

მისიელ ოქროსაშვილი

მასალათმცოდნეობა



„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მიხეილ ოქროსაშვილი

მასალათმცოდნეობა

ლექციების კურსი

სასურსათო პროდუქტების წარმოების ინჟინერიის
სტუდენტებისათვის



თბილისი
2018

სალექციო კურსში განხილულია ტექნიკაში გამოყენებული შავი და ფერადი ლითონების, არალითონური, მათ შორის პოლიმერული საკონსტრუქციო მასალების აგებულება, თვისებები, გამოყენების სფეროები და ნაკეთობის თვისებათა სასურველი მიმართულებით შეცვლის ხერხები და საშუალებები. ყურადღება გამახვილებულია სასურსათო და გადასამუშავებელ წარმოებაში გამოყენებული როგორც ლითონური, ისე პოლიმერული მასალებისადმი წაყენებულ სანიტარულ-ჰიგიენურ მოთხოვნებზე, ტარასა და საფუთავ მასალებზე სასურსათო მრეწველობის სხვადასხვა სფეროში.

სალექციო კურსი განკუთვნილია სასურსათო პროდუქტების წარმოების ინჟინერის ბაკალავრიატის სტუდენტებისათვის.

რეცენზენტები: ნ. ლოლაძე, სტუ-ის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის პროფესორი

რ. ხუციშვილი, სტუ-ის ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტის პროფესორი

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

მანქანათა ნაწილების, ხელსაწყოებისა და კონსტრუქციების, ქიმიურ და სასურსათო წარმოებაში გამოყენებული აპარატურის და მათი კონსტრუქციების დასამზადებლად ტექნიკა სრულიად განსხვავებული თვისებების მქონე მასალების გამოყენებას მოითხოვს. ზოგადი მანქანათმშენებლობისა და ხელსაწყოთმშენებლობისათვის უმთავრესია სალი და რბილი, მაგნიტური და არამაგნიტური, კარგი ელექტროგამტარი და მაღალი ელექტრული წინაღობის მასალები; ზემოდალი ტემპერატურისა და წნევის პირობებში მდგრადი მასალები საჭიროა გაზის ტურბინების, ალმასის სინთეზის აპარატურისა და ტექნიკის სხვა დარგებისთვისაც. მედიცინა კი სრულიად განსხვავებული თვისებების მასალებს მოითხოვს. გარდა სიმტკიცისა, ისინი უნდა ხასიათდებოდეს მდგრადობით ცოცხალი ორგანიზმის ქიმიური ნივთიერებების ზემოქმედების მიმართ და შეთავსებადობით, ანუ ქსოვილთან შეზრდის უნარით.

სასურსათო წარმოების ტექნოლოგია არსებითად განსხვავდება მრეწველობის სხვა დარგების ტექნოლოგიური პროცესებისაგან. მისი უმთავრესი მოთხოვნაა აპარატურის კვანძების, საფუთავი თუ ნედლეულის, ნახევარფაბრიკატისა და მზა პროდუქტის ტრანსპორტირებისათვის განკუთვნილი მოწყობილობის კვანძების დასამზადებლად ისეთი მასალების გამოყენება, რომელიც სურსათის უვნებლობას და მისი შენახვისა და ტრანსპორტირების პირობებს უზრუნველყოფს.

პრაქტიკული მიზნებისათვის ლითონების, შენადნობებისა და არალითონური საკონსტრუქციო მასალების სწორად შერჩევისათვის აუცილებელია მათ მიმართ წაყენებული თვისებების უზრუნველყოფის გზებისა და ხერხების ცოდნა. ნაკეთობის საექსპლუატაციო თვისებებს კი გამოყენებული მასალის შედგენილობა, აგებულება და დამუშავების ხერხი განსაზღვრავს. აქედან გამომდინარე, მასალათმცოდნეობის, როგორც გამოყენებითი მეცნიერების ერთ-ერთი უმთავრესი ამოცანაა ლითონებისა და შენადნობების სტრუქტურის შესწავლა და დამუშავების სხვადასხვა ხერხის ზემოქმედებით, სტრუქტურის ტრანსფორმაციის გზით, თვისებათა სასურველი კომპლექსის უზრუნველყოფა და გამოყენების სფეროების განსაზღვრა.

ლითონის კრისტალური აბეზულება

1.1. ლითონების კლასიფიკაცია

„ლითონი არის ღია ფერის სხეული, რომლის ჭედვა შეიძლება“ – წერდა ლომონოსოვი დაახლოებით 200 წლის წინ. იმ დროისათვის სავსებით მისაღები ეს განმარტება დღეს აღარ გვაკმაყოფილებს, რადგან ლომონოსოვის დროს ჩამონათვალში ლითონების მცირე რაოდენობა შედიოდა (ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი, კალა, თუთია და რკინა) და მათი მრავალი თვისება ჯერ კიდევ ცნობილი არ იყო.

ლითონის ძირითადი გარეგნული ნიშანი მისი ბზინვარებაა, რაც განპირობებულია დიდი არეკვლის უნარით. ლითონისათვის დამახასიათებელია მაღალი სიმტკიცე, პლასტიკურობა, ელექტრო და თბოგამტარობა.

ლითონებს მიეკუთვნება ელემენტების გარკვეული ჯგუფი, რომელიც მენდელეევის პერიოდული სისტემის მარცხენა ნაწილშია განლაგებული. გარე ელექტრონულ გარსზე მათ 1-2 ელექტრონი გააჩნიათ, არალითონებს კი – 5-6. ქიმიურ რეაქციებში ლითონები გასცემს სავალენტო ელექტრონებს და დადებით იონებად გადაიქცევა.

ლითონური თვისებებით ხასიათდება არა მარტო სუფთა ლითონები, მაგალითად, ალუმინი, სპილენძი, რკინა და ა.შ., არამედ უფრო რთული ნივთიერებებიც, რომელთა შედგენილობაში შეიძლება შედიოდეს არა მარტო რამდენიმე სუფთა ლითონი, არამედ არალითონური ელემენტების მნიშვნელოვანი რაოდენობაც. ასეთ ნივთიერებებს ლითონურ შენადნობებს უწოდებენ.

დ. მენდელეევის პერიოდული სისტემა 80-მდე ლითონური ბუნების ელემენტს ითვლის, მაგრამ მრეწველობისათვის გადამწყვეტ როლს ყველა მათგანი არ ასრულებს. ამიტომ ლითონების კლასიფიკაციას, უპირველეს ყოვლისა, ტექნიკისათვის მნიშვნელოვანი თვისებებიდან გამომდინარე აწარმოებენ.

ლითონები ორ დიდ ჯგუფად იყოფა: შავ და ფერად ლითონებად.

შავი ლითონებისათვის დამახასიათებელია რუხი-ნაცრისფერი შეფერილობა, მაღალი სიმკვრივე (გარდა ტუტემიწათა ლითონებისა), დნობის მაღალი ტემპერატურა და შედარებით მაღალი სისალე. ამ ჯგუფის ტიპური წარმომადგენელია რკინა.

ფერადი ლითონები დამახასიათებელი შეფერილობით გამოირჩევა (მოწითალო, ყვითელი, თეთრი) და ხასიათდება მაღალი პლასტიკურობით, შედარებით დაბალი

დნობის ტემპერატურით და სისაღით. ამ ჯგუფის ტიპური ლითონია სპილენძი.

ტექნიკაში გამოყენებულ შავ ლითონებს, თავის მხრივ, ყოფენ:

– რკინის ჯგუფის ლითონებად, სადაც რკინასთან ერთად გაერთიანებულია კობალტი, ნიკელი და თვისებებით მათთან ახლოს მდგომი მანგანუმი;

– ძნელდნობად ლითონებად, რომელთა დნობის ტემპერატურა აღემატება რკინის დნობის ტემპერატურას (1539°C). მათ რიცხვს მიეკუთვნება ვოლფრამი, რენიუმი, ტანტალი, მოლიბდენი, ნიობიუმი, ჰაფნიუმი, ვანადიუმი, ქრომი და ცირკონიუმი;

– ურანის ჯგუფის ლითონებად – აქტინოიდებად, რომლებიც უპირატესად ატომური ენერგეტიკის შენადნობებში გამოიყენება;

– იშვიათ მიწა ლითონებად – ლანთანი, ცერიუმი, ნეოდიუმი, პრაზეოდიუმი და სხვა, რომლებიც გაერთიანებულია სახელწოდებით ლანთანოიდები. ამ ჯგუფს მიაკუთვნებენ აგრეთვე თვისებებით მათთან ახლოს მდგომ იტრიუმსა და სკანდიუმს. იშვიათი მიწა ლითონები გამოიყენება დანამატებად შენადნობებში;

– ტუტე მიწათა ლითონებად, რომლებიც თავისუფალი სახით არ გამოიყენება საგანგებო შემთხვევების გარდა.

ფერად ლითონებში სიმკვრივის მიხედვით ანსხვავებენ:

– მსუბუქ ლითონებს (მაგნიუმი, $\gamma=1,7\text{ გ/სმ}^3$; ბერილიუმი, $\gamma=1,8\text{ გ/სმ}^3$; ალუმინი, $\gamma=2,7\text{ გ/სმ}^3$);

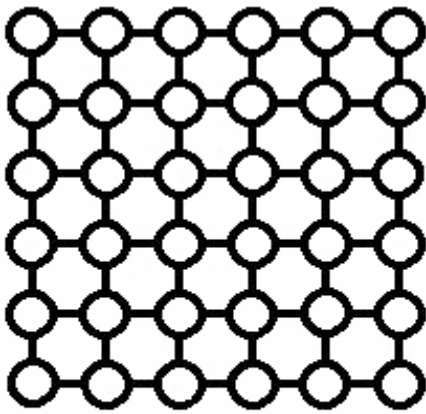
– კეთილშობილ ლითონებს, როგორცაა ოქრო, ვერცხლი და პლატინის ჯგუფის ელემენტები. მათ რიცხვს მიაკუთვნებენ აგრეთვე „ნახევრად კეთილშობილ“ ლითონს – სპილენძს. კეთილშობილი ლითონები კოროზიისადმი მაღალი მდგრადობით ხასიათდება;

– ადვილდნობად ლითონებს – თუთიას, კალას, ტყვიას, დარიშხანს, ბისმუტს, თალიუმს, ვერცხლისწყალს და შემცირებული ლითონური თვისებების მქონე ელემენტებს – გალიუმსა და გერმანიუმს.

სისუფთავის მიხედვით ლითონებს პირობითად ყოფენ ტექნიკურად სუფთა, ქიმიურად სუფთა და განსაკუთრებული სისუფთავის ლითონებად. თუ ელემენტი ძირითად ლითონს შეიცავს 99,9%-ზე ნაკლები რაოდენობით (დანარჩენი მინარევებია), იგი ტექნიკურად სუფთაა; 99,9-დან 99,99%-მდე – ქიმიურად სუფთა, ხოლო 99,999%-ზე ზევით – განსაკუთრებული სისუფთავის.

12. ლითონის კრისტალური აგებულება

კრისტალური გისოსის ტიპები ლითონებში. დადგენილია, რომ ყველა ლითონი კრისტალური აგებულებით ხასიათდება. კრისტალურ ნივთიერებებში, ამორფულისაგან განსხვავებით, ატომები სივრცეში განლაგებულია არა ნებისმიერად, არამედ მოწესრიგებულად, გარკვეული კანონზომიერებით. ასეთი მოწესრიგებული, კანონზომიერი განლაგების შედეგად ატომები წარმოქმნის წარმოსახვით სივრცით კრისტალურ გისოსს, რომლის კვანძებში თვითონ არიან განთავსებული. 1.1. სურათზე წარმოდგენილია სივრცითი გისოსის ერთ-ერთი კრისტალოგრაფიული სიბრტყე.



სურ. 1.1. სივრცითი გისოსის კრისტალოგრაფიული სიბრტყე

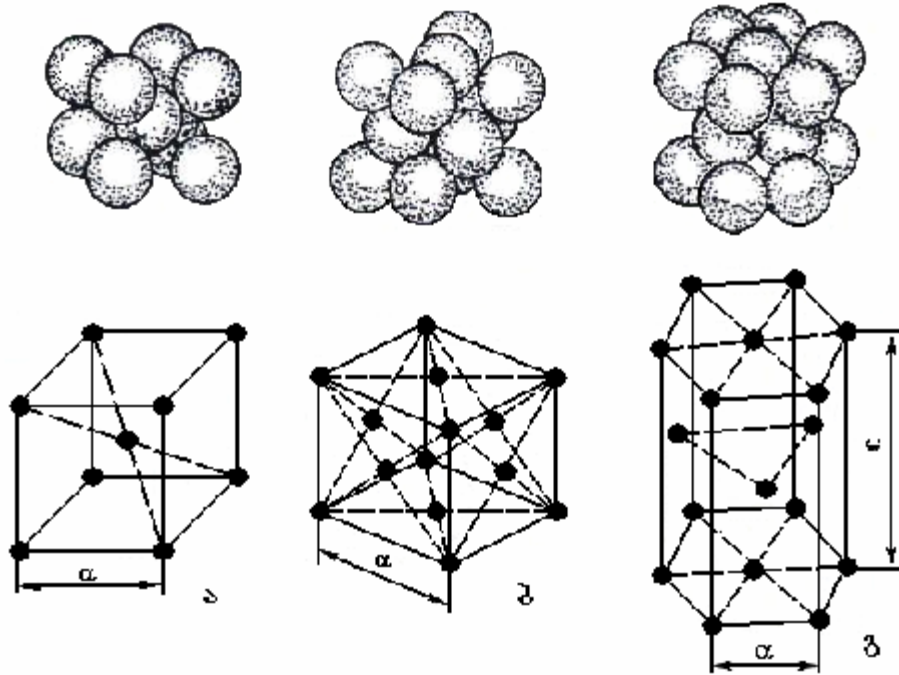
კრისტალური გისოსი წარმოადგენს რაიმე სწორი გეომეტრიული ნაკეთის მრავალჯერად განმეორებას სივრცეში. გისოსის ელემენტარულ ნაწილაკს, რომელიც მრავალჯერ მეორდება სივრცეში, კრისტალური გისოსის ელემენტარული უჯრედი ეწოდება.

ლითონებში ყველაზე გავრცელებულია სამი სახის კრისტალური გისოსი: სივრცით დაცენტრებული კუბი (სურ. 1.2, ა), წახნაგდაცენტრებული კუბი (ბ) და ჰექსაგონური პრიზმა (გ).

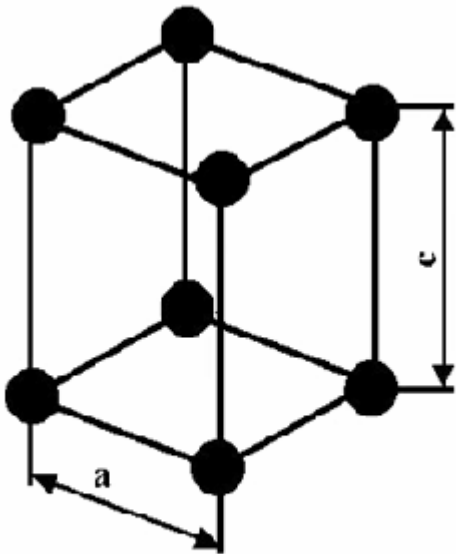
კრისტალური გისოსი, გარდა გეომეტრიული ფორმისა, ხასიათდება პარამეტრებით, ანუ პერიოდებით. პარამეტრი ეწოდება ატომთა შორის მანძილს სამი სხვადასხვა მიმართულებით. იგი აღინიშნება a , b და c ასოებით და იზომება ანგსტრემებში ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ სმ}$) ან ნანომეტრებში ($1 \text{ ნმ} = 10^{-7} \text{ სმ}$).

ჰექსაგონურ პრიზმაში თუ შიგა სამი ატომი ეხება ზედა და ქვედა წახნაგების ატომებს, პარამეტრების შეფარდება $c/a = 1,633$. ასეთ გისოსს მჭიდრო გისოსი ეწოდება. ზოგიერთი ლითონისათვის დამახასიათებელია ტეტრაგონური გისოსი (სურ. 1.3). იგი იმით განსხვავდება კუბური გისოსისაგან, რომ c და a პარამეტრები ერთმანეთისგან განსხვავებულია. c/a შეფარდება ახასიათებს ე.წ. ტეტრაგონურობის ხარისხს.

კრისტალური გისოსის სიმჭიდროვეს ახასიათებს მოცემული ატომიდან ტოლ-და უმოკლეს მანძილზე დაშორებული ატომების რიცხვი, რომელსაც საკოორდინაციო რიცხვი ეწოდება. უბრალო კუბური გისოსისათვის იგი ტოლია 6, სივრცით დაცენტ-



სურ. 12. კრისტალური გისოსის ელემენტარული უჯრედის სქემა.
 ა – სივრცით დაცენტრებული კუბი; ბ – წახნაგდაცენტრებული
 კუბი; გ - ჰექსაგონური პრიზმა



სურ. 13. ტეტრაგონური კრისტალური
 გისოსის სქემა

რებული კუბისათვის – 8 ხოლო წახნაგდა-
 ცენტრებული კუბისა და მჭიდრო ჰექსაგონუ-
 რი პრიზმისათვის – 12. კრისტალური გისო-
 სის შემოკლებული აღნიშვნისათვის სარგებ-
 ლობენ მისი საკოორდინაციო რიცხვით. ლი-
 ტერატურაში შემოდებულია ქვემოთ წარმოდ-
 გენილი ერთ-ერთი სისტემა:

უბრალო კუბური	კ	კ 6
კუბური სივრცით დაცენტრებული	სდკ	კ 8
კუბური წახნაგ- დაცენტრებული	წდკ	კ 12
მჭიდრო ჰექსაგო- ნური	ჰმ	ჰ 12

ატომთა შორის კავშირი ლითონებში. კრისტალის აგებულებასა და მის თვისებებს იმ ძალების ბუნება განსაზღვრავს, რომლებიც იონებს, ატომებსა თუ მოლეკულებს კრისტალური გისოსის კვანძებში აკავებს. მყარ სხეულებში ნაწილაკებს შორის კავშირი ელექტრული ხასიათისაა, მაგრამ სხვადასხვა კრისტალში სხვადასხვაგვარად მუდგანდება.

ლითონებში სავალენტო ელექტრონები სუსტად არის დაკავშირებული ბირთვთან, ამიტომ ისინი ადვილად სცილდებიან საკუთარ ატომს, თავისუფლად მოძრაობენ აღნიშნული საერთო ზონის ფარგლებში ატომიდან ატომზე და ყოველი მათგანისათვის საერთო, კოლექტიური ხდებიან. ასეთ თავისუფლად მოძრავ ელექტრონთა ერთობლიობას ელექტრონული სითხე, ან ელექტრონული აირი ეწოდება. ელექტრონები ამჭიდროვებს დადებით იონებს, რომლებიც, თავის მხრივ, ერთმანეთისგან განიზიდება გარკვეულ მანძილზე მათი მიახლოებისას. იონები კანონზომიერად ლაგდებიან სივრცეში ერთმანეთის მიმართ ისე, რომ მიზიდვისა და განზიდვის ძალები გაწონასწორებულია. ატომთა შორის ასეთ კავშირს ლითონურს უწოდებენ.

ამგვარად, ლითონურ კრისტალებში ატომთა შორის კავშირს განაპირობებს ატომ-იონებსა და მათ ირგვლივ სივრცეში ადვილად მოძრავ ელექტრონულ აირს შორის ურთიერთქმედების ძალები. სწორედ ელექტრონული აირის არსებობა განაპირობებს ლითონისათვის დამახასიათებელ ძირითად თვისებებს.

ჩვეულებრივ პირობებში კოლექტიური ელექტრონები ქაოსურად მოძრაობს. ლითონის ბოლოებზე პოტენციალთა სხვაობის მოდებით ელექტრონები მიმართულებით მოძრაობას იწყებს და გამტარში დენი აღიძვრება.

ლითონის ტემპერატურის გაზრდა იწვევს იონთა რხევითი მოძრაობის ამპლიტუდის გაზრდას, რაც დაბრკოლებას წარმოქმნის ელექტრონების მოძრაობის გზაზე და ლითონის ელექტროგამტარობა მცირდება.

კრისტალურ ნივთიერებებში სითბოგადაცემა ხორციელდება როგორც სავალენტო ელექტრონებით, ისე ატომებისა და იონების რხევითი მოძრაობის ხარჯზე. ლითონებში ეს პროცესი ძირითადად სავალენტო ელექტრონებით მიმდინარეობს და მათ უკეთესი სითბოგამტარობა ახასიათებს.

ლითონთა პლასტიკურობის საკითხში გადამწყვეტ როლს კვლავ ლითონური კავშირი ასრულებს. დეფორმაციის შედეგად, მართალია, ხდება იონების გადაადგილება სივრცეში, მაგრამ მათი კავშირი ელექტრონულ აირთან არ ირღვევა. ამის შედეგია

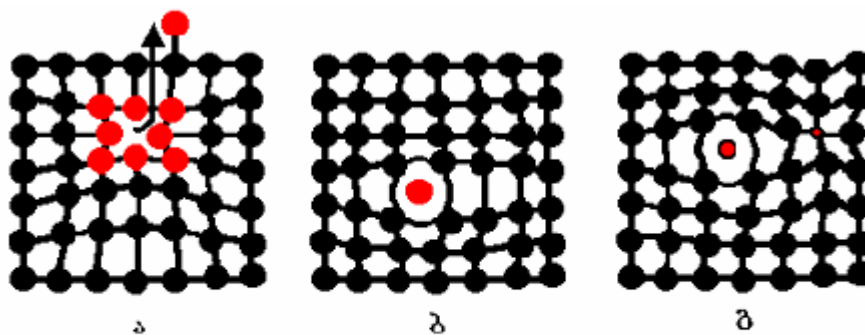
ის, რომ ლითონი კარგი ჰედადობით ხასიათდება. მხოლოდ მნიშვნელოვანი დეფორმაციის შემდეგ წყდება ატომები ერთმანეთს და ლითონის მთლიანობაც ირღვევა.

კრისტალური აღნაგობის დეფექტები. ჩვენს მიერ ზემოთ განხილული კრისტალები გარკვეულად იდეალიზებულია. კრისტალური გისოსი წარმოდგენილი იყო, როგორც მრავალჯერადი განმეორება ელემენტარული უჯრედისა, სადაც ყველა გეომეტრიული კვანძი სათანადო ლითონის ატომებით იყო დაკავებული. რეალური კრისტალები ყოველთვის მოკლებულია ასეთ აბსოლუტურ სისწორეს და ისინი ყოველთვის დამახინჯებულია.

რეალურ კრისტალებში გვხვდება წერტილოვანი, ხაზოვანი და სტრუქტურული დეფექტები.

წერტილოვან დეფექტებს მიეკუთვნება ვაკანსია, კვანძებსშორისი (დისლოცირებული) ატომი და უცხო ატომი.

ვაკანსია წარმოადგენს თავისუფალ ადგილს კრისტალურ გისოსში (სურ. 14, ა). იგი წარმოიქმნება გისოსის კვანძებიდან ატომის მოწყვეტით და მისი გადასვლით ან კრისტალის ზედაპირზე, ან სრული აორთქლებით. თუ რეგულარული მდგომარეობიდან ამოვარდნილი ატომი დაიკავებს ადგილს გისოსის კვანძებს შორის, მას კვანძებსშორისი ატომი ეწოდება (ბ).



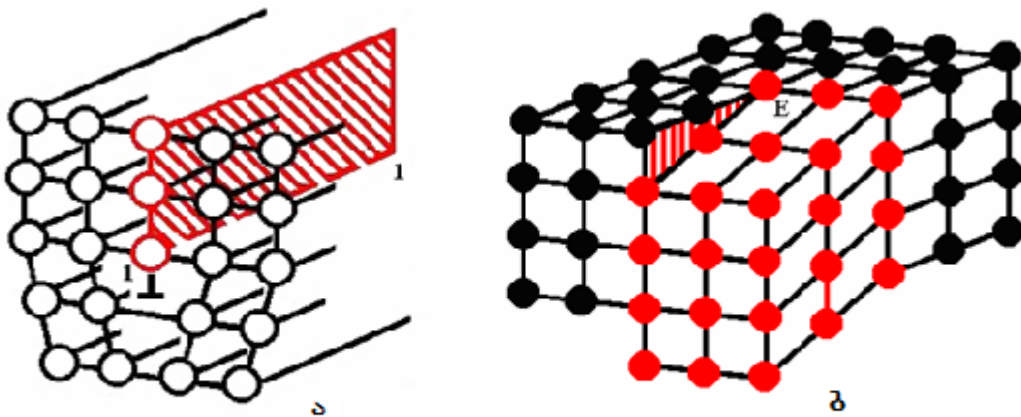
სურ. 14. წერტილოვანი დეფექტების სქმა.
 ა – ვაკანსია; ბ – კვანძებსშორისი ატომი; გ – უცხო ატომი

უცხო, ანუ მინარევის ატომი, რომელიც ლითონში სხვადასხვა მიზეზით შეიძლება მოხვდეს, ადგილს იკავებს ან კრისტალური გისოსის კვანძებში, სადაც ცვლის ძირითადი ლითონის ატომებს, ან კვანძებს შორის ჩაინერგება (სურ. 14 გ). უცხო ატომი ყოველთვის არსებობს მინარევის სახით როგორც ტექნიკურად სუფთა, ისე სა-

კმაოდ მაღალი სისუფთავის ლითონებში.

აღნიშნული დეფექტები ამახინჯებს კრისტალური გისოსის სწორ გეომეტრიულ ფორმას, რაც იწვევს ლითონის ფიზიკური და მექანიკური თვისებების შეცვლას. კერძოდ, იზრდება ელექტროწინაობისა და სიმტკიცის მახასიათებლები, პლასტიკურობა კი მცირდება.

ხაზოვან დეფექტებს დისლოკაცია მიეკუთვნება. იგი წარმოადგენს გისოსის ლოკალურ დამახინჯებას, რაც გამოწვეულია კრისტალში „ზედმეტი“ ატომური ნახევარსიბრტყის, ე.წ. ექსტრასიბრტყის გაჩენით (სურ. 15, ა). ექსტრასიბრტყის 1-1 კიდე წარმოქმნის ე.წ. კიდურა დისლოკაციას. დისლოკაცია სივრცეში შეიძლება გავრცელდეს გისოსის რამდენიმე ათას პარამეტრზე, შეიძლება იყოს სწორი ან გაიღუნოს და ბოლოს, დაეხვეს და მიიღოს სპირალის ფორმა. ამ უკანასკნელს ხრახნული დისლოკაცია ეწოდება (ბ).

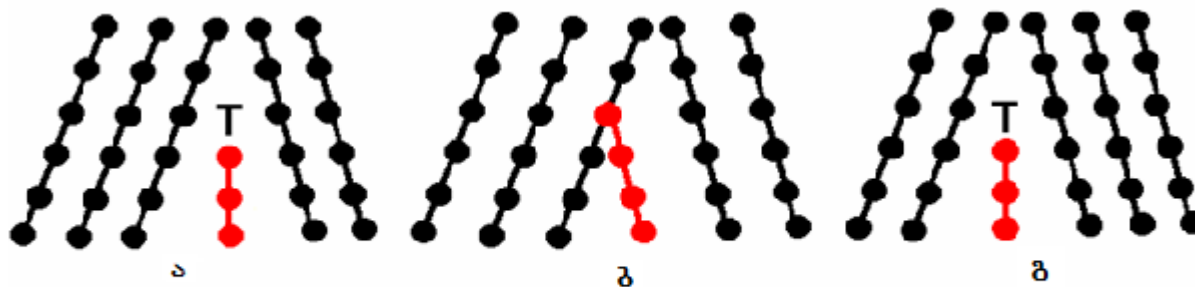


სურ. 15. კიდურა (ა) და ხრახნული (ბ) დისლოკაციების სქემა

კრისტალში შეიძლება წარმოიქმნას 15 ა სურათზე წარმოდგენილ დისლოკაციისაგან განსხვავებული, შებრუნებული დისლოკაცია, როდესაც ზედმეტი ატომური ნახევარსიბრტყე „ჩასოლილი“ აღმოჩნდება არა ზემოდან, არამედ ქვემოდან. პირველ მათგანს დადებით, ხოლო მეორეს – უარყოფით დისლოკაციას უწოდებენ. დადებითი დისლოკაცია აღინიშნება სიმბოლოთი \perp , ხოლო უარყოფითი – \top . ერთი და იგივე ნიშნის დისლოკაციები ერთმანეთისგან განიზიდება, ხოლო საწინააღმდეგო ნიშნისა – მიიზიდება.

დისლოკაციის გარშემო აღიძვრება დრეკადი დამახინჯების ზონა, ამიტომ შემდ-

გომი დეფორმაციის ზემოქმედებით დისლოკაცია ადვილად ამოძრავდება – იგი დაიძვრება ნეიტრალური მდებარეობიდან, ხოლო მეზობელი სიბრტყე შუალედური მდგომარეობის გავლით (სურ. 1.6, ა, ბ) ექსტრასიბრტყედ გადაიქცევა (გ). საბოლოო ჯამში დისლოკაცია შეიძლება კრისტალის საზღვრის გარეთაც გამოვიდეს, ანუ განვითარდეს პლასტიკური დეფორმაცია. მოძრაობის პროცესში, მიახლოებისას, საწინააღმდეგო



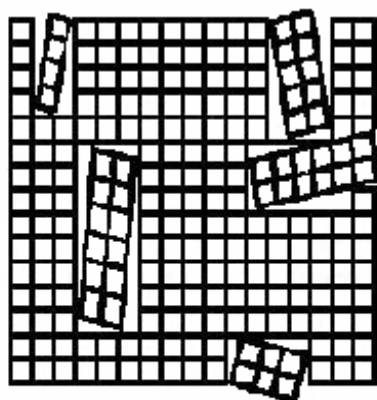
სურ. 1.6. დისლოკაციის გადაადგილების სქემა

ნიშნის დისლოკაციები ერთმანეთს სპობს.

ლითონის 1 სმ³ მოცულობაში დისლოკაციის ჯამურ სიგრძეს სანტიმეტრებში დისლოკაციის სიმკვრივე ეწოდება. მისი განზომილებაა:

$$\rho = \text{სმ} / \text{სმ}^3 = \text{სმ}^{-2}$$

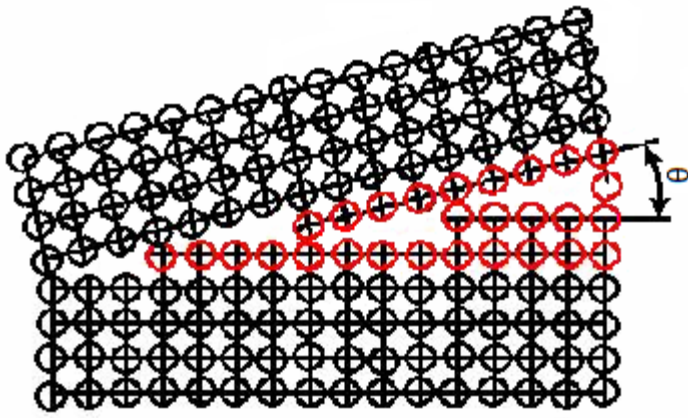
ერთ-ერთ სტრუქტურულ დეფექტს მოზაიკური სტრუქტურა მიეკუთვნება. მარცვალი არ წარმოადგენს მონოლითურ კრისტალს, რომელიც შედგენილი იქნება მკაცრად პარალელური კრისტალოგრაფიული სიბრტყეებისაგან. სინამდვილეში ელემენტარული უჯრედების მთელი ჯგუფები ერთმანეთის მიმართ შემობრუნებულია მცირე კუთ-



სურ. 1.7. მოზაიკური სტრუქტურის აქემა

ხით ($\theta = 0,3-4^0$). ასეთი დამახინჯებით მიღებულ სტრუქტურას მოზაიკურს უწოდებენ (სურ. 1.7), ხოლო მის შემადგენელ ბლოკებს – მოზაიკის ბლოკებს. ბლოკის ზომები $10^{-5}-10^{-3}$ სმ–ს შეადგენს. ბლოკების ურთიერთ-შეუღლება დისლოკაციებით ხორციელდება (სურ. 1.8).

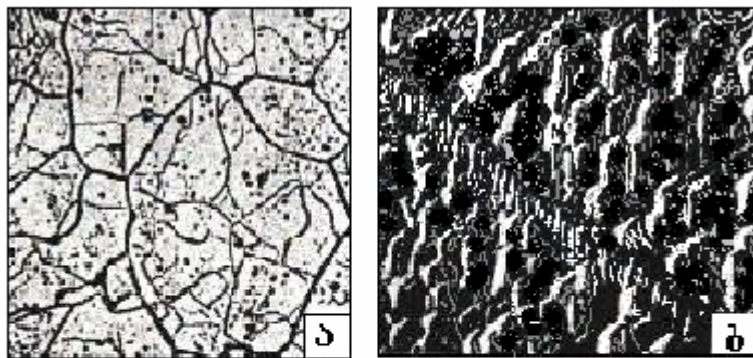
ხშირად ბლოკები ერთიანდებიან უფრო მსხვილ აგრეგატებად – ფრაგმენტებად, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ რამდენიმე გრადუსით ($\theta = 5-10^0$) არის შემობრუნებული. დაბოლოს, ფრაგმენტები ერთიანდებიან მარცვალში. მარცვლები ერთმანეთის მიმართ რამდენიმე



სურ. 1.8. ბლოკებს შორის საზღვრის სქემა

ათეული გრადუსით არის შემობრუნებული.

19 სურათზე წარმოდგენილია ნახშირბადმცირე ფოლადის მიკროსტრუქტურა, რომელიც შეიცავს მარცვლებს, ფრაგმენტებსა და ბლოკებს. მარცვლები ყოველთვის არ ხასიათდება ასეთი სამსაფეხურიანი სტრუქტურით. შეიძლება ისინი შედგებოდეს ფრაგმენტებისაგან მოზაიკური სტრუქტურის გარეშე ან მხოლოდ მოზაიკის ბლოკებისაგან.



სურ. 1.9. ნახშირბადმცირე ფოლადის მიკროსტრუქტურა.
 ა – ფერიტის მარცვლები (მსხვილი საზღვრები) და ფრაგმენტები (წვრილი საზღვრები). x250.
 ბ – ფერიტის მარცვლის ბლოკები (ფრაგმენტებისა და ბლოკების საზღვრები). x16000.

სუფთა ლითონების კრისტალიზაცია

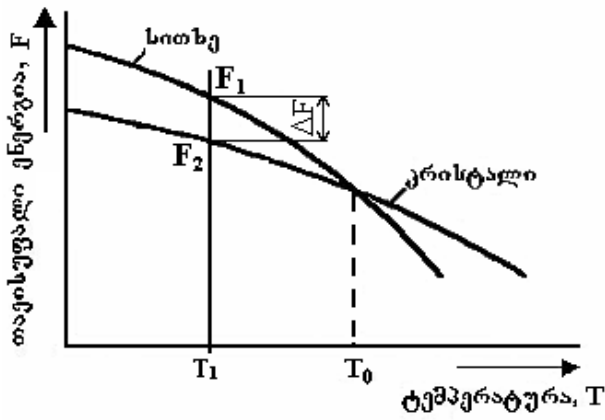
პირველადი კრისტალიზაციის შედეგად ჩამოყალიბებული სტრუქტურა ნაკეთობის მრავალ თვისებას განსაზღვრავს. ამ პროცესში ფორმირებული დეფექტები ლითონის ფორმის შეცვლისა თუ დამუშავების სხვადასხვა სტადიის გავლის შემდეგ შეიძლება მზა პროდუქციაში აღმოჩნდეს, რაც ართულებს სასურველი თვისებების მქონე ლითონის მიღებას. აქედან გამომდინარე, ინჟინრისა თუ მეცნიერის ერთ-ერთი უმთავრესი ამოცანაა ქიმიური შედგენილობითა და თვისებებით ერთგვაროვანი, უდეფექტო ზოდის და სხმულის მიღება, რაც კრისტალიზაციის პროცესის მართვის გზით არის შესაძლებელი.

2.1. კრისტალიზაციის პროცესის ენერგეტიკული პირობები და მუქანიზმი

როგორც ცნობილია, ნებისმიერი ნივთიერება შეიძლება აირად, თხევად ან მყარ მდგომარეობაში არსებობდეს. სუფთა ლითონებში გარკვეულ პირობებში მიმდინარეობს აგრეგატული მდგომარეობის შეცვლა: აირადი მდგომარეობა იცვლება თხევადით, თხევადი კი მყარით. გარდაქმნის ტემპერატურა დამოკიდებულია წნევაზე, მაგრამ მუდმივი წნევის პირობებში იგი სრულიად განსაზღვრულია.

ლითონის გაცივების დროს კრისტალიზაციის პროცესი თვითნებურად მიმდინარეობს, რაც გამომდინარეობს თერმოდინამიკის ზოგადი კანონებიდან, რომლის თანახმად, სისტემა ყოველთვის ცდილობს დაიკავოს ისეთი მდგომარეობა, სადაც მას მინიმალური თავისუფალი ენერგია ექნება.

ტემპერატურის შეცვლით თხევადი და მყარი მდგომარეობების თავისუფალი ენერგიები სხვადასხვა კანონზომიერებით იცვლება და მრუდები გარკვეულ T_0 წერტილში იკვეთება (სურ. 2.1). T_0 ტემპერატურა დნობის (გამყარების) თეორიულ ტემპერატურას წარმოადგენს. თუმცა ამ წერტილში კრისტალიზაცია არ შეიძლება მიმდინარეობდეს, რადგან თხევადი და მყარი ფაზის თავისუფალი ენერგიები ტოლია: $F_L = F_S$. T_0 წერტილის მარჯვნივ, ე. ი. მაღალ ტემპერატურაზე, სისტემისათვის უფრო ხელსაყრელია თხევადი მდგომარეობა, რადგან ეს უკანასკნელი ნაკლები თავისუფალი ენერ-

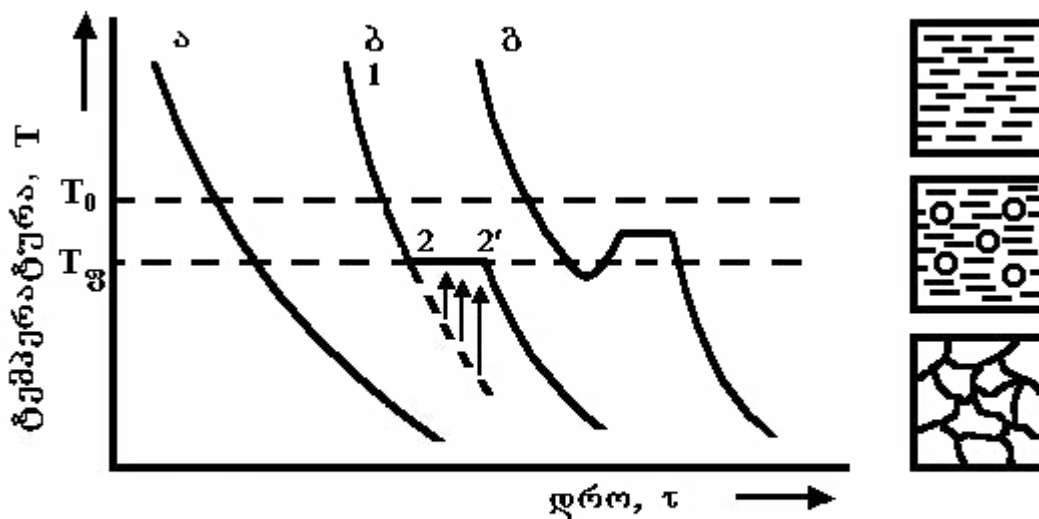


სურ. 2.1. თხევადი და მყარი მდგომარეობების თავისუფალი ენერჯიების დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

გით ხასიათდება, მარცხნივ კი – კრისტალური მდგომარეობა. ამიტომ, თუ გამდნარ ლითონს T_0 წერტილის ქვემოთ, რაღაც T_1 ტემპერატურამდე გადავაცივებთ, დაიწყება კრისტალიზაციის პროცესი, რომლის მამოძრავებელ ძალას არსებითად თხევად და მყარ მდგომარეობებს შორის თავისუფალი ენერჯიების სხვაობა ($\Delta F = F_1 - F_2$) წარმოადგენს (სურ. 2.1). ტემპერატურას, რომელზეც რეალურად იწყება კრისტალიზაციის პროცესი,

კრისტალიზაციის ფაქტიური ტემპერატურა ეწოდება, ხოლო ტემპერატურათა სხვაობას $T_0 - T_{ფ} = n$ – გადაცივების ხარისხი.

სუფთა ლითონის გაცივების პროცესი შეიძლება გამოისახოს მრუდით კოორდინატებში ტემპერატურა – დრო (სურ. 2.2). თხევადი ფაზის გაცივებისას სისტემის ტემპერატურა ჯერ მდოვრედ მცირდება (1–2 უბანი ბ მრუდზე), რადგან ამ დროს სითხეში არავითარი ხარისხობრივი ცვლილება არ ხდება. ამორფულ ნივთიერებებში, სადაც გამყარება კრისტალების წარმოქმნის, ანუ კრისტალიზაციის გარეშე მიმდინარეობს, ტემპერატურის ცვლილების ასეთი მდოვრე ხასიათი შენარჩუნებულია გაცივების



სურ. 2.2. ამორფული (ა) და კრისტალური (ბ, გ) ნივთიერებების გაცივების მრუდები

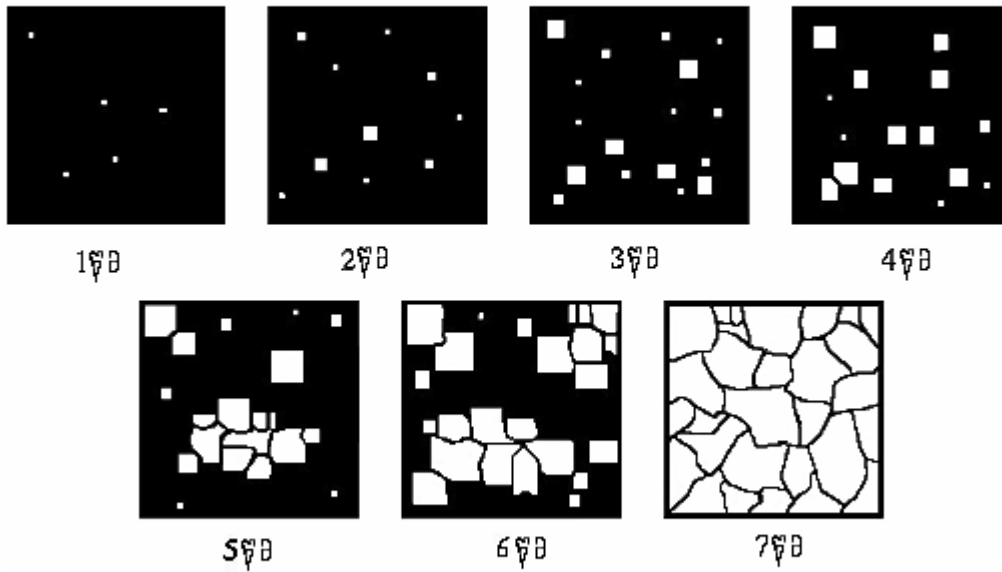
მთელ ინტერვალში (სურ. 2.2, ა). ლითონებში, როგორც კი სისტემის ტემპერატურა კრისტალიზაციის ფაქტიურ ტემპერატურას მიაღწევს, მრუდზე ჰორიზონტალური ბაქანი (2–2') წარმოიქმნება. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ კრისტალიზაციის პროცესი სუფთა ლითონებში მუდმივ ტემპერატურაზე, იზოთერმულად მიმდინარეობს, რადგან ატმოსფეროში გაცემული სითბო კომპენსირდება კრისტალიზაციის ფარული სითბოს გამოყოფით (ვერტიკალური ისრები დიაგრამაზე, ბ მრუდი). ძლიერი გადაცივების შემთხვევაში ინტენსიურად გამოყოფილი ფარული სითბოს ხარჯზე ტემპერატურამ შეიძლება სწრაფად აიწიოს (გ) და დნობის წერტილსაც კი მიუახლოვდეს. თუ არ მოხდა სითბოს ატმოსფეროში გაცემა, გამყარების პროცესი შეიძლება შეწყდეს კიდევ.

კრისტალიზაცია განიხილება, როგორც ატომების გადასვლა თხევადი მდგომარეობისათვის დამახასიათებელი მოუწესრიგებელი მდგომარეობიდან მოწესრიგებულ მდგომარეობაში. პროცესი ორი თანმიმდევრული ელემენტარული აქტით მიმდინარეობს. პირველი მდგომარეობს კრისტალის უწვრილესი ნაწილაკების, ე.წ. კრისტალიზაციის ცენტრების ჩასახვაში, ხოლო მეორე – ამ წარმონაქმნიდან კრისტალების ზრდაში.

ჩანასახი მდგრად წარმონაქმნად რომ გადაიქცეს, იგი გარკვეულ კრიტიკულ ზომამდე უნდა გაიზარდოს თხევადი ფაზის ხარჯზე, რათა წინააღმდეგობა გაუწიოს სითხის ატომების დამანგრეველ ზემოქმედებას. ჩანასახის მინიმალურ ზომას, რომლის გაზრდა შესაძლებელია, კრიტიკული ზომა (r_k) ეწოდება, ხოლო ასეთ ჩანასახს – მდგრადი. ამ ცენტრებზე ხდება ლითონის ატომების დაშენება, ანუ კრისტალების ზომების ზრდა თხევადი ფაზიდან ჩანასახზე ატომების კანონზომიერად მიერთების გზით. ასეთ პროცესს თვითნებური, ჰომოგენური კრისტალიზაცია ეწოდება.

ამ ორი ელემენტარული საფეხურის გათვალისწინებით კრისტალიზაციის პროცესი შეიძლება შემდეგი სქემის სახით წარმოვიდგინოთ: დავუშვათ, 2.3 სურათზე გამოსახულ ფართობში ყოველ წამში ხუთი კრისტალიზაციის ცენტრი ჩაისახება. პირველი წამის ბოლოსათვის ჩასახული ცენტრებიდან მომდევნო წამში კრისტალები გარკვეულ ზომამდე გაიზრდება. ერთდროულად კვლავ ხუთი კრისტალიზაციის ცენტრი ჩაისახება და ა.შ. ცენტრების ამგვარი ჩასახვითა და მათი ზრდით მიმდინარეობს კრისტალიზაცია, რომელიც მოცემულ შემთხვევაში მეშვიდე წამში მთავრდება.

რეალურ ტექნიკურ ლითონებში ყოველთვის არის სხვადასხვა სახის მინარეგები, რომლებმაც მზა კრისტალიზაციის ცენტრების როლი შეიძლება ითამაშოს. ასეთ

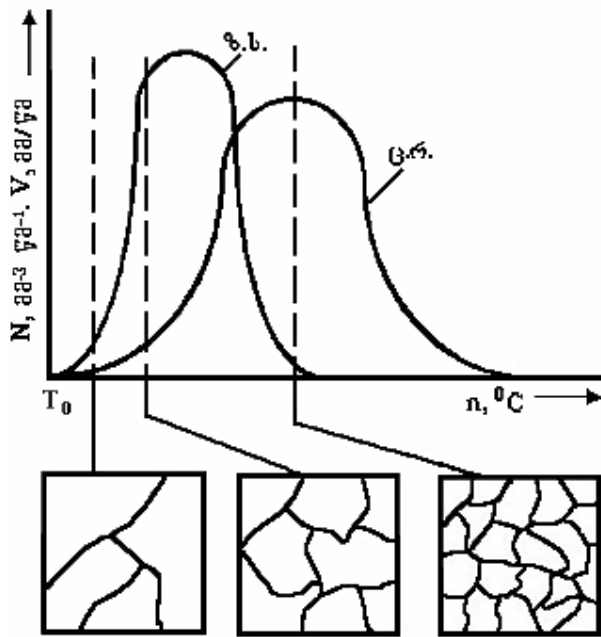


სურ. 2.3. კრისტალიზაციის პროცესის მოდელი

პროცესს ჰეტეროგენული კრისტალიზაცია ეწოდება და რეალურ ლითონებში მას წამყვანი როლი ენიჭება.

კრისტალიზაციის ცენტრთა რიცხვი და კრისტალების ზრდის სიჩქარე დამოკიდებულია გადაცივების ხარისხზე, რაც კარგად ჩანს 2.4 სურათზე წარმოდგენილი გრაფიკიდან. რაც უფრო მეტია გადაცივების ხარისხი, მით უფრო დიდია მყარ და თხევად ფაზებს შორის თავისუფალი ენერგიების სხვაობა, ამიტომ მით უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს კრისტალიზაციის პროცესი და მით უფრო წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა ჩამოყალიბდება.

მეორე მხრივ, გადაცივების ხარისხის გაზრდით იზრდება ლითონის სიბლანტე, რაც აძნელებს დიფუზური პროცესების მიმდინარეობას და, აქედან გამომდინარე, კრისტალიზაციის ცენტრების ჩასახვასა და მათ ზრდას. ამიტომ გარკვეული გადაცივების ხარისხიდან დაწყებული, კრისტალიზაციის ორივე პარამეტრი კლებას იწყებს და მრუდები დადმავალ ხასიათს დებულობს. თხევადი ფაზის ზესწრაფი სიჩქარით ($>10^6$ °C) გაცივებისას დიფუზური პროცესების მიმდინარეობა იმდენად ძნელდება, რომ მურუჭდება ჩანასახის წარმოქმნის შესაძლებლობა. ტემპერატურის განუხრელი შემცირების გამო კი ნივთიერების სიბლანტე სულ უფრო იზრდება, იგი მყარდება კრისტალიზაციის გარეშე და ამორფულ მდგომარეობაში გადადის. ასეთი სტრუქტურის მქონე მასალებმა ამორფული ლითონის, ან ლითონური მინის სახელწოდება მიიღო.



სურ. 2.4. ცენტრთა რიცხვსა და კრისტალების ზრდის სიჩქარის დამოკიდებულება გადაცივების ხარისხზე

ჰომოგენური ან ჰეტეროგენული კრისტალიზაციის პროცესი შეიძლება სხვადასხვანაირად წარიმართოს და ამის მიხედვით შედეგიც სხვადასხვა მიიღება.

თუ კრისტალის ზრდა ერთი ცენტრიდან ხდება, გამყარების შემდეგ შინაგანად სრულყოფილი კრისტალური აგებულებისა და სწორი გარეთა გეომეტრიული ფორმის წარმონაქმნი მიიღება, რომელსაც მონოკრისტალი ეწოდება (სურ. 2.5, ა).

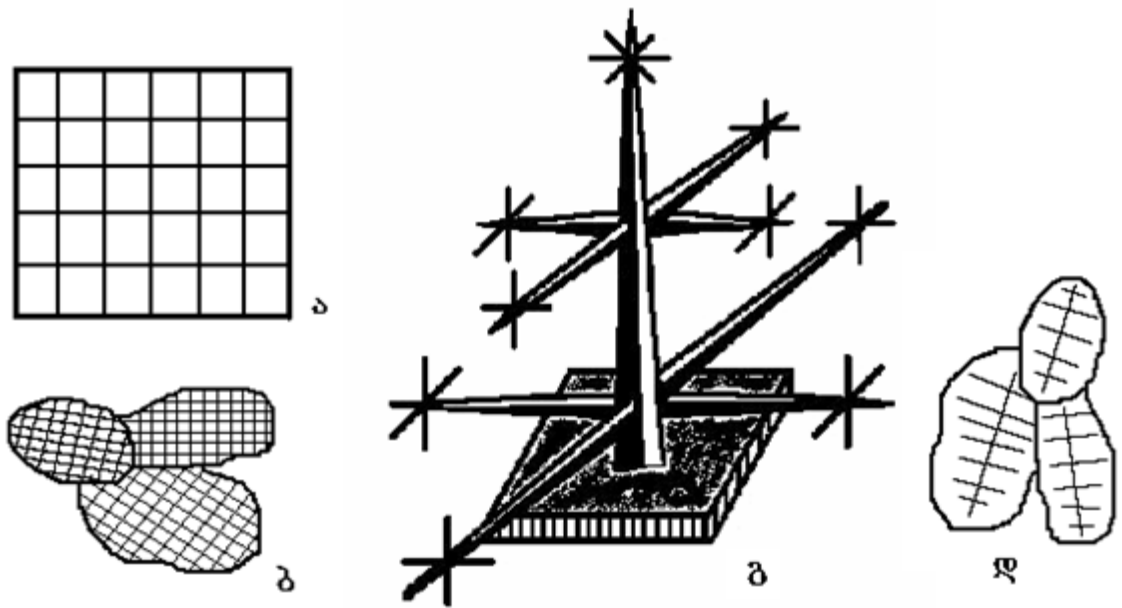
როდესაც კრისტალიზაცია ერთდროულად რამდენიმე ცენტრიდან მიმდინარეობს, სანამ კრისტალი გარშემორტყმულია სითხით, იგი სწორ გეომეტ-

რიულ ფორმას ღებულობს, მაგრამ მზარდი კრისტალების ურთიერთშეხვედრისას ხდება მათი თავისუფალი ზრდის შეზღუდვა, ჩნდება მათ შორის საზღვარი და სწორი ფორმა მახინჯდება. ამგვარად მიიღება დამახინჯებული ზედაპირის მქონე წარმონაქმნები, რომელთაც მარცვლები ეწოდება (სურ. 2.5, ბ).

უმეტეს შემთხვევაში კრისტალი სხვადასხვა მიმართულებით სხვადასხვა სიჩქარით იზრდება. ასეთ შემთხვევაში თავდაპირველად წარმოიქმნება წაგრძელებული, ნემსისებრი გამონაზარდი, ე.წ. კრისტალის პირველი რივის ღერძი. ანალოგიურად, პირველად ღერძებზე მიიღება განშტოებები, რომლებიც, თავის მხრივ, სხვა განშტოებების საფუძველს წარმოადგენს. შედეგად ჩამოყალიბდება დატოტვილი, ხისმაგვარი ფორმის კრისტალი, რომელსაც დენდრიტი ეწოდება (სურ. 2.5, გ). შემდეგ ხდება დენდრიტებს შორის სივრცის შევსება მარცვლამდე (დ).

2.2. მეორეული ბარდაქმნები სუფთა ლითონებში

ალოტროპიული გარდაქმნები. მოცემული ელემენტის ატომებმა შეიძლება წარმოქმნას ნებისმიერი ფორმის კრისტალური გისოსი, მაგრამ მდგრადი აღმოჩნდება ის, რომელსაც მინიმალური ენერგია გააჩნია. ასე მაგალითად, მყარ მდგომარეობაში ლი-



სურ. 25. კრისტალური წარმონაქმნის ფორმების სქემა.
 ა - მონოკრისტალი; ბ - მარცვლები; გ - დენდრიტი;
 დ - დენდრიტული მარცვლები

თიუმს, ნატრიუმს, კალიუმს, რუბიდიუმს, ცეზიუმს, მოლიბდენს, ვოლფრამს და კიდევ სხვა ლითონებს ახასიათებთ სივრცით დაცენტრებული კუბური კრისტალური გისოსი; ალუმინს, კალციუმს, სპილენძს, ვერცხლს, პლატინას – წახნაგდაცენტრებული, ხოლო ბერილიუმს, მაგნიუმს, ცირკონიუმს, ჰაფნიუმს, ოსმიუმს – ჰექსაგონური.

მრავალ ნივთიერებაში, განსაკუთრებით გარდამავალ ლითონებში, ერთ პირობებში ჩამოყალიბებული კრისტალური გისოსი გარე ფაქტორების (ტემპერატურა, წნევა) შეცვლით შეიძლება არამდგრადი აღმოჩნდეს და იგი ფორმას შეიცვლის. მაგალითად, სხვადასხვა პირობებში რკინამ შეიძლება წარმოქმნას სივრცით დაცენტრებული ან წახნაგდაცენტრებული კრისტალური გისოსი; აღმოჩენილია კობალტი წახნაგდაცენტრებული და ჰექსაგონური გისოსებით. სხვადასხვა კრისტალურ ფორმაში არსებობს აგრეთვე კალა, მანგანუმი, ტიტანი, ურანი და ცირკონიუმი.

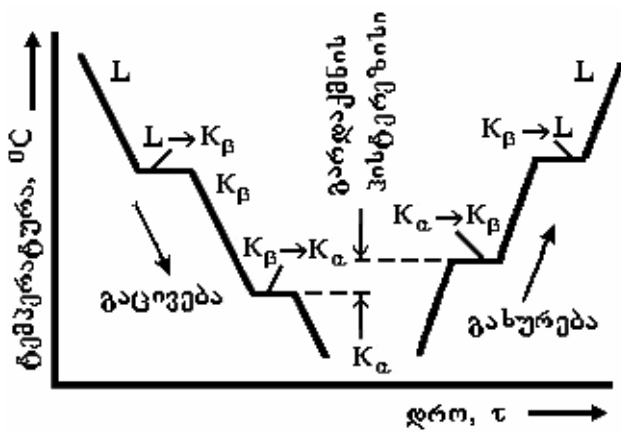
ერთი და იგივე ლითონის სხვადასხვა კრისტალურ ფორმაში არსებობას პოლიმორფიზმი (მრავალფორმიანობა), ანუ ალოტროპიზმი ეწოდება, ხოლო ლითონის კრისტალოგრაფიულ სახესხვაობებს – პოლიმორფული, ანუ ალოტროპიული მოდიფიკაციები. ერთი და იმავე ნივთიერების სახესხვაობანი აღინიშნება α , β , γ , δ ასოებით, რომლებიც ინდექსების სახით ელემენტების აღნიშვნელ ქიმიურ სიმბოლოებს ემატე-

ბა. მაგალითად, Fe α , Ti β და ა.შ.

წნევის მცირე ცვლილება პოლიმორფულ გარდაქმნას არ იწვევს, ამიტომ პრაქტიკული ლითონმცოდნეობისათვის მნიშვნელოვანს ტემპერატურული ალოტროპია წარმოადგენს. რადგან ალოტროპიული გარდაქმნა მყარ მდგომარეობაში მიმდინარეობს, პირველადი გარდაქმნის, კრისტალიზაციისაგან განსხვავებით, მას მეორეულს უწოდებენ.

ამგვარად, ალოტროპიული გარდაქმნა იმაში მდგომარეობს, რომ ლითონის გახურების ან გაცივების დროს ხდება ერთი სახის კრისტალური გისოსის ატომების გადაჯგუფება მეორე სახის გისოსად.

ალოტროპიული გარდაქმნა სუფთა ლითონებში ერთ გარკვეულ, მუდმივ ტემპერატურაზე თბური ეფექტით წარიმართება – გახურებისას ხდება ენერგიის შთანთქმა, ხოლო გაცივებისას – ენერგიის გამოყოფა. ამიტომ სუფთა ლითონის გაცივების მრუდზე პირველი ჰორიზონტალური ბაქნის ქვემოთ, რომელიც თხევადი ლითონის კრისტალიზაციას შეესაბამება, კიდევ იმდენი ბაქანი წარმოიქმნება, რამდენი ალოტროპიული სახესხვაობაც მას გააჩნია. ტემპერატურას, რომელზეც ალოტროპიული



სურ. 2.6. ალოტროპიული გარდაქმნის მქონე ლითონის გაცივებისა და გახურების მრუდები

გარდაქმნა მიმდინარეობს, ალოტროპიული გარდაქმნის ტემპერატურას უწოდებენ.

ალოტროპიული გარდაქმნა შექცევადია, ე.ი. თუ გახურებისას α მოდიფიკაცია β -თი იცვლება, გაცივებისას ხდება პირუკუ გარდაქმნა – β ფაზა კვლავ α -ში გადადის (სურ. 2.6).

ალოტროპიული გარდაქმნა მიმდინარეობს ახალი ფაზის კრისტალიზაციის ცენტრების ჩასახვითა და მათი

ზრდით. პროცესი ემორჩილება იგივე კანონზომიერებებს, რომლებიც პირველადი კრისტალიზაციის შესწავლის დროს განვიხილეთ, მაგრამ ვინაიდან გარდაქმნა მყარ მდგომარეობაში მიმდინარეობს, დიფუზიის სიჩქარე რამდენიმე ხარისხით ნაკლებია სითხესთან შედარებით. ეს თავისებურება გამოხატულებას პოულობს იმაში, რომ პირველად კრისტალიზაციასთან შედარებით ალოტროპიული გარდაქმნის მიმდინარეობისათვის

საჭიროა მნიშვნელოვნად უფრო დიდი გადაცივება, რაც პრაქტიკულად არის დადასტურებული.

ალოტროპიული გარდაქმნა შეიძლება აგრეთვე არადიფუზიური, ე.წ. მარტენსიტული მექანიზმითაც წარიმართოს. ზოგიერთ ლითონში იგი ორივე მექანიზმით რეალიზდება, რასაც ძირითადად გადაცივების პირობები განსაზღვრავს.

თუ ალოტროპიული გარდაქმნის ტემპერატურა იმდენად მაღალია, რომ ლითონს კარგი პლასტიკურობა გააჩნია, მაშინ პროცესი შეიძლება მცირე გადაცივებით, დიფუზიური მექანიზმით წარიმართოს. დაბალ ტემპერატურაზე, როდესაც ატომების გადაჯგუფება დიფუზიით თითქმის შეუძლებელი ხდება, ალოტროპიული გარდაქმნა მარტენსიტული მექანიზმით წარიმართება. აქედან გამომდინარე, გარდაქმნის ასეთი მექანიზმი რეალიზდება ან მაღალტემპერატურული ფაზის დიდი გადაცივების პირობებში, ან ისეთ ლითონებში, რომლებსაც ძალიან დაბალი ალოტროპიული გარდაქმნის ტემპერატურა გააჩნია. მაგალითად, ალოტროპიული გარდაქმნა კობალტში, ($T_0=420^{\circ}\text{C}$) მხოლოდ მარტენსიტული მექანიზმით მიმდინარეობს. რკინაში ($T_0=911^{\circ}\text{C}$), ტიტანში ($T_0=882^{\circ}\text{C}$), ცირკონიუმში ($T_0=862^{\circ}\text{C}$) და სხვა ლითონებში, რომლებსაც T_0 -ის მაღალი მნიშვნელობები გააჩნია, მცირე გადაცივებისას – დიფუზიური, დიდი გადაცივების შემთხვევაში კი – მარტენსიტული მექანიზმით.

მარტენსიტისათვის დამახასიათებელია განსაკუთრებული მიკროსტრუქტურა. მარტენსიტის კრისტალები წარმოადგენს ფირფიტებს, რომლებიც განლაგებულია ურთიერთპარალელურად ან გარკვეული კუთხით (ფოლადებში 60 ან 120° -ით) ერთმანეთის მიმართ. მიკროხეხის სიბრტყეში მათ აქვთ ნემსისებრი ფორმა, ამიტომ მარტენსიტული სტრუქტურის აღწერისათვის სრულიად მისაღებია ტერმინი „ნემსისებრი“. მარტენსიტული სტრუქტურის ასეთი ორიენტაცია განპირობებულია იმით, რომ ნემსები წარმოიქმნება საწყისი ფაზის გარკვეულ კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეებზე ასევე გარკვეული მიმართულებით ატომების კოოპერაციული და კანონზომიერი გადაადგილებით (ძვრით) სივრცეში, ამასთან, არ ხდება ატომების ადგილების ურთიერთშენაცვლება და მათ შორის მანძილის მნიშვნელოვანი შეცვლა. ამდენად, მარტენსიტული გარდაქმნა დამყარებულია ძვრის პროცესზე. მარტენსიტის ყოველი ფირფიტა ცალკეულ კრისტალს, მონოკრისტალს წარმოადგენს.

2.7 სურათზე წარმოდგენილია მარტენსიტული მექანიზმით $\gamma \rightarrow \alpha$ გარდაქმნის შედეგად მარტენსიტის ნემსების რამდენიმე ორიენტირებული სისტემა. ისინი შეესაბამე-



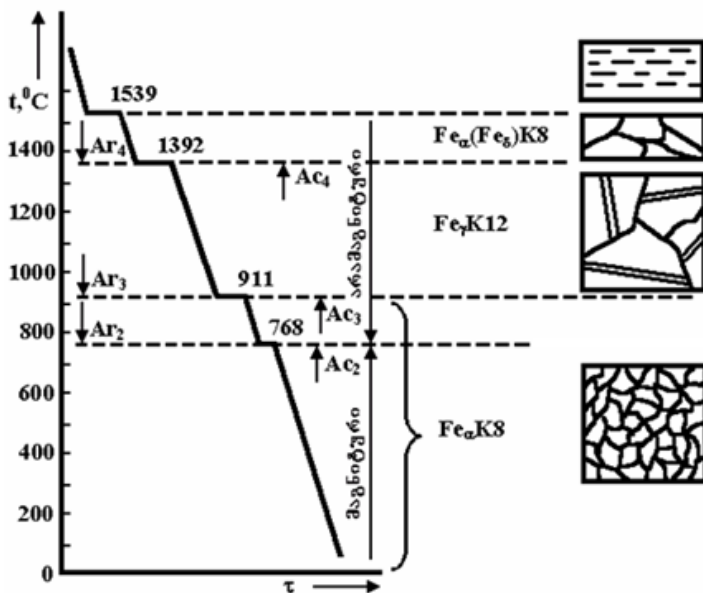
სურ. 2.7. მარტენსიტული სტრუქტურა სუფთა რკინაში

ბა საწყისი, მაღალტემპერატურული γ ფაზის მარცვლებს, რომლებიდანაც მარტენსიტის ნემსები წარმოიქმნა.

რკინის ალოტროპიზმი. ნორმალური წნევის პირობებში რკინა ორ ალოტროპიულ სახესხვაობაში შეიძლება არსებობდეს. 911°C -ის ქვემოთ და 1392°C -ის ზემოთ დნობის ტემპერატურამდე სტაბილურია რკინის α მოდიფიკაცია (Fe_α), რომელსაც სივრცით დაცენტრებული კუბური კრისტალური გისოსი გააჩნია. $911\text{-}1392^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურულ ინტერვალში კი მდგრადია

რკინის γ მოდიფიკაცია წახნაგდაცენტრებული კუბური კრისტალური გისოსით (სურ. 2.8). მაღალტემპერატურულ α რკინას ხშირად Fe_δ -თი აღნიშნავენ.

ჰორიზონტალური ბაქანი, რომელიც 768°C -ზე მიიღება, არ არის დაკავშირებული



სურ. 2.8. რკინის გახურება-გაცივების მრუდი

კრისტალური გისოსის გადაჯგუფებასთან. იგი კიურის წერტილს წარმოადგენს. ამ წერტილის ზემოთ რკინა არამაგნიტურია, ხოლო ქვემოთ – ფერომაგნიტური. ფერომაგნიტური α რკინისაგან განსხვავებით, არამაგნიტურ α რკინას ხშირად Fe_β -თი აღნიშნავენ.

გახურებისას გარდაქმნის კრიტიკული წერტილები Ac -თი აღინიშნება ($\text{Ac}_2, \text{Ac}_3, \text{Ac}_4$), ხოლო გაცივებისას - Ar -ით ($\text{Ar}_2, \text{Ar}_3, \text{Ar}_4$).

ლითონის მექანიკური თვისებები

3.1. ზოგადი მიმოხილვა

გარე ძალების ზემოქმედებით ლითონი იცვლის ფორმას და ზომებს, ანუ დეფორმირდება. მცირე დატვირთვა იწვევს მხოლოდ დრეკად დეფორმაციას. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვანი სტრუქტურული ცვლილებები არ მიმდინარეობს. ძირითადად ხდება ატომების გადაადგილება მცირე, ატომთშორისზე ნაკლები მანძილით, რაც კრისტალური გისოსის დამახინჯებას იწვევს. ეს ცვლილებები კრისტალში შენარჩუნებულია მანამ, სანამ მოქმედებს გარე ძალები. ძალის მოხსნის შემდეგ ატომები უბრუნდება თავის პირვანდელ წონასწორულ მდგომარეობას, გისოსის დამახინჯება იხსნება და ლითონში აღდგება საწყისი ფორმა და ზომები. ლითონის უნარს, წინააღმდეგობა გაუწიოს დრეკად დეფორმაციას, სიხისტე ეწოდება.

მოქმედი ძალა ლითონში აღძრავს ძაბვებს. მაგალითად, ნიმუშის გაჭიმვის შემთხვევაში აღძრული ძაბვა $\sigma = \frac{P}{F}$ მგაა, სადაც P არის მოქმედი ძალა, F – განივი კვეთის ფართობი ძალის მოქმედების უბანში.

თუ ლითონში აღძრული ძაბვა გადააჭარბებს დრეკადობის ზღვარს, გაცილებით უფრო რთული პროცესი იწყება – პლასტიკური დეფორმაცია. პლასტიკური დეფორმაციის დროს კრისტალის ერთი ნაწილი მთლიანად გადაადგილდება (დაიძვრება) მეორის მიმართ. ძალის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ ლითონი აღარ უბრუნდება თავის პირვანდელ მდგომარეობას, ანუ რჩება დეფორმირებულ მდგომარეობაში. მოქმედი გარე ძალების გარკვეულ სიდიდემდე გაზრდის შემდეგ იწყება ლითონის რღვევა.

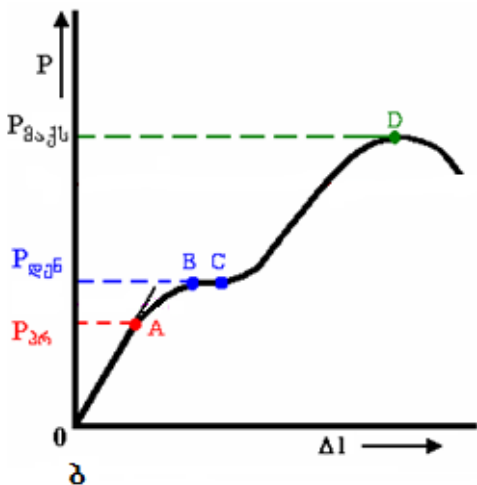
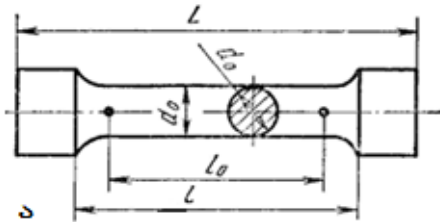
საკონსტრუქციო მასალას მოეთხოვება არა მარტო დეფორმაციისადმი, არამედ რღვევისადმი (ნგრევისადმი) გაზრდილი წინააღმდეგობაც. წინააღმდეგობას დეფორმაციისადმი აერთიანებენ ზოგად ცნებაში „სიმტკიცე“, ხოლო წინააღმდეგობას რღვევისადმი – ცნებაში „საიმედლობა“. თუ ნაკეთობის მთლიანობის რღვევა ხორციელდება არა ერთი, არამედ მრავალგზის დატვირთვის აქტის შემდეგ, საქმე გვაქვს მასალის ხანგამძლეობასთან. ბუნებრივია, მაღალხარისხოვანი საკონსტრუქციო მასალა ერთდროულად უნდა ხასიათდებოდეს როგორც სიმტკიცით, ისე საიმედოობით და ხანგამძლეობით.

ლითონის რღვევა შეიძლება იყოს მყიფე და ბლანტი. მყიფე რღვევა დიდი სიჩქარით ვრცელდება პრაქტიკულად პლასტიკური დეფორმაციის მიმდინარეობის გარეშე, ბლანტი ტეხილი კი ვრცელდება დაბალი სიჩქარით, მაგრამ მნიშვნელოვანი წინასწარი პლასტიკური დეფორმაციის გზით.

3.2. ლითონის მექანიკური თვისებების მახასიათებლები

სიმტკიცე და პლასტიკურობა. ლითონის მექანიკური თვისებების შესწავლა ხორციელდება სპეციალურად დამზადებული ნიმუშის გაჭიმვაზე გამოცდით (სურ. 3.1, ა). გამოცდის წინ განისაზღვრება ნიმუშის საანგარიშო სიგრძე ℓ_0 და საწყისი განივკვეთის ფართი F_0 .

გამოცდის დროს ნიმუშის დატვირთვა თანდათანობით ხდება. გამოცდის შედეგები გამოისახება მრუდით, რომლის ხასიათი პლასტიკური ლითონისათვის 3.1 ბ სურათზეა წარმოდგენილი. გაჭიმვაზე გამოცდისას შემდეგი ძირითადი მახასიათებლები განისაზღვრება:



სურ. 3.1. გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუშის სქემა (ა) და პლასტიკური ლითონის გაჭიმვის მრუდი (ბ)

1. პროპორციულობის ზღვარი $\sigma_{პრ}$. ეს არის მაქსიმალური დაბეჭდვის დიაგრამის დრეკადი დეფორმაციის OA უბანზე, სადაც დაბეჭდვა ფარდობითი წაგრძელების პირდაპირპროპორციულად იცვლება:

$$\sigma_{პრ} = P_{პრ} / F_0, \text{ მგპა;}$$

2. დენადობის ზღვარი $\sigma_{დენ}$. გაჭიმვის დიაგრამაზე მას შეესაბამება პორიზონტალური უბანი BC. იგი არის მაქსიმალური დაბეჭდვა, რომლის დროსაც ნიმუში დეფორმაციას განიცდის დატვირთვის გაუზრდელად:

$$\sigma_{დენ} = P_{დენ} / F_0, \text{ მგპა;}$$

ლითონთა უმრავლესობისათვის გაჭიმვის მრუდზე დენადობის ზღვარი მკაფიოდ არ არის გამოხატული. ასეთ შემთხვევაში მიმართავენ დენადობის პირობითი ზღვრის გამოთვლას. ეს არის დაბეჭდვა, რომლის დროსაც წარმოქმნილი წაგრძე-

ლება ნიმუშის საწყისი სიგრძის 0,2%-ს შეადგენს. იგი აღინიშნება სიმბოლოთი $\sigma_{0,2}$.

3. სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვისას $\sigma_{მკ}$. იგი წარმოადგენს მაქსიმალურ ძაბვას, რომელსაც ლითონი უძლებს რღვევამდე:

$$\sigma_{მკ} = P_{მკ} / F_0, \text{ მგპა;}$$

4. ფარდობითი წაგრძელება δ . იგი არის ნიმუშის სიგრძის ნამატის შეფარდება საწყის სიგრძესთან და გამოისახება პროცენტობით:

$$\delta = (\ell_k - \ell_0) / \ell_0 = (\Delta \ell / \ell_0) \times 100, \%$$

სადაც ℓ_0 არის ნიმუშის საწყისი სიგრძე, ℓ_k - საბოლოო სიგრძე, ხოლო $\Delta \ell_0$ - ნიმუშის სიგრძის ნამატი.

5. ფარდობითი შევიწროება ψ , რომელიც წარმოადგენს განიკვეთის ფართობის მაქსიმალური შემცირების ფარდობას საწყისი განიკვეთის ფართთან:

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100\%,$$

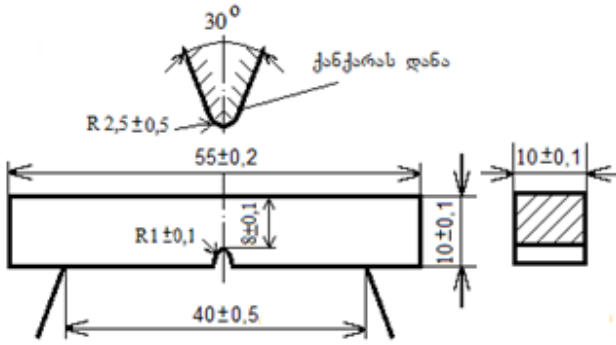
სადაც F_0 არის ნიმუშის საწყისი განიკვეთის ფართი, ხოლო F_k - საბოლოო ფართი ნიმუშის მაქსიმალურად შევიწროების უბანში.

σ_r , $\sigma_{ღენ}$ და $\sigma_{მკ}$ სიმტკიცის მახასიათებლებია, ხოლო δ და ψ - პლასტიკურობის მაჩვენებლები. ამდენად, პლასტიკურობა არის ლითონის უნარი, გარე ძალების ზემოქმედებით შეიცვალოს ფორმა მთლიანობის დაურღვევლად.

დარტყმითი სიბლანტე. ლითონის მექანიკური თვისებების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელია დარტყმითი სიბლანტე a_6 (ნ - ნასერი). იგი განისაზღვრება სპეციალურად მომზადებული ნიმუშის გამოცდით დინამიკური, დარტყმითი დატვირთვის პირობებში (სურ. 3.2). დარტყმითი სიბლანტე გამოითვლება ნიმუშის გადატეხაზე დახარჯული მუშაობის (A) შეფარდებით ნიმუშის განიკვეთის ფართთან (F):

$$a_6 = A/F, \text{ მგჯ/მ}^2$$

საპასუხისმგებლო დეტალების დარტყმითი სიბლანტე მაღალი უნდა იყოს. მაგალითად, საავიაციო ძრავის ლილვისათვის $a_6 = 1-1,1$ მგჯ/მ²; იარაღის ლულისათვის საკმარისია $a_6 = 0,6-0,7$ მგჯ/მ²; საარტილერიო მასალებისათვის, რომლებსაც მაღალი დრეკადობის მახასიათებლები მოეთხოვება, $a_6 = 0,4$ მგჯ/მ²; დეტალებისათვის, რომლებიც დინამიკური დატვირთვის პირობებში მუშაობს, დაუშვებელია დაბალი მნიშვნე-



სურ. 3.2. დარტყმით სიბლანტეზე გამოსაცდელი ნიმუშის სქემა

ლობა ($a \geq 0,15$ მგ $\%$ /მ 2).

სისალე. სიმტკიცის მახასიათებლების შესაფასებლად სარგებლობენ აგრეთვე სისალის განსაზღვრის მეთოდით, რომელიც არ მოითხოვს ნაკეთობის მთლიანობის დარღვევას. სისალეს აღნიშნავენ H სიმბოლოთი.

სისალე არის ლითონის უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს დრეკად ან პლასტიკურ დეფორმაციას მასში გარეშე, უფრო სავალი სხეულის შეჭრის შემთხვევაში. სისალის განსაზღვრის არაერთი მეთოდი არსებობს, რომელთაგან ყველაზე გავრცელებულია:

1. ბრინელის მეთოდი (სურ. 3.3, ა). ამ ხერხით სისალის განსაზღვრის დროს გამოსაცდელ ნიმუშში წინასწარ შერჩეული P ძალით იწნეხება D დიამეტრის ფოლადის ნაწრთობი ბურთულა. ბურთულას დიამეტრი (D=10; 5; 2,5 მმ) შეირჩევა გამოსაცდელი მასალის სისქის ან დიამეტრის მიხედვით. სისალე აღინიშნება სიმბოლოებით HB (B გამოცდის მეთოდის აღმნიშვნელი სიმბოლოა) და გამოითვლება დატვირთვის შეფარდებით ნიმუშზე მიღებული სფერული ანაბეჭდის ზედაპირის ფართობან:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \times 10 \text{ მგპა,}$$

სადაც P არის დატვირთვის სიდიდე, კგ;

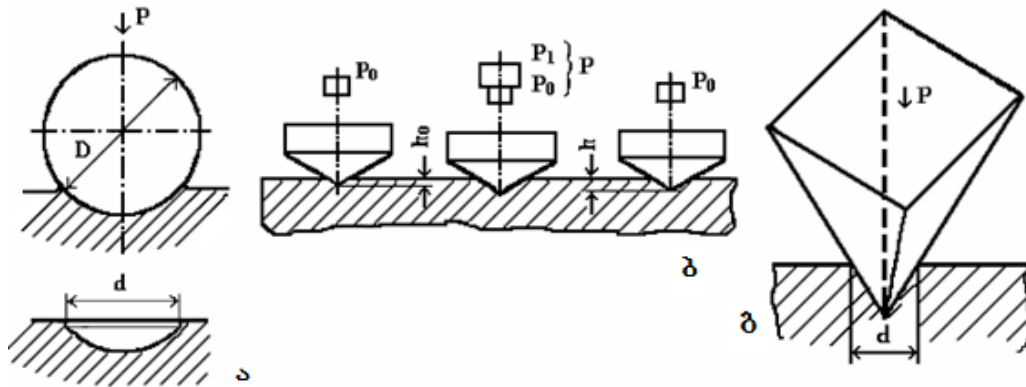
F – ანაბეჭდის ზედაპირის ფართობი, მმ 2 ;

D - ბურთულას დიამეტრი, მმ;

d - ანაბეჭდის დიამეტრი, მმ.

სისალის მნიშვნელობის აღება შესაძლებელია უშუალოდ სათანადო ცხრილებიდან. თუ მაგალითად, გაზომვის შედეგად მიღებულია რიცხვი 350, სისალის მნიშვნელობა შემდეგნაირად ჩაიწერება: HB 350.

2. როკველის მეთოდი (სურ. 3.3, ბ). როკველის ხერხით სისალის გამოცდის დროს ინდენტორად გამოიყენება ალმასის კონუსი ან ფოლადის ნაწრთობი ბურთულა. ალმასის კონუსის წვეროსთან მდებარე კუთხე შეადგენს 120 $^{\circ}$, ხოლო ბურთულას დია-



სურ. 3.3. სისხლის განსაზღვრის სქემა:
 ა - ბრინელის ხერხით; ბ - როკველის ხერხით; გ - ვიკერსის ხერხით

მეტრი – 1,588 მმ. სისხლის მნიშვნელობად მიღებულია ჩაწნეხის სიღრმის (h_0) შებრუნებული სიდიდე. ანათვალი უშუალოდ ხელსაწყოს სკალიდან აიღება. ხელსაწყოს აქვს სამი სკალა – C, A და B. აღმასის კონუსით გამოცდისას, როდესაც დატვირთვა შეადგენს 150 კგ (როკველის მეთოდით სისხლის გამოცდისას დატვირთვა ყველა შემთხვევაში სტანდარტულია), ანათვალი C სკალიდან აიღება და აღინიშნება სიმბოლოებით HRC (მაგალითად, 50 HRC). ანალოგიურად, როდესაც დატვირთვის სიდიდე შეადგენს 60 კგ, სისხლე აღინიშნება HRA-თი.

ბურთულით გამოცდისას დატვირთვის სიდიდეა 100 კგ, სისხლე აიღება B სკალიდან და ჩაიწერება სიმბოლოებით HRB.

3. ვიკერსის მეთოდი (სურ. 3.3, გ). ამ ხერხით სისხლის განსაზღვრისას გამოსაცდელ ნიმუშში იწნეხება აღმასის პირამიდა და იზომება ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე d . სისხლე HV გამოითვლება ფორმულით:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2},$$

სადაც P არის დატვირთვის სიდიდე, კგ;

d - ანაბეჭდის დიაგონალის სიგრძე, მმ.

დატვირთვის სიდიდე უმეტეს შემთხვევაში შეირჩევა ექსპერიმენტულად. სისხლის მნიშვნელობის აღება შესაძლებელია სათანადო ცხრილებიდანაც.

HB და HRB სისხლის განსაზღვრის მეთოდები გამოიყენება რბილი მასალები-სათვის, HRC – სალი ლითონებისათვის, ხოლო HRA და HV – ძირითადად თხელი ფურცლებისა და ფენებისათვის.

არსებობს შესაბამისი ცხრილები, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ერ-

თი მეთოდით გაზომილი სისაღის მნიშვნელობის გადაყვანა მეორეში, მათ შორის ბრინელის ერთეულებში.

სისაღე ბრინელის ერთეულებში დაახლოებით სამჯერ აღემატება იგივე მასალის სიმტკიცის ზღვარს გაჭიმვაზე. ასე მაგალითად, თუ სისაღის მნიშვნელობაა HB300, ამ მასალის სიმტკიცე დაახლოებით 1000 მგპა-ს შეადგენს. ასეთი გამოთვლა საორიენტაციო, მიახლოებითია და მიუღებელია მყიფე მასალებისათვის.

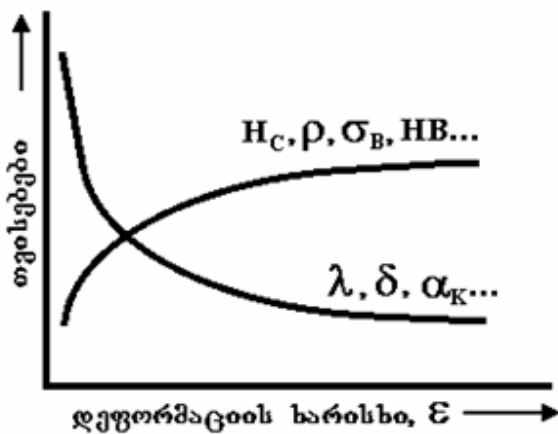
3.3. ცივჭედვა და რეპრისტალიზაცია

სტრუქტურული ცვლილებები ცივად დეფორმაციის დროს. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, პლასტიკური დეფორმაცია ხორციელდება გარე ძალების მოქმედების პირობებში. როგორც გამომდინარეობს 3.1. სურათზე წარმოდგენილი მრუდის ხასიათიდან, უკვე დეფორმირებული ლითონის შემდგომი დეფორმაციისათვის საჭიროა მოქმედი ძალის სულ უფრო მეტად გაზრდა (მრუდის CD უბანი აღმავალია). რაც უფრო მეტია დეფორმაციის ხარისხი, მით უფრო ძნელია მისი შემდგომი დეფორმაცია. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ცივად პლასტიკური დეფორმაციის დროს ლითონი მტკიცდება და ამ მოვლენას ცივჭედვა ეწოდება.

ცივჭედვის ეფექტი განპირობებულია დეფორმაციის პროცესში კრისტალური აგებულების დეფექტების (დისლოკაცია, ვაკანსია, კვანძებსშორისი ატომი) რაოდენობის

ზრდით. ერთდროულად მარცვალში მიმდინარეობს ბლოკების მსხვრევა და კრისტალური გისოსის დამახინჯება. ყოველივე ეს მნიშვნელოვნად აძნელებს დისლოკაციების გადაადგილებას, ანუ იზრდება ლითონის სიმტკიცე, პლასტიკურობა კი კლებულობს. (სურ. 3.4).

აღსანიშნავია, რომ ლითონის ფორმის ცვლილება წნევით დამუშავების დროს მიმდინარეობს ყოველი მარცვლის პლასტიკური დეფორმაციის ხარჯზე. თავდაპირველად ნებისმიერად ორიენცირებული



სურ. 3.4. ლითონის თვისებების ცვლილების ხასიათი ცივჭედვის ხარისხზე დამოკიდებულებით

მარცვლები მაქსიმალური სიმტკიცის ღერძებით შემობრუნებას იწყებს და ლითონის დინების მიმართულებით განლაგდება. შემდგომში აქამდე დაახლოებით ტოლდერძა მარცვლები წაგრძელებას იწყებს დეფორმაციის მიმართულებით და სტრუქტურა ბოჭკოვან აგებულებას ღებულობს (სურ. 3.5). მარცვლების კანონზომიერ ორიენტაციას გარედან მიყენებული დეფორმირებადი ძალის მიმართ დეფორმაციის ტექსტურას უწოდებენ.

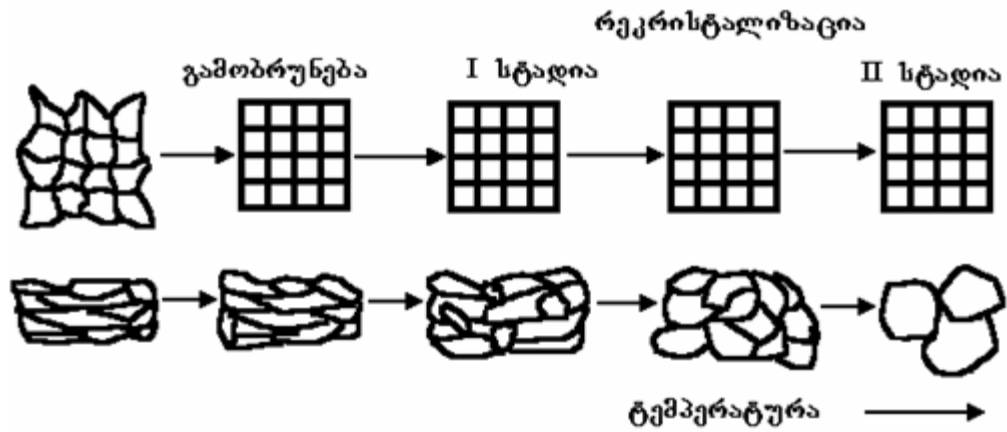


სურ. 3.5. პოლიკრისტალის დეფორმაციის სქემა

გახურების გავლენა ცივნაჭედი ლითონის სტრუქტურასა და თვისებებზე. პლასტიკურ დეფორმაციას ლითონი სტრუქტურულად არაწონასწორულ მდგომარეობაში გადაჰყავს. ლითონში თავისთავად უნდა მიმდინარეობდეს პროცესები, რომლებიც მას შედარებით მდგრად მდგომარეობაში დააბრუნებს. ტემპერატურის გაზრდა აჩქარებს პროცესის მიმდინარეობას.

შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე ($0,2-0,3 T_{დნ}$, სადაც $T_{დნ}$ არის ლითონის დნობის აბსოლუტური ტემპერატურა) გარდაქმნები მხოლოდ მარცვლებისა და კრისტალური გისოსის შიგნით მიმდინარეობს. მცირდება დისლოკაციის სიმკვრივე, შიგა დაძაბულობა და ვაკანსიების რიცხვი, ირწყმება მოზაიკის ბლოკები და აღდგება კრისტალური გისოსის ფორმა (სურ. 3.6). ამ მოვლენას გამობრუნება ეწოდება. გამობრუნების შედეგად ლითონის სისაღე და სიმტკიცე 20-30%-ით მცირდება, ხოლო პლასტიკურობა – მატულობს.

ტემპერატურის შემდგომი აწევით იზრდება ატომების ძვრადობის უნარი, რაც განაპირობებს ცვლილებების მიმდინარეობას მიკროსტრუქტურაში. დამახინჯებული, არაწონასწორული მარცვლის საზღვრებში ჩაისახება და იზრდება ახალი, წონასწორული მარცვლები ძველის მოსპობის ხარჯზე. ახალი, პოლიედრული წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის წარმოქმნას დეფორმირებული ლითონის ბოჭკოვანი, ტექსტური-



სურ. 3.6. ცივნაჭედი ლითონის სტრუქტურის ცვლილების სქემა გახურების დროს

რებული სტრუქტურის ნაცვლად, პირველადი რეკრისტალიზაცია (I სტადია) ეწოდება.

ლითონის რეკრისტალიზაციასა და დნობის ტემპერატურას შორის მარტივი დამოკიდებულება არსებობს:

$$T_{რეკრ} \approx a T_{დნ}$$

სადაც $T_{რეკრ}$ არის რეკრისტალიზაციის აბსოლუტური ტემპერატურა;

$T_{დნ}$ – ლითონის დნობის აბსოლუტური ტემპერატურა.

a კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე ლითონის სისუფთავეზეა დამოკიდებული. სუფთა ლითონებისათვის $a = 0,1-0,2$; ჩვეულებრივი ტექნიკური სისუფთავის ლითონებისათვის $a = 0,3-0,4$. შენადნობებში რეკრისტალიზაცია უფრო მაღალ ტემპერატურაზე მიმდინარეობს და ზოგიერთ შემთხვევაში იგი $0,8 T_{დნ}$ აღწევს.

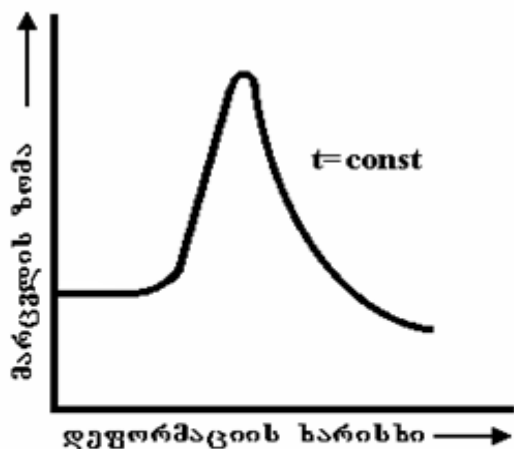
პირველადი რეკრისტალიზაციის შედეგად ცივნაჭედის მოვლენა მთლიანად იხსნება. შესაბამისად იცვლება ლითონის თვისებებიც: სისალე და სიმტკიცე მცირდება, ხოლო პლასტიკურობა და სიბლანტე მატულობს იმ მნიშვნელობამდე, რომელიც ლითონს ცივნაჭედამდე ჰქონდა.

ტემპერატურის შემდგომი გაზრდა განაპირობებს რეკრისტალიზაციის II სტადიის დაწყებას, რომელსაც შემკრებ რეკრისტალიზაციას უწოდებენ. მისი არსი იმაში მდგომარეობს, რომ მიმდინარეობს რეკრისტალიზებული მარცვლების გამსხვილება შედარებით წვრილი მარცვლების შთანთქმის ხარჯზე (სურ. 3.6).

მარცვლის ზომას რეკრისტალიზაციის დროს განსაზღვრავს როგორც რეკრისტალიზაციის ტემპერატურა, ისე ლითონის წინასწარი დეფორმაციის ხარისხი. ტემპე-

რატურის ზრდასთან ერთად მარცვლის სიდიდე განუხრელად იზრდება. რაც შეეხება წინასწარი დეფორმაციის ხარისხს, აქ მდგომარეობა განსაკუთრებულია. თუ წინასწარი დეფორმაციის ხარისხი მცირეა (3-5%) ან აღემატება 10%, მარცვლის ზრდის საშიშროება რეკრისტალიზაციის ოპტიმალურ ტემპერატურაზე არ არსებობს – პროცესის დამთავრების შემდეგ ყალიბდება საკმაოდ წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურა (სურ. 3.7), რაც თვისებათა კარგ კომპლექსს უზრუნველყოფს (მაღალი სისაღისა და სიმტკიცის მაჩვენებლების შეხამებას დამაკმაყოფილებელ პლასტიკურობასა და დარტყმით სიბლანტესთან).

თუ წინასწარი დეფორმაციის ხარისხი 5-10%-ის ზღვრებში მერყეობს, რეკრისტალიზაციის II სტადიაში მოსალოდნელია მარცვლის ზომის ინტენსიური ზრდა, რაც პრინციპულად არასასურველი მოვლენაა, რადგან მნიშვნელოვნად უარესდება თვისებათა კონპლექსი სიმყიფის მახასიათებლების გაზრდის ხარჯზე.



სურ. 3.7. მარცვლის ზომის დამოკიდებულება წინასწარი დეფორმაციის ხარისხზე

რეკრისტალიზაციის მოვლენას გააჩნია დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობაც. იგი წარმოადგენს საშუალებას ცივნატედი ლითონის პლასტიკურობის აღსადგენად. მაგალითად, თუ მასალა გამოტვიშულია დეფორმაციის ზღვრულ მნიშვნელობამდე, მაგრამ სასურველი განივი კვეთი ჯერ კიდევ არ არის მიღწეული და საჭიროებს შემდგომ დეფორმაციას, პლასტიკურობის აღსადგენად აუცილებელია სარეკრისტალიზაციო მოწვის ჩატარება.

დეფორმაციის ხარისხს, რომელიც რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ზემოთ გახურებისას მარცვლების ინტენსიური სიჩქარით ზრდას განაპირობებს, დეფორმაციის კრიტიკული ხარისხი ეწოდება.

შენადნობთა აბეზულება

შენადნობი ეწოდება ორი ან მეტი ელემენტის შედნობით მიღებულ ნივთიერებას. ტრადიციულად, შენადნობებს ღებულობენ თხევად მდგომარეობაში ფუძე ლითონთან სხვადასხვა ნივთიერების შედნობით. არსებობს შენადნობების მიღების სხვა ხერხებიც, როგორცაა, მაგალითად: კომპონენტების შეცხობა, დიფუზური გაჯერება, ელექტროლიზი, პლაზმური დაფრქვევა, ვაკუუმში ორთქლის ფაზიდან კომპონენტების კონდენსაცია. ამ ხერხებით მიღებულ შენადნობებს ფსევდო შენადნობებს უწოდებენ.

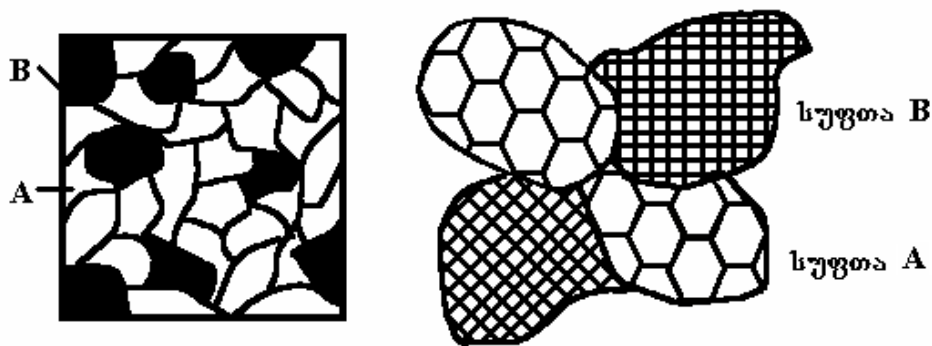
თუ შენადნობი უპირატესად ლითონური ელემენტებისგან არის დამზადებული და ლითონური თვისებები ახასიათებს, მას ლითონურ შენადნობს უწოდებენ. ლითონური შენადნობების აგებულება უფრო რთულია სუფთა ლითონებთან შედარებით და უმთავრესად დამოკიდებულია იმაზე, თუ რა ურთიერთობა მყარდება შენადნობის შემაღენელ კომპონენტებს შორის მყარ მდგომარეობაში.

თხევად მდგომარეობაში ყველა ელემენტი ერთმანეთში განუსაზღვრელად იხსნება (გამონაკლისს წარმოადგენს ზოგიერთი წყვილი, მაგალითად, რკინა და ტყვია, რკინა და ბისმუტი და ა.შ). მყარ მდგომარეობაში წარმოიქმნება მიკრომექანიკური ნარევი, ქიმიური ნაერთი ან მყარი ხსნარი.

4.1. მიკრომექანიკური ნარევი

მიკრომექანიკური ნარევი მიიღება იმ შემთხვევაში, როდესაც მდგენელი კომპონენტები A და B თხევად მდგომარეობაში განუსაზღვრელად იხსნება ერთმანეთში, მყარ მდგომარეობაში კი ერთმანეთში უხსნადია და არც ქიმიურ ნაერთს წარმოქმნიან. ასეთ შემთხვევაში გამყარების დროს ცალკე იზრდება A კომპონენტის მარცვლები და ცალკე B კომპონენტისა. შედეგად ჩამოყალიბდება მათი მიკრომექანიკური ნარევი, რაც მიკროსკოპში საკმაოდ მკვეთრად მჟღავნდება (სურ. 4.1).

მაშასადამე, მიკრომექანიკური ნარევი ორფაზა შენადნობს მიეკუთვნება. ცალკე A და ცალკე B მარცვლების თვისებები სუფთა A და სუფთა B კომპონენტების იდენტურია.



სურ. 4.1. მიკროემქანიკური ნარევის მიკროსტრუქტურის სქემა

მიკროემქანიკური ნარევის თვისებები დამოკიდებულია როგორც მარცვლების ფორმასა და ზომებზე, ისე კომპონენტების რაოდენობრივ ურთიერთშეფარდებაზე და უკავია შუალედური მდგომარეობა საუფთა A და საუფთა B კომპონენტებს შორის.

4.2. ქიმიური ნაერთი

თუ შენადნობის შემადგენელი კომპონენტები რაღაც კონცენტრაციაზე ქიმიურ ნაერთს წარმოქმნის, მაშინ კრისტალიზაციის პროცესში ჩამოყალიბდება როგორც A, ისე B კომპონენტებისაგან განსხვავებული, სპეციფიკური კრისტალური გისოსი, რომელიც ერთდროულად ორივე ელემენტის ატომებს შეიცავს. ატომები კრისტალურ გისოსში მოწესრიგებულად არის განლაგებული. ელემენტარულ უჯრედზე მოსული ატომების რიცხვის ურთიერთშეფარდება შეესაბამება სტექიომეტრიულ პროპორციას და შეიძლება გამოისახოს მარტივი ქიმიური ფორმულით A_nB_m .

ქიმიური ნაერთი ხასიათდება დნობის ან დისოციაციის გარკვეული, მუდმივი ტემპერატურით და შემადგენელი ელემენტებისაგან მკვეთრად განსხვავებული, ე.წ. სინგულარული თვისებებით. შედგენილობიდან მცირეოდენი გადახრა იწვევს თვისებების ნახტომისებრ ცვლილებას. ამგვარად, ქიმიური ნაერთი ერთფაზა შენადნობს წარმოადგენს. მისი სტრუქტურა შედგენილია ერთგვაროვანი ქიმიური ნაერთის კრისტალებისაგან.

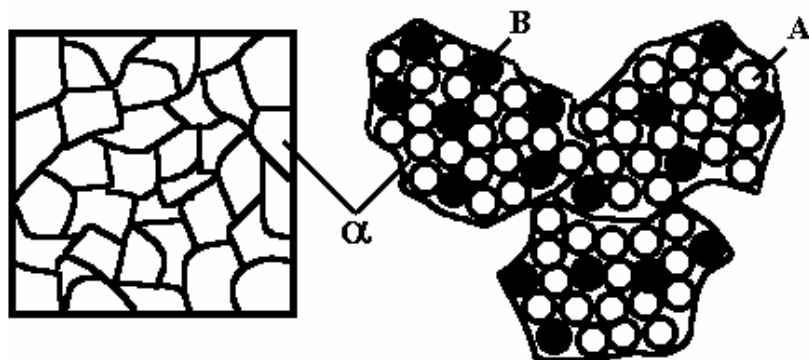
თუ ქიმიური ნაერთი მხოლოდ ლითონურ ელემენტებს შორის წარმოიქმნება, მაშინ გისოსის კვანძებში დადებითად დამუხტული იონები განლაგდება, რომელთა შორის კავშირი ელექტრონული აირით ხორციელდება. ასეთი კავშირი არ არის ხისტი, რის გამოც გარკვეულ პირობებში რომელიმე ელემენტის რაოდენობა სტექიომეტ-

რიულ პროპორციასთან შედარებით შეიძლება მეტი ან ნაკლები აღმოჩნდეს. მაშასადამე, ლითონებისგან წარმოქმნილი ქიმიური ნაერთი უმრავლეს შემთხვევაში ვალენტობის კანონს არ ემორჩილება.

4.3. მყარი ხსნარი ერთ-ერთი კომპონენტის ფუძეზე

ლითონური შენადნობების უმრავლესობა, რომლებიც ტექნიკაში გამოიყენება, თხევად მდგომარეობაში წარმოადგენს ერთგვაროვან ხსნარს. მყარ მდგომარეობაში გადასვლისას მრავალ მათგანში ხსნადობა შენარჩუნებულია. ასეთი შენადნობის კრისტალიზაციის შედეგად მიღებულ ფაზას მყარი ხსნარი ეწოდება.

მყარი ხსნარი ერთფაზა შენადნობია, რომლის სტრუქტურა ერთგვაროვანი მარცვლებისგან არის შედგენილი (სურ. 4.2). მისი წარმოქმნისას ჩამოყალიბდება ერთ-ერთი შემადგენელი კომპონენტის კრისტალური გისოსი, რომელშიც ადგილს იკავებს მეორე კომპონენტის ატომებიც. იმ ელემენტს, რომლის კრისტალური გისოსიც შენარ-



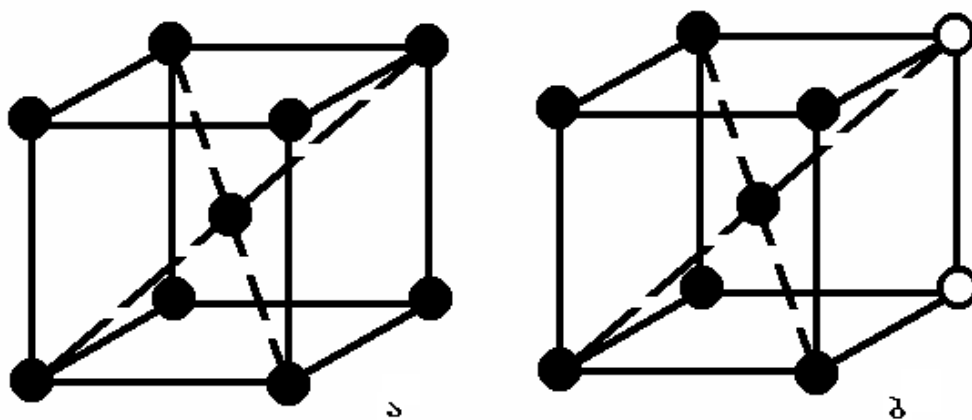
სურ. 4.2. მყარი ხსნარის მიკროსტრუქტურის სქემა

ჩუნებულია, გამხსნელი ეწოდება, ხოლო მეორეს – გახსნილი. ატომთა განლაგება მყარი ხსნარის კრისტალურ გისოსში არაკანონზომიერია, ატომთა თანაფარდობა – ცვალებადი და დამოკიდებულია შენადნობის კონცენტრაციაზე. ამგვარად, მყარი ხსნარი წარ-

მოადგენს სტრუქტურას, რომლის კომპონენტები საერთო კრისტალურ გისოსს წარმოქმნის.

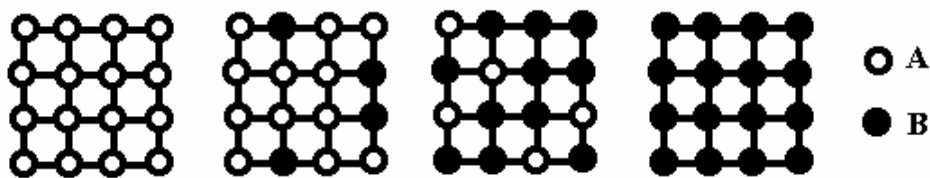
იმისდა მიხედვით, თუ როგორ არის განლაგებული გახსნილი ელემენტის ატომები გამხსნელის კრისტალურ გისოსში, მყარი ხსნარი ძირითადად ორგვარია: ჩანაცვლებისა და ჩანერგვის.

ჩანაცვლების მყარი ხსნარი წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, როდესაც გამხსნელის გისოსში ზოგიერთი ატომი (შენადნობის კონცენტრაციის შესაბამისად) შეცვლილია გახსნილი ელემენტის ატომებით (სურ. 4.3).



სურ. 4.3. სუფთა ლითონის (ა) და ჩანაცვლების მყარი ხსნარის (ბ) კრისტალური გისოსის სქემა

ჩანაცვლების მყარი ხსნარი, თავის მხრივ, შეიძლება იყოს განუსაზღვრელი და განსაზღვრული ხსნადობის. განუსაზღვრელი ხსნადობის შემთხვევაში გამხსნელის ატომების ნებისმიერი რაოდენობა შეიძლება შეიცვალოს გახსნილი ელემენტის ატომებით. აქედან გამომდინარე, B ელემენტის კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად გამხსნელის სულ უფრო მეტი რაოდენობის ატომები შეიცვლება B კომპონენტის ატომებით, თით-

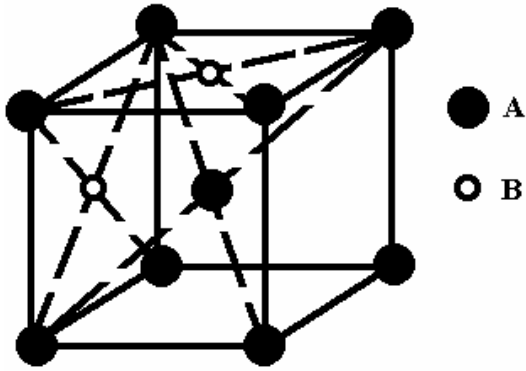


სურ. 4.4. განუსაზღვრელი მყარი ხსნარების კრისტალური გისოსის სქემები

ქოსდა ხორციელდება A ლითონიდან B-ში მდოვრე გადასვლა (სურ. 4.4).

განუსაზღვრელი მყარი ხსნარების წარმოქმნის ერთ-ერთი უმთავრესი პირობაა კომპონენტების კრისტალური გისოსების მსგავსება და ატომის ზომებს შორის მინიმალური განსხვავება. თუ ეს პირობები არ არის დაკმაყოფილებული, ხდება კრისტალური გისოსის მნიშვნელოვანი დამახინჯება და სისტემა ხსნადობის ზღვარს აღწევს.

დადგენილია, რომ რკინაში განუსაზღვრელი რიგის მყარი ხსნარები წარმოიქმნება იმ შემთხვევაში, როდესაც ატომის ზომებს შორის სხვაობა არ აღემატება 8%, სპილენძის შემთხვევაში – 10-11%, ხოლო ადვილდნობადი ელემენტები განუსაზღვრელად იხსნება ერთმანეთში რადიუსის ზომებს შორის 17%-მდე სხვაობის დროსაც კი. უმრავ-



სურ. 4.5. ჩანერგვის მყარი ხსნარის კრისტალური გისოსის სქემა

ღეს შემთხვევაში ტემპერატურის შემცირებით მყარ ხსნარებში ხსნადობის ზღვარი მცირდება.

ჩანერგვის მყარი ხსნარის წარმოქმნის დროს გახსნილი ელემენტის ატომები ჩაინერგება გამსხნელის კრისტალური გისოსის თავისუფალ ადგილებში (სურ. 4.5). უმრავლეს შემთხვევაში გახსნილი ატომი თავისი ზომით აღემატება იმ სიცარიელის ზომებს, სადაც იგი უნდა მოთავსდეს. ამიტომ ხსნარის კრისტალური გისოსის

მოცულობითი დამახინჯება ყოველთვის გისოსის პერიოდის გაზრდისკენაა მიმართული. ამავე მიზეზით ჩანერგვის მყარი ხსნარი მხოლოდ განსაზღვრულია.

ჩანერგვის მყარ ხსნარებს იძლევა, მაგალითად, I და II პერიოდების ელემენტები მცირე ატომური რადიუსით (წყალბადი – $0,46\text{\AA}$, აზოტი – $0,71\text{\AA}$ და ნახშირბადი – $0,77\text{\AA}$) გარდამავალი ჯგუფის ლითონებთან – რკინასთან, ქრომთან, ნიკელთან, მანგანუმთან.

4.4. მყარი ხსნარი ქიმიური ნაერთის ფუძეზე

მყარი ხსნარის წარმოქმნისადმი მიდრეკილება გააჩნია არა მარტო სუფთა ლითონებს, არამედ ქიმიურ ნაერთებსაც. ამ შემთხვევაში შენარჩუნებულია A_nB_m ქიმიური ნაერთის კრისტალური გისოსი, მაგრამ ერთ-ერთი, მაგალითად, B კომპონენტის ატომები კრისტალურ გისოსში ცვლის A კომპონენტის ატომების გარკვეულ რაოდენობას. შესაძლებელია, აგრეთვე, მოხდეს მესამე, C ელემენტის გახსნა, რომლის ატომები ქიმიური ნაერთის კრისტალურ გისოსში შეცვლის ან A, ან B კომპონენტის ატომებს. მაგალითად, რკინის ბორიდში (Fe_4B_2) შეიძლება გაიხსნას ქრომი და ნახშირბადი. ამასთან, ქრომი ცვლის რკინის ატომებს, ხოლო ნახშირბადი – ბორისას. შეფარდება $(Fe+Cr)/(B+C)=4/2$ შენარჩუნებულია და იგი შეიძლება გამოისახოს ქიმიური ფორმულით $(Fe,Cr)_4(B,C)_2$.

ქიმიური ნაერთის ფუძეზე მყარი ხსნარი მიიღება იმ შემთხვევაშიც, თუ კრისტალური გისოსის გარკვეული კვანძები არ იქნება სრულად დაკავებული შესაბამისი ლითონის ატომებით. მაგალითად, CoAl ქიმიურ ნაერთში გამოკრისტალების შემდეგ

შეიძლება აღმოჩნდეს ალუმინის ატომების ჭარბი რაოდენობა სტექიომეტრიულ პროპორციასთან შედარებით $\text{Co:Al}=1:1$. ალუმინის ატომების სიჭარბე იმით არის განპირობებული, რომ კრისტალური გისოსის კვანძები, რომლებიც კობალტის ატომებით უნდა იყოს დაკავებული, არ არის სრულად შევსებული, რის გამოც გისოსში ხვრელები, ანუ სიცარიელები მიიღება. მაგალითად, კარბიდების გისოსში (TiC , NbC , ZrC და VC) ნაწილობრივ თავისუფალი რჩება გისოსის ის კვანძები, რომლებიც ნახშირბადს ეკუთვნის.

არსებობს ისეთი ნაერთებიც, რომლებიც კრისტალდება მხოლოდ მყარი ხსნარის სახით. მაგალითად, CuAl_2 ქიმიური ნაერთის ზუტი შედგენილობა შეესაბამება $54,1\% \text{Cu}$ (მასის მიხედვით). სინამდვილეში ეს ნაერთი არსებობს მხოლოდ $53,25$ -დან $53,9\%$ -მდე სპილენძის შემცველობის შემთხვევაში, ანუ როდესაც სპილენძის ატომების ნაწილი შეცვლილია ალუმინის ატომებით. წინააღმდეგ შემთხვევაში CuAl_2 ნაერთის კრისტალური გისოსი ვერ ჩამოყალიბდება.

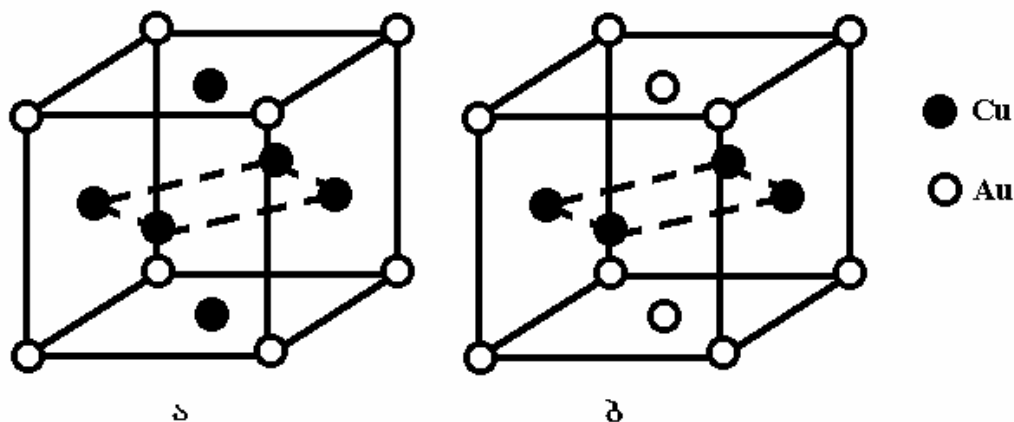
მყარი ხსნარები პირობით აღინიშნება ბერძნული ასოებით α , β , γ და ა.შ., ან სიმბოლოთი $A(B)$, სადაც A გამხსნელია, B კი გახსნილი ელემენტი.

4.5. მყარი ხსნარის მოწესრიგება

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ჩვეულებრივ მყარ ხსნარებში გახსნილი ელემენტის ატომები გამხსნელის კრისტალურ გისოსში მოუწესრიგებლად არის განლაგებული. ზოგიერთი სისტემის მყარ ხსნარებში, მაგალითად, Cu-Au , Fe-Al , Fe-Ni , Fe-Si , Ni-Mn შემჩნეულია, რომ მაღალი ტემპერატურიდან გაცივების პროცესში, გარკვეულ ტემპერატურაზე, მიმდინარეობს ატომთა დიფუზური გადაადგილება, რა დროსაც გამხსნელისა და გახსნილი ელემენტების ატომები კრისტალურ გისოსში გარკვეულ კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეებზე მოწესრიგებულად განლაგდება. ამ პროცესს მყარი ხსნარის მოწესრიგებას უწოდებენ, ხოლო მყარ ხსნარს ატომების მოწესრიგებული განლაგებით კრისტალურ გისოსში – მოწესრიგებულ მყარ ხსნარს. ტემპერატურას, რომელზეც მიმდინარეობს მოწესრიგების პროცესი, კურნაკოვის წერტილი ეწოდება.

მაგალითის სახით განვიხილოთ სპილენძისა და ოქროს შენადნობი, რომელშიც კომპონენტები მყარ მდგომარეობაში განუსაზღვრელი ხსნადობით ხასიათდება. ნელი გაცივების პირობებში მოუწესრიგებლად განლაგებული ოქროს ატომები წახნაგდა-

ცენტრებული კუბის წვეროებში იკავებს ადგილს, ხოლო სპილენძის ატომები – წახნაგების ცენტრში. ატომების ურთიერთშეფარდება $Cu:Au=3:1$ და ფაზა შეიძლება გამოისახოს ქიმიური ფორმულით Cu_3Au (სურ. 4.6, ა). თუ ორ წახნაგსაც ოქროს ატომები დაიკავებს, მაშინ სპილენძის ერთ ატომზე მოვა ოქროს ერთი ატომი და მათი ურთიერთშეფარდება დააკმაყოფილებს ფორმულას $CuAu$ (ბ).



სურ. 4.6. Cu-Au სისტემის მოწესრიგებული მყარი ხსნარების კრისტალური გისოსის სქემები

მოწესრიგების პროცესში კრისტალური გისოსის ტიპი უცვლელი რჩება, მაგრამ იცვლება მისი პერიოდები. ზოგიერთ შემთხვევაში ხდება გისოსის უმნიშვნელო დამახინჯება. მაგალითად, Cu-Au სისტემის მოწესრიგებულ მყარ ხსნარს გააჩნია კუბური წახნაგდაცენტრებული კრისტალური გისოსი, მოწესრიგების შედეგად კი იგი წახნაგდაცენტრებულ ტეტრაგონურ გისოსში გადადის პერიოდების შეფარდებით $c/a = 0,935$. ყველა მოწესრიგებულ მყარ ხსნარს განიხილავენ, როგორც ზესტრუქტურას.

მოწესრიგებული მყარი ხსნარი თითქმის საშუალო, გარდამავალ ადგილს იკავებს მყარ ხსნარსა და ქიმიურ ნაერთს შორის. მსგავსად ტიპური მყარი ხსნარისა, მას ახასიათებს გამხსნელის კრისტალური გისოსი, რომელშიც ატომებს, ქიმიური ნაერთის ანალოგიურად, სრულიად განსაზღვრული ადგილები უკავია, მათი თანაფარდობა მუდმივია და შეიძლება გამოისახოს ქიმიური ფორმულით. ამასთან, მოწესრიგების შემდეგ მკვეთრად იცვლება შენაღობის თვისებები, რაც ქიმიური ნაერთისთვის არის დამახასიათებელი.

რკინა-ნახშირბადის შენადნობები

ტექნიკაში ყველაზე ფართო გამოყენება რკინისა და ნახშირბადის შენადნობებმა – ფოლადმა და თუჯმა ჰპოვა. ფოლადი და თუჯი, გარდა რკინისა და ნახშირბადისა, შეიცავს მთელ რიგ სხვა მინარევებსაც, რომელთაგან ძირითადია Si, Mn, P და S. ეს მინარევები გარკვეულ გავლენას ახდენს ფოლადებისა და თუჯების თვისებებზე. მიუხედავად ამისა, თეორიულად ფოლადი და თუჯი მიჩნეულია ორკომპონენტიან რკინა-ნახშირბადის შენადნობებად, ხოლო დამატებითი ელემენტების გავლენას ცალკე განიხილავენ. ამდენად, რკინა-ნახშირბადის შენადნობებში მიმდინარე წონასწორულ გარდაქმნებს და მათ საბოლოო სტრუქტურას რკინა-ნახშირბადის მდგომარეობის დიაგრამის მიხედვით აღწერენ.

5.1. რკინა-ნახშირბადის შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა

ძირითადი კომპონენტების დახასიათება. რკინა-ნახშირბადის საწარმოო შენადნობები ქიმიურად რთულ მრავალკომპონენტიან სისტემებს მიეკუთვნება, თუმცა ძირითად ელემენტებს, რომლებიც შენადნობების სტრუქტურასა და თვისებებს განსაზღვრავს, რკინა და ნახშირბადი წარმოადგენს.

რკინის დნობის ტემპერატურაა 1539°C, სიმკვრივე - 7,684 გ/სმ³. ხასიათდება დაბალი სისაღითა და სიმტკიცით (HB80, $\sigma_{0.2}$ =250-300 მგპა) და მაღალი პლასტიკურობითა და სიბლანტით (δ =50%, ψ =85%, a_{600} =3 მგჯ/მ²).

რკინის ალოტროპიზმი ზემოთ იყო განხილული.

ნახშირბადის ხსნადობის ზღვარი არსებითად არის დამოკიდებული რკინის კრისტალურ ფორმაზე. α მოდიფიკაციაში ნახშირბადი უმნიშვნელოდ იხსნება (0,02%-მდე), ხოლო γ მოდიფიკაციაში ხსნადობის ზღვარი ასჯერ მეტია (2,14%-მდე).

ნახშირბადისა და სხვა ელემენტების მყარ ხსნარებს γ რკინაში აუსტენიტს უწოდებენ, ხოლო – α რკინაში ფერიტს.

ნახშირბადის ორი მოდიფიკაციაა ცნობილი – გრაფიტი და ალმასი. გრაფიტი-სათვის დამახასიათებელია ატომების შრეობრივი განლაგება, რომლებიც ჰექსაგონურ

რთულ კრისტალურ გისოსს წარმოქმნის. ატომებს შორის მანძილი მცირეა და ერთმანეთთან სამი ელექტრონით დამყარებულია კოვალენტური კავშირი, მეოთხე კი კოლექტივიზირებულია, რაც გრაფიტს კარგ ელექტროგამტარობას ანიჭებს. გრაფიტში შრეებს შორის კავშირი საკმაოდ სუსტია და ისინი ადვილად გადაადგილდება ერთმანეთის მიმართ. ამიტომ გრაფიტი რკინა-ნახშირბადის შენადნობებში ყველაზე დაბალმტკიცე ფაზას წარმოადგენს.

რკინა ნახშირბადთან იძლევა ქიმიურ ნაერთს – ცემენტიტს (Fe_3C), რომელიც ნახშირბადს შეიცავს 6,67%. რკინა-ნახშირბადის შენადნობებში ნახშირბადი შეიძლება არსებობდეს როგორც ცემენტიტის, ისე თავისუფალი, გრაფიტის სახით.

რკინა-ნახშირბადის შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის განხილვა. რკინა-ნახშირბადის შენადნობების სტრუქტურისა და თვისებების თავისებურებას ის გარემოება განსაზღვრავს, რომ ნახშირბადი წარმოქმნის ჩანერგვის მყარი ხსნარების ფართო არეს γ რკინასთან, α რკინასთან კი ხსნადობა მეტად შეზღუდულია.

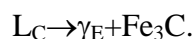
რკინა-ნახშირბადის დიაგრამა (სურ. 5.1) მოიცავს არა მთელი Fe-C სისტემის შენადნობებს, არამედ იგი შეწყვეტილია იქ, სადაც რკინა ნახშირბადთან ცემენტიტს იძლევა.

შენადნობების კრისტალიზაცია იწყება ABCD ხაზზე და მთავრდება AHIECF ხაზზე. პირველს ლიკვიდუსის, ხოლო მეორეს სოლიდუსის ხაზი ეწოდება.

ლიკვიდუსის BC შტოზე სითხიდან გამოკრისტალდება აუსტენიტი, ხოლო CD შტოზე – ცემენტიტი Fe_3C .

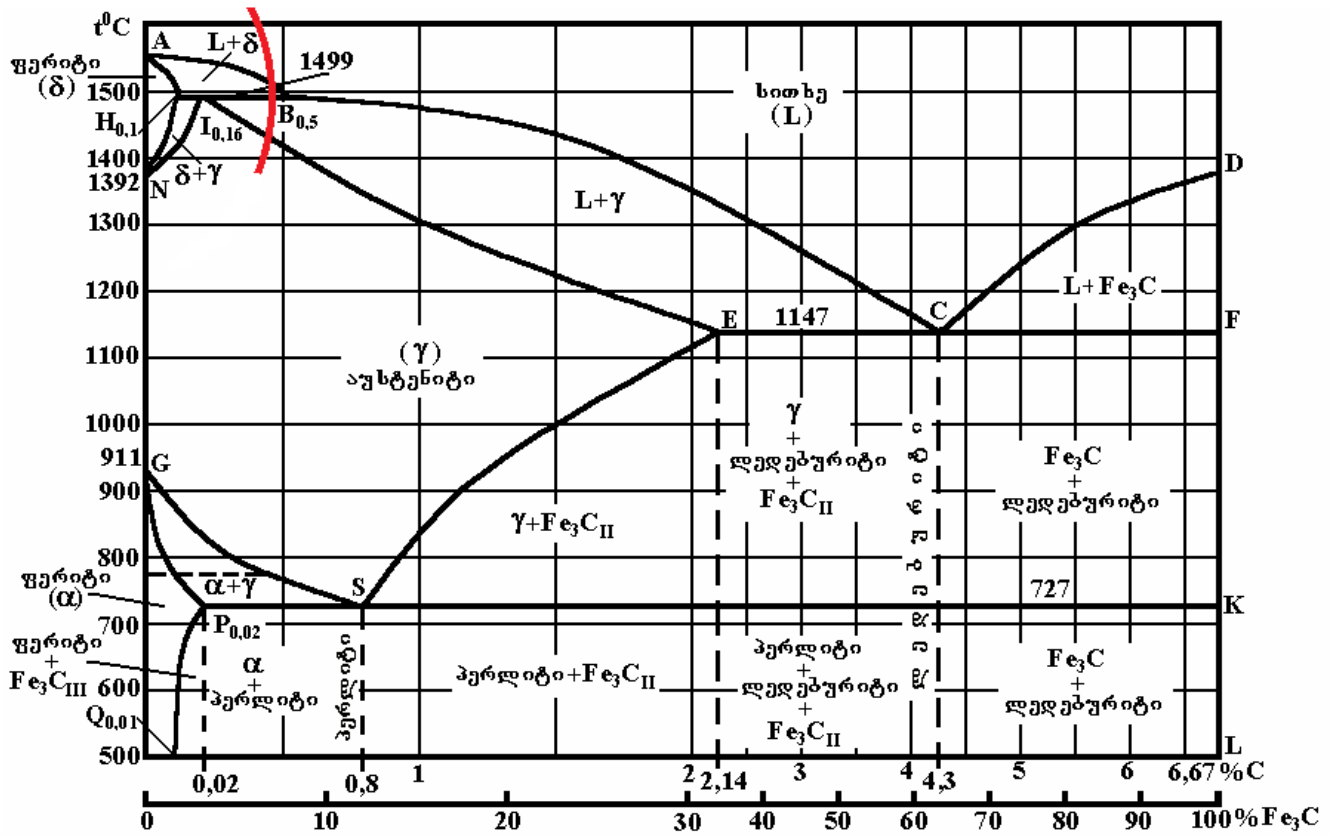
აუსტენიტში ნახშირბადის მაქსიმალური ხსნადობის ზღვარი შეადგენს 2,14% (E წერტილი). შენადნობებს E წერტილის მარცხნივ, ფოლადები ეწოდება, ხოლო E წერტილის მარჯვნივ – თუჯები.

თუჯში, რომელიც ნახშირბადს 4,3%-ს შეიცავს, კრისტალიზაცია მუდმივ ტემპურატურაზე, 1147°C-ზე (ECF ხაზზე) მიმდინარეობს აუსტენიტისა და ცემენტიტის მიკრომექანიკური ნარევის, ლედებურიტის წარმოქმნით:



ასეთი შედგენილობის თუჯს ევტექტიკურს უწოდებენ.

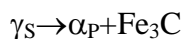
ევტექტიკური წერტილის მიხედვით თუჯები სამ ჯგუფად იყოფა: ქვეევტექტიკუ-



სურ. 5.1. რკინა-ნახშირბადის შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა

რი, რომელიც ნახშირბადს შეიცავს 2,14-დან 4,3%-მდე, ევტექტიკური ნახშირბადის შემცველობით 4,3% და ზეევტექტიკური, რომელიც ნახშირბადს 4,3-6,67%-ის ზღვრებში შეიცავს. ქვეევტექტიკურ თუჯში ლედებურიტის გამოკრისტალებას წინ უსწრებს სითხიდან აუსტენიტის, ხოლო ზეევტექტიკურ თუჯში – ცემენტიტის გამოყოფა, ამიტომ სითხის გამოკრისტალების შემდეგ მათი სტრუქტურა შესაბამისად იქნება აუსტენიტი+ლედებურიტი და ლედებურიტი+ცემენტიტი.

აუსტენიტი ოთახის ტემპერატურამდე მდგრადობას არ ინარჩუნებს. ფოლადში, რომელიც ნახშირბადს 0,8%-ს შეიცავს, აუსტენიტის დაშლა მუდმივ, 727°C-ზე (PSK პორიზონტალი) მიმდინარეობს ფერიტისა და ცემენტიტის მიკრომექანიკური ნარევის წარმოქმნით, რომელსაც პერლიტი ეწოდება. გარდაქმნას ევტექტოიდურს უწოდებენ:



ევტექტოიდური წერტილის (S) მიხედვით ფოლადები სამ ჯგუფად იყოფა: ქვეევტექტოიდური, რომელიც ნახშირბადს შეიცავს ზღვრებში 0,02%-დან 0,8%-მდე, ევტექტოიდური ნახშირბადის შემცველობით 0,8% და ზეევტექტოიდური, რომელიც ნახშირ-

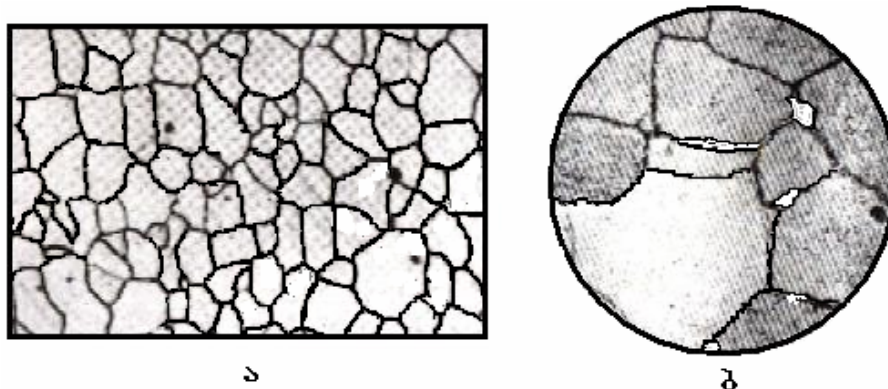
ბადს 0,8-2,14%--ის ზღვრებში შეიცავს. ქვევტექტოიდურ ფოლადებში პერლიტურ გარდაქმნას წინ უსწრებს აუსტენიტიდან ფერიტის (GS ხაზი), ხოლო ზეევტექტოიდურ ფოლადებში – მეორეული ცემენტიტის (Fe_3C_{II} , SE ხაზი) გამოყოფა. შესაბამისად, ქვევტექტოიდური ფოლადის სტრუქტურა იქნება ფერიტი+პერლიტი, ევტექტოიდურისა – პერლიტი, ზეევტექტოიდურისა – პერლიტი+ Fe_3C_{II} .

შენადნობი, რომელიც ნახშირბადს 0,02%–მდე შეიცავს, ტექნიკური რკინის სახელწოდებითაა ცნობილი.

ანალოგიური გარდაქმნები მიმდინარეობს თუჯების სტრუქტურაში შემავალ აუსტენიტშიც, ამიტომ ოთახის ტემპერატურაზე ქვევტექტიკური თუჯის სტრუქტურა იქნება პერლიტი+ლედებურიტი, ევტექტიკურისა – ლედებურიტი (პერლიტი+ცემენტიტი), ხოლო ზეევტექტიკურისა – ლედებურიტი+ცემენტიტი.

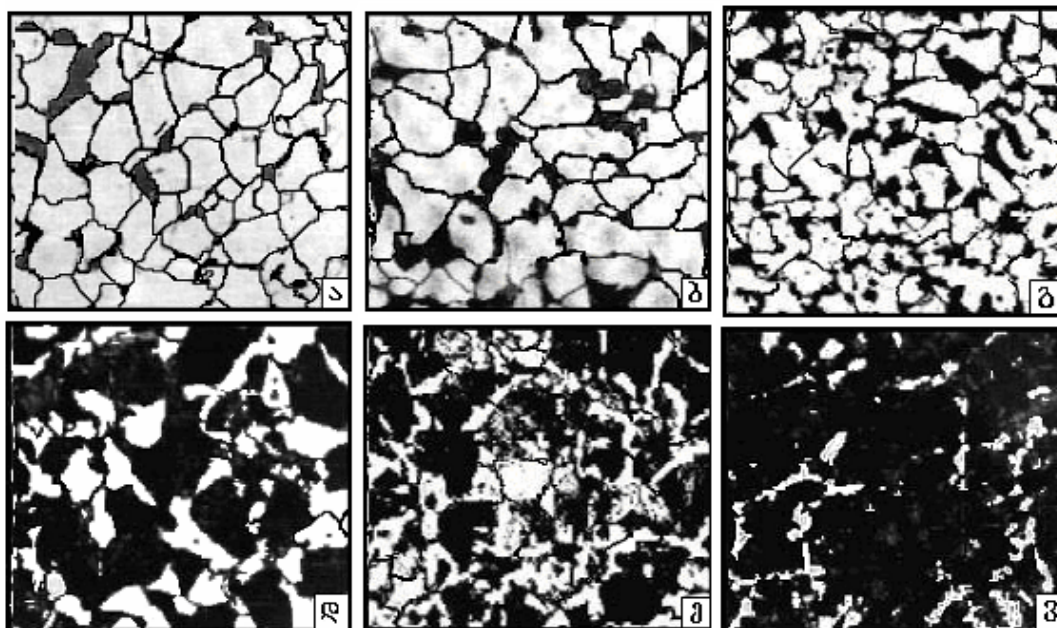
5.2. ნახშირბადიანი ფოლადი

ფოლადის სტრუქტურა და თვისებები. რკინა-ნახშირბადის შენადნობების მიკროსტრუქტურა განისაზღვრება სისტემის მდგომარეობის დიაგრამის მიხედვით. თუ შენადნობში ნახშირბადის რაოდენობა არ აღემატება 0,01%, სტრუქტურაში ყალიბდება სუფთა ფერიტი (სურ. 5.2, ა), ხოლო თუ იცვლება ზღვრებში 0,01-0,02%, მიკროსტრუქტურაში ფერიტის მარცვლის საზღვრებში ე.წ. მესამეული ცემენტიტი (Fe_3C_{III}) გამოიყოფა (ბ). ფერიტის მარცვლები ღია ფერის პოლიედრების სახით მუდავნდება. ცემენტიტი ძნელად იწამლება და მიკროსკოპში კრიალა ჩანართების სახით მოჩანს.



სურ. 5.2. ტექნიკური რკინის მიკროსტრუქტურა. x400.
 ა– $C \leq 0,01\%$, ფერიტი; ბ– $C = 0,01-0,02\%$, ფერიტი და Fe_3C_{III}
 (თეთრი უბნები მარცვლის საზღვრებში)

ქვევებქტიოდურ ფოლადის მიკროსტრუქტურაში პერლიტი მუქი ფერის არა-ერთგვაროვანი ჩანართების სახით მუდგანდება. სტრუქტურაში ფერიტისა და პერლიტის რაოდენობა დამოკიდებულია ფოლადში ნახშირბადის შემცველობაზე. რაც უფრო მეტია ფოლადში ნახშირბადი, მით უფრო მეტია სტრუქტურაში პერლიტი (სურ. 5.3).

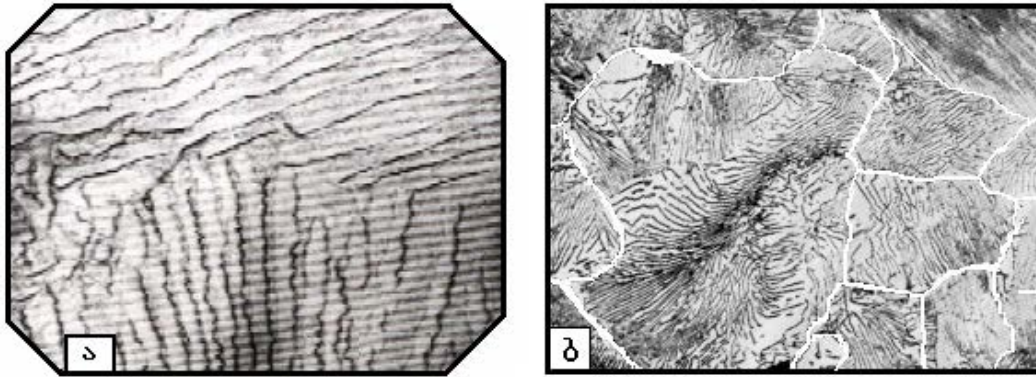


სურ. 5.3. ფოლადის მიკროსტრუქტურა. x200. ნახშირბადის შემცველობა, %:
 ა-0,15; ბ-0,25; გ-0,30; დ-0,42; ე-0,50; ვ-0,60

როდესაც ნახშირბადის შემცველობა აღწევს 0,8%, სტრუქტურა პერლიტურით იცვლება (სურ. 5.4, ა). ზევებქტიოდური ფოლადის სტრუქტურაში კი პერლიტის კოლონიების საზღვრებში ყალიბდება მეორეული ცემენტიტი ძირითადად ბადის სახით (ბ).

ფოლადის თვისებებს, სხვა თანაბარ პირობებში, ნახშირბადის შემცველობა განსაზღვრავს. ნახშირბადის რაოდენობის გაზრდასთან ერთად სისაღე და სიმტკიცე იზრდება, ხოლო პლასტიკურობა და სიბლანტე კლებულობს.

მუდმივი მინარეები ფოლადში. ფოლადი რკინისა და ნახშირბადის გარდა, შეიცავს სილიციუმს, მანგანუმს, ფოსფორსა და გოგირდს. ეს ელემენტები ფოლადში სხვადასხვა გზით ხვდება. მაგალითად, დნობის პროცესში განუანგვის შედეგად მასში სილიციუმი და მანგანუმი გადადის; მადანს მოჰყვება და საკმაოდ ძნელი მოსაშორებელია ფოსფორი და გოგირდი.



სურ. 5.4. ევტექტოიდური (ა, x1500) და ზეევტექტოიდური (ბ, 400) ფოლადების მიკროსტრუქტურა

სილიციუმის რაოდენობა ფოლადში 0,15-0,35%-ის ზღვრებშია. სილიციუმი იხსნება ფერიტში და საგრძნობლად ზრდის მის სისაღეს, დენადობისა და სიმტკიცის ზღვარს, მაგრამ ამავე დროს ამცირებს პლასტიკურობას.

მანგანუმის რაოდენობა იცვლება ზღვრებში 0,5-0,8%. მანგანუმიც იხსნება ფერიტში და ზრდის მის სისაღესა და სიმტკიცეს. გარდა ამისა, ნახშირბადთან წარმოქმნის კარბიდს, რომელიც თვისებებით ცემენტიტის ანალოგიურია. ამგვარად, ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ მანგანუმი ზრდის ფოლადის სისაღესა და სიმტკიცეს.

ფოსფორი და გოგირდი ფოლადში მავნე მინარევებს მიეკუთვნება. ფოსფორი რკინასთან იძლევა ფოსფიდს Fe_3P . ფოსფორის გავლენით იზრდება ფოლადის სისაღე, მაგრამ მკვეთრად მცირდება მისი დარტყმითი სიბლანტე და მალლა იწვევს გამყიფების ტემპერატურა. ფოსფორის გავლენით განვითარებულ სიმყიფეს ცივმეტეხობა ეწოდება. ფოსფორის შემცველობა ფოლადში არ უნდა აღემატებოდეს 0,05%.

გოგირდი რკინაში არ იხსნება და ფოლადში რკინის სულფიდის, FeS -ის სახით გვხვდება. FeS დნობის დაბალი ტემპერატურით ხასიათდება. გარდა ამისა, იგი რკინასთან იძლევა ევტექტიკას ($Fe+FeS$), რომლის დნობის ტემპერატურაა $985^{\circ}C$. ფოლადის გამყარების პროცესში ევტექტიკა მარცვლის საზღვრებში გამოკრისტალდება. ასეთი ფოლადის წნევით დამუშავების ტემპერატურამდე ($800-1200^{\circ}C$) გახურებისას ევტექტიკა იწვევს შემოდნობას, ასუსტებს მარცვლებს შორის კავშირს და ფოლადი მყიფდება – წარმოიქმნება ცხელი ბზარები და ნაპრალები. ამ მოვლენას წითელმეტეხობა ეწოდება. გოგირდის შემცველობა ფოლადში არ უნდა აღემატებოდეს 0,04%

მანგანუმის განსაკუთრებით დადებითი გავლენა იმაში გამოიხატება, რომ იგი მნი-

შენელოვნად ასუსტებს გოგირდის უარყოფით გავლენას ფოლადის თვისებებზე.

ნახშირბადიანი ფოლადის კლასიფიკაცია. ფოლადის კლასიფიკაციას აწარმოებენ ქიმიური შედგენილობის, სტრუქტურისა და დანიშნულების მიხედვით.

ქიმიური შედგენილობის მიხედვით ფოლადები ორ დიდ ჯგუფად იყოფა – ნახშირბადიან და ლეგირებულ ფოლადებად. ნახშირბადიანი ფოლადი შეიცავს რკინას, ნახშირბადს და მცირე რაოდენობით გარღვევალ (მუდმივ) მინარევეებს (Si, Mn, P და S).

ლეგირება გულისხმობს მასალის შედგენილობის მიზანდასახულად შეცვლას სასურველი სტრუქტურისა და თვისებების მისაღებად მასში სხვადასხვა ელემენტის დამატების გზით. აქედან გამომდინარე, ლეგირებული ფოლადი, გარდა ზემოთაღნიშნული ელემენტებისა, დამატებით შეიცავს ერთ ან რამდენიმე ელემენტს, რომლებიც ფოლადს თვისებათა დიდ მრავალფეროვნებას ანიჭებს (უჟანგაობას, მხურვალმდეგობას, მხურვალმტკიცობას და ა.შ). ასეთ ფოლადს ლეგირებულს უწოდებენ, ხოლო სპეციალურად შეყვანილ ელემენტებს – მალეგირებულ ელემენტებს.

ფოლადის კლასიფიკაცია სტრუქტურის მიხედვით ზემოთ იყო განხილული.

დანიშნულების მიხედვით ანსხვავებენ საკონსტრუქციო, საიარაღო და განსაკუთრებული თვისებების მქონე ფოლადებს.

საკონსტრუქციო ფოლადი. ხარისხის მიხედვით საკონსტრუქციო ნახშირბადიანი ფოლადი ორგვარია: ჩვეულებრივი ხარისხის, ანუ საერთო დანიშნულებისა და ხარისხოვანი.

ჩვეულებრივი ხარისხის საკონსტრუქციო ფოლადი შეიცავს 0,6%-მდე ნახშირბადს. მეტალურგიული ქარხნიდან ასეთი ფოლადი გამოდის წნელების, ლენტების, სხვადასხვა პროფილის ნაგლინის (კუთხოვანა, შველერი, ტესებრი, ორტესებრი და ა.შ) სახით.

დსთ-ს სივრცეში მოქმედი სტანდარტების მიხედვით ჩვეულებრივი ხარისხის ფოლადები იყოფა სამ ჯგუფად: A, B და B.

A ჯგუფში გაერთიანებულია ფოლადები, რომელთა მიწოდება მეტალურგიული ქარხნიდან ხდება გარანტირებული მექანიკური თვისებებით. ფოლადის მარკა აღინიშნება ასოებით Ст (Сталь), რომლის შემდეგ იწერება ციფრები 0; 1; 2; 3 და ა.შ. 6-მდე. მაგალითად, Ст0; Ст1; Ст2; Ст3. რაც უფრო მეტია ციფრი, მით უფრო მაღალია სიმტკიცის მახასიათებლები, მაგრამ პლასტიკურობა მცირდება.

Б ჯგუფში შედის ფოლადები, რომელთა მიწოდება მეტალურგიული ქარხნიდან ხდება გარანტირებული ქიმიური შედგენილობით. მისი მარკა იგივე სისტემით აღინიშნება, მხოლოდ წინ ეწერება ჯგუფის კუთვნილების აღმნიშვნელი ასო Б. მაგალითად, БСТ3.

Б ჯგუფის ფოლადებს ქარხანა უშვებს როგორც გარანტირებული ქიმიური შედგენილობით, ისე მექანიკური თვისებებით. მარკაში პირველ ადგილზე იწერება ასო Б, შემდეგ СТ და შესაბამისი ციფრი. მაგალითად, БСТ2, БСТ3, БСТ4, БСТ5. ამ ჯგუფის ყოველი მარკის ფოლადში მექანიკური თვისებები ეთანადება А ჯგუფის შესაბამისი მარკის, ხოლო ქიმიური შედგენილობა – Б ჯგუფის შესაბამისი მარკის ფოლადს.

ჩვეულებრივი ხარისხის ნახშირბადიანი ფოლადი მრავალი დანიშნულებით გამოიყენება. ეს არის შედუღებული სამშენებლო კონსტრუქციები, ხიდები, სახურავი თუნუქი, მცირედ და საშუალოდ დატვირთული მანქანათა ნაწილები (კბილანა, ლილვი, ღერძი, სამაგრი დეტალები).

ხარისხოვანი საკონსტრუქციო ფოლადი ნახშირბადს შეიცავს 0,85%-მდე. იგი გამოირჩევა მავნე მინარევების (P, S) ნაკლები შემცველობით, ამიტომ უფრო მაღალი თვისებებით ხასიათდება და უფრო საპასუხისმგებლო შემთხვევებშიც გამოიყენება.

ხარისხოვანი ფოლადის ნიშანდება ხდება ქიმიური შედგენილობის მიხედვით. მარკაში იწერება ორნიშნა რიცხვი, რომელიც მიუთითებს ნახშირბადის საშუალო შემცველობას პროცენტის მესამედებით. მაგალითად, ფოლადი 05; 08; 10; 15; 20 და ა.შ.

ხარისხოვანი ფოლადი არსებითად არის სამანქანო ფოლადი. იგი მრავალი დანიშნულებისაა. ნახშირბადმცირე ფოლადი 05-დან ფოლად 20-მდე ფართოდ გამოიყენება ცივი შტამპვისათვის. მათგან მზადდება სახურავი თუნუქი, საქვაბე ფურცლები, მცირედ დატვირთული სამაგრი დეტალები, შენადული და საცემენტაციო ნაწილები.

საშუალონახშირბადიანი ფოლადები (30-50) გამოიყენება მანქანათა ნაწილების, კერძოდ, მცირედ და საშუალოდ დატვირთული ღერძების, ლილვების, მუხლა ლილვების, კბილანების და ა.შ. დასამზადებლად.

ნახშირბადუხვი ფოლადი 60-65 ხასიათდება გაზრდილი სიმტკიცით და დრეკადობით. გამოიყენება უფრო მძიმედ დატვირთული ნაწილებისა და სხვადასხვა სახის ზამბარებისა და რესორების დასამზადებლად.

ხარისხოვანი საკონსტრუქციო ფოლადები გამოიყენება მხოლოდ თერმულად დამუშავებულ მდგომარეობაში.

სამანქანე ფოლადებს მიეკუთვნება აგრეთვე სამსხმელო ფოლადი, რომლის ნიშანდ-

ბა იგივე პრინციპით ხდება, მაგრამ მარკის ბოლოში იწერება ასო Л. მაგალითად, ფოლადი 20Л; 25Л და ა.შ.

განჯანგვის ხარისხის მიხედვით არჩევენ მშვიდ, მდულარე და ნახევრად მშვიდ ფოლადებს. მშვიდი ფოლადი მიიღება სრული განჯანგვის შედეგად სილიციუმით, მანგანუმით და ალუმინით.

მდულარე ფოლადი განჯანგულია ნაწილობრივ – მხოლოდ მანგანუმით. ამიტომ სილიციუმის რაოდენობა მასში არ აღემატება 0,07%. ეს კი მნიშვნელოვნად ზრდის ფოლადის პლასტიკურობას. ამიტომ მდულარე ფოლადებს ფართოდ იყენებენ ცივი დეფორმაციისათვის.

ნახევრად მშვიდი ფოლადი განჯანგულია მანგანუმითა და ალუმინით. თვისებებით მას შუალედური ადგილი უჭირავს მშვიდსა და მდულარე ფოლადებს შორის.

თუ ფოლადი მშვიდია, მარკის ბოლოს ემატება აღნიშვნა СП (спокойная), ნახევრად მშვიდს – ПС (полуспокойная), ხოლო მდულარეს – КП (кипящая). მაგალითად, БСт2кп, 08кп.

საიარაღო ფოლადი. საიარაღო ფოლადს მიეკუთვნება ნახშირბადუხვი ფოლადები ნახშირბადის შემცველობით 0,7-1,3%-ის ზღვრებში. მისი მარკა აღინიშნება У ასოთი. შემდეგ დგას რიცხვი, რომელიც მიუთითებს ნახშირბადის რაოდენობას პროცენტის მეთოდებით. მაგალითად, ფოლადი У7 საშუალოდ შეიცავს 0,7% ნახშირბადს, У8 – 0,8% და ა.შ. თუ მარკის ბოლოს წერია ასო А, ეს ფოლადის მაღალხარისხოვნების მაჩვენებელია (0,02%S და 0,03%P).

ნახშირბადიანი საიარაღო ფოლადი ზოგადად შემდეგი დანიშნულებით გამოიყენება:

У7 – ისეთი იარაღების დასამზადებლად, რომლებსაც მაღალ სისაღესთან ერთად მნიშვნელოვანი სიბლანტეც მოეთხოვება. ასეთი იარაღი დარტყმითი დატვირთვების პირობებში მუშაობს. მათ მიეკუთვნება ღოჯები, სამჭედლო ტვიფრები, საზეინკლო ჩაქუჩები და ა.შ. У8-У9 – დაახლოებით იმავე დანიშნულებით გამოიყენება, მხოლოდ მეტი სისაღის მოთხოვნის შემთხვევაში (სამჭედლო სახერტელები, ხერხები, საჭრისები); У10-У11 – გამოიყენება ისეთი იარაღის დასამზადებლად, რომლებიც მკვეთრ დარტყმას არ განიცდის (საჭრისები, ბურღები, გარესახრახნები და შიგასახრახნები, ფრეზები და ა.შ.); У12-У13 – იმავე მჭრელი იარაღებისათვის, მაგრამ დარტყმითი დატვირთვები გამორიცხულია.

საიარაღო ფოლადები განმამტკიცებელი თერმული დამუშავების გარეშე არ გამოიყენება.

5.3. თუჯი

თუჯი ფოლადთან შედარებით მეტი რაოდენობით შეიცავს ნახშირბადს და გარდუვალ მინარეგებს – სილიციუმს (0,5-4,5%), მანგანუმს ($\leq 1\%$), ფოსფორსა (0,6-0,8%) და გოგირდს (0,08-0,12%). ნახშირბადის მდგომარეობისა და ფორმის მიხედვით არჩევენ თეთრ, რუხ, მაღალი სიმტკიცისა და ჭკდად თუჯებს.

თეთრმა თუჯმა ასეთი დასახელება ტეხილის შეფერილობის მიხედვით მიიღო, რომელიც თეთრი, მქრქალი ფერით ხასიათდება. თეთრ თუჯში ნახშირბადი მთლიანად ცემენტიტშია დაკავებული, ამიტომ მისი დნობისა და გამყარების პროცესი და სტრუქტურა რკინა-ცემენტიტის მდგომარეობის დიაგრამით აიწერება. რადგან თეთრი თუჯი დიდი რაოდენობით შეიცავს ცემენტიტს, იგი ხასიათდება ძალიან მაღალი სისაღით. სისაღე მთლიანად დამოკიდებულია ნახშირბადის რაოდენობაზე. ევტექტიკური თუჯის სისაღე 450 HB-ს შეადგენს. ამავე დროს თეთრი თუჯი მეტად მყიფეა და ჭრით ძნელად მუშავდება. მაღალი სისაღისა და სიმყიფის გამო მანქანათმშენებლობაში თეთრი თუჯი იშვიათად გამოიყენება

რუხ თუჯში ნახშირბადი მთლიანად ან ნაწილობრივ თავისუფალი, გრაფიტის სახით არის გამოყოფილი. გრაფიტი თუჯს ტეხში რუხ ფერს აძლევს.

რუხი თუჯის სტრუქტურა განიხილება როგორც ლითონური ფუძე, რომელშიც განლაგებულია გრაფიტის ჩანართები. მიკროსკოპული კვლევისათვის ნიმუშის მომზადების დროს გრაფიტის ჩანართები არ პრიალდება, ამიტომ მათი შესწავლა ხდება მჟავით ამოუჭმელ ნიმუშებზე. ამ შემთხვევაში მიკროსკოპში გაპრიალებულ, კაშკაშა არეში მოჩანს მუქი ფერის გრაფიტის ჩანართები.

ჩვეულებრივ რუხ თუჯში გრაფიტის ჩანართები ყოველთვის ფირფიტოვანია. მიკროსკოპული სიმჟავით დამუშავების შემდეგ მუდგანდება ლითონური ფუძის სტრუქტურა, გრაფიტის ჩანართები კი ძირითადად უცვლელი რჩება.

ლითონური ფუძის აგებულების მიხედვით თუჯები სამ ჯგუფად იყოფა: ფერიტული, ფერიტო-პერლიტური და პერლიტური.

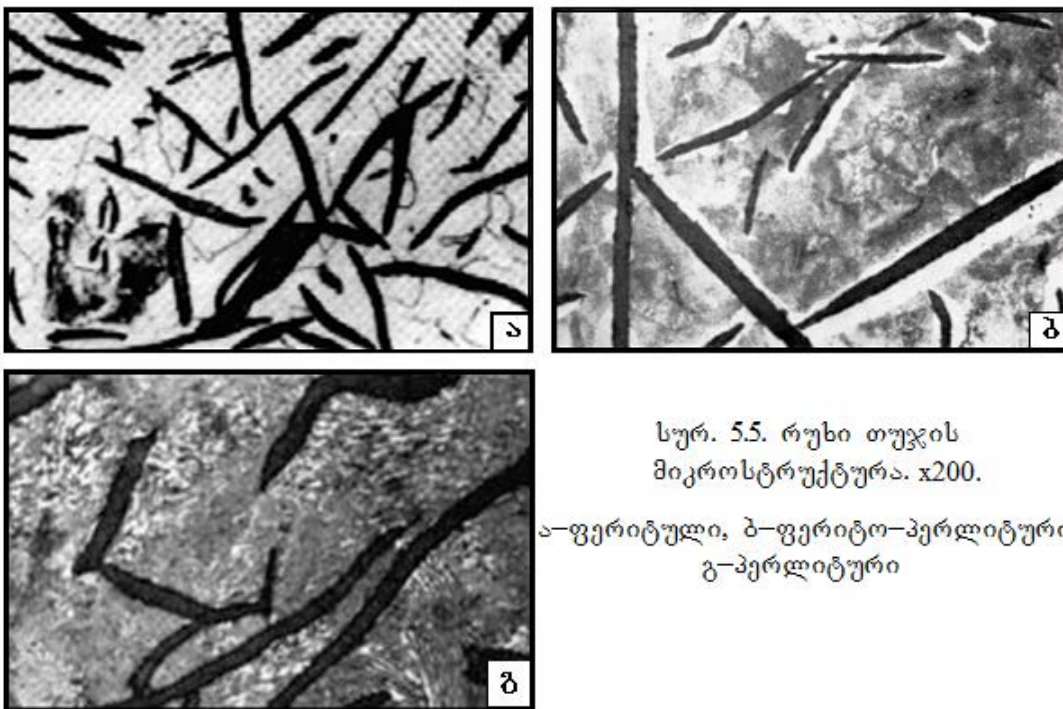
რუხი ფერიტული თუჯის ლითონური ფუძის მიკროსტრუქტურას ფერიტი წარმოადგენს. ასეთი სტრუქტურის მქონე თუჯში მთელი ნახშირბადი, რომელსაც შენადნობი შეიცავს, გრაფიტის სახით არის გამოყოფილი. თუჯს ფერიტული კლასის რუხი თუჯი ეწოდება. მისი სტრუქტურაა ფერიტი+გრაფიტი (სურ. 5.5, ა), სადაც ფერიტის

მრავალწახნაგა მარცვლების ფონზე განლაგებულია გრაფიტის ფირფიტები.

რუხ ფერიტო-პერლიტურ თუჯში ცემენტიტში დაკავებული ნახშირბადის რაოდენობა ნაკლებია 0,8%-ზე. მისი სტრუქტურა შედგება ფერიტისა, პერლიტისა და გრაფიტის ჩანართებისაგან (სურ. 5.5, ბ). ფერიტისა და პერლიტის ურთიერთშეფარდება დამოკიდებულია ცემენტიტში დაკავებული ნახშირბადის რაოდენობაზე. რაც უფრო ნაკლებია ბმული ნახშირბადი, მით უფრო მეტი იქნება ლითონური ფუძის სტრუქტურაში ფერიტი და პირიქით. ასეთ რუხ თუჯს ფერიტო-პერლიტური კლასის რუხი თუჯი ეწოდება.

პერლიტური რუხი თუჯის ლითონური ფუძის სტრუქტურა პერლიტურია. როგორც ცნობილია, პერლიტი შეიცავს 0,8% ნახშირბადს. მაშასადამე, ნახშირბადის აღნიშნული რაოდენობა რუხ თუჯში ცემენტიტშია დაკავებული, ხოლო დანარჩენი გამოყოფილია გრაფიტის სახით. თუჯს პერლიტური კლასის რუხი თუჯი ეწოდება და მისი სტრუქტურაა პერლიტი+გრაფიტი (სურ. 5.5, გ).

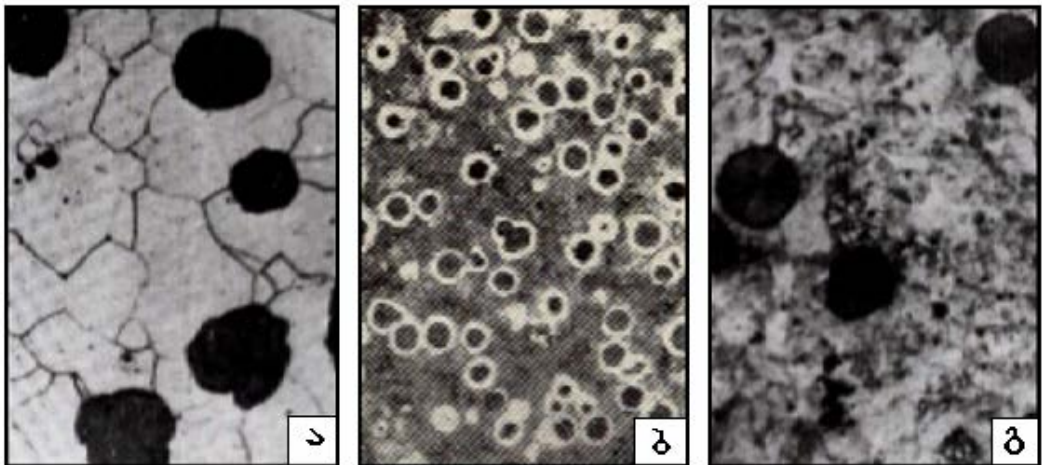
თუჯი გრაფიტის ფირფიტოვანი ჩანართებით შედარებით დაბალი მექანიკური თვისებებით ხასიათდება. სხვადასხვა ტექნოლოგიური საშუალებით შესაძლებელია უფრო ხელსაყრელი ფორმის გრაფიტის ჩანართების მიღება. მაგალითად, მოდიფიცირებით – დაკლაკნილი, თეთრი თუჯის გარკვეული რეჟიმით მოწვის შედეგად – ფიფქისებრი (ბუდობრივი), ხოლო მაგნიუმით მოდიფიცირებით – მომრგვალებული, ანუ



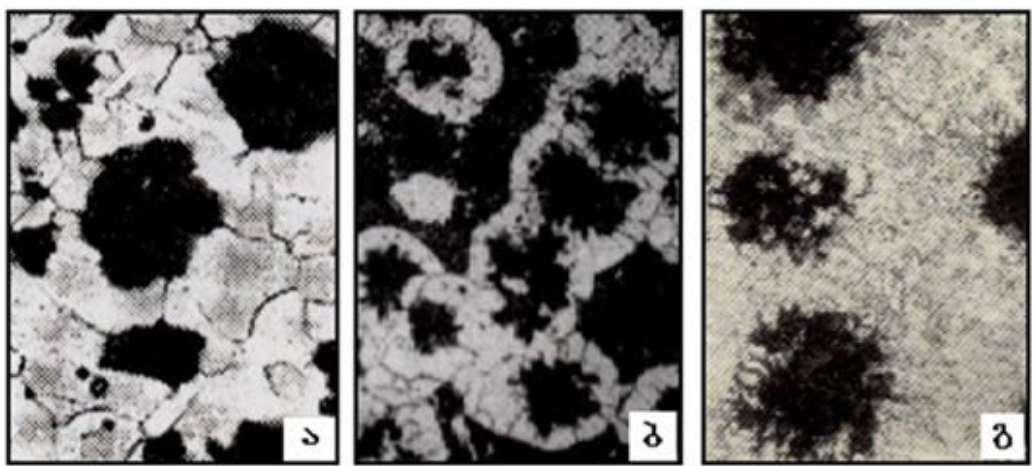
სურ. 5.5. რუხი თუჯის მიკროსტრუქტურა. x200.

ა-ფერიტული, ბ-ფერიტო-პერლიტური, გ-პერლიტური

სფეროიდული. თუჯს გრაფიტის სფეროიდული ფორმის ჩანართებით მაღალი სიმტკიცის თუჯს უწოდებენ, ხოლო ბუდობრივი ჩანართებით – ჭკადად თუჯს. ისევე, როგორც რუს თუჯში, აქაც ლითონური ფუძის სტრუქტურა შეიძლება იყოს ფერიტული, ფერიტო-პერლიტური და პერლიტური (სურ. 5.6. .5.7.).



სურ. 5.6. მაღალი სიმტკიცის თუჯის მიკროსტრუქტურა. x200.
 ა-ფერიტული, ბ-ფერიტო-პერლიტური, გ-პერლიტური



სურ. 5.7. ჭკადადი თუჯის მიკროსტრუქტურა. x200.
 ა-ფერიტული, ბ-ფერიტო-პერლიტური, გ-პერლიტური

თუჯების ნიშანდება ხდება მექანიკური თვისებების მიხედვით. რუსი თუჯის მარკა აღინიშნება ასოებით СЧ (серый чугун), შემდეგ იწერება რიცხვი, რომელიც მიუთითებს სიმტკიცის ზღვარს გაჭიმვაზე. მაგალითად, СЧ10, СЧ20, СЧ25.

მაღალი სიმტკიცის თუჯის მარკას აღნიშნავენ ასოებით ВЧ (высокопрочный чу-

რუი), შემდეგ იწერება ორი რიცხვი, რომელთაგან პირველი მიუთითებს სიმტკიცის ზღვარს გაჭიმვაზე, ხოლო მეორე – ფარდობით წაგრძელებას. მაგალითად, ВЧ 38-17; ВЧ 45-5; ВЧ 120-2.

ჭედადი თუჯის ნიშანდება ისეთივე პრინციპით ხდება, როგორც მაღალი სიმტკიცის თუჯისა, მხოლოდ მარკის წინ იწერება ასოები КЧ (ковкий чугун). მაგალითად, КЧ30-6; КЧ 35-10.

როგორც აღვნიშნეთ, თუჯის სტრუქტურა შედგება ლითონური ფუძისა და გრაფიტული ჩანართებისაგან. აქედან გამომდინარე, მისი თვისებები დამოკიდებული იქნება როგორც ლითონური ფუძის სტრუქტურაზე, ისე გრაფიტული ჩანართების რაოდენობასა და ხასიათზე.

გრაფიტი ფოლადთან შედარებით უმნიშვნელო სისაღითა და სიმტკიცით ხასიათდება. გარდა ამისა, მათ ლითონურ ფუძესთან არსებითად კავშირი არა აქვს, ამიტომ გრაფიტული ჩანართები პირველი მიახლოებით შეიძლება განვიხილოთ როგორც სიცარიელე, ბზარი, რომელიც ასუსტებს ლითონურ ფუძეს. აქედან გამომდინარე, თუჯი სტრუქტურულად შეიძლება განვიხილოთ როგორც სიცარიელეებითა და ბზარებით დაქსაქსული ფოლადი. ბუნებრივია, რაც უფრო მეტი მოცულობა უკავია სიცარიელეს, მით უფრო დაბალი იქნება თუჯის მექანიკური თვისებები.

ფირფიტოვან ჩანართებს ბზარების სახე აქვს, რომლის ბოლოები ძაბვათა კონცენტრაციას იწვევს. ამიტომ რუხი თუჯი ხასიათდება დაბალი წინააღმდეგობით გამჭიმავი და, განსაკუთრებით, დარტყმითი დატვირთვების მიმართ.

გრაფიტის მომრგვალებული ჩანართები არ წარმოქმნის ძაბვების მკვეთრ კონცენტრაციას, ამიტომ თუჯი გრაფიტის მომრგვალებული ჩანართებით (მაღალი სიმტკიცის თუჯი) ხასიათდება მნიშვნელოვნად მაღალი სიმტკიცით გაჭიმვაზე და ღუნვაზე. ჭედად თუჯს ფიფქისებრი გრაფიტის ჩანართებით შუალედური მდგომარეობა უკავია ჩვეულებრივ რუხ და მაღალი სიმტკიცის თუჯებს შორის.

რიგ შემთხვევებში გრაფიტის ჩანართები თუჯს მთელ რიგ ღირსშესანიშნავ ტექნოლოგიურ თვისებებს ანიჭებს ფოლადთან შედარებით. კერძოდ, რუხი თუჯი ხასიათდება დაბალი დნობის ტემპერატურითა და მაღალი თხევადღენადობით. ამასთან, კრისტალიზაცია მუდმივ ტემპერატურაზე მთავრდება ევტექტიკის წარმოქმნით. გრაფიტის გამოყოფის გამო კრისტალიზაციის პროცესში რუხი თუჯი ფართოვდება. ყოველივე ეს უზრუნველყოფს სამსხმელო ყალიბის კარგ შევსებას და რთული ფორმის

ნაკეთობის ჩამოსხმით დამზადების შესაძლებლობას. გარდა ამისა, ჩაჯდომის სიდიდე რუს თუჯში გაცილებით უფრო ნაკლებია თეთრ თუჯთან და ფოლადთან შედარებით, რაც ამარტივებს სხმულის დამზადების ტექნოლოგიას.

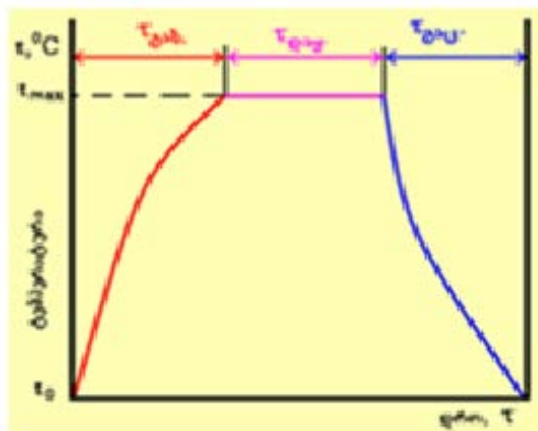
თუჯში გრაფიტის არსებობა განაპირობებს მონატეხი ბურბუშელების წარმოქმნას, რაც აადვილებს თუჯის ჭრით დამუშავებას. იგი ხელს უწყობს აგრეთვე ვიბრაციის სწრაფად ჩაქრობას.

თუჯი კარგი ანტიფრიქციული მასალაა, რადგან გრაფიტი თვითონ ხასიათდება პოხვის უნარით და კარგად აკავებს საპოხ ნივთიერებას.

ყოველივე ამის გამო თუჯი ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში მანქანათა ისეთი ნაწილების დასამზადებლად, რომლებიც ექსპლუატაციის დროს გამჭიმავ და დარტყმით დატვირთვებს არ განიცდის.

ლითონის თერმული დამუშავება

თერმული დამუშავება არის ლითონების თვისებათა სასურველი მიმართულებით შეცვლის უმნიშვნელოვანესი საშუალება. თერმული დამუშავების დროს იცვლება ლითონის სტრუქტურა და, შესაბამისად, თვისებები მისი ქიმიური შედგენილობის შეუცვლელად.



სურ. 6.1. თერმული დამუშავების ზოგადი გრაფიკი

თერმულ დამუშავებაზე ორი ძირითადი ფაქტორი მოქმედებს: ტემპერატურა და დრო. ამიტომ ნებისმიერი თერმული დამუშავების რეჟიმი შეიძლება გამოისახოს კოორდინატებში ტემპერატურა (t) – დრო (τ). 6.1 სურათზე წარმოდგენილია თერმული დამუშავების ზოგადი გრაფიკი.

თერმული დამუშავების რეჟიმს შემდეგი ძირითადი პარამეტრები ახასიათებს: გახურების ტემპერატურა $t_{გაქ}$, ეს არის ზედა ზღვრული ტემპერატურა, სადამდეც ნაკეთობა ხურდება თერმული დამუშავების დროს; გახურების ტემპერატურაზე ნაკეთობის დაყოვნების დრო $\tau_{დაყ}$; გახურების სიჩქარე $v_{გაქ}$ და გაცივების სიჩქარე $v_{გაშ}$. თერმული დამუშავების გრაფიკით შეიძლება ნებისმიერი სახის თერმული დამუშავების რეჟიმი გამოისახოს.

თერმული დამუშავების ძირითადი სახეებია: მოწვა, წრთობა და მოშვება.

6.1. მოწვა

მოწვის პროცესი ორგვარია: პირველი გვარის და მეორე გვარის.

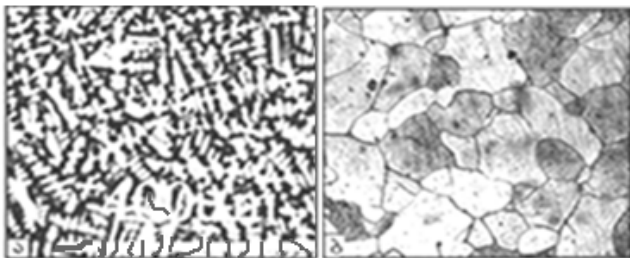
პირველი გვარის მოწვაში შედის სარეკრისტალიზაციო, საჰომოგენიზაციო და დაბევის მოსახსნელი მოწვა.

როგორც ცნობილია, ცივჭედვას ლითონი სტრუქტურულად არაწონასწორულ მდგომარეობაში გადაჰყავს, რაც სისაღისა და სიმტკიცის მახასიათებლების ზრდასა და პლასტიკურობის შემცირებას იწვევს. ცივჭედვის მოსახსნელად მიმართავენ სარე-

კრისტალიზაციო მოწვას. ნახშირბადიანი ფოლადის სარეკრისტალიზაციო მოწვის ტემპერატურა $600-700^{\circ}\text{C}$ -ის ზღვრებშია, დაყოვნების დრო – 1–2 საათი. ამ დროს ცივ-ნაჭედი ლითონის დამახინჯებული მარცვლების საზღვრებზე ჩაისახება და იზრდება ახალი წონასწორული მარცვლები.

შენადნობების კრისტალიზაციის დროს ხშირად ადგილი აქვს ქიმიურ არა-ერთგვაროვნებას ანუ დენდრიტულ ლიკვაციას (სურ. 6.2, ა), რომელიც ფოლადის თვისებების ანიზოტროპიას იწვევს. ლიკვაციის მოსპობა უნდა მოხდეს ქიმიური ელემენტების დიფუზიის ხარჯზე, ამიტომ პროცესი მაღალტემპერატურული მოწვის გზით ხორციელდება, რომელსაც ჰომოგენიზაციას უწოდებენ. ჰომოგენიზაციის შემდეგ ყალიბდება წონასწორული, პოლიედრული სტრუქტურა (ბ).

ჰომოგენიზაციის ტემპერატურა ფოლადებისათვის $1100-1200^{\circ}\text{C}$ შეადგენს ხოლო დაყოვნების დრო – 10–20 საათს. გაცივება ხდება ძალიან ნელა, ისე რომ მთელი პროცესი ხშირად 80–100 საათს გრძელდება.



სურ. 6.2. 70% Cu 30% Ni შენადნობის მიკროსტრუქტურა.
 ა – სხმულ მდგომარეობაში – დენდრიტული აგებულება;
 ბ – ერთგვაროვანი სტრუქტურა ჰომოგენიზაციის შემდეგ

ჰომოგენიზაციის შედეგად ლითონის მარცვლები ინტენსიურად იზრდება, ამიტომ ხშირად აუცილებელი ხდება მისი სტრუქტურის გამოსწორება.

ნაკეთობათა დამზადების ტექნოლოგიური პროცესი შეიძლება ისეთი იყოს, რომ მსხვილ სხმუ-

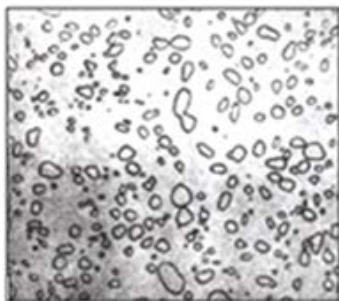
ლებში, ნაჭედებსა და შენადულ უბნებში ნარჩენი შიგა თერმული ძაბვები წარმოიქმნას. დაძაბულობა შეიძლება მოიხსნას ლითონის პლასტიკური დეფორმაციის ხარჯზე, რაც ნაკეთობის დაბრეცას ან დაბზარვას გამოიწვევს. ამ უარყოფითი მოვლენის ასაცილებლად ნაკეთობას უტარებენ მოწვას ძაბვების მოსახსნელად: ნაკეთობას ახურებენ $550-680^{\circ}\text{C}$ -მდე და აყოვნებენ დაახლოებით 2,5 წუთს ნაკეთობის განივკვეთის ყოველ 1 მილიმეტრზე. გაცივება ნელა ხდება.

მეორე გვარის მოწვის სახეებია: სრული მოწვა, არასრული მოწვა და ნორმალისაცია.

ფოლადი წონასწორულ მდგომარეობაში ფერიტ-პერლიტური სტრუქტურით ხა-

სიათდება, რომელსაც შედარებით დაბალი სისალე და სიმტკიცე აქვს, მაგრამ ხასიათდება გაზრდილი პლასტიკურობით. ფოლადის ნაკეთობათა დამზადების ტექნოლოგიური პროცესები არ გამოირიცხავს შედარებით აჩქარებულ გაცივებას, რის შედეგადაც შეიძლება ჩამოყალიბდეს გარდამავალი სტრუქტურები გაზრდილი სისალით, რაც მნიშვნელოვნად აძნელებს ლითონის შემდგომ მექანიკურ დამუშავებს.

არასასურველი სტრუქტურის შესაცვლელად აუცილებელია ლითონის სრული გადაკრისტალება და ერთგვაროვანი აუსტენიტის მიღება. ამ მიზნით ქვევებტეოდურ ფოლადს ახურებენ Ac_3 კრიტიკული წერტილის (GS ხაზი Fe-C დიაგრამაზე) ზემოთ $(30-50)^{\circ}C$ -ით, აყოვნებენ ნაკეთობის განივკვეთში ტემპერატურის გათანაბრებამდე და შემდეგ ნელი სინქარით აცივებენ. მოწვის შემდეგ არასასურველი სტრუქტურა წვრილმარცვლოვანი ფერიტ-პერლიტური სტრუქტურით იცვლება მისთვის დამახასიათებელი თვისებებით. ასეთი რეჟიმით მოწვას სრული მოწვა ეწოდება.

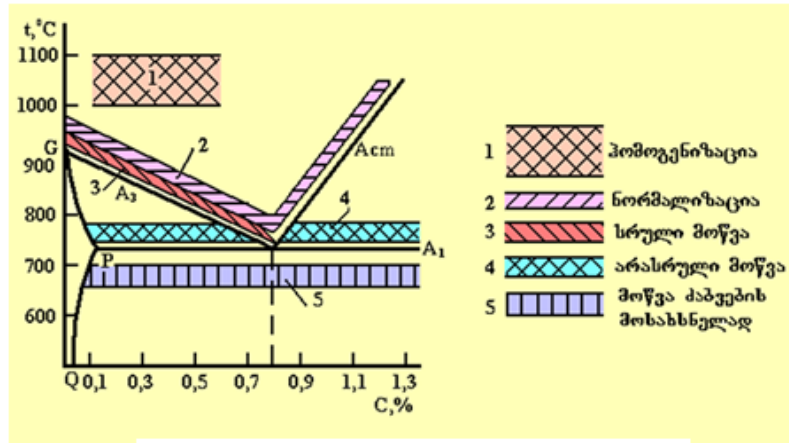


სურ. 6.3. მარცვლოვანი პერლიტი. $\times 500$

ზევებტეოდურ ფოლადს ძირითადად არასრული მოწვა უტარდება. ამ შემთხვევაში ნაკეთობას ახურებენ Ac_1 (PSK ჰორიზონტალი Fe-C დიაგრამაზე) ტემპერატურის ზემოთ $(740-770)^{\circ}C$ -მდე და დაყოვნების შემდეგ ნელა აცივებენ. მოწვის შემდეგ ცემენტიტი ფირფიტოვანის ნაცვლად მომრგვალებულ ფორმას ღებულობს. ასეთ სტრუქტურას მარცვლოვან პერლიტს უწოდებენ (სურ. 6.3), ხოლო პროცესს – სფეროიდიზაციას. მარცვლოვანი პერილტი ფირ-

ფიტოვანთან შედარებით ნაკლები სისალითა და სიმტკიცით, მაგრამ გაზრდილი პლასტიკურობითა და სიბლანტით ხასიათდება. სფეროიდიზაციას განსაკუთრებით ხშირად საიარაღო ნახშირბადიან ფოლადებს უტარებენ.

ნორმალიზაცია არსებითად სრული მოწვის სახესხვაობაა და იმაში მდგომარეობს, რომ Ac_3 (Ac_{cm} , SE ხაზი Fe-C დიაგრამაზე) $(30-50)^{\circ}C$ ტემპერატურამდე გახურებისა და დაყოვნების შემდეგ ნაკეთობას მშვიდ ჰაერზე აცივებენ. ნორმალიზაციის მიზანია სხმული, ნაჭედი ან ნატვიფრი ნაკეთობის მსხვილმარცვლოვანი სტრუქტურის შეცვლა წვრილმარცვლოვანით. 6.4 სურათზე წარმოდგენილია მოწვის ტემპერატურული არეები.

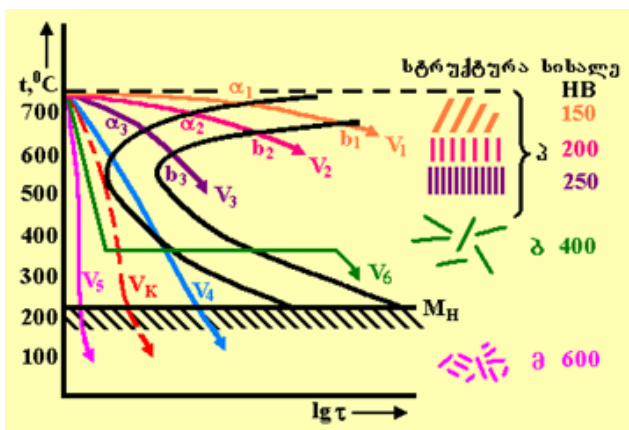


სურ. 6.4. მოწვის ტემპერატურული არეები

6.2. ფოლადის წრთობა

წრთობის მიზანია ნაკეთობის სისაღის, სიმტკიცისა და ცვეთამდებობის გაზრდა. ამ მიზნით ნაკეთობას ახურებენ ფაზური გარდაქმნების ტემპერატურის ზემოთ, აყოვნებენ და გადიდებული სიჩქარით აცივებენ, რა დროსაც ყალიბდება არაწონასწორული სტრუქტურა მისთვის დამახასიათებელი გაზრდილი სისაღისა და სიმტკიცის მახასიათებლებით.

როგორც ჩვენთვის უკვე ცნობილია, აუსტენიტი ოთახის ტემპერატურამდე მდგრადობას არ ინარჩუნებს და გაცივების პროცესში პერლიტურ გარდაქმნას განიცდის. გარდაქმნის შედეგად ფოლადში ჩამოყალიბებული სტრუქტურების ხასიათსა და თვისებებს გარდაქმნის ტემპერატურა (გაცივების სიჩქარე) განსაზღვრავს. რადგან აუსტენიტის დაშლა დროში მიმდინარეობს, პროცესს აუსტენიტის იზოთერმული გარდაქმ-



სურ. 6.5. აუსტენიტის იზოთერმული გარდაქმნის დიაგრამა განუწყვეტელი გაცივების სიჩქარის მრუდებით

ნის დიაგრამასთან კავშირში განიხილავენ, რომლის სქემა 6.5 სურათზეა წარმოდგენილი.

a მრუდი არის აუსტენიტის გარდაქმნის დაწყების, ხოლო *b* მრუდი – გარდაქმნის დამთავრების მრუდი. აქედან გამომდინარე, *a* მრუდის მარცხნივ შენარჩუნებულია გადაცივებული აუსტენიტი, ხოლო *b* მრუდის მარჯვნივ გვაქვს გარდაქმნის პროდუქტები. აუს-

ტენიტის დაშლა ამ ორ მრუდს შორის მიმდინარეობს. სურათზე გაცივების მრუდები – $V_1 < V_2 < V_3 < V_4 < V_5$.

ნელი სიჩქარით გაცივების შემთხვევაში (V_1 მრუდი, სურ. 6.5) a_1 და b_1 წერტილების შესაბამის ტემპერატურებზე ($700-650^{\circ}\text{C}$) დაიწყება და დამთავრდება აუსტენიტის გარდაქმნა, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ფერიტისა და ცემენტიტის უხეში აგებულების მიკრომექანიკური ნარევი, რომელსაც პერლიტი ეწოდება. იგი დაბალი სისაღით ხასიათდება აუსტენიტის დაშლის სხვა პროდუქტებთან შედარებით. კოლონიების ორფაზა აგებულება კარგად ჩანს 6.6 ა სურათზე წარმოდგენილი მიკროსტრუქტურიდან.

უფრო მაღალი სიჩქარით გაცივებისას (V_2, V_3) მრუდები აუსტენიტის დაშლის დიაგრამის ხაზებს უფრო დაბალ ტემპერატურებზე გადაკვეთს ($a_2, b_2, \sim 650-600^{\circ}\text{C}; a_3, b_3, \sim 600-500^{\circ}\text{C}$). შესაბამისად, წარმოიქმნება სულ უფრო წერილფირფიტოვანი დაშლის პროდუქტები – სორბიტი და ტროსტიტი (სურ. 6.6, ბ, გ), რომლებიც პერლიტთან შედარებით უფრო გაზრდილი სისაღით ხასიათდება. პერლიტს, სორბიტსა და ტროსტიტს პერლიტური ოჯახის სტრუქტურებს უწოდებენ.



სურ. 6.6. პერლიტური ოჯახის სტრუქტურები. ა – პერლიტი; ბ – სორბიტი ($\times 5000$); გ – ტროსტიტი ($\times 15000$)

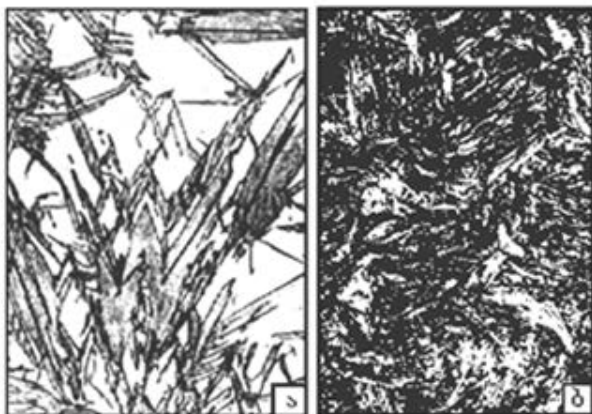
თუ ფოლადის გაცივება დიდი სიჩქარით მიმდინარეობს (V_5 , სურ. 6.5), მისი მრუდი იზოთერმული დიაგრამის ხაზებს არ გადაკვეთს. ეს იმას ნიშნავს, რომ ასეთი სიჩქარით გაცივებისას აუსტენიტის გარდაქმნა დიფუზიური მექანიზმით (პერლიტური ოჯახის სტრუქტურების წარმოქმნით) არ ხდება. გადაცივებული აუსტენიტი მთლიანად აღმოჩნდება შენარჩუნებული M_H ტემპერატურამდე, რომლის ქვემოთაც იგი არადიფუზიური ე.წ. მარტენსიტული მექანიზმით განიცდის გარდაქმნას.

მარტენსიტული მექანიზმით გარდაქმნის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ აუსტენიტურ მდგომარეობამდე გახურებული ფოლადის დიდი სიჩქარით გაცივების შემთხვევაში (მაგალითად, წყალში), ალოტროპიული გარდაქმნა $\gamma \rightarrow \alpha$ მიმდინარეობს,

მაგრამ რადგან დიფუზური პროცესი დამუხრუჭებულია, ნახშირბადი ვერ გამოდის α რკინის კრისტალური გისოსიდან და იძულებით რჩება მასში ჩანერგილი იმ რაოდენობით, რამდენსაც ფოლადი შეიცავს. ამგვარად ყალიბდება ნახშირბადის გადაჯერებული მყარი ხსნარი რკინის α მოდიფიკაციაში, რომელსაც მარტენსიტი ეწოდება. მარტენსიტი ხასიათდება მაქსიმალური სისაღით გარდაქმნის სხვა პროდუქტებთან შედარებით.

გაცივების მინიმალურ სიჩქარეს, რომლის დროსაც არ ხდება აუსტენიტის დაშლა პერლიტური ოჯახის სტრუქტურების წარმოქმნით და აუსტენიტიდან მარტენსიტი მიიღება, წრთობის კრიტიკული სიჩქარე ეწოდება. იგი მხებია აუსტენიტის იზოთერმული დაშლის დიაგრამის a მრუდთან (V_k , სურ. 6.5).

მარტენსიტული სტრუქტურა ფოლადებში ძირითადად ფირფიტოვანია. მიკროსკოპის ზედაპირზე მარტენსიტის ფირფიტები განივი კვეთით გამოდის და ნემსის ფორმა აქვს (სურ. 6.7). ამიტომ, მასალათმცოდნეობაში მარტენსიტული სტრუქტურის დასახასიათებლად მიღებულია ტერმინები: „მსხვილნემსა მარტენსიტი“, „წვრილნემსა მარტენსიტი“. რაც უფრო წვრილმარცვლოვანია საწყისი აუსტენიტი, მით უფრო წვრილნემსაა მისგან ჩამოყალიბებული მარტენსიტი.

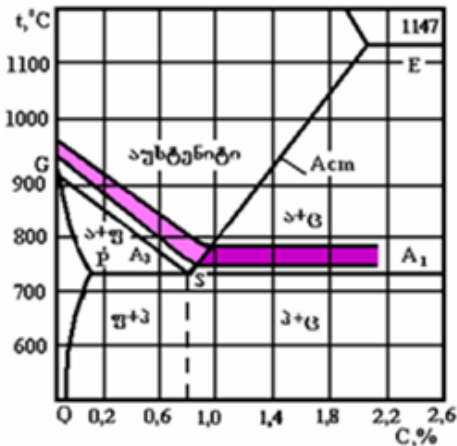


სურ. 6.7. მარტენსიტული სტრუქტურა ნახშირბადუხვ (ა, $\times 1500$) და საშუალონახშირბადიან (ბ, $\times 500$) ფოლადებში

დასასრულ, თუ აუსტენიტის დაშლა იზოთერმულ პირობებში (მუდმივ ტემპერატურაზე) მოხდა დიაგრამის მუხლს ქვემოთ, მაგრამ მარტენსიტული გარდაქმნის ინტერვალის ზემოთ (V_6 რეჟიმი, სურ. 6.5), ჩამოყალიბდება ტროსტიტთან შედარებით კიდევ უფრო წვრილდისპერსიული ფერიტისა და ცემენტიტის მიკრომექანიკური ნარევი, რომელსაც ბენიტი ეწოდება. მისი სისაღე საგრძნობლად აღემატება პერლიტური ოჯახის სტრუქტურების სისაღეს.

ფოლადის წრთობისათვის გახურების ტემპერატურა რკინა-ნახშირბადის დიაგრამის მიხედვით შეირჩევა (სურ. 6.8) შემდეგი მოსაზრებიდან გამომდინარე: წრთობის წინ გახურების მიზანია ფერიტ-პერლიტური

(ქვევტექტოიდური ფოლადებისათვის) სტრუქტურის გადაყვანა აუსტენიტში. ამისათვის ქვევტექტოიდურ ფოლადს ახურებენ $Ac_3+(30-50)^{\circ}C$ ტემპერატურამდე, აყოვნებენ წინასწარ შერჩეული დროის განმავლობაში და წყალში აცივებენ, რაც მარტენსიტული სტრუქტურის ჩამოყალიბებას უზრუნველყოფს. ერთფაზა აუსტენიტური მდგომარეობიდან ნაკეთობის წრთობას სრული წრთობა ეწოდება.



სურ. 6.8. ნახშირბადიანი ფოლადის წრთობის ტემპერატურული ინტერვალი

თუ ზვევტექტოიდურ ფოლადს წრთობის წინ გავახურებთ მხოლოდ Ac_1 ტემპერატურის ზემოთ $(30-50)^{\circ}C$ -ით, სტრუქტურაში აუსტენიტთან ერთად შემონახული აღმოჩნდება მეორეული ცემენტიტიც. წყალში წრთობის შემდეგ აუსტენიტი მარტენსიტს მოგვცემს. ამდენად, ოთახის ტემპერატურაზე ფიქსირებული სტრუქტურა შედგენილი იქნება მარტენსიტისა და ცემენტიტისაგან. ასეთი რეჟიმით წრთობას არასრულს ეწოდებენ. რადგან ცემენტიტის თანხლება (მისი

სისალეა 800 HB) არა თუ აუარესებს ფოლადის თვისებებს, არამედ ზრდის მის სისალესა და ცვეთამდებობას, ზვევტექტოიდურ ფოლადებს ყოველთვის არასრულ წრთობას უტარებენ.

6.3. მოშვება

მოშვება თერმული დამუშავების საბოლოო სახეა და ყოველთვის წრთობის შემდეგ ტარდება. ნაწრთობი ნაკეთობის საბოლოო თვისებებს მოშვების ტემპერატურა აყალიბებს.

მოშვების დროს ხდება ნაკეთობის გახურება A_1 ტემპერატურის ქვემოთ (სურ. 6.8), დაყოვნება გარკვეული დროის განმავლობაში და გაცივება.

პრაქტიკულად მოშვების სამ სახეობას იყენებენ:

- ა. დაბალ მოშვებას – გახურება $150-200^{\circ}C$ -მდე;
- ბ. საშუალო მოშვებას – გახურება $300-500^{\circ}C$ -მდე;
- გ. მაღალ მოშვებას – გახურება $500-700^{\circ}C$ -მდე.

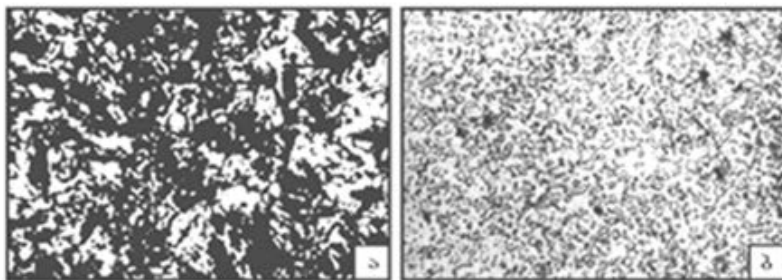
დაბალი მოშვების მიზანია მხოლოდ ნარჩენი ძაბვების მოხსნა რაიმე მნიშვნელო-

ვანი სტრუქტურული გარდაქმნების გარეშე. სისაღე თითქმის უცვლელი რჩება, ძაბვები კი მოიხსნება. დაბალ მოშვებას ძირითადად მჭრელ და საზომ იარაღებს უტარებენ, აგრეთვე ისეთ ნაკეთობას, სადაც აუცილებელია მაღალი სისაღე, სიმტკიცე და ცვეთა-მდეგობა.

საშუალო მოშვება ძირითადად ზამბარებსა და რესორებს უტარდება. ფოლადი დებულობს მაღალ დრეკად თვისებებს. მოშვების შემდეგ გაცივება შეიძლება წყალში განხორციელდეს. ასეთ შემთხვევაში ზედაპირულ შრეებში მკუმშავი ნარჩენი ძაბვები წარმოიქმნება, რაც ზრდის ზამბარის დაღლილობისადმი გამძლეობას.

მაღალი მოშვების მიზანია წრთობით მიღებული სტრუქტურის ისეთნაირი შეცვლა, რომ სისაღე და სიმტკიცე რამდენადმე შემცირდეს, მაგრამ სიბლანტე და პლასტიკურობა – გაიზარდოს. მოშვების ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად სისაღისა და სიმტკიცის მახასიათებლები მცირდება, ხოლო პლასტიკურობა და სიბლანტე – მატულობს. მარტენსიტზე წრთობას და მაღალ მოშვებას გაუმჯობესება ეწოდება.

მოშვების პროდუქტები – მოშვების ტროსტიტი და მოშვების სორბიტი (სურ. 6.9) ერთმანეთისგან განსხვავდება ცემენტიტის დისპერსიულობითა და ფერიტის რეკრისტალიზაციის ხარისხით, რაც ძირითადად ფოლადის მექანიკურ მახასიათებლებზე ახდენს გავლენას. უშუალოდ აუსტენიტის დაშლის შედეგად მიღებული ფირფიტოვანი სტრუქტურებისაგან განსხვავებით, მოშვების სტრუქტურები მარცვლოვანი აგებულებით ხასიათდება (სურ. 6.9, ბ), რაც მათ დიდ უპირატესობას ანიჭებს თვისებების კომპლექსის თვალსაზრისით – კარგად არის შეხამებული სისაღე, სიმტკიცე და დარტყმითი სიბლანტის მაჩვენებლები.



სურ. 6.9. მოშვების ტროსტიტი (ა) და მოშვების სორბიტი (ბ). x1000

ლეგირებული ფოლადი

ჩვეულებრივი ნახშირბადიანი ფოლადი თავისი თვისებებით სრულად ვერ აკმაყოფილებს თანამედროვე ტექნიკის სულ უფრო მზარდ მოთხოვნებს. ამიტომ ფართოდ მიმართავენ ნახშირბადიანი ფოლადის თვისებათა შეცვლას ლეგირების გზით.

7.1. მალეგირებელი ელემენტების გავლენა ფოლადის თვისებებზე

ფოლადის თვისებების შეცვლის ხასიათი და მიმართულება დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორ ურთიერთობაშია მალეგირებელი ელემენტი რკინასა და ნახშირბადთან. თუ ლეგირებული ფოლადების ყველა ღირსებას მოვუყრით თავს, შემდეგ ზოგად სურათს მივიღებთ:

1. მალეგირებელი ელემენტები იწვევს ფერიტის განმტკიცებას, რაც იძლევა ფოლადის თვისებათა გაუმჯობესების შესაძლებლობას იმ შემთხვევაში, როცა სტრუქტურაში ფერიტი დიდი რაოდენობით არის წარმოდგენილი;

2. მალეგირებელი ელემენტების გავლენით უფრო მაღალი სიმტკიცის ფოლადის მიღებაა შესაძლებელი, რაც მანქანათა ნაწილების წონის შემცირებისა და ლითონის ეკონომიის საშუალებას იძლევა;

3. მალეგირებელი ელემენტები ზრდის აუსტენიტის მდგრადობას, ანუ აძნელებს მის დაშლას, რაც საშუალებას იძლევა წრთობა წყლის ნაცვლად ზეთში გაწარმოთ. ეს მნიშვნელოვნად ამცირებს წრთობის ისეთ დეფექტებს, როგორცაა დაბრეცა ან დაბზარვა;

4. მალეგირებელი ელემენტები აფერხებს მოშვების დროს მიმდინარე გარდაქმნებს და ამაღლებს ამ გარდაქმნების ტემპერატურას, ანუ ფოლადი მდგრადი ხდება მოშვების მიმართ. ეს ლეგირებული ფოლადის უფრო მაღალი ტემპერატურის პირობებში გამოყენების საშუალებას იძლევა;

5. უმრავლეს შემთხვევაში, მალეგირებელი ელემენტები უზრუნველყოფს განსაკუთრებით წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის მიღებას. ეს, სხვა თანაბარ პირობებში, ზრდის დარტყმითი სიბლანტის მახასიათებლებს და დაბლა სწევს მყიფე მდგომარეობაში გადასვლის ტემპერატურას;

6. კარბიდშემქმნელი მალეგირებელი ელემენტების თანხლებით ფოლადი იძენს

მაღალ სისაღეს, ცვეთამედევობას და თბომედევობას, რაც ლეგირებულ ფოლადებს უპირატესობას ანიჭებს მჭრელი იარაღის დასამზადებლად;

7. მაღლეგირებელი ელემენტები, რომლებიც ფოლადის გაცივების პროცესში მყარი სხნარიდან მეორეული, წვრილდისპერსიული ჩანართების სახით გამოიყოფა, მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ფოლადის სიმტკიცეს და მხურვალსიმტკიცეს;

8. მაღლეგირებელი ელემენტების გავლენით ფოლადი იძენს კიდევ მთელ რიგ ღირსშესანიშნავ თვისებებს – უჟანგაობას, ელექტროწინააღობას, მაგნიტურ, თბურ, დრეკად და სხვა თვისებებს, რაც მას შეუცვლელს ხდის სპეციალური დანიშნულებით გამოყენებისათვის.

7.2. ლეგირებული ფოლადის კლასიფიკაცია და ნიშანდგება

ლეგირებული ფოლადის კლასიფიკაციას აწარმოებენ სტრუქტურის, ქიმიური შედგენილობისა და დანიშნულების მიხედვით.

მაღლეგირებელი ელემენტების შემცველობის მიხედვით არჩევენ მცირედლეგირებულ ფოლადს, სადაც მაღლეგირებელი ელემენტების ჯამი არ აღემატება 2,5%; საშუალოდლეგირებულ ფოლადს მაღლეგირებელი ელემენტების შემცველობით 2,5-10%-ის ზღვრებში და უხვად ლეგირებულს, სადაც ელემენტების ჯამური შემცველობა აღემატება 10%.

მომწვარ მდგომარეობაში ჩამოყალიბებული სტრუქტურის მიხედვით ოთხი კლასის ფოლადს არჩევენ:

1. ქვევტექტოიდურს სტრუქტურით ფერიტი+პერლიტი;
2. ვეტექტოიდურს სუფთა პერლიტური სტრუქტურით;
3. ზევეტექტოიდურს, რომლის სტრუქტურაა პერლიტი+კარბიდი (ცემენტიტთან ერთად ფოლადი შეიცავს სპეციალურ კარბიდებსაც);
4. ლედებურიტულს, რომლის სტრუქტურაა პერლიტი+ლედებურიტი.

ნორმალისებულ მდგომარეობაში ჩამოყალიბებული სტრუქტურის მიხედვით ლეგირებული ფოლადი სამ კლასად იყოფა:

1. პერლიტური კლასის ფოლადებად.
2. მარტენსიტული კლასის ფოლადებად. ზოგიერთი მაღლეგირებელი ელემენტის გავლენით ჰაერზე გაცივების სიჩქარე წრთობის კრიტიკულ სიჩქარეს ეთანადება, რაც მარტენსიტული სტრუქტურის მიღებას უზრუნველყოფს.

3. აუსტენიტური კლასის ფოლადებად. შესაბამისი მალეგირებელი ელემენტების ზეგავლენით მარტენსიტული გარდაქმნის საწყისი ტემპერატურა ოთახის ტემპერატურაზე ქვემოთ გადაადგილდება, რის გამოც ჰაერზე გაცივების შემდეგ ოთახის ტემპერატურაზე აუსტენიტი დაუშლელად აღმოჩნდება შემონახული.

ფოლადის ლეგირებისათვის ამჟამად მენდელეევის პერიოდული სისტემის მრავალი ელემენტი გამოიყენება, როგორცაა მანგანუმი, ქრომი, სილიციუმი, ვოლფრამი, ვანადიუმი, ტიტანი, მოლიბდენი, ნიკელი, კობალტი, ბორი და სხვა. სილიციუმი და მანგანუმი მალეგირებელ ელემენტებს მიეკუთვნება იმ შემთხვევაში, თუ მათი რაოდენობა აღემატება ჩვეულებრივ ფოლადში დასაშვებ ზღვარს.

ფოლადის ლეგირება ერთდროულად ერთი ან რამდენიმე ელემენტით არის შესაძლებელი. კლასიფიკაცია ქიმიური შედგენილობის მიხედვით ხდება გამოყენებული მალეგირებელი ელემენტების შესაბამისად. ამ თვალსაზრისით არჩევენ: ქრომიან, ქრომნიკელიან, ქრომმანგანუმიან, ქრომმანგანუმსილიციუმიან და ა.შ. ფოლადებს.

დანიშნულების მიხედვით ლეგირებული ფოლადები სამ ჯგუფად იყოფა:

1. საკონსტრუქციო (სამანქანო) ფოლადებად, რომლებიც განკუთვნილია მანქანათა ნაწილების და აგრეთვე სამშენებლო კონსტრუქციების დასამზადებლად;

2. საიარაღო ფოლადებად – მჭრელი, საზომი და დარტყმით-სატვიფრავი იარაღებისათვის;

3. სპეციალური დანიშნულების ფოლადებად, რომლებსაც ახასიათებს რაიმე განსაკუთრებული თვისება.

ლეგირებული ფოლადის ნიშანდება ხდება ნახშირბადის რაოდენობისა და მალეგირებელი ელემენტების მიხედვით.

მოქმედი სტანდარტების შესაბამისად, მალეგირებელი ელემენტების აღნიშვნისათვის შემდეგი რუსული ასოებია შემოღებული: ქრომი – X, სილიციუმი – C, კობალტი – K, ტიტანი – T, ნიკელი – H, მოლიბდენი – M, ვოლფრამი – B, ნიობიუმი - Б, მანგანუმი - Г, სპილენძი - Д, ვანადიუმი - Ф, ალუმინი - Ю, ფოსფორი – П, აზოტი – А (იწერება მარკის შიგნით, რადგან მარკის წინ სიმბოლო А აღნიშნავს საავტომატე ფოლადს, ხოლო მარკის ბოლოში – ფოლადის მაღალხარისხოვნებას).

მარკაში პირველ ადგილზე იწერება რიცხვი, რომელიც აღნიშნავს ნახშირბადის რაოდენობას პროცენტის მეასედებით ან მეათედებით. თუ რიცხვი მარკის წინ არ წერია, ეს არ მიუთითოებს ნახშირბადის არარსებობაზე, უბრალოდ, ნახშირბადის რაოდენობას პროცენტის მეასედებით ან მეათედებით.

დენობა უნდა ინახოს სტანდარტში.

ნახშირბადის შემცველობის აღმნიშვნელი რიცხვის შემდეგ იწერება მალეგირებელი ელემენტის სიმბოლო, ხოლო შემდეგ – რიცხვი, რომელიც მიუთითებს მის შემცველობას პროცენტობით. თუ რიცხვი არ წერია, ეს იმას ნიშნავს, რომ მალეგირებელი ელემენტის რაოდენობა 1-1,5%-ის ზღვრებშია. მაგალითად, ფოლადი 40X შეიცავს 0,8-1,1% ქრომს, ხოლო ფოლადი X13 - საშუალოდ 13% ქრომს. 30XГC ფოლადში შედის 0,32%C, 0,91%Cr, 0,95%Mn, და 0,87%Si.

ლეგირებული ფოლადების ნიშანდებაში გვხვდება გარკვეული გადახრები ზემოთაღწერილი სისტემიდან. მაგალითად, ფოლადი ბურთულა საკისრებისათვის აღინიშნება ასოთი Ш (Шарикоподшипниковая) – ШХ6, ШХ9, ШХ15. ამასთან, ფოლადები შეიცავს არა 6, 9 და 15% ქრომს, არამედ საშუალოდ 0,6, 0,9 და 1,5%; Э ასოთი აღინიშნება ელექტრომაგნიტური დანიშნულების ფოლადი, E ასოთი – განსაკუთრებული მაგნიტური თვისებების მქონე ფოლადი, P-ით – სწრაფმჭრელი ფოლადი.

7.3. საკონსტრუქციო ლეგირებული ფოლადი

მცირედ ლეგირებული ფოლადი. ნახშირბადმცირე და მცირედ ლეგირებულ ფოლადს სამშენებლო ფოლადები მიეკუთვნება. მომხმარებელს მიეწოდება ფურცლების, მილებისა და სორტული ნაგლინის სახით. გამოიყენება ისეთ საპასუხისმგებლო კონსტრუქციებში, როგორცაა შენობების ჩონჩხედი, ხიდები, ანძები, მძლავრი ამწეები, სატრანსპორტო საშუალებანი, აირისა და ნავთობის მილგაყვანილობა.

ზემოთაღნიშნული კონსტრუქციების დამზადება ძირითადად შედუღებით ხდება. შედუღებადობის მოთხოვნა კი ზღუდავს ფოლადში ნახშირბადის რაოდენობას, რადგან რაც უფრო მეტია ფოლადში ნახშირბადი, მით უფრო ცუდი შედუღებადობით ხასიათდება იგი. ამიტომ სამშენებლო ფოლადში ნახშირბადის რაოდენობა შეზღუდულია 0,2-0,25%-მდე. ნახშირბადის შემცირებით გამოწვეული სიმტკიცის მახასიათებლების დადაბლების კომპენსაცია სწორედ მალეგირებელი ელემენტების დამატებით ხდება. ამ ჯგუფის ფოლადებს უმეტეს შემთხვევაში თერმულ დამუშავებას არ უტარებენ. სამშენებლო ფოლადებს მიეკუთვნება: 09Г2, 09Г2Д, 09Г2С, 15Г2СФД და სხვა.

სამანქანო ფოლადი. სამანქანო ფოლადი განკუთვნილია მანქანათა ნაწილების, ტენოლოგიური და სხვა მოწყობილობისა და კვანძების დასამზადებლად. ფოლადები

უნდა უზრუნველყოფდეს თვისებათა დიდ მრავალფეროვნებას, რის შესაძლებლობასაც მათი თერმული დამუშავება იძლევა. ამ ჯგუფის ფოლადებს მიეკუთვნება ქრომიანი, მანგანუმიანი, ქრომმანგანუმიანი, ქრომმოლიბდენიანი და კიდევ სხვა მრავალი ფოლადი. მათგან დამზადებული ნაკეთობა გამოიყენება როგორც ნაწრობ და დაბალმოშვებულ, ისე ნაწრობ და მაღალმოშვებულ მდგომარეობაში.

ნაწრობ და დაბალმოშვებულ მდგომარეობაში ფოლადს იყენებენ მაშინ, როდესაც დეტალს მოეთხოვება მაღალი ზედაპირული სისალე და ცვეთამდებობა, ხოლო ნაწრობ და მაღალმოშვებულ მდგომარეობაში – ისეთი დეტალების დასამზადებლად, რომლებისთვისაც მთავარია საერთო მაღალი სიმტკიცე საკმაოდ დიდ პლასტიკურობასა და სიბლანტესთან ერთად. ასეთი თვისებები მიიღწევა 820-880°C-დან წრთობით და 500-550°C-ზე მოშვებით (გაუმჯობესება). გაუმჯობესებული ფოლადისაგან მზადდება მანქანათა ნაწილების და ტექნოლოგიური მოწყობილობების დიდი უმრავლესობა. ეს ფოლადები საშუალონახშირბადიანია (0,3-0,5%C), ქიმიური შედგენილობის მიხედვით კი – მცირედ ან საშუალოდ ლეგირებული: 30X, 40X, 30XГСА, 40XH, 40MΦA, 40XH2MA.

კოროზიამდებო ფოლადები. ქიმიური შედგენილობის მიხედვით კოროზიამდებო (უჟანგავი) ფოლადები ორ ჯგუფად იყოფა: ქრომიანი და ქრომნიკელიანი.

ქრომიან ფოლადებში ქრომის რაოდენობა უნდა აღემატებოდეს 12%. ასეთი ფოლადი მდგრადია ატმოსფეროში, ზღვის წყალში, მრავალ მჟავასა და ტუტეში. ამ ჯგუფის ფოლადებს მიეკუთვნება 12X13, 20X13, 30X13 და 40X13 ფოლადები. პირველი ორი მარკა გამოიყენება ნაწრობ და მაღალმოშვებულ, დანარჩენები – ნაწრობ და დაბალმოშვებულ მდგომარეობაში.

30X13 ფოლადისაგან ძირითადად ამზადებენ მანქანებისა და ტექნოლოგიური მოწყობილობის ნაწილებს, ხოლო 40X13 ფოლადისაგან – მჭრელ, საზომ და ქირურგიულ იარაღს.

ქრომნიკელიანი ფოლადი უფრო მაღალი უჟანგაობით ხასიათდება. ამ ჯგუფის ტიპური წარმომადგენელია 12X18H9T და 17X18H9T ფოლადები. ისინი გამოიყენება თერმული დამუშავების (წრთობის) შემდეგ, რა დროსაც ყალიბდება ერთგვაროვანი აუსტენიტური სტრუქტურა. ტიტანისა და ნიობიუმის დამატება მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს ქრომნიკელიანი ფოლადის კოროზიულ მდგომარეობას.

მრეწველობაში ფართო გამოყენებას პოულობს აგრეთვე 15X17AГ14, 15X20Г9AH4, 10X17H13M2T და 09X15H8IO შენადნობები.

მხურვალმდეგი და მხურვალმტკიცე ფოლადები და შენადნობები. მხურვალმდეგობა (ხენჯმდეგობა) ეწოდება ლითონის უნარს, წინააღმდეგობა გაუწიოს ჟანგვას მაღალ ტემპერატურაზე.

ლითონები ჟანგბადის მიმართ გარკვეული ნათესაობით ხასიათდება, რაც მათი ზედაპირის ჟანგვას განაპირობებს. თუ ზედაპირზე წარმოქმნილი პირველი ჟანგეულის ფენა მკვრივი და მდგრადია, ჟანგბადის შემდგომი შეჭრა ლითონის სიღრმეში ძნელდება. მაღალ ტემპერატურაზე დიფუზური პროცესები გაცილებით უფრო გააღვილებულია. გარდა ამისა, შესაძლებელია ჟანგეულის ფურჩი დასკდეს და ინტენსიური ჟანგვა შიგა ფენებშიც განვითარდეს. აქედან გამომდინარე, მხურვალმდეგობის გასაზრდელად ცდილობენ ლითონის ზედაპირზე ისეთი მტკიცე ჟანგეულის ფურჩის შექმნას, რომელიც მაღალ ტემპერატურაზე მთლიანობას და ძირითად ლითონთან მტკიცე კავშირს შეინარჩუნებს. ასეთებია Cr₂O₃, Al₂O₃, SiO₂. აქედან გამომდინარე, მხურვალმდეგი ფოლადებისათვის ძირითად მალეგირებელ ელემენტებს ქრომი, ალუმინი და სილიციუმი წარმოადგენს. მათგან უპირატესი მნიშვნელობა აქვს ქრომს, რადგან ალუმინი და სილიციუმი აუარესებს ფოლადის ტექნოლოგიურ თვისებებს. 5%Cr უკვე უზრუნველყოფს მხურვალმდეგობას 700°C ტემპერატურაზე, 7% - 800°C-ზე, 15% - 900°C-ზე, 20% - 1000°C-ზე, ხოლო 25% - 1100°C-ზე. სილიციუმისა (1,5-2,5%) და ალუმინის (2,5%-მდე) დამატებით მხურვალმდეგობა იზრდება 1200°C-მდე, ხოლო ნიკელის დამატებით იგი 1400°C აღწევს.

მხურვალმდეგ ფოლადებს მიეკუთვნება: 12X17, 12X18H9, 10X23H18, 10X45IO, XH78T. მათგან მზადდება საქვაბე დანადგარები, მილები, ტუმბოები, ურდულეები და სხვა.

მხურვალმტკიცობა ეწოდება ლითონის უნარს, შეინარჩუნოს სიმტკიცის მახასიათებლები მაღალი ტემპერატურის პირობებში (500°C და ზევით). მხურვალმტკიცე ფოლადს, უპირველეს ყოვლისა, უნდა ახასიათებდეს მხურვალმდეგობა და შემდეგ მაღალი სიმტკიცე, რაც რთული ლეგირებით მიიღწევა.

მხურვალმტკიცე ფოლადებს მიეკუთვნება პერლიტური კლასის ფოლადები 16M, 15M, 12X1MΦ და სხვა (საექსპლუატაციო ტემპერატურა არ აღემატება 580°C); მარტენსი-

ტული და მარტენსიტფერიტული კლასის ფოლადები 12X2MΦCP, 12X2MΦБ, 15X11MΦ, რომელთა მუშა ტემპერატურაა 600°C და აუსტენიტური კლასის ფოლადები, რომლებიც უფრო მაღალი მხურვალმტკიცობით ხასიათდება.

მხურვალმტკიცე შენადნობების ფუძეს ძირითადად ნიკელი და კობალტი წარმოადგენს. ნიკელის შენადნობების ტიპური წარმომადგენელია ნიმონიკები, მაგალითად, H77TiO, XH70MBTiO. ნიმონიკი განიცდის დაძველებას (წრობა 1050-1150°C-დან ჰაერზე და დაძველება 700-750°C-ზე). სამუშაო ტემპერატურაა 950-1000°C.

კობალტის შენადნობების წარმომადგენელია ვიტალიუმის ტიპის სამსხმელო შენადნობი (0,2%C, 1,5-3,5%Ni, 25-30%Cr, 4,5-6,5%Mo, 2%Fe, 0,3%Mn, 0,6%Si. დანარჩენი კობალტია). მისი მუშა ტემპერატურაა 900-1000°C.

ფოლადები მჭრელი იარაღისათვის. მჭრელ იარაღს, გარდა მაღალი სისაღისა, მოეთხოვება ცვეთამდეგობა და ზოგიერთ შემთხვევაში, ამ თვისებების შენარჩუნება მაღალ ტემპერატურამდე, ანუ თბომდეგობა.

საყოფაცხოვრებო ტექნიკაში მჭრელი იარაღების დასამზადებლად ფართოდ გამოიყენება მცირედ ლეგირებული ფოლადები: 9XC, X, XBF, XB5 და სხვა. მათი თბომდეგობა არ აღემატება 220°C.

მჭრელი იარაღის დასამზადებლად მრეწველობაში ფართოდაა გავრცელებული სალი ლითონკერამიკული მასალები. ამ მიზნით გამოიყენება მაღალი სისაღისა და თერმული მდგრადობის სხვადასხვა კარბიდის შეცხობილი ფხვნილები.

ვოლფრამის, ტიტანის ან ტანტალის კარბიდებისა და შემაკავშირებელი ლითონისაგან (ძირითადად კობალტი) შედგენილ კაზმს წნეხავენ საჭირო მოყვანილობის ფირფიტების სახით და აცხობენ 1500-2000°C ტემპერატურაზე.

გამოყენებული კარბიდების მიხედვით ლითონკერამიკული შენადნობები სამი ტიპისაა. პირველი შეიცავს მხოლოდ ვოლფრამის კარბიდს. მათ BK ტიპის შენადნობები ეწოდებათ (B აღნიშნავს ვოლფრამის კარბიდს, ხოლო K – კობალტს; ციფრი მიუთითებს კობალტის რაოდენობას): BK3; BK6; BK10; BK15.

მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება ვოლფრამისა და ტიტანის კარბიდის (T) შემცველი შენადნობები TK: T5K10; T15K6; T30K4 (დანარჩენი ვოლფრამის კარბიდია).

მესამე ჯგუფში შედის შენადნობები, რომლებიც შეიცავს სამი ლითონის კარბიდს,

მათ TTK ტიპის შენადნობებს მიაკუთვნებენ. რიცხვი მარკაში T ასოს შემდეგ მიუთითებს ტიტანისა და ტანტალის კარბიდების რაოდენობას ერთად: TT7K12; TT8K6; TT20K9.

სალი ლითონკერამიკული შენადნობების სისაღე აღწევს 90 HRA, ხოლო თბომედეგობა – 1000-1200⁰C. მათი მნიშვნელოვანი ნაკლია გაზრდილი სიმეიფე.

სალი შენადნობების ფირფიტა რაიმე საშუალებით მაგრდება ნახშირბადიანი ფოლადის იარაღის ტანზე.

შერადი ლითონები და შენადნობები

8.1. ალუმინი და მისი შენადნობები

მსუბუქი ლითონებიდან ალუმინს ყველაზე მეტი სამრეწველო მნიშვნელობა აქვს. მისი წარმოების მოცულობას მეორე ადგილი უკავია რკინის შემდეგ. ალუმინის დამახასიათებელ თვისებას მცირე სიმკვრივე ($\gamma=2,7\text{გ/სმ}^3$) და დაბალი დნობის ტემპერატურა (660°C) მიეკუთვნება. ალუმინი ხასიათდება დაბალი სიმტკიცით ($\sigma_{\text{მკს}}=60$ მგპა, HB 25) და გაზრდილი პლასტიკურობით ($\delta=40\%$, $\psi=85\%$). არ გააჩნია ალოტროპიული მოდიფიკაციები, კარგი თბო და ელექტროგამტარი მასალაა.

ალუმინი და მისი შენადნობები გამოირჩევა მაღალი ტექნოლოგიურობით, კარგად დეფორმირდება, მათგან ადვილად შეიძლება საკმაოდ რთული ფორმის ნაკეთობების მიღება.

ალუმინი ქიმიურად აქტიური ლითონია. მიუხედავად ამისა, იგი ჰაერზე და ზოგიერთ აგრესიულ გარემოში მეტად სუსტად განიცდის კოროზიას. ამის მიზეზია მის ზედაპირზე წარმოქმნილი ოქსიდის (Al_2O_3) მკვრივი ფურჩი, რომელიც ლითონს შემდგომი ჟანგვისაგან იცავს.

პირველადი (ტექნიკური) ალუმინის მარკა აღინიშნება A ასოთი, რომლის შემდეგ იწერება რიცხვი. იგი მიუთითებს ალუმინის სისუფთავეს მძიმის შემდეგ. მაგალითად, A995 შეიცავს 99,995% ალუმინს. განსაკუთრებული სისუფთავის ალუმინია A999; მაღალი სისუფთავისა – A995; A99; A97; A95, ხოლო ტექნიკური სისუფთავის – A85; A8; A7; ... A0. ტექნიკური ალუმინისგან ამზადებენ ფურცლებს, ძელაკებს, მავთულს.

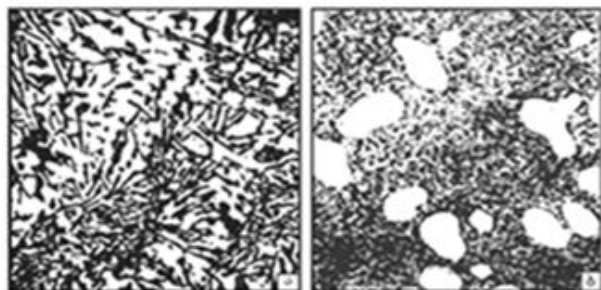
სასურველი თვისებების მისაღებად აწარმოებენ ალუმინის ლეგირებას სხვადასხვა ელემენტით. მალეგირებულ დანამატებად ყველაზე ფართოდ გამოიყენება სპილენძი, მაგნიუმი, თუთია და სილიციუმი.

ნახევარფაბრიკატების მიღების ხერხის მიხედვით ასხვავებენ ალუმინის სამსხმელო და დეფორმირებად შენადნობებს. თითოეული მათგანი, თავის მხრივ, ორ ჯგუფად იყოფა: პირველი ჯგუფის შენადნობები არ ექვემდებარება თერმულ განმტკიცებას, ხოლო მეორე ჯგუფის შენადნობების თვისებათა შეცვლა შესაძლებელია წრთობითა და შემდგომი ბუნებრივი ან ხელოვნური დაძველებით.

ალუმინის შენადნობების მარკა აღინიშნება ასოებით, რომლებიც ზოგადად მიუთითებს შენადნობის ტიპს, თვისებას, დანიშნულებას ან მდგომარეობას. მაგალითად, ასო D (დეფორმირებადი) აღნიშნავს დურალუმინის ტიპის შენადნობებს, B – მაღალმტკიცე შენადნობებს, AK – ჭედად შენადნობებს, ALI – სამსხმელო შენადნობებს. ასოების შემდეგ იწერება შენადნობის პირობითი ნომერი, რომელსაც არავითარი კავშირი არა აქვს მასალის შედგენილობასთან ან თვისებებთან. პირობით ნომერს შეიძლება მოსდევდეს სიმბოლო, რომელიც მიუთითებს შენადნობის მდგომარეობას. მაგალითად, M – რბილი, T – თერმულად დამუშავებული, H – მოპირსაღებელი, II – ნახევრადმოპირსაღებელი.

ყველა სამრეწველო ალუმინის შენადნობი შეიძლება დაიყოს აგრეთვე ალუმინისა და იმ ძირითადი მალეგირებელი ელემენტების სისტემების მიხედვით, რომლებიც შენადნობის თვისებებს განსაზღვრავს. მაგალითად, Al-Mg, Al-Cu, Al-Cu-Mn, Al-Mg-Si-Cu და ა.შ. ასეთ შემთხვევაში შენადნობის მარკას ხშირად A ასოთი აღნიშნავენ, რომელსაც მოსდევს ძირითადი მალეგირებელი ელემენტის აღმნიშვნელი სიმბოლო. მაგალითად, Al-Mn სისტემის შენადნობი აღინიშნება სიმბოლოებით AMn, Al-Mg სისტემისა – AMg და ა.შ. შემდეგ იწერება შენადნობის რიგითი ნომერი და, აუცილებლობის შემთხვევაში, შენადნობის მდგომარეობის აღმნიშვნელი ასო.

ალუმინის სამსხმელო შენადნობებიდან ყველაზე გავრცელებულია სილუმინი. იგი მიეკუთვნება Al-Si სისტემის შენადნობების რიცხვს. სილუმინი შეიცავს 12–13% სილიციუმს და სტრუქტურის მიხედვით ზევეტექტიკურ შენადნობს მიეკუთვნება. ასეთი შენადნობის სტრუქტურა შედგება ნემსისებრი აგებულების უხეში ევტექტიკისგან და პირველადი სილიციუმის ჩანართებისგან (სურ. 8.1, ა). უშუალოდ ჩასხმის წინ შენადნობში



სურ. 8.1. სილუმინის (11,7%Si) მიკროსტრუქტურა მოდიფიცირებამდე (ა) და მოდიფიცირების შემდეგ (ბ). x320

0,01%-ის რაოდენობით ნატრიუმის ან სხვა მოდიფიკატორების (მაგალითად, $2/3\text{NaF} + 1/3\text{NaCl}$ -ის ნარევის) დამატებით მკვეთრად მცირდება ევტექტიკური სილიციუმის კრისტალების ზომები, შედეგად ჩამოყალიბდება შედარებით წვრილდისპერსიული აგებულების პროდუქტები და მისი სტრუქტურა შედგენილი იქნება ღია ფერის

პირველადი ალუმინის კრისტალებისა და წვრილდისპერსიული ევტექტიკისაგან (სურ. 8.1, ბ). არამოდიფიცირებული სილუმინისათვის $\sigma_{0.2} = 140$ მგპა, $\delta = 3\%$, მოდიფიცირების შემდეგ კი $\sigma_{0.2} = 180$ მგპა, $\delta = 8\%$.

Al-Mg სისტემის შენადნობებს მიეკუთვნება: AMr1, AMr2, AMr3, AMr5 და AMr6. მაგნიუმის შემცველობა 11–12%-მდე უმნიშვნელოდ ზრდის ალუმინის სიმტკიცეს, ხოლო ფარდობითი წაგრძელება საკმაოდ მაღალ დონეზეა შენარჩუნებული. შენადნობებს ფართოდ იყენებენ შენადნული კონსტრუქციების დასამზადებლად. თვისებათა გასაუმჯობესებლად დამატებით უტარებენ ლეგირებას მანგანუმით, ქრომით, ტიტანით და ვანადიუმით.

Al-Mg სისტემის შენადნობების დადებით მხარეს მიეკუთვნება დამაკმაყოფილებელი სიმტკიცის, მაღალი პლასტიკურობის, კოროზიამდებობისა და შედუღებადობის კარგი ურთიერთშესამება.

დეფორმირებად შენადნობებს, რომლებიც თერმულ განმტკიცებას ექვემდებარება, მიეკუთვნება Al-Cu-Mg (დურალუმინები), Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg, Al-Cu--Mn და უფრო რთული სისტემის შენადნობები.

დურალუმინისაგან დამზადებულ ნაკეთობას უტარებენ წრთობას და ბუნებრივ დაძველებას. წრთობას აწარმოებენ $500 \pm 5^\circ\text{C}$ ტემპერატურიდან ცივ წყალში ღუმლიდან მაცივებელში გადატანის მინიმალური დროის უზრუნველყოფით. ყველა დურალუმინი, გარდა მცირედლეგირებული D18-ისა, ინტენსიურად განიცდის განმტკიცებას წრთობის შემდეგ ბუნებრივი დაძველების გზით.

ყველა დურალუმინი ხასიათდება კოროზიისადმი გაზრდილი მიდრეკილებით და საჭიროებს მისგან სპეციალურ დაცვას. მრეწველობაში ყველაზე გავრცელებულია დაცვის ორი ხერხი: მიტკეცა ტექნიკური ალუმინით და ელექტროქიმიური ოქსიდირება.

Al-Cu-Mn დეფორმირებადი შენადნობები (D20 და 1201) ტიტანის, ცირკონიუმისა და ვანადიუმის დანამატებით ხასიათდება მაღალი მექანიკური თვისებებით ოთახის, გაზრდილ (250°C) და კრიოგენულ (-250°C -მდე) ტემპერატურებზე. გამოირჩევა კარგი ტექნოლოგიურობით და შედუღებადობით. ორივე შენადნობს უტარდება წრთობა $535 \pm 5^\circ\text{C}$ -დან და შემდგომი დაძველება $170-190^\circ\text{C}$ -ზე 12–18 საათის განმავლობაში.

8.2. სპილენძი და მისი შენაღობები

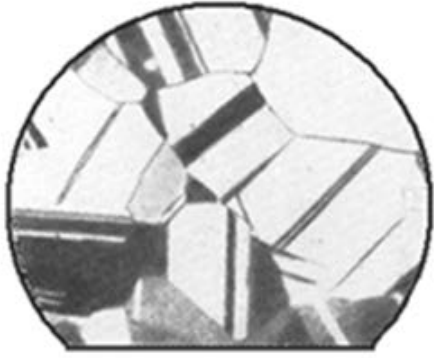
სპილენძი თავისი თვისებებით ახლოს დგას ვერცხლთან და ოქროსთან. ჰაერზე სუსტად იჟანგება, გამოირჩევა მაღალი პლასტიკურობით, ელექტრო და თბოგამტარობით. კრისტალდება წახნაგდაცენტრებულ კუბურ კრისტალურ გისოსში. არ ახასიათებს ალოტროპიული სახესხვაობები. სპილენძის დნობის ტემპერატურაა 1083°C , სიმკვრივე – $8,94 \text{ გ/სმ}^3$.

მინარევეები, რომლებსაც სპილენძი შეიცავს, ამცირებს მის ელექტროგამტარობას. ამ მიმართულებით განსაკუთრებით ძლიერად მოქმედებს ფოსფორი, დარიშხანი, სილიციუმი, რკინა, სტიბიუმი და კობალტი.

სისუფთავის მიხედვით არჩევენ რამდენიმე ხარისხის სპილენძს. სპილენძის მარკა M ასოთი აღინიშნება, რომლის შემდეგ, საჭიროების შემთხვევაში იწერება მისი გადანობის ხერხის აღმნიშვნელი ასო (MB – ვაკუუმში გადანობილი, MЭ – ელექტრონული სხივით გადანობილი) და რიცხვი. რიცხვი მარკაში მიუთითებს სპილენძის სისუფთავეს. მაგალითად, M00 მარკა შეიცავს არანაკლებ 99,99% სპილენძს; M0 – 99,95%; M1 – 99,90%; M2 – 99,7%; M3 – 99,5%; M4 – 99%. ყველაზე მაღალი სისუფთავით გამოირჩევა სპილენძი MB და MЭ, რომლებშიც მინარევეების ჯამური შემცველობა ნაკლებია შესაბამისად 0,01% და 0,005%. ზესუფთა სპილენძი ხასიათდება დაბალი სიმტკიცით და მაღალი პლასტიკურობით. მისი დროებითი წინაღობა გაგლეჯაზე $\sigma_{\text{აქს}}=200\text{მგპა}$, დენადობის ზღვარი $\sigma_{\text{ღენ}}=40-80\text{მგპა}$, ფარდობითი წაგრძელება $\delta=35\%$, ფარდობითი შევიწროება $\psi=80-95\%$.

სპილენძის მარკის აღმნიშვნელ სიმბოლოებს შეიძლება დამატებული ჰქონდეს რუსული ასოები ნ ან p, რაც, შესაბამისად, მიუთითებს, რომ სპილენძი არის უჟანგბადო ან განუჟანგული.

დეფორმირებული სპილენძისათვის დამახასიათებელია დეფორმაციის ტექსტურა, რაც იწვევს მექანიკური თვისებების ანიზოტროპიას. ძლიერად დეფორმირებულ სპილენძში რეკრისტალიზაცია $200-250^{\circ}\text{C}$ -ზე იწყება. რეკრისტალიზაციის შედეგად ყალიბდება პოლიედრული სტრუქტურა მოწვის ორეულების დიდი რაოდენობით (სურ. 8.2). სიმტკიცის მახასიათებლების შემცირება 150°C -ის ზემოთ იწყება. სარეკრისტალიზაციო მოწვის ოპტიმალური ტემპერატურაა $500-600^{\circ}\text{C}$.



სურ. 8.2. დეფორმირებული და რეკრისტალიზებული სპილენძის მიკროსტრუქტურა. x200

სუფთა სპილენძი და მისი მცირედ ლეგირებული შენადნობები გამოიყენება ელექტროტექნიკაში და ელექტროტრანსპორტზე. მაღალი თბოგამტარობის გამო, სპილენძი გამოიყენება აგრეთვე სხვადასხვა თბოგადამცემებსა და კრისტალიზატორში, როდესაც აუცილებელია სითბოს ინტენსიური გატანა დნობის ზონიდან.

სპილენძის შენადნობების წარმოებისათვის ყველაზე გავრცელებულ მალეგირებელ ელემენტებს თუთია, ალუმინი, კალა, სილიციუმი, მანგანუმი, ბერილიუმი და ნიკელი მიეკუთვნება. თითოეული მათგანი ზრდის სპილენძის სიმტკიცის მასხასიათებლებს.

სპილენძის შენადნობებს სამ ძირითად ჯგუფად ყოფენ: თითბერად, ბრინჯაოდ და სპილენძნიკელის შენადნობებად.

თითბერში ძირითად მალეგირებელ ელემენტს თუთია წარმოადგენს. თითბერის მარკა აღინიშნება ასოთი Π და ციფრით, რომელიც მიუთითებს შენადნობში სპილენძის შემცველობას. მაგალითად, თითბერი $\Pi 80$ შეიცავს 80% სპილენძს და 20% თუთიას. ასეთ შენადნობებს უბრალო თითბერს უწოდებენ.

თუ შენადნობი ლეგირებულია სხვა ელემენტებითაც, მას სპეციალურ თითბერს მიაკუთვნებენ. სპეციალური თითბერის მარკის აღნიშვნაში მითითებულია გამოყენებული მალეგირებელი ელემენტების აღმნიშვნელი სიმბოლოები: C – ტყვია, O – კალა, \mathcal{K} – რკინა, A – ალუმინი, K – სილიციუმი, $M\pi$ – მანგანუმი, H – ნიკელი. მარკის ბოლოში იწერება რიცხვები, რომლებიც მიუთითებს სპილენძისა და მალეგირებელი ელემენტების საშუალო შემცველობას (თუთიის გამოკლებით). მაგალითად, $\Pi A\mathcal{K}M\pi 66-6-3-2$ თითბერი 66%Cu, 6%Al, 3%Fe, 2%Mn შეიცავს. დანარჩენი, 23% – თუთიაა. თუ თითბერი გამოიყენება ფასონური სხმულის წარმოებისათვის, მარკის ბოლოში უმატებენ Π ასოს. მაგალითად, $\Pi A\mathcal{K}60-1-1\Pi$.

კლასიკურ ბრინჯაოს მიეკუთვნება სპილენძის შენადნობი კალასთან. მოგვიანებით შემუშავებულია სპილენძის შენადნობი ალუმინთან, სილიციუმთან, ბერილიუმთან

და სხვა ელემენტებთან, რომლებსაც ასევე ბრინჯაოს უწოდებენ.

ძირითადი მალეგირებელი ელემენტების მიხედვით ბრინჯაოს ყოფენ კალიან, ალუმინიან, ბერილიუმიან და ა.შ. ბრინჯაოებად. ბრინჯაოში მალეგირებელი ელემენტების აღნიშვნისათვის დამატებით შემდეგი სიმბოლოებია შემოღებული: Φ – ფოსფორი, B – ბერილიუმი, X – ქრომი.

ბრინჯაოს მარკირება ხდება Bp ასოებით; შემდეგ იწერება მალეგირებელი ელემენტების აღნიშვნელი სიმბოლოები და რიცხვები, რომლებიც მათ საშუალო პროცენტულ შემცველობას მიუთითებს. მაგალითად, $BpA\text{ЖM}\mu 10-3-1,5$ ბრინჯაო 10%Al, 3%Fe, 1,5%Mn, შეიცავს. დანარჩენი სპილენძია.

ტექნიკაში გამოყენებული თითბერი სტრუქტურის მიხედვით ორ ჯგუფად იყოფა: ერთფაზა, ე. წ. α შენადნობებად და ორფაზა, $\alpha+\beta$ შენადნობებად. თითბრის სტრუქტურა და მექანიკური თვისებები თუთიის შემცველობაზეა დამოკიდებული. პრაქტიკული გამოყენება პოვა შენადნობებმა თუთიის 45%-მდე შემცველობით.

α თითბერი საკმაოდ პლასტიკური მასალაა, გამოირჩევა მაღალი ტექნოლოგიურობით და ადვილად ექვემდებარება ცივად და ცხლად წნევით დამუშავებას. 300–700°C ტემპერატურულ ინტერვალში, როგორც სპილენძში, შეინიშნება პლასტიკურობის ჩაგარდნა. ამიტომ, წნევით დამუშავების დროს ამ ტემპერატურულ ინტერვალს უნდა მოვერიდოთ.

Л96, Л90, Л85, Л80 ერთფაზა თითბერს მიეკუთვნება. მათ ტომპაკები ეწოდება. ორფაზა $\alpha+\beta$ სამრეწველო თითბერი სპეციალურ შენადნობებს მიეკუთვნება, ხასიათდება მაღალი სიმტკიცით, მაგრამ უფრო მყიფეა და მათგან ნაკეთობათა დამზადება ჩამოსხმით ხდება. ორფაზა თითბერებია: ЛА77-2; ЛО70-1; ЛС59-1; ЛМ μ -58-2; ЛАЖ60-1-1.

კლასიკურ ბრინჯაოს კალიანი ბრინჯაო მიეკუთვნება. კალის მაქსიმალური ხსნადობის ზღვარი სპილენძში 16% შეადგენს. ტემპერატურის შემცირებასთან ერთად ხსნადობის ზღვარიც მცირდება.

სხმულ მდგომარეობაში ერთფაზა ($Sn \leq 6\%$) ბრინჯაოს სტრუქტურა შედგება არაერთგვაროვანი α მყარი ხსნარისაგან, რომელიც დენდრიტული აგებულებით ხასიათდება. დეფორმაციისა და სარეკრისტალიზაციო მოწვის შემდეგ სტრუქტურა პოლიედრულ აგებულებაში გადადის α მყარი ხსნარისათვის დამახასიათებელი გაორებული უბნებით.

სასურველი თვისებების მისაღებად კალიან ბრინჯაოში დამატებით შეჰყავთ სხვადასხვა ელემენტი, როგორცაა: ნიკელი, ალუმინი, თუთია და ფოსფორი.

არჩევენ სამსხმელო და დეფორმირებად ბრინჯაოებს.

დანიშნულების მიხედვით სამსხმელო კალიანი ბრინჯაო რამდენიმე ჯგუფად იყოფა. პირველში გაერთიანებულია ისეთი სტანდარტული სამსხმელო შენადნობები, როგორცაა: $\text{BrOIC}^{\text{H}}\text{3-7-5-1}$, $\text{BrOIC}^{\text{C}}\text{3-12-5}$, $\text{BrOIC}^{\text{C}}\text{5-5-5}$. მათგან ამზადებენ მანქანათა ნაწილებს.

მეორე ჯგუფს მიეკუთვნება საპასუხისმგებლო დანიშნულების სამსხმელო არასტანდარტული ბრინჯაო: $\text{BrO}19$, $\text{BrO}\Phi$ 10-1, $\text{BrOC}16-5$ და ა.შ. ისინი ხასიათდება მაღალი ანტიფრიქციული თვისებებით და კარგი ცვეთამდეგობით. მათგან მზადდება სრიალის საკისრები და სახუნის პირობებში მომუშავე სხვა დეტალები.

მესამე ჯგუფის შენადნობები ($\text{BX}1$, $\text{BX}2$, $\text{BX}3$) გამოირჩევა კარგი თხევადდენადობით, უმნიშვნელო ჩაჯდომით და კარგად ავსებს ყალიბის ყველაზე რთულ უბნებს. ისინი მხატვრული სხმულების წარმოებაში გამოიყენება.

დეფორმირებად შენადნობებს მიეკუთვნება: $\text{BrOIC}^{\text{C}}4-3$; $\text{BrOIC}^{\text{C}} 4-4-2,5$; $\text{BrO}\Phi 6,5-0,4$ და სხვა.

ბრინჯაოს თერმული დამუშავების ძირითადი სახეა ჰომოგენიზაცია და შუალედური მოწვა. ჰომოგენიზაციას აწარმოებენ $700-750^{\circ}\text{C}$ -ზე შემდგომი სწრაფი გაცივებით. ნარჩენი ძაბვების მოსახსნელად საკმარისია სხმულის გახურება 550°C -ზე 1 საათის განმავლობაში, ხოლო შუალედური მოწვა ცივად წნევით დამუშავების დროს $550-700^{\circ}\text{C}$ -ზე ტარდება.

ტყვიანი ბრინჯაო კარგი ანტიფრიქციული მასალაა. მან ფართო გამოყენება პოვა ისეთი მძიმედდატვირთული, საპასუხისმგებლო სრიალა საკისრების დამზადებაში, რომლებიც საკმაოდ მაღალი ხვედრითი წნევისა ($2500-3000$ მგპა) და გაზრდილი წრიული სიჩქარეების ($8-10$ მ/წმ) პირობებში მუშაობს. ასეთებია: საყრდენი და ბარბაცა საკისრები მძლავრ ტურბინებში, საავიაციო ძრავებში, დიზელში და სხვა სწრაფმავალ მანქანებში. ტყვიანი ბრინჯაო კარგი თბოგამტარი მასალაა, რაც ექსპლუატაციის პროცესში საკისრის ტემპერატურის $300-320^{\circ}\text{C}$ -მდე გაზრდის შესაძლებლობას იძლევა.

სასაკისრე შენადნობებს მიეკუთვნება: $\text{BrC}30$ (სასაკისრე), $\text{BrOC}5-25$ (საკისარი, მილისი, ზეთსამჭიდროებელი რგოლები), $\text{BrOC}8-12$ (მაღალი ხვედრითი წნევის საკისარი), $\text{BrCH}60-2,5$ (საკისარი, ფასონური სხმული).

თ ა ვ ი IX

არალითონური მასალები

მანქანათმშენებლობასა და სახალხო მეურნეობის მრავალ დარგში ფართოდ შემოიჭრა არალითონური მასალები. მათ მიეკუთვნება ორგანული და არაორგანული მასალები: პლასტიკური მასების სხვადასხვა სახეობა, კომპოზიციური მასალები არალითონურ ფუძეზე, კაუჩუკი და რეზინი, წებო, საჰერმეტიზაციო მასალები, ლაქსადებავის დანაფარები, აგრეთვე გრაფიტი, მინა და კერამიკა. ისეთი თვისებები, როგორცაა საკმაო სიმტკიცე, მცირე სიმკვრივესთან შეხამებული სიხისტე და ელასტიურობა, შუქგამტარობა, ქიმიური მდგრადობა, დიელექტრიკული თვისებები და ტექნოლოგიურობა, ამ ჯგუფის მასალებს მრეწველობის მრავალ დარგში შეუცვლელს ხდის.

9.1. პოლიმერების კლასიფიკაცია

არალითონური მასალების ფუძეს, უმთავრესად, სინთეტიკური პოლიმერები წარმოადგენს. პოლიმერები არის ნივთიერება, რომელთა მაკრომოლეკულა შედგება ერთგვაროვანი სტრუქტურის მქონე მრავალი ელემენტარული რგოლისაგან (მონომერებისაგან). მათი მოლეკულური მასა შეადგენს 5000-1000000. მაკრომოლეკულების ასეთი დიდი ზომების შემთხვევაში ნივთიერების თვისებებს განსაზღვრავს არა მარტო აღნიშნული მოლეკულების ქიმიური შედგენილობა, არამედ მათი ურთიერთგანლაგების ხასიათი და აგებულებაც.

პოლიმერის მაკრომოლეკულა წარმოადგენს ჯაჭვს, რომელიც ცალკეული რგოლებისგან არის შედგენილი. ჯაჭვის სიგრძე რამდენიმე ათასჯერ აღემატება მის განივ კვეთს, რაც პოლიმერის მაკრომოლეკულას ერთ-ერთ განმასხვავებელ, განსაკუთრებულ თვისებას – დრეკადობას ანიჭებს.

პოლიმერების კლასიფიკაცია სხვადასხვა ნიშნით შეიძლება განხორციელდეს. შედგენილობის მიხედვით პოლიმერებს ყოფენ ორგანულ, ელემენტორგანულ და არაორგანულ პოლიმერებად.

ორგანული პოლიმერები ნაერთების ფართო ჯგუფს წარმოქმნის. თუ ასეთი ნაერთების ძირითადი მოლეკულარული ჯაჭვი მხოლოდ ნახშირბადის ატომებით არის ჩამოყალიბებული, მათ კარბოჯაჭვურ პოლიმერებს უწოდებენ.

ჰეტეროჯაჭვურ პოლიმერებში ძირითად ჯაჭვში ნახშირბადის გარდა განთავსებუ-

ბული სხვა ელემენტის ატომები, მნიშვნელოვნად ცვლის პოლიმერის თვისებებს. მაგალითად, მაკრომოლეკულებში ჟანგბადის ატომი ხელს უწყობს ჯაჭვის დრეკადობის გაზრდას; ფოსფორისა და ქლორის ატომები ზრდის მხურვალმედვეობას; გოგირდის ატომები პოლიმერს აირგაუმტარობას ანიჭებს, ხოლო ფტორის ატომები – მაღალ ქიმიურ მედეგობას.

ორგანულ პოლიმერებს მიეკუთვნება ფისები და კაუჩუკი. ელემენტორგანული ნაერთები ძირითადი ჯაჭვის შედგენილობაში შეიცავს არაორგანულ ატომებს (Si, Ti, Al), რომლებიც შეთავსებულია ორგანულ რადიკალებთან (CH_3 , C_6H_5 , CH_2). ეს რადიკალები მასალას სიმტკიცეს და ელასტიურობას ანიჭებს, ხოლო არაორგანული ატომები – გაზრდილ მხურვალმედვეობას.

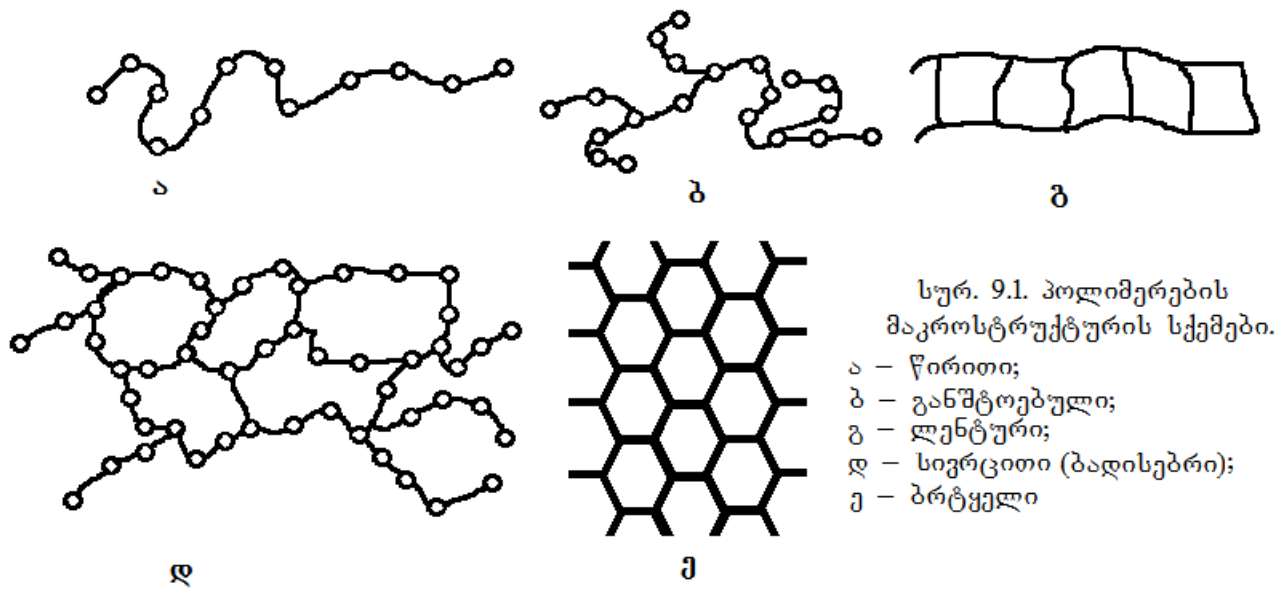
არაორგანულ პოლიმერებს მიეკუთვნება სილიკატური მინა, კერამიკა, ქარსი, აზბესტი. ასეთი ნაერთების შედგენილობაში ნახშირბადიანი ჩონჩხი არ არსებობს. არაორგანული მასალების ფუძეს სილიციუმის, ალუმინის, მაგნიუმის, კალციუმის და სხვათა ოქსიდები წარმოადგენს. არაორგანული პოლიმერები გამოირჩევა უფრო მაღალი სიმკვრივით და ხანგრძლივი თბომედვეობით, თუმცა მინა და კერამიკა გაზრდილი სიმყიფით ხასიათდება.

არაორგანულს მიეკუთვნება აგრეთვე გრაფიტი, რომელიც კარბოჯაჭვურ პოლიმერს წარმოადგენს.

ტექნიკური მიზნებისათვის გამოყენებას პოულობს პოლიმერების როგორც ცალკეული სახეობები, ისე მათთან შეხამებული პოლიმერების სხვადასხვა ჯგუფი. ასეთ მასალებს კომპოზიციურს უწოდებენ. მათ რიცხვს მიეკუთვნება, მაგალითად, მინა-პლასტი.

პოლიმერების თვისებათა მრავალფეროვნება განპირობებულია მათი მაკრომოლეკულების სტრუქტურით. მაკრომოლეკულების ფორმის მიხედვით პოლიმერებს ყოფენ წირით (ჯაჭვისებრ), განშტოებულ, ლენტურ (კიბის), სივრცით ან ბადისებრ და ბრტყელ პოლიმერებად.

პოლიმერის წირითი მაკრომოლეკულები წარმოადგენს გრძელ ზიგზაგისებრ ან სპირალად დახვეულ ჯაჭვს (სურ. 9.1, ა). ჯაჭვის გასწვრივ განლაგებული მაღალი სიმტკიცის მოქნილი მაკრომოლეკულები სუსტი მოლეკულური კავშირებით უზრუნველყოფს მასალის ელასტიურობას, ხოლო გახურებისას – მისი გარბილების, გაცივებისას კი – კვლავ გამყარების უნარს (პოლიეთილენი, პოლიამიდი და ა.შ).



განშტოებული, ასევე წირითი მაკრომოლეკულები (ბ) გამოიხევა განივი განშტოებებით, რაც ხელს უშლის მათ მჭიდროდ განლაგებას.

ლენტური მაკრომოლეკულა (გ) ქიმიური კავშირებით შეერთებული ორი ჯაჭვისგან არის შედგენილი. პოლიმერების ძირითადი ჯაჭვი უფრო მაღალი სიხისტით და გაზრდილი თბომდეგობით ხასიათდება. პოლიმერი უხსნადია სტანდარტულ ორგანულ გამხსნელებში (მაგალითად, სილიციუმორგანული პოლიმერები).

სივრცითი ან ბადისებრი პოლიმერები მაკრომოლეკულების განივი მიმართულებით ურთიერთშეერთების შედეგად წარმოიქმნება, უშუალოდ მტკიცე ქიმიური კავშირების, ქიმიური ელემენტების ან რადიკალების მეშვეობით. შედეგად ყალიბდება სხვადასხვა სიხშირის ბადისებრი სტრუქტურა (დ). ბადისებრი პოლიმერებს მიეკუთვნება აგრეთვე ბრტყელი პოლიმერები (ე).

ფაზური მდგომარეობის მიხედვით არჩევენ ამორფულ და კრისტალურ პოლიმერებს. ამორფული პოლიმერები ერთფაზა სისტემას მიეკუთვნება და ფორმირებულია ერთ დასტად შეგროვილი ჯაჭვური მოლეკულებისაგან. დასტას აქვს მეზობელ ელემენტებთან შეფარდებით გადაადგილების უნარი, რადგან იგი ცალკე სტრუქტურულ ელემენტს წარმოადგენს. ზოგიერთი ამორფული პოლიმერი შეიძლება ჯაჭვების გლობულებისაგან იყოს შედგენილი. პოლიმერების გლობულარული სტრუქტურა დაბალი მექანიკური თვისებებით ხასიათდება – მიმდინარეობს მყიფე რღვევა გლობულების საზღვრებში. გაზრდილ ტემპერატურაზე გლობულა იშლება წირით წარმონაქმნებად, რაც აუმჯობესებს პოლიმერის მექანიკური თვისებების კომპლექსს.

კრისტალური პოლიმერები ყალიბდება იმ შემთხვევაში, თუ მათი მაკრომოლეკულები საკმარისად მოქნილია და აქვთ რეგულარული სტრუქტურა. ასეთ შემთხვევაში, სათანადო პირობების არსებობისას, შესაძლებელი ხდება ფაზური გარდაქმნის მიმდინარეობა დასტის შიგნით და სივრცითი კრისტალური გისოსის ჩამოყალიბება. კრისტალიზაცია მიმდინარეობს გარკვეულ ტემპერატურულ ინტერვალში. კრისტალური სტრუქტურები თერმოდინამიკურად სტაბილურია. ჩვეულებრივ პირობებში სრული კრისტალიზაცია არ მიმდინარეობს და სტრუქტურა ორფაზა მიიღება. კრისტალური აგებულება პოლიმერს მაღალ სიხისტეს და თბომდეგობას ანიჭებს.

ანსხვავებენ პოლარულ და არაპოლარულ პოლიმერებს. პოლარობა განისაზღვრება პოლიმერის შედგენილობაში დიპოლების არსებობით (დადებითი და უარყოფითი მუხტის ცენტრების განაწილების გაშორებით). არაპოლარული პოლიმერების მაკრომოლეკულაში მუხტი განაწილებულია თანაბრად, დიპოლის მომენტები ურთიერთკომპენსირებულია, ხოლო პოლარულში მაკრომოლეკულა დიპოლს წარმოადგენს.

არაპოლარული პოლიმერები (ნახშირწყალბადის ფუძეზე) წარმოადგენს მაღალხარისხოვან, მაღალი სიხშირის დიელექტრიკს და ხასიათდება კარგი ყინვამდეგობით. პოლარობა პოლიმერს ანიჭებს სიხისტეს, თბომდეგობას, მაგრამ ყინვამდეგობა დაბალია.

გახურებისადმი მგრძობიარობის მიხედვით პოლიმერები ორ ჯგუფად იყოფა: თერმოპლასტიკურ და თერმორეაქტიულ პოლიმერებად.

თერმოპლასტიკური პოლიმერები გახურებისას ჯერ რბილდება, შემდეგ კი ღნება. პროცესი შექცევადია – გაცივებისას მიმდინარეობს საპირისპირო პროცესი და პოლიმერი მყარდება. გახურება-გაცივებისას რაიმე მნიშვნელოვანი ქიმიური ან სტრუქტურული ცვლილებები არ ხდება, ამიტომ შესაძლებელია ამ პოლიმერებისა და მათგან წარმოებული ნაკეთობის ხელახლა გადამუშავება.

თერმორეაქტიულ პოლიმერებს ჩამოყალიბების პირველ სტადიაში აქვთ წირითი სტრუქტურა და გახურებისას რბილდება. შემდეგ, ქიმიური რეაქციების მიმდინარეობის შედეგად, აგებულება სივრცით სტრუქტურაში გადადის, მყარდება და შემდგომში ამ მდგომარეობას ინარჩუნებს. პოლიმერის მყარ მდგომარეობას თერმოსტაბილურს უწოდებენ.

9.2. ზოგადტექნიკური დანიშნულების თერმოპლასტიკები და თერმორეაქტიული პლასტიკები

თერმოპლასტიკური პლასტიკების (თერმოპლასტიკების) ფუძეს წრფივი ან განშტოებული სტრუქტურის პოლიმერები წარმოადგენს.

თერმოპლასტი ტექნოლოგიური მასალაა. მისგან ამზადებენ დეტალებს ელექტროქიმიური მრეწველობისათვის, სადებებს, თხელ ფირებს და ბოჭკოებს, მოხახუნე ელემენტებს, დამცავ დანაფარებს ლითონის ზედაპირზე.

თერმოპლასტი შეიძლება იყოს არაპოლარული და პოლარული. არაპოლარულ თერმოპლასტს მიეკუთვნება პოლიეთილენი, პოლიპროპილენი, პოლისტიროლი და პოლიტეტრაფტორეთილენი.

პოლიეთილენის ორ მოდიფიკაციას აწარმოებენ:

1. მაღალი წნევისას, რომელსაც დებულობენ ეთილენის გაზიდან $P=50-300$ მგპა წნევისა და 180°C ტემპერატურულ პირობებში;

2. დაბალი წნევისას, როდესაც $P=1$ მგპა.

პოლიეთილენი $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ ქიმიურად მდგრადია და ოთახის ტემპერატურაზე არ იხსნება არც ერთ ცნობილ გამხსნელში. მუშა ტემპერატურული ინტერვალი საშუალოდ შეადგენს 100 -დან $(-170)^{\circ}\text{C}$ -მდე.

პოლიპროპილენი $(-\text{CH}_2-\text{CHCH}_3-)_n$ თვისებებით პოლიეთილენის ანალოგიურია, მაგრამ ხასიათდება უფრო მაღალი თბომედეგობით და ქიმიური მდგრადობით მაღალ ტემპერატურაზე. საექსპლუატაციო ტემპერატურული დიაპაზონია 150 -დან $(-25)^{\circ}\text{C}$ -მდე.

პოლისტიროლი $(-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5-)_n$ გამჭვირვალე, მინისებრი მასალაა. არ იხსნება მჟავებში, ტუტეებში, ბენზინსა და ზეთში. მდგრადია რადიაციის მიმართ. სტიროლის თანაპოლიმერი სინთეტიკურ კაუჩუკთან კარგად უძლებს დარტყმით დატვირთვებს.

პოლიტეტრაფტორეთილენი $(-\text{CF}_2-\text{CF}_2-)_n$, ანუ ფტოროპლასტი-4 (ტეფლონი) ერთ-ერთი ყველაზე თბომედეგი და ქიმიურად მდგრადი თერმოპლასტიკია. გააჩნია დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი. იგი აბსოლუტურად მდგრადია მეტად ძლიერი მჟავების, ტუტეებისა და გამხსნელების მიმართ. იშლება მხოლოდ ტუტე ლითონების ხსნარში და ელემენტარული ფტორის ზემოქმედებით.

ფტოროპლასტიკის უარყოფითი მხარეა დაბალი რადიაციული მედეგობა. ძნელია აგრეთვე მისი გადამუშავება ნაკეთობად.

პოლარულ თერმოპლასტს მიეკუთვნება:

ა – პოლიტეტრაფტორქლორეთილენი $(-CF_2-CFCl-)_n$ – ფტოროპლასტი-3. იგი გამოირჩევა კრისტალურობის მაღალი ხარისხით (~80%), ხასიათდება გაზრდილი სიმკვრივით, სისალითა და სიმტკიცით. ფტოროპლასტი-3 არ იწვის, მდგრადია ატმოსფეროში, არ ატარებს ტენსა და ჰაერს. ოთახის ტემპერატურაზე არ იხსნება არც ერთ გამხსნელში (ზოგიერთ მათგანში იბერება). პოლიმერი ადვილად მუშავდება მექანიკურად.

ბ – პოლივინილქლორიდი $(-CH_2-CHCl-)_n$ – წირითი აგებულების არაკრისტალური პოლიმერია. არ იწვის, ხასიათდება მაღალი ქიმიური მედეგობით გაზრდილი კონცენტრაციის ტუტეების, მჟავების, მარილებისა და საწვავ-საცხები მასალების მიმართ. სტაბილიზატორების დამატებით მისგან დებულობენ პოლიმერს – ვინიპლასტს, რომელიც კოროზიამდეგ მასალას წარმოადგენს. იგი კარგად ექვემდებარება მექანიკურ დამუშავებას, დუღდება და წებდება. ყინვის წინააღმდეგ მედეგობის გაზრდისა და პლასტიკურობის ამაღლების მიზნით პოლივინილქლორიდში პლასტიფიკატორებს უმატებენ, რის შედეგადაც მიღებულ მასალას პლასტიკატი ეწოდება. იგი გამოიყენება მსუბუქი რეზერვუარების, შემამჭიდროებელი შუასადებების, იზოლაციის და სხვათა დასამზადებლად.

გ – პოლიეთილენტერეფტალატი – გამჭვირვალე, ამორფულ-კრისტალური პოლიმერია კრისტალურობის მაქსიმალური ხარისხით 49-65%. ოთახის ტემპერატურაზე ქიმიურად მდგრადია, ტემპერატურის მატებისას ქიმიური მდგრადობა მცირდება. არაჰიგროსკოპულია, მდგრადია სინათლის, ულტრაიისფერი, რენტგენისა და γ გამოსხივების მიმართ. ახასიათებს მაღალი დიელექტრიკული მახასიათებლები 180°C-მდე.

პოლიეთილენტერეფტალატისაგან მიიღება ფირი და ბოჭკო (ლაგსანი), რომელსაც მაღალი სიმტკიცის მახასიათებლები გააჩნია გაჭიმვისას. ხასიათდება კარგი დარტყმითი სიბლანტით და ცვეთამედეგობით. ფირი ადვილად ექვემდებარება მეტალიზაციასა და შეღებვას.

პოლიურეთანი შეიცავს ურეთანის ჯგუფს $(-NH-COO-)$. მისი სინთეზისათვის სხვადასხვა ქიმიური ბუნების ნაერთი გამოიყენება. ამ კლასის პოლიმერები სტრუქტურისა და თვისებების მიხედვით საკმაოდ მრავალფეროვანია. მათთვის დამახასიათებელია ქიმიური მდგრადობა განზავებული მინერალური და ორგანული მჟავების, ნახშირწყლების, მინერალური და ორგანული ზეთების, წყლისა და დამუანგველების ზე-

მოქმედების მიმართ. იხსნება ზოგიერთ ორგანულ გამსხნელში. პოლიურეთანის უარყოფითი მხარეა დაბალი თერმული მდგრადობა (120°C).

სამგანზომილებიანი პოლიურეთანი გამოიყენება ელასტომერისა და ქაფპლასტის მისაღებად, ბოჭკოს, წებოს, ჰერმეტიკის და ლაქსაღებავების დასამზადებლად.

მინაპლასტის დასამზადებლად მინის ბოჭკოს დებულობენ თხელ ხვრელში (ფილერში) უტუტო, გამდნარი მინის დიდი სიჩქარით გამოჭიმვით $1200-1400^{\circ}\text{C}$ -ზე. თხელ მინის ბოჭკოს მეტად მაღალი სიმტკიცის მახასიათებელი გააჩნია: 2-3 მკმ დიამეტრის ბოჭკოს სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე 5000-6000 მგპა-ს შეადგენს. იზოლირებული მინის ბოჭკოს დიამეტრის გაზრდით მისი სიმტკიცე კლებულობს, თუმცა შემაკავშირებელ ფისთან ერთობლიობაში იგი პასუხობს ამ მახასიათებლის ობტიმალურ მნიშვნელობას. ამგვარად, მინაპლასტში კარგად არის შეხამებული მცირე სიმკვრივე ($\sim 1,6-1,9$ ტ/მ³) მაღალ სიმტკიცესა და სიხისტესთან.

პლასტიკურ მასას, ან უბრალოდ, პლასტმასს, უწოდებენ მასალას, რომელიც დამზადებულია რომელიმე პოლიმერის ფუძეზე. კომპოზიციის შემადგენლობა სხვადასხვა შეიძლება იყოს. მაგალითად, უბრალო პლასტმასებს მიეკუთვნება პოლიმერები დანამატების გარეშე, ხოლო რთული პლასტმასები წარმოადგენს პოლიმერების ნარევს სხვადასხვა დანამატებთან – შემავსებლებთან, სტაბილიზატორებთან, პლასტიფიკატორებთან და ა.შ. შემავსებელს უმატებენ 40-70%-ის რაოდენობით მექანიკური თვისებების ასამაღლებლად, რაც ამცირებს ნაკეთობის თვითღირებულებას. შემავსებლებად გამოიყენება ორგანული და არაორგანული ნივთიერებები – ხის ფქვილი, ჭვარტლი, ქარსი, ტალკი, SiO_2 , TiO_2 , გრაფიტი; ბამბეულის, აზბესტის, პოლიმერების, ქაღალდისა და სხვადასხვა ქსოვილის ბოჭკოები; ხის შპონის ფურცელი.

სტაბილიზატორები, რომლებსაც სხვადასხვა ორგანული ნივთიერებები მიეკუთვნება, შეაქვთ რამდენიმე პროცენტის რაოდენობით მოლეკულების სტრუქტურის შენარჩუნებისა და თვისებების სტაბილიზაციისათვის.

პლასტიფიკატორებს უმატებენ 10-20%-ის რაოდენობით სიმეიფის შემცირებისა და ფორმის მინიჭების ოპერაციის გასაუმჯობესებლად. პლასტიფიკატორებად გამოიყენება ეთერი, ხოლო ზოგჯერ – პოლიმერი დრეკადი მოლეკულებით.

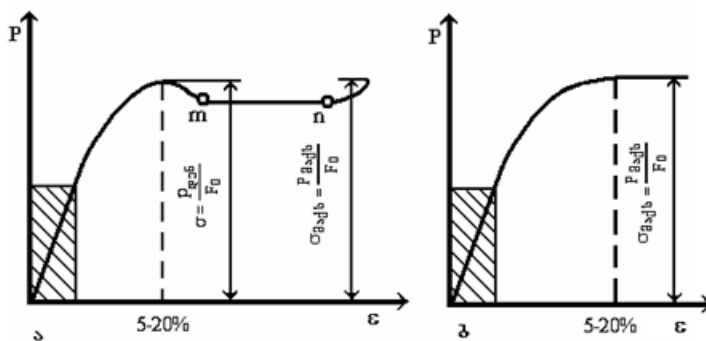
სპეციალურ დანამატებს მიეკუთვნება შემზეთი მასალები, საღებავები, დანამატები სტატიკური მუხტისა და წვადობის შესამცირებლად.

გამყარების პროცესის დასახქარებლად თერმორეაქტიულ პლასტმასებს უმატებენ გამამყარებლებს რამდენიმე პროცენტის რაოდენობით. ამ მიზნით გამოიყენება ორგანული ზეჟანგები, გოგირდი და სხვა ნივთიერებები.

პლასტმასების თვისებათა თავისებურებაა მცირე სიმკვრივე ($\gamma=1-2$ ტ/მ³, ქაფ-პლასტმასისა – 0,015-დან 0,8 ტ/მ³), მაღალი ქიმიური მედეგობა და ელექტროსაიზოლაციო თვისებები, დაბალი სითბოგამტარობა და მნიშვნელოვანი თბური გაფართოება (10-30-ჯერ მეტი ჩვეულებრივ ფოლადებთან შედარებით).

9.3. პლასტმასების მექანიკური თვისებები

დატვირთვის პირობებში პოლიმერების დეფორმაცია სამი შემდგენის – დრეკადი, მაღალელასტიური და ბლანტი დინების უბნების ჯამით განისაზღვრება (სურ. 9.1). დეფორმაციის შემდგენების ურთიერთშეფარდება ცვალებადია და დამოკიდებულია როგორც პოლიმერის სტრუქტურაზე, ისე დეფორმაციის პირობებსა და გამოცდის ტემპერატურაზე. მექანიკური თვისებების მგრძობიარობა დეფორმაციის სინქარეზე, დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე, ტემპერატურასა და სტრუქტურაზე, თერმომოპლასტების ტიპურ თავისებურებას წარმოადგენს.



სურ. 9.1. ბლანტი (ა) და მყიფე (ბ) თერმომოპლასტის გაჭიმვის დიაგრამები

მინისებრი თერმომოპლასტები გაჭიმვისას ძლიერ წაგრძელებას განიცდის. გაწყვეტის შემდეგ ნარჩენი დეფორმაციის სიდიდე რამდენიმე ათეულ და ასეულ პროცენტს შეადგენს. ასეთ დეფორმაციას მაღალელასტიურს უწოდებენ. იგი არის გარეშე ძალის ზემოქმედებით დაგრეხილი მაკრომოლეკულების გაჭიმვის შედეგი. გაჭიმვისას მასალა იწყებს დინებას და ნიმუშში ყელი წარმოიქმნება. პლასტიკური დინების უბანი mn (სურ. 9.1, ა) შეესაბამება წარმოქმნილი შევიწროების თანდათანობით გავრცელებას

ნიმუშის მთელ სიგრძეზე.

მსგავსი სურათი მიიღება კრისტალური პოლიმერების გაჭიმვისას. ამ შემთხვევაში საწყისი სტრუქტურა იცვლება ახლით, რომელშიც კრისტალებს აქვს შეცვლილი ფორმა და უპირატესი, ერთნაირი ორიენტაცია.

ორიენტირებული მოლეკულური სტრუქტურის მქონე თერმოპლასტების უპირატესი ორიენტაციის მიმართულებით გაჭიმვისას არ ყალიბდება პლასტიკური დინების უბანი (სურ. 9.1, ბ) და ნიმუშის წაგრძელება არ აღემატება ათობით პროცენტს. დაშტრიხული უბნები დიაგრამაზე შეესაბამება დასაშვები დატვირთვის მნიშვნელობებს.

თერმოპლასტების მექანიკური თვისებების თავისებურებანი შემდეგში მდგომარეობს:

1. გახურებისას სიმტკიცე მცირდება და მასალა იძენს გაზრდილ სიბლანტეს. პოლიეთილენი, პოლისტიროლი და პოლივინილქლორიდი 100°C-მდე გახურებისას სიმტკიცეს იმდენად ძლიერ კარგავს, რომ მათი გამოყენება საკონსტრუქციო მასალად 50°C-ზეც კი შეუძლებელია. 25°C-ის ქვემოთ გაცივებისას სიმტკიცე მატულობს, მაგრამ ერთდროულად იზრდება სიმყიფე და მგრძობიარობა ჩანაჭრების მიმართ.

2. დატვირთვის ხანგრძლივი ზემოქმედების პირობებში სიმტკიცის მახასიათებლები მცირდება და წარმოიქმნება ნარჩენი დეფორმაცია, რაც იძულებითი მაღალელასტიკური დეფორმაციის შედეგია. სტატიკური დატვირთვის შემთხვევაში ერთი წლის განმავლობაში სიმტკიცის ზღვარი გაჭიმვაზე ორჯერ მცირდება.

3. დეფორმაციის სიჩქარის გაზრდით პლასტმასის სიხისტე მატულობს, რადგან მაღალპლასტიკური დეფორმაციის პროცესების მიმდინარეობა ჩამორჩება და მატულობს მიდრეკილება მყიფე რღვევისადმი.

4. პლასტმასები ორიენტირებული მოლეკულური სტრუქტურით ანიზოტროპიული თვისებებით ხასიათდება. თერმოპლასტების გამოჭიმვა 2-4-ჯერ, სიმტკიცის მახასიათებლებს ორჯერ ზრდის. სიმტკიცე მაქსიმალურია გაჭიმული მოლეკულების გასწვრივ, ხოლო განივი მიმართულებით – შემცირებული.

კრისტალურ პოლიმერებში მექანიკური თვისებები დამოკიდებულია კრისტალიზაციის ხარისხზე. რაც უფრო მეტია იგი, მით უფრო მაღალია სიხისტე და სიმტკიცე. ზოგიერთ პოლიმერში კრისტალიზაციის ხარისხის გაზრდა 85%-ის ზემოთ განაპირობებს სიმყიფის განვითარებას.

თერმოპლასტის მექანიკური თვისებები უმჯობესდება, თუ შემავსებლად 20-30%

მინის ბოჭკოს გამოვიყენებთ. ასეთი პლასტმასი გამოირჩევა ზომების მაღალი სტაბილურობით დატვირთვის ზემოქმედების პირობებში, იზრდება სიმტკიცე, მაგრამ უარესდება წინააღმდეგობა დარტყმითი დატვირთვებისადმი.

9.4. პოლიმერების დაძველება

პლასტმასების თავისებურებას წარმოადგენს თვისებების არასტაბილურობა დაძველების გამო. დაძველება გულისხმობს პოლიმერული მასალების უმთავრესი ტექნიკური მახასიათებლების თავისთავად, შეუქცევად ცვლილებას რთული ქიმიური და ფიზიკური პროცესების შედეგად, რომლებიც მასალის ექსპლუატაციისა და შენახვის დროს მიმდინარეობს. დაძველების მიზეზი შეიძლება იყოს სინათლის, სითბოს, ჟანგბადის, ოზონისა და კიდევ სხვა, მათ შორის მექანიკური ფაქტორების ზემოქმედება. მაგალითად, პოლიეთილენი 2-3 წელიწადში ძლიერ იშლება მზისა და ულტრაიისფერი სხივების ზემოქმედებით. დაძველების პროცესს მეტად აჩქარებს მასალის მრავალჯერადი დეფორმაცია, ნაკლებად ზემოქმედებს ტენი.

ანსხვავებენ თბურ, სინათლის, ოზონის და ატმოსფერულ დაძველებას.

დაძველების არსი მდგომარეობს რთული ჯაჭვური რეაქციის მიმდინარეობაში, რაც განაპირობებს თავისუფალი რადიკალების (იშვიათად იონების) წარმოქმნას, პოლიმერის დესტრუქციას და სტრუქტურირებას. ჩვეულებრივ, დაძველება არის ატმოსფერული ჟანგბადით პოლიმერის ჟანგვის შედეგი. თუ უპირატესად დესტრუქცია მიმდინარეობს, პოლიმერი რბილდება, გამოიყოფა აქროლადი ნივთიერებები (მაგალითად, ნატურალურ კაუჩუკში), ხოლო სტრუქტურირების შემთხვევაში იზრდება პოლიმერის სისაღე, სიმკიფე, და შეინიშნება ელასტიურობის კარგვა (მაგალითად, ბუტიდიენის კაუჩუკში, პოლისტიროლში).

მაღალ ტემპერატურაზე (200–500°C) მიმდინარეობს ორგანული პოლიმერების დაშლა. ამასთან, პოლიმერების პიროლიზი, რასაც თან სდევს აქროლადი ნივთიერებების აორთქლება, წარმოადგენს არა ზედაპირულ მოვლენას, არამედ ნიშნის მთელ მოცულობაში ხდება აორთქლების უნარის მქონე მოლეკულების წარმოქმნა.

თერმოდესტრუქციისადმი სტაბილურობით გამოირჩევა ისეთი პოლიმერები, რომლებსაც პოლიმერიზაციის მაღალი თბური პარამეტრები გააჩნია (პოლიეთილენი, პოლიფენოლი) და პოლიმერები პოლარობის ჩამნაცვლებლით (ფტოროპლასტები).

ოზონისადმი მდგრადია სილიციუმორგანული ნაერთები, ტროპიკული ატმოსფერო-

სადმი – პოლიეთილენი, პოლიტეტრაფტორეთილენი, პოლიამიდის ბოჭკო; არამდგრადია ნატურალური და სინთეტიკური კაუჩუკი, ვისკოზა.

დაძველების პროცესის შესანელებლად პოლიმერულ მასალას უმატებენ სტაბილიზატორებს (სხვადასხვა ორგანულ ნივთიერებას) და ანტიოქსიდანტებს (ამინებს, ფენოლებს და სხვა)

9.5. კაუჩუკი და რეზინი

რეზინი წარმოადგენს მასალას, რომელიც მიიღება კაუჩუკისა და სხვადასხვა დანამატების სპეციალური დამუშავებით, ვულკანიზაციით. კაუჩუკი წარმოადგენს რბილ, ელასტიკურ პროდუქტს სიმკვრივით (0,92–0,94 გ/სმ³).

ანსხვავებენ ნატურალურ (ბუნებრივ) და სინთეტიკურ კაუჩუკს. ბუნებრივი კაუჩუკის ფუძეს ერთ–ერთი ხის წვენი წარმოადგენს, რომელიც ტროპიკულ ქვეყნებში იზრდება. ამ პროდუქტიდან მიღებულ კაუჩუკს აქვს $(C_5H_8)_n$ გამოსახულებასთან მიახლოებული ფორმულა, სადაც n რამდენიმე ათასი რიგის რიცხვია. ნატურალური კაუჩუკის ფუძეზე წარმოებული რეზინი მაღალი სიმტკიცით და ელასტიურობით გამოირჩევა, მაგრამ მოკლებულია მთელ რიგ საექსპლუატაციო თვისებებს, როგორცაა, მაგალითად, ნავთობპროდუქტების ზემოქმედებისადმი მდგრადობა.

სინთეტიკური კაუჩუკი მზადდება სხვადასხვა პოლიმერისაგან. მისი მრავალი სახეობა არსებობს, მათ შორის:

ნატრიუმბუტადიენის კაუჩუკი, რომლის მიახლოებული ფორმულაა $(C_4H_6)_n$, გამოირჩევა ცვეთისადმი მაღალი წინააღობით;

იზოპრენის კაუჩუკი $(C_5H_8)_n$, რომელიც სიმტკიცითა და თბომდეგობით ახლოს დგას ნატურალურთან, მხოლოდ უმნიშვნელოდ ჩამოუვარდება მას ელასტიურობით;

კაუჩუკის და ზოგიერთი ორგანული ნივთიერების ერთობლივი პოლიმერიზაციით დებულობენ პროდუქტს, რომელსაც თანაპოლიმერს უწოდებენ. ასეთებია:

ბუტადიენსტიროლის კაუჩუკი – ეს არის ბუტადიენის და სტიროლის თანაპოლიმერი $(CH_2=CH-C_6H_5)$. იგი ხასიათდება მაღალი მექანიკური თვისებებით, მდგრადობით ცვეთის მიმართ, ხოლო ზოგიერთი სახეობა – ყინვაგამძლეობითაც.

ნიტრილბუტადიენის კაუჩუკი – წარმოადგენს ბუტადიენის და აკრილმუჟავას ნიტრილის $(CH_2=CH-CN)$ თანაპოლიმერს. ნიტრილის კაუჩუკი გამოირჩევა გაზრდილი მე-

ქანიკური სიმტკიცით და ბენზინის, ნავთის, ზეთის და წყლის მიმართ განსაკუთრებული მდგრადობით.

თუ ბუტადიენში წყალბადის ერთი ატომი ქლორით შეიცვლება, მიიღება ქრომოპრენი ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CCl}=\text{CH}_2$). მისი პოლიმერიზაციით აწარმოებენ *ქრომოპრენის* კაუჩუკს – *ნეოპრენის (ნაილიტის)*. იგი ხასიათდება მაღალი მდგრადობით ზეთის, ნავთის, ბენზინის, ოზონისა და გარემოს (მზის, გაზრდილი ტემპერატურის, ჰაერის ჟანგბადის) ზემოქმედების მიმართ.

ბუტილკაუჩუკი არის ბუტადიენის, იზოპრენის და იზობუტილენის თანაპოლიმერი $[\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2]$. ბუტილკაუჩუკის ერთ-ერთი ძირითადი ღირსებაა პრაქტიკულად სრული აირშეუღწევლობა. იგი ხასიათდება აგრეთვე მნიშვნელოვანი სიმტკიცით და ელასტიურობით, რომელსაც ინარჩუნებს -70 –დან $+150^\circ\text{C}$ ინტერვალში, აგრეთვე ჟანგბადის, მჟავების და სხვა რეაგენტების ზემოქმედებისადმი მაღალი წინააღმდეგობით.

ზოგიერთ შემთხვევაში გამოიყენება მაღალმოლეკულური ელასტიური მასალები, რომლებსაც კაუჩუკების ჯგუფს მიაკუთვნებენ. ამ მასალების აგებულებას საფუძვლად უდევს ატომების ჯაჭვი, რომელშიც მონაწილეობს გოგირდის ან სილიციუმის ატომები. შესაბამისად მიიღება ტიოკოლის ან პოლისილოქსანის (სილიკონის ან სილიციუმ-ორგანული) კაუჩუკი.

ტიოკოლის კაუჩუკი, რომელსაც ტიოკოლის ფუძეზე ($\text{C}_2\text{H}_4\text{S}_4$) აწარმოებენ, გამოირჩევა აირშეუღწევლობით, ბენზინისა და ზეთისადმი მედეგობით, კარგი ჰერმეტიკული თვისებებით და მაღალი ადჰეზიით ლითონების მიმართ.

სილიკონის კაუჩუკის განსაკუთრებული თვისებაა კარგი დიელექტრიკული მახასიათებლები, მდგრადობა ოზონისა და სინათლის ულტრაიისფერი სხივის ზემოქმედების მიმართ. იგი არ ძველდება და არ იჯირჯევა ორგანულ გამხსნელებში, პლასტიკურობას ინარჩუნებს -80 –დან $+270^\circ\text{C}$ –მდე. მისი გამოყენება მიზანშეწონილია შემამკიდროვებლის, მემბრანის და მოქნილი შეერთებების დასამზადებლად.

პოლიურეტანის კაუჩუკი ხასიათდება მაღალი ცვეთამედეგობით.

ამგვარად, ნებისმიერი რეზინის ფუძემასალას ნატურალური ან სინთეტიკური კაუჩუკი, ელასტომერი წარმოადგენს. კაუჩუკის მაღალ ელასტიურობას განაპირობებს მისი წირითი ან სუსტად დატოტვილი მოლეკულების ზიგზაგისებრი ან სპირალური კონფიგურაცია და დიდი მოქნილობა. თუმცა წირითი აგებულების კაუჩუკის გამოყენება შეუძლებელია ნაკეთობის დასამზადებლად ორგანულ სითხეებში მისი ხსნადო-

ბის გამო. გარდა ამისა, იგი ხასიათდება დიდი ცოცვადობის უნარით ოთახის და, განსაკუთრებით, გაზრდილი ტემპერატურის პირობებში. ამ უარყოფითი თვისებების ასაცილებლად ნედლი რეზინის (კაუჩუკისა და ინგრედიენტების მექანიკური ნარევის) დაწნეხით, წნევის ქვეშ ჩამოსხმით, გამოწნეხით ან პლასტიკური დეფორმაციის სხვა ხერხით ფორმირებულ ნაკეთობას ანიჭებენ ნაკერიან, მენხერბადისებრ მოლეკულურ სტრუქტურას. ასეთ ოპერაციას ვულკანიზაციას უწოდებენ. ვულკანიზაციის პროცესში ჩამოყალიბებული ნაკერების რაოდენობის მიხედვით შეიძლება რბილი, საშუალო სიმტკიცისა და მტკიცე რეზინის მიღება.

რეზინი მთავარ დამახასიათებელ თვისებას, ელასტიურობას, კაუჩუკისგან იძენს. რეზინს აქვს ძალიან დიდი დეფორმაციის უნარი. გარკვეული ძაბვების ზღვრებში იგი არსებითად ხასიათდება დეფორმაციის სრული შექცევადობით, რაც უაღრესად მცირე დროში რეალიზირდება. უარყოფითი ტემპერატურის ზემოქმედება განაპირობებს მაღალელასტიური თვისებების შემცირებას ან სრულ კარგვას, მინისებრ მდგომარეობაში გადასვლას და სიხისტის გაზრდას რამდენიმე ხარისხით. დეფორმაციის უნარს რეზინი ($-30. . +130^{\circ}\text{C}$) ზღვრებში ინარჩუნებს. ჩრდილოეთისათვის აწარმოებენ ყინვაგამძლე რეზინს, რომელიც -65°C -სს უძლებს, ხოლო უფრო მაღალ ტემპერატურაზე სამუშაოდ ამზადებენ თბომედეგ რეზინს, რომლის სამუშაო ტემპერატურა 150°C -სს აღწევს.

მაღალ ელესტიურობასთან ერთად რეზინს აქვს მთელი რიგი სხვა ღირსშესანიშნავი თვისებებიც, როგორცაა შედარებით მაღალი სიმტკიცე გაჭიმვაზე (20-30 მგპა), ცვეთამედეგობა, ელექტროსაიზოლაციო თვისებები, აირ და წყალშეუღწევლობა, ქიმიური მედეგობა და სხვა.

სხვადასხვა კაუჩუკზე დამზადებული რეზინის გაჯირჯვების ხარისხი დამოკიდებულია რეზინის ბადურობის ხარისხზე, სითხის მოლეკულების აქტივობაზე და ე.წ. ხსნადობის პარამეტრზე, რომელიც ახასიათებს კაუჩუკისა და გამხსნელის პოლარულობის ურთიერთშეფარდებას.

რბილი, მაღალელასტიური რეზინის მოლეკულებში 80%-ზე მეტი გამოუყენებელი ორმაგი კავშირებია შენარჩუნებული. ეს შედარებით არამდგრადი კავშირები თერმოქანგვით, ფოტო და მექანიკური დესტრუქციის კერებს წარმოადგენს. ელასტიური მაღალმოლეკულური, მენხერბადისებრი სტრუქტურა დროში ცალკეულ დაბალმოლეკულურ ფრაგმენტებად იშლება, რაც იწვევს როგორც ელასტიურობის, ისე სიმტკიცის

შემცირებას და ბზარების წარმოქმნას, ანუ განაპირობებს რეზინის დაძველებას.

ნაჯერი კაუჩუკის ფუძეზე დამზადებული რეზინი საკმაოდ მდგრადია დაძველები-სა და აგრესიული გარემოს მიმართ.

ანსხვაგვარ საერთო დანიშნულებისა და სპეციალურ რეზინებს.

საერთო დანიშნულების რეზინის ექსპლუატაცია შესაძლებელია წყლისა და ჰა-ერის გარემოში, მუავების, მარილისა და ტუტეების სუსტ ხსნარებში, აგრეთვე სპირტში, აცეტონში და ცხიმოვან მუავებში. მუშა ტემპერატურული ინტერვალი ძვეს ზღვრებში (-60. . -35)-დან (80. . 130)⁰C-მდე. ამ ჯგუფის რეზინები, განსაკუთრებით რბილი, არა-მდგრადია სინათლითა და თბური დაძველებისადმი; განიცდის ძლიერ გაჯირჯევას (200-600%-ით) ცხიმოვან და არომატულ გამხსნელებთან (ბენზინი, ნავთი, ბენზოლი, ქლოროფორმი, გოგირდნახშირბადი, სამანქანო ზეთი) კონტაქტის შემთხვევაში.

სპეციალური რეზინი რამდენიმე ჯგუფად იყოფა:

ზეთმედეგი და **ბენზინმედეგი** რეზინები – გამოიყენება მინერალურ ზეთებთან, ნავთთან და ბენზინთან კონტაქტში, რომლებშიც იგი 24 საათში 60%-ით განიცდის გაჯირჯევას. ხასიათდება გაზრდილი მდგრადობით სინათლით დაძველებისადმი და ქიმიური მედეგობით. უარყოფითი მხარეა შემცირებული ელასტიურობა და გამყიფება (-30. . -50)⁰C ტემპერატურულ ინტერვალში. მისი თბომედეგობა არ აღემატება 130⁰C.

შუქმედეგი, **ოზონმედეგი** და **ქიმიურად მდგრადი** ჯგუფის რეზინები არ იშლება რამდენიმე წლის განმავლობაში ატმოსფეროს ზემოქმედებით. შესაძლებელია აგრეთვე მათი ექსპლუატაცია კონცენტრირებულ მუავებთან და გამხსნელებთან კონტაქტში.

თბომედეგი რეზინები მუშაობს -60-დან +250 და -100-დან +350⁰C ტემპერატურულ დიაპაზონში. არ ძველდება, ელასტიურია, თუმცა განიცდის გაჯირჯევას გამხსნე-ლებში და ზეთებში, ახასიათებს დაბალი სიმტკიცე, დაბალი ადჰეზია და ცუდად მუ-შაობს ცვეთაზე.

ფტორშემცველი კაუჩუკისგან წარმოებული რეზინის საექსპლუატაციო ტემპერა-ტურული დიაპაზონია (-50. . . 300)⁰C. ამ ჯგუფის რეზინები მეტად მდგრადია სინათ-ლის, ოზონისა და თბური ზემოქმედებით დაძველების მიმართ, ზეთმედეგი, ბენზინ-მედეგი და ქიმიურად მდგრადია გახურების შემთხვევაშიც კი, არ იწვის, ხასიათდება ცვეთამედეგობით, საკმაოდ მტკიცე და ელასტიურია.

9.6. აფსკვარმომქმნელი და ლაქსაღებში მასალები. ემალი

აფსკვარმომქმნელს მიეკუთვნება პოლიმერების, ოლიგომერების ან არაორგანული ნივთიერებების ფუძეზე დამზადებული მასალები, რომლებიც ხსნარებში ან ნალღობებში გამოიყენება. ზედაპირზე მათი დატანისა და გაშრობის შემდეგ წარმოიქმნება აფსკი (ფირი), რომელიც მტკიცედ ეკვრის დასაფარ ზედაპირს (ფუძეშრეს).

აფსკვარმომქმნელი მასალის უნარს, მტკიცედ შეუკავშირდეს დასაფარ ზედაპირს, ფასდება ადჰეზიით, რომელსაც განსაზღვრავს აფსკვარმომქმნელი მასალისა და ფუძეშრის გამყოფ ზედაპირზე მიმდინარე მოვლენები. ფირის საკუთარი სიმტკიცე დამოკიდებულია კოჰეზიაზე – მოლეკულებს შორის ურთიერთქმედებაზე აფსკვარმომქმნელის მოცულობაში.

დანაფარსა და ფუძეშრეს შორის შეჭიდულობის ხარისხის გასაზრდლად მეტად მნიშვნელოვანია დასაფარი ზედაპირის გაუცხიმოება აცეტონით ან სპირტით, რაც გააუმჯობესებს აფსკვარმომქმნელი მასალით ზედაპირის დასველების უნარს. შესაძლებელია აგრეთვე დასაფარი ზედაპირის ხორკლიანობის გაზრდა ქიმიური ან მექანიკური გზით, რაც ყოველთვის მიზანშეწონილი არ არის.

აფსკვარმომქმნელი მასალის შედგენილობაში შედის აფსკვარმომქმნელი ნივთიერებები – ფუძე, რომელიც ძირითადად განსაზღვრავს მასალის თვისებებს; გამხსნელი, რომელიც მასალას გარკვეულ სიბლანტეს ანიჭებს; პლასტიფიკატორები ფირში ჩაჯდომის მოვლენის ასაცილებლად და მისი ელასტიურობის გასაზრდლად; გამამყარებელი და კატალიზატორი აფსკვარმომქმნელის გადასაყვანად თერმოსტაბილურ მდგომარეობაში; შემავსებლები ფირის ჩაჯდომის შესამცირებლად.

ლაქსაღებავი წარმოადგენს მასალას აფსკვარმომქმნელის ფუძეზე. იგი ძირითადად გამოიყენება ხსნარების სახით სხვადასხვა დანამატებით, რომლის ფუძეშრეზე დატანის შემდეგ მტკიცე აფსკი წარმოიქმნება. ლაქსაღებავი ძირითადად კოროზიისაგან დაცვის ფუნქციას ასრულებს. დამცავი დანაფარები უნდა ხასიათდებოდეს ატმოსფეროს, ქიმიური და თბური ზემოქმედებისადმი მდგრადობით.

შედგენილობის მიხედვით ლაქსაღებავ მასალებში ძირითადად გამოყოფენ: ლაქს, საღებავს და ემალს.

ლაქი არის აფსკვარმომქმნელის ხსნარი ორგანულ გამხსნელში. ზოგჯერ იგი შეიცავს ორგანულ საღებავს, რომელიც აფსკს გამჭვირვალობას უნარჩუნებს. საღება-

ვი არის ლაქისა და საღებარის ნარევი, ხოლო ლაქს, რომელიც არაორგანულ პიგმენტებს შეიცავს – ემაღს უწოდებენ. პიგმენტები არსებით გავლენას ახდენს დანაფარის თვისებებზე: ანიჭებს გაუმჭვირობას, ზრდის მექანიკურ სიმტკიცეს, ხელს უწყობს შეღწევადობის შემცირებას; ზოგიერთი მათგანი ზრდის კოროზიამდებობას. ემალი შეიცავს 100–150% პიგმენტებს (100% აფსკვარმომქმნელზე გათვლით). ემალის დანაფარს ლამაზი გარეგნული იერის მისანიჭებლად იყენებენ. იგი ძირითადად შავი ლითონების – თუჯისა და ფოლადისაგან დამზადებული ქიმიური და სასურსათო მრეწველობის აპარატურის ზედაპირზე დააქვთ. ფართო გამოყენებას პოულობს აგრეთვე სამაცივრო და აირული აპარატურის, ჭურჭლის და სხვა წარმოებაში.

აფსკვარმომქმნის მიხედვით ლაქსაღებავები იყოფა ზეთის, ბითუმის, ეთერცელულოზის და ფისის საღებავებად. ფართოდ გავრცელებულ ლაქსაღებავების დანაფარებს მიეკუთვნება პერქლორვინილის, აკრილის (თერმოპლასტებიდან); ფენოლოფორმალდეჰიდის, ეპოქსიდის, ალკიდის, სილიციუმორგანული, პოლიამიდის და სხვა (გამამყარებელი ფისებიდან).

9.7. საკონსტრუქციო წებო

წებოთი შეერთებას გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობა შეერთების სხვა მეთოდებთან შედარებით: სხვადასხვაგვარი მასალების შეერთების უნარი; მდგრადობა ატმოსფეროს და კოროზიული ზემოქმედების მიმართ; მაღალი ჰერმეტიულობა და სიმტკიცის მახასიათებლები ზომიერ ტემპერატურაზე და ვიბრაციის პირობებში, განსაკუთრებით მცირე განივკვეთის ლითონის შეერთებებში; მცირდება ტექნოლოგიური კვანძის წონა და წარმოების დანახარჯები, მარტივდება აგრეგატის დამზადების ტექნოლოგია, იქმნება კონსტრუქციის დამზადების ახალი შესაძლებლობები ლითონური და არალითონური მასალების ურთიერთშეხამებით.

წებოთი შეერთების ძირითადი უარყოფითი მხარეა თბომდებობის შედარებით მცირე ხანგამძლეობა, რაც განპირობებულია აფსკვარმომქმნელი მასალის ორგანული ბუნებით და მიდრეკილებით დაძველებისადმი. სილიციუმორგანული და არაორგანული პოლიმერების ფუძეზე დამზადებული წებო უზრუნველყოფს 1000°C-მდე ექსპლუატაციას, მაგრამ მათ არ გააჩნია აფსკის საკმაო ელასტიურობა.

თანამედროვე წებოს კომპოზიციები სინთეტიკური ფისების და კაუჩუკის ფუძეზე მაღალხარისხოვანი შეერთების შესაძლებლობას იძლევა თვისებათა ფართო დიაპა-

ზონში. იგი უზრუნველყოფს ფოლადის, კერამიკის, მინის, მერქნის და ქაღალდის შეწებებას სხვადასხვა კომბინაციით.

სუფთა ფისის ფუძეზე წარმოებული წებო გაზრდილი სიმყიფით ხასიათდება. ამიტომ სიმყიფის შესამცირებლად ფისს კაუჩუკთან და თერმოპლასტებთან შეთავსებით იყენებენ.

ფენოლოფორმლდეჰიდის ფისის ფუძეზე დამზადებული წებო გამოიყენება პლასტმასისა და მერქნის შესაწებებლად. ფისის პოლარულობის გამო წებო ხასიათდება კარგი ადჰეზიით სხვადასხვა მასალასთან. შეწებება შეიძლება განხორციელდეს როგორც ჩვეულებრივ პირობებში, ისე, პროცესის დასაჩქარებლად, შეთბობით.

ფართოდ გამოიყენება ფენოლო-პოლივინილაცეტატის კომპოზიცია (იგი ცნობილია მარკით 5Φ). წებოს ძირითადი შემადგენელია ფენოლოფორმლდეჰიდის ფისის ხსნარი სპირტში. ჰიდროქსილის ჯგუფების დიდი რაოდენობა წებოს პოლარულს ხდის ლითონთან და მრავალ არალითონურ მასალასთან მაღალი ადჰეზიური თვისებებით. მისი თბომედეგობა 120°C-მდეა.

ეპოქსიდური ფისის ფუძეზე დამზადებული წებო მყარდება გამამყარების საშუალებით ცივი ან ცხელი მეთოდით, თანაპროდუქტის გამოყოფის გარეშე, რაც შეწებების აფსკში ჩაჯდომის მოვლენის აცილებას უწყობს ხელს. წებოს პოლარულობა მის კარგ ადჰეზიურ თვისებებს განაპირობებს.

თბომედეგს მიეკუთვნება წებო სილიციუმორგანული ნაერთების ფუძეზე. ადჰეზიური თვისებების უზრუნველსაყოფად ხშირად მას სხვადასხვა ფისს უთავსებენ.

9.8. აირსავსე პლასტმასები

აირსავსე პლასტმასები წარმოადგენს პოლიმერულ მასალებს, რომლებიც მიეკუთვნება „მყარი ტანი–აირი“ ტიპის დისპერსიულ სისტემას. აირსავსე პლასტმასები იყოფა ქაფპლასტმასებად, რომლებიც უპირატესად შეიცავს დახშულ ფორებს ან უჯრედებს და ფოროპლასტებად, ანუ ღრუბლოვან მასალებად, რომლებშიც ღია ფორები უპირატესად ერთმანეთთან არის შეერთებული. დრეკად-ელასტიური თვისებების მიხედვით აირსავსე პლასტმასებს პირობითად ყოფენ ხისტ, ნახევრადხისტ და ელასტიურ მასალებად.

აირსავსე პლასტმასების მიღება პრაქტიკულად ნებისმიერი შემკვრელი პოლიმერიდან არის შესაძლებელი. დიდ ინტერესს იმსახურებს ინტეგრალური ქაფპლასტი,

რომელიც ხასიათდება ცვალებადი ფორიანობით მასალის სისქის მიხედვით. მაღალ-ფორიანი შიდა ფენები პლასტმასის უმთავრეს თვისებებს უზრუნველყოფს, ხოლო მკვრივი, ზედაპირული ფენა არსებითად ზრდის მასალის სიმტკიცეს. მნიშვნელოვანია აგრეთვე სფეროპლასტის სინთეტიკური ქაფი – პლასტიკი ღრუ შემაჯავებლით, რომლებსაც, ქაფპლასტისაგან განსხვავებით, აქაფების გარეშე ღებულობენ. ამ მასალებს აქვს უჯრედების მხოლოდ დახურული სტრუქტურა. თერმოპლასტიკური ქაფპლასტების – ქაფპოლიეთილენის, ქაფპოლისტიროლის და ქაფპოლივინილქლორიდის საექსპლუატაციო ტემპერატურული დიაპაზონია $\pm 60^{\circ}\text{C}$.

ქაფპლასტები გამოიყენება, როგორც მსუბუქი საკონსტრუქციო მასალა სამფენოვან პანელებში თბოსაიზოლაციო, ბგერათსაიზოლაციო, ვიბროსაიზოლაციო კაბინებში, კონტეინერებში, ხელსაწყოების კაპსულირებისას და ა.შ.

საკონსტრუქციო მასალები სასურსათო წარმოებაში

10.1. ზოგადი მიმოხილვა

სასურსათო წარმოება მიეკუთვნება თანმიმდევრული ტექნოლოგიური პროცესების ერთობლიობას, რომლის მიზანია მცენარეული ან/და ცხოველური წარმოშობის ნედლეულის გადამუშავების გზით საკვები ან ფარმაცევტული პროდუქციის მიღება წინასწარ ცნობილი თვისებებისა და შენახვის ვადის უზრუნველყოფით.

სასურსათო წარმოებაში ტექნოლოგიური პროცესის შემდეგი დამახასიათებელი ეტაპები შეიძლება გამოიყოს:

1. ნედლეულის, პროდუქტების და მოწყობილობის გარეცხვა ან სანიტარულ-ჰიგიენური დამუშავება;
2. პროდუქციის დაწვრილმანება, დაყოფა და დაკალიბრება;
3. პროდუქტების შერევა;
4. პროდუქტებზე თბური ზემოქმედება;
5. დაფასოება და შეფუთვა;
6. ტრანსპორტირება.

თანამედროვე სასურსათო წარმოების მრავალფეროვნებამ არაერთი სპეციფიკური ტექნოლოგიური მოწყობილობის შექმნის აუცილებლობა განაპირობა. დასამუშავებელ პროდუქტზე ზემოქმედების მიხედვით სასურსათო წარმოების მოწყობილობა შეიძლება სამ ძირითად ჯგუფად დაიყოს:

- აპარატები პროდუქტების ფიზიკურ-მექანიკური ან აგრეგატული მდგომარეობის შესაცვლელად ფიზიკურ-მექანიკური, ბიომექანიკური, ან თბური პროცესების ზემოქმედებით;
- მანქანები მექანიკური ზემოქმედებათვის პროდუქტების ფორმისა და ზომების შეცვლის მიზნით, საწყისი თვისებების შენარჩუნების უზრუნველყოფით;
- სატრანსპორტო მანქანები ნედლეულის ან შეუფუთავი პროდუქტების ტრანსპორტირებისათვის.

სასურსათო წარმოებისათვის დამახასიათებელ თავისებურებებს მიეკუთვნება პროდუქტის კონტაქტი აღნიშნული მანქანებისა და აპარატების ელემენტებთან, აგრეთვე

დროის ფაქტორი იმ შემთხვევაში, როდესაც ტექნოლოგიური პროცესის ხანგრძლივობა მკაცრად არის დროში რეგლამენტირებული. აღნიშნულ ზღვარს ზემოთ პროდუქცია შეიძლება წუნდებული აღმოჩნდეს.

ამგვარად, სასურსათო წარმოებაში გადასამუშავებელი ნედლეულის მრავალფეროვნება და პროცესების თავისებურება ქმნის განსაკუთრებულ ტექნოლოგიურ გარემოს, რომლის გათვალისწინებაც ერთ-ერთ აუცილებელ და ფრიად საპასუხისმგებლო პირობას წარმოადგენს სასურსათო მრეწველობაში მოწყობილობის კვანძების დასამზადებლად საკონსტრუქციო მასალების სწორად შერჩევის თვალსაზრისით.

10.2. კვების პროდუქტების ტექნოლოგიური გარემო

სასურსათო წარმოების ტექნოლოგიური გარემო შედგენილობისა და თვისებების მიხედვით შეიძლება პირობითად ორგანულ და არაორგანულ გარემოდ დაიყოს. ორგანულ გარემოს მიეკუთვნება მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის ორგანული ნახშირბადშემცველი ნაერთები, ხოლო არაორგანულს – ქიმიურად აქტიური არაორგანული მჟავების, ტუტეების, მარილების და სხვათა წყალხსნარები.

ძლიერ კოროზიულად აქტიურ არეს პურის საცხობი წარმოების გარემო წარმოადგენს, რომელსაც ქმნის მარილწყალხსნარები, თხევადი საფუარი და ხერგილი, ჭვავის ცომი, ხორბლის ფქვილის ცომი და ზოგიერთი ნახევარფაბრიკატი.

პურის საცხობ წარმოებაში საფუარიანი ცომის და ნახევარფაბრიკატების დუღილის პროდუქტებს წარმოადგენს ეთილის სპირიტი, ნახშირორჟანგის აირი, სხვადასხვა ორგანული, უმთავრესად რქემჟავა და ძმარმჟავები, ზოგიერთი ალდეჰიდი და რთული ეთერები. მუავიანობა შეიძლება იცვლებოდეს ზღვრებში pH=6,0-4,2.

შაქრის წარმოებაში ჭარხლის გადასამუშავებელი განყოფილების გარემო, როგორც წესი, ნეიტრალური ან სუსტად მჟავა (pH=6,0-7,0. ტემპერატურა 14-45°C). მათ მიეკუთვნება ტბორის და მდინარის წყალი, რომელიც შეიცავს შეტივტივებულ მყარ ნაწილაკებს (0,005-30 გ/ლ) და გახსნილ მარილებს; დიფუზური წვენი, რომელიც შეიცავს 15%-იან შაქრის და უშაქრო წყალხსნარებს. უშაქრო წყალხსნარებს მიეკუთვნება 5%-მდე აზოტოვანი და არააზოტოვანი ნაერთები.

შაქრის წარმოების წვენის გამწმენდი განყოფილების გარემო შედგენილობის მიხედვით უფრო მრავალფეროვანია და ხასიათდება გაზრდილი ტუტიანობით (pH=8,0-14,0. ტემპერატურა 65-96 °C). იგი შედგება კირის წვენის, დეფეკირებული და სატურირებუ-

ლი წვენებისაგან, რომლებიც სხვადასხვა რაოდენობით შეიცავს კალციუმის ჰიდროქსიდს, კალციუმკარბონატს, სილიციუმის ოქსიდს და სხვა შეწონილ ნაწილაკებს, რომლებიც საკმაოდ მაღალი აბრაზიული თვისებებით ხასიათდება.

პროდუქტების განყოფილების გარემო სუსტად მჟავა (pH=8,0-9,0). იგი შეიცავს შაქრის დიდ რაოდენობას (25-65 %). ეს გარემო პირობითად შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს: უტფელად (კრისტალიზაციის პროდუქტები) და აფინაციურ მასებად, რომლებიც შეიცავს 40-70% შაქარს, ბადაგს და უშაქრო მინარევების დიდ რაოდენობას.

ღვინის წარმოების ტექნოლოგიური გარემო მეტად აგრესიულია ნახშირბადიანი ფოლადების მიმართ. ღვინის აგრესიულობა განისაზღვრება მასში შაქრის და სპირტის შემცველობით. აგრესიულობის ხარისხი მნიშვნელოვან ზღვრებში იცვლება ღვინის ხარისხზე დამოკიდებულებით. მაგალითად, მშრალი ღვინო არ შეიცავს შაქარს, ხოლო სპირტის რაოდენობა მხოლოდ 9-14 მოცულობით პროცენტს (მოც.%) შეადგენს. გამაგრებული ღვინო შეიცავს 8-10% შაქარს და 16-20 მოც. % სპირტს, ტკბილი (სადესერტო) ღვინო – 8-20% შაქარს და 13 მოც. %-ზე მეტ სპირტს, ხოლო ნახევრადტკბილი (სუფრის) ღვინო – 3-7% შაქარს და 7-12 მოც. % სპირტს. ეს განზოგადებული მონაცემებია, თუმცა ღვინის მწარმოებელმა ფირმამ შეიძლება საკუთარი ტექნოლოგიური პროცესებიდან გამომდინარე, ამ მონაცემებს გვერდი აუაროს. მაგალითად, წითელ ნახევრადტკბილ ცქრიალა ღვინოში „ბადაგონი“ შაქრის შემცველობა ~25%-ს შეადგენს, ალკოჰოლის რაოდენობა – 10-12,0%.

სპირტის წარმოების გარემო კოროზიულად აქტიურია, რადგან ის შეიძლება შეიცავდეს მშრალ ნივთიერებებს, დაუდუღებელ შაქარს, ორგანულ მჟავებს, რთულ ეთერებს, რახის ზეთებს, ალდეჰიდებს და ა. შ. ასეთ გარემოს შეიძლება მივაკუთვნოთ მაჭარი (მარცვლის, ბადაგის, ლერწმის), სპირტ-რეკტიფიკატი, დაუმუშავებელი სპირტი, ბარდა (მარცვლის, ლერწმის, აცეტონბუთილის), აგრეთვე არაყი და სხვადასხვა ლიქიორი.

საკონდიტრო წარმოების გარემოს მიეკუთვნება შაქრის და კარამელის სიროფი ლიმონისა და რძემჟავას დანამატებით, ბადაგი, ხილ-კენკროვანის ნახარში, სულფიტრებული პიურე და გულსართი, აგრეთვე საკვები ესენციებისა და საღებავების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ხელს უწყობს მასალათა კოროზიას.

ზოგიერთი სასურსათო გარემო აბრაზიული ხასიათისაა. მაგალითად, კეტჩუპი, ტომატის პასტა, მაიონეზი, სხვადასხვა სოუსი. აბრაზიული თვისებებით ხასიათდება, აგრეთვე ფხვიერი გარემოს უმრავლესობა.

ამგვარად, სასურსათო წარმოების სპეციფიკური პირობები, როგორცაა კოროზიულად აქტიური არე, სარეცხი და სადუზინფექციო ხსნარები, გაზრდილი ტემპერატურა, მუშა არის დიდი სიჩქარით გამოდინება, წნევების მნიშვნელოვანი სხვაობა (ვარდნილი) – განსაკუთრებულ მოთხოვნებს უყენებს მასალის სწორად შერჩევის საკითხს ტექნოლოგიური მოწყობილობის კონსტრუირებისას.

10.3. ტექნოლოგიური მოწყობილობის მუშაობის უნარიანობა და საიმედოობა

სასურსათო წარმოებაში ტექნოლოგიური მოწყობილობის საიმედოობისადმი გაზრდილი მოთხოვნა იმით არის განპირობებული, რომ უმეტეს შემთხვევაში საწარმოო ციკლში რომელიმე კვანძის მტყუნება ტექნოლოგიური პროცესის დარღვევას და პროდუქტის კარგვას განაპირობებს.

როგორც წესი, თანამედროვე მოწყობილობის მორალური ვადა არ აღემატება 5 წელს, პროექტირების პროცესში კი ექსპლუატაციის ფიზიკურ ხანგრძლივობას 5-7 წელს ითვალისწინებენ.

მოწყობილობისა და მისი ცალკეული დეტალების მუშაობის უნარიანობის ძირითად კრიტერიუმებს მიეკუთვნება სიმტკიცე, სიხისტე, ცვეთამდეგობა, თბომდეგობა, მდგრადობა ცივტეხადობისადმი და ვიბრაციებისადმი, კოროზიამდეგობა.

ისეთი ტექნოლოგიური მოწყობილობის ელემენტებისათვის, რომლებიც უშუალო კონტაქტშია სასურსათო არესთან ან სარეცხ საშუალებებთან, განსაკუთრებულ როლს სწორედ მასალის კოროზიული მდეგობა თამაშობს. მაგალითად, სასურსათო წარმოებაში სატრანსპორტო მოწყობილობა გამოიყენება როგორც ნედლეულისა და პროდუქციის ტრანსპორტირებისათვის ტექნოლოგიურ მოწყობილობებს შორის, ისე სხვადასხვა ტექნოლოგიური ოპერაციის შესასრულებლად. მაგალითად, ლენტური კონვეიერი ძირითად დანიშნულებასთან ერთად გამოყენებას პოულობს ჩასატკეც მოწყობილობაში, დოზატორებში, ბლითის ფორმირების მანქანებში და კიდევ არაერთი დანიშნულებით. ასეთ შემთხვევებში ადგილი აქვს ნედლეულსა (ნახევარფაბრიკატსა) და სატრანსპორტო მოწყობილობის ელემენტებს შორის უშუალო კონტაქტს გარკვეული ძალის ზემოქმედების პირობებში.

კოროზიამდეგობა გულისხმობს მანქანებისა და აპარატების ელემენტების ზედაპირის უნარს წინააღმდეგობა გაუწიოს სასურსათო არის, პროდუქტების, სარეცხი და

სადეზინფექციო ხსნარების ზემოქმედებას სითბოს, მუშა არის გამოდინების სიჩქარის, წნევისა და სხვა ფაქტორების მნიშვნელოვანი ცვალებადობის გათვალისწინებით.

ცვეთა მეტად დამახასიათებელი სახეობაა მოწყობილობის მუშა ორგანოებისა და დეტალების ზედაპირის მწყობრიდან გამოსვლის თვალსაზრისით. ცვეთა არის დეტალის ზომების თანდათანობითი შეცვლის პროცესის შედეგი, რომელიც მიმდინარეობს სახუნის პირობებში ზედაპირული ძალების ზემოქმედებით და დაკავშირებულია მასის კარგვასთან. ცვეთის სხვადასხვა სახეს უმეტესწილად ტექნოლოგიური მოწყობილობის მუშა ორგანოების მოხახუნე ზედაპირები განიცდის: ცენტრიდანული ტუმბოს, სეპარატორის და ცენტრიფუგის ტორსული მამჭიდროვებელი რგოლები; სრიალის საკისრები; ტუმბოს ყვინთა (პლუნჯერი); მამჭიდროვებელი სამაჯური (მანუეტი); ცილინდრ-დოზატორის მასრა; საჭრელი მანქანის და ხორცსაკეპის ბზრიალა და მჭრელი დანები და ა.შ.

თბომედევობა და ცივტეხადობისადმი მდგრადობა გულისხმობს მასალის უნარს შეინარჩუნოს მუშა პარამეტრები გაზრდილ და დაბალ ტემპერატურებზე, აგრეთვე ტემპერატურის ციკლური ცვალებადობისას.

როგორც წესი, მოწყობილობისა და აპარატურის კვანძების საექსპლუატაციო მახასიათებლების უზრუნველსაყოფად აუცილებელ პირობას საკონსტრუქციო მასალისა და მისი შემდგომი დამუშავების მეთოდის სწორად შერჩევა წარმოადგენს.

10.4. სასურსათო წარმოებაში გამოყენებული მასალებისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები

სასურსათო წარმოების ტექნოლოგია არსებითად განსხვავდება სხვა ქიმიურ-ტექნოლოგიური პროცესებისგან. მრეწველობის არც ერთი სხვა სფერო წარმოების პროცესს ისეთ მაღალ და მკაცრ მოთხოვნებს არ უყენებს, როგორც სასურსათო მრეწველობა. კვების პროდუქტების წარმოების ყველა საფეხურისათვის, დაწყებული ნედლეულის მიღებისა და დამუშავებიდან მზა პროდუქციის ტრანსპორტირებისა და მაღაზიის თაროებზე დასაწყობებამდე, შემუშავებულია ნორმატიული აქტები და ღირექტივები, რომლის შესრულებაც აუცილებელ პირობას წარმოადგენს.

სურსათის წარმოების ტექნოლოგიური პროცესების უმთავრესი თავისებურებაა სანიტარულ-ჰიგიენური მოთხოვნების მკაცრად დაცვა, რაც პოტენციური მომხმარებლის ჯანმრთელობასთან არის დაკავშირებული.

სასურსათო წარმოების ისეთი სპეციფიკური პირობები, როგორცაა კოროზიულად აქტიური გარემო, სარეცხი და სადეზინფექციო ხსნარების რეგულარული გამოყენება, გაზრდილი ტემპერატურა და წნევის არსებითი ვარდნილი, იმ განსაკუთრებულ მოთხოვნებს განსაზღვრავს, რაც ტექნოლოგიური მოწყობილობის კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალების შერჩევასთან არის დაკავშირებული.

სასურსათო წარმოების მოწყობილობა, მათი გამოყენების სფეროს სპეციფიკიდან გამომდინარე, მთელ რიგ ტექნოლოგიურ მოთხოვნებს უნდა აკმაყოფილებდეს. კერძოდ, იგი უნდა ხასიათდებოდეს მდგრადობით ქიმიური, ფიზიკური და ტემპერატურული ზემოქმედების მიმართ, ამიტომ მოწყობილობისა და მისი ცალკეული კვანძების დასამზადებლად გამოყენებული უნდა იყოს კვების მრეწველობისათვის ნებადართული საკონსტრუქციო მასალები.

სურსათის წარმოების ინდუსტრიის მოწყობილობის კომპონენტების მიმართ წაყენებული მოთხოვნები დაკავშირებულია ისეთ ფაქტორებთან, როგორცაა წარმოების ჰიგიენა და მომხმარებელთა უსაფრთხოება, ბაქტერიების აქტიურობის არიდება და ხშირი პროფილაქტიკური სამუშაოები. კვების მრეწველობის მანქანების დეტალები და კომპონენტები შემდეგ პირობებს უნდა აკმაყოფილებდეს:

- შიგა ზედაპირები უნდა იყოს გლუვი, ფორების გარეშე და პოლირებული;
- არ უნდა შეიცავდეს მავნე ნივთიერებებს, რომლებმაც შეიძლება პროდუქტში შეაღწიოს;
- არ უნდა წარმოადგენდეს პათოგენური მიკროორგანიზმების საკვებ წყაროს;
- არ გააუარესოს მზა საკვები პროდუქტების ორგანოლეპტური (გემო, სუნი, ფერი და სხვა) თვისებები;
- უზრუნველყოს პროდუქტების ბიოლოგიური ღირებულებების შენარჩუნება;
- ადვილად ექვემდებარებოდეს გეგმიურ რეცხვას, წმენდას და დეზინფექციას;
- არ შევიდეს რეაქციაში სხვადასხვა სახის ტუტესთან და მჟავასთან.

ნედლეულის, საკვები პროდუქტებისა და სასურსათო მოწყობილობის დასამზადებლად განკუთვნილი საკონსტრუქციო მასალის ურთიერთქმედების თვალსაზრისით, სამი არსებითი ფაქტორია გასათვალისწინებელი:

1. საკონსტრუქციო მასალის ნეიტრალობა დასამუშავებელ კვების პროდუქტებთან (გამორიცხული უნდა იყოს საკონსტრუქციო მასალის ზემოქმედება კვების პროდუქტებზე);

2. საკვები პროდუქტის ნეიტრალობა საკონსტრუქციო მასალის მიმართ;

3. საკონსტრუქციო მასალის მუშაობისუნარიანობა (ტექნოლოგიური პროცესების შესრულების უზრუნველყოფა).

მასალები, რომლებიც სასურსათო მრეწველობის ტექნოლოგიურ მოწყობილობაში გამოიყენება, პირობითად შეიძლება ოთხ ძირითად ჯგუფად დაიყოს:

- საკონსტრუქციო მასალები მოწყობილობის ისეთი დეტალების დასამზადებლად, რომლებსაც არა აქვს უშუალო კონტაქტი საკვებ ნედლეულთან ან პროდუქტებთან;

- საკონსტრუქციო მასალა მოწყობილობის ისეთი დეტალებისათვის, რომლებიც უშუალო კონტაქტშია გადასამუშავებელ ნედლეულთან ან კვების პროდუქტებთან;

- გარე დამცავი დანაფარები ისეთ დეტალებზე, რომლებიც კონტაქტშია ნედლეულთან, კვების პროდუქტებთან, სარეცხ და სადუხინფექციო საშუალებებთან;

- შესაფუთი მასალები მოხმარების ან ტრანსპორტირებისათვის.

მასალა, რომლისგანაც ნებისმიერი სასურსათო მოწყობილობა მზადდება, უვნებელი უნდა იყოს მზა პროდუქციისა და მოხმარებლის ჯანმრთელობისათვის, შეესაბამებოდეს წარმოების ჰიგიენის მოთხოვნებს და დაშვებული იყოს კვების მრეწველობის საწარმოებში გამოყენებისათვის.

ანსხვავებენ მასალების ფიზიკურ, ქიმიურ, ტექნოლოგიურ, მექანიკურ, ტრიბოლოგიურ და სანიტარულ-ჰიგიენურ მოთხოვნებს. სასურსათო მანქანათმშენებლობაში განსაკუთრებულ და გარკვეულ წილად სპეციფიკურ როლს ქიმიური და სანიტარულ-ჰიგიენური მოთხოვნები თამაშობს.

ნებისმიერ კონსტრუქციაში მასალების გამოყენების უმთავრესი პირობაა სამუშაო გარემოსთან მათი შეთავსებადობა. სასურსათო წარმოების ტექნოლოგიური პროცესები მიმდინარეობს მაღალ და დაბალ ტემპერატურებზე, მაღალი წნევის პირობებში და ვაკუუმში, მუშა არის ნაკადის გამოდინების დიდი სიჩქარით და სასურსათო გარემოს მშვიდ მდგომარეობაში ხანგრძლივი დაყოვნების პირობებში, pH გარემოს ფართო დიაპაზონში ცვლილებისა და კიდევ სხვა ჯერ კიდევ გაუთვალისწინებელი ფაქტორების თანაარსებობისას, რაც სასურსათო გარემოს აგრესიულობას განაპირობებს.

მრავალი სასურსათო გარემო ელექტროლიტს წარმოადგენს, ამიტომ კოროზია მათში ელექტროლიტურ ხასიათს ატარებს. ელექტროლიტის ქიმიური ბუნება განპირობებულია გარემოს შედგენილობაში მჟავებისა და მინერალური ნივთიერებების არსებობით. სწორედ მათი რაოდენობა და დისოციაციის ხარისხი განსაზღვრავს ძირითა-

დად სასურსათო გარემოს აგრესიულობას. ტექნოლოგიური პროცესის სხვადასხვა ეტაპზე სასურსათო გარემოს ქიმიური თვისებები იცვლება, რის შედეგადაც მათი კოროზიული ზემოქმედება მოწყობილობა-დანადგარების ზედაპირზე მცირდება ან იზრდება.

სასურსათო წარმოების აპარატები ექვემდებარება აგრესიული სარეცხი და სადეზინფექციო ხსნარების (1-2%-იანი კაუსტიკური სოდის, 5-10%-იანი კალცინირებული სოდის, 2%-იანი გოგირდმჟავას, 2%-იანი მარილმჟავას, 3%-იანი აზოტმჟავას, 0,2-0,5%-იანი კალიუმის პერმანგანატის და სხვა საშუალებების) პერიოდულ ზემოქმედებას. ტექნოლოგიურ მოწყობილობაზე ყველაზე აგრესიულად მჟავა დეზინფექტორები მოქმედებს. სადეზინფექციო ხსნარების შემკრების და მიღგაყვანილობის დამზადება უჟანგავი ფოლადისაგან ყოველთვის ვერ უზრუნველყოფს კონსტრუქციის კოროზიული მედეგობის ამალღებას.

სასურსათო წარმოებაში ქიმიურ კოროზიას დამხმარე საამქროების მხოლოდ ზოგიერთი (სამაცივრე-კომპრესორული, ნახშირორჟანგის, საქვების) აპარატი და კომუნიკაცია განიცდის. ტექნოლოგიური საამქროების მოწყობილობა კი ძირითადად ელექტროქიმიურ კოროზიას ექვემდებარება. გარემოს აგრესიულობაზე და ელექტროქიმიური პროცესების მიმდინარეობაზე დამოკიდებულებით ელექტროქიმიური კოროზიის შემდეგი სახეებია გავრცელებული:

- ატმოსფერული (მოწყობილობასა და ლითონკონსტრუქციებზე ნაგებობის გარეთ ჰაერის სამრეწველო აირით დაბინძურების შემთხვევაში);
- ნიადაგისა (მიწისქვეშა გაზგაყვანილობის, წყალგაყვანილობის, საკანალიზაციო ქსელის, თბური ტრასის, ლითონკონსტრუქციის მიწისქვეშა ნაგებობების დაშლა);
- ელექტრული (ლითონზე მოხეტიალე დენის გავლენა);
- მჟავური (აზოტმჟავას, გოგირდმჟავას და მარილმჟავას წყალხსნარები დეზინფექციის პროცესში, რძემჟავას ზემოქმედება ხერგილის შემჟავების შემთხვევაში და ა.შ.);
- მარილოვანი (მარილხსნარის ტუმბოების, მიღგაყვანილობის, გაცივების ბატარეის, საორთქლებლის, ნატრიუმ-კათიონის დანადგარის და ა.შ. დაშლა);
- ტუტიანი (ტუტიანი სარეცხი და სადეზინფექციო ხსნარები). იგი განსაკუთრებით ძლიერ შლის სარეცხი მანქანების და სამსხმელო საამქროების სავენტრაციო სისტემის აირგამყვან ლითონკონსტრუქციებს;
- კონტაქტური (ორი სხვადასხვაგვარი ლითონის კონტაქტის შემთხვევაში, რომლებსაც განსხვავებული ელექტროქიმიური პოტენციალი გააჩნია);

- ბიოლოგიური (გრუნტში განთავსებული პროდუქტის მიმწოდებელი არხების, აპარატურის, ლითონის და რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაშლა).

ქიმიური კოროზია ვითარდება სასურსათო არის ორგანული მჟავების ზემოქმედებით ცემენტის ქვისა და რკინა-ბეტონის შემადგენელ ნაწილაკებთან.

ბიოლოგიური კოროზია წარმოადგენს მიკროორგანიზმების სასიცოცხლო ქმედების შედეგს სამშენებლო კონსტრუქციების ზედაპირზე, რომელიც სასურსათო არით არის დასველებული.

ფიზიკურ-ქიმიური კოროზია იწვევს სამშენებლო კონსტრუქციების დაშლას, მაგალითად, გარემოსთან თბომიმოცვლის პირობებში, აგრეთვე თხევადი სასურსათო პროდუქტების ზემოქმედებით გაყინვის შედეგად.

ტექნოლოგიური და სასურსათო არის უშუალო კონტაქტი, ხანგრძლივი და უწყვეტი მუშაობა, ზოგიერთი სასურსათო პროდუქტის აბრაზიული ზემოქმედება, გარემოს, სარეცხი და სადუხინფექციო ხსნარების აგრესიული გავლენა განაპირობებს სწორედ სასურსათო მრეწველობაში საკონსტრუქციო მასალების დანიშნულების, შერჩევისა და შემდგომი დამუშავების აუცილებელ და განსაკუთრებულ პირობებს.

10.5. ლითონური საკონსტრუქციო მასალები

სასურსათო მრეწველობის მოწყობილობაში საკონსტრუქციო მასალების გამოყენების აუცილებელ პირობას სანიტარულ-ჰიგიენური და ტოქსიკოლოგიური კონტროლის გავლა წარმოადგენს. არახელსაყრელ პირობებში ზოგიერთმა, მაგალითად, პოლიმერულმა მასალამ ან მის შემადგენლობაში შემავალმა მონომერებმა, დაბალმოლეკულურმა ნაერთებმა და სხვადასხვა შემადგენელმა ნაწილებმა შეიძლება უარყოფითად იმოქმედოს საკვები პროდუქტების ხარისხზე და, აქედან გამომდინარე, ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ჯანმრთელობაზე არასასურველი გავლენა შეიძლება გამოიხატოს როგორც მწვავე მოწამლვით, რომელიც რამდენიმე საათში ან დღეში გამოვლინდება, არამედ ქრონიკული მოწამლვითაც, რომელიც თვეების განმავლობაში მუდავნდება.

ჰიგიენური და ტოქსიკოლოგიური შეფასების თვალსაზრისით მასალები შეიძლება შემდეგ ჯგუფებად დაიყოს:

1. სახელმწიფო სანიტარული ზედამხედველობის ორგანოს მიერ დაშვებული საკვებ პროდუქტებთან კონტაქტირებისათვის;
2. კონტაქტირებისათვის დაშვებული გარკვეულ სასურსათო პროდუქტებთან;

3. სასურსათო პროდუქტებთან კონტაქტირებისათვის დაშვებული მხოლოდ განსაკუთრებულ პირობებში;

4. სასურსათო წარმოებაში გამოყენებისათვის დაუშვებელი ტოქსიკურობის ან სასურსათო პროდუქტებთან მისი შეხების შემთხვევაში შედგენილობის ცვლილების გამო;

5. სასურსათო წარმოებაში გამოყენებისათვის დაუშვებელი, თუ არ არის შესწავლილი მისი ჰიგიენური და ტოქსიკოლოგიური თვისებები ან იმყოფება კვლევის სტადიაში.

კოროზიამდეგი ფოლადები. სასურსათო მანქანებისა და აპარატურის დასამზადებლად ყველაზე გავრცელებულ მასალას ლეგირებული კოროზიამდეგი, ე.წ. უჟანგავი ფოლადები წარმოადგენს. დღეისათვის შექმნილია უჟანგავი ფოლადის მარკების მრავალსახეობა, რომლებიც რეკომენდებულია, როგორც საკონსტრუქციო მასალები სასურსათო მრეწველობის მოწყობილობის დასამზადებლად. კონკრეტული მარკის შერჩევა დამოკიდებულია ლითონთან კონტაქტში მყოფი დასამუშავებელი მასალის ან ქიმიური გარემოს კოროზიულ თვისებებზე.

მასალათა ჯგუფი, რომელიც გაერთიანებულია ტერმინში „უჟანგავი ფოლადები“, ზუსტად არ არის განსაზღვრული, თუმცა მიღებულია, რომ მასში ისეთი შენადნობებია გაერთიანებული, რომელთა ძირითად კომპონენტებს რკინა და არანაკლებ 12% ქრომი წარმოადგენს. უჟანგავი ფოლადები გამოირჩევა მაღალი სიმტკიცით, მდგრადობით ელექტროქიმიური, ქიმიური (ატმოსფერული, ნიადაგის, ტუტეების, მჟავების, მარილების), კრისტალთშორისი და სხვა სახის კოროზიის მიმართ. ქრომის შემცველობის გაზრდა ამაღლებს ლითონის კოროზიულ მედეგობას.

ფოლადში კოროზიული მედეგობა ისეთი ელემენტების დამატებით მიიღწევა, რომლებიც მის ზედაპირთან მტკიცედ დაკავშირებულ, მკვრივ დამცავ შრეს წარმოქმნის და გამორიცხავს საექსპლუატაციო გარემოს უშუალო კონტაქტს ფუძელითონთან. უჟანგავ ფოლადში ასეთი დამცავი შრე მდგრადობას ინარჩუნებს მექანიკური ან ქიმიური დაზიანების შემდეგაც, რადგან მეტად სწრაფად ხდება მისი პირვანდელი სახის აღდგენა. აქედან გამომდინარე, ლითონის ანტიკოროზიულობის ხარისხი პრაქტიკულად უცვლელად არის შენარჩუნებული ექსპლუატაციის მთელი პერიოდის განმავლობაში.

ქრომიან ფოლადებში ნიკელის, ტიტანისა და ნიობიუმის დამატება განაპირობებს

კრისტალთშორისი კოროზიისადმი ლითონის მიდრეკილების აცილებას, სილიციუმის დამატებით კი იზრდება ფოლადის მხურვალმტკიცობა.

სასურსათო წარმოებაში ისეთი დეტალების დასამზადებლად, რომლებიც თერმულ დამუშავებას არ განიცდის, სასურველია ნახშირბადმცირე ($C < 0,06\%$) უჟანგავი ფოლადის გამოყენება, რომელიც არ ხასიათდება ინტერკრისტალური კოროზიისადმი მიდრეკილებით.

მიკროსტრუქტურის მიხედვით სასურსათო უჟანგავი ფოლადები სამ ძირითად კატეგორიად იყოფა: აუსტენიტური, ფერიტული და მარტენსიტული.

აუსტენიტური ფოლადები არამაგნიტურ შენადნობებს მიეკუთვნება. ქრომთან ერთად იგი შეიცავს ნიკელს, რომელიც ზრდის წინააღმდეგობას კოროზიისადმი. ამ ჯგუფს მიეკუთვნება უჟანგავი მხურვალმტკიცე ფოლადები ნიკელის (10-20%) და ქრომის (17-25%) გაზრდილი შემცველობით. ფოლადები ხასიათდება უკეთესი წინააღმდეგობით ჟანგვისადმი მაღალ ტემპერატურაზე. აუსტენიტური სტრუქტურის ძირითად ღირსებას წარმოადგენს აგრეთვე მაღალი მექანიკური თვისებების კომპლექსი. დღეისათვის იგი ყველაზე ფართოდ გამოყენებული უჟანგავი ფოლადების რიცხვს მიეკუთვნება.

ფერიტული ფოლადები ხასიათდება მაგნიტური თვისებებით, შეიცავს ქრომის შედარებით მცირე რაოდენობას ($13-17\%Cr$, $0,08\%C$). ფერიტული კლასის ფოლადების კოროზიამდეგობა აღემატება მარტენსიტული ფოლადების კოროზიამდეგობას. ამასთან გასათვალისწინებელია, რომ ფერიტული სტრუქტურა რამდენადმე ამცირებს ფოლადის მექანიკურ თვისებებს და დამუშავების შესაძლებლობებს.

მარტენსიტული ფოლადები ასევე ხასიათდება მაგნიტური თვისებებით. იგი შეიცავს 13% ქრომს და 0,12% ნახშირბადს. განმტკიცების ეფექტი წრთობითა და მოშვებით მიიღწევა. მაღალი სისალის გამო მარტენსიტული ფოლადებისგან უპირატესად მჭრელ იარაღებს ამზადებენ, როგორცაა, მაგალითად, სამაგიდო ხელსაწყოები. ფოლადები, რომლებიც ნახშირბადს უფრო მეტი რაოდენობით შეიცავს, ძირითადად მჭრელი პირების დასამზადებლად გამოიყენება.

სასურსათო უჟანგავი ფოლადებიდან აუსტენიტური და ფერიტული კლასის ფოლადების გამოყენების დონე 95%-ს შეადგენს.

უჟანგავი ფოლადების უპირატესობა სხვა საკონსტრუქციო ფოლადებთან შედარებით შემდეგია:

ტექნოლოგიურობა – ფოლადები ხასიათდება მეტად მაღალი პლასტიკურობით,

ამიტომ მათ ფართოდ იყენებენ ნაკეთობის დასამზადებლად ღრმა გამოჭიმვის მეთოდით (სამზარეულოს ჭურჭელი, სხვადასხვა დანიშნულების მოცულობითი ნაკეთობა). უარყოფითი მხარეა ზოგიერთი ფოლადის მიდრეკილება ინტერკრისტალური კოროზიისადმი, რომელსაც იგი იძენს ნელი სიჩქარით გაცივების პირობებში ან 500-850°C ტემპერატურულ ინტერვალში გახურებისას და შედუღების შემდეგ. ლითონის დამუშავების თანამედროვე მეთოდები უჟანგავი ფოლადების ჭრის, შედუღების, ფორმის შეცვლის ისეთივე შესაძლებლობებს იძლევა, როგორც ტრადიციული ფოლადებისა და სხვა მასალების დამუშავებისათვის არის მიღებული.

წინააღმდეგობა კოროზიისადმი – არსებობს უჟანგავი ფოლადების ისეთი სახეები, რომლებიც კოროზიისადმი წინააღმდეგობას ამჟღავნებს არა მარტო ნორმალურ ატმოსფერულ პირობებში და წყლის გარემოში, არამედ მრავალ მჟავაში, ტუტეში და ზოგიერთ ქლორის წყალხსნარებში, რასაც არაერთი საწარმოო პირობები მოითხოვს.

სიმტკიცე – უჟანგავი ფოლადების მექანიკური თვისებები ნაკეთობის სისქისა და წონის შემცირების შესაძლებლობას იძლევა სიმტკიცის მახასიათებლების იგივე დონის შენარჩუნებით. ამასთან, აუსტენიტური კლასის ფოლადები მაღალ ტემპერატურაზე არ კარგავს სიმტკიცეს საერთო დანიშნულების საკონსტრუქციო ფოლადებთან შედარებით. ამიტომ, მიუხედავად უჟანგავი ფოლადების მაღალი ღირებულებისა, ამ უპირატესობების გათვალისწინებით შესაძლებელია მნიშვნელოვანი ეკონომია გაკეთდეს ტრადიციული მასალების გამოყენებასთან შედარებით.

ჰიგიენა – უჟანგავი ფოლადების ზედაპირი ყველაზე ჰიგიენურად არის აღიარებული სასურსათო პროდუქტების მიღებისა და წარმოებისათვის. მათი ზედაპირის უნიკალურობა იმაში მდგომარეობს, რომ იგი უფროა, ბზარების გარეშე, რაც გამორიცხავს ლითონში ჭუჭყისა და ბაქტერიების შეღწევას. ეს თვისება სხვა მასალებთან შედარებით უჟანგავ ფოლადებს მნიშვნელოვან უპირატესობას ანიჭებს მკაცრი ჰიგიენური მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად საავადმყოფოებში, საზოგადოებრივი კვების ობიექტებში, საქონლის სასაკლაოზე, აგრომრეწველობის კომპლექსის გადასამუშავებელ წარმოებაში საკვები მოწყობილობის დასამზადებლად.

ესთეტიკური შეხედულება – იგი დამოკიდებულია ზედაპირის მდგომარეობაზე. ნათელი და მომსახურებისათვის ადვილი ზედაპირი უზრუნველყოფს უჟანგავი ფოლადისგან დამზადებული ნაკეთობის მიმზიდველ, თანამედროვე გარეგნულ იერსახეს. ამჟამად სამზარეულოს ჭურჭლის დასამზადებლად გამოიყენება უჟანგავი ფოლადი

სარკისებური ზედაპირით, რომელიც ელექტროპოლირების სხვადასხვა ხერხით მიიღ-
წევა. ამასთან, დამუშავებას ექვემდებარება როგორც მზა ნაკეთობა, ისე ფურცლები,
რომლებზეც ზედაპირის ხარისხის შესანარჩუნებლად მასზე პოლიეთილენის ფირს
აკრავენ. კარგად შეიძლება უჟანგავი ფოლადის კომბინირება მინასთან, ქვასთან, ხესთან.

შედგენილობისა (მარკების) და, აქედან გამომდინარე, თვისებების მრავალფე-
როვნების წყალობით, უჟანგავი ფოლადი სრულად აკმაყოფილებს მრეწველობის მიერ
წაყენებული ფართო დიაპაზონის მქონე ყველა მოთხოვნას.

10.1 ცხრილში წარმოდგენილია მსოფლიო ბაზრის მოთხოვნის შესაბამისი სა-
სურსათო უჟანგავი ფოლადების ანალოგები, ხოლო ცხრილში 10.2 – ძირითადი მწარ-
მოებელი ქვეყნების შესაბამისი სტანდარტები.

მიუხედავად იმისა, რომ უჟანგავ ფოლადად ტრადიციულად მიჩნეულია ფოლადი
ქრომის 12%-ზე მეტი შემცველობით, აქტიური სამუშაოები მიმდინარეობს უჟანგავი მა-
სალების მისაღებად ქრომის დაბალი (5%-მდე) შემცველობით, რომელშიც შენარჩუნე-
ბული იქნება კოროზიამედეგობა 15-17% ქრომის შემცველი ფოლადების დონეზე. ეს მე-
ტად აქტუალური საკითხია, რადგან უჟანგავი ფოლადის კონსტრუქციების ნგრევის ძი-
რითად მიზეზს ხშირად ელექტროქიმიური კოროზია წარმოადგენს, რაც განპირობებუ-
ლია შენადული ნაკერის ზონებისა და ძირითადი ლითონის არაერთგვაროვნებით. თუ
უჟანგავი ფოლადისგან დამზადებული კონსტრუქცია ხანგრძლივი დროის განმავლო-
ბაში განიცდის ექსპლუატაციას მაღალ ტემპერატურაზე, გათვალისწინებული უნდა იყოს
ტემპერატურულ-დროითი ფაქტორი, რამაც შეიძლება ნეგატიური გავლენა მოახდინოს
სიმტკიცის მახასიათებლებზე. მაგალითად, AISI 300 სერიის ნიკელის შემცველი უჟანგა-
ვი ფოლადი (იხ. ცხრ. 10.1) AISI 321 მარკის ფოლადის გამოკლებით, 450-750°C დიაპაზონ-
ში მხოლოდ რამდენიმე საათით ექსპლუატაციის შემდეგ შეიძლება მეტად საშიში, კრის-
ტალთშორისი კოროზიული ნგრევა განვითარდეს. AISI 400 სერიის ქრომიანი ფერიტუ-
ლი ფოლადი კი არ განიცდის კოროზიას 1000°C-მდე გახურების შემთხვევაშიც კი. გარ-
და ამისა, ქრომიანი ფერიტული ფოლადებისგან დამზადებული ელემენტები, რომლე-
ბიც შედარებით დაბალი კუთრი თბოშემცველობით ხასიათდება, უფრო სწრაფად ხურ-
დება მცირე ენერგოდანახარჯებით. ეს შესაძლებლობას იძლევა ავიცილოთ ინერციული
გადახურება, რაც მეტად აქტუალურია ფართო რიგის საკვები პროდუქტების წარმოე-
ბაში. ამ სერიის ფოლადები უძლებს მაღალ პიკურ ტემპერატურულ დატვირთვებს
(950°C-მდე) და შეიძლება მათი უწყვეტი ექსპლუატაცია როგორც მინიმუმ, 700°C-მდე.

ცხრილი 10.1.

სასურსათო უქანგავი ფოლადების ძირითადი მახასიათებლები

AISI	ფოლადის მარკა	კლასი*	თვისებები	გამოყენების სფერო
304	08X18H10	ა	ადვილად დუღდება; მდგრადია კრისტალთშორისი კოროზიის მიმართ; მაღალი სიმტკიცე დაბალ ტემპერატურაზე; ექვემდებარება ელექტროპოლირებას	კვების, ქიმიური, ტექსტილის, ნავთობის, ქაღალდის და ფარმაცევტული წარმოების დანადგარები.
316	03X17H14M2	ა	ტექნიკური თვისებები მაღალ ტემპერატურაზე გაცილებით უკეთესია ანალოგიურ ფოლადებთან შედარებით, რომლებიც არ შეიცავს მოლობდენს.	ქიმიური მოწყობილობა; იარაღები; საკვების გადასამუშავებელი მოწყობილობა; მოცულობა ნამუშავარი ზეთისათვის.
321	12X18H10T	ა	მდგრადია კოროზიის მიმართ; შენადული და 400-800°C-ზე მომუშავე კონსტრუქციები.	ქიმიური და ნავთობგადასამუშავებელი მრეწველობის მოწყობილობა.
409	08X13	ფ	ზოგადი მოხმარების დეტალები, რომლებიც შეიძლება ადაპტირებული იყოს ექსპლუატაციის სხვადასხვა პირობებთან.	საყოფაცხოვრებო ნაკეთობა (სამაგიდო ხელსაწყოები, სამზარეულოს ჭურჭელი).
410	12X13	მ	მაღალი დარტყმითი სიბლანტე; კარგი კოროზიამდებობა და მხურვალმტკიცობა.	ნაკეთობა, რომელიც მუშაობს მცირედ აგრეციულ გარემოში; ღვინისა და სპირტის წარმოების, კვების სფეროს ნარჩენი პროდუქტების გადამამუშავების მოწყობილობა.
420	20X13-40X13	მ	მაღალი ცვეთამდებობა; მაღალი ტემპერატურისა და კოროზიისადმი მდგრადობა.	სასურსათო მრეწველობის სფერო (რეცხვა; ნედლეულის პიგიენური რეცხვა; პროდუქტის დახარისხება; თბური დამუშავება.)
430	08X17	ფ	მაღალი მექანიკური მახასიათებლები, თბოგამტარობა, დეფორმაციის უნარი, კოროზიამდებობა გოგირდის შემცველ გარემოში.	თბომომცვლის სისტემები; საყოფაცხოვრებო ნაკეთობა საკვები პროდუქტებისათვის, რომლის მომზადების პროცესში აუცილებელია გადახურების აცილება.
439	08X17T	ფ	მასალა სხვადასხვა ექსპლუატაციის პირობებში მასიური გამოყენებისათვის	მაცივარი, სარეცხი მანქანა, ნიჟარა და სხვა

*ა-აუსტენიტური; ფ-ფერიტული; მ-მარტენსიტული

სასურსათო უჟანგავი ფოლადის მწარმოებელი ზოგიერთი ქვეყნის სტანდარტი

AISI (აშშ)	GOST (დსთ)	EN (ევროპა)	JIS (იაპონია)	DIN (გერმანია)
304	08X18H10	1.4301	SUS 304	X5CrNi18-10
304L	03X18H11	1.4306	SUS 304L	X2CrNi19-11
316	08X17H13M2	1.4401	SUS 316	X5CrNiMo17-12-2
316L	03X17H14M2	1.4404	SUS 316L	X2CrNiMo17-12-2
316Ti	10X17H13M2T	1.4517	SUS 316 Ti	X6CrNiMoTi17-12-2
321	08X18H10T	1.4541	SUS 321	X6CrNiTi18-10
410	12X13	1.4006	SUS 410	X12CrN13
430	12X17	1.4016	SUS 430	X6Cr17
439	08X17T	1.4510	SUS 430 LX	X3CrTi17

10.6. უჟანგავი ფოლადები სასურსათო და ბალამამუშავებელ მრეწველობაში

დღეისათვის უჟანგავი ფოლადი მინასთან და პლასტმასის ზოგიერთ სახეობასთან ერთად პრაქტიკულად ერთადერთ მასალას წარმოადგენს სასურსათო პროდუქტების საწარმოო მოწყობილობის, შენახვისა და ტრანსპორტირებისათვის საჭირო ნაკეთობების დასამზადებლად. ეს დაკავშირებულია მაღალ ჰიგიენურ, ესთეტიკურ და ტოქსიკოლოგიურ მოთხოვნებთან.

ჩვეულებრივ, სასურსათო მრეწველობის მოწყობილობის დასამზადებლად გამოიყენება AISI 304 და AISI 316 მარკის უჟანგავი ფოლადები, თუმცა გასათვალისწინებელია, რომ AISI 304, 316 და 430 მარკის ფოლადები არ შეიცავს მასტაბილიზებელ ელემენტს, ტიტანს, რაც ამცირებს მათ კოროზიულ მედეგობას და ფოლადს ხდის მგრძობიარედ მექანიკური, თერმული და ქიმიური ზემოქმედების მიმართ. მათი გამოყენება ექსპლუატაციის დროს შესაძლებელია საკვებ პროდუქტებთან მცირე ხნით კონტაქტის პირობებში.

მეტად იშვიათ შემთხვევაშია მოთხოვნა უხვადლევირებული მარკის ფოლადებზე. უმთავრეს ფაქტორს წარმოადგენს ლითონის საუკეთესო და გლუვი (ფორების, უსწორ-მასწორების და ნაკაწრების გარეშე) ზედაპირი, მაგრამ ზოგიერთ შემთხვევაში აუცი-

ლებელია ელექტროლიტური პოლირებაც. ზედაპირის სიმქისე (ხორკლიანობა) არ უნდა აღემატებოდეს 0,6 მკმ-ს.

მაღალხარისხოვანი ჭურჭლის სარეცხი და ხორცის საკეპი მანქანების შიგა ზედაპირები ასევე უჟანგავი ფოლადისგან მზადდება. სასურსათო მეურნეობაში მოწყობილობის გასარეცხად ხშირად იყენებენ სულფანილმჟავას ან კაუსტიკური სოდის ცხელ ხსნარებს. ასეთ პირობებში მუშაობისათვის უკეთესია შეირჩეს აგრესიული არის მიმართ უფრო მდგრადი უჟანგავი ფოლადი AISI 316.

უჟანგავი ფოლადი – ეს არის მასალა, რომელიც დაკავშირებულია სიცოცხლის მაღალი დონის ცნებასთან. მისი გამოყენების მოცულობა საოჯახო აქსესუარების წარმოებაში განუხრელად იზრდება.

ქრომიანი უჟანგავი ფოლადები ხასიათდება მაღალი კოროზიამდებობით მრავალი საკვები პროდუქტის გარემოში. ამიტომ მათი ექსპლუატაცია დასაშვებია კვების პროდუქტების წარმოების სხვადასხვა ეტაპზე გამოყენებული ტექნოლოგიური მოწყობილობისა და კვანძების დასამზადებლად (რეცხვა ან ნედლეულის ჰიგიენური დამუშავება, დაფასოება და შეფუთვა, ტრანსპორტირება და ა.შ). AISI-400 ფოლადის ანალოგები მდგრადია მდუღარე სასმელ წყალში, გადახურებულ წყლის ორთქლში, მდუღარე მცენარეულ და ცხოველურ ცხიმში, ხორცპროდუქტებში, ღვინოში, ეთილის სპირტში, ლუდში, ლუდის ბადაგში და ა.შ.

უნიკელო უჟანგავი ფოლადის გამოყენება კვების და პროდუქტების გადასამუშავებელ მრეწველობაში რეგლამენტირებულია მრავალი სტანდარტით და ნორმატიული დოკუმენტაციით. სტანდარტი „ჭურჭელი კოროზიამდები ფოლადებისაგან“ მიუთითებს, რომ ჭურჭლის კორპუსისა და სახურავის დასამზადებლად გამოყენებული უნდა იყოს ფოლადი 08X13, 12X13, 15X25T, 12X17.

უჟანგავი ფოლადების ჩამონათვალში სარეცხი მოწყობილობის დასამზადებლად რეკომენდებულია ფოლადები 08X18T, სამზარეულოს სამაგიდო აქსესუარებისათვის – ფოლადები 30X13, სამზარეულოს დანების დასამზადებლად – 40X13. ზოგიერთი ფერიტული ფოლადი წარმატებით გამოიყენება აუსტენიტური 12X18H10T ქრომიანი ფოლადის შემცვლელად კვების მრეწველობის მოწყობილობისა და სამზარეულოს ჭურჭლის დასამზადებლად. გარდა ამისა, აღნიშნული მარკის ფოლადებზე არსებობს სანიტარულ-ეპიდემოლოგიური დასკვნები საკვებ პროდუქტებთან მათი კონტაქტის შესაძლებლობის შესახებ.

ნიკელის შემცველი უჟანგავი ფოლადების შემცველად ფართოდ შეიძლება აუსტენიტური კლასის ქრომმანგანუმისანი ფოლადის გამოყენება, რომელიც ხასიათდება უფრო მაღალი სიმტკიცით ქრომნიკელიან ფოლადებთან შედარებით, დაახლოებით თანაბარი პლასტიკურობის შენარჩუნების პირობებში. ხოლო ფოლადი 12X14Г14H3T წარმოადგენს 12X18H10T ფოლადის შემცველს საურსათო მრეწველობისათვის საჭირო ნაკეთობების დასამზადებლად.

AISI 409, 420, 430, 439 მარკის ფოლადების გამოყენება შესაძლებელია არა მარტო ნიკელიანი ფოლადების შემცველად, არამედ მთელი რიგი სპეციფიკური თვისებების გამო, ხშირად შეუცვლელია კვების მრეწველობის სხვადასხვა მოწყობილობის დასამზადებლად. ისინი უზრუნველყოფს დაჩქარებულ თბომომოცვლას კვების რეზერვუარების გამაცივებელ სისტემაში (სისტემები გლიკოლემის, წყლის და სხვა გამაცივებელი საშუალებებით). ყურადსაღებია AISI 400 სერიის ფოლადების კოროზიამდევობა საკვების ისეთ ზომიერ აგრესიულ გარემოში, როგორცაა ცხოველური და მცენარეული ზეთები, ეთილის სპირტი, წვენები, საფუარი, ლუდის ბადაგი, ყველეული, კრახმალი, ძმარმუავა გოგირდის შემცველ გარემოში (მაგალითად, გოგირდის შემცველი ნივთიერებები შედის კონსერვანტის შედგენილობაში). უფრო პოპულარული ნიკელის შემცველი ფოლადები გოგირდის შემცველ გარემოში გამოყენებისათვის არ არის რეკომენდებული. აქედან გამომდინარე, აუცილებელი ხდება მასალის ინდივიდუალური ტესტირება კოროზიულ მედეგობაზე, რომელიც განისაზღვრება ტემპერატურით, სხვა არებთან კონტაქტით, დატვირთვის სიდიდით, უშუალო კონტაქტის ხანგრძლივობით ტექნოლოგიურ და საკვების გარემოსთან, უწყვეტი მუშაობის ხანგრძლივობით, პროდუქტების აბრაზიული, სარეცხი და სადეზინფექციო ხსნარების ზემოქმედებით და სხვა სპეციფიკური პირობებით.

კვების პროდუქტების წარმოებაში არაერთ ტექნოლოგიურ ციკლში აქტიურად იყენებენ უჟანგავი ფოლადის მილებს. მილის მასალა უნდა აკმაყოფილებდეს DIN 11850 სტანდარტის მოთხოვნებს, რაც ფოლადის შედგენილობას და შენადული ნაკერის ხარისხს განსაზღვრავს.

უჟანგავი ფოლადის მილები სრულად პასუხობს საკონსტრუქციო მასალებისადმი წაყენებულ გაზრდილ ჰიგიენურ და ეკოლოგიურ მოთხოვნებს, რომლებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს სასურსათო წარმოებისა და საზოგადოებრივი კვების სფეროსათვის მოწყობილობის მწარმოებლები.

სასურსათო წარმოებისათვის განკუთვნილ მილებს ამზადებენ AISI 304 და AISI 316L ფოლადებისაგან, რომლებიც ხასიათდება მაღალი ცვეთამდეგობით, კოროზიამდეგობით მილის მთელ სიგრძეზე და შენადული შეერთების უბნებში, მდგრადია ქიმიურად აგრესიულ გარემოში; ეკოლოგიურად უსაფრთხოა და არატოქსიკური; შესაბამისობაშია მძიმე ლითონების მიგრაციის (ხსნადობის) სტანდარტებთან მუშა არეში; სიმქისის პარამეტრები შენარჩუნებულია ექსპლუატაციის სრული ვადის განმავლობაში, რაც აადვილებს მოწყობილობის გასუფთავებისა და მომსახურების ოპერაციებს.

სასურსათო წარმოებაში უჟანგავი ფოლადების გამოყენების ზოგიერთი სფერო ასეთია:

რძის პროდუქტები – აუსტენიტური ფოლადები გამოიყენება რძის სტერილიზაციისა და მაცივარში შენახვისათვის, რძის სეპარატორებში, ყველის წარმოებისა და სხვა დამხმარე მოწყობილობაში, ჭურჭლის სარეცხ მანქანებში და რძის გადასაზიდვის ცისტერნებში. ფართოდ გამოიყენება აგრეთვე ნაყინისა და მშრალი რძის წარმოებაში.

ლუდის წარმოება – აუსტენიტური ფოლადისგან ამზადებენ მოცულობებს ლუდის დადულებისათვის, თბომომცვლელებს, ცისტერნებსა და კასრებს ლუდის გადასაზიდად, მოწყობილობას საფუარის წარმოებისათვის.

ხილის კონსერვი და წვენი – ხილის და წვენის კონსერვირებისათვის ფართოდ სარგებლობენ გოგირდის ორჟანგით, ამიტომ ამ სფეროში მოწყობილობის დასამზადებლად მოლიბდენის შემცველ უჟანგავ ფოლადს იყენებენ.

წენიანი და სოუსი – ეს პროდუქტები შეიძლება შეიცავდეს მეტად აგრესიულ ნარევეს, რადგან ისინი მუავე არეს წარმოადგენს და ერთდროულად ქლორიდებსაც შეიცავს. ამიტომ ამ შემთხვევაშიც ხშირად საჭირო ხდება უჟანგავი ფოლადის გამოყენება მოლიბდენის დანამატებით.

საცხობი – საცხობის მოწყობილობისათვის მთავარია, რომ მისი ზედაპირი ადვილად იწმინდებოდეს. ამიტომ შემრევი მოწყობილობისა და მუშა მაგიდის დასამზადებელ მასალას აუსტენიტური ფოლადები მიესადაგება.

კოროზიამდეგ უჟანგავ ფოლადებს საერთო თავისებურება გააჩნია – ისინი სხვადასხვა რაოდენობით შეიცავს ნიკელს, მოლიბდენს, ნიობიუმს, ტიტანს და სხვა ელემენტებს. მათი მექანიკური და საექსპლუატაციო თვისებები დამოკიდებულია ამ ელემენტების თანაფარდობაზე. იმისათვის, რომ ფოლადმა წარმატებით და ხანგრძლივად იმუშაოს, აუცილებელია მისი მარკის გულდასმით შერჩევა.

კოროზიამედვობის, მექანიკური და ფიზიკური თვისებების, თვისებათა სტაბილურობის და ექსპლუატაციის ტემპერატურული დიაპაზონის შესახებ ცხადი წარმოდგენა, აგრეთვე ნედლეულის დამუშავებისა და მოწყობილობის ექსპლუატაციის სპეციფიკის ცოდნა, წარმოების ეკონომიურობის არსებით გარანტიას წარმოადგენს.

10.7. ფერადი ლითონები და შენადნობები სასურსათო წარმოებაში

როგორც ძირითადი, ისე დამხმარე მოწყობილობის დეტალების, მექანიზმებისა და აპარატების, მიღგაყვანილობისა და სხვადასხვა დანიშნულების მოცულობების დასამზადებლად გამოყენებას პოულობს აგრეთვე ფერადი ლითონები და მათი შენადნობები – ალუმინი, სპილენძი, თითბერი და ბრინჯაო. თუმცა კოროზიამედვი ფოლადებისგან განსხვავებით, სასურსათო წარმოებაში ფერად ლითონებსა და შენადნობებზე მოქმედებს რეგლამენტი, რაც ყოველი ტიპის მასალისათვის მისი აკრძალვისა თუ გამოყენების შესაძლებლობებს განსაზღვრავს. მაგალითად, სპილენძის გამოყენება დასაშვებია საკონდიტრო მოწყობილობაში, მაგრამ აკრძალულია რძის წარმოების ტექნოლოგიურ მოწყობილობაში. ალუმინის გამოყენება დასაშვებია რძის მრეწველობაში ზოგადად, მაგრამ აკრძალულია ბავშვთა კვების რძის პროდუქტების წარმოებაში.

ფერადი ლითონები და შენადნობები უნდა გადიოდეს აუცილებელ შემოწმებას და ნებართვას იღებდეს კონკრეტული სახის საკვები პროდუქტების წარმოების ტექნოლოგიურ ციკლში გამოსაყენებლად.

„სასურსათო“ ალუმინი. სხვადასხვა საკვებ პროდუქტზე ალუმინის ზემოქმედების შესწავლისას აღმოჩნდა, რომ ალუმინთან მათი უშუალო კონტაქტის შემთხვევაში ვიტამინები დაშლას არ განიცდის. კვლევის ამ შედეგებმა ბიძგი მისცა ალუმინის გამოყენებას კვების მრეწველობაში, კოსმეტიკაში და საყოფაცხოვრებო ქიმიკაში. ამჟამად ალუმინისგან ფართოდ ამზადებენ საყოფაცხოვრებო ჭურჭელს, შაქრის გადსამუშავებელ, საკონდიტრო, ზეთის სადღვებ და სხვა სახის აპარატურას. ალუმინისგან დამზადებული ნაკეთობა, როგორცაა ხორცსაკვები მანქანა, ჩანგალი, კოვზი თუ ჭიქა, წარმატებით გამოიყენება როგორც საზოგადოებრივი კვების, ისე საოჯახო სამზარეულოში. ალუმინის კილიტა სისქით 0,009 მმ საუცხოო შესაფუთი მასალაა, რომელიც სხვადასხვა პროდუქტის (ჩაის, რძის პროდუქტების, საკონდიტრო ნაწარმის) რეალიზაციის პროცესში ან მათ შესანახად გამოიყენება. ალუმინის კილიტას შემოსახვევში აფასობენ კულინარულ

ცხიმს, მარგარინს, ნაყინს. შოკოლადს; ტრადიციულად ალუმინის ტუბებში ფუთავენ კბილის პასტას. ადვილად მოხმარების მიზნით ზოგიერთ პროდუქტს, მაგალითად, მდნარ ყველს, ამოსახრახნთავიან ტუბებში აფასობენ. ასეთივე ტუბებში შეფუთული საკვები პროდუქტებით სარგებლობენ კოსმოსში ასტრონავტები. სულ უფრო ხშირად გამოიყენება თხელი ფურცლოვანი ალუმინი სისქით 0,2–0,3 მმ თუნუქის შემცველად კონსერვის ქილის წარმოებაში.

სასურსათო მოწყობილობის დასამზადებლად ფართოდ გამოიყენება ალუმინის შენადნობებიც, თუმცა ყველა მათგანზე არ არსებობს შესაბამისი სტანდარტი ან სხვა მარეგულირებელი დოკუმენტები. მაგალითად, ხშირად ისმის კითხვა, შესაძლებელია თუ არა ფურცლოვანი ალუმინის და მისი შენადნობების გამოყენება ავტომობილის საბარგულის ან საკვები პროდუქტების შესანახი საწყოების შიგა ზედაპირების მოსაპირკეთებლად, ღარის, ხონჩის ან პურის საცხობი ფორმის დასამზადებლად. სად და რა შემთხვევაში შეიძლება ალუმინის შენადნობების გამოყენება, რომელ ალუმინს შეიძლება ეუწოდოთ „სასურსათო“. ასეთი ტერმინი, მართალია, გამოიყენება, მაგრამ იგი არ არის ასახული მარეგლამენტირებელ დოკუმენტებში.

სიტუაცია განსხვავებულია სამსხმელო ალუმინისგან დამზადებული სასურსათო ნაკეთობისათვის. დღეისათვის მოქმედი სტანდარტის თანახმად (ГОСТ 1583-93), სასურსათო დანიშნულების მოწყობილობის დასამზადებლად შესაძლებელია AK7, AK5M2, AK9 და AK12 ალუმინის შენადნობების გამოყენება. კვების პროდუქტებთან უშუალო კონტაქტის პირობებში სხვა მარკის ალუმინის შენადნობების გამოყენებისათვის ყველა კონკრეტულ შემთხვევაში აუცილებელია ჯანმრთელობის დაცვის ორგანოების ნებართვა.

სასურსათო დანიშნულებისათვის განკუთვნილ ალუმინის შენადნობში ტყვიის შემცველობა (წონით პროცენტებში) არ უნდა აღემატებოდეს 0,15%, დარიშხანისა – 0,015%, თუთიისა – 0,3%, ბერილიუმისა – 0,0005%. ალუმინის შოთს, რომელიც განკუთვნილია კვების პროდუქტებთან კონტაქტში მყოფი მოწყობილობის დასამზადებლად და მარკირება არ არის ფერადი საღებავით შესრულებული, მარკის ბოლოში მითითებული აქვს ასო „II“.

ამგვარად, საყოფაცხოვრებო ჭურჭლის დასამზადებლად ნებადართულია A7, A6, A5, A0 მარკის ალუმინის, AD1, AD მარკის ფურცლის და ლენტის გამოყენება. თუ ჭურჭლის შიგა ზედაპირი იფარება, მაშინ შესაძლებელია მისი დამზადება AMII მარკის ალუმინის შენადნობებისგანაც. სამაგრ ნაწილებს, რომლებიც კონტაქტშია კვების პრო-

დუქტებთან, ასევე ჭურჭლის დასამზადებლად განკუთვნილი ლითონისგან ამზადებენ. არმატურისათვის (სახელური, რკალი და ყური) იყენებენ როგორც ალუმინს, ისე მის შენადნობებს.

ცხრილში 10.3 მოცემულია სამაგიდე მოწყობილობის დასამზადებლად რეკომენდებული ზოგიერთი მასალის ჩამონათვალი.

ცხრილი 10.3.

სამაგიდე მოწყობილობის დასამზადებლად განკუთვნილი მასალები

ნაკეთობის და დეტალის დასახელება	მასალის დასახელება და მარკა
მთლიანლითონური დანა და კომბინირებული დანის მჭრელი პირი	ფოლადი Y8A; Y10A
მთლიანლითონური ჩანგალი და კომბინირებული ჩანგლის მუშა ნაწილი	ფოლადი 08кп; 45; ალუმინის შენადნობები: A0; ABM; AД1M. AД1; AB; AMr2. AK7; AK5M2; AЛ22; AЛ23.
კოვზი	ალუმინის შენადნობები: A0; ABM; AД1M. AД1; AB; AMr2; AK7; AK5M2; AЛ22; AЛ23.
დანის და ჩანგლის კომბინირებული სახელურები	04П-01010, 05П-01020 მარკის პოლიპროპილენი; B კლასის ამინოპლასტი. ალუმინის შენადნობები: A0; ABM; AД1M. დახერხილი ფოთლოვანი ჯიშის პირველი ხარისხის ხე ტენიანობით არაუმეტესი 12% (აბს.)
კომბინირებული ნაკეთობის არმატურა (რგოლი, საყელური, მოქლონი, ხუფი)	ფოლადი 20; ალუმინის შენადნობი AД1

10.8. პოლიმერული საკონსტრუქციო მასალები და დანაშარები

კვების მრეწველობაში გამოყენებული პოლიმერული მასალები უნდა აკმაყოფილებდეს სანიტარულ-ჰიგიენური მოთხოვნების გარკვეულ კომპლექსს, რაც კვების პროდუქტებთან მათი კონტაქტით არის განპირობებული. კერძოდ:

- არ უნდა შეცვალოს პროდუქტის ორგანოლექტური თვისებები;
- არ უნდა შეიცავდეს ტოქსიკურ კომპონენტებს, რომლებიც შეიძლება ექსტრაგირდებოდეს სასურსათო გარემოს მიერ ან რეაგირებდეს მასთან.

კვების მრეწველობაში პოლიმერული მასალების გამოყენების აუცილებელი პირობაა სანიტარული ზედამხედველობის ორგანოს ნებართვა, რომელიც კომპლექსური გამოცდების საფუძველზე გაიცემა. გამოცდები ითვალისწინებს ორგანოლეპტური თვისებების, აგრეთვე პოლიმერებსა, კომპოზიციურ მასალასა და პროდუქტში შემაჯავლი ცალკეული ინგრედიენტების სანიტარულ-ქიმიური და ტოქსიკოლოგიური კვლევების შეფასებას. სანიტარულ-ქიმიური კვლევით განისაზღვრება საკონსტრუქციო მასალიდან საკვებ გარემოში მიგრირებადი ნაერთების კონცენტრაცია და შედგენილობა ექსპლუატაციასთან მიახლოებულ პირობებში.

კვების პროდუქტებთან კონტაქტის ხარისხის მიხედვით პოლიმერულ მასალებს სამ ძირითად ჯგუფად ყოფენ:

1. მასალები, რომლებიც კვების პროდუქტებთან კონტაქტის შეზღუდვის გარეშე გამოყენება;
2. მასალები, რომელთა კონტაქტი დასაშვებია კვების ზოგიერთ პროდუქტთან გარკვეული პირობების დაცვით;
3. მასალები, რომელთა კონტაქტი კვების პროდუქტებთან დაუშვებელია ტოქსიკურობის ან პროდუქტებთან შეხების შემთხვევაში შედგენილობის შეცვლის გამო.

სასურსათო მრეწველობა პოლიმერული მასალების მსხვილ მომხმარებელთა რიცხვს მიეკუთვნება. მრეწველობის ამ სფეროში პოლიმერების გამოყენება მნიშვნელოვან ტექნიკურ-ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა, თუმცა აუცილებელია მასზე დაბალი ტემპერატურის, ჰაერის მაღალი და ცვალებადი ტენიანობის და განსაკუთრებით პროდუქტების შრობის, სტერლიზაციის და თერმული დამუშავების პროცესში მაღალი ტემპერატურის გავლენის გათვალისწინება სასურსათო წარმოების მრავალ სფეროში.

ხორბლის ტრანსპორტირებისას ლითონის შნეკების ნაცვლად მისი მუშა ზედაპირის პოლიურეტანით, პოლიკაპროლაქტამით ან პოლიტეტრაფტორეთილენით (ფტოროპლასტი 4) დაფარული შნეკის გამოყენება ხახუნის ეფექტის შემცირების გამო მწარმოებლობას საშუალოდ 25%-ით ზრდის და მარცვალზე ნაკლებად ზიანდება.

თევზის გადასამუშავებელ, საკონსერვო და რძის წარმოებაში ფართოდ არის გავრცელებული ტრანსპორტიორის ლენტი, რომლის რგოლები დამზადებულია შედარებით მსუბუქი, კოროზიამედეგი, მაღალი სიმკვრივის პოლიამიდის ან პოლიეთილენისაგან, ხოლო საკისრები – ფტოროპლასტი 4-ისა და პოლიამიდისაგან. ასეთი საკისრების საპოხ მასალად შეიძლება წყლის გამოყენება, რაც კვების პროდუქტების გე-

მოვნების, ხარისხისა და კვებითი ღირებულებების შენარჩუნების შესაძლებლობას იძლევა.

უფრო აგრესიულ სასუსათო გარემოსთან კონტაქტის შემთხვევაში პერსპექტიულია ქიმიურად მდგრადი თერმოპლასტიკით, მაგალითად, პოლიოლფენით, ვინიპლასტიკით ან ფტოროპლასტიკით პლაკირებული მინაპალსტიკის აპარატურის გამოყენება,

„სასურსათო“ რეზინისგან ამზადებენ რძის პასტერიზატორის, ღვინის, ლუდისა და საკონსერვო წარმოების აპარატებისა და მანქანების შუასადებს, მამჭიდროვებელ გარსამოსს, ტრანსპორტიორის ლენტს, ამძრავ ღვედს; სილიციუმორგანული და ბუტადიენ-ნიტრილის კაუჩუკის ფუძეზე დამზადებული თბომდეგი რეზინისგან – საშრობი აგრეგატების, ულტრაპასტერიზატორის და სხვა აპარატების შუასადებს, სადაც თხევად საკვებ პროდუქტებს ასტერილებენ 120-130°C-ზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე.

ავტომატის კვანძებში, რომლის დანიშნულებაცაა პოლიეთილენით დაფარული ქაღალდის პაკეტების დამზადება, რძით შევსება და ჰერმეტიზაცია შედუღებით, ამორტიზატორი დაყენებულია ფტორისშემცველი ან სილიციუმორგანული კაუჩუკის ფუძეზე დამზადებული, ფტოროპლასტი 4-ით შევსებული რეზინის მიმჭერი გორგოლაჭით. ასეთი რეზინისგან დამზადებული დეტალების ექსპლუატაციის ხანგრძლივობა 7–8-ჯერ აღემატება, მაგალითად, ბუტადიენ-ნიტრილურ კაუჩუკს.

ეფექტურია აგრეთვე ნატურალური კაუჩუკისა და ბუტადიენ-სტიროლის კომპოზიციისგან დამზადებული მაღალი სისაღისა და ცვეთამდეგობის რეზინის გამოყენება მარცვლის საფშვნელი დანადგარის დეკას დასამზადებლად.

სინთეტიკური, მაგალითად, პოლივინილაცეტატური დისპერსიის სინთეტიკური წებოს გამოყენება ნატურალურის ნაცვლად, მაღალი მწარმოებლობის ავტომატებზე გაუმჯობესებული ხარისხის ქაღალდის ტარის დამზადების შესაძლებლობას იძლევა.

სასურსათო წარმოებაში მნიშვნელოვანი როლი ეკისრება პოლიმერულ ანტიადჰეზიურ დანაფარებს, რომლებიც ლითონურ კონსტრუქციებზე დააქვთ მათ ზედაპირზე ნედლეულისა და ნახევარფაბრიკატების მიკვრის ასაცილებლად, თუმცა მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ ტექნოლოგიურ გარემოზე დამოკიდებულებით, დანაფარის მასალა შეიძლება აბსოლუტურად ან მეტ-ნაკლებად არამდგრადი აღმოჩნდეს. მაგალითად, პოლიქლოროვინილი არამდგრადია ჭვავის საფუარიან ცომთან. ორგანულ მჟავებში, საქაროზაში, სარეცხ და სხვა ნივთიერებებში, რომელსაც სასურსათო წარმოების არე შეცავს. სასურსათო არეებისადმი უნივერსალური მდგრადობით ხასიათდება კომპოზიცია ეპოქსიდის ფისის ფუძეზე. სხვადასხვა პოლიმერის დამცავი დანაფარის

მდგრადობა, რომელიც განისაზღვრება გარეგნული სახის ცვლილებით და მიდრეკილებით გაჯირჯვებისადმი ზოგიერთი სასურსათო წარმოების ორგანული არის ზემოქმედებით, საკმაოდ ფართო ზღვრებში იცვლება.

ზოგიერთი ლაქსადებავი ანტიადჰეზიური თვისებებით ხასიათდება, რომლებიც მაგალითად, ფტოროპლასტის, პოლივინილბუტირალით მოდიფიცირებული და ფტოროპლასტი 4-ის ფხვნილით შევსებული ფენოლო-ფორმალდეჰიდის ან სილიციუმორგანული (ეპოქსიდური ფისით მოდიფიცირებული პოლიმეთილფენილსილოქსანის) ლაქის სუსპენზიის დატანით მიიღება.

გარდა ლაქსადებავებისა, გაგრძელებულია აგრეთვე ანტიადჰეზიური დანაფარები, რომლებიც მოდიფიცირებული ფტოროპლასტების, პოლივინილბუტირალის და მაღალი სიმკვრივის პოლიეთილენის ფხვნილების დაფრქვევით მიიღება. ზოგჯერ ლითონის დეტალებს ამოუფენენ პოლიეთილენის ფურცელს ან თხელ ფირს, ხოლო ტრანსპორტიორის ლენტს სილიციუმორგანული, უმეტეს შემთხვევაში, პოლიეთილჰიდროსილოქსანის სითხით ამუშავებენ.

ლითონისაგან დამზადებული ინვენტარი ან მოწყობილობა (მაგალითად, ტრანსპორტიორის ლენტი, ფორმები) ანტიადჰეზიური დანაფარებით, გამოიყენება აგრეთვე პურის საცხობებში ცომის დასანაწევრებელ ხაზზე, ხორცის ფარშის ტრანსპორტირებისათვის, პელმენების გასაყინად, კულინარული ნაწარმის დამზადების მექანიზირებულ ხაზზე, თევზის კონსერვის საწარმოებში და ა.შ.

ანტიადჰეზიური დანაფარები დაიტანება ბუნკერის შიდა ზედაპირზე, საიდანაც ფხვიერი ან პასტისებრი პროდუქტები დასაფასობებელ და დასაგმან ავტომატებს მიეწოდება. ეს ზრდის მოწყობილობის მუშაობის ხანგრძლივობას და მწარმოებლობას. დეტალების გაპოხვისა და წმენდის ოპერაციების გამორიცხვა ამცირებს სასურსათო ცხიმის (საპოხი საშუალებების) ხარჯს, ზრდის საამქროების სანიტარულ მდგომარეობას და პროდუქციის ხარისხს.

პურის საცხობ საწარმოებში მარილისა და საფუარის ხსნარებისათვის გათვალისწინებული მოცულობების, ვერტიკალური ელევატორის ციცივებისა და წისკვილის მარცვლის სეპარატორის დარისა (ხონჩის) და სხვა მოწყობილობის კოროზიისაგან დაცვის მიზნით იყენებენ ფხვნილოვან პოლიოლეფინს, რომელსაც დასაცავ ზედაპირზე აფრქვევენ. ზედაპირს, რომელიც ყველაზე აგრესიულ პირობებში განიცდის ექსპლუატაციას, იცავენ პოლიტრაფტორქლორეთილენის (ფტოროპლასტი-3) და ტეტრა-

რაფტორეთილენის თანაპოლიმერების დანაფარებით.

ლითონის ზედაპირთან კარგი ადჰეზიური თვისებებით, მექანიკური სიმტკიცით და ქიმიური მედეგობით ხასიათდება ანტიკოროზიული დანაფარი, რომელიც მიიღება ეპოქსიდური ფისის დატანით. ფისში მინერალური შემავსებლებია დამატებული. გამყარებისა და ტუტე და მჟავა რეაგენტებით გარეცხვის შემდეგ შესაძლებელია მრავალ სასურსათო გარემოსთან დანაფარის კონტაქტირება. დანაფარი გამოიყენება დიდი მოცულობის ღვინის, სპირტის, ხილის წვენის ჭურჭლის და რძის პროდუქტების ცისტერნის შიგა ზედაპირის დასაცავად; პურის საცხობი და საფუარის წარმოების აპარატურის, ავტომატის დასაფასოებელი ბუნკერების, თევზის გადასამუშავებელი მანქანის დეტალების დასაცავად, რომლებიც ზღვის პირობებში გადის ექსპლუატაციას.

სასურსათო მოწყობილობაზე დეკორატიულ-დამცავ დანაფარებს ღებულობენ პოლივინილბუტირალური და პოლიეთილენის ფხვნილოვანი საღებავების დაფრქვევით. გამოიყენება აგრეთვე სხვადასხვა ლაქსაღებავი. როგორც წესი, სასურსათო მოწყობილობაზე არ დააქვთ რელიეფური დანაფარი, რადგან მათი სტერილიზაცია გარკვეულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული.

ლითონური დანაფარებიდან კალა მეტად უნიკალური და ძვირფასი თვისებებით გამოიხევა. იგი არის ქიმიურად პასიური ლითონი და ადამიანის ორგანიზმისადმი სრულიად უსაფრთხო. მეტად ინერტულია აგრეთვე ორგანული ნივთიერებების მიმართ და ლითონის ზედაპირზე საუკეთესო დანაფარს იძლევა (მოკალვა). ყოველივე ამან განაპირობა კალის განსაკუთრებით ფართო გამოყენება სასურსათო წარმოებაში სპილენძის, სპილენძის შენადნობებისა და შავი ლითონების ზოგიერთი დეტალის ზედაპირების დასაფარად.

ემალი წარმოადგენს ადვილდნობად მინას, რომელსაც ხშირად სხვადასხვა შეფერილობას აძლევენ. ემალის დანაფარს კოროზიისაგან დაცვის ან ლამაზი გარეგნული იერის მისანიჭებლად იყენებენ. იგი ძირითადად შავი ლითონების ზედაპირზე დააქვთ. შემუშავებულია ემალის მრავალი შედგენილობა. ემალთ ყველაზე ხშირად თუჯისა და ფოლადისაგან დამზადებული ქიმიური და სასურსათო მრეწველობის აპარატურის ზედაპირს ფარვენ. იგი ფართო გამოყენებას პოულობს აგრეთვე სამაცივრო და აირული აპარატურის, ჭურჭლის და ა.შ. წარმოებაში.

ისეთი აპარატურისა თუ მოწყობილობის დასამზადებლად, რომლებიც განკუთვნილია მაღალი სისუფთავის ხარისხის პროდუქტებთან კონტაქტირებისათვის და არა-

სასურველია ლითონის უმნიშვნელო რაოდენობის მოხვედრაც კი (მაგალითად, ქიმიურად სუფთა რეაქტივების, ფარმაცევტული პრეპარატების და საკვები პროდუქტების მიღება და შენახვა), ფართოდ იყენებენ კოროზიამდეგ არაალითონურ მასალებს. ამ თვალსაზრისით შეუცვლელია ფაიფური და მინა.

გასათვალისწინებელია, რომ მასალათა უმრავლესობა, რომლებიც სოფლის მეურნეობაში, ქიმიურ და სასურსათო წარმოებში გამოიყენება, წარმოადგენს კოლოიდურ კაპილარულფოროვან სხეულს, რომლებიც წარმოების ტექნოლოგიურ პროცესში სველდება, ხურდება და ცივდება. ასეთ პროცესებში შეინიშნება არა მარტო სითბოს გადაცემა დასამუშავებელ მასალაში, არამედ არ არის გამორიცხული ერთდროული მასის გადატანაც, ანუ ერთი კომპონენტის შეჭრა მეორეში – დიფუზის განვითარება.

10.9. ტარა და საფუთავი მასალები

სასურსათო წარმოებაში დღითიდღე იზრდება მოთხოვნა როგორც ერთშირიანი, ისე მრავალშირიანი და კომბინირებული პოლიმერული საფუთავი მასალებისადმი. აღნიშნული მასალები საკვებ პროდუქტს არა მარტო იცავს ნაადრევი გაფუჭებისაგან, არამედ ხელს უწყობს მათ სწრაფ რეალიზაციასაც. საფუთავი მასალების სწორად შერჩევისათვის სასურსათო სფეროში დასაქმებულმა მწარმოებლებმა ზედმიწევნით უნდა იცოდნენ არა მარტო საფუთავი მასალების, არამედ იმ სასურსათო პროდუქტების თვისებებიც, რომლის შესაფუთადაც არის ესა თუ ის მასალა გათვალისწინებული. მნიშვნელოვანია, აგრეთვე, საკვებ პროდუქტსა და საფუთავს შორის შესაძლო ურთიერთქმედების ეფექტის გათვალისწინებაც. შეიძლება ითქვას, რომ დღევანდელი სასურსათო წარმოების უმთავრესი დევიზია „ყოველ პროდუქტს–საკუთარი საფუთავი“. ამ პრინციპის პრაქტიკაში განხორციელებისათვის ისეთი ფაქტორების გათვალისწინებაა აუცილებელი, რომლებიც უზრუნველყოფს შესაფუთი მასალით პროდუქტების დაცვას და მისი შენახვის ხანგრძლივობას დასაწყობების, ტრანპორტირების და საოჯახო პირობებში. ამ ფაქტორებს, უპირველეს ყოვლისა მიეკუთვნება:

- საკვები პროდუქტის შედგენილობა, ტიპი და თვისებები;
- საფუთავის კონსტრუქცია და ფუთაში არსებული გარემო;
- საფუთავი მასალის ფიზიკურ–მექანიკური მახასიათებლები, შეღწევადობა და სანიტარულ–ჰიგიენური თვისებები, რამაც უნდა უზრუნველყოს საკვები პროდუქტის უსაფრთხოება.

გარდა ამისა, საფუთავი მასალა უნდა უზრუნველყოფდეს მასზე შტრიხკოდის და ბეჭდის დატანის შესაძლებლობას ინფორმაციულობისა და შეფუთვის მიმზიდველობის ასამაღლებლად.

იმ საფუთავი მასალების სანიტარულ-ჰიგიენური მოთხოვნები, რომლებიც უშუალო შეხებაშია საკვებ პროდუქტებთან, მეტად მკაცრია. ასეთი მასალები უნდა იყოს ქიმიურად ინერტული – არ უნდა გამოყოფდეს მავნე ნივთიერებებს დასაშვებ ზღვარზე ზევით და არ ცვლიდეს პროდუქტის ორგანოლეპტურ თვისებებს; არ ხასიათდებოდეს კანცეროგენური, მუტაგენური და ალერგიული თვისებებით; არ შეიცავდეს ტოქსიკურ ინგრედიენტებს.

ამჟამად გამოჩნდა მასალების ახალი სახეობა, ე.წ. „აქტიური“ საფუთავი, რომლის შედგენილობაშიც შესაძლებელია ორგანიზმისათვის სასარგებლო ნივთიერების, მაგალითად, ვიტამინების შეყვანა; დაიცვას პროდუქტი მიკრობიოლოგიური ზემოქმედებისაგან; შექმნას ოპტიმალური გაზის გარემო საფუთავში; უზრუნველყოს პროდუქტის თერმული დამუშავების და საფუთავის საკვებად გამოყენების შესაძლებლობაც კი შეფუთულ პროდუქტთან ერთად. საფუთავი მასალებისადმი წაყენებული ასეთი მოთხოვნების და შეფუთვის თანამედროვე ტექნოლოგიები განაპირობებს ახალი, ექსკლუზიური საფუთავი მასალების შექმნის აუცილებლობას.

პოლიმერული და კომბინირებული საფუთავი მასალების ძირითადი სახეები.

საფუთავ მასალად ყველაზე ფართო გამოყენებას პოულობს პოლიოლეფინი, პოლიპროპილენი, დაბალი სიმკვრივის, მაღალი სიმკვრივის და წირითი პოლიეთილენი. ყველაზე პოპულარულს პოლიპროპილენი წარმოადგენს, რომლისგანაც ამზადებენ აფსკებს, მრავალშრიან პოლიმერულ (რომელიც მხოლოდ პოლიმერის ფენებისგან შედგება) და კომბინირებულ (რომელიც სხვადასხვაგვარი მასალის ფენებისგან არის შედგენილი) მასალებს, აგრეთვე წვრილ სამომხმარებლო და მსხვილ სატრანსპორტო ტარას. პოლიეთილენი უმთავრესად გამოიყენება გამჭიმავი, შეკლების და ჰაერბუშტოვანი აფსკების დასამზადებლად.

ზემთ წარმოდგენილი პოლიოლეფინის მასალები მიეკუთვნება ნაწილობრივ კრისტალიზებურ პოლიმერებს. ამორფული პოლიმერებიდან საფუთავის დასამზადებლად ყველაზე ხშირად პოლისტიროლი და პოლივინილქლორიდი გამოიყენება. ქლორისშემცველი პოლიმერებიდან ამ ნიჰნით გამოიყენება აგრეთვე პოლივინილიდენქლო-

რიდი თანაპოლიმერის სახით – ვინილიდენქლორიდი (85-87% მოლეკულური მასით) მცირე რაოდენობით (13-15%) ვინილქლორიდთან, რომლისგანაც აწარმოებენ აფსკურ მასალას სავაჭრო დასახელებით „სარანი“ (Saran, დარეგისტრირებულია Dow Cemikal Co კომპანიის მიერ).

სულ უფრო იზრდება სამომხმარებლო ბაზარზე როგორც ამორფული, ისე კრისტალური აგებულების პოლიეთილენტერეფტალატის გამოყენების სფერო. მისი თვისებათა უნიკალური კომპლექსი, რაც აუცილებელია საკვები პროდუქტების საფუთავი მასალებისათვის, მდგომარეობს მაღალ მექანიკურ და ბარიერულ თვისებებში, ცხიმდედეგობაში, ეკოლოგიურ უსაფრთხოებაში, საკმარის გამჭვილვალობაში. თანაპოლიმერებიდან აღსანიშნავია ეთილენის და ვინილაცეტატის, ეთილენისა და ვინილის სპირტის თანაპოლიმერები.

მასალათა წარმოების თანამედროვე ტექნოლოგიებმა შესაძლებელი გახადა მასალას მიენიჭოს სრულიად ახალი ფუნქცია და თვისებები. მაგალითად, თვითგაცხელებადი და თვითგაცივებადი ქილები, თვითშლადი აფსკის საფუთავი, რომელიც კომპოსტში ან ნაგავსაყრელზე ჰაერის ჟანგბადისა და მზის სინათლის ზემოქმედებით დაბალმოლეკულურ პროდუქტებად – წყლად და ნახშირჟანგის აირად გარდაიქმნება.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს სპეციალური ბაქტერიოლოგიური და ანტიმიკრობული თვისებების მქონე „აქტიური“ საფუთავი, რომელიც ანტისეპტიკურ გავლენას ახდენს უშუალოდ პროდუქტზე, უმთავრესად ხორცის პროდუქტებზე და ყველეულზე.

საკვები პროდუქტების მრავალფეროვნება – რძის პროდუქტები, ყველეული, ცხიმები, ხორცი და ხორცპროდუქტები, თევზი და მისი პროდუქტები, პურფუნთუიეული და საკონდიტრო ნაწარმი, ფხვიერი პროდუქტები, ხილ-ბოსტნეული, წვენები, ალკოჰოლური სასმელები და ა.შ. სპეციფიკურ მოთხოვნებს უყენებს საფუთავ მასალებს. ამიტომ საფუთავისა და პროდუქტის შეფუთვის ხერხის შერჩევა მოითხოვს არა მარტო სამეცნიერო-ტექნიკურ ცოდნას, არამედ ხელოვნების ელემენტებსაც. მხოლოდ ამის შემდეგ იქმნება საფუთავი მასალის წარმოებისა თუ შეფუთვის ობტიმალური ვარიანტის მიზანდასახულად შერჩევის შესაძლებლობა საკვები პროდუქტის სახეობის, მისი დამუშავების პირობების, შენახვისა და ტრანსპორტირების პირობების შესაბამისად.

პოლიმერული მასალების გამოყენება კვების მრეწველობაში. ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ სასურსათო წარმოებაში საკვები პროდუქტების შესაფუთად გამოიყენება როგორც ერთშრიანი, ისე მრავალშრიანი აფსკი, სხვადასხვა პოლიმერული კომპოზიციით გაჯღენთილი კომბინირებული მასალები, პოლიმერით დაფარული ალუმინის ან ქაღალდის აფსკი (კილიტა), ნახევრადხისტი ან ხისტი ტარა (ბოთლი, ფლაკონი, ჭიქა, ტუბა). ასეთ ტარას ამზადებენ ვაკუუმური და პნევმოფორმირების მეთოდით, წნევის ქვეშ ჩამოსხმით და შებერვითი ექსტრუზიით. აღნიშნული ტარა ძირითადად გამოიყენება თხევადი და პასტისებრი პროდუქტების მაღალმწარმოებლურ ხაზებზე დაფასობისათვის, სადაც ერთ ნაკადში ხდება ტარის დამზადება, მისი შევსება პროდუქტით, ჰერმეტიზაცია და სასაქონლო ნიშნის დატანა.

განსაკუთრებული საფუთავი, რომელმაც პროდუქტს უნდა შეუნარჩუნოს ტენიანობის საჭირო დონე და მიკროორგანიზმების მოქმედება, არის პოლიმერული დანაფარები, რომლებიც მიიღება პარაფინის, პოლიეთილენის და პოლიიზობუტილენის შემცველი ნაღობისაგან; პოლივინილის სპირტის და სპირტში განზავებული პოლივინილბუტირალის წყალხსნარებიდან; პოლივინილაცეტატის და ვინილიდენქლორიდისა და ვინილქლორიდის თანაპოლიმერის წყლის დისპერსიიდან და სხვა.

საფუთავი მასალებისადმი მოთხოვნა განისაზღვრება პროდუქტის სახეობის მიხედვით, მისი დამუშავების, შენახვისა და ტრანსპორტირების პირობებით. მაგალითად, საფუთავის ჰერმეტიულობის დაცვისა და დარტყმითი დატვირთვისადმი მდგრადობის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ისეთი მასალის გამოყენება, რომელიც ხასიათდება საკმაო მექანიკური სიმტკიცით და ელასტიურობით; ჰიგროსკოპული პროდუქტების შესაფუთად გამოიყენება ტენგაუმტარი, ხოლო ვაკუუმში ან ინერტული აირის ატმოსფეროში შესაფუთად – აირგაუმტარი მასალა.

ზოგიერთ შემთხვევაში, მაგალითად, ბიოლოგიურად აქტიური პროდუქტების შესაფუთად, სელექციურად აირგამტარი მასალები გამოიყენება. ხშირად საფუთავი მასალა არ უნდა ატარებდეს ნივთიერების ან ცხიმის სუნს, უნდა იყოს ყინვაგამძლე და მდგრადი დაძველების მიმართ, უზრუნველყოფდეს როგორც საფუთავის, ისე საკვები პროდუქტის უსაფრთხოდ შენახვას სხვადასხვა პირობებში.

საფუთავი მასალა, რომელიც დასაფასობელ ავტმატებზე გამოიყენება, ადვილად უნდა დუღდებოდეს, ხოლო პროდუქტით შევსების შემდეგ მისმა სიხისტის დონემ უნდა უზრუნველყოს ფორმის შენარჩუნება. მრავალი ფიროვანი მასალა უნდა ხა-

სიათღებოდეს შეკვლების უნარით, რათა მჭიდროდ შემოეკრას რთული კონფიგურაციის პროდუქტს და შესაძლებელი იყოს მასზე ბეჭდის დასმა.

მეტად მკაცრი მოთხოვნები წაყენება ხორცის სხვადასხვა სახეობის, მათი ნახევარფაბრიკატების, რძისა და რძის პროდუქტების, ასევე თევზისა და თევზის პროდუქტების საფუთავ მასალებს.

ახალი ხორცი მალფუჭებადი პროდუქტია, რადგან იგი წარმოადგენს იდეალურ გარემოს მიკროორგანიზმებისა და სოკოს გამრავლებისათვის. მიკრობული პროცესების მიმდინარეობისათვის საუკეთესო არეს წარმოადგენს აგრეთვე ბმული წყლის მნიშვნელოვანი რაოდენობა, რომელსაც ახალი ხორცი შეიცავს და შენახვის პროცესში „ხორცის წვენი“ (წყლისა და სისხლის ნარევის) სახით გამოიყოფა. ამის გამო ხორცი მეტად მგრძობიარეა გარემოს ფაქტორების – წნევის, ჰაერის ტენიანობის და ტემპერატურის მიმართ. აღნიშნული ფაქტორები ერთობლიობაში უარყოფით გავლენას ახდენს ხორცის გემოზე, ფერზე და სიახლეზე. ამაში გადამწყვეტ როლს თამაშობს ხორცის ზედაპირზე მიკრობების საწყისი რაოდენობა, რომელიც საქონლის დაკვლის შემდეგ ყოველ 20 წუთში ორმაგდება. პროცესის მიმდინარეობა ნელდება 1-2⁰C-ზე ან სპეციალურ საფუთავში სათანადო გარემოს შექმნით. ძირითადი საინფორმაციო კრიტერიუმი საფუთავი მასალის შესარჩევად არის წყალბადის მნიშვნელობისა (pH) და წყლის აქტივობის მაჩვენებელი A_w , რომლებიც შესაბამისად უნდა თავსდებოდეს ზღვრებში 6,0 და 0,99. ამ მნიშვნელობების ზევით ხელსაყრელი გარემო იქმნება მიკრობების ზრდისათვის და ხორცის მოხმარებამ შეიძლება კვებითი მოწამლევა გამოიწვიოს. გარემოს ფაქტორები არსებით გავლენას ახდენს კუნთის პიგმენტზეც, რაც ხორცს გარკვეულ შეფერილობას აძლევს. იგი წარმოადგენს მიოგლობინის ცილას, რომელიც ჰაერის ჟანგბადის ზემოქმედებით, ჟანგვის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით, შეიძლება სამ ურთიერთგარდამავალ ფორმაში არსებობდეს: მეწამულ-წითელი ფერის მიოგლობულინში, ღია-წითელი ფერის ოქსიმιοგლობულინში და ყავისფერ მეტმιοგლობულინში. ახალი ხორცის ნორმალურ შეფერილობად ღია წითელი ითვლება, დაუშვებელ შეფერილობად – ყავისფერი, რომელიც ხორცის უხარისხობაზე მიუთითებს.

გარკვეული დროის განმავლობაში ხორცის სიახლის შესანარჩუნებლად საფუთავი მასალა უნდა ხასიათდებოდეს ჰაერის ჟანგბადის გაღწევადობის უნარით ატმოსფერულ პირობებში შენახვისას და შეუღწევლობით ვაკუუმში შეფუთვისას. ამ პირობებს

აკმაყოფილებს პოლიეთილენის აფსკი, ნაკლები ხარისხით – ცელოფანი. ვაკუუმური შეფუთვისათვის გამოიყენება „სარანის“ ტიპის ვინილიდენქლორიდის და ვინილქლორიდის თანაპოლიმერი, შეკლების უნარის მქონე „ეთილენისა და ვინილაცეტატის თანაპოლიმერი–„სარანი“–დასხივებული ეთილენისა და ვინილაცეტატის თანაპოლიმერი“ შედგენილობის თანაექსტრუზიული აფსკი, ნაილონი (ПА66), „სურლინის“ ტიპის იონომერი (Surlyn, დარეგისტრირებულია DuPont კომპანიის მიერ. ეთილენის თანაპოლიმერები მაღალი ფიზიკურ–მექანიკური მახასიათებლებით, დაბალი დნობის ტემპერატურით, შედუღების ფართო ტემპერატურული ინტერვალით, შესანიშნავი გამჭვირვალობით და მოქნილობით).

გაცივებული ხორცის შესაფუთად, რომლის დაცვაც აუცილებელია ფერისა (რაც განპირობებულია მიოგლობინის დაშლით უჟანგბადობის პირობებში) და სხვა ორგანოლექტური თვისებების შეცვლისაგან, აგრეთვე ბაქტერიების ზემოქმედებისაგან, ყველაზე გამოსადეგია ცელოფანი გარედან დაფარული ლაქით. ამ მიზნით გამოიყენება აგრეთვე არალაქირებული ცელოფანი, პოლივინილქლორიდის აფსკი, ვინილიდენქლორიდისა და ვინილქლორიდის („სარანი“), პოლიეთილენის, პოლისტიროლის, კაუნუკის ჰიდროქლორიდის თანაპოლიმერები. ხორცის შენახვის ვადა პოლიმერულ საფუთავში 2-3 დღელამეა 0°C-ის და 1,5 დღელამე 6°C-ის ტემპერატურულ პირობებში.

დამარილებულ ხორცს, რომელიც ხანგრძლივი შენახვისთვის არის გათვალისწინებული, აფასოებენ და ფუთავენ მაღალი მწარმოებლობის ავტომატებზე ვაკუუმში ან ინერტული აირის ატმოსფეროში. საფუთავ მასალად, რომელმაც პროდუქტი უნდა დაიცვას ჟანგბადის ან ტენის შეღწევისაგან და სინათლის ზემოქმედებისაგან, გამოიყენება მრავალშრიანი ფირი ცელოფანი–პოლიეთილენი, პოლიეთილენ–ტერეფტალატი–პოლიეთილენი, პოლიამიდი–პოლიეთილენი, „სარანი“–პოლივინილქლორიდი–სარანი და ცელოფანი–ფოლგა–პოლიეთილენი. ხმარებაშია აგრეთვე პოლიკარბონატის, პოლიურეტანის ან პოლივინილის სპირტი შედუღებად (ჩვეულებრივ, პოლიეთილენის) ფირთან შეხამებით. ხორცი, რომელსაც გავლელი აქვს თბური დამუშავება (წინასწარი დამარილების შემდეგ), იფუთება იგივე ფირებში, როგორშიც დამარილებული ხორცი.

ხორცის კონსერვებისთვის, რომლებიც სტერილიზაციას გადის, განსაკუთრებით გამოსადეგია კომბინირებული მასალა – პოლიეთილენტერეფტალატი–ფოლგა–პოლიეთილენი, აგრეთვე სხვა კომბინირებული მასალები ფოლგის შუაფენებით.

ძეხვეულის და სოსისის გარსის მისაღებად უპირატესად ცელოფანი გამოიყენება.

დაშვებულია აგრეთვე ვისკოზით გაჟღენთილი, გრძელბოჭკოვანი, იზოტროპული ქალაღდის, „სარანის“ ტიპის და პოლივინილსპირტის ფირის გამოყენება.

მოხარშული და შებოღვილი ძეხვეულის, ლორის, კულინარიული ხორცის ცალკეული ულუფების სახით წარმოებული პროდუქციის ხარისხის შესანარჩუნებლად, უპირველეს ყოვლისა, აუცილებელია ჟანგბადის ზემოქმედებისაგან მათი დაცვა. ასეთი დაცვა წარმატებით ხორციელდება სუსტადშელწევადი ორი ან სამფენიანი, სხვადასხვა ქიმიური ბუნების პოლიმერების აფსკისგან დამზადებული პაკეტის ვაკუუმირებით. ამ მიზნით რეკომენდებულია პოლიამიდის, პოლიეთერის, პოლივინილიდენქლორიდის, პოლიეთილენის სხვადასხვა შესამებით გამოყენება. იშვიათად სარგებლობენ ალუმინის კილიტას ფუძეზე დამზადებული ლამინატით ან მეტალიზირებული ფირით.

ძეხვეულის ნაწარმის და კულინარიული ხორცის დაფასოება უმეტეს შემთხვევაში ხორციელდება მთლიანზიდული, შეკლების უნარის მქონე აფსკისაგან. შეკლება ხორციელდება ცხელ წყალში. ასეთი საფუთავის მასალად შეიძლება პლასტიფიცირებული პოლივინილქლორიდის, პოლიამიდი–„სარანის“, პოლიამიდი–პოლიეთილენის გამოყენება. წილობრივი ულუფის შესაფუთად სარგებლობენ „სარანი“–„ეთილენი–ვინილაცეტატის თანაპოლიმერი (შიდა ფენა)“ პაკეტებით.

სოსისის გარსაცმის დასამზადებლად იყენებენ გამჭვირვალე საფუთავს ლამინატის სახით – პოლიამიდი-პოლიეთილენი, აგრეთვე ცელოფანის ან პოლიამიდის ერთშრიან აფსკს, რომელზედაც დააქვთ წყალში უხსნადი არაორგანული დისპერსია, მაგალითად, მოხარშული ძეხვის, სოსისის, აგრეთვე ყველის დასაცავად.

ფართო გამოყენებას პოულობს ძეხვეულისთვის განკუთვნილი გარსი სასაქონლო მარკით „ამიტან“, რომელიც პოლიამიდის ფუძეზეა დამზადებული (კომპანია „ატლანტის–პაკ“, ქ. დონის–როსტოვი). გარსი ძეხვეული ნაწარმის ულუფებად შეფუთვის და სასაქონლო სახის გაუმჯობესების შესაძლებლობას იძლევა, ზრდის პროდუქტის შენახვის ვადას და ხასიათდება კარგი ადსორბციული თვისებებით, რაც მეტად მნიშვნელოვანია პოლიგრაფიული დამუშავებისათვის.

ცნობილია, რომ პოლიამიდის აფსკის ძირითადი დადებითი მხარეა მაღალი ბარიერული თვისებები, ანუ დაბალი შელწევადობა, თუმცა შეზღუდულია ძეხვეულის ან სოსისის გარსად მისი გამოყენების შესაძლებლობა აუცილებელი ორგანოლექტური მახასიათებლების შენარჩუნებით. ამ უარყოფითი მხარის გამოსასწორებლად შემუშავებულია პრინციპულად ახალი ტექნოლოგია, რომელიც პოლიამიდების მორფოლო-

გის ისეთნაირად შეცვლის შესაძლებლობას იძლევა, რომ მისგან წარმოებული გარსი აირების, ორთქლის და წყლის მიმართ სელექციური შეღწევადობის უნარს ღებულობს. აღნიშნული ჯგუფიდან ყველაზე ცნობილია გარსი „ამიტან პრო“ (გამოიყენება ყველა სახის მოხარშული ძეხვეულისა და ღორის შესაფუთად), „ამისმოკ“ (ნახევრად-შებოლვილი და მოხარშულ-შებოლვილი ძეხვეულის შესაფუთად) და „ამილუქს“ (გამოიყენება ტრადიციული მეთოდით სოსისის და სარდელის დასამზადებლად).

უკანასკნელ წლებში ფართო გამოყენება პოვა თერმული შეკვების უნარის მქონე ძეხვეულის მრავალშრიანმა გარსმა დასახელებით „ბეტან“. იგი ხასიათდება მაღალი სიმტკიცითა და ბარიერული თვისებებით, უძლებს მაღალ წნევას ძეხვეულის ფარშის მისხურებისას, ზრდის ძეხვეულის შენახვის ხანგრძლივობას და პროდუქციის სასაქონლო სახეს.

თითქმის ყველა სახის პოლიამიდის აფსკის ნარჩენები უფრო ეკოლოგიურია პოლიინილიდენქლორიდის აფსკებთან შედარებით, რადგან პრაქტიკულად გარემოს არავითარ ზიანს არ აყენებს. იგი გადაყრის შემდეგ რამდენიმე თვეში იშლება.

ახლადშებოლვილი ძეხვეულის, ყველეულის და სხვა ზოგიერთი პროდუქციის დაცვის ეფექტურ ხერხს წარმოადგენს ბაქტერიციდური დანაფარების შექმნა ჰიგიენურად უსაფრთხო ლატექსის ფუძეზე (ორგანული პოლიმერების წყლიანი დისპერსია), რომელიც ანტიმიკრობულ დანამატებს შეიცავს. ასეთ დანამატებად ევროპაში გამოყენებულია პრეპარატი „დალგოციდი“, რომლის ფუძეს ანტიბიოტიკი პიმარიცინი წარმოადგენს, ხოლო დსთ-ს ქვეყნებში – დეჰიდრაცეტონის მუავა (ДФК) და მისი წყალში ხსნადი მარილები. ლატექსის დანაფარები, რომლებიც აღნიშნულ დანამატებს შეიცავს და უშუალოდ საკვები პროდუქტის ზედაპირზე ფორმირდება, ხასიათდება მნიშვნელოვანი უპირატესობით სხვა საფუთავ საშუალებებთან შედარებით. უმთავრესია პროდუქტის ხარისხის ამაღლება და ეკოლოგიური უსაფრთხოება.

საკვები საფუთავების სფეროში შედარებით ახალ მიღწევად შეიძლება ჩაითვალოს ძეხვეულის გარსი ანტიმიკრობული თვისებებით. იგი შეიცავს სპეციალურ დანამატებს: გაზის და ტენის შთანთქმელებს, სხვადასხვა ანტიმიკრობებს, ფერმენტებს და არომატიზატორებს, რაც აუმჯობესებს პროდუქტის სასაქონლო სახეს და მნიშვნელოვნად (2–3-ჯერ) ზრდის შენახვის ხანგრძლივობას.

პერსპექტიულ მიმართულებად ითვლება ისეთი „აქტიური“ გარსის შექმნა, რომლის გამოყენებაც საკვებად არის შესაძლებელი. ასეთი დანაფარების ფუძეს ბუნებ-

რივი პოლიმერები – პოლისაქარიდები წარმოადგენს. ბუნებრივი პოლიმერების აფსკი მაღალი სორბციული თვისებებით ხასიათდება და ადამიანის ორგანიზმში მოხვედრისას აღსორბირებს და გამოაქვს ლითონის იონები, რადიონუკლიდები და სხვა მავნე ნივთიერებები.

ამერიკელმა ბიოტექნოლოგებმა შეიმუშავეს ხილისა და ბოსტნეულის საფუთავი მასალა, რომელიც საკვებში შეიძლება გამოვიყენოთ. იგი წარმოადგენს კიბორჩხალას (ჰიტოზანი) ჯავშანის და კვერცხის ცილის პროტეინის (ლიზოცინი) თხევად ნარევს, სადაც შეიძლება ადამიანის ორგანიზმისთვის აუცილებელი ნივთიერებების შეყვანა. შემადგენლობა სითხის სახით დააქვთ, უმეტეს შემთხვევაში, მრგვალი ფორმის პროდუქტზე, სადაც გარკვეული დროის შემდეგ მყარდება. დანაფარი ხასიათდება მნიშვნელოვნად უფრო მაღალი დამცავი, მათ შორის ბაქტერიციდური თვისებების კომპლექსით მაღალი სიმკვრივის პოლიეთილენთან შედარებით.

გაყინული ქათმისათვის ყველაზე კომპაქტურ და მოსახერხებელ საფუთავ მასალას „სარანის“ ტიპის, შეკვების, აგრეთვე ჰიროქლორიდკაუჩუკის და პოლიეთილენის ფირები მიეკუთვნება. ტენის შთანთქმის მიზნით ზოგჯერ ფრინველს შეფუთვამდე ქაფლისტიროლის ან ქაფპოლივინილქლორიდის ხონჩაზე ათავსებენ.

ნატურალური ყველის შესაფუთად, რომლის დაცვაც აუცილებელია ბაქტერიებისაგან, ტენისაგან და ჟანგბადის შეღწევისაგან, ორივე მხრიდან ტენმდეგდანაფარიანი, უმეტეს შემთხვევაში, „სარანის“ ტიპის ან ჰიდროქლორიდკაუჩუკისგან დამზადებული ცელოფანი გამოიყენება. ასეთი შეფუთვით ყველის შენახვა შესაძლებელია 3 დღე-ღამის განმავლობაში. უფრო ხანგრძლივი შენახვისათვის (5–8 დღეღამე) შეფუთვას მრავალშრიანი ფირით აწარმოებენ – ცელოფანი–სარანი–პოლიეთილენი (გამოსადეგია ვაკუუმში შესაფუთად); პოლიეთილენტერეფტალატი–სარანი–პოლიეთილენი; პოლიამიდი–სარანი–პოლიეთილენი ან პოლიპროპილენი–პოლიეთილენი–სარანი–პოლიეთილენი.

მდნარ ყველს (იგი უფრო მდგრადია ნატურალურთან შედარებით, რადგან დამზადების პროცესში ხდება მისი პასტერიზაცია) ფუთავენ ფოლგაში, რომელიც დაფარულია ვინილქლორიდისა და ვინილაცეტატის თანაპოლიმერის ფუქეზე დამზადებული ლაქით; კომბინირებულ მასალაში ქაღალდი–ფოლგა–პოლიეთილენი; პოლივინილქლორიდის ან „სარანის“ ტიპის ფირში. ყველი შეიძლება დაფასოვდეს აგრეთვე ცვილით დაფარულ ცელოფანში, რომლის შემადგენლობაშიც შედის ცერეზინი და დაბალმოლეკულური პოლიეთილენი. ასეთ შემთხვევაში მდნარ ყველს ასხამენ პაკეტებში და უტარე-

ბენ ჰერმეტიზაციას შედუღებით. ფართოდ არის გავრცელებული მდნარი ყველის დაფასოება ხისტ ტარაშიც, მაგალითად, დარტყმისადმი გამძლე პოლისტიროლის ჭიქაში.

გარდა ხორცისა, ხშირად მოიხმარება და ერთ-ერთი მალფუჭებადი პროდუქტია **თევზეული**, რომლის შენახვის ვადა უფრო ნაკლებია ხორცთან შედარებით. ეს აიხსნება თევზში შემცველი ადვილად ჟანგვადი ცხიმით და გარე ზემოქმედებისადმი მეტად მგრძობიარე, არამდგრადი მიოზინით (ფიბრილური ცილა, კუნთების შემკუმშავი ბოჭკოს ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტი – მიოფიბრილი. იგი შეადგენს კუნთების ცილის საერთო რაოდენობის 40-60%). ყოველივე ამის გამო საფუთავი მასალა და ფუთაში შექმნილი გარემო საიმედოდ უნდა იცავდეს პროდუქტს ცილითა და ცხიმით გაფუჭებისგან, ატმოსფერული ჰაერით დაჟანგვის, მიკროორგანიზმების ზემოქმედებისა და ტენის კარგვისგან, რაც ხელს უწყობს მისი ხარისხის გაუარესებას და გაფუჭებას. თევზეულის ხარისხის შედარებით ხანგრძლივი დროის განმახლობაში შენარჩუნებას უზრუნველყოფს დაბალი ტემპერატურა, ზოგჯერ -30°C -მდე. გაყინული თევზის შესანახად გამოიყენება სხვადასხვა პოლიმერული აფსკი ან დანაფარები. ამ მიმართულებით კარგ შედეგს იძლევა პოლიენილის სპირტის ფუქეზე დამზადებული დანაფარები, რომლებიც სითხის სახით ადვილად დაიტანება თევზის ზედაპირზე და შემდგომ იყინება ხანგრძლივი შენახვის მიზნით. ეს მეთოდი განსაკუთრებით კარგ შედეგს იძლევა ძვირფასი, ზუთხისებრი ჯიშის თევზეულის დასამუშავებლად.

კულინარული თევზის ნაწარმის შეფუთვის აწარმოებენ კომბინირებული მასალებით „სარანის“, პოლიპროპილენის და პოლივინილქლორიდის გამოყენებით, რომლებიც ცხიმგამძლე მასალებს მიეკუთვნება. მცირე სამომხმარებლო პროდუქტის შეფუთვისათვის „პოლიეთილენი-პოლიამიდი“ გარსის გამოყენება შემდგომი ვაკუუმირებით მისი აირგაუმტარობის გამო საშუალებას იძლევა შეიზღუდოს მიკრობიოლოგიური დაბინძურების შესაძლებლობა ტრანსპორტირებისა და შენახვისას, აგრეთვე აცილებული იქნას ასეთი პროდუქციის ცილოვანი და ცხიმით გაფუჭების პროცესი.

ნედლ, ახალ თევზს ფუთავენ ბადეში ან პოლიეთილენის პაკეტში. სითხის შთანთქმის მიზნით, ზოგჯერ პაკეტში ქაფპოლისტიროლს აფენენ. გაყინული თევზის შესაფუთად იყენებენ აგრეთვე ცელოფანს, პოლიეთილენს ან მუყაოს ყუთს, რომელიც შიგნიდან დაფარულია პოლიეთილენის ან ვინილიდენქლორიდისა და ვინილქლორიდის თანაპოლიმერით.

შედარებით რთულია საფუთავის შერჩევა შებოღვილი თევზისათვის. ამ შემთხ-

ვევაში ძირითადი მოთხოვნაა ცხიმოვანი ნაწილის დაცვა ჰაერის ჟანგბადისაგან, რასაც უზრუნველყოფს ვაკუუმური შეფუთვა შეკლების, მცირეშედწვეადობის და ცხიმგამძლე აფსკით პოლივინილიდენქლორიდის და მისი თანაპოლიმერების ფუძეზე. საფუთავმა უნდა უზრუნველყოს აგრეთვე პროდუქტის სუნის შენარჩუნება, მისი დაცვა ბაქტერიებისაგან და უცხო სუნის შეღწევისაგან. ამიტომ შებოლველი თევზის ვაკუუმში შესაფუთად გამოიყენება აგრეთვე მრავაშრიანი ფირი, როგორცაა ცელოფანი-პოლიეთილენი, პოლიეთილენტერეფტალატი-ცელოფანი-პოლიეთილენი, პოლიამიდ-12-ის ფირი. ეს უკანასკნელი თევზის გათბობის შესაძლებლობას იძლევა საფუთიდან მისი ამოღების გარეშე.

დამარილებული თევზისათვის ხშირად იყენებენ ხის კასრს ან ყუთს, რომელიც ამოგებულია შედუღებით ჰერმეტიზირებული პოლიეთილენის ან პლასტიფიცირებული პოლივინილქლორიდით. მარილსხნარში თევზს აფასობენ დაბალი სიმკვრივის პოლიეთილენის ქილაში და უტარებენ ჰერმეტიზაციას იგივე პოლიმერის სახურავით.

განსაკუთრებით ძვირფასი ხარისხის თევზის, შავი და წითელი ხიზილალის საფუთავს, რომლებიც ყველაზე ხშირად მომხმარებელს ულუფების სახით მიეწოდება, უნდა გააჩნდეს არა მარტო მაღალი ბარიერული თვისებები, არამედ სამომხმარებლო ხარისხიც, კერძოდ, განსაკუთრებული დიზაინი. ასეთი პროდუქციის ხანგრძლივი შენახვისათვის გამოიყენება შედარებით ძვირი, გამჭვირვალე გარსი: პოლიეთილენტერეფტალატი-თანაპოლიმერი „ბინილიდენქლორიდი-ბინილქლორიდი“, პოლიამიდი-თანაპოლიმერი „ბინილიდენქლორიდი-ბინილქლორიდი“, პოლიეთილენტერეფტალატი-პოლიამიდი და სხვა.

ჰიგროსკოპული საკონდიტრო ნაწარმი (კარამელი, ირისი) იფუთება წყალგაუმტარ, უმთავრესად პოლიპროპილენის ფირებში, აგრეთვე კომბინირებულ მასალაში – პოლიეთილენი-ფოლგა. ცელოფანის გამოყენება ამ შემთხვევაში იმით არის შეზღუდული, რომ ჰიგროსკოპულ პროდუქტთან შეხებისას იგი მყიდდება. ზოგიერთი მასალის ფირის გამოყენება გაძნელებულია მაღალმწარმოებლურ ავტომატებზე შეფუთვისას, რაც გამოწვეულია ელექტროსტატიკური მუხტის წარმოქმნით.

ნაკლებად ჰიგროსკოპული საკონდიტრო ნაწარმი (მაგალითად, უელეს კამფეტი, მარმელადი) შეიძლება შეიფუთოს არალაქირებული ცელოფანის ან ცელულოზის აცეტატის ორთქლგამტარ ფირებში. ხანგრძლივი შენახვისათვის პრაქტიკულად არაჰიგროსკოპული შოკოლადის ნაწარმის შესაფუთად სარგებლობენ კომბინირებული მასა-

ლებით პოლიეთილენტერეფტალატი–ფოლგა–პოლიეთილენი. ასეთი საფუთავი ხელს უშლის დაობებას და ცხიმისა და შაქრის მიგრაციას შოკოლადის ნაწარმის ზედაპირზე მაღალი ტემპერატურის პირობებში.

პურფუნშეულს დაობების ასაცილებლად და ჰიგიენის პირობების დაცვის მიზნით უპირატესად პოლიეთილენის ან პოლიპროპილენის ფირში ფუთავენ. აუცილებლობის შემთხვევაში საფუთავს უტარებენ ჰერმეტიზაციას სპეციალურ ავტომატებზე პლასტმასის ან ლითონის მომჭერით.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს პოლიამიდ-12 ფირის გამოყენება გაყინული ცომის შესანახად ან პურის გამოსაცხობად. ასეთნაირად შეფუთული პურის შენახვა სტერილიზაციის შემდეგ 7 თვემდეა შესაძლებელი.

ახალი ბოსტნეულის და ხილის შესაფუთად დიდ მნიშვნელობას ღებულობს სელექციური აირგამტარი მასალები (მაგალითად, რომელშიც უპირატესად შეაღწევს CO₂, ხოლო ნაკლები ინტენსივობით – O₂). ეს უზრუნველყოფს აღნიშნული პროდუქტების ხანგრძლივ შენახვას. ამ მიზნით ყველაზე გამოსადეგია სილიციუმორგანული კაუჩუკის, აგრეთვე ჰიდროქლორიდკაუჩუკის ფირი. გარდა ამისა, შესაძლებელია პოლიეთილენის (მათ შორის პერფორირებული), პოლივინილქლორიდის პლასტიფიცირებული და ცელულოზის აცეტატის ფირების გამოყენება.

რძეს, რძის პროდუქტებს და წველებს აფასობენ ქაღალდში, რომელიც შიგნიდან დაფარულია პოლიეთილენით, ხოლო გარედან – პარაფინით. თხევადი პროდუქტებისათვის, რომლებიც სტერილიზაციას ექვემდებარება, ასევე გამოიყენება ქაღალდი, რომელიც პოლიპროპილენით არის დაფარული და კომბინირებული მასალა – ქაღალდი–ფოლგა–პოლიპროპილენი. ნახევარფაბრიკატებისა და კონცენტრატების შესაფუთად, ჩვეულებრივ, გამოიყენება კომბინირებული მასალები ფოლგის შუალედური ფენით. მაგალითად, პოლიეთილენტერეფტალატი–ფოლგა–პოლიეთილენი, ქაღალდი–ფოლგა–პოლიეთილენი. იყენებენ აგრეთვე ერთფენიან, მაგალითად, პოლივინილსპირტის ან პოლიეთილენის ფირებს, მრავალშრიან ფირებს „სარანი“–ცელოფანი–„სარანი“, აგრეთვე ქაღალდს წყლის დისპერსიიდან დატანილი დანაფართ ვინილი–დენქლორიდის და ვინილქლორიდის თანაპოლიმერის ფუძეზე. ზოგჯერ, მაგალითად, ყავის შეფუთვისას, გამოიყენება მუყაოს ყუთი, რომელიც „სარანის“ ტიპის ფირით არის ამოგებული.

პოლიმერული საფუთავი საიმედოდ იცავს კონცენტრატებს და ნახევარფაბრიკატებს ტენის შეღწევისაგან, დანამცეცებისა და დამძაღებისაგან. ზოგიერთ შემთხვევაში

საკვებ კონცენტრატებში შენახვის დროს მათი სტაბილურობის გასაზრდელად შეაქვთ მიკროკაფსულირებული ცხიმი და სხვა სურნელოვანი ნივთიერებები.

პლასტმასის მაღალი მექანიკური სიმტკიცე მანქანათმშენებლობაში ლითონის ნაცვლად მისი გამოყენების შესაძლებლობას იძლევა, რაც მანქანათა ნაწილების წონის მნიშვნელოვან შემცირებას განაპირობებს. გარდა ამისა, ეკონომიას უწევს დეფიციტური ფერადი ლითონების ხარჯს. განსაკუთრებული მაღალი სიმტკიცე, რაც ფოლადის სიმტკიცეს უტოლდება, გააჩნია ე.წ. მინაპლასტებს, რომლის ფუძეს დანაწევრებული, უმეტეს შემთხვევაში ეპოქსიდის, პოლიეთერის ან სხვა ფისით შეკავშირებული მინის ბოჭკო წარმოადგენს. იგი პრაქტიკულად არის არმირებული პლასტმასი, რომელმაც მანქანათმშენებლობაში მეტად ფართო გამოყენება პოვა. პლასტმასისგან დამზადებულ ნაკეთობას არ ესაჭიროება რაიმე დამატებითი მექანიკური დამუშავება და არ განიცდის კოროზიას, ამიტომ, გარდა მანქანათმშენებლობისა, მას ფართოდ იყენებენ სხვადასხვა აპარატების, ტუმბოების, მილების, ონკანების და ა.შ. დასამზადებლად, ქიმიურ და სასურსათო წარმოებაში – ტარის და საფუთავი მასალების საწარმოებლად, მედიცინაში – ქირურგიული ძაფების, კბილისა და ძვლის პროთეზის, ინსტრუმენტებისა და ხელსაწყოების დასამზადებლად.

ლიტერატურა

1. ოქროსაშვილი მ, გოგოლაძე გ. მასალათმცოდნეობა. თბილისი, „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2008, გვ. 262;
2. გიორგიძე ე. მასალათმცოდნეობა. თბილისი, „განათლება“, 1984, გვ. 494;
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М., «Машиностроение», 1990, с. 527;
4. Жадан В.Т., Гринберг Б.Г., Никонов В.Я. Технология металлов и других конструкционных материалов. М., «Высшая школа», 1970, с. 703;
5. Любешкина Е.Г. Полимерные материалы для упаковки пищевых продуктов: требования и принципы выбора. «Полимерные материалы», 2009, №4, с. 4-10;
<http://www.polymerbranch.com/b4d168b48157c623fbd095b4a565b5bb/075b007a877a4e4221fb61f3a7e369bd/magazineclause.pdf>
6. Меньшиков А. Г., Реброва Е. М. Нержавеющие стали для пищевой промышленности. <http://www.metalika.ua/node/324324>
7. Конструкционные материалы и покрытия в пищевом машиностроении. <https://studopedia.info/8-69763.html>
8. Материалы, используемые в пищевом оборудовании. Коррозионостойкие стали, пищевые полимеры и прочие материалы для пищевой промышленности. <https://www.kp.ru/guide/pishchevaia-nerzhaveika.html>
9. Полимеры в пищевой промышленности (polymers.in food industry) <http://kursak.net/polimery-v-pishhevoj-promyshlennosti/> © kursak.net
10. Полимеры в пищевой промышленности. (Конструкционные полимерные материалы и покрытия в пищевой машиностроении; Тара и упаковочные материалы в пищевой промышленности). Энциклопедия полимеров, под редакцией Каргина В.С. Дата в источнике: 1972 год; Март 25, 2015. <https://mplast.by/enciklopedia/polimeryi-v-pishhevoy-promyshlennosti>;
11. Применение различных металлов в современной промышленности. infolab.ru/index.php?id=text&folderName=first&id2=24;
12. Упаковочные материалы в пищевой промышленности. <https://studfiles.net/preview/940729/page:12/>
13. Пищевой алюминий в ГОСТах и СанПин. https://www.metmk.com.ua/5_pal.html

შესავალი	3
თავი I. ლითონის კრისტალური აგებულება	4
1.1. ლითონების კლასიფიკაცია	4
1.2 ლითონის კრისტალური აგებულება . . . . .	..6
თავი II. სუფთა ლითონების კრისტალიზაცია . . . . .	..13
2.1. კრისტალიზაციის პროცესის ენერგეტიკული პირობები და მექანიზმი	13
2.2. მეორეული გარდაქმნები სუფთა ლითონებში . . . . .	...17
თავი III. ლითონის მექანიკური თვისებები	22
3.1. ზოგადი მიმოხილვა . . . . .	..22
3.2. ლითონის მექანიკური თვისებების მახასიათებლები . . . . .	..23
3.3. ცივჭედვა და რეკრისტალიზაცია . . . . .	..27
თავი IV. შენადნობთა აგებულება . . . . .	..31
4.1. მიკრომექანიკური ნარევი . . . . .	...31
4.2. ქიმიური ნაერთი . . . . .	..32
4.3. მყარი ხსნარი ერთ-ერთი კომპონენტის ფუძეზე . . . . .	..33
4.4. მყარი ხსნარი ქიმიური ნაერთის ფუძეზე . . . . .	...35
4.5. მყარი ხსნარის მოწესრიგება . . . . .	..36
თავი V. რკინა-ნახშირბადის შენადნობები	38
5.1. რკინა-ნახშირბადის შენადნობთა სისტემის მდგომარეობის დიაგრამა . . . . .	...38
5.2. ნახშირბადიანი ფოლადი . . . . .	...41
5.3. თუჯი . . . . .	..47
თავი VI. ლითონის თერმული დამუშავება . . . . .	..52
6.1. მოწვა . . . . .	..52
6.2. ფოლადის წრთობა . . . . .	...55
6.3. მოშვება . . . . .	..58
თავი VII. ლეგირებული ფოლადი . . . . .	..60
7.1. მალეგირებელი ელემენტების გავლენა ფოლადის თვისებებზე ...60	
7.2. ლეგირებული ფოლადის კლასიფიკაცია და ნიშანდება . . . . .	..61
7.3. საკონსტრუქციო ლეგირებული ფოლადი . . . . .	..63
თავი VIII. ფერადი ლითონები და შენადნობები . . . . .	..68
8.1. ალუმინი და მისი შენადნობები . . . . .	..68

8.2. სპილენძი და მისი შენადნობები	71
თავი IX. არალითონური მასალები	75
9.1. პოლიმერების კლასიფიკაცია	75
9.2. ზოგადტექნიკური დანიშნულების თერმოპლასტები და თერმორეაქტიული პლასტმასები	79
9.3. პლასტმასების მექანიკური თვისებები	82
9.4. პოლიმერების დაძველება	84
9.5. კაუჩუკი და რეზინი	85
9.6. აფსკწარმოქმნელი და ლაქსადებავი მასალები. ემალი	89
9.7. საკონსტრუქციო წებო	90
9.8. აირსავსე პლასტმასები	91
თავი X. საკონსტრუქციო მასალები სასურსათო წარმოებაში	93
10.1. ზოგადი მიმოხილვა	93
10.2. კვების პროდუქტების ტექნოლოგიური გარემო	94
10.3. ტექნოლოგიური მოწყობილობის მუშაობის უნარიანობა და საიმედოობა	96
10.4. სასურსათო წარმოებაში გამოყენებული მასალებისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები	97
10.5. ლითონური საკონსტრუქციო მასალები	101
10.6. უჟანგავი ფოლადები სასურსათო და გადამამუშავებელ მრეწველობაში	107
10.7. ფერადი ლითონები და შენადნობები სასურსათო წარმოებაში	111
10.8. პოლიმერული საკონსტრუქციო მასალები და დანაფარები	114
10.9. ტარა და საფუთავი მასალები	118
ლიტერატურა	131