქანათა დეტალების მიღება. პროცესი მიმდინარეობს პლასტიკურ მასალებზე ინსტრუმენტის ძალური მოქმედებით, ბურბუმელას მოუხსნელად.

დადგენილია, რომ ლითონის პლასტიკურობა დამოკიდებულია შენადნობის ქიმიურ შედგენილობაზე; დეფორმირების ტემპერატურაზე; დეფორმაციის სიჩქარესა და დამაბულ მდგომარეობაზე. პლასტიკური დეფორმაციისას იცვლება ლითონის როგორც გარეგანი ფორმა, ისე შინაგანი აგებულება, ანუ თვისებებიც. წნევით დამუშავების პროცესში ხდება ლითონის გამკვრივება, ზოგიერთი დეფექტის შედუღება, სტრუქტურის

დაწვრილმანება და, აქედან გამომდინარე, მექანიკური თვისებების მახასიათებლების ცვლილება. ლითონების წნევით დამუშავების სახეებია: ცივი და ცხელი გლინვა, ადიდვა, წნეხა, ჭედვა, შტამპვა და ზოგიერთი სპეციალური პროცესი (მაგ., გამოსაყვანი და პლასტიკური დეფორმირებით გამამტკიცებელი).

ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე არასაკმარისად პლასტიკური ლითონი და შენადნობი (რომელთა წნევით დამუშავება, დაბალი პლასტიკური რესურსის გამო შეზღუდული ან შეუძლებელია) მაღალ ტემპერატურაზე საკმარისად პლასტიკურია და მათი წნევით დამუშავება შესაძლებელია. ასეთი შენადნობების რიცხვს მიეკუთვნება ფოლადიც. ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით ასხვავებენ ცივ, ცხელ და არასრულად ცხელ პლასტიკურ დეფორმაციებს.

მოკლედ განვიხილოთ თითოეული მათგანი.

ცივი პლასტიკური დეფორმაცია ეწოდება წნევით დამუშავების ისეთ ტექნოლოგიურ პროცესს, რომელიც სრულდება გაუხურებლად ან $0,2 - 0,3 T_{დნობის}$ ტემპერატურაზე დაბლა გახურებისას. მას თან ახლავს ლითონის მექანიკური თვისებების, კერძოდ, სიმტკიცის მახასიათებლების ამაღლება, და პლასტიკურობის მკვეთრი შემცირება. ცივი დეფორმირებისას, რაც უფრო მაღალია დეფორმაციის ხარისხი, მით უფრო მეტად იცვლება მექანიკური თვისებები. ცივჭედვა (ლითონებისა და შენადნობების სტრუქტურისა და თვისებების ცვლილება პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად რეკრისტალიზაციის ნაწილობრივი ან სრული ჩახშობისას) იწვევს ლითონის უწყვეტ დეფორმაციულ განმტკიცებას. პლასტიკური დეფორმაცია

ხდება მოდებული გარე ძალის გავლენით გამოწვეული მარცვალშიგა და მარცვალთშორისი ატომური სიბრტყეების ძვრებით ერთმანეთის მიმართ. რაც მეტი იქნება წარმოქმნილ ძვრათა რაოდენობა, მით მეტად განმტკიცდება ლითონი და შემცირდება პლასტიკურობა. ამასთან, ლითონის შემდგომი დეფორმირებისათვის საჭირო იქნება უფრო მეტი ძალა. ცივი დეფორმირებისას იცვლება მარცვლების ფორმა, ისინი გაიჭიმებიან ლითონის გა(ნ)დინების უმეტესი ინტენსიურობის მიმართულებით და კვეთში მიიღება ზოლოვანი სტრუქტურა. ამრიგად, ცივი პლასტიკური დეფორმაციის პროცესში იცვლება ნამზადის საწყისი ფორმა, ლითონის სტრუქტურა, ფიზიკური და მექანიკური თვისებები. თუ ცივად პლასტიკურად დეფორმირებულ პროდუქციას არ მოეთხოვება ამაღლებული პლასტიკური თვისებები, მაშინ მისაღებია (უმჯობესია) წნევით ცივი დეფორმაცია. ასეთი დამუშავებით შესაძლებელია ლითონის სიმტკიცის მახასიათებლების ამაღლება 2 - 3-ჯერ (ცივჭედვის მაღალი ხარისხის დროს დაბალნახშირბადიანი ფოლადების პლასტიკურობა 5 - 6-ჯერ ეცემა). თუ ლითონის თვისებების ცვლილება წნევით ცივი დამუშავების გავლენით არასასურველია, მაშინ მიღებული ცივჭედვის ეფექტის მოხსნა გახურებით ხდება.

ცივნაჭედი ლითონის არამდგადი სტრუქტურა გახურებისას თანდათან გადადის მდგრად წონასწორულ მდგომარეობაში და, შესაბამისად, იცვლება მისი თვისებებიც. 200 - 300°C ტემპურატურებზე გახურებისას შეინიშნება ცივჭედვის დროს დამახინჯებული კრისტალური გისოსის ნაწილობრივი აღდგენა; სისაღისა და სიმტკიცის შემცირება, სამაგიეროდ პლასტიკურობის ამაღლება. ამ მოვლენას მობრუნება ეწოდება. ცივნაჭედი

ლითონის უფრო მაღალ ტემპერატურაზე გახურებისას კრისტალური გისოსის დამახინჯება სრულიად გაქრება. დეფორმირებულ მარცვალთა საზღვრებზე ხდება ახალი მარცვლების ჩასახვა და ზრდა. ამ პროცესს ეწოდება პირველადი რეკრისტალიზაცია. პირველადი რეკრისტალიზაციის შემდეგ ლითონის თვისებები უახლოვდება მოლბობილი ლითონის თვისებებს, აღდგება პლასტიკური თვისებები, სისალე და სიმტკიცე კი შემცირდება.

ტემპერატურას, რომლის დროსაც წარმოიქმნება ახალი უწყვილესი წონასწორული მარცვლები, ეწოდება რეკრისტალიზაციის საწყისი ტემპერატურა. ყველა ლითონისათვის იგი არის სხვადასხვა და დამოკიდებულია: ა) დეფორმაციის ხარისხზე (რაც უფრო მაღალია დეფორმაციის ხარისხი, მით უფრო მაღალია რეკრისტალიზაციის საწყისი ტემპერატურა); ბ) დაყოვნების ხანგრძლივობაზე (მისი გაზრდით იოლდება რეკრისტალიზაციის პროცესი); გ) მარცვლის სიდიდეზე (მსხვილმარცვლოვანი ლითონისათვის ტემპერატურა უნდა იყოს უფრო მაღალი, ვიდრე წვრილმარცვლოვანისათვის).

ცხელი პლასტიკური დეფორმაცია ეწოდება წნევით დამუშავების ისეთ ტექნოლოგიურ პროცესს, რომლის დროსაც ერთდროულად მიმდინარეობს ციკჟედვისა და რეკრისტალიზაციის პროცესები. იგი ტარდება (0,5 - 0,6) $T_{დნობის}$ ტემპერატურაზე უფრო მაღლა გახურებისას. ამ ტემპერატურებზე ციკჟედვით გამოწვეული განმტკიცება სწრაფად იხსნება რეკრისტალიზაციის პროცესით (ვინაიდან ცხელი დამუშავებისას რეკრისტალიზაციის სიჩქარე ციკჟედვის სიჩქარეზე მაღალია). ცხელი პლასტიკური დეფორმაციის შემდეგ ლითონის სტრუქტურა და თვისებები თავისუფალია ციკჟედვისაგან.

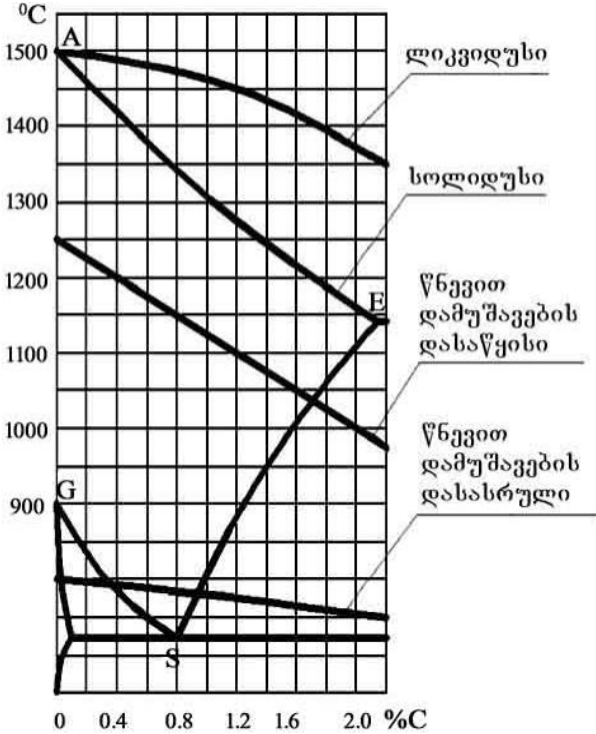
არასრული ცხელი პლასტიკური დეფორმაცია ეწოდება წნევით დამუშავების პროცესს, რომლის დროსაც რეკრისტალიზაციის სიჩქარე არ არის საკმარისი განმტკიცების მოსახსნელად. ამ დროს წარმოიქმნება არაერთგვაროვანი სტრუქტურა და, ერთდროულად, დაბლდება სიმტკიცისა და პლასტიკურობის მახასიათებლები.

4.3 წნევით ცხელი დამუშავების ტემპერატურული ინტერვალის შერჩევა

დეფორმირებისადმი წინაღობის შესამცირებლად და პლასტიკურობის ასამაღლებლად წნევით ცხელი დამუშავებისას ლითონის ნამზადებს ახურებენ. წნევით დამუშავების ტემპერატურული რეჟიმის განსაზღვრის საფუძველი არის შენადნობთა მდგომარეობის დიაგრამები. პრაქტიკულად ცხელი დეფორმაცია ტარდება იმ (განსაზღვრულ) ტემპერატურებზე, რომლებზეც მოცემული ლითონის მინიმალური სიმტკიცე შეხამებულია მაქსიმალურ პლასტიკურობასთან. ნახშირბადიანი ფოლადების წნევით დამუშავების ტემპერატურული ინტერვალი, ძირითადად, დამოკიდებულია ქიმიურ შედგენილობაზე და განისაზღვრება “რკინა - ცემენტიტის” მდგომარეობის დიაგრამით. სურ. 43-ის შესაბამისად, ფოლადების წნევით ცხელი დამუშავებისათვის ყველაზე უფრო სასურველი არე არის GSE და AE ხაზებს შორის. აქ ფოლადის სტრუქტურა აუსტენიტურია, ხასიათდება მაღალი პლასტიკურობითა და ჭედადობით.

დიაპაზონს, კონკრეტული მასალის ცხელი დეფორმაციის დასაწყისისა და დასასრულის ტემპერატურებს შორის, წნევით

ცხელი დამუშავების ტემპერატურული ინტერვალი ეწოდება. იგი მოიცავს კონკრეტული მასალის მაქსიმალური პლასტიკურობის არეს.

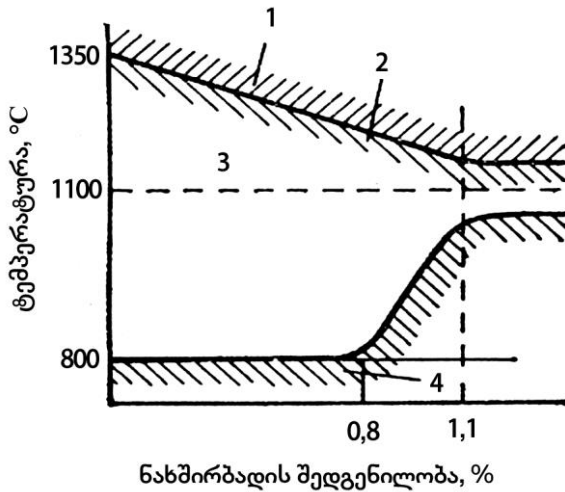


სურ. 43. ნახშირბადიანი ფოლადების წნევით ცხლად დამუშავების ტემპერატურული ინტერვალის განსაზღვრა რკინა-ცემენტიტის დიაგრამის მიხედვით

წნევით ცხელი დამუშავების ტემპერატურის გავლენა სხვადასხვა მასალის პლასტიკურობაზე სხვადასხვაგვარია. მაგ., ტემპერატურის ამაღლებით დაბალ- და საშუალონახშირბადიანი ფოლადების პლასტიკურობა მაღლდება, ხოლო მაღალლეგირებუ-

ლი ფოლადების პლასტიკურობა დაბლდება. სასაკისრე ფოლადები, პრაქტიკულად, ტემპერატურაზე დამოკიდებული არა არის.

ლითონის მაქსიმალური პლასტიკურობისა და მინიმალური სიმტკიცის მიღწევასთან ერთად, ცხელი დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურის შერჩევასა, უნდა გამოირიცხოს გადაწვა და გადახურება (გადახურების ტემპერატურა განისაზღვრება ექსპერიმენტულად). სურ. 44-ის შესაბამისად, განსაზღვრულია ნახშირბადიანი ფოლადების ცხელი დამუშავების ტემპერატურული ინტერვალი და ზონები.



სურ. 44. ნახშირბადიანი ფოლადების წნევით ცხელი დამუშავების ტემპერატურული ინტერვალის მრუდი:

- 1. გადაწვის ზონა; 2. გადახურების ზონა; 3. წნევით ცხელი დამუშავების ზონა; 4. ცივქედვის ზონა

ნახშირბადიანი ფოლადებისათვის ტემპერატურული ინტერვალის ზედა ზღვარი სოლიდუსის ტემპერატურაზე მნიშვნელოვნად ნაკლებია. ამავე დროს, იგი დამოკიდებულია ნახშირბადის შემცველობაზე ფოლადში. რაც დაბალია ნახშირბადის შემცველობა, მით მაღალია გახურების ტემპერატურა.

წნევით ცხელი დამუშავების პროცესში გახურებული ლითონი, უფრო ცივ ინსტრუმენტთან შეხებისას, ცივდება. გარდა ამისა, პროცესი მიმდინარეობს ჰაერზე და ადგილი აქვს გარემოზე სითბოს ინტენსიურ გადაცემას. რეკრისტალიზაციის ტემპერატურაზე დაბლა წნევით ცხელი დამუშავების დასრულებისას, რეკრისტალიზაციის პროცესი ნელდება, დეფორმირებისადმი წინაღობა იზრდება და ჩქარდება ციკჟედვის პროცესი. ხდება არასრული რეკრისტალიზაცია და მცირდება პლასტიკურობა. შედეგად, შესაძლებელია ნაკეთობაში ბზარების გაჩენა. ნაკეთობის ცხელი პლასტიკური დეფორმაციის დასასრულის ტემპერატურა რეკრისტალიზაციის საწყის ტემპერატურაზე გარკვეულად უფრო მაღალი უნდა იყოს, რითაც უზრუნველყოფილი იქნება რეკრისტალიზაციის განვითარების მაღალი სიჩქარე და, შესაბამისად, ლითონის პლასტიკურობა. ამასთან, დაუშვებელია წნევით დამუშავების დასასრულის ტემპერატურა რეკრისტალიზაციის ტემპერატურაზე მნიშვნელოვნად მაღალი იყოს. რადგან ასეთ შემთხვევაში, გაცივებისას, ლითონის მარცვალი ასწრებს გაზრდას და, შესაბამისად, მცირდება ლითონის პლასტიკურობა და სიბლანტე.

ფოლადების წნევით ცხელი დამუშავება ხდება აუსტენიტური სტრუქტურის ტემპერატურებზე. წნევით დამუშავების საწყისი ტემპერატურა (გახურების ტემპერატურის ზედა ზღვარი)

100 - 200°C-ით დაბალი უნდა იყოს დნობის საწყის ტემპერატურაზე. უფრო მაღალ ტემპერატურაზე გახურებისას იწყება აუსტენიტის მარცვლის ინტენსიური ზრდა და შემდგომ, წნევით დამუშავებისას, მათი სრულად დამსხვრვა შეუძლებელია. ამ დროს შესაძლებელია, აგრეთვე, მარცვლის საზღვრების შემოდნობა და ჟანგვა. ძალიან მაღალ ტემპერატურაზე გახურება, ამასთან ერთად, იწვევს დიდ დანაკარგებს ხენჯწარმოქმნაზე.

ამდენად, წნევით ცხელი დამუშავების პროცესის ნორმალურად ჩატარებისათვის უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება რეკრისტალიზაციის ტემპერატურას. რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ზევით პლასტიკური დეფორმაცია, ჩვეულებრივ, იწვევს განმტკიცებას, მაგრამ იგი, როგორც აღნიშნული იყო, მაშინვე იხსნება რეკრისტალიზაციის პროცესებით. შესაბამისად, დამუშავების შემდეგ ცხლადნაგლინი ლითონი არ იღებს ცივჭედვას. აღსანიშნავია, რომ რეკრისტალიზაციის ტემპერატურაზე მაღლა დეფორმაციისას დეფორმირებისადმი ლითონის წინააღმდეგობა, ცივთან შედარებით, 8 - 10-ჯერ მცირდება. პრაქტიკაში რეკრისტალიზაციის ტემპერატურა (კელვინის სკალით) განისაზღვრება ფორმულით:

$$T_{რგ} = 0,4 \frac{T_{ლოკ} + T_{სოლ}}{2}$$

რეკრისტალიზაციის საწყის ტემპერატურაზე ცივჭედვის შემცირების პროცესი ნელა მიმდინარეობს. ტემპერატურის ამაღლებით კი რეკრისტალიზაციის სიჩქარე ინტენსიფიცირდება.

4.4 წნევით ცხელი დამუშავებისას ნამზადების გახურების ხანგრძლივობის განსაზღვრა

წნევით ცხელი დეფორმირებისას არსებითი მნიშვნელობა აქვს გახურების დროის განსაზღვრას. მოცემულ ტემპერატურამდე ნამზადი მთლიან მოცულობაში თანაბრად უნდა გახურდეს. სწრაფი გახურებისას ნამზადის განივკვეთის შრეებში წარმოიქმნება ტემპერატურებს შორის სხვაობა, რაც იწვევს ამავე შრეებში თერმული ძაბვების სიდიდეებს შორის სხვაობას და ბზარების წარმოქმნას. ნელი გახურებისას იზრდება ლითონის ზედაპირის დაჟანგულობა და ხენჯის წარმოქმნა. ასეთი პროცესის დროს გასათვალისწინებელია ლითონის დანაკარგი და მექანიკურ დამუშავებაზე ნამატი უნდა გაიზარდოს. ნელი გახურება ხელს უწყობს ნამზადის გადაწვასა და გადახურებას. პრაქტიკაში იყენებენ მაქსიმალურად დასაშვებ სიჩქარეს. იგი, საორიენტაციოდ, გამოითვლება ემპირიული ფორმულით, მსხვილი ნამზადების კამერულ ღუმლებში 1300 °C-მდე გახურებისას:

$$Z = K \cdot m \cdot d \cdot \sqrt{d} \text{ (სთ)}$$

სადაც Z არის გახურების დრო სთ-ში;

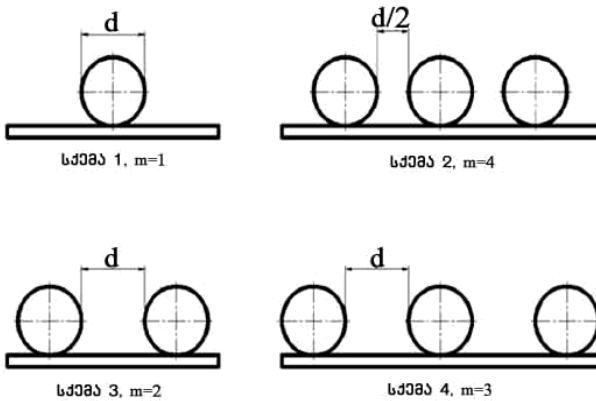
K - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ნამზადის მასალას

d - ნამზადის დიამეტრი (სისქე), მ;

m - კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ნამზადების ფორმასა და მათი ჩაწყობის ხასიათზე.

დაბალნახშირბადიანი და დაბალლეგირებული ფოლადებისათვის $K=10$ -ს, საშუალონახშირბადიანი და საშუალოლეგირებული ფოლადებისათვის $K=15$ -ს, ხოლო მაღალნახშირბადიანი და მაღალლეგირებული ფოლადებისათვის $K=20$ -ს.

ნამზადების ჩაწყობის სქემა და შესაბამისი კოეფიციენტები მოცემულია სურ. 45-ზე.



სურ. 45. ღუმელში ნამზადების ჩაწყობის სქემა

4.5 წნევით ცხელი დამუშავებისას ნამზადების გახურების დროს წარმოქმნილი დეფექტები

ლითონების ცხელი პლასტიკური დეფორმაციისას, დეფორმირების პროცესისათვის აუცილებელი ტემპერატურული ინტერვალი მუდმივად უნდა იყოს შენარჩუნებული. დამუშავების საწყისი ტემპერატურა უნდა იყოს მაღალი, მაგრამ უფრო დაბალი სოლიდუსის ტემპერატურაზე.

ნამზადების წნევით ცხელი დამუშავებისას წარმოქმნილი დეფექტები:

გადაწვა - ფოლადის მარცვლების საზღვრების დაჟანგვა ან შემოდნობა. მას იწვევს მჟანგავ არეში ფოლადის გახურება და ხანგრძლივი დროით დაყოვნება სოლიდუსის ტემპერატურის ახლო (1300 - 1350°C) ტემპერატურებზე. ამ დროს მარცვლების საზღვრები ინტენსიურად იჟანგება და არ გამოირიცხება მათი შემოდნობის შესაძლებლობა. საბოლოოდ, გადამწვარი ლითონი სრულად კარგავს პლასტიკურობას და ჭედვისას ჩნდება მრავალრიცხოვანი ნარღვევი. გადამწვარი ნაჭედები გამოუსწორებადი წუნია და იგზავნება გადასადნობად;

გადახურება - მოცემული მარკის ფოლადის ჭედვის დასაწყისის დასაშვებ ტემპერატურაზე მეტ, მაგრამ გადაწვის ტემპერატურაზე რამდენადმე ნაკლებ ტემპერატურამდე გახურება. იგი იწვევს მარცვლების მკვეთრ ზრდას, მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურის წარმოქმნას და, შესაბამისად, პლასტიკურობის შემცირებას. გადახურებას ხელს უწყობს ჭედვის ტემპერატურამდე ნამზადის ნელი გახურება, ხანგრძლივი დროით დაყოვნება ან ჭედვის დასრულება ოპტიმალურ ტემპერატურაზე უფრო მაღალ ტემპერატურებზე. გადახურება ლითონის გამოსწორებადი წუნია. მისი გამოსწორება ხდება დამატებითი თერმული დამუშავებით (ნორმალიზაციით, მოლბობით ან გაუმჯობესებით);

უკმარგახურება - გადაჭარბებული სიჩქარით გახურების, ნამზადის კვეთში სხვადასხვა სიდიდის ხაზობრივი გაფართოების, ქიმიური შედგენილობის არაერთგვაროვნების, ღუმელში ნამ-

ზადის არასაკმარისი დაყოვნების მიზეზებით ჩამოყალიბებული, ლითონის წნევით დასამუშავებლად არასაკმარისი (აუცილებელი) პლასტიკურობა. იგი იწვევს მნიშვნელოვანი სიდიდის ძაბვებს და შინაგანი ბზარების წარმოქმნას ჭედვისას;

გაუნახშირბადოებული ზედაპირი ნაჭედის ზედაპირულ შრეებში ნახშირბადის ამოწვით (დაჟანგვით) გამოწვეული დეფექტი. დეფექტის ზომა ზოგჯერ ნამეტის სიდიდეს აღემატება;

ბზარები - მასალის მთლიანობის დამრღვევი ორგანოზომილებიანი დეფექტები, რომლებიც თავისუფალ ზედაპირებს წარმოქმნიან. მათ წარმოქმნას იწვევს მეტისმეტად სწრაფი გახურებისას ნამზადის გარე და შიგა შრეების არათანაბარი სითბური გაფართოებით გამოწვეული ძაბვები. ეს განსაკუთრებით ეხება დაბალი სითბოგამტარობის მქონე მაღალნახშირბადიან და ლეგირებულ ფოლადებს. მათი გახურების დრო (კარგი სითბოგამტარობის მქონე მასალებთან შედარებით) უნდა იყოს უფრო ხანგრძლივი;

ხენჯი – დაჟანგული ლითონის შრე გახურებული ნამზადის ზედაპირზე. იგი წარმოიქმნება გახურებისას, ნამზადის ზედაპირისა და სამუშაო აირული გარემოს აქტიური ქიმიური ურთიერთქმედებით - ლითონის ჟანგვით. ნამზადიდან ან საცემების ზედაპირებიდან მოუცილებელი ხენჯი შეიჭრება ლითონში და ნაჭედებზე აჩენს ღრმა შენატყლეუებს. ხენჯის სისალე გაცილებით აღემატება ცხელი ლითონის სისალეს და 1,5 - 2,0-ჯერ აჩქარებს მადეფორმირებელი იარაღის ცვეთას. ხენჯწარმოქმნის შესამცირებლად ნამზადებს ახურებენ ნეიტრალურ არეში, აღმდგენ ატმოსფეროში ან იყენებენ არამჟანგავ ინდუქციურ გახურებას.

4.6 წნევით დამუშავების ზოგადი დეფექტები

დეფორმაციის პროცესში ლითონში აღძრული მნიშვნელოვანი ძაბვები ნაჭედებში (ნაშტამპებში, ნაგლინებში) წარმოქმნიან შინაგან და გარეგან ბზარებსა და ნარღვევებს. გამჭიმავი შიგა ძაბვები წარმოქმნიან ნარღვევებსა და ბზარებს, ძირითადად, ზოდის დეფექტებით შესუსტებულ ზონაში (ზოგჯერ - არადეფექტურ ზონებშიც). აღსანიშნავია, რომ წნევით დამუშავებისას, ლითონის მრავალჯერადი გახურება-გაცივების შედეგად აღძრული თერმული ძაბვები ხელს უწყობენ შინაგანი რღვევებისა და ბზარების წარმოქმნას.

წნევით დამუშავების შემდეგ პროდუქციაში დარჩენილი დეფექტები იყოფა ორ ჯგუფად:

I - დნობისა და ჩამოსხმის პროცესზე დამოკიდებული დეფექტები - ზოდის საწყისი დეფექტები;

II - წნევით დამუშავების დეფექტები.

I. დნობისა და საწყისი ნაშადის ჩამოსხმის პროცესებზე დამოკიდებული დეფექტები

წიდის ჩანართები საწყის ნაშადებში - მეტალურგიული წუნი, შემდგომი მოცულობითი შტამპვისას იწვევს არამთლიანობას ნაჭედში;

ქიმიური შედგენილობის ლიკვაცია - ქიმიური არაერთგვაროვნება ზოდის სხვადასხვა უბანზე. გამოწვეულია კრისტალიზაციის პროცესებით. დეფორმირებული ლიკვაციური ზონის ლითონი შეიცავს გოგირდის, ფოსფორისა და არალითონურ ჩანართების ამაღლებულ რაოდენობას. აქედან გამომდინარე,

ნამზადი ხასიათდება ფიზიკურ-ქიმიური და სასამსახურო თვისებების არაერთგვაროვნებით;

ბეწვზარები - ლითონში არსებული წვრილი არალითონური ჩანართებისა და აირის ბუშტების დეფორმაციისას ლითონის ზედაპირსა და ზედაპირქვეშა შრეებში წარმოქმნილი მაფისებრი არამთლიანობები - ზედაპირის დეფექტები (სურ. 46). ისინი წვრილი და სწორხაზობრივია, სიგრძით მილიმეტრის ნაწილებიდან რამდენიმე სანტიმეტრამდე, ხოლო სიღრმე იცვლება 0,5 - 1,5 მმ-ის ზღვრებში. ბეწვზარები გვხვდება ყველა საკონსტრუქციო ფოლადში;



სურ. 46. ბეწვზარები (გამოვლენილი მაგნიტურფხვნილოვანი მეთოდით)

განშრევეები - ჩაჯდომის ნიჟარებისა და სიფხვიერის მქონე ზოდების წნევით დამუშავებისას, ბოჭკოების გასწვრივ მიმართული, აგრეთვე ფურცლის გლინვისას შედარებით მსხვილი არალითონური ჩანართებისა და აირული ბუშტების გაბრტყელებისას წარმოქმნილი შინაგანი მთლიანობის დარღვევები (სურ. 47). შინაგანი მთლიანობის დარღვევის ზედაპირი

გლინვის სიბრტყის პარალელურია. განშრევიანი ნამზადებიდან დეტალების ცხელი შტამპვისას წუნი შესამჩნევი ხდება ფხების (ხიწვების) ჩამოჭრის შემდეგ;



სურ. 47. განშრევიანი რელსის ყელში

ქერცლები (ანატკეჩები) - ზედაპირის დეფექტი. ზოდის ზედაპირზე უკმარი სიმშვიდით ჩასხმისას მოხვედრილი და გამყარებული, ფოლადის ნასხმეებისა და შხეფების გლინვისას გაბრტყელებული და დეფორმაციის პროცესში შეუღულბელი, ნამზადის ზედაპირიდან აშრევიებული 1,5 მმ-მდე სისქის ფირები (სურ. 48).



სურ. 48. წნევით დმუშავებით შეუღულბელი აირის ბუმტი

ბუდისებრი დეფექტები (სიცარიელები) - ცხელი დეფორმაციისათვის ლითონის გახურებისას შინაგანი (თერმული) ბზარის გახსნით ნაგლინის ზედაპირზე წარმოქმნილი მოგლუვებული, დაჟანგულკედლებიანი, სხვადასხვა ზომისა და მოხაზულობის სიდრუები (სურ. 49).



სურ. 49. ბუდისებრი დეფექტები ფოლადის ნაგლინ ნამზადში

II. წნევით დამუშავების დეფექტები

ბზარები - ჭედვით (შტამპვით, გლინვით) ლითონის მნიშვნელოვანი დეფორმაციისას დიდი ძაბვებით გამოწვეული ნაჭედის (ნაშტამპის, ნაგლინის) ზედაპირული და შინაგანი ნარღვევები. გამჭიმავ შინაგან ძაბვებს, მათი საკმაო სიდიდისას, შეუძლიათ რღვევებისა და ბზარების წარმოქმნა ზოდის არა მხოლოდ დეფექტებით შესუსტებულ, არამედ დეფექტებით დაუზიანებელ ზონებშიც. წნევით დამუშავების პროცესში ნამზადის მრავალჯერადი გახურება-გაცივება იწვევს თერმული ძაბვების გაჩენას, რომლებიც ხელს უწყობენ შინაგანი რღვევებისა და ბზარების წარმოქმნას.

ცივი მოცულობითი შტამპვისას, საწყისი მასალების არასაკმარისი დეფორმირებადობისას, დასამუშავებელი დეტალის ზედაპირზე წარმოიქმნება მხლელი ბზარები, რომლებიც, ჩვეულებრივ, განთავსებულია ძვრის სიბრტყეში, მოქმედი ძალისადმი 45° -იანი დახრის კუთხით;

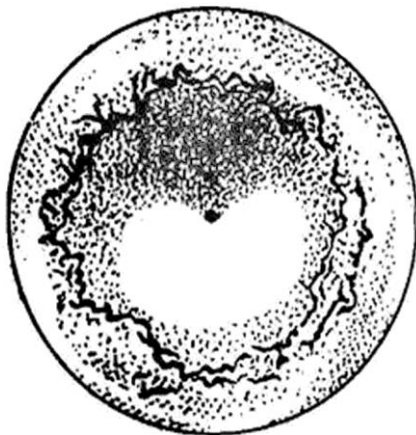
ჩანაგლეჯები - წნევით დამუშავებისას ლითონის ზედაპირზე (ნამზადის ნაპირებზე), მისი არასაკმარისი პლასტიკურობისას წარმოქმნილი უხეში ჩანახევები (სურ. 50).



სურ. 50. ნარღვევი ფოლადის ნამზადის ზედაპირზე

ჩანაგლეჯები ჩნდება მაშინ, როდესაც მოცემულ ტემპერატურაზე დასამუშავებელი ლითონის პლასტიკურობის რესურსი ვერ აკმაყოფილებს წინასწარ განსაზღვრულ დეფორმაციას. ისინი წარმოიქმნებიან, აგრეთვე, ლითონის სხვადასხვა შრის სხვადასხვა სიჩქარით დეფორმირების შედეგად. ჩანაგლეჯებისადმი განსაკუთრებით მიდრეკილია მაღალლეგირებული მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურის ფოლადები;

წინსწრების ბზარები - კონუსისებრი ფორმის მთლიანობის დარღვევა წნებით (ან ადიდვით) დამზადებული წნელის ცენტრალურ ზონაში (სურ. 51). ასეთი სახის დარღვევები წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, თუ ნამზადის გარე შრეების დინება, შიგა შრეებთან შედარებით, ხდება წინსწრებით;



სურ. 51. წინსწრების ბზარები ალუმინის შენადნობის წნელში

ჩანაგლინი - ნაგლინის დეფექტი, გრძივი შვერილის სახის. იგი წარმოიქმნება გლინებში (კალიბრებში) მიწოდებული ჭარბი ლითონის დეფორმაციისას ან “ულვაშის”, ჩამონაჭრის, უხეში კაწრულის ჩაწნევით (შეჭრით). დეფორმაციისას ნამეტი (ხიწვების სახით) გადაიკეცება და ისევ მიეჭირება ლითონის ზედაპირს. ჩაწნეული ნაკეცები ლითონის ზედაპირზე დიამეტრალურად საწინააღმდეგო მიმართულებით იგლინება;

ნაკეცი (შტამპვის) - შტამპვის პირველ გადასვლებზე ყალიბის ლითონით არასწორი შევსებისას (ლითონის შემხვედრი მოძრაობა) ან ხიწვის ჩაკეცვისას წარმოქმნილი დაშტამპული

ნაკეცი. მთლიანობის დარღვევის ეს სახე ზოგჯერ ადვილად დაიშორება დეტალის მექანიკური დამუშავებისას;

დათხელება და გაგლეჯა - ფურცლოვანი მასალის დათხელება და მისი გაწყვეტა შტამპვისას გამოჭიმვის ტექნოლოგიის დარღვევის შედეგად. ღრმა გამოჭიმვით დამზადებული დეტალების საექსპლუატაციო საიმედოობა განისაზღვრება მთლიანობის რღვევებისა და ბზარების არარსებობით და ზღვრულად დასაშვები დათხელების ხარისხით;

შენატყლეუი - ადგილობრივი ჩაღრმავებები ნამზადის ზედაპირზე წარმოქმნილი, საცემის, შტამპის, გლინის ზედაპირებზე გარეშე ნაწილაკების მოხვედრით;

კაწრულა - ნამზადის ზედაპირზე წნეხით, გლინვით ან ადიდვით წარმოქმნილი 0,2 - 0,5 მმ სიღრმის მცირე ზომის ღარაკები. მათი წარმოქმნის მიზეზია გარეშე ნაწილაკების მოხვედრა სამართულის ან შტამპის ზედაპირზე, ან წნეხისას მატრიცის ცვეთა; კაწრულები შეიძლება დარჩეს ნამზადის ზედაპირზე, როგორც კვალი ზოდის უხეში ზედაპირისა. მათი სიღრმე 0,2 - 0,5 მმ-ის ზღვრებშია;

ფლოკენები - ფოლადის შინაგანი დეფექტი, წვრილი კლაკნილი ბზარები, რომლებიც ვლინდებიან რღვევის რელიეფზე მომრგვალებული ფორმის ნათელი მოვერცხლისფრო ლაქების, ხოლო ამოჭმული შლიფის ზედაპირზე - ბეწვბზარების სახით. ისინი წარმოიქმნებიან წყალბადის ამაღლებული შემცველობის მქონე ზოგი მარკის (უმეტესად საშუალონახშირბადიანი და საშუალოლეგირებული) ფოლადის ნაგლინ და ნაჭედ ნაკეთობებში. ფლოკენები, ძირითადად, გვხვდება დიდი კვეთის

მქონე ნაჭედი და ნაგლინი ნამზადების ცენტრალურ ზონებში.
მათი ზომა ზოგჯერ, 50 მმ-მდეა;

ტორსული ბზარები - ბზარები ტორსებზე, წარმოქმნილი მაღალნახშირბადიანი ფოლადის მსხვილი კვეთის ნაგლინი პროფილების ჭრისას. ჭრის მომენტში, დანით განვითარებული დიდი კუთრი წნევის შედეგად, მრგვალი კვეთის თელვით ელიფსური ფორმის კვეთის მიღებისას, ლითონში აღძრული დიდი შინაგანი ძაბვების შედეგად, ნამზადი ტორსზე სკდება, ზოგჯერ ჭრიდან 2 - 6 საათის შემდეგ. ტორსული ბზარებით გამოწვეული წუნი მნიშვნელოვნად მატულობს ზამთრის პირობებში, ტემპერატურის დაცემისას. დაბალი ტემპერატურა ხელს უწყობს ლითონის დასკდომას წვრილი პროფილების ჭრის დროსაც კი. ტორსული ბზარების წარმოქმნის (შესაძლებლობის) მინიმუმადე დასაყვანად აუცილებელია ჭრის ოპტიმალური პირობების შერჩევა;

ზოდის ღერძული ზონის გადანაცვლება - დეფექტი, რომელიც წარმოიქმნება არათანაბრად გახურებული ზოდის დეფორმაციის, გრძივი ღერძის ირგვლივ გადაბრუნებისას არათანაბარი მოჭიმვებით ან დასმისას ღერძის გამრუდებით;

უკმარ(შე)ნაჭედი - მსხვილი კრისტალური სხმული სტრუქტურის არსებობა ნაჭედში;

ნომინალური ზომებიდან გადახრა - წარმოების ტექნოლოგიის დარღვევით გამოწვეული ნაგლინი, ნაწნეხი, ნაჭიმი ნახევარფაბრიკატების (ფურცლების, მილების, წნელების), ნაირსისქიანობა, დათხელება, გასქელება და ნარღვევები. უფრო ხშირად

ისინი ჩნდებიან ინსტრუმენტების (ფურცელსაგლინავი დგანის გლინების, ადიდვის დგანის სამართულების და მისთ.) არასწორად დაყენებისას.

დეფორმირებული პროდუქციის ძირითადი დეფექტები და მათი აცილების ხერხები მოცემულია № 2 ცხრილში.

წნევით დამუშავებისას მიღებული მსხვილგაბარიტული პროდუქციის უხეში გარეგანი დეფექტები (შენატყლეჟები, ნაგლეჯები, ზოგიერთი კაწრულა, ქერცლი, შემოჭედვა) ვლინდება ვიზუალურად, ხოლო ანალოგიური ტიპის უფრო წვრილი დეფექტების გამოვლენა ხდება ზედაპირული დეფექტოსკოპიით (მაგნიტურით, კაპილარულით, გრიგალდენიანით). შინაგანი დეფექტების გამოვლინების რადიაციულ მეთოდს იშვიათად იყენებენ. იგი ეფექტურია იმ შემთხვევებში, როდესაც დეფექტები მოცულობითი ხასიათისაა. დეფორმაციისას შეკუმშული შინაგანი დეფექტების გამოვლენა შესაძლებელია ულტრაბგერის მეთოდებით. გლინვისა და ადიდვის პროდუქტების კონტროლისათვის აუცილებელია კონტროლის მაღალმწარმოებლურობა.

ასეთ შემთხვევებში იყენებენ ულტრაბგერის, გრიგალდენიან, აგრეთვე ინდუქციურ, ფეროზონდულ და მაგნიტური კონტროლის მსგავს მეთოდებს. დამუშავების ცალკეული სახისათვის აუცილებელი ხდება ავტომატური კონტროლის მეთოდი. მაგ., ღრმა გამოჭიმვით მიღებული დეტალების საიმედოობა განისაზღვრება, ძირითადად, დეტალის უპირატესად დეფორმირებულ ზონებში, მასალის ზღვრულად დასაშვები დათხელების ხარისხით და არა ნარღვევების არსებობით.

ცხრილი № 2. დეფორმირებული პროდუქციის ზოგადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	კონტროლის მეთოდი	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
გაწმურვება - გლინვის სიბრტყეში არამთლიანობა	ზოდის (დეფორმაციისას): ჩაჯდომის ნიჟარა, ფციერობა, აირის ბუშტი	ულტრაბგერის	ლითონის მოცილება
წოდის ჩანართი	ზოდის დეფექტი	რადიაციული, ულტრაბგერის, გრგალდექნიანი	„
ბეწვზარა - წვრილი ზედაპირული შტრიხები (მაფისებრი არამთლიანობები)	წვრილი არალოთონური ჩანართებისა და აირის ბუშტების დეფორმაცია	მაგნიტური, გრიგალდექნიანი, ულტრაბგერის	„
ქერცლები	დეფორმირებული ჭარბნასხამი, ნამზადის ზედაპირიან შეუდუღებული ფირების ამრეგება	ვიზუალური, ულტრაბგერის	„
ლიკვაცია	ზოდის ზონალური ლიკვაცია	მეტალოგრაფია	„
ბუდისებრი დეფექტები - წწეცი დაბუმავებისას გახსნილი ბზარი	ცხელი დეფორმაციისას შინაგანი (თერმული) ბზარის გახსნა	ულტრაბგერის, მაგნიტური (ფეროზონდული), გრი-გალდექნიანი, რადიაციული	„

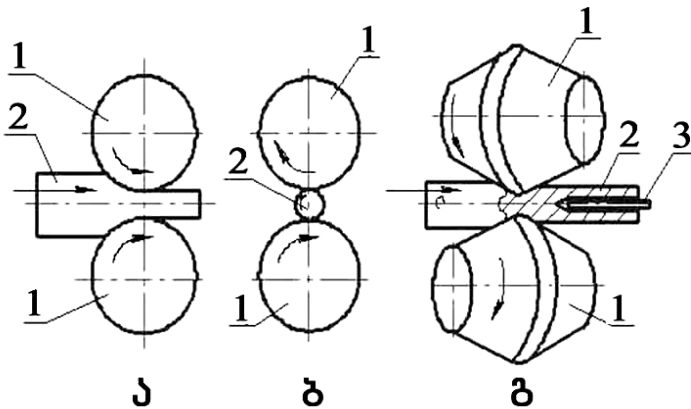
ცხრილი № 2-ის გაგრძელება

ჩანაგლეჯები - ნახევები ზედაპირზე	ზედაპირის არასაკმარისი პლასტიკურობა დეფორმაციისას	ზედაპირული, ულტრაბგერის	„
წინსწრების ბზარები - კონუსისებრი არამთლიან- ნობები ცენტრალურ ნაწილში	გლინვისას გარე შრეების წინმსწრები დინება	ულტრაბგერის, რადიაციული	„
შეფრონები - განაწვევები ცენტრალურ ნაწილში	ცენტრალური ნაწილის არა- საკმარისი პლასტიკურობა დეფორმაციისას	ულტრაბგერის, ფეროზონ- დული, გრიგალდენიანი, რადიაციული	„
დიაგონალური ბზარები	ნამზადის გარე შრეების წინ- მსწრები დინება ჭედვისას	ულტრაბგერის, მაგნიტური, გრიგალდენიანი	„
ჩანაგლინი - მცირე სიღრმის ნაკვები ნაგლინის ზედაპირზე	ლითონის ჩახვევა და მიჭერა დეფორმაციისას (გლინვის შუა- ლედურ სტადიაზე წარმოქმნილი ხიწვების შედეგში გლინვა)	ულტრაბგერის, მაგნიტური, გრიგალდენიანი	ამოჩეხა, ამოხეხვა
კაწრულები - მცირე ზომის ლარაკები, ნამზადის ზედაპირზე	უცხო ნაწილაკების მოხვედრა ინსტრუმენტის ზედაპირზე	ზედაპირული, ულტრაბგერის	„
ნომინალური ზომებიდან გადახრა - ნაირსისქიანობა, ნაირკედლოიანობა	ინსტრუმენტის არასწორი დაყენება (გაწელების, გლინვის და წახეხვისას)	ინსტრუმენტული გაზომ- ვები, ულტრაბგერის, მაგ- ნიტური, გრიგალდენიანი, რადიაციული	განმეორებით წნევით დამუშავება

ამდენად, ფურცლის შტამპვის მოცულობის ზრდასთან ერთად, აქტუალური ხდება გამოჭიმვისას ლითონის დათხელების ხარისხის ავტომატური კონტროლის პრობლემა.

4.7 გლინვა

დეფორმაციის კერაში ლითონის გადაადგილების ხასიათის მიხედვით, გლინვა იყოფა შემდეგ სახეებად: გრძივად, განივად და განივხრახნულად (სურ. 52).



სურ. 52. გლინვის ძირითადი სახეები: ა - გრძივი; ბ - განივი; გ - განივხრახნული
 1. გლინები; 2. ნაშადი; 3. დორნი

გრძივი გლინვისას ლითონი დეფორმირდება, ძირითადად, გრძივი მიმართულებით. დეფორმირება ხდება ერთნაირი სიჩქარით, ურთიერთსაწინააღმდეგოდ მბრუნავი გლინებით. მათი ღერძები ურთიერთპარალელურია და მათ შორის მანძილი, მუშაობის პროცესში, უცვლელი. ნაგლინი ნაკეთობების

უდიდესი ნაწილი (ფურცლოვანი და პროფილური ნაგლინი) გრძივი გლინვით იწარმოება.

განივი და განივხრახნული გლინვისას ლითონი დეფორმირდება ერთნაირი სიჩქარით, ერთმხრივ მბრუნავი გლინებით. განივხრახნული გლინვისას გლინების ღერძების დახრის შედეგად, ნამზადი ბრუნვით-წინსვლით მოძრაობს და უზრუნველყოფს დამუშავების პროცესის უწყვეტობას. მრეწველობაში განივი გლინვა გამოიყენება სპეციალური პერიოდული ნაგლინის მისაღებად, ხოლო განივხრახნული გლინვა გამოიყენება მიღების წარმოებაში.

4.7.1 გლინვის დეფექტები

სხმულებიდან პროფილების გლინვისას სხმულის დეფექტები ნაწილობრივ გადადის ნაგლინში სახეშეცვლილი ფორმითა და ზომებით. ამას შესაძლოა დაემატოს ინსტრუმენტის არასწორი ფორმით, ხარისხითა და გაცივების არასწორი რეჟიმით გამოწვეული ახალი დეფექტები. ისინი ვლინდებიან ნამზადებად დაცალკავებამდე, უშუალოდ ნაგლინში ან ნამზადებში.

ნაგლინი პროფილების უმეტესად გავრცელებული დეფექტები:

გრძივი ნაკაწრები და კაწრულები - გასაჭედი ან დასაშტამპი ფოლადის ნაგლინის ზედაპირზე 0,2 - 0,5 მმ სიღრმის გრძივი ნაკაწრები და კაწრულები (რომელთა ძირის დანახვა შესაძლებელია). მათი წარმოქმნის მიზეზი არის საგლინავი ინსტრუმენტის გაუმართაობა და, უმთავრესად, გასაგლინი ღეროს დგანის გლინების შესაბამის ღარულებში მიმმართველი გაყვანილობის არასწორად დაყენება. ნაკაწრების წარმოქმნის მიზეზი

შეიძლება იყოს, აგრეთვე, გლინების ზედაპირების ცუდი მდგომარეობა ან წარუმატებელი კონსტრუქცია;

ჩანაგლინები - 0,5 მზე მეტი სიღრმის ნაკვეცი ნაგლინის ზედაპირზე (სურ. 53). მათი წარმოქმნის მიზეზი შეიძლება იყოს გლინვის შუალედურ სტადიაზე წარმოქმნილი ხიწვების შემდგომი გლინვისას პროფილში ჩაწნევა და ნაკეცის სახით გლინვა ან გლინებში ღარულების ცვეთა;



სურ. 53. ჩანაგლინი ფოლადის ნამზადში

ქერცლები - ისინი წარმოიქმნებიან ისეთი ზოდის გლინვისას, რომელსაც ზედაპირზე აქვს ლითონის გამყარებული შხეფები (ფოლადის ჩამოსხმისას ბოყვის კედლებზე გაცივებული). გლინვისას ხდება შხეფების გაბრტყელება თხელ, 1,5 მმ-მდე სისქის ფირებად (ქერცლებად) და ლითონში ჩაწნევა. შემდგომი დამუშავების დროს ნაგლინის ზედაპირიდან მათი აშრეებისა და მოცილებისას, ნამზადის ზედაპირზე რჩება ჩაღრმავებები (ჭედვისას შესაძლებელია ჩაიჭედოს ლითონში და გამოიწვიოს ნაჭედის ნაწილებად დაყოფა);

ფლოკენები - ნაგლინის შუა ნაწილში განლაგებული ძალიან წვრილი (მმ-ის მესხედზე ნაკლები ზომის) ბზარები, ფიფქისებრი გროვების სახით (სურ. 54). რაც უფრო დიდი ზომისაა ცხელი დამუშავებით მიღებული ფოლადის ნაკეთობა, მით უფრო მეტია ფლოკენების წარმოქმნის ალბათობა (50 მმ-მდე ზომის ღეროებში ფლოკენები არ ჩნდება). ფლოკენი რღვევის რელიეფში ვლინდება მოვერცხლისფრო, მომრგვალებული, კრისტალური აგებულების ლაქის (0,5-დან 30 - 50 მმ-მდე) სახით. ფლოკენის წარმოქმნის მიზეზი არის ფოლადში გახსნილი წყალბადი. იგი, დაახლოებით 200°C-ზე, მიისწრაფის ლითონიდან გამოყოფისაკენ. ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად, მისი ხსნადობის შემცირება იწვევს მაღალ წნევებს და არღვევს ლითონს (წრთობისას ხდება ფლოკენებიანი ლითონის დასკდომა).



სურ. 54. ფლოკენები ნაჭედი ფოლადის რღვევის რელიეფში

ნაკეთობის ნიშანცვლადი დატვირთვისას ფლოკენი შეიძლება გახდეს მოულოდნელი რღვევის მიზეზი. ფლოკენიანი დეფექტები დამახასიათებელია ლევირებული ფოლადებისათვის. ფლოკენების წარმოქმნის ასაცილებლად საჭიროა დეფორმირებული ლითონის უწყვეტი შენელებული გაცივება. გაცივების ხანგრძლივობის დადგენა ხდება ცდებით ფლოკენმგრძნობიარე ფოლადების ნიმუშებზე. პრაქტიკაში ნაკეთობების გაცივება ხდება ჭებში ან ღუმელთან ერთად;

ბეწვზარები - წვრილი, ერთიდან რამდენიმე ათეული მმ-ის სიგრძის, გაჭიმული თმისებრი ნაღარები ნაგლინში. ხშირად მათ კედლებს შორის არის წიდის ჩანართები. ბეწვზარები შეიძლება იყოს ნაგლინის როგორც ზედაპირზე, ისე მის სიღრმეშიც. ზედაპირული ბეწვზარები წარმოადგენს სხმულის გაგლინულ დეფექტებს - ნიჟარების, აირის ბუშტების, ფორების, არალითონური ჩანართების, წიდის ნარჩენებისა და სხვა სახით. მათი წარმოქმნა შესაძლებელია დეფორმირების პროცესშიც. ბეწვზარები ყოველთვის არ ჩანს შეუიარაღებელი თვალით, მაგრამ ჭედვისას შესაძლებელია მათი გახსნა და ღრმა ბზარად გარდაქმნა.

მეტალურგიულ ქარხნებში ნაგლინიდან ზედაპირული ბეწვზარების მოცილება ხდება ლოჯებით, ზუმფარიანი (აბრაზიული) ქარგოლით და სხვ. ბეწვზარებიანი დეტალი ითვლება წუნდებულად;

განშრეკვები - ჩაჯდომის ნიჟარებისა და სიფხვიერის მქონე ზოდების წნევით დამუშავებისას (გლინვისას), ბოჭკოების გასწვრივ მიმართული, აგრეთვე ფურცლის გლინვისას შედარებით მსხვილი არალითონური ჩანართებისა და აირული

ბუშტების გაბრტყელებისას წარმოქმნილი შინაგანი მთლიანობის დარღვევები. ნარღვევი ზედაპირები გლინვის სიბრტყის პარალელურია. (განშრევებიანი ნამზადებიდან დეტალების ცხელი შტამპვისას წუნის ეს სახე შესამჩნევი ხდება ფხების ჩამოჭრის შემდეგ);

ბზარები (გლინვის) - არასაკმარისად გახურებული ზოდის გლინვისას ლითონურ ნაგლინზე წარმოქმნილი არამთლიანობები. ბზარები შეიძლება წარმოიქმნას მზა ნაგლინში მისი ტრანსპორტირებისას და გლინვის შემდეგ სწრაფი (მკვეთრი) გაცივებისას ან უბრალოდ უარყოფით ტემპერატურებზე შენახვისას.

ცხლადნაგლინი წნელების, პროფილების, ნაგლინი მავთულების და ცივნაჭიმი წნელებისა და მავთულების დამახასიათებელი დეფექტია ზედაპირული ბზარები. ისინი უფრო ხშირად განლაგებულია გრძივი ღერძის გასწვრივ და მასალის სიღრმეში ვრცელდებიან პერპენდიკულარულად ან დახრილად. მათი წარმოშობა და განლაგება განპირობებული სხვადასხვა მიზეზით. ამიტომ აუცილებელია (ცალკეული მიზეზიდან გამომდინარე) ისეთი ტექნოლოგიური პროცესის შემუშავება, რომელიც გამორიცხავს გრძივი ზედაპირული ბზარების გაჩენას.

გრძივბზარებიანი პროდუქციის ხარისხის შეფასება დამოკიდებულია ბზარების სახეზე, სიღრმეზე, რაოდენობაზე, განლაგების სიხშირეზე და, ასევე, მის დანიშნულებაზე. დეტალების დამზადებისას მასალის ზედაპირის ჭრით დამუშავების დროს ზედაპირულ ბზარებს დიდი მნიშვნელობა არ აქვს იმ

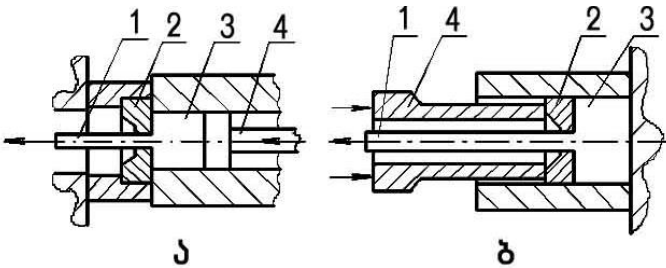
შემთხვევაში, როცა ბზარების სიღრმე მექანიკური დამუშავებისას ნაკლებია მოსაცილებელი შრის სიღრმეზე. ზედაპირის შრის მოუცილებლად, ადიდვის ან სხვა სახის შემდგომი დეფორმაციისთვის განკუთვნილ ნამზადებზე ზედაპირული ბზარები არასასურველია. ასეთი დანიშნულების ნამზადებს განსაკუთრებით მაღალი ხარისხი მოეთხოვება.

გარდა ჩამოთვლილი დეფექტებისა, ნაგლინში შესაძლოა გადავიდეს ზოდში არსებული არალითონური ჩანართები. ისინი, გლინვისას, შეიძლება აღმოჩნდნენ ნაგლინის შუაგულში და მათი გამოვლენა, ისე როგორც ფლოკენებისა, შესაძლებელია ნაგლინის ჭრილების ზედაპირებზე. შეჭრები, ნაკაწრები და კაწრულები წარმოიქმნება გლინვისას ისეთ გლინებში, რომლებსაც ზედაპირზე აქვს ანაგლეჯები, ხიწვები, შენატყლეუები და სხვა დეფექტები.

დაუშვებელია დეფექტებიანი ნამზადების განთავსება ქურაში ან სახურებელ ღუმლებში, რადგან გახურებისას ისინი აუცილებლად გაიხსნებიან. დეფექტებიანი ნამზადის ჭედვით დამზადებული მანქანის დეტალი სწრაფად ტყდება და შეიძლება ავარიის გამომწვევი მიზეზი გახდეს. სამკედლოებში მიწოდებული ნაგლინის ზედაპირული დეფექტების გამოვლენა, ძირითადად, ხდება ზედმიწევნით გაწმენდილი ნაგლინის ან ნამზადის დათვალიერებისას. რაიმე სახის დეფექტის გამოვლენის შემთხვევაში მას ამოჩეხენ ღოჯით, წმენდენ აბრაზიულ სალეს ჩარხებზე, ზოგჯერ დეფექტებს ასწორებენ ცხელ ნაჭედებზეც.

4.8 წნეხა

წნეხისას ლითონი გამოიწნევება ჩაკეტილი სიდრუიდან ნახვრეტში და მიიღება ღერო ან ინსტრუმენტის კვეთის შესატყვისი პროფილური მილი. წნეხის საწყისი მასალაა ზოდები ან ცალკეული ნამზადები. არსებობს წნეხის ორი მეთოდი - პირდაპირი და შექცეული. პირდაპირი წნეხისას პუანსონის მოძრაობა და ლითონის ნახვრეტში გამოდინება ხდება ერთი და იმავე მიმართულებით (სურ. 55 ა). შექცეული წნეხისას ნამზადს ათავსებენ უძრავ, ყრუ კონტეინერში. ძალის მოდების შემდეგ ლითონი გამოდინება ღრუ პუანსონის ბოლოზე დამაგრებული მატრიცის ნახვრეტიდან, პუანსონის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით (სურ. 55 ბ).



სურ. 55. ღეროს წნეხის სქემები: ა - პირდაპირი წნეხა; ბ - შექცეული წნეხა. 1 - მზა ღერო; 2 - მატრიცა; 3 - ნამზადი; 4 - პუანსონი

4.8.1 წნეხის დეფექტები

წნეხით მიღებული ნაჭედების წუნის სახეებია:

საწყისი მასალიდან წარმოქმნილი წუნი - გახურებისა და შემდგომი ამოჭმისას ნაჭედების ზედაპირზე წარმოქმნილი კაწრულები - წვრილი ღია ბზარები;

შენატყლეუები - ნაჭედებში დამტამპული (ჩაწნეული) და შემდგომ ამოჭმული ან ჩამოცლილი ხენჯის კვალი. ზოგჯერ მათი სიღრმე 3 მმ-ს აღწევს. ისინი მექანიკური დამუშავებისას იწვევენ წუნს ან ამცირებენ მუშა კვეთს დეტალის შავ (დაუმუშავებელ) ადგილებზე. მათი გამომწვევი მიზეზია შტამპის ღარულებში ნამზადების ჩაწყობამდე ნამზადიდან ცუდად აცლილი ხენჯი;

ამონაგლეუები - ნაჭედების მექანიკური დაზიანებები. მათი გამომწვევი მიზეზი შეიძლება იყოს: გაჩხირული ნაჭედის ამოღება შტამპის სიღრუიდან, ცხელი ნაჭედების გადასროლა ან ჩამოსაჭრელ შტამპებში უცხო საგნების მოხვედრა;

ნატეხ-ნალეწი - ნაჭედის დეფექტი, რომელიც წარმოიქმნება შტამპის ქვედა ფიგურაში განთავსებამდე ან მისგან დამრულ ნამზადზე დარტყმის შედეგად;

არასრული ფიგურა - იგი წარმოიქმნება შტამპის საბოლოო (სასუფთაო) ღარულის ლითონით შეუვსებლობისას, უმთავრესად, შვერილებთან, კუთხეებთან, მომრგვალებებთან და წიბოებთან. წუნის წარმოშობის უმთავრესი მიზეზი შეიძლება იყოს: ნამზადის არასაკმარისი გახურება, დარტყმების არასაკმარისი რაოდენობა (მომრგვალებისა და საბოლოო შტამპვისას), მუშაობა ისეთ უროზე, რომლის ვარდნილი ნაწილის წონა არასაკმარისია, გაცვეთილი შტამპი (რომლისთვისაც ნამზადის ნორმალური მოცულობა არასაკმარისია), წარუმატებელი კონსტრუქციის შტამპი, ნამზადის არასაკმარისი წონა ან სიგრძე, აგრეთვე პროფილის შეუსაბამობა (მაგ., მრგვალი პროფილი კვადრატის ნაცვლად);

უკმარწნება - ნაჭედის გადამეტებული (მოთხოვნილთან შედარებით) ზომა ძირითადი გასართი სიბრტყის პერპენდიკულარული მიმართულებით (ანუ უროზე კუტის სვლის მიმართულებით, საჭედ მანქანაზე - პუანსონის და ა.შ.). წუნის მიზეზია: დარტყმების არასაკმარისი რაოდენობა შტამპვისას, შტამპვა არასაკმარისი გახურებით, არასაკმარისი წონის ვარდნილი ნაწილის მქონე უროზე მუშაობა, არასაკმარისი ამონადები ხიწვებისათვის შტამპში, ნამზადის ზომაზე მეტი წონა ან გაზრდილი პროფილი;

გადახრა - გასართ სიბრტყეზე ნაჭედის ერთი ნახევრის მეორე ნახევრიდან წანაცვლება. ამ სახის წუნი ჩნდება მოწყობილობის (პარალელობის შესუსტება და მიმმართველებში კუტის ღრეჩოს გაზრდა, სადგარის შაბოტში ჩასმის შესუსტება და მისთ.) და შტამპების უწესივრობის დროს (გვერდზე მოქცეული მიმმართველები, გაცვეთილი სამაგრი სიბრტყეები, შტამპების არასრულყოფილი-გაუწონასწორებული დამაგრება და მისთ). უროზე და წნეხზე შტამპვისას გადახრები შეიძლება იყოს გრძივი და განივი. საჭედ მანქანაზე გამოტვიფრვის დროს გადახრა იქმნება გვერდითი მატრიცების წანაცვებისას, ხოლო ექსცენტრულობა - პუანსონის მატრიცაში ჩაჭერილი ნამზადის ღერძიდან გადახრა;

ნაკეცი (შტამპვის) - დაშტამპული ნაკეცი, რომელიც წარმოიქმნება საბოლოო ღარულის ლითონით არასწორად შევსების (ლითონის შემხვედრი მოძრაობა) ან პირველი გადასვლების დროს წარმოქმნილი ხიწვების ჩაწნევისას. მისი წარმოშობის მიზეზია: ნამზადების ექსცენტრულად დაწყობა საწყის და საბოლოო ღარულებში; მკვეთრი დარტყმები გაწელვის ან შეჭედვის დროს (ნამზადის სიგრძეზე შესქელებების მიღებისას); წინასწარ

ღარულში ან შტამპში გადახრები; უწესივრო შტამპზე ან უწესივრო მოწყობილობებზე მუშაობა, აგრეთვე შტამპის წარუმატებელი კონსტრუქცია, როდესაც მოსამზადებელი გადასვლები შეუთანხმებელია საბოლოო ფიგურასთან. ექსპლუატაციისას ნაკეცებით გამოწვეული აღმოუჩენელი წუნი იწვევს ავარიებს;

ხიწვი - ფხის ჩამოუჭრელი ნარჩენი, რომელიც რჩება ჩამოსაჭრელი და საჭედი შტამპების შეუსაბამობებისა და ცუდი მორგებისას. ასეთი სახის წუნს, ძირითადად, იწვევს შტამპების ცუდი დაყენება ან ნაჭედების წანაცვლება ჩამოსაჭრელ მატრიცაზე დაწყობისას;

სიმრუდე - ჩამოსაჭრელი რთული კონტურის ან მცირე კვეთისა და დიდი სიგრძის მქონე ნაჭედების დეფექტი. წუნს იწვევს, ძირითადად, უწესივრო ჩამოსაჭრელი პუანსონები ან შტამპების წარუმატებელი კონსტრუქცია, აგრეთვე ნაჭედების ამოღება შტამპებიდან, ნაჭედების თერმული დამუშავებისათვის გახურება და გაცივება ჰორიზონტალურ მდგომარეობაში. იგი გამოსწორებადი დეფექტია. სიმრუდის აცილება შესაძლებელია თერმული დამუშავების ჩატარებით დაკიდებულ (ვერტიკალურ) მდგომარეობაში ან ტექნოლოგიაში სპეციალურად გათვალისწინებული (გა)სწორებით;

ზომების დარღვევა (შესუსტება) - ზომებზე დაშვების სიდიდიდან გადახრა. მისი წარმოშობის მიზეზებია: დამუშავებაზე არასაკმარისი ნამეტი; დეტალის მუშა კვეთის შემცირება ე.წ. შავ ადგილებზე (ადგილები, რომლებიც შემდეგ მექანიკურად არ მუშავდება. ზომების შესუსტება ხდება დიდი ზომის ხენჯის არსებობისას ან გაცვეთილ შტამპში, რომლებიც დეტალის ცალკეულ ადგილებზე ელიფსურ და დამახინჯებულ კვეთებს

იმღვევა); მეტისმეტი წონის ვარდნილი ნაწილის მქონე უროზე მუშაობა ან ჩამოსაჭრელი შტამპების დაუდევარი გამართვა (ცალგვერდა ჭრა). დეფექტი არაგამოსწორებადია;

სიგრძეზე გადახრა - გრძივი ზომის ცვლილება, რომელიც დამოკიდებულია უროზე ან წნეხზე ჭედვისას ტემპერატურის შემცირებაზე; გამოტვიფრვისა და ღუნვისას ნამზადის სიგრძის სტაბილურობაზე; გამოსატვიფრ და საღუნავ შტამპებში საბ-ჯენების კონსტრუქციასა და დაყენებაზე. აგრეთვე მრუდმხარა ცხელი შტამპვის წნეხებზე, ფიგურის შეუვსებლობაზე. მისი გამომწვევი მიზეზია: საპოხის წვის პროდუქტების დაგროვება საბოლოო დარულის ქვედა სიღრუეებში; მაღალ შვერილებსა და წიბოებზე შტამპების სადგმელში აირსარინი ნახვრეტების არარსებობა ან მათი არასწორი განთავსება;

ნაჭედების დაბრეცა - დეფექტი, რომელიც შესაძლებელია წარმოიქმნას უმცირესი (0,5-დან 2⁰-მდე) დახრის კუთხის მქონე პერიმეტრზე გაჩხირული ნაჭედის შტამპის სიღრუიდან ამოღებისას (განსაკუთრებით ვლინდება დიდი ზედაპირისა და თხელი კვეთის ნაჭედებზე);

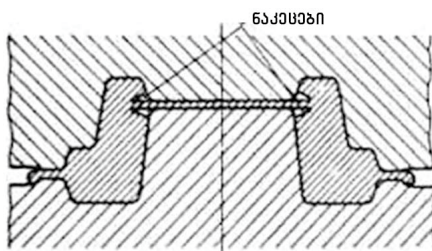
საბიძგებელას კვალი - ღრმა შენატყლეჟი ან მაღალი შვერილი ნაჭედზე. ვლინდება, შესაბამისად, დაგრძელებულ ან დამოკლებულ საბიძგებელას შემთხვევაში;

მომატებული ზომა - დეფექტი, რომელიც ჩნდება ნამზადის დიდი კვეთის მცირე კვეთზე გადასვლის დროს ინტენსიური გამოდინების ადგილებზე, შტამპის სწრაფი ცვეთის შედეგად;

ხიწვის ნარჩენები - დეფექტი, რომელიც წარმოიქმნება ნაწნეხი ნაჭედების ჩამოჭრის ცუდ პირობებში (ლითონი ხიწვში

განედინება უკეთესად, ვიდრე ფიგურაში. ამდენად, ხდება ხიდის ნაწიბურის სწრაფი ცვეთა, პირველსაწყისთან შედარებით მატულობს ჩამონაჭრის სისქე, რომლის ზომაც, სამუშაო პირობების გათვალისწინებით, ისედაც მეტობით აიღება, ვიდრე უროშტამპებში);

ნაკეცები - სისტემატური დეფექტი, რომელიც ვლინდება შტამპში ღარულების შეუთანხმებლობის ან კონსტრუქტორის მიერ დაშვებული სხვა შეცდომის შემთხვევაში (სურ. 56).



სურ. 56. ნაკეცები (სქემა)

იგი, უროზე შტამპვისგან განსხვავებით, თითქმის არ არის დამოკიდებული მშტამპავზე. ზღუდარიდან ლითონის გამოდინებით ან შტამპზე ფიგურების წყვილ-წყვილად, "ვალეტისებრად" განთავსებისას უფრო ხშირად წარმოიქმნება "გაგანიერებული" სახის ნაკეცები. ნაკეცების ასაცილებლად, შტამპში ზღუდარების ადგილებზე ითვალისწინებენ ამონალებებს ან "ჯიბებს", რომლებშიც შეიძლება განთავსდეს ნაჭედის კვეთებში ნაჭარბი ლითონი;

გამოწნევით შტამპვის წუნი - სიფხვიერე (ფაშარწნეხა), რომელიც წარმოიქმნება (უშუალოდ პუანსონის ქვეშ) ლითონის ზედა შრეების (გან)დინების მიმართულების (ჰორიზონტალურის -

ვერტიკალურზე) ცვლილებისას. მისი აცილება ხდება შტამპვის სიჩქარის შემცირებით;

გაგანიერება - ნაკეცის სახე, იგი შტამპვის გამოშვებული ნაწილის ქვევიდან (პუანსონის ქვეშ), პუანსონის წიბოს არასაკმარისი მომრგვალებისას, ლითონის ინტენსიური განდინების შედეგია;

ანახლეჩი (ანახეთქი) – არის ორი სახისა გარე და შიგა. გარე ანახლეჩი შესაძლებელია წარმოიქმნას პირდაპირი გამოწნევის პროცესისას, ე.წ., “მკვდარი ზონების” საზღვრებზე (მატრიცის კონტინერის ჩაღრმავებაში გადასვლის კუთხეებში); მატრიცის დიდი შემავალი კუთხეების გამო დეფორმირებად ლითონში მკვდარი ზონების წარმოქმნისას. წუნის აცილება ხდება დეფორმირების სიჩქარის შემცირებით. ნაჭედის ზედაპირზე ანახლეჩების წარმოქმნა მეტყველებს მატრიცის კედლებზე დიდი გარე ხახუნის არსებობაზე. მისი აცილება ხდება მატრიცის კედლების პოლირებით, შესაბამისი საპოხის გამოყენებით და დეფორმირების სიჩქარის სწორად შერჩევით. “შიგა ანახლეჩი” წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, როდესაც ლითონი ძალიან პლასტიკურია, ხახუნის კოეფიციენტი არის მცირე, ხოლო შემავალი კუთხე - დიდი.

შტამპების კონსტრუირებით გამოწვეული წუნი - კონსტრუირების დეფექტი, რომლის დამახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს ერთი და იმავე სახის წუნის სისტემატურად განმეორება. წუნის ყვლაზე უფრო გავრცელებელი სახე არის არასაკმარისი ნამეტი დამუშავებაზე. იგი ვლინდება მექანიკურად დამუშავებული ზედაპირის გარკვეული ნაწილების “სიშავით”, სიშავის არარსებობისას, რბილი - ლაქებით (გაუნახშირბადოებული შრის არასრულყოფილად მოხსნის გამო) და

არასაკმარისი სისალით, მაღალი სიხშირის დენებით წრთობისას.

უვარგისი მაკროსტრუქტურა - ბოჭკოების არასწორი მიმართულების მიკროსტრუქტურა ძირითადი სამუშაო ჭრილების (განივკვეთების) ამოჭმულ კვეთებზე. საჭედი შტამპების კონსტრუირების დროს საწყისი ნამზადის ზომებისა და ფორმების შერჩევას, კატეგორიულად იკრძალება, რომ ბოჭკოს მიმართულება დაემთხვეს, ექსპლუატაციისას, დეტალში წარმოქმნილი სამუშაო ძაბვების განივ მიმართულებას. დაუშვებელია აგრეთვე დეტალის დამაბული კვეთების გადაკვეთა საწყისი ნაგლინის ცენტრალური დაბინძურებული ზონის ბოჭკოებით.

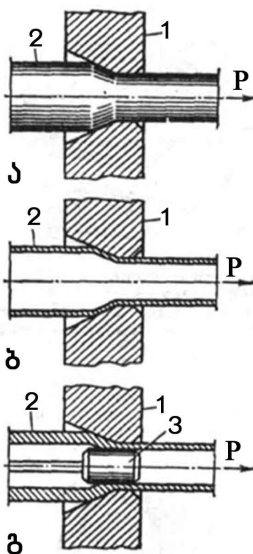
შტამპების სისტემატური გადახრა - დეფექტი, რომელსაც იწვევს შტამპებში მიმმართველების არარსებობა ან გართვის ხაზის არასწორად შერჩევა.

შტამპის ფიგურის სისტემატური შეუვსებლობა - შტამპის ფიგურის განსაკუთრებით მაღალი შვერილების, წიბოების და "კუთხეების" სისტემატური შეუვსებლობა. დეფექტის აცილება ხდება შტამპებში საწყისი და საბოლოო ღარულების ზომების სწორი შეხამებით.

ნაკვეცების სისტემატური წარმოქმნა ნაჭედის განსაზღვრულ ადგილებში. დეფექტი, რომელიც წარმოიქმნება საღუნო ღარულას მომრგვალების რადიუსის საწყის და სასუფთაო ღარულებში, ფიგურის კონტურთან შეუსაბამობისას.

4.9 ადიდვა

ადიდვა გამოიყენება მთელ სიგრძეზე მუდმივი განივკვეთის მთლიანი ან ღრუ დეტალების მისაღებად. ადიდვა არის ლითონების წნევით დამუშავების პროცესი, რომლის დროსაც საწყისი ნამზადის განივკვეთზე ნაკლები განივკვეთის ნახვრეტში (არხში) გათრევით მრგვალი ან ფასონური პროფილის ნამზადი გაიწელება (სურ. 57).



სურ. 57. ადიდვის პროცესის სქემა : ა) მრგვალი კვეთის მავთულისა და ღეროს ადიდვა; ბ) მილის ადიდვა კედლის სისქის შეუმცირებლად; გ) მილის ადიდვა კედლის სისქის შემცირებით.

1. ადიდა;
2. გასაჭიმი ნაკეთობა;
3. სამართული

ადიდას არხის განივკვეთის ფორმა შეესაბამება ან ახლოა გასაჭიმში ნამზადის განივკვეთის ფორმასთან. ნამზადის განივკვეთი მდოვრედ მცირდება ინსტრუმენტის შესავალი ადგილიდან გამოსავლის ადგილამდე. გამოსავალი ადგილის განივკვეთი ყოველთვის ნაკლებია გასაჭიმში ლითონის განივკვეთზე. ადიდვისას ნამზადი დეფორმირდება და გამოსვლის შემდეგ იღებს არხის უმცირესი კვეთის ფორმასა და ზომებს. შესავლიდან გამოსასვლელამდე მცირდება მისი განივკვეთი, სიგრძე კი მატულობს.

ადიდვა ფართოდ გამოიყენება წნელოვანი ლითონის, მავთულის, მილებისა და სხვათა წარმოებაში. მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენი ამოცანა ლითონური ნაკეთობის თბური პროცესებით დამზადება-დამუშავების დეფექტების ანალიზსა და მათი თავიდან აცილების მეთოდებს შეეხება, გვინდა მოვლედ განვიხილოთ ადიდვის პროცესებიც, რადგან ადიდვა ხშირად არამსხვილ საწარმოებშიც კი ნაკეთობის შიგა მოხმარებისთვის ლითონების წნევით დამუშავების გავრცელებული მეთოდია. ყურადღებას შევაჩერებთ მრგვალი კვეთის მავთულისა და მილების ადიდვაზე.

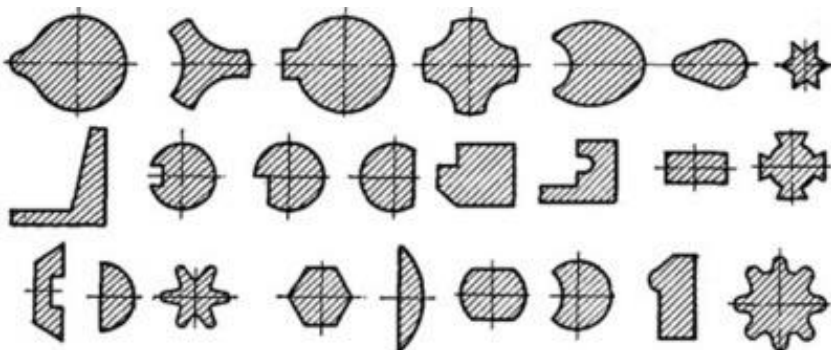
ადიდვა, ძირითადად, ცივ მდგომარეობაში ხდება, ცხელში - იშვიათად. უმრავლეს შემთხვევაში ადიდვა, ჩვეულებრივ, ოთახის ტემპერატურაზე ხდება. სათანადო საპოხისა და ინსტრუმენტის გამოყენებისას გაჭიმულ ლითონს აქვს ბზინვარე ზედაპირი და განივკვეთის საკმაოდ ზუსტი ზომები. ზოგ სპეციალურ შემთხვევაში, როდესაც დეფორმირებადი ლითონი (ოთახის ტემპერატურაზე) არასაკმარისად პლასტიკურია ან აქვს პლასტიკური დეფორმირებისადმი განსაკუთრებული წინაღობადობა, ადიდვისათვის გამოიყენება წინასწარ გახურებული

ნამზადი. ცხელი ადიდვის პროცესი გამოიყენება აგრეთვე ძალიან რთული პროფილების გაწელვისას, როცა მოთხოვნებით დასაშვებია მიღებული ზედაპირის სისუფთავე, მექანიკური თვისებები და ზომების სიზუსტე.

ადიდვა შეიძლება როგორც ერთ ინსტრუმენტში, ისე სპეციალურ მოწობილობაში, რომელშიც გაკეთებულია რამდენიმე ნახვრეტი. ასეთ მოწყობილობას საადიდვო დაფას, ადიდას ან მატრიცას უწოდებენ. გარდა ამისა, ადიდვა შეიძლება როგორც ერთი ინსტრუმენტის, ისე რამდენიმესი ერთდროულად გაფლისას. პირველ შემთხვევაში ადიდვას ერთჯერადი ეწოდება, ხოლო მეორეში - მრავალჯერადი.

ადიდას დასამზადებლად გამოიყენება საიარაღო ფოლადი, სალი შენადნობები, აგრეთვე ტექნიკური ალმასები. ადიდვისათვის გამოიყენება ერთჯერადი და მრავალჯერადი ადიდვის სპეციალური დგანები. ადიდას ნახვრეტში ხახუნის შესამცირებლად ნამზადი იპოხება მინერალური ზეთებით, გრაფიტით ან სხვა ნივთიერებებით.

ადიდვას იყენებენ სუფთა (გლუვი პრიალა) ზედაპირისა და ზუსტი გეომეტრიული ფორმის განიკვეთის მავთულის (16 - 0,002მმ), სხვადასხვაგვარი პროფილის წნელებისა და მიღების (მზადდება, ძირითადად, 0,05 - 15 მმ კედლის სისქის, მილიმეტრის რამდენიმე მეათედიდან 400 - 500 მმ-მდე დიამეტრის მიღები) დასამზადებლად (სურ. 58).



სურ. 58. ადიდვით მიღებული პროფილები

ლითონის ნამზადის ნახვრეტში გათრევისას, პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად, ნაკეთობა განიცდის ცივჭედვას. ამ დროს ლითონი მტკიცდება, ხოლო პლასტიკურობა მცირდება. ლითონის პლასტიკურობის აღსადგენად საჭიროა ნაკეთობის (უპირატესად მავთულის) მოლბობა.

ადიდვის ტექნოლოგიური პროცესის ძირითადი ოპერაციებია:

1. წინასწარი თერმული დამუშავება (ფოლადისათვის პლასტიკურობის მინიჭება);
2. დეკაპირება - ნამზადის ზედაპირის მომზადება ამოჭმით;
3. ადიდვა;
4. ზედაპირის გამოყვანა.

ადიდვის სიჩქარე მცირე კვეთის პროფილებისათვის არის 20 - 26 მ/წთ, ხოლო დიდი კვეთის პროფილებისათვის - 2 - 6 მ/წთ.

ლითონის სახიდან, ნაკეთობის ზომებიდან, წარმოების მოცულობიდან და ა.შ. გამომდინარე, საწარმოო პრაქტიკაში ადიდვის მრავალ ხერხს იყენებენ, შესაბამისად, მრავალგვარია ადიდვის პროცესების დაყოფაც:

ადიდვის ტიპის მიხედვით: გამოყენებული საპოხის მიხედვით არსებობს ადიდვის ნათლად განსხვავებული ორი მეთოდი – მშრალი და სველი.

– მშრალი. ამ შემთხვევაში მავთულს ატარებენ ადიდას წინ განთავსებულ ბუნკერში, რომელიც შევსებულია მშრალი საპოხით - საპნის ფხვნილით;

– სველი. მავთულს ატარებენ საპნის ემულსიაში;

დამუშავების სისუფთავის მიხედვით: მზა ნაკეთობისათვის მოთხოვნილი ფორმის, ზომისა და ხარისხის მისანიჭებელი პირველადი (მოსამზადებელი) ოპერაცია და სასუფთაო (დამამთავრებელი) ოპერაცია;

გადასვლების ჯერადობის მიხედვით: ერთჯერადი და მრავალჯერადი (სხვადასხვა ზომის რამდენიმე ადიდაში ერთი ნამზადის თანმიმდევრობითი გადასავლა);

დამუშავების პარალელურობის მიხედვით: ერთმაფიანი და მრავალმაფიანი (2, 4, 8 რაოდენობის ნამზადის ერთდროულად გაწელება);

ადიდას მოძრაობის მიხედვით: უძრავი და გრძივი ღერძის მიმართ მბრუნავ ადიდაში გავლა;

დეფორმაციის თერმული პირობების მიხედვით: ცხელი, თბილი, ცივი და დაბალტემპერატურული ადიდვა:

– ცივი ადიდვა - ადიდვა ოთახის ტემპერატურაზე;

– ცხელი ადიდვა - ადიდვა რეკრისტალიზაციის ტემპერატურაზე მაღალ ტემპერატურულ პირობებში. გამოიყენება ჩვეულებრივ ტემპერატურაზე დაბალი პლასტიკურობის მქონე

ლითონებისა და შენადნობებისათვის (ვოლფრამი, მოლიბდენი, ტიტანისა და ალუმინის ზოგი შენადნობი და სხვ.);

– თბილი ადიდვა - ადიდვა რეკრისტალიზაციის ტემპერატურამდე ან მის ახლო ტემპერატურულ პირობებში;

– დაბალტემპერატურული ადიდვა - ადიდვა -60°C დან -180°C -მდე (ამაღლებს აუსტენიტის სტაბილურობას, პლასტიკურობას და აუმჯობესებს გაწეილი ლითონის მექანიკურ თვისებებს აუსტენიტურ და აუსტენიტურ-ფერიტულ შენადნობებში).

4.9.1 ადიდვის დეფექტები

წნევით დამუშავების პროცესში ხდება ლითონების ზედაპირული დეფექტების ზომების ცვლილება. ზოგადად, ზედაპირის დეფექტების ფორმირება დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: დეფორმაციის კერის ზომებზე, დეფექტის კვეთის ზომებზე, რეჟიმებისა და ლითონების წნევით დამუშავების სახეზე. დამუშავების რეჟიმის ცვლილებით შესაძლებელია მზა ლითონის ზედაპირული დეფექტების ქცევის მართვა. მოცულობითი დეფექტები, უმეტეს შემთხვევაში, გარდაიქმნება ბრტყელ დეფექტებად - ბზარებად ან ჩანაგლინად.

მავთულის თვისებებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ზედაპირის ხარისხი. იგი ხასიათდება სიმქისის ელემენტებისა და დეფექტების ზომებით. ზოგადად, ადიდვის ყველა დეფექტი გაყოფილია ორ ჯგუფად: მოცულობითი დეფექტები (ღრმულები: კაწრულები, ნიჟარები და სხვ.); ბრტყელი დეფექტები (არამთლიანობები: ჩანაგლინები, ბზარები და ა.შ.).

მავთულის ადიდვისას საკონტაქტო ზედაპირზე მუდმივად ცვალებადი პირობებია. ჯერ კაწრულების, ნიჟარების, ცვეთის ბზარების წარმოქმნა, შემდგომ ადიდას არხის მუშა ზედაპირის ხარისხის გაუარესება, ასევე ტექნოლოგიური საპოხის მყარი მინარევებით დაბინძურება, რაც იწვევს ხახუნის ძალების მატებას და ზედაპირის ხარისხის გაუარესებას. ყველა ეს ფაქტორი იწვევს, ძირითადად, მავთულის ზედაპირზე კაწრულების წარმოქმნას. კაწრულების წარმოქმნის მიზეზი შეიძლება იყოს ასევე ადიდვის პირობების არასიმეტრიულობა, რომელსაც განაპირობებს ადიდების გადახრა ადიდვის ღერძიდან. განვიხილოთ მათი წარმოქმნის პირობები, მოქმედების თავისებურებები და გავლენა დეფექტების ჩამოყალიბებაზე. ადიდვისას ლითონის ზედაპირზე კაწრულები, ძირითადად, ჩნდება კორძებით - ინსტრუმენტზე მიწებებული ლითონის ნაწილაკებით დაკაწრისას. კორძი, როგორც წესი, ჩნდება ადიდას არხის მუშა ზედაპირზე, დეფექტების ან უსწორმასწორობის განთავსების ადგილებში. კორძის წარმოქმნის მიზეზი შეიძლება გახდეს აგრეთვე ადიდვისას ტექნოლოგიურ საპოხში არსებული მყარი მინარევები, რომლებიც წარიტაცებიან მავთულით დეფორმაციის კერაში. მავთულის გადახრა ადიდვის ღერძიდან, განსაკუთრებით ადიდას არხის გამოსავალზე, აუარესებს გაპოხვის პირობებს კონტაქტის ზედაპირზე, დეფორმაციის კერაში. ხელს უწყობს კაწრულების წარმოქმნას, უპირატესად, გადახრის მიმართულებით.

მავთულის კაწრულების ზომა და რაოდენობა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: ადიდას არხის მუშა ზედაპირის დეფექტებისა და სიმქისის ზომასა და რაოდენობაზე; მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის გამოსავალზე, მავთულის ადიდვის ღერძიდან

გადახრის სიდიდეზე; ტექნოლოგიურ საპოხში მყარი ნაწილაკების რაოდენობასა და ზომაზე. გარდა ამისა, ზედაპირის ხარისხზე მოქმედებს ისეთი შემთხვევითი ელემენტები, როგორცაა მავთულის ზედაპირიდან ლითონის თხელი ქერცლის აშრევა, ადიდას არხის მუშა ზედაპირის გაუარესება (მაგ., სალი მასალის ცვეთის შედეგად კარბიდების ცალკეული მარცვლის ამოფხვნა), მავთულის წინა ბოლოს ვიბრაცია და სხვა. დეფექტების რაოდენობა ნაკლებადაა დამოკიდებული ისეთ ფაქტორებზე, როგორცაა: კერძო მოჭიმვები, ადიდას მუშა კონუსის კუთხე, ადიდვის სიჩქარე და სხვ.

მიუხედავად იმისა, რომ პრაქტიკულად ადიდვით უდეფექტო ზედაპირის მავთულის მიღება შეუძლებელია, ადიდას მუშა არხის ზედაპირის სიმქისის, ადიდას გადახრის სიდიდის და საპოხში მინარევების რაოდენობის შემცირებით, შესაძლებელია მაღალი ხარისხის მრგვალი კვეთის მავთულის წარმოება. მავთულის ზედაპირზე დეფექტების მინიმალურ ზომამდე დასაყვანად აუცილებელია: დიდი კერძო მოჭიმვები, მცირე კუთხეების მუშა კონუსების მქონე ადიდები, ზედმიწევნით გაპრიალებული ადიდა, ადიდას დამჭერში ადიდას სწორი (გადახრების გარეშე) დაყენება, საპოხის სისუფთავის დაცვა.

მიღების ადიდვის პროცესში დეფექტები შესაძლოა წარმოიქმნას მილის როგორც გარე, ისე შიგა ზედაპირზე:

– გარე ზედაპირის დეფექტები. მიღების ადიდვისას მილის სიგრძის გასწვრივ ჩაღრმავებების, კაწრულებისა და ანაგლეჯების წარმოქმნის შესაძლო მიზეზებია: საწყისი მიღების (ცივ დეფორმაციამდე) ცუდი მომზადება - ცუდი ამოჭმა-

გარეცხვა ან გახსნილი ხენჯის ნარჩენების არასრული მოცილება; ლითონის მიწებება ადიდას თვალის (თვალაკის) ზედაპირზე; თვალაკის დაბალი ცვეთამედეგობა; ცუდი ტექნოლოგიური საპოხი, არასაკმარისი გაპოხვა; საპოხის ძლიერი გაჭუჭყიანება ქვიშით ან ფოლადის ბურბუშელათი; თვალაკის არხის არასწორი ფორმა (ძალიან ციცაბო შემავალი კონუსი, რომელიც ძალიან მოკლეა დიამეტრის შემცირების მოცემული სიდიდისათვის), დეფორმაციის კერაში მყარი ნაწილაკების მოხვედრა და ა.შ.

დეფექტების აცილების საშუალებაა: ცივი დეფორმაციის წინ მილნამზადების საგულდაგულო მომზადება; თვალაკების დროული გამოცვლა; მაღალცვეთამედეგი თვალაკების გამოყენება; მილების თანაბარი გაპოხვა; საპოხი ტევადობების დაცვა ჭუჭყის მოხვედრისაგან; ისეთი თვალაკების გამოყენება, რომელთა პროფილი და არხის ზომები განპირობებულია ადიდვის ტექნოლოგიით.

დეფექტების გამოსწორების ღონისძიებები: ღრმა კაწრულების გამოსწორება შეუძლებელია;

– მაღალლეგირებული ფოლადის მილების გარე ზედაპირებიდან მცირე ზომის კაწრულების მოცილება მიზანშეწონილია ხეხვით.

– შიგა ზედაპირის დეფექტების - ჩაღრმავებების, კაწრულების და ანაგლეჯების - წარმოქმნის მიზეზია: ცუდად ამოჭმული შიგა ზედაპირი; მილის შიგა ზედაპირზე საპოხის არათანაბარი განაწილება; სამართულზე ლითონის მიწებება; სამართულის დაბალი ცვეთამედეგობა.

აცილების ღონისძიებები: ცივი დეფორმაციის წინ მილნამზადების საგულდაგულო მომზადება; გამორეცხვის დროს შიგა ზედაპირიდან ამოჭმისას გახსნილი ხენჯის ნარჩენების სრული მოცილება; სამართულების დროული გამოცვლა; მაღალცვეთამედეგი სამართულის გამოყენება.

გამოსწორების ღონისძიებები: ადიდვით გამოწვეული კაწრულების მოცილება შეუძლებელია. თუ კაწრულას სიღრმე არ აღემატება კედლის სისქის დაშვების ზომებს, მაშინ მილი გადაჰყავთ ხარისხის უფრო დაბალ კატეგორიაში.

– მილის ბოლოების გაწყვტა. ასეთი დეფექტის წარმოქმნის მიზეზია: ადიდვის მარშრუტის არასწორი შედგენა (მეტისმეტად დიდი მოჭიმვა), ინსტრუმენტის პროფილის არასწორი დაკალიბრება, დგანის ცუდი აწყობა, დაბალი ხარისხის ტექნოლოგიური საპოხი ან მისი არარსებობა, ცუდი პირმოდება, ადიდვის დიდი სიჩქარე მილის პირმოდების დროს და ა.შ.

– რჩენილები - მოუჭიმავი ადგილები მილებზე სამართულიანი ადიდვისას. დეფექტი გამოწვეულია დეფორმაციის კერაში სამართულის არასწორი აწყობით და ნამზადის დიდი სიმრუდით.

– ზომებიდან გადახრა. დეფექტის გამომწვევი ძირითადი მიზეზი არის ინსტრუმენტის მნიშვნელოვანი გაცვეთა და ადიდვამდე მისი არასწორი შერჩევა.

გარდა ამისა, შესაძლებელია: ადიდვის პროცესში ადიდვის ურიკის მარწუხებით მილების წარუტაცებლობა (იგი შეიძლება გამოწვეული იყოს წამტაცი ინსტრუმენტის არასაკმარისი სიგრძით ან მისი არასწორი ფორმით); არათანაბარი გაპოხვა;

ადიდვის სიჩქარის არასწორი შერჩევა; ხახუნის სხვადასხვა პირობებისას სამართულსა და მატრიცას შორის წარმოქმნილი ჟრიალი (ლაყლაყი) და მილის გაკვრები ადიდვის პროცესში, რის შემდეგაც მილზე რჩება. რგოლური ანაბეჭდები. რგოლურობის წარმოქმნა მილებზე შესაძლებელია სამართულის დეროს დრეკადი დეფორმაციის გავლენით. იგი განსაკუთრებით მნიშვნელოვან სიდიდეს აღწევს მოკლე სამართულზე გრძელი (8 - 12 მ) მილების ადიდვისას.

4.10 ჭედვა, ჭედვის არსი და ოპერაციები

ჭედვითი ნაკეთობებისა და ნახევარფაბრიკატების მიღებისას, გათვალისწინებული უნდა იქნეს პლასტიკური დეფორმაციის შემდეგი ზოგადი კანონები:

უმცირესი წინაღობის კანონი. პლასტიკური დეფორმაციის დროს ლითონი ყოველთვის გადაადგილდება ნაკლები წინაღობის მიმართულელებით;

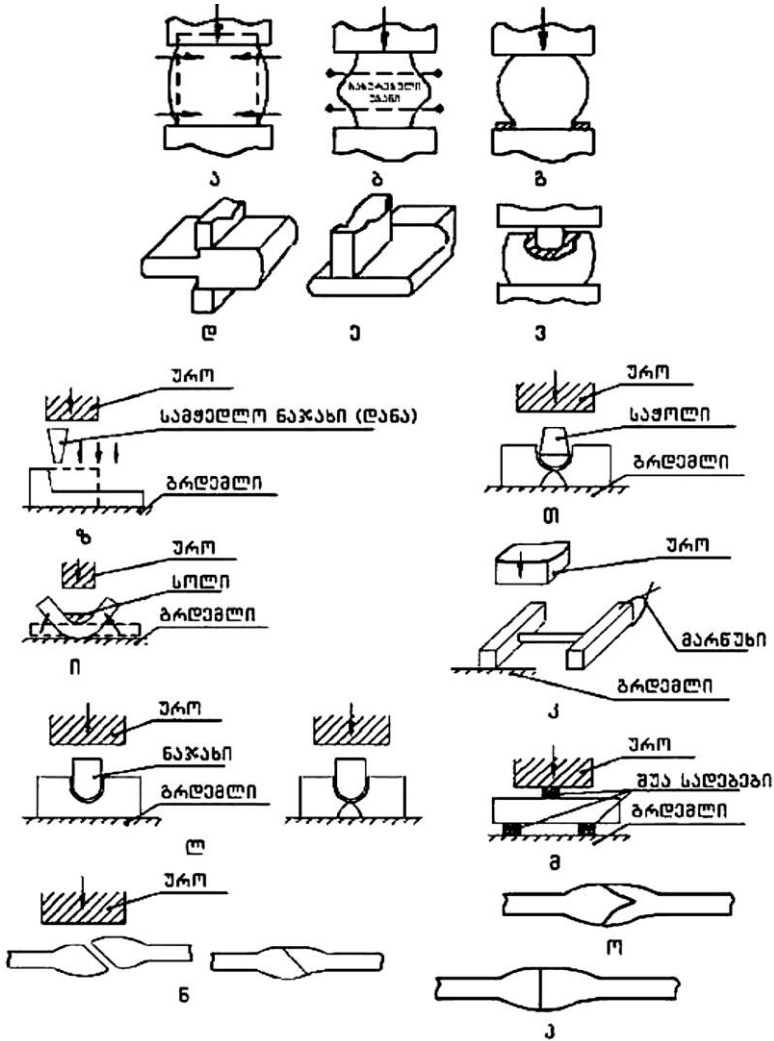
მოცულობის მუდმივობის კანონი. პლასტიკური დეფორმაციის დროს ლითონის მოცულობა პრაქტიკულად არ იცვლება, იცვლება მხოლოდ ფორმა, რის საფუძველზეც ხდება ნამზადის საწყისი ზომების გაანგარიშება;

ძვრის ძაბვების კანონი. ლითონის ფორმის შეუქცევადი ცვლილება შესაძლებელია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დეფორმირებად სხეულში ძვრის ძაბვების ინტენსიურობის სიდიდე მოცემული ლითონის დენადობის ზღვარს აღემატება.

მსგავსების კანონი. სხვადასხვა ზომის ერთნაირი შინაგანი აღნაგობის გეომეტრიულად მსგავსი სხეულების ფორმის შესაცვლელად საჭირო ენერგიების რაოდენობა ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც მათი მოცულობები (ან მასები). ეს კი ნიშნავს, რომ მცირე ზომის ნიმუშებისა და მათი მსგავსი დიდი ზომის ნაჭედების დეფორმირების კუთრი წნევა ერთნაირია.

ჭედვა წნევით დამუშავების ერთ-ერთი სახეა. ჭედვით ლითონების დამუშავება მოიცავს თავისუფალ (ცხელ) ჭედვას, ცხელ და ცივ შტამპვას. ჭედვის პროცესი, ჩვეულებრივ, ერთმანეთის მონაცვლე ოპერაციებისაგან შედგება. სასურველი ფორმისა და ზომების ნაკეთობა მიიღება, უპირატესად, გახურებულ ნამზადზე ინსტრუმენტის მრავალჯერ წყვეტილი დარტყმით. საწყის ნამზადებად გამოიყენება ზოდები, ბლუმები, ლუგვები და ნაგლინი წნელები. საწყისი ნამზადის ფორმის ცვლა ხდება ლითონის მადეფორმირებელი ინსტრუმენტის მოძრაობის პერპენდიკულარულ სიბრტყეებზე ლითონის თავისუფალი დინების შედეგად (ამის გამო ჭედვას ხშირად თავისუფალ ჭედვას უწოდებენ). სურ. 59-ზე ასახულია თავისუფალი ჭედვის დამახასიათებელი ძირითადი ოპერაციები.

შტამპვისას ლითონის განდინება, მოცემული მიმართულებით განსაზღვრულ ზღვრამდე, შეზღუდულია შტამპის მუშა სიბრტყით (ღარულათი). შტამპის ღარულას ფორმა და ზომები სრულად შეესაბამება დასამზადებელი ნაჭედის კონფიგურაციას. ჭედვა და შტამპვა ხასიათდება დეფორმაციის დიდი არათანაბრობით, რაც გამოწვეულია კონტაქტური ხახუნით და სხვა იმ ფაქტორებით, რომლებიც გავლენას ახდენენ დასამუშავებელ სხეულზე დეფორმაციების განაწილებაზე.



სურ. 59. თავისუფალი ჭედვის ოპერაციები: ა - დასმა; ბ, გ - გამოტვიფვრა; დ - გაწელვა; ე - გაწევა; ვ - გაჭოლვა; ზ - გაწევა; თ - გახვრეტა; ი - ღუნვა; კ - დაგრეხა; ლ - კვეთა (ჭრა); მ - სწორება; ნ - პირგადადებით სამჭედლო შედუღება; ო - კილოური (კილოებიანი ნამზადების) სამჭედლო შედუღება ; პ - პირაპირა სამჭედლო შედუღება

სამჭედლო მეთოდებით მიღებულ ნამზადებს უწოდებენ ნაჭედებს. ისინი განკუთვნილია შემდგომი მექანიკური დამუშავებისათვის. მსხვილი ნაჭედების მასა შეიძლება იყოს რამდენიმე ათეული ტონიდან რამდენიმე კგ-მდე, გაბარიტული ზომები კი - იცვლებოდეს ათეული მეტრებიდან რამდენიმე სანტიმეტრამდე. 500 კგ-მდე ნაჭედებს უწოდებენ საშუალოს, ხოლო 50 კგ-მდე ნაჭედებს - წვრილნაჭედებს.

ჭედვის რამდენიმე სახე არსებობს და, შესაბამისად, მეთოდებიდან გამომდინარე, სხვადასხვაა მათი დასახელება:

გუნდების გამოწნეხა - ჭედვა, პროცესი, რომელიც, გუნდადან წიდების უხვი გამოდევნით, იწვევს წიდის შემომსაზღვრელი ლითონის შედუღებას და გუნდას გამკვრივებას;

ჭედვით შედუღება - პროცესი, რომლის დროსაც სხვადასხვა დეტალის გავარვარებულ შესაერთებელ ნაწილებზე, წნევის მოდებითა და ერთობლივი პლასტიკური დეფორმირებით, ხდება მათი ერთმანეთთან მჭიდროდ შეერთება;

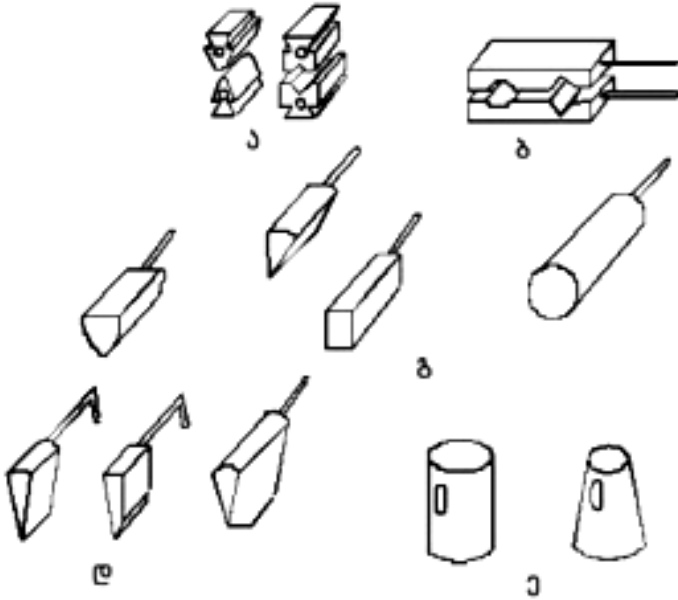
ჩვეულებრივი ჭედვა - ჭედვის პროცესი, რომლის დროსაც დასამუშავებელ ობიექტს ეძლევა განსაზღვრული ფორმა;

ხელით ჭედვა - მცირე ზომის ობიექტების ჭედვა;

მექანიკური ჭედვა - მსხვილი საგნების მანქანა-მოწყობილობებით ჭედვა.

ნაჭედების დიდი მრავალფეროვნება განაპირობებს უნივერსალური ინსტრუმენტის გამოყენებას, რომლის განსაზღვრული ანაწყობი უზრუნველყოფს ყველა შესაძლებელი ფორმისა და ზომის ნაჭედების დამზადებას (სურ. 60). ძირითადი სამჭედლო

იარაღების გარდა, გამოიყენება საზომი (კარაკინი, გონიო) და დამხმარე (მარწუხი, მიმმართველი ჩანგლები) იარაღები.



სურ. 60. თავისუფალი ჭედვისას გამოყენებული იარაღები: ა - საცემლები; ბ - მოსაჭიმი; გ - სანიშნეები, გამწევეები, საბრტყელებლები; დ - ნაჯახები (სამჭედლო); ე - საქოლები

ჭედვისათვის გამოყენებული უნივერსალური მანქანა-იარაღები: საჭედი პნევმატიკური ურო, საჭედი ორთქლჰაეროვანი ურო და საჭედი ჰიდრავლიკური წნეხი. ჭედვის ძირითადი ოპერაციებია დასმა, გაწეღვა, გაჭოღვა, შემოგლინვა (სიღრუს გაგანიერება, გაწევა), ღუნვა, კვეთა, (და)გრება, შტამპვა ქვესადებ შტამპებში და წნევით შედღება (სამჭედლო შედღება).

დასმა - სამჭედლო ფორმაწარმომქმნელი ოპერაცია, რომლის დროსაც ხდება ნამზადის განივკვეთის მატება სიმაღლის შემცირებით. დასმას იყენებენ ნამზადის (ან მისი რომელიმე ნაწილის) განივკვეთის გაზრდის აუცილებლობის შემთხვევაში, ასევე ლითონის სტრუქტურისა და ზოგი ფიზიკურ-მექანიკური თვისების გასაუმჯობესებლად, ნაჭედში რადიალური ბოჭკოვანი სტრუქტურის უზრუნველსაყოფად და სხვ. დასმა ამცირებს მექანიკური თვისებების ანიზოტროპიას და აუმჯობესებს თვისებებს რადიალური მიმართულებით, ხელს უწყობს კარბიდების დაწვრილმანებასა და თანაბარ განაწილებას.

დასმა არის ჭედვის ყველაზე მძიმე ოპერაცია (მაქსიმალური ძალა საჭიროა ოპერაციის დასასრულს). დეფორმაციის ძალის შესამცირებლად ნამზადი ხურდება თანაბრად, მაქსიმალურად დასაშვებ ტემპერატურამდე. დასმის წინ სასურველია ნამზადის მოგორვა ცილინდრულ ფორმამდე. დასმისას ნამზადის ტორსები უნდა იყოს სწორი და ღერძის პერპენდიკულარული. საწყისი ნამზადის სიმაღლის მის დიამეტრთან ფარდობა უნდა იყოს $\leq 2,5$ -ზე. წინააღმდეგ შემთხვევაში შესაძლებელია ნამზადის გრძივი ღუნვა.

დასმის დროს ნამზადს აყენებენ ვერტიკალურად (ტორსზე), ხოლო ინსტრუმენტი მოძრაობს მისი ღერძის გასწვრივ. ამ ოპერაციისას, ნამზადისა და საცემლების ზედაპირებს შორის წარმოქმნილი ხახუნის ძალა და ინსტრუმენტთან კონტაქტში მყოფი გახურებული ნამზადის ტორსების გაცივება, აძნელებს ლითონის განდინებას. ნამზადი დეფორმირდება არათანაბრად და იღებს კასრისებერ ფორმას. დეფორმაციის არათანაბრობის შესამცირებლად იყენებენ საპოხს და საცემლების შეთბობას. დასმა

შესაძლოა იყოს საბოლოო ან შუალედური ოპერაცია. იგი სრულდება საცემლებით ან სპეციალური დასასმელი ფილებით.

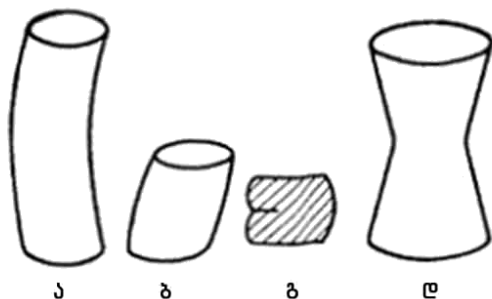
სურ. 61-ის შესაბამისად, დასმისას ნაჭედების ძირითადი დეფექტები არის:

– **ღუნვა** (სურ. 61 ა). – მას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როდესაც: დასასმელი ნამზადის სიგრძე მის დიამეტრს (კვადრატის გვერდს) აღემატება 2,5-ზე მეტად; როცა ჭედვისას არ ხდება ნამზადის მობრუნება გრძივი ღერძის ირგვლივ; განივკვეთში არათანაბრად გახურებული ნამზადის ჭედვისას; თუ უმნიშვნელო გრძივი ღუნვის გამოჩენისთანავე არ ხდება ნამზადის გასწორება;

– **ირიზაზხნაგოვნება** (სურ. 61 ბ) - ტორსების დაძვრა ერთმანეთის მიმართ შეინიშნება, როდესაც: ხდება 2,5 დიამეტრზე (კვადრატის გვერდზე) მეტი სიგრძის ცილინდრული ნამზადის ინტენსიური დასმა; არ ხდება უროს საცემლის დარტყმები ნამზადის ცენტრზე; არ ხდება ნამზადის მობრუნება გრძივი ღერძის ირგვლივ და არ ხდება ნამზადის გასწორება უმნიშვნელო გრძივი ღუნვის გამოჩენისთანავე;

– **ჭედვის ნაკეცი** (სურ. 61 გ) - ნაკეცი ნამზადის გვერდზე. იგი წარმოიქმნება გრძივი ღუნვისას, თუ ღუნვა დასმის დასაწყისშივე არ იქნება ლიკვიდირებული. ასეთი ნაკეცის მოცილება ძნელია, ზოგჯერ შეუძლებელიც;

– **სირჩისებრობა** (სურ. 61 დ) - წარმოიქმნება დასასმელი ნაწილის სიგრძესა და განივკვეთში არათანაბრად გახურებული ნამზადის ტორსებზე სუსტი დარტყმებისას.



სურ. 61. დასმის დეფექტები: ა - ღუნვა; ბ - ირიბწახნაგოვნება; გ - ნაკეცი; დ - სირჩისებრობა

გარდა აღნიშნულისა, ღერძული ბზარების წარმოქმნა შესაძლებელია არასაკმარისად გახურებულ ან ჭედვის პროცესში დასაშვებ ტემპერატურაზე დაბლა გაცივებულ ნაკლებპლასტიკურ ნამზადებში.

გამოტვიფრა (გამოწნება) - გამოიყენება, ძირითადად, ჭანჭიკების თავების, მილტუჩების და მისთ. მისაღებად.

შტამპვა ქვესადებ შტამპებში - გამოიყენება შედარებით რთული კონტურის მქონე ნაჭედების პარტიების დასამზადებლად, რომელთა მიღება ზემოთ მოტანილი ხერხებით რთულია. შტამპვას ქვესადებ შტამპებში იყენებენ წვრილსერიულ წარმოებაში.

გაწელვა - თავისუფალი ჭედვის ერთ-ერთი გავრცელებული, დასმის შებრუნებული, სამჭედლო ოპერაცია. მისი მიზანია ნამზადის საერთო სიგრძის (ან მისი ნაწილის) მატება განივკვეთის შემცირებით. იგი სრულდება უროს თანმიმდევრობით დარტყმით (ან წნეხის დაწოლით) ნამზადის ცალკეულ უბნებზე და ნამზადის გადაადგილებით გაწელვის ღერძის გასწვრივ. ყოველი მოჭიმვის შემდეგ ნამზადი გადაადგილდება საცემის

სიგრძეზე ნაკლები სიდიდით. ამასთან. 90⁰-იანი მობრუნებით ამ ღერძის ირგვლივ, ჯერ ერთი მხრიდან, ხოლო მობრუნების შემდეგ - მეორე მხრიდან და ა.შ.

გაწელვა არის ფორმის საცვლელი ძირითადი ოპერაცია გლუვი, საფეხუროვანი და მუხლა ლილვების ჭედვისას. გაწელვის მართვის ძირითადი პარამეტრებია მიწოდების სიდიდე და მოჭიმვა. მიწოდების სიდიდის რეგულირებით შესაძლებელია დარეგულირდეს ლითონის განდინების მიმართულება - წაგრძელებისა და გაფართოების ფარდობა. გაწელვის ინტენსიურობა იზრდება ბრტყელი საცემების ნაცვლად, ამოჭრილი საცემებით ჭედვისას.

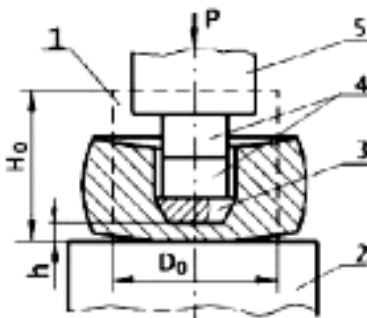
გაწელვა ცვლის არამხოლოდ ნამზადის ფორმას, არამედ აუმჯობესებს ლითონის ხარისხსაც. ჭედვისას გაწელვისა და დასმის თანმიმდევრობითი მონაცვლეობა მნიშვნელოვნად ამცირებს მექანიკური თვისებების ანიზოტროპიას.

ჩვეულებრივი გაწელვის გარდა, შესაძლებელია 160 - 200⁰C-მდე წინასწარგახურებულ სამართულზე მოჭიმვაც. ამ დროს ხდება ღრუ ნამზადის კედლის სისქის (გარე დიამეტრის) შემცირება და სიგრძის მატება. სამართულზე მოჭიმვას იყენებენ გრძელი ღრუ ნაჭედების (ქუროების, მილების, ცილინდრების) მისაღებად.

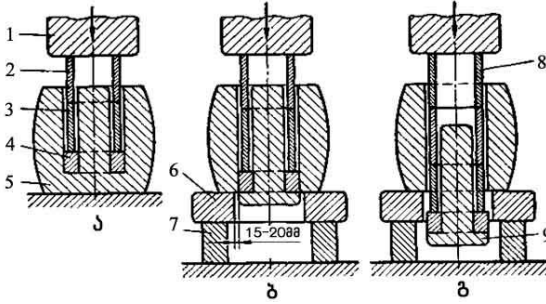
მხედველობაშია მისაღები ის გარემოება, რომ ბრტყელ საცემებში მრგვალი კვეთის ნამზადების გაწელვისას აღძრულ მნიშვნელოვან გამჭიმავ ძაბვებს შეუძლიათ ღერძული ბზარების წარმოქმნა.

გაჭოლვა არის ძირითადი სამჭედლო ოპერაცია, რომლის დროსაც მთლიან ნამზადში მიიღება ნახვრეტი ან ჩაღრმავება.

იგი გამოიყენება ღერძული ნახვრეტის მქონე ნაჭედების მისაღებად. ნახვრეტი მიიღება სპეციალური ინსტრუმენტით, მასიური ან ღრუტანიანი საჭოლით (პუნსონით, დორნით), ნამზადიდან ლითონის გამოძევებით. გაჭოლვის წინ ხდება ნამზადის დასმა. გაჭოლვის ძირითადი ხერხებია: გაჭოლვა მასიური (მთლიანი) საჭოლით (სურ. 62) და გაჭოლვა ღრუტანიანი საჭოლით (სურ. 63). ღრუტანიანი საჭოლით გაჭოლვის მიზანი, ხშირად, არის ნამზადიდან ცენტრალური ლიკვაციური ზონის მოცილება და ზოდის უფრო ხარისხიანი პერიფერიული ზონის გამოყენება. შედარებით თხელი ნაჭედების გამჭოლად გაჭოლვისას, გამოიყენება ქვესადები რგოლები. უფრო სქელი ნაჭედების გაჭოლვა ხდება ორი მხრიდან, ქვესადები რგოლების გარეშე.



სურ. 62. გაჭოლვა მასიური საჭოლით: 1 - ნამზადი; 2,5 - საცემები; 3 - საჭოლი; 4 - ზესადგამები

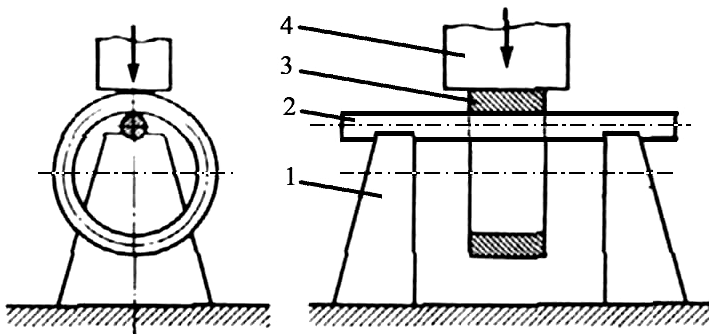


სურ. 63. ა,ბ,გ - ღრუ საჭოლით გაჭოლვის ეტაპები: 1. საცმი; 2. მეორე ზესადგამი; 3. პირველი ზესადგამი; 4. საჭოლი; 5. ნამზადი 6. რგოლი; 7. ქვესადგამი; 8. მესამე ზესადგამი; 9. ნარჩენი

გაჭოლვისას და გახვრეტისას შესაძლებელია ნაჭედის შემდეგი დეფექტების წარმოქმნა:

- ნახვრეტის ნაპირების ძლიერი მოჭიმვა (მოქაჩვა, შეკვრა). დეფექტი ჩნდება მაშინ, როდესაც საჭოლავს შეიტანენ ერთბაშად, წინასწარი მომზადების გარეშე, მნიშვნელოვანი სისქის ნამზადში;
- გაჭოლვით და გახვრეტით მიღებული ნახვრეტების ღერძების გადანაცვლება ნამზადის 180⁰-ით გადაბრუნების შემდეგ. ამ დეფექტების თავიდან ასაცილებლად საჭიროა საჭოლის ზუსტად დაყენება, მონიშვნის ან სამარჯვის გამოყენებით;
- ჩანაგლეჯები და ბზარები სიღრუის ნაპირებზე (ჩნდება არასაკმარისად გახურებულ ან ძალიან გაცივებულ ნამზადში);
- ნამზადის ტორსებთან ნახვრეტის ღერძის პერპენდიკულარობის გადახრა. ჩნდება სხმულების არათანაბარი გახურებისას ან გაჭოლვამდე ნამზადის ტორსების ურთიერთპარალელობიდან გადახრისას.

სიღრუს გაგანიერება - ძირითადი სამჭედლო ოპერაცია, რომლის დროსაც ხდება წინასწარ გაჭოლილი რგოლისებრი ნამზადის გარე და შიგა დიამეტრების თანმიმდევრობით გაგანიერება. სიღრუს გაგანიერება ხდება წნეხებზე ან უროებზე. ორ საყრდენზე დამაგრებულ სამართულზე (რომელიც ქვედა საცემად ითვლება), ჭედვის ტემპერატურამდე გახურებული, ჩამოკიდებული ნამზადის ბრუნვა ხდება სამართულის გრძივი ღერძის ირგვლივ. ნამზადის ჭედვა ხდება მობრუნებით ზევიდან, ვიწრო გრძელი საცემით. სურ. 64-ის შესაბამისად, ყოველი მოჭიმვის შემდეგ დიამეტრი თანდათან მატულობს, უმნიშვნელოდ იზრდება სიგანე, ხოლო თვით ნამზადის კველი თხელდება. გამოიყენება შედარებით დიდი დიამეტრის რგოლისებრი დეტალების დასამზადებლად.



სურ. 64. სამართულზე სიღრუს გაგანიერების სქემა: 1. დგარი; 2. სამართული; 3. ნამზადი; 4. ზედა საცემი

გაწევა - ნამზადის ნაწილის სიგანის ზრდა მისი სისქის შემცირებით (სურ. 65).



სურ. 65. გაწევა

ღუნვა - სამჭედლი ოპერაცია, რომლის დროსაც ხდება ნამზადისათვის (ან მისი ნაწილისათვის) სასურველი კონტურის, ამოღუნული ფორმის, მიცემა. მოღუნვის ადგილზე საწყისი განივკვეთის ფორმა მახინჯდება და მცირდება (შემოჭიმვა) მისი განივკვეთის ფართობი. მოღუნვის ზონაში შემოჭიმვის საკომპენსაციოდ, შესაბამის (მოღუნვის) ადგილზე, აიღება გადიდებული განივკვეთის მქონე ნამზადი. ღუნვისას (მოღუნვის ადგილზე) ნამზადის შიგა კონტურზე შესაძლებელია ნაოჭების, ხოლო გარე კონტურზე - ბზარების წარმოქმნა. ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად, შეირჩევა მოღუნვის მოცემული კუთხის შესაბამისი მომრგვალების რადიუსი. მოღუნვის ადგილზე რადიუსის სიდიდე არ უნდა იყოს ნამზადის სისქის 1,5-ზე ნაკლები. ამ ოპერაციით მზადდება ყველანაირი კუთხოვანა, კაუჭი, კრონშტეინი, კავი და ა.შ. მთლიანი პროფილის გარდა, ხდება ღრუტანიანი ნამზადების - მილების ღუნვაც. ამ დროს უკანასკნელი ივსება ქვიშით და ბოლოებში უკეთდება მჭიდრო საცობი.

ჭრა (კვეთა) - სამჭედლო ოპერაცია, რომლის დროსაც ხდება ნამზადის ერთი ნაწილის მეორესაგან განცალკავება. ჭრისას

სპეციალური დოჯით (საკვეთელით, სხვადასხვა ფორმის სამჭედლო ნაჯახით) ხდება ზედმეტი ლითონის მოცილება ან გრძელი ნაჭედის დაყოფა უფო მოკლე ნაწილებად. ჭრით ხდება ზოდის ნამატის და ფსკერის ნაწილების ჩამოჭრა.

(და)გრეხა - სამჭედლო ოპერაცია, რომლის დროსაც ხდება ნაჭედი ნამზადის გრძივი ღერძის ირგვლივ, ერთი ნაწილის გარკვეული კუთხით მობრუნება მეორის მიმართ. (და)გრეხისას, როგორც წესი, ნამზადის ერთი ნაწილი მაგრდება საცემებს შორის, ხოლო მეორეს აბრუნებენ სხვადასხვა სამარჯვით. (და)გრეხა გამოიყენება სხვადასხვა სიბრტყეში მდებარე მუხლებიანი მუხლა ლილვების, მსხვილი სპირალური ბურღების და სხვათა დასამზადებლად. (და)გრეხას მიეკუთვნება რამდენიმე წვრილი წნელის (მავთულის) შეგრეხაც. (და)გრეხის დროს, ღუნვისგან განსხვავებით, ნაჭედში ბოჭკოების მიმართულება უცვლელია.

სამჭედლო (ჭედვით) შედუღება არის სამჭედლო ოპერაცია (ხელით ან მანქანური), რომლის დროსაც ორი ლითონის საკონტაქტო ზედაპირების დეფორმაციით მიიღება გაუხსნელი შეერთება. ეს მეთოდი მიეკუთვნება წნევით შედუღებას. პროცესი განპირობებულია შესადუღებელი ლითონების ზედაპირების ატომების ურთიერთქმედებით (ელექტრონული გარსების გაერთიანებით). ხარისხიანი გაუხსნელი შეერთების მისაღებად აუცილებელია შესაერთებელი ზედაპირების გაწმენდა ოქსიდური ან სხვა ფირებისაგან.

ჭედვით შედუღების დეფექტებია: ნაჭედის ფორმის მოთხოვნილთან შეუსაბამობა, უკმარშედუღება, გადაწვა, შენადული ნაკერის დაბალი სიმტკიცე, ნაკერმიმდებარე ზონის დადაბლებუ-

ლი სიმტკიცე (ნამზადის დიდ სიგრძეზე გახურებისას, მხოლოდ შეერთების ადგილის დეფორმაცია და შესაბამისად სტრუქტურის დაწვრილმანება ადგილობრივად ხდება, ხოლო მოშორებით შენარჩუნდება გახურებისას გაზრდილი მარცვალი).

შედულების ხარისხი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მჭედლის კვალიფიკაციაზე. შედულების პროცესი უნდა წარიმართოს სწრაფად, გახურებისა და ჭედვის ხერხებისადმი ყველა მოთხოვნის ზუსტი დაცვით. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ ჭედვით შედულების დეფექტების აცილება, როგორც წესი, შეუძლებელი ან ძნელია.

4.10.1 გასაჭედი ლითონის გახურების პროცესში წარმოქმნილი დეფექტები და მათი აცილების საშუალებები

ჭედვის პროცესის სწორად წარსამართავად აუცილებელია თითოეული მარკის ფოლადის ჭედვის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურის, ანუ გახურების რეჟიმის ცოდნა. ჭედვის რეჟიმი აერთიანებს ლითონის გახურების წესსა და ხერხებს. იგი უზრუნველყოფს იმ ტემპერატურასა და გახურების იმ სიჩქარეს, რომელიც აუცილებელია ჭედვისათვის გამოსადეგი ნამზადების და ხარისხიანი ნაჭედების მისაღებად.

მაღალი ხარისხის ნაჭედების მისაღებად დიდი მნიშვნელობა აქვს გახურების დროს. ფოლადების გახურების დრო დამოკიდებულია ნამზადების ზომებსა და ქიმიურ შედგენილობაზე. ერთი მხრივ ხენჯის წარმოქმნის შესამცირებლად და მწარ-

მოებლურობის ასამაღლებლად, სასურველია, გახურების დროის შემცირება, ხოლო მეორე მხრივ საჭიროა მაღალნახშირბადიანი და მაღალლეგირებული ფოლადების, აგრეთვე დიდი ზომის ნამზადების, გახურების სიჩქარის თანდათანობითი ზრდა, საფეხურებრივადაც კი.

სხვადასხვა მარკის ფოლადის ჭედვის ტემპერატურა სხვადასხვაა და დამოკიდებულია მათ ქიმიურ შედგენილობაზე. როგორც წესი, რაც უფრო მეტ ნახშირბადს შეიცავს ფოლადი, მით უფრო ნაკლებია მისი დნობისა და ჭედვის ტემპერატურა. ფოლადის ჭედვის საწყისი ტემპერატურა 150 - 200 °C-ით ნაკლები უნდა იყოს მისი დნობის ტემპერატურაზე. უფრო მაღალ ტემპერატურაზე შესაძლებელია ნამზადის გადაწვა. ჭედვისას ლითონი ცივდება, მისი ჭედვა თანდათან ძნელდება და ბოლოს შეუძლებელი ხდება. ამის გამო ჭედვა უნდა დასრულდეს ჭედვის საბოლოო (დასაშვებ) ტემპერატურაზე 20 - 30 °C-ით უფრო მაღალ ტემპერატურაზე. ჭედვის ტემპერატურას მუდმივი კონტროლი ესაჭიროება. სახურებელლუმლებიან სამჭედლოებში კონტროლი თერმოწყვილებისა და სხვადასხვა სახის პირომეტრებით ხდება, ქურებიან სამჭედლოებში კი მიახლოებით - ვარვარის ფერებით.

გასაჭედი ლითონის ნამზადების გახურების პროცესში შემდეგი ძირითადი დეფექტები ყალიბდება:

ხენჯწარმოქმნა (ამოწვა) - გახურებისას ნამზადის ზედაპირზე რკინის ოქსიდების წარმოქმნის შედეგი. ხენჯწარმოქმნის ინტენსიურობით, ჩვეულებრივ, ამოწვას (ლითონის დანაკარგს) ახასიათებენ. სახურებელ ლუმლებში ერთჯერ გახურებისას ხენჯწარმოქმნით ლითონის დანაკარგმა შეიძლება ნამზადის მასის, დაახლოებით, 3%, ხოლო ქურებში 4 - 5% შეადგინოს. თუ

გავითვალისწინებთ, რომ ჭედვისას ნამზადის გახურება რამდენჯერმე ხდება (ზოგჯერ ექვსამდე), ნათელი გახდება ლითონის ხენჯწარმოქმნით გამოწვეული დანაკარგი. ხენჯის წარმოქმნის რაოდენობა დამოკიდებულია ისეთ ფაქტორებზე, როგორცაა: გახურების სიჩქარე და ტემპერატურა, ნამზადის ფორმა, ფოლადის ქიმიური შედგენილობა, სათბობის სახე, ალის შედგენილობა და სხვ.;

გაუნახშირბადოება - ნახშირბადის ამოწვა ხდება ფოლადის დაჟანგვის პროცესის ერთდროულად. ამ დროს ნამზადის ზედა შრეებიდან ამოიწვება ნახშირბადი. იცვლება ფოლადის (შრის) ქიმიური შედგენილობა და აღარ შეესაბამება იმ მარკას, რომელიც განკუთვნილი იყო დეტალის დასამზადებლად. ნახშირბადის შემცირება იწვევს სიმტკიცისა და სისალის შემცირებას, უარესდება მისი წრთობის უნარი. გაუნახშირბადოების სიღრმემ შეიძლება 2 - 4 მმ-ს მიაღწიოს. ნათელია, რომ გაუნახშირბადოება არასასურველია წვრილი ნაჭედებისთვისაც, რომლებსაც ნაკლები ნამეტები აქვს და იმ ნაჭედებისათვისაც, რომლებიც მექანიკური დამუშავების შემდეგ იწრთობა (დაბალნახშირბადიანი შრე შესაძლებელია არ იწრთოს). გაუნახშირბადოების პროცესი იწყება 800 - 850°C ტემპერატურაზე. მისი ინტენსიურობა დამოკიდებულია ფოლადში ნახშირბადის შემცველობაზე (რაც უფრო მეტია ნახშირბადი, მით უფრო ნელია გაუნახშირბადოების პროცესი);

უკმარხურება - ლითონის ისეთი გახურება, რომლის დროსაც ნამზადი არათანაბრად ხურდება განივკვეთში ან სიგრძის ნაწილებზე. პრაქტიკულად, გრძელი ნამზადი თუ ერთი მხრიდანაა თეთრ ვარვარებამდე გახურებული, ხოლო მეორე მხრიდან ჯერ კიდევ ყვითელი ან წითელია, მაშინ ასეთი

ნამზადიდან მოთხოვნილი ფორმის ნაჭედის მიღება გართულდება. ნათელია, რომ ასეთი ნამზადის ქურიდან ან ღუმლიდან გამოტანა და ჭედვის დაწყება არ შეიძლება. ნამზადის სისქეზე უკმარხურების გამოვლენა ვარვარის ფერების მიხედვით შეუძლებელია. ამიტომ, ამა თუ იმ ნამზადის გასახურებლად გამოთვლილი ან ცდით დადგენილი დრო აუცილებელია მკაცრად იქნეს დაცული. უკმარხურება შეიძლება გამოვლინდეს ცუდი თბური რეჟიმის დროს;

გადახურება - ძირითადად არ ვლინდება ნამზადის გარეგანი სახის მიხედვით ან ჭედვის პროცესში. გადახურებული ლითონისაგან დამზადებული დეტალი სწრაფად ტყდება. იგი ლითონის მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურით და, შესაბამისად, შემცირებული მექანიკური თვისებებით ხასიათდება (დეფექტი სწორდება თერმული დამუშავებით). ძლიერ გადახურებული ნამზადი, ზოგჯერ, ირღვევა ჭედვის პროცესშიც (კუთხეებში იზზარება). გადახურების თავიდან ასაცილებლად დაუშვებელია ნამზადების დაყოვნება მაღალ ტემპერატურაზე, ქურებსა თუ ღუმლებში იმაზე უფრო დიდხანს, ვიდრე ეს ნორმატივებით ან გაანგარიშებებითაა რეკომენდებული;

გადაწვა - ლითონის გახურების სახიფათო დეფექტი. 1250 - 1300°C-ზე მაღალ მქანგავ ატმოსფეროში გახურებისას ლითონის მარცვლები ძალიან მსხვილდება. ასეთ შემთხვევაში მათ შორის კავშირი სუსტდება, ხდება ატმოსფეროს ჟანგბადის შეღწევა და მარცვალთშორის გამყოფი ზედაპირების ჟანგვა. დაჟანგული მარცვალთშორისი ზედაპირები მყიდდება და მცირე ძალის ზემოქმედებისას ნამზადი ირღვევა. გადამწვარი ლითონი წუნდება და იგზავნება გადასადნობად. გადაწვის გამოვლენა შესაძლებელია გასახურებელი ნამზადის გარეგნული სახით.

ლითონის ზედაპირი ხასიათდება თეთრი ფერის დამაბრმავე-
ლი ნაპერწკლების ყრით. გადამწვარი ნამზადის გადაადგი-
ლებისას მისგან იფრქვევა კაშკაშა თეთრი ფერის ნაპერწკლები.

გახურებისა და ჭედვის ტემპერატურაზეა დამოკიდებული ზოგ-
ჯერ ლითონში ნამზადის გაკობის გამომწვევი ბზარების წარ-
მოქმნა. გახურებით გამოწვეული ასეთი დეფექტები დამახასია-
თებელია ლეგირებული და საიარალო ფოლადებისათვის. მათი
წარმოქმნის მიზეზია გახურების რეჟიმის დარღვევა და ჭედვის
დასასრულის ტემპერატურაზე დაბლა ჭედვის გაგრძელება.

ლითონში მიმდინარე ცვლილებები გახურებისა და ჭედვისას.

გახურებისას ჭედვის ტემპერატურაზე და დეფორმირების
სიჩქარეზეა დამოკიდებული ლითონის მარცვლოვანი მდგომარეობის
შეცვლა. ამის შესაბამისად იცვლება მისი სიმტკიცეც. ფოლადში
მარცვლების გამსხვილების და მათ შორის კავშირების შემცირების
დაწყებასთან ერთად, იწყება მისი სიმტკიცის შემცირებაც. იგი ხდება უფრო
რბილი და პლასტიკური. ეს კი საშუალებას იძლევა ლითონი დეფორმირდეს
ნაკლები ძალის ზემოქმედებით. რაც უფრო სწრაფად მოხდება ლითონის
დეფორმირება, ჭედვის დაწყებიდან მის დასასრულამდე, მით უფრო
მტკიცე იქნება ლითონი. შესაბამისად, ცხელი ლითონის ჭედვა რეკომენ-
დებულია რაც შეიძლება სწრაფად და ძლიერ დარტყმებით. ძლიერ
გახურებული ლითონის სუსტი დარტყმებით ჭედვისას, ჭედვის
დასასრულს მიიღება მსხვილ-მარცვლოვანი აღნაგობის არამტკიცე ნაჭედი.

თუ ლითონს მოეთხოვება (ესაჭიროება) მცირე დეფორმაცია,
მაშინ მისი გახურება შეიძლება ჭედვის საწყის ტემპერატურაზე

რამდენადმე დაბალი იყოს (მხედველობაშია მისაღები ის გარემოება, რომ ჭედვა უნდა დამთავრდეს კრიტიკული 727°C -ის ტემპერატურის დადგომამდე). კრიტიკულ ტემპერატურაზე დაბლა ჭედვის გაგრძელება იწვევს მარცვლების პლასტიკურ დეფორმირებას (მარცვლები გაიჭიმება) და ნამზადი დარჩება დამაბულ მდგომარეობაში. დაბალი ტემპერატურის პირობებში გაჭიმული მარცვლები ვერ ასწრებენ უფრო წვრილ მარცვლებში გადასვლას, ლითონი კარგავს პლასტიკურობას, ხდება უფრო მტკიცე, სალი და მყიფე. პლასტიკური დეფორმაციით ლითონის განმტკიცებას ცივჭედვა ეწოდება. ცივჭედვა არასასურველია, რადგან ამ დროს, სიმყიფის გარდა, მკვეთრად მცირდება ლითონის ჭრით დამუშავებადობა.

წნევით დამუშავებისას დეტალში წარმოქმნილი შინაგანი ძაბვების მოსახსნელად ეფექტურია დაბალტემპერატურული მოლბობა. ჭედვის, შტამპვისა და გლინვის პროცესში, როგორც წესი, მატულობს ფოლადის ზედაპირული შრის სისალე, მცირდება პლასტიკურობა და სიბლანტე, წარმოიშობა შინაგანი ძაბვები, უარესდება დამუშავებადობა. არასასურველი ფაქტორების გამოსარიცხად მიმართავენ სარეკრისტალიზაციო მოლბობას და ნაკეთობას ახურებენ $680 - 700^{\circ}\text{C}$ -მდე (A_{c1} კრიტიკულ წერტილზე დაბლა), აყოვნებენ და შემდეგ აცივებენ. ასეთი სახის მოლბობისას ფაზური გადაკრისტალეა არ ხდება.

4.10.2 ნაჭედების დეფექტები

საწყისი ლითონის ხარისხი განსაზღვრავს მზა ნაჭედის ხარისხს. ჭედვის წინ მოწმდება მასალის ქიმიური შედგენილობა და მექანიკური თვისებები. თუ გამოცდის შემდეგ ლითონი

მოცემული ნაკეთობისათვის განსაზღვრულ ტექნიკურ პირობებს არ შეესაბამება, ხდება მისი წუნდება ან იმ ნაკეთობისათვის გამოყენება, რომლის ტექნიკურ პირობებსაც იგი აკმაყოფილებს. ჭედვისას გამოყენებული ცუდი ხარისხის ლითონიდან, როგორც წესი, შეუძლებელია მაღალი ხარისხის ნაკეთობის მიღება. მოცემული ნაკეთობის ტექნიკური პირობების შესაბამისი ლითონის ხარისხის გაუარესების შესაძლო მიზეზი არის შუალედური ტექნოლოგიური პროცესები: ა) ნამზადების მოჭრა. გადაჭრილი ნამზადების დეფექტების გადაჭრის ადგილებში წარმოქმნილი ხიწვები და ბზარები. ტორსზე ხიწვების არსებობა, რაც სახიფათოა ნამზადის ტორსზე დასმით დეფორმირებისას. (ხიწვის ნაჭედში ჩაწნეხა შესაძლოა წუნის წინაპირობა გახდეს); ბ) გახურების პროცესი. ძლიერ მჟანგავ ატმოსფეროში ნამზადის გახურებისას, ლითონის გარე შრეების გაუნახშირბადოება იწვევს ლითონის მექანიკური თვისებების ნაწილობრივ შემცირებას. ნაჭედის ეს მანკი ძნელად სწორდება. ასეთ შემთხვევაში ლეგირებული ფოლადის ნაჭედის გამოყენება შეიძლება უფრო ნაკლებსაპასუხისმგებლო ნაკეთობის დასამზადებლად. გ) არათანაბარი გახურება, ჭედვის არასწორი რეჟიმი, მაგ., ჭედვა მთავრდება ძალიან მაღალ ან ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე. დ) ჭედვის შემდეგ ნაკეთობის არათანაბარი გაცივება. ამ დროს ნაჭედებში წარმოიქმნება შინაგანი ძაბვები, რომლებიც წარმოადგენენ ნაკეთობის დაბრეცისა და ბზარების წარმოქმნის მიზეზს.

ნაჭედების მანკები იყოფა ორ ჯგუფად: ა) გამოუსწორებად მანკებად - საბოლოო წუნი (ღრმა ბზარები, ნიჟარები, გადაწვა, გაუნახშირბადოება); ბ) დეფექტურ ნაჭედებად - მანკები რომელთა მავნე გავლენა შესაძლებელია შემცირდეს ან მთლიანად

იქნეს აცილებული (წვრილი ბზარები, გადახურება, სტრუქტურის მსხვილმარცვლოვნება, ლითონში წარმოქმნილი შინაგანი ძაბვები და დაბრეცა). ნაჭედები ითვლება ვარგისად, თუ დეფექტების აღმოფხვრის შემდეგ შენარჩუნდება მოთხოვნილი ზომები (დაშვების ზღვრებში). პირველი ჯგუფის მანკებიანი ნაჭედები მოხმარებისათვის უვარგისია. ისინი ითვლებიან წუნდებულ პროდუქციად და იგზავნება გადასადნობად.

მოკლედ განვიხილოთ ნაჭედების ძირითადი დეფექტები:

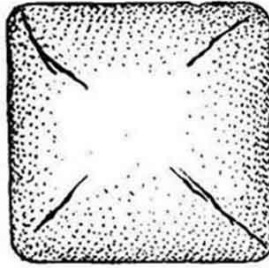
ბზარები. ბზარები შეიძლება იყოს როგორც გარეგანი, ისე შინაგანი. ყველაზე ხშირად ნაჭედებში გვხვდება გრძივი და განივი ბზარები. მათი წარმოქმნის მიზეზია:

– უხარისხო საწყისი მასალები (დეფექტიანი ნამზადი ან ზოდი);

– ნაჭედის არასწორი (არათანაბარი) გახურება და გაცივება. სწრაფი გაცივებისას, პირველ რიგში, ცივდება ლითონის გარე შრეები, რომლებიც იკუმშებიან და “აწვებიან” შინაგან ცხელ შრეებს. როდესაც გარე შრეები იმდენად გაცივდება, რომ უკვე ზომებში არ მცირდება, შინაგანი შრეები მაინც განაგრძობენ გაცივებას და ზომებში შემცირებას. ამ დროს, შრეების გამყოფ პერიმეტრზე (მრგვალი კვეთის ნაჭედებში წრეზე), თერმული ძაბვების გავლენით შესაძლებელია გარე შრეებიდან მათი მოწყვეტა და ლითონის გაბზარვა. ეს განსაკუთრებით საშიშია ლეგირებული ფოლადებისა და დიდი კვეთის მქონე ნაჭედების ჭედვისას;

– დაბალ ტემპერატურაზე ჭედვა;

– არასწორი ხერხების გამოყენება და ძალიან დიდი მოჭიმვა ჭედვისას;

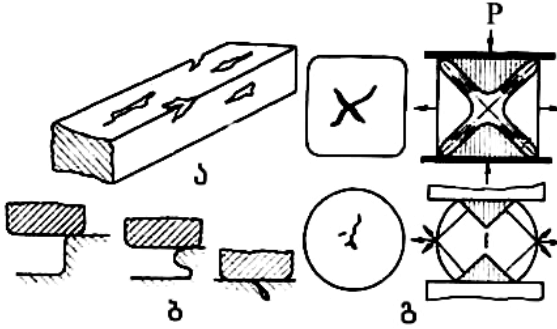


სურ. 66. ჭედვის ბზარები მხურვალმტკიცე ფოლადში

ნაგლეჯები - გარეგანი ბზარები ანუ ნაგლეჯები (სურ. 67). მათი წარმოშობის მიზეზია:

- დაბალ ტემპერატურაზე ჭედვისას სხმულის პირველი მოჭიმვა;
- ნაჭედის სწრაფი გაცივება (განსაკუთრებით ლეგირებული ფოლადის);
- უხარისხო გახურებით გამოწვეული ნამზადის ზედაპირის ძლიერი გადახურება ან გადაწვა, ასევე გოგირდოვანი სათბობის გამოყენება;
- საწყისი ზოდის ან ნამზადის უხარისხოება.

ჭედვისას ზედაპირული ნაგლეჯებისა და ბზარებისადმი მიდრეკილებას ავლენს საიარაღო სწრაფმჭრელი ფოლადი და ზოგი მარკის ლეგირებული დაბალპლასტიკური ფოლადი. საკონსტრუქციო ფოლადების ჭედვისას შემჩნეული ბზარები, მათი შემდგომი გადიდების ასაცილებლად, უნდა მოცილდეს ცხელ მდგომარეობაში. რიგ შემთხვევებში, ბზარის წარმოქმნის მოსალოდნელ ადგილებში, შესაძლებელია დამუშავებაზე გადიდებული ნამეტის დატოვება.



სურ. 67. ნაჭედი ნამზადის ზოგიერთი დეფექტი: ა - გარეგანი ბზარები და (ჩა)ნაგლეჯები; ბ - დაწოლა (დანაწოლები) ზედაპირულ შრეში; გ - სიღრუეები (არხი)

ჭედვის პროცესში გამოვლენილი ბზარები ცხელ მდგომარეობაში ამოიჩეხება სპეციალური საკვეთებით (ნაჯახებით), ცივ მდგომარეობაში - პნევმატიკური ლოჯით. ზედაპირი იწმინდება აბრაზიული ქარგოლით ან სხვა მეთოდებით. ბზარების ცხლად მოშორება უფრო ეკონომიურია, ვიდრე ცივ ნაჭედში მათი ამოჩეხვა;

განშრევეები - ზოდის დეფექტების (ბზარების, აირის ბუშტების, არალითონური ჩანართების) დეფორმაციის შედეგები. იგი შესაძლოა გამოვლინდეს ჭედვის პროცესში. უფრო ხშირად ეს ისეთ შემთხვევებში ხდება, როდესაც მცირეა ნაჭედის სიმაღლე, ხოლო ლითონის საცემთან კონტაქტის ფართობი - დიდი (ნაჭედის სიგანის ფარდობა მის სისქესთან სამზე მეტია), არასაკმარისია ჭედვის ტემპერატურა და დარტყმის მიმართულება ლითონის ბოჭკოების მიმართულების პერპენდიკულარულია.

განშრევეების ასაცილებლად აუცილებელია ჭედვა წარმოებდეს მაღალ ტემპერატურაზე, დარტყმის მიმართულება უნდა იყოს ნამზადში ბოჭკოების მიმართულების პარალელური;

ბეწვზარები - ძალიან წვრილი პატარ-პატარა ბზარები, რომელთა სიგანე არ აღემატება (ამოჭმის შემდეგ შეიმჩნევა შეუიარაღებელი თვალით) მილიმეტრის წილებს. ჭედვისას ან გლინვისას ბეწვზარების წარმოქმნის მიზეზი არის წვრილი ქერქქვეშა აირული ბუშტები ან ნაჭედის ძალიან სწრაფი გაცივება. ბეწვზარები, ხშირად, ნაგლინიდან მემკვიდრეობით გადაეცემა;

ფლოკენები - ფოლადის დნობისას შთანთქმული წყალბადის გამოყოფით წარმოქმნილი მცირე ზომის შინაგანი ბზარები. ფლოკენები ჩნდება ჭედვის შემდეგ (ნაჭედის სწრაფი გაცივებისას), მით მეტი რაოდენობით, რაც მეტია ნაჭედის განიკვეთი;

არალითონური ჩანართები (წილები, ქვიშა) **და ჩაჯდომის სიფხვიერის კვალი** - მანკიანი სხეულის ან ჭედვისას სხმულის ნამატის არასრული მოცილებისას, ნაჭედების ზედაპირზე და შიგნით წარმოქმნილი დეფექტი. იგი ჭედვისას სიფხვიერის სახით გახსნილი (ღია) ნარჩენი ჩაჯდომის ნიჟარაა;

შინაგანი ნარღვევები (განშრევეების ნახვრეტები და სიცარიელები) - უფრო ხშირად ჭედვის არასწორი პროცესის შედეგია. ჩვეულებრივ, აქვთ ჯვრის ფორმა იმის გამო, რომ დიდი მიწოდებით ჭედვისას ნამზადი ირღვევა კვადრატული კვეთის დიაგონალების მიმართულებით. არაჯვისებრი ფორმის არხები და შინაგანი რღვევები შეიძლება გაჩნდეს მრგვალი ნამზადის ბრტყელი საცემით მოგორვისას;

ნახვრეტები (არხები) და **სიცარიელები** (ბუდისებრი დეფექტები) - წარმოიქმნება ღერძის ზონაში მრგვალი ნაჭედის ბრტყელი საცემით არასწორი ჭედვისას, როდესაც წრიული კვეთიდან წრიულზე გადასვლის დროს გაწელვას ახდენენ მცირე მოჭიმვით, კვადრატულ კვეთზე გადასვლის გარეშე;

ხორკლები - ჭედვისას ნაჭედში ჩაწნეული ხენჯი. ისინი ჩნდებიან ხენჯისაგან საცემების დაუდევარი გაწმენდისას;

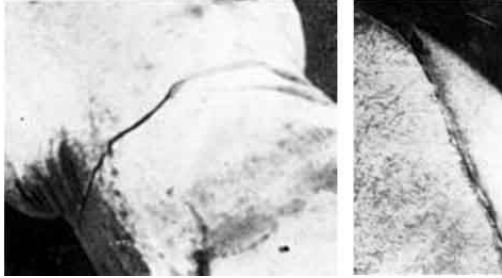
შენატყლეუები - ფორმაწარმოქმნის პროცესში ნაჭედში ჩაჭედილი ხენჯის (დაუდევრად გაწმენდილი ნამზადისა და საცემის ზედაპირებზე დარჩენილი) კვალი, ასევე დაუდევარი მუშაობის შედეგად საფეხუროვანი გადასვლისებრი კვალი ან საცემით წარმოქმნილი შენატყლეუები;

ტორსული ხიწვები - ზოდის თავის ნამატისა და ფსკერის ნაწილის დაუდევრად მოკვეთის ან ცხელი კვეთით ნამზადის ნაწილებად დაყოფისას დარჩენილი ხიწვები. ტორსული ხიწვები კვეთის შემდეგ უნდა მოცილდეს, რადგან შემდგომი ჭედვისას ნაკეცებს წარმოქმნიან;

ნაკეცები - ნაჭედის სიღრმისკენ მახვილი კუთხით მიმართული, მეტ-ნაკლებად განვითარებული, დაჟანგულზედაპირიანი ლითონის არამთლიანობები. ნაკეცის წარმოქმნის მიზეზებია:

- გაწელვისას და გაწევისას გამოყენებული არასწორი ხერხები;
- შტამპის ღარულებში ლითონის შემხვედრი განდინებები;
- საწყის და სასუფთაო ღარულებში ნამზადის ექსცენტრულად ჩაწყობა ან შტამპის საწყისი და სასუფთაო ღარულების ფორმების შეუსაბამობა.

ნაჭედის ზედაპირზე ნაკეცებს ნაკეცების მიმართულებებისადმი პერპენდიკულარულად განთავსებული კარგად ხილული კლავნილი ხაზის სახე აქვს (სურ. 68).



სურ. 68. ნაკეცები

დეფექტი ვლინდება, უპირატესად, განივკვეთის ფართობის მკვეთრი ცვლილების ადგილებში. დამახასიათებელია ბოჭკოების გადალუნვა ნაკეცის ფუძესთან.

ჭედვისას ნაკეცების წარმოქმნის მიზეზია:

- არასწორი დასმა ან მოჭიმვა;
- დიდი დეფორმაცია ერთ მოჭიმვაზე, განსაკუთრებით, როდესაც საცემს აქვს ძალიან მახვილი ნაპირები.

ნაკეცების აცილება შეიძლება საცემის და სხვა სამჭედლო იარაღების სწორად შერჩევით და ჭედვის ტექნოლოგიის დაცვით. მჭედლების კეთილსინდისიერი და კვალიფიციური მუშაობით;

ტორსის ჩაზნექილობა - ჩნდება არასაკმარისად გახურებული მრგვალი განივკვეთის ნამზადის აქტიური გაწელებისას. ჭედვის დროს ნამზადზე უროს სუსტი დარტყმებით მხოლოდ ზედაპირული შრის განდინება ხდება და ირღვევა ნამზადის ბოლოების (ტორსების) ფორმა. ამ მოვლენის ასაცილებლად საჭიროა

ნამზადის გაწევა ხშირი და ძლიერი დარტყმებით. მსხვილი სხმულების ჭედვისას, ტორსის ჩაზნექილობის ასარიდებლად, სხმულს წინასწარ დასვამენ სფერული დასასმელი ფილით. შემდგომი გაჭიმვისას ლითონის არათანაბარი განდინება კომპესირდება ტორსის ამოზნექილობით;

დანაწოლები - მიიღება მჭედლის დაუდევარი მუშაობისას (საცემით დიდი პირმოდება) ან გაუმართავი საცემით (მახვილი ნაწიბურებით) ჭედვისას;

ცივჭედვა - პლასტიკური დეფორმაციით ნაჭედების ზედაპირული შრეების სტრუქტურისა და თვისებების ცვლილება - რეკრისტალიზაციის ნაწილობრივი ან სრული ჩახშობა. წარმოიქმნება ჭედვის დაბალ ტემპერატურაზე დამთავრებისას. ცივჭედვა იწვევს ნამზადის მნიშვნელოვან დაბრეცას და ჭრით შემდგომი დამუშავებისას შესაძლებელია მისი რღვევაც გამოიწვიოს. ცივჭედვა (მო)იხსნება თერმული დამუშავებით - სარეკრისტალიზაციო მოღობობით;

ნამგლისებრობა - უფრო ხშირად ჩნდება წნეხით გაჭიმვისას. მას იწვევს ნამზადის ცივ ქვედა საცემთან შეხებით გამოწვეული ნაჭედის არათანაბარი გაცივება. ამ დეფექტის აცილება შესაძლებელია გაჭიმვისას ნამზადის პერიოდულად გვერდის შებრუნებით. თუ სიმრუდე მაინც გაჩნდება, ნამზადს აბრუნებენ 180°-ით, გაჭიმავენ, შემდეგ ხელახლა შეაბრუნებენ გვერდს წიბოზე;

ზომების დაუცველობა - მოცემული ზომებიდან და დაშვებებიდან (მოთხოვნილ ზომაზე ნამეტებისა და წანამატების გადამეტება ან დაკლება) გადახრა.

თავისუფალი ჭედვით ან შტამპვით მიღებული ნაჭედის დეფექტი შემღება იყოს არაგამოსწორებადიც და გამოსწორებადიც.

ნაჭედების არაგამოსწორებადი დეფექტები - ღრმა გრძივი და განივი ბზარები, ნაგლეჯები, ნიჟარები, სიფხვიერე და არალითონური ჩანართები, გადაწვა, გაუნახშირბადობა. არაგამოსწორებადდეფექტიანი ნაჭედები უვარგისია და ხდება მისი წუნდება.

ნაჭედების გამოსწორებადი დეფექტები - მცირე ზომის ბზარები, ლითონის გადახურება, სტრუქტურის მსხვილმარცლოვნება, ლითონში წარმოქმნილი შინაგანი ძაბვები და დაბრეცა, დანაწოლები და ნაკეცები (თუ ისინი არ ხვდებიან დეტალის კონტურში).

თავისუფალი ჭედვით ან შტამპვით დამზადებული ნაკეთობების მანკების გამოსწორება ხდება შემდეგი ხერხებით:

- წვრილი ბზარები და ნიჟარები ამოიჩეხება პნევმატური ლოჯებით ცივ მდგომარეობაში ან სპეციალური საკვეთლებით (ნაჯახებით) ჭედვის პროცესში (ცხელ მდგომარეობაში);
- დანაწოლები და ნაკეცები იწმინდება აბრაზიული ქარგოლით ან ამოიჩეხება;
- ზედაპირული ბზარები ცილდება და გაუნახშირბადოებული შრე საპასუხისმგებლო ნაჭედებიდან იხსნება სპეციალურ ჩარხებზე, ზედაპირის ჩორტნით;
- გამრუდებული და დაბრეცილი ნაკეთობები სწორდება წნეხებზე;
- მექანიკური თვისებების გასაუმჯობესებლად, გადახურებისა და შინაგანი ძაბვების მოსახსნელად, ნაჭედებს უტარდება

თერმული დამუშავება - მოღობა ან ნორმალიზაცია, იშვიათად გაუმჯობესება.

ჭედვის პროცესში შეიძლება გაჩნდეს ზედაპირიდან დაუყოვნებლად მოსაცილებელი სხვადასხვა დეფექტი. ჭედვის ძირითადი დეფექტები და მათი აცილების ხერხები მოცემულია № 3 ცხრილში.

ცხრილი № 3. ნაჭედების ძირითადი დეფექტები და მათი აცილების ღონისძიებები

დეფექტი	დეფექტის აცილება
ნამზადის დეფორმაცია (მოლუნვა) წიბოზე.	ნამზადს ათავსებენ გრდემლზე ისე, რომ სიბრტყის არათანაბრობა აღმოჩნდეს ზევიდან. დეფორმირებულ ადგილზე ატარებენ ძლიერი დარტყმების სერიას. უროს ნაპირისაკენ გადანაცვლებისას ასუსტებენ დარტყმის ძალას. საბოლოო სწორება ხდება ნამზადის ერთი მხრიდან მეორეზე მუდმივად გადაბრუნებისას.
ნამზადის სიბრტყის დეფორმაცია.	ნამზადს ერთი მხრიდან ჩაავლებენ მარწუხს და ათავსებენ გრდემლზე, ამობურცული ზედაპირით ზევით. ნამზადის მეორე მხრიდან გრდემლის საპირულის მომიჯნავე შვერილის ნაწილს ძლიერად ურტყამენ უროთი. ზედაპირის გასწორებასთან ერთად უროს გადაადგილებენ ნამზადის ცენტრისკენ.
სიბრტყის დეფორმაცია და წიბოზე მოლუნვა ერთდროულად.	ასწორებენ ნამზადის დეფორმირებულ სიბრტყეს. ასწორებენ მოლუნვას წიბოზე.

ცხრილი № 3-ის გაგრძელება

<p>კუთხოვანას დეფორმაცია: კუთხოვანას ერთი-ერთი მხარის შიგნით გადაზნექა. კუთხოვანას ერთი-ერთი მხარე რჩება უკმარ- ღუნული.</p>	<p>კუთხოვანას შიგა მხრიდან ტარდება უროს დარტყმების სერია. კუთხოვანას გარე მხრიდან ტარდება უროს დარტყმების სერია.</p>
<p>ფურცლოვანი ნამზადის ცენტრში ამოზნექილობა.</p>	<p>ფურცლოვანი ნამზადს ათავსებენ გრდემ- ლზე ან სპეციალურ სასწორებელ ფილაზე. ამოზნექილობის საზღვრები მონიშნება ცარცით. ნაპირიდან ცენტრის მიმართულებით ხდება უროს ძლიერი დარტყმები. (თუ ფურცლის ცენტრში რამდენიმე ამოზნექილობაა, მაშინ მათ აერთიანებენ ერთ ამოზნექი- ლობად და გამოჭედენ უროთი ნაპირიდან ცენტრის მიმართულებით).</p>
<p>ფურცლოვანი ნამზადის ტალღოვანი დეფორმაცია.</p>	<p>ფურცლოვანი ნამზადი ჭახრაკით ან პრესით მჭიდროდ მიეჭირება გრდემლის ჰორიზონტალურ სიბრტყეს. ნამზადის ერთი მხარეს ასწორებენ მჭიდროდ, უროს არამძლიერი დარტყმებით მიჭერილი მხრებიდან. ანალოგიურად ასწორებენ მეორე მხარეს, ასევე ფურ- ცლოვანი ნამზადის ყველა მომდევნო დეფექტს.</p>
<p>ფურცლოვანი ნამზადის ნაპირების დეფორმაცია.</p>	<p>ფურცლოვანი ნამზადი იდება გრდემლის ზედაპირზე. ფურცლის ერთ ნაპირს მიაჭერენ ტვირთით, ხოლო მეორეს - ხელით. ფურცლის სწორი ცენტრალური ნაწილიდან ურტყამენ ჩაქუჩს და გასწორებასთან ერთად, დროდადრო ნამზადს მოაბრუნებენ სხვადასხვა მხრიდან.</p>

თავი V

რკინანახშირბადიანი შენადნობების ფაზები და სტრუქტურული მდგენელები

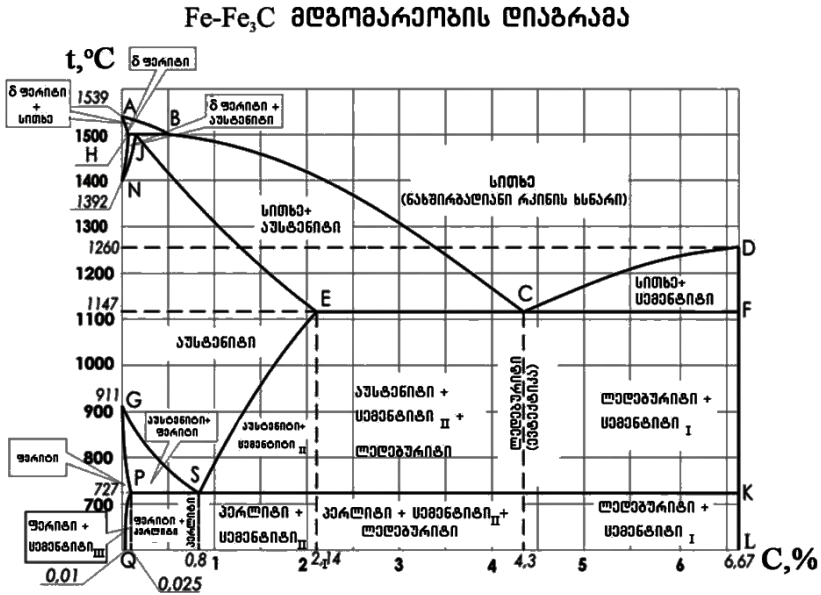
შენადნობის თვისებებს, ზოგადად, განსაზღვრავს მისი ფაზური შედგენილობა და სტრუქტურა. ისინი, თავის მხრივ, დამოკიდებული არიან შენადნობის ქიმიურ შედგენილობასა და დამუშავების ტექნოლოგიაზე. რკინანახშირბადიანი შენადნობების ფაზებისა და სტრუქტურის აღწერამდე, გავიხსენოთ ფაზისა და სტრუქტურული მდგენელის განმარტებები: ფაზა არის ჰეტეროგენული თერმოდინამიკური სისტემის ნაწილი, ერთგვაროვანი ქიმიური შედგენილობით, კრისტალური გისოსის ტიპით და ფიზიკური თვისებებით, რომელიც გამოყოფილია სისტემის სხვა ნაწილებისაგან გამყოფი ზედაპირით. სტრუქტურა არის მაკროსკოპიული და მიკროსკოპიული აღნაგობის საერთო მახასიათებელი, რომელიც ასახავს ფაზების ფორმას, ზომასა და მათ ურთიერთგანლაგებას შენადნობში.

5.1 რკინანახშირბადიანი შენადნობების ფაზები

ფოლადებისა და თუჯების შედენილობის ძირითადი კომპონენტებია რკინა და ნახშირბადი. ტემპერატურასა და ნახშირბადის შედგენილობაზე დამოკიდებულებით რკინა-ცემენტიტის სისტემის მეტასტაბილური დიაგრამა მოცემულია სურ. 69-ზე.

რკინა-ცემენტიტის დიაგრამის კრიტიკული წერტილების, შესაბამისი ტემპერატურებისა და ნახშირბადის შემცველობის

ასოთი საერთაშორისო აღნიშვნები (რომლებიც ცვლილებებს არ ექვემდებარება) მოცემულია № 4 ცხრილში.



სურ. 69. რკინა - ცემენტიტის დიაგრამა

ნახშირბადის შემცველობის მიხედვით რკინანახშირბადიანი შენადნობები არის ტექნიკური რკინა ($\leq 0,02$ C), ფოლადები (0,02-დან 2,14 %-მდე C) და თუჯები (2,14%-დან 6,67%-მდე C). 0,8 %-მდე C-ს შემცველობის ფოლადებს ეწოდება ქვევტექტოიდური, 0,8 % C-ს შემცველობის ფოლადს - ევტექტოიდური, ხოლო 0,8 %-დან 2,14 %-მდე C-ს შემცველობის ფოლადებს - ზეევტექტოიდური. 2,14 -დან 4,3 %-მდე C შემცველობის თუჯებს ეწოდება ქვევტექტიკური, 4,3% C-ს შემცველობის თუჯს - ევტექტიკური, ხოლო 4,3 %-დან 6,67 %-მდე C შემცველობის თუჯებს - ზევტექტიკური.

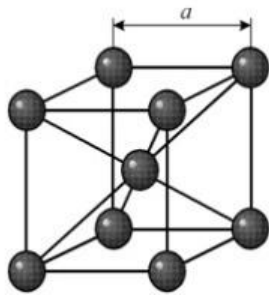
ცხრილი № 4. რკინა-ნახშირბადის (ცემენტიტის) დიაგრამის კრიტიკული წერტილები

წერტილი	ტემპერატურა გახურებისას, °C	ნახშირბადის ზღვრული შემცველობა,%	წერტილის დახასიათება
A	1539	0	რკინის დნობის ტემპერატურა
B	1499	0,51	თხევადი ფაზის შედგენი- ლობა პერიტექტიკული რეაქციისას.
C	1147	4,3	ფეტექტიკის-ლედებურიტის შედგენილობა.
D	1260	6,67	ცემენტიტის დნობის (დაშლის) ტემპერატურა.
E	1147	2,14	ნახშირბადის ზღვრული ხსნადობა γ -რკინაში.
J	1499	0,16	აუსტენიტის შედგენილობა პერიტექტიკული რეაქციისას.
H	1499	0,1	ფერიტის შედგენილობა პერიტექტიკული რეაქციისას.
N	1399	0	δ რკინის γ -რკინაში გარდაქმნა,
G	911	0	α რკინის γ -რკინაში გარდაქმნა.
S	727	0,8	ფეტექტიკის – პერლიტის შედგენილობა.
P	727	0,025	ნახშირბადის ზღვრული ხსნადობა α რკინაში.
Q	20	0,01	ნახშირბადის მინიმალური ხსნადობა α რკინაში.

ტემპერატურისა და ნახშირბადის შემცველობაზე დამოკიდებულია რკინა-ცემენტიტის მეტასტაბილურ სისტემაში ფიქ-

სირდება შემდეგი ფაზები: თხევადი ფაზა, აუსტენიტი, ცემენტიტი (წონასწორულ სისტემაში გრაფიტი), ფერიტი. ხოლო სტრუქტურული მდგენელებია: ფერიტი, პერლიტი, ლედებურიტი. ყოველგვარი სტრუქტურული ცვლილება სისტემაში, არის მათი კომბინაციის შედეგი. ამიტომ, მოკლედ განვიხილოთ თითოეული მათგანის აღნაგობა და თვისებები.

ფერიტი (α -ფაზა, Fe_α). ფერიტი ნახშირბადისა (0,02 %-მდე) და სხვა ელემენტების მცარი ხსნარია α -რკინაში. სახელწოდება მიენიჭა ამერიკელი მეცნიერის გ.მ. ხოუს წინადადებით (ლათ. სიტყვა ferrum-რკინიდან გამომდინარე). იგი, რკინანახშირბადიანი შენადნობების (ფოლადების, თუჯების) ფაზური და სტრუქტურული მდგენელია. ფერიტის განსაზღვრება როგორც ნახშირბადის მცარი ხსნარისა რკინის α -მოდულიფიკაციაში, გამართლებულია მხოლოდ Fe - C დიაგრამის განხილვისას. უსუფთავეს რკინა, რომელიც შეიცავს ნახშირბადის კვალს, აგრეთვე რკინის უნახშირბადო შენადნობები, მოცულობადაცენტრებული კუბური (მდკ) გისოსით (მდკ გისოსში რვა იონი განლაგებულია კუბის წიბოზე და ერთი - ცენტრში) თანამედროვე ტერმინოლოგიით იწოდება ფერიტულ სტრუქტურად (სურ. 70).



სურ. 70. მოცულობადაცენტრებული კუბური გისოსი

α -რკინის მდკ გისოსის პერიოდი (a პარამეტრი) 20°C -ზე $0,2862$ ნმ-ია, 910°C -მდე იზრდება ხაზობრივად და $0,2899$ ნმ-ს აღწევს. ფერიტში ნახშირბადი უმნიშვნელო რაოდენობით იხსნება. აქედან გამომდინარე, მიღებულია, რომ ფერიტის გისოსის პერიოდი და $T_{\text{კრ}}$ პრაქტიკულად ისეთივეა, როგორც სუფთა α -Fe-ის. რკინა ნახშირბადთან წარმოქმნის ჩანერგვის მყარ ხსნარს, მალეგირებელ ელემენტებთან კი - ჩანაცვლების მყარ ხსნარს. ნახშირბადის ატომები ფერიტში ჩანერგილია ოქტაედრულ სიცარიელებში.

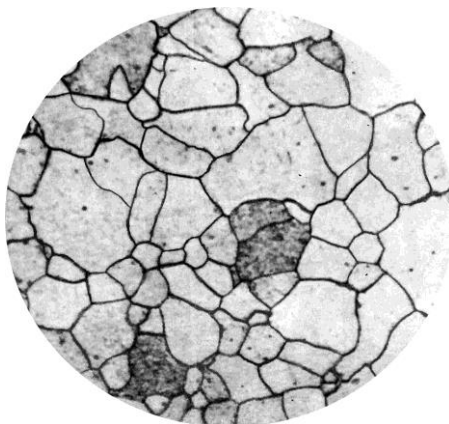
ფერიტი პარამაგნიტურია $911 - 769^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურულ ინტერვალში, ხოლო 768°C -დან აბსოლუტურ ნულამდე - ფერომაგნიტური. 768°C -ზე (კიურის წერტილი) ფერომაგნიტური α -Fe გადადის “არამაგნიტურ α -Fe-ში” (უფრო ზუსტად - მოწესრიგებულ ანტიფერომაგნიტურ β -Fe-ში). მაგნიტურ გარდაქმნას არ ახლავს ალოტროპიული გარდაქმნის ტიპური ცვლილებები - კრისტალური გისოსის შეცვლა, გადაკრისტალება და გარდაქმნის სითბური ჰისტერეზისი (გაცივების სიჩქარის ზრდა არ იწვევს მაგნიტური გარდაქმნის ტემპერატურის ცვლილებას - დადაბლებას). 1392°C -ზე ზევით γ -ფაზა გარდაიქმნება პარამაგნიტურ δ -ფაზად, რომელიც არსებობს 1536°C -მდე. δ -ფაზის მდკ გისოსის პერიოდი 1392°C -ზე $0,2925$ ნმ-ის ტოლია. 1536°C -მდე იგი წრფივად იზრდება და $0,2935$ ნმ-ის ტოლი ხდება.

ფერიტი რბილი და პლასტიკურია. მისი სისალე იცვლება ($80 - 250$ HB-ს ფარგლებში) მასში გახსნილი მინარევებისა და სხვადასხვა მალეგირებელი ელემენტების რაოდენობაზე დამოკიდებულებით. ამას გარდა, ფერიტის სისალე დამოკიდებულია თერმული დამუშავების მეთოდზეც. ელემენტების გარკვეული

ჯგუფით ფერიტის ლეგირებისას სისალე, პრაქტიკულად, დამოკიდებული არ არის გაცივების სიჩქარეზე, სხვა ელემენტებით ლეგირება კი ფერიტის სისალეს ზრდის.

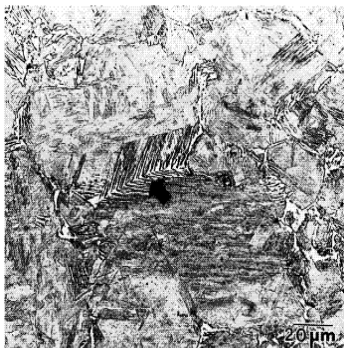
თერმული გავლენისა და მარცვლის საზღვრების მიხედვით გვხვდება ორი მორფოლოგიური ტიპის ფერიტი - ტოლდერმა და ნემსისებრი:

1. ნელი გაცივებისას მიიღება პოლიედრული ფერიტი (სურ. 71). მიკროსტრუქტურა შედგება ფერიტის მრავალი ცალკეული მარცვლისაგან, ისინი ერთმანეთისაგან გაყოფილია მარცვლის საზღვრებით, რომლებიც თითოეული მარცვლის შემომსაზღვრელ მუქ ხაზებად მოჩანან. მარცვლის საზღვრები განაცალკავებენ ერთი კრისტალური ორიენტაციის ფერიტულ მარცვალს სხვა ორიენტაციის მქონე მარცვლისაგან. ძალიან დაბალნახშირბადიანი ფოლადის მიკროსტრუქტურა მორფოლოგიურად ტოლდერმაა, იმ გაგებით, რომ მარცვლის ზომები ყველა მიმართულებით დაახლოებით ერთნაირია (ასეთ სტრუქტურას პოლიგონალურსაც უწოდებენ);



სურ. 71. ფერიტის მიკროსტრუქტურა X500 (0,006 %C)

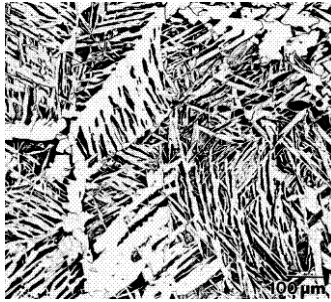
2. ქვევეტექტოიდური ფოლადების სწრაფი გაცივებისას მიიღება ნემსისებრი ტიპის ნემსისებრი ფერიტი (გარეგნულად ჰგავს ბეინიტს), რომლის სისალე 100 - 150 HB-თი აღემატება პოლიედრული ფერიტის სისალეს (სურ. 72). შესაბამისად, უწყვეტი გაცივებისას, ძვრით წარმოქმნილი მაღალდისპერსიული ნებისმიერად ორიენტირებული მარცვლების საზღვრებზე თეთრი ნემსისებრი ფაზა არის ფერიტი, ხოლო რუხი არე - მარტენსიტი. ასეთი სტრუქტურის წარმოქმნა იწყება ოდნავ უფრო მაღალ ტემპერატურაზე, ვიდრე ზედა ბეინიტური გარდაქმნის ტემპერატურული ინტერვალა. ბეინიტისაგან იგი განსხვავდება ნახშირბადის განსაზღვრული ხსნადობის ზღვრითა და სტრუქტურაში კარბიდების უმნიშვნელო რაოდენობით არსებობით.



სურ. 72. ნემსისებრი ფერიტი პირველადი აუსტენიტური მარცვლების საზღვრებზე ფოლადში (0,6 %C)

სურ. 73-ის შესაბამისად, შეიძლება ფერიტს, როგორც სტრუქტურულ მდგენელს ჰქონდეს სხვა მორფოლოგიური ფორმა: მაგ., როდესაც ფერიტი, როგორც ფაზა, არის პერლიტის ან ბეინიტის მიკროსტრუქტურაში, იგი შლიფის ზედაპირზე ქმნის

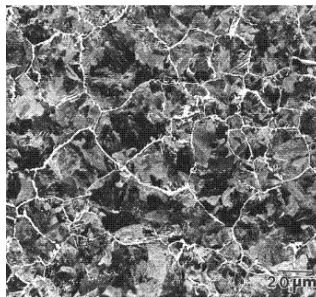
ნემსისებრ სტრუქტურას, სინამდვილეში სამგანზომილებიან ფერიტს ფირფიტების ან ლარტყას ფორმა აქვს.



სურ. 73. ვიდმანშტეტური ფერიტი მსხვილმარცვლოვან ფოლადში (0,25 % C)

ფოლადებში ფერიტი, აუსტენიტური მდგომარეობიდან გაცივებისას, ჩვეულებრივ, პირველადი აუსტენიტის მარცვლის საზღვრებზე წარმოიქმნება. ფერიტის ამ ფორმას “პროექტექტოიდურს” უწოდებენ და გვხვდება ქვეექტექტოიდურ ფოლადებში.

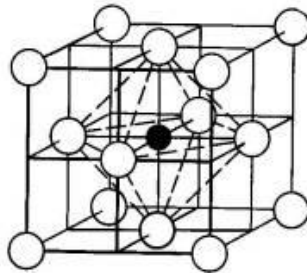
სურ. 74-ის შესაბამისად, ჩვეულებრივ ნახშირბადიან ფოლადებში თეთრი ფაზა, მარცვლის საზღვრებზე, არის ფერიტი, მუქი – პერლიტი.



სურ. 74. პროექტექტოიდური ფერიტი ზეთში ნაწრთობი ფოლადის (0,60 %C) პირველადი აუსტენიტური მარცვლების საზღვრებზე

აუსტენიტი (γ -ფაზა, Fe_γ) არის რკინისა და მისი შენადნობების მაღალტემპერატურული მოდიფიკაცია, წახნაგდაცენტრებული კუბური (წდკ) გისოსით. დასახელება მიენიჭა ინგლისელი მეცნიერის სერ უილიამ ჩენდლერ რობერტ აუსტენის (William Chandler Roberts-Austen, 1843 - 1902) პატივსაცემად.

ნახშირბადიან ფოლადებში აუსტენიტი ფორმირდება საბოლოო თერმული დამუშავებისას. ნახშირბადის ატომები შედიან γ -რკინის ელემენტარული უჯრედის შიგნით და წარმოქმნიან ჩანერგვის მყარ ხსნარს. ელემენტარული γ უჯრედის ცენტრში განთავსებული ნახშირბადის ატომი გარშემორტყმულია რკინის ექვსი ატომით, რომლებიც ოქტაედრს წარმოქმნიან (სურ. 75). γ -რკინაში ნახშირბადის ზღვრული ხსნადობა $1147^\circ C$ -ზე $2,14\%$ -ია.

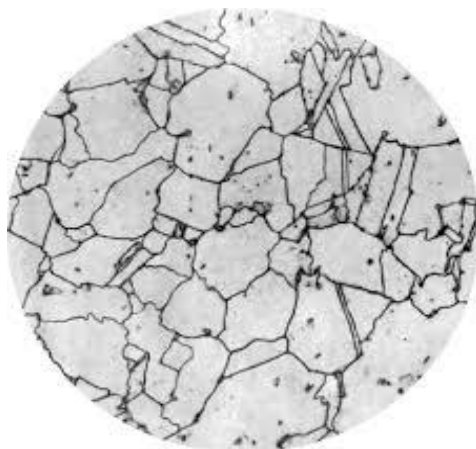


სურ. 75. აუსტენიტის კრისტალურ გისოსში ჩანერგილი ნახშირბადის ატომი

უნახშირბადო Fe_γ კრისტალური გისოსის პარამეტრი, პირობითად, $0,356$ ნმ-ის ტოლია (უნახშირბადო γ -რკინა ოთახის ტემპერატურაზე არ არსებობს. აღნიშნული სიდიდე განსაზღვრულია მაღალტემპერატურებზე გაზომილი სუფთა რკინის პარამეტრების სიდიდეთა ნულოვან მნიშვნელობამდე ექსტრაპოლაციით). ე.ი ასეთი პარამეტრი ექნებოდა სუფთა რკინას

ოთახის ტემპერატურაზე, თუ ამ ტემპერატურაზე იქნებოდა მიღწეული მისი მიღება. სხვა მეტალების შემცველ ფოლადებში მალეგირებელი ელემენტების ატომები კრისტალურ გისოსში ჩანაცვლებენ რკინის ატომებს და წარმოიქმნება ჩანაცვლების მყარი ხსნარი. სუფთა რკინაში იგი 911 - 1401°C ტემპერატურულ ინტერვალში არსებობს. ნახშირბადიან ფოლადებში აუსტენიტი 727°C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე არსებობს, ლეგირებულ ფოლადებში კი მისი არსებობა გაცილებით უფრო დაბალ ტემპერატურებზეა შესაძლებელი.

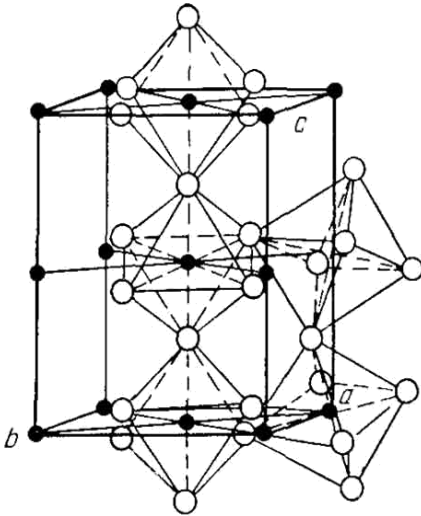
სურ. 76-ის, მიხედვით აუსტენიტის მიკროსტრუქტურა მორფოლოგიურად არატოლდერმა მარცვლებისაგან შედგება.



სურ. 76. აუსტენიტის მიკროსტრუქტურა X500

ცემენტიტი - რკინის კარბიდი Fe_3C , მეტასტაბილური მაღალ-ნახშირბადიანი ფაზა, ქიმიური ნაერთი. ნახშირბადის კონცენტრაცია ცემენტიტში ზღვრულია რკინანახშირბადიანი ფოლადებისათვის და მასური 6,67%-ია. ცემენტიტი მიეკუთვნება არამდგრად ნაერთებს და განსაზღვრულ პირობებში იშლება

თავისუფალი ნახშირბადის (გრაფიტის სახით) წარმოქმნით. სტაბილური ფაზის - გრაფიტის - მიღება გართულებულია. ცემენტიტს აქვს რომბული კრისტალური გისოსი. ცემენტიტის კრისტალური სტრუქტურა ძალიან რთულია (სურ. 77). იგი შედგება რიგი ოქტაედრებისაგან, რომელთა ღერძებიც ერთმანეთის მიმართ გარკვეული კუთხითაა განლაგებული. თითოეული ოქტაედრის შიგნით განთავსებულია ნახშირბადის ატომი. ნახშირბადის თითოეული ატომი გარშემორტყმულია რკინის რვა ატომით, ხოლო რკინის თითოეული ატომი დაკავშირებულია ნახშირბადის სამ ატომთან.



სურ. 77. ცემენტიტის კრისტალური გისოსი (O - Fe, ● - C)

ცემენტიტს შეუძლია ჩანაცვლების მყარი ხსნარის წარმოქმნა. ნახშირბადის ატომები შეიძლება ჩანაცვლებული იქნეს აზოტით ან ჟანგბადით, ხოლო რკინის ატომი - მანგანუმით, ქრომით, ვოლფრამით და სხვა ლითონებით. ცემენტიტის გისოსის

ბაზაზე ასეთ მყარ ხსნარს ლეგირებულ ცემენტიტს უწოდებენ. ლეგირებულ ცემენტიტს, ჩვეულებრივ, აღნიშნავენ როგორც M_3C , სადაც M-ის ქვეშ იგულისხმება რკინა და სხვა ლითონები, რომლებმაც რკინის ატომები ჩაანაცვლეს ცემენტიტის გისოსში.

ცემენტიტი ძალიან სალი (800 HB) და მყიფეა. იგი სუსტად მაგნიტურია. 215 °C-ზე გადადის პარამაგნიტურ მდგომარეობაში. კრისტალიზაციის პირობებზე დამოკიდებულებით და შემდგომი დამუშავებებით, ცემენტიტი გვხვდება სხვადასხვა ფორმით. იგი შეიძლება იყოს: ტოლღერძა მარცვლების, მარცვლის საზღვრებზე ბადის, ფირფიტების ან ვიდმანშტეტური სტრუქტურის სახის.

რკინანახშირბადიანი შენადნობების სტრუქტურაში ცემენტიტი ჩნდება სხვადასხვა რაოდენობით უკვე ნახშირბადის მცირე შემცველობისას. ცემენტიტი ნადნობიდან თუჯის კრისტალიზაციისას ფორმირდება. ფოლადებში გამოიყოფა აუსტენიტის გაცივებისას ან მარტენსიტის გახურებისას. ცემენტიტი რკინანახშირბადიანი შენადნობების ფაზური და სტრუქტურული მდგენელია (ლედებურიტის, პერლიტის, სორბიტისა და ტროოსტიტის შემადგენელი ნაწილია). პირველადი ცემენტიტი კრისტალდება უშუალოდ თხევადი შენადნობიდან, მეორეული ცემენტიტი - აუსტენიტიდან, მესამეული - ფერიტიდან.

გრაფიტი - რკინა-ნახშირბადიანი შენადნობების სტაბილური მაღალნახშირბადიანი ფაზა. გრაფიტი (ბერძნ. γράφω-ვწერ) - თვითნაბადი ნახშირბადის ერთ-ერთი ალოტროპიული მოდიფიკაცია. სიმკვრივე 2,08 - 2,23 გ/სმ³. ხასიათდება: მუქი რუხი ფერით; ლითონური ბზინვარებით; შრეობრივი სტრუქტურით;

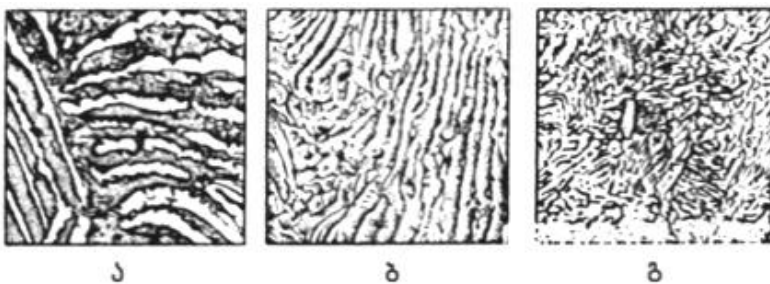
ალმასისაგან განსხვავებით რბილია (სისალე=1-ს, მოოსის სკალით); კარგად ატარებს ელექტროდენს. მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებით ოდნავ სალდება და ძლიერ მყიფდება. უდნობია. უჰაერო ატმოსფეროში გახურებისას მდგრადია. მჟავებში არ იხსნება. შეხებისას პოხიერია (ლიპი). დასახელება გრაფიტი ეწოდა 1789 წელს აბრამ ვერნერის წინადადებით [არსებობს დასახელებები: “შავი ტყვია” (ინგლ. *black lead*), “კარბიდული რკინა”, ვერცხლისებრი ტყვია]

5.2 რკინანახშირბადიანი შენადნობების სტრუქტურები

პერლიტი - ევტექტოიდური ნარევი, რომელიც შედგება ფერიტისა და ცემენტიტის (ლეგირებულ ფოლადებში კარბიდის) თხელი ურთიერთმონაცვლე ფირფიტებისაგან. სახელწოდება მიენიჭა ამერიკელი მეცნიერის გ.მ. ხოუს წინადადებით - (ფრან. *perle* - მარგალიტიდან გამომდინარე) და დაკავშირებულია სადაფისებრ ბზინვასთან. იგი ევტექტოიდური დაშლის პროდუქტია. წარმოიქმნება Fe - C შენადნობების აუსტენიტიდან 727 °C-ზე დაბლა ნელი გაცივებისას - დიფუზიური გარდაქმნით. $\gamma \rightarrow \alpha$ გადასვლისას ჭარბი ნახშირბადი გამოიყოფა ცემენტიტის ან კარბიდების სახით.

პერლიტურ არეში აუსტენიტის გარდაქმნის პროდუქტების აღნაგობა და თვისებები დამოკიდებულია პერლიტის დაშლის ტემპერატურაზე. მაღალ ტემპერატურებზე, ანუ გადაცივების მცირე ხარისხისას, მიიღება ფერიტისა და ცემენტიტის (ოპტიკური მიკროსკოპით ადვილად დიფერენცირებადი) ნარევი-პერლიტი. უფრო დაბალ ტემპერატურებზე და, შესაბამისად,

უფრო დიდი გადაცივების ხარისხისას, სტრუქტურის დისპერსიულობა მაღლდება და პროდუქტების სისალე მატულობს. ასეთი უფრო თხელფირფიტოვანი აღნაგობის პერლიტს ეწოდება სორბიტი. აუსტენიტის დაშლის კიდევ უფრო დაბალ ტემპერატურაზე წარმოქმნილი სტრუქტურის დისპერსიულობა კიდევ უფრო მატულობს და მისი ცალკეული მდგენელის ოპტიკური მიკროსკოპით დიფერენცირება თითქმის შეუძლებელია. ასეთ სტრუქტურას ეწოდება ტროოსტიტი და მისი ფირფიტოვანი აღნაგობა დაიშორება ელექტრონული მიკროსკოპით. ამრიგად, პერლიტი, სორბიტი და ტროოსტიტი - აუსტენიტის დაშლის პროდუქტები - ერთნაირი ბუნების სტრუქტურებია (ფერიტი+ცემენტიტი). ისინი მიიღებიან სხვადასხვა ხარისხით გადაცივებული აუსტენიტის დაშლით და ერთმანეთისგან განსხვავდებიან ფერიტისა და ცემენტიტის დისპერსიულობითა და სისალით. სურ. 78.

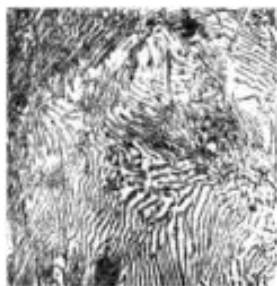


სურ. 78. აუსტენიტის დიფუზიური გარდაქმნების მიკროსტრუქტურები: ა) პერლიტი, ბ) სორბიტი, გ) ტროოსტიტი X7500

ცხრილი № 5. ნახშირბადიანი ფოლადების აუსტენიტიზაციის ტემპერატურიდან სხვადასხვა სიჩქარით გაცივებისას აუსტენიტის გარდაქმნის მიღებული ძირითადი სტრუქტურები და სისალეები.

№	სტრუქტურის დასახელება	გარდაქმნა, °C		სისალე, HRC	საცივებელი არე	გაცივების სიჩქარე
		დასაწყისი	დასასრული			
1	პერლიტი	727	≈600	10–20	ლუმელთან ერთად	≈1°/წთ
2	სორბიტი	600	≈500	20–30	მშვიდი ჰაერი	≈1 ⁰ /წმ
3	ტროოსტიტი	≈500	200	30–45	ზეთი	≈50 ⁰ /წმ

ფორმაზე დამოკიდებულებით ასხვაგვებენ ფირფიტოვან (ა) და მარცვლოვან (ბ) პერლიტს (სურ. 79).



ა



ბ

სურ. 79. პერლიტის სტრუქტურები: ა - ფირფიტოვანი; ბ - მარცვლოვანი

ფირფიტოვან პერლიტში ცემენტიტი ფირფიტების სახის არის, მარცვლოვანში - მომრგვალებული. ჰომოგენური აუსტენიტი ყოველთვის ფირფიტოვან პერლიტად გარდაიქმნება. მაღალ ტემპერატურამდე გახურება, როდესაც უფრო ერთგვაროვანი

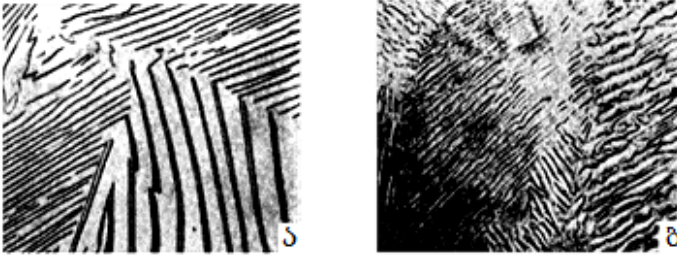
სტრუქტურის წარმოქმნის პირობებია, ხელს უწყობს ფირფიტოვანი პერლიტის წარმოქმნას. გადაცივების ყველა ხარისხისას არაერთგვაროვანი აუსტენიტი იძლევა მარცვლოვან პერლიტს. ზევექტილიდური ფოლადების Ac_1 -ზე ოდნავ მაღლა და Ac_3 -ზე დაბლა გახურებისას წარმოიქმნება მარცვლოვანი პერლიტი. კრიტიკული წერტილი Ac_3 აუსტენიტში მეორეული ცემენტიტის გახსნის საბოლოო ტემპერატურაა. ვარაუდობენ, რომ აუსტენიტში გაუხსნელი ცემენტიტის ნაწილაკები $Ac_1 - Ac_3$ ინტერვალში კრისტალიზაციის დამატებით ცენტრებს წარმოადგენენ და ხელს უწყობენ მარცვლოვანი პერლიტის წარმოქმნას. მაგ., $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ -მდე გახურებული ფოლადის გაცივებისას აუსტენიტის დაშლით მიიღება ფირფიტოვანი პერლიტი. ამასთან, გახურების უფრო დაბალი საწყისი ტემპერატურა უფრო დისპერსულ სტრუქტურას იძლევა. მაგრამ არამაღალ ($< 780^{\circ}\text{C}$) ტემპერატურამდე გახურებული ამგვარი ფოლადის იმავე ტემპერატურებზე გარდაქმნებისას მიიღება მარცვლოვანი პერლიტი. ცემენტიტის მარცვლების ზომა პერლიტში დამოკიდებულია აუსტენიტის გარდაქმნის ტემპერატურაზე. $Ac_1 - Ac_3$ ტემპერატურულ ინტერვალში წარმოქმნილი აუსტენიტი ცემენტიტს ნახშირბადით აღარიბებს. ასეთი ცემენტიტის ფორმა დამოკიდებულია აუსტენიტიზაციის ტემპერატურაზე.

პერლიტური გარდაქმნის სტრუქტურის თვისებები დამოკიდებულია ფირფიტების ზომასა და ცემენტიტის მარცვლების ფორმაზე, ფირფიტებს შორის მანძილზე (ცხრ. №6). ფირფიტებს შორის მანძილი კი პირდაპირ კავშირშია გადაცივების ხარისხთან (სურ. 80).

ცხრილი 6. ფირფიტოვანი პერლიტური სტრუქტურების სისაღის მაჩვენებლების დამოკიდებულება ფირფიტებს შორის მანძილზე

დასახელება	პერლიტი	სორბიტი	ტროოსტიტი
ფირფიტებს შორის მანძილი S, მკმ	0,6 - 0,7	0,25	0,1
სისაღე, HB	180	250	400

შენიშვნა: პერლიტის სისაღის მაჩვენებლები განსხვავებულია სხვადასხვა ავტორთან. ისინი იცვლებიან ფირფიტოვანი პერლიტის 180 - 230HB და მარცვლოვანი პერლიტის - 160 - 190 HB ინტერვალში.



სურ. 80. გადაცივებული აუსტენიტიდან მიღებული ევტექტოიდური ფოლადის მიკროსტრუქტურა: ა) გადაცივება 18°C-ით X2500; ბ) გადაცივება 130°C-ით X5000

ფირფიტოვანი პერლიტის სიმტკიცის ზღვარი არის 784 მგპ (80 კგ/მმ²), ხოლო ფარდობითი წაგრძელება - 10 - 12%. რამდენადმე ნაკლებია მარცვლოვანი პერლიტის სიმტკიცე და სისაღე, თუმცა უფრო მაღალია პლასტიკური თვისებები, ფირფიტოვან პერლიტთან შედარებით. პერლიტი მაგნიტურია.

სორბიტი - Fe - C შენადნობების სტრუქტურული მდგენელი. იგი წარმოადგენს ფერიტისა და ცემენტიტის დისპერსიულ ნარევს

(დისპერსიული პერლიტი). სახელწოდება მიენიჭა ინგლისელი მეცნიერის ჰ. სორბის (H. Sorby, 1826 - 1908) პატივსაცემად.

სორბიტი წარმოიქმნება აუსტენიტის გაცივებისას, დიფუზიური გარდაქმნით. ამრიგად, სორბიტი ფაქტობრივად, პერლიტია (პერლიტის მიკროსტრუქტურისაგან განსხვავებით უფრო დისპერსიული). იგი მიიღება აუსტენიტის დაშლის პროცესში, პერლიტურ გარდაქმნასთან შედარებით უფრო დიდი გაცივებისას (~650°C). შესაბამისად, იზრდება დისპერსიულობა (სურ. 81), რაც განაპირობებს დეტალების მაღალ სისალეს, სიმტკიცესა და ცვეთამედეგობას.



სურ. 81. სორბიტის მიკროსტრუქტურა x7500

თერმული დამუშავების ტექნოლოგიაში არის, ე.წ., სორბიტიზაციის პროცესი. იგი საშუალონახშირბადიანი ფოლადების წრთობის ნაირსახეობას წარმოადგენს და მდგომარეობს შემდეგში: გახურება 800 - 950 °C-ზე, შესაბამისი დაყოვნება და განსაზღვრული სიჩქარით გაცივება (ჩვეულებრივ ზეთში, თბილ წყალში ან შეკუმშული ჰაერის ჭავლში). ფოლადი ამ დროს იღებს სორბიტის სტრუქტურას. სორბიტიზაცია გამოიყენება იმ ნაკეთობის თერმული დამუშავებისას, რომელსაც

მექანიკური თვისებების ამალღებული მახასიათებლები მოეთხოვება (რელსი, მავთული და მისთ.).

ტროოსტიტი Fe - C შენადნობების სტრუქტურული მდგენელია. წარმოადგენს ფერიტისა და ცემენტიტის მაღალდისპერსიულ ნარევეს (მაღალდისპერსიული პერლიტი). სახელწოდება მიენიჭა ფრანგი მეცნიერის ლუი ჟოზეფ ტროოსტის (ფრანგ. L. J. Troost; 1825 - 1911) პატივსაცემად.

ტროოსტიტიც, ისე როგორც პერლიტი და სორბიტი, აუსტენიტის დაშლის პროდუქტია (გარდაქმნა ხდება დიფუზიური მექანიზმით). ტროოსტიტი წარმოიქმნება აუსტენიტის გარდაქმნით გაცივებისას 400 - 500 °C ტემპერატურულ ინტერვალში და შედგება ფირფიტოვანი ცემენტიტისაგან (წრთობის ტროოსტიტი) ან - მოშვებისას 350 - 400°C ტემპერატურულ ინტერვალში (მოშვების ტროოსტიტი). მოშვების ტროოსტიტის ცემენტიტი, წრთობის ცემენტიტისაგან განსხვავებით, მარცვლოვანია. ტროოსტიტი მიიღება აუსტენიტის გარდაქმნისას, უფრო დაბალ ტემპერატურაზე, ვიდრე პერლიტი და სორბიტი, შესაბამისად, მატულობს სტრუქტურის დისპერსიულობა. მათ შორის განსხვავება მდგომარეობს ტროოსტიტის უფრო წვრილ აღნაგობაში. ფირფიტებს შორის მანძილი წრთობის ტროოსტიტში 0,1 მკმ-ს არ აღემატება. ტროოსტიტის სისალე უფრო მაღალია, ვიდრე პერლიტის და სორბიტისა. ოპტიკურ მიკროსკოპში ტროოსტიტი დაიმზირება როგორც მუქი უბნები, მარტენსიტის ნათელი უბნების ფონზე. ამ დროს ფერიტცემენტიტური ნარევის ცალკეული მდგენელის დიფერენცირება შეუძლებელია (სურ. 82). ელექტონული მიკროსკოპით კვლევისას ტროოსტიტის ფირფიტოვანი აღნაგობა ნათლად დაიმზირება.



სურ. 82. ტროხოსტიტის მიკროსტრუქტურა

ტროხოსტიტის სტრუქტურის ფოლადი ხასიათდება ამაღლებული სისალით (45 - 50HV). ე.წ. პერლიტური გარდაქმნების შეჯამებისას უნდა აღინიშნოს, რომ კარბიდებს მოშვების სორბიტისა და ტროხოსტიტის სტრუქტურაში აქვთ მარცვლოვანი და არა ფირფიტოვანი აღნაგობა გადაცივებული აუსტენიტის დაშლისას მიღებული სორბიტისა და ტროხოსტიტის კარბიდებისაგან განსხვავებით. მარცვლოვანი სტრუქტურის წარმოქმნა აუმჯობესებს ფოლადის მრავალ თვისებას, განსაკუთრებით - პლასტიკურობისა და სიბლანტის მახასიათებლებს და, რაც მთავარია, - რღვევის წინააღობას. ერთი და იმავე სისალისა და დროებითი წინააღობის მქონე ფოლადებიდან მარცვლოვანი სტრუქტურის ფოლადს რიგი მექანიკური მახასიათებლების (დენადობის ზღვრის, ფარდობითი შევიწროების, დარტყმითი სიბლანტისა და რღვევის სიბლანტის) უფრო მაღალი მაჩვენებლები აქვს.

ბეინიტი - დაბალნახშირბადიანი მარტენსიტისა (ნახშირბადით გადაჯერებული ფერიტისა) და ცემენტიტის ულტრადისპერსიული ნაწილაკების ნარევი. სახელწოდება მიენიჭა ამერიკელი მეტალურგის ედგარ ბეინის (Edgar Bain, 1891 - 1971) პატივსაცემად. იგი არის აუსტენიტის შუალედური გარდაქმნით წარმოქმნილი Fe-C შენადნობების ნემსისებრი სტრუქტურა. ზოგჯერ ბეინიტის სტრუქტურას უწოდებენ ნემსისებრ ტროოსტიტს (ძველი დასახელება) ან შუალედური გარდაქმნის პროდუქტს (სურ. 83).



სურ. 83. ბეინიტის მიკროსტრუქტურა

აუსტენიტის ბეინიტში გარდაქმნას საერთო ნიშნები აქვს პერლიტურ და მარტენსიტულ გარდაქმნებთან (ამიტომ არ მიაკუთვნებენ მას გარდაქმნის ძირითად სახეებს). გადაცივებული აუსტენიტის ბეინიტური გარდაქმნა ხდება ტემპერატურულ ინტერვალში (პერლიტურ გარდაქმნაზე ქვევით და მარტენსიტულზე ზევით), რის გამოც მას ხშირად შუალედურ გარდაქმნას უწოდებენ. ბეინიტური გარდაქმნისას, პრაქტიკულად, რკინის დიფუზია (თვითდიფუზია) არ არის, მაგრამ ინტენსიურია

ნახშირბადის დიფუზია (ბეინიტური გარდაქმნის განმსაზღვრელი თავისებურება).

პერლიტური და მარტენსიტული გარდაქმნების მექანიზმთან შედარებით უფრო რთულია ბეინიტური გარდაქმნის მექანიზმი. შესაბამის ტემპერატურამდე გადაცივებულ აუსტენიტში ხდება ნახშირბადის დიფუზიური გადანაწილება, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ნახშირბადით (საშუალო შემცველობასთან შედარებით) მდიდარი და ღარიბი უბნები. კონცენტრაციული არაერთგვაროვნება წარმოქმნის ძაბვას (რადგანაც ნახშირბადით ღარიბი უბნების მარტენსიტული წერტილი უფრო მაღალია, ვიდრე იზოთერმული დაყოვნების ტემპერატურა). კონცენტრაციული არაერთგვაროვნებით წარმოქმნილი ძაბვით აუსტენიტის პლასტიკური დეფორმაცია იწვევს $\gamma \rightarrow \alpha$ გარდაქმნას მარტენსიტული რეაქციით. მარტენსიტული ტიპის $\gamma \rightarrow \alpha$ გარდაქმნა ბეინიტური გარდაქმნის დამახასიათებელი თავისებურებაა. ბეინიტის წარმოქმნისას ასეთი (ძვრით) გარდაქმნის არსებობა მტკიცდება პოლირებულ შლიფზე რელიეფის წარმოქმნით.

ამრიგად, ბეინიტური გარდაქმნისას $\gamma \rightarrow \alpha$ გადასვლა ხდება უდიფუზიო მექანიზმით. მაგრამ ამ გარდაქმნის მომზადება ვითარდება აუსტენიტში მიმდინარე დიფუზიური პროცესებით, რომლებიც განსაზღვრავენ ბეინიტური რეაქციის სიჩქარეს.

ნახშირბადით გამდიდრებული აუსტენიტის უბნები, იზოთერმული დაყოვნების ტემპერატურიდან ოთახის ტემპერატურამდე გაცივებისას, გარდაქმნას არ განიცდიან (ან ნაწილობრივ განიცდიან მარტენსიტულ რეაქციას) და ნარჩუნდება, ე.წ. ნარჩენი აუსტენიტი.

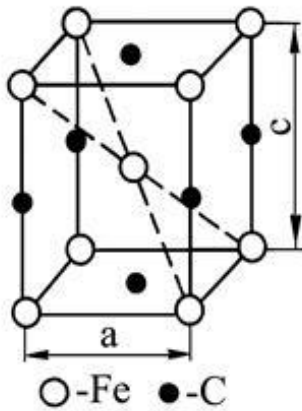
იზოთერმული დაყოვნების ტემპერატურასთან დამოკიდებულებაში ასხვავებენ ორი სახის ბეინიტს: ზედას და ქვედას. ისინი ერთმანეთისგან განსხვავდებიან არა მხოლოდ მიკროსტრუქტურით, არამედ თვისებებითაც.

500 - 350 °C ტემპერატურულ ინტერვალში (C-ებრი მრუდის მოხრის ტემპერატურაზე ოდნავ დაბლა) წარმოქმნილი ბეინიტი იწოდება ზედა ბეინიტად. მისი სტრუქტურა უფრო უხეშია და ახასიათებს “ფრთისებრი” აღნაგობა. სტრუქტურა შედგება ფირფიტოვანი ფერიტის გაჭიმული ნაწილაკებისა და მათი პარალელური ცემენტიტის თხელი ფირფიტებისაგან. ზედა ბეინიტის ფერიტის ნაწილაკებს აქვს “ლარტყოვანი” ფორმა (ლარტყას სისქე < 1 მკმ-ზე, სიგანე 5 - 10 მკმ), დადაბლებული სიმტკიცე (შენარჩუნებულია გარდაუქმნელი აუსტენიტი), დაბალი პლასტიკურობა და სიბლანტე, სისალე $\approx 450 HB$.

გადაცივებული აუსტენიტიდან ქვედა ბეინიტი წარმოიქმნება 350 - 200°C -ზე. აქვს ნემსისებრი აღნაგობა (ძალიან ჰგავს მარტენსიტის აღნაგობას). შედგება ფერიტში განლაგებული ნახშირბადით გადაჯერებული კარბიდების თხელი ნაწილაკებისაგან. ქვედა ბეინიტის კარბიდები ძალიან წვრილია, რის გამოც ზედა ბეინიტთან შედარებით მას ეძლევა უპირატესობა. ქვედა ბეინიტი ხასიათდება მნიშვნელოვანი სისალით ($\sim 550 HB$) და საკმაოდ მაღალი პლასტიკურობა და სიბლანტე აქვს.

მარტენსიტი ნაწრთობი ლითონური შენადნობების და ზოგი, პოლიმორფიზმის მქონე სუფთა ლითონის დამახასიათებელი ნემსისებრი (ფირფიტოვანი), აგრეთვე ლარტყოვანი (პაკეტური) მიკროსტრუქტურაა. სახელწოდება მიენიჭა გერმანელი ლითონთმცოდნის კარლ-გუსტავ-ადოლფ მარტენსის (Karl-Gustaw-adolf

Martens, 1831–1892) პატივსაცემად. მარტენსიტი ნაწრთობი ფოლადის ძირითადი სტრუქტურული მდგენელია. წარმოადგენს ნახშირბადის ძლიერ გადაჯერებულ მყარ ხსნარს მოცულობა-დაცენტრებულ ტეტრაგონალურ α -რკინის მოდიფიკაციაში. ელემენტარული გისოსი სწორკუთხა პარალელეპიპედის ფორმისაა. რკინის ატომები განლაგებულია გისოსის წვეროებზე და ცენტრში - ნახშირბადის ატომები გისოსის მოცულობაში (სურ. 84).



სურ. 84. მარტენსიტის ელემენტარული კრისტალური გისოსი (ნაჩვენებია ნახშირბადის ატომების ყველა შესაძლებელი მდგომარეობა)

მარტენსიტი ნახშირბადის იმავე რაოდენობას შეიცავს, რამდენსაც გამოსავალი აუსტენიტი. მისი სტრუქტურა არაწონასწორულია (მასში დიდი შინაგანი ძაბვებია), რაც მნიშვნელოვნად განაპირობებს მარტენსიტული სტრუქტურის მქონე შენადნობების მაღალ სისალესა და სიმტკიცეს. მაგ., $\approx 200^{\circ}\text{C}$ -მდე გადაცივებული ნახშირბადიანი ფოლადების აუსტენიტის დაშლისას (წრთობა წყალში $\approx 100 - 150^{\circ}\text{C}$ /წმ სიჩქარით) სისალე 62 - 66 HRC ზღვრებში მერყეობს.

მარტენსიტულ გარდაქმნას სხვა ფაზური გარდაქმნებისაგან ორი დამახასიათებელი თავისებურება ასხვავავებს: 1) არადიფუზიურობა (საწყისი-აუსტენიტური და საბოლოო – მარტენსიტული ფაზების შედგენილობა ერთნაირია. გარდაქმნისას მხოლოდ კრისტალური გისოსის გადაწყობა ხდება); 2) ორიენტირებულობა (მარტენსიტი კანონზომიერადაა ორიენტირებული ძველი ფაზის – აუსტენიტის მიმართ). ამ ორი მოთხოვნის დამაკმაყოფილებელი გარდაქმნები მიეკუთვნება მარტენსიტულს.

გახურებისას და გაცივებისას მარტენსიტის წარმოქმნის ფიზიკური მექანიზმი, სხვა პროცესების მექანიზმებისაგან, პრინციპულად განსხვავებულია. პერლიტური გარდაქმნის პროცესები დიფუზიურია. ატომები გადაადგილდება დაბალი სიჩქარით, მაგ., აუსტენიტის დაბალი სიჩქარით გაცივებისას წარმოიქმნება ფერიტისა და ცემენტიტის ჩანასახები და მათთან “მიშენდება” დამატებითი ატომები. საბოლოოდ, მთელ მოცულობაში სტრუქტურა გახდება პერლიტური ან ფერიტულ-პერლიტური.

მარტენსიტული სტრუქტურის მქონე ნახშირბადიანი ფოლადების გახურებისას ხდება ნახშირბადის ატომების დიფუზიური გადანაწილება. ფოლადში წარმოიქმნება ორი ფაზა - ფერიტი - 0.02 %C და ცემენტიტი - 6,67% ნახშირბადის შემცველობით.

მარტენსიტული გარდაქმნა გაცივებისას არის ძვრით გარდაქმნა. ატომები გადაადგილდება ძვრის მექანიზმით. ამ შემთხვევაში α -რკინის კრისტალური გისოსი გადაეწყობა (მყისიერად, 10^{-7} ს) და წარმოიქმნება α -რკინის ტეტრაგონალური კრისტალური გისოსი. აუსტენიტის მარტენსიტში გარდაქმნის პროცესი მიმდინარეობს უდიფუზიოდ (გაცივების დიდი სიჩქარის გამო

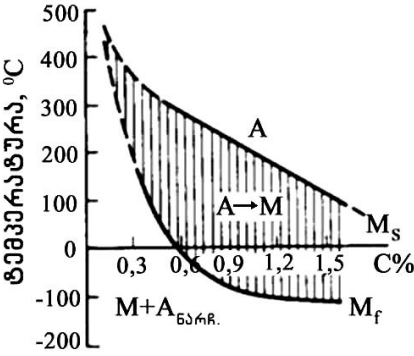
დიფუზიური პროცესები ვერ ასწრებენ განვითარებას), რის გამოც γ -მყარ ხსნარში არსებული ნახშირბადის კონცენტრაცია შენარჩუნდება. α -რკინის კრისტალურ გისოსში დარჩენილი ჭარბი ნახშირბადი იწვევს კრისტალური გისოსის დამახინჯებას (იჭიმება), იღებს გარკვეულ ტეტრაგონალობას. ამგვარად, მარტენსიტი არის ნახშირბადის გადაჯერებული მყარი ხსნარი ტეტრაგონალურ α -რკინაში. თერმულ დამუშავებას, რომელიც ასეთი სტრუქტურის წარმოქმნას უზრუნველყოფს, წრთობა ეწოდება.

კვლევებით დადგენილია, რომ მყისიერად გარდაქმნისას წარმოიქმნება მარტენსიტული ფირფიტების არა ერთი, არამედ გარკვეული რაოდენობა (პორცია). მარტენსიტული ფირფიტა წარმოიქმნება 10^{-7} , ხოლო პორცია - რამდენიმე ასეული ან ათასეული ფირფიტებისა - 10^{-3} -ს-ში, რის შემდეგაც გარდაქმნა წყდება. შემდგომი გაცივებისას გარდაქმნა განახლდება და ა.შ.

გაცივებისას მარტენსიტული გარდაქმნა ხდება არა მუდმივ ტემპერატურაზე არამედ გარკვეულ ტემპერატურულ ინტერვალში. სურ. 85-ის შესაბამისად, გარდაქმნა იწყება რამდენიმე ასეული გრადუსით უფრო დაბალი ტემპერატურიდან, ვიდრე აუსტენიტის დაშლის წონასწორული ტემპერატურაა და სრულდება ოთახის ტემპერატურაზე მნიშვნელოვნად დაბლა. ამგვარად მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურულ ინტერვალში ფოლადის სტრუქტურაში მარტენსიტთან ერთად ყოველთვის არის ნარჩენი აუსტენიტიც.

ფოლადებში მარტენსიტული გარდაქმნის მნიშვნელოვანი ინტერვალი საწყის და საბოლოო ტემპერატურებს შორის ორი

ტიპის მარტენსიტის წარმოქმნას იწვევს. ამა თუ იმ სტრუქტურული ტიპის მარტენსიტის წარმოქმნა განპირობებულია მისი ფორმირების ტემპერატურაზე, რომელიც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია შენადნობის შედგენილობაზე. აუსტენიტის დაბალი სიმტკიცე მაღალ ტემპერატურებზე ხელს უწყობს ლარტყოვანი მარტენსიტის წარმოქმნას. ტემპერატურის დაწვევისას, როდესაც აუსტენიტის სიმტკიცე უფრო მაღალია, სტრუქტურაში იზრდება ფირფიტოვანი მარტენსიტის წილი.



სურ. 85. ფოლადში მარტენსიტული გარდაქმნის საწყისი და საბოლოო ტემპერატურების დამოკიდებულება ნახშირბადის შედგენილობაზე

ფირფიტოვანი (ორეულებიანი) მარტენსიტი წარმოიქმნება ნახშირბადიან და ლეგირებულ ფოლადებში, როდესაც მარტენსიტული გარდაქმნის საწყისი ტემპერატურა 200°C-ზე დაბალია. ასეთი გარდაქმნისას მიიღება მარტენსიტის ძალიან თხელი ფირფიტები. მიკროსკოპულად მათი განივკვეთები მიკროშლის ზედაპირზე წაგრძელებული და ნემსების მსგავსი ფორმისაა. რაც უფრო წვრილმარცვლოვანია გამოსავალი აუსტენი-

ტი, მით უფრო წვრილნემსისებრი იქნება მარტენსიტი. წარმოქმნილი მარტენსიტის ფირფიტებს აქვს ამოჭმის მაღალი უნარის მქონე შუა ხაზი, რომელსაც მიდრიბი ეწოდება (სურ. 86).



სურ. 86. მარტენსიტის მიკროსტრუქტურა, X500

ლარტყოვანი (დისლოკაციური) ტიპის მარტენსიტი, დამახასიათებელი დაბალნახშირბადიანი, საშუალონახშირბადიანი და მაღალლეგირებული იმ ფოლადებისათვის, რომელთა მარტენსიტული გარდაქმნის საწყისი ტემპერატურა 300°C-ზე მაღალია. ამ შემთხვევაში მარტენსიტის კრისტალები წარმოადგენს თხელ (0,2 - 2 მკმ სისქის) ერთი მიმართულებით გაჭიმულ ლარტყებს. ისინი ერთმანეთისგან განცალკავებულია ნარჩენი აუსტენიტის თხელი (10 - 20 ნმ სისქის) შუაშრით. ერთმანეთის პარალელური ლარტყების თავმოყრა წარმოქმნის პაკეტებს (აქედან - პაკეტური მარტენსიტი).

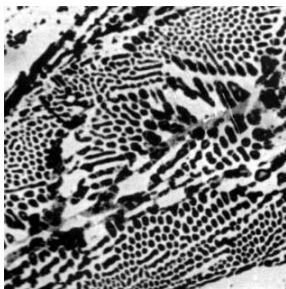
არსებობს დაბალნახშირბადიანი მარტენსიტული ფოლადები, რომლებშიც მხოლოდ ლარტყოვანი მარტენსიტი წარმოიქმნება (ნარჩენი აუსტენიტი არ არის). ასეთი ფოლადების მარტენსიტული გარდაქმნის საწყისი ტემპერატურა ~ 400 °C-ის რიგისაა. ლარტყოვანი მარტენსიტი ხასიათდება ამაღლებული რელაქსაციური უნარით.

აღსანიშნავია, რომ მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურაზე ფოლადის პლასტიკური დეფორმირებით მარტენსიტის რაოდენობა მატულობს (ზოგ შემთხვევაში ანალოგიურად მოქმედებს დრეკადი დეფორმაციაც). პლასტიკური დეფორმაციით შესაძლებელია აუსტენიტის მარტენსიტში გარდაქმნა ოთახის ტემპერატურაზე.

რკინანახშირბადიანი ფოლადების გარდა მარტენსიტული გარდაქმნა ახასიათებს ტიტანის ფუძის, სპილენძის ფუძის და სხვა შენადნობებს.

გახურებისას და გაცივებისას მარტენსიტის გარდაქმნასთან დაკავშირებულია ლითონებისა და შენადნობების ფორმის მახსიერების ეფექტი.

ლედებურიტი - რკინანახშირბადიანი შენადნობების, უმთავრესად თუჯების, სტრუქტურული მდგენელი - ცემენტიტისა და აუსტენიტის ევტექტიკური ნარევი (სურ. 87).



სურ. 87. ლედებურიტის მიკროსტრუქტურა, X200

ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით ლედებურიტის ფაზური შედგენილობა ცვალებადია. 727 - 1147°C ტემპერატურულ ინტერვალში იგი აუსტენიტისა და ცემენტიტის ნარევი, ხოლო

727°C ქვევით გაცივებისას ფერიტისა და ცემენტიტის კრისტალების ევტექტიკური ნარევი. სახელწოდება მიენიჭა გერმანელი მეტალურგის კარლ ჰენრიხ ადოლფ ბერნჰარდ ლედებურის (1837 - 1906) პატივსაცემად.

სუფთა რკინანახშირბადიან შენადნობებში ლედებურიტული ნარევი წარმოიქმნება ნახშირბადის 2,14 - 6,67 % კონცენტრაციის ინტერვალში. რკინა-ნახშირბადის დიაგრამაზე ევტექტიკური წერტილი 4,3 %C-ს შეესაბამება. თუჯებს ევტექტიკური წერტილის მარცხნივ ეწოდება ქვეევტექტიკური, ხოლო მარჯვნივ - ზევტექტიკური. ლედებურიტის წარმოქმნის მექანიზმი ქვეევტექტიკურ, ევტექტიკურ და ზევტექტიკურ თუჯებში განსხვავებულია.

ქვეევტექტიკური შედგენილობის თუჯების თხევადი ფაზის გაცივებისას პირველად გამოყოფას იწყებს აუსტენიტი, რის შედეგადაც ნახშირბადის კონცენტრაცია თხევადი ფაზაში მალდება. ევტექტიკის წერტილის მიღწევისას იწყება ევტექტიკის - ლედებურიტის - კრისტალიზაცია. თუჯის შემდგომი გაცივების პროცესში (1147°C-დან 727°C-მდე) აუსტენიტი ღარიბდება ნახშირბადით და გამოიყოფა მეორეული ცემენტიტი. აუსტენიტის მარცვლების საზღვრებზე გამოყოფილი მეორეული ცემენტიტი ერწყმის ლედებურიტის ცემენტიტს, ამიტომ მიკროსკოპით მისი დანახვა პრაქტიკულად შეუძლებელია. 727°C-დან მცირე გადაცივებისას, ევტექტიკური რეაქციით აუსტენიტი პერლიტად გარდაიქმნება (იყოფა ფერიტად და ცემენტიტად). ამგვარად, ქვეევტექტიკურ თეთრ თუჯებში, ოთახის ტემპერატურაზე, ლედებურიტი, როგორც სტრუქტურული მდგენელი გვხვდება პერლიტთან და მეორეულ ცემენტიტთან ერთად.

ევტექტიკის წერტილის შედგენილობის (ევტექტიკურ თუჯში) თხევადი ფაზის 1147°C-მდე გაცივებისას, ერთდროულად იწყება აუსტენიტისა და ცემენტიტის ნარევის (ლედებურიტის) კრისტალიზაცია. ძირითადი ფაზა, რომელიც ლედებურიტის ჩასახვის ინიცირებას იწვევს, არის ცემენტიტი. ევტექტიკური შედგენილობის სითხეში ჩასახულ ცემენტიტის ფირფიტაზე ხდება აუსტენიტის ბრტყელი დენდრიტის გაზრდა. შემდეგ კი ხდება ურთიერთშეზრდილი ორივე ფაზის წყვილად, შედარებით სწრაფი ზრდა. თითოეული ფაზა ლედებურიტის ერთი კოლონიის საზღვრებში არის უწყვეტი, ანუ მიეკუთვნება ერთ კრისტალს.

ზეევტექტიკურ თეთრ თუჯებში სითხიდან კრისტალიზაციას იწყებს ბრტყელი (კვეთში ნემსების სახის) პირველადი ცემენტიტი, შემდეგ წარმოიქმნება ლედებურიტი. ოთახის ტემპერატურაზე ზევტექტიკური თეთრი თუჯი შეიცავს ორ სტრუქტურულ მდგენელს: პირველად ცემენტიტს და ლედებურიტს.

ლედებურიტის წარმოქმნა შესაძლებელია ლეგირებულ ფოლადებშიც. ამისათვის აუცილებელია ნახშირბადის 0,7 %-ზე მეტი (პრაქტიკულად 1,3 - 1,5 % ნახშირბადი) შემცველობა და ფოლადში კარბიდწარმომქმნელი მალეგირებელი ელემენტების (Cr, W, Ti, Mo და სხვ.) დიდი რაოდენობა. მალეგირებელი ელემენტების დიდი რაოდენობით შეტანა ამცირებს ნახშირბადის ხსნადობას აუსტენიტსა და პერლიტში. ეს კი განსაზღვრულ შემთხვევებში იწვევს ევტექტიკის გამოყოფას ნახშირბადის შედარებით მცირე შედგენილობისას. ასეთი ფოლადები (მაგ., სწრაფმჭრელი) იწოდება ლედებურიტულად. ლედებურიტი ხასიათდება მაღალი სისალითა და სიმყიფით.

თავი VI

მალეგირებელი ელემენტების გავლენა რკინანახშირბადიანი შენადნობების სტრუქტურასა და თვისებებზე

6.1 რკინის შენადნობების ძირითადი მალეგირებელი ელემენტები

ლეგირება (გერმ. *legieren* - შედნობა, ლათ. *ligo* - შეკავშირება, შეკვრა) არის ძირითადი ლითონური მასალის შედგენილობაში (მუდმივი მინარევების გარდა) ფიზიკური, ქიმიური ან მექანიკური თვისებების ცვლილების მიზნით, სხვადასხვა ელემენტის - Cr, Ni, Mo, W, V, Ti, Nb, Al, B და სხვათა (ტექნოლოგიური მინარევების დასაშვებ კონცენტრაციაზე მეტი რაოდენობით Mn - ისა და Si - ის) მიზანმიმართული შეტანა.

ზოგი მალეგირებელი ელემენტის კონცენტრაცია შენადნობში შესაძლოა იყოს ძალიან დაბალი. მაგ., Nb და Ti, 0,1%-მდე შეჰყავთ შენადნობში ხოლო B-ის რაოდენობა, ჩვეულებრივ, 0,005%-ს არ აღემატება. ფოლადის ლეგირებას, როდესაც მალეგირებელი ელემენტის რაოდენობა 0,1 % და მასზე ნაკლებია მიკროლეგირება ეწოდება.

ფოლადისა და თუჯის ძირითადი მალეგირებელი ელემენტებია Mn, Si, Cr, Ni, Mo, W, V, Ti, Zr, Be, Nb, Co, Al, Cu, B, Mg და სხვა; ფოლადებში (თუჯებში) მალეგირებელი ელემენტების უმრავლესობა ნაწილდება ფერიტულ, აუსტენიტურ და კარბიდულ ფაზებს შორის. მალეგირებელი ელემენტების მყარ ხსნარებს α რკინაში ლეგირებული ფერიტი ეწოდება, ხოლო γ რკინაში - ლეგირებული აუსტენიტი. უდიდესი ხსნადობით ფერიტსა და

აუსტენიტში ხასიათდებიან ის ელემენტები, რომლებსაც აქვთ რკინის ატომისაგან მცირედ განსხვავებული გეომეტრიული ზომების ატომები და რკინის იზომორფული გისოსი. ძირითადი და მალეგირებელი ელემენტების ატომების ზომებს შორის 8 %-ზე ნაკლები სხვაობისას, წარმოიქმნება განუსაზღვრელი (უწყვეტი რიგის) ჩანაცვლების მყარი ხსნარები, ხოლო 15 - 17%-იანი სხვაობისას - განსაზღვრული. ლეგირებული ფერიტი შეიძლება იყოს ზოგი უჟანგავი ფოლადის სტრუქტურის ფუძე, დამოუკიდებელი ფაზა ან შედიოდეს პერლიტის შედგენილობაში. ლეგირებული აუსტენიტი არის მრავალი უჟანგავი, მხურვალმტკიცე და არამაგნიტური ფოლადების ძირითადი სტრუქტურული მდგენელი.

მალეგირებელი ელემენტები გავლენას ახდენენ ევტექტოიდურ ტემპერატურაზე (ამცირებენ კრიტიკულ A_1 წერტილს), ნახშირბადის შედგენილობაზე ევტექტოიდში (წერტილი S, Fe - Fe_3C დიაგრამაზე) და ნახშირბადის მაქსიმალურ შედგენილობაზე აუსტენიტში (წერტილი E, Fe - Fe_3C დიაგრამაზე).

γ - არის დამავიწროებელი ელემენტები A_1 კრიტიკულ ტემპერატურას ამაღლებენ, ხოლო გამაფართოებლები - ადაბლებენ. ნებისმიერი მალეგირებელი ელემენტი ფოლადში კრიტიკულ S წერტილს გადაადგილებს მარცხნივ და ლეგირებულ პერლიტში ამცირებს ნახშირბადის შედგენილობას. მალეგირებელი ელემენტები E წერტილსაც გადაადგილებენ მარცხნივ. ეს ძვრა განსაკუთრებით ძლიერ შეინიშნება ფოლადის ლეგირებისას γ - ფაზის გავრცელების არის დამავიწროებელი ელემენტებით.

Fe - Fe_3C დიაგრამის უმნიშვნელოვანესი წერტილები, რომელთა მიხედვითაც კლასიფიცირდება რკინანახშირბადიანი ფოლადები არის S და E. მალეგირებელი ელემენტების უმრავლესობა ამ

წერტილებს გადაადგილებენ ნაკლები შემცველობის ნახშირბადის მხარეს, რაც ნიშნავს ფოლადებისა და თუჯების საზღვრების გადაადგილებას. მაგ., ფოლადში 5% Cr-ის შეტანისას, ქვეევტექტოიდური ფოლადები ნახშირბადს შეიცავს 0,6%-მდე, ევტექტოიდური - 0,6%-ს, ხოლო ზეევტექტოიდური ფოლადები - 0,6-დან 1,6 %-მდე. მაღალნახშირბადიანი ზეევტექტოიდური ფოლადის სტრუქტურაში ჩნდება ლედებურიტი, რის გამოც ასეთ ფოლადებს უწოდებენ ლედებურიტულს. ისინი მაღალი ცვეთამდეგობით გამოირჩევიან, გამოიყენებიან ცივი წნეხის შტამპების დასამზადებლად. ანალოგიური კანონზომიერებები შეინიშნება ფოლადების ლეგირებისას ვოლფრამითა და მოლიბდენით (მაგ., სწრაფმჭრელ საიარაღო ფოლადებში).

ლეგირებულ ფოლადებში A_1 , A_3 და A_m წერტილებზე ნახშირბადისა და მალეგირებელი ელემენტების ერთდოული მოქმედება ძალიან რთულია. ამიტომ, ყოველი ცალკე აღებული ლეგირებული ფოლადისათვის ექსპერიმენტულად განისაზღვრება ამ წერტილების შესაბამისი ტემპერატურები. კრიტიკული ტემპერატურების ცოდნა მნიშვნელოვნად ამარტივებს თერმული დამუშავების რეჟიმების შერჩევას.

6.2 მალეგირებელი ელემენტების ურთიერთობა რკინასთან და მათი განაწილება რკინის შენადნობებში

შენადნობებში რკინასთან ურთიერთქმედების მიხედვით მალეგირებელი ელემენტების გავლენის შეფასება შესაძლებელია რამდენიმე თვალსაზრისით:

პოლიმორფულ მოდიფიკაციებზე გავლენის მიხედვით. რკინაში ხსნადი ელემენტები სხვადასხვაგვარად მოქმედებენ რკინის

ალოტროპიულ გარდაქმნებზე, კარბიდულ ფაზასა და ფოლადში ფაზურ გარდაქმნებზე. მალეგირებელი ელემენტების შეტანით მყარი ხსნარების წარმოქმნისას რკინის პოლიმორფული მდგომარეობა იცვლება. რკინის პოლიმორფულ გარდაქმნაზე მოქმედების მიხედვით ისინი იყოფიან ღია γ -არის (Mn, Ni, Co, Cu) და ჩაკეტილი γ -არის (Cr, V, W, Mo, Ti და სხვ.) წარმომქმნელ ელემენტებად.

γ -არის გავრცელების ტემპერატურული ინტერვალის გამაფართოებელი ელემენტები A_4 კრიტიკულ წერტილს ამალევენ, ხოლო A_3 კრიტიკულ წერტილს სწევენ დაბლა. ელემენტები კი, რომლებიც იძლევიან ჩაკეტილ γ -არეს, დაბლა სწევენ A_4 წერტილს და ამალევენ A_3 წერტილს. აქედან გამომდინარე პოლიმორფული გარდაქმნების მექანიზმის ხასიათზე გავლენის მიხედვით მალეგირებელი ელემენტები იყოფა: ფერიტწარმომქმნელ (ფერიტმასტაბილიზებელ) და აუსტენიტწარმომქმნელ (აუსტენიტმასტაბილიზებელ) ელემენტებად.

აუსტენიტმასტაბილიზებელი ელემენტები (Ni, Mn, Pt და სხვ.) განსაზღვრული კონცენტრაციის შემდეგ, ფოლადებში, ოთახის ტემპერატურიდან დნობის ტემპერატურამდე, უზრუნველყოფენ სტაბილური γ მდგომარეობის (ლეგირებული აუსტენიტის) შენარჩუნებას. ასეთ ფოლადებს ეწოდება აუსტენიტური. ხოლო, ფერიტწარმომქმნელი ელემენტები (Cr, W, Mo, V, Si, Al და სხვ.), განსაზღვრული კონცენტრაციის შემდეგ ფოლადებში, ოთახის ტემპერატურიდან დნობის ტემპერატურამდე, განაპირობებენ სტაბილური α მდგომარეობის (ლეგირებული ფერიტის) შენარჩუნებას. ასეთ ფოლადებს ეწოდება ფერიტული.

რკინის ფუძის სხვა შენადნობებისაგან განსხვავებით, აუსტენიტური და ფერიტული შენადნობები გახურებისა და გაცივების პროცესში ფაზურ გარდაქმნებს არ განიცდიან;

შენადნობში (ფუძეში) განაწილების მიხედვით. ელემენტები (Pb, Ag, Cu და სხვ.), რომლებიც რკინის პოლიმორფულ $\alpha \rightarrow \gamma$ გარდაქმნაზე სუსტი ურთიერთქმედებით ხასიათდებიან, საერთოდ არ ურთიერთქმედებენ რკინასთან ან ძალიან მცირე კონცენტრაციის მყარ ხსნარებს წარმოქმნიან. ასეთი მალევირებელი ელემენტები, როგორც წესი, თავს იყრიან მარცვლების საზღვრებზე და მათ შორის კავშირს აუარესებენ. შედეგად სიმტკიცის მახასიათებლები ეცემა, ხოლო ჭრით დამუშავებადობა უმჯობესდება.

რკინასთან მყარი ხსნარების წარმომქმნელი მალევირებელი ელემენტები, როგორც წესი, ამაღლებენ სიმტკიცესა და სისალეს, მაგრამ ამის ერთდროულად ამცირებენ პლასტიკურობასა და სიბლანტეს. მყარი ხსნარების წარმოქმნა შესაძლებელია რკინის კრისტალურ გისოსში, ელემენტების როგორც ჩანაცვლებით, ისე ჩანერგვით. ჩანაცვლების მყარ ხსნარებს წარმოქმნიან ლითონები, ჩანერგვისას - არალითონები. ჩანერგვის მყარი ხსნარების წარმოქმნა განსაკუთრებით ამაღლებს სისალეს და ამცირებს პლასტიკურობას. აღსანიშნავია, რომ მხოლოდ ერთი მალევირებელი ელემენტი - ნიკელი - ამაღლებს სიმტკიცეს, პლასტიკურობას, სიბლანტეს და ამის ერთდროულად ამცირებს ცივმეტეხობის ზღურბლს;

ნაერთების წარმოქმნის უნარის მიხედვით. ნახშირბადთან მაღალი სწრაფვის მქონე მრავალი ელემენტი იხსნება ცემენტიტში ან წარმოქმნის დამოუკიდებელ კარბიდულ ფაზას. Nb, V, Zr, Ti და

სხვანი ნახშირბადთან წარმოქმნიან დამოუკიდებელ ნაერთებს - NbC, VC, ZrC, TiC - სპეციალურ კარბიდებს. მათ ცემენტიტისაგან განსხვავებული ფორმულა და კრისტალური გისოსი აქვთ. ფოლადის (შედგენილობაში მყოფ) ნახშირბადთან დამოკიდებულებით მალეგირებელი ელემენტები იყოფა კარბიდწარმომქმნელებად (ნახშირბადთან ნაერთის წარმომქმნელებად) და კარბიდარწარმომქმნელებად (მაგრაფიტებლებად). კარბიდწარმომქმნელი ელემენტები მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში რკინიდან მარცხნივაა განლაგებული. ისინი იხსნებიან როგორც ფერიტში, ისე ცემენტიტში და განაწილებულია ამ ფაზებს შორის მალეგირებელი ელემენტისა და ნახშირბადის რაოდენობაზე დამოკიდებულებით, გარკვეული პროპორციით. შესაბამისად, წარმოქმნიან ლეგირებულ ფერიტსა და ლეგირებულ ცემენტიტს. კარბიდწარმომქმნელი ელემენტები: Cr, Mo, W, Nb, V, Zr, Ti ეწინააღმდეგებიან აუსტენიტის მარცვლის ზრდას. ამ ელემენტებით ლეგირებული ფოლადი, სხვასთან შედარებით, ერთი და იმავე ტემპერატურაზე ინარჩუნებს კარბიდული ნაწილაკების უფრო მაღალ დისპერსიულობას და, შესაბამისად, მაღალ სიმტკიცეს.

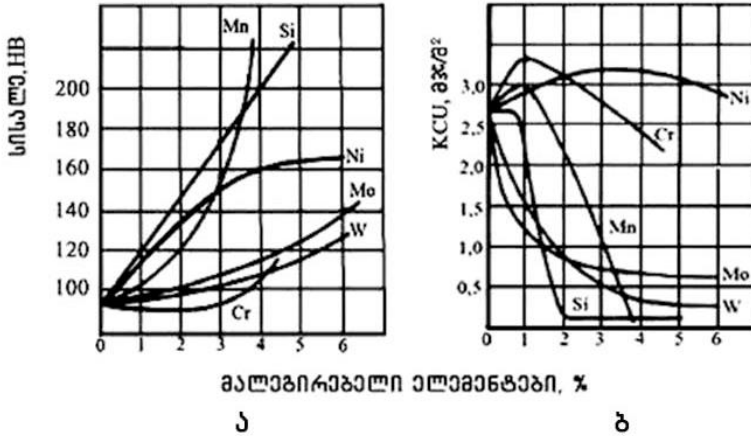
რკინასთან მალეგირებელი ელემენტების მიერ ქიმიური ნაერთების წარმოქმნისას მიიღება ინტერმეტალური ფაზები: FeCr, FeAl, Fe₇Mo₆, Fe₃Nb და სხვ., რომლებიც შენადნობის სიმტკიცესა და სისალეს მკვეთრად ამაღლებენ, მაგრამ ამის ერთდროულად მნიშვნელოვნად ადაბლებენ პლასტიკურობასა და სიბლანტეს. გამოიყენებიან, განსაკუთრებულ შემთხვევებში, მაღალლეგირებული ფოლადებისა და სპეციალური თვისებების შენადნობების გასამტკიცებლად.

6.3 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა ფოლადის ფაზურ და სტრუქტურულ მდგენელებზე

აღნიშნული იყო, რომ მალეგირებელი ელემენტები უპირატესად იხსნებიან ნახშირბადიანი ფოლადების ძირითად ფაზებში (ფერიტში, აუსტენიტში, ცემენტიტში) ან წარმოქმნიან სპეციალურ კარბიდებსა და ინტერმეტალიდებს. შენადნობში გახსნილი მალეგირებელი ლითონური ელემენტების ჩანაცვლება რკინის გისოსებში იწვევს მათი პარამეტრების შეცვლას, დაბაბულობის წარმოქმნას და, შესაბამისად, თვისებების ცვლილებასაც.

6.3.1 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა ფერიტზე

მალეგირებელი ელემენტების ფერიტში გახსნისას, რკინის ატომს კრისტალურ გისოსში მალეგირებელი ელემენტის ატომი ჩაენაცვლება. ყველა ელემენტი, რომელიც ფერიტში იხსნება, ცვლის ფერიტის გისოსის პარამეტრებს და ცვლის მით მეტად, რაც უფრო დიდია სხვაობა რკინისა და მალეგირებელი ელემენტების ატომურ რადიუსებს შორის. რკინის რადიუსის ზომაზე ნაკლები რადიუსის მქონე ელემენტები ამცირებენ გისოსის პარამეტრებს, ხოლო მეტი რადიუსისა - ზრდის. მათ ზომებსა და აღნაგობებს შორის განსხვავება იწვევს გისოსში ძაბვების წარმოქმნას და, შესაბამისად, დისლოკაციების დამუხრუჭებას. ბუნებრივია, ფერიტის გისოსის ზომების ცვლილება ცვლის მის თვისებებსაც. კერძოდ, მაღლდება სიმტკიცე და სისალე, დაბლდება დარტყმითი სიბლანტე (სურ. 88).



სურ. 88. მალეგირებელი ელემენტების გავლენა ფერიტის თვისებებზე: ა - სისალე; ბ - დარტყმითი სიბლანტე

გამონაკლისს წარმოადგენს ქრომი (3%-მდე) და ნიკელი, რომელთა შეტანისას დარტყმითი სიბლანტე მაღლდება. გარდა ამისა, 6%-მდე ნიკელის დამატება რკინის ცივმეტეხობის ზღურბლს -200°C -მდე ადაბლებს. სხვა ელემენტები მნიშვნელოვნად ზრდიან ცივმეტეხობის ტემპერატურულ ზღურბლს.

მალეგირებელი ფერიტწარმომქნელი ელემენტები - Cr, Si, Al, V, W, Mo და სხვ. აფართოებენ α არეს - დაბლა სწევენ გარდაქმნის A_4 ტემპერატურას და ამაღლებენ A_3 ტემპერატურას. ამ დროს ფოლადში წარმოიქმნება ლეგირებული ფერიტის სტრუქტურა.

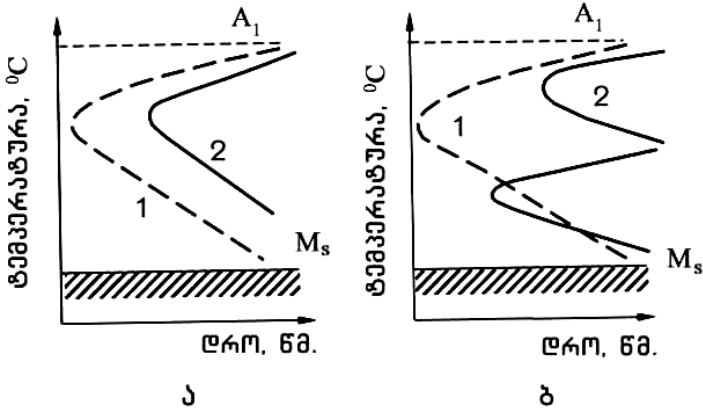
ფერიტის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ მანგანუმი და ქრომი. ბუნებრივია, რაც უფრო წვრილმარცვლოვანია ფერიტი, მით უფრო მაღალია მისი სიმტკიცე. აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ, სიმტკიცის მატებასთან ერთად, პლასტიკურობა მცირდება.

მალეგირებელი ელემენტი, რომელიც ფოლადში ფერიტის დაწვრილმარცვლონებას იწვევს, ზრდის მის სიბლანტეს. პრაქტიკულად დადგენილია, რომ მალეგირებელი ელემენტები სხვადასხვაგვარად მოქმედებენ ფერიტის მექანიკურ თვისებებზე. მანგანუმი და სილიციუმი მნიშველოვნად ამაღლებენ სისაღეს, მაგრამ, ამის ერთდროულად, მკვეთრად ადაბლებენ ფერიტის სიბლანტეს. ვოლფრამი და მოლიბდენი ამაღლებენ სისაღეს, მაგრამ - ამცირებენ ფერიტის სიბლანტეს. ქრომი უმნიშვნელოდ მოქმედებს ფერიტის სისაღესა და სიბლანტეზე. ნიკელი განსაკულებულად მოქმედებს ფერიტზე. იგი საკმაო ინტენსიურობით ამაღლებს სისაღეს და, ამავე დროს, არ ამცირებს სიბლანტეს.

6.3.2 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა აუსტენიტზე

მალეგირებელი (აუსტენიტწარმოქმნელი) ელემენტები - Ni, Mn, Co, N აფართოებენ γ არეს - მაღლა წევვენ A_4 და დაბლა - A_3 ტემპერატურებს. ლეგირებული აუსტენიტი პარამაგნიტურია. გააჩნია ტემპერატურული გაფართოების დიდი კოეფიციენტი. მალეგირებელი ელემენტები, მათ შორის აზოტი და ნახშირბადიც, რომელთა ხსნადობა ნორმალურ ტემპერატურაზე 1 %-ს აღწევს, ამაღლებენ მის სიმტკიცეს ნორმალურ და მაღალ ტემპერატურებზე, ამცირებენ დენადობის ზღვარს. ლეგირებული აუსტენიტი არის მრავალი კოროზიამედეგი, მხურვალმტკიცე და არამაგნიტური შენადნობების ძირითადი მდგენელი (ფუძე). მისი ცივჭედვა ადვილია და ძლიერ მტკიცდება ცივი დეფორმაციით.

სხვადასხვა მალეგირებელი ელემენტის გავლენა აუსტენიტის დაშლაზე იზოთერმული და ათერმული გაცივებისას გამოი-სახება გადაცივებული აუსტენიტის მდგრადობით (გრაფიკულად C-სებრი დიაგრამებით). (სურ. 89). ლეგირებისას ნახშირ-ბადიანი ფოლადების, იზოთერმულ და თერმოკინეტიკურ დიაგრამებზე, C-სებრი არეები (დიფუზიური და ნახევრადდი-ფუზიური გარდაქმნები), დროის ღერძზე გადაიწევეს მარჯვნივ. ასეთ შემთხვევაში იზრდება გადაცივებული აუსტენიტის მდგრადობა (რაც განპირობებულია მალეგირებელი ელემენტე-ბის, კობალტის გარდა, ნახშირბადის ატომებთან შედარებით ნაკლები დიფუზიური ძვრადობით), მცირდება წრთობის კრიტიკული სიჩქარე და მატულობს შეწრთობადობის სიღრმე. მრავალი აუსტენიტური ფოლადის წრთობის კრიტიკული სიჩქარე 20 °C/წმ-მდე და კიდევ მეტად მცირდება, რასაც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.



სურ. 89. აუსტენიტის დაშლის იზოთერმული დიაგრამა:
 ა - ნახშირბადიანი ფოლადი (1) და არაკარბიდწარმოქმნელი ელემენტებით ლეგირებული ფოლადი (2);
 ბ - ნახშირბადიანი (1) და კარბიწარმოქმნელი ელემენტებით ლეგირებული ფოლადი (2)

არაკარბიდწარმომქმნელი ელემენტების (ნიკელი, მანგანუმი, სილიციუმი) C-სებრი არე რჩება ისეთივე, როგორც ჩვეულებრივი ნახშირბადიანი ფოლადებისა. კარბიდწარმომქმნელი ელემენტების (ქრომი, მოლიბდენი, ვოლფრამი, და სხვ.) შეტანა ფოლადში ცვლის C-სებრი არის გამოსახულებას: გამოიყოფა დიფუზიური და ნახევრადდიფუზიური გარდაქმნები და ამ არეებს შორის აუსტენიტს აქვს ანომალური მდგრადობა. ზოგადად, გადაცივებული აუსტენიტის მდგრადობის ზრდა ამალლებს ლეგირებული ფოლადების შეწრობადობას.

ყველა მალეგირებული ელემენტი, მანგანუმის გარდა, ამცირებს აუსტენიტის მარცვლის ზრდისადმი მიდრეკილობას. გახურებისას მალეგირებული ელემენტების გავლენას აუსტენიტის მარცვლის ზრდაზე განაპირობებს ამ ელემენტების კარბიდწარმომქმნელი უნარი. არაკარბიდწარმომქმნელი ელემენტები (ნიკელი, კობალტი, სილიციუმი, სპილენძი) პრაქტიკულად არ ეწინააღმდეგებიან აუსტენიტის მარცვლის ზრდას, მაგრამ ეწინააღმდეგებიან კარბიდწარმომქმნელი ელემენტები (ქრომი, ვოლფრამი, მოლიბდენი, ვანადიუმი ტიტანი და სხვ.). აუსტენიტის შენარჩუნება წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურით 930 - 950 °C-მდე განპირობებულია კარბიდების მაღალი თბომედეგობით. ისინი წარმოადგენენ აუსტენიტის მარცვლის საზღვრების გადაადგილების ბარიერებს. კარბიდების დამამუხრუჭებელი მოქმედების გარდა, აუსტენიტის მარცვლის ზრდის სიჩქარის შემცირებაზე გავლენას ახდენენ ოქსიდებიც: ალუმინის ჟანგი (Al_2O_3) ტიტანის ჟანგი (TiO_2) და სხვ.

წვრილმარცვლოვანი აუსტენიტიდან მიღებული წვრილნემსისებრი მარტენსიტი უზრუნველყოფს ფოლადის ამალეებულ სიბლანტეს.

6.3. 3 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა ცემენტიტზე და კარბიდული ფაზები ლეგირებულ ფოლადებში

ფოლადში შემავალ ნახშირბადთან რკინაზე მეტი ნათესაობის მქონე ელემენტებს კარბიდწარმომქმნელი მალეგირებელი ელემენტები ეწოდება. ნახშირბადთან ნათესაობისა და კარბიდული ფაზების მდგრადობის ზრდის მიხედვით მალეგირებელი ელემენტები შემდეგნაირად ლაგდება: Fe, Mn, Cr, Mo, W, Nb, V, Zr, Ti. რაც უფრო მდგრადია კარბიდი, მით უფრო ძნელად იხსნება აუსტენიტში და ძნელად გამოიყოფა მოშვებისას.

მალეგირებელი ელემენტები შეიძლება იყოს ფოლადის კარბიდულ ფაზაში და რკინის მყარ ხსნარებში (ფერიტში ან აუსტენიტში). მათი მცირე შემცველობისას კარბიდწარმომქმნელი ელემენტები იხსნება ცემენტიტში და წარმოქმნის, ე.წ., ლეგირებულ ცემენტიტს, ზოგადი ფორმულით $(FeM)_3C$ სადაც M მალეგირებელი ელემენტია. ლეგირებულ ცემენტიტებში $(Fe, Mn)_3C$, $(Fe, Cr)_3C$ და სხვა მალეგირებელი ელემენტების ატომები ნაწილობრივ ჩაანაცვლებენ რკინის ატომებს, მაგრამ არ ცვლიან მის სტრუქტურას. მათი შემცველობის ამაღლებისას (Cr, Mo, W) წარმოიქმნება (შემდეგი ტიპის) რთული კარბიდები - $(Cr, Fe)_7C_3$, $(Cr, Fe)_{23}C_6$, Fe_3W_3C , Fe_3Mo_3C და სხვა. წარმოდგენილი ტიპის ლეგირებული ცემენტიტები და რთული კარბიდები გახურებისას ადვილად იხსნებიან აუსტენიტში.

კარბიდწარმომქმნელი ელემენტების მაღალი შემცველობისას წარმოიქმნება მოცემული ელემენტის დამოუკიდებელი, ე.წ., სპეციალური კარბიდები. მაგ., Cr_7C_3 , Mo_2C , W_2C , VC , TiC და სხვა. ვოლფრამითა და მოლიბდენით ცემენტიტის გაჯერების შემდეგ, თუ შენადნობში მათი რაოდენობა მნიშვნელოვანია,

წარმოიქმნება ორმაგი კარბიდები: $Fe_3W_3C(Fe_2W_2C)$ და $Fe_3Mo_3C(Fe_2Mo_2C)$. მალეგირებელი ელემენტების კარბიდები უფრო სალია, ვიდრე ცემენტიტი.

კარბიდები ძნელდნობადი, არააქროლადი სალი ნაერთებია. არ იხსნებიან არცერთ ცნობილ გამხსნელში. ბორის, სილიციუმის, ტიტანის, ვოლფრამისა და ცირკონიუმის კარბიდები (B_4C, SiC, TiC, WC, ZrC) ხასიათდებიან მაღალი სისალით, მხურვალმედეგობითა და ქიმიური ინერტულობით.

ნახშირბადთან კარბიდწარმომქმნელი ელემენტების ნაერთები გახურებისას უფრო მტკიცე და მდგრადი არიან, ვიდრე რკინის კარბიდი. კარბიდწარმომქმნელი უნარის კლებადობის მიხედვით ეს ელემენტები შემდეგნაირად ლაგდება: Ti, Zr, Nb, V, W, Mo, Cr, Mn. მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში რკინიდან (მარცხნივ), განლაგებული ელემენტი რაც უფრო შორსაა მისგან, მით უფრო მდგრად კარბიდს წარმოქმნის. ხოლო რკინიდან მარჯვნივ განლაგებული არაკარბიდწარმომქმნელი ელემენტები (Si, Al, Cu) კი ამცირებენ ცემენტიტისა და სხვა კარბიდების მდგრადობას. მანგანუმიდან ცირკონიუმამდე კარბიდების მდგრადობა იზრდება, ხოლო ფერიტსა, აუსტენიტსა და ცემენტიტში მათი ხსნადობა მცირდება.

ძლიერი კარბიდწარმომქმნელი ელემენტები - Nb, V, Zr, Ti პრაქტიკულად არ იხსნებიან არც ფერიტში და არც ცემენტიტში. წარმოქმნიან საკუთარ NbC, VC, ZrC, TiC-ს ტიპის სპეციალურ კარბიდებს. მათი მაღალი ატომთშორისი ენერჯის გამო (რომელიც გარკვეულწილად ხასიათდება მათი დნობის ტემპერატურებით - WC -2900°C, VC - 3100°C, TiC -3450°C, ZrC -

3800°C), ისინი ძალიან მაღალ ტემპერატურაზეც არასრულად იხსნებიან აუსტენიტში.

ფოლადებში კარბიდები, მათი ძალიან მაღალი სისალისა და მაღალი ძვრის წინააღობის გამო, განმამტკიცებელი ფაზები არიან. კარბიდწარმოქმნელი ელემენტების შემცველობა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს აუსტენიტის მარცვლის ზრდაზე (ამცირებენ ზრდას გახურებისას) და თერმული დამუშავების პროცესებზე. კარბიდების უარყოფითი მხარეა მათი სიმყიფე.

6.3.4 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა პერლიტურ გარდაქმნებზე

მალეგირებელი ელემენტები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ ევტექტოიდის ტემპერატურაზე (A_1 კრიტიკული წერტილის მდებარეობაზე) და ნახშირბადის შემცველობაზე ევტექტოიდში ($Fe - Fe_3C$ დიაგრამაზე წერტილი S).

γ -არის (შე)მავიწროებელი ელემენტები A_1 კრიტიკულ წერტილს ამალევენ, ხოლო მაფართოებელი ელემენტები ადაბლებენ. წერტილი S, ფოლადში ნებისმიერი მალეგირებელი ელემენტის არსებობისას, გადაადგილდება მარცხნივ, რაც იწვევს ნახშირბადის შემცველობის შემცირებას ლეგირებულ პერლიტში. მალეგირებელი ელემენტები E წერტილსაც მარცხნივ გადაადგილებენ. ეს გადაადგილება განსაკუთრებით შესამჩნევია მაშინ, როდესაც ფოლადი γ -არის შემავიწროებელ ელემენტებს შეიცავს.

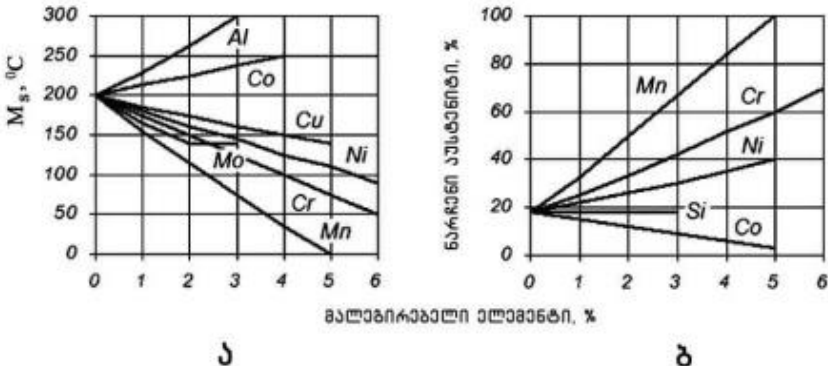
6.3.5 მალეგირებელი ელემენტების გავლენა მარტენსიტულ გარდაქმნასა და მოშვებაზე

მალეგირებელი ელემენტების გავლენა წრთობაზე. წრთობისათვის გახურების პროცესში მალეგირებელი ელემენტების უმრავლესობა აუსტენიტში იხსნება. TiC, NbC, ZrC, და ნაწილობრივ (Fe,V)₃C კარბიდები აუსტენიტში არ იხსნებიან მაშინაც კი, როცა შენადნობში მათი რაოდენობა უმნიშვნელოა. აღნიშნული კარბიდები ამუხრუჭებენ აუსტენიტის მარცვლის ზრდას და წრთობისას მიიღება წვრილნემსისებრი მარტენსიტული სტრუქტურა. როგორც სხვა კარბიდწარმომქმნელი ელემენტები ფოლადში მათი მცირე რაოდენობისას, ასევე არაკარბიდწარმომქმნელი ელემენტები (Si, Al, Cu) გახურებისას, აუსტენიტში იხსნებიან და წრთობისას წარმოქმნიან ლეგირებულ მარტენსიტს.

მალეგირებელი ელემენტები 200°C ტემპერატურაზე დაბლა უმნიშვნელოდ მოქმედებენ მარტენსიტის დაშლაზე ფოლადში. ხოლო უფრო მაღალ ტემპერატურებზე ძლიერ ამუხრუჭებენ მარტენსიტის დაშლის, კარბიდების ნაწილაკების წარმოქმნისა და ზრდის პროცესებს, რასაც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. მაშინ, როცა ნახშირბადიან და დაბალლეგირებულ ფოლადებში მოშვებული მარტენსიტის მაღალი სისალე ნარჩუნდება 250 - 350 °C-მდე, მაღალლეგირებული ფოლადების მარტენსიტი ასეთ მდგომარეობას 450 - 500°C-მდე და უფრო მაღლა ინარჩუნებს.

ელემენტების უმრავლესობა (Mn, Cr, Ni და სხვ.) დაბლა სწევს M_s ტემპერატურას და ზრდის ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობას, ხოლო Co და Al კი მაღლა სწევენ M_s წერტილის მდებარეობას (სურ. 90 ა). ამრიგად, ფოლადში მალეგირებელი ელემენტების

შეტანით გამოწვეული მარტენსიტული გარდაქმნის საწყისი ტემპერატურის ცვლილება აისახება ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობაზე ნაწრობ ფოლადში (სურ. 90 ბ). თუ M_s წერტილი დაიწევა 0°C -მდე, მაშინ აუსტენიტი წრთობისას არ დაიშლება. აქედან გამომდინარე, ასეთი ფოლადი აუსტენიტურ სტრუქტურას ოთახის ტემპერატურაზეც შეინარჩუნებს.



სურ. 90. მალეგირებელი ელემენტების გავლენა 1 % C შემცველობის ფოლადის მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურასა (ა) და ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობაზე (ბ)

ნარჩენი აუსტენიტი აუარესებს ნაწრობი ფოლადის ხარისხს. სტრუქტურაში მის შესამცირებლად (მოსაცილებლად) ნაკეთობას წრთობის შემდეგ ამუშავებენ სიცივით.

მალეგირებელი ელემენტების გავლენა მოშვებაზე. წრთობის შემდეგ ფოლადის სიბლანტის ასამაღლებლად ტარდება მოშვება. მოშვების პროცესში არაწონასწორული ფაზები - მარტენსიტი და აუსტენიტი - გარდაიქმნებიან ფერიტად და ცემენტიტად. ეს გარდაქმნა დიფუზიურია და, შესაბამისად, დამოკი-

დებულია გახურების ტემპერატურაზე. მალეგირებელი ელემენტები დიდ გავლენას ახდენენ ნაწრობი ფოლადის მოშვების დიფუზიურ გარდაქმნებზე, რომელთა დროსაც ადგილი აქვს კარბიდების გამოყოფასა და კოაგულაციას. მათი უმრავლესობა (Cr, W, Mo, V და სხვ.) ანელებს მარტენსიტის დაშლის პროცესს, ანუ აძნელებს მყარი ხსნარიდან ლეგირებული ცემენტიტის გამოყოფას და მის კოაგულაციას. მოშვებისას ნახშირბადიან ფოლადში მხოლოდ ნახშირბადის დიფუზია ხდება, ხოლო ლეგირებულ ფოლადში დიფუნდირებს როგორც ნახშირბადი, ისე მალეგირებელი ელემენტი. აქედან გამომდინარე, ნაწრობი ლეგირებული ფოლადების მოშვება უნდა ჩატარდეს ნაწრობ ნახშირბადიან ფოლადებთან შედარებით უფრო მაღალ ტემპერატურებზე.

მოშვებაზე მალეგირებელი ელემენტების გავლენა აისახება როგორც რაოდენობრივად, ისე ხარისხობრივად: მცირდება გარდაქმნის სიჩქარე და მაღლდება გარდაქმნის ტემპერატურა (პრაქტიკულად, ლეგირებული ფოლადების ყველა სახის მოშვების ტემპერატურები, ნახშირბადიანი ფოლადების მოშვების ტემპერატურებთან შედარებით, 100 - 150 °C-ით უფრო მაღალია); ხდება ლეგირებული ცემენტიტის გარდაქმნა სპეციალურ კარბიდებად (კარბიდული გარდაქმნები) და მეორეული სისაღის წარმოქმნა - ნარჩენი აუსტენიტის გარდაქმნა მარტენსიტად; ხდება გამოყოფა დისპერსიული კარბიდების.

ამგვარად, ლეგირება, გარდაქმნის სიჩქარისა და ტემპერატურის ცვლილება, აგრეთვე ფოლადის თბური თვისებები, - ყველაფერი ეს მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს თერმული დამუშავების რეჟიმებზე. განმამტკიცებელი თერმული დამუშავებისას

ლეგირებული ფოლადების, ნახშირბადიან ფოლადებთან შედარებით, ძირითადი თავისებურებები მდგომარეობს შემდეგში:

– ლეგირებული ფოლადების თბოგამტარობის შემცირების გამო, ნაკეთობის გახურება ხდება ნაკლები სიჩქარით. დადაბლებული თბოგამტარობა ზრდის ტემპერატურის ვარდნას ნაკეთობის კვეთში, შესაბამისად, მაღლდება დაბრეცისა და ბზარწარმოქმნის გამომწვევი ძაბვები;

– მაღლდება ნაწრთობი ფოლადის აუსტენიტში გარდაქმნის ტემპერატურა. ძნელად ხსნადი კარბიდები ინარჩუნებენ მის წვრილმარცვლოვნებას - ამუხრუჭებენ აუსტენიტის მარცვლის ზრდას;

– გადაცივებული აუსტენიტის დაშლის პროცესის შენელება ქმნის შესაძლებლობას ნაკეთობის მნიშვნელოვნად ნაკლები სიჩქარით გაცივების, ხოლო წრთობის კრიტიკული სიჩქარის შემცირება ნაკეთობის უფრო “რბილ” მაცივებელ არეში გაცივების შესაძლებლობას ქმნის. შედეგად შინაგანი ძაბვების, დეტალების დაბრეცის და ბზარების წარმოქმნის ალბათობა მცირდება;

– დიდდება ფოლადების შეწრთობადობა, შესაბამისად, იზრდება წრთობით მსხვილი ნაკეთობების მთელ კვეთში განმტკიცების შესაძლებლობა.

6.3.6 ცალკეული მალეგირებული ელემენტის გავლენა ფოლადის თვისებებზე

ლეგირებული შენადნობის შედგენილობაში შემავალი ცალკეული მალეგირებული ელემენტი სხვადასხვაგვარად მოქმედებს მის ფიზიკურ-ქიმიურ და ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე.

განვიხილოთ ზოგი მალეგირებელი ელემენტის გავლენა ფოლადის ამა თუ იმ თვისებაზე:

მანგანუმი ფოლადის შედგენილობაში წარმოების მომენტიდან არსებობს. იგი 1%-ზე მეტი შემცველობისას პლასტიკურობის შემუმცირებლად ამაღლებს სისალეს, სიმტკიცეს, ცვეთამდეგობას, დარტყმით დატვირთვებზე მედეგობას, აგრეთვე შეწრობადობის სიღრმეს თერმული დამუშავებისას. ეფექტურად მოქმედებს შედუღებადობაზე. ამასთან, იგი არის აუსფორმინგის ძირითადი ელემენტი. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მისი გოგირდთან MnS ნაერთის წარმოქმნის უნარი და წითელმეტეხობის გამომწვევი რკინა-გოგირდთან ნაერთის FeS -ის, წარმოქმნის ალბათობის მნიშვნელოვნად შემცირებისა (გამორიცხვის);

სილიციუმი იაფი მალეგირებელი ელემენტია. იგი ფოლადის დნობისას ერთ-ერთი ძირითადი განმჟანგველია. 1%-ზე მეტი შემცველობისას იგი ამაღლებს დენადობასა და სიმტკიცეს სიბლანტის შენარჩუნებით. სილიციუმის მაღალი შემცველობისას იზრდება ელექტროწინალობა და მაგნიტური შეღწევადობა, ხელს უწყობს ერთგვაროვანი სტრუქტურის მიღებას, დადებითად მოქმედებს ფოლადის ხენჯმედეგობასა და დრეკადობის მახასიათებლებზე. 15-20% Si-ის შემცველობისას ფოლადი მჟავამედეგი ხდება. მანგანუმთან და მოლიბდენტან კომბინაციაში იგი უზრუნველყოფს ფოლადის უფრო მაღალ წითობადობას, არ წარმოქმნის კარბიდებს, იხსნება მარტენსიტში და ანელებს ლეგირებული მარტენსიტის დაშლას 300 °C-მდე;

ქრომი ფოლადის ძირითადი მალეგირებელი ელემენტია. იგი ფოლადებში ამაღლებს სისალესა და სიმტკიცეს, უმნიშვნელოდ

ამცირებს პლასტიკურობას, ამაღლებს კოროზიამდეგობას, 13 %-ზე მეტი ქრომის შემცველობისას ფოლადი უჟანგავი ხდება, დადებითად მოქმედებს მხურვალსიმტკიცეზე და მხურვალმდეგობაზე. თერმული დამუშავებისას ზრდის შეწრთობადობის სიღრმეს, უზრუნველყოფს მაგნიტური თვისებების მდგრადობას, მაღალნახშირბადიან ფოლადებში ამაღლებს ცვეთამდეგობას. ქრომი ნახშირბადთან წარმოქმნის კარბიდს $Cr_{23}C_6$, რომელიც, ძირითადად, მარცვლის საზღვრებზე იყრის თავს. ეს ნაერთი ადვილად წარმოიქმნება მაღალ ტემპერატურაზე (ნახშირბადის მაღალი ძვრადობის გამო) და შენადულ უჟანგავ ფოლადებში, ნაკერის სიახლოვეს, იგი არის შედუღების დეფექტების მიზეზი;

ნიკელი ფოლადებში ამაღლებს კოროზიამდეგობას, სიმტკიცესა და პლასტიკურობას, ზრდის შეწრთობადობას, ამაღლებს ელექტროწინაღობას და ადაბლებს ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტის მნიშვნელობას. აუსტენიტურ უჟანგავ ფოლადებში ნიკელი, ქრომის შემდეგ, მეორე უმნიშვნელოვანესი მალეგირებელი ელემენტია;

ვოლფრამი ფოლადებში ამაღლებს ცვეთამდეგობას, უზრუნველყოფს სისალის შენარჩუნებას მაღალ ტემპერატურებზე, განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება საიარაღო სწრაფმჭრელი ფოლადების ლეგირებისას. ფოლადში იგი წარმოქმნის სალქიმიურ ნაერთებს - კარბიდებს, მკვეთრად ამაღლებს სისალისა და სიმტკიცის მაჩვენებლებს, აუმჯობესებს ჭრისუნარიანობას ამაღლებულ ტემპერატურაზე (წითელმდეგობას), ამცირებს მარცვლის ზომას გახურებისას, ხელს უწყობს სიმციფის აცილებას მოშვებისას;

მოლიბდენი მოქმედებს ვოლფრამის ანალოგიურად. იგი ზღუდავს მარცვლის ზრდას და ამალლებს შეწრთობადობას, კოროზიულ მედეგობას, ადიდებს წითელმედეგობას, ცოცვადობას, დრეკადობას, სიმტკიცის ზღვარს გაჭიმვისას, ჟანგვადობის წინაღობას მაღალ ტემპერატურებზე, აღმოფხვრის წრთობის პროცესის სიმყიფეს. ნაწრთობი ფოლადის მოშვების ტემპერატურიდან ნელი გაცივებისას ზოგ ფოლადში მარცვლების საზღვრებზე “ილექება”კარბიდები, რაც იწვევს სიმყიფეს. მოლიბდენი ამუხრუჭებს ამ ნეგატიურ შედეგს. გარდა ამისა მოლიბდენი ლეგირებული საიარალო ფოლადების მნიშვნელოვანი მალეგირებელი ელემენტი. უჟანგავ ფოლადებში მნიშვნელოვნად ამალლებს კოროზიული პროცესებისადმი, განსაკუთრებით წერტილოვანი კოროზიისადმი, მედეგობას. ზოგ მიკროლეგირებულ ფოლადში იგი ნიტრიდ და კარბონიტრიდ წარმომქმნელ ელემენტად გამოიყენება;

ვანადიუმი კარგი გამჟანგველია და ზრდის ფოლადის სიმკვრივეს, აწვრილმანებს მარცვლებს, რითაც (მარცვლის ზომების შემცირების ეფექტით) მნიშვნელოვნად ამალლებს დენადობის ზღვარს და სიმტკიცეს გაწყვეტაზე. გარდა ამისა, იგი აფართოებს წრთობისა და მოშვების შესაძლებლობებს. დადებით გავლენას ახდენს მეორეული გახურების ეფექტზე, არის ლეგირებული საიარალო ფოლადების მალეგირებელი ელემენტი. იგი ასევე გამოიყენება მიკროლეგირებული ფოლადების წარმოებაში, ნიობიუმთან და ტიტანთან ერთად, როგორც მიკრომალეგირებელი ელემენტი (მალეგირებელი ელემენტები მიკროლეგირებულ ფოლადში 0,25 % არ აღემატება). ეს ელემენტები ერთ-, ორ და სამელემენტთან კომპოზიციებში წარმოქმნიან კარ-

ბონიტრიდების გამონაყოფებს და ფოლადის მარცვლის დაწვრილმანებასთან ერთად, დისპერსიული გამონაყოფებით განმტკიცების მექანიზმით მის სისალეს ამაღლებენ;

კობალტი საიარალო ფოლადების მნიშვნელოვანი მალეგირებელი ელემენტია. გამოიყენება მაღალ ტემპერატურებზე საიარალო ფოლადების სისალის შესანარჩუნებლად. იგი ამაღლებს მხურვალსიმტკიცეს, აუმჯობესებს მაგნიტურ თვისებებს, ადიდებს დარტყმისადმი წინაღობას;

ტიტანი გამოიყენება ფოლადის განმჟანგველად. იგი მნიშვნელოვნად ამაღლებს ფოლადის სიმტკიცესა და სისალეს, აუმჯობესებს დამუშავებადობას და კოროზიისადმი წინაღობას. ტიტანი, ვანადიუმის მსგავსად (გაცილებით ეფექტურად) აწვრილმანებს მარცვალს. იგი გამოიყენება მიკრომალეგირებელი ელემენტად, ასევე კარბიდწარმომქმნელ ელემენტად (ქრომის კარბიდის ნეგატიური გავლენის სალიკვიდაციოდ) უჟანგავი ფოლადების წარმოებაში;

ნიობიუმი მიკროლეგირებულ ფოლადებში ყველაზე უფრო მაღალი ეფექტის მქონე მიკრომალეგირებელი ელემენტია. უჟანგავ ფოლადებში იგი მოქმედებს ტიტანის მსგავსად, გამოიყენება ტიტანთან ერთად ან დამოუკიდებლად, აუმჯობესებს მჟავამედეგობას, ხელს უწყობს კოროზიის შემცირებას შენადულ კონსტრუქციებში;

ცირკონიუმი განსაკუთრებულ გავლენას ახდენს მარცვლის სიდიდესა და ფოლადში მარცვლის ზრდაზე; აწვრილმანებს მარცვალს და ფოლადის წინასწარ მოთხოვნილი მარცვლოვნებით მიღების საშუალებას იძლევა;

ალუმინი გამოიყენება ფოლადის განმჟანგველად. ზრდის დენადობას და დარტყმით სიბლანტეს. ავლენს ფოლადის მარცვლის ზომების შემცირების ეფექტს, წარმოადგენს დააზოტებული ფოლადების ძირითად მალეგირებელ ელემენტს. ზოგ მიკროლეგირებულ ფოლადებში იგი გამოიყენება ნიტრიდისა და კარბონიტრიდის წარმომქმნელ ელემენტად, ზრდის მხურვალმდეგობასა და ხენჯმდეგობას;

სპილენძი ფოლადებში რამდენადმე ამაღლებს დენადობისა და სიმტკიცის ზღვრებს გაჭიმვისას, ამცირებს პლასტიკურობას, დარტყმით სიბლანტეს, ცივმეტეხობასა და დამუშავებადობას, ნეგატიურად მოქმედებს გამოჭიმვის უნარზე ცივ მდგომარეობაში. ამ მიზეზის გამო, სასურველია, გლინულაში მისი შემცველობა იყოს მინიმალური (შესაძლებლობის ზღვრებში). ამაღლებს (აძლიერებს) ანტიკოროზიულ თვისებებს;

კალა თითქმის არ მოქმედებს ფოლადის დენადობასა და ზღვრულ სიმტკიცეზე გაჭიმვისას, მაგრამ ქმნის პრობლემებს ცხელი გლინვისას. წარმოქმნის დნობის დაბალი ტემპერატურის მქონე ნაერთებს, რომლებიც გლინვისას იწვევენ ნამზადების რღვევას;

ტყვია ამცირებს ფოლადის გლინვის უნარს, იწვევს რღვევებს. აუარესებს ფოლადის ზედაპირის ხარისხს. იგი ამაღლებს ჭრით მექანიკური დამუშავებადობის უნარს, გამოიყენება საავტომატე ფოლადების ლეგირებისათვის;

გოგირდი, პრაქტიკულად, გავლენას არ ახდენს ფოლადის დენადობის ზღვარსა და რღვევის ზღვრულ სიმტკიცეზე გაჭიმვისას. დიდ გავლენას ახდენს წაგრძელებასა და სიბლანტეზე.

იგი მნიშვნელოვნად ადაბლებს დარტყმით სიბლანტეს და მასალის პლასტიკურობას. გარდა ამისა, უარყოფითად მოქმედებს ფოლადის შედუღებადობაზე. გოგირდი რკინასთან წარმოქმნის დნობის დაბალი ტემპერატურის მქონე ნაერთს, FeS-ს, რომელიც, გლინვის ტემპერატურაზე იწყებს დნობას და იწვევს ფოლადის წითელტეხადობას. გოგირდი არის ფოლადის წარმოების ნარჩენი ელემენტი და ჩამოთვლილი უარყოფითი გავლენების გამო, ცდილობენ მის შემცირებას მინიმუმამდე. ინარჩუნებენ მის მაღალ შემცველობას მხოლოდ ჩარხებზე ჭრით დასამუშავებელ საავტომატე ფოლადებში;

ფოსფორი ამაღლებს ფოლადის დენადობასა და რღვევის ზღვრულ სიმტკიცეს გაჭიმვისას, აუარესებს წაგრძელებისა და ღუნვის მაჩვენებლებს, იწვევს ცივმეტეხობას, ამაღლებს ჭრით დამუშავებადობას. იგი არის ფოლადის წარმოების ნარჩენი ელემენტი და ჩამოთვლილი უარყოფითი გავლენების გამო, ცდილობენ მის შემცირებას მინიმუმამდე;

აზოტი ფოლადში არასასურველი ელემენტია. იგი არის ფოლადის სიმციფის (მსხვრევის) მიზეზი, ძალიან ცუდად მოქმედებს ღუნვის მაჩვენებლებზე. აზოტი ბოლო ხანებში გამოიყენება მალეგირებელ ელემენტად მაღალლეგირებულ აუსტენიტურ ქრომმანგანუმთან შენადნობებში.

6.3.7 ლეგირებული ფოლადების კლასიფიკაცია

მთელი გამოდნობილი ფოლადის დაახლოებით 10 % ლეგირებულია. მათ გააჩნია რიგი სპეციფიკური თვისებებისა: ცვეთამედეგობა, მხურვალსიმტკიცე, მხურვალმედეგობა, მსხვილ

კვეთებში შეწრობადობა, მჟავამედეგობა და სხვ. ლეგირებით შესაძლებელია ამალდეს დენადობის ზღვარი, დარტყმითი სიბლანტე და სხვა ფიზიკურ-მექანიკური და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები. მრავალმხრივი თვისებები იწვევს ასეთი ფოლადების კლასიფიკაციის მრავალმხრივობას. ლეგირებული ფოლადების კლასიფიკაცია, ძირითადად, ხდება წონასწორული სტრუქტურის, ჰაერზე გაცივებით მიღებული (ნორმალიზებული) სტრუქტურის, ქიმიური შედგენილობისა და დანიშნულების მიხედვით.

წონასწორული სტრუქტურის მიხედვით აღსანიშნავია ქვევტექტოიდური (შეიცავს ჭარბ ფერიტს), ევტექტოიდური (პერლიტური), ზეევტექტოიდური (შეიცავს ჭარბ მეორეულ კარბიდებს) და ლედებურიტული (შეიცავს თხევადი ფოლადიდან გამოყოფილ პირველად კარბიდებს).

ჰაერზე გაცივების შემდეგ მიღებული (ნორმალიზებული) სტრუქტურის მიხედვით არსებობს ფოლადები პერლიტური, მარტენსიტული, აუსტენიტური და კარბიდული კლასის.

შედგენილობის მიხედვით არსებობს ფოლადებში შემავალი მალეგირებელი ელემენტის ან ელემენტების საკლასიფიკაციო ნიშანი, მაგ., ნიკელიანი, ქრომიანი, ქრომნიკელიანი, ქრომნიკელმოლიბდენიანი და მისთ.

დანიშნულების მიხედვით არსებობს საკონსტრუქციო, საიარაღო და განსაკუთრებული თვისებების ფოლადები და შენადნობები; უჟანგავი, მხურვალმტკიცე, მხურვალმედეგი, ცვეთამედეგი, განსაკუთრებული თბური გაფართოების, განსაკუთრებული მაგნიტური და ელექტრული თვისებების და სხვ.

თავი VII

ფოლადებისა და შენადნობების თერმული დამუშავება, დეფექტები და მათი აცილება-გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები

7.1 თერმული დამუშავების არსი და დანიშნულება

ლითონური შენადნობები და ფოლადები თავისი ფიზიკური და ტექნიკური მახასიათებლებით ყოველთვის ვერ აკმაყოფილებენ საპროექტო მოთხოვნებს. მალეგირებელი ელემენტებით (რკინანახშირბადიანი შენადნობების ქიმიური შედგენილობის ცვლილებით) შესაძლებელია მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მქონე სხვადასხვა მარკის ლეგირებული ფოლადისა და თუჯის მიღება. ისინი ფართოდ გამოიყენებიან საკონსტრუქციო და საიარაღო მასალებად. ხშირად, შენადნობების ლეგირებისათვის საჭიროა ძვირადღირებული და დეფიციტური ქიმიური ელემენტები. ფოლადებისა და თუჯების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების გაუმჯობესება (გარკვეულ ზღვრებში), ეკონომიკურად უფრო მომგებიანია მათი სტრუქტურის ცვლილებით.

ასეთ შემთხვევაში საპროექტო მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად, შეიძლება უფრო იაფი და მარტივი შედგენილობის შენადნობების გამოყენება, რომელთა სიმტკიცისა და სხვადასხვა სახის გარე ზემოქმედებისადმი მედეგობის ამაღლება, აგრეთვე სიმყიფის შემცირება შესაძლებელია თერმული დამუშავების სხვადასხვა ტექნოლოგიით.

თერმული ზემოქმედებით ლითონებისა და შენადნობებისაგან დამზადებული სხვადასხვა ნაკეთობის სტრუქტურისა და თვისებების (მოთხოვნათა შესაბამისად) შეცვლის პროცესს ეწოდება თერმული დამუშავება. პროცესი შესაძლებელია შეუხამდეს ქიმიურ, დეფორმაციულ, მაგნიტურ, ელექტრულ და სხვა ზემოქმედებებს. თერმული დამუშავება ლითონთმცოდნეობის ერთ-ერთი ძირითადი და, თანამედროვე ტექნიკაში, ლითონებისა და შენადნობების თვისებების შეცვლის ყველაზე უფრო გავრცელებული მიმართულებაა. თერმული დამუშავებით გამოწვეულ ლითონური მასალის სტრუქტურულ ცვლილებას თავისი სიღრმითა და მრავალფეროვნებით ვერც ერთი სხვა სახის ზემოქმედება ვერ შეედრება.

თერმული დამუშავების ძირითადი მიზანია, ტემპერატურის რეგულირებით გამოიწვიოს ლითონის აღნაგობის (სტრუქტურის) მიზანმიმართული ცვლილება, ნაკეთობის ფორმისა და საერთო ქიმიური შედგენილობის შეუცვლელად. წონასწორულ მდგომარეობასთან მიახლოებით ან, მისგან ამა თუ იმ ხარისხით გადახრით, იცვლება ნაკეთობების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების (სიმტკიცის, პლასტიკურობის, სისალისა და სიბლანტის) მახასიათებლები და იხსნება შინაგანი ძაბვები.

ზოგადად, თერმული დამუშავება მასალის სტრუქტურასა და თვისებებზე ზემოქმედების ტექნოლოგიური მეთოდია. იგი მოწოდებულია ლითონის სტრუქტურის ცვლილებით გარანტირებულად უზრუნველყოს მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი მექანიკური მახასიათებლების მნიშვნელობები.

ლითონური მასალებიდან დამზადებული ნაკეთობების თერმული დამუშავების ტექნოლოგიების სრულყოფისაკენ სწრაფვა,

ფაქტობრივად, თანამედროვე მანქანებისა და აპარატების ხარისხის ამაღლებაზე ზრუნვაა. ნაკეთობაში მაღალი და ერთგვაროვანი თვისებების მისაღწევად აუცილებელია არსებული (ან ახალი) მოცულობითი და ზედაპირული თერმული დამუშავების, თერმომექანიკური, ქიმიურ-თერმული და სხვა დამუშავებების ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზებული მართვა. ამასთან, აუცილებელია, დაგეგმილი თერმული დამუშავების ციკლის ყველა ეტაპზე (ეტაპის შესაბამისი) დამუშავების ხარისხის კონტროლი.

თანამედროვე მეთოდებისა და სწრაფმოქმედი აპარატურის გამოყენებით კონტროლის სისტემა უნდა უზრუნველყოფდეს სტრუქტურის ანალიზის, გახურება-გაცივების ტემპერატურის ცვლილების კონტროლისა და რეგულირების, დეფორმაციული, ქიმიური და სხვა ფაქტორების ცვლილების განსაზღვრის საიმედო მონაცემებს. თერმული დამუშავების ყოველი კონკრეტული პროცესი აღჭურვილი უნდა იყოს მართვის თანამედროვე კომპიუტერული სისტემით.

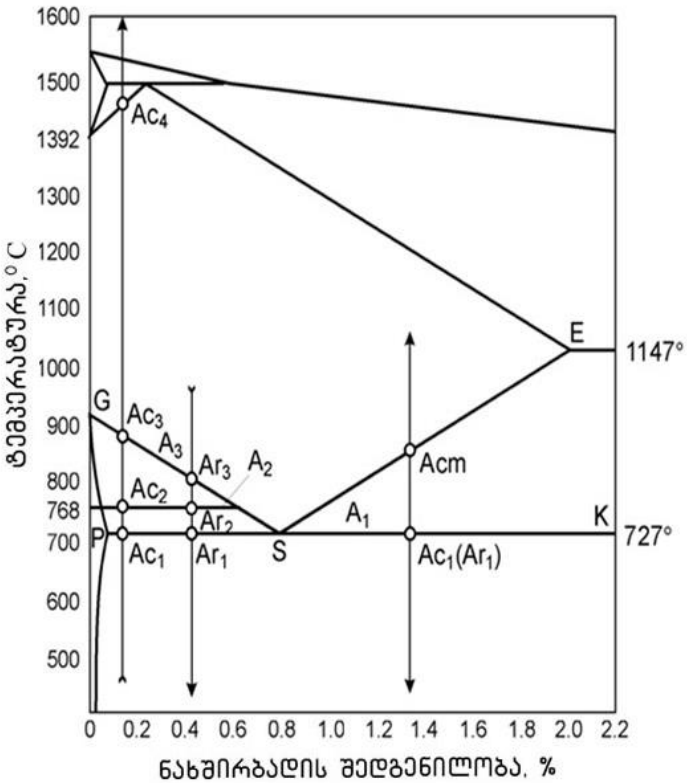
ლითონებსა და შენადნობებზე თერმული დამუშავების ზემოქმედების ძირითადი ფაქტორებია მაღალი და დაბალი (უარყოფითი) ტემპერატურა და დრო. პრაქტიკულად, შენადნობის თერმული დამუშავების რეჟიმის დამახასიათებელი ძირითადი პარამეტრებია: გახურების მაქსიმალური ტემპერატურა; ამ ტემპერატურაზე იზოთერმული დაყოვნების ხანგრძლივობა; გახურებისა და გაცივების სიჩქარეები. ანუ იგი განისაზღვრება „ტემპერატურა–დრო“ დამოკიდებულების ფუნქციით. სქემატურად გამოსახება ასე:

სასურველ ტემპერატურამდე გახურება → იზოთერმული დაყოვნება → გაცივება.

ამრიგად, თერმული დამუშავების თეორია შეისწავლის ლითონების (შენადნობების) აღნაგობის ცვლილებას სითბური ზემოქმედებისას. რკინის მყარ მდგომარეობაში ალოტროპიული გარდაქმნების არსებობა განაპირობებს თერმული დამუშავებით ფოლადების განმტკიცების შესაძლებლობას. აუსტენიტური მდგომარეობიდან ფოლადის სხვადასხვა სიჩქარით გაცივებისას გადაცივების სხვადასხვა ხარისხი მიიღწევა. სხვადასხვა ხარისხის გადაცივება თავისი აღნაგობითა და თვისებებით, მკვეთრად განსხვავებული აუსტენიტის დაშლის პროდუქტების მიღების შესაძლებლობას.

რკინის შენადნობების თერმული დამუშავების შესწავლის საფუძველი არის რკინა-ცემენტიტის დიაგრამა (სურ. 91). რკინანახშირბადიანი შენადნობების გახურება-გაცივების პროცესებში, განსაზღვრულ კრიტიკულ ტემპერატურებზე ადგილი აქვს ფაზურ გარდაქმნებს. ფოლადის თერმული დამუშავებისას საჭიროა ამ ტემპერატურების ზუსტად განსაზღვრა. გარდაქმნის კრიტიკული ტემპერატურები გახურებისას და გაცივებისას ერთმანეთს არ ემთხვევა. ნახშირბადიანი ფოლადებისათვის კრიტიკული ტემპერატურები $Fe - Fe_3C$ დიაგრამის დახმარებით მარტივად განისაზღვრება. დიაგრამაზე კრიტიკული წერტილები და მათი ინდექსები, ზოგადად, აღინიშნება ფრანგული სიტყვების საწყისი ასოებით. კრიტიკული ტემპერატურები პირობითად აღინიშნება ასო A-თი (arret –გაჩერება), რომელსაც მიეწერება გარდაქმნის ხასიათის მაჩვენებელი ციფრები 1, 2 და ა.შ. გახურების კრიტიკული წერტილის გაცივების კრიტიკული წერტილიდან განსასხვავებლად, მათ, A-სთან

მიწერებათ ინდექსები: გახურებისას - “c” (chauffage–გახურება) - Ac; გაცივებისას - “r” - (refroidissement – გაცივება) - Ar. ხოლო მათი განლაგების რიგი კი აღინიშნება ციფრებით 1, 2, 3 და ა.შ.



სურ. 91. რკინა-ცემენტის დიაგრამის ფოლადის უბანი

Fe - Fe₃C დიაგრამაზე კრიტიკული წერტილები, წონასწორულ პირობებში, არის ფაზური გარდაქმნების ტემპერატურები:

PSK იზოთერმა - 727°C ასახავს პერლიტი ↔ აუსტენიტი ფაზური გარდაქმნების რეაქციებს. ამ ხაზის შესაბამის წერტილებს

ეწოდება ქვედა (პირველი) კრიტიკული ტემპერატურა და აღინიშნება A_1 -ით (A_{C1}, Ar_1);

A_2 (A_{C2}, Ar_2) - მეორე კრიტიკული წერტილები, ხაზი MO, წონასწორობის ტემპერატურა 768°C , იგი შეესაბამება რკინის შენადნობების მაგნიტურ \leftrightarrow პარამაგნიტურ გადასვლებს;

A_3 (A_{C3}, Ar_3) - მესამე კრიტიკული წერტილები, ხაზი GSE. ქიმიური შედგენილობის ცვლილების შესაბამისად იცვლება კრიტიკული ტემპერატურებიც. ქვეევტექტოიდურ ფოლადებში GS მონაკვეთზე მიმდინარეობს რეაქცია ფერიტი \leftrightarrow აუსტენიტი (ტემპერატურა 911°C -დან 727°C -მდე) და წერტილები შეესაბამებიან ფერიტის აუსტენიტიში გახსნის საბოლოო ან აუსტენიტიდან ფერიტის გამოყოფის საწყის ტემპერატურებს, ხოლო ზეევტექტოიდურ ფოლადებში (SE მონაკვეთი) მიმდინარეობს რეაქცია აუსტენიტი + მეორეული ცემენტიტი \leftrightarrow აუსტენიტი. ტემპერატურა იცვლება 727°C -დან 1147°C -მდე და წერტილები შეესაბამება მეორეული ცემენტიტის აუსტენიტიში გახსნის საბოლოო ან აუსტენიტიდან მეორეული ცემენტიტის გამოყოფის საწყის ტემპერატურებს. ხშირად ეს მონაკვეთი აღინიშნება A_{Cm} -ით.

A_4 (A_{C4}, Ar_4) -მეოთხე კრიტიკული წერტილები, ხაზი NJ, ქვეევტექტოიდურ ფოლადებში NJ მონაკვეთზე მიმდინარეობს რეაქცია აუსტენიტი \leftrightarrow δ ფერიტი. ქიმიური შედგენილობის ცვლილების შესაბამისად კრიტიკული ტემპერატურები იცვლება 1392°C -დან 1500°C -მდე.

აღსანიშნავია, რომ A_2 და A_4 კრიტიკულ ტემპერატურებს თერმული დამუშავებისათვის პრაქტიკული მნიშვნელობა არ აქვთ.

ფოლადებში ფაზური გადაკრისტალებით სტრუქტურის შესაცვლელად საჭიროა მათი გახურება კრიტიკულ წერტილებზე ზევით. თერმული დამუშავებისას, სასურველი მიმართულებით ფაზური გარდაქმნების წარმართვით შესაძლებელია შენადნობების აღნაგობისა და თვისებების როგორც წინასწარმეტყველება, ისე წარმოებისა და ექსპლუატაციისათვის სასურველი მიმართულებით ცვლილება. შენადნობის თვისებების ცვლილებისათვის თერმული დამუშავებისას, აუცილებელია, რომ ფაზური გარდაქმნებით მიღწეული თვისებები პირველ რიგში იყოს “ნარჩენი” (იყოს გარკვეულად სტაბილური. სხვაგვარად თერმული დამუშავება აზრს კარგავს).

თერმული დამუშავების პროცედურები გახურებისა და შემდგომ გაცივების ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით სრულდება მასალის გასამტკიცებლად ან გასარბილებლად. იგი იყოფა წინასწარ, შუალედურ და საბოლოო დამუშავებად:

– წინასწარი თერმული დამუშავების მიზანია მასალის სტრუქტურისა და თვისებების მომზადება შემდგომი ტექნოლოგიური ოპერაციებისათვის (წნევით დამუშავება, ჭრით დამუშავებადობის გაუმჯობესება);

– შუალედური დამუშავება არის ოპერაციათაშორისი;

– საბოლოო თერმული დამუშავების დანიშნულებაა მიანიჭოს ნაკეთობას მაღალი შრომისუნარიანობა, ანუ აამაღლოს დეტალებისა და ინსტრუმენტების მუშაობის ხანმედეგობა და საიმედოობა. საბოლოო დამუშავებისას ყალიბდება ნაკეთობის მოთხოვნილი თვისებები.

მექანიკური დამუშავებადობის გასაუმჯობესებლად ნამზადები თერმულად მუშავდება, ძირითადად, მექანიკურ დამუშავებამდე, ხოლო დეტალებისათვის მაღალი მექანიკური თვისებების მისანიჭებლად მექანიკური დამუშავების შემდეგ.

გახურებისა და გაცივების რეჟიმების ცნება გულისხმობს: ამ პროცესების წარმართვის სიჩქარეს, ტემპერატურას, სამუშაო გარემოსა და იზოთერმული დაყოვნების ხანგრძლივობას. აუცილებელ თვისებათა კომპლექსის მისაღებად თერმული დამუშავების რეჟიმები შეირჩევა მასალაში, მოსალოდნელი ფაზური და სტრუქტურული გარდაქმნების გათვალისწინებით. შენადნობების თერმული დამუშავების ყოველი სახისათვის უნდა შემუშავდეს დამუშავების შესაბამისი რეჟიმი. ლითონური ნაკეთობის (ნამზადის) სწორი თერმული დამუშავების ჩასატარებლად აუცილებელია განისაზღვროს მასალის ტიპი, შეირჩეს გახურების ტემპერატურა, გამაცივებელი არე და მოწყობილობები.

თერმული დამუშავების ყოველ სახეს გააჩნია საკუთარი თავისებურება, უპირატესობა და ნაკლოვანება. მიუხედავად თერმული დამუშავების მრავალსახეობისა, ყველა ისინი ემსახურებიან მასალის ცვეთა- და კოროზიამდეგობის ამაღლებას.

აღნიშნული იყო, რომ ზოგადად, თერმული დამუშავება მდგომარეობს შენადნობის გარკვეულ ტემპერატურამდე (კრიტიკულ წერტილებს ზევით) გახურებაში, ფაზური გადაკრისტალების (ან გამჟოლად გახურების) პროცესის დასრულებამდე იზოთერმულ დაყოვნებაში და ნორმალურ ტემპერატურამდე განსაზღვრული სიჩქარით გაცივებაში. 1000°C-მდე და ზევით გახურების ყველა პროცესი მიმდინარეობს სპეციალურ დანადგარებში,

რომლებიც ამ ტემპერატურების მიღწევის საშუალებას იძლევიან. მაღალტემპერატურული პროცესებისას ჰაერის ჟანგბადის ზემოქმედებით ნაკეთობათა ზედაპირები ინტენსიურად იჟანგება. ჟანგის მოცილება შრომატევადი და ძვირი სამუშაოა. ამის გამო, ხშირად, თერმული დამუშავება ხდება უჟანგბადო ატმოსფეროში. ამ მიზნით გამოიყენება გამდნარი მარილების აბაზანები, დამცავი და გააქტიურებული ატმოსფეროს დანადგარები. თერმული დამუშავების თანამედროვე პროცესებში ჟანგის თავიდან ასაცილებლად სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება ეფექტური ატმოსფერო-ვაკუუმი.

სამრეწველო პირობებში პროდუქციის ხარისხისა და წარმოების ეფექტურობის ამაღლება ითხოვს ტექნოლოგიის, მოწყობილობებისა და აღჭურვილობის მუდმივად სრულყოფას. თერმული დამუშავების დარგის სრულყოფილად განვითარებისათვის აუცილებელია:

- პროცესების მექანიზაცია და ავტომატიზაცია;
- მაღალმწარმოებლური უწყვეტი მოქმედების ავტომატიზებული აგრეგატების გამოყენება;
- თერმული დამუშავების მთელი ციკლის კონტროლირებულ ატმოსფეროში ჩასატარებელი ჰერმეტიკული დანადგარების გამოყენება;
- ავტომატური და ნახევრავტომატური რეჟიმების ინდუქციური გახურების დანადგარების ფართოდ გამოყენება;
- წრთობისას წინა ოპერაციების (დანახშირბადიანების, ჭედვის, შტამპვის) გახურების სითბოს გამოყენება;

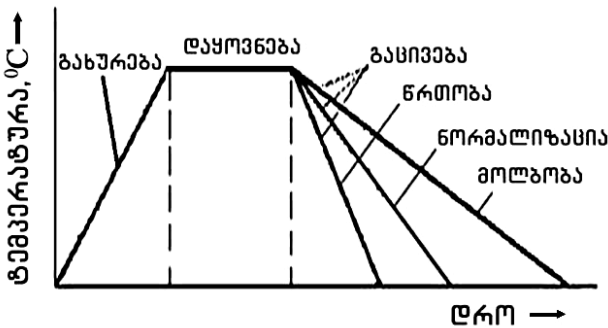
- ცხელ არეებში წრთობა (იზოთერმული, საფეხუროვანი), გაცივების სასურველი რეჟიმის ავტომატური რეგულირებით;
- მაღალი სიზუსტის ($\pm 2 - 3^{\circ}\text{C}$) ტემპერატურული რეჟიმის ავტომატური რეგულირებისათვის უახლესი ხელსაწყოების გამოყენება;
- პროგრესული პროცესების (მდუღარე შრეში გახურება და გაცივება, თერმოციკლირება, იონური ქიმიურ-თერმული დამუშავება, თერმომექანიკური დამუშავება და სხვ.) წარმოებაში დანერგვა.

თანამედროვე თერმულ საწარმოებში მოთხოვნილი და ერთგვაროვანი თვისებების ნაკეთობის მისაღებად აუცილებელია თერმული დამუშავების ცალკეული პროცესი აღიჭურვოს: მართვის თანამედროვე საშუალებებით, ავტომატიზებული თერმული ოპერაციებითა და მაღალმწარმოებლური აგრეგატებით, საკონტროლო პარამეტრების (ტემპერატურული, დეფორმაციული და ქიმიური ფაქტორების) კონტროლისა და რეგულირების სწრაფმოქმედი საშუალებებით.

თერმული დამუშავების თანამედროვე მოწყობილობა-დანადგარების შესაძლებლობების სრულყოფილად გამოყენებისათვის აუცილებელია მათი მექანიზაციისა და ავტომატიზაციის ძირითადი საშუალებების მუშაობის პრინციპების ცოდნა. თერმული დამუშავების თანამედროვე სპეციალისტი კარგად უნდა ერკვეოდეს როგორც თერმული დამუშავების თანამედროვე მოწყობილობა-დანადგარების მუშაობის პრინციპებში, ისე ამა თუ იმ სახის თერმული დამუშავებისას შენადნობში მიმდინარე გარდაქმნების არსში.

7.2 თერმული დამუშავების კლასიფიკაცია

აღნიშნული იყო, რომ ქიმიური შედგენილობის შეუცვლელად, მყარ მდგომარეობაში ლითონის სტრუქტურის შესაცვლელად აუცილებელი დამუშავების ძირითადი პარამეტრებია: გახურების ტემპერატურა, ამ ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო, გახურებისა და გაცივების სიჩქარეები. ამდენად, თერმული დამუშავების ნებისმიერი პროცესი აღიწერება გრაფიკით, რომელიც გვიჩვენებს ტემპერატურის ცვლილებას დროში (სურ. 92).



სურ. 92. ფოლადის თერმული დამუშავების გრაფიკი

გრაფიკით შეიძლება განისაზღვროს გახურების ტემპერატურა, გახურების და გაცივების დრო, გახურებისა და გაცივების საშუალო და ჭეშმარიტი სიჩქარეები, გახურების ტემპერატურაზე დაყოვნების დრო და საწარმოო ციკლის საერთო ხანგრძლივობა. მაგრამ გახურების გრაფიკის მიხედვით შეუძლებელია თერმული დამუშავების სახის განსაზღვრა. თერმული დამუშავების სახე განისაზღვრება არა ტემპერატურის დროში ცვლილების ხასიათით, არამედ ლითონში ამ დროს მიმდინარე ფაზური და სტრუქტურული ცვლილების ტიპით.

ლითონებისა და შენადნობების თერმული დამუშავება იყოფა ოთხ ძირითად ჯგუფად (სურ. 93): - საკუთრივ თერმული შეიცავს ლითონზე მხოლოდ სითბურ ზემოქმედებას;

- ქიმიურ-თერმული - თბური და ქიმიური ზემოქმედების შეხამებას;

- თერმომექანიკური - თბური და პლასტიკური დეფორმაციის შეხამებულ ზემოქმედებას;

- თერმული დამუშავების სახესხვაობები: შეიცავს ფოლადის სიცივით დამუშავებას და ელექტრო-თერმულ დამუშავებას.



სურ. 93. ლითონებისა და შენადნობების თერმული დამუშავების ძირითადი სახეების კლასიფიკაციის სქემა

პირველი ჯგუფი აერთიანებს მოლბობას, წრთობასა და მოშვებას.

მოლბობა ეწოდება წინა დამუშავებისას შენადნობში წარმოქმნილი არამდგრადი მდგომარეობიდან, გახურებით, უფრო მდგრად მდგომარეობაში გადასაყვან თერმულ დამუშავებას. მაგალითად: გამდნარი ლითონის გამყარებისას დიფუზიური პროცესები ვერ ასწრებენ დასრულებას და შენადნობის შედგენილობა ერთი მარცვლის საზღვრებშიც კი არ არის ერთგვაროვანი; ცივი პლასტიკური დეფორმაცია იწვევს ცივჭედვას -

კრისტალური გისოსის დამახინჯებას; სწრაფი გაცივება ან ძაბვების არათანაბარი მოდება იწვევს დრეკადი დეფორმაციის არათანაბარ განაწილებას.

ოთახის ტემპერატურაზე ატომების თბური ძვრადობა, მისი სიმცირის გამო, ვერ უზრუნველყოფს შენადნობის მდგრად მდგომარეობაში გადაყვანას ამიტომ ოთახის ტემპერატურაზე არამდგრადი მდგომარეობა ხანგრძლივად ნარჩუნდება. გახურებისას, თბური ძვრადობის ამაღლების შედეგად, შენადნობის მდგრად მდგომარეობაში გადასვლის პროცესები (ძაბვების მოხსნა, კრისტალური გისოსის დამახინჯებების შემცირება, დიფუზია) მნიშვნელოვნად ჩქარდება.

თუ გახურებისას შენადნობში ფაზური გარდაქმნა (ალოტროპიული გარდაქმნა, მეორე ფაზის გახსნა და ა.შ.) ხდება, მაშინ რომელიღაც კრიტიკული ტემპერატურის ზევით გახურება გამოიწვევს შენადნობის აღნაგობის ცვლილებას. შემდგომი გაცივებისას მოხდება უკუპროცესი. ძალიან ნელი სიჩქარით გაცივება უზრუნველყოფს სრულ გარდაქმნას და ფაზური შედეგნილობა წონასწორულის შესაბამისი გახდება.

მოლბობის ორი სახე არსებობს:

პირველი გვარის მოლბობა (მოლბობა ფაზური გადაკრისტალების გარეშე) - თერმული დამუშავების ოპერაცია, რომელსაც წინა დამუშავებების შედეგად ლითონში წარმოქმნილი არამდგრადი მდგომარეობა გადაჰყავს უფრო მდგრადში. აღსანიშნავია, რომ ნებისმიერ გახურებას ფაზური გარდაქმნების არმქონე შენადნობის არაწონასწორული სტრუქტურა უფრო წონასწორულ მდგომარეობაში გადაჰყავს;

მეორე გვარის მოღობა (მოღობა ფაზური გადაკრისტალებით) არის თერმული დამუშავების ოპერაცია, რომლის დროსაც კრიტიკულ ტემპერატურაზე მაღლა გახურება და შემდგომ ნელი გაცივება, ფაზურგარდაქმნიდან არაწონასწორული სტრუქტურის (განპირობებულის არა წრთობით) მქონე შენადნობებში უფრო წონასწორულ მდგომარეობას უზრუნველყოფს.

წრთობა - თერმული დამუშავება, რომელიც ფაზური გარდაქმნის ტემპერატურაზე მაღლა გახურებასა, დაყოვნებასა და ლითონებისა და შენადნობების შემდგომ ისეთი სიჩქარით გაცივებაში მდგომარეობს, რომელიც კრიტიკულ სიჩქარეს აღემატება. თუ შენადნობი გახურებისას განიცდის ფაზურ გარდაქმნას, მაშინ უკუგარდაქმნის სისრულე (გაცივებისას) დამოკიდებულია გაცივების სიჩქარეზე. წრთობისას არაწონასწორული სტრუქტურა მიიღება. თეორიულად შესაძლებელია წარმოდგენა გაცივების ისეთი პირობების, რომლის დროსაც გარდაქმნა საერთოდ არ მოხდება და ოთახის ტემპერატურაზე დაფიქსირდება შენადნობის მაღალი ტემპერატურისათვის დამახასიათებელი მდგომარეობა. ასეთი ოპერაციაც არის წრთობა. ე.ი. შენადნობის გახურებას გარდაქმნის ტემპერატურის ზევით შემდგომი სწრაფი გაცივებით წრთობა ეწოდება. წრთობა არის მოცულობითი (ნაკეთობა გამჭოლად ხურდება) და ზედაპირული (ნაკეთობა ადგილობრივად, უფრო ხშირად ზედაპირულად, ხურდება).

მაღალ ტემპერატურებზე შენადნობის მდგრადი მდგომარეობა მრავალ შემთხვევაში წრთობით არ ფიქსირდება (ან არასრულად ფიქსირდება). წრთობის ზღვრულ შემთხვევას, როდესაც ფიქსირდება მაღალი ტემპერატურებისათვის შენადნობის დამახასიათებელი მდგომარეობა, ჭეშმარიტი წრთობა ეწოდება.

ჩვეულებრივ, წრთობა აფიქსირებს არა შენადნობის მდგომარეობას მაღალ ტემპერატურაზე, არამედ მისი მდგომარეობის რომელიღაც სტადიას, რომელზეც შენადნობში წონასწორული მდგომარეობა ჯერ კიდევ არა არის მიღწეული. წრთობასა და მეორე გვარის მოღობობას შორის არსებობს მსგავსებაც და განსხვავებაც. საერთოა ის, რომ ორივე შემთხვევაში შენადნობის გახურება ხდება ფაზური გარდაქმნის ტემპერატურაზე მაღლა და საბოლოო მდგომარეობა ყალიბდება გაცივების პროცესში. მათ შორის არის პრინციპული განსხვავებაც. მეორე გვარის მოღობობისას, გაცივების მიზანი არის შენადნობის წონასწორულ მდგომარეობასთან მიახლოება, რისთვისაც გაცივების რაც შეიძლება ნელი პროცესი გამოიყენება. წრთობისას კი, შენადნობის სტრუქტურული მდგომარეობის წონასწორულთან დაშორების მიზნით ნაკეთობას სწრაფად აცივებენ.

ცდებით დადგენილია, რომ აუსტენიტის უწყვეტად გაცივებისას, მარტენსიტული გარდაქმნის კრიტიკული სიჩქარიდან (ნახშირბადიანი ფოლადებისათვის იგი ≈ 150 გრად/სეკ) გაცივების სიჩქარის ზემოდალ (10000 გრად/სეკ) სიჩქარემდე ცვლილებით, მარტენსიტული გარდაქმნის ტემპერატურის დაწვევა არ ხდება. ე.ი., აუსტენიტის მარტენსიტად გარდაქმნის ტემპერატურა არ არის დამოკიდებული გაცივების სიჩქარეზე, თუმცა ისიც ფაქტია, რომ იგი განსაზღვრული სახით მოქმედებს მარტენსიტული გარდაქმნის მიმდინარეობაზე. M_s წერტილზე ოდნავ ნაკლებ ტემპერატურაზე შენელებული გაცივებისას, გარდაქმნა ხდება უფრო სრულად (მაღალი ხარისხით), ანუ ვლინდება აუსტენიტის მარტენსიტში იზოთერმულად გარდაქმნის უნარი.

მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში ფოლადის იზოთერმული დაყოვნება იწვევს მცირე რაოდენობის მარტენსიტის წარმოქმნას. ამგვარად, ასხვაგვებენ ათერმულ (უწყვეტი გაცივებით მიღებულ) და იზოთერმულ (მუდმივ ტემპერატურაზე დროში წარმოქმნილ) მარტენსიტს. იზოთერმული მარტენსიტი ათერმული მარტენსიტისაგან განსხვავდება სახითა (მიკროაღნაგობით) და თვისებებით (რაც შეუსწავლელია). ჩვეულებრივ, ფოლადებში მარტენსიტის იზოთერმული წარმოქმნა სწრაფად ჩერდება და მის უმნიშვნელო რაოდენობას იძლევა. ამრიგად, რეალურ ფოლადებში მარტენსიტი ათერმულია.

მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში (და M_s ტემპერატურაზე $100 - 200^{\circ}\text{C}$ –ზე მაღლა) დაყოვნება იწვევს აუსტენიტის სტაბილიზაციას, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ დაყოვნების შემდეგ აუსტენიტის მარტენსიტში გარდაქმნა მყისიერად არ იწყება, არამედ აუცილებელი ხდება გარკვეული გადაცივება. ასეთ შემთხვევებში, საბოლოო გაცივებისას, ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა იზრდება, ანუ წარმოიქმნება ნაკლები მარტენსიტი.

აუსტენიტის სტაბილიზაციის მოვლენა აიხსნება ძაბვების რელაქსაციით. ძაბვები აუცილებელია მარტენსიტული გარდაქმნის რეალიზაციისათვის. გარედან მოდებული ძაბვა (გაცივება) იწვევს მარტენსიტულ გარდაქმნას. ძაბვის გამორიცხვისას, მაგალითად ფოლადის ცალკეულ მონოკრისტალურ დაქუცმაცებულ ფხვნილში, მარტენსიტული გარდაქმნა არ მოხდება.

მოშვება. ნაწრთობი ფოლადის მდგომარეობა არამდგრადია. ყოველგვარი ტემპერატურული ზემოქმედების გარეშე არის შესაძლებელი რომ შენადნობში წონასწორულთან მიახლოების პროცესები განვითარდეს. შენადნობის გახურება ზრდის რა

ატომების ძვრადობას, ხელს უწყობს ამ გარდაქმნებს და ტემპერატურის მატებისას ნაწრთობი ფოლადი სულ უფრო მეტად უახლოვდება წონასწორულ მდგომარეობას. ნაწრთობი შენადნობის უფრო მდგრადი სტრუქტურის მისაღებად გახურებას (გარდაქმნის ტემპერატურაზე დაბლა) მოშვება ეწოდება.

პირველი გვარის მოლბობისას, ისე როგორც მოშვებისას, შენადნობი უახლოვდება სტრუქტურულ წონასწორობას. ორივე შემთხვევაში საწყის სტადიას ახასიათებს არამდგრადი მდგომარეობა. პირველი გვარის მოლბობის შემთხვევაში ის გამოწვეულია წინასწარი დამუშავებით (რომელსაც არ გამოუწვევია ფაზური გარდაქმნა), ხოლო მოშვებისას - წრთობით. ამგვარად, მოშვება მეორეული ოპერაციაა, რომელიც ტარდება ყოველთვის წრთობის შემდეგ. მოშვებას, ზოგჯერ, დაძველებასაც უწოდებენ. ლიტერატურაში გვხვდება დაძველების სხვადასხვაგვარი განმარტება. ერთ შემთხვევაში დაძველებას უწოდებენ ხანგრძლივ დაბალტემპერატურულ გახურებას (აერთიანებენ პირველი გვარის მოლბობასა და მოშვებას), სხვა შემთხვევაში ნაწრთობი ფოლადის გახურებას უწოდებენ მოშვებას, ხოლო ნაწრთობი ფერადი შენადნობების გახურებას - დაძველებას. ამჟამად რეკომენდებულია მათი შემდგნაირი განსაზღვრა: **მოშვება** არის ფაზური გარდაქმნების მქონე ნაწრთობი შენადნობის გახურება; **დაძველება** - ფაზური გარდაქმნების არმქონე ნაწრთობი შენადნობის გახურება (ამ შემთხვევაში ნაწრთობი მდგომარეობა ხასიათდება მყარი ხსნარის გადაჯერებით).

მეორე ჯგუფი ანუ ქიმიურ-თერმული. იგი შეიცავს მეტალურგიისა და თერმული დამუშავების შეხამებას; ლითონის უნარი, გახსნას სხვადასხვაგვარი ელემენტი, საშუალებას იძლევა მა-

ღალ ტემპერატურებზე ნაკეთობის გარემომცველი ნივთიერებების ატომები დიფუნდირდნენ ზედაპირიდან სიღრმისაკენ და შექმნან შეცვლილი შედგენილობის ზედაპირული შრე. ასეთი დამუშავებისას იცვლება ზედაპირული შრის (ზოგჯერ ნაკეთობის გამჭოლი) არა მხოლოდ შედგენილობა, არამედ სტრუქტურაც. ამრიგად, შენადნობის შედგენილობისა და სტრუქტურის ცვლილების მიზნით შესაბამისი ქიმიური რეაგენტების არეში გახურებას ქიმიურ-თერმული დამუშავება ეწოდება. ქიმიურ-თერმული დამუშავების სახეა უკუპროცესიც - ელემენტების მოცილება შესაბამისი გარემოს შერჩევით. ქიმიურ-თერმული დამუშავება, ერთდროულად, ეკუთვნის ლითონთა ტექნოლოგიის ორ განყოფილებას. ასეთი დამუშავებისას მიზანმიმართულად იცვლება როგორც ლითონის შედგენილობა (მეტალურგია), ისე სტრუქტურაც (თერმული დამუშავება).

მესამე ჯგუფი აერთიანებს ორ ტექნოლოგიურ პროცესს - დეფორმაციასა და სტრუქტურულ გარდაქმნას (დეფორმაციულ-თერმულ დამუშავებას). ასეთ შემთხვევაში შეხამებულია მექანიკური და თერმული დამუშავების ტექნოლოგიები. დეფორმაციულ-თერმული დამუშავება არის დეფორმაცია, რომლის შემდეგ ამა თუ იმ ხარისხით შენარჩუნებულია ციკლედა + შემდგომი თერმული დამუშავება. ასეთი დამუშავებისას მნიშვნელოვანია ის თუ როდის ხდება პლასტიკური დეფორმაცია: გარდაქმნამდე თუ გარდაქმნის შემდეგ. ამ პროცესების გასარჩევად ასხვავებენ თერმო-მექანიკურ (დეფორმირებას გარდაქმნამდე) და მექანიკურ-თერმულ (დეფორმირებას გარდაქმნის შემდეგ) დამუშავებებს.

მეოთხე ჯგუფი (თერმული დამუშავების სახესხვაობები). ფოლადებში მარტენსიტული გარდაქმნები იწყება და მთავრდება განსაზღვრულ ტემპერატურაზე: ნახშირბადიან ფოლადებში ნახშირბადის 0,6%-ზე მეტი შემცველობის, ხოლო ლეგირებულ ფოლადებში ნახშირბადის კიდევ უფრო ნაკლები შემცველობისას, მარტენსიტული გარდაქმნა მთავრდება 0°C-ზე დაბლა. თუ წრთობისას გაცივება ხდება ოთახის ტემპერატურამდე, იმ ფოლადებში, რომლებშიც მარტენსიტული გარდაქმნა მთავრდება უარყოფით ტემპერატურაზე აუსტენიტის მარტენსიტში გარდაქმნა წყდება. ნაწრთობი ფოლადის სტრუქტურა შედგება მარტენსიტისა და მასში განაწილებული ნარჩენი აუსტენიტისაგან (რომელმაც წრთობისას ვერ მოასწრო მარტენსიტში გადასვლა). შესაბამისად, მხოლოდ მარტენსიტული სტრუქტურის მქონე ფოლადისაგან განსხვავებით, ნაკეთობას ექნება რამდენადმე შემცირებული სისალე და არათანაბარი სტრუქტურა.

ნაწრთობ ფოლადში ნარჩენი აუსტენიტის არსებობა არასასურველია. იგი სისალის შემცირებასთან ერთად, იწვევს ნაკეთობის ზომების არასტაბილურობას. ყოველთვის არსებობს ალბათობა ნარჩენი აუსტენიტის თანდათან, თვითნებური, იზოთერმული დაშლისა და ზომების ცვლილებისა (აუსტენიტის დაშლისას ნაკეთობის მოცულობა მატულობს)..

რაც უფრო მეტი მარტენსიტი წარმოიქმნება სიცივით დამუშავების შედეგად მით უფრო მნიშვნელოვანია ჩამოთვლილი ცვლილებები.

ნაწრთობი მაღალნახშირბადიანი და ლეგირებული ფოლადების სტრუქტურიდან ნარჩენი აუსტენიტის აცილება შესაძლებელია 300 - 350°C-მდე, ხოლო სწრაფმჭრელი ფოლადის -

600°C-მდე გახურებით. მაგრამ ამ ტემპერატურებზე ფოლადის სტრუქტურაში არსებული მარტენსიტის ტროოსტიტად დაშლა სისალეს ამცირებს. ნაწრთობ ფოლადში სისალის შეუმცირებლად ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობის შემცირება შეიძლება ფოლადის გაცივებით უარყოფით ტემპერატურებამდე, ანუ, ე.წ., სიცივით დამუშავებით (პროცესი დაწვრილებით განიხილება პარაგრაფში “სიცივით დამუშავება”).

ელექტროთერმული დამუშავება მოიცავს ლითონებისა და შენადნობების თერმული დამუშავების იმ მეთოდებს, რომელთა დროსაც ნაკეთობის გახურება ხდება ელექტრული დენით. ელექტროგახურება შესაძლოა იყოს ინდუქციური ან კონტაქტური. იგი ხასიათდება გახურების მაღალი სიჩქარითა და ნაკეთობის ცალკეული უბნების ან მხოლოდ მათი ზედაპირული შრის გახურების შესაძლებლობით.

გავრცელებულია ელექტროლიტური და მაღალი სიხშირის დენებით ზედაპირული წრთობის მეთოდები. ელექტროლიტში წრთობისას დეტალს ათავსებენ ელექტროლიტიან აბაზანაში; ამ დროს აბაზანის კორპუსი ანოდია, დეტალი კი კათოდი; ელექტროლიტში მუდმივი დენის გატარებისას გამოიყოფა წყალბადი. დეტალის ზედაპირზე დალექილი წყალბადი იწვევს ელექტროწინაღობის ამალვებას და დეტალის ინტენსიურ გახურებას. გახურების შემდეგ დენი გამოირთვება და აწრთობენ დეტალს. ამ მეთოდის უპირატესობა მდგომარეობს მის სიმარტივეში, ცალკეული ადგილების გახურებისა და ავტომატიზაციის შესაძლებლობაში. მეთოდის უარყოფითი მხარეა ტემპერატურის რეგულირების სირთულე, დაბალი მწარმოებლურობა და დეტალების კოროზიისაგან დაცვის აუცილებლობა.

მაღალი სიხშირის დენით ზედაპირული წრთობისას შესაძლებელია დეტალის ზედაპირული შრის მაღალი სისალისა და ბლანტი (რბილი) გულის მიღება. მაღალი სიხშირის დენით ნაკეთობის საწრთობად გახურება ხდება ინდუქციურად (ინდუქციურ სახურებელ დანადგარში). დეტალის ფორმის, ზომებისა და წაყენებული მოთხოვნების მიხედვით ასხვაგვებენ: წრთობის ერთდროულ, უწყვეტ-მიმდევრობით და მიმდევრობით მეთოდებს. მაღალი სიხშირის დენით წრთობის უპირატესობებია: მაღალმწარმოებლურობა და ეკონომიურობა, ნაწრთობი შრის მაღალი სისალე, გახურების მაღალი სიჩქარე, ხენჯის არარსებობა, ნაწრთობი შრის სიღრმის ზუსტად რეგულირება, პროცესის ავტომატიზაცია და შრომის პირობების გაუმჯობესება.

თერმოციკლური დამუშავება თერმული დამუშავების ერთ-ერთი სახესხვაობაა. თერმული დამუშავებისას, როგორც წესი, ფოლადის სიმტკიცის ამაღლებას თან ახლავს სიბლანტის შემცირება. თერმოციკლური დამუშავებისას ერთდროულად შეიძლება ამაღლდეს ფოლადის როგორც სიმტკიცე, ისე სიბლანტე (დამუშავების მნიშვნელოვანი თავისებურება). დამუშავება მდგომარეობს A_{c1} კრიტიკულ ტემპერატურაზე 30 - 50 °C-ით მაღლა დეტალის მრავალჯერად (4 - 6-ჯერ) სწრაფად გახურებასა და შემდგომ A_{c1} კრიტიკულ ტემპერატურაზე 30 - 50 °C-ით დაბლა ჰაერზე გაცივებაში. უკანასკნელი ციკლის დროს 30 - 50 °C-ით A_{c1} კრიტიკულ ტემპერატურაზე მაღლა გახურებული დეტალის საბოლოო გაცივება ხდება წყალში ან ზეთში.

თერმოციკლური დამუშავება, ჩვეულებრივი თერმული დამუშავების მეთოდისაგან განსხვავებით, საშუალებას იძლევა ერთი

და იმავე სიმტკიცის შემთხვევაში მიღებულ იქნეს პლასტიკურობისა და სიბლანტის 2 - 3-ჯერ გაზრდილი მაჩვენებელი.

7.3 ფოლადების გახურებისა და დაყოვნების პროცესების არსი თერმული დამუშავებისას

გახურება (ატომების თბური ძვრადობის გადიდება) იწვევს ისეთი პროცესების (მაბვების მოხსნის, კრისტალური გისოსის დამახინჯების შემცირების, რეკრისტალიზაციის, დიფუზიის) სიჩქარეების შესამჩნევ ამაღლებას, რომლებსაც ლითონი მიჰყავს მდგრად მდგომარეობამდე.

ნაკეთობის გახურება თერმული დამუშავებისას ისე უნდა წარიმართოს, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს დეტალის გამჭოლი გახურება, სტრუქტურული გარდაქმნა, ბზარების წარმოქმნისა და დაბრეცის თავიდან აცილება და ღუმლის მაქსიმალური მწარმოებლურობა. გახურების დასაშვები სიჩქარე დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე. მათ შორის უმთავრესი არის ფოლადის ქიმიური შედგენილობა, სტრუქტურის ერთგვაროვნობა, დეტალის კონსტრუქციის ფორმა და განივკვეთი. ნახშირბადის შემცველობის მატებისას ფოლადის სითბოგამტარობა მცირდება, შესაბამისად, უნდა შემცირდეს გახურების სიჩქარე, რაც ეხება ლეგირებულ ფოლადებსაც. ბზარების წარმოქმნისა და დაბრეცის ასაცილებლად ნელა უნდა გახურდეს არაერთგვაროვანი სტრუქტურის, მკვეთრი გადასვლებისა და დიდი კვეთის მქონე დეტალები.

გახურების ტემპერატურის შერჩევა დამოკიდებულია თერმული დამუშავების სახეზე. ღუმლებში საწვავისა და წვის

პროდუქტების შეხება ფოლადის ნაკეთობის ზედაპირთან იწვევს მის ინტენსიურ ჟანგვასა და გაუნახშირბადობას. ამ პროცესების არიდება შესაძლებელია ლუმელში დამცავი აირის ან კონტროლირებული ატმოსფეროს გამოყენებით. პრაქტიკაში, ზოგჯერ, კონტროლირებული ატმოსფეროს შექმნის ნაცვლად, ახურებენ ნამუშევარ კარბიურიზატორებში ჩაფლულ ნაკეთობებს (კარბიურიზატორიან) ყუთებთან ერთად ან ნაკეთობის ზედაპირის სპეციალური საგოზავით დაფარავენ.

ლუმელში, გათვალისწინებული ტემპერატურის მიღწევის შემდეგ, ამ ტემპერატურაზე დაყოვნების ხანგრძლივობამ უნდა უზრუნველყოს დეტალის გამჭოლი გახურება, სტრუქტურული და ფაზური გარდაქმნის დასრულება და ძაბვების მოხსნა. დაყოვნების დრო ისაზღვრება აუცილებელი მინიმალური ხანგრძლივობით. ზედმეტი დროით დაყოვნებისას იწყება მარცვლის ინტენსიური ზრდა, გაუნახშირბადობა და ნაკეთობის ზედაპირზე ჟანგულების ხენჯის წარმოქმნა. ტემპერატურის მატებასთან ერთად, მნიშვნელოვნად იზრდება აღნიშნული პროცესების ინტენსიურობა. შესაბამისად, რაც უფრო მაღალი იქნება გახურების ტემპერატურა, მით უფრო ხანმოკლე უნდა იყოს დაყოვნება.

ამა თუ იმ სახის თერმული დამუშავებისას ფოლადში წარმოიქმნება მისთვის (დამუშავებისათვის) დამახასიათებელი დეფექტები. დეფექტების დეტალურ აღწერამდე სასურველია სხვადასხვა სახის თერმული დამუშავების პროცესში მიმდინარე ფაზური გარდაქმნებისა და სტრუქტურული ცვლილებების მოკლედ განხილვა. ასეთი მიდგომა მნიშვნელოვნად გაამარტივებს დეფექტის წარმოშობის მიზეზის ახსნასა და მათი თავიდან აცილების საშუალებებში გარკვევას.

განვიხილოთ გახურებისას ფოლადებში მიმდინარე ცვლილებები ყველაზე დაბალი კრიტიკული წერტილის მქონე ევტექტოიდური ფოლადის მაგალითზე. ნორმალურ ტემპერატურაზე ევტექტოიდური ფოლადის სტრუქტურა არის პერლიტი. 727°C ტემპერატურაზე გახურებისას პერლიტი გარდაიქმნება აუსტენიტად (გახურების ერთ-ერთი ძირითადი მიზანი არის ფოლადების თერმული დამუშავებისას პირველსაწყისი სტრუქტურის წვრილმარცვლოვან აუსტენიტში გადაყვანა).

ქვეევტექტოიდურ ფოლადებში, რომელთა სტრუქტურა შედგება ფერიტი+პერლიტისაგან, 727°C-ზე პერლიტი გარდაიქმნება აუსტენიტად, ფერიტი კი უცვლელი რჩება. ტემპერატურის შემდგომი მატებისას, PS და GS ხაზებს შორის ტემპერატურულ ინტერვალში, ფერიტი იხსნება აუსტენიტში. Ac_3 კრიტიკული წერტილის ზევით კი სტრუქტურა აუსტენიტურია.

პერლიტი + მეორეული ცემენტიტი სტრუქტურის მქონე ზეევტექტოიდურ ფოლადებში Ac_1 წერტილში (ხაზი SK) პერლიტი გარდაიქმნება აუსტენიტად, მეორეული ცემენტიტი კი უცვლელი რჩება. SK ხაზზე, უფრო მაღალ ტემპერატურებზე ხდება მეორეული ცემენტიტის გახსნა აუსტენიტში. გარდაქმნა სრულდება SE ხაზზე მდებარე წერტილების შესაბამის ტემპერატურებზე. SE ხაზის შესაბამისი ტემპერატურების ზევით სტრუქტურა არის ერთგვაროვანი აუსტენიტი.

ფაზური გადაკრისტალებისას წარმოქმნილი აუსტენიტი წვრილმარცვლოვანია. ტემპერატურის შემდგომი ამაღლებისას, აგრეთვე ხანგრძლივი დაყოვნებისას, იწყება აუსტენიტის მარცვლის ზრდა, რაც, პრაქტიკული თვალსაზრისით, არასასურ-

ველია. ამიტომ, თერმული დამუშავებისას გახურება უნდა მოხდეს კრიტიკულ (Ac_1, Ac_3, Ac_m) წერტილებზე $30-50^{\circ}\text{C}$ -ით უფრო მაღლა და ამ ტემპერატურებზე მათი დაყოვნების ხანგრძლივობა გაგრძელდეს ფოლადში გარდაქმნის დასრულებამდე.

გახურებისას აუსტენიტის მარცვლის ზრდის მიხედვით ფოლადები იყოფა წვრილ- და მსხვილმარცვლოვნებად. $950^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურულ ინტერვალში წვრილმარცვლოვანი ფოლადების აუსტენიტის მარცვლის ზომა თითქმის უცვლელია. მსხვილმარცვლოვანი ფოლადების აუსტენიტის მარცვალი ზრდას იწყებს კრიტიკულ ტემპერატურაზე გადასვლისთანავე. აქედან გამომდინარეობს თერმული დამუშავების რეჟიმების მკაცრად დაცვის აუცილებლობა.

7.4 ლითონის თერმული დამუშავების მეთოდების შერჩევა

სასურველი თვისებების მქონე ნაკეთობის მისაღებად, თერმული დამუშავების ოპერაციები შეირჩევა კონსტრუქტორის მოთხოვნების გათვალისწინებით. პროექტის მოთხოვნებიდან გამომდინარე, შერჩეული უნდა იქნეს, აგრეთვე, თერმული დამუშავების ადგილი ნაკეთობის დამზადების საერთო ციკლში. მაგალითად, როცა ნაკეთობას მოეთხოვება მაღალი სისალე, მაშინ თერმული დამუშავება უნდა ჩატარდეს მექანიკური დამუშავების შემდეგ, წინააღმდეგ შემთხვევაში ($HB < 300$) - მექანიკურ დამუშავებამდე. უკანასკნელ შემთხვევაში, მექანიკური დამუშავებით სრულად იქნება აცილებული თერმული დამუშავების დროს წარმოქმნილი დეფექტები (ზედაპირის ჟანგვა და გაუნახშირბადოება, დეფორმაცია და სხვ.). ამავე

დროს მიიღება სასურველი სისუფთავის ზედაპირი და დაცული იქნება ნაკეთობის ზუსტი ზომები.

სასურველი თვისებების მისაღებად უნდა შეირჩეს თერმული დამუშავების თანამედროვე, პროგრესული, მაღალმწარმოებლური მეთოდები, მაგ., ზედაპირული წრთობა და დანახშირბადიანება (მაღალი სიხშირის დენის გამოყენებით), იზოთერმული დამუშავება, ნათელი წრთობა, მოლბობა და წრთობა (ჭედვის ტემპერატურის გამოყენებით), აირული დანახშირბადიანება და დააზოტნახშირბადიანება (უშუალო წრთობით) და სხვა.

თერმული დამუშავების ოპერაციების გარდა, გათვალისწინებული უნდა იქნეს დამხმარე ოპერაციებიც - მოშვების წინ ნაკეთობის ხენჯისა და ზეთისგან გაწმენდა, გასწორება და საკონტროლო ოპერაციები - სისალის გაზომვა, ზედაპირული დამუშავების შემდეგ დამუშავებული შრის სიღრმის განსაზღვრა და სხვ. უნდა დადგინდეს თერმული დამუშავების რომელი ოპერაციის შემდეგ გაიწმინდოს ნაკეთობა, გაიზომოს სისალე, მოხდეს გასწორება და ა.შ.. სრული ტექნოლოგიური ციკლის განმავლობაში, ნაკეთობის საბოლოო კონტროლამდე, ეს ოპერაციები შესაძლებელია ორჯერ ან მეტჯერ განმეორდეს. აუცილებელია განხილულ იქნეს თერმული დამუშავების ყველა მეთოდი და მათგან შეირჩეს ის, რომელიც უზრუნველყოფს ნაკეთობის მაღალ ხარისხს და ეკონომიკურად მომგებიანი იქნება.

მოთხოვნილი თვისებების მქონე ნაკეთობის მისაღებად, აუცილებელია, ყველა ოპერაციისათვის შემუშავდეს თერმული დამუშავების კონკრეტული რეჟიმი. სასურველი სტრუქტურის

მისაღებად, განისაზღვროს გახურების ზუსტი ტემპერატურა, გახურების სიჩქარე, რომელიც ნაკეთობაში არ გამოიწვევს დეფექტების წარმოქმნას, დაყოვნების დრო, რომელიც უზრუნველყოფს ნაკეთობის გამჭოლ გახურებასა და შინაგანი გარდაქმნის დასრულებას, გაცივების სიჩქარე (მაცივებელი გარემოს შერჩევა), რაც არის ძირითადი ფაქტორი საჭირო სტრუქტურისა და თვისებების მიღებისა.

თერმული დამუშავების შედეგებზე მოქმედი ყველა ფაქტორი უნდა შეირჩეს პრაქტიკული ნორმებიდან და უნდა დადგინდეს მასალიდან გამომდინარე. თერმული დამუშავების სახისა და პარამეტრების შერჩევას, გათვალისწინებული უნდა იქნეს მასალის ქიმიური შედგენილობა, გამოსავალი სტრუქტურა, ფაზური გადაკრისტალება, თერმული დამუშავების შემდეგ სასურველი სტრუქტურა, მასალის სითბოგამტარობა, შეწობადობა, შინაგანი ძაბვებისა და ბზარების მოსალოდნელი განლაგების ადგილები, ნაკეთობის ფორმა, დამუშავების შემდეგ მისაღები ზედაპირის ხარისხი, პირველსაწყისი ზომების შენარჩუნების შესაძლებლობა, დასამუშავებელი შრის სიღრმე ზედაპირული დამუშავების რეჟიმებისას.

7.5 თერმული დამუშავების ძირითადი დეფექტების ზოგადი მიმოხილვა

თერმული დამუშავებისას დეფექტების წარმოქმნის დამახასიათებელი და განმსაზღვრელი მიზეზი გახურება–დაყოვნება–გაცივების რეჟიმებია. მათი დარღვევისას შეუძლებელია მოთხოვნილი სტრუქტურისა და თვისებების ნაკეთობის მიღება.

თერმული დამუშავების დეფექტებია: უკმარგახურება, გადახურება, გადაწვა, გაუნახშირბადოება, ზედმეტად დანახშირბადიანება, რბილი ლაქები ნაწრთობ ზედაპირზე, დაბრეცა, სტრუქტურის გადახრა მოთხოვნილიდან, მაკრო- და მიკროზარები და ა.შ. დეფექტის ზოგიერთი სახე გამოსწორებადია (შექცევადია), ხოლო ზოგი - გამოუსწორებადი (შეუქცევი).

განვიხილოთ ცალკეული დეფექტის წარმოქმნის მიზეზები.

უკმარ(გა)ხურება არის ნაკეთობის გახურება დადგენილ ტემპერატურაზე ქვევით. ასეთი ტემპერატურებიდან წრთობისას ნაკეთობა ვერ იღებს საჭირო სისალეს. პრაქტიკაში ეს ის შემთხვევებია, როცა ქვევტექტოიდური ფოლადების წრთობის ტემპერატურა Ac_3 კრიტიკულ ტემპერატურაზე ნაკლებია, ხოლო ზევტექტოიდური ფოლადებისათვის Ac_1 -ზე ნაკლები. უკმარგახურების უარყოფითი შედეგების გამოსწორება ხდება დეტალის მოლბობით და შემდეგ მისი სწორი წრთობით.

გადახურება შედეგია Ac_3 ტემპერატურაზე მნიშვნელოვანი გადაჭარბებით გახურებისა და ხანგრძლივი დროით დაყოვნებისა. იგი ნაკეთობის გახურება-დაყოვნების რეჟიმის დარღვევით გამოწვეული გამოსწორებადი დეფექტია. გადახურებისას მსხვილმაცვლოვანი და ვიდმანშტეტური სრუქტურა მიიღება. მარცვლების საზღვრებზე გამოიყოფა ოქსიდური და სულფიდური ნაერთები (ფოლადებში), შესაბამისად, უარესდება მექანიკური თვისებები და მყიდდება მასალა. შემცირებული პლასტიკური თვისებების მქონე ლითონის დეფორმირება ან წრთობა იწვევს ბზარების წარმოქმნას. დეფექტის გამოსწორება შესაძლებელია განმეორებითი წრთობით, რომლის წინ, მარცვლის დასაწვრილმანებლად, ნაკეთობას უნდა ჩაუტარდეს მოლბობა.

გადაწვა ვლინდება ლითონის მაღალ ტემპერატურაზე (დნობის ტემპერატურის სიახლოვეს) ხანგრძლივი დაყოვნების შემდეგ და იგი თერმული დამუშავების გამოუსწორებადი დეფექტია. გადაწვის ფიზიკური არსი შემდეგშია: ჟანგბადი ლუმლის ატმოსფეროდან შეაღწევს ლითონის სიღრმეში და ინტენსიურად ჟანგავს მარცვლის საზღვრებს (ზოგჯერ ხდება მათი ნაწილობრივ შემოდნობაც). საზღვრების დაჟანგვა იწვევს მარცვლებს შორის მექანიკური კავშირის შესუსტებას, ლითონი კარგავს პლასტიკურობას და მყიდდება.

გაუნახშირბადოება (ნახშირბადის ამოწვა) არის ფოლადის ზედაპირის ნახშირბადით გაღარიბება მჟანგავ ატმოსფეროში მაღალ ტემპერატურაზე ხანგრძლივი გახურებისას. გაუნახშირბადოების პროცესში ფოლადის ზედაპირული შრეების შედგენილობაში შემავალი ნახშირბადი ამოიწვება. ნახშირბადის კონცენტრაციის შემცირება, იმავე შრეებში, იწვევს ფერიტის მარცვლების წარმოქმნას და, შესაბამისად, გასახურებელი დეტალის ზედაპირის მექანიკური თვისებების ცვლილებას. მცირდება ზედაპირული შრის სიმტკიცის მახასიათებლები და ძნელდება მექანიკური დამუშავება. ჟანგვისა და გაუნახშირბადოების პროცესების ინტენსიურობა დამოკიდებულია გახურების ტემპერატურასა, დროსა და ქიმიურ შედგენილობაზე. რაც უფრო მაღალია გახურების ტემპერატურა, მით უფრო სწრაფად მიმდინარეობს აღნიშნული პროცესი. ამ ტემპერატურაზე ნაკეთობის ყოფნის ხანგრძლივობისა და შენადნობში ნახშირბადის შემცველობის მატება იწვევს გაუნახშირბადოების სიღრმის ზრდას. გაუნახშირბადოების თავიდან ასაცილებლად დეტალებს ახურებენ აღმდგენ ან ნეიტრალურ არეში.

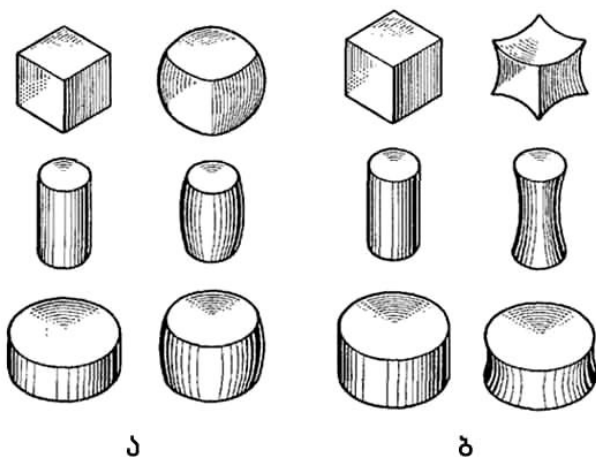
რბილი ლაქები არის ნაწრობი დეტალის (ინსტრუმენტის) ზედაპირის ადგილობრივი დეფექტი, რომელიც შემცირებული სისალის მქონე მცირე უბნებით ხასიათდება. წრობის პროცესში ასეთი დეფექტების წარმოქმნის მიზეზია: დეტალის ზედაპირზე ხენჯის ან დაბინძურების არსებობა, ზედაპირის გარკვეული უბნების გაუნახშირბადოება, დეტალის არასაკმარისი სიჩქარით გადაადგილება საწრობ სითხეში და ორთქლის პერანგის წარმოქმნა დეტალის ზედაპირზე.

დაბალი სისალე, უპირატესად, შეინიშნება იარაღის წრობისას და არის გამოსწორებადი დეფექტი. დაბალი სისალის მიზეზია: არასაკმარისი სიჩქარით წრობა, წრობის დაბალი ტემპერატურა, წრობის წინ არასაკმარისი დაყოვნება. დეფექტის აღმოსაფხვრელად დეტალს უნდა ჩაუტარდეს მაღალი მოშვება და სწორი წრობა განმეორებით.

დეტალების დეფორმაცია (დაბრეცა) გამოწვეულია ლითონში წარმოქმნილი შინაგანი ძაბვებით. მათი მოქმედების ეფექტი ვლინდება დეტალების გამრუდებაში (სურ. 94).

მოცულობის სიდიდის მიხედვით (რომელშიც შინაგანი ძაბვების გაწონასწორება ხდება), შინაგანი ძაბვები ორი სახისაა მაკრო- და მიკროძაბვები, ხოლო წარმოშობის მიხედვით არის შინაგანი ძაბვები;

– ჩაჯდომის (ჩამოსხმის) ძაბვები - მასალის მოცულობის შემცირების შედეგი სხმულებში, თხევადიდან მყარ მდგომარეობაში გადასვლისას (გამყარებისას);



სურ. 94. ძაბვების გავლენით მარტივი ფორმის სხეულების დეფორმაცია გახურებისას და გაცივებისას: ა - თბური; ბ - სტრუქტურული

– (სი)თბური (თერმული) ძაბვები - ტემპერატურის არაერთდროული ცვლილების შედეგი გახურებისას ან გაცივებისას ნაკეთობის განიკვვეთში;

– სტრუქტურული ძაბვები - კუთრი მოცულობის ცვლილების შედეგი გახურებისას ან გაცივებისას, დეტალის მოცულობაში, არაერთდროული ფაზური გარდაქმნებით გამოწვეული;

– დეფორმაციული ძაბვები - ციკქედვის შედეგი ნაკეთობის ჭრით, წნევით ან ხეხვით დამუშავებისას წარმოქმნილი. მისი სიდიდე და ნაკეთობაში განაწილება განისაზღვრება დეფორმაციის ხარისხით, ნაკეთობის ტექნიკური სიხისტით, მაკრო- და მიკროსტრუქტურის არაერთგვაროვნებით.

დეფორმაციისას ნაკეთობებში ძაბვებით გამოწვეული მოსალოდნელი დეფექტებია: მოცულობის ცვლილება; სიმრუდე,

ტალღოვნება, ხრახნისებრიობა, პროპელურობა, ნახვრეტების
ოვალურობა, კუთხვილის ბიჯის ცვლილება, ბრტყელი კედლე-
ბის ამოზურცვა, დიაფრაგმები; მაკრო- და მიკროზარები და
სხვ. შესაძლებელია არერთგვაროვანი დეფორმაცია (ანიზო-
ტროპია), ზოლოვანი განლაგებით.

დეფორმაციაზე და დაბრეცაზე, პირველ რიგში, გავლენას
ახდენს ნაკეთობის ფორმა და ზომები. გეომეტრიაზე დამო-
კიდებულებით ნაკეთობები იყოფა ღეროსებრ, ბრტყელ და
მოცულობით ნაკეთობებად. ნარჩენი ძაბვების მოქმედებისადმი
მდგრადობის მიხედვით განიხილება: მასიური ($l : d \leq 5$),
ამაღლებული სიხისტის ($l : d = 10$), საშუალო სიხისტის ($l : d = 10$
– 15), დაბალი სიხისტის ($l : d = 25 - 40$) და ერთობ დაბალი
სიხისტის ($l : d > 40$ -ზე) კატეგორიის დეტალები. რომელშიც l
არის ნაკეთობის უდიდესი ზომა; d - უმცირესი ზომა.

პრაქტიკულად, ღუნვისას, ტექნოლოგიური სიხისტის რაოდენ-
ობრივი შეფასებისათვის იყენებენ A სიდიდეს, რომელიც
გამოითვლება: ღეროსებრი ნაკეთობისათვის - $A = 4/13 d$;
ბრტყელი ნაკეთობისათვის - $A = 4/14 d$.

თერმული დამუშავებისას, არათანაბარი გაცივებისა და ფა-
ზური გარდაქმნებით გამოწვეული თერმული და სტრუქტურ-
ული ძაბვების არაერთგვაროვანი მოცულობითი ცვლილები
იწვევენ ნაკეთობის დეფორმაციას, ანუ მისი ზომებისა და
ფორმის ცვლილებას. ლითონის გახურებისა და გაცივების
პროცესში ისინი განაპირობებენ შინაგანი ძაბვების წარმოქმნას.
ფოლადის წრთობის დროს დეტალების არათანაბარი გახურე-
ბისა და გაცივებისას დეფორმაცია მოსალოდნელია მოცულო-
ბის უმნიშვნელო ცვლილების დროსაც. მაგალითად, თუ მცირე

კვეთის გრძელ დეტალს ერთი მხრიდან გავახურებთ (ან გავაცივებთ), ის მოიღუნება. ამ დროს გახურებული მხარე გრძელდება და ამოიბურცება, საპირისპირო მხარე კი ჩაიზნიქება. ნაკეთობის არასიმეტრიულ დეფორმაციას პრაქტიკაში ხშირად, დაბრეცას (გამრუდებას) უწოდებენ. დაბრეცის მიზეზია: წრთობისათვის ნაკეთობის არათანაბარი და მეტისმეტად მაღალ ტემპერატურამდე გახურება, საწრთობ არეში ნაკეთობის არასწორი ჩაძირვა და მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში გაცივების მაღალი სიჩქარე. დაბრეცის არარსებობის შემთხვევაშიც კი, წრთობის შემდეგ, ნაკეთობის ზომები მის საწყის ზომებს არ ემთხვევა. ამ ცვლილებით გამოწვეული დეფორმაციის შემცირება შეიძლება შესაბამისი ქიმიური შედგენილობის ფოლადის და თერმული დამუშავების პირობების (საფეხუროვანი ან იზოთერმული წრთობის) შერჩევით. ნამზადის მცირე გამრუდების გამოსწორება შესაძლებელია ხეხვით. ხოლო ბზარები და დაბრეცა შეიძლება ავირიდოთ დეტალების წინასწარი მოღობობით, მათი თანაბარი და თანდათანობითი გახურებით, აგრეთვე, საფეხუროვანი და იზოთერმული წრთობით. წრთობისას დეფექტების ასაცილებლად თანაბრად უნდა მოხდეს დეტალების როგორც გახურება, ისე გაცივება.

ამრიგად, თერმული დამუშავებისას დაბრეცისა და დეფორმაციის ასაცილებლად გამოიყენება საფეხუროვანი გახურება, გახურების შეზღუდული სიჩქარე, ერთგვაროვანი სტრუქტურის მიღება, გაცივება წრთობის ოპტიმალური ტემპერატურიდან, შეცივება, იზოთერმული ან საფეხუროვანი წრთობა, ძაბვების მოსახსნელი მოღობობა. მექანიკურად გაჩარხული

დეტალების თერმული დამუშავებისას დეფორმაციის შემცირება შესაძლებელია მნიშვნელოვანი ნამეტის გათვალისწინებით საბოლოო მექანიკურ დამუშავებაზე.

ბზარები თერმული დამუშავების ყველაზე საშიში დეფექტებია. ასხვავებენ ღრმა, შინაგან, ზედაპირულ და აშრეების ბზარებს. ბზარები არის სხვადასხვა სახის: თერმული, წყალბადური, ხეხვის, მონტაჟის და სხვა:

– თერმული ბზარები (მიკრო- და მაკრობზარები) წარმოიქმნება წრთობისას, ნაკეთობის მკვეთრი გახურების ან გაცივების შედეგად (სურ. 95).



სურ. 95. წრთობის ბზარები (გამოვლენილი მაგნიტურფხვნილოვანი მეთოდით)

ბზარების წარმომქმნელი ძაბვების წყაროა: ნაკეთობის სხვადასხვა კვეთში ტემპერატურის სხვაობა, აგრეთვე, დეტალის კვეთში სხვადასხვა დროს მიმდინარე სტრუქტურული გარდაქმნებით გამოწვეული სხვადასხვა ზომისა და ორიენტაციის ძაბვების ერთმანეთზე ზედდება. ბზარები ჩაისახება და ვრცელდება, როდესაც, შინაგანი გამჭიმავი I გვარის ძაბვების

სიდიდე აჭარბებს მასალის მოწყვეტაზე გამძლეობას. ბზარები, ჩვეულებრივ, ფოლადის M_s წერტილზე ქვევით გაცივებისას წარმოიქმნება და ვრცელდება განივი მიმართულებით, ნაკეთობის ზედაპირიდან - სიღრმისაკენ. ნახშირბადის შემცველობის ამალღება, გაცივების სიჩქარის მატება წრთობის ტემპერატურისა და მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში, ზრდის ფოლადის მიდრეკილებას ბზარების წარმოქმნისადმი.

ბზარების წარმოქმნის გეომეტრიული მიზეზია ნაკეთობაში ძაბვების კონცენტრატორების (განივკვეთების მკვეთრი ცვლილებების, ადგილობრივი ამონაჭრების, ჩაღრმავებების, შვერილებისა და ა.შ.) არსებობა.

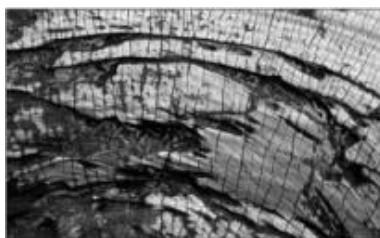
ბზარები გამოუსწორებელი დეფექტია. მათ ასაცილებლად ნაკეთობის კონსტრუირებისას აუცილებელია არიდებული იქნეს შვერილები, მახვილი კუთხეები, სქელი კვეთებიდან თხელზე მკვეთრი გადასვლები და ა.შ.. მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში, ნელი გაცივების მიზნით, უნდა შეირჩეს ორ არეში, საფეხუროვანი ან იზოთერმული წრთობა. წრთობის შემდეგ აუცილებელია, დაუყოვნებლივ, მოშვების ჩატარება;

– წყალბადური ბზარების წარმოქმნის მიზეზია ტუტეებით, მჟავებითა და სპეციალური ხსნარებით ელექტროქიმიური დამუშავების გამო ნაკეთობის ზედაპირული შრის წყალბდით გაჯერება. ამ დროს მკვეთრად ეცემა პლასტიკურობა და იზრდება სიმყიფე. რღვევის კერები დეტალის ზედაპირზე არის მიკრობზარები (სურ. 96).

–ხეხვის ბზარები. მაღალი სისალისა და დაბალი თბომედეგობის მქონე ფოლადებში ხეხვა იწვევს ნაკეთობის ზედაპირული შრის მკვეთრ გახურებას და ობობას ქსელისებრი (მიკრობზარების ბადის) წარმოქმნას (სურ. 97).



სურ. 96. წყალბადური ბზარები (გამოვლენილი მაგნიტურფხვნილოვანი მეთოდით)



სურ. 97. ტემპერატურული დადლილობით გამოწვეული თერმული დასკდომა

ზედმეტად დანახშირბადიანების მიზეზი, ცემენტაციისას, არის ფოლადის ნაკეთობის გახურება ჭარბი ნახშირჟანგის ატმოსფეროში. ასეთ შემთხვევაში ხდება ნაკეთობის ზედაპირის გაჯერება ნახშირბადით, მატულობს სიმყიფე და იზრდება

ბზარწარმოქმნისადმი მიდრეკილება. მისი აცილება შეიძლება დიფუზიური მოლბობით და მარცვლის დასაწვრილმანებლად, შემდეგი ნორმალიზაციით.

7.6 ფოლადის მოლბობისა და ნორმალიზაციის არსი

წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის მიღების, ქიმიური და სტრუქტურული არაერთგვაროვნობის აცილების, შინაგანი ძაბვებისა და სისალის შემცირების (მექანიკური დამუშავების გასაადვილებლად) მიზნით, ლითონურ ნამზადებს უტარდება მოლბობა ან ნორმალიზაცია. ეს პროცესები, ჩვეულებრივ, თერმული დამუშავების საწყისი ოპერაციებია. ისინი მნიშვნელოვნად ამცირებენ წინა დამუშავების (ჩამოსხმის, წნევიტ დამუშავების და ა.შ.) დეფექტებს და ამზადებენ სტრუქტურას შემდგომი ტექნოლოგიური ოპერაციებისათვის (ჭრით დამუშავება, წრთობა). თუ, ექსპლუატაციის თვალსაზრისით, ნაკეთობა მოლბობის ან ნორმალიზაციის შემდეგ დამაკმაყოფილებელ თვისებებს იძენს და არ საჭიროებს წრთობითა და მოშვებით მათ გაუმჯობესებას, მაშინ ისინი მისი საბოლოო თერმული დამუშავებაა.

7.6 1 მოლბობა

თერმული დამუშავებისას განსაკუთრებული სიმტკიცისა და ცვეთამედევობის მიღწევასთან ერთად, ზოგჯერ, საჭირო ხდება ლითონის გარბილება. მოლბობას, ჩვეულებრივ, ფოლადის

ნამზადებსა და მზა ნაკეთობებს უტარებენ მექანიკური დამუშავების წინ. მაგალითად, როცა ფოლადის მზა ნაწარმი ითხოვს შემდგომ შემოჩარხვას, ბურღვას, წნეხას და ა.შ.

განსაზღვრულ ტემპერატურამდე (Ac_3 -ზე ან Ac_1 -ზე მაღლა) ფოლადის გახურებას, მიღწეულ ტემპერატურაზე დაყოვნებას და შემდგომ ნელი სიჩქარით გაცივებას ეწოდება მოლბობა. მოლბობისას გაცივების სიჩქარე ისე უნდა შეირჩეს, რომ მცირე გადაცივებისას აუსტენიტმა მოასწროს გარდაქმნა. გაცივების სიჩქარე არ უნდა აღემატებოდეს $50 - 100^{\circ}\text{C}/\text{სთ}$, რაც მიიღწევა ღუმელთან ერთად ფოლადის გაცივებისას (პრაქტიკულად გახურებისა და დაყოვნების შემდეგ ფოლადს ღუმელთან ერთად აცივებენ ან თანდათან ამცირებენ ღუმლის ტემპერატურას). ასეთი ნელი გაცივების შემდეგ წარმოიქმნება თანაბარი სტრუქტურები. ქვეეპიტეკტიოდურ ფოლადებში ეს არის ფერტი + პერლიტი, ეპიტეკტიოდურში - პერლიტი, ხოლო ზეეპიტეკტიოდურში - პერლიტი + ცემენტიტი.

მოლბობის პროცესში ხდება ლითონის დასვენება (მოზრუნების პროცესი), ჰომოგენიზაცია და რეკრისტალიზაცია. მოლბობის მიზანი:

- სისალის შემცირება;
- სტრუქტურის გაუმჯობესება (უფრო წონასწორული სტრუქტურის მიღება);
- ერთგვაროვანი სტრუქტურის მიღება;
- შინაგანი ძაბვების მოხსნა.

Ac_3 -ზე მაღლა გახურება უზრუნველყოფს ფოლადის სრულ გადაკრისტალებას. მოლბობის პროცესის თავისებურება ნელი გაცივებაა. ამ დროს აუსტენიტი იშლება და წარმოიქმნება

პერლიტური სტრუქტურები. მოლბობის პროცესში ფოლადის ნაკეთობებს 500 - 400°C-მდე ნელა, ღუმელთან ერთად, აცივებენ. შემდეგ, სათავსის ტემპერატურამდე გაცივება ხდება ჰაერზე. მოლბობის შემდეგ ფოლადი ხასიათდება შემცირებული სისალლით, ზომიერი სიმტკიცითა და მაღალი პლასტიკური თვისებებით.

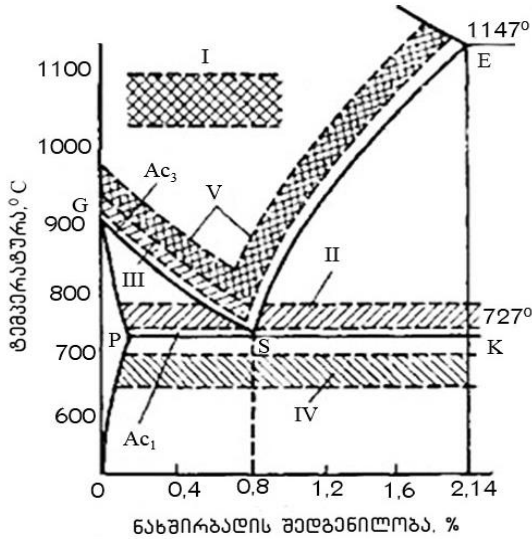
მოლბობა არის ორგვარი:

–პირველი გვარის მოლბობის პროცესში ფაზური გადაკრისტალემა არ ხდება. ასეთი მოლბობა გამოიყენება ლითონის სტრუქტურის წონასწორულ მდგომარეობაში მოსაყვანად, როდესაც მცირდება სისალე, იხსნება ციკქედვის ნეგატიური ნიშნები და ლითონის შინაგანი ძაბვები, მატულობს პლასტიკურობა და სიბლანტე;

–მეორე გვარის მოლბობის პროცესში ლითონები და შენადნობები გახურებისა და გაცივებისას განიცდიან ფაზურ გადაკრისტალეზას. ე.ი. მოლბობა უტარდება ისეთ შენადნობებს, რომლებიც ხასიათდებიან პოლიმორფული ან ევტექტოიდური გარდაქმნებით, აგრეთვე კომპონენტების ცვლადი ხსნადობით მყარ მდგომარეობაში. მოლბობის მიზანია უფრო წონასწორული სტრუქტურის მიღება და მომზადება შემდეგი დამუშავებისათვის. მოლბობის შედეგად მარცვალი წვრილმანდება, მცირდება სიმტკიცე და სისალე, მატულობს პლასტიკურობა და სიბლანტე, უმჯობესდება ჭრით დამუშავებადობა.

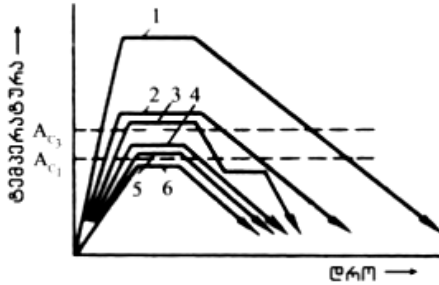
მეორე გვარის მოლბობის პროცესში ფოლადებს ახურებენ ზედა კრიტიკულ წერტილებზე ზევით, აყოვნებენ და ნელა, როგორც წესი, ღუმელთან ერთად აცივებენ.

ფოლადის ნაკეთობების მოთხოვნილი თვისებებიდან გამომდინარე, შეირჩევა მოლბობის საჭირო სახე და მისი შესაბამისი რეჟიმი. მოლბობის ძირითადი სახეებია: საჰომოგენიზაციო (დიფუზიური), სრული, იზოთერმული, არასრული, მასფეროიდიზებელი (ზევტექტოიდური ფოლადების მოლბობა მარცვლოვან პერლიტზე) და სარეკრისტალიზაციო (დაბალტემპერატურული მოლბობა) სურ. 98 და სურ. 99. განვიხილოთ მოლბობის ძირითადი სახეები:



სურ. 98. მოლბობის ძირითადი სახეები და მათი შესაბამისი ტემპერატურული არეები:

- I - ჰომოგენიზაცია;
- II - არასრული მოლბობა;
- III - სრული მოლბობა;
- IV - დაბალტემპერატურული მოლბობა;
- V - ნორმალიზაცია



სურ. 99. მოლზობის რეჟიმები: 1. დიფუზიური; 2. სრული; 3. იზოთერმული; 4. არასრული; 5. მარცვლოვან პერლიტზე (მასფეროდიზებული); 6. სარეკრისტალიზაციო

საჰომოგენიზაცია (დიფუზიური) **მოლზობა**. ფოლადის გახურებას Ac_3 კრიტიკულ ტემპერატურაზე $150 - 300^{\circ}C$ -ით უფრო მაღლა, მის ხანგრძლივად (10 - 12სთ) დაყოვნებას და შემდეგ ნელ გაცივებას ეწოდება დიფუზიური მოლზობა, ანუ ჰომოგენიზაცია (სურ. 98., სურ. 99. მრუდი 1). იგი გამოიყენება ფოლადის ზოდების და ფასონური სხმულების ქიმიური არაეთგვაროვნობის შესამცირებლად. მისი მიზანია დენდრიტული და მარცვალთშორისი ლიკვაციის აცილება, ანუ ლითონის მოცულობაში არათანაბრად განაწილებული ელემენტების გათანაბრება და ერთგვაროვანი მექანიკური მახასიათებლების მიღება. ლეგირებული ფოლადების ზოდები (მსხვილი სხმულები) არაერთგვაროვანი აგებულებისაა. არაერთგვაროვნობა გამოწვეულია კარბიდული და დენდრიტული ლიკვაციებით. კარბიდების წარმოქმნის ადგილებზე ან დენდრიტების შუა ნაწილში ხდება მალეგირებელი ელემენტების თავმოყრა. მაღალ ტემპერატურაზე, ატომების დიფუზიური ძვრადობისმატებისას, ისინი გადაადგილდებიან მაღალი კონცენტრაციის ადგილებიდან

დაბალი კონცენტრაციის ადგილებისაკენ. პროცესი უზრუნველყოფს ქიმიური შედგენილობის გათანაბრებას მიკრომოცულობებში და საბოლოოდ - ზოდის ან სხმულის მთლიან მოცულობაში. მაღალ ტემპერატურაზე გაზრდილი მარცვლის დაწვრილმანებისათვის საჭიროა სრული მოლბობა ან ნორმალიზაცია.

საჰომოგენიზაციო მოლბობა ნაკლებადაა დაკავშირებული მოლბობილი ფოლადის შემდგომ მექანიკურ დამუშავებასთან. მისი მიზანია ჩამოსხმით მიღებული დეტალების უფრო წონასწორული შინაგანი სტრუქტურის მიღება. ასეთი დამუშავების შემდეგ ნაკეთობის (ექსპლუატაციისას) მექანიკური მედეგობა უმჯობესდება.

საჰომოგენიზაციო მოლბობისას მიმდინარე პროცესები:

- ქიმიური შედგენილობის გათანაბრება წონასწორულამდე;
- ჭარბი ფაზების გახსნა;
- გადაჯერებული მყარი ხსნარებიდან ფაზების გამოყოფა;
- განსაკუთრებული შემთხვევა - ჰეტეროგენიზაცია ჰომოგენიზაციისას (შეინიშნება ქრომის, ცირკონიუმის და სკანდიუმის შემცველ ალუმინის შენადნობებში);
- მარცვლის ზრდა;
- ფორების წარმოქმნა და ზრდა.

სრული მოლბობა (სურ. 99., მრუდი 2) გამოიყენება, ქვეეტექტიოიდური ფოლადების სხმულების, ნაჭედების და ნაგლინების მარცვლის დასაწვრილმანებლად, ნარჩენი ძაბვების მოსახსნელად. სრული მოლბობისას ფოლადს ახურებენ ზედა

კრიტიკულ Ac_3 წერტილზე 30 - 50°C-ით უფრო მაღლა და აყოვნებენ სრულ ფაზურ გადაკრისტალებამდე. ასეთ შემთხვევაში გათვალისწინებულ უნდა იქნეს ის მდგომარეობა, რომ GSE ხაზის შესაბამის ტემპერატურებამდე გახურებისას გარდაქმნის პროცესი მიმდინარეობს ნელი ტემპით. მის დასრულებამდე მატულობს ნაკეთობის დაჟანგულობა და გაუნახშირბადოება. GSE ხაზზე 30 - 50°C-ზე მეტ ტემპერატურებზე გახურებისას ადგილი აქვს ენერჯის გადამეტებულ ხარჯვასა და მარცვლის ზომების ინტენსიურ ზრდას.

ნახშირბადიანი ფოლადებისათვის გახურების ტემპერატურა განისაზღვრება Fe-Fe₃C მდგომარეობის დიაგრამის მიხედვით (სურ. 91), ხოლო ლეგირებული ფოლადებისათვის - საცნობარო ლიტერატურიდან, მათი ზედა Ac_3 კრიტიკული წერტილის მდებარეობის მიხედვით. დაყოვნების დრო შეადგენს დეტალის გამჭოლად გასახურებელი დროისა და სტრუქტურული გარდაქმნის დასრულებისათვის საჭირო დროის ჯამს. გაცივება ხდება ღუმელთან ერთად, 500 - 600°C-მდე (ეს აუცილებელია ფერიტისა და პერლიტის წარმოსაქმნელად), გახურებულ ქვიშაში ან ნაცარში. ნახშირბადიანი ფოლადებისათვის გაცივების სიჩქარე არის 100 - 200°C/სთ-ის (სხვა მონაცემებით - 50 - 100°C/სთ-ის) ზღვრებში, ხოლო ლეგირებული ფოლადებისათვის 30 - 100°C/სთ-ში (ლეგირებული ფოლადის ჰაერზე გაცივების შემთხვევაში მოხდება მისი ნორმალიზაცია).

Ac_3 -ზე ზევით ფოლადის გახურებისას მსხვილმარცვლოვანი პერლიტი და ფერიტი გარდაიქმნება აუსტენიტად. გარდაქმნის საწყის სტადიაში წარმოქმნილი აუსტენიტის უმცირესი ჩანასახები ტემპერატურის მატებასთან ერთად, იზრდება. Ac_3 ტემპერატურაზე (30 - 50°C-ით) გადამეტებისას აუსტენიტის

კრისტალი ჯერ კიდევ მცირე ზომისაა. შემდეგ, Ac_1 -ზე ქვევით გაცივებისას, წარმოიქმნება ერთგვაროვანი ფერიტულ-პერლიტური წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა. ამ დროს წარმოიქმნილი პერლიტის მარცვლები უფრო მცირე ზომისაა, ვიდრე აუსტენიტის მარცვალი (აუსტენიტის ერთი მარცვლის საზღვრებში რამდენიმე პერლიტური მარცვალი წარმოიქმნება).

სრული მოლბობის შემდეგ ფოლადი ხასიათდება თანაბარი წვრილმარცვლოვანი აღნაგობით. მცირდება შინაგანი ძაბვები და სისალე, მაღლდება სიბლანტე და უმჯობესდება მექანიკური დამუშავებადობა;

იზოთერმული მოლბობა (სურ. 99. მრუდი 3) გამოიყენება, ძირითადად, ლეგირებული ფოლადებისათვის. იზოთერმული მოლბობისას საკონსტრუქციო ფოლადებს ახურებენ ზედა კრიტიკულ Ac_3 წერტილზე $30 - 50^{\circ}\text{C}$ -ით უფრო მაღლა და აყოვნებენ სრულ ფაზურ გადაკრისტალეზამდე, ხოლო საიარალო ფოლადებს - Ac_1 -ზე ზევით $50 - 100^{\circ}\text{C}$ -ით. ამის შემდეგ ნაკეთობა ნელა ცივდება გამდნარი მარილის აბაზანაში, A_7 ტემპერატურაზე რამდენადმე დაბლა (ჩვეულებრივ - $650 - 700^{\circ}\text{C}$ -მდე). ამ ტემპერატურაზე ნაკეთობას იზოთერმულად აყოვნებენ აუსტენიტის პერლიტად სრულ გარდაქმნამდე, ხოლო შემდეგ აცივებენ მშვიდ ჰაერზე. მცირე ზომის ნაკეთობების იზოთერმული მოლბობა მნიშვნელოვნად ამცირებს თერმული დამუშავების პროცესის ხანგრძლივობას. მსხვილი ნაკეთობების შემთხვევაში, ტემპერატურის გასათანაბრებლად მთლიან მოცულობაში, საჭიროა დიდი დრო. რთული ლეგირებული ფოლადებისათვის იზოთერმული მოლბობა საუკეთესო მეთო-

დია სისალის შესამცირებლად და ჭრით დამუშავებადობის გასაუმჯობესებლად. იგი გამოიყენება სრული მოლბობის ნაცვლად;

არასრული მოლბობა (სურ. 99. მრუდი 4). ფოლადის გახურებას ზედა და ქვედა კრიტიკულ ($Ac_1 - Ac_3$) ან ($Ac_1 - A_{cm}$) ტემპერატურებს შორის, დაყოვნებას ფაზური გადაკრისტალებისათვის და შემდგომ ნელ გაცივებას ეწოდება არასრული მოლბობა. იგი გამოიყენება ძაბვების მოსახსნელად, როდესაც არ არის სტრუქტურის გამოსწორების - ფერიტული მდგენელის განლაგების შეცვლის - აუცილებლობა; საწყისი სტრუქტურა ზომიერად მსხვილმარცვლოვანია და არ არის ვიდმანშტეტური. ასეთ შემთხვევებში საკმარისია ფოლადის უფრო დაბალტემპერატურული გახურება, ვიდრე სრული მოლბობისას. არასრული მოლბობისას, როგოც წესი, ხდება არასრული ფაზური გადაკრისტალება. PSK-ზე მეტ და GSE-ზე ნაკლებ ტემპერატურაზე გახურებისას ქვეევტექტოიდურ ფოლადში მხოლოდ პერლიტი გადაკრისტალდება, წარმოიქმნება მცირე ზომის აუსტენიტის მარცვლები და ფერიტის მსხვილი მარცვლები უცვლელი რჩება, ხოლო ზეევტექტოიდურ ფოლადებში უცვლელი რჩება ცემენტიტის ბადე. შედეგად მცირდება შინაგანი ძაბვები და სისალე (უმნიშვნელოდ), უმჯობესდება ჭრით დამუშავებადობა. არასრული მოლბობა გამოიყენება, უპირატესად, ზევტექტოიდური ფოლადებისათვის. გახურების ტემპერატურა $750 - 760^{\circ}\text{C}$ -ს არ აღემატება. არასრული მოლბობა უფრო ეკონომიური ოპერაციაა, ვიდრე სრული, ვინაიდან გახურება ასეთ შემთხვევებში უფრო დაბალ ტემპერატურებზე ხდება. არასრული მოლბობა გამოიყენება მარცვლოვანი (სფეროიდიზებული)

პერლიტური სტრუქტურის მისაღებად და მას ხშირად მას-ფეროიდებელ მოლბობასაც უწოდებენ;

სფეროიდიზაცია ანუ მარცვლოვან პერლიტზე მოლბობა (სურ. 99., მრუდი 5) ზევეტექტოიდურ ფოლადებში მარცვლოვანი პერლიტური სტრუქტურის მიღების ძირითადი მეთოდია. ამ დროს ფირფიტოვანი პერლიტი გარდაიქმნება სფეროიდულად. ასეთი დამუშავებისას ნაკეთობას ახურებენ $730 - 770^{\circ}\text{C}$ -მდე (Ac_1 -ზე ცოტათი მაღლა), ხანგრძლივად აყოვნებენ და აცივებენ 600°C -მდე ნელი სიჩქარით.

გადაცივების მცირე ხარისხის პირობებში, აუსტენიტი ასრულებს გარდაქმნებს, რის შემდეგაც გაცივება ხდება მშვიდ ჰაერზე.

ასეთი დამუშავების შედეგად, ცემენტიტის ფირფიტები მომრგვალებული მარცვლის ფორმას იძენენ. მარცვლოვან პერლიტზე ციკლური (ქანქარისებრი) მოლბობისას გახურება ხდება $730 - 740^{\circ}\text{C}$ -მდე, ხოლო გაცივება - 680°C -მდე. დამუშავების ასეთი რეჟიმი რამდენჯერმე მეორდება. ამ დროს მცირდება ფოლადის სისაღე და უმჯობესდება ჭრით დამუშავებადობა. მარცვლოვან პერლიტზე მოლბობა, ჩვეულებრივ, გამოიყენება საიარალო ფოლადებისათვის. იგი უზრუნველყოფს მჭრელი იარაღით მათ კარგ დამუშავებადობას და წრთობისათვის გახურების პროცესში გადახურებისადმი ნაკლებ მიდრეკილებას;

სარეკრისტალიზაციო (დაბალტემპერატურული) **მოლბობა** (სურ. 99., მრუდი 6) - დაბალტემპერატურული მოლბობა ეწოდება ფოლადის კრიტიკულ Ac_1 ტემპერატურაზე დაბლა გახურებას, დაყოვნებას და შემდგომ ნელ გაცივებას. იგი გამოიყენება

ცივი გლინვის, ადიდვის ან შტამპვისას პლასტიკური დეფორმაციით გამოწვეული ცივქედვის ან შედუღების დროს ლითონში წარმოქმნილი შინაგანი ძაბვების მოსახსნელად. ნელი გაცივება აუცილებელია ახალი შინაგანი ძაბვების წარმოქმნის ასაცილებლად.

ცივქედვა იწვევს მარცვლების დეფორმირებას და დანაწევრებას, რის გამოც მატულობს სისაღე, მცირდება პლასტიკურობის მაჩვენებლები და ლითონი მყიდება. 650 - 700°C-მდე გახურებისას მატულობს ატომების დიფუზიური ძვრადობა და მყარ მდგომარეობაში ვითარდება მეორეული კრისტალიზაციის პროცესები (რეკრისტალიზაცია). დეფორმირებული მარცვლების საზღვრებზე წარმოიქმნება კრისტალიზაციის ახალი ცენტრები, რომელთა ირგვლივაც ხელახლა შენდება გისოსები. ძველი დეფორმირებული მარცვლების ნაცვლად, ჩნდება ახალი ტოლღერძა მარცვლები. დეფორმირებული სტრუქტურა სრულად ქრება - აღდგება ლითონის პირველსაწყისი სტრუქტურა და თვისებები.

7.6.2 ნორმალიზაცია

ნორმალიზაცია მოლბობის მსგავსი თერმული დამუშავებაა. განსხვავება არის იმაში, რომ ნორმალიზაციისას ფოლადი მშვიდ ჰაერზე ცივდება, ხოლო მოლბობისას - ღუმელთან ერთად. პრაქტიკაში კრიტიკულ ტემპერატურაზე უფრო მაღლა გახურებას, დაყოვნებას და შემდეგ მშვიდ ჰაერზე გაცივებას უწოდებენ „ნორმალიზაციას“. ნორმალიზაცია არის თერმული დამუშავების ოპერაცია, რომლის მიზანია ნაკეთობაში

წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის მიღება და შინაგანი ძაბვების მოხსნა. სრული მოღობის ანალოგიურად ნორმალიზაციისას ფოლადს ახურებენ ზედა კრიტიკულ Ac_3 და Ac_m ტემპერატურებზე $30 - 50^{\circ}\text{C}$ -ით მაღლა, აყოვნებენ გამჭოლად გახურებამდე და აცივებენ მშვიდ ჰაერზე. ჰაერზე გაცივება ამარტივებს პროცესს და ამცირებს მის ხანგრძლივობას. ამდენად, იგი არის თერმული დამუშავების უფრო იაფი ოპერაცია, ვიდრე მოღობა. შესაძლებლობის შემთხვევებში, მიზანშეწონილია, მოღობა შეიცვალოს ნორმალიზაციით. ამ დროს ღუმელი მხოლოდ გასახურებლად და დასაყოვნებლად გამოიყენება.

ტერმინი ნორმალიზაცია არის ისტორიულად ჩამოყალიბებული საწარმოო ტერმინი. იგი მხოლოდ პროცესის გარეგნულ ნიშნებს გამოხატავს და ლითონში მიმდინარე შინაგანი გარდაქმნების ხასიათს არ შეესაბამება. ფაქტობრივად, ამ დროს ნახშირბადიან ფოლადებში მეორე გვარის მოღობის შესაბამისი პროცესები მიმდინარეობს. მაღალთეგირებულ ფოლადებში შესაძლებელია მარტენსიტის წარმოქმნა, ანუ მიმდინარეობს წრთობა პოლიმორფული გარდაქმნით. აღნიშნული მეთოდით დამუშავების პროცესში ზოგი ფერადი შენადნობი პოლიმორფული გარდაქმნის გარეშეც განიცდის წრთობას. ასე რომ, ერთი და იგივე ტერმინი გამოიყენება დამუშავების სრულიად სხვადასხვაგვარი პროცესის გამოსახატავად და ვერ იძლევა განსახილველი პროცესის ფიზიკური არსის გაგების ნათელ სურათს. ასეთ შემთხვევებში მტკიცედ დამკვიდრებული საწარმოო ტერმინის ნაცვლად აუცილებელია მეცნიერული კლასიფიკაციის შესაბამისი ტერმინოლოგიის გამოყენება. სრულ მოღობასთან შედარებით, ნორმალიზაციის შემდეგ

ფოლადის პლასტიკური თვისებების დონე უფრო ნაკლებია, ხოლო სიმტკიცე - მაღალი. ნორმალიზებული ფოლადის სტრუქტურა დამოკიდებულია დეტალის ზომებზე. იმის გამო, რომ მსხვილი დეტალები ცივდება ნელა, მათში აუსტენიტი იშლება პერლიტად, ხოლო მცირე ზომის დეტალები ცივდება სწრაფად და მათში აუსტენიტი გარდაიქმნება სორბიტად.

როგორც წესი, ნორმალიზაცია გამოიყენება დაბალნახშირბადიანი და დაბალლეგირებული ფოლადებისათვის. დაბალნახშირბადიანი (<0,2%) ფოლადებისათვის მოლბობასთან შედარებით უპირატესობა ნორმალიზაციას ენიჭება. ამ დროს, ოპერაციის ხანგრძლივობის შემცირებასთან ერთად, უმჯობესდება ფოლადის ჭრით დამუშავებადობა. გარდა ამისა, უმნიშვნელოა სხვაობა დაბალნახშირბადიანი და დაბალლეგირებული ფოლადების ნორმალიზაციისა და მოლბობის შემდეგ მიღებულ თვისებებს შორის. ამიტომ უტარდება მათ ნორმალიზაცია და არა მოლბობა. ამრიგად, 0,2%-მდე ნახშირბადის შემცველობისას ნორმალიზაცია არის დამუშავების უპირატესი ფორმა.

საშუალო- და მაღალლეგირებული ფოლადების ჰაერზე გაცივებისას ყალიბდება მაღალი სისალის სორბიტულ-ტროოსტიტული ან მარტენსიტული სტრუქტურები. ფოლადებში ნახშირბადის შემცველობის მატება ზრდის განსხვავებებს მოლბობილი და ნორმალიზებული ფოლადების თვისებებს შორის. გასათვალისწინებელია, რომ 0,3 - 0,4% ნახშირბადის შემცველი ნორმალიზებული ფოლადების სისალე მოლბობის შემდეგ მიღებულ სისალის მნიშვნელობას აღემატება. ამიტომ ნორმალიზაციის ოპერაცია ყოველთვის ვერ ცვლის მოლბობას. 0,3-

0,4% C შემცველობის ფოლადებს მიზანშეწონილია ნორმალიზაცია ჩაუტარდეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც მომატებული სისალე ჭრით დამუშავებაზე არ აისახება.

ამრიგად, ნორმალიზაციისას შინაგანი ძაბვები მცირდება, ხდება ფოლადის გადაკრისტალეზა და მარცვლის დაწვრილმანება. ნორმალიზებული შენადნობები რამდენადმე უფრო მტკიცეა, ვიდრე მოლზობილი. ნორმალიზებას იყენებენ მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურის გამოსასწორებლად, ჭრით დამუშავებადობის გასაუმჯობესებლად, წრთობის წინ სტრუქტურის გასაუმჯობესებლად. იგი, მოლზობასთან შედარებით, უფრო ხანმოკლე პროცესია და, აქედან გამომდინარე უფრო მწარმოებლურიც.

ნორმალიზაცია ზეევტექტოიდურ ფოლადებს აცილებს მეორეული ცემენტიტის ბადეს. საიარალო ფოლადებში ნორმალიზაცია გამოიყენება სიმყიფის გამომწვევი ცემენტიტური (კარბიდული) ბადის დასარღვევად. ამ ფოლადების საწრთობად Ac_1 -ზე ოდნავ უფრო მაღალ ტემპერატურაზე გახურებისას ცემენტიტი (კარბიდები) აუსტენიტში თითქმის არ იხსნება. წრთობის შემდეგ მეორეული ცემენტიტის ბადე შენარჩუნებულია. თუ წრთობისთვის გახურება აუსტენიტურ მდგომარეობამდე, ანუ SE ხაზზე მაღლა მოხდება, მაშინ აუსტენიტში ცემენტიტი (კარბიდები) მთლიანად გაიხსნება და შემდგომ ჰაერზე შედარებით სწრაფი გაცივებისას ცემენტიტის (კარბიდების) გამოყოფა დანაწევრებული ჩანართების სახით მოხდება და სიმყიფე შემცირდება.

7.7 მოღობისა და ნორმალიზაციის დეფექტები

მოღობისა და ნორმალიზაციის პროცესში დეფექტების წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები და თერმული დამუშავების ზოგადი მიზეზები ერთი და იგივეა - ტექნოლოგიური პროცესების დარღვევა და მოწყობილობების არადამაკმაყოფილებელი მდგომარეობა (ცხრილი №№ 6, 7). მოღობისა და ნორმალიზაციის პროცესში წარმოქმნილი დეფექტები არის შემდეგი: კოროზია (ჟანგვა), გაუნახმირბადობა, ბზარების წარმოქმნა, წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის წარმოქმნა, ქვეევტექტოიდურ ფოლადებში ფერიტის, ხოლო ზევეტექტოიდურ ფოლადებში ცემენტიტისა და სხვა კარბიდების არასრული გახსნა აუსტენიტში, ფოლადის გადახურება და გადაწვა.

კოროზია (ხენჯწარმოქმნა). ხენჯის წარმოქმნის მიზეზებია: წვის პროდუქტების დაწვა ალიან ღუმლებში გახურებისას ჰაერის სიჭარბით; ჰაერის შეწოვა სამუშაო სივრცეში - ელექტროგახურებისას; გაუჟანგავი აბაზანა - მარილის აბაზანებში გახურებისას.

ფოლადის დეტალების ზედაპირების ღუმლის აირებთან ურთიერთქმედებისას ლითონი იჟანგება. დეტალის ზედაპირზე ჩნდება ხენჯი - ლითონების ქიმიური ნაერთი ჟანგბადთან. ტემპერატურისა და დაყოვნების ხანგრძლივობის გაზრდით ჟანგვის პროცესი მკვეთრად ინტენსიურდება. ხენჯის წარმოქმნა იწვევს ლითონების ამოწვას და აზიანებს დეტალების ზედაპირს. ხენჯის ქვეშ ფოლადის ზედაპირი ამოჭმული და უსწორმასწოროა, რაც ართულებს მჭრელი იარაღებით ლითონის დამუშავებას. ნაკეთობის ზედაპირიდან ხენჯის მოცილება ხდება ლითონის ზედაპირის ამოჭმით გოგირდმჟავას წყალხსნარში,

საფანტჰავლურ აპარატებში ან აბრაზივიან დოლებში ტრიალით.

გაუნახშირბადოება ანუ დეტალის ზედაპირიდან ნახშირბადის ამოწვა ხდება ფოლადის ჟანგვისას. გაუნახშირბადოება მკვეთრად ამცირებს საკონსტრუქციო ფოლადების სიმტკიცის მაჩვენებლებს. გარდა ამისა, ზედაპირის გაუნახშირბადოება აჩენს წროთობის ბზარებს და იწვევს დეტალის დეფორმაციას (გამრუდებას).

დეფექტებს აგვაცილებს: საწვავი პროდუქტების სწორად დაწვა; ჰაერის შეწოვის გამოსარიცხად ღუმლის კარის მჭიდროდ მიხურვა; აბაზანების რეგულარული განჟანგვა; გახურების და დაყოვნების რეჟიმების მკაცრად დაცვა.

ბზარების წარმოქმნის მიზეზია მნიშვნელოვანი შინაგანი ძაბვები, წარმოქმნილი ლეგირებული ფოლადების ზომიერად გადაჭარბებული სიჩქარით გახურების შედეგად. ეს წუნი გამოუსწორებელია.

წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის წარმოქმნის მიზეზია გაცივება მოლბობის შემდეგ, გაცივების დასაშვებ სიჩქარეზე გადაჭარბებით. იგი იწვევს სისალის მატებას და დამუშავებადობის გაუარესებას.

აცილების ხერხია განმეორებით მოლბობა, რეჟიმის ზუსტად დაცვით.

ჰეივტექტოიდურ ფოლადებში ფერიტის და ზეივტექტოიდურ ფოლადებში ცემენტიტის (კარბიდების) არასრულ გახსნას აუსტენიტიში იწვევს არასრული აუსტენიტიზაცია, ანუ გახურება A_{cm} -ტემპერატურაზე დაბლა. ასეთი მოლბობის შედეგად,

ქვევტექტოიდურ ფოლადებში ადგილი აქვს არათანაბარ მარცვლოვნებას, ხოლო ზეევტექტოიდურ ფოლადებში - ცემენტის (კარბიდების) არათანაბარ განაწილებას.

აცილების ხერხია განმეორებით მოღობვა რეჟიმის ზუსტად დაცვით.

გადახურება - ფოლადის თერმული დამუშავების შექცევადი დეფექტი, რომელიც ვლინდება მსხვილი მარცვლისა და ვიდმანშტეტური სტრუქტურის ფორმირებაში. პროცესი Ac_3 ტემპერატურაზე მნიშვნელოვანი გადაჭარბებით გახურების და ამავე ტემპერატურაზე ხანგრძლივი დაყოვნების დროს მიმდინარეობს. გადახურების შედეგად ფორმირდება მსხვილ-მარცვლოვანი სტრუქტურა და მცირდება პლასტიკურობა. გადახურებული ფოლადის წრთობისას ჩნდება ბზარები.

გადახურება არის თერმული დამუშავების გამოსწორებადი წუნი. გადახურებული ლითონის თვისებები შეიძლება აღდგეს განმეორებითი თერმული დამუშავებით - მოღობვით ან ნორმალიზაციით.

გადაწვა - ფოლადის ან შენადნობის თერმული დამუშავების შეუქცეველი დეფექტი. იგი ვლინდება მარცვლის საზღვრების დაჟანგვასა ან შემოდნობაში. გადაწვის ფიზიკური არსი შემდეგშია: ლითონის მაღალ ტემპერატურაზე (დნობის ტემპერატურის სიახლოვეს) ხანგრძლივად ყოფნის დროს ჟანგბადი ღუმლის ატმოსფეროდან შეაღწევს გასარბილებელი ლითონის სიღრმეში და ჟანგავს მარცვლის საზღვრებს (ზოგჯერ ხდება მათი ნაწილობრივ შემოდნობაც). საზღვრების დაჟანგვა იწვევს მარცვლებს შორის მექანიკური კავშირის შესუსტებას, ლითონი კარგავს პლასტიკურობას და მყიდდება.

გადაწვა თერმული დამუშავების გამოუსწორებადი დეფექტია.

თერმული დამუშავების რეჟიმის დარღვევისას წუნის ყველა სახე, რომელსაც ადგილი აქვს მოღობობისას, შეიძლება განმეორდეს ნორმალიზაციის პროცესშიც (წუნის აცილების საშუალებებიც ანალოგიურია). გარდა ამისა, განსაზღვრულზე უფრო ნელი სიჩქარით ფოლადის გაცივებისას, მიიღება:

- უფრო უხეში სტრუქტურა;
- შემცირებული სისალე და სიმტკიცე;
- მომატებული წაგრძელება.

განსაზღვრულზე უფრო მაღალი სიჩქარით ფოლადის გაცივებისას, პირიქით, მიიღება:

- ძალიან წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა;
- მომატებული სისალე და სიმტკიცე;
- შემცირებული წაგრძელება.

გამოსწორების საშუალებაა განმეორებითი ნორმალიზაცია, საწვავი პროდუქტების სწორად - ნორმალური რეჟიმით დაწვა, ჰაერის შეწოვის გამორიცხვა, გახურება განჟანგულ აბაზანაში, გახურებისა და დაყოვნების რეჟიმების მკაცრად დაცვა.

თერმული დამუშავების თანამედროვე საწარმოები ფოლადის დეტალების ჟანგვისა და გაუნახშირბადოების ასაცილებლად, მოღობობის, ნორმალიზაციისა და წრთობის პროცესებისათვის ნაკეთობების გახურებას ახდენენ მარილის აბაზანებში ან ღუმლის სამუშაო არეში ხელოვნურად შექმნილი არამჟანგავი (დამცავი) აირების ატმოსფეროში.

ცხრილი № 7 ნახშირბადიანი და ლეგირებული ფოლადების მოღობვისა და ნორმალიზაციის ძირითადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
უკმარ(გა)ხურება არასრული მოღობვა ან ნორმალიზაცია. დაბალი პლასტიკური თვისებები.	მოღობვა ან ნორმალიზაცია Ac_3 ტემპერატურაზე დაბალა.	ნორმალურ $Ac_3 + (30 - 50^{\circ}C)$ ტემპერატურაზე განმეორებით მოღობვა ან ნორმალიზაცია.
გადახურება. მსხვილ-მარცვლოვანი მიკროსტრუქტურა, ზოგჯერ ვიდმანშტეინი (ნემსისებრი) აღნაგობით. მსხვილკორისტალური რღვევის რელიეფი. დაბალი პლასტიკური თვისებები, დაბალი დარტყმითი სიბლანტე.	ნორმალურ $- Ac_3 + (30 - 50^{\circ}C)$ ტემპერატურაზე მაღლა ხანგრძლივი მოღობვა ან ნორმალიზაცია.	წვილი ნაკეთობების მცირე გადახურებისას განმეორებით მოღობვა ან ნორმალიზაცია ნორმალურ $- Ac_3 + (30 - 50^{\circ}C)$ ტემპერატურაზე, ხანგრძლივი დაყოვნებით. მსხვილი ნაკეთობების მცირე გადახურებისას განმეორებით ორჯერადი მოღობვა ან ნორმალიზაცია ნორმალურ ტემპერატურაზე, ნორმალური დაყოვნებით. წვილი ნაკეთობების დიდი გადახურებისას განმეორებით ორჯერადი მოღობვა ან ნორმალიზაცია, პირველი მოღობვა ან ნორმალიზაცია $Ac_3 + (100 - 150^{\circ}C)$, მეორე - ნორმალურ ტემპერატურაზე.

ცხრილი № 7-ის გაგრძელება

<p>ლეგრებული ფოლადის ქვისებრი რღვევის რელიეფი. მარცვლების საზღვრებზე არალითონური ჩანართების არსებობა. დაბალი პლასტიკური თვისებები, დაბალი დარტყმითი სიბლანტი.</p>	<p>ადვილმდნადი არალითონური და წილის ჩანართებით დაზიანებული ლეგირებული ფოლადების გადახურება 1200 - 1350°C ტემპერატურებზე.</p>	<p>კვლავჭედვა ნორმალურ ტემპერატურაზე, სამჯერადი ან მეტი მოჭიმვით</p>
<p>გადაწვა. მარცვლის საზღვრებზე არსებობს: ა) ნახშირბადით გამდიდრებული უბნები, გადაწვის I სტადია; ბ) დაუწანგავი სიციარილეები და ბუმტები, II სტადია; რკინის წანგის ჩანართები, III სტადია.</p>	<p>ფოლადის გახურება მაღალ ტემპერატურებზე მყანგავ არეში ან გახურება-დნობის ტემპერატურის მახლობელ ტემპერატურაზე.</p>	<p>გადაწვის I სტადიაზე—ჰომოგენიზაცია 1100 - 1200°C ტემპერატურაზე ხანგრძლივი დაყოვნებით და შემდგომი მოღობით ძლიერ გადახურებული ფოლადის სტრუქტურის გამოსწორების რეჟიმით. II სტადიის შემთხვევაში კვლავჭედვა ნორმალურ ტემპერატურაზე. III სტადია გამოუსწორებელი წუნი.</p>
<p>ცხლადდეფორმირებული მოღობილი ფოლადის მაღალი სისალე.</p>	<p>გაცივების ამადლებული სიჩქარე.</p>	<p>განმეორებითი მოღობვა გაცივების დადგენილი გრაფიკით.</p>

ცხრილი № 7-ის გაგრძელება

<p>მაღალი სისალე და დაბალი პლასტიკური თვისებები ცივადდეფორმირებული საზამბარე და მაღალნახშირბადიანი ფოლადის შუალედური ან საბოლოო მოღობვის შემდეგ.</p>	<p>გახურება A_{C_1}-ზე ზევით.</p>	<p>მოცემული ზომისა და პროფილის ნაკეთობისათვის დეფექტი გამოუსწორებელია. მასალის გამოყენება შეიძლება ახალ ზომებზე ცივი დეფორმაციის შემდეგ, შემდგომი მოღობვით A_{C_1}-ზე ნაკლებ (690 - 710°C) ტემპერატურაზე.</p>
<p>სტრუქტურულად თავისუფალი ცემენტით სხნულ, ცხლად ან ცივადდეფორმირებულ დაბალნახშირბადიან ფოლადში. დადაბლებული პლასტიკური თვისებები, დაბალი დარტყმითი სიბლანტი.</p>	<p>ფოლადის მოღობვისას ნელი გაცივება 720-670°C ტემპერატურულ ინტერვალში ან დაბალნახშირბადიანი ფოლადის ხანგრძლივი დაყოვნება 670 - 720°C ტემპერატურაზე.</p>	<p>განმეორებით მოღობვა ნორმალურ (900 - 920°C) ტემპერატურაზე არქარებული გაცივებით ან ნორმალჩაცია ანავე ტემპერატურიდან.</p>

ცხრილი № 7-ის გაგრძელება

<p>ნახშირბადიანი, ლევირებული და სწრაფმჭრელი ფოლადების მაღალი სისალე მოღობვის შემდეგ.</p>	<p>უკმარხურება (მოღობვა Ac_1 ტემპერატურაზე დაბლა არასაკმარისი დაყოვნებისას). გადახურება (მოღობვა ნორმალურ ტემპერატურაზე მაღლა). ჩვეულებრივი მოღობვისას ამალეული გაცივების სიჩქარე ან იზოთერმული მოღობვისას არასაკმარისი დაყოვნება.</p>	<p>განმეორებით მოღობვა ნორმალურ ტემპერატურაზე და გაცივება დადგენილი გრაფიკით.</p>
<p>კარბიდული ბადე ნახშირბადიან და ლევირებულ ფოლადებში.</p>	<p>გადახურება A_{cm} -ზე მაღლა.</p>	<p>ნორმალზაცია ან წრთობა ზეთში, შემდგომი მომენტით $670 - 700^{\circ}C$ ტემპერატურაზე, არანაკლებ ორსაათიანი დაყოვნებისა.</p>

ცხრილი № 7-ის გაგრძელება

<p>სტაბილური კარბიდები სწრაფმჭრელ ფოლადებში. წრთობისადმი მგრძობობი- რობის უმცირეობა.</p>	<p>მოლბობისას ხანგრძლივი (10 სთ-ზე მეტი) დაყოვნება.</p>	<p>გამოუსწორებადი დეფექტი.</p>
<p>შავი რღვევის რელიეფი (ნახშირბადიან ფოლადებში გრაფიტის თავისუფალი ჩანართი).</p>	<p>მოლბობისას ნელი გაცივება 1000°C ტემპერატურიდან ან ხანგრძლივი დაყოვნება 760 - 780°C-ზე.</p>	<p>საგულდაგულო გაჭედვა მაღალ ტემპერატურაზე.</p>

7.8 წროთობა

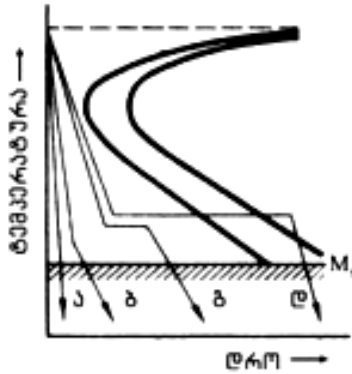
7.8.1 წროთობის არსი

ტექნოლოგიურად წროთობა არის ფოლადის თერმული დამუშავება, რომელიც ეფუძნება შენადნობის (ფოლადის) გადაკრისტალებას კრიტიკულ ტემპერატურაზე მაღლა გახურებისას, ნაკეთობის გამჭოლად გახურებისათვის საჭირო ხანგრძლივობით ამ ტემპერატურაზე დაყოვნებასა და, თერმული დამუშავების პროცესის დასასრულებლად, სწრაფ გაცივებას.

წროთობის დანიშნულება არის ნაკეთობის სიმტკიცისა და სისალის ამაღლება. ასეთი შედეგების მიღწევა შესაძლებელია ქვევტექტოიდურ ფოლადებში მარტენსიტული $Fe_{\alpha}(C)$ ჩამოყალიბებით, ხოლო ზეევტექტოიდურ ფოლადებში - მარტენსიტის $Fe_{\alpha}(C)$ და მეორეული ცემენტიტის Fe_3C სტრუქტურების ჩამოყალიბებით.

წროთობის შემდეგ პლასტიკური თვისებები (δ, ψ) და დარტყმითი სიბლანტე (KC) დაბლდება. აუსტენიტის მარტენსიტად გარდასაქმნელად, გამჭოლად გახურების შემდეგ აუცილებელია ფოლადების გაცივება წროთობის ტემპერატურიდან გაცივების კრიტიკულ სიჩქარეზე სწრაფად ($V_{გაც.} > V_{კრიტ.}$ -ზე).

საწროთობ არეებად, ძირითადად, გამოიყენება წყალი, მინერალური ზეთები, მარილებისა და ტუტეების წყალხსნარები. სურ. 100-ის შესაბამისად, წროთობის მრავალი ხერხი არსებობს.



სურ. 100. წრთობის ხერხების სქემა: ა - ერთ საწრთობ არეში წრთობა; ბ - ორ საწრთობ არეში წრთობა; გ - საფეხუროვანი წრთობა; დ - იზოთერმული წრთობა

უმუალოდ წრთობის პროცესში ვლინდება ლითონების წრთობადობისა და შეწრთობადობის უნარი.

წრთობადობა არის სისალის მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღწევის უნარი მოცემული შედგენილობის ფოლადის წრთობისას. ასეთი უნარი დამოკიდებულია, ძირითადად, ფოლადში ნახშირბადის შემცველობაზე. როგორც წესი, რაც მეტია ნახშირბადი, მით უფრო მაღალია სისალე. ანუ, რაც მეტია ნახშირბადის ატომების რაოდენობა, მით უფრო მაღალია α -მყარი ხსნარის ნახშირბადით გადაჯერების ხარისხი. შედეგად, მატულობს შინაგანი ძაბვები, რომლებიც ხელს უწყობს დისლოკაციების რაოდენობის მატებას და მარტენსიტული სტრუქტურის წარმოქმნას.

0,3%-ზე ნაკლები ნახშირბადის შემცველობისას, ჩვეულებრივი ნახშირბადიანი ფოლადი არ იწრთობა (წრთობის ეფექტი მინი-

მაღურია). მარტენსიტული სტრუქტურის წარმოქმნა უკავშირდება წახნაგდაცენტრებული კუბური გისოსის გადაწყობას მოცულობადაცენტრებულ კუბურ (ტეტრაგონალურ) გისოსად. ასეთი გადაწყობის ტემპერატურა დამოკიდებულია ნახშირბადის შემცველობაზე. რკინის კრისტალურ გისოსში ჩანერგილი ნახშირბადის ატომები სხვა ატომების აუცილებელ გადაჯგუფებას ეწინააღმდეგებიან მარტენსიტული სტრუქტურის წარმოსაქმნელად (გისოსის გადასაწყობად). რაც მეტია ნახშირბადის რაოდენობა ფოლადში, მით უფრო დაბალია ტემპერატურა, რომელზეც მოხდება მარტენსიტული გარდაქმნა. სურ. 85-ის შესაბამისად, 0,2% ნახშირბადის შემცველობისას, მარტენსიტული გარდაქმნა უნდა ხდებოდეს საკმაოდ მაღალ $\approx 350 - 400^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე. ასეთ ტემპერატურაზე ნახშირბადი ჯერ კიდევ საკმაოდ მაღალ ძვრადობას ინარჩუნებს. გისოსის გადაწყობისას იგი გამოდის მყარი ხსნარის შედგენილობიდან და რკინასთან წარმოქმნის ქიმიურ ნაერთს - ცემენტიტს. ამდენად, მყარი ხსნარის გადაჯერების ხარისხი მნიშვნელოვნად მცირდება და, შესაბამისად, არ წარმოიქმნება წრთობის მარტენსიტული სტრუქტურა.

შეწრთობადობა არის განსაზღვრულ სიღრმემდე ფოლადის წრთობის უნარი. ნაწრთობი ფოლადის ზედაპირსა და შიგა ზონებს შორის სისალის სხვაობა - არათანაბრობა წრთობისას გამოწვეული არათანაბარი გაცივებით, ზედაპირი ყოველთვის უფრო სწრაფად ცივდება, ვიდრე გული. გაცივების არათანაბრობა გამოწვეულია თბოარინების განსხვავებული პირობებით ზედაპირსა და გულს შორის. საწრთობ არეში ჩაშვებისას (ცივ სითხესთან შეხებისას) გავარვარებული დეტალის ზედა-

პირი დიდი სიჩქარით ცივდება, ხოლო შიგა ზონიდან თბოარი-
ნება გართულებულია. გაცივება ცხელი ლითონის სისქის
გავლით ხდება და შესაბამისად შიგა შრეები უფრო ნელა
ცივდება. ამრიგად, ზედაპირი ცივდება კრიტიკულ სიჩქარეზე
სწრაფად და იგი იწრთობა, ხოლო გულის გაცივების სიჩქარე
კრიტიკულზე დაბალია და იგი არ იწრთობა.

შეწრთობადობა დამოკიდებულია, ძირითადად, ფოლადის
ქიმიურ შედგენილობაზე. 0,8%-მდე ნახშირბადის შემცველობა
ფოლადის შეწრთობადობას ამაღლებს ხოლო მისი შემდგომი
ზრდა შეწრთობადობას რამდენადმე ადაბლებს.

აუსტენიტში გახსნილი ყველა მალეგირებელი ელემენტი,
კობალტის გამოკლებით აძნელებს მის დაშლას, და, აქედან
გამომდინარე, ამცირებს წრთობის კრიტიკულ სიჩქარეს. შედე-
გად, იზრდება შეწრთობადობა.

შეწრთობადობის გასაუმჯობესებლად ფოლადში შეაქვთ მანგა-
ნუმი, ქრომი, ნიკელი, მოლიბდენი და სხვ. განსაკუთრებით
ეფექტურად მოქმედებს კომპლექსური ლეგირება, რომლის
დროსაც თითოეული ელემენტის სასარგებლო გავლენა შეწრ-
თობადობაზე ძლიერდება.

ელემენტები, რომლებიც ნახშირბადთან წარმოქმნიან ქიმიურ
ნაერთებს კარბიდების სახით, იმ შემთხვევაში ამაღლებენ
შეწრთობადობას, თუ ისინი წრთობის ტემპერატურაზე გახს-
ნილი იქნება აუსტენიტში, მაგრამ თუ კარბიდების შედეგ-
ნილობაში დარჩებიან, მაშინ შეწრთობადობა შემცირდება. ამის
გამო, წრთობისას, კარბიდების უფრო სრულად გახსნის მიზ-
ნით, ზოგჯერ ამაღლებენ წრთობის ტემპერატურას. ამრიგად,

მალეგირებელი ელემენტების გავლენის ანალიზი შემდეგი დასკვნების გაკეთების საშუალებას იძლევა:

I. ნახშირბადიან ფოლადებთან შედარებით, ლეგირებული ფოლადები საშუალებას იძლევა გამჭოლად იწროს უფრო დიდი კვეთის დეტალები;

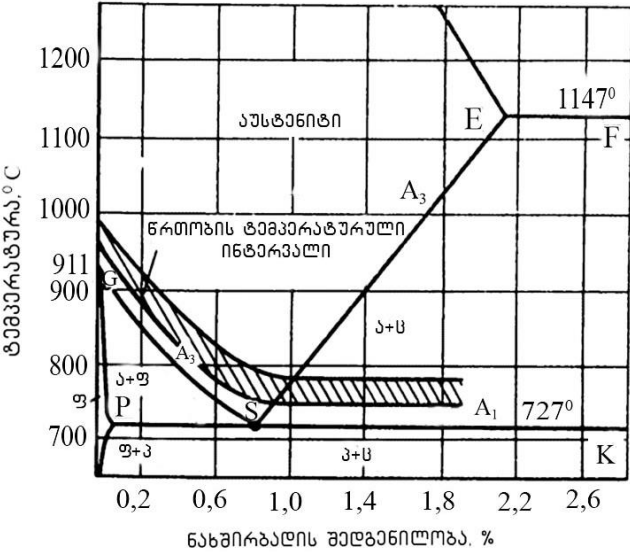
II. ნახშირბადიანი ფოლადების ნაცვლად ლეგირებულის გამოყენებისას მცირდება წროთობის კრიტიკული სიჩქარე და საწროთობ არედ წყლის ნაცვლად შესაძლებელია ზეთის გამოყენება. შედეგად, მცირდება წროთობის ძაბვები, დაბრეცა და ბზარების წარმოქმნის საშიშროება.

ქიმიურ შედგენილობასთან ერთად შეწროთობადობაზე მოქმედებს ზოგი სხვა ფაქტორი: აუსტენიტის ერთგვაროვნობა, მასში კარბიდების, სხვა მინარევებისა და ჩანართების არსებობა (გაუხსნელი ნაწილაკები წარმოადგენს კრისტალიზაციის დამატებით ცენტრებს აუსტენიტი→პერლიტი გარდაქმნისას და აჩქარებენ პროცესს), მარცვლის ზომები და სხვ. რაც უფრო ერთგვაროვანია აუსტენიტი და მეტია მისი მარცვლის ზომა, მით მეტია შეწროთობადობა. მსხვილმარცვლოვანი აუსტენიტი ანელეებს გარდაქმნას, რადგან კრისტალიზაციის ცენტრები, უპირატესად, წარმოიქმნება მარცვლის საზღვარზე. ხოლო, რაც უფრო მსხვილია მარცვალი, მით ნაკლებია საზღვრების ჯამური სიგრძე და კრისტალიზაციის ცენტრების რიცხვი.

7.8.2 წროთობის ტემპერატურის შერჩევა

წროთობის ტემპერატურის შერჩევა მეტად საპასუხისმგებლოა. მის გადასაწყვეტად, ფოლადის ქიმიური შედგენილობიდან

გამომდინარე, საჭიროა მრავალი ფაქტორის გათვალისწინება. წრთობის არსი მდგომარეობს აუსტენიტის მარტენსიტში გარდაქმნაში. ამიტომ წრთობისათვის აუცილებელია ფოლადის გახურება აუსტენიტურ მდგომარეობამდე. ნახშირბადიანი ფოლადების გახურების ტემპერატურა მარტივად შესარჩევია $Fe - Fe_3C$ სისტემის მდგომარეობის დიაგრამიდან (სურ. 101).



სურ. 101. წრთობისას ნახშირბადიანი ფოლადების გახურების ტემპერატურული ინტერვალი
 ფ - ფერიტი; ა - აუსტენიტი; ც - ცემენტიტი; პ - პერლიტი

0.8 % C-მდე შემცველობის საკონსტრუქციო ფოლადების საწრთობად საკმარისია მათი გახურება GS ხაზის ზევით. ყოველ ფოლადს გარდაქმნის თავისი კრიტიკული წერტილი შეესაბამება. მაგრამ ნებისმიერი, ერთი და იმავე მარკის სხვადასხვა დნობის ფოლადის შედგენილობაში ნახშირბადის შემცველობა

შეიძლება მერყეობდეს გარკვეულ ზღვრებში. ამიტომ, აუსტენიტური სტრუქტურის გარანტირებულად მიღებისათვის ქვეევტექტოიდური ფოლადი უნდა გახურდეს ზედა კრიტიკულ წერტილზე რამდენადმე (30 - 50 °C-ზე) მაღლა (სურ. 101), დაშტრიხული ზოლი.

აღნიშნული ტემპერატურული ინტერვალის ოპტიმალურობის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ A_{c3} -ზე დაბლა საწრთობად უკმარ-გახურებული ქვეევტექტოიდური ფოლადების სტრუქტურაში, აუსტენიტთან ერთად, ფერიტის უბნებიც შენარჩუნდება. ნახშირბადის შემცველობა ფერიტში 0.02 %-ია, ამიტომ წრთობისას ამ უბნებზე ვერ მიიღება რკინაში ნახშირბადის გადაჯერებული მყარი ხსნარი - მარტენსიტი. მოხდება, ე.წ., არასრული წრთობა. მარცვლები, რომლებიც გახურებისა და დაყოვნების პროცესში გარდაიქმნენ აუსტენიტად, მკვეთრი გაცივების შემდეგ გარდაიქმნებიან მარტენსიტად. ამავე დროს შენარჩუნდება ფერიტის მარცვლები, რომლებსაც გახურებისას გარდაქმნა არ განუცდიათ. საბოლოოდ მიიღება არასასურველი დეფექტური სტრუქტურა-მარტენსიტი (650 HB) +ფერიტი (80 HB), ანუ სალი სტრუქტურა + რბილი სტრუქტურა.

A_{c3} -ზე მნიშვნელოვნად მაღალ ტემპერატურაზე გახურებას კი შეუძლია გამოიწვიოს გადახურება ან გადაწვა. ამ ტემპერატურებზე იზრდება აუსტენიტის მარცვლები, შესაბამისად, გაცივების შემდეგ მიიღება უხეში მსხვილმარცვლოვანი მარტენსიტი, რომელიც ძალიან დაბალი სიბლანტით ხასიათდება.

სურ. 101-ის შესაბამისად, ზეევტექტოიდური (საიარაღო ნახშირბადიანი) ფოლადების წრთობისას გახურება ხდება PSK (A_{c1}) ხაზზე 30 - 50°C-ით მაღლა. ასეთი გახურების შემდეგ

ფოლადის სტრუქტურა შედგება აუსტენიტისა და ცემენტიტი-საგან. გამჭოლად გახურებისა და მკვეთრი გაცივების შემდეგ, აუსტენიტი გარდაიქმნება მარტენსიტად, ხოლო ცემენტიტი რჩება უცვლელად და სტრუქტურაში იქნება მარტენსიტი + ცემენტიტი. ფერიტთან შედარებით, ცემენტიტი ძალიან სალია, ამიტომ ზეევტექტოიდური ფოლადის ნაწრობ სტრუქტურაში მისი არსებობა სისაღეს არ ამცირებს, პირიქით, უზრუნველყოფს ნაკეთობის მაღალ სისაღეს (მაგ., 0,5 %C -ს შემცველი ნახშირბადიანი ფოლადის ცემენტიტის სისაღე არის 800 HB, მარტენსიტის - 650 HB).

ზეევტექტოიდური (საიარაღო ნახშირბადიანი) ფოლადების წრობისას SE (A_{cm}) ხაზის ზევით გახურება, სუფთა აუსტენიტურ მდგომარეობამდე, არ არის საჭირო. უფრო მეტიც, ის უარყოფით შედეგს იძლევა. A_{cm} -ზე მაღლა გახურება იწვევს მეორეული ცემენტიტის გახსნას, აუსტენიტის მარცვლის ზრდას, შესაბამისად, გაცივების შემდეგ მიიღება ძალიან დაბალი პლასტიკური თვისებებისა და სიბლანტის მსხვილმარცვლოვანი (უხეში) მარტენსიტი.

A_{cm} -ზე მნიშვნელოვნად მაღალ ტემპერატურაზე გახურებას, დნობის AC ხაზთან მიახლოებას, შეუძლია გამოიწვიოს გადახურება ან გადაწვა. ამ ტემპერატურებზე სწრაფად იზრდება აუსტენიტის მარცვლები, შესაბამისად, გაცივების შემდეგ მიიღება ძალიან უხეში მსხვილმარცვლოვანი მარტენსიტი. ამავე დროს, ასეთი გახურებისას, ფოლადში არსებული მთელი ნახშირბადი გადადის აუსტენიტში და წრობის შემდეგ მარტენსიტი იქნება ნახშირბადით ძლიერ გადაჯერებული. შესაბამისად, იზრდება შინაგანი ძაბვებისა და ბზარების წარმოქმნის ალბათობა.

ლეგირებული ფოლადების წრთობისას გახურების ტემპერატურის შერჩევა ხდება კრიტიკული წერტილების გათვალისწინებით. მაგრამ, ასეთი ფოლადების მდგომარეობის დიაგრამები საკმაოდ რთულია, რადგან, რკინისა და ნახშირბადის გარდა, მათ შედგენილობაში დამატებით შედის, მალეგირებელი ელემენტები - ქრომი, ნიკელი, მოლიბდენი, ვოლფრამი, ვანადიუმი და სხვ. ამიტომ ცალკეული ლეგირებული ფოლადის კრიტიკული წერტილები ან უშუალოდ წრთობის ტემპერატურა, განისაზღვრება საცნობარო ლიტერატურიდან. უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგი ლეგირებული ფოლადის წრთობისას, გახურების ტემპერატურა აიღება კრიტიკულ წერტილებზე გაცილებით მაღალი ზოგჯერ რამდენიმე ასეული გრადუსითაც კი (მაგ., სწრაფმჭრელი R18 ფოლადის A_{c1} 830°C-ია, ხოლო წრთობის ტემპერატურა - 1270°C). ეს აიხსნება იმით, რომ ასეთი ფოლადები შეიცავს აუსტენიტში ძნელადხსნად კარბიდებს დიდი რაოდენობით. ლეგირებულ ფოლადებში მოთხოვნილი თვისებები მხოლოდ იმ შემთხვევაში მიიღწევა, თუ კარბიდების შედგენილობაში შემავალი მალეგირებელი ელემენტები სრულად გადავა აუსტენიტში (მყარი ხსნარის მდგომარეობაში). ამ გადასვლებს კი აჩქარებს გახურების ტემპერატურის ამაღლება.

7.8.3 გაცივების პროცესის არსი ფოლადის წრთობისას

თერმული დამუშავების დროს, აუსტენიტიზაციის ტემპერატურიდან ფოლადის გაცივებისას, აუსტენიტი იშლება. GS ხაზის ტემპერატურის ქვევით გამოიყოფა ფერიტი, ხოლო ES ხაზის ქვევით—მეორეული ცემენტიტი. 727°C-ზე ნარჩენი აუსტენიტი

გარდაიქმნება პერლიტად. აღვნიშნავთ, რომ ასეთი გარდაქმნები ხდება ნელი გაცივებისას (გაცივება ღუმელთან ერთად, $\approx 1^{\circ}$ /წთ სიჩქარით). ასეთ შემთხვევაში მიიღება რბილი და პლასტიკური ფოლადი (სისალე 10 - 20 HRC-ს ზღვრებში). იგი კარგად მუშავდება ჭრით, მაგრამ ხასიათდება დაბალი სიმტკიცით. სიმტკიცისა და სისალის მომატება შესაძლებელია გაცივების სიჩქარის გაზრდით. გაცივების სიჩქარის გაზრდისას აუსტენიტი გადაცივდება და მისი დაშლის შედეგად მიიღება წვრილმარცვლოვანი ფერიტ-ცემენტიტის ნარევი. რაც უფრო დიდია გაცივების სიჩქარე, მით უფრო წვრილმარცვლოვანი იქნება ამ ნარევის სტრუქტურა და, შესაბამისად, უფრო მაღალი იქნება მისი სისალე და სიმტკიცე.

გაცივების სიჩქარის ცვლილებით ნახშირბადიან ფოლადებში მიიღება შემდეგი სტრუქტურები: აუსტენიტიზაციის ტემპერატურიდან მშვიდ ჰაერზე გაცივებისას - სორბიტი (გაცივების სიჩქარე $\approx 1^{\circ}$ /წმ). მოცემულ შემთხვევაში აუსტენიტი 600°C -მდე გადაცივდება. ამ ტემპერატურაზე იწყება სორბიტის წარმოქმნა და იგი $\approx 500^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე მთავრდება. მიღებული სორბიტი ფერიტისა და ცემენტიტის ძალიან თხელი ფირფიტების ნარევა. მისი სისალე 20–30 HRC-ს უტოლდება. ზეთში გაცივებისას (სიჩქარე $\approx 50^{\circ}$ /წმ) აუსტენიტი 500°C -მდე გადაცივდება და წარმოიქმნება წვრილდისპერსული ფერიტ-ცემენტიტის ნარევი-ტროოსტიტი. ტროოსტიტული გარდაქმნის ტემპერატურული ინტერვალი $\approx 500 - 200^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს. ტროოსტიტის სისალე 30 - 45 HRC-ს ზღვრებშია. ტროოსტიტი ფერიტისა და ცემენტიტის ძალიან წვრილი ფირფიტებისაგან შედგება. ამგვარად, პერლიტი, სორბიტი და ტროოსტიტი აუსტენიტის

დაშლის პროდუქტებია და მათი სტრუქტურები ერთმანეთისგან მხოლოდ ფერიტისა და ცემენტიტის ფირფიტების ზომებით განსხვავდებიან.

წყალში გაცივებისას (სიჩქარე $\approx 100 - 150^{\circ}/\text{წმ}$) აუსტენიტი $\approx 200^{\circ}\text{C}$ -მდე გადაცივდება და მაშინვე გარდაიქმნება მარტენსიტად. მარტენსიტი (ნახშირბადის გადაჯერებული მყარი ხსნარი α - რკინაში) ხასიათდება მაღალი სისაღით (62 - 66 HRC) და სიმტკიცით, მაგრამ მყიფეა.

ნახშირბადიანი ფოლადების აუსტენიტიზაციის ტემპერატურიდან სხვადასხვა სიჩქარით გაცივებისას მიღებული სტრუქტურები და მათი სისაღეების მნიშვნელობები გაერთიანებული სახით მოცემულია №8 ცხრილში.

ცხრილი №8. ნახშირბადიანი ფოლადების აუსტენიტიზაციის ტემპერატურიდან სხვადასხვა სიჩქარით გაცივებისას მიღებული სტრუქტურები და სისაღეები.

№	სტრუქტურის დასახელება	გარდაქმნა, °C		სისაღე, HRC	საცივებელი არე	გაცივების სიჩქარე
		დასაწყისი	დასასრული			
1	პერლიტი	727	≈ 600	10–20	ღუმელთან ერთად	$\approx 1^{\circ}/\text{წთ}$
2	სორბიტი	600	≈ 500	20–30	მშვიდი ჰაერი	$\approx 1^{\circ}/\text{წმ}$
3	ტროოსტიტი	≈ 500	200	30–45	ზეთი	$\approx 50^{\circ}/\text{წმ}$
4	მარტენსიტი	≈ 200	–	62–66	წყალი	$\approx 100 - 150^{\circ}/\text{წმ}$

მაღალნახშირბადიანი ფოლადების გაცივებისას აუსტენიტი ვერ ასწრებს მთლიანად გადასვლას მარტენსიტში და მისი

ნაწილი ნარჩენი აუტენიტის სახით გვხვდება სტრუქტურაში. ნარჩენი აუსტენიტი ამცირებს ფოლადის მექანიკურ თვისებებს (აუსტენიტის სისალე 170 - 220 HB-ს ზღვრებში).

აუსტენიტიზაციის ტემპერატურიდან ფოლადების გაცივება შეიძლება როგორც უწყვეტად, ისე იზოთერმულად. იზოთერმული გარდაქმნისას ფოლადს დასაწყისში სწრაფად აცივებენ, იმ ტემპერატურამდე, რომელზეც აუსტენიტის დაშლა სასურველი სტრუქტურის მიღებას უზრუნველყოფს. ამ ტემპერატურაზე გარდაქმნის დასრულებამდე დაყოვნების შემდეგ, გაცივება ხდება ოთახის ტემპერატურაზე.

ფოლადის სწრაფი გაცივებისას მიღებული სტრუქტურები არამდგრადია. გახურებისას ისინი იშლებიან. ნარჩენი აუსტენიტი გადადის მარტენსიტში. განმეორებით გახურებისას, ტემპერატურისგან დამოკიდებულებით, მარტენსიტიდან შეიძლება ტროოსტიტის, სორბიტის ან პერლიტის მიღება. ეს სტრუქტურები რამდენადმე განსხვავდებიან სწრაფი გაცივებით მიღებული სტრუქტურებისაგან და მათ, შესაბამისად, ეწოდება მოშვების მარტენსიტი, მოშვების ტროოსტიტი, მოშვების სორბიტი, მოშვების პერლიტი. ამ გარდაქმნების შედეგად ფოლადის სისალე და სიმკიფე მცირდება.

არასწორი და წარუმატებელი წრთობის შედეგების გამოსწორება ხდება მაღალტემპერატურული მოლბობით. ამ დროს ლითონი რბილდება და ვარგისია ხელახალი თერმული დამუშავებისათვის. წრთობის წუნის გამოსწორებისას, ნაკეთობის ხელახალი წრთობისათვის, გახურების ტემპერატურა რამდენადმე ნაკლები უნდა იყოს, ვიდრე ჩველებრივი წრთობისას.

იარაღის დეტალებისათვის ხშირად გამოიყენება ლოკალური წრობის მეთოდი. ამ დროს ლითონის თხელი ფურცლით (უმეტეს შემთხვევაში ეკრანად გამოიყენება 0,3 - 0,4 მმ სისქის შავი ლითონის ფურცელი) იფარება დეტალის ის ნაწილი, რომელიც არ უნდა იწროს. ლითონის თხელი ფურცელი დეტალზე მას აცილებს გამაცივებელი სითხის მკვეთრ ზემოქმედებას. ორთქლი, რომელიც წარმოიქმნება მის ქვეშ, ეწინააღმდეგება გამაცივებელი სითხის მოხვედრას დეტალის გახურებულ ზედაპირზე, სანამ საკმაოდ არ გაცივდება. ამიტომ, დეტალის დაფარული ნაწილის წრობა არ ხდება.

7.8.4 სტრუქტურული გარდაქმნები წრობისას

მარტენსიტის მიკროსტრუქტურა. ფოლადის თვისებები დამოკიდებულია მის ქიმიურ შედგენილობასა და სტრუქტურაზე. ზოგადად, ფოლადის თერმული დამუშავებისას იცვლება მისი სტრუქტურა და, შესაბამისად, თვისებები. მაგ., ქვეევტექტოიდური ფოლადების აუსტენიტურ მდგომარეობამდე (GS -ზე მაღლა) გახურებისას (სურ. 101), მთელი ნახშირბადი, რომელიც ადრე პერლიტში ქიმიური ნაერთის - ცემენტიტის კრისტალების სახით შედიოდა მთლიანად გადავა მყარი ხსნარის - აუსტენიტის შედგენილობაში, ანუ ნახშირბადის ატომები ჩაინერგება რკინის წახნაგდაცენტრებულ გისოსში. ფოლადის შემდგომი სწრაფი გაცივებისას მისი ტემპერატურა მცირდება ოთახის ტემპერატურამდე. ასეთ შემთხვევაში გარდუვალად უნდა მოხდეს რკინის ატომური გისოსის უკუგადაწყობა წახნაგდაცენტრებულიდან - მოცულობადაცენტრებულში. მაგრამ ოთახის ტემპერატურაზე ნახშირბადის ატომების ძვრადობა

მეტისმეტად მცირეა. ისინი სწრაფი გაცივებისას ვერ ასწრებენ აუსტენიტის ხსნარიდან გამოსვლას და ცემენტიტის წარმოქმნას. ასეთ პირობებში ნახშირბადი იძულებითაა შენარჩუნებული რკინის α გისოსში და ქმნის გადაჯერებულ მყარ ხსნარს. ამ დროს ნახშირბადის ატომები განამბჯენენ რკინის α გისოსს და წარმოქმნიან დიდ შიგა ძაბვებს. α გისოსი იჭიმება რომელიმე ერთი მიმართულებით ისე, რომ თითოეული კუბური გისოსი გარდაიქმნება ტეტრაგონალურად, ანუ მიიღებს სწორკუთხა პრიზმის ფორმას (სურ. 91). მარტენსიტი ხასიათდება მაღალი სიმტკიცითა და სისალით.

მარტენსიტის სიმტკიცისა და სისალის ცვლილება აიხსნება შემდეგნაირად:

I. მარტენსიტის კუთრი მოცულობა აღემატება აუსტენიტის კუთრი მოცულობას, ამიტომ აუსტენიტიდან წარმოქმნილი მარტენსიტის ფირფიტები აწვება მის ირგვლივ მყოფ გარდაუქმნელ აუსტენიტს. ამავე დროს, აუსტენიტიც თავის მხრიდან ქმნის უკუწნევას მარტენსიტის ფირფიტაზე. ამდენად, მარტენსიტულ გარდაქმნას თან ახლავს დიდი შიგა ძაბვების წარმოქმნა, რაც თავის მხრივ, მარტენსიტის კრისტალში აჩენს მრავალრიცხოვან დისლოკაციას. მარტენსიტული სტრუქტურის მქონე ფოლადის დეფორმირება იწვევს მრავალრიცხოვანი დისლოკაციის სხვადასხვა მიმართულებით მოძრაობას. ისინი ერთმანეთთან შეხვედრისას ბლოკავენ ერთმანეთს და დისლოკაციების შემდგომ გადაადგილებას ეწინააღმდეგებიან. ამგვარად, იქმნება მრავალრიცხოვანი დაბრკოლება დისლოკაციების მოძრაობისათვის, რაც თავის მხრივ, ზრდის პლასტიკური დეფორმაციის წინააღმდეგობას. შედეგად, მატულობს ფოლადის სიმტკიცე და სისალე (500 - 600 HB), პლასტიკურობის მაჩვენებლები მცირდება

(ფოლადი მყიდვება). მარტენსიტის ნემსები სამი მიმართულე-
ბით ვრცელდება და ზოგჯერ ტოლგვერდა სამკუთხედს წარ-
მოქმნის. მისი მაღალი სისალის გამო, იგი ლითონსაჭრელი
ინსტრუმენტებისათვის არის სასურველი სტრუქტურა. ძალიან
მაღალი ტემპერატურიდან წრთობა ხელს უწყობს მსხვილმარ-
ცვლოვანი მარტენსიტის წარმოქმნას, რომელიც ხასიათდება
ნაკლები სისალითა და მეტი სიმყიფით.

II. დიდი შიგა ძაბვების მოქმედებით, მარტენსიტის კრის-
ტალები ნაწევრდება ცალკეულ ბლოკებად. იდეალურ შემთხ-
ვევაში, ერთი კრისტალის საზღვრებში ატომური სიბრტყეები
ერთმანეთის პარალელური უნდა იყოს. სინამდვილეში კი,
ისინი ერთმანეთის მიმართ მცირე კუთხეებითაა მობრუნ-
ებული. ასეთი სტრუქტურა ემსგავსება მოზაიკას, რის გამოც
მის შემადგენელ ნაწილებს მოზაიკურ ბლოკებს უწოდებენ.
წარმოვიდგინოთ, ერთმანეთთან მჭიდროდ მიწყობილი რამდე-
ნიმე მარცვალი (რეალურად ასეცაა ლითონში), თითოეული
მარცვლის საზღვრებში ატომები ერთმანეთისაგან განსაზღვ-
რული მანძილებითაა განლაგებული და ქმნიან ატომურ გისოსს.
ასეთი გისოსი, თითოეულ მარცვალში, შესაძლოა ნებისმიერად
იყოს მობრუნებული რომელიღაც კუთხით. ცხადია, საზღვრის-
პირა უახლესი ატომები, რომლებიც ერთდროულად ორ მეზო-
ბელ მარცვალს ეკუთვნიან, ვერ შეძლებენ ერთმანეთისაგან
თანაბარი მანძილებით დაშორებას. ამის გამო საზღვარზე
ატომებს შორის წონასწორული ურთიერთქმედება ირღვევა და
გისოსი ამ ადგილებში მახინჯდება. გისოსის დამახინჯება, რო-
გორც წესი, ეწინააღმდეგება დისლოკაციების გადაადგილებას
და შედეგად, იზრდება სიმტკიცე და სისალე.

მარცვლის საზღვრებზე არსებული დამახინჯებებით აიხსნება წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის ფოლადის უფრო მაღალი სიმტკიცე მსხვილმარცვლოვანთან შედარებით. წვრილმარცვლოვან სტრუქტურაში მარცვლის საზღვრების რიცხვი, რომელიც დისლოკაციებს ხვდება გადაადგილების გზაზე, მეტია. შესაბამისად, მეტი წინააღმდეგობა იქმნება მათი გადაადგილებისათვის. მეორე მხრივ, თუ ვივარაუდებთ, რომ ერთნაირი დატვირთვის პირობებში, საშუალოდ, ყოველ მარცვალში დისლოკაციის ტოლი რაოდენობა წარმოიქმნება, ცხადია, ერთნაირი მოცულობის ლითონის წვრილმარცვლოვან სტრუქტურაში მეტი დისლოკაცია იქნება, ვიდრე მსხვილმარცვლოვანში. ამდენად, როგორც ერთი, ისე მეორე შემთხვევა ხელს უწყობს სიმტკიცის ამაღლებას.

7.8.5 წრთობის ძაბვები და მათი წარმოქმნის მიზეზები

წრთობის დეფექტების წარმოქმნის მიზეზია წრთობისას ფოლადში აღძრული შინაგანი ძაბვები. მათი სიდიდე, ხშირად, ისეთ ზომებს აღწევს, რომ ყოველგვარი დამატებითი ზემოქმედების გარეშე იწვევს დასამუშავებელი დეტალის დაბრეცას, ბზარების წარმოქმნას ან მთლიანობის რღვევას. ასხვავებენ სამი გვარის შინაგან ძაბვებს;

პირველი გვარის ძაბვების წარმოქმნის ერთადერთი მიზეზია წრთობისას არათანაბარი გაცივება. გაცივების დასაწყისში უფრო ჩქარა ცივდება ლითონის ზედაპირული შრეები, შინაგანი – უფრო ნელა; დეტალის თხელი ნაწილები ცივდება უფრო ჩქარა, მასიური - ნელა. როგორც წესი, ტემპერატურის შემცირებისას მცირდება (იკუმშება) სხეულის მოცულობაც, ე.ი.,

მცირდება გაცივებული გარე შრეების მოცულობა. შიგა ზონის ტემპერატურა თითქმის არ იცვლება, შესაბამისად, ზომები რჩება წინანდელი. ასეთ პირობებში ზედაპირული ზონა აწვება შიგა ზონას და იწვევს მის ყოველი მხრიდან კუმშვას. ე.ი. შიგა ზონაში აღიმკვრება მკუმშავი ძაბვები, ხოლო გარე ზონაში - გამჭიმავი. შედეგად მიიღება შეკუმშული შიგა ზონა და გაჭიმული ზედაპირული შრეები.

გაცივების შემდგომ პერიოდში მცირდება შიგა ზონის მოცულობაც. იგი ცენტრისკენ ეწევა ზედაპირულ შრეებს და ცდილობს შეამციროს მისი მოცულობა, მაგრამ უკვე გაცივებული ზედაპირული შრეები ხისტია პლასტიკური ცვლილებებისადმი - არ შეუძლია შემცირდეს მოცულობაში. ამიტომ გაცივების დასასრულს გარე ზედაპირებზე იქმნება მკუმშავი ძაბვები. ამ დროს გარე შრეებთან დაკავშირებული ლითონის შიგა ზონა ვერ ახერხებს მოცულობაში შემცირებას (მიუხედავად იმისა, რომ იგი ამისკენ ისწრაფვის). შედეგად მასში აღიმკვრება, მკუმშავ ძაბვებზე უფრო სახიფათო, გამჭიმავი შინაგანი ძაბვები. მასიური დეტალების წრთობისას, ლითონის ზედაპირულ და შიგა ზონებს შორის ტემპერატურის სხვაობით წარმოქმნილი შინაგანი ძაბვები, გარკვეული სიდიდის მიღწევის შემდეგ, იწვევენ ბზარების წარმოქმნას ან მთლიანობის რღვევას.

ცხადია, რომ პირველი გვარის ძაბვების წარმოქმნის მიზეზი არის ლითონის ტემპერატურის დაწევის ან აწევის პროცესში წარმოქმნილი მოცულებითი ცვლილებები. ამიტომ მათ თერმული ძაბვები ეწოდება;

მეორე გვარის ძაბვები წარმოიქმნება წრთობისას გამოწვეული სტრუქტურული ცვლილებებით. ცნობილია, რომ ფოლადის

სხვადასხვაგვარ სტრუქტურას სხვადასხვა კუთრი მოცულობა აქვს: მარტენსიტს - მაქსიმალური, აუსტენიტს - მინიმალური და პერლიტს - საშუალო (მათ შორის).

ფოლადის ცილინდრული დეტალის არაგამჭოლი წრთობის შემდეგ, გარე - ზედაპირულ შრეში წარმოიქმნება მარტენსიტული სტრუქტურა, ხოლო ცენტრალურში - პერლიტური. მარტენსიტის წარმოქმნისას ფოლადის მოცულობა მატულობს. ამიტომ გარე მარტენსიტული “რგოლი“ მიისწრაფის დიამეტრის გაზრდისაკენ. ამას ეწინააღმდეგება ცენტრალური ზონა, რომელიც “რგოლს“ ჭიმავს ცენტრისაკენ. შედეგად გარე მარტენსიტულ ზონაში წარმოიქმნება მკუმშავი ძაბვები, ხოლო ცენტრალურ ნაწილში, პირიქით - გამჭიმავი.

ე.ი., მეორე გვარის ძაბვების წარმოქმნაც უკავშირდება ლითონის მოცულობების ცვლილებას. ასეთი ცვლილებები, მოცემულ შემთხვევაში, სტრუქტურული გარდაქმნებითაა გამოწვეული და, მათ, შესაბამისად, სტრუქტურულ ძაბვებს უწოდებენ.

დეტალში შინაგანი ძაბვების განაწილების საბოლოო სურათი რთულია. იგი, დეტალის მოცემულ უბანზე, დამოკიდებულია, თერმული და სტრუქტურული ძაბვების თანაფარდობაზე;

მესამე გვარის ძაბვები წარმოიქმნება კრისტალურ გისოსში ატომების სწორი განლაგების დარღვევით გამოწვეული დამახინჯებებით (მაგ. დისლოკაციებით) წარმოქმნილი ძაბვების შედეგად. დისლოკაციების მიმდებარე ატომურ სიბრტყეებში ატომები დაძრულია მოცემულ გისოსში მათი განლაგების ნორმალური მდებარეობიდან. ასეთი ატომების მოწესრიგებული მდგომარეობისაკენ მისწრაფება იწვევს ატომთშორისი შინაგანი ძაბვების წარმოქმნას. ფოლადში წრთობის შემდეგ,

წარმოქმნილი მარტენსიტული სტრუქტურა შეიცავს მრავალ დისლოკაციას. მარტენსიტს, გარდა ამისა, აქვს ნახშირბადით გადაჯერებული კრისტალური გისოსი, რაც იწვევს გისოსის ნორმალური პარამეტრის ცვლილებას (გაწევას ზომებში), მის დამახინჯებას და, შესაბამისად, შინაგანი ატომთშორისი მანძილების წარმოქმნას.

უნდა აღინიშნოს, რომ შინაგანი მანძილები ფოლადში ზოგჯერ სასარგებლოა და ხელს უწყობს დეტალის სიმტკიცის ამაღლებას. ასე სასიკეთოდ მოქმედებს დეტალის ზედაპირზე არსებული მხოლოდ მკუმშავი შინაგანი მანძილები. სახელდობრ მკუმშავი მანძილები რატომ მოქმედებს სასარგებლოდ? იმიტომ, რომ დეტალის მუშაობის პროცესში მაქსიმალური მანძილები, უპირველესად, მის ზედაპირთან წარმოიქმნება. მეორე მხრივ განსაკუთრებით საშიშია გამჭიმავი მანძილები, ზედაპირზე რაიმე სახის დეფექტის არსებობისას. ამდენად, დეტალის საექსპლუატაციო თვისებების ასამაღლებლად საკმარისია ზედაპირის განმტკიცება. პრაქტიკაში იგი მიიღწევა მაღალი სიხშირის დენებით ნაკეთობის გახურებული ზედაპირის წრთობით ან ნაკეთობის ზედაპირის ქიმიურ-თერმული დამუშავებით. ორივე შემთხვევაში, ზედაპირის სიმტკიცის ამაღლებასთან ერთად, წარმოიქმნება მკუმშავი შინაგანი მანძილები.

7.8.6 წრთობისას დეტალების დეფორმაციის გამომწვევი მიზეზები

წრთობისას მოსალოდნელია დეტალების ფორმისა და ზომების ცვლილება. ანუ იცვლება დეტალის საწყისი ზომები (მექა-

ნიკური დამუშავებისას მინიჭებული ზუსტი ზომები). ლიტერატურაში წრთობისას გამოწვეული დეფორმაცია აღიწერება ტერმინით დაბრეცა - ნაკეთობის ფორმის დამახინჯება; აღსანიშნავია, რომ ფორმის ნებისმიერი ცვლილება აუცილებლად იწვევს საწყისი ზომების ცვლილებასაც.

დაბრეცას იწვევს:

–გასახურებლად ღუმელში ჩაწყობილი დეტალების საკუთარი ან სხვა დეტალების მასა;

–ღუმელში დეტალების არათანაბარი გახურება, როცა დეტალის ერთი მხარე მეორეზე სწრაფად ხურდება, მაგალითად, როცა გაქრევა ხდება ჩასატვირთი ფანჯრიდან, მაშინ ფანჯრის მხარეს დეტალის ზედაპირი ნაკლებად გახურდება და გამოიღუნება - დაიბრიცება. ამრიგად, დეტალების სწორი გახურებით დაბრეცის სიდიდე შეიძლება მინიმუმამდე იქნეს დაყვანილი;

–წრთობისას მკვეთრი გაცივებით ფოლადში გამოწვეული სტრუქტურული გარდაქმნები;

დაბრეცისა და გამრუდების აცილება, პრაქტიკულად, შეუძლებელია. მაგრამ შეიძლება მათი შემცირება მინიმალურ მნიშვნელობამდე. დაბრეცის მთავარი მიზეზი - არათანაბარი გაცივება წრთობისას - იწვევს მოცულობის არათანაბარ ცვლილებას, რაც, თავის მხრივ, აჩენს დაბრეცის გამომწვევ შინაგან ძაბვებს. საწრთობ სითხეში დეტალის ჩაშვების დროს, დასაწყისში, ჯერ ჩაიძირება ქვედა ნაწილი, ხოლო შემდეგ - ზედა. იმ მომენტში, როდესაც ქვედა ნაწილი აღმოჩნდება მაცივებელ არეში, ზედა ნაწილი მისი ზედაპირის (მაცივებელი არის) ზევით იქნება. მოხდება ქვედა ნაწილის მოცულობითი შკუმშვა და დეტალი

დეფორმირდება (ღერო მოიღუნება). შემდგომ, როდესაც მაცივებელში ზედა ნაწილიც ჩაიძირება, ისიც ეცდება მოცულობაში შემცირებას - შეკუმშვას და ღეროს მეორე მხარეს გაღუნვას. მაგრამ მისი გამართვა არ მოხდება, რადგან ლითონი ამ დროისათვის უკვე გაცივებულია და დაკარგული აქვს წინანდელი პლასტიკურობა. ნათელია, დაბრეცის შემცირება შეიძლება თუ საწრთობ სითხეში ღეროს ჩაშვება მოხდება ვერტიკალურად.

შედარებით უმნიშვნელოა სტრუქტურული გარდაქმნებით გამოწვეული ზომების ცვლილება. იგი დამოკიდებულია ფოლადში ნახშირბადის შემცველობაზე (მაგ., გამჭოლი წრთობისას ნახშირბადის შემცველობის ამაღლება 0,1%-ით იწვევს მოცულობის გაზრდას მხოლოდ 0,1%-ით). მიუხედავად ამისა, ზუსტი დეტალების დამზადების დროს, ზომების ასეთი მცირე ცვლილებაც კი დაუშვებელია. ასეთ შემთხვევებში, ზოგჯერ, „უდეფორმაციო“ წრთობას იყენებენ. ასეთი დასახელება, ბუნებრივია, პირობითია, რადგან დეფორმაციის სრულად აცილება, პრაქტიკულად, შეუძლებელია. შესაძლებელია მხოლოდ მისი შემცირება სასურველ მინიმუმამდე.

უდეფორმაციო წრთობამდე, პერლიტური სტრუქტურის მქონე დეტალი მუშავდება მექანიკურად ზუსტ ზომებამდე. საწრთობად გახურების პროცესში პერლიტი გადადის აუსტენიტში. წრთობის შემდეგ აუსტენიტური სტრუქტურის სრულად შენარჩუნების შემთხვევაში, დეტალის მოცულობა საწყის მოცულობაზე ნაკლები გახდება, მაგრამ თუ აუსტენტი წრთობისას სრულად გარდაიქმნება მარტენსიტად, მაშინ - მეტი. წრთობის დროს მარტენსიტისა და ნარჩენი აუსტენიტის განსაზღვრული რაოდენობრივი თანაფარდობის მიღწევისას, დეტალის საწყისი მოცულობა და, მაშასადამე, მისი ზომებიც არ იცვლება. ნარჩენი

აუსტენიტის რეგულირება მიიღწევა წრთობის ტემპერატურისა და გაცივების სიჩქარის ცვლილებით. ნახშირბადიან ფოლადებში ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობის რეგულირება არის რთული, ხოლო ლეგირებულ ფოლადებში - გაცილებით მარტივი.

მარტენსიტზე წრთობისას მოცულობის მატება ყველა მიმართულებით ზომების მატებას არ იწვევს. მაგ., გრძელი ცილინდრული სხეულის წრთობისას მცირდება დიამეტრი (განსაკუთრებით ცენტრში), ხოლო სიგრძე მატულობს. ცილინდრების წრთობისას, რომელთა სიმაღლე ნაკლებია დიამეტრზე, პირიქით, მცირდება სიმაღლე და მატულობს დიამეტრი. ზოლოვანა და ფურცელი მატულობს სიგანესა და სისქეში, ხოლო სიგრძე, ზოგჯერ, მცირდება.

თერმული ძაბვები ცდილობენ ნაკეთობის ფორმა მიუახლოონ სფეროს ფორმას. დეფორმაციის საერთო სურათი იმდენად რთულია, რომ მრავალ შემთხვევაში, წრთობის შემდეგ დეტალის ზომის ყველა შესაძლებელი ცვლილების წინასწარ განჭვრეტა შეუძლებელია და საკითხი უნდა გადაწყდეს ექსპერიმენტულად.

7.8.7 ფოლადის წრთობის დეფექტები

მარტენსიტის უდიდესი კუთრი მოცულობის გამო (ფოლადის სხვა გარდამავალ სტრუქტურებთან შედარებით), მარტენსიტზე ნაწრთობი ნაკეთობის საერთო მოცულობა მკვეთრად იზრდება. ამ დროს წარმოქმნილი შინაგანი ძაბვები, თავის მხრივ, იწვევენ ნაკეთობის დეფორმაციას ან, ზოგჯერ, ბზარის წარმოქმნას. დეფექტების წარმოქმნის მიზეზები ფოლადის წრთობისას არ

განსხვავდება დეფექტების წარმოქმნის დამახასიათებელი და განმსაზღვრელი საერთო მიზეზებისაგან (ცხრილი № 9) თერმული დამუშავებისას.

ამ პარაგრაფში განხილული იქნება კონკრეტულად დეტალების საწრთობად გახურების და წრთობის პროცესში ინიცირებული ძირითადი დეფექტები: წრთობის ბზარები, გადახურება, ნაკეთობის დეფორმაცია და დაბრეცა, ჟანგვა და გაუნახშირბადოება, რბილი ლაქები, ფერიტის არასრული გახსნა და დაბალი სისალე.

წრთობის ბზარი არის შედეგი დეტალში მნიშვნელოვანი სიდიდის შინაგანი ძაბვების წარმოქმნისა. ბზარების წარმოქმნის (ან გამრუდების) მთავარი მიზეზია: ნაკეთობის გახურების მეტისმეტად მაღალი სიჩქარე ან წრთობის კრიტიკულ სიჩქარეზე გადაჭარბებული სიჩქარით გაცივება. გახურებისას დეტალის მოცულობა არათანაბრად იცვლება, განსაკუთრებით მკვეთრი გაცივებისას (მარტენსიტზე წრთობისას მოცულობა მატულობს).

დაუშვებელია დიდი სიჩქარით გახურება (გაცივება) ისეთი დეტალების, რომლებიც განივკვეთების მკვეთრი ცვლილებებით (ზედაპირების მკვეთრი გადასვლებით), უხეში კაწრულებით, მახვილი კუთხეებით, თხელი კედლებით და ა.შ. ხასიათდებიან.

წრთობის ბზარები, ჩვეულებრივ, დეტალების (ან ინსტრუმენტების) კუთხეებშია განთავსებული და რკალური ან კლაკნილი ფორმა აქვთ. წრთობის დეფექტების უმეტესობა არათანაბარი გახურებისას წარმოიქმნება. დეტალის კიდეებიდან ან კუთხეებიდან გამოსული ბზარები მიუთითებენ

არათანაბარ გახურებაზე, ხოლო ვერტიკალური ბზარები ან მუქი კვლები (ნალარები) - გადახურებაზე.

ამაღლებული ტემპერატურიდან მსხვილმარცვლოვანი აუსტენიტის წრთობისას მიიღება მსხვილნემსისებრი მარტენსიტი და ნაკეთობა მომატებული სიმყიფით ხასიათდება. ბზარები ჩნდება იმ შემთხვევაში, როცა დეტალის ცალკეულ ადგილას (მოცულობის არათანაბარი ცვლილებით) წარმოქმნილი ძაბვების სიდიდე გადააჭარბებს სიმტკიცის მაჩვენებლებს იმავე ადგილას. ზოგჯერ ნაწრთობ ნაკეთობებში ბზარები წარმოიქმნება დავარგების პროცესში. ბზარწარმოქმნის თავიდან აცილებას ხელს უწყობს წრთობის შემდეგ დროული მოშვება. აქედან გამომდინარე, წრთობა და იმავდროულად მოშვება უნდა ჩატარდეს ისეთი რეჟიმით, რომლის დროსაც წარმოქმნილი ძაბვები დარჩება დასაშვები ნორმის ფარგლებში.

ძაბვების შემცირების საუკეთესო მეთოდი არის ნაკეთობის ნელი გაცივება მარტენსიტული გარდაქმნის M_s ტემპერატურის სიახლოვეს. დეტალების კონსტრუირებისას აუცილებელია იმის გათვალისწინება, რომ წრთობისას შინაგანი ძაბვების სიდიდეს ზრდის მახვილი კუთხეები და განივკვეთების მკვეთრი ცვლილება. დიდი ზომის შტამპებში ბზარების გაჩენა ზეთში წრთობის დროსაც არ გამოირიცხება. ამდენად, მიზანშეწონილია შტამპები (დიდი ზომის ნაკეთობები) გაცივდეს 150 - 200°C-მდე და დაუყოვნებლივ ჩაუტარდეს მოშვება.

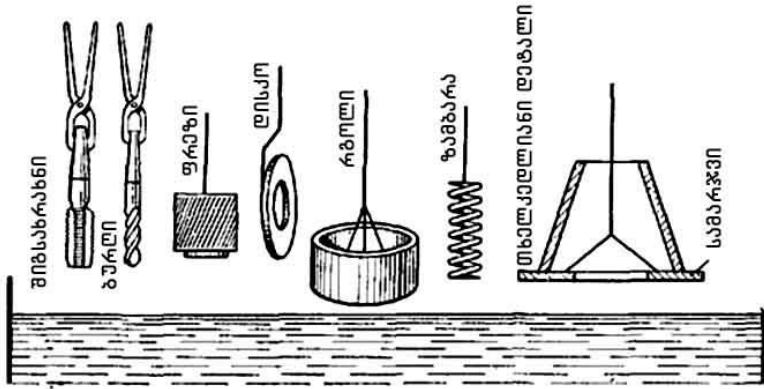
წრთობის ბზარი თერმული დამუშავების პროცესში წარმოქმნილი გამოუსწორებელი წუნია.

გადახურებას იწვევს ფოლადის ნაკეთობის განსაზღვრულ (დასაშვებ) ტემპერატურაზე მაღლა გახურება და ამავე ტემპერატურაზე ხანგრძლივი დაყოვნება. ამ დროს მარცვალი სწრაფად იზრდება და წრთობის შემდეგ წარმოიქმნება მსხვილნემისისებრი მარტენსიტი, რომელიც ხასიათდება ძალიან მაღალი სიმყიფით და მნიშვნელოვნად აუარესებს მექანიკურ თვისებებს.

დეფექტი სწორდება განმეორებითი წრთობით. წრთობამდე გადახურებულ ნაკეთობას უნდა ჩაუტარდეს მოლბობა, მარცვლის დასაწვრილმანებლად.

დეფორმაცია და დაბრეცა ხდება არათანაბარი სტრუქტურული და მასთან დაკავშირებული მოცულობითი ცვლილებისას. იგი მიუთითებს გახურება/გაცივების პროცესში გაჩენილ შინაგან ძაბვებზე ლითონში. წრთობისას არათანაბარი გახურების/გაცივების დროს შესაძლებელია დეტალების დაბრეცა უმნიშვნელო მოცულობითი ცვლილებისას. თუ მცირე კვეთის გრძელ დეტალს ერთი მხრიდან გავახურებთ/გავაცივებთ, მაშინ ის მოიღუნება, გახურებული მხარე დაგრძელდება და ამოიბურცება, საწინააღმდეგო მხარე კი ჩაიზნიქება. საწრთობ არეში დეტალებისა და ინსტრუმენტის ჩაძირვის დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს მათი ფორმა და ზომები. თხელი და სქელი ნაწილების მქონე დეტალები საწრთობ გარემოში სქელი მხრიდან უნდა ჩავუშვათ, გრძელი დეტალები - მკაცრად ვერტიკალურად, ხოლო თხელი დეტალები - წიბოთი (სურ. 102).

დეფორმაციისა და დაბრეცის აცილების საუკეთესო გზაა ნელი გაცივება (საფეხუროვანი ან იზოთერმული წრთობა) მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალში.



სურ. 102. დეტალების მდგომარეობა საწრთობ ავზში ჩაშვებისას

დეტალის ზედაპირის ჟანგვა და გაუნახშირბადოება ხდება, ძირითადად, საწრთობად გახურებისას. ჭარბი წყლის ორთქლის, ნახშირჟაგის ან წყალბადის შემცველ გარემოში ფოლადის ნაკეთობების გახურებისას, ნაკეთობების ზედაპირული შრეებიდან ამოიწვება ნახშირბადი, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ფოლადის სიმტკიცეს. გაუნახშირბადოებული შრიანი, სრული ან დიდი სიღრმის შეწრთობადობის მქონე საიარალო ფოლადების ნაკეთობების წრთობისას მათ ზედაპირებზე 1,0 - 2,0 მმ სიღრმის ბზარები წარმოიქმნება. მათი წარმოქმნის მიზეზი არის გაუნახშირბადოებულ შრეში წარმოქმნილი მარტენსიტის ნაკლები მოცულობის დაბალნახშირბადიან და გულის მაღალნახშირბადიან მოცულობებს შორის სხვაობით გამოწვეული გამჭიმავი ძაბვები. გაუნახშირბადოება, როგორც ბზარების წარმოქმნის მაპროვოცირებელი პროცესი, საშიშია ნახშირბადის ამაღლებული (> 0,5 %) შემცველობის ფოლადებისათვის. ამ დროს დეტალის ზედაპირულ შრეებთან აქტიურად ურთიერთ-

ქმედებენ ღუმლის აირები და გამდნარი მარილები. ეს დეფექტები განსაკუთრებით არასასურველია მჭრელი იარაღებისათვის. ისინი რამდენიმეჯერ ამცირებენ იარაღის მედეგობას.

ჟანგვისა და გაუნახშირბადოების აცილება შეიძლება თერმული დაუშავების რეჟიმის მკაცრად დაცვით, აგრეთვე დეტალების გახურებით ნეიტრალური აირების (აზოტი, არგონი) გარემოში ან კარგად განჟანგული მარილის აბაზანაში.

რბილი ლაქები არის დეტალებისა და ინსტუმენტების წრთობისას მათ ზედაპირებზე წარმოქმნილი შემცირებული სისალის უბნები. მათი არსებობა მიანიშნებს არათანაბარ გახურებაზე ან არათანაბარ გაცივებაზე. ისინი წარმოიქმნებიან საწრთობ გარემოში წრთობისას, როცა დეტალის ზედაპირის ცალკეული უბნები დაფარულია ჟანგეულების ფურჩით, გაუნახშირბადოებული შრით, ან ჭუჭყით. აგრეთვე იმ შემთხვევებში, როცა გამაცივებელ გარემოში საწრთობი დეტალის ჩაძირვა არ ხდება ინტენსიური მოძრაობით და დეტალის ზრედაპირზე წარმოიქმნება ორთქლის პერანგი (ამ დროს რბილ ლაქებთან ერთად არ გამოირიცხება ბზარების წარმოქმნაც); როცა გამაცივებელ გარემოში დეტალის უბრალოდ ჩაგდებისას დეტალის და აბაზანის ძირი (გვერდები) ერთმანეთს ეხება.

ფოლადის წრთობის ძირითადი დეფექტები მოცემულია №9 ცხრილში.

ცხრილი № 9. ფოლადის წრთობის ძირითადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დაზარალება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
არასაკმარისი სისალე.	<p>1. ქვევტექტოიდური ფოლადების გახურება A_3 –ზე დაბლა. სტრუქტურაში რჩება ფერიტი.</p> <p>2. ზეევტექტოიდური ფოლადების გახურება A_{cm} –ზე მაღლა. სტრუქტურაში რჩება მეტი ნარჩენი აუსტენიტი და არ არის ცემენტისტი.</p> <p>3. გაცივების არასაკმარისი სიჩქარე. სტრუქტურაში არის ტროოსტისტი.</p>	<p>განმეორებითი წრთობა. განმეორებითი წრთობა. შეცვალოს გამაცივებელი არე ან წრთობის მეთოდი. შეიცვალოს (გაიზარდოს) წრთობის სიჩქარე.</p>
ზზარები.	<p>გადაჭარბებული სიჩქარით გაცივება მარტენსიტულ ინტერვალში.</p>	<p>შეიცვალოს გამაცივებელი არე ან წრთობის მეთოდი. შემცირდეს წრთობის სიჩქარე.</p>

ცხრილი № 9-ის გაგრძელება

<p>წრობის ბზარები.</p>	<p>სტრუქტურული გარდაქმნისას მოცულობის სწრაფი მატებით აღძრული წრობის დაბეჭედი.</p>	<p>დეფექტის არიდება: 1.საკონსტრუქციო ნახშირბადიანი ფოლადის ნამზადებისათვის: ა) იზოთერმული წრობა გამდნარ გვარჯილაში 450 - 500°C ტემპურატურაზე; ბ) საფეხუროვანი (წყვეტილი) წრობა -300 - 200°C-მდე ჯერ წყალში გაცივება, შემდეგ - ზეთში; გ) წრობა თვითმოშვებით - 250 - 200°C-მდე გაცივება წყალში, შემდეგ - 600°C-მდე ზედაპირის თვითგახურებამდე დაყოვნება ჰაერზე და შემდგომ წყალში ჩაგდება; დ) უწყვეტი წრობა სრულ გაცივებამდე 5 - 10%-იან NaCl ან KOH-ის 50 - 60 °C-იან წყალხნარებში; ე) წრობა ზეთში. 2. ნაკეთობები საიარალო ნახშირბადიანი ფოლადებისაგან: ა) საფეხუროვანი (წყვეტილი) წრობა - გაცივება წყალში 200°C-მდე, შემდეგ ზეთში გადატანა ან ნული მოშვება; ბ) საფეხუროვანი წრობა 180 - 200°C-მდე გახურებული გვარჯილის ნაღონებში და შემდეგ ჰაერზე (8 მმ-მდე დიამეტრის იარაღები).</p>
------------------------	---	---

ცხრილი № 9-ის გაგრძელება

<p>3. სწრაფმჭრელი ფოლადების შემცველი (ЭИ-184, ЭИ-260 და ა.შ.) საიარაღო ფოლადებისათვის ჰაერზე გაცივება 1000 - 950°C-მდე და საფეხუროვანი წრთობა 450 - 550°C ტემპურატურაზე გამდნარ გვარჯილაში.</p>		
<p>დეფექტის გამოსწორება: ნორმალზაცია ან მოლზობა, შემდგომ ნორმალური ტემპურატურიდან წრთობა.</p>	<p>წრთობის ნორმალურ ტემპურატურაზე დაბალ ტემპურატურამდე გახურება.</p>	<p>უკმარ(გა)ხურება. ნახშირბადიანი ან ლეგირებული ფოლადები სგან დამზადებული ნაკეთობების არასაკმარისი სისალე. სწრაფმჭრელი ფოლადისგან დამზადებული ნაკეთობების ამადლებული სისალე წრთობის შემდეგ და დადაბლებული ნორმალური მომეგების შემდეგ.</p>

ცხრილი № 9-ის გაგრძელება

<p>გადახურება. მსხვილ-ნემსებრი სტრუქტურა და მსხვილკრისტალური რღვევის რელიეფი. დაბალი პლასტიკური თვისებები.</p>	<p>წროობის ნორმალურ ტემპერატურაზე ზევით გახურება.</p>	<p>დეფექტის გამოსწორება: ნორმალიზაცია ან მოღობვა. შემდგომ ნორმალური ტემპერატურიდან წროობა.</p>
<p>ლაქოვანი წროობა. დეტალის ზედაპირზე დადაბლებული სისალის უბნები (რბილი ადგილები).</p>	<p>საწროობ არეში არასწორი ჩამირეა წროობისას ნაკეთობის ზედაპირის ცალკეულ ადგილებზე ორთქლის დაგროვება. საწროობ არეში გაცივების მცირე სიჩქარე 650 - 500°C ტემპერატურულ ინტერვალში. პირველად კრისტალიზაციასთან დაკავშირებით გამოსავალი (საწყისი) სტრუქტურის არაეთვაროვნება. წროობისადმი ფოლადის მცირე მგრძობელობა. ადგილობრივი გაუნახშირბადოება.</p>	<p>დეფექტის არიდება: ნორმალიზაცია შემდგომი წროობით 5 - 10%-იან NaCl-ის წყალხსნარში ან უშუალოდ წროობა იგივე ხსნარში. დეფექტის გამოსწორება: ნორმალიზაცია და წროობა 5 - 10%-იან NaCl-ის წყალხსნარში.</p>
<p>ამღლებული სიმკიფე.</p>	<p>ქვევტექტიდიური ფოლადების გადახურება, მარცვლის ძლიერი ზრდა. ზემეტექტიდიური ფოლადების საწყის სტრუქტურაში ცემენტის ზადის არსებობა.</p>	<p>განმეორებითი წროობა. წროობის წინ ჩატარდეს ნორმალიზაცია</p>

ცხრილი № 9-ის გაგრძელება

<p>სწრაფმჭრელ ფოლა-დებში ნაუტალინისებ-რი რღვევის რელიეფი. მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურა. მსხვილ-კრისტალური რღვევის რელიეფი გზინებით.</p>	<p>ქიდეის ან გლინვის დასრულება 1100°C-ზე მაღლა ან მეორეული წრითობა წინასწარი მოღობის გარეშე.</p>	<p>დეფექტის არიდება: ქიდეის ან გლინვის დასრულება 1100°C-ზე დაბლა. მეორეული წრითობის წინ მოღობვა. დეფექტის გამოსწორება: ახალ პროფილზე გადაჭედვა.</p>
<p>დეფორმაცია (ზომების ცვლილება).</p>	<p>პლასტიკური დეფორმაციის გამომწვევი თერმული ძაბვები. 650 - 500°C ტემპერატურულ ინტერვალში და 300°C ტემპერატურაზე დაბლა პლასტიკური დეფორმაციის გამომწვევი სტრუქტურული გარდაქმნები.</p>	<p>დეფექტის არიდება: წრითობის ტემპერატურის დადაბლება და გაცივების სიჩქარის შეცვრა. ბუნებრივად წვრილმარცვლოვანი ან სპეციალური ლევირებული ფოლადის გამოყენება. იზოთერმული ან საფეხურივანი წრითობა.</p>
<p>დაბრევა (გრძელი და თხელი ნაკეთობების გამრუდება).</p>	<p>წრითობისათვის გახურებამდე ნაკე-თობაში არსებული შინაგანი ძაბვები; ნაკეთობის ნაწილების არათანაბარი გახურება და გაცივება. სტრუქტურული გარდაქმნები 300°C ტემპერატურაზე დაბლა.</p>	<p>დეფექტის არიდება: წრითობის წინ მაღალი მოშევა (600 - 650°C), თანაბარი გახურება და გაცივება წრითობისას. დეფექტის გამოსწორება: გამართვა.</p>

ცხრილი № 9-ის გაგრძელება

<p>(და)ჟანგვა. ხენჯის მნიშვნელოვანი შრე ნაწრობი ნაკეთობის ზედაბიზუე</p>	<p>მჟანგავი ატმოსფერო ლუმენში წრთობისათვის გახურებისას.</p>	<p>დეფექტის არიდება: აღმდგენი, ნეიტრალური ან დამცავი ატმოსფეროს მქონე ლუმენში გახურება. ნაკეთობების არჩარებული გახურება. მშრალნახშირიან, ნამუშევარ კარბიურიზატორიან ან თუჯისბურბუმელიან ყუთებში გახურება. მარილის ან ტყვიის აზაზანებში გახურება.</p>
<p>გაუნახშირბადოება (ნახშირბადის ამოწვა ნაკეთობის ზედაბირულ შრეებში). ძლიერი გაუნახშირბადოება და ზედაბირის დაჟანგვა.</p>	<p>მჟანგავი ატმოსფერო ლუმენში წრთობისათვის გახურებისას. მომატებული დაყოვნების ხანგრძლივობა გახურებისას.</p>	<p>დეფექტის არიდება: აღმდგენი, ნეიტრალური ან დამცავი ატმოსფეროს მქონე ლუმენში გახურება. ნაკეთობების არჩარებული გახურება. მშრალნახშირიან, ნამუშევარ კარბიურიზატორიან ან თუჯისბურბუმელიან ყუთებში გახურება. მარილის ან ტყვიის აზაზანებში გახურება. შემცირდეს დაყოვნების ხანგრძლივობა.</p>
<p>ეროზია (ზედაპირიდან ლითონის წატაცვით ნაკეთობის ზომების შემცირება ან მათი პროფილის დამახინჯება).</p>	<p>ქლორიანი მარილების ქიმიური მომედება და ლითონის ჟანგვა მარილის აზაზანებში გახურებისას.</p>	<p>არიდების ზომები: მარილის აზაზანების განჟანგვა ნახშირით ან ფეროსილიციუმით.</p>

ცხრილი № 9-ის გაგრძელება

<p>ამოკმა (ნაკეთობის ზედაპირის წერტილოვანი ან დარღუებისებრი დაზიანებები).</p>	<p>მარილის აბაზანებში გახურებისას: გოგირდმჟავა მარილების ამალღებული შედგენილობა. აბაზანის გამდიდრება ჰაერის ჟანგბადით და რკინის ჟანგეულებით. ქლორიანი მარილების ქიმიური მოქმედება.</p> <p>ტყვიის აბაზანაში გახურებისას: ტყვიის კანგეულების წარმოქმნა.</p> <p>ალიან ლუმლებში გახურებისას: ხენჯის არათანაბარი წარმოქმნა.</p>	<p>დეფექტის არიდება: სახურებელი მარილების შედგენილობის გულმოდგინე კონტროლი. მარილის აბაზანების განყანგვა ნახშირით, ფეროსილიციუმით.</p> <p>ტყვიის აბაზანის სარკეზე ხის ნახშირის ან ადვილმდნადი მარილის დაყრა.</p>
---	--	--

დაბალი სისალე, უმეტესად, ინსტრუმენტების წრთობისას მიიღება. ამის მიზეზები შეიძლება იყოს: არასაკმარისი სიჩქარით გაცივება, წრთობის დაბალი ტემპერატურა ან არასაკმარისი დაყოვნება.

დეფექტი სწორდება დეტალის მაღალი მოშვებით და სწორი რეჟიმით განმეორებითი წრთობით.

ფერიტის არასრული გახსნა. უკმარ(გა)ხურებული დეტალის წრთობისას მიიღება არასაკმარისი სისალე. იგი წრთობის დეფექტის ერთ-ერთი სახეა. ეს დეფექტი წარმოიქმნება გახურების არასაკმარისი ტემპერატურიდან (მაგ., ქვეევტექტოიდური ფოლადის $< A_{c3}$ -ზე გახურებისას) წრთობისას ან გაცივების კრიტიკულ სიჩქარეზე ნაკლები სიჩქარით გაცივებისას.

დეფექტის გამოსწორება შესაძლებელია მოლბობით და სწორი რეჟიმით განმეორებითი წრთობისას.

7.9 ფოლადის მოშვება

7.9.1 ფოლადის მოშვების არსი

ნაწრთობი ფოლადი ხასიათდება არამდგრადი სტრუქტურით, მაგრამ შენადნობში ყოველგვარი ტემპერატურული ზემოქმედების გარეშე (ოთახის ტემპერატურაზე), მიმდინარეობს პროცესები, რომლებიც მას წონასწორულ მდგომარეობასთან აახლოებს. ტემპერატურის ამაღლება ზრდის ატომების ძვრადობას, აჩქარებს გარდაქმნებს და ნაწრთობი ფოლადი წონასწორულ მდგომარეობას უფრო სწრაფად უახლოვდება. მარტენსიტზე ნაწრთობი შენადნობის (არამდგრადი მარტენსიტული

მდგომარეობის) თერმულ დამუშავებას, რომელიც A_{c1} ტემპერატურაზე დაბლა ერთი ან მრავალჯერადი გახურებით, დაყოვნებით და შემდგომი გაცივებით ტარდება, მოშვება ეწოდება. მოშვება არის მეორეული ოპერაცია, რომელიც ტარდება ყოველთვის წრთობის შემდეგ. ამ დროს ხდება მყარი ხსნარის დაშლა, მარტენსიტის მობრუნება და რეკრისტალიზაცია. მოშვებას, რომელიც ოთახის ტემპერატურაზე ხანგრძლივი ან მასზე უმნიშვნელოდ ამაღლებულ ტემპერატურაზე იზოთერმული დაყოვნებით ხდება, დაძველება ეწოდება.

მოშვება ფოლადის თერმული დამუშავების საბოლოო ოპერაციაა. მისი მიზანია ნაკეთობაში მოთხოვნილი მექანიკური თვისებების კომპლექსის მიღება და წრთობის ძაბვების სრული ან ნაწილობრივი მოხსნა.

მოშვების დროს ნაწრთობ ფოლადში მიმდინარე გარდაქმნებისას, მარტენსიტი იშლება და წარმოიქმნება უფრო წონასწორული სტრუქტურულ-ფაზური შედგენილობა, ანუ მცირდება სტრუქტურის არაწონასწორობის ხარისხი (შინაგანი ძაბვები) და ხდება მისი საბოლოო ფორმირება. ამ გარდაქმნების ინტენსიურობა და შედეგები დამოკიდებულია მოშვების ტემპერატურაზე. გახურების ტემპერატურის ამაღლებით, ჩვეულებრივ, მცირდება სისალე და სიმტკიცის მახასიათებლები, მაგრამ მაღლდება სიბლანტე და პლასტიკურობა.

გახურების ტემპერატურის რეგულირებით შესაძლოა მოშვების მარტენსიტის, მოშვების ტროოსტიტისა და მოშვების სორბიტის მიღება. აღსანიშნავია, რომ აუსტენიტისა და მარტენსიტის დაშლით მიღებული ფერიტ-ცემენტიტის ნარევები ერთმანეთისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება. აუსტენიტის დაშლისას

მიღებული ფერიტ-ცემენტიტის ნარევეში (წრთობის ტროოსტიტი ან წრთობის სორბიტი) ცემენტიტი ფირფიტოვანია, ხოლო 400°C-ზე ზევით მარტენსიტის დაშლისას, ნარევეში, ცემენტიტი მარცვლოვანია. ფერიტ-ცემენტიტის ნარევეში ცემენტიტის განსხვავებული ფორმები განსაზღვრავს თვისებათა სხვადასხვაობას. წერტილოვანი სტრუქტურის უპირატესობა მგომარეობს სიმტკიცისა და პლასტიკურობის უფრო ხელსაყრელ შეხამებაში. ერთი და იმავე ქიმიური შედგენილობისა და ერთი და იმავე სისაღისას, წერტილოვანი სტრუქტურის მქონე ფოლადს, ფირფიტოვანი სტრუქტურის მქონე ფოლადთან შედარებით, უფრო მაღალი ფარდობითი შევიწროება, დარტყმითი სიბლანტე, წაგრძელებისა და დენადობის ამალღებული ზღვარი აქვს.

გახურების ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით მოშვება სამი სახისაა: დაბალტემპერატურული, საშუალოტემპერატურული და მაღალტემპერატურული.

I. ნაწრთობ ფოლადს ძაბვების მოსახსნელად და მარტენსიტის სიმყიფის რამდენადმე შესამცირებლად უტარდება დაბალტემპერატურული (დაბალი) მოშვება 150 - 250 °C ტემპერატურულ ინტერვალში გახურებით. ამ დროს მარტენსიტის გადაჯერებული გისოსი ნაწილობრივ თავისუფლდება ნახშირბადის ატომებისაგან, რკინის კარბიდი (მცირე რაოდენობით) იწყებს გამოყოფას და მცირე ჯგუფებად იყრის თავს. გარკვეული სიდიდით იხსნება წრთობის ძაბვები. სისაღე რამდენადმე (მცირედ) მცირდება, პლასტიკურობა და სიბლანტე მაღლდება. მიღებულ სტრუქტურას მოშვების კუბური მარტენსიტი ეწოდება. ამრიგად, მოშვების პირველი გარდაქმნის შე-

დეგად მიიღება მოშვების მარტენსიტი. იგი წარმოადგენს არა-ერთგვაროვანი კონცენტრაციის გადაჯერებული α -მყარი ხსნარისა და ჯერ კიდევ α - მყარი ხსნარიდან არგამოცალკევებული (α -მყარ ხსნართან კოჰერენტულად დაკავშირებული) კარბიდის ნაწილაკების ჰეტეროგენულ ნარევს. დაბალი მოშვება უტარდება, ძირითადად, საიარალო ფოლადებისაგან დამზადებულ საჭრელ, საზომ ინსტრუმენტებსა და ცვეთაზე მომუშავე დეტალებს (ცივად შტამპვის შტამპებს), რომლებსაც მაღალი სისალე, ცვეთამედეგობა და სიბლანტის მცირე მარაგი მოეთხოვება.

II. საშუალოტემპერატურული (საშუალო) მოშვება ტარდება ძაბვების მოსახსნელად და შედარებით ბლანტი სტრუქტურის მისაღებად. გახურების ტემპერატურა არის 250 - 450°C-ი. ასეთ ტემპერატურებზე მთავრდება მარტენსიტის დაშლა. წარმოიქმნება შედგენილობითა და შინაგანი აღნაგობით ნორმალური ფერიტი და ცემენტიტი. დიფუზიური პროცესების არასაკმარისი ინტენსიურობის გამო, ისინი ზომებში მატებას ვერ ახერხებენ. ასეთ სტრუქტურას მოშვების ტროოსტიტი ეწოდება. საშუალო მოშვება უზრუნველყოფს დრეკადობის, სიმტკიცისა და დაღლილობის ზღვრების მაღალ მნიშვნელობებს. ამ დროს მიიღება მაღალი სისალის (40 - 45 HRC), დრეკადობისა და სიბლანტის კარგი შეხამება. ასეთი დამუშავება გამოიყენება ზამბარებისა და რესორების ტიპის ნაკეთობებისათვის, რომლებსაც დრეკადობის მაღალ ზღვართან შეხამებული, დამაკმაყოფილებელი, სიბლანტე მოეთხოვებათ.

III. მაღალტემპერატურული (მაღალი) მოშვება (გახურების ტემპერატურა 450 - 650°C) ტარდება პლასტიკური თვისებების, დარტყმითი სიბლანტის, ნარჩენი სიმტკიცისა და სისალის

ოპტიმალური შეხამების მისაღწევად. გახურების ასეთ პირობებში, დიფუზიური პროცესების გააქტიურებისას, ფერიტის მარცვლები მსხვილდება, რასაც თან ახლავს დისლოკაციების სიმკვრივის შემცირება და ნარჩენი ძაბვების სრული აცილება. მაღალი მოშვებისას მარტენსიტის დაშლით მიღებულ პროდუქტს (ცემენტიტის მარცვლოვანი აღნაგობით) მოშვების სორბიტი ეწოდება. ასეთი დამუშავების შემდეგ ფოლადი ხასიათდება მაქსიმალური სიბლანტით. ამ დროს მიიღება საკმაოდ მაღალი სისალისა (20 - 30 HRC) და დარტყმითი სიბლანტის კარგი შეხამება. ასეთი კომპლექსი იდეალურია დინამიკური დატვირთვების პირობებში მომუშავე მანქანათა ნაწილებისათვის. ამ უპირატესობის გამო, ორმაგ დამუშავებას, რომელიც წრთობასა და მაღალ მოშვებას ათავსებს, უწოდებენ გაუმჯობესებას.

კონკრეტული დეტალისადმი (მისი ფუნქციონალური და საექსპლოატაციო დანიშნულებიდან გამომდინარე) მოთხოვნილი სიმტკიცის მისაღწევად ხდება მოშვების ტემპერატურის შერჩევა. ამასთან, მოშვების პროცესში მნიშვნელოვანია საჭირო ტემპერატურაზე საკმარისი დროით დაყოვნების უზრუნველყოფა. პროცესის მთლიანი ხანგრძლივობა 30 - 60 წუთია. მოშვების ტემპერატურიდან ნაკეთობის გაცივების სიჩქარეს არსებითი მნიშვნელობა არ აქვს. მხოლოდ ზოგი მარკის (მოშვების სიმყიფისადმი მიდრეკილი) ლეგირებული ფოლადებისათვის იყენებენ აჩქარებულ გაცივებას (წყალში ან ზეთში).

დაძველება არის მექანიკური დამუშავების შედეგად ლითონში აღძრული ძაბვების მოხსნის პროცესი. იგი მდგომარეობს 120 - 160 °C ტემპერატურამდე ნაკეთობის ნელ გახურებასა და ამ ტემპერატურაზე დაყოვნებაში. დაძველება, უპირატესად,

გამოიყენება დამზადების პროცესში პირველადი (შავი) ხეხვის დროს დეფორმაციისადმი მიდრეკილი დეტალებისათვის.

7.9.2 ფოლადის მოშვების დეფექტები

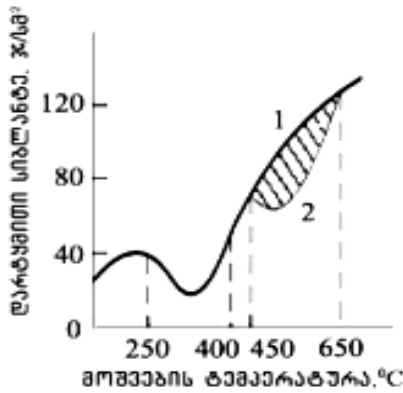
მოშვების პროცესში ფოლადი რამდენადმე რბილდება და ნაკლებად მყიფე ხდება. მოშვებისას გახურების ტემპერატურა დამოკიდებულია ფოლადის შედგენილობაზე და ნაკეთობის დაგეგმილ პირობებში გამოყენებაზე. მოშვების ტემპერატურის მიღწევისა და ამ ტემპერატურაზე დაყოვნების შემდეგ ნაკეთობების გაცივება, უპირატესად, სათავსოს ტემპერატურამდე ხდება.

მოშვების ძირითადი დეფექტები არის მოთხოვნილზე დაბალი ან მაღალი სისალისა და სიმტკიცის მაჩვენებლები, აგრეთვე მოშვების სიმყიფე.

დაბალი სისალე და სიმტკიცე. მოშვების ტემპერატურაზე გადაჭარბება იწვევს სისალისა და სიმტკიცის მაჩვენებლების შემცირებას და იმავდროულად წაგრძელებისა და დარტყმითი სიბლანტის მაჩვენებლების მატებას. დეფექტი სწორდება მოლბობით და დადგენილი რეჟიმის დაცვით ხელახალი წრთობა-მოშვებით.

მაღალი სისალე და სიმტკიცე. მოშვებისას უკმარგახურება იწვევს სისალისა და სიმტკიცის მაჩვენებლების მომატებას, იმავდროულად პლასტიკურობისა და დარტყმითი სიბლანტის მაჩვენებლების შემცირებას. დეფექტი სწორდება დადგენილი რეჟიმის დაცვით ჩატარებული ხელახალი სწორი მოშვებით.

მოშვების სიმყიფე. ჩვეულებრივ, ნაწრთობი ფოლადის მოშვების ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მატულობს დარტყმითი სიბლანტის მაჩვენებელი (სურ. 103). არსებობენ გარკვეული შედგენილობის ფოლადები, რომლებიც აღნიშნულ კანონ-ზომიერებას არ ექვემდებარებიან. განსაზღვრულ ტემპერატურაზე ასეთი ფოლადების გახურებისას დარტყმითი სიბლანტე მცირდება. ფოლადების ამ დეფექტს მოშვების სიმყიფე ეწოდება. პრაქტიკაში გამოყოფენ ორი გვარის მოშვების სიმყიფეს:



სურ. 103. მოშვების ტემპერატურის გავლენა ლეგირებული ფოლადების დარტყმით სიბლანტეზე:

1. სწრაფი გაცივება; 2. ნელი გაცივება

პირველი გვარის მოშვების სიმყიფე შეინიშნება ფოლადების 300°C-ის მახლობლად მოშვებისას (სურ. 103). იგი არ არის დამოკიდებული მოშვების შემდგომი გაცივების სიჩქარეზე. ეს მოვლენა უკავშირდება მოშვების მარტენსიტის არათანაბარ გარდაქმნას. პროცესი მიმდინარეობს უფრო სწრაფად მარცვლის საზღვრების მახლობლად, ვიდრე მარცვლის მოცულობის

სიღრმეში. შედეგად, მარცვლის საზღვრებთან იქმნება ძაბვები და მყიდება საზღვრები. I გვარის მოშვების სიმყიფე შეუქცევია, ანუ იმავე დეტალების განმეორებითი გახურებისას ეფექტი არ შეინიშნება.

მეორე გვარის მოშვების სიმყიფე ახასიათებს ლეგირებულ ფოლადებს. იგი ვლინდება 450 - 650°C-ზე მოშვების შემდეგ ნელი გაცივებისას. მაღალი მოშვებისას, მარცვლის საზღვრებზე ხდება წვრილდისპერსიული კარბიდების ჩანართების წარმოქმნა და გამოყოფა. საზღვრის მიმდებარე ზონა ღარიბდება ნახშირბადით და მალეგირებელი ელემენტებით. შემდგომი ნელი გაცივებისას ხდება ფოსფორის დიფუზია მარცვლის საზღვრებისაკენ და საზღვრისპირა ზონები მდიდრდება ფოსფორით. მცირდება სიმტკიცე და დარტყმითი სიბლანტე. ამ ეფექტს ხელს უწყობს ქრომი, მანგანუმი და ფოსფორი. II გვარის მოშვების სიმყიფეს ამცირებს მოლიბდენი და ვოლფრამი, აგრეთვე სწრაფი გაცივება მოშვების ტემპერატურიდან.

მეორე გვარის მოშვების სიმყიფე შექცევადია. დეფექტური ფოლადების განმეორებით გახურებისას და საშიშ ტემპერატურულ ინტერვალში ნელი გაცივებისას, შეიძლება დეფექტი განმეორდეს. ამრიგად, II გვარის მოშვების სიმყიფისადმი მიდრეკილი ფოლადების დამუშავება 650°C-მდე გახურებით, შემდგომი სწრაფი გაცივების გარეშე, არ შეიძლება.

დეფექტების აცილების ღონისძიებებია თერმული დამუშავების რეჟიმის ზედმიწევნით დაცვა. შესაბამისი დაყოვნების შემდეგ ნაკეთობის წყალში ან ზეთში გაცივება.

ისე, როგორც ნებისმიერი ტემპერატურული ზემოქმედებისას, ფოლადის მოშვების პროცესშიც გარკვეული სახის დეფექტები ყალიბდება. ცხრილი (№10).

ცხრილი № 10. ფოლადის მოშვების ძირითადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
უკმარმოშვება. ნახშირბადიანი და ლეგირებული ფოლადებიდან დამზადებული ნაკეთობების ამალღებული სისალე და დადაბლებული პლასტიკური თვისებები. სწრაფმჭრელი ფოლადიდან დამზადებული იარაღების დადაბლებული სისალე.	დადაბლებული ტემპერატურა ან არასაკმარისი დაყოვნება.	დეფექტის გამოსწორება: განმეორებით მოშვება ნორმალურ ტემპერატურაზე საკმარისი დაყოვნებით.
გადამეტმოშვება. დადაბლებული სისალე, სიმტკიცისა და დრეკადობის დაბალი ზღვრები.	მოშვება ნორმალურ ტემპერატურაზე მაღლა.	დეფექტის გამოსწორება: მოლობა, შემდეგ წრთობა, ნორმალურ ტემპერატურაზე მოშვებით

<p>მციფე მოშვება. მოშ- ვებული (მოცემულ ტემპერატურულ ინტერვალებში მოცე- მული კლასის) ფოლადების დაბალი დარტყმითი სიბ- ლანტე: ა) 250 – 350 °C -ზე ნახშირბადიანი, სილიციუმიანი, ნიკელიანი და სილიციუმნიკელიანი ფოლადები; ბ) 325 - 425 °C -ზე - მანგა- ნუმიანი და სილი- ციუმმანგანუმიანი ფოლადები; გ) 275 - 325 და 475 - 575 °C-ზე ქრომიანი და ქრომნიკელიანი ფოლადები.</p>	<p>კრიტიკული ხარისხის დისპერსიულობის კარბიდული ჩანასახების გაჩენა- კოაგულაცია და ნარჩენი აუსტენიტის გარდაქმნა.</p>	<p>დეფექტის გამოსწორება: მოღობობა, შემდეგ წრთობა, სიმციფის ტემპერატურულ ინტერვალზე უფრო მაღალ ან დაბალ ტემპერატურებზე მოშვებით.</p>
---	--	---

<p>მოშვების სიმყიფე (გაცივების სიჩქარი-სადმი მგრძნობელობა მოშვებისას). დაბალი დარტყმითი სიბლანტე, ქრომიანი, ქრომნიკელიანი, მანგანუმიანი და ქრომმანგანუმიანი (ქრომის ან მანგანუმის 1%-ზე მეტი შემცველობისას), ფოლადების 400 - 600°C ტემპერატურული ინტერვალიდან (ჩვეულებრივ $\approx 525^{\circ}\text{C}$) მოშვებისა და ნელი გაცივების შემდეგ.</p>	<p>მარცვლების საზღვრებზე მაღალდისპერსიული კარბიდების, ოქსიდების, ფოსფიდებისა და ნიტრიდების გამოყოფა მოშვების სიმყიფის ტემპერატურული ინტერვალიდან, ნელი გაცივების ან ხანგრძლივი დაყოვნებისას ამავე ტემპერატურებზე.</p>	<p>დეფექტის არიდება: ა) მოშვების შემდეგ წყალში ან ზეთში გაცივება. შემდგომ, შინაგანი ძაბვების მოსახსნელად, გახურება 300 - 350°C-ზე; ბ) მოშვება 400°C-ზე დაბლა; გ) 0,3 - 0,5% Mo ან Ti, Nb შემცველობის ფოლადის გამოყენება. დეფექტის გამოსწორება: განმეორებით მოშვება 400 - 600°C ტემპერატურებზე წყალში ან ზეთში გაცივებით და შემდგომ, შინაგანი ძაბვების მოსახსნელად, გახურება 300 - 350°C-ზე.</p>
---	---	--

7.10 საიარალო ფოლადების თერმული დამუშავება

7.10.1 საიარალო ფოლადების თერმული დამუშავების თავისებურებები

საიარალო ფოლადებისადმი განსაკუთრებული ინტერესებიდან გამომდინარე, მოკლედ განვიხილოთ მათი თერმული დამუშავების ზოგადი თავისებურებები. ისინი, ძირითადად, განკუთვნილია მჭრელი და საზომი იარაღების, ცივი და ცხელი დეფორმირების შტამპებისა და ზოგი ზუსტი მექანიზმებისა და ხელსაწყოების დეტალების დასამზადებლად. ასეთი ფოლადებისაგან, ხშირად, ინსტრუმენტის მხოლოდ მუშა (მჭრელი) ნაწილი მზადდება, ხოლო სამაგრ ნაწილებად საკონსტრუქციო ფოლადებს იყენებენ. საიარალო ფოლადების მრავალგვარი კლასიფიკაციიდან, მათი დანიშნულებისა და თავისებების მიხედვით, საყურადღებოა თბომედეგობის მიხედვით კლასიფიკაცია.

დანიშნულების მიხედვით საიარალო ლეგირებული ფოლადები სამ ძირითად ჯგუფად იყოფა: ფოლადები მჭრელი, საშტამპე და საზომი ინსტრუმენტებისთვის.

მუშაობის პროცესში მჭრელი საიარალო ფოლადების მჭრელი პირი (მუშაობს იარაღის მჭრელი პირის ვიწრო ზოლი) დიდ კუთრ დატვირთვას განიცდის. მუშაობის მძიმე პირობებში (ჭრის მაღალი სიჩქარე, სქელი ბურბუმელა) იგი ძლიერ ხურდება მექანიკური ენერგიის სითბურ ენერგიად გარდაქმნისა და აკუმულაციის შედეგად. ამიტომ, ასეთ ფოლადებს მოეთხოვება მაღალი სისალე (>60 HRC-ზე), ცვეთამედეგობა და წითელმედეგობა (სისალის შენარჩუნება ტემპერატურის ხანგრძლივი ზემოქმედებისას).

საზომი საიარაღო ფოლადების (ფილების, კალიბრების, შაბლონების) მუშაობის პირობები ახლოსაა მჭრელი ფოლადის ჭრის მსუბუქი რეჟიმის პირობებთან. ამ დროს მუშა ზედაპირები მნიშვნელოვნად ნაკლებ კუთრ დატვირთვას განიცდიან. მაღალი სისალისა და ცვეთამედეგობის გარდა, მათ მოეთხოვება ზომების სტაბილურობა და ხეხვით დამუშავების მაღალი უნარი. აღნიშნულ აუცილებელ მოთხოვნებს უზრუნველყოფს სიცივით დამუშავება (-60°C-მდე, იშვიათად მრავალჯერადად) და უშუალოდ წრთობის შემდეგ დაბალი (120 - 130°C) მოშვება.

მუშაობის პროცესში, საშტამპე ფოლადები შედარებით დიდ ფართობზე, მნიშვნელოვან სითბურ და დარტყმით დატვირთვებს განიცდიან. აქედან გამომდინარე, ისინი სამუშაო ტემპერატურაზე, სისალისა და სიბლანტის კარგი შეხამებით უნდა ხასიათდებოდნენ.

მაღალ საექსპლუატაციო თვისებებთან ერთად, საიარაღო ფოლადებს მოეთხოვება შემდეგი ტექნოლოგიური თვისებები: მაღალი შეწრთობადობა, წრთობისას მცირე მოცულობითი ცვლილებები, წნევითა და ჭრით დამუშავებადობა, ასევე ხეხვის მაღალი უნარი.

სხვადასხვა სახის იარაღის დასამზადებლად სხვადასხვა ტიპის ფოლადი გამოიყენება (სალი შენადნობები საიარაღო მასალების განსაკუთრებული ჯგუფია). საიარაღო ფოლადები დაყოფილია ოთხ კატეგორიად: დაბალი (დადაბლებული) შეწრთობადობის, ამალლებული შეწრთობადობის, საშტამპე და სწრაფმჭრელი.

– დაბალი შეწრთობადობის ჯგუფში გაერთიანებულია ნახშირბადიანი ყველა საიარაღო ფოლადი ($Y7 \div Y13$) და მცირე რაოდენობით მალეგირებული ელემენტების შემცველი (მაგ. ,X05,

X06, 65XΦ, 85XΦ და სხვ.) ფოლადები. წყალში წრთობის მიუხედავად, ასეთი ფოლადებიდან დამზადებული იარაღების გული, რბილია, იგი არ იწრთობა. მათი შეწრთობადობა ხუთბალიანი სკალით კონტროლდება. პრაქტიკით დადგენილია, რომ საუკეთესო შედეგები მიიღწევა, როდესაც “უწრთობი” გულის სისალე 40 - 45 HRC-ს ზღვრებშია. უფრო მაღალი სისალისას მოსალოდნელია ზედაპირული ბზარების წარმოქმნა, ხოლო მცირე სისალისას, გარდამავალ ზონაში - შინაგანი რგოლური ბზარების. გულის სისალე დამოკიდებულია არა მარტო შეწრთობადობაზე, არამედ ნაკეთობის გეომეტრიულ ზომებზეც. ამ ფაქტორის გათვალისწინებით, მოცემული კვეთის ნაკეთობისათვის შეწრთობადობის შესაბამისი ბალის მქონე ის ფოლადი უნდა შეირჩეს, რომლის გულიც სასურველ (40 - 45 HRC) სისალეს უზრუნველყოფს.

ნახშირბადიანი საიარაღო ფოლადების თერმული დამუშავების რეჟიმები და მათი თვისებები დამოკიდებულია, უმთავრესად, ნახშირბადის შემცველობაზე. ისინი აღწერილია მრავალ სპეციალურ ცნობარში და, ამდენად, ამ საკითხების განხილვის აუცილებლობა არ არის.

– ამაღლებული შეწრთობადობის საიარაღო ფოლადების ჯგუფი აერთიანებს, ძირითადად, 1 - 3 % მალეგირებელი ელემენტების შემცველ შენადნობებს. ლეგირებისას, შეწრთობადობის გაუმჯობესებასთან ერთად (ინსტრუმენტები ზეთში გაცივებისას იწრთობა გამჭოლად), მალღდება სისალე, ცვეთამედეგობა და მოშვებისადმი მდგრადობა.

– ამაღლებულ რეჟიმებში - ჭრის მაღალი სიჩქარეებისა და დიდი კუთრი დატვირთვის პირობებში - მომუშავე მჭრელი იარაღების

დასამზადებლად სწრაფმჭრელი ფოლადები გამოიყენება. ისინი უნდა ხასიათდებოდნენ მაღალტემპერატურული სისალისა და წითელმედეგობის მაღალი მაჩვენებლებით. სწრაფმჭრელი ფოლადების დამუშავება, ძირითადად, აერთიანებს: სხმული ნამზადების ჭედვას, მოღობობას, წროობასა და მრავალჯერად (უმეტესად სამჯერად) მოშვებას (ზოგჯერ სიცივით დამუშავებას). წროობის შემდეგ მიიღება ჰეტეროგენული სტრუქტურა-მარტენსიტი + კარბიდები + ნარჩენი აუსტენიტი. მოშვება იწვევს ნარჩენი აუსტენიტის მარტენსიტში გადასვლას და დისპერსიულ გასალეებას.

პოპულარული სწრაფმჭრელი ფოლადების თერმული დამუშავების ტექნოლოგიები დეტალურადაა შესწავლილი და ლიტერატურის მოძიება მკითხველისათვის არ იქნება რთული. აღვნიშნავთ მხოლოდ, რომ თერმული დამუშავების რეჟიმების შერჩევისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს მალეგირებელი ელემენტების გავლენა Ar_1 -ზე, Ar_3 -ზე, აუსტენიტის გადაცივების ხარისხსა და მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალზე.

ჩვენ ყურადღებას გავამახვილებთ მხოლოდ სწრაფმჭრელი ფოლადების წითელმედეგობაზე. ლითონის გახურებისას, როგორც წესი, სისალე მცირდება. სტრუქტურული ცვლილების გარეშე, სისალის ვარდნა შექცევადი პროცესია - ნაკეთობის საწყის ტემპერატურამდე გაცივებისას საწყისი სისალეც აღდგება, ხოლო სტრუქტურული ცვლილებისას მიმდინარე სისალის ვარდნა კი შეუქცევადია. ამ დროს საწყის ტემპერატურაზე დაბრუნებისას, სისალე საწყისზე ნაკლები იქნება. შეუქცევადი სტრუქტურული ცვლილებისადმი წინაღობის მიხედვით ახასიათებენ შენადნობის წითელმედეგობას.

ნაწრობი ნახშირბადიანი ფოლადების მარტენსიტის მაღალი სისალე ნახშირბადის Fe_α -ში გახსნით აიხსნება. მოშვებისას, მარტენსიტიდან გამოიყოფა კარბიდების უწყვილესი ნაწილაკები. გამოყოფის პირველ სტადიაზე ($\approx 200^\circ\text{C}$ -მდე მოშვებისას), კარბიდები წვრილდისპერსულ მდგომარეობაშია და სისალე მნიშვნელოვნად არ იკლებს. ტემპერატურის მატებისას კარბიდული გამონაყოფები იზრდება და სისალე სწრაფად ეცემა.

მაღალ ტემპერატურებზე გახურებისას სისალის შესანარჩუნებლად საჭიროა ფოლადის ლეგირება კარბიდების კოაგულაციის შემაფერხებელი კარბიდწარმოქმნელი ელემენტებით. ფოლადში მალეგირებელი ელემენტით წარმოქმნილი სპეციალური კარბიდი ნახტომისებრად ზრდის წითელმედეგობას. სპეციალური კარბიდი, როგორც წესი, მარტენსიტიდან გამოიყოფა და, რკინის კარბიდთან შედარებით, უფრო მაღალ ტემპერატურებზე კოაგულირდება. ამ დროს საჭირო ხდება როგორც ნახშირბადის, ისე მალეგირებელი ელემენტის დიფუზია. პრაქტიკულად, Cr-ის, W-ის, Mo-ის, V-ის და სხვა მალეგირებელი ელემენტების კარბიდების კოაგულაცია იწყება $>500^\circ\text{C}$ ტემპერატურიდან. საიარალო ფოლადებს საჭირო თვისებებს კარბიდული ფაზები ანიჭებენ. შენადნობის სიმტკიცისა და სისალის მაღალ მაჩვენებლებს მათი სახე, ფორმა და რაოდენობა განაპირობებს (თერმული დამუშავების შემდეგ P18-ში კარბიდების რაოდენობა 25 - 30, ხოლო P6M5-ში 22% -ია).

ამრიგად, წითელმედეგობის მაღალი მნიშვნელობის მისაღებად კარბიდწარმოქმნელი მალეგირებელი ელემენტების ის რაოდენობაა აუცილებელი, რომელიც სპეციალური კარბიდების ($Me_6C, MeC, Me_{23}C_6$) წარმოქმნის გარანტიას იძლევა.

საიარაღო ფოლადებიდან დამზადებულ ინსტრუმენტებს ამა თუ იმ თვისების (მაგ., განმამტკიცებელი ან კოროზიული მედეგობის ასამაღლებელი) მისანიჭებლად დამატებითი დამუშავება უტარდება. მჭრელი თვისებების გასაუმჯობესებლად იარაღის მჭრელი ზედაპირი იფარება განმამტკიცებელი დანაფარით - ტიტანის ნიტრიდით. წრაფმჭრელი ფოლადებიდან დამზადებული ზოგი სახის ინსტრუმენტი დაბალტემპერატურული ციანირებით მუშავდება. ამ შემთხვევაში, ნაწრობი და მოშვებული ინსტრუმენტი დამატებით მუშავდება მოკლე ხანგრძლივობით თხევად ციანოვან მარილებში 520 - 580 °C ტემპერატურებზე. ამ დროს აზოტითა და ნახშირბადით წარმოქმნილი რამდენიმე მიკრონიანი შრე სისალეს მნიშვნელოვნად (1000 - 1100 HV-მდე) ზრდის და, აქედან გამომდინარე, ინსტრუმენტის ცვეთამედეგობას ამაღლებს. კოროზიული მედეგობის ასამაღლებლად ნაკეთობა ორთქლით მუშავდება. ორთქლის ატმოსფეროში გახურებისას, მზა ინსტრუმენტის ზედაპირზე წარმოქმნილი რკინის ჟანგის თხელი მაგნიტური ფირი ინსტრუმენტზე ბურბუშელის მიკვრას გამოორიცხავს.

7.10. 2 საიარაღო ფოლადების ვაკუუმურ-თერმული დამუშავების თავისებურებები

თანამედროვე საწარმოებში სულ უფრო მზარდი ტემპით ინერგება საიარაღო ფოლადების ვაკუუმურ-თერმული დამუშავების ტექნოლოგია. იგი ინსტრუმენტის თერმული დამუშავების კლასიკური ტექნოლოგიის (საწრობად ინსტრუმენტის გახურება მარილის აბაზანებში) უახლესი ალტერნატივაა. ასე-

თი დამუშავებისას შრომატევადი სამუშაო (მარილის ნარჩენებიდან ნაკეთობის ზედაპირის გაწმენდისა და შემდეგ განმამტკიცებელი დანაფარის, მაგალითად, ტიტანის ნიტრიდის, დასატანად ზედაპირის მომზადების აუცილებლობა) გამოირიცხება.

მარილის ნარევეში გახურების მაღალი სიჩქარე ნაკეთობის ზედაპირსა და გულს შორის მაქსიმალურ ტემპერატურულ გრადიენტს ქმნის. ამ დროს წარმოქმნილი თერმული ძაბვები კი ინსტრუმენტის დეფორმირებას იწვევს. ამასთან, გახურების მაღალი სიჩქარე აუსტენიტიზაციისას და შემდეგ წრთობისას, განაპირობებს ნაირმარცვლოვნობას. მარილის ნარევეებში დამუშავებისას ნაკეთობის ზედაპირულ შრეში ხდება მალეგირებელი ელემენტების კარგვა და ნაწილობრივი გაუნახშირბადოება. ვაკუუმურ ელექტროდუმღებში ეს მოვლენები პრაქტიკულად გამორიცხულია.

ვაკუუმურ-თერმული დამუშავების მეთოდის პოპულარობასა და მაღალი ხარისხის ინსტრუმენტების წარმოებას განაპირობებს ამ დამუშავების პროცესების პარამეტრების სრული დაცვა და კონტროლი. ავტომატიზაციისა და კონტროლის სისტემების მაღალ დონეზე განხორციელების შესაძლებლობების გამო, პრაქტიკაში, ვაკუუმურ-თერმული ელექტროდუმღები წრთობისთვის საუკეთესოდ ითვლება.

განვიხილოთ ვაკუუმურ-თერმული დამუშავების ზოგადი თავისებურებები:

გახურება. ვაკუუმურ ღუმლებში საიარაღო ფოლადების თერმული დამუშავება მრავალსაფეხურიანი გახურებით იწყება.

დაბალლეგირებული საიარაღო ფოლადებისთვის - ორსაფეხურიანი, სწრაფმჭრელი ფოლადისთვის - სამსაფეხურიანი, ხოლო მსხვილგაბარიტიანი ან გარდამავალი განივკვეთის მქონე ინსტრუმენტებისთვის - ოთხსაფეხურიანი გახურება რეკომენდებული.

გარკვეული საფეხურებით ნელი შეთბობა ამცირებს მრავალი საიარაღო ფოლადისათვის (დაბალი სითბოგამტარობის გამო) დამახასიათებელ მგრძობიარობას თბური დარატყემებისადმი. ნაკეთობაში თერმული გრადიენტის შემცირება ადაბლებს ფოლადების მიდრეკილებას დასკდომისადმი. უმრავლესი საიარაღო ფოლადისათვის აუცილებელია წინასწარი გახურების რეჟიმის შერჩევა. შეთბობის ტემპერატურა A_{c1} -ზე ოდნავ ნაკლები უნდა იყოს, ხოლო დაყოვნების ხანგრძლივობამ, მთელ განივკვეთზე, ტემპერატურის გათანაბრება უნდა უზრუნველყოს. იარაღის კრიტიკულ ტემპერატურაზე მაღლა შემდგომი გახურება და დაყოვნება მასალის მოცულობაში ტემპერატურის ერთგვაროვან ცვლილებას ახდენს და, შესაბამისად, ნაკეთობის დეფორმაცია მცირდება.

დაბალლეგირებული ფოლადებიდან დამზადებული იარაღების შეთბობის პირველი საფეხურის ტემპერატურად - 600°C , ხოლო სწრაფმჭრელი ფოლადებისათვის - 850°C არის რეკომენდებული. იმის გამო, რომ ნაკეთობაში სითბო ზედაპირიდან სიღრმისკენ ვრცელდება, ინსტრუმენტის ზედაპირის ტემპერატურა, გულის სრულად შეთბობამდე, გამხურებელი ელემენტების ტემპერატურაზე დაბალი რჩება. ამავე დროს, დაყოვნების ხანგრძლივობამ უნდა უზრუნველყოს ინსტრუმენტის ზედაპირის, გულისა და გამხურებელი ელემენტების ტემპერატურების გათანაბრება. პრაქტიკულად, პირველი შეთბობის

დაყოვნების ხანგრძლივობა 2-ჯერ აღემატება აუსტენიტიზაციისათვის დაყოვნების ხანგრძლივობას.

სწრაფმჭრელი ფოლადების პირველი შეთბობა 850°C-მდე და შემდეგ მისი დაყოვნება ამ ტემპერატურაზე ხდება, მაღალ ტემპერატურამდე, გახურების დროისა და ძაბვების შესამცირებლად.

სწრაფმჭრელი ფოლადიდან დამზადებული მცირე ზომის ნაკეთობების მჭიდროდწყობილი ჩანატვირთვისა და 20 მმ-ზე მეტი სისქის (დიამეტრის) მქონე ნაკეთობებისათვის აუცილებელია ინსტრუმენტების 1050°C-მდე გახურების მეორე საფეხური.

გახურების მეორე საფეხური საბოლოო გახურების დაყოვნების ხანგრძლივობას ამცირებს.

საიარაღო ფოლადების შეთბობა, მიწოდების მოღობილი მიკროსტრუქტურიდან, აუსტენიტში გადასვლისას მოცულობით ცვლილებებს იწვევს. მარილის აბაზანებში გახურებისას, გარდამავალი კვეთის დეტალებში, არაერთგვაროვანი მოცულობითი გარდაქმნები და, აქედან გამომდინარე, მათი დეფორმირება გაუკონტროლებლად ხდება. ასეთი მოვლენების აცილება შესაძლებელია ვაკუუმურ ელექტროლუმლებში გახურებისას. ამ შემთხვევაში გარდამავალი კვეთის მსხვილგაბარითული ინსტრუმენტი, დამატებით, 400 - 450 °C ტემპერატურამდე უნდა შეთბეს.

აუსტენიტიზაცია. ვაკუუმურ ღუმლებში თერმული დამუშავებისას, აუსტენიტიზაციის მიზანი არის კარბიდის ნაწილა-

კების სრული ან ნაწილობრივი გახსნა აუსტენიტში და მალე-გირებული ელემენტების შემდგომი დიფუზია რკინის მატრიცაში. ამდენად, აუსტენიტიზაციის ტემპერატურის შერჩევა, უმთავრესად, საიარალო ფოლადის შედგენილობით განისაზღვრება.

ვაკუუმურ ღუმლებში და მარილის აბაზანაში აუსტენიტიზაციის პირობები ერთმანეთისგან განსხვავდება. დადგენილია, რომ მაღალლეგირებული აუსტენიტის მისაღებად, ვაკუუმურ ღუმლებში ნელი გახურება, პირველადი კარბიდების გახსნის ხელსაყრელ პირობებს ქმნის. გარდა ამისა, მარილის აბაზანაში გახურებასთან შედარებით, წრთობის ზედა ზღვრული ტემპერატურა შეიძლება 20 - 30 °C-ით შემცირდეს, ხოლო სწრაფმჭრელი ფოლადის მიკროსტრუქტურის ნაირმარცლოვნება 15 - 20 %-ით.

წრთობა. აუსტენიტიზაციის პროცესში მალეგირებული ელემენტების აუცილებელი გადანაწილების მიღწევის შემდეგ, მარტენსიტული გარდაქმნის უზრუნველსაყოფად, საჭიროა საიარალო ფოლადის სწრაფი გაცივება. საიარალო ფოლადის უმეტესობის მარტენსიტული გარდაქმნა 315 - 95 °C ტემპერატურულ ინტერვალში ხდება. საიარალო ფოლადის სრული განმტკიცებისათვის გაცივების სიჩქარე, ყოველი კონკრეტული მაცივებელი არისთვის (ვაკუუმი, გაზი - აზოტი, საწრთობი ზეთი), მისი ქიმიური შედგენილობით განისაზღვრება. მაღალლეგირებული საიარალო ფოლადები ზღვრულ სიმტკიცეს გაცივების მცირე სიჩქარეებისას აღწევენ. მცირე სიჩქარეები, როგორც წესი, იარადის დაბრეცისა და დასკდომისადმი მინიმალურ მიდრეკილებასთან ერთად, ოპტიმიზებულ მიკროსტრუქტურასა და სისაღეს უზრუნველყოფენ.

საიარაღო ფოლადის ნებისმიერი მეთოდით გაცივებისას, საბოლოო მარტენსიტული სტრუქტურა “საგანგებოდ” მყიფე და დამაბულია. ნაწრთობი ფოლადი შესაძლოა შეიცავდეს გაუხსნელ ჭარბ კარბიდებსა და ნარჩენ აუსტენიტს. სტრუქტურაში აუსტენიტის არსებობა არის არასასურველი, რადგან ის აუარესებს მექანიკურ თვისებებს და არღვევს იარაღის გეომეტრიული ზომების სტაბილურობას. ამის ასაცილებლად, უშუალოდ წრთობის შემდეგ (არაუმეტეს 15 - 30 წუთისა), აუცილებელი არის მოშვება.

მოშვება. წრთობის შემდეგ მოშვება, მყიფე მარტენსიტის ძაბვების მოხსნასთან ერთად, ამცირებს ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობას. საიარაღო ფოლადების უმეტესობას მოშვების ტემპერატურის საკმაოდ დიდი არე (ინტერვალი) აქვს. პრაქტიკულად რეკომენდებულია აუცილებელი სისალის მისაღებად დასაშვები მოშვების ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობა. მოშვებისას, ინსტრუმენტის გახურება-გაცივების სიჩქარე არ არის კრიტიკული. მოშვებებს შორის, სასურველია, ნაკეთობა $\approx 65^{\circ}\text{C}$ -მდე, ხოლო საბოლოოდ კი ოთახის ტემპერატურამდე გაცივდეს.

საიარაღო ფოლადების მოშვების ტემპერატურაზე დაყოვნების ხანგრძლივობის გამოსათვლელი ემპირიული წესი არსებობს. ამ წესის მიხედვით, მოშვების ტემპერატურამდე მთლიან მოცულობაში გახურებული ინსტრუმენტის ყველაზე დიდი განიკვეთის ყოველ 2,5 სმ სიღრმეზე (სისქეზე) აიღება ერთსაათიანი დაყოვნება, მაგრამ არანაკლებ ორი საათისა ზომებისაგან დამოუკიდებლად.

მაღალლეგირებული საიარალო ფოლადების მრავალჯერადი მოშვება მიღებული მეთოდია. ნარჩენი აუსტენიტის მარტენსიტში სრულად გარდასაქმნელად და წრთობისას წარმოქმნილი შინაგანი ძაბვების მაქსიმალურად მოსახსნელად, ისინი ორჯერად ან სამჯერად მოშვებას საჭიროებენ. ეს ფოლადები პირველი მოშვების შემდეგ მაქსიმალურ სისალეს ავლენენ და იწოდებიან მეორად გასალებად ფოლადებად. მაგრამ ერთჯერადი მოშვება ვერ უზრუნველყოფს ნარჩენი აუსტენიტის მთლიანად გადასვლას მარტენსიტში. მეორე და მესამე მოშვების მიზანი არის ამ გარდაქმნის ინტენსიფიკაცია და სასურველ სამუშაო დონემდე სისალის შემცირება.

7.10.3 საიარალო ფოლადების თერმული დამუშავების დეფექტები

საიარალო ფოლადების წრთობისას წარმოქმნილი დეფექტებისა და მათი აცილების ღონისძიებები მოცემულია № 11 ცხრილში.

საიარალო ფოლადების მოშვების დეფექტები და მათი გამომწვევი მიზეზები არის შემდეგი:

– დადაბლებული სისალე – მაღალ ტემპერატურაზე ხანგრძლივი დაყოვნება;

ცხრილი # 11. საიარალო ფოლადების თერმული დამუშავების ძირითად დეფექტები და მათი აცილების ღონისძიებები

წუნის სახე	წუნის მიზეზები	აცილების ღონისძიებები
გარეგანი და შინაგანი ბზარები (ლითონის გარეგანი და შინაგანი წყვეტები).	არასწორი შერჩევა საწრთობი არის.	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა.
	არადროული მოშვება.	დროის მონაკვეთის შემცირება წრთობასა და მოშვებას შორის.
	მკვეთრი წრთობა.	საფეხუროვანი წრთობა ან წყვეტილი გაცივება ორ არეში.
	საშიში ადგილების არასაკმარისი დაცვა წრთობისას.	ნაპირებთან ნახვრეტების ასბესტით იზოლირება.
	სხვადასხვა კვეთისა და რთული კონფიგურაციის დეტალები.	დეტალზე გეომეტრიული ზომების მკვეთრი გადასვლების შემცირება ან ლიკვიდაცია.
ძლიერი ჟანგვა (მნიშვნელოვანი სისქის ხენჯი დეტალის ზედაპირზე).	გახურება მჟანგავ ატმოსფეროში	გახურება კონტროლირებულ ატმოსფეროში
	გახურებისას დაყოვნების დროის გადამეტება	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
გაუნახშირბადოება (ზედაპირიდან ამოწვა).	გახურებისას დაყოვნების დროის გადამეტება	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა

ცხრილი # 11-ის გაგრძელება

შემოდნობა.	გახურების ძალიან მაღალი ტემპერატურა	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
	გახურებისას დაყოვნების დროის გადამეტება	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
მსხვილმარცვლოვანი მიკროსტრუქტურა.	მოცემულ ტემპერატურაზე მაღლა გახურება	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
	დაყოვნების დროის გადამეტება	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
ქვისებრი რღვევის რელიეფი.	დადგენილ ტემპერატურაზე მაღლა გახურება	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
ნაფტალინისებრი რღვევის რელიეფი (მსხვილკრისტალური მბრწყინავი რღვევის რელიეფი).	განმეორებითი წრთობა წინასწარი მოღობობის გარეშე	მოღობობა განმეორებითი წრთობის წინ
დადაბლებული სისალე.	საწრთობი არის არასწორი შერჩევა	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
	წრთობისას მოცემულ ტემპერატურაზე დაბლა გახურება	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
	მოშვებისას მოცემულ ტემპერატურაზე მაღლა გახურება	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
	წრთობისას არასაკმა-რისი დროით დაყოვნება	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა

ცხრილი № 11-ის გაგრძელება

ამაღლებული სისალე.	გახურების ტემპერატურის დადაბლება მოშვებისას	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
	დაყოვნების არასაკმარისი დრო მოშვებისას	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
	გაცივების ამაღლებული სიჩქარე	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
არათანაბარი სისალე.	საწროთობ არეში არასწორი ჩაძირვა. დეტალის არასაკმარისი მოძრაობა გამაცივებელ არეში.	პროცესის ტექნოლოგიის დაცვა
	ადგილობრივი გაუნახშირბადოება. საწყისი სტრუქტურის არაერთგვაროვნობა	არამუანგავი გახურების გამოყენება
მექანიკური თვისებების შეუსაბამობა ტექნიკური პირობებით მოთხოვნილ მაჩვენებლებთან.	თერმული დამუშავების რეჟიმის დარღვევა. ლითონის შეუსაბამობა ტექნიკური პირობების მოთხოვნებთან	პროცესის ტექნოლოგიისა და ტექნიკური პირობების
	გამოსაცდელად ნიმუშების არასწორი შერჩევა	მოთხოვნების დაცვა
დეტალების დეფორმაცია (გამრუდება, დაბრეცა, გაღუნვა და მისთ.).	არათანაბარი გახურება	პროცესის ტექნოლოგიისა და ტექნიკური პირობების მოთხოვნების დაცვა
	არათანაბარი გაცივება	
	ლუმელში დეტალების არასწორი ჩაწყობა	საწროთობ არეში დეტალების ვერტიკალურ მდგომარეობაში ჩაძირვა
კუთხვილის ამოწვა.	საწროთობ არეში არასწორი ჩაძირვა	
	კუთხვილიანი ნაწილის ძლიერი გახურება	კუთხვილიანი ნაწილის დამცავი ნარევიტ შემოგოზვა

–ინსტრუმენტის სიმყიფე (ნახშირბადიანი და ლეგირებული ფოლადების) - დადაბლებული მოშვების ტემპერატურა ან არასაკმარისი დაყოვნება;

–სწრაფმჭრელ ფოლადებში ნარჩენი აუსტენიტის გაზრდილი რაოდენობა - მოშვების ხანგრძლივობის ან მოშვებების რიცხვის შემცირება, აგრეთვე არასრული გაცივება მოშვებებს შორის;

–ინსტრუმენტის ზედაპირის “ამოჭმა“ - ჰაერის ატმოსფეროიან ღუმელში მოშვებისას, წრთობის შემდეგ ცუდი გარეცხვა. გვარჯილაში მოშვებისას - გვარჯილის დაბინძურება;

–გამრუდება - მოშვებისას კალათში მოუწესრიგებელი ჩატვირთვა.

თავი VIII

განმამტკიცებელი დამუშავებების სპეციალური სახეები

8.1 ზედაპირული წრთობა მაღალი სიხშირის დენით

მაღალი სიხშირის დენით გახურება. ცნობილია, რომ გამტარში დენის გატარებას თან ახლავს სითბოს გამოყოფა. ამასთან, მაღალი სიხშირის დენი გადის გამტარის არა მთლიან კვეთში, არამედ მხოლოდ ზედაპირზე და სიხშირის ამაღლებასთან ერთად, მცირდება ზედაპირიდან ლითონში დენის შეღწევის სიღრმე. მისი ეს თავისებურებები წარმატებითაა გამოყენებული შენადნობების თერმული დამუშავების ტექნოლოგიაში.

დეტალში მაღალი სიხშირის დენის გატარებისას გამოყოფილი სითბო რამდენიმე მილიმეტრიან შრეში კონცენტრირდება. შესაბამისად, ზედაპირული წრთობის ეფექტები - სისალისა და სიმტკიცის მატება - მხოლოდ დეტალის გახურებულ შრეში ვრცელდება. პრაქტიკულად, ზედაპირული შრის წრთობის ტემპერატურამდე გახურება 1-დან - 10 ს-ში ხდება. შემდგომი სწრაფი გაცივებისას იწრთობა დეტალის ზედაპირული შრე, ხოლო ქვედა ნაწილი პლასტიკური რჩება. მაღალი სიხშირის დენით, ანუ, როგორც მას ხშირად უწოდებენ ინდუქციური წრთობა, არსებითად ზედაპირული წრთობაა, რომელიც ჩვეულებრივი წრთობისგან მხოლოდ დეტალის გახურების ხერხით განსხვავდება.

გამჭოლ წრთობასთან შედარებით, წრთობის ეს სახე, მრავალ შემთხვევაში, უფრო მომგებიანია. ერთი მხრივ, დეტალის მუშაობის პროცესში მის ზედაპირზე (უმრავლეს შემთხვევაში)

მაქსიმალური ძაბვები წარმოიქმნება. ამდენად, ზედაპირის სისალისა და სიმტკიცის მატება უზრუნველყოფს მთლიანი დეტალის შრომისუნარიანობის ამაღლებას. მეორე მხრივ, ზედაპირული წრთობა მნიშვნელოვნად ამცირებს დეტალის სიმყიფეს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რთული ფორმის დეტალებისათვის. მაღალი სიხშირის დენით წრთობის შედეგად, მტკიცე და სალ ზედაპირთან ერთად, შენარჩუნებულია პლასტიკური გული, რაც მოცულობითი წრთობის შემთხვევაში მიუღწევადია.

მაღალი სიხშირის დენით წრთობის მეთოდები. არსებობს მაღალი სიხშირის დენით წრთობის სამი მეთოდი: ერთდროული, თანმიმდევრული და უწყვეტთანმიმდევრული. ერთდროული წრთობისას, ინდუქტორში მოთავსებული დეტალის მთელ საწრთობ ზედაპირზე, ერთდროულად ხდება როგორც გახურება, ისე გაცივება. პრაქტიკაში, მრგვალი კვეთის დეტალის თანაბარბრუნვითი მოძრაობით, საწრთობი ზედაპირის თანაბარზომიერი გახურება მიიღწევა; თანმიმდევრული წრთობა ითვალისწინებს დეტალის ცალკეული ელემენტის თანმიმდევრულ (რიგრიგობით, მაგ., კბილანის ცალკეული კბილის მიმდევრობით) წრთობას; უწყვეტთანმიმდევრული წრთობისას, ინდუქტორი უწყვეტად გადაადგილდება დეტალის გასწვრივ და საცივებელი მოწყობილობა მოძრაობს ინდუქტორის უკან. ამრიგად, თანმიმდევრულად ხურდება და იწრთობა დეტალის მთელი ზედაპირი. ასეთ შემთხვევაში, თანაბარი გახურების მიზნით, მრგვალი კვეთის დეტალი ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო.

გაცივება მაღალი სიხშირის დენით წრთობისას. გაცივებისას განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გაცივების მეთოდი და არე.

უმეტეს შემთხვევაში, გასაცივებლად გამოიყენება საშხეფი მოწყობილობიდან (სპრეერიდან) გაშხეფებული წყალი. შხაპით გაცივებისას, წროობის სტაბილური შედეგების მისაღებად, აუცილებელია წყლის მუდმივი ტემპერატურა (20 - 30°C). წყლის შხაპით გამოწვეული ინტენსიური გაცივება არასასურველია რთული ფორმისა და ბზარწარმოქმნის მიდრეკილობის მქონე ლეგირებული ფოლადისაგან დამზადებული დეტალებისათვის. ასეთ შემთხვევებში გამაცივებლად წყლის ემულსიები ან ზეთი გამოიყენება.

მაღალი სიხშირის დენით წროობისას, მოცულობით წროობასთან შედარებით, დეტალების დეფორმაცია გაცილებით ნაკლებია. მიუხედავად ამისა, შესაძლებელია იგი წუნის მიზეზი იყოს. მოცულობითი წროობის ანალოგიურად, მაღალი სიხშირის დენით წროობისას, დეფორმაცია დაკავშირებულია გახურება-გაცივების არათანაბრობასა და ფოლადის მოცულობის ზრდასთან მარტენსიტის წარმოქმნისას. გახურების არათანაბრობის მიზეზი არის არათანაბარი ღრეჩო ინდუქტორსა და გასახურებელ დეტალს შორის (წრეზე). იმ ადგილებში, სადაც უფრო ნაკლებია ღრეჩო, მეტია გახურების ტემპერატურა (ეს მოვლენა ზოგჯერ იხსენება ტერმინით - “სიახლოვის ეფექტი”). გაცივების არათანაბრობის მიზეზი არის წყლის მიწოდების არათანაბრობა. გახურება-გაცივების არათანაბრობისას, შესაძლებელია ცილინდრული ნაკეთობების (ლილვების, ღერძების, და ა.შ.) გეომეტრიული ღერძის გამრუდება.

მაღალი სიხშირის დენით წროობისას, ბზარის წარმოქმნის პირობები, სახე და ზომა გარკვეული თავისებურებებით ხასიათდებიან. გაცივებისას, საწროობად გახურებული მხოლოდ

თხელი შრე მცირდება მოცულობაში. მის ქვევით მდებარე ლითონის ცივი ნაწილის წინააღმდეგობის შედეგად, ზედაპირულ შრეში აღიძვრება გამჭიმავი ძაბვები. 600 – 500°C ტემპერატურამდე გახურებული შრე ჯერ კიდევ ინარჩუნებს შედარებით მაღალ პლასტიკურობას, მაგრამ ამ ტემპერატურის ქვევით იგი ეცემა და წარმოქმნილ ძაბვებს ბზარების გაჩენა შეუძლია. შემდგომი გაცივებისას 300 - 200 °C-ის ქვევით, ზედაპირულ შრეში წარმოქმნილი მარტენსიტი იწვევს ნაწრთობი შრის მოცულობის გაზრდას და, შესაბამისად, ამცირებს გამჭიმავ ძაბვებს. შედეგად, სიღრმისაკენ ბზარების ზომები არ მატულობს და ისინი, არსებითად, მიკრობზარების რიგისაა. ამდენად, მარტენსიტული სტრუქტურით გამოწვეული მკუმშავი ძაბვები დეტალის საექსპლუატაციო სიმტკიცის ამაღლების ერთი-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია. ამასთან, რაც უფრო ნაკლებია ნაწრთობი შრის სისქე, მით უფრო მეტად ვლინდება მისი მოქმედება.

მაღალი სიხშირის დენით წრთობისას, ლითონის გახურების ტემპერატურა ჩვეულებრივი წრთობის ტემპერატურაზე უფრო მაღალია. მიუხედავად ამისა, ძალიან სწრაფად მიმდინარე გახურების პროცესში მარცვალი ზრდას ვერ ასწრებს და, შესაბამისად, გადახურება არ ხდება. წრთობის მაღალი ტემპერატურა და ინტენსიური გაცივება განპირობებს ნაწრთობი ზედაპირის სასაღის (2 – 3 HRC), სიმტკიცისა და ცვეთამედეგობის ამაღლებას, ამასთან, იწვევს სიმყიფის შემცირებას.

მაღალი სიხშირის დენით წრთობას ექვემდებარება დაბალლევირებული და, უფრო ხშირად, 0,4 - 0,5%C-ს შემცველობის ნახშირბადიანი ფოლადებიდან დამზადებული დეტალები. ამ დროს ზედაპირის სისაღე 55 - 60 HRC-ს აღწევს. ნახშირბადის

ნაკლები შემცველობისას აღნიშნული სისალე არ მიიღება, ხოლო უფრო მაღალი შემცველობისას, კი მკვეთრი გაცივება ბზარების წარმოქმნის ალბათობას ზრდის. ხშირად მაღალი სიხშირის დენით წრთობა ლეგირებულის ნახშირბადიანი ფოლადებით შეცვლის საშუალებას იძლევა. ამ დროს მნიშვნელობას კარგავს ლეგირებული ფოლადების ისეთი უპირატესობები, როგორცაა ღრმა შეწრთობადობა და ნაკლები დეფორმაცია.

მაღალი სიხშირის დენით წრთობამდე, გულის მექანიკური თვისებების ასამაღლებლად, საწრთობ დეტალს მაღალი მოშვებით ნორმალიზაცია ან მოცულობითი წრთობა უტარდება. წრთობის შემდეგ, ნაწრთობი შრის სიმციფის შესამცირებლად, მიზანშეწონილია დაბალტემპერატურული (160 – 200°C) მოშვება.

პრაქტიკამ აჩვენა მაღალი სიხშირის დენით ზედაპირული წრთობის უპირატესობები და ნაკლოვანებები. უკვე აღნიშნულ დადებით მხარეებთან ერთად, მაღალი სიხშირის დენით ზედაპირული წრთობის უპირატესობაა: მაღალი მწარმოებლურობა; ნაწრთობი შრის სიღრმის რეგულირების სიმარტივე; სტრუქტურულ გარდაქმნებთან დაკავშირებული (დასამუშავებელი დეტალის) მოცულობის ცვლილების მეტ-ნაკლები სიზუსტით გათვალისწინება; მინიმალური დაბრეცა; ჟანგულების ხენჯის არარსებობა; მთელი პროცესის ავტომატიზაციის შესაძლებლობა; შრომის პირობების შემსუბუქება; მაღალი სიხშირის დენით ზედაპირული წრთობის აგრეგატის, მექანიკური დამუშავების ნაკადში, განთავსების შესაძლებლობა.

მრავალ უპირატესობასთან ერთად, მაღალი სიხშირის დენით წრთობას აქვს ნაკლოვანებები:

არათანაბარი გახურება—გაცივების დროს წარმოქმნილი მარტენსიტით გამოწვეული დეტალის დეფორმაცია. მიუხედავად იმისა, რომ დეტალის მოცულობის ცვლილება, ჩვეულებრივ წრთობასთან შედარებით, ნაკლებია და, შესაბამისად, დეტალიც ნაკლებად დეფორმირდება, შესაძლოა ის მაინც გახდეს წუნის მიზეზი; არათანაბარი გახურებითა და გაცივებით გამოწვეული ცილინდრული ნაკეთობის გეომეტრიული ღერძის გამრუდება; დაბალი სიხისტის ბრტყელი დეტალების (მაგ., ფირფიტების), აგრეთვე მაღალი სიხისტის გრძელი ნაკეთობების (მაგ., რელსის, კოჭის და სხვ.) ცალმხრივი წრთობისას წარმოქმნილი მნიშვნელოვანი დეფორმაციები; ნაწრთობ ზედაპირულ შრეში, მოცულობის გადიდებით გამოწვეული, დეტალის ზომების დარღვევა; თერმული და სტრუქტურული ძაბვებით გამოწვეული ბზარები; არათანაბარი გაცივებით გამოწვეული მიკრობზარები; წვრილსერიულ წარმოებაში ინდუქტორის დამზადებისა და ტექნოლოგიური პროცესის დამუშავების არარენტაბელურობა; რთული ფორმის დეტალებისათვის ინდუქტორის დამზადების სირთულე ან შეუძლებლობა; ჩაღრმავებების, შვერილების, მკვეთრი გადასვლების, მახვილი კუთხეებისა და ა.შ. მქონე დეტალებზე არათანაბარი სისქის ნაწრთობი შრის მიღება.

მაღალი სიხშირის დენით ფოლადის წრთობის ძირითადი დეფექტები, მათი წარმოქმნის მიზეზები და გამოსწორების ღონისძიებები მოცემულია № 12 ცხრილში.

ცხრილი № 12. მაღალი სიხშირის დენით ფოლადის წრთობის ძირითადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
<p>დეფორმაცია: 1. ცილინდრული ნაკეთობის გეომეტრიული ღერძის გამრუდება;</p> <p>2. ბრტყელი ნაკეთობების გამრუდება, განსაკუთრებით იმ შემთხვევებში, როდესაც დეტალს არა აქვს საკმარისი სიხისტე (მაგ., ფირფიტები);</p> <p>3. ერთმხრივი წრთობისას მაღალი სიხისტის, დიდი სიგრძის მქონე ნაკეთობების გამრუდება (მაგ., კოჭები, რელსები).</p>	<p>პლასტიკური დეფორმაციის გამომწვევი თერმული ძაბვები:</p> <p>ა) გახურების არათანაბრობა (არათანაბარი ღრეჩო ინდუქტორსა და გასახურებელ დეტალს შორის წრეზე);</p> <p>ბ) გაცივების არათანაბრობა (წყლის არათანაბარი მიწოდება სპრეერით);</p> <p>გ) სტრუქტურული გარდაქმნები ზედაპირულ შრეში.</p>	<p>დეფექტის არიდება:</p> <p>ა) დეტალის ბრუნვა გახურებისას; ბ) სპრეერის მოწესრიგება (ნახვრეტების სიხშირისა და დიამეტრების თანაბრობა).;</p> <p>გ) ნაწრთობი შრის სისქის შემცირება. უკუ, არასამუშაო, მხრიდან ფირფიტებისა და კოჭების წრთობა.</p>
<p>ბზარები.</p>	<p>თერმული ძაბვები, ალმრული გაცივებისას ლითონის (შრის) მოცულობის შემცირებით და მარტენსიტული გარდაქმნისას მოცულობის სწრაფი მატებით.</p>	<p>დეფექტის გამოსწორება: წრთობის შემდგომი ხეხვით მოცილება (არსებითად ბზარები მიკრომასშტაბებისა).</p>
<p>მიკრობზარების განლაგება შეესაბამება ნახვრეტების განლაგებას სპრეერში.</p>	<p>შხაპით გაცივების არათანაბრობა.</p>	<p>დეფექტის არიდება: დეტალის ბრუნვა გაცივებისას; კონუსური სახეფნახვრეტებიანი ინდუქტორის გამოყენება; გაცივება ზეთის შხაპით.</p>

8.2 ალით ზედაპირული წროთობა

ალით წროთობისას დეტალის ზედაპირის გასახურებლად გამოიყენება აირის სანთური, ხოლო გასაცივებლად - საშხეფი მოწყობილობა. აირის სანთურის მაღალტემპერატურული (3000°C-მდე) ალი ზედაპირს სწრაფად ახურებს. ამ დროში სითბო ვერ ასწრებს დეტალის სიღრმეში გავრცელებას. ამის გამო, გახურება და, შესაბამისად, წროთობაც ზედაპირულია. გახურების ხანგრძლივობა 10 – 15 სეკუნდს არ აღემატება. ასეთ მცირე დროში ხენჯწარმოქმნა და გაუნახშირბადოება, პრაქტიკულად, არ ხდება და ნაწროთობი ზედაპირი სუფთა, ჟანგის კვალის გარეშე, რჩება. ალით წროთობისას 58 - 60 HRC სისალისა და 1 - 10 მმ (უფრო ხშირად 2 - 5 მმ) ნაწროთობი შრის მიღებაა შესაძლებელი. საწროთობად, ძირითადად, წყალი გამოიყენება, იშვიათად - ემულსია, წყალჰაერის ნარევები ან შეკუმშული ჰაერი. მექანიკური თვისებების ასამაღლებლად, აგრეთვე ნაწროთობი ზედაპირული შრის ხარისხის გასაუმჯობესებლად დეტალს ალით წროთობამდე უტარდება ნორმალიზაცია ან გაუმჯობესება. ნაწროთობი შრის სიმციფის შესამცირებლად მიზანშეწონილია დაბალი მოშვება.

ალით წროთობის უარყოფითი მხარეებია:

1. სირთულე გახურებისას ტემპერატურის გაზომვისა და რეგულირების;
2. საშიშროება მაღალტემპერატურული ალით გადახურების (ან შემოდნობის);
3. სირთულე ნაწროთობი შრის სიღრმის რეგულირების;
4. გათვალისწინება უსაფრთხოების ტექნიკის სპეციალური ზომების.

8.3 ფოლადის თერმომექანიკური დამუშავება

თერმომექანიკური (თერმოპლასტიკური) დამუშავება აერთიანებს ფოლადის განმტკიცების ორ მეთოდს - პლასტიკურ დეფორმაციასა და ფაზურ გარდაქმნას (წრთობას). პროცესის მიზანია აუსტენიტის დეფორმირება და ცივნაჭედი აუსტენიტის შემდგომი წრთობა. ფოლადის სიმტკიცის ამალეება ხდება, როგორც აუსტენიტის პლასტიკური დეფორმირების დროს მიღებული ცივჭედვით, ისე წრთობით. საბოლოოდ, ასეთი დამუშავებით, ჩვეულებრივ წრთობასთან შედარებით, უფრო მაღალი განმტკიცება მიიღწევა.

არსებობს თერმომექანიკური დამუშავების ორი ძირითადი სახე: მაღალტემპერატურული და დაბალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავება.

ფოლადის მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავება მდგომარეობს Ac_3 -ზე მაღალი ტემპერატურის მქონე აუსტენიტის წნევით ცხელი დამუშავების დასასრულის ტემპერატურიდან, უშუალოდ, მკვეთრ გაცივებაში. წნევით დამუშავებასა და წრთობას შორის, დროის მცირე მონაკვეთში, რეკრისტალიზაციის პროცესი ვერ ვითარდება. ამიტომ, გაცივების შემდეგ პლასტიკური დეფორმაციით გამოწვეული ცივჭედვა და შესაბამისი განმტკიცება რჩება ფოლადში. მას ემატება წრთობის შემდეგ დამატებული სალი მარტენსიტული სტრუქტურით გამოწვეული განმტკიცება. ე.ი., ასეთ პირობებში წარმოქმნილი მარტენსიტი, საკუთარი დისლოკაციების გარდა, მემკვიდრეობით, ცივჭედვით გამოწვეულ დისლოკაციებსაც იღებს. ბუნებრივია, რაც უფრო ნაკლები იქნება დროის შუალედი დეფორმაციის დასასრულსა და წრთობას შორის (როდესაც $t > t_{რკვ}$),

მით მეტი დისლოკაცია იქნება შენარჩუნებული და მით მეტი იქნება განმტკიცებაც. პრაქტიკულად, დროის აღნიშნული მონაკვეთი რამდენიმე სეკუნდია. ამ ხნის განმავლობაში ხდება ნაწილობრივი რეკრისტალიზაცია და, შესაბამისად, მცირდება განმტკიცების ეფექტი.

დაბალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავებისას (აუსფორმინგი ინგლისურ ენაზე), რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ქვევით გადაცივებული, არასტაბილური, აუსტენიტის დეფორმირება და გაცივების შემდგომ ფაზური გარდაქმნები მიმდინარეობს. ე.ი., ფოლადი ხურდება აუსტენიტურ მდგომარეობამდე, შემდეგ ცივდება რეკრისტალიზაციის ტემპერატურაზე დაბლა, მაგრამ მარტენსიტული გარდაქმნის საწყის ტემპერატურაზე მაღლა. იმ ტემპერატურულ ინტერვალში, როცა ჯერ კიდევ შენარჩუნებულია აუსტენიტური სტრუქტურა, ხდება ფოლადის დეფორმირება. შედეგად მიიღება ცინაჭკედი აუსტენიტი, რომლის რეკრისტალიზაცია უკვე ვეღარ მოხდება. წრთობის შემდეგ წარმოქმნილი მარტენსიტი, როგორც წინა შემთხვევაში, მემკვიდრეობით იღებს დისლოკაციებს, ანუ დეფორმაციისას მიღებულ განმტკიცებას. აღსანიშნავია, რომ ასეთი დამუშავებისას, უფრო სრულად რეალიზდება ცივქედვით მიღებული განმტკიცების ეფექტი.

დაბალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავება თერმომექანიკური დამუშავების ტიპური სახეა. როგორც წესი, 500 - 600°C-მდე გადაცივებული აუსტენიტის დეფორმაციის ხარისხის მატება იწვევს დეფორმირებული აუსტენიტის და, შესაბამისად, მარტენსიტის სიმტკიცის ამაღლებას. მაქსიმალური სიმტკიცის მისაღებად დეფორმაციის მაღალი (80 - 90%) ხა-

რისხი გამოიყენება. ამ დროს დეფორმაციის ტემპერატურა გაცილებით დაბალია, ჩვეულებრივი, ცხლად პლასტიკური დეფორმაციის ტემპერატურაზე და, შესაბამისად, მაღალია დეფორმაციის წინაღობა. ვიწრო ტემპერატურულ ინტერვალში, დეფორმაციის მაღალი წინააღობისას (დაბალი პლასტიკურობისას), წნევით ფოლადის მაღალი ხარისხით დეფორმირების აუცილებლობა, ტექნოლოგიურ გართულებებს იწვევს. ამის გამო, დაბალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავება ფართოდ ვერ გავრცელდა.

გარდა აღნიშნულისა, არსებობს თერმომექანიკური დამუშავების მრავალი სხვა ვარიანტი. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან გახურების, გაცივების, დეფორმაციის ხასიათისა და ხარისხის ან სხვა დეტალებით. განსხვავებების მიუხედავად, მათ საერთოც აქვთ, კერძოდ, აუსტენიტის პლასტიკური დეფორმირებისას სტრუქტურაში წარმოქმნილი ცვლილებები, რაღაც ხარისხით (სრულად ან ნაწილობრივ), გადაეცემა მარტენსიტს. საბოლოოდ, მარტენსიტული რეაქციით მიღწეულ განმტკიცებას აუსტენიტის დეფორმირებისას, კრისტალური წყობის დამახინჯებით გამოწვეული განმტკიცება ემატება.

ზოგადად, თერმომექანიკური დამუშავების დროს ფოლადებში სიმტკიცის ზღვრის მაღალი - 3000 მპა-მდე (300კგ/მმ²-მდე) - სიდიდე მიიღწევა. იმ დროს, როდესაც ჩვეულებრივი წრთობისას იგი 2000 - 2200მპა-ს (200 - 220კგ/მმ²) არ აღემატება. სიმტკიცის მატებასთან ერთად მატულობს პლასტიკურობა. მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავებისას, სიმტკიცის ზღვრის რამდენადმე ნაკლები სიდიდე 2400მპა (240კგ/მმ²) მიიღება, მაგრამ ამ დროს როგორც ჩვეულებრივ, ისე დაბალ

ტემპერატურებზე, დარტყმითი დატვირთვებისადმი წინაღობა მაღლდება.

თერმომექანიკური დამუშავების ყველა შემთხვევაში, დეფორმაციას მარტენსიტული გარდაქმნა (მოთხოვნილი სიმტკიცისა და პლასტიკურობის შესაბამისად) და 150 - 300°C ტემპერატურულ ინტერვალში მოშვება მოსდევს. მაგრამ არსებობს დამუშავების შებრუნებული რიგი: არა ცივჭედვა-გარდაქმნა, არამედ, გარდაქმნა - ცივჭედვა. ეს სახელწოდებები გაერთიანებულია ერთ სახელწოდებაში - მექანიკურ-თერმული დამუშავება.

დაბალი პლასტიკურობის გამო, მარტენსიტული სტრუქტურის პლასტიკური დეფორმაციით განმტკიცების შესაძლებლობა მცირეა. მიუხედავად ამისა, მისი 3 - 5 %-ით დეფორმაციისას, 10 - 20% განმტკიცება მიიღება. ასეთი დამუშავება - წრობა მარტენსიტზე+დეფორმაცია+მცირე პლასტიკური დეფორმაცია + დაბალი მოშვება - გამოიყენება პრაქტიკაში და მას მარფორმინგი (აუსფორმინგისგან განსხვავებით, დეფორმირდება მარტენსიტი) ეწოდება.

ტროოსტიტზე დამუშავებული ფოლადის შემდგომი დეფორმაციის პროცესს პატენტირება ეწოდება. მაღალი მექანიკური თვისებების მისაღებად აუცილებელია დეფორმაციის მაღალი ხარისხი. 1% ნახშირბადშემცველი ფოლადის პატენტირებით (დეფორმაცია>95%-ზე) მიღებულია 4500 მპა (450 კგ/მმ²) სიმტკიცის წვრილი მავთული. ეს არის სამრეწველო პირობებში მიღწეული ყველაზე მაღალი სიმტკიცე (თეორიული სიმტკიცის თითქმის მესამედი).

8.4 ზედაპირული მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავება

ზედაპირული მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავების არსი შემდეგშია: მაღალი სიხშირის დენით დეტალის ზედაპირის გახურებისა და იმავდროულად მოგორვისას, აუსტენიტურ მდგომარეობამდე გახურებული დეტალის ზედაპირულ შრეში ხდება ცივჭედვა. წრთობის შემდეგ წარმოქმნილი მარტენსიტი გორგოლაჭით დამუშავებისას დამატებით განმტკიცდება.

ჩვეულებრივი მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური დამუშავებისაგან განსხვავებით, მოცემულ შემთხვევაში, არ ხდება ცივჭედვასა და წრთობას შორის დროის წყვეტით გამოწვეული განუმტკიცებლობა.

8.5 თერმოციკლური დამუშავება

პოლიმორფული გარდაქმნისას ახალი მარცვლების ჩანასახების წარმოქმნა და მათი შემდეგი ზრდა უკავშირდება იმ ძაბვების მოქმედებას, რომლებიც ლითონის მაღალ- და დაბალტემპერატურული მოდიფიკაციების მოცულობების სხვაობით წარმოიქმნებიან. ეს მოვლენა უდევს საფუძვლად თერმოციკლური დამუშავების ტექნოლოგიას. ამ დროს, პოლიმორფული ან ფაზური გარდაქმნის ტემპერატურის ზევით და ქვევით თერმოციკლირებისას, მარცვლის საშუალო ზომები მცირდება. თერმოციკლური დამუშავების მეთოდი ციკლიდან ციკლამდე

ლითონის სტრუქტურაში სასარგებლო ცვლილებების დაგროვებას ეფუძნება. ამასთან, ციკლის მნიშვნელოვანი თავისებურებაა: ინტენსიურობა (ციკლის მიმართულების ცვლილება დაუყოვნებლად ან უმნიშვნელო დაყოვნებით) და ტემპერატურის ცვლილების ოპტიმალური დიაპაზონი.

თანამედროვე მოწყობილობები საშუალებას იძლევა, ლითონის გახურების პროცესი წარმართოს ნაირგვარი ინტენსიურობით - წაშში გრადუსის მეათედი ნაწილიდან გახურება (ღუმელში) ასეულ გრადუსამდე (მაღალი სიხშირის დენით გახურება). ტემპერატურული დიაპაზონი დამოკიდებულია თერმული ზემოქმედების დანიშნულებაზე, მასალის ფიზიკურ-მექანიკურ და თბოფიზიკურ თვისებებზე, ასევე მის სტრუქტურულ მდგომარეობაზე. ამასთან, ციკლის რაოდენობის ვარირებით, პრინციპულად ახალი სტრუქტურა და, შესაბამისად, განსხვავებული თვისებები მიიღება.

არანაკლები მნიშვნელობისაა თერმოციკლური დამუშავების მომდევნო (მომყოლი) დამუშავებები, როგორცაა მოღობა, ხელოვნური დაძველება და სხვ. საბოლოო ოპერაცია ისე უნდა შეირჩეს, რომ მოხდეს თერმოციკლური დამუშავებისას მიღწეული დადებითი ცვლილებების შენარჩუნება ან მათი გაძლიერება.

ფოლადის თერმული დამუშავებისას სიმტკიცის ამაღლებას, ჩვეულებრივ, თან ახლავს სიბლანტის დაქვეითება. თერმოციკლური დამუშავებისას, სიმტკიცის ამაღლებასთან ერთად, მაღლდება მისი სიბლანტეც, რაც ასეთი დამუშავების განსაკუთრებული თავისებურებაა.

თერმოციკლური დამუშავებისას დეტალს A_{c_1} ტემპერატურაზე $30 - 50^{\circ}\text{C}$ -ით უფრო მაღალ ტემპერატურამდე სწრაფად ახურებენ, შემდეგ A_{c_1} ტემპერატურაზე $30 - 50^{\circ}\text{C}$ -ით დაბალ ტემპერატურამდე აცივებენ ჰაერზე. მრავალჯერადი პროცესის უკანასკნელი გახურების შემდეგ დეტალს წყალში ან ზეთში აცივებენ.

ჩვეულებრივ თერმულ დამუშავებასთან შედარებით, თერმოციკლური დამუშავების შემდეგ, სიმტკიცის ზღვრის ერთი და იმავე მნიშვნელობისას, პლასტიკურობისა და სიბლანტის მაჩვენებლები 2 - 3-ჯერ მატულობს.

8.6 სიცივით დამუშავება

სიცივით დამუშავების მეთოდს საფუძვლად უდევს ნაწრთობი ფოლადის 20°C -ზე ქვევით, განსაზღვრულ ტემპერატურულ ინტერვალში გაცივება. ნაჩვენები იყო, რომ ფოლადებში მარტენსიტული გარდაქმნა იწყება და მთავრდება განსაზღვრულ ტემპერატურებზე. ფოლადებში ნახშირბადის შემცველობის ზრდა ადაბლებს მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალს. $>0,6\%$ C-ის შემცველ ნახშირბადიან ფოლადებსა და ნახშირბადის უფრო ნაკლები შემცველობის ლეგირებულ ფოლადებში მარტენსიტული გარდაქმნა 0°C -ზე დაბლა მთავრდება. ე.ი., მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალი ($M_s - M_f$) უარყოფით ტემპერატურებამდე ვრცელდება (იხ. სურ. 85).

ფოლადის სიცივით დამუშავების აუცილებლობა გამოწვეულია იმ ფაქტით, რომ ფოლადების გარკვეული ნაწილის წრთობის კრიტიკული M_f წერტილი ოთახის ტემპერატურაზე დაბლა

მეც. სხვადასხვა ფოლადის სიცივით დამუშავების ტემპერატურული რეჟიმი განისაზღვრება მარტენსიტული გარდაქმნის ქვედა კრიტიკული წერტილის მდებარეობით. M_f ტემპერატურის ქვევით გაცივებას აზრი არ აქვს, რადგან ის დამატებით მარტენსიტულ გარდაქმნას ვერ გამოიწვევს.

თეორიულად, M_f ტემპერატურის ქვევით გაცივება აუსტენიტის მარტენსიტში სრულ გადასვლას უნდა იწვევდეს. პრაქტიკულად, თხევადი ჰაერის ტემპერატურამდე გაცივებაც ვერ უზრუნველყოფს ამ პროცესის სისრულეს და, ზოგჯერ, აუსტენიტის მცირე რაოდენობა შენარჩუნდება სიცივით პირველი დამუშავების შემდეგ, შესაძლებელია სიცივით განმეორებითი დამუშავება, მაგრამ ესეც სრულ გარდაქმნას ვერ უზრუნველყოფს. სიცივით ყოველი შემდეგი დამუშავებისას, ნარჩენი აუსტენიტის გარდაქმნის ინტენსიურობა და წარმოქმნილი მარტენსიტის რაოდენობა მცირდება. ამის მიუხედავად, ნარჩენი აუსტენიტის უდიდესი ნაწილის გადასვლა მარტენსიტში შესამჩნევ გავლენას ახდენს ფოლადის თვისებებზე.

სიცივით დამუშავება ჩვეულებრივი წრთობის დამატებითი მეთოდია და იგი შედის თერმული დამუშავების საერთო ციკლში. ამ დროს, არსებითად, გრძელდება ოთახის ტემპერატურაზე შეწყვეტილი, მარტენსიტ-აუსტენიტზე ნაწრთობი, ნაკეთობის საწრთობი გაცივება.

თერმული დამუშავების რეჟიმის შერჩევას (თუ ის შეიცავს სიცივით დამუშავებას), აუცილებელია აუსტენიტის სტაბილიზაციის მოვლენის გათვალისწინება. იგი აიხსნება ძაბვების რელაქსაციით, რადგან მარტენსიტული გარდაქმნის რეალი-

ზებისათვის დაბევბი აუცილებელია. ამიტომ გარედან მოდებული დაბვა იწვევს მარტენსიტულ გარდაქმნას. თუ გამოირიცხება დამატებითი დაბვების წარმოქმნა, არ მოხდება მარტენსიტული გარდაქმნაც (მაგ., ფოლადის ცალკეულ მონოკრისტალურ ფხვნილებში).

აუსტენიტის სტაბილიზაციის დრო და ხარისხი დამოკიდებულია, უპირატესად, წრთობისას ლითონში წარმოქმნილ დაბვებზე. ეს დაბვები, თავის მხრივ, დამოკიდებულია წრთობისას გაცივების სიჩქარესა (იზოთერმული, ათერმული) და ფოლადში ნახშირბადისა და მალეგირებელი ელემენტების შემცველობაზე.

მრავალ სამრეწველო ფოლადში, წრთობის შემდეგ ოთახის ტემპერატურაზე დაყოვნება, იწვევს აუსტენიტის სტაბილიზაციას და ამცირებს დამუშავების ეფექტს. ამგვარად, აუსტენიტის სტაბილიზაციის ასაცილებლად, სასურველია, სიცივით დამუშავება მოხდეს წრთობის შემდეგ დაყოვნებლივ.

დაუშვებელია ნაწრთობი ფოლადის მოშვება სიცივით დამუშავებამდე, რადგან ეს პროცესიც ხელს უწყობს აუსტენიტის სტაბილიზაციას. სიცივით დამუშავებისას ნაკეთობა იძირება უარყოფითი ტემპერატურის არეში. დაყოვნება განისაზღვრება იმ დროით, რომელიც აუცილებელია დეტალის სრულად გასაცივებლად და მთელ კვეთში ტემპერატურის გასათანაბრებლად. ამ დროს ნარჩენი აუსტენიტი იშლება და წარმოიქმნება მარტენსიტი. რაც უფრო მეტი მარტენსიტი წარმოიქმნება, მით უფრო მნიშვნელოვანია თვისებების ცვლილება. გაცივების შემდეგ ხდება ნაკეთობის შეთბობა ოთახის ტემპერატურამდე.

შინაგანი ძაბვების მოსახსნელად, სიცივით დამუშავების შემდეგ, დაბალი მოშვება აუცილებელი ოპერაციაა. შედეგად იცვლება როგორც მექანიკური, ისე მაგნიტური თვისებები. ხდება სტრუქტურის გათანაბრება, ზომების სტაბილიზება, სისალისა და ცვეთამედეგობის ამალღება. ბუნებრივია, რაც უფრო მეტი ნარჩენი აუსტენიტი იქნება ფოლადში, მით უფრო ამალღდება სისალის მაჩვენებელი და შემცირდება ნაკეთობ(ებ)ის ზომების ცვლილების ალბათობა. ამიტომ, სიცივით დამუშავება გამოიყენება ზუსტი მექანიზმების, საზომი ინსტრუმენტების, ბურთულასაკისრების დეტალებისა და ა.შ., თერმული დამუშავებისას.

გასათვალისწინებელია ის ფაქტი, რომ სიმტკიცისა და სისალის ამალღებასთან ერთად, დაბლდება პლასტიკურობა და სიბლანტე, რაც ძლიერ ამცირებს უმრავლესი ნაკეთობის გრძელვადიან შრომისუნარიანობას. ამის გამო, სიცივით დამუშავებას შეზღუდული რაოდენობის ფოლადები ექვემდებარება.

სიცივით დამუშავების ეფექტი დამოკიდებულია თუ რა რაოდენობის ნარჩენი აუსტენიტია ოთახის ტემპერატურაზე. რაც უფრო დიდი იქნება ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა, მით მეტია სისალის მატება სიცივით დამუშავებისას. საკონსტრუქციო ნახშირბადიან ფოლადებში ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა 5 - 6 %-ს არ აღემატება. ამის გამო ისინი სიცივით დამუშავებას არ ექვემდებარებიან. საიარაღო ფოლადებში, ($C \geq 1,0$ %-ზე) წროთობის შემდეგ, ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობა 15 - 20%-ია, ხოლო სწრაფმჭრელ ფოლადებში 35 %-საც კი აღემატება. ბუნებრივია, ასეთი ფოლადების სიცივით დამუშავება საგრძნობ ეფექტს იძლევა.

სიცივით დამუშავებისას მარტენსიტის რაოდენობის გაზრდა იწვევს:

– მჭრელი იარაღების სისაღისა (უმრავლეს შემთხვევაში 3 - 10 HRC-ს ზღვრებში) და ცვეთამდეგობის ამაღლებას;

– ნაკეთობის მოცულობის ზრდას. ნარჩენი აუსტენიტის შემცველი ნაწრთობი ფოლადის სტრუქტურა არასტაბილურია. ნარჩენი აუსტენიტი ოთახის ტემპერატურაზეც კი, იზოთერმულად, თანდათან მარტენსიტად გარდაიქმნება, ხოლო კლიმატური ტემპერატურის დადაბლებისას, ცვლილებები უფრო ეფექტური ხდება. ამ გარდაქმნას, როგორც წესი, თან ახლავს ნაკეთობის მოცულობის ცვლილება და ზომების არასტაბილურობა. ამდენად, იგი არასასურველია საზომი ინსტრუმენტებისა და საკონსტრუქციო ფოლადების იმ დეტალებისათვის, რომლებისთვისაც გეომეტრიული ზომების სტაბილურობა მნიშვნელოვანია.

– მაგნიტური მახასიათებლების ამაღლებას. სიცივით დამუშავებისას პარამაგნიტური ნარჩენი აუსტენიტი გადადის ფერომაგნიტურ მარტენსიტში, რაც დამატებით ამაღლებს მუდმივი მაგნიტების მაგნიტურ თვისებებს.

ჩამოთვლილი ცვლილებები მით უფრო მნიშვნელოვანია, რაც უფრო მეტი მარტენსიტი წარმოიქმნება სიცივით დამუშავების შედეგად.

გარდა აღნიშნულისა, სიცივით დამუშავება ამაღლებს ფოლადის დანახშირბადიანებულ შრის სისაღესა და ცვეთამდეგობას. სიცივით დამუშავება დანახშირბადიანებულ ლეგირებულ საკონსტრუქციო ფოლადებში გამორიცხავს ხეხვის

ბზარების წარმოქმნას. მაღალნახშირბადიანი დანახშირბადიან-ნებული შრე წრთობის შემდეგ შეიცავს ნარჩენი აუსტენიტის მნიშვნელოვან რაოდენობას, რომელიც ამცირებს სისალეს, მაგრამ შემდგომ მისი (დაშლის გამო) ხეხვისას წარმოიქმნება ბზარები.

დაბალ ტემპერატურაზე მომუშავე ნაკეთობებში, აუსტენიტის მარტენსიტში უფრო სრული დარდაქმნისას, სისალის ამაღლებასთან ერთად, იზრდება ძაბვების მნიშვნელობები და ბზარწარმოქმნის ალბათობაც. ეს პრობლემები და მექანიკური თვისებების მოთხოვნილ მახასიათებლებამდე დაყვანა, ჩვეულებრივ, ფოლადების სიცივით დამუშავების შემდგომი მოშვებით იხსნება.

8.7 საფანტჭავლური ცივჭედვა

საფანტჭავლური ცივჭედვისას, სპეციალური საფანტსატყორცნი ტურბინით, დეტალის დასამუშავებელ ზედაპირზე, დიდი სიჩქარით გამოიტყორცნება ფოლადის ან თუჯის საფანტი. საფანტის დარტყმები ზედაპირულ შრეში იწვევს პლასტიკურ დეფორმაციას, რომელსაც, როგორც წესი, თან ახლავს ცივჭედვით განმტკიცება. ამასთან ერთად, დეტალის ზედაპირულ შრეში წარმოიქმნება ნარჩენი მკუმშავი ძაბვები, რომლებიც, თავის მხრივ, ამაღლებს დეტალის დადლილობისადმი წინაღობას (მაგალითად, კბილანას კბილის, ზამბარის ან რესორის საფანტით ცივჭედვა 1,5 - 2-ჯერ ამაღლებს დადლილობისადმი წინაღობას). ასეთი ძაბვების წარმოქმნას იწვევს ზედაპირზე საფანტის დარტყმებით გამოწვეული (სურ. 104) ფოსოების

ზედაპირული ფართობის ზრდა, რომელსაც წინააღმდეგობას უწევს ლითონის ზედაპირული შრის ქვედა ნაწილი. შედეგად, როგორც მაღალი სიხშირის დენით წრთობისას, წარმოიქმნება დიდი შინაგანი მკუმშავი ძაბვები. ამის გამო, დეტალის ხანგამძლეობა მალღდება.



სურ.104. საფანტით ციკქედვის შემდეგ დეტალის ზედაპირის გადიდების სქემა

თავი IX

ქიმიურ-თერმული დამუშავების ტექნოლოგიური პროცესები

9.1 ქიმიურ-თერმული დამუშავების არსი

ქიმიურ-თერმული დამუშავება, ძირითადად, ნაკეთობის ზედაპირის ფიზიკურ-მექანიკური ან კოროზიამდედგობის გაუმჯობესების მიზნით ტარდება. მაღალ ტემპერატურაზე ლითონის ნაკეთობის ზედაპირის სხვადასხვა ელემენტის (ან მთლიანი მოცულობის) დიფუზიით ქიმიური შედგენილობის ცვლილებას და შემდგომ მის თერმულ დამუშავებას (წრთობას მოშვებით) ქიმიურ-თერმული დამუშავება ეწოდება. ანუ ფოლადის ქიმიურ-თერმული დამუშავება არის სხვადასხვა ელემენტით ნაკეთობის ზედაპირის გაჯერებისა და თერმული დამუშავების ერთობლიობა. ქიმიურ-თერმული დამუშავების მიზანი მრავალგვარია: ზედაპირული შრის განმტკიცება, სისალისა და დაღლილობის სიმტკიცის ამაღლება, ცვეთა- და კოროზიამდედგობის გაუმჯობესება და სხვ. ქიმიურ-თერმული დამუშავების პროცესში, შესაბამის ტემპერატურაზე, აქტიურ (გამაჯერებელ) გარემოში შენადნობის ზედაპირი სასურველი ელემენტით დიფუზიურად გაჯერდება. რეაგენტების წყაროდ გამოიყენება: აირები, ნახშირბადი, ბორი ან ლითონები - ალუმინი, თუთია, ქრომი და მისთ. პრაქტიკაში რამდენიმე სახის ქიმიურ-თერმული დამუშავება გამოიყენება. მათი დასახელება იმ ელემენტის სახელწოდებიდან წარმოდგება, რომლითაც ხდება დეტალის ზედაპირის გაჯერება. მაგ., დანახშირბადიანება, დააზოტება და ა.შ.

ზედაპირული განმტკიცების სხვა მეთოდებთან (ზედაპირული წრთობა მაღალი სიხშირის დენით, ალიანი წრთობა) შედარებით ქიმიურ-თერმული დამუშავების უპირატესობები:

1. ქიმიური შედგენილობის ცვლილებით დეტალის ზედაპირის უფრო მაღალი სისალისა და ცვეთამედეგობის მიღება;
2. ნებისმიერი ფორმის დეტალის დამუშავება (შესაძლებლობა);
3. დეტალის ზედაპირზე თანაბარი სისქის შრის მიღება (შესაძლებლობა);
4. მოთხოვნილი სისქის შრის უფრო ზუსტად მიღება.

ქიმიურ-თერმული დამუშავების ნებისმიერი პროცესი დიფუზიურია და იგი სამი თანმიმდევრული სტადიისგან შედგება:

– დისოციაცია – მაღალი ტემპერატურის გავლენით, რეაგენტის წყაროს, მაგ., მეთანის დაშლა (დისოცირება) შემდეგი რეაქციით:



– ადსორბცია – ადსორბენტის ზედაპირით ატომური რეაგენტების (აბსორბატების) შთანთქმა;

– დიფუზია.

ზედაპირული წრთობისაგან განსხვავებით, ქიმიურ-თერმული დამუშავებისას, სასურველი ელემენტით (C, N, Al, Si, Cr, B, S და სხვ.) დასამუშავებელი ნაკეთობის ზედაპირის გაჯერება წინასწარ ხდება. მაღალ ტემპერატურაზე, ძირითადი ლითონის გისოსში შეღწევისას, დიფუნდირებადი ატომები ჩანერგვის მყარ ხსნარს ან ქიმიურ ნერთს წარმოქმნიან.

დიფუზიის დროს ატომები გადაადგილდებიან მაღალი კონცენტრაციის ადგილებიდან დაბალი კონცენტრაციის ადგილებისაკენ. ქიმიურ-თერმული დამუშავებისას, დიფუნდირებადი ელემენტის ატომები უწყვეტად მოდიან ლუმლის ატმოსფეროდან დეტალის ზედაპირზე და დიფუნდირებადი ელემენტის კონცენტრაცია ზედაპირთან ყოველთვის მაღალია (დეტალში მის საშუალო შედგენილობასთან შედარებით); აქედან გამომდინარე, ეს ატომები დეტალის ზედაპირიდან სიღრმისაკენ გადაადგილდებიან.

ყველა სახის ქიმიურ-თერმული დამუშავება არის აქტიური დიფუზიური პროცესი. ლითონებსა და შენადნობებში დიფუზია ხდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ძირითად ლითონთან დიფუნდირებადი ელემენტი წარმოქმნის მყარ ხსნარს. ატომების დიფუზიური გადაადგილებისათვის საჭიროა სხეულის მოცემული ტემპერატურისათვის დამახასიათებელი თბური რხევების ფლუქტუაციების არსებობა. ამ დროს ცალკეული ატომი, ატომების საშუალო დონეზე მნიშვნელოვნად უფრო მაღალ ენერგიას იძენს და გისოსის კვანძში წონასწორული მდებარეობიდან გამოსვლისუნარიანი ხდება. კვანძთაშორის გადაადგილებისას კი, გისოსის კვანძში თავისუფალი ადგილი - ვაკანსია ჩნდება. ამ დროს ვაკანტური ადგილების შევსება შესაძლებელია დიფუნდირებადი ელემენტით. ვაკანსიის ან დისლოცირებული ატომის ირგვლივ, გისოსის უდიფუზიო უბნებთან შედარებით, ირღვევა გარემომცველი მეზობელი ატომების დაშორების თანაბრობა. შესაბამისად, ვაკანსიის ან დისლოცირებული ატომის ირგვლივ ჩნდება კრისტალური გისოსის დრეკადი დამახინჯების ველი. მუშაობას, რომელიც აუცილებელია ატომის რეგულარული მდებარეობიდან

მოსაწყვეტად (ამოსაგლეჯად), აქტივაციის ენერგია ეწოდება. ეს სიდიდე არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე და წარმოადგენს ატომების გადაადგილების უნარის განმსაზღვრელ უმნიშვნელოვანეს მახასიათებელს. ტემპერატურის, დიფუზიური პროცესების მნიშვნელოვნად დამაჩქარებლის, გავლენა განპირობებულია ტემპერატურული რხევების გაძლიერებით და, შესაბამისად, კრისტალურ გისოსში ვაკანსიების რიცხვის ზრდით.

დანახშირბადიანების, დააზოტებისა და დააზოტნახშირბადიანების პროცესებში, ნახშირბადი და აზოტი რკინასთან ჩანერგვის მყარ ხსნარებს იძლევიან. ფოლადში მათი დიფუზია უფრო ჩქარა ხდება, ვიდრე იმ ელემენტებისა, რომლებიც რკინასთან ჩანაცვლების მყარ ხსნარებს წარმოქმნიან. უკანასკნელ შემთხვევაში პროცესი უფრო ენერგოტევადაა. ამასთან, ელემენტების დიფუზია Fe_α -ში უფრო ადვილად მიმდინარეობს, ვიდრე უფრო მჭიდროდწყობილ Fe_γ -ში. აქედან გამომდინარე, მაღალ ტემპერატურზე, დიფუზიური მეტალიზაციის პროცესში ხანგრძლივი დაყოვნების შემთხვევაშიც მიიღება მცირე სისქის გაჯერებული შრე.

პრაქტიკულად, ქიმიურ-თერმული პროცესის მართვა შესაძლებელია მის სტადიაზე ზემოქმედებით. მაგალითად ტემპერატურის ამაღლებით პროცესი აქტიურდება. ქიმიურ-თერმული დამუშავება უნდა ჩაუტარდეს მხოლოდ სუფთა ზედაპირების მქონე დეტალებს, ვინაიდან დეტალის ზედაპირზე ხენჯი და დაჭუჭყიანება ხელს უშლის ადსორბციას.

ფოლადებში და თუჯებში, თბური დამუშავებისა და რომელიმე ქიმიური ელემენტით მათი ზედაპირული შრის შედგენილობის

ცვლილების შერწყმით, მიიღება ზედაპირის მაღალი ფიზიკური, ქიმიური და მექანიკური თვისებები. ქიმიურ-თერმული დამუშავება ამაღლებს დეტალების ზედაპირების სისალესა და ცვეთამდედგობას. მატულობს მათი კავიტაციური- და კოროზიული მედეგობა. ზედაპირის გაჯერებულ შრეში იქმნება ნარჩენი მკუმშავი ძაბვები რის შედეგადაც მაღლდება დეტალების საიმედოობა და ხანმედეგობა.

ავტომობილების (აგრეგატების და სხვადასხვა მოწყობილობის) დეტალების დიდი რაოდენობა მუშაობს ცვეთისა და კავიტაციის პირობებში. ისინი მუდმივად განიცდიან ციკლურ დატვირთვებს, რომლის დროსაც ლითონის ზედაპირულ შრეებში აღიძვრება ძაბვები. მანქანებისა და მექანიზმების დეტალების ხანგამძლეობის ასამაღლებლად მიმართავენ მათი ზედაპირების დანახშირბადიანებას, დააზოტებას ან დააზოტნახშირბადიანებას. იშვიათად, ნაკეთობების ზედაპირებს სილიციუმით, ბორით და სხვადასხვა ლითონით აჯერებენ.

თანამედროვე მძიმე ტექნიკის ძლიერდატვირთული დეტალების დამზადებისა და განმტკიცების არსებული ტრადიციული ტექნოლოგიები, პრაქტიკულად, შესაძლებლობების პოტენციალური რესურსების ამოწურვის ზღვარზე იმყოფება. ისინი ითხოვენ გადაუდებელ ცვლილებებს პერსპექტიული მიმართულებებით. მანქანათა საპასუხისმგებლო დეტალების საექსპლუატაციო თვისებების კომპლექსის ამაღლების დამატებითი და მნიშვნელოვანი რესურსები ვლინდება ახალ, თერმულ და ქიმიურ-თერმულ, კრისტალიზაციის ცენტრებად მიკროდანამატების გამოყენების, ინტენსიური პლასტიკური დეფორმირებისა და დამუშავების სხვა კომპლექსურ მეთოდებში. ერთ-ერთი მათგანი ეფუძნება დიფუზიური გაჯერების ვაკუუმური

და იონურ-ვაკუუმური ქიმიურ-თერმული დამუშავების პროცესების გააქტიურებას. ამ დროს ყალიბდება ნაკეთობის ზედაპირის ნანოსტრუქტურული მდგომარეობა.

პრაქტიკამ აჩვენა, რომ ნანოსტრუქტურა უზრუნველყოფს პლასტიკურობისა და სიბლანტის მაღალი მარაგის მაღალ სიმტკიცესთან შეხამებას, რაც აუცილებელია მანქანათა დეტალების საექსპლუატაციო საიმედოობის ასამაღლებლად. ამდენად, ნაკეთობის მთლიან მოცულობაში უნიკალური სტრუქტურის მიღების შესაძლებლობა, მაღალი დაღლილობის სიმტკიცისა და ცვეთამდეგობის მქონე დეტალების დამზადების მნიშვნელოვან პერსპექტივას აჩენს.

ნანოსტრუქტურული დიფუზიური შრეების (ნანოდანაფარების) მიღების ტექნოლოგიების არსებობის და ფართოდ გაშლილი, ინტენსიური, სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების მიუხედავად, შეიძლება ითქვას, რომ ჯერ კიდევ არსებობს ნანოსტრუქტურული მასიური მასალების შექმნის სიმძნელები. ამჟამად, არსებული საკონსტრუქციო მასალებით დამზადებულ, მანქანათა ტიპურ დეტალებში (კბილანებში, ლილვებში, საკისრებში და სხვ.) ნანოსტრუქტურის მიღების შესაძლებლობების ძიება აქტიურად მიმდინარეობს. ასეთი ტექნოლოგიების შექმნა აამაღლებს მანქანების საიმედოობასა და ხანმდეგობას, დაზოგავს მასალის, ენერჯისა და შრომითი რესურსების მნიშვნელოვან რაოდენობას.

9.2 დანახშირბადიანება

დაბალნახშირბადიანი (ჩვეულებრივ $< 0,25$ %) ფოლადების ზედაპირულ გაჯერებას ნახშირბადით, შემდგომი წრთობა-მომშავებით დანახშირბადიანება (ცემენტაცია) ეწოდება. ასეთი დამუშავებისას იცვლება დეტალის ზედაპირის როგორც ქიმიური შედგენილობა, ისე სტრუქტურაც. დანახშირბადიანების შემდეგ, ნახშირბადის შემცველობა ზედაპირულ შრეში $0,8 - 1,2$ %-ის ზღვრებში იცვლება. ასეთი დეტალის წრთობის შემდეგ, ბუნებრივია, დასამუშავებელი ნაკეთობის ზედაპირი სალდება. ზედაპირულ შრეში მიიღება მარტენსიტული სტრუქტურა მაღალი სისალითა და ცვეთამედეგობით, ხოლო გული ბლანტი რჩება. მიუხედავად იმისა, რომ გული, არასაკმარისი ნახშირბადის გამო, არ იწრთობა, იგი უფრო ერთგვაროვანი და წვრილმარცვლოვანი ხდება. ამის გამო, უმჯობესდება მისი მექანიკური თვისებები. იგი ინარჩუნებს მაღალ სიბლანტეს და დარტყმითი დატვირთების ატანის უნარს. ე.ი., დანახშირბადიანებით შესაძლებელია მივიღოთ დარტყმითი დატვირთვების ამტანი დეტალი, რომელსაც ექნება ბლანტი გული, მაღალი ზედაპირული სისალე და ცვეთამედეგობა.

დანახშირბადიანება უტარდება ჩვეულებრივნახშირბადიან და ლეგირებულ ფოლადებს, რომლებიც, უპირატესად, მუშაობენ $< 200^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურებზე ხახუნისაგან ცვეთის პირობებში. ამ პროცესისათვის გამოიყენება ნახშირბადშემცველი ნივთიერებები - კარბიურიზატორები, რომლებიც მაღალი ტემპერატურის გავლენით დისოცირდებიან და წარმოიქმნიან ატომურ

ნახშირბადს. არსებობს მყარი, თხევადი და აირული კარბიური-ზატორები. შესაბამისად, განასხვავებენ მყარ, თხევად და აირულ დანახშირბადიანებას.

დეტალის ზედაპირი, თანაბარი შრით დანახშირბადიანების მიზნით, დანახშირბადიანებამდე იწმინდება ჟანგის, ჭუჭყისა და ზეთისაგან. ნაკეთობის ზედაპირის ის უბნები, რომლებიც დანახშირბადიანებას არ საჭიროებს, იფარება სხვადასხვა, ე.წ. დანახშირბადიანებასაწინააღმდეგო მასალებით - საგოზავებით (ცხრ. 13), დამცავი პასტებით (ცხრ. 14), უტარდებთ გალვანური მოსპილენძება და სხვ.

ცხრილი №13. დანახშირბადიანებასაწინააღმდეგო დამცავი საგოზავების შედგენილობები

მდგენელების დასახელება	შედგენილობა, % (მასური)	შენიშვნა
ტალკი, თეთრი თიხა, წყალი.	50 25 25	ნარევს ემატება თხევადი მინა არაჟნისებრ კონსისტენციამდე.
ტალკი, ალუმინის ჟანგი, ტყვიის სურინჯი.	58 28 14	ნარევი მზადდება თხევად მინაზე (1 წილი ნარევი და 3 წილი თხევადი მინა).
შამოტის თიხა, აზბესტის ნაფხვენი.	90 10	ნარევი მზადდება წყალზე. გამოიყენება, უპირატესად, ნახვრეტებისათვის.
ერთქლორიანი სპილენძი, ტყვიის სურინჯი.	70 30	ნარევი მზადდება კოლოფონის ლაჟზე არაჟნისებრ კონსისტენციამდე.
თიხა, თხევადი მინა.	50 50	-----

დეტალის ზედაპირზე საგოზავი მასალა დაიტანება 2 - 3 მმ სისქის შრედ ნახევრად მაგარი ფუნჯით. შემდეგ გამოაშრობენ ჰაერზე ან საშრობ კარადაში.

ცხრილი №14 დანახშირბადიანებასაწინალო დამცავი პასტების შედგენილობა

№/№	მდგენელების დასახელება	შედგენილობა, %-ში (მასური)
1	აირის მური, კალცინირებული სოდა, კალიუმის ფეროციანიდი $[K_3(CN)_6]$, სათითისტრე ზეთი (ნამუშევარი)	28 3,5 1,5 67
2	ჰოლანდიური მური (შავი ფერის საღებავის დასამზადებლად გამოყენებული მური), კალცინირებული სოდა, დექსტრინი, ძრავას ზეთი (ნამუშევარი).	30 10 20 40
3	აცეტილენის მური, კალცინირებული სოდა, დექსტრინი, მაზუთი.	30 20 10 40
4	ხის ნახშირის მტვერი, კალცინირებული სოდა, კალიუმის ფეროციანიდი $[K_3(CN)_6]$, დექსტრინი.	75 5 10 10

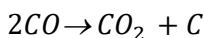
დანახშირბადიანებასაწინალო პასტების შედგენილობაში შემავალი საწყისი მასალები, გაცრისა და საჭირო თანაფარდობებით აწონის შემდეგ, შეირევა სარევიში. თხევადი მდგენელები შეაქვთ უწყვეტი შერევისას. მზა პასტა ერთგვაროვანი და არაჟნისებრი კონსისტენციის უნდა იყოს. პრაქტიკაში, რაც უფრო მეტია

დანახშირბადიანების მოთხოვნილი შრის სისქე, მით უფრო სქელი მზადდება პასტა. დეტალზე დატანილი პასტის შრე, მოთხოვნილ დანახშირბადიანებულ შრეზე, დაახლოებით, 6 - 8-ჯერ მეტი უნდა იყოს. შედარებით თხელი კონსისტენციის პასტის წასმა ხდება დეტალის ჩაძირვით ნარევეში, ხოლო უფრო სქელის - ნახევრადმაგარი ფუნჯით.

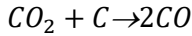
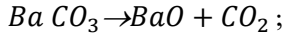
ნახვრეტების შიგა ზედაპირები მაიზოლირებელი მასით იფარება (ქარსი+ასბესტი+რკინის ხენჯი).

განვიხილოთ დანახშირბადიანების ჩატარების სახეები:

I. მყარ კარბიურიზატორში დანახშირბადიანებისას, დეტალები იფუთება დამანახშირბადიანებელ ნივთიერებად გამოყენებულ სხვადასხვადანამატებიანი ხის ნახშირით სავსე ყუთში. ნახშირის ნაჭრებს შორის არსებული ჰაერის ჟანგბადი 900 - 950 °C ტემპერატურაზე უერთდება ნახშირბადს და წარმოქმნის ამ ტემპერატურაზე არამდგრად ნახშირჟანგს, რომელიც რკინის ზედაპირთან კონტაქტისას იშლება



წარმოქმნილი აქტიური ატომური ნახშირბადი ნაკეთობის ზედაპირით შთაინთქმება, რის შემდეგაც იგი დიფუნდირებს სიღრმისაკენ. ამგვარად, მყარი კარბიურიზატორით დანახშირბადიანების პროცესი წარმართება აირული ფაზის წარმოქმნით, ანუ დანახშირბადიანება ხდება აირით. წარმოებაში მყარ კარბიურიზატორად ნახშირი გამოიყენება. მას ემატება 10 - 30 % ნახშირჟანგის მარილები K_2CO_3 , Na_2CO_3 , $BaCO_3$. მათი დაშლისას გამოყოფილი ნახშირორჟანგი რეაგირებს ნახშირბადთან, მაგალითად:



მყარი კარბიურიზატორით დანახშირბადიანების პროცესს მრავალი უარყოფითი მხარე აქვს, მაგალითად: დიდი შრომატევადობა და დაბალი მწარმოებლურობა, პროცესი ძალიან ხანგრძლივია (მოთხოვნილი დანახშირბადიანებული შრის სისქიდან გამომდინარე, შესაძლებელია იგი რამდენიმე ათეული საათი გაგრძელდეს); შრეში ნახშირბადის შემცველობის რეგულირების სირთულე; არახელსაყრელი სანიტარულ - ჰიგიენური პირობები (ნახშირის მტვერი, სიბინძურე); სითბოს არამწარმოებლური დანახარჯები კარბიურიზატორის გახურებაზე (კარბიურიზატორით სავსე სითბოგაუმტარი ყუთის გახურება); თანამედროვე წარმოებაში ასეთი მარტივი პროცესის გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ წვრილსერიული ან ცალკეული დეტალების დანახშირბადიანებისას.

II. თხევადი დანახშირბადიანება გამოიყენება წვრილ-წვრილი დეტალების დასანახშირბადიანებლად, როდესაც დანახშირბადიანებული შრის სისქე 0,5 - 0,6 მმ-ს არ აღემატება. პროცესი ტარდება 830–850°C ტემპერატურაზე, მარილის აბაზანებში. კარბიურიზატორად გამოიყენება სილიციუმის კარბიდი-SiC. აბაზანის ოპტიმალური შედგენილობა ასეთია: 75 - 85% Na_2CO_3 , 10-15% NaCl და 6-10% SiC. დანახშირბადიანება მიმდინარეობს რეაქციით:

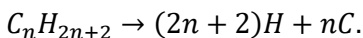
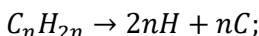


რეაქციის შედეგად გამოყოფილი ატომური ნახშირბადი დიფუნდირებს ფოლადში. წრთობა ხდება უშუალოდ აბაზანის

ტემპერატურიდან. წრთობის შემდეგ მიიღება ნაკეთობის სუფთა ზედაპირი ჟანგისა და ხენჯის კვალის გარეშე. აბაზანის მუშაობის პროცესში, ატომური ნახშირბადის გარდა, გამოიყოფა მნიშვნელოვანი რაოდენობის წიდაც - Na_2SiO_3 . იგი აბინძურებს აბაზანას და ამნელებს დანახშირბადიანების პროცესს. ამის გამო, აბაზანა პერიოდულად უნდა გაიწმინდოს.

III. აირულ კარბურიზატორში დანახშირბადიანება უფრო სრულყოფილი, მართვადი და ეკონომიურია. აირულ გარემოში დანახშირბადიანება უზრუნველყოფს: პროცესის სიჩქარისა და შრომის ნაყოფიერების ამაღლებას, დანახშირბადიანების პროცესის ზუსტად რეგულირებას, მაგრამ მოითხოვს უფრო რთულ მოწყობილობას.

პროცესი მიმდინარეობს დამანახშირბადიანებელი აირით შევსებულ ღუმლის ჰერმეტიულად დახურულ კამერაში ან აირის უწყვეტი მიწოდებისას. კარბურიზატორებად გამოიყენება ნახშირჟანგი და აირული ნახშირწყალბადები. მათი დაშლისას მიიღება აქტიური ატომური ნახშირბადი:



პრაქტიკაში, უპირატესად, გამოიყენება ნაჯერი ნახშირწყალბადები - CH_{2n+2} - მეთანი, პროპანი, ბუთანი და სხვ. მათ შორის მეთანი - ბუნებრივი აირის სახით (92–96% CH_4).

ბუნებრივი აირის გარდა, გამოიყენება ნავთისა და სხვა თხევადი ნავთობპროდუქტების პიროლიზით მიღებული

აირები, რომლებიც გახურებისას, ატომურ ნახშირბადთან ერთად, ფისებს გამოყოფენ. ფისიდან წყალბადის გამოყოფისას კი კოქსი წარმოიქმნება.

როცა ნაკეთობის ზედაპირი გამოყოფილ ნახშირბადს მთლიანად ვერ შთანთქავს (აბსორბცია ჩამორჩება დისოციაციას), მაშინ აირული ფაზიდან გამოკრისტალებული თავისუფალი ნახშირბადი დეტალის ზედაპირზე ილექება, მურის მკვრივი ფირის სახით. ფისი, კოქსის ფირი და მური. დანახშირბადიანების პროცესს ართულებენ. ამის თავიდან ასაცილებლად საჭიროა განსაზღვრული შედგენილობის აირი და მისი ხარჯის რეგლამენტირება.

აირული ატმოსფეროს დამანახშირბადიანებელი აქტიურობა ხასიათდება ნახშირბადის პოტენციალით. მისი რიცხვითი მნიშვნელობა, მოცემულ ტემპერატურაზე, მოცემულ ატმოსფეროსთან წონასწორობაში მყოფ, ფოლადის შედგენილობაში შემავალ ნახშირბადის რაოდენობას შეესაბამება. ე.ი., ამ ატმოსფეროში არ ხდება ფოლადის დანახშირბადიანება ან გაუნახშირბადობა. წონასწოვრული პირობების ცვლილებისას, მაგალითად, ატმოსფეროში დამანახშირბადიანებელი აირის - CO-ს კონცენტრაციის ამალლებისას, იწყება ფოლადის ინტენსიური დანახშირბადიანება. პროცესი გრძელდება მანამ, სანამ ფოლადისა და ატმოსფეროს ნახშირბადს შორის წონასწორობა არ დამყარდება.

ზედაპირულ შრეში ნახშირბადის რაოდენობა განისაზღვრება მოცემულ ტემპერატურაზე აუსტენიტიში ნახშირბადის ხსნადობის ზღვრით (რკინა-ცემენტიტის დიაგრამის SE ხაზი). ე.ი., რაც უფრო მაღალია დანახშირბადიანების ტემპერატურა, მით

მეტია ნახშირბადის შემცველობა დეტალის ზედაპირზე. რაოდენობრივად ნახშირბადის შედგენილობა ზედაპირზე განისაზღვრება SE ხაზზე მდებარე საკვლევი ტემპერატურის შესაბამისი წერტილის პროექციით კონცენტრციულ ღერძზე. ზედაპირიდან სიღრმისკენ ნახშირბადის რაოდენობა მცირდება და საბოლოოდ უტოლდება დასამუშავებელი დეტალის საწყის შემცველობას.

დანახშირბადიანების ტემპერატურიდან ნელი გაცივებისას დანახშირბადიანებული შრის სტრუქტურა, ზედაპირიდან სიღრმისკენ ნახშირბადის რაოდენობის ცვლილების შესაბამისად იცვლება. გამოირჩევა სამი ზონა: ზევეტექტოიდური (პერლიტი+ცემენტიტი), ევტექტოიდური (პერლიტი) და ქვევეტექტოიდური, რომელიც გულის სტრუქტურაში მდოვრედ გადადის.

დანახშირბადიანების მიზანი (მიღებულ იქნეს დეტალის ბლანტ გულთან შეხამებული ზედაპირის მაღალი სისალე და ცვეთამედეგობა) მხოლოდ დანახშირბადიანებით არ წყდება. ამ დროს მიიღწევა კვეთში ნახშირბადის მხოლოდ ხელსაყრელი განაწილება. დანახშირბადიანებული დეტალის თვისებების საბოლოო ჩამოყალიბება ხდება მისი წრთობისა და დაბალი მოშვების შემდეგ. ამ დროს ზედაპირზე მიიღება მაღალნახშირბადიანი მარტენსიტის სალი შრე (600 - 650 HB), ხოლო გული ინარჩუნებს დაბალ სისალესა და მაღალ სიბლანტეს.

მხედველობაშია მისაღები, რომ ღუმლის დამანახშირბადიანებელი ატმოსფერო ყოველთვის შეიცავს განსაზღვრული რაოდენობის ჟანგბადს. იგი იწვევს შინაგან ჟანგვას და უარყოფითად მოქმედებს ხარისხზე. ეს გავლენა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, როცა დეტალები დამზადებულია ქრომის,

მანგანუმისა და ტიტანის შემცველი ლეგირებული ფოლადებისაგან. ჟანგბადი, დეტალის ზედაპირში 0,03 მმ სიღრმემდე შეღწევისას, უერთდება მალეგირებელ ელემენტებს და წარმოქმნის ჟანგეულებს. ამ დროს, აღნიშნულ სიღრმეზე, დეტალი ღარიბდება მალეგირებელი ელემენტებისაგან და, შესაბამისად, მისი წრთობადობა უარესდება, მარტენსიტის ნაცვლად მიიღება ტროოსტიტი, რაც მკვეთრად ადაბლებს დეტალის შრომისუნარიანობას. პრაქტიკულად დადგენილია, რომ პროცესის ბოლოს, ღუმლის ატმოსფეროში 10%-იანი ამიაკის მიწოდება ჟანგვას გამორიცხავს.

სარემონტო ქარხნებსა და წვრილ საწარმოებში გამოიყენება დამანახშირბადიანებელი პასტები. პასტებში ნახშირბადის წყარო პასტის შედგენილობისთვის დამატებული მური ან ხის ნახშირის მტვერია. პასტის შრედატანილი დეტალები ლითონის ყუთით ჩაიტვირთება 900 - 950°C-ზე გახურებულ ღუმელში. რამდენიმე საათის დაყოვნების შემდეგ, ხდება დეტალების გაცივება ჰაერზე, ყუთებთან ერთად. ან აცივებენ წრთობის ტემპერატურამდე და შემდეგ აწრთობენ. პასტების უპირატესობა მდგომარეობს მაღალ მწარმოებლურობაში, ხოლო ნაკლი - დანახშირბადიანებული შრის სიღრმისა და ნახშირბადის გაჯერებადობის არათანაბრობა. ამის გამო, პროცესმა ფართო სამრეწველო გამოყენება ვერ პოვა.

სხვადასხვა სახის დანახშირბადიანების ძირითადი დეფექტები მოცემულია № 15 -17 ცხრილებში.

ცხრილი № 15. მყარ კარბიურზატორში დანახშირბადიანების ძირითადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
წერტილოვანი ჩალრმავებები (ღრმულეები) ნაკეთობის დანახშირბადიანებულ ზედაპირზე.	3 - 6 %-ზე მეტი გოგირდმჟავა მარილების არსებობა კარბიურზატორში.	დეფექტის არიდება: არ დავეშვათ 3 - 6 %-ზე მეტი გოგირდმჟავა მარილების არსებობა კარბიურზატორში.
ნაკეთობის დანახშირბადიანებულ ზედაპირის სირსველასებრი (აქერცლილი) ამოჭმა.	კარბიურზატორის გაჭუჭყიანება გოგირდის კოლჩედანით.	დეფექტის არიდება: ღონისძიებები ნაკლებდეფექტურია (რეკომენდებულია კარბიურზატორის გამოწვა 900°C-ზე 10 - 30 საათის ხანგრძლივობით ან კარბიურზატორის გაცრა.
დანახშირბადიანებული შრის სხვადასხვა სიღრმე.	კარბიურზატორში მარილების და ნახშირბადის ნაწილაკების არამტკიცე კავშირით გამოწვეული მარილების ჩაბნევა ყუთის ქვედა ზონაში; ყუთების არათანაბარი გახურება ღუმელში.	დეფექტის არიდება: ზადავის შემკვრელიანი 5 - 7 მმ-იანი ნახშირბადის ნაწილაკების შემცველი მსხვილმარცვლოვანი კარბიურზატორის გამოყენება; ყუთების თანაბარი გახურება.

ცხრილი № 15-ის გაგრძელება

<p>მინისებრი კოფრები, რომლებიც ეწინააღმდეგება დანახშირბადიანებს და წრთობის შემდეგ რბილადგილებს აჩენს.</p>	<p>კარბოურიატორის გაჭაჭყიანება ქვიშით.</p>	<p>დეფექტის არიდება: კარბოურიატორის გაცრა და მოთხოვნილ კონცენტრაციამდე წარშირმჟავა მარილების დამატება.</p>
<p>დანახშირბადიანების ძალიან დიდი სიღრმე</p>	<p>დანახშირბადიანების ტემპერატურისა და დაყოვნების დროის ამაღლება. ძლიერი კარბოურიატორის გამოყენება.</p>	<p>დეფექტის არიდება: დანახშირბადიანების დადგენილი ტექნოლოგიის გამოყენება.</p>
<p>ნახშირბადის კონცენტრაციის ამაღლება და დანახშირბადიანებულ შრეში (ცემენტის ზადე).</p>	<p>იგივე.</p>	<p>იგივე.</p>
<p>ნახშირბადის კონცენტრაციის დადაბლება დანახშირბადიანებულ შრეში.</p>	<p>დანახშირბადიანების დაბალი ტემპერატურა. სუსტი კარბოურიატორის გამოყენება.</p>	<p>დეფექტის არიდება: უფრო ძლიერი კარბოურიატორის გამოყენება. დეფექტის გამოსწორება: განმეორებით დანახშირბადიანება ნორმალურ ტემპერატურაზე.</p>
<p>დანახშირბადიანების არასაკმარისი სიღრმე.</p>	<p>იგივე.</p>	<p>იგივე.</p>

ცხრილი № 15-ის გაგრძელება

<p>დანახშირბადიანებული შრის ზედაკბირული გაუნახშირბადოება.</p>	<p>დანახშირბადიანების (მსხვილმარცვლოვანი კარბიურიზატორით) შემდეგ ყუთების ნელი გაცივება ლუმელთან ერთად.</p>	<p>დეფექტის არიდება: დანახშირბადიანების შემდეგ ყუთების გაცივება ჰაერზე დეფექტის გამოსწორება: განმეორებით ხანმოკლე დანახშირბადიანება ნორმალურ ტემპერატურაზე.</p>
<p>ლაქოვანი დანახშირბადიანება (რბილი ლაქები ნაწრთობი დანახშირბადიანებული ნაკეთობის ზედაკბირზე).</p>	<p>დასანახშირბადიანებელი ნაკეთობის ზედაკბირის გაჭუჭყიანება; კარბიურიზატორის ჩაჯდომა ყუთში და ნაკეთობების გაშიშვლება; ყუთის თავის ცუდი დაგმანვა; ფოლადის ანორმალურობა.</p>	<p>დეფექტის არიდება: ბუნებრივად მსხვილმარცვლოვანი ნორმალური ფოლადის გამოყენება და ყუთში ნაჩხადებისა და კარბიურიზატორის ზუსტი განთავსება.</p>
<p>ნაწრთობი დანახშირბადიანებული შრის აშრეკება (დანახშირბადიანებული შრიდან დაუნახშირბადიანებულზე მკვეთრი გადასვლა).</p>	<p>ძლიერი კარბიურიზატორის გამოყენება.</p>	<p>დეფექტის არიდება: დანახშირბადიანება სუსტ კარბიურიზატორში დეფექტის გამოსწორება: ნახშირიან ყუთებში 920 - 940 °C-მდე გახურება და ამ ტემპერატურაზე დაყოვნება 2 - 4 საათით.</p>

ცხრილი № 15-ის გაგრძელება

<p>ნარჩენი აუსტენიტი. მალალევირებული ნაწრთობი ფოლადის დანახშირბადიანებული შრის დადაბლებული სისალე.</p>	<p>დანახშირბადიანებულ შრეში ნახშირბადის ამაღლებული შემცველობა; წრთობის მაღალი სიჩქარე.</p>	<p>დეფექტის გამოსწორება: ა) მაღალი მოშვება 650 - 670°C-ზე, წრთობის წინ; ბ) წრთობა ნორმალური ტემპერატურიდან (760°C) ზეთში წინასწარი გაცოვებით 650 - 600°C-მდე; გ) წრთობა 860°C-დან ზეთში მაღალი მოშვებით 600 - 670°C-ზე, შემდეგ წრთობა 760°C-დან და 200 °C-ზე მოშვება; დ) სიცივით დამუშავება 0°C-ზე დაბლა.</p>
<p>მაღალი მოშვების შემდეგ დანახშირბადიანებული შრის ამაღლებული სისალე.</p>	<p>მოშვების არასაკმარისი ტემპერატურა და დაყოვნება ან გახურება Ac_1 -ზე მაღლა.</p>	<p>განმეორებით მოშვება და დაყოვნება ნორმალურ ტემპერატურაზე.</p>

ცხრილი № 16. აირული დანახშირბადიანების ძირითადი დეფექტები

<p>დეფექტის დასახელება და დაზარალება</p> <p>დანახშირბადიანებული შრის დადაბლებული (არასაკმარისი) სისქე.</p>	<p>დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები</p> <p>პროცესის დაბალი ტემპერატურა. დაყოვნების არასაკმარისი ხანგრძლივობა.</p>	<p>დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები</p> <p>დეფექტის არიდება: განმეორებით დანახშირბადიანება. დანახშირბადიანების დადგენილი ტექნოლოგიის ზედმიწევნით დაცვა.</p>
<p>შრეში ნახშირბადის შემცირებული კონცენტრაცია.</p>	<p>კარბიურიატორის არასაკმარისი მიწოდება (ნორმალური ტემპერატურისა და დაყოვნების საკმარისი ხანგრძლივობის შემთხვევაში).</p>	<p>დეფექტის არიდება: აირული კარბიურიატორის მიწოდების შემთხვევაში, შემავალი ნახვრეტების გაწმენდა. თხევადიკარბიურიატორის მიწოდების შემთხვევაში მისი მიწოდების გადიდება (ისე, რომ არ გამოიწვიოს დეტალზე მურის დალექვა).</p>
<p>შრეში ნახშირბადის ამაღლებული კონცენტრაცია (იწვევს ცემენტის ან კარბიდების ბადის წარმოქმნას და, წრთობის შემდეგ სიმყიფეს).</p>	<p>კარბიურიატორის ჭარბი მიწოდება. მაღალი აქტიურობის კარბიურიატორი (იწვევს ცემენტის ან კარბიდების ბადის წარმოქმნას და, წრთობის შემდეგ - სიმყიფეს).</p>	<p>დეფექტის არიდება: კარბიურიატორის მიწოდების რეგულირება. კარბიურიატორის აქტიურობის რეგულირება.</p>

ცხრილი № 16-ის გაგრძელება

<p>დანახშირბადიანებული შრის არასაკმარისი სისქე და ამის ერთდროულად შრეში ნახშირბადის არასაკმარისი კონცენტრაცია.</p>	<p>კარბილურიზატორის არასაკმარისი მიწოდება, დაბალი ტემპერატურა, დაყოვნებს მცირე ხანგრძლივობა.</p>	<p>დეფექტის არიდება: აირული კარბილურიზატორის მიწოდების რეგულირება. ტემპერატურის ამაღლება. დაყოვნების ხანგრძლივობის გაზრდა.</p>
<p>დანახშირბადიანებული შრის სიღრმის არათანაბრობა.</p>	<p>როცა შრის არათანაბრობა ერთი ჩანატვირთვის ზღვრებში შეინიშნება: 1. ტემპერატურის არათანაბარი განაწილება ლუმლის სხვადასხვა ადგილას. 2. აირების არათანაბარი ცირკულაცია ლუმლის სამუშაო სივრცეში – დეტალების არასწორი განთავსება, ლუმლის გადატვირთვა, ვენტილატორის დაზიანება. როცა შრის არათანაბრობა ერთ დეტალზე შეინიშნება: მურის გამყოფა და დეტალის ზედაპირის დაკოქსვა.</p>	<p>დეფექტის არიდება: ლუმლის შეკეთება (გამხურებლების სწორი განლაგება). დეტალების სწორი განლაგება ლუმლის სამუშაო სივრცეში. ვენტილაციის გაუმჯობესება. კარბილურიზატორის მიწოდების რეგულირება.</p>

ცხრილი № 16-ის გაგრძელება

<p>დანახშირბადიანებული შრის ლაქოვანი სისალე (რბილი ლაქები ნაწრთობი დანახშირბადიანებული ნაკეთობის ზედაპირ-ზე).</p>	<p>მურის გამოყოფა და დეტალის ზედაპირის დაკოქვა, რაც იწვევს არათანაბარ გაცივებას წრთობისას.</p>	<p>დეფექტის არიდება: კარბიურიზატორის მიწოდების რეგულირება.</p>
<p>დანახშირბადიანებული შრის დაუნახშირბადიანებულიზე (გულზე) მკვეთრი გადასვლა.</p>	<p>ძლიერი კარბიურიზატორის გამოყენება. შესაძლებელია დანახშირბადიანებული შრის აშრეება</p>	<p>დეფექტის არიდება: დანახშირბადიანება სუსტ კარბიურიზატორში. ტემპერატურის ამაღლება და ერთდროულად კარბიურიზატორის მიწოდების ან მისი აქტიურობის შემცირება.</p>

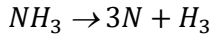
ცხრილი № 17. პასტებით დანახშირბადიანების ძირითადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
დანახშირბადიანებული შრის სისქის ამაღლება ან დადაბლება.	გახურების არასწორი ტემპერატურა. დაყოვნების არასწორი ხანგრძლივობა. პასტის შრის არათანაბარი სისქე.	დეფექტის არიდება: დანახშირბადიანების დადგენილი ტექნოლოგიის ზედმიწევნით დაცვა.
ლაკოვანი დანახშირბადიანება.	პასტის დაზიანება ან აშრეება. პასტის არაერთგვაროვნობა	დეფექტის არიდება: დეტალების ფრთხილად ჩაწობა ყუთებში, პასტის საგულდაგულოდ არევა.
ნახშირბადის შემცირებული კონცენტრაცია შრეში.	პასტის შედგენილობაში შემავალი კომპონენტების დადგენილი თანაფარდობის დარღვევა.	დეფექტის არიდება: პასტის შედგენილობაში შემავალი კომპონენტების დადგენილი თანაფარდობის ზედმიწევნით დაცვა.

9.3 დააზოტება

ფოლადის ზედაპირის აზოტით გაჯერების პროცესს ეწოდება დააზოტება. დააზოტებამდე დეტალი მექანიკურად სრულად მუშავდება (ტოვებენ მხოლოდ მცირე ნამეტს დამატებითი ხევისათვის). დეტალის გულის სიმტკიცე და სიბლანტე უმჯობესდება წინასწარი თერმული დამუშავებით - წრთობა მაღალი მოშვებით. იმ შემთხვევაში, თუ დეტალის გულს მაღალი სიმტკიცე არ მოეთხოვება, საკმარისია ნორმალიზაცია.

დააზოტება ტარდება 500 - 600 °C ტემპეტატურაზე ხანგრძლივი დაყოვნებით, ამიაკის - (NH_3)-ის - გარემოში. მაღალ ტემპეტურატურაზე ამიაკი იშლება და წარმოქმნილი აქტიური ატომური აზოტი ლითონთან ურთიერთქმედებს.



დააზოტებული შრის სისქე, ჩვეულებრივ, 0,3 - 0,6 მმ-ია.

დანაფარის თვისებები იცვლება ზედაპირიდან შეღწეული აზოტისა და ფოლადის შედგენილობაში შემავალი მალეგირებელი ელემენტების (Al, Cr, Mo, V და სხვ.) ურთიერთქმედებით წარმოქმნილი წვრილდისპერსიული ნიტრიდებით. ამდენად, დააზოტება, ძირითადად, ლეგირებულ ფოლადებს უტარდება. გამოყოფილი ნიტრიდული ნაწილაკების ირგვლივ ატომური გისოსები მახინჯდება და დისლოკაციების გადაადგილებას მრავალრიცხოვანი ბარიერი ექმნება. შესაბამისად, მაღლდება ნაკეთობის ზედაპირის სისალე და ცვეთამედეგობა.

დანახშირბადიანებასთან შედარებით, დააზოტების უპირატესობას წარმოადგენს ზედაპირის უფრო მაღალი სისალე (დააზოტებისას - 1200 HV, დანახშირბადიანებისას - 900 HV), ცვეთა - და

კოროზიამედეგობა. დააზოტებული დეტალის ზედაპირი მაღალ სისალესა და ცვეთამედეგობას ინარჩუნებს 500 - 600°C ტემპერატურამდე, ხოლო დანახშირბადიანებისას - მხოლოდ 200 - 250 °C-მდე. ამასთან, ტენიანი ჰაერისა და ორთქლის პირობებში ექსპლუატაციისას, ნაკეთობის კოროზიული მედეგობა მაღლდება. დააზოტებული შრის კუთრი მოცულობის ამალღება იწვევს დიდ მკუმშავ შინაგან ძაბვებს. დეტალის მუშაობისას ისინი ამცირებენ გარე დატვირთვებით გამოწვეული გამჭიმავი ძაბვების უარყოფით გავლენას. შედეგად, მნიშვნელოვნად იზრდება დეტალის ამტანობა. გარდა ამისა, დანახშირბადიანებასთან შედარებით, დააზოტების ტექნოლოგიური უპირატესობა არის ის, რომ გამოირიცხება ნაკეთობის დამატებითი თერმული დამუშავება; პროცესის ტემპერატურა 350 - 400°C-ით დაბალია და, შესაბამისად, მცირდება დეტალის დაბრეცის ალბათობა;

დააზოტების განსაკუთრებული უარყოფითი მხარეებია: პროცესის დიდი ხანგრძლივობა (ზოგჯერ ორ დღე-ღამეზე მეტი) და ძვირადღირებული ლეგირებული ფოლადების გამოყენების აუცილებლობა. ამდენად, სხვა დამუშავებებთან შედარებით, დააზოტების პროცესი 2 - 3-ჯერ უფრო ძვირია.

დააზოტებისაგან დასაცავი უბნების ყველაზე საიმედო დამცავი არის გალვანური მოკალვა. მაღალ ტემპერატურაზე კალის ჩამოდინებისაგან დასაცავად, დამატებით, ხდება თხელი ფენით დაფოსფატება, ანუ მოკალული ზედაპირის ფოსფორშემცველი მარილებით (ძირითადად, პრეპარატ მაჟეფით დაფარვა). კალის სიძვირისა და დეფიციტურობის გამო, მის ნაცვლად, ხშირად, თხევადი მინა, ხოლო ზოგჯერ მონიკელება გამოიყენება.

დააზოტების ხერხები არის აირული, იონური და თხევადი.

I. აირული დააზოტება. უმრავლეს შემთხვევაში ქარხნები აირულ დააზოტებას იყენებენ. ასეთ შემთხვევაში, სახურებელ ლუმელში მოთავსებულ დეტალებიან კონტეინერს მიეწოდება ამიაკი. დააზოტების ტექნოლოგიური პროცესი განისაზღვრება ამიაკის დისოციაციის ხარისხით (რიცხვი პროცენტებში, რომელიც გვიჩვენებს დისოცირებული ამიაკის მოცულობის ფარდობას მუფელში აირის საერთო მოცულობასთან), ტემპერატურითა და დაყოვნების დროით.

ერთი და იმავე ხანგრძლივობისას, ტემპერატურის ამაღლებით დანაფარის სისქე მატულობს, მაგრამ მცირდება სისალე. სისქის გადიდება აიხსნება დიფუზიის სიჩქარის ამაღლებით, ხოლო სისალის შემცირება - ნიტრიდების ნაწილაკების კოაგულაციით.

არსებობს საფეხუროვანი აირული დააზოტება. მისი გამოყენებისას პროცესის ხანგრძლივობა მცირდება. უმეტესად გამოიყენება ორსაფეხურიანი ციკლი (ზოგჯერ სამსაფეხურიანი).

ორსაფეხურიანი ციკლის I საფეხურზე: 510 - 530 °C ტემპერატურაზე, ამიაკის დისოციაციის მცირე (35%-მდე) ხარისხისას, აზოტის მაღალი კონცენტრაციით, წარმოიქმნება თხელი ზედაპირული შრე. ხოლო II სტადიაზე: 540 - 580 °C ტემპერატურაზე, დისოციაციის ხარისხის (65%-მდე) გაზრდით მატულობს აზოტის დიფუზიის სიჩქარე და მცირდება პროცესის საერთო ხანგრძლივობა.

II. იონური დააზოტება – დააზოტება მღვივარი განმუხტვის პლაზმაში.

დააზოტების პროცესში დასამუშავებელი დეტალებით დატვირთულ ჰერმეტიკულ კონტეინერში გაუხშობილი აზოტმცველი ატმოსფერო (სუფთა აზოტი, ამიაკი ან აზოტისა და წყალბადის ნარევი) იქმნება. დასამუშავებელი დეტალები მუდმივი დენის უარყოფით პოლუსს (კათოდს) უერთდება, ხოლო კონტეინერი - დადებითს (ანოდს). მაღალი 500 - 1000 ვოლტი ძაბვის მოდებისას, აირი დაიონდება და იონიზაციისას წარმოქმნილი აზოტის დადებითად დამუხტული იონები კათოდისაკენ აჩქარდებიან. კათოდის სიახლოვეს აირული არის ელექტრული წინაღობა მკვეთრად იზრდება, რის გამოც კათოდთან (მისგან რამდენიმე მმ-ზე) არსებულ წინაღობაზე თითქმის მთელი მიწოდებული ძაბვის ვარდნა ხდება. ამ დროს კათოდის სიახლოვეს იქმნება ძალიან დიდი დამაბულობის ელექტრული ველი. ველში შემავალი აზოტის იონები დიდ სიჩქარეს იძენენ და დეტალთან შეჯახებისას, მის ზედაპირში ჩაინერგებიან. ამ დროს აზოტის იონების მაღალი კინეტიკური ენერგია გადადის სითბურ ენერგიაში. ხდება დასამუშავებელი დეტალების მოკლე დროში (15 - 30 წთ) 470 - 530 °C ტემპერატურამდე გახურება და აზოტის ინტენსიური დიფუზია დეტალების სიღრმისაკენ. გარდა ამისა, დეტალის ზედაპირზე, იონების დაჯახებისას, ხდება კრისტალური გისოსიდან რკინის იონების გამოსვლა და ზედაპირის გაწმენდა დააზოტების ხელშემშლელი ჟანგეულის ფირისაგან. ეს უკანასკნელი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კოროზიამდეგი ფოლადებისათვის, რომელთათვისაც მაპასივებელი ფირის მოშორება, ჩვეულებრივი მეთოდებით, ძალიან ძნელია.

ღუმელში დააზოტებასთან შედარებით, იონური დააზოტების უპირატესობა:

1. 1,5 - 2-ჯერ მცირდება პროცესის საერთო ხანგრძლივობა;
2. მოცემული თვისებების დააზოტებული შრის მისაღებად პროცესის რეგულირების შესაძლებლობა;
3. დეტალების ნაკლები დეფორმაცია თანაბარი გახურების შედეგად;
4. სადეპასივაციო დამატებითი დამუშავებების გარეშე კოროზიამედეგი ფოლადებისა და შენადნობების დააზოტების შესაძლებლობა.

III. თხევადი დააზოტება. პროცესი ხორციელდება ციანიდების NaCN, KCN-ის, ციანატების NaCNO, KCNO-ის, სისხლის ყვითელი მარილის - $K_4Fe(CN)_6$ -ის, კარბამიდის, ანუ შარდოვანას - $(NH_2)_2CO$ -ის, აგრეთვე ციანარშემცველი ნიტრიტებისა - KNO_2 , $NaNO_2$ -ის და ნიტრატების - $NaNO_3$, KNO_3 -ის ნადნობებში. აზოტისა და ნახშირბადის შემცველი მარილების ნადნობებში, თხევადი დააზოტებისას, ნაკეთობის ზედაპირი ჯერდება ორივე ელემენტით. შედარებით დაბალ, $570^{\circ}C$ ტემპერატურაზე (აზოტისა და ნახშირბადის, დაახლოებით, 3:1 თანაფარდობისას), პროცესის მიმდინარეობისას, ფოლადის ზედაპირი, ძირითადად, აზოტით ჯერდება.

დააზოტებული შრის სტრუქტურა ხასიათდება ორი ზონით, ესენია ზედაპირული - კარბონიტრიდული, რომელიც შედგება ნახშირბადშემცველი ნიტრიდებისაგან და დიფუზიური ანუ ნიტრიდული - აზოტის მყარი ხსნარი რკინაში. კარბონიტრიდული შრე სისქის სიმცირის (10 - 15 მკმ) მიუხედავად, ზედაპირის ისეთ მნიშვნელოვან თვისებებს ანიჭებს, როგორცაა:

ხახუნის დაბალი კოეფიციენტი, ანაგლეჯებისადმი მდგრადობა და კარგი მისახმარისება.

თხევადი დააზოტებისას, დააზოტებული შრის სისქე, პროცესის ხანგრძლივობისა და ტემპერატურის შესაბამისად, მილიმეტრის რამდენიმე მეათედს აღწევს. ამ დროს დაბალნახშირბადიანი ფოლადების ზედაპირის სისალე მაღლდება უმნიშვნელოდ - 300 HV-მდე, ხოლო ლეგირებული ფოლადების სისალე გაცილებით უფრო მეტად - 1000 HV-მდე.

თხევადი დააზოტებისას, უპირატესად, გამოიყენება ციანიდ-ციანატური აბაზანები. უკეთესი შედეგები მიიღება 570°C ტემპერატურაზე 1 - 3 სთ ხანგრძლივობით დაყოვნებისას. გერმანიაში ასეთ დამუშავებას “ტენიფერ პროცესი” ეწოდება, ხოლო ამერიკაში - “ტაფტრაიდინგ პროცესი”. ზოგჯერ მას რბილ დააზოტებასაც უწოდებენ, რადგან ასეთი დამუშავებისას, აირულ დააზოტებასთან შედარებით, რამდენადმე დაბალი სისალე მიიღება.

სწრაფმჭრელი ფოლადებისაგან დამზადებული ინსტრუმენტებისათვის 540 - 560 °C-ზე თხევადი დააზოტების პროცესი, ციანიდურ აბაზანებში, 5-დან 30 წუთამდე (ნაკეთობის ზომებიდან გამომდინარე) გრძელდება. პროცესი ცნობილია დაბალტემპერატურული დაციანების სახელით.

ლითონური ნაკეთობების ციანიდების, კარბამიდების და სისხლის ყვითელი მარილის გამოყენებით დამუშავების მნიშვნელოვანი უარყოფითი მხარეა აბაზანის ტოქსიკურობა.

დააზოტების ძირითადი დეფექტები მოცემულია № 18 ცხრილში.

ცხრილი № 18. დააზოტების ძირითადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
დაბრეცა (დეფორმაცია და ზომების ცვლილება).	შინაგანი ძაბვებით გამოწვეული: ა) წინასწარ ნაწოთობი ნაკეთობის მოშვების შემდეგ სწრაფი გაცივებით დარჩენილი შინაგანი ძაბვები; დააზოტებული შრის კუთრი მოცულობის ზრდით წარმოქმნილი დიდი შინაგანი მკუმშავი ძაბვები ბ) ნაკეთობის მექანიკური დამუშავება.	დეფექტის არიდება: ა) გაცივება მოშვების შემდეგ, არაუმეტეს 2 - 3°C/წთ სიჩქარით; ბ) მექანიკური დამუშავების შემდეგ მასტაბილიზებული მოშვება 520 - 540°C-ზე 3 - 5 საათის ხანგრძლივობით. დეფექტის გამოსწორება: გამართვა.
დასკდომა (ნაკეთობის დააზოტებული შრის აქერცვლა).	პროცესის დიდი ხანგრძლივობისას (უმეტესად, დააზოტების ერთსაფეხურიანი ციკლისას), დეტალის ზედაპირზე წარმოქმნილი აზოტით გადაჯერებული თხელი შრის მსხვილმარცვლოვანი ქერქი; დააზოტებული შრიდან გულისკენ მკვეთრი გადასვლით გამოწვეული შინაგანი ძაბვები.	დეფექტის არიდება: დააზოტების შემდეგ ნელი გაცივება ან დააზოტება მოშვებით დეფექტის გამოსწორება: მოშვება 570 - 580 °C-ზე 4 - 5 საათის ხანგრძლივობით, ლუმელში ამიაკის ატმოსფეროს მუდმივობისას.
ამობერვები (ამობურცვები) ზედაპირზე.	დააზოტებული ნაკეთობების ზედაპირთან განლაგებული წიდის ჩანართები.	დეფექტის არიდება: ფოლადის გულდასმით კონტროლი წიდის ჩანართებზე.

ცხრილი № 18-ის გაგრძელება

<p>სიმყიფე (დააზოტებული შრის ზედაპირის ამოფხვანა).</p>	<p>სტრუქტურის მსხვილმარცვლოვნებითა და წინასწარი თერმული დამუშავებისას ზედაპირის გაუნახშირბადოებით გამოწვეული ზედაპირის თხელი ფენის მეტისმეტად გაჯერება ნიტრიდებით.</p>	<p>დეფექტის არიდება: დააზოტების საფეხუროვანი პროცესი. დეფექტის გამოსწორება: მოშვება ამიაკის ატმოსფეროში 570 - 580 °C-ზე, 4 - 5 საათის ან 630 - 650 °C-ზე - 2 საათის ხანგრძლივობით.</p>
<p>არათანაბარი (ლაქოვანი) სისალე.</p>	<p>მარცვლის ზომების არაერთგვაროვნობა, კალისა და თხევადი მინის ცალკეული დანაფარების მოხვედრა დასააზოტებელი ზედაპირის ზოგ უბანზე.</p>	<p>დეფექტის არიდება: დააზოტებამდე დაფოსფატება და ნაკეთობის ზედაპირის გულდასმით მოშხადება.</p>
<p>დააზოტებული შრის დადაბლებული სისალე,</p>	<p>პროცესის ამაღლებული ტემპერატურა (ნიტრიდების გამსხვილება და, შესაბამისად, სისალის დაწვევა); მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურა, მარცვლის საზღვრებზე აზოტის დიფუზია, განპირობებს შიგა ნაწილის დადაბლებულ სისალეს; გაუნახშირბადოება, ფერიტული სტრუქტურის წარმოქმნა, რომელშიც ნიტრიდები ფორმირდება მსხვილი ნაწილაკების სახით და ვერ უზრუნველყოფს მაღალ სისალეს.</p>	<p>დეფექტის არიდება: ტექნოლოგიური პროცესის დაცვა.</p>
<p>შრის დადაბლებული სისქე.</p>	<p>პროცესის დადაბლებული ტემპერატურა და დაყოვნების არასაკმარისი დრო.</p>	<p>დეფექტის არიდება: ტექნოლოგიური პროცესის დაცვა.</p>

9.4 დააზოტნახშირბადიანება (დაციანება)

ფოლადის ზედაპირის ნახშირბადითა და აზოტით კომბინირებული დიფუზიური გაჯერების პროცესს ეწოდება დააზოტნახშირბადიანება (დაციანება). იგი უტარდება 0,2 - 0,4% C-ის შემცველობის როგორც ნახშირბადიან, ისე ლეგირებულ ფოლადებს. როგორც წესი, ნაკეთობას უშუალოდ გახურების ტემპერატურიდან აწრთობენ, ხოლო წრთობის შემდეგ, აუცილებელია დაბალი მოშვება. განმეორებით გახურება და წრთობა მიზანშეუწონელია. ამ დროს ზედაპირი დეაზოტირდება.

ზოგადად, დანახშირბადიანებულთან შედარებით, დააზოტნახშირბადიანებით განმტკიცებული შრის უპირატესობაა:

- უფრო მაღალი ცვეთამედეგობა;
- ამაღლებული თბომედეგობა;
- მარცვლის ზრდის ნაკლები ინტენსიურობა (დაბალი ტემპერატურისა და ნაკლები ხანგრძლივობის გამო);
- დააზოტნახშირბადიანების ტემპერატურიდან უშუალოდ წრთობისას ნაკლები ხარისხით დაბრეცა.

დააზოტნახშირბადიანების პროცესი ტარდება მყარ, თხევად და აირულ გარემოში. აქედან გამომდინარე, ასხვავებენ მყარ, თხევად და აირულ დააზოტნახშირბადიანებას (ნიტროცემენტაცია).

მყარი დააზოტნახშირბადიანების პროცესი ტარდება მყარი დანახშირბადიანების მსგავსად. იმ განსხვავებით, რომ კარბიურიატორს ემატება ციანშემცველი მარილები. მაგ., ხის ნახშირი+30 - 40% $K_4Fe(CN)_6$ (სისხლის ყვითელი მარილი) + 10% Na_2CO_3 (სოდა). მყარი დააზოტნახშირბადიანება, თხევად

და აირულ პროცესებთან შედარებით, ნაკლებეფექტურია და მისი გამოყენებაც შეზღუდულია.

თხევადი დააზოტნახშირბადიანების პროცესი ციანშემცველი მარილების (NaCN ან KCN) ნადნობში ტარდება. მისი დიდი უპირატესობა არის პროცესის მაღალი სიჩქარე (თხევად გარემოში გახურების სისწრაფე) და ციანიდური აბაზანების მაღალი აქტიურობა. ასხვავებენ დაბალტემპერატურულ და მაღალტემპერატურულ თხევად დააზოტნახშირბადიანებას.

დაბალტემპერატურული თხევადი დააზოტნახშირბადიანება გამოიყენება სწრაფმჭრელი და მაღალქრომიანი ფოლადებისაგან დამზადებული ინსტრუმენტების მედეგობის ასამაღლებლად. ინსტრუმენტის დაციანება ხდება საბოლოო თერმული დამუშავების (ალესვისა და ხეხვის ჩათვლით) შემდეგ. ამიტომ, პროცესის ტემპერატურა წინამორბედი მოშვების ტემპერატურას არ უნდა აღემატებოდეს. ჩვეულებრივ, იგი $540 - 590^{\circ}\text{C}$ ინტერვალში ტარდება. ამ ტემპერატურაზე 1 - 3 სთ დაყოვნებით მიღებული შრის სისქე 0,05 - 0,15 მმ-ია. რეკომენდებულია ჭუჭყისა და ზეთისაგან გაწმენდილი ინსტრუმენტის დაცინებამდე $300 - 400^{\circ}\text{C}$ -მდე წინასწარი შეთბობა.

ასეთი დამუშავებით, სწრაფმჭრელი ფოლადისაგან დამზადებული, ინსტრუმენტის მედეგობა 1,5 - 2-ჯერ იზრდება.

მაღალტემპერატურული თხევადი დააზოტნახშირბადიანება ტარდება $820 - 860^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურულ ინტერვალში. 0,5 - 1,5 სთ ხანგრძლივობით დაყოვნებისას მიღებული შრის სისქე 0,2 - 0,5 მმ-ია. უფრო სქელი შრის მისაღებად ტემპერატურის აწევა $930 - 960^{\circ}\text{C}$ -მდე ხდება. ამ დროს დანაფარის შრეში აზოტის კონცენ-

ტრაცია მცირდება, ხოლო ნახშირბადის შემცველობა დანახშირბადიანებული შრის კონცენტრაციას უახლოვდება. ასეთი დამუშავება, დანახშირბადიანების პროცესთან შედარებით, გაცილებით ხანმოკლეა, რის გამოც იგი დანახშირბადიანების ნაცვლად არის რეკომენდებული.

როგორც წესი, მუშაობის პროცესში აბაზანა “იფიტება” – ნადნობში მცირდება ციანშემცველი მარილების კონცენტრაცია. მაღალ ტემპერატურებზე ჰაერის ჟანგბადთან ურთიერთქმედებისას, ციანშემცველი მარილების დაშლით წარმოქმნილი აზოტი და ნახშირბადი იხარჯება დეტალების ზედაპირის გაჯერებაზე, ხოლო სოდა გროვდება აბაზანაში და ამცირებს ნადნობის თხელდენადობას. გარდა ამისა, აბაზანაში დაბლდება ნადნობის დონე. ნადნობის ნაწილი მიყვება დეტალებს (აუარესებს წრთობის ხარისხს), ნაწილი კი ქროლდება. საწყისი მდგომარეობის (ნადნობის შედგენილობისა და დონის) შესანარჩუნებლად, აუცილებელია, პერიოდულად, ნადნობში შემავალი ნაერთების დამატება (ე.წ., აბაზანის აღდგენა).

დაბრეცის შესამცირებლად, მარილების ამოტყორცნის ასაცილებლად და აბაზანის მწარმოებლურობის გასაზრდელად, ჩატვირთვამდე დეტალებს შეათბობენ 350 - 600°C-მდე. წრთობა ტარდება წყალში ან ზეთში. დეტალების დაბრეცის შესამცირებლად, რეკომენდებულია გაცივება 180 - 200°C-მდე გაცხელებულ ზეთში ან ტუტე მარილების წყალხსნარებში.

თანამედროვე საწარმოებში, უპირატესად, გამოიყენება აირული დააზოტნახშირბადიანება. თხევადისაგან განსხვავებით, პროცესი მიმდინარეობს აზოტისა და ნახშირბადის შემცველ აირულ გარემოში ($NH_3 + CH_4 +$ ენდოაირი). მაღალი სიზუსტის უწყვეტი

მოქმედების ავტომატიზებული აგრეგატები იძლევიან აირული რეჟიმების ავტომატური რეგულირების (ატმოსფეროს შედგენილობის ცვლილება შესაძლებელია ფართო დიაპაზონში. მაგალითად, ღუმლის ატმოსფეროში ამიაკი 3 - 35%-ის, ხოლო მეთანი 10 - 40%-ის ზღვრებში იცვლება) და კონტროლის შესაძლებლობას.

სამუშაო ატმოსფეროს შედგენილობა მნიშვნელოვნად აისახება განმტკიცებული შრის თვისებებსა და ხარისხზე. მაგალითად, ამიაკის მაღალი შემცველობა, ლეგირებული ფოლადების განმტკიცებულ შრეში, იწვევს კარბონიტრიდების წარმოქმნას. იგი ხასიათდება მაღალი სიმციფით და ამიტომ საკონსტრუქციო დეტალებში მისი არსებობა არასასურველია. კარბონიტრიდების წარმოქმნის ასაცილებლად იზღუდება ამიაკისა და მეთანის რაოდენობა ($<3\%NH_3$, $<5\%CH_4$ დანარჩენი ენდოაირი). ასეთ ატმოსფეროში (850 - 870 °C-ზე) დააზოტნახშრბადიანებისას, ნაკეთობის ზედაპირი, უპირატესად, ჯერდება ნახშირბადით. ამიტომ ასეთ პროცესს ეწოდება კარბონიტრირება.

არსებობს დაბალტემპერატურული (500 - 600 °C) და მაღალტემპერატურული (800 - 900 °C) აირული დააზოტნახშრბადიანება.

დაბალტემპერატურული აირული დააზოტნახშრბადიანება გამოიყენება ინსტრუმენტის მედეგობისა და მანქანათა დეტალების ხანმედეგობის ასამაღლებლად.

მჭრელი თვისებების მედეგობის ასამაღლებლად, დაბალტემპერატურული ნიტროცემენტაცია, ძირითადად, სწრაფმჭრელი საიარალო ფოლადებისაგან დამზადებულ ინსტრუმენტებს უტარდება. პროცესის ტემპერატურა არის 550 - 560 °C, ხოლო და-

ყოფნების დრო 1,0 - 2,5 სთ (ინსტრუმენტის ზომებიდან გამომდინარე). მაგალითად, 45 - 60 წთ დაყოვნება 0,02 - 0,04 მმ სისქის შრესა და 1000 - 1200 HV სისალეს იძლევა, რაც დამუშავებამდე სისალეს 150 - 200 ერთეულით აღემატება.

საკონსტრუქციო ფოლადებისაგან დამზადებულ დეტალებს, გულისათვის აუცილებელი მექანიკური თვისებების მისანიჭებლად, ნიტროცემენტაციამდე უტარდებათ წრთობა მაღალი მოშვებით. დააზოტნახშირბადიანების პროცესი მიმდინარეობს 550 - 600°C ტემპერატურაზე. ამ ტემპერატურაზე 4 - 6 სთ-იანი დაყოვნების შემდეგ ნახშირბადიანი ფოლადების ზედაპირის სისალე არის 250 - 350 HV, ხოლო ლეგირებულების - 500 - 700 HV. ასეთი დამუშავების მიზანი არა იმდენად სისალის ამაღლებაა, რამდენადაც ცვეთამედეგობისა და დაღლილობის სიმტკიცისა.

აღსანიშნავია, რომ ეს პროცესი ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში, თუმცა მისი სახელწოდება განსხვავებულია: რუსეთში, ნიტროცემენტაციის გვერდით, მას უწოდებენ დაბალტემპერატურულ აირულ ციანირებას, აშშ-ში - ნიტემპერს, გერმანიაში - ნიკოტირებასა და ნიტროკ-პროცესს, იაპონიაში - ნაიტემპერსა და უნიტიე-პროცესს. ისინი ერთმანეთისაგან მხოლოდ ნახშირბადშემცველი აირის სახეობით განსხვავდებიან. დეაზოტირების გამოსარიცხად, პროცესის დამთავრებისას, ნაკეთობა ცივდება აჩქარებულად - ზეთში ან დამცავი აირის ნაკადში.

დაბალტემპერატურული დაციანების პროცესის შემდეგ, ნაკეთობის ზედაპირის შედგენილობაში ჭარბობს აზოტი. დაციანებული შრის სისქე 0,2 - 0,5 მმ-ის ზღვრებშია და ზედაპირის სისალე შეადგენს 1000 HV-ს.

შენადნობების მაღალტემპერატურული აირული დააზოტნახშირბადიანება ტარდება 840 - 850°C ტემპერატურაზე. კარბონიტრიებისას, ჩვეულებრივ, აიღება 850 - 870°C. ამ დროს, დამუშავებულ შრეში აზოტის რაოდენობა მცირდება, ხოლო ნახშირბადის კი მატულობს. შრის სისქე 0,6 - 2,0 მმ-ის ზღვრებში იცვლება და მისი სისალე, თერმული დამუშავების შემდეგ, 60 HRC -ს შეადგენს. კარბიურიზატორისა და ამიაკის მიწოდების რეჟიმი, ბუნებრივია, მოქმედებს ღუმლის ატმოსფეროზე და, შესაბამისად, დააზოტნახშირბადიანებული შრის სიღრმეზე, ასევე მასში ნახშირბადისა და აზოტის შემცველობაზე. რაც უფრო მაღალი იქნება მოთხოვნილი შრის სისქე, მით ნაკლები უნდა იყოს ამიაკი ნარევეში.

ფოლადის შედგენილობის მიხედვით, საუკეთესი საექსპლუატაციო თვისებები მიიღება, თუ შრეში ნახშირბადისა და აზოტის ჯამური შემცველობა 1,0 - 1,6 % იქნება. ამავე დროს, შესაძლებელია ნახშირბადის შემცველობა იყოს 0,65-დან 1,15 %-მდე. ლეგირებული ფოლადებიდან დამზადებული დეტალების შრეში აზოტისა და ნახშირბადის შემცველობის ამაღლება, წრთობის შემდეგ, იწვევს ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობის ზრდას და, შესაბამისად, შრის სისალის შემცირებას. განმეორებითი გახურებითა და წრთობით (წრთობამდე აუცილებელია მაღალი მოშვება) შესაძლებელია ნარჩენი აუსტენიტის რაოდენობის შემცირება და, შესაბამისად, სისალის ამაღლება. ამ დროს გასათვალისწინებელია ის ფაქტი, რომ ჩვეულებრივ ატმოსფეროში, განმეორებით გახურებისას, ადგილი აქვს დეაზოტირებასა და გაუნახშირბადობას.

დააზოტნახშირბადიანების შემდეგ, ჩვეულებრივ, ნაკეთობა იწრთობა. ამ დროს მას გახურების ტემპერატურიდან წრთობის

ტემპერატურამდე - 800 - 820°C-მდე წინასწარ (შე)აცივებენ. დაბრეცის შესამცირებლად წრთობა რეკომენდებულია 180 - 200°C-მდე გახურებულ ზეთში. ამავე მიზნით, მსხვილი დეტალებისათვის გამოიყენება ცხელ არეებში საფეხუროვანი წრთობა. წრთობის შემდეგ ნაკეთობებს 160 - 210°C ტემპერატურებზე დაბალი მოშვება უტარდება.

დააზოტნახშრბადიანებული შრის ძირითადი დეფექტები მოცემულია № 19 ცხრილში.

ცხრილი № 19. დააზოტნახშრბადიანებული შრის ძირითადი დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტი გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
ამოჭმა (ნაკეთობის ზედაპირის დაზიანება წერტილების სახით ან რელიეფურად თხევადი მაღალტემპერატურული - 830 - 850 °C-ზე დაციანებისას).	ციანოვანი აბაზანის შესადგენად გამოყენებულ ნეიტრალურ მარილებში გოგირდმჟავა მარილების 0,7 - 08 %-ზე მეტი შემცველობით არსებობა; ნეიტრალური ქლოროვანი მარილების ქიმიური მოქმედება.	დეფექტის არიდება: ნეიტრალურ მარილებში გოგირდმჟავა მარილების შემცველობის გულდასმით კონტროლი.
სიმყიფე (დაბალტემპერატურული თხევადი ციანირების შემდეგ სწრაფმჭრელი ფოლადიდან დაშვადებული ინსტრუმენტის ზედაპირული შრის ამოფხვნა).	ციანირებისას, ტემპერატურის აწევით ან ხანგრძლივი დაყოვნებით, ზედაპირის თხელი ფენის მეტისმეტად გაჯერება ნიტრიდებით.	დეფექტის გამოსწორება: 550 - 560°C -მდე გახურება გვარჯილის აბაზანაში, 30 წუთის დაყოვნებით.

ცხრილი № 19-ის გაგრძელება

<p>ნარჩენი აუსტენიტი (ლეგირებული ნაწრობი ფოლადის დაციანებული შრის დადაბლებული სისალე).</p>	<p>ნახშირბადისა და აზოტის მაღალი კონცენტრაცია დაციანებულ შრეში. გაცივების დიდი სიჩქარე.</p>	<p>დეფექტის არიდება: წრთობა ზეთში წინასწარი გაცივებით 650 - 600°C-მდე. დეფექტის გამო-სწორება: სიცივით დამუშავება 0°C-ზე დაბლა.</p>
<p>დაციანებული შრის დადაბლებული სისალე და სისქე.</p>	<p>აბაზანის გამოფიტვა, დაყოვნების არასაკმარისი დრო.</p>	<p>დეფექტის არიდება: აბაზანის შედგენილობის სისტემატური კონტროლი. ტექნოლოგიური რეჟიმის მკაცრი დაცვა.</p>
<p>დადაბლებული და არაერთგვაროვანი სისალე.</p>	<p>აბაზანის თხევადდენადობის შემცირებისას, დეტალის ზედაპირზე მიწებებული მარილები, წრთობისას აბრკოლებს თანაბარ და ინტენსიურ გაცივებას.</p>	<p>დეფექტის არიდება: აბაზანის შედგენილობისა და ტემპერატურული რეჟიმის დაცვა.</p>
<p>შრის დადაბლებული სისქე.</p>	<p>პროცესის დადაბლებული ტემპერატურა; დაყოვნების არასაკმარისი ხანგრძლივობა; აირული არის დადაბლებული აქტიურობა ამიაკის ან კარბიურიზატორის არასაკმარისი მიწოდება. ჰაერის შეწოვა. მუფელის გაწვა ან ტენის მოხვედრა სამუშაო არეში. დაბალტემპერატურულ პროცესში ნაკეთობის ზედაპირზე წარმოიქმნება მურა ფერის ჟანგის ფირი, მაღალტემპერატურულზე - მოსალოდნელია ხენჯის წარმოქმნა.</p>	<p>დეფექტის არიდება: პროცესის ტექნოლოგიისა და ტექნიკური პირობების მოთხოვნების დაცვა.</p>

ცხრილი № 19-ის გაგრძელება

დადაბლებული სისალე შრის ნორმალური სისქისას წრთობის შემდეგ.	შრის ნახშირბადით და აზოტით არასაკმარისი გაჯერება. ლეგირებულ ფოლადებში ნარჩენი აუსტენიტის მომატებული რაოდენობა.	დეფექტის არიდება: დეტალის გაქრევა წრთობამდე. სიცივით დამუშავება 0°C-ზე დაბლა.
სიმყიფე.	ნახშირბადისა და აზოტის მაღალი კონცენტრაცია დააზოტნახშირბადიანებულ შრეში.	დეფექტის არიდება: აირული არის აქიურობის შემცირება (ამიაკისა და კარბიურიზატორის მიწოდების დარეგულირება), ან დაყოვნების ხანგრძლივობის შემცირება.
შრის დეფექტური სტრუქტურა.	≈0,15 მმ-ის სიღრმეზე განლაგებული მუქი, გაწყვეტილი ბადის სახის, დეფექტი. იგი წარმოადგენს წვრილი ფორების გროვას, შრის აზოტით გადაჯერებისას მოლეკულური აზოტის უწვრილესი აირის ბუშტებით წარმოქმნილი არამთლიანობები (მცირდება გამძლეობის ზღვარი).	დეფექტის არიდება: დაყოვნების ხანგრძლივობის შემცირება და აზოტის შედგენილობის დადაბლება შრეში (<0,5 %).

9.5 დიფუზიური მეტალიზაცია

მაღალ ტემპერატურებზე ლითონური ნაკეთობების ზედაპირული შრეების სხვადასხვა ლითონით დიფუზიურ გაჯერებას

ეწოდება დიფუზიური მეტალიზაცია. იგი გამოიყენება დეტალების მუშა ზედაპირების კოროზიული მედეგობის, მხურვალ-მედეგობისა და ცვეთამედეგობის ასამალებლად.

პრაქტიკაში, უფრო ხშირად, ზედაპირის გაჯერება წარმოებს ალუმინით (დაალუმინება), ქრომით (დაქრომვა), სილიციუმით (დასილიციუმება) და სხვ. შესაძლებელია კომბინირებული გაჯერება ორი ან რამდენიმე ელემენტით. ლითონები რკინასთან წარმოქმნიან ჩანაცვლების მყარ ხსნარებს, ამიტომ მათი დიფუზია უფრო ნელა ხდება, ვიდრე ნახშირბადის ან აზოტის. აქედან გამომდინარე, დიფუზიური მეტალიზაცია ტარდება უფრო მაღალ ($900 - 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$) ტემპერატურებზე.

დიფუზიური მეტალიზაციის პროცესის ჩასატარებლად გამოიყენება მყარი, თხევადი და აირული გარემო. მყარ აქტიურ არედ - სხვადასხვა ფეროშენადნობი (ფეროალუმინი, ფეროქრომი, ფეროსილიციუმი), მცირე რაოდენობის ამონიუმის ქლორიდის (NH_4Cl) დანამატით. გახურებისას ფეროშენადნობი რეაგირებს ამონიუმის ქლორიდთან და წარმოიქმნება თერმულად არამდგრადი ლითონის ქლორიდი (AlCl_3 , CrCl_2 , SiCl_4 და სხვ.). წარმოქმნილი ნაერთი ფოლადის ზედაპირზე დისოცირდება, ქიმიურად აქტიური ელემენტის გამოყოფით, რომელიც შემდეგ დეტალის სიღრმეში დიფუნდირდება.

დაალუმინებას, დაქრომვას და დასილიციუმებას ექვემდებარება რკინის შენადნობები. დეტალის ზედაპირებზე წარმოქმნილ დიფუზიურ დანაფარებს, მკვრივ ოქსიდურ ფირებს (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , SiO_2) მჟანგავ გარემოში, მაღალ ტემპერატურაზე,

დეტალის კოროზიისაგან დაცვის უნარი აქვთ. ისინი წინააღმდეგობას უწევენ ჰაერის ჟანგბადის დიფუზიას და ძირითად ლითონს იცავენ შემდეგი ჟანგვისგან.

დიფუნდირებადი ელემენტის, აქტიური გარემოს შედგენილობისა და პროცესის ტემპერატურის მიხედვით, დიფუზიური მეტალიზაციის ხანგრძლივობა 3 - 7 საათის ზღვრებშია.

ზედაპირული განმტკიცების პრაქტიკაში ფართოდ გამოიყენება ბორირების პროცესი. ასეთ შემთხვევაში, განმამტკიცებელი ეფექტი მიიღწევა ფოლადის ზედაპირულ შრეებში წარმოქმნილი მაღალი სისალის რკინისა (Fe_2B, FeB) და მალეგრეხელი ელემენტების ბორიდებით. ბორირებული ფოლადების ცვეთამედეგობა, სრიალის ხახუნის პირობებში, 4 - 6-ჯერ უფრო მაღალია, ვიდრე დანახშირბადიანებული ზედაპირისა, ხოლო 1,5 - 3-ჯერ მეტი, ვიდრე ნიტროცემენტირებულისა.

ქიმიურ-თერმული დამუშავების სხვა პროცესებიდან აღსანიშნავია დაგოგირდება. ამ დროს წარმოიქმნება რკინის სულფიდების (FeS, FeS_2) თხელი ფირები. გამოიყენება აგრეთვე დაგოგირდდაცინება - ერთდროული ზედაპირული გაჯერება ნახშირბადით, აზოტითა და გოგირდით.

თავი X

თუჯები

10.1 თუჯების სხვადასხვა ნიშნით კლასიფიკაცია და მათი მოკლე დახასიათება

თუჯი რკინისა და ნახშირბადის (2,14 – 6,67% C) იაფი შენადნობია. გამომდინარე იქედან თუ რა მდგომარეობაშია შენადნობში ნახშირბადი (ბმული თუ თავისუფალი სახით) არსებობს ორი ძირითადი სახის თუჯი: თეთრი და რუხი. ნახშირბადის შედგენილობის მიხედვით კი - ქვეევტექტიკური (C=2,14–4,3 %), ევტექტიკური (C= 4,3 %) და ზევტექტიკური (C= 4,3–6,7 %).

რუხი თუჯები ქიმიური შედგენილობის მიხედვით იყოფა არალეგირებულ და ლეგირებულად. რუხი თუჯის მიკროსტრუქტურა შედგება ფოლადის მსგავსი ლითონური ფუძისა (ფერიტი, პერლიტი) და არალითონური ჩანართებისგან - გრაფიტისგან (იხ. თავი V).

თეთრ თუჯებში თითქმის მთელი ნახშირბადი ბმულ მდგომარეობაშია კარბიდის სახით. მისი რღვევის რელიეფი ხასიათდება სპეციფიკური ნათელი ელვარებით (აქედან მოდის დასახელებაც). თეთრ თუჯებში „გაბატონებული“ ფაზა ცემენტიტია. აქედან გამომდინარე, მათი ძირითადი თვისებებიც ამ ფაზის თვისებებით განისაზღვრება. თეთრი თუჯების სისალე იცვლება HB = 4500 – 7000 მპა-ის ზღვრებში. ისინი მყიფეა და, პრაქტიკულად, მჭრელი იარაღით (აბრაზიულის გამოკლებით) ვერ მუშავდებიან, რის გამოც საკონსტრუქციო მასალად არ

გამოიყენებინან. მხოლოდ გათეთრებული - (ნახევრული) თუჯები (რუხი თუჯის სხმულები თეთრი თუჯის ზედაპირული შრით) გამოიყენება ძლიერი ცვეთის პირობებში.

რუხ თუჯებში ნახშირბადის უდიდესი ნაწილი წარმოდგენილია თავისუფალი გრაფიტის სახით. მისი რაოდენობა, ფორმა და ზომა იცვლება ფართო ზღვრებში, რის გამოც მათი რღვევის რელიეფი მუქი, ანუ რუხი ფერისაა. რუხი თუჯი ხასიათდება დაბალი პლასტიკურობით, კარგი საჩამომსხმელო თვისებებით, ვიბრაციის ჩახშობის მაღალი უნარით, მაღალი ანტიფრიქციულობით, თერმული დეფორმაციებისადმი ნაკლები მიდრეკილებით ექსპლუატაციისას (ფოლადისა და ალუმინის შენადნობებთან შედარებით), შემცირებული მგრძნობელობით ზედაპირის დეფექტებისადმი, სუსტი კოროზირებით და სხვა. ამასთან, კარგად მუშავდება ჭრით.

რუხი თუჯების მიკროსტრუქტურა შედგება ლითონური ფუძისა და გრაფიტის ჩანართებისგან. თუჯები ლითონური ფუძის აღნაგობის მიხედვით გვხვდება:

* **პერლიტური.** სტრუქტურა: პერლიტურ ფუძეს + გრაფიტის ჩანართები. პერლიტის შედგენილობაში შემავალი 0,8 % ნახშირბადი, როგორც წესი, ბმულ მდგომარეობაშია, ხოლო დანარჩენი, თავისუფალი გრაფიტის სახითაა;

* **ფერიტ-პერლიტური.** სტრუქტურა: ფერიტს + პერლიტი ფუძისა და თითისტრისებრი ფორმის გრაფიტის ჩანართები. ბუნებრივია, ასეთ თუჯებში ბმული ნახშირბადი 0,8 %-ზე ნაკლებია;

* **ფერიტული.** ლითონური ფუძე ფერიტია და შენადნობში შემავალი მთელი ნახშირბადი გრაფიტის სახითაა.

თუჯების სტრუქტურათა ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მათი ლითონური ფუძეები მსგავსია ევტექტოიდური და ქვეევტექტოიდური ფოლადებისა და რკინის სტრუქტურებისა. განსხვავება მხოლოდ თუჯების სპეციფიკური თვისებების განმსაზღვრელ გრაფიტის ჩანართების არსებობაშია. თუჯებში გრაფიტი არის სამი ძირითადი ფორმით - ფირფიტოვანით, სფეროსებრით და ფიფქისებრით (ფიფქისებრი ფორმის გრაფიტი - მოლბობის ნახშირბადი - მიიღება თეთრი თუჯის სხმულების ხანგრძლივი მოლბობით). შესაბამისად, თუჯებს ფირფიტოვანი გრაფიტით უწოდებენ ჩვეულებრივ რუხ თუჯს, სფეროსებრი გრაფიტით - მაღალი სიმტკიცის თუჯს, ხოლო ფიფქისებრი გრაფიტის ჩანართიანებს „ჭედად“ თუჯს.

თანამედროვე მანქანათმშენებლობაში იყენებენ რუხი (ფირფიტოვანი და ვერმიკულარული გრაფიტისჩანართებიანი), ფიფქისებრგრაფიტისანი და სფეროსებრგრაფიტისანი (მაღალი სიმტკიცის) თუჯების სხმულებს. მათი სტრუქტურა შედგება ფოლადის ანალოგიური ლითონური ფუძისა (ფერიტის, პერლიტის) და არალითონური ჩანართისგან (გრაფიტისგან). გრაფიტის კრისტალური მესერი ერთმანეთთან სუსტად დაკავშირებული შრეებისაგან შედგება.

ISO-ს სტანდარტით გრაფიტის ტერმინის თანამედროვე განმარტება ასეთია: გრაფიტი წარმოადგენს ნახშირბადის ალოტროპიულ მოდიფიკაციას. იგი შედგება ერთმანეთის მიმართ პარალელურად განლაგებული გრაფენის შრეებისგან, რომლებიც

წარმოქმნიან სამგანზომილებიან მოწესრიგებულ კრისტალურ სტრუქტურას.

გრაფიტი ხასიათდება უმნიშვნელო მექანიკური მახასიათებლებით - დაბალი სიმტკიცითა და პლასტიკურობით. ის არღვევს ლითონური ფუძის მთლიანობას და მოქმედებს ჩანაჭრის ან წვრილი ბზარის ანალოგიურად. რაც უფრო მსხვილი და სწორხაზოვანია გრაფიტული ჩანართი, მით უარესია თუჯის მექანიკური თვისებები. რუხი, ფიფქისებრგრაფიტისანი და მაღალი სიმტკიცის თუჯების გრაფიტული ჩანართების სხვადასხვა ფორმა განაპირობებს სხვაობებს ამ თუჯების მექანიკურ თვისებებს შორის. ძირითადი განსხვავება გრაფიტული ჩანართების მომრგვალებულსა და ფირფიტოვან ფორმას შორის მდგომარეობს იმაში, რომ სფეროსებრი ფორმა გაცილებით ნაკლებად აზიანებს ლითონური ფუძის მთლიანობას, ვიდრე ფირფიტოვანი. ე.ი. თუჯების სიმტკიცის მახასიათებლები იზრდება რუხი ფირფიტოვანიდან მაღალი სიმტკიცის თუჯამდე.

10.2. თუჯის სხმულების თერმული დამუშავების ძირითადი სახეები

თუჯის ნაკეთობები მიიღება ჩამოსხმით. მათზე ვრცელდება პარაგრაფ 3.2-ში აღწერილი ჩამოსხმული ნაკეთობების ძირითადი დეფექტები. თუჯის ნაკეთობების მექანიკური თვისებების გაუმჯობესება მიიღწევა თერმული დამუშავებით. სხვადასხვაგვარი თუჯის მისაღებად ხდება მათი თერმული (განმამტკიცებელი, განუმტკიცებლობის, მასტაბილიზებელი, აგრეთვე მაგრაფიტებელი) დამუშავება. თუჯის გახურების

პროცესში წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი შინაგანი ძაბვები. ბზარების წარმოქმნის ასაცილებლად აუცილებელია თუჯის სხმულების დაბალი სიჩქარით გახურება.

განმამტკიცებელი დამუშავება

*** ნორმალიზაცია.** დასაშვებია მარტივი ფორმისა და მცირე განივკვეთის სხმულების ნორმალიზაცია. იგი ტარდება 850 – 900°C ტემპერატურაზე საათის დაყოვნებით და შემდგომ ჰაერზე გაცივებით. ასეთი გახურების დროს ნახშირბადის ნაწილი იხსნება აუსტენიტში; ჰაერზე გაცივების შემდეგ ლითონური ფუძეში წარმოიქმნება ტროოსტიტისმაგვარი პერლიტური სტრუქტურა, რომელსაც აქვს მაღალი სისალე და ცვეთისადმი უკეთესი წინააღმდეგობა. რუხი თუჯისთვის ნორმალიზაცია შედარებით იშვიათად გამოიყენება. უფრო ფართოდ გამოიყენება წრთობა მოშვებით.

*** წრთობა მოშვებით.** ცემენტიტის შემცველი სტრუქტურის თუჯები იწრთობა ფოლადების მსგავსად (აუსტენიტში ცემენტიტის გასახსნელად გახურება 850 – 950 °C-მდე, გაცივება წყალში). შესაძლებელია როგორც პერლიტური, ისე ფერიტული თუჯების წრთობა. წრთობის შემდეგ მიიღება მარტენსიტი, ტროოსტიტმარტენსიტი ან ტროოსტიტი, გრაფიტთან და ნარჩენ აუსტენიტთან ერთად (სისალე 450 – 500 HB). მოშვების ტემპერატურა (200 – 600 °C) შეირჩევა დეტალის (მოთხოვნილი) თვისებების შესაბამისად. მოშვების შემდეგ საჭიროა გაცივება ჰაერზე. რუხი თუჯის სიმტკიცის მაჩვენებლების ეფექტური ამადლება შეიძლება იზოთერმული წრთობით, იგი ფოლადის იზოთერმული წრთობის ანალოგიურია: გახურება - აუსტენიტ-

ში ცემენტიტის გასახსნელად, მარილების ხსნარში იზოთერმული დაყოვნება (აუსტენიტის იზოთერმულად დასაშლელად) M_s -ტემპერატურაზე რამდენადმე მაღლა (200 - 400 °C) 10 - 90 წთ. ასეთი წრთობის შემდეგ ნაკეთობის მოშვება არ ხდება, თუჯის სტრუქტურა წარმოადგენს ნემსისებრ ტროოსტიტს + გრაფიტი. იზოთერმული წრთობის შემდეგ თუჯის სისალე და სიმტკიცე მატულობს.

მოცულობითი წრთობა უტარდება მცირეგაბარიტიან დეტალებს. მსხვილგაბარიტული დეტალების განმტკიცება ხდება ზედაპირული წრთობით: გახურებით 900 - 1000 °C-მდე, აცეტილენჟანგბადის ალით ან მაღალი სიხშირის დენებით) და გაცივებით (წყლით ან ზეთოვანი ემულსიით). წრთობის შემდეგ მატულობს ნაკეთობის ზედაპირული შრის სისალე, სიმტკიცე და ცვეთამედეგობა.

მაგრაფიტებელი დამუშავება. თუჯის ნაკეთობის ჩამოსხმისას შესაძლებელია რუხი თუჯის გათეთრება ნაკეთობის ზედაპირზე ან მთლიან კვეთში. გათეთრების აღმოსაფხვრელად და დამუშავებადობის გასაუმჯობესებლად იყენებენ მაღალტემპერატურულ მაგრაფიტებელ მოლბობას: გახურება 900 - 950 °C-ზე; დაყოვნება 1 - 4 სთ; გაცივება ჯერ ღუმელთან ერთად 250 - 300 °C-მდე, შემდეგ - ჰაერზე. ასეთი მოლბობისას გათეთრებულ უბნებში ცემენტიტი იშლება ფერიტად და გრაფიტად, რის შედეგადაც თეთრი ან ნახევრული თუჯი გადადის რუხ თუჯში.

განუმტკიცებლობის (სიმტკიცის კარგვის) დამუშავებას მიეკუთვნება გასარბილებელი მოლბობა (ჭრით დამუშავებადობის გასაუმჯობესებლად და პლასტიკურობის ასამაღლებლად დაბალტემპერატურული მაგრაფიტებელი მოლბობა). პროცესი

მოიცავს გახურებას და ხანგრძლივ დაყოვნებას 600 – 700 °C-ზე ან სხმულების ნელ გაცივებას. დაყოვნების დრო (რუხი თუჯებისთვის 1 - 4 სთ, ფიფქისებრგრაფიტის თუჯებისთვის - 60 საათამდე) საკმარისი უნდა იყოს ევტექტოიდის ცემენტის სრულად ან ნაწილობრივ (მოთხოვნის შესაბამისად) დასაშლელად. მოლბობის შედეგად თუჯის სტრუქტურაში მატულობს ფერიტის რაოდენობა, მცირდება სისალე და უმჯობესდება ჭრით დამუშავებადობა.

მასტაბილიზებული დამუშავება უტარდება ჩარხებისა და მანქანების ძირითად საბაზო დეტალებს, რომლებიც განსაზღვრავენ ჩარხის, აგრეგატის, სიზუსტეს. ასეთი დეტალებისათვის აუცილებელია ფორმისა და ზომების უცვლელი დროში. ზომების ცვლილებას, როგორც წესი, იწვევს ჩამოსხმის პროცესში ნამზადის ცალკეული ელემენტის არათანაბარი გაცივების ან დიდი ნამეტის მქონე სხმულების შავად, მექანიკური დამუშავებისას აღძრული ნარჩენი ძაბვები. ექსპლუატაციის პროცესში მოსალოდნელია ნარჩენი ძაბვების რელაქსაცია და, შესაბამისად, დეტალის დეფორმაცია. თუჯის დეტალების სტაბილიზაცია შესაძლებელია თერმული დამუშავებით (ნარჩენი ძაბვების შემცირებით ან დეფორმაციული განმტკიცებით). თუჯის სხმულების დეფორმაციული განმტკიცება ემყარება იმ ფაქტს, რომ მოდებული დატვირთვები სხმულის მასალაში იწვევს მიკროპლასტიკურ დეფორმაციებს - ცივჭედვას, ე.ი. ამალლებს სიმტკიცის მახასიათებლებს და თავიდან გვაცილებს დეფორმაციის განვითარებას. ამ პრინციპზეა დაფუძნებული ბუნებრივი, ხელოვნური, ვიბრაციული დამკვლევები და სტატიკური გადატვირთვის მეთოდები.

დაბალტემპერატურული მოღობვა. ნარჩენი ძაბვების მოსახსნელად (შესამცირებლად) ფართოდ გამოიყენება: დაბალტემპერატურული მოღობვა (კრიტიკულ A_1 ტემპერატურაზე დაბალი $520 - 620$ °C). დაყოვნება (დრო $1 - 8$ სთ იგი დამოკიდებულია სხმულის მასასა და კონსტრუქციაზე). ნამზადის გახურება (იგი წარმოებს $70 - 100$ °C /სთ სიჩქარით). იზოთერული დაყოვნების შემდეგ, თერმული ძაბვების წარმოქმნის თავიდან ასაცილებლად, გაცივება 200 °C-ტემპერატურამდე ღუმელთან ერთად ($20 - 50$ °C/სთ სიჩქარით), შემდეგ - ჰაერზე. ასეთი მოღობვა არ იწვევს ფაზურ გარდაქმნებს, ამცირებს ნარჩენ ძაბვებს და ექსპლუატაციის პროცესში, პრაქტიკულად, გამორიცხავს დეტალის დეფორმაციას.

რუხი და ფიფქისებრგრაფიტის თუჯების მოღობვის დეფექტები მოცემულია №20 ცხრილში.

სხვა დამუშავებები. რუხ ლეგირებულ და მაღალი სიმტკიცის მაგნიუმის თუჯებს ზოგჯერ უტარდება ქიმიურ-თერმული დამუშავება. დაზოტებული თუჯების ნაკეთობების ზედაპირული სისალე აღწევს $600 - 800$ HV-ს; კარგ შედეგებს იძლევა თუჯის სულფიდირებაც; მაგ., დგუმის სულფიდირებული რგოლები სწრაფად მიესახმარისება, კარგად ეწინააღმდეგება გაცვეთას რითაც მუშაობის ხანგრძლივობა რამდენჯერმე იზრდება.

ცხრილი №20. რუხი და ფიფქისებრგრაფიტის თუჯების მოღობობის დეფექტები

დეფექტის დასახელება და დახასიათება	დეფექტის წარმოქმნის ძირითადი მიზეზები	დეფექტის გამოსწორების ძირითადი ღონისძიებები
1	2	3
რუხი თუჯის სისალის შემცირება შინაგანი ძაბვების მოსახსნელი მოღობობის შემდეგ	ცემენტიტის დაშლა 550 - 650 °C-ზე მაღალ ტემპერატურაზე გახურებისას	დეფექტი გამოსწორება-დია, შედარებით მარტივი კონსტრუქციის დეტალებისათვის 900 – 950 °C-დან ნორმალიზაციითა და შემდგომი მოშვებით, შინაგანი ძაბვების მოსახსნელად
მაღალი სისალე გათეთრებული თუჯის მოღობობის შემდეგ	მოღობობის არასაკმარისი ტემპერატურა ან არასაკმარისი დაყოვნება	განმეორებითი მოღობობა 850 - 870 °C ტემპერატურაზე საკმარისი დაყოვნებით
სტრუქტურულად თავისუფალი ცემენტიტი ფიფქისებრ-გრაფიტის თუჯში	დაბალი ტემპერატურა ან არასაკმარისი დაყოვნება გრაფიტიზაციის I სტადიაში	განმეორებითი მოღობობა დადგენილი გრაფიკით
ფერიტულ ფიფქისებრგრაფიტის თუჯში ტექნიკური პირობებით დასაშვებ ნორმაზე ჭარბი ფირფიტოვანი პერლიტი	გაცივების რეჟიმის დარღვევა ან არასაკმარისი დაყოვნება გრაფიტიზაციის II სტადიისას	განმეორებითი მოღობობა 730 – 710 °C ტემპერატურაზე
ფირფიტოვანი გრაფიტი ფიფქისებრგრაფიტის თუჯში	მოღობობა 1100 °C-ზე მაღლა ან თავისუფალი გრაფიტის არსებობა საწყის (გამოსავალ) თუჯში	დეფექტი არაგამოსწორებადია

თავი XI

ლითონის დეტალების თერმული დამუშავების კონტროლი

დეტალების თერმული დამუშავების წუნის კლასიფიკაცია. თერმული დამუშავების პროცესები, როგორც წესი, შედგება გახურება-გაცივებისაგან. თერმული დამუშავებისას დეტალების წუნი მრავალ მიზეზზეა დამოკიდებული. კერძოდ: მოცემული დეტალის დასამზადებელი ფოლადის შედგენილობის (ანალიზის შედეგების) შეუსაბამობა ფოლადის მარკასთან; ლითონში მანკების არსებობა; დეტალების გახურება-გაცივების რეჟიმების დარღვევა; სახურებელი და საცივებელი გარემოს შედგენილობების დარღვევა; სამარჯვებზე, ღუმლის ქვედზე, საწრთობი ავზის გარემოში დეტალების დატვირთვის მეთოდის ცვლილება; დამხმარე და დამატებითი ოპერაციების დაუდევარი შესრულება.

შენადნობის შედგენილობის ანალიზის შედეგების შეუსაბამობა მარკასთან. ასეთი წუნი შეიძლება იყოს ნამზადების არევა დამზადების წინა ეტაპებზე ან საწყობში. მასალების დაუდევრად მიღება და იმ ელემენტების არასწორად განსაზღვრა, რომლებიც თერმული დამუშავებისას გადამწყვეტ გავლენას ახდენენ ხარისხზე, პირველ რიგში - ნახშირბადი, გოგირდი და ფოსფორი.

დეტალების წრთობისას, იდენტური შედეგების მისაღებად, აუცილებელია ნახშირბადის შემცველობის მიხედვით სელექტირებული ფოლადის მარკა. ნახშირბადის შემცველობის დასაშვები სხვაობა 0,05%-ს არ უნდა აღემატებოდეს, რადგან

შეწრობადობის ხარისხზე მისი გავლენა ძალიან დიდია; მოთხოვნილი შედგენილობიდან გადახრა ნაკეთობის ხარისხს მკვეთრად აუარესებს. მაღალი სიხშირის დენით დეტალების საწრობად გახურებისას, წროობის შედეგებზე განსაკუთრებით დიდ გავლენას ფოლადში ნახშირბადის შემცველობა ახდენს. ნახშირბადის შემცველობის ცვლილებისას იცვლება წროობის დროს მიღებული მარტენსიტის რაოდენობა და, შესაბამისად, სისალეც. დასანახშირბადიანებელ ფოლადებში ნახშირბადის ამაღლებული შემცველობა გამყიფებას იწვევს. ამის მიზეზია, დადგენილ ნორმასთან შედარებით, დეტალის გულის სისალის ამაღლება. ასეთ შემთხვევებში, ბრუნვის დეტალების სწორებისას, მიიღება მასობრივი წუნი.

ნახშირბადის დაბალი შემცველობის ფოლადები არასრულად იწროობა და სტრუქტურაში გარდაუქმნელი ფერიტი რჩება. მოშვების შემდეგ დეტალის სისალე შესაძლებელია, მოთხოვნილს შეესაბამებოდეს, მაგრამ იმის გამო, რომ ფოლადში არის დაბალი მექანიკური თვისებების მქონე ფერიტული მდგენელი, მისი ამტანობა დაბლდება. ასეთ შემთხვევაში, ხარისხის კონტროლის სისალის მეთოდს, დენადობის ზღვრის განსაზღვრისა და მიკროსტრუქტურის კვლევის მეთოდებიც უნდა დაემატოს.

ფოლადში გოგირდისა და ფოსფორის (ნორმატიული დოკუმენტებით მოთხოვნილ მაჩვენებლებთან შედარებით) ამაღლებული შემცველობა იწვევს წუნს - სწორებისა და ექსპლუატაციისას დეტალების მტვრევას (სიმყიფიდან გამომდინარე). სხვა ელემენტების (ქრომი, ნიკელი, მანგანუმი, სილიციუმი) $\pm 0,1 - 0,2$ %-ის დიაპაზონში მოთხოვნილიდან გადახრა ძლიერ გავლენას არ ახდენს პროდუქციის ხარისხის მაჩვენებლებზე.

ლითონის მანკები. ხშირად გვხვდება თერმული დამუშავებისას გამოვლენილი, ფოლადში არსებული, მანკებით გამოწვეული წუნი. ასეთი მანკების შემჩნევა თერმულ დამუშავებამდე ყოველთვის ვერ ხერხდება. ბზარები, ნიჟარები, ფლოკენები, ბუმტები, წიდის ჩანართები, ნაკაწრები, ბეწვბზარები, ჩანაგლინები - ლითონის ის მანკებია, რომლებიც გავლენას ახდენენ თერმულად დამუშავებულ დეტალებზე და “ლითონის ბრალეულობით” წუნს იწვევენ. ისინი არღვევენ ლითონის ერთგვაროვნობას და მათი განთავსების ადგილებში იქმნება რღვევის კერები. აღსანიშნავია წუნის ისეთი სახეები, როგორცაა: დეტალების დაბრეცა და დანახშიბადიანებული დეტალების გულის მექანიკური თვისებების ნორმებთან შეუსაბამობა (ფოლადის მარკის მარცლოვნების ტექნიკურ მოთხოვნებთან შეუსაბამობა). წუნის უკანასკნელი სახე სწორად იშვიათად კლასიფიცირდება, ვინაიდან ფოლადის მარცლოვნებას მნიშვნელობა ყოველთვის არ ეძლევა.

დეტალების გახურება-გაცივების რეჟიმების დარღვევა. თერმული დამუშავებისას, პროდუქციის მაღალი ხარისხის უზრუნველსაყოფად, აუცილებელია გახურება-გაცივების რეჟიმების ზედმიწევნით ზუსტად დაცვა.

თერმული დამუშავებისას ნახშირბადიანი ფოლადების დეტალების გახურება $Fe - Fe_3C$ დიაგრამის შესაბამისად ხდება. გახურების რეჟიმის დარღვევა გარდუვლად იწვევს დიაგრამის შესაბამისი კანონზომიერებების დარღვევას და შედეგად მიიღება წუნდებული პროდუქცია. წრთობისას ზედა კრიტიკულ ტემპერატურაზე დაბლა გახურება იწვევს სისალისა და სიმტკიცის შემცირებას, ხოლო ზედა კრიტიკულ ტემპერატურაზე მნიშვნელოვნად მაღლა გახურება - გადახურებას. ასეთ

შემთხვევაში ვლინდება: დეტალის დეფორმაცია, სიმყიფე - სწორებისას და მტვრევა - ექსპლუატაციისას.

დადგენილ მოშვების ტემპერატურაზე მაღლა გახურება ნაკეთობის სისალეს ამცირებს, ხოლო დაბლა გახურება - ზრდის.

დადგენილ ტემპერატურაზე მაღლა დანახშირბადიანების ან დააზოტნახშირბადიანების პროცესები იწვევს ნაკეთობის სიმყიფისა და დეფორმაციის მატებას. ამ დროს, დანახშირბადიანებული შრის სიღრმე მნიშვნელოვნად იზრდება და ნახშირბადით გადაჯერდება. ასეთი დეტალის წრთობა იწვევს სტრუქტურაში ცემენტიტის ბადის წარმოქმნას ან აუსტენიტის სიჭარბეს.

დადგენილ ტემპერატურაზე დაბლა დანახშირბადიანების ან დააზოტნახშირბადიანების პროცესები დანახშირბადიანებული ან დააზოტნახშირბადიანებული შრის ნახშირბადით არასაკმარის გაჯერებასა და, შესაბამისად, დეტალის ზედაპირის არასაკმარის სისალეს განაპირობებს.

მაღალი სიხშირის დენით დეტალის საწრთობად გახურებისას შესაძლებელია მისი ზედაპირის გადახურება. ასეთ შემთხვევაში მხოლოდ ნემსისებრი მარტენსიტული სტრუქტურა წარმოიქმნება. უკმარგახურება კი იწვევს სისალის შემცირებას, ფერიტის ან ტროოსტიტის წარმოქმნას.

თერმული დამუშავებისას გაცივების რეჟიმის დარღვევა ამაღლებს წუნის რაოდენობას და ხშირად შედეგები არაგამოსწორებადია. დეტალის გაცივება, დადგენილ ტემპერატურაზე დაბლა, აჩენს ბზარებს და დეტალის ძლიერ დაბრეცას იწვევს. წყლის მოხვედრა ზეთში იწვევს ბზარებს. დადგენილზე უფრო მაღალი ტემპერატურიდან დეტალების ზეთში გაცივება ამცირებს სისალეს.

მაღალი სიხშირის დენით გახურებული ზედაპირის წრთობისას ინდუქტორით მიწოდებული წყლის დაწნევის შემცირება სისალეს მკვეთრად ამცირებს, ხოლო დადგენილზე მაღლა დაწნევის გაზრდა, ჭავლის ზედაპირზე დაცემის ადგილებში, ბზარების წარმოქმნას იწვევს.

კაუსტიკურ ხსნარში დეტალების გაცივებისას, აუცილებელია ხსნარის კონცენტრაციის კონტროლი, რადგან კაუსტიკის გაზრდილი შემცველობა წუნს (დაბრეცას და ბზარებს) იწვევს.

თერმულად დასამუშავებელი დეტალების ხარისხისათვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სახურებელი გარემოს შედგენილობა. დეტალის ზედაპირის ჟანგვის ასაცილებლად (გარდა ქიმიურ-თერმული დამუშავებისათვის განკუთვნილი გარემოსი), ის ნეიტრალური ან აღმდგენელი უნდა იყოს.

სახურებელ გარემოში ჭარბი ჟანგბადის არსებობა იწვევს ხენჯის წარმოქმნას ან ზედაპირის გაუნახშირბადოებას, რის გამოც, დეტალი წუნდებულია სისალის მიხედვით. ხენჯი (რკინის ჟანგეულები) წარმოიქმნება ფოლადის ჰაერის ჟანგბადით, ნახშირორჟანგით ან წყლის ორთქლით დაჟანგვისას. ღუმლის აირის შედგენილობაში შეიძლება შედიოდეს სხვადასხვა აირი (მხუთავი აირი, ნახშირორჟანგი, ჟანგბადი, წყალბადი, წყლის ორთქლი, აზოტი, მეთანი), სხვადასხვა კონცენტრაციით. წყალბადი იწვევს ზედაპირის გაუნახშირბადოებას, ნახშირორჟანგი ჟანგავს, ჟანგბადი და წყლის ორთქლი ასევე ჟანგავენ და იწვევენ გაუნახშირბადოებას, მხუთავი აირი და მეთანი იწვევენ დანახშირბადიანებას (დაშლის რეაქციის შემდეგ კი შეუძლიათ ჟანგვა და გაუნახშირბადოება). ღუმელში ნეიტრალური ატმოსფეროს შექმნისას, აირების ნარევიებისა და

მათი თანაფარდობების შერჩევა, სამუშაო ტემპერატურისა და ფოლადის შედგენილობის გათვალისწინებით ხდება.

დეტალების დატვირთვა-გადმოტვირთვის მეთოდის ცვლილება. დეტალების ქვეშე ან ლუმლის ქვედზე განთავსებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს. მაგალითად, თუ კბილანა თვალს სამარჯვზე ვერტკალურად განვითავსებთ (ჩამოვკიდებთ შტანგზე), მაშინ კბილანა თვალი ელიფსის ფორმას მიიღებს. თუ ღერძულ კბილანა თვალს განვითავსებთ ჰორიზონტალურად (დავაყენებთ ღერძს ორ საყრდენზე), მაშინ იგი საყრდენებზე დაიბრიცება. კბილანა თვლების დასტად ვერტიკალური განთავსება მინიმალურ დაბრეცას გამოიწვევს.

საწრობ გარემოში ჩაძირვის დადგენილი ხერხის ცვლილება იწვევს დეტალების დაბრეცას-წუნს. გრძელი ღერძები და ლილვები, საწრობ გარემოში, ვერტიკალურად უნდა ჩაიშვას.

თერმულ საამქროებში წუნის აცილების მეთოდები. ქიმიურ-თერმული დამუშავებისას დეტალების წუნის ასაცილებლად, გარდა გალვანომეტრების მუშაობის სისტემატური კონტროლისა, აუცილებელია მუშა აირების შედგენილობის, საწრობ ავზში ზეთის შედგენილობისა და ტემპერატურის კონტროლი.

დეტალების ხარისხის სტატისტიკური მონაცემების ანალიზი არის წუნის აცილების ერთ-ერთი მეთოდი. ანალიზის მონაცემების საფუძველზე განისაზღვრება წუნის მიზეზები, ხდება ტექნოლოგიის ცვლილება ან დეტალის დამუშავების ტექნიკურ პირობებში კორექტივების შეტანა. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა შემცირდეს წუნის მაგ., დეტალების დეფორმაციაზე, ცვეთაზე ან მსხვრევაზე. პრაქტიკაში წუნისა და მისი გამომწვევი მიზეზების აღრიცხვა და სტატისტიკური ანალიზი მისი

აცილების ეფექტური საშუალებაა. ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება ახალი ტექნოლოგიური პროცესების შემუშავებისას.

თერმულ საამქროებში ტემპერატურული რეჟიმებისა და გარემოს კონტროლი. ტექნოლოგიურ რუკებში დაფიქსირებული გახურება-გაცივების ტემპერატურული რეჟიმები მუდმივად კონტროლდება. დამანახშირბადიანებელი ან ნეიტრალური აირული გარემოს შედგენილობა კონტროლდება ღუმლის მუშა კამერიდან აირის სინჯის სისტემატური აღებითა და აირანალიზატორში შემოწმებით.

ლითონის სტრუქტურის ხარისხის მეტალოგრაფიული კონტროლი. ლითონის სტრუქტურის ხარისხის მეტალოგრაფიული კონტროლის მიზანი არის დეტალების მიღების არამარტო ხარისხობრივი მაჩვენებლების გამოვლენა, არამედ, ძირითადად, მოცემული ტექნოლოგიური პროცესის ჩატარების სიზუსტის ხარისხის განსაზღვრა. სტრუქტურის ხარისხი განისაზღვრება ნიმუშზე, რომელიც პირობითად ახასიათებს დეტალების პარტიას. მეტალოგრაფიული კონტროლი ავლენს გახურების ხარისხს (გადახურება, უკმარგახურება) ნახშირბადით, აზოტით და სხვა ელემენტებით ზედაპირის გაჯერების ხარისხს, გაცივების ხარისხს და მოცემული პროცესების შესრულების სისრულეს, დანახშირბადიანების შემდეგ წრთობის ტემპერატურის შესამცირებლად დაყოვნების არარსებობასა და ა. შ.

თერმულად დამუშავებული დეტალების ხარისხის მეტალოგრაფიული კონტროლი წარმოადგენს ნიმუშის მიკროსტრუქტურის ანალიზს.

პროდუქციის კონტროლის მეთოდები. ჩვეულებრივ, საკონტროლო ნიმუშები შეირჩევა დეტალების ყოველი პარტიიდან

(საერთო რაოდენობის 1 - 5 %). წუნის გამოვლენისას ხდება მთელი პარტიის კონტროლი. წუნის მიზეზის დადგენის მეთოდი დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორი ხასიათისაა იგი, არის ერთეული თუ - სისტემატური. ძირითადად, წუნის მიზეზს განსაზღვრავენ ლითონის მიკროსტრუქტურის კონტროლით ან ქიმიური ანალიზით.

დეფექტების გამოსწორება თერმული დამუშავებით. თერმული დამუშავებით დეფექტის გამოსწორება ყველა იმ შემთხვევაშია შესაძლებელი, როცა ნაკეთობის ფორმა, ზომა და მთლიანობა შენარჩუნებულია. დეფექტი გამოსწორებადია სისალის მიხედვით. ამდღებული სისალის დეტალებს უნდა ჩაუტარდეს განმეორებით მოშვება, ხოლო დადაბლებული სისალისას - განმეორებით წრთობა და მოშვება. მოშვების ჩატარება შესაძლებელია რამდენჯერმე. წრთობის ერთზე მეტჯერ განმეორება არ არის რეკომენდებული, რადგან ზედაპირის ჟანგვისა და ამდღებული დაბრეცის გამო, ზომები მახინჯდება. მექანიკური სიმტკიცის მიხედვით არადაამაკმაყოფილებელი დეტალები შეიძლება განმეორებით იწრთოს და ჩაუტარდეს მოშვება (საჭიროების შემთხვევაში მრავალჯერადიც).

გაწყვეტილი ცემენტიტის ბადიანი ან კარბიდების მსხვილჩანართიანი დეტალები ექვემდებარება გადამუშავებას - განმეორებით წრთობას და მოშვებას. ზედაპირული შრის ნახშირბადით არასრულად გაჯერებული დეტალი, განმეორებით დანახშირბადიანებასას, წრთობასა და მოშვებას საჭიროებს. ჭარბი აუსტენიტის შემცველი დეტალები უნდა დამუშავდეს სიცივით ან ჩაუტარდეს განმეორებითი წრთობა და მოშვება.

დეფექტების გამოვლენის ძირითადი მეთოდები

დანიშნულების შესაბამისი მოთხოვნებით განსაზღვრული თვისებების ერთობლიობას ეწოდება ლითონური ნაკეთობის ხარისხი. ლითონური ნაკეთობის მასალის ხარისხი განისაზღვრება მისი თვისებებით, ქიმიური შედგენილობითა და სტრუქტურით. მასალის თვისებები დამოკიდებულია სტრუქტურაზე, რომელიც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია ქიმიურ შედგენილობაზე. ნებისმიერი დეფექტი ნაკეთობის ფიზიკურ, ფიზიკურ-მექანიკური და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების ცვლილებას იწვევს. ამ ცვლილებების დადგენა, ქიმიურ ანალიზთან ერთად, ორი ძირითადი მიდგომის - ნაკეთობის მრღვევი და არამრღვევი - მეთოდების გამოყენებით ხდება (განვიხილავთ მხოლოდ უკანასკნელს).

დეფექტებით გამოწვეული ფიზიკური მახასიათებლების - სიმკვრივის, ელგამტარობის, მაგნიტური შეღწევადობის, დრეკადობის, და ა.შ. ცვლილებების კვლევა და ამ ცვლილებების მიზეზების (დეფექტების) აღმოჩენა, არამრღვევი კონტროლის მეთოდების ფიზიკურ საფუძველს შეადგენს. ეს მეთოდები შემდგომში რენტგენისა და გამა-სხივების, ულტრაბგერისა და ბგერის რხევების, მაგნიტური და ელექტრომაგნიტური ველების, ოპტიკური სპექტრების, კაპილარობის მოვლენების და სხვ. ცვლილებების გამოყენებას ეფუძნება.

პროდუქციის ხარისხის კონტროლის მიზანი არის მისი დადგენილ კონკრეტულ მოთხოვნებთან შესაბამისობის განსაზღვრა. შენადნობებისაგან დამზადებულ დეტალებში დეფექტების გამოვლენა ერთ-ერთი საპასუხისმგებლო პროცესია. სახელდობრ, პრობლემური დეტალების დროულად გამოვლენა და

წუნდება მათი გამოყენების ძვირადღირებულ შედეგებს გამო-
რიცხავს. საკონტროლებელ ობიექტში დეფექტებისა და არა-
მთლიანობების აღმოსაჩენად ვიზუალური და ინსტრუმენტუ-
ლი კვლევის მეთოდები გამოიყენება.

ვიზუალური კონტროლი დაურღვეველი კონტროლის ყველაზე
იაფი და ინფორმაციული მეთოდია. იგი სამრეწველო ნაკე-
თობების გარეგნული დეფექტების აღმოჩენისა და ანალიზის
უმარტივესი მეთოდია. როგორც წესი, ყველაზე აშკარა დეფექტი
დგინდება ვიზუალურად. ვიზუალური კონტროლი შეიძლება
როგორც შეუიარაღებელი თვალით, ისე უმარტივესი საზომი და
30-მდე გადიდების ვიზუალურ-ოპტიკური ხელსაწყოებით.

მიუხედავად იმისა, რომ ვიზუალური კონტროლით მიღებული
მონაცემები დაბალი სანდოობისაა, იგი ითვლება საბაზოდ და
წინ უსწრებს დეფექტოსკოპიის ყველა მეთოდს. პრაქტიკაში
ვიზუალური მეთოდი კომპლექსური დეფექტოსკოპიის აუცი-
ლებელი რგოლია და მას ნაკეთობის დამზადების თითქმის
ყველა სტადიაზე ატარებენ. მაგ., სხმულის გარეგანი დეფექ-
ტების აღმოჩენა ხდება ვიზუალურად, ზედაპირის დათვალიე-
რებით, სხმულის ყალიბიდან ამოღებისა და გაწმენდის შემდეგ.
შიგა დეფექტების აღმოსაჩენად გამოიყენება დეფექტოსკოპიის
რადიოგრაფიული ან ულტრაბგერის მეთოდები. ამ მეთოდებით
დგინდება დეფექტის არსებობა, მისი ზომები და განლაგების
სიღრმე. ულტრაბგერით კონტროლისას, სხმულის კედელში
გამავალი ულტრაბგერის ტალღა, დეფექტის (ბზარის, ნიჟარის)
საზღვართან შეხვედრისას, ნაწილობრივ აირეკლება. ტალღის
არეკვლის ინტენსიურობით მსჯელობენ დეფექტის არსებო-
ბაზე, მის ზომებსა და განთავსების სიღრმეზე. რადიოგრაფი-

ული მეთოდების (რენტგენოგრაფია, გამაგრაფია) გამოყენებისას, სხმულეებზე რენტგენის ან გამა გამოსხივებით ზემოქმედებენ.

ზზარების აღმოსაჩენად იყენებენ ლუმინესცენციურ, მაგნიტურ ან ფერად დეფექტოსკოპიას.

ფოლადის ნაკეთობების წარმოებაში დეფექტების გამოსავლენად ინსტრუმენტული კვლევის ოთხ ძირითად მეთოდს იყენებენ: მაგნიტურს, ლუმინესცენციურს (ნივთიერებების შეღწევის დეფექტოსკოპიას), რენტგენულსა და ულტრაბგერითს.

ზედაპირული დეფექტების გამოსავლენად ყველაზე ხშირად მაგნიტური და ლუმინესცენციური მეთოდები გამოიყენება.

მაგნიტური მეთოდი. მეთოდი დამყარებულია დეფექტურ ადგილებში მაგნიტური ველის დამახინჯებაზე. იგი საშუალებას იძლევა გამოვლინდეს დეფექტები მაგნიტური თვისებების მქონე ლითონური მასალების ზედაპირულ (2 მმ-მდე) შრეში. პრაქტიკულად, ფოლადის ნაკეთობის დამაგნიტებისა და მაგნიტური ფხვნილებით ან სპეციალური სუსპენზიით დაფარვის შემდეგ, დეფექტის ადგილზე მაგნიტური ნაკადის გაბნევისა და ზედაპირზე გამოსვლის შედეგად, გამოსაცდელი დეტალის დაზიანებულ ადგილზე სუსპენზიის ან ფხვნილის ნაწილი რჩება და დეფექტის განთავსების ადგილისა და ფორმის, მხედველობით ადვილად აღსაქმელი, ნიშანდება ხდება. მაგნიტურფხვნილოვანი მეთოდის გამოყენების ძირითადი არეები მოცემულია №21 ცხრილში.

ცხრილი 21. მაგნიტურფხვნილოვანი მეთოდის გამოყენების ძირითადი არეები

საკვლევი ობიექტი	გამოსავლენი დეფექტები
ნახევარფაბრიკატები - სხმულები, ნაჭედები, ნაგლინი.	ფლოკენები, ბეწვზარები, არალითონური და წიდის ჩანართები, სიცარიელები, განშრევებები, ჩანაგლინები, ჩანახევები, ფორიანობა და სხვ.
დეტალები დამზადების შუალედურ სტადიაზე. მზა დეტალები.	ბზარები: ხეხვის, ჭედვის, შტამპვის, ჩანახევები, ფლოკენები, განშრევებები. შედუღების დეფექტები: ბზარები, შეუდუღებლობა, ფორიანობა, ფირები და სხვ.
ტექნიკური მომსახურებისა და რემონტის დროს ექსპლუატაციაში ნამყოფი დეტალები და კვანძები.	გაანგარიშებულზე აღმატებული ერთჯერადი დატვირთვით გამოწვეული ბზარები. დაღლილობის ბზარები, თერმული ბზარები და სხვ.
ნაკეთობაში მომუშავე დეტალების კონტროლი - ექსპლუატაციის პირობებში დემონტაჟის გარეშე	ბზარები: თერმული, დაღლილობის, ხეხვის, შედუღების, გაანგარიშებულზე აღმატებული ერთჯერადი დატვირთვით გამოწვეული, ჭედვის, შტამპვის, ჩანახევები, ფლოკენები, განშრევებები. შეუდუღებლობა, ფორიანობა, ფირები და სხვ.

კაპილარული მეთოდი ნივთიერებების შეღწევის დეფექტოსკოპიის ერთ-ერთ სახეა და თვალით უხილავი წვრილი ბზარების გამოსავლენად იყენებენ. იგი, კაპილარული ძალებით კარგად დასველებადი სითხეებით ბზარების შევსების ეფექტს ეფუძნება. სითხეებით შევსებული დეფექტური უბნები, დაუზიანებელ უბნებთან შედარებით, ხელოვნურად ზრდის სინათლისა და ფერის კონტრასტულობას. მეთოდი გამოიყენება > 10 მკმ-ზე სიღრმის ზედაპირული დეფექტებისა და 1 მკმ-ზე მეტი სიღრმის ბზარის გაშლის შემთხვევებში.

დეფექტების აღმოჩენის ეფექტი ძლიერდება ულტრაიისფერ სხივებში მალუმინესცენცირებელი ნივთიერებების (ლუმინესცენციური მეთოდი) ან ლუმინოფორებისა და საღებარების ნარევის (ფერადი მეთოდი) გამოყენებისას. გამოსაცდელი დეტალის მაფლუორესცირებელ ხსნარში ჩაძირვის, დაყოვნების, გარეცხვისა და შრობის პროცედურების დასრულების შემდეგ ყველა ზედაპირული დეფექტი (წყლულები, ნიჟარები, ბეწვზარები, ბზარები) შემღწევი სითხით შევსებული რჩება, ხოლო დაუზიანებელი - მისგან თავისუფალი. ულტრაიისფერი სხივებით დასხივებისას მიკრობზარებში დარჩენილი ხსნარი იწყებს ნათებას, რითაც მიგვანიშნებს დეფექტის არსებობაზე.

შემღწევი სითხეების მეთოდი, მისი სიმარტივისა და კონტროლის ტექნოლოგიის მაღალი სიჩქარის გამო, ფართოდ გამოიყენება საწარმოო პირობებში.

მაგნიტური და ლუმინესცენციური მეთოდები პირდაპირი მეთოდებია და ყველა, განსაკუთრებით დეტალის სიღრმეში განლაგებული, დეფექტის გამოვლენას ვერ უზრუნველყოფს. ლითონის ნაკეთობის მნიშვნელოვნად სრულ მახასიათებლებს დეფექტების გამოვლენის ირიბი მეთოდები იძლევა.

უფრო ღრმა და ხარისხიანი კვლევებისას დეფექტების აღმოჩენის რენტგენული და ულტრაბგერითი მეთოდები გამოიყენება.

რენტგენული მეთოდი. რენტგენული ანალიზი გამოიყენება შინაგანი დეფექტების გამოსავლენად. მეთოდი ეფუძნება მასალისა და დეფექტის გავლისას რენტგენის სხივების სხვადასხვა ხარისხით შესუსტებას. ანალოგიური ფიზიკური საფუძველი აქვს გამა სხივებით გაჭვირვასაც.

რენტგენული დეფექტოსკოპიისას გამოიყენება საკონტროლებელ ობიექტთან ურთიერთქმედი შემღწევი მაიონებელი გამოსხივების პარამეტრების ცვლილების ეფექტი. კერძოდ, დეფექტების გამოვლენის რენტგენული მეთოდი ეფუძნება რენტგენის სხივებით დეტალის გაჭვირვასა და გამოსავალზე მათ ფიქსაციას. რენტგენის სხივები, დეტალის სხვადასხვა სიმკვრივის უბნებში გავლისას გამოსავალზე, სხვადასხვაგვარი შთანთქმის გამო, სხვადასხვაგვარ განათებებს იძლევიან. ნათელი ლაქების ადგილები ნაკლები სიმკვრივის უბნებს და, შესაბამისად, დეფექტებს - სიცარიელებს შეესაბამება.

ულტრაბგერის მეთოდი. მეთოდი დაფუძნებულია, დეფექტური დეტალის სხვადასხვა სიმკვრივის უბნებში გავლისას, ულტრაბგერის ტალღების ინტენსიურობის ცვლილებაზე. იგი დეტალის როგორც ზედაპირზე, ისე მის სიღრმეში სხვადასხვაგვარი დეფექტის აღმოჩენის საშუალებას იძლევა.

ულტრაბგერის მეთოდი დეტალში, დიდ სიღრმეზე, დეფექტის გამოვლენის ყველაზე ეფექტურ და პროგრესულ მეთოდად ითვლება. მეთოდი ლითონის სიღრმეში შეუზღუდავი შეღწევისა და დეფექტების ნებისმიერი განლაგების გამოვლენის საშუალებას იძლევა. ამ მეთოდის გამოყენებისას, შესაძლებელია განისაზღვროს დეფექტის როგორც არსებობა, ისე მისი განთავსების სიღრმე, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია დეტალის წუნდებაზე გადაწყვეტილების მიღებისას.

დეფექტოსკოპიის ძირითადი მეთოდები და მათი გამოყენების შესაძლებლობები (მასალების თვისებებისა და დეფექტის განთავსების ორიენტაციის გათვალისწინებით) მოცემულია №22 ცხრილში.

ცხრილი №22. უპირატესად გამოყენებული დეფექტოსკოპიის მეთოდების მგრძნობიარობის მახასიათებლები და მათი გამოყენების შესაძლებელი ობიექტები.

დეფექტოსკოპიის მეთოდი	ბზარის მინიმალური სიღრმე, მმ-ში	ბზარის გაშლის მინიმალური სიდიდე, მმ-ში	გამოყენების შესაძლებლობა (მასალები და დეფექტების ორიენტაცია)
ულტრაბერის.	0,1.	0,001.	მაგნიტური, არამაგნიტური და სხვა მასალები. შინაგანი, ზედაპირეკვშა და გარეგანი დეფექტები (არ კონტროლდება რთული კონფიგურაციის წვრილი მე-6 კლასზე ნაკლები ზედაპირის სისუფთავის მქონე დეტალები).
ელექტრო ინდუქციური (გრიგალური დენების).	0,1.	0,001.	მაგნიტური და არამაგნიტური მასალები. ზედაპირეკვშა და გარეგანი დეფექტები. არ კონტროლდება რთული კონფიგურაციის წვრილი დეტალები.
რენტგენის სხივებით გაჭვირვის.	საკონტროლებელი ნაკეთობის სისქის 2 %.	გამოსხივების კონის ორიენტაციაზე დამოკიდებულებით 0,1-მდე.	მაგნიტური, არამაგნიტური და სხვა მასალები.
γ-სხივებით გაჭვირვის.	საკონტროლებელი ნაკეთობის სისქის 3 %.	—	შინაგანი, ზედაპირეკვშა და გარეგანი დეფექტები.

ცხრილი №22-ის გაგრძელება

მაგნიტური ფუნდების.	0,01.	0,001.	მხოლოდ მაგნიტური მასალები.
მაგნიტურ-ლუმინესცენციური.	0,05.	0,0001.	გარეგანი და ზედაპირქვეშა დეფექტები. იგივე.
ლუმინესცენციური.	0,04.	0,02.	მაგნიტური, არამაგნიტური და სხვა მასალები. მხოლოდ ზედაპირული დეფექტები. იგივე.
საღებავის (საღებავების მეთოდით).	0,02.	0,001.	იგივე.
ვიზუალური.	–	0,01.	იგივე.

ძირითადი ტერმინების განმარტებები

ამონაგლეჯი (ანაგლეჯი) - შტამპის სიღრუეში გაჩხირული ნაჭედის ამოღებისას, ცხელი ნაჭედების გადასროლისას ან ჩამოსაჭრელ შტამპებში უცხო საგნების მოხვედრისას წარმოქმნილი ნაჭედების მექანიკური დაზიანება.

ანაქაფი - სხმულის ადგილობრივი დაზიანება თავმოყრილი აირის ნიჟარებითა და კორმებით.

ანახლეჩი - მყიფე რღვევის მიკროსკოპული მექანიზმი, რომლის დროსაც ბზარის განვითარება განსაზღვრულ კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეებზე ხორცელდება.

ბეწვბზარა - ძაფისებრი არამთლიანობის სახის (წვრილი, ერთიდან რამდენიმე ათეული მმ-ის სიგრძის, გაჭიმული თმისებრი ნაღარები ნაგლინში. ხშირად მათ კედლებს შორის წიდის ჩანართები იმყოფება) ლითონის ნაგლინის ზედაპირის დეფექტი, რომელიც ლითონში არსებული არალითონური ჩანართების დეფორმაციისას წარმოიქმნება. იგი ცივნაგლინ და ამოჭმულ ან გახეხილ ზედაპირზე შეინიშნება.

ბზარები / კრისტალთშორისი - მარცვლების საზღვრების დაბალი სიმტკიცის გამო წარმოქმნილი ბზარები. სამსხმელო ყალიბებში გამყარებისას სხმულის მთლიანობის წყვეტა.

ბზარები / ტორსული - მაღალნახშირბადიანი ფოლადის მსხვილი კვეთის ნაგლინი პროფილების ჭრისას ტორსებზე წარმოქმნილი ბზარები.

ბზარები / ცივი - დაბალი ტემპერატურისას ლითონში წარმოქმნილი ბზარები. თერმული და ჩაჯდომის ძაბვებით გამყარებული სხმულის მთლიანობის წყვეტები დაბალ ტემპერატურებზე.

ბზარები / ცხელი - გახურების, გაცივების ან კრისტალიზაციის პროცესში მყოფ ლითონურ ნაკეთობაში მაღალ ტემპერატურებზე წარმოქმნილი გამჭიმავი ძაბვებით (>დროებით წინაღობაზე) წარმოქმნილი ბზარები. სხმულების, შენადნობების გამყარების ტემპერატურულ ინტერვალში, გართულებული ჩაჯდომის გამო, უმეტესად, სხმულის კედლების შეერთების შიგა კუთხეებში წარმოქმნილი სხმულის მთლიანობის წყვეტა ან ჩანახევი.

ბზარები / წინსწრების - წნეხით (ან ადიდვით) წნელის დამზადებისას ნამზადის გარე შრეების შიგა შრეებთან შედარებით წინმსწრები დინების შედეგად ნაკეთობის ცენტრალურ ზონაში წარმოქმნილი კონუსისებრი ფორმის მთლიანობის დარღვევა.

ბზარები /ჭედვის - ჭედვის ბზარები (ზედაპირული და შინაგანი) ჩნდება მნიშვნელოვანად დამაბული ლითონის დეფორმაციის დროს (შტამპვისას, გლინვისას). გამჭიმავი შინაგანი ძაბვები (მათი საკმარისი სიდიდისას) იწვევენ ლითონის წყვეტებსა და ბზარებს არა მხოლოდ დეფექტებით შესუსტებულ, არამედ დეფექტებით დაუზიანებელ ზოდის ზონებშიც.

ბზარი - მასალის მთლიანობის დამრღვევი ორგანოზომილებიანი დეფექტი, რომელიც თავისუფალ ზედაპირებს წარმოქმნის.

გაგანიერება - ნაკეცის სახე, რომელიც შტამპის გამოშვებული ნაწილის ქვევიდან, (პუანსონის ქვეშ) უკანასკნელის წიბოს არასაკმარისი მომრგვალებისას, ლითონის ინტენსიური განდინების შედეგია.

გაგანიერება / სიღრუის - 1. ძირითადი სამჭედლო ოპერაცია, რომლის დროსაც ხდება წინასწარ გაჭოლილი რგოლისებრი ნამზადის გარე და შიგა დიამეტრების თანმიმდევრობითი გაგანიერება. 2. ლითონის წნევით დამუშავების ფორმის შემცვლელი ოპერაცია, რომლის დანიშნულებაა ბრუნვისას მილის ან რგოლის ნამზადის დიამეტრის გაზრდა.

გაგლეჯა (გაწყვეტა, გარღვევა) - მკვეთრი მოძრაობით (გაკვრით) რაიმეს მთლიანობის დარღვევა და ნაწილებად დაყოფა.

გადასაწელი - სამჭედლო ინსტრუმენტი, რომელიც გამოიყენება ნაჭედის რომელიმე ადგილის ზომის დასავიწროებლად (შესამცირებლად).

გადაწვა - ფოლადის მარცვლების საზღვრების დაჟანგვა ან შემოდნობა.

გადახრა - სხმულის ერთი ნაწილის დამკვრა სხმულის ღერძების ან მეორე ნაწილის ზედაპირების მიმართ ყალიბის, მოდელის ან საყალიბების გასართზე.

გადახრა / კოპის - დეფექტი, კოპით შესასრულებელი ნახვრეტის, სიღრუის ან სხმულის ნაწილის გადახრა.

გადახრა / ნომინალური ზომებიდან - ნაგლინი, ნაწნეხი, ნაჭიმი ნახევარ-ფაბრიკატების (ფურცლების, მილების, წნელების), ნაირსისქიანობა, დათხელება, გასქელება და ნარღვევები, გამოწვეული წარმოების ტექნოლოგიის დარღვევით.

გადახრა / შტამპვის - წანაცვლება (გართვის სიბრტყეზე) ნაჭედის ერთი ნახევრისა მეორის მიმართ.

გადახურება - გახურება მოცემული მარკის ფოლადის ჭედვის დასაწყისის დასაშვებ ტემპერატურაზე მეტ, მაგრამ გადაწვის ტემპერატურაზე რამდენადმე ნაკლებ ტემპერატურამდე.

გათეთრება - სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი სალი, მექანიკურად ძნელად დასამუშავებელი, უბნები ნახშირბადისა და სილიციუმის დაბალი შემცველობის რუხი თუჯის სხმულის სწრაფი გაცივებისას.

გამოსვლა / ლითონის - დეფექტი, გამყარებული ლითონის თხელი ქერქით შემოსაზღვრული სიცარიელე სხმულში, რომელიც

წარმოიქმნება სუსტად დამაგრებული ყალიბიდან ლითონის გამოდინებისას.

გამოტეხა - სხმულის კონფიგურაციის და ზომების დამახინჯება. სხმულის გამოგდების, შემოჭრის, სასხმისა და ნამატის ჩამოცლის, გაწმენდისა და ტრანსპორტირებისას წარმოქმნილი დეფექტი.

გამოტვიფრა - ლითონების წნევით დამუშავებისას ფორმის შემცვლელი ოპერაცია, რომლის შედეგადაც ხდება ნამზადის ნაწილის დასმა.

გამოწვევა - მოცულობითი შტამპვის ოპერაცია, რომელიც ყრუ ან გამჭოლი შტამპის დარღულების სიღრუეში ნამზადის (ლითონის) დინებით გამოიხატება.

გამოჭიმვა - 1. მასალის სიგრძის მატება პლასტიკური დეფორმაციისას. 2. გრძივი დეფორმაციის მაჩვენებელი, რომელიც დეფორმაციის შემდეგ და დეფორმაციამდე ნამზადის სიგრძეების ფარდობის ტოლია. 3. ლითონის წნევით დამუშავების ფორმისშემცვლელი ოპერაცია, რომლის დანიშნულებაც გამოსაჭიმ შტამპებში ან სპეციალურ დანადგარზე ფურცლოვანი ნამზადიდან ღრუ ნაკეთობის მიღებაა.

გამოხეთქა / ლითონის - დეფექტი, არასრული ან არასწორი ფორმის სხმული, მიღებული არასაკმარისი სიმტკიცის ყალიბში ჩამოსხმისას.

გამრუდება - ზომების დარღვევა, გამოწვეული მოცულობის ცვლილებით. აღსანიშნავია, რომ ფორმის ნებისმიერი ცვლილება აუცილებლად იწვევს საწყისი ზომების ცვლილებასაც.

განშრეგებები - შინაგანი მთლიანობის დარღვევები, წარმოქმნილი ჩაჯდომის ნიჟარებიანი და სიფხვიერიანი ზოდების წნევით დამუშავებისას, ბოჭკოების გასწვრივ მიმართული, აგრეთვე ფურცლის გლინვისას შედარებით მსხვილი არალითონური ჩანართებისა და აირული ბუშტების გაბრტყელებისას.

გაწევა - ძირითადი სამჭედლო ოპერაცია, რომლის დროსაც ხდება ნამზადის ან მისი ნაწილის გაგანიერება, სისქის მნიშვნელოვნად შემცირება და სიგრძის უმნიშვნელოდ მატება.

გაწევა - წნევით დამუშავების ფორმისშემცვლელი ოპერაცია, რომელიც ნამზადის ან მისი ნაწილის წასაგრძელებლად ხდება და ამის ერთდროულად განივკვეთის ფართობის შემცირებით მიმდინარეობს.

გაჭოლვა - ოპერაცია, ჩატარებული, ლითონის გამოდინებით, სიღრუის მისაღებად ნამზადში.

გახვრეტა (გარღვევა) - ლითონის წნევით დამუშავების გამყოფი ოპერაცია, რომლის დანიშნულებაც არის დეტალის შიგნით ჩაკეტილ კონტურზე, გამჭოლი ნახვრეტისა და კილოების წარმოსაქმნელად, ლითონის ძვრით მოცილება.

გრება (დაგრება ჭედვისას) - სამჭედლო ოპერაცია, რომლის დროსაც ხდება ნაჭედი ნამზადის ერთი ნაწილის მეორის მიმართ, გარკვეული კუთხით, მობრუნება გრძივი ღერძის ირგვლივ.

დაბრეცა - ნაკეთობის ფორმის დამახინჯება იმ შინაგანი ძაბვების მოქმედებით, რომლებიც ლითონის არათანაბარი გახურებით, გაცივებით, დეფორმაციით ან ფაზური გარდაქმნებითა არის გამოწვეული.

დაბრეცა / ნაჭედების - დამახინჯება ნაჭედების ფორმის, წარმოქმნილი (განსაკუთრებით ვლინდება დიდი ზედაპირისა და თხელი კვეთის ნაჭედებზე) უმცირესი (0,5-დან 20-მდე) დახრის კუთხის მქონე პერიმეტრზე შტამპის სიღრუიდან გაჩხირული ნაჭედის ამოღებისას.

დაბრეცა / სხმულის - სხმულის ზომებისა და კონტურის ცვლილება ჩაჯდომის ძაბვებით ჩამოსხმის განსაკუთრებით მაღალი

ტემპერატურისა და სხმულის ცალკეული ნაწილების არათანაბარი გაცივებისას.

დაზიანება / ზედაპირული - სხმულის ზედაპირის დამახინჯება, სამსხმელო ყალიბიდან სხმულის გამოგდების, გაწმენდის ან ტრანსპორტირებისას.

დათხელება და გაგლეჯა - ნაშტამპის დათხელება და გაწყვეტა შტამპვისას, გამოწვეული ფურცლოვანი მასალის გამოჭიმვის ტექნოლოგიის დარღვევით.

დანაგვიანება - თხევადი ლითონის ნაკადით წატაცებული და სხმულის ზედაპირში ლოკალიზებულად ჩანერგილი საყალიბე მასალების რღვევის პროდუქტებით სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი ღია სიღრუეები.

დანიშვნა - საგანზე დატანილი ნიშანი სხვა მსგავსისგან გასარჩევად.

დარღვევა / ზომების (შესუსტება) - გადახრა ზომებზე დაშვების სიდიდიდან.

დასმა - ოპერაცია სამჭედლო ფორმაწარმოქმნელი, რომლის დროსაც ხდება ნაშადის განივკვეთის მატება სიმაღლის შემცირებით.

დაშვება - სხვაობა ნაჭედის (ნაშტამპის) ერთი და იმავე ზომის დასაშვებ მაქსიმალურ და მინიმალურ ზომებს შორის.

დეფექტები (სიცარიელები) / **ბუდისებრი** - სხვადასხვა ზომისა და მოხაზულობის მოგლუვებული, დაჟანგულკედლებიანი სიღრუეები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ნაგლინის ზედაპირზე, ცხელი დეფორმაციისათვის ლითონის გახურებისას, შინაგანი (თერმული) ბზარების გახსნისას.

დეფექტი / ერთგანზომილებიანი (ხაზობრივი) - დეფექტი, წარმოქმნილი რეალურ კრისტალში, ზოგიერთი ატომური სიბრტყის გაწყვეტისას.

დეფექტი / ორგანოზომილებიანი (ბრტყელი) - დეფექტი, წარმოქმნილი კრისტალეზში ერთმანეთის მიმართ სხვადასხვა (მცირე) კუთხით მობრუნებული კრისტალის უბნების საზღვრებით.

დეფექტი / სამგანზომილებიანი (მოცულობითი) - ფორები და არხები, წარმოქმნილი ვაკანსიების გროვებით, სხვადასხვა დეფექტზე დალექილი ნაწილაკებით, თავმოყრილი მინარევი ატომებით და სხვათა მიერ.

დეფექტი / შოტკის - ურთიერთსაწინააღმდეგო ნიშნის წყვილ-წყვილად წარმოქმნილი ვაკანსია ორი სხვადასხვაგვარი, დადებითი და უარყოფითი, ატომისგან შედგენილ იონურ კრისტალეზში.

დეფორმაცია / არასრული ცხელი პლასტიკური - წნევით დამუშავების პროცესი, რომლის დროსაც განმტკიცების მოსახსნელად საკმარისი არ არის რეკრისტალიზაციის სიჩქარე.

დეფორმაცია / ცივი პლასტიკური - პლასტიკური დეფორმაცია, როცა ხდება განმტკიცება და ადგილი არ აქვს განუმტკიცებლობას.

დეფორმაცია / ცხელი პლასტიკური - ლითონის პლასტიკური დეფორმაცია T კრიტიკულზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე. ამ დროს განმტკიცებას სდევს განუმტკიცებლობა (წნევით დამუშავების ისეთი ტექნოლოგიური პროცესი, რომლის დროსაც ცივჭედვისა და რეკრისტალიზაციის პროცესები ერთდროულად მიმდინარეობს).

ეფექტი / ფრენკლის - დადებითი და უარყოფითი ატომებისაგან შედგენილ იონურ კრისტალეზში კვანძთშორისი იონისა და მისგან (იონისგან) დატოვებული ვაკანსიის წყვილი.

ვაკანსია - წერტილოვანი დეფექტი (სიცარიელე), წარმოქმნილი კრისტალური გისოსის კვანძიდან ატომის (იონის) გამოსვლით.

ზედაპირი / გაუნახშირბადოებული - ზედაპირული დეფექტი, გამოწვეული ნაჭედის ზედაპირულ შრეში ნახშირბადის ამოწვით (დაჟანგვით). იგი სიღრმით ხშირად აღემატება ნამეტს დამუშავებაზე.

ზედაპირი / უხეში - სხმულის ზედაპირი, დასაშვებ ნორმებზე გადაჭარბებული სიმქისის პარამეტრებით.

ინტერვალი / წნევით ცხელი დამუშავების - დიაპაზონი კონკრეტული მასალის ცხელი დეფორმაციის დასაწყისისა და დასასრულის ოპტიმალურ ტემპერატურებს შორის.

კაწრულა - 0,2 - 0,5 მმ სიღრმის მცირე ზომის ღარაკები, წარმოქმნილი ნამზადის ზედაპირზე წნეხით, გლინვით ან ადიდვით.

კვანძი / თბური - კრისტალიზაციისას ბოლოს გამყარებადი სხმულის შესქელებული ადგილი.

კორძი (წანაზარდი) - სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი ნებისმიერი ფორმისა და ზომის შვერილი, სამსხმელო ყალიბის ადგილობრივად დაზიანებულ უბნებზე, საყალიბო მასალით დაჭუჭყიანებული ლითონით.

კრაუდიონი - დეფექტი, კვანძთშორისი ატომებით წარმოქმნილი ატომების (იონების) ერთგანზომილებიანი შესქელება კრისტალის განლაგებაში, როდესაც ერთი ზედმეტი საკუთარი ატომი (იონი) განთავსდება მჭიდრო წყობის გასწვრივ, რამდენიმე ატომთშორის მანძილზე.

ლიკვაცია - 1. კრისტალიზაციით გამოწვეული ქიმიური, სტრუქტურული და არალითონური ჩანართების განაწილების არაერთგვაროვნება, ანუ სხმულის ცალკეული უბნის ადგილობრივი გამდიდრება შენადნობის ერთი ან რამდენიმე კომპონენტით, ან მინარევით. 2. შენადნობის ქიმიური შედგენილობის, სტრუქტურისა და არალითონური ჩანართების არაერთგვაროვნება, რომელიც წარმოიქმნება მასალის კრისტალიზაციის დროს.

ლიკვაცია / აირის ბუშტებთან - ფოლადის გამყარების დასაწყისში თავდაპირველად აირებით ავსებული სიცარიელების მიერ შეწოვილი მინარევებით გამდიდრებული დედა ხსნარი.

ლიკვაცია / დადებითი - კრისტალიზაციის პროცესში ზოდის შიგნით კონცენტრაციის ამალღება იმ ელემენტებისა, რომლებითაც თხევადი ფაზაა გამდიდრებული.

ლიკვაცია / დენდრიტული –ერთი დენდრიტის, ანუ მარცვლის ზღვრებში არსებული ლიკვაცია. გამოწვეული პირველად, კრისტალურ ჩონჩხად, დაკრისტალბულ უფრო სუფთა და ღერძთშორის მოცულობებში უკანასკნელად დაკრისტალბულ ლითონებს შორის შედგენილობების სხვაობით.

ლიკვაცია / ზონალური - ელემენტების განაწილების არაერთგვაროვნება (არაერთგვაროვნება ზოდის ცალკეულ ზონაში ”სიმაღლეზე და განივკვეთზე”) ნადნობის გამყარებისას სხმულის მოცულობაში.

ლიკვაცია / უარყოფითი - გაზრდილი კონცენტრაცია სხმულის ზედაპირზე იმ ელემენტებისა, რომლებითაც არის გამდიდრებული თხევადი ფაზა კრისტალიზაციის პროცესში.

ლიკვაცია / ქიმიური შედგენილობის (მიხედვით) - 1. ქიმიური არაერთგვაროვნება ზოდის სხვადასხვა უბანზე, კრისტალიზაციის პროცესებით გამოწვეული. 2. ქიმიური შედგენილობის არაერთგვაროვნება, წარმოქმნილი ტემპერატურულ ინტერვალში შენადნობების კრისტალიზაციისას. იგი მავნე გავლენას ახდენს ლითონის ხარისხზე – იწვევს თვისებების არაერთგვაროვნებას.

ლიკვაცია / ღერძული - სხმულის ვერტიკალური ღერძის გასწვრივ ღერძული სიფხვიერის არეში არსებული არაერთგვაროვნება.

მინაწვი - სხმულის უხეში, მქისე ზედაპირი, რომელიც წარმოიქმნება საყალიბო მასალების თხევად ლითონთან და მის ოქსიდებთან ურთიერთქმედებისას ან თხევადი ლითონის ფორმის კედელში შეღწევის შედეგად.

მოზრუნება - დეფორმირებული ლითონის (ან შენადნობის) კრისტალური სტრუქტურის სრულყოფილებისა და თვისებების

ნაწილობრივი ადდგენა, რეკრისტალიზაციის ტემპერატურაზე დაბლა მისი გახურებისას.

მოგორვა (შეჭედვა) - ოპერაცია, მოცულობითი შტამპვის მოსამზადებელი. გარკვეული შესქელებების მიღება ლითონის სიგრძეზე გადანაწილებით.

მოდელი / გამოსადნობი - ერთჯერადი სამსხმლო მოდელი, რომელიც გამოიყენება ნაკეთობის ფორმის შესაბამისი ქერქის (სამსხმლო) მისაღებად.

მოჭიმვა / ფორმის - ხმულის კონფიგურაციის დარღვევა. იგი გამოწვეულია ჩასხმამდე ან ჩასხმისას სამსხმლო ყალიბის ზოგიერთი ადგილის მეტისმეტი მოჭიმვის შედეგად აღძრული დეფორმაციის მექანიკური ზემოქმედებით.

მოჭრა (შემოჭრა) - ნაგლინის ზედაპირის დეფექტი ნაკეთობის მთელ სიგრძეზე ან მის ცალკეულ უბნებზე, გრძივი ჩაღრმავების სახით.

ნაირკედლიანობა – დეფექტი, სხმულის კედლის სისქის, მოთხოვნილ ზომასთან შედარებით, გაზრდა ან შემცირება.

ნაკაწრები და კაწრულები / გრძივი - გასაჭედი ან დასაშტამპი ფოლადის ნაგლინის ზედაპირზე 0,2-0,5 მმ სიღრმის გრძივი ნაკაწრები და კაწრულები (რომელთა ძირის დანახვა შესაძლებელია).

ნაკეცი / შტამპვის - შტამპის ყალიბის ლითონით არასწორი შევსების ან ხიწვის ჩაკეცვისას შტამპვის პირველ გადასვლებზე წარმოქმნილი დაშტამპული ნაკეცი. დაშტამპული ნაკეცი, რომელიც წარმოიქმნება შტამპის ყალიბის ლითონით არასწორი შევსებისას (ლითონის შემხვედრი მოძრაობა) ან ხიწვის ჩაკეცვისას შტამპვის პირველ გადასვლებზე.

ნაკეცი / ჭედვის - სისტემატური დეფექტი, რომელიც შტამპში ღარულების შეუთანხმებლობისას ან კონსტრუქტორის მიერ დაშვებული სხვა შეცდომისას ვლინდება.

ნამგლისებრიობა (მოდრეკილობა) - რკალისებრი არასიბრტყივობა, წარმოქმნილი ზოლის გლინვისა და ჭრის ტექნოლოგიის დარღვევისას ნაკეთობის მთელ სიგრძეზე.

ნამეტი - ლითონის შრე, რომელიც უნდა მოსცილდეს ნამზადს მექანიკური დამუშავებისას ნახაზით განსაზღვრული ფორმის, ზომებისა და დამუშავებული ზედაპირის მოთხოვნილი ხარისხის სიმქისის მისაღებად.

ნაოქიანობა (ნაკეციანობა) - გლუვი, უმნიშვნელო შემადღებები და ჩადრმავებები, წარმოქმნილი ლითონის დაბალი თხელდენადობის შედეგად სხმულის ზედაპირზე.

ნატეხ-ნალეწი - ნაჭედის დეფექტი, წარმოქმნილი შტამპის ქვედა ფიგურაში განთავსებამდე ან მისგან დამრულ ნამზადზე დარტყმის შედეგად.

ნაწიბური (შენაჟონი ნაწიბური) - დაბალი წვრილმარღვი – ნაწიბური, წარმოქმნილი სხმულის ზედაპირზე, სამსხმელო ყალიბის (კოპის) ზედაპირზე თბური გაფართოების შედეგად გაჩენილ ბზარში ნადნობის შედინებისას.

ნახევრულობა - რუხი თუჯის სტრუქტურა, გამოვლენილი ნახშირბადისა და სილიციუმის ამალღებული შემცველობის თეთრი თუჯის სხმულის ზედაპირულ შრეში.

ნიჟარა / საცრისებრი - სხმულის ზედაპირისადმი ნორმალურად ორიენტირებული, მრავლობითი წაგრძეღებული (ზოგჯერ მომრგვაღებული) წვრილი (< 2 – 3 მმ) აირული ჩანართი, წარმოქმნილი კრისტალიზაციის პროცესში, გამყარებად შრეში, წყალბადის ამალღებული შემცველობისას.

ნიჟარა / ქვიშიანი - საყალიბო მასალით მთლიანად ან ნაწილობრივ ავსებული ღია ან დახურული სიცარიეღეები სხმუღებში.

ნიჟარა / ჩაჯდომის - ღია ან დახურული უხეში (დენდრიტებისჩანასახიანი) კრისტალურზედაპირიანი სიღრუე, წარმოქმნილი ლითონური ნადნობის გამყარებისას სხმულში.

ნიჟარა / წიდიანი (წიდის) - ღია ან დახურული წიდით ავსებულ სიცარიელები სხმულებში (ბუდისებრი არალითონური ჩანართი).

ნიჟარები / აირული - ლითონური ნადნობის გამყარებისას ფოლადის სხმულებში, ლითონიდან ან სამსხმელო ყალიბის მასალიდან გამოყოფილი აირებით წარმოქმნილი ღია (ზედაპირული) ან დახურული (შინაგანი), 2 – 3 მმ-ზე მეტი ზომის, მომრგვალებული, გლუვზედაპირიანი სიღრუეები.

ჟანგვა (და)ჟანგვა - 1. კოროზია, რომელიც ჟანგის წარმოქმნით მიმდინარეობს. 2. მყარი ან თხევადი ლითონის (შენადნობის) ჟანგბადთან ურთიერთქმედების პროცესი. 3. ელექტრონის დაკარგვით განპირობებული ატომის, მოლეკულის, იონის დაჟანგვის ხარისხის მატება.

რეჟიმი / წიდის - ერთობლიობა წიდაწარმოქმნის პროცესებისა და წარმოქმნილი წიდის თვისებების.

რეკრისტალიზაცია / პირველადი - ახალი, განსხვავებული კრისტალოგრაფიული ორიენტაციის მარცვლების ფორმირებისა და ზრდის პროცესი (პოლიკრისტალურ მასალებში, უპირატესად, მარცვლის საზღვრებზე) დეფორმირებულ ლითონებში გახურებისას (0,3 – 0,6 T_ფ ტემპერატურულ ინტერვალში). ახლად წარმოქმნილი უფრო სრულყოფილი მარცვლები დეფექტების მაღალი სიმკვრივის საწყის მარცვლებს ცვლის.

სანიშნები - მსგავსისგან გასარჩევად საგანზე დასატანი ნიშნების სამარჯვები (მოწყობილობები).

საცემელი - ინსტრუმენტი, რომლითაც თავისუფალი ჭედვისას უშუალოდ ზემოქმედებენ ნამზადზე ან მის ნაწილზე.

საჭოლი - სამჭედლო ინსტრუმენტი ჭედვისას (შტამპვისას) ნამზადებში ნახვერეტების გასაჭოლი, წაკვეთილი კონუსის სახის.

სიმქისე / აირული - ლითონი-სამსხმელო ყალიბის გამყოფ ზედაპირზე აირული ნიჟარების ზრდისას, სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი სფერული ფოსოები.

სირჩისებრობა - სირჩისებრი დეფექტი, წარმოქმნილი სიგრძეზე არათანაბრად გახურებულ ნამზადზე, აგრეთვე დასმისას ნამზადის ტორცზე სუსტი დარტყმების შედეგად.

სიფხვიერე (სიფაშრე) - სხმულში თავმოყრილი მქისეკედლებიანი (დენდრიტების კვლებით), წვრილი (მიკროსკოპული) ჩაჯდომის ნიჟარებით წარმოქმნილი ლითონის არამკვერივი სტრუქტურა.

სორსალი - ცალკე დაკრისტალებული და სხმულთან შეუდუღებელი, სხმულის ძირითადი ნაწილის შედგენილობის შესაბამისი, მომრგვალებული ფორმის ლითონური ჩანართი (ბურთულა).

სწორება - ლითონების წნევით დამუშავების ოპერაცია, რომელიც ლითონურ ნაკეთობებში ან ნახვევარფაბრიკატებში ფორმის დეფექტის (სიმრუდის) მოსაცილებლად, ან შესამცირებლად სრულდება.

ტემპერატურა / რეკრისტალიზაციის საწყისი - ტემპერატურა, რომლის დროსაც ახალი უწვრილესი წონასწორული მარცვლები წარმოიქმნება.

უკმარგახურება - სხვადასხვა მიზეზებით (გახურების დიდი სიჩქარე, ნამზადის კვეთში სხვადასხვა სიდიდის ხაზობრივი გაფართოება, ქიმიური შედგენილობის არაერთგვაროვნება, ღუმელში ნამზადის არასაკმარისი დაყოვნება და სხვ.) ჩამოყალიბებული ლითონის წნევით დასამუშავებლად არასაკმარისი (აუცილებელი) პლასტიკურობა. იწვევს მნიშვნელოვანი სიდიდის ძაბვებს და შინაგანი ბზარების წარმოქმნას ჭედვისას.

უკმარსხმა (უკმარშევსება) - სხმულის დეფექტი, ჩამოსხმისას სამსხმელო ყალიბის სიღრუის ლითონით შეუვსებლობით გამოწვეული.

უკმარნასხამი (ნაკლებნასხამი) - დეფექტი. სხმულის კონფიგურაციის შეუსაბამობა ნახაზთან, რომელიც გამოწვეულია მოდელის ცვეთით ან ყალიბის არასაკმარისი გამოყვანით.

უკმარ(შე)ნაჭედი - მსხვილი კრისტალური (ნარჩენი) სხმული სტრუქტურა ნაჭედში.

უკმარშედუღება / ფიქსატორის (კოპის, მაცივრის) – არამთლიანობა, წარმოქმნილი სხმულში ლითონის ნადნობისა და კოპის (მაცივრის) ფიქსატორის შეერთების ზედაპირთან.

უკმარშტამპვა - ნაჭედის ყველა ზომის მატება ძირითადი გასართი სიბრტყის პერპენდიკულარული მიმართულებით (ანუ უროზე კუტის სვლის მიმართულებით, საჭედ მანქანაზე პუანსონის და ა.შ.).

უნარი / თბომაკუმულირებელი - სამსხმელო ყალიბის უნარი სითბო წართვას შენადნობს. მისი გამაცივებელი (თბომაკუმულირებელი) უნარი.

ფიგურა / არასრული – დეფექტი, წარმოქმნილი შტამპის საბოლოო (სასუფთაო) დარულის ლითონით შეუვსებლობისას (უმთავრესად, შვერილებთან, კუთხეებთან, მომრგვლებებთან და წიბოებთან).

ფირი (ქერცლი, ანატკეჩი) - ლითონის უკმარი სიმჭიდვით ჩამოსხმისას სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი ლითონური ან ჟანგულის დამოუკიდებელი შრე. გლინვისას ხდება შხეფების გაბრტყელება თხელ, 1,5 მმ-მდე სისქის, ფირებად (ქერცლებად) და მისი ლითონში ჩაწნევა.

ფიქსატორი / კოპის - ლითონის საყრდენი, სამსხმელო ფორმაში კოპების განსაზღვრულ მდგომარეობაში დასაყენებლად და

დასამაგრებლად, სამსხმელო ფორმის ნადნობით შევსებისას მათი ამ მდგომარეობიდან დაძვრის შესაზღუდად (გამოსარიცხად).

ფლოკენი (ფიფქი) - ფოლადში გახსნილი წყალბადის გამოყოფით და შინაგანი ძაბვებით გამოწვეული სხმულის (ან ნაგლინის შუა ნაწილში განლაგებული) შინაგანი მიკრორღვევა-ძალიან წვრილი (მმ-ის მეასედზე ნაკლები), კლაკნილი ბზარები (ვლინდებიან რღვევის რელიეფზე მომრგვალებული ფორმის ნათელი მოვერცხლისფრო ლაქების, ხოლო ამოჭმული შლიფის ზედაპირზე - ბეწვბზარების სახით).

ფორიანობა - მასალის არამთლიანობა ფორის სახისა, რომელიც განისაზღვრება ფორების მოცულობის მასალის მთლიან მოცულობასთან შეფარდებით.

ფორიანობა / აირული - სხმულის გამყარებისას ნადნობიდან გამოყოფილი აირებით სხმულში წარმოქმნილი მცირე ზომის აირული ფორების ან ჩაჯდომის ნიჟარების თავმოყრა, აგრეთვე სტრუქტურული არამკვრივობა.

ფორიანობა / გრაფიტული - რუხი თუჯის სხმულის დეფექტი, თავმოყრილი ან ობობას ქსელისმაგვარი გრაფიტის მსხვილი გამონაყოფებით (იწვევს ლითონის არამკვრივობას და არღვევს სხმულის ჰერმეტიკობას, რომელიც წნევებით გამოცდისას ვლინდება).

ფორიანობა (ფხვიერობა) / ღერძული - ფორიანობა მშვიდი ფოლადის ზოდის ცენტრალურ ნაწილში.

ფორიანობა / ჩაჯდომის - კრისტალიზაციისას, ლითონის ჩაჯდომის შედეგად, დენდრიტებს შორის, სხმულის მთელ მოცულობაში ან მის ცენტრალურ ნაწილში წარმოქმნილი წვრილი, უსწორმასწორო ფორმის სიციარიელები.

ფოსო / ჩაჯდომის - ლითონის გამყარებისას, ჩაჯდომის შედეგად, სხმულის ზედაპირზე წარმოქმნილი გლუვკედლიანი, დამრეცი, ზედაპირული ჩაღრმავება.

ფხა - სამსხმელო ყალიბის ან შტამპის გახსნის ხაზზე წარმოქმნილი და დეტალზე დარჩენილი ზედმეტი მასალა.

ღუნვა - დეფორმაციის სახე, რომელიც დეფორმირებად მასალას ნიმუშის გრძივი ღერძის მიმართ გარკვეული კუთხით ამრუდებს. 2. ლითონების წნევით დამუშავების ფორმის შემცვლელი ოპერაცია, რომლის დანიშნულებაა ნამზადის ნაწილებს შორის წარმოქმნას ან შეცვალოს კუთხეები, ან ნამზადს მრუდხაზოვანი ფორმა მისცეს. 3. ღუნვით დეფორმაციის პირობებში მექანიკური გამოცდის ხერხი.

შებერილობა -სხმულის ცალკეული უბნის ადგილობრივი შესქელებით გამოწვეული დეფექტი.

შემოგლინვა - ლითონის წნევით დამუშავების ფორმისშემცვლელი ოპერაცია, რომლის დანიშნულებაც არის ბრუნვისას მილის ან რგოლის ნამზადის დიამეტრის გაზრდა.

შედულება / სამჭედლო (ჭედვით) - სამჭედლო (ხელით ან მანქანური) ოპერაცია, რომლის დროსაც ორი ლითონის საკონტაქტო ზედაპირების დეფორმაციით მიიღება გაუხსნელი შეერთება.

შეურწყმელობა (ნაჭდევი) - ნებისმიერი ფორმის დეფექტი - ნახვრეტი ან გამჭოლი ღრეჩო, წარმოქმნილი შემცირებული თხელდენადობის ლითონის ჩამოსხმისას, ნაკადების შეურწყმელობით, სხმულის კედელში.

ჩანაგლეჯები (ნაგლეჯები) - უხეში ჩანახევები, წარმოქმნილი წნევით დამუშავებისას ლითონის ზედაპირზე (და ნამზადის ნაპირებზე), მისი არასაკმარისი პლასტიკურობისას.

ჩანაგლინი - დეფექტი ან ნაგლინის ზედაპირზე 0,5 მმ-ზე მეტი სიღრმის ნაკეცი წარმოქმნილი გლინებში (კალიბრებში) მიწოდებული ჭარბი ლითონის დეფორმაციისას.

ჩანართები / საწყის ნამზადებში წიდის - ზოდის ან ნაგლინის დეფექტი, წიდის ჩანართის გაჭიმული გროვების სახით, რომლებიც ლითონში მისი ჩამოსხმისას მოხვდა.

ჩანართი / არალითონური - არალითონური ნაწილაკები, ლითონში მექანიკურად მოხვედრილი ან დნობისა და ჩამოსხმის პროცესებში კომპონენტების ქიმიური ურთიერთქმედებით წარმოქმნილი.

ჩანართი / ლითონური - ნებისმიერი ფორმის უცხო ლითონის ჩანართი სხმულთან გამყოფი ზედაპირის მქონე.

ჩანახევი (ჩანაგლეჯი) - თხელი ფურცლის ზედაპირის დეფექტი, განივი არაგამჭოლი ჩანახევის სახით, რომელიც გლინვისას მეტნაბეჭ, ჩამოწმენდისას გაჩენილი ჩაღრმავებების, გაგლინული წიდის, ჩაგლინული ლითონური ნაწილაკების და ხენჯის ჩაგლინვის ადგილებში ჩნდება

ჩაღრმავება / გადაფარული - ლითონის თხელი შრით გადახურული, საყალიბო ნარევით შევსებული დამრეცნაპირებიანი ჩაღრმავება, წარმოქმნილი სამსხმელო ყალიბში ჩამოსხმისას საყალიბო ნარევის აშრევების შედეგად.

ჩაჯდომა / მდუღარე ლითონის - მდუღარე ფოლადის ზოდის ზედა ნაწილი, რომელსაც გარედან თხელი გარსი აქვს და ზევიდან ზოდის სხეულზე ფუტლიარის ან ჩექმის ყელის სახითაა ღია.

ცივჭედვა - 1. ლითონებისა და შენადნობების სტრუქტურისა და თვისებების ცვლილება პლასტიკური დეფორმაციის შედეგად რეკრისტალიზაციის ნაწილობრივი ან სრული ჩახშობისას: ამ პროცესს თან ახლავს სისხლისა და სიმტკიცის მომატება, პლასტიკურობის და დარტყმითი სიბლანტის შემცირება. 2. დამუშავება, რომელსაც ლითონი ცივი პლასტიკური დეფორმაციით განმტკიცებამდე მიჰყავს

წანამატი - ნამეტზე დამატებული ლითონის მოცულობა, შტამპებიდან დაშტამპული ნაჭედის და სამსხმელო ყალიბიდან სხმულის ან მოდელის ამოღების გასაიოლებლად.

წიდა / ჩაღვრილი - სამსხმელო ფორმის ნაწილობრივი შევსება წიდით.

ჩანაჭერი - სხმულის სასხმების მოჭრის, შემოჭრის და გაწმენდისას წარმოქმნილი კონტურის დამახინჯება.

წუნი - 1. ლითონპროდუქციის ხარისხის მაჩვენებლების ტექნიკური დოკუმენტაციების მოთხოვნებთან შეუსაბამობა. 2. ნაკეთობა ან ნახევარფაბრიკატი, რომლის თვისებათა ერთობლიობა მოქმედი სტანდარტისა და ტექნიკური პირობების აუცილებელ მოთხოვნებს არ აკმაყოფილებს.

ჭარბნასხამი - სამსხმელო ყალიბის გასართის, კოპების ან კოპის ნიშნების ღრეჩოებში თხევადი ლითონის შეღწევით, სხმულზე წარმოქმნილი სხვადასხვა ზომისა და ფორმის, ნახაზით გაუთვალისწინებელი, შვერილები.

ჭარბნასხამი / საკოპე - დეფექტი, სხმულის ნახვრეტში ან სიღრუეში ჩასხმული ლითონის სახით.

ჭრა (კვეთა) - მჭრელი იარაღით ლითონური ნახევარფაბრიკატების ნაწილებად დაცალკეება.

ხენჯი - ჰაერზე ან ჟანგბადის შემცველ სხვა გარემოში ფოლადისა და ზოგიერთი სხვა შენადნობის ზედაპირზე წარმოქმნილი (და)ჟანგვის პროდუქტი

ხენჯწარმოქმა - მჟანგავ გარემოში გახურებისას ლითონის ზედაპირზე განვითარებული ხენჯის შრე.

ხიწვი / შტამპვის - ფხის ჩამოუჭრელი ნარჩენი, რომელიც მიიღება ჩამოსაჭრელი და საჭედი შტამპების შეუსაბამობისას და ცუდი მორგებისას.

ძირითადი ლიტერატურა

1. Атлас дефектов стали. Пер. с нем. - М.: Металлургия, 1979. - 188с.
2. Дефекты стали - Марочник сталей и сплавов MarkMet
www.markmet.ru/content/defekty-stalei
3. Циммерман Р., Гюнтер К. Металлургия и материаловедение. Справ изд. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1982. 480 с.
4. О.Е. Васин, В.М. Югай, Р.А. Садртдинов, В.А. Подмогаев, В.Б. Гейцан, Н.К. Кареев, А.А. Селиванов. Атлас дефектов. Научно-технический сборник. Екатеринбург, 2008, 56 с.
http://www.reaa.ru/yabbfilesB/Attachments/ATLAS_DEFEKTOV_svarnyh_soedinenij.pdf
5. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов ...
<https://www.chipmaker.ru> > files > file
6. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов: учебник для вузов / Ю.М. Лахтин. - 4-е изд. - М.: Металлургия, 1993. - 448 с.
7. Гуляев, А.П. Металловедение: учебник для вузов / А.П. Гуляев. - М.: Металлургия, 1986. - 544 с.
8. Материаловедение: учебное пособие / под общ. ред. Л.Г. Петровой, Г.В. Гладовой, О.В. Чудиной. - М.: МАДИ (ГТУ), 2008. - 288 с.
9. Дефекты стали. Слитки и слябы. Дефекты ... Горячекатаные прутки и профили.
Катаная проволока ... Холоднокатаные прутки и проволока.
Дефекты <https://markmet.ru> > content > defekty-stalei

10. Дефекты металла: «Материаловедение и ТКМ» / В.П. Расщупкин, М.С. Корытов. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 37 с. <http://bek.sibadi.org/fulltext/ED1413.pdf>
11. Дефекты металлов и сплавов <https://nsportal.ru> › files › defekty-converted-compressed
12. Дефекты продукции и их обнаружение <https://vactron.ru> › index.php › library › lecture › 96-de...
13. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.: ил. ISBN 5-217-00241-1
14. Классификация дефектов отливок из чугуна и стали" <https://studfile.net/preview/6755843/...>
15. "Классификация дефектов отливок из чугуна и стали". Барнаул 2000г. <https://techlibrary.ru> › ...
16. Основные виды дефектов отливок и причины их образования материаловед. рф/.../11-osnovnye-vidy-defektov-otlivok-i-prichin...
17. Козлов Л. Я., Колокольцев В. М., Вдовин К. Н. и др. Производство стальных отливок — Учебник. — М.: МИСИС, 2003. — 352 с. — ISBN 5-87623-119-3. <https://www.twirpx.com> › file
18. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А. Экспертная оценка качества литья. Черные сплавы Монография. — Москва: Машиностроение-1, 2006. — 180 с. : ил. — ISBN 5-94275-289-3. <https://sltgroup.ru> › catalog › base › ekspertnaya-otsenk...

19. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А. — Атлас литейных дефектов. черные сплавы. часть 1 – М.: Машиностроение-1, 2005.-328 с. с ил.
<https://sltgroup.ru › catalog › base › atlas-liteynykh-defe...>
20. Воронин Ю.Ф., Камаев В.А. — Атлас литейных дефектов. черные сплавы. часть 2 – М.: Машиностроение-1, 2005 . <https://sltgroup.ru › catalog › base › atlas-liteynykh-defe...>
21. Титов, Ю. А. Контроль качества поковок / Ю. А. Титов, А. Ю. Титов. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 70 с. ISBN 978-5-9795-0385-1 <window.edu.ru › resource › files>
22. ГОСТ 21014-88 Прокат черных металлов. Термины и определения дефектов поверхности
<http://docs.cntd.ru/document/1200004653>
23. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах. Под ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение, 1985.
24. Гостев В. И. Качество штампованных поковок и методы предупреждения брака в кузнечных цехах / В. И. Гостев М.: «Машгиз», 1975.– 328с.
25. Дефекты поверхности, образовавшиеся в процессе деформации http://mdld.lcg.tpu.ru/file.php/29/Module_2/Book_2-3-2.html
26. Дефекты, получающиеся при прокатке, ковке и штамповке
<https://studfile.net › preview › page:17>
27. Брак штампованных поковок
<https://промпортал.su › brak2>
28. Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах. Под ред. Е.И. Семенова. М.: Машиностроение, 1985.
<https://dwg.ru › ... › Литература › Машиностроение>

29. Дефекты термической обработки и основные меры борьбы с ними
http://texinfo.inf.ua/razdeli/materiali/termoobrabotka_5.html
30. Меркулова Г.А., Металловедение и термическая обработка цветных металлов, Учебное пособие – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2008. – 312 с. <https://www.twirpx.com> › file
31. Брак при термической обработке стали. <https://morflot.su> › brak-pri-termicheskoy-obrabotke-stali
32. Виды брака при термообработке - Студопедия.Орг
<https://studopedia.org> › ...
33. Брак при термической обработке алюминиевых сплавов и...
metal-archive.ru › Обработка цветных металлов
34. Закалка стали: виды, способы охлаждения, оборудование ...
<https://metalloy.ru> › ... › Термообработка
35. Технология термической обработки металлов ...
files.lib.sfu-kras.ru › ebibl › umkd › u_lectures
36. Контроль изделий при термической обработке
lib.kstu.kz › books › MMiN › plain › theory
37. Translate this page
38. Термическая обработка алюминиевых и магниевых сплавов.
metalurgu.ru › termoobrabotka-metallov-i-splavov › ter...
39. Закалка стали: описание процесса термообработки
...<https://stanok.guru> › ... › Термообработка металла
40. Закалка стали: температура, режимы, технология ...
<https://stankiexpert.ru> › materialovedenie › zakalka-stali
41. Контроль качества термической обработки стальных ...
pereosnastka.ru › articles › kontrol-kachestva-termiches...

42. Установка индукционного нагрева. Основные дефекты
...<https://элсит.рф> › вики › термообработка › установка-...
43. Закалка ТВЧ. Преимущества и недостатки ...elisit.ru › zakalka-tokami-vysokoj-chastoty-tvch
44. Виды термообработки | Справочник для конструкторов ...
razvitie-ru.ru › ...
45. Николаев Е.Н., Коротин И.М. Термическая обработка ...
<https://www.twirpx.com> › file
46. Расчет времени нагрева и выдержки деталей при отпуске ...
<https://studbooks.net> › tovarovedenie › raschet_vremeni...
47. химико-термическая обработка сталей www.naukaspb.ru › spravochniki
48. Оборудование для химико-термической обработки | ГК ...
<https://finval.ru> › about › articles › oborudovanie-dlya-...
49. Перспективные процессы химико-термической обработки ...
<https://cyberleninka.ru> › article › perspektivnye-protsess...
50. Термообработка металлов. Виды и свойства закалочных ...
<https://lmx.ucoz.ru> › blog › termoobrabotka_metallov...