

მ. ოქროსაშვილი

ლოთონმცოდნეობის
საფუძვლები დამწყებთათვის

„ტექნიკური უნივერსიტეტი“

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. ოქროსაშვილი

ლოთონმცოდნეობის
საფუძვლები დამწყებთათვის



რეგისტრირებულია სტუ-ს
სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს
მიერ. 02.07.2009, ოქმი №6

თბილისი
2009

პოპულარულ ლიტერატურაზე დაყრდნობით გაშუქებულია ლითონმცოდნეობის ძირითადი დებულებები, ცნებები და მისი ამოცანები. მიმოხილულია ძველთაძველი დროიდან კოსმოსურ ერამდე გამოყენებული მასალების მოპოვების, დამუშავებისა და შესაბამისი ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი ეტაპები. განხილულია ლითონისა და შენადნობების მნიშვნელობა თანამედროვე ტექნიკისათვის და მომავლის პერსპექტივები, რაც სტუდენტს მკაფიო წარმოდგენას შეუქმნის შერჩეულ სპეციალობაზე.

არ არის ორიენტირებული ვიწრო სპეციალიზაციის სტუდენტებისათვის. იგი ერთნაირად მოუტანს სარგებლობას ვისაც უკვე ნასწავლი აქვს პროგრამით გათვალისწინებული საგანი „ლითონმცოდნეობა“ და მათაც, ვინც მის შესწავლას მხოლოდ ახლა აპირებს.

რედაქტორი გ. გოგოლაძე

რეცენზენტი პროფესორი ი. კვირიკაძე

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2009

ISBN 978-9941-14-703-6

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>



ყველა უფლება დაცულია. ამ წიგნის არც ერთი ნაწილი (იქნება ეს ტექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) არანაირი ფორმით და საშუალებით (იქნება ეს ელექტრონული თუ მექანიკური), არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

შ ე ს ა მ ა ლ ი

მანქანათა ნაწილების, ხელსაწყოების, სხვადასხვა კონსტრუქციისა თუ მოწყობილობის ელემენტების დასამზადებლად ტექნიკა სრულიად განსხვავებული თვისებების მქონე ისეთი მასალების გამოყენებას მოითხოვს, როგორცაა მაგალითად, სალი და რბილი, მაგნიტური და არამაგნიტური, კარგი ელექტროგამტარი და მაღალი ელექტრული წინაღობის მასალები. პრაქტიკული მიზნებისათვის ლითონებისა და შენადნობების სწორად შერჩევისათვის კი აუცილებელია მათი სასურველი თვისებების მიღწევის გზებისა და ხერხების ცოდნა. თავის მხრივ, ლითონის თვისებები დამოკიდებულია მათ ბუნებასა და შინაგან აგებულებაზე. ლითონური მასალების შინაგან აგებულებას, თვისებებსა და მათ შორის ურთიერთკავშირს სწორედ ლითონმცოდნეობა შეისწავლის.

ლითონმცოდნეობა არის გამოყენებითი მეცნიერება, რომლის შემდგომ განვითარებაზე ბევრად არის დამოკიდებული ისეთი უმნიშვნელოვანესი ტექნიკური პრობლემების წარმატებით გადაჭრა, რასთანაც დაკავშირებულია მასალების ეკონომია, მანქანა-ხელსაწყოების მასის შემცირება და მაღალი სიზუსტე, მექანიზმებისა და მოწყობილობების საიმედოობისა და მუშაობის ხანგრძლივობის ამაღლება.

თანამედროვე ტექნიკის მოთხოვნათა დასაკმაყოფილებლად ახალი მასალების ძიების უწყვეტმა პროცესმა სტიმული მისცა არაერთი ტექნიკური იდეის ჩამოყალიბებასა და რეალიზაციას. მაგალითად, რევოლუციური როლი ითამაშა ნახევრად გამტარმა მასალებმა და თხევადმა კრისტალებმა ელექტრონიკის, კომპოზიციურმა მასალებმა – ავიაციისა და სარაკეტო ტექნიკის, ზეგამტარებმა და ამორფულმა შენადნობებმა – ელექტრონიკისა და რადიოტექნიკის განვითარების საქმეში. ამდენად, მეცნიერება მასალების შესახებ ტექნიკის ნებისმიერი დარგის სრულყოფისა და შემდგომი განვითარების ქვაკუთხედს წარმოადგენს.

კურსი განკუთვნილია მეტალურგიის ფაკულტეტის ლითონმცოდნეობის სპეციალობის I კურსის სტუდენტებისათვის. მისი ძირითადი ამოცანაა მკითხველს შესძინოს ელემენტარული ცოდნა ცივილიზაციის საფუძვლის, ლითონის შესახებ, გააცნოს თანამედროვეობისათვის მეტად აქტუალური მეცნიერების – ლითონმცოდნეობის განვითარების მოკლე ისტორია და მისი მომავლის პერსპექტივები, მოამზადოს სტუდენტი შედარებით რთული საკითხების ასათვისებლად მომდევნო კურსზე.

1. ლითონი ყველაზე

ჩვენს საუკუნეს ზოგი ატომურს უწოდებს, ზოგი – კოსმოსურს, ზოგიც სინთეტიკური მასალების საუკუნეს. მაგრამ თუ დავრჩებით ტრადიციის ერთ-გულნი და ეპოქას დავარქმევთ იმ მთავარი მასალის სახელს, რომლისგანაც მზადდება შრომის ძირითადი იარაღები, მაშინ ყველაზე სამართლიანი იქნებოდა მისთვის ლითონის, უფრო სწორად, რკინის საუკუნე გვეწოდებინა, რომელიც კვლავ №1 მასალად რჩება საზოგადოებაში. სწორედ იგი წარმოადგენს კაცობრიობის მატერიალური კულტურის ჩონჩხედს, ქვაკუთხედს, ინდუსტრიის ხერხემალს.

„რკინა არის არა მარტო მთელი სამყაროს საფუძველი, ჩვენი გარემომცველი ბუნების ყველაზე მთავარი ლითონი, არამედ ომისა და მშვიდობიანი შრომის იარაღიც. ძნელია მენდელეევის ცხრილში მოიძებნოს მეორე ისეთი ელემენტი, რომელიც ასე იქნებოდა დაკავშირებული კაცობრიობის ბედის წარსულთან, აწმყოსთან და მომავალთან“ - ასეთ შეფასებას აძლევს აკადემიკოსი ფერსმანი პირველ ნომრად წოდებულ ლითონს – რკინას.

მართლაც, რა მნიშვნელოვანია თუნდაც ლითონის მაგნიტური თვისებები: კომპასის ისრის გარეშე გზა დაებნეოდა მეზღვაურს, გეოლოგსა თუ ტურისტს. მუდმივი მაგნიტის გარეშე ელექტრული ამნთები ვერ აამუშავებს ავტომობილის, თვითმფრინავისა თუ ტრაქტორის ძრავას. რკინის გულარის გარეშე არ გვექნებოდა არც გენერატორი, არც ელექტროძრავი, არც ტრანსფორმატორი. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ მუშაობას შეაჩერებდა ელექტროსადგურები, გაჩერდებოდა ელექტრომატარებლები და ტრამვაი, მანქანები და ჩარხები. ბინებში ჩაქრებოდა ელექტრონათურები და ტელევიზორის ეკრანები, დადუმდებოდა რადიომიმღებები და ტელეფონები.

კოსმოსური რაკეტის სიმძლავრე მრავალჯერ აღემატება ყველაზე მსხვილი ჰიდროელექტროსადგურის* სიმძლავრეს. ასეთი საშინელი ძალის მცირე მოცულობაში თავმოყრა წვის კამერაში წნევისა და ტემპერატურის მკვეთრ აწევას მოითხოვს. ამ იდეის რეალიზაცია კი შესაძლებელი გახდა მხოლოდ შესაბამისი თვისებების – მხურვალმტკიცე ლითონის შემუშავების შემდეგ. ზემოაღნიშნული ტემპერატურისა და წნევის პირობებში მდგრადი მასალები საჭიროა აგრეთვე გაზის

* ყველაზე მძლავრი ჰიდროელექტროსადგური აგებულია სამხრეთ ამერიკაში, მდინარე პარანაზე. მისი 18 ტურბინა გამოიმუშავებს 12600 მილიონ ვატ ელექტროენერგიას.

ტურბინების, ალმასის სინთეზის აპარატებისა და ტექნიკის სხვა დარგებისათვის.

ატომური ენერგეტიკა საჭიროებს ისეთ მასალებს, რომლებიც გაუძლებენ არა მარტო მაღალ ტემპერატურას, არამედ მდგრადი აღმოჩნდებიან გამჭოლი რადიაციის ზონაში და აგრესიულ გარემოში. მედიცინა კი სრულიად განსაკუთრებული თვისებების მასალებს მოითხოვს: გარდა სიმტკიცისა, ისინი უნდა ხასიათდებოდნენ მდგრადობით ცოცხალი ორგანიზმის ქიმიური ნივთიერებების ზემოქმედების მიმართ და კარგი შეთავსებადობით, ანუ ქსოვილთან შეზრდის უნარით.

და კიდევ ლითონური მასალის გამოყენების ერთი უმნიშვნელოვანესი სფეროს შესახებ: თქვენ უსმენთ ზაქარია ფალიაშვილის უკვდავ ოპერას „დაისი“. აღგაფრთოვანათ ორკესტრის სასწაულმოქმედმა უღერადობამ. თქვენ კი არც დაფიქრებულხართ არც ორკესტრის ინსტრუმენტების მრავალფეროვნებაზე, არც მათ ისტორიასა და მოწყობილობაზე.

თანამედროვე სიმფონიური ორკესტრი თავისი მდიდარი ხმოვანების შესაძლებლობით დიდად არის დავალებული მეტალურგიისაგან. აქ არ არის ლაპარაკი სასულე ინსტრუმენტებზე, არამედ სიმზე – ფოლადის მავთულის უღერადობის, ანუ „სიმღერის“ თავისებურებაზე. სიმი სხვადასხვანაირია, მაგრამ თანამედროვე მუსიკალურ ინსტრუმენტებში მაინც ლითონის სიმია გამოყენებული. „სინა – რვალი არს უთეთრესი და ხმა კეთილ მუღერაღე“ - ვკითხულობთ სულხან-საბას ლექსიკონში.

მუსიკოსებს ალბათ ყველაზე ნაკლებად აინტერესებთ სიმის მექანიკური თვისებები. მათთვის მთავარია მავთულის რაღაც განსაკუთრებული, მუსიკალური თვისება, თუმცა ამის მისაღწევად სიმისათვის განკუთვნილი ფოლადი, უპირველეს ყოვლისა, გასაოცრად მაღალ მექანიკურ თვისებებს უნდა აკმაყოფილებდეს. წარმოიდგინეთ, ფორტეპიანოში სიმები ისეთი ძალით არის დაჭიმული, რომ თუჯის ჩარჩო 20 ტონა დატვირთვას განიცდის! როიალის სიმების ხვედრითი დაძაბულობა 200 კგ/მმ²-ს აღწევს, ანუ იგი საკმაოდ ახლოს დგას საუკეთესო ფოლადის წინააღმდეგობის ზღვართან გაგლეჯაზე. გამოდის, რომ სიმებისათვის განკუთვნილ ფოლადს უფრო მეტი სიმტკიცე მოეთხოვება, ვიდრე საბაგირე მავთულს. გარდა მექანიკური თვისებებისა, სიმის მავთულის კიდევ ერთ-ერთი ძირითადი მოთხოვნაა ოვალურობის (დიამეტრებს შორის სხვაობა ორი ურთიერთპერპენდიკულარული მიმართულებით) მცირე დაშვება და დრეკადობის განსაზღვრული ზღვრები. ყველა ამ მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად მავთულს უნდა ჰქონდეს მუდმივი სიმკვრივე მთელ სიგრძეზე, წინააღმდეგ შემთხვევაში, როგორც მუსიკოსები ამბობენ, იგი იწყებს გაყალბებას. არქეოლოგიური გათხრები

საფუძველს იძლევა ვივარაუდოთ, რომ ლითონის სიმები უკვე ცნობილი იყო უძველეს ეგვიპტეში.

ადამიანის მოღვაწეობის ყველა სფეროს უზრუნველყოფა საჭირო ლითონური მასალებით – ასეთია დღეს მეტალურგებისა და ლითონმცოდნეების უმთავრესი ამოცანა.

2. ცნება მასალის შესახებ. კველთაძველ დროში გამოყენებული მასალები

ქართველების წინაპრები მსოფლიოს უძველესი ტომების იმ რიცხვს მიეკუთვნებიან, რომლებმაც თავისი განვითარების საკმაოდ გრძელ გზაზე ზოგადსაკაცობრიო კულტურის პირველი კერები შექმნეს. მართალია, დღემდე შემორჩენილი ხელნაწერები ამ გზის მხოლოდ მცირე ნაწილს აშუქებენ, მაგრამ მიუხედავად ამისა, მათ შემოინახეს ქართველი ხალხის მრავალსაუკუნოვანი წარსულის უმნიშვნელოვანესი ეტაპები. დამწერლობის შემოღებამდე პერიოდის შესწავლის საქმეში განსაკუთრებულ როლს თამაშობს მატერიალური კულტურის ის ძეგლები, რომლებიც საუკუნეების განმავლობაში მიწაში იყო დამარხული. ქართული მიწაც ინახავს უამრავ ასეთ ძეგლს, რომლებიც ჩვენი წინაპრების მიერ იყო შექმნილი ან მათ ეკუთვნოდათ. ძეგლების არქეოლოგიური კვლევა საშუალებას იძლევა აღდგეს არა მარტო იმ ეპოქაში გამოყენებული წარმოების იარაღებისა თუ საყოფაცხოვრებო მოხმარების საგნების სახეობები, რომლებსაც ადამიანები ქმნიდნენ, არამედ მათი წარმოების ხერხები და მასთან დაკავშირებული სოციალური ცხოვრების ეტაპებიც. არქეოლოგიური აღმოჩენების წყალობით მეცნიერებმა ბურუსის ფარდა ახადეს მატერიალური კულტურის განვითარების იმ საფეხურებს, რომლებიც განვლეს ქართველურმა ტომებმა ქვის ხანიდან რკინის ეპოქამდე.

საზოგადოების განვითარების ყოველ ეტაპზე შრომის იარაღების დასამზადებლად სხვადასხვა მასალა და ტექნოლოგია გამოიყენებოდა. არქეოლოგიური ეპოქებიც გამოყენებული ძირითადი მასალის სახელწოდების მიხედვითაა დაყოფილი: ქვის ხანა (ძველი ქვის ხანა – პალეოლითი და ახალი ქვის ხანა – ნეოლითი), სპილენძ-ბრინჯაოს ხანა და რკინის ხანა.

ბუნებრივია, თავისი არსებობის პირობების უზრუნველსაყოფადა დაძინი უხსოვარი დროიდან მისთვის ხელმისაწვდომ მასალას იყენებდა. რა არის მასალა? რა იგულისხმება ამ ცნების ქვეშ? რასაკვირველია, სპეციალისტი, დიდეტანტისაგან განსხვავებით, მასალის განსაზღვრისათვის ლოგიკის კანონებიდან

გამომდინარე, მეცნიერულ წარმოდგენებზე დაფუძნებულ განმარტებას გამოიყენებს. თუმცა, სუსტად მომზადებული ადამიანისთვისაც კი გასაგებია, რომ ნებისმიერი პროდუქციის დასამზადებლად ფუძედ უნდა გამოვიყენოთ ისეთი ნივთიერება, რომლის თვისებებიც სრულად უზრუნველყოფს სასურველი შედეგის მიღებას. ზუსტი განმარტების ჩამოსაყალიბებლად, უპირველეს ყოვლისა, საჭიროა ცნება „ნივთიერების ფუძე“ შეიცვალოს სიტყვით „მასალა“.

განმარტებით ლექსიკონში ვკითხულობთ: „მასალა არის ნივთიერება, რომელიც მიიღება ნედლეულიდან და წარმოადგენს საწყისს ნახევარფაბრიკატის, სამრეწველო და სამშენებლო დეტალების, აგრეთვე მზა ნაკეთობის დასამზადებლად“. აქედან გამომდინარე, მასალებს პრაქტიკულად შეიძლება მივაკუთვნოთ ყველაფერი, რასაც ადამიანი გარდაქმნის ცხოველური, მცენარეული თუ მინერალური ნედლეულის ბაზაზე შრომით პროცესში მათი გამოყენების მიზნით (ნივთიერებების წარმოებისათვის). მასალების წარმოების ისტორია იყო, არის და ყოველთვის იქნება დაკავშირებული ადამიანის სამრეწველო საქმიანობასთან.

მოკლე ისტორიული ექსკურსიც კი საკმარისია იმის ნათელსაყოფად, თუ როგორ იწერებოდა და შემდგომ სრულყოფას განიცდიდა სხვადასხვა მასალა ადამიანის გამოცდილებისა და ცოდნის გაფართოებასთან ერთად. შევეცადოთ მოკლედ მიმოვიხილოთ ეს საკითხი.

მილიონზე მეტი წლის წინ ადამიანი მასალად ქვასა და ძვალს პირველადი სახით იყენებდა, რადგან იგი ჯერ კიდევ არ ფლობდა მისი დამუშავების ტექნიკას. ქვა და ძვალი ადამიანს ეხმარებოდა საკუთარი ძალის შესაძლებლობებისა და ბუნებაზე ზემოქმედების ეფექტიანობის გაზრდაში, რათა გამარჯვება მოეპოვებინა გარესამყაროსთან ჭიდილში. ქვისა და ძვალის ელემენტარული იარაღის გამოყენებით ადამიანი ხელის, თითების, ფრჩხილებისა და კბილების მოქმედებას ავსებდა.

ქვის დამუშავების შესწავლამ ნამდვილი ტექნიკური რევოლუცია მოახდინა. დაახლოებით 500000 წლის წინ ადამიანმა ცეცხლი სწორედ ქვის გამოყენებით მოიპოვა. ქვისგან და ბუნებრივი მასალებისგან (ძვლისგან, ხისგან, მცენარეთა ბოჭკოებისგან) დაიწყო ჩაქუჩის, ცულის, დანის, საფხეკის, სათევზაო ანკის, ბადის და კიდევ სხვა საჭირო ნივთების დამზადება.

დაახლოებით 7000 წლის წინ ჩვენს ერამდე, როდესაც დაიწყო შრომის საზოგადოებრივი დაყოფა (გამოიყო მეცხოველეობა და მიწათმოქმედება), ადამიანმა მრავალი სახეობის მასალის გამოყენება დაიწყო, რომლებისგანაც საკმაოდ მრავალფეროვან პროდუქციას ამზადებდა. მაგალითად, თიხის ნაწარმს, ქსო-

ვილსა და ნართს.

სპილენძი, როგორც მასალა, პირველად გამოყენებას პოულობს VII ათასწლეულში ჩვენს ერამდე. ლითონის დნობა და ჩამოსხმა, კერამიკის წარმოება და მეურნეობის სხვა დარგების განვითარება ახალი წარმოების ჩამოყალიბების საფუძველს ქმნის. ეგეოსის ზღვაში წარმოებული გათხრების დროს ნაპოვნია სპილენძის, კალის, ოქროს, მინისა და კერამიკის ნაკეთობები და ზოდები. ანალიზმა უჩვენა, რომ აღმოჩენილი ნივთების დათარიღება შეიძლება ჩვენს ერამდე XIV საუკუნით. როგორც დადგინდა, ნივთები მიეკუთვნებოდა იმ ხომალდის ტვირთს, რომელიც სამი ათასწლეულის წინ კატასტროფაში დაიღუპა. უფრო მეტიც, ახლანდელი თურქეთის ტერიტორიაზე, ჩატალ-ხუუკის დასახლების (6500–5700 წელი ჩვენს ერამდე) კვლევამ არქეოლოგებსა და მეტალურგიის ისტორიკოსებს დიდი სიურპრიზი შესთავაზა: ისინი წააწყდნენ სპილენძის ნაღვლს წიდას, რაც მდინიდან სპილენძის გამოდნობის პროცესის დამადასტურებელი საბუთია.

გამოწვის ტექნოლოგიის ათვისებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა თიხის, როგორც საწყისი მასალის მნიშვნელობა. უბრალო საყოფაცხოვრებო ნივთებთან ერთად არქეოლოგების მიერ ნაპოვნია ორიგინალურად შესრულებული და მხატვრულად გაფორმებული ჭურჭელი.

საქართველოს და, საერთოდ, ამიერკავკასიის ენეოლითის შესწავლის საქმეში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ჰქონდა თრიალეთის არქეოლოგიური ექსპედიციის მონაპოვარ მასალას. ენეოლითური ფენა ძირითადად კერამიკით არის წარმოდგენილი. აღმოჩენილია თიხატკეპნილი „თორნე“, კაუის დაკბილული ნამგლის პირები, სამკუთხა მოყვანილობის ყუნწიანი ისრის პირები, ხერხიანი დანა, დიდი ზომის ოვალური ქვის ხელსაფქვაკვი. განსაკუთრებით საყურადღებოა ლითონის ნივთები (ბიპირამიდის ფორმის სპილენძის მოკლე სადგარი, ოთხწახნაგა სადგარი და სპილენძის ნატეხი), რომლებიც ამ პერიოდის სხვა მასალებში მეტად მწირად არის წარმოდგენილი.

დასავლეთ საქართველოში ამავე პერიოდში მასალად ძირითადად კაუი და რიყის ქვა გამოიყენებოდა. იარაღების უმეტესობა – ცული, თოხი, საჭრისი, საფხეკი, სახვრეტელი, ისრისა და შუბის პირები – რიყის ქვისგან არის დამზადებული. ძვლის იარაღებიდან ნაპოვნია სადგისები, სატეხი, რქისგან დამზადებული გახვრეტელი თოხი.

სამწუხაროდ, ჩვენში გავრცელებული ენეოლითური კულტურის თარიღის შესახებ სადღეისოდ გარკვევით რაიმეს თქმა ძნელია. ენეოლითის ხანას მესამე ათასწლეულის პირველ ნახევარს მიაკუთვნებენ, ხოლო მის საწყის ეტაპს – მე-

ოთხე ათასწლეულს. ენეოლითური კულტურა ამიერკავკასიაში შედარებით ხანმოკლე უნდა ყოფილიყო. ჩვენში მეტალურგიის განვითარების ხელსაყრელმა პირობებმა უზრუნველყო გარდამავალი საფეხურის შედარებით სწრაფი ტემპით გაგლა და ნამდვილი მეტალურგიის ადრეული დაწყება.

IV ათასწლეულში ჩვენს ერამდე იარაღების დასამზადებლად უპირატესად ლითონური მასალა გამოიყენებოდა, რის გამოც ქვამ თავისი სამრეწველო მნიშვნელობა რამდენადმე დაკარგა. ლითონის შემოსვლამ ადამიანის ყოფაცხოვრებაში და მისგან შრომის იარაღების წარმოების ხერხების გაუმჯობესებამ საზოგადოება განვითარების უფრო მაღალ საფეხურზე აიყვანა. იქმნება კულტურა, რომელიც ბევრად უფრო წინ არის წაწეული განვითარების წინა საფეხურთან შედარებით.

ოქრო იყო პირველი ლითონი, რომელსაც ადამიანი გაეცნო და დაიწყო მისი დამუშავება. ეს გასაგებიცაა: თვითნაბადი ოქროს ბზინვარებას ადვილად შეეძლო მიეპყრო ადამიანის ყურადღება. უძველესი ოქროს ნივთები, რომლებიც არქეოლოგებმა იპოვნეს ეგვიპტეში, დამზადებულია 8000 წლის წინ. ცნობილია აგრეთვე თვითნაბადი ვერცხლის, სპილენძისა და მეტეორიტული რკინის გამოყენების ფაქტები.

ენეოლითურ ხანაში ადამიანი ლითონს ძირითადად ცივად ჭედვით ამუშავებდა ქვის ჩაქუჩის გამოყენებით. ლითონის პირველი ნაკეთობა – სპილენძის მილის სამკაულები და ტანსაცმლის შესაკრავები მიეკუთვნება მეექვსე ათასწლეულს ჩვენს ერამდე და ნაპოვნია დღევანდელი თურქეთის ტერიტორიაზე. კულტურის ეს საფეხური გაგრძელდა მანამ, სანამ ადამიანმა არ აითვისა მადნიდან ლითონის გამოდნობა, ცხლად ჭედვა და ჩამოსხმა, ე.ი. არ განვითარდა ნამდვილი მეტალურგია. ჩვეულებრივ, აქედან ითვლიან განვითარების ახალ სტადიას – ბრინჯაოს ხანას.

საქართველოში უძველესი სპილენძის ნივთი ხრამის დიდ გორაზეა აღმოჩენილი (მარნეულის რაიონი). სავარაუდოდ, საქართველოში აქედან ითვლება ლითონის წარმოების დასაწყისი, რომელიც ძვ. წ. VI ათასწლეულით თარიღდება. ამ პერიოდიდან მოყოლებული ლითონების მოპოვება-დამუშავება საზოგადოებრივი ყოფის განუყოფელი ნაწილი ხდება. სწორედ მტკვარ-არაქსული კულტურის პერიოდში იღებს სათავეს კლასიკური მეტალურგია, რაც საბადოების არსებობამ განაპირობა. ადრეული ეტაპის ძეგლები ძირითადად ამ ორ მდინარეს შორისაა მოქცეული.

ლითონთა ტექნოლოგიის სრულყოფის მთავარ მიღწევად კალიანი ბრინ-

ჯაოს წარმოების ათვისება ითვლება. მართალია, სპილენძის შენადნობებს სხვა ლითონებთან, მაგალითად, ტყვიასთან, თუთიასთან, ვერცხლთან და კალასთან თავდაპირველად შემთხვევით დებულობდნენ, მაგრამ ადამიანმა მალე შეამჩნია მისი უპირატესობა სუფთა სპილენძთან შედარებით.

ბრინჯაოს ხანაში სამ პერიოდს არჩევენ: ადრეულს, შუასა და გვიანს. ბრინჯაოს კულტურის ადრეული საფეხურები უშუალოდ მოსდევს ენეოლითურ ხანას. ენეოლითური კულტურის ბოლოსათვის ჩვენში უკვე იქმნებოდა იმის ყველა წინაპირობა, რომ საზოგადოება თავისი განვითარების კიდევ უფრო მაღალ საფეხურზე ასულიყო. ამავე პერიოდს უკავშირდება მეტალურგიის აღმავლობის პერიოდიც. ეს, ალბათ, იმ გარემოებამ განაპირობა, რომ კავკასია მდიდარი იყო ფერადი ლითონებით. ამას მოწმობს უძველესი ბერძნული ცნობები (VI-IV საუკუნეები ჩვენს ერამდე), რომლებიც საქართველოს ლითონებით მდიდარ ქვეყნად გვისახტავს. ძველ ბერძნულ თქმულებაშიც „ოქროს საწმისის შესახებ“ ხომ საქართველოში ლითონის დამუშავების მაღალი კულტურაა ასახული.

უძველეს ისტორიულ წყაროებში, სადაც ქართველთა შესახებ მწირი ცნობებია დაცული, ჩვენს წინაპრებს მოიხსენიებენ, როგორც საუკეთესო ლითონის მწარმოებლებსა და ფოლადის მჭედელებს. არგონავტების მითის თანახმად, ჩიტებს, რომლებიც კოლხეთიდან მოფრინავდნენ, ლითონის ფრთები ჰქონდათ ასხმული, ხოლო მეფე აიეტის ფოლადის სახნისიან გუთანში სპილენძის ჩლიქებიანი და ცეცხლის მფრქვეველი ხარები იყვნენ შებმულნი. როგორც ჩანს, მელითონეობა უძველეს საქართველოში მეურნეობის წამყვანი დარგი იყო.

1984 წელს საქართველოში ხომალდ „არგოს“ ასლით ჩამოსული ინგლისელი მოგზაური და მეცნიერი, ტიმ სევერინი აცხადებდა, რომ მსოფლიოს არც ერთი ქვეყნის მუზეუმებში არ შეხვედრია იმდენი ლითონის, ძირითადად ბრინჯაოს ნაწარმი, რამდენიც საქართველოში. რამდენი უნდა ჰქონოდათ ლითონის ნივთები სააქაოს, რომ მიცვალებულებისთვის ამდენი ჩაუტანებიათო, ამბობდა იგი.

არსებული ცნობების თანახმად, საქართველოში მართლაც ბევრი იყო ოქრო, ვერცხლი და რკინა. კოლხეთის ერთ-ერთ უძველეს მეფეს თავის სახელმწიფოში, განსაკუთრებით სვანეთში, აუარებელი ოქრო და ვერცხლი მოუპოვებია. იუწყებიან აგრეთვე სხვა მინერალების არსებობის შესახებაც. მაგალითად, როგორც კოლხეთში, ისე იბერიაში, თურმე ძველთაგანვე წარმოებდა სინგურის (ვერცხლისწყლისა და გოგირდის ნაერთი) მოპოვება, რომლისგანაც წითელ საღებავს ამზადებდნენ.

ძველი წელთაღრიცხვით XIV საუკუნეში მცირე აზიაში, პონტოს რაიონ-

ში, კერძოდ, მდინარე ჰალისის ხეობაში მცხოვრებმა მეღვინეობით სახელგანთქმულმა, ქართველური მოდგმის ტომმა – ხალიბებმა (ხალდებმა) პირველებმა შეიმუშავეს ჯერ რკინის ფოლადად გადაკეთების, ხოლო შემდეგ – უშუალოდ ფოლადის გამოდნობის ტექნოლოგია, რამაც დასაბამი მისცა რკინის ფართო წარმოებას აღმოსავლეთსა და დასავლეთში. დიდმა ბერძენმა ტრაგიკოსმა, ესქილემ, ხალიბების ქვეყანას „რკინის დედა“ უწოდა. ბიბლიაშიც („დაბადება“) ქართველ ტომთა წინაპარნი, თუბალები, მოხსენიებულია როგორც „კვერით ხური მჭედელი რვალისა* და რკინისა“.

აღსანიშნავია, რომ ეგვიპტეში რკინა ცნობილი იყო ევროპასთან შედარებით 2500 წლით ადრე, მაგრამ ეგვიპტის რკინის ნივთები ასაკით წინ არ უსწრებს არც მცირეაზიულ, არც კავკასიურ ნიმუშებს.

ბერძნებს ფოლადის წარმოება ხალიბებისგან უსწავლიათ და ამ ლითონს „ხალიბოკოს“ („ხალიბის“, ხალიბური, ხალიბური ლითონი) უწოდეს. მეცნიერული გამოკვლევები ადასტურებს, რომ გარდა ფოლადის დამზადების ხელოვნებისა, ბერძნებს ხალიბებისგან სპილენძის მიღებისა და გამოყენების წესებიც შეუსწავლიათ. ბერძნულ ენაში „ხალკოს“ ნიშნავს არა მარტო სპილენძს, არამედ ბრინჯაოსა და თითბერსაც. ბერძნების ცნობით, ხალიბების ქვეყანაში მდინარეებს რკინის შემცველი ქვიშა ჩამოჰქონდათ. ხალიბები მას რამოდენიმეჯერ რეცხავდნენ და, ყველასგან განსხვავებით, მაღალი ხარისხის ფოლადის მისაღებად რკინას აღნობდნენ „რალაც მიწასთან“ (მანგანუმთან) ერთად, რომელიც უხვად მოიპოვებოდა მათ ქვეყანაში და ფოლადს განსაკუთრებულ სიმტკიცეს ანიჭებდა. ბერძნების აზრით, ხალიბური რკინა ბევრად ჯობდა სხვა ანალოგიურ მასალებს და გარეგნულად ძნელად გამოსარჩევი იყო ვერცხლისაგან. მხოლოდ ხალიბურ რკინას არ ეკიდებოდა ქანგი.

ხალიბების მეზობლები, მოსინიკები, თითბერის წარმოების ხელოვნების აღმომჩენებად არიან აღიარებულნი. მოსინიკების თითბერი მაღალი ხარისხით, თეთრი შეფერილობითა და კაშკაშა ელვარებით გამოირჩეოდა. ბერძნული ცნობების თანახმად, მოსინიკები სპილენძს ერთგვარ იქაურ „სპეციალურ მიწას“ უმატებდნენ. მრავალი მკვლევარის აზრით, ეს ნივთიერება მიწიანი თუთიის კარბონატი უნდა ყოფილიყო, რომელსაც მოსინიკები თითბერის მისაღებად აწარმოებდნენ. ზოგიერთ ევროპულ ენაში, მაგალითად, გერმანულში, თითბერის სახელი- „მესინგ“ მოსინიკების სახელწოდებიდან უნდა იყოს წარმოებული. სა-

*რვალი – სპილენძის ძველი ქართული სახელწოდება.

ლიბების, მოსინიკებისა და ტიბარენების ტერიტორია, განსაკუთრებით კი მისი მთიანეთი, რომელიც ჭოროხის აუზზე და ტრაპიზონ-გირესენ-ორდუს საზღვრებში მდებარეობს, მართლაც მეტად მდიდარია ლითონის მადნებით. სწორედ ეს სიმდიდრე იზიდავდა ძველ ბერძნებს საქართველოში.

ამდენად, საკაცობრიო მნიშვნელობის მოვლენას – ფოლადის აღმოჩენას – დასაბამი პონტოს რაიონში მიეცა, სადაც მეტალურგიასთან დაკავშირებით მსოფლიო მნიშვნელობის უდიდესი პრობლემები წყდებოდა, ხოლო ქართველური მოდგმის ტომები – ხალიბები, მოსინიკები და თუბალები, ყოველ შემთხვევაში ჯერ-ჯერობით, ზოგიერთი ფერადი და შავი ლითონების პირველმწარმოებლად არიან მიჩნეული მთელს მსოფლიოში.

ბრინჯაოს ხანის ადრეულ საფეხურზე ჩვენში გავრცელებული ლითონის ნივთები უპირატესად ჩამოსხმულია და ზოგჯერ საკმაოდ რთული წესითაც, რაც მეტალურგიის განვითარების მაღალ საფეხურზე მიუთითებს. ბრინჯაოს ადრეულ ხანაში ათვისებულია ისეთი შედგენილობის ლითონების ჩამოსხმა, რომლის ჭედვაც შეუძლებელი იყო მასში მინარევების დიდი რაოდენობით შემცველობის გამო. ეს იყო წინგადადგმული კიდევ ერთი ნაბიჯი: ადამიანმა ისწავლა სხვადასხვა შედგენილობის ახალი მასალების მიღების ხერხი და მეტალურგია შევიდა ტექნიკის ისტორიაში.

სამწუხაროდ, ადრეული ბრინჯაოს ხანა ჩვენში ყველაზე ნაკლებად არის შესწავლილი. სხვა ძეგლებთან შედარებით უფრო უკეთესადაა გამოკვლეული თრიალეთის ადრეული ჯგუფის ყორღანები. აღსანიშნავია, რომ სხვა საჭურველთან ერთად აღმოჩენილია სატევარის პირი, სპილენძის აბჯრის ნაწილები, ოქროს ცილინდრული გადასაკრავები და ვერცხლის მსხვილი მავთულის ხვია. არსებული ცნობების თანახმად, ვერცხლის წარმოების ყველაზე რაციონალური ხერხი – ვერცხლოვანი ტყვიისაგან ვერცხლის მიღების ტექნოლოგია – პირველად ჩაისახა და განხორციელდა ხეთების იმპერიაში, პონტოს მკვიდრი მელითონეების, ხალიბების მიერ. ამგვარად, ჩვენში უკვე ადრეული ბრინჯაოს ხანიდან შეინიშნება ძვირფასი ლითონების დამუშავების ტრადიციები და, როგორც ცნობილია, შემდგომ საფეხურებზე ამ ტექნოლოგიამ განვითარების საკმაოდ მაღალ დონეს მიაღწია.

თუ თრიალეთის ადრეული ჯგუფის ყორღანებში ლითონის ნაწარმი ჯერ კიდევ შედარებით შეზღუდულია და ტიპობრივადაც ზოგი რამ საერთო აქვს წინამორბედ საფეხურებთან, აფხაზეთის დოღმენების* ძირა ფენებში ლითონის

ნივთები შედარებით უფრო მეტი რაოდენობითა და საკმაოდ განვითარებული ფორმით არის წარმოდგენილი (ცულები, კავეები, სატევარის პირები და ა.შ), რაც განპირობებულია ჩამოსხმის საკმაოდ რთული წესის მიგნებით. ნივთების ჩამოსასხმელად გამოიყენებოდა სპილენძი, რომელიც 5%-მდე დარიშხანს შეიცავდა. ძნელია იმის თქმა, დარიშხანი ხელოვნურად არის შეყვანილი სპილენძში თუ ბუნებრივ მინარევს წარმოადგენს, მაგრამ მთავარია ის, რომ ამ პერიოდისათვის უკვე ათვისებულია დარიშხანიანი სპილენძის სხმულების წარმოების თავისებურება.

მნიშვნელოვნად ყოფილა განვითარებული ლითონის დამუშავების ხერხები ყვირილას ზემო წელზე, საჩხერის რაიონში, რასაც ადასტურებს სამარხებში ნაპოვნი ცივად ჭედვით მიღებული ბრტყელი და თხელი სატევარის პირები, რელიეფური ორნამენტით შეკრული სპილენძისავე სახელურიანი სატევარის პირი, ორი T-სებრი გრძელი ქინძისთავი და სპილენძისპირიანი სატევარი, რომლის ტარი შემკულია შესანიშნავად შესრულებული წნული ორნამენტით, ხოლო ვადა – სპირალურით. აღსანიშნავია, რომ ჩვენში სადღეისოდ ცნობილი ადრეული ბრინჯაოს ხანის ძეგლებში საკმაოდ რთული ფორმის ლითონის იარაღ-სამკაულები ასე ჭარბად და მრავალფეროვნად არსად არ არის წარმოდგენილი. ეს კი იმის მაჩვენებელია, რომ ყვირილის ზემო წელზე არსებობდა საკმაოდ განვითარებული და მძლავრი მეტალურგიული წარმოების კერა. ბრინჯაოს ხანის შემდგომ ეტაპზე კულტურა განვითარების უფრო მაღალ საფეხურზე აღის.

აღამიანმა რკინა სპილენძთან შედარებით რამოდენიმე ათასი წლის მოგვიანებით აითვისა. ზოგიერთი მკვლევარის აზრით, ამის მიზეზი იმაში მდგომარეობდა, რომ სპილენძი კარგად ექვემდებარება ცივად ჭედვას, რასაც აღამიანი ადვილად ახერხებდა, ხოლო რკინის დამუშავება შესაძლებელი იყო მხოლოდ გახურებულ მდგომარეობაში. თუმცა, როგორც არ უნდა იდგეს ეს საკითხი, რკინის მთავარი უპირატესობა, უდავოდ, იყო მისი მაღალი მედეგობა სხვა ლითონებთან შედარებით წარმოების და, განსაკუთრებით, საბრძოლო იარაღის დასამზადებლად. ზოგიერთი მკვლევარი ვარაუდობს, რომ რკინის გამოყენებაზე გადასვლა სპილენძის მარაგის ამოწურვით უნდა იყოს განპირობებული.

რკინის თავდაპირველ გამოყენებას მეტეორიტული რკინის აღმოჩენას უკავშირებენ. არსებობს მონაცემები იმის შესახებ, რომ ალექსანდრე I-ის და ბო-

*დოლმენი (ფრანგული - უძველესი) – ქვის ხანის სამარხი, აკლდამა, რომელიც აგებულია დიდი ლოდებისა და ფილებისაგან

ლივერის (სამხრეთ ამერიკის გმირი) დაშნები სწორედ კოსმოსური რკინისგან იყო დამზადებული.

რკინის ყველაზე უძველეს ნივთად, რომელიც ცნობილია არქეოლოგებისათვის, ითვლება ეგვიპტის სამაროვნებში ნაპოვნი მილის მძივი, რომელიც მიეკუთვნებოდა ჩვენს წელთაღრიცხვამდე IV საუკუნეს. მძივი დამზადებულია გამოჭედილი რკინისაგან, რომელიც 7,5%-მდე ნიკელს შეიცავს. ასეთი შედგენილობა დამახასიათებელია მეტეორიტული რკინისათვის.

ეგვიპტეში, მეფეთა ხეობის გათხრის შედეგად აღმოჩენილ ფარაონ ტუტანხამონის სამარხში არქეოლოგების გაკვირვება გამოიწვია არა უზარმაზარი რაოდენობის ოქროს სამკაულებმა, არამედ მცირე ზომის შავმა ლითონმა. სენსაციურსა და ყველაზე მოულოდნელს უფრო მოგვიანებით წააწყდნენ: ნივთის ქვეშ, რომელიც თავისი ფორმით გვირგვინს წააგავდა, იპოვნეს რკინის აგვაროზი. ამ აღმოჩენის შესახებ ერთ-ერთი გერმანული ჟურნალი წერდა: „აგვაროზი მიეკუთვნება ეგვიპტის ყველაზე ადრეულ ნაკეთობათა რიცხვს . . . უნდა აღინიშნოს, რომ სამარხში, რომელიც თითქმის ბოლომდე იყო ავსებული ოქროთი, ამ მოკრძალებულ მონაპოვარს კულტურის ისტორიის თვალსაზრისით უდიდესი ღირებულება ჰქონდა“.

ჩვენს ქვეყანაში რკინის ფართოდ ათვისება და მისი თანდათანობით სამეურნეო ყოფაში დამკვიდრება ძველი წელთაღრიცხვით XII-XI საუკუნეებიდან შეინიშნება. ამ დროს რკინის ნივთები (საომარი და სამეურნეო იარაღები) მთლიანად იმეორებს ბრინჯაოს ხანაში შემუშავებულ ფორმებს, რაც კიდევ ერთხელ ასაბუთებს საქართველოში რკინის მეტალურგიის ადგილობრივ საფუძველზე განვითარებას. არქეოლოგიური ექსპონატების მეტალოგრაფიული და ტექნოლოგიური შესწავლის საფუძველზე დადგენილია, რომ ადგილობრივი ოსტატები დაუფლებულნი იყვნენ როგორც რბილი და საშუალო სიმტკიცის ფოლადის წარმოებას უშუალოდ ცივსაბერ ქურაში, ისე სამეურნეო და საომარი იარაღის ცხლად ჭედვას, ზედაპირული ფენების გამდიდრებას ნახშირბადით და სხვა რთულ მეთოდებს.

რკინის ნივთების ფართო მასშტაბით წარმოების მკაფიო მაგალითია ძველი წელთაღრიცხვის VIII-VII საუკუნეების კოლექტიურ სამარხებში აღმოჩენილი ათეულობით, ზოგჯერ კი ასეულობით (!) ჩატანებული სასოფლო-სამეურნეო იარაღი, რაც უნიკალური მოვლენაა საერთოდ, მსოფლიო არქეოლოგიაში.

რკინის გადამუშავების ტექნოლოგიურმა ცენტრმა შემდგომში წინა აზიიდან ჩინეთში გადაინაცვლა. იქვე წარმოიშვა ადრეული მექანიზაციის პირველი

ჩანასახები – მანქანები, რომლებიც წყლითა და ცხოველთა გამწვევი ძალით მოდიოდა მოქმედებაში. ამით კიდევ ერთი ნაბიჯი გადაიდგა იმ გზაზე, რომელმაც საბოლოო ჯამში XVIII-XIX საუკუნეებში კაცობრიობა სამრეწველო გადატრიალებაზე მიიყვანა.

დღეისათვის მსოფლიოს ყველა ქვეყნის მუზეუმებში დაგროვდა რკინის ნაკეთობათა მდიდარი კოლექცია. საფრანგეთში, ქ. ნანსში, არსებობს მსოფლიოში ერთადერთი, რკინის ისტორიის მუზეუმი. მასში ექსპონირებული წარმოების იარაღები და მზა ნაკეთობები ახასიათებენ ამა თუ იმ ეპოქას. მუზეუმს გააჩნია თავდაპირველი წარმოების, დანახშირბადიანებული რკინის, ბულატის და ა.შ. განყოფილებები.

3. ლითონური მასალები

ჩვენს საუბრებში ხშირად ვახსენებთ სიტყვებს „ლითონი“, „ლითონური მასალა“, „შენადნობი“, მაგრამ რა არის ლითონი ზოგადად? როგორია მისი ბუნება და ნიშან-თვისებები? ყველასათვის ცნობილია, რომ ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი, ალუმინი, რკინა და კიდევ სხვა ნივთიერებები ლითონებს მიეკუთვნება, ხოლო ფოლადი არის რკინის ფუძეზე დამზადებული ლითონური მასალა, ანუ შენადნობი. შენადნობებს ღებულობენ მყარი, თხევადი ან აირადი მდგომარეობიდან ფუძე (ძირითად) ლითონში სხვადასხვა ელემენტის შეყვანით. ტრადიციულ ხერხს კი წარმოადგენს ორი ან მეტი ელემენტის ურთიერთშედნობა თხევად მდგომარეობაში და მიღებული მასის შემდგომი გამყარება.

„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 მხოლოდ ექვსი ლითონი შედიოდა (ოქრო, ვერცხლი, სპილენძი, კალა, რკინა, ტყვია) და მათი მრავალი თვისება ჯერ კიდევ არ იყო შესწავლილი. დღეისათვის კი ლითონური ბუნების ოთხმოცამდე ელემენტია ცნობილი.

ლითონის ძირითადი გარეგნული ნიშანი მისი ბზინვარებაა, რაც განპირობებულია დიდი არეკვლის უნარით. ლითონისათვის დამახასიათებელია აგრეთვე კარგი პლასტიკურობა*, მაღალი სიმტკიცე**, თბო და ელექტროგამტარობა. ასეთი თვისებებით ხასიათდებიან არა მარტო სუფთა ლითონები, არამედ შენად-

* პლასტიკურობა არის ლითონის უნარი, გარე ძალების ზემოქმედებით შეიცვალოს ფორმა (მიიღოს პლასტიკური დეფორმაცია) მთლიანობის დაურღვევლად.

ნობებიც, რომლებსაც უფრო რთული აგებულება გააჩნიათ. მათ ტექნიკაში ლითონურ შენადნობებს უწოდებენ. აღნიშნული თვისებებიდან გამომდინარე, უფრო ფართო გაგებით ლითონურ შენადნობებსაც შეიძლება ლითონები ვუწოდოთ. ყველა ლითონი, გარდა ვერცხლისწყლისა, ოთახის ტემპერატურაზე მყარ მდგომარეობაშია.

მართალია, ძველი რომაელები იცნობდნენ ოქროს, ვერცხლისწყალს, ვერცხლსა და ტყვიას, ხოლო შუა საუკუნეებში აღმოჩენილი იქნა კიდევ რამოდენიმე ახალი ელემენტი, მაგრამ ნამდვილი მეცნიერული მიდგომა ლითონის შესწავლისადმი სათავეს მხოლოდ XVIII საუკუნის მეორე ნახევრიდან იღებს. ამას ხელი შეუწყო მეტალურგიისა და ლითონური ნაკეთობის წარმოების განსაკუთრებით სწრაფი ნაბიჯებით განვითარებამ, რამაც ინდუსტრიული აფეთქება გამოიწვია. წმინდა ტექნიკურმა პროგრესმა მნიშვნელოვნად გაუსწრო ტექნოლოგიური პროცესების კვლევას, ამიტომ ჭეშმარიტად მეცნიერული, ემპირიული, მაღალგანვითარებული ცოდნათა სისტემა ლითონებზე – ლითონმცოდნეობა, რომელიც ლითონთა ფიზიკასაც აერთიანებს, მხოლოდ ახლო წარსულში ჩამოყალიბდა.

ამ პერიოდში იქნა აღმოჩენილი ლითონური თვისებების მქონე მრავალი ელემენტი – პლატინა, მანგანუმი, ვოლფრამი. 1800-1850 წლებში პირველად იქნა მიღებული მაგნიუმი, კადმიუმი, ალუმინი, ვანადიუმი, ურანი და ბერილიუმი, ტუტე და ტუტემიწათა ლითონების უმრავლესობა. XIX საუკუნის ბოლომდე აღმოაჩინეს ტიტანი, ცეზიუმი, რუბიდიუმი და რადიუმი. ისე, რომ ელემენტთა პერიოდულ სისტემაში სულ უფრო და უფრო მცირე ადგილები რჩებოდა შეუვსებელი. ამჟამად ჩვენთვის ცნობილია 106 ელემენტი.

როგორც აღვნიშნეთ, 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.

მსგავსების მიხედვით ლითონებს ორ დიდ ჯგუფად ყოფენ – შავ და ფერად ლითონებად. შავი ლითონებისათვის დამახასიათებელია რუხი-ნაცრისფერი შეფერილობა, მაღალი სიმკვრივე (გარდა ტუტემიწათა ლითონებისა), დნობის მაღალი ტემპერატურა და შედარებით მაღალი სისალე***. ამ ჯგუფის ყველაზე ტიპური წარმომადგენელია რკინა.

***სიმტკიცე არის ლითონის უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს გარე ძალებით განპირობებულ პლასტიკურ დეფორმაციას ან დამანგრეველ ზემოქმედებას.

ფერადი ლითონები, უმეტეს შემთხვევაში, დამახასიათებელი შეფერილობით გამოირჩევიან (მოწითალო, ყვითელი, თეთრი) და ხასიათდებიან მაღალი პლასტიკურობით, შედარებით დაბალი დნობის ტემპერატურითა და სისალით. ამ ჯგუფის ტიპური ლითონია სპილენძი.

ტექნიკაში ფართოდ გამოყენებულ შავ ლითონებს, თავის მხრივ, ყოფენ:

– რკინისებრ 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.

ფერად ლითონებში სიმკვრივის მიხედვით ანსხვავებენ:

– მსუბუქ ლითონებს (მაგნიუმი, $\gamma=1,7$ გ/სმ³; ბერილიუმი, $\gamma=1,8$ გ/სმ³; ალუმინი, $\gamma=2,7$ გ/სმ³);

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

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

4. კრისტალური და ამორფული მდგომარეობები

სიმტკიცე არის ლითონის მთავარი ღირსება, რამაც საბოლოოდ დაამკვიდრა იგი საზოგადოების ყოფა-ცხოვრებაში. ბრინჯაოს ხანამ იმიტომ შეცვალა ქვის ხანა, რომ ბრინჯაო ქვაზე უფრო მტკიცე აღმოჩნდა. რკინის ხანიდან მოყოლებული ადამიანმა თანდათან ისწავლა ლითონის სიმტკიცის ამაღლების გზები და უკვე დღეს ერთი ტონა ლითონისაგან შეიძლება დამზადდეს ბევრად უფრო მეტი ნაკეთობა, ვიდრე ეს შესაძლებელი იყო თუნდაც 50 წლის წინ, რადგან ამ პერიოდის განმავლობაში მნიშვნელოვნად ამაღლდა მისი სიმტკიცის მახასიათებ-

***სისაღე არის ლითონის უნარი, წინააღმდეგობა გაუწიოს პლასტიკურ ან დრეკად დეფორმაციას მასში გარეშე, უფრო სალი სხეულის შეჭრის შემთხვევაში.

ლები.

ავტომობილით დღეს ვერავის გააკვირვებ, თუმცა თანამედროვე ავტომანქანები მართლაც განცვიფრებას იწვევენ. იმ მანქანის მუხლა ლილვს, რომელმაც კაპიტალური შეკეთების გარეშე 500000 კმ გაიარა (რაც დღეს არც ისე იშვიათი შემთხვევაა), გაკეთებული აქვს 100 მილიონზე მეტი ბრუნა! ამასთან, ძრავის მუშაობისას იგი განიცდიდა დგუშის 7000-ზე მეტ დარტყმას ყოველ წუთში. უფრო მეტიც, არსებობს ტურბინები, რომლებიც წუთში 20 ათას და მეტ ბრუნსაც აკეთებენ. წარმოდგინეთ, როგორი სიმტკიცე უნდა ახასიათებდეს მათთვის განკუთვნილ საკონსტრუქციო მასალებს. თუმცა კოსმოსური საუკუნის ტექნიკისათვის ასეთი სიმტკიცის მახასიათებლებიც, რომლებზეც ინჟინრები ცოტა ხნის წინ ოცნებობდნენ, უკვე არასაკმარისია.

რეაქტიული ძრავა მით უფრო მძლავრი და ეკონომიურია, რაც უფრო მაღალია წვის საკანში ტემპერატურა. მაგრამ სპეციალისტები იძულებულნი არიან იგი ხელოვნურად შეამცირონ, რადგან ჯერ კიდევ არ არსებობს ისეთი მასალა, რომელიც ხანგრძლივი დროის განმავლობაში გაუძლებს დიდ დატვირთვებს 2000°C-ზე და მის ზევით. მართალია, ლითონები მთელი რიგი უნიკალური თვისებებით ხასიათდებიან, მაგრამ მათი უმრავლესობა გამოიყენება იქ, სადაც აუცილებელია უპირატესად გამოსატყული ამა თუ იმ თვისების რეალიზაცია, მაგალითად, მაღალი სიმტკიცის, უჟანგაობის, ზედაპირული სისხლის და ა. შ.

რაზეა დამოკიდებული ლითონის სიმტკიცე? რა ემართება ლითონს დატვირთვის ზემოქმედებით? ამ კითხვებზე პასუხის გასაცემად საკმაოდ შორიდან მოგვიწევს საუბრის დაწყება. აი, რას გვამცნობს ზოგიერთი ისტორიული წყარო:

1951 წელის 31 იანვარს, ყინვიან დღეს, ჩაინგრა საავტომობილო ხიდი კვებეკში (კანადა). ამ დროს ხიდი არ იყო გადატვირთული და მასზე მხოლოდ ერთი მანქანა მოძრაობდა. ავარიის დროს მდინარეში ჩაცვივდა ხიდის სამი მაღალი სიგრძით 54 მ თითოეული. ხიდი არ იყო ძველი, იგი ექსპლუატაციაში გადაეცა 1947 წელს.

ბელგიაში შედუღებით აგებული 52 ხიდიდან, რომლებიც 1934-1938 წლებში იყო ექსპლუატაციაში გაშვებული, თითქმის მეხუთედი 1940 წლისთვის მწყობრიდან იყო გამოსული. ზოგიერთი ხიდი მთლიანად დაინგრა. 1938 წლის 14 მარტს ჩაინგრა დაახლოებით ერთი წლის წინ აგებული ხიდი, რომლის მაღის სიგრძე 73,5 მ შეადგენდა (ხიდი გადებული იყო ალბერტას არხზე, ხასსელტის მახლობლად). 1947 წლიდან 1955 წლამდე ასეთი 14 შემთხვევაა დაფიქსირებული.

1951 წლის დეკემბერში ჩეხოსლოვაკიაში ჩაინგრა დროებითი სარკინიგ-

ზო ხიდი, რომლის მალის სიგრძე 12 მ შეადგენდა. ხიდი გასკდა მას შემდეგ, როდესაც მასზე ორთქლმაავალმა გაიარა. რამოდენიმე წლის წინ კი ჩაინგრა ხიდი უმნიშვნელოვანეს სატრანსპორტო მაგისტრალზე ავსტრიის დედაქალაქ ვენაში.

ამერიკის შეერთებულ შტატებში რეგისტრირებულია მთლიანშედულებული გემების დაშლის ფაქტები. მეორე მსოფლიო ომის პერიოდში აგებული ხუთი ათასი სავაჭრო გემიდან 1946 წლის აპრილისათვის ათასზე მეტს ბზარები აღმოაჩნდა. ათი ტანკერი და „ლიბერტის“ ტიპის სამი სატვირთო გემი შუაზე გაიპო. სხვა ოცდახუთ გემს მთლიანად დაეშალა გემბანი ან ძირი. ზოგიერთი გემი ისე დაიშალა, რომ ვერც მოესწრო მისი ექსპლუატაციაში გაშვება. 1943 წლის იანვარში, მშვიდ წყალში, გემთმშენებელი ქარხნის კედელთან გადატყდა სვლაზე გამოსაცდელად გამზადებული ტანკერი „სკენეკტედი“, რომლის წყალწყვა შეადგენდა 7230 ტ. იმავე წლის მარტში, მხოლოდ ორი ბალი სიმძლავრის ქარის პირობებში, გადატყდა ტანკერი „ესსო მანხეტენი“ წყალწყვით 10344 ტ. 1964 წლის აგვისტოში დაინგრა მსოფლიოში ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი ნაგებობა – ანტენის 400 მეტრიანი ანძა გრენლანდიის სამხრეთ-დასავლეთ სანაპიროზე.

განხილულ შემთხვევებში არაფერ შუაშია მშენებლობის წუნი. მაშ რაშია საქმე, რატომ ვერ შესძლეს ინჟინრებმა, რომლებიც შეიარაღებულნი იყვნენ მეცნიერების ყველა მიღწევით, ზუსტად გამოეთვალათ ნაგებობათა სიმტკიცე? როგორც ჩანს, ეს არც ისე იოლია, რადგან კონსტრუქციის საექსპლუატაციო პირობებზე უამრავი გაუთვალისწინებელი ფაქტორი მოქმედებს.

ტექნიკის ისტორიიდან ცნობილია, რომ პეტერბურგის ობუხოვის ქარხანაში ერთი და იგივე ფოლადისაგან ჩამოსხმული ზარბაზნებიდან ზოგიერთი ბრძოლისუნარიანობას ინარჩუნებდა, ზოგი კი მწყობრიდან პირველი გასროლისთანავე გამოდიოდა. რა იყო ამის მიზეზი? ეს კითხვა დიდხანს რჩებოდა პასუხგაუცემელი. არაეთმა ავარიამ და კატასტროფამ ტრანსპორტზე, შახტებში, სროლის დროს ზარბაზნების დასკდომამ ცხადი გახადა ლითონის თვისებების მეცნიერული შესწავლის აქტუალობა.

ინჟინრები გულდასმით იკვლევდნენ ზარბაზნის ლულების დაზიანებულ ადგილებს. საბოლოო შედაგმაც არ დააყოვნა. დადგინდა, რომ ლითონის თვისებებზე არსებით გავლენას ახდენს მისი შემადგენელი მარცვლების, ანუ კრისტალების ზომა. ზარბაზნის ის ლულები, რომლებიც წვრილმარცვლოვანი აგებულებით ხასიათდებოდა, დიდხანს ინარჩუნებდა მთლიანობას, ხოლო მსხვილმარცვლოვანი, უხეში აგებულების ლულები მწყობრიდან ადრე გამოდიოდა. ამგვარად, რაც უფრო წვრილმარცვლოვანი აგებულებისაა ლითონი, მით უფრო მაღა-

ლი ყოფილა მისი მექანიკური თვისებების კომპლექსი, ანუ ლითონებისა და შენადნობების სიმტკიცის საიდუმლოება ძირითადად ლითონის კრისტალური აგებულების თავისებურებით ყოფილა განპირობებული.

ლითონის კრისტალური აგებულება საკმაოდ დეტალურად არის შესწავლილი XX საუკუნეში რენტგენის სხივების გამოყენებით, ელექტრონული მიკროსკოპით, ულტრაბერით და კვლევის სხვა თანამედროვე მეთოდებით. რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის წყალობით განსაზღვრულია ლითონის შიგაკრისტალური აგებულების თავისებურება – ატომების ურთიერთგანლაგების ხასიათი, სიმეტრიულობა და შექმნილია უამრავი ნივთიერების კრისტალების თვალსაჩინო მოდელები.

აქვე ბუნებრივად იბადება კითხვა: მაინც რა არის კრისტალი? როგორია მისი მდგომარეობისათვის დამახასიათებელი ნიშან-თვისებები? ამ კითხვებზე პასუხის გასაცემად გულდასმით უნდა დავაკვირდეთ ჩვენს გარემომცველ სამყაროს.

კრისტალები აშენებულია უდიდესი არქიტექტორის – ბუნების მიერ. ვინ არ დამტკბარა კრისტალის წახნაგების საუცხოო ელვარებით, ფერთა მომაჯადოებელი თამაშით. ძვირფასი ფერადი ქვის თუ უბრალო ფიფქის კრისტალები ადამიანში ყოველთვის ბადებენ განსაცვიფრებელ ჰარმონიას მათი მკვეთრი და მოხდენილი მოხაზულობით. კრისტალებს ჩვენ აღმოვაჩინეთ ქათქათა მარილსა თუ შავი ნახშირის ნატეხში. ყინული და ქვიშაც უამრავი წვრილი კრისტალებისგან შედგება. საზღვრები უფრო გაფართოვდება, თუ დაკვირვების პროცესში მიკროსკოპით შევიარადლებით – ნებისმიერი ლითონის ტეხი თქვენ მოელვარე კრისტალების წახნაგებით დაგიწყებთ მზერას. აღმოჩნდება, რომ მთის ქანების ძირითადი მასა, რომელიც დედამიწის ქერქს წარმოქმნის, კრისტალებისგან არის შედგენილი. რბილი, პლასტიკური თიხაც კი უწვრილესი, ქერცლისებრი კრისტალების ერთობლიობას წარმოადგენს. ის უჩინარია თვალისათვის, არ მჟღავნდება მიკროსკოპშიც, მაგრამ ადვილად შეიძლება მისი აღმოჩენა რენტგენის სხივების დახმარებით. ლითონი, ქვა, თიხა, ქვიშა – ყოველი მათგანი ხომ სამშენებლო მასალების საფუძველია. გამოდის, რომ ქალაქები კრისტალებისგან ყოფილა აგებული!

კრისტალური აგებულებით ხასიათდება აგრეთვე თანამედროვე ტექნიკაში გამოყენებული მრავალი სინთეტიკური მასალა, ნახევრად გამტარი, ფერომაგნიტური მასალები, ზემტკიცე და მხურვალმედეგი შენადნობები. ამგვარად, ჩვენთვის ნათელი ხდება, რომ კრისტალური აგებულება ბუნებაში ყველაზე გავრცე-

ლებული მდგომარეობა ყოფილა. როგორც ამბობენ ფიზიკოსები და მინეროლოგები, თითქმის მთელი სამყარო კრისტალურია. ამიტომ კრისტალური აგებულების შესწავლა კრისტალოგრაფიის, ლითონების ფიზიკისა და ლითონმცოდნეობის ერთ-ერთი პირველხარისხოვანი, უმნიშვნელოვანესი მიმართულებაა.

მყარი ნივთიერება შეიძლება ამორფულ მდგომარეობაშიც არსებობდეს. სიტყვები „კრისტალური“ * და „ამორფული“ ბერძნული წარმოშობისაა. პირველი მათგანი ნიშნავს ყინულს, ხოლო მეორე – უფორმოს.

მყარი სხეულის ნორმალური მდგომარეობა კრისტალურია. კრისტალი, უპირველეს ყოვლისა, არის ნაწილაკების (ატომების, იონების, მოლეკულების) უზარმაზარი რაოდენობის თავმოყრის ადგილი. საკითხის გამარტივების მიზნით ყოველი ატომი შეიძლება უმცირეს სფეროდ წარმოვიდგინოთ. სივრცეში ატომების ურთიერთგანლაგებისა და მათ შორის აღძრული ბმის ძალების სპეციფიკური ხასიათი კრისტალს ნივთიერებისათვის დამახასიათებელ სრულიად ახალ თვისებებს ანიჭებს.

კრისტალისათვის დამახასიათებელ ყველაზე მთავარსა და ზოგად თავისებურებას ნაწილაკების (ატომების, იონების, მოლეკულების) რეგულარული, მოწესრიგებული, სივრცეში უსასრულოდ განმეორებადი განლაგება წარმოადგენს. ასეთი უზარმაზარი რაოდენობის ნაწილაკების კანონზომიერი, მოწესრიგებული განლაგება სივრცეში გამოხატულებას პოულობს კრისტალის გარეგნულ ფორმაშიც – ნაწილაკებზე მოქმედი ძალები მათ რაც შეიძლება ახლო მანძილზე აფიქსირებს რაღაც სწორ, სამგანზომილებიან მდგომარეობაში, რაც წარმოსახვით სივრცით კრისტალურ გისოსს წარმოქმნის. სივრცეში სფეროების უმჭიდროესი განლაგება კი შესაძლებელია განხორციელდეს ორი სახის გეომეტრიულ ფიგურაში:

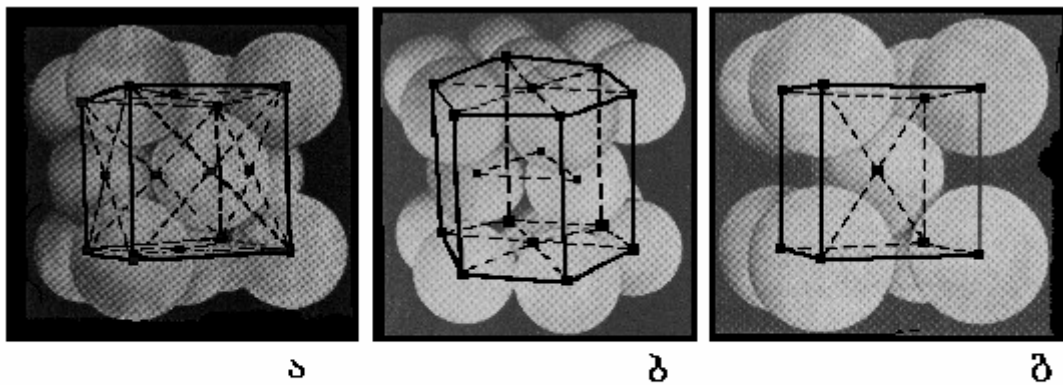
1. კუბში, სადაც ატომებს დაკავებული ექნებათ ადგილები წვეროებში და წახნაგების დიაგონალების გადაკვეთის წერტილებში. ატომების ასეთ წყობას კუბურ წახნაგდაცენტრებულს (წდკ) უწოდებენ (ნახ. 1, ა);

2. ჰექსაგონურ პრიზმაში, სადაც გარდა წვეროებისა, თითო ატომი განლაგებული იქნება ზედა და ქვედა წახნაგების დიაგონალების გადაკვეთის წერტილებში, სამი კი – ზედა და ქვედა წახნაგებს შორის. ასეთ კრისტალურ გისოსს მჭიდრო ჰექსაგონური (მჰ) ეწოდება (ბ). ორივე სახის კრისტალურ გისოს-

*სიტყვა „კრისტალი“ ესპანურ ენაში აღნიშნავს მინას, თუმცა მინა კრისტალურ ნივთიერებას არ მიეკუთვნება

ში მოცულობის 74% ატომებით არის შევსებული, დანარჩენი კი ფორებია. კრისტალების უმრავლესობისათვის სწორედ ასეთი სახის გისოსებია დამახასიათებელი. მაგალითად, ალუმინი, სპილენძი, ტყვია, ნიკელი, ოქრო, ვერცხლი, პლატინა და კიდევ სხვა ლითონები კრისტალდება წახნაგდაცენტრებულ კუბურ კრისტალურ გისოსში, ხოლო მანგანუმი, თუთია, კადმიუმი, ბერილიუმი და ა. შ. – მჭიდრო ჰექსაგონურში.

ზოგიერთ ლითონში, როგორცაა მაგალითად, ქრომი, ვანადიუმი, მოლიბდენი, ვოლფრამი და ა. შ, ყალიბდება განსხვავებული ტიპის კუბური კრისტალური გისოსი, სადაც ატომებს ადგილი უკავიათ კუბის წვეროებში, ხოლო დამატებით ერთი ატომი ზის კუბის სივრცეში, დიაგონალების გადაკვეთის წერტილში. ასეთ გისოსს კუბური სივრცით დაცენტრებული (სდკ) ეწოდება (ნახ. 1, გ). კუბური სივრცით დაცენტრებული გისოსი ნაკლებად კომპაქტურია. მასში ატომების მიერ დაკავებული მოცულობა 68%-ს შეადგენს.



ნახ. 1. კრისტალური გისოსის ტიპები.

- ა- კუბური წახნაგდაცენტრებული;
- ბ- მჭიდრო ჰექსაგონური;
- გ- კუბური სივრცით დაცენტრებული

თუ უხეშ შედარებას მოვიყვანთ, ისევე, როგორც შპალერი წარმოადგენს ერთი და იგივე ნახატის მრავალჯერად განმეორებას სიბრტყეზე, ასევე კრისტალი წარმოადგენს ერთი და იგივე გეომეტრიული ფიგურის (მაგალითად, კუბის) მრავალჯერად განმეორებას სივრცეში, ანუ კრისტალი არის „სივრცითი შპალერი“, რომლის ძირითადი მოცულობითი ნახატი, კრისტალური გისოსის ელემენტარული უჯრედი, უსასრულოდ მეორდება სივრცეში სამივე მიმართულებით. რენტგენის სხივების დახმარებით კრისტალური გისოსის არსებობა დადგენილია მყარი სხეულების უმრავლესობაში. ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ ატომების პერიოდული განლაგება სივრცეში ყველა მყარი სხეულის არსებობის პირობას

წარმოადგენს. იგი მათ იცავს გარემოს დამანგრეველი ზემოქმედებისაგან.

კრისტალური ნივთიერებებისათვის დამახასიათებელია წახნაგების თავისთავადი წარმოქმნის უნარი. მართალია, კრისტალი შეიძლება სხვადასხვა პირობებში ჩამოყალიბდეს, მაგალითად, გამხსნელის აორთქლებით, თხევადი ლითონის გაცივებისას ან ორთქლის ფაზის კონდენსაციით (მაგალითად, ყინულის ნაყში მინაზე), მაგრამ ყველა შემთხვევაში მზარდი კრისტალის ზედაპირზე ჩამოყალიბდება ბრტყელი წახნაგები.

სუფთა ლითონური ნივთიერების კიდევ ერთი სპეციფიკური თავისებურებაა დნობისა და გამყარების ფიქსირებული ტემპერატურა (წერტილი). მართალია, გახურებისას მისი ტემპერატურა განუხრელად მატულობს, მაგრამ გათხევადება იწყება მხოლოდ დნობის ტემპერატურის მიღწევისას. აქ უმთავრესია ერთი ფაქტი – როგორც დნობის, ისე გამყარების პროცესში სისტემის ტემპერატურა უცვლელად არის შენარჩუნებული, ანუ სუფთა ლითონები დნება და მყარდება ერთ მუდმივ ტემპერატურაზე. კრისტალიზაციის ტემპერატურა ლითონის თვისების განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი მუდმივაა. სხვადასხვა ლითონისათვის იგი ფრიად ფართო დიაპაზონში იცვლება – (-38,9⁰C)-დან სინდიცისათვის 3410⁰C-მდე ყველაზე ძნელდნობადი ლითონის – ვოლფრამისათვის. ამორფული ნივთიერებების ქცევა კი განსხვავებულია. მაგალითად, მინა გახურებისას თანდათანობით რბილდება, შემდეგ კი იწყებს ლღობას, მაგრამ სისტემის ტემპერატურა განუხრელად მატულობს ყოველგვარი შეჩერების გარეშე.

ერთი და იგივე ნივთიერება შეიძლება არსებობდეს როგორც კრისტალურ, ისე ამორფულ მდგომარეობაში. თხევადი ფაზიდან ნივთიერების მყარ მდგომარეობაში გადასვლა კრისტალების წარმოქმნის, ანუ კრისტალიზაციის გზით, არის ბუნებრივი პროცესი, მაგრამ გარკვეულ პირობებში შესაძლებელია მოხდეს ამ კანონზომიერებიდან გადახრა. ამ საკითხში უკეთ გარკვევისათვის განვიხილოთ უხეში, მაგრამ საკმაოდ თვალსაჩინო ასეთი მაგალითი: ვთქვათ, ჯარისკაცების ასეულს ნაბრძანები აქვს რიგში მოწყობა. თუ ბრძანების შესასრულებლად ჯარისკაცებს საკმარისი დრო ექნებათ მიცემული, ყოველი მათგანი მოასწრებს მისთვის განკუთვნილი ადგილის დაკავებას და რიგში გასწორებას. მაგრამ თუ პირველი ბრძანების შემდეგ სწრაფად გაიცა მეორე - „სდექ!“, ჯარისკაცების საერთო განლაგება მოუწესრიგებელი დარჩება, თუმცა გამოკვეთილი იქნება ტენდენცია მოწყესრიგებისაკენ.

რადაც ანალოგიური მიმდინარეობს გამყარების პროცესშიც. თუ სითხის გაცივება ნელი სიჩქარით მიმდინარეობს, ატომები ასწრებენ სივრცეში მათთვის

განკუთვნილი ადგილების დაკავებას და კრისტალური გისოსის ჩამოყალიბებას, სწრაფი გაცივება კი ამუხრუჭებს ატომების გადაადგილების უნარს და მათ არ აძლევს ბოლომდე მოწესრიგების საშუალებას. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, დიდი სიჩქარით გაცივება განაპირობებს სითხის სიბლანტის მეტად სწრაფად ზრდას და ნივთიერება გამყარდება მანამ, სანამ ატომები სივრცეში მათთვის განკუთვნილ, მოწესრიგებულ მდგომარეობას დაიკავენ. ასეთ პირობებში კრისტალური გისოსი ვერ ასწრებს ჩამოყალიბებას, იკვეთება მხოლოდ ამის ტენდენცია. კრისტალური ნივთიერებებისგან განსხვავებით, მოცემულ შემთხვევაში ატომების მოწესრიგებული განლაგება ვრცელდება არა შორ, არამედ ახლო მანძილზე, ანუ ვლინდება ნაწილაკების ახლო წესრიგი. ამდენად, კრისტალურისაგან განსხვავებით, ამორფულ ნივთიერებებში ატომების მოწესრიგების ხარისხი მეტად დაბალია. ზოგიერთ ამორფულ ნივთიერებას, მაგალითად, ფისს, ლუქს, სანთელს, არ ახასიათებთ ნაწილაკების ახლო წესრიგიც კი.

უფრო მართებული იქნება ნივთიერების ამორფული მდგომარეობა შეფასებულიყო, როგორც მეტად ბლანტი სითხე. ამის მკაფიო მაგალითს მინა წარმოადგენს. საგულისხმოა, რომ უძველესი ფანჯრის მინების ქვედა ნაწილი რამდენადმე გასქელებულია ზედასთან შედარებით, რაც იმის დამადასტურებელია, რომ ამორფულ ნივთიერებებს მყარ მდგომარეობაში დენადობის უნარი გააჩნიათ.

მყარ ამორფულ ნივთიერებებში მეტად ნელი სიჩქარით, მაგრამ მაინც ხდება ატომების გადაადგილება და თანდათანობითი მათი გადასვლა მოწესრიგებულ მდგომარეობაში, ანუ კრისტალიზაცია. ზოგიერთ მათგანში, მაგალითად, გოგირდში, ატომების გადაჯგუფება შედარებით სწრაფად მიმდინარეობს, სხვებში, მაგალითად მინაში – საუკუნეების განმავლობაში. ამორფული მინის დაკრისტალება იწვევს მის დაბზარვას, ხოლო არაერთგვაროვან აგებულებაში გადასვლა – გამჭვირვალობის დაკარგვას, ანუ გამჭრქალებას.

ამგვარად, ამორფული ნივთიერება თავისთავად გადადის კრისტალურ მდგომარეობაში, საწინააღმდეგო პროცესი კი არასდროს არ შეინიშნება. აქედან შეიძლება გაკეთდეს უმნიშვნელოვანესი დასკვნა: კრისტალური მდგომარეობა მყარი სხეულის თერმოდინამიკურად ერთადერთ მდგომარედ, „დასრულებულ“ მდგომარეობას წარმოადგენს.

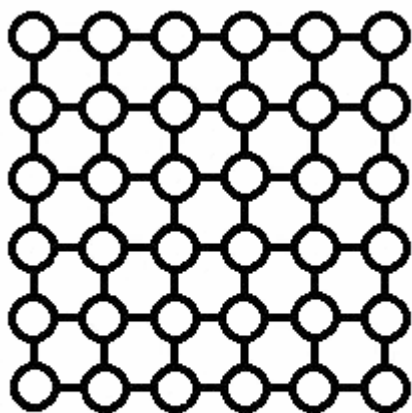
როგორც ვხედავთ, ამორფულ და კრისტალურ მდგომარეობებს შორის ძირითადი განსხვავება მათ შინაგან აგებულებაში მდგომარეობს. მინა, მაგალითად, რაღაც გამჭვირვალე, მყიფე სხეულია, ხოლო ლითონი – მტკიცე და პლასტიკური. მინა იზოლატორია, ლითონი კი კარგი ელექტროგამტარი მასალა. ლი-

თონური ნაკეთობა ვერ მუშაობს ყველა გარემოში, მინა კი პრაქტიკულად არ განიცდის კოროზიას. და აი, ჩვენ მივიღივართ იმ დასკვნამდე, რომ ამორფული და კრისტალური ნივთიერებები ხასიათდებიან სრულიად განსხვავებული თვისებებით (და არა მხოლოდ გარეგნულით). ისეთი მასალების მიღება, რომლებშიც შეხამებული იქნება მინისა და ლითონის საუკეთესო თვისებები, მეტად მიმზიდველი და მაცდუნებელია.

ლითონური მინა გამოყენებას ჰპოვებს ელექტრული დენის უზარმაზარი იმპულსების გადაცემაში; კომპიუტერებში, რომელთა მაგნიტური მახსოვრობის უნარი დაუჯერებლად გაიზრდება – მოცულობის ერთეულში მოთავსდება 25-ჯერ მეტი ინფორმაცია; გაიზრდება ხმის ჩაწერისა და აღდგენის ხარისხი მაგნიტოფონში. ლითონური ამორფული მასალების ქიმიური მედეგობა შეიძლება გამოვიყენოთ არა მარტო ტექნიკაში, არამედ ადამიანის ორგანოების ხელოვნური შემცვლელების შესაქმნელადაც. აღნიშნული მიმართულებებით უკვე მიღწეულია მნიშვნელოვანი წარმატებები. კვლევები კვლავ ინტენსიურად გრძელდება.

5. დეფექტები კრისტალებში

ისევე, როგორც ბუნების ნებისმიერი ქმნილება, კრისტალიც მოკლებულია იდეალურ აღნაგობას. იდეალური კრისტალის მოდელში ატომების ურთიერთგანლაგებასა და სიმეტრიულობაში არავითარი დარღვევა არ შეინიშნება – კრისტალურ გისოსში ყველა გეომეტრიული კვანძი სათანადო ლითონის ატომებით არის დაკავებული, როგორც ეს მე-2 ნახაზზეა წარმოდგენილი. სინამდვილეში რეალური კრისტალის აგებულება საკმაოდ შორს დგას სრულყოფილებისა-



ნახ. 2. სივრცითი გისოსის კრისტალოგრაფიული სიბრტყე

გან. ამის მიზეზის ასახსნელად წინამდებარე კურსში უმარტივესი განმარტებებით შემოვიფარგლებით.

ლითონი მისთვის დამახასიათებელ აღნაგობას გამყარების პროცესში დებულობს. სწორედ ამ დროს ყალიბდება კრისტალური გისოსი და მიმდინარეობს კრისტალების ზრდა. ამ პროცესს, როგორც უკვე ვიცით, კრისტალიზაციას უწოდებენ. კრისტალიზაცია ერთდროულად უამრავ ზონაში იწყება და ყოველი კრისტ-

ტალი საკუთარი ჩანასახიდან, ანუ ცენტრიდან იზრდება ნებისმიერი მიმართულებით. კრისტალიზაციის პროცესის საწყის ეტაპზე მზარდ კრისტალში ატომები თავდაპირველად მოწესრიგებულად ლაგდებიან, კრისტალის გარკვეულ ზომამდე გაზრდის შემდეგ კი, ვთქვათ, მეთხუთმეტემათასედი ატომის დაშენების მომენტიდან, წარმოიქმნება ჯერ უმნიშვნელო, შეუცნობადი, ხოლო შემდეგ და შემდეგ სულ უფრო და უფრო საგრძნობი გადახრა იდეალური აგებულებიდან: ხან ატომი ჩაჯდება არა მისთვის განკუთვნილ ადგილას, ხან კი ის ადგილი, სადაც უნდა იმყოფებოდეს ატომი, ცარიელი აღმოჩნდება. არ არის გამორიცხული, რომ კრისტალის იდეალურად „აშენებული“ ერთი ნაწილი მეორე, ასევე იდეალურ ნაწილს არასწორად, ოდნავ გადახრილი კუთხით შეეზარდოს. ბუნებრივია, ეს გამოიწვევს შეუღლების ზონაში სწორხაზოვნებიდან უმნიშვნელო გადახრას. ასეთი გადახრები, რომლებიც ერთმანეთს ემატება, საბოლოო ჯამში იწვევს კრისტალური აგებულების საგრძნობ დამახინჯებას.

კრისტალის იდეალური აგებულება შეიძლება დაარღვიოს აგრეთვე სხვა ელემენტის ატომმაც, რომელიც ამა თუ იმ მიზეზით შეიძლება მოხვდეს ლითონში და დაიკაოს ადგილი ან კრისტალური გისოსის სიცარიელეებში, ანუ ფორებში, ან ძირითადი, ფუძეღიოთონის ატომისაგან თავისუფალ, ანუ ვაკანტურ ადგილებში განთავსდეს. სხვადასხვა ზონაში მზარდი კრისტალები საბოლოო ჯამში ერთმანეთს ხვდებიან, მათ შორის ჩნდება საზღვარი და ფორმირდება მარცვლები. ატომები, რომლებიც აღნიშნულ სასაზღვრო ზონებშია განლაგებული, განიცდიან მეზობელი მარცვლების კრისტალური გისოსების გარკვეულ ზემოქმედებას და მათ შორის მყარდება მექანიკური კავშირი.

მექანიკური შეჭიდულობა ვერ უზრუნველყოფს მარცვლებს შორის მტკიცე კავშირს. მარცვლის საზღვრებში თავს იყრის ყველანაირი დეფექტი, ლითონში არსებული სხვადასხვა მინარევი და აიროვანი ნიჟარები, რომლებიც კიდევ უფრო ამცირებენ მარცვლებს შორის შეჭიდულობის ძალებს. სწორედ მარცვლიდან მარცვლამდე გარდამავალი ზონები განაპირობებს მნიშვნელოვან წილად ლითონის მთელი მასის მექანიკურ თვისებებს. ამიტომ ცუდად გასუფთავებული ლითონი დატვირთვების ზემოქმედებით სწორედ მარცვლის საზღვრებზე იმსხვრევა.

როგორც ვხედავთ, ჩვეულებრივი ლითონის ნაჭერი უამრავი კრისტალებისგან შედგება, ანუ იგი პოლიკრისტალურ* აგრეგატს წარმოადგენს. მის შემადგენელ თითოეულ მარცვალს მონოკრისტალი ეწოდება. განხილული დამახინჯე-

ბები საკმაოდ დიდი რაოდენობით გვხვდება ლითონში. იდეალური აგებულების კრისტალი ისეთივე აბსტრაქციაა, როგორც, მაგალითად, იდეალური სფერო გეომეტრიაში.

ნებისმიერი დამახინჯება და მოხვედრილი მინარევი ატომები ცვლიან ლითონის ფიზიკურ და მექანიკურ თვისებებს. მაგალითად, საკმარისია ნიკელში 0,005% გოგირდის მინარევის მოხვედრა, რომ სუფთა მდგომარეობაში ეს პლასტიკური მასალა მყიფედ გადაიქცეს, ხოლო 0,001% წყალბადის ან ნახშირბადის მოხვედრა რკინას გაზრდილ სიმყიფეს ანიჭებს ოთახის ტემპერატურის მახლობლობაში. სუფთა რკინა კი პლასტიკურობას ინარჩუნებს თხევადი ჰელიუმის (-268,8°C) ტემპერატურაზეც კი. გერმანიუმის ნახევრად გამტარის თვისებას ცვლის მის გისოსში ერთ მილიარდ ატომზე მოსული მხოლოდ ერთი უცხო ლითონის მინარევი ატომი!

ამგვარად, კრისტალური აღნაგობის დამახინჯებები აუარესებენ ლითონის თვისებებს, მაგრამ, სამწუხაროდ, დეფექტების სრულად თავიდან აცილება შეუძლებელია. სიმტკიცის გაზრდის მიზნით მეცნიერები ცდილობდნენ შეექმნათ უდეფექტო კრისტალები, თუმცა ამ შესაძლებლობის მაქსიმალურად რეალიზაციის შემდეგ მრავალი მათგანი მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ ლითონების სიმტკიცის გაზრდის რეზერვები ამოწურული იყო. მართლაც, XX საუკუნის ორმოციან წლებში ლითონის სიმტკიცის მახასიათებლების ზრდის ტემპი საგრძნობლად დაეცა, თითქოს მან თავის ზღვარს მიაღწია. თუმცა გავიდა რამოდენიმე წელი და მყარი ტანისა და ლითონთა ფიზიკის დარგში მიღწეულმა შედეგებმა ახალი გრანდიოზული პერსპექტივები დასახეს სიმტკიცის მრავალჯერადი გაზრდის საქმეში.

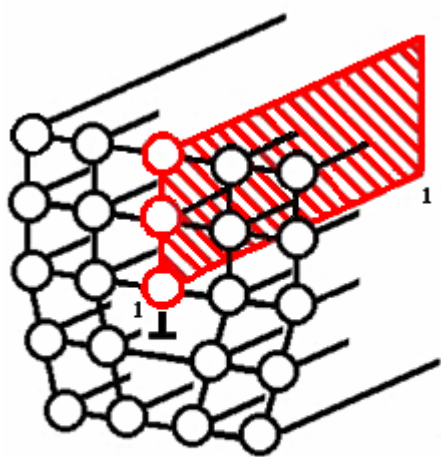
ყველაფერი დაიწყო იდეალური აგებულების ლითონის თეორიული სიმტკიცის გამოთვლებიდან. იმისათვის, რომ კრისტალი დაინგრეს, აუცილებელია მისი შემადგენელი ატომების ერთდროული მოწყვეტა ერთმანეთისაგან. ამისათვის საჭიროა ატომთშორისი შეჭიდულობის ძალების გადალახვა. აქედან გამომდინარე, ლითონის სიმტკიცე უნდა იყოს პროპორციული ატომთა შორის კავშირის ძალების ნამრავლისა კრისტალის განივკვეთში განლაგებული ატომების რიცხვზე. ამ სიდიდის გამოთვლით მიღებულმა შედეგმა მეცნიერები განაცვიფრა: იგი აღ-

* პოლიკრისტალი – მრავალი მარცვლისგან შედგენილი აგრეგატი, რომელშიც მარცვლები ერთმანეთისგან გამოყოფილია დიდი კუთხით შემობრუნებული საზღვრებით.

მოხნდა რეალურ სიმტკიცესთან შედარებით არა რამოდენიმეჯერ, როგორც ამას ვარაუდობდნენ, არამედ ასჯერ და უფრო მეტად დიდი.

თავდაპირველად ფიქრობდნენ, რომ გამოთვლებში ან შეცდომა იყო დაშვებული, ან მნიშვნელოვნად იყო გაზრდილი ატომთა შორის ურთიერთქმედების ძალები. შემოწმებამ კი ცხადყო, რომ გამოთვლები სწორად იყო ჩატარებული. არ გამოიღო შედეგი აგრეთვე მცდელობამ, იდეალურ და რეალურ სიმტკიცეებს შორის განსხვავება აეხსნათ უკვე ჩვენთვის ცნობილ შიგაკრისტალურ დეფექტებზე დაყრდნობით. მართალია, ისინი არღვევენ ატომთა შორის კავშირის ძალებს, მაგრამ ასეთი ხარისხით კრისტალის დასუსტება მათ შეეძლოთ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც დეფექტები ლითონის თითქმის მთელ მოცულობას დაიკავებდნენ, ანუ თუ იგი ღრუბელთან შედარებით უფრო ფორიანი აღმოჩნდებოდა – იდეალურ მნიშვნელობასთან შედარებით კრისტალის სიმტკიცის ასჯერ შესამცირებლად დეფექტების რაოდენობა 99%-ს უნდა შეადგენდეს. მაშ რაშია საქმე?

პასუხი ამ კითხვაზე უცბათ ვერ მოიძებნა. დაძაბული შრომის შემდეგ სხვადასხვა ქვეყნის ფიზიკოსების ძალისხმევით დადგინდა, რომ ლითონის სიმტკიცის მახასიათებლებზე არსებით გავლენას ახდენს რეალური კრისტალისათვის დამახასიათებელი კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი დეფექტი – დისლოკაცია.

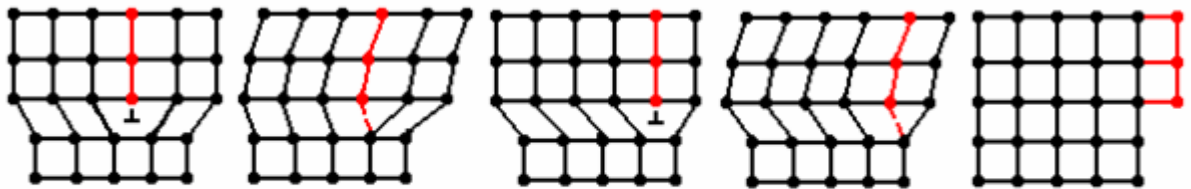


ნახ. 3. დისლოკაცია კრისტალურ გისოსში

წარმოიდგინეთ, რომ კრისტალურ გისოსში რაღაც მიზეზით გაჩნდა ზედმეტი ატომური სიბრტყე (ნახ. 3), რომელსაც ექსტრასიბრტყეს უწოდებენ. ბუნებრივია, იგი ჩასოლილი აღმოჩნდება კრისტალურ გისოსში, რის შედეგადაც დამახინჯდება გისოსის სწორი გეომეტრიული აგებულება და დეფექტის მოქმედების ზონაში აღიძვრება დამაბზულობის ველი. ექსტრასიბრტყის 1-1 წიბო ქმნის ხაზოვან დეფექტს, რომელსაც კიდურა დისლოკაცია ეწოდება.

დისლოკაცია აღმოცენებას უკვე კრისტალის ზრდის პროცესში იწყებს, დეფორმაციის პირობებში კი მათი რიცხვი რამოდენიმე ხარისხით მატულობს. ლითონზე გარე ძალის ზემოქმედებით დისლოკაცია ადვილად ამოძრავდება და იწყებს გადაადგილებას. ძალის მუდმივი ზემოქმედების პირობებში მოძრაობა ატომების ერთი ჯგუფიდან მეორეს გადაეცემა და საბოლოო ჯამში დისლოკა-

ცია გამოდის კრისტალის ზედაპირზე, რაც გამოიწვევს მისი ერთი ნაწილის დაძვრას მეორის მიმართ, ანუ პლასტიკურ დეფორმაციას. ეს პროცესი სქემატურად წარმოდგენილია მე-4 ნახაზზე. მნიშვნელოვანი პლასტიკური დეფორმაციისათვის აუცილებელია ლითონის ერთი ნაწილის დაცურება მეორის მიმართ დიდი რაოდენობის დისლოკაციებით განხორციელდეს.



ნახ. 4. დისლოკაციის გადაადგილების სქემა

ამგვარად, რეალური აგებულების ლითონის დეფორმაციისათვის და, საბოლოო ჯამში, მისი მთლიანობის დარღვევისათვის, აუცილებელია არა მთელი ატომური სიბრტყის დაძვრა ან მოწყვეტა, არამედ მხოლოდ დისლოკაციის გადაადგილება, რომლის ამოძრავებასაც უმნიშვნელო ძალა ესაჭიროება. აღნიშნულმა შედეგმა სულ სხვაგვარად დააყენა საკითხი ლითონის სიმტკიცის შემდგომი ამღლების პერსპექტივების შესახებ. მართლაც, რადგან ლითონის რეალური სიმტკიცის დაბალი მახასიათებლების ძირითადი მიზეზი დისლოკაციის ადვილად გადაადგილების უნარია, სიმტკიცის ასამაღლებლად ორი ძირითადი მიმართულება იკვეთება:

1. არადისლოკაციური სტრუქტურის მქონე კრისტალის შექმნა;
2. ლითონში დისლოკაციის გადაადგილების უნარის შემცირება, ანუ დისლოკაციის დამუხრუჭება.

6. „უღვაშა“ კრისტალები

ჯერ კიდევ მეორე მსოფლიო ომის პერიოდში შეამჩნიეს, რომ ელექტრონული აპარატურა, კონდენსატორები და ზღვის კაბელები მწყობრიდან გამოდიოდა ყოველგვარი ხილული მიზეზების გარეშე. ბევრი თავსატეხი გადაიტანეს მეცნიერებმა ამ გამოცანის ამოცნობაში. ბოლოს დადგინდა, რომ ავარიას იწვევდა კალის უწვრილესი, ძაფისებრი კრისტალები, რომლებიც იმ ადგილებში იზრდებოდა, სადაც ფოლადის კონსტრუქციის უბნები კალით იყო დაფარული.

ავარიის მიზეზის ასახსნელად საჭირო გახდა აღნიშნული უწვრილესი

კრისტალების ზრდის პირობებისა და მათი თვისებების შესწავლა. რადგან გარეგნულად კალის კრისტალების წარმონაქმნები უღვაშის ბეწვს წააგავდა, მათ „უღვაშა“ კრისტალები უწოდეს. მკვლევარები დიდად გააკვირვა იმ ფაქტმა, რომ სწორედ „უღვაშა“ კრისტალები აღმოჩნდა ის არადისლოკაციური სტრუქტურის მქონე მონოკრისტალი, რომლის შექმნისკენაც ასე მისწრაფვოდნენ მეცნიერები.

„უღვაშა“, ანუ ძაფისებრი კრისტალები ჯერ კიდევ 200 წლის წინ იყო ცნობილი. მას, უბრალოდ, ყურადღებას არავენ არ აქცევდა. ახლა კი აღმოჩნდა, რომ ეს უთვალადო, შეუხედავი კრისტალები ხასიათდებიან ჭეშმარიტად განსაცვიფრებელი თვისებებით: მათი კუთრი სიმტკიცე მნიშვნელოვნად აღემატება იგივე მასალისაგან, მაგრამ ჩვეულებრივი ხერხით მიღებული ნიმუშის სიმტკიცეს და უახლოვდება თეორიულს. ეს განპირობებულია არა მხოლოდ არადისლოკაციური, სრულყოფილი, უდევექტო სტრუქტურით, არამედ ზედაპირის იდეალურად გლუვი აგებულებითაც, რაც კრისტალის მინიატურული ზომებით უნდა იყოს განპირობებული. 40000-ჯერ გადიდების შემთხვევაშიც კი ვერ მოხერხდა კრისტალის ზედაპირზე რაიმე სიმქისის (ხორკლიანობის) აღმოჩენა. ჩვეულებრივი ხერხით მიღებული კრისტალები კი დასერილია უამრავი დეფექტით, რაც ნგრევის კერას წარმოადგენს.

არადისლოკაციური სტრუქტურის მქონე არაორგანული კრისტალების პრაქტიკული გამოყენება უკვე დაწყებულია. საფირონის ან გრაფიტის „უღვაშა“ კრისტალებით არმირებული ლითონების სიმტკიცე იდეალურის ერთ მესამედს აღწევს. ეს ცოტა არ არის. ასეთი მასალების გამოყენებით ამზადებენ აირტურბინული ძრავების თათებს და რაკეტის მხურვალმტკიცე დეტალებს.

7. ლითონის მედეობა

ჩვენ არაერთხელ აღვნიშნეთ ხაზგასმით, რომ დეფექტები ასუსტებენ ლითონს, მაგრამ აქვე ისმის კითხვა: რატომ არ სუსტდება, არამედ პირიქით, მატულობს კიდევ სიმტკიცე პლასტიკური დეფორმაციის შემდეგ? ასეთი დამუშავება ხომ ზრდის დეფექტებს ლითონში?

საქმე იმაშია, რომ სიმტკიცეზე მოქმედებს არა მხოლოდ დისლოკაციების რიცხვი, არამედ მათი ძვრადობის, ანუ გადაადგილების უნარიც. ამიტომ ის დეფექტები, რომლებიც ამუხრუჭებენ დისლოკაციის გადაადგილებას, განაპირობებენ ლითონის განმტკიცებასაც. როდესაც მოძრავი დისლოკაცია მიეხლება და ბრკოლებას, მაგალითად, უცხო მინარევს, იგი ან დამუხრუჭდება, ან მოძრაობას

განაგრძობს დაბრკოლების გარშემოვლით. დამუხრუჭებული დისლოკაციის ასა-
მოძრავებლად ან დაბრკოლებისადმი გვერდის ასავლელად კი დამატებითი ენერ-
გიაა საჭირო, რაც ლითონის სიმტკიცის გაზრდაზე მიუთითებს.

როდესაც დისლოკაცია მონოკრისტალში მოძრაობს, საბოლოო ჯამში იგი
კრისტალის ზედაპირზე გამოდის. პოლიკრისტალურ აგრეგატებში კი მარცვლის
ზედაპირზე დისლოკაციის გამოსვლას ხელს უშლის მეზობელი მარცვალი. ამი-
ტომ დისლოკაციის გადაადგილებისადმი წინააღმდეგობა თანდათან გაიზრდება
მარცვლის საზღვართან მის მიახლოებასთან ერთად და ბოლოს დამუხრუჭდება.
რაც უფრო მეტია საზღვრების საერთო სიგრძე ლითონში, მით უფრო მეტად
იზრდება დისლოკაციის დამუხრუჭების ალბათობა. საზღვრების დიდი რაოდენო-
ბით ჩამოყალიბებას კი ხელს უწყობს სტრუქტურის დაწვრილმარცვლოვნება.
სწორედ ამიტომ ხასიათდება წვრილმარცვლოვანი აგებულების ლითონი გაზრ-
დილი სიმტკიცით მსხვილმარცვლოვანთან შედარებით.

ჩვენს საუბრებში შევეხეთ ლითონის სიმტკიცის მახასიათებლების გაზრ-
დის ზოგიერთ ხერხს, მაგრამ მიზანშეწონილია აქვე ნათლად განვმარტოთ, თუ
რა არის ლითონის მედეგობა. ამ კითხვას არ შეიძლება ერთგვაროვანი პასუხი
გაეცეს. მედეგობა ან სიმტკიცე, ერთის მხრივ, არის ლითონის წინააღმდეგობის
უნარი პლასტიკური დეფორმაციისადმი, მყიფე რღვევისადმი, ცვეთისადმი, უნარი
დაურღვეველად გაუძლოს დატვირთვებს მაღალ ტემპერატურაზე, მეორეს მხრივ
კი – მდგრადობა კოროზიის მიმართ სხვადასხვა აგრესიულ გარემოში, გამჭოლი
რადიაციის მიმართ და ა.შ.

რა თქმა უნდა, არ არსებობს ისეთი ლითონი, რომელსაც ყველა ეს თვი-
სება კომპლექსში ექნება გამოხატული. მაგალითად, ცვეთისადმი წინააღმდეგო-
ბის გასაზრდელად საკმარისია ლითონის ზედაპირული სისხლის ამადლება. გაი-
ზრდება თუ არა ასეთი დამუშავებით ლითონის მედეგობა? რა თქმა უნდა გა-
იზრდება, თუ მხედველობაში გვექნება მხოლოდ მისი წინააღმდეგობა ცვეთისად-
მი, რადგან ზედაპირული სისხლის გაზრდამ ნაკეთობა შეიძლება უფრო მყიფე
გახადოს და ადვილად გადატყდეს დარტყმითი დატვირთვების ზემოქმედებით,
რასაც ლითონი დამუშავებამდე უპრობლემოდ გაუძლებდა.

როგორც ვხედავთ, დასმულ კითხვაზე პასუხს მთლიანად განსაზღვრავს
ის კონკრეტული პირობები, რომელშიც მოცემულმა დეტალმა უნდა იმუშაოს.
ამიტომ ამა თუ იმ ნაკეთობის დასამზადებლად ისეთ ლითონს ირჩევენ, რომელ-
საც უპირატესად ექნება გამოხატული ექსპლუატაციის პირობებით წაყენებული
მოთხოვნები. აქედან გამომდინარე, ჩვენს შემდგომ საუბრებში ლითონის სიმტკი-

ცისა და მედეგობის შესახებ ყველა შემთხვევაში მხედველობაში გვექნება არა რაღაც აბსტრაქტული სიმტკიცის მახასიათებლები, არამედ სრულიად კონკრეტული – მასალის თვისება წინააღმდეგობა გაუწიოს გარემოს რაღაც ამა თუ იმ ხასიათის ზემოქმედებას.

ნებისმიერი მანქანის სერიული წარმოების დაწყებამდე მიზანშეწონილია სიმტკიცეზე (მედეგობაზე) მისი გამოცდა. ამ მიზნით მანქანას და მის ცალკეულ დეტალებს გამოცდებს უტარებენ მთლიანობის დარღვევამდე ექსპლუატაციის რეალურ პირობებთან მიახლოებული პარამეტრებით. არც თვითმფრინავი, არც მანქანების ახალი კონსტრუქციები სერიულ წარმოებაში არ გაიშვება გამოცდების ჩატარების გარეშე.

მაგრამ როგორ უნდა გამოიცადოს წინასწარ სიმტკიცეზე, მაგალითად, ოკეანის ლაინერის კორპუსი, გიგანტური წნეხი ან ტურბინა? დღევანდელ მძიმე მანქანათმშენებლობაში ხომ ისეთი დეტალები გამოიყენება, რომელთა სიგრძე 30-35 მ შეადგენს (ეს თორმეტსართულიანი სახლის სიმაღლეა!), დიამეტრი – რამოდენიმე მეტრს, ხოლო წონა – ასობით ტონას.

საქმე იმაშია, რომ ლითონის კუთრი სიმტკიცის განსაზღვრა ხორციელდება მცირე ზომისა და სტანდარტული ფორმის ნიმუშების გამოცდით სპეციალურ მანქანებზე, მაგრამ არ შეიძლება, მაგალითად, ათი კვადრატული მილიმეტრის განივკვეთის მქონე ღეროს გადატეხვით ვიმსჯელოთ იმაზე, თუ რა დატვირთვის პირობებში დაირღვევა ვთქვათ, ათასი და, მით უმეტეს, ასი ათასი კვადრატული მილიმეტრის მქონე იგივე ლითონის ღერო. ასეთი ზომების „ღეროს“ დანგრევა კი გამოცდის მიზნით უბრალოდ შეუძლებელია – წარმოიდგინეთ გამომცდელი მანქანის კონსტრუქცია და გაბარიტები! აქედან გამომდინარე, გიგანტური მანქანები გამოცდებს არ ექვემდებარებიან. მათი მწეობრიდან გამოსვლა კი გამოიწვევს კოლოსალურ ზარალს და, შესაძლოა, ადამიანების მსხვერპლსაც. ამის თავიდან ასაცილებლად ინჟინრები ცდილობენ ასეთი გიგანტები საიმედოდ ააგონ და ხშირად მათ ანიჭებენ ათჯერად, ზოგჯერ კი – ოცჯერად სიმტკიცის მარაგს.

სიმტკიცის მარაგის კოეფიციენტს ხშირად ჩვენი არცოდნის კოეფიციენტს უწოდებენ. როდესაც უცნობია იმ რეალური ძალების სიდიდე, რომლებიც იმოქმედებენ ახლად შექმნილ მანქანაზე, ნაგებობაზე და მის ცალკეულ დეტალზე, კონსტრუქტორს მეტი არაფერი დარჩენია სიმტკიცის მარაგის გაზრდის გარდა. სამწუხაროა, მაგრამ თავდაცვის ასეთ ხერხს მივყავართ დიდ დანახარჯებამდე, რადგან სიმტკიცის მარაგი სხვა არაფერია, თუ არა მანქანის შემადგენელი

დეტალების მასის გაზრდა. თუმცა არავინ არ არის დაზღვეული იმისგანაც, რომ ასეთი გიგანტური ნაგებობა საკუთარი წონის ზეგავლენით გაიჭეჭვოს.

ადამიანმა მანქანების, მექანიზმებისა და კონსტრუქციების დიდი მრავალფეროვნება შექმნა. ისინი ასობით დეტალს შეიცავენ და ყოველ მათგანს მუშაობის საკუთარი პირობები გააჩნია. ზოგიერთ ლითონურ ნაკეთობას შეიძლება „მშვიდი ცხოვრება“ ერგოს წილად, - მცირე დატვირთვები და შესაფერისი სამუშაო კლიმატი. სხვა დეტალები კი შეიძლება მუდმივად განიცდიდნენ მძიმე, მოხახუნე ტვირთის ზემოქმედებას. ასეთი დეტალები დროთა განმავლობაში ცვდება და მალე გამოდის მწყობრიდან.

არც ლითონთა საექსპლუატაციო მახასიათებლებია მუდმივად შენარჩუნებული და დროთა განმავლობაში ისინი იცვლება, ანუ ლითონი ძველდება. განმარტებითი ლექსიკონის თანახმად, სიტყვა „დაძველება“ გულისხმობს დროის მიხედვით თვისებების შეცვლას ლითონზე მოქმედი მრავალრიცხოვანი ფაქტორების ზემოქმედებით. უმეტეს შემთხვევაში აღნიშნული პროცესი მეტად ნელი სიჩქარით მიმდინარეობს. ბუნებრივია, ამა თუ იმ სფეროში გამოყენების თვალსაზრისით ოპტიმალურად მიიღება ის ლითონი, რომელიც მიუხედავად მასზე გარე ფაქტორების ერთობლივი ზემოქმედებისა, ყველა მახასიათებელს თუ არა, უკიდურეს შემთხვევაში უმრავლეს მათგანს მაინც ხანგრძლივი დროის განმავლობაში შეინარჩუნებს საწყისი მნიშვნელობების ზღვრებში.

ყველა მასალა ერთნაირად არ არის მგრძობიარე დაძველების პირობებისადმი. ამიტომ აუცილებელი ხდება მასალის საიმედოობის გარანტიის წინასწარი დადგენა მოცემული საექსპლუატაციო მოთხოვნებიდან გამომდინარე. აღნიშნული პრობლემის წარმატებით გადაჭრა წარმოადგენს ერთ-ერთ წინაპირობას კონსტრუქციების სწორად გაანგარიშებისა და გამოყენებული მასალების ეკონომიურად შერჩევისათვის. ამიტომ ლითონმცოდნეობაში უდიდესი ყურადღება ექცევა მასალების შედგენილობის, მიღებისა და დამუშავების ისეთი ეფექტური მეთოდების ძიებას, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონსტრუქციების სიცოცხლისუნარიანობის გაზრდას.

თანამედროვე ტექნიკის მრავალფეროვანმა და გაზრდილმა მოთხოვნებმა განაპირობა საკონსტრუქციო მასალების საკმაოდ ფართო სპექტრის შექმნა. ამიტომ ლითონების კლასიფიკაცია მიზანშეწონილია დანიშნულების მიხედვითაც განვიხილოთ.

არჩევან საკონსტრუქციო, საიარაღო და სპეციალური დანიშნულების (მხურვალმტკიცე, მხურვალმედეგ, კოროზიამედეგ და ა.შ) ფოლადებსა და შენად-

ნობებს. თითოეული ჯგუფის ფოლადს განსაკუთრებულად გამოკვეთილი თვისებები უნდა ახასიათებდეს, რასაც საექსპლუატაციო პირობები განსაზღვრავს. ასე მაგალითად, ლითონსაჭრელ იარაღს მოეთხოვება მაღალი სისაღე და მისი შენარჩუნება ჭრით დამუშავების პროცესში, მხურვალმტკიცე ფოლადებს კი – სიმტკიცის მაღალი მახასიათებლები გაზრდილ ტემპერატურაზე და ა.შ.

ტექნიკის მოთხოვნების ყოველმხრივ დასაკმაყოფილებლად საჭიროა ვისწავლოთ მასალების მიღების საიდუმლოება წინასწარ ცნობილი თვისებებით, ანუ მომავლის მასალების პროექტირება ისეთივე დამაჯერებლობით, როგორც თაც დღეს კონსტრუქტორები ითვლიან თვითმფრინავებს, ხიდებსა და გვირაბებს, საცხოვრებელ სახლებს. ამ პრობლემის გადასაჭრელად მიმავალ გზებს ისახავს მიზნად თანამედროვე მეცნიერება ლითონებზე.

8. ზესუფთა ლითონები

წარმოიდგინეთ, რომ ქარხანა აგებულია დედამიწის სიღრმეში. მის საამქროებში ხელოვნურად არის შექმნილი ინერტული აირის ატმოსფერო. ადამიანები მუშაობენ კოსმონავტის კოსტიუმებში. ეს არ გეგონით მთვარეზე აგებული ქალაქის ფანტასტიკური სურათი. ანალოგიური ქარხნები უკვე მოქმედებენ ჩვენთან, დედამიწაზე. მხოლოდ ასეთ პირობებშია შესაძლებელი ზესუფთა ლითონებისა და ნახევრად გამტარების მიღება, რომლებიც აუცილებელია ატომური ენერგეტიკის, მრავალი ნახევრად გამტარული ხელსაწყოების, ზეგამტარული შენადნობებისა და სხვა დანიშნულების მასალების შესაქმნელად.

ზესუფთა ლითონებზე პირველი მოთხოვნა ატომური მრეწველობის განვითარებამ წარმოშვა. ზოგიერთი მინარევის მეათიათასედი, ზოგჯერ მემილიონედი პროცენტიც კი გამოუსადეგარს ხდის ურანს, თორიუმს, ბერილიუმს და გრაფიტს. ჯაჭვური რეაქცია ვითარდება მხოლოდ ზესუფთა ურანში. ამასთან, ურანი არ უნდა შეიცავდეს არა მარტო სხვა ელემენტის მინარევს, არამედ საკუთარ იზოტოპებსაც* კი.

იზოტოპები ეწოდებათ ერთი და იგივე ქიმიური ელემენტის ატომებს, რომლებსაც გააჩნიათ სხვადასხვა ატომური წონა, მაგრამ ერთნაირი ქიმიური ბუნება. იზოტოპები ფიზიკური თვისებებით უმნიშვნელოდ განსხვავდებიან ერთ-

*სიტყვა „იზოტოპი“ ბერძნული წარმოშობისაა. „იზო“ ნიშნავს ერთნაირს, ტოლს, „ტოპოს“ - ადგილს.

მანეთისგან. მოცემული ელემენტის ყველა იზოტოპის ატომური შეიცავს პროტონების ერთსა და იმავე რაოდენობას, ხოლო ნეიტრონების რიცხვი სხვადასხვაა, რაც იწვევს განსხვავებას იზოტოპების ატომურ წონასა და ფიზიკურ თვისებებში. იზოტოპებს ერთი და იგივე ადგილი უკავიათ პერიოდულ სისტემაში.

ამგვარად, ატომური ენერგეტიკის განვითარებისათვის აუცილებელი გახდა ურანის სუფთა იზოტოპის მიღება წონით 235. ბუნებრივ ურანში ასეთი იზოტოპის შემცველობა მხოლოდ 0,714%-ს შეადგენს.

სულ მალე ზესუფთა მასალები მოითხოვა ნახევრად გამტარების წარმოებაშიც. ასე მაგალითად, მთელ რიგ ნახევრად გამტარ მასალებში მინარევების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს ერთ მემილიარდედ პროცენტს, ხოლო მათი კრისტალური აგებულება იდეალურს უნდა უახლოვდებოდეს. თუ გერმანიუმის კრისტალში ყოველ მილიარდ ატომზე მოვა თავისი რეგულარული მდგომარეობიდან დაძრული მხოლოდ ერთი ატომი, მაშინ უმარტივესი ტრანზისტორების 80% წუნდებული აღმოჩნდება. საიმედოდ მუშაობს მხოლოდ ის ნახევრად გამტარული ხელსაწყო, რომლის კრისტალურ გისოსში უკიდურეს შემთხვევაში ერთი დაძრული ატომი მოდის 10^{12} ატომზე!

სისუფთავის მიხედვით მასალებს პირობითად ყოფენ ტექნიკურად სუფთა, ქიმიურად სუფთა და განსაკუთრებული სისუფთავის მასალებად. თუ მასალა ძირითად ლითონს შეიცავს 99,9%-ზე ნაკლები რაოდენობით (დანარჩენი მინარევია), იგი ტექნიკურად სუფთაა, 99,9-დან 99,99%-მდე – ქიმიურად სუფთა, ხოლო 99,999% ან მის ზევით – განსაკუთრებული სისუფთავის. ალუმინით, რომლის სისუფთავე მძიმის შემდეგ ხუთ ცხრიანს შეადგენს, დაფარულია მსოფლიოში ყველაზე დიდი ექვსმეტრიანი ოპრიკური ტელესკოპის სარკე რუსეთში.

ყველა ლითონისათვის დამახასიათებელია მისთვის განსაკუთრებით მავნე მინარევი, როგორც ამბობენ, №1 მტერი. მთავარია მასალა გაიწმინდოს არა ყველა შესაძლო მინარევისგან, არამედ მხოლოდ განსაკუთრებით მავნე მინარევებისგან. ეს არის ჟანგბადი ნიობიუმში, ტანტალსა და რენიუმში; აზოტი ქრომში; წყალბადი ვანადიუმსა და ტიტანში; ნახშირბადი ვოლფრამსა და მოლიბდენში; გადოლინი და ევროპიუმი ურანში და ა.შ.

ნივთიერების ჭეშმარიტი თვისებები განსაკუთრებით სუფთა მდგომარეობაში მჟღავნდება. მაგალითად, დიდი ხნის განმავლობაში თვლიდნენ, რომ ურანის დნობის ტემპერატურა 1850°C -ზე დაბლა მდებარეობდა, მაგრამ რამდენად დაბლა, ვერავინ აკონკრეტებდა. რაც უფრო მეტი სისუფთავის ურანს ღებულობდნენ, მით უფრო ქვემოთ გადაადგილდებოდა ეს ზღვარი: 1932 წელს იგი განი-

საზღვრა 1650°C-ით, 1935 წელს – 1400°C-ით, ხოლო 1956 წელს ჩატარებულმა გაზომვებმა უჩვენა 1133°C.

აი მეორე მაგალითი. ტიტანის პირველი გრამები მიღებულია 1910 წელს. გამოცდებმა უჩვენა, რომ ტიტანი არამტკიცე, მყიფე ლითონს მიეკუთვნებოდა და ძნელად ექვემდებარებოდა დამუშავებას. ამიტომ დიდი ხნის განმავლობაში მას მხოლოდ ფოლადის ლეგირებისა და თეთრას წარმოებაში იყენებდნენ. ბოლოს აღმოჩნდა, რომ ტიტანის სიმყიფეს მასში არსებული მინარევები განაპირობებდა. საკმაოდ სუფთა ტიტანი მაღალპლასტიკური და მტკიცე აღმოჩნდა. ტიტანისა და კიდევ სხვა ლითონების (ქრომი, ვოლფრამი, მოლიბდენი, ტანტალი, ბისმუტი, ცირკონიუმი) სუფთა მდგომარეობაში მიღების ხერხების მიგნება მათი მეორედ აღმოჩენის ტოლფასი იყო, რადგან მხოლოდ ამის შემდეგ დაიწყო ამ ელემენტების ფართო გამოყენება მრეწველობაში.

უძველესი დროიდან ცნობილი იყო, რომ ყველა ლითონი, რომლებსაც სივრცით დაცენტრებული კუბური გისოსი გააჩნია (მათ შორის რკინა), დაბალ ტემპერატურაზე მყიფეობდა. ამ მოვლენას ციკტეხადობა ეწოდება. ეს ფაქტი ეწინააღმდეგება თეორიას, რომლის თანახმადაც აღნიშნული ტიპის გისოსის მქონე ლითონები უნდა ხასიათდებოდნენ კარგი პლასტიკურობით და არ უნდა კარგავდნენ ამ თვისებას გაცივებისას. აღმოჩნდა, რომ ყველაფერში მინარევებია „დამნაშავე“: რაც უფრო მეტად არის დაჭუჭყიანებული ლითონი, მით უფრო ადრე იჩენს თავს სიმყიფე ტემპერატურის შემცირებისას. კუბური სივრცით დაცენტრებული გისოსის მქონე ზესუფთა ლითონების ფენომენალური პლასტიკურობის ექსპერიმენტული დასაბუთება ლითონების ფიზიკურ-ქიმიური თეორიის ტრიუმფად გადაიქცა.

აღბათ ყურადღება მიაქციეთ, რომ არაერთხელ გავიმეორეთ სიტყვები „ზესუფთა ლითონი“, „მაღალი სისუფთავის ლითონი“, მაგრამ არც ერთხელ არ გვიხმარია გამოთქმა „აბსოლუტურად სუფთა ლითონი“. ეს არ არის შემთხვევითობა. აბსოლუტურ სისუფთავემდე, როგორც ჩანს, ჯერ კიდევ ძალიან შორს ვართ. აბსოლუტური სისუფთავე ის მიუწვდომელი იდეალია, რისკენაც უნდა მივისწრაფვოდეთ, შეიძლება მას სულ უფრო და უფრო მივუახლოვდეთ, მაგრამ ვერასდროს ვერ მივაღწევთ. რაც უფრო მცირე რაოდენობით რჩება ლითონში მინარევი ატომები, მით უფრო ძნელი ხდება ყოველი მათგანის მოცილება. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ რაც უფრო სუფთაა ნივთიერება, მით უფრო ძნელია მისი სისუფთავის შენარჩუნება – სრული იზოლაცია გარემოს ზემოქმედებისგან დედამიწაზე შეუძლებელია.

ზემოთ აღვნიშნეთ, რომ გარემოსგან იზოლაციის მიზნით ქარხნებს მიწის ქვეშ აშენებენ და ქმნიან ინერტული აირის ატმოსფეროს. მაგრამ არც ინერტული აირი იძლევა სისუფთავის მაღალ გარანტიას, რადგან მისმა მოლეკულებმაც შეიძლება შეადწიონ ლითონის სიდრმეში. ყველაზე საუკეთესოა ლითონის დნობა და დამუშავება ვაკუუმში წარმოებდეს, თუმცა მისი მიღება ძნელი და ძვირადღირებულია. მეტად მაღალ ვაკუუმად ითვლება 10^{-7} პა გაიშვიათება, მაგრამ მოცულობის ყოველი სანტიმეტრ კუბი მაინც შეიცავს 32×10^6 მოლეკულას. აი, სერიოზულად რატომ ფიქრობენ მეცნიერები კოსმოსური სივრცის ვაკუუმის (10^{-12} - 10^{-14} პა) გამოყენებას.

მაღალი სისუფთავის ლითონებზე მოთხოვნის აუცილებლობამ განაპირობა მათი გასუფთავების მრავალი ახალი მეთოდის შემუშავება. ამჟამად მიღებულია პრაქტიკულად ყველა ძნელდნობადი ლითონის მონოკრისტალი. დაჭუჭყიანების თავიდან ასაცილებლად გასუფთავებულ ლითონს კვარცის ან ფოლადის გარსაცმში ათავსებენ, რომელშიც შექმნილია გაიშვიათება ან ინერტული აირის ატმოსფერო. ამჟამად ნებისმიერი ლითონისა თუ შენადნობის მონოკრისტალის მიღება არ არის ლაბორატორიული იშვიათობა. დაწყებულია მათი სამრეწველო წარმოებაც.

მონოკრისტალებს არაერთი ღირსება გააჩნია: მაღალი პლასტიკურობა, არ გამოყოფენ აირებს ვაკუუმში, არ იცვლიან ფორმასა და ზომებს მაღალ ტემპერატურაზე ხანგრძლივი მუშაობის პირობებში და კიდევ სხვა მრავალი.

მინარევი შეიძლება იყოს არა მარტო მავნე, არამედ სასარგებლოც. მაგალითად, ფოლადში დამატებული ვოლფრამი ლითონს ანიჭებს სისაღეს, ქრომი – უჟანგაობას, მანგანუმი – ცვეთამდებობას. მთავარია შეგვეძლოს ლითონის შედგენილობისა და სტრუქტურის სასურველი მიმართულებით მართვა. აირებისა და არალითონური მინარევების (გოგირდი, ფოსფორი, სელენი და ა.შ) გამოყენებაც შეიძლება შენადნობების დასამზადებლად.

ნახევრად გამტარებმა მნიშვნელოვნად შეამცირეს რადიოელექტრონული აპარატურის ზომები, წონა და, რაც მთავარია, გაზარდა მათი საიმედოობა. მაგრამ ეს მხოლოდ დასაწყისია. ულტრასუფთა და სწორი აგებულების კრისტალში ელექტროაქტიური მინარევების (დარიშხანი, ბორი, ალუმინი, ფოსფორი და ა.შ) ატომების განლაგების მართვით შეიძლება შეიქმნას მიკროსკოპული ზონები, რომლებიც ითამაშებენ დიოდებისა და ტრიოდების, კონდენსატორებისა და წინაღობების როლს, ანუ შესაძლებელია მთელი ურთულესი რადიოელექტრონული სქემა ერთ მინიატურულ კრისტალში „გაიზარდოს“. მაშინ კომპიუტერები, ტელე-

ვიზორები და მრავალი სხვა მოწყობილობა და ხელსაწყო ისე კი არ აიკრიფება ცალკეული დეტალებისგან, როგორც ახლა, არამედ „გაიზრდება“ მთლიანობაში. მიკროელექტრონიკაში ასეთი სქემები უკვე მზადდება.

ლეგირება შეიძლება არა მარტო ქიმიური ელემენტების ატომების დამატებით, არამედ დისლოკაციების, ვაკანსიებისა და მიკროფორების დოზირებულად შეყვანითაც. ასეთ შემთხვევაში ვაკანსია განიხილება, როგორც „ატომი“ ნულოვანი მასით.

9. ათასწლეულების მიღმა

საუკუნეებისა და ათასწლეულების მიჯნას გადმოსცდა ადამიანის პატივისცემა იმ ოსტატებისადმი, რომლებიც მოიპოვებდნენ და ამუშავებდნენ ლითონს.

ერთ-ერთი უძველესი ლეგენდა გვამცნობს: იერუსალიმის ტაძრის მშენებლობის დამთავრების აღსანიშნავად მეფე სოლომონმა მოაწყო მიღება, რომელზეც მიწვეული იყო იმ გრანდიოზულ მშენებლობაში მონაწილე ყველა ოსტატი. სტუმრები უკვე მიპატიუებისთვის ემზადებოდნენ, როდესაც მეფემ მოულოდნელად იკითხა:

- აბა, ვინ არის მშენებლებიდან ყველაზე მთავარი? ვინ გააკეთა ყველაზე მეტი ამ საოცარი ტაძრის შექმნისათვის?

- ცხადია, ტაძარი ჩვენი შრომის შედეგია და არ შეიძლება აქ ორი აზრი არსებობდეს. . . შეხედეთ, როგორი მტკიცეა კედლები, თაღი, კამარა. საუკუნეებს გაუძლებს იგი მეფე სოლომონის სადიდებლად.

- საკამათო არ არის, რომ ტაძრის საფუძველი ქვისაა, - ჩაერთო ხურო, - მაგრამ თვითონ განსაჯეთ, ძვირფასო სტუმრებო, როგორი იქნებოდა ეს ტაძარი, თუ მე და ჩემი ამხანაგები ოფლს არ დავღვრიდით. გესიამოვნებოდათ შიშველი კედლების მზერა, რომ არ გამოგვეყვანა ისინი წითელი ხითა და ლივანის კედარით? როგორ გვახარებს საუკეთესო ჯიშის ბზის პარკეტი! ჩვენ, ხუროებმა, სამართლიანად შეიძლება ჩავთვალოთ ჩვენი თავი ამ ნამდვილად ზღაპრული სასახლის შემქმნელებად.

- ძირში ჩაიხედე, - შეაწყვეტინა მას მიწის მთხრელმა - მსურდა მცოდნოდა, როგორ ააგებდნენ ეს მკვეხარები ტაძარს, ჩვენ რომ არ ამოგვეთხარა ქვაბული მისი საფუძვლისათვის. მაშინ კედლები თავისი გამოყვანილობით მიმოიბნეოდა ქარის პირველი დაბერვისთანავე ისევე, როგორც მუყაოს პატარა სახლი.

მეფე სოლომონი ტყუილად არ იწოდებოდა ბრძენად. მან თავისთნ მო-
ისმო კალატოზი და ჰკითხა:

- ვინ გააკეთა შენი იარაღები?
- რა თქმა უნდა, მჭედელმა, - უპასუხა გაკვირვებულმა კალატოზმა.
- შენი? – მიმართა მეფემ ხუროს.
- ვინ, თუ არა მჭედელმა, - დაუფიქრებლად უპასუხა მან.
- შენი ნიჩაბი და წერაქვი? – დაინტერესდა სოლომონი მიწის მოხრელის
აზრით.

- შენ თვითონ იცი, მეფევ, რომ მათი გაკეთება მხოლოდ მჭედელს შეეძ-
ლო, - იყო პასუხი.

მაშინ მეფე სოლომონი ადგა, მივიდა კუთხეში მორიდებულად მდგარ მა-
მაკაცთან და შუა დარბაზში გამოიყვანა. იგი მჭედელი იყო.

- აი, ვინ არის ტაძრის მთავარი მშენებელი, - წამოიძახა ბრძენთა ბრძენ-
მა მეფემ. ამ სიტყვებით მან მჭედელი გვერდით დაისვა ფარჩის ბალიშზე და
ღვინით სავე თასი მიართვა.

ასეთია ლეგენდა, რომელიც რამოდენიმე ათასწლეულს ითვლის. ძნელია
გადმოცემული ამბის სისწორეზე მსჯელობა, მაგრამ ჭეშმარიტება ერთია: ლე-
გენდაში არეკვლილია ძველთაძველი დროიდანვე უდიდესი პატივისცემა იმ ოს-
ტატების მიმართ, რომლებიც ფლობდნენ ლითონის დამუშავების ხელოვნებას და
აიძულებდნენ მას ხალხის სამსახურში ჩამდგარიყო.

წარჩინებული საზოგადოების მხრიდან ასეთი პატივისცემა არც არის გა-
საკვირი, რადგან ლითონის მიღებისა და დამუშავების ხელოვნება ზოგჯერ ისე-
თი ძალით გამობრწყინდებოდა ხოლმე, რომ თანამედროვე მეცნიერებიც კი გან-
ცვიფრებაში მოჰყავს, ხოლო ხელოვნების საიდუმლოება დღემდე ბურუსით მო-
ცული რჩება. სამწუხაროდ, ტექნოლოგიის ასეთი გონებამახვილური მიგნება ზო-
გიერთი ოსტატისათვის ტრაგედიით მთავრდებოდა.

ერთხელ კარის ოსტატმა რომის იმპერატორ ტიბერიუსს ლითონისაგან
დამზადებული გვირგვინი მიართვა. გარეგნულად იგი ვერცხლს წააგავდა, მაგ-
რამ საკმაოდ მსუბუქი იყო. მეფეს შემთხვევით გვირგვინი იატაკზე დაუვარდა და
საგრძნობლად გაიღუნა.

- საიდან მოიპოვე ეს ლითონი? – შეეკითხა იმპერატორი.
- თიხიდან, - უპასუხა ოსტატმა.

იმპერატორმა ოსტატს თავი მოჰკვეთა, ხოლო მისი სახელოსნო დაანგრე-

ვინა, რადგან შეეშინდა, ახალ ლითონს არ გაეუფასურებინა მისი ვერცხლის საგანძური. იმპერატორის გვირგვინი ალუმინისგან იყო დამზადებული.

ძველბერძნული მოაზროვნე პლატონი, 2300 წლის წინ ატლანტიდის აღწერისას აღნიშნავს, რომ ამ ლეგენდარული ქვეყნის მცხოვრებნი ოქროსა და ვერცხლის გარდა, იცნობდნენ რაღაც ძვირფას ლითონს. იგი იყო მსუბუქი, თეთრი და რბილი. ხომ წააგავს ალუმინს? რა თქმა უნდა, მაგრამ თუ ეს მართლა ალუმინი იყო, როგორ შეძლეს მისი მიღება ასეთი დიდი ხნის წინ? ალუმინის სამრეწველო მასშტაბით წარმოება ელექტროლიზის გარეშე დღეს შეუძლებელია, იმ დროს კი ადამიანი ელექტრულ მოვლენებს მხოლოდ ელვის სახით თუ აღიქვამდა. იქნებ ასეთ შორეულ წარსულში ოსტატები ფლობდნენ ალუმინის მიღების სხვა ხერხს, მაგრამ, სამწუხაროდ, უკვე საუკუნეებში დაკარგულს.

სუფთა ალუმინის გრანულები გერმანელმა ქიმიკოსმა, ფრიდრიხ ვიოლერმა პირველმა მიიღო 1845 წელს. გრანულების ზომა ქინძისთავის ბურთულის რიგისა იყო. ასეული წლების წინ ალუმინი მეტად ძვირფას ლითონად ითვლებოდა და ოქროზე უმნიშვნელოდ ნაკლებად ფასობდა, ისე ძნელი იყო მისი მიღება. დაახლოებით ნახევარი საუკუნის წინ გახდა შესაძლებელი მისი წარმოება ხელმისაწვდომი რაოდენობით და ისიც საკმაოდ რთული ხერხით.

ჩინეთში ერთ-ერთი უძველესი ყორღანის გათხრისას არქეოლოგებმა აღმოაჩინეს ცნობილი მხედართმთავრის, ჩუაუ-ჩუუს სამარხი, რომელიც 1700 წლის წინ ცხოვრობდა. სამარხის ორნამენტი შესრულებულია უცნობი შენადნობისაგან. ანალიზმა უჩვენა, რომ იგი შეიცავდა 85% ალუმინს, 10% სპილენძს, 5% მაგნიუმს. არქეოლოგებისათვის ეს ყველაზე დაუჯერებელი აღმოჩნდა. ასეთი მონაპოვარი ხომ ტექნიკის ისტორიისათვის მნიშვნელოვანი მოვლენა იყო.

ლეგენდებმა უძველესი ოსტატების არაერთი ასეთი საიდუმლო შემოგვინახა. აი, მაგალითად, ავიდოთ პლატინა. მისი პრაქტიკული გამოყენებით მხოლოდ XIX საუკუნეში დაინტერესდნენ. პლატინის გადადნობისათვის საჭიროა საკმაოდ მაღალი ტემპერატურა – 1774°C, ხოლო როგორ მიეღწიათ ასეთი ტემპერატურისათვის, არ იცოდნენ. თუმცა ამერიკის უძველესი ბინადარნი, აცტეკები, ჯერ კიდევ კოლუმბამდე ფლობდნენ ამ ლითონისაგან ნაკეთობის დამზადების საიდუმლოებას: სახელმწიფოს უკანასკნელმა მბრძანებელმა, მონტესუმამ ესპანეთის მეფეს საჩუქრად გაუგზავნა პლატინისაგან დამზადებული ულამაზესი სარკეები. როგორ შეძლეს უძველესმა მეტალურგებმა ამ ძნელდნობადი ლითონის დამუშავება, დღემდე საიდუმლოდ რჩება.

შემორჩენილია აგრეთვე უძველესი ოსტატების კიდევ ერთი გამოცანა –

ცნობილი რკინის სვეტი დელში, რომელიც განთქმულია ლითონის სისუფთავით. იგი არ იჟანგება ინდოეთის ტენიან და ტროპიკულ კლიმატში და დგას მრავალი ასწლეულების განმავლობაში. სვეტი იწონის 6,5 ტონას. მისი სიმაღლეა 7,3 მ, დიამეტრი ფუძესთან – 41,6 სმ, წვეროსთან – 29,5 სმ. დამზადებულია თითქმის სუფთა რკინისაგან (99,720%) და შეიცავს ნახშირბადის, გოგირდისა და ფოსფორის უმნიშვნელო მინარევებს. სწორედ ასეთი სისუფთავით აიხსნება სვეტის ხანმდეგობა და ანტიკოროზიულობა. იგი აღმართულია 415 წელს მეფე ჩანდრაგუპტ II-ის პატივსაცემად. სვეტის თავდაპირველი ადგილსამყოფელი იყო ქვეყნის აღმოსავლეთით. 1050 წელს მეფე ანანგ პოლის ბრძანებით გადმოტანილია დელში.

მეცნიერები დღემდე საგონებელში არიან ჩავარდნილნი. როგორ შექმნეს სვეტი-საოცრება ასეთი სუფთა ლითონისაგან თხუთმეტი საუკუნის წინ, რომლის წინაშეც დრო უძლურია? ჩვენი შორეული წინაპრები იმ დროს ხომ ჯერ კიდევ არ იცნობდნენ კოროზიისაგან ლითონის დაცვის ხერხებს. მართალია, დღეს რკინას უფრო მაღალი სისუფთავით დებულობენ, მაგრამ როგორი ძალისხმევითა და დანახარჯების ფასად, როგორი რთული ტექნოლოგიების გამოყენებით! საინტერესოა, რა გზით აღწევდნენ უძველესი ოსტატები ასეთი განსაკუთრებული შედეგების მიღებას იმ დროისათვის ცნობილი ასეთი მწირი ტექნიკით? ამ კითხვებზე პასუხის გაცემას ცდილობენ არქეოლოგები და ლითონმცოდნეები, ისტორიკოსები, ტექნოლოგები და მეტალურგები. ალბათ მართლები არიან ის მეცნიერები, რომლებიც ამ ფაქტს ხსნიან ძველი ინდოელი მეტალურგების მაღალი ხელოვნებით.

და კიდევ ერთი მეტალურგიული საიდუმლოების შესახებ.

ვალტერ სკოტი რომანში „თალისმანი“ გვიამბობს ეგვიპტის სულთანის, სალადინისა და ინგლისის მეფის, რიჩარდ I ლომგულის პაექრობის შესახებ. მეფემ ხმლის ერთი მოქნევით გააპო ერთ-ერთი რაინდის შუბი, რითაც ყველას დანახა ფოლადის დიდი სიმტკიცე და დარტყმის შემზარავი ძალა. პასუხად სალადინმა ჰაერში ააგდო თხელი გადასაფარებელი და თავისი ხმლით ორად გაკვეთა იგი. ეს იყო ხმლის ბასრი პირისა და მებრძოლის სისხარტის ბრწყინვალე დასაბუთება. სულთანის ხმალი დამზადებული იყო ბულატისაგან. ეს არის ერთი იმ ლეგენდებიდან, რომელიც გვიამბობს ბულატის გასაოცარ თვისებებზე.

ბულატის დაბადება წლების ბურუსით არის შენიღბული. არსებობს ცნობები, რომ ჯერ კიდევ 1300 წლის წინ ჩვენს ერამდე მას უკვე ამუშავებდნენ ინდოეთში, სპარსეთში, სირიასა და ეგვიპტეში. ფოლადის ჭედვის საიდუმლოებას ფლობდა იაპონიაც – ეს არის ცნობილი სამურაის ხმლები.

ბულატი არის სახელგანთქმული ფოლადი, რომლის შესახებაც ბევრ ჩვენგანს აქვს გაგონილი, მათ შორის არამეტალურგებსაც. პირველმა ცნობებმა ბულატის შესახებ ჩვენამდე მოაღწია ალექსანდრე მაკედონელის ინდოეთში ლაშქრობის მონაწილეთაგან – 2300 წლის წინათ. მათი გადმოცემით, ინდუსების ხმლით შეიძლებოდა როგორც ქვის გაპობა, ისე მსუბუქი აბრეშუმის ნაჭრის გაკვეთაც.

ღიას, ინდოეთი იყო ბულატის სამშობლო. აქედან აღმოსავლეთის სახელმწიფოებში შეჰქონდათ ბულატის ფოლადი, რომელსაც ბრტყელი კვერის ფორმა ჰქონდა დიამეტრით დაახლოებით 12,5 სმ და სისქით 0,25 სმ, წონით დაახლოებით 900 გრამი. ყოველი ასეთი კვერი შუაზე იყოფოდა, რათა მყიდველს შესაძლებლობა ჰქონოდა დაეთვალიერებინა ლითონის აგებულება.

ინდოელი ოსტატები მრავალი საუკუნის მანძილზე ფლობდნენ ფოლადის დამუშავების ხელოვნებას. ხმლებს ამზადებდნენ სხვადასხვა შეფერილობით: მწვანეს, ლურჯს, თეთრს, წითელს ზედაპირზე ნაყმისებრი მოხატულობით. ლითონზე ნაყმი და მოხატულობა იყო ბულატის ფოლადისაგან დამზადებული ნაკეთობის ყველაზე მთავარი გარეგნული განმასხვავებელი ნიშანი. ნაყმი შეიძლება ყოფილიყო მსხვილი ან წვრილი.

აღმოსავლელი ოსტატები გულდასმით ინახავდნენ ბულატის წარმოების საიდუმლოებას და თაობიდან თაობას გადასცემდნენ. დამზადების რეცეპტი უმკაცრესად იყო გასაიდუმლოებული. საიდუმლოს გათქმისათვის მკაცრი სასჯელი იყო დადგენილი.

ბულატის დამზადების რამოდენიმე ცნობილი ცენტრი არსებობდა. განსაკუთრებით განთქმული იყო სირიის ქალაქი დამასკო. იქ ჯერ კიდევ 1800 წლის წინ არსებობდა ფოლადის წარმოების პირველი მსხვილი სახელოსნო. „დამასკური ფოლადი“ მოგვიანებით ბულატის ფოლადის კრებით ცნებად გადაიქცა, რომელიც სხვადასხვა ქვეყანაში მზადდებოდა.

ბულატისაგან დამზადებული ნაკეთობა ყველა დროში საკმაოდ ძვირად ფასობდა. მაგალითად, ხმალი, რომელზეც გამოხატული იყო ცხოველები ან ხე, სპილოს ფასად იყიდებოდა, ხოლო თუ მასზე გამოსახული იქნებოდა ადამიანის ფიგურა, ფასი მნიშვნელოვნად იზრდებოდა. XIX საუკუნის დასაწყისში ერთ-ერთმა ეპირმა ბულატის ხმალი არ დათმო 900 ფუნტი სტერლინგის (9000 მანეთი ოქროთი) ფასადაც კი.

ევროპელებმა ბულატი გაიცნეს რომის იმპერიის ეპოქაში – დაახლოებით 2000 წლის წინ. III საუკუნიდან დამასკური ხმლების ჭედვის ხერხი გავრცელდა

დასავლეთ ევროპაში, თუმცა 700 წლის შემდეგ დამუშავების საიდუმლოება დაიკარგა.

საინტერესოა, როგორ შეძლეს შუა საუკუნეებში მცხოვრებმა ადამიანებმა თანამედროვე ტექნოლოგიისა და მალეგირებელი ელემენტების* დამატების გარეშე ასეთი გასაოცარი უჟანგავი და არაჩვეულებრივად მტკიცე ფოლადის მიღება? თუ დამასკური ფოლადის წარმოება ოდესღაც იყო ათვისებული, რატომ დაივიწყეს იგი ადამიანებმა? აკადემიკოსმა ვერეშჩაგინმა ამ კითხვას ასე უპასუხა: „ის, რაც შემთხვევით არის მიგნებული ექსპერიმენტის გზით და ჯერ კიდევ არ არის გააზრებული და გაგებული ადამიანების მიერ, იგი მათ სანახევროდ ეკუთვნის.“

ზოგიერთი მკვლევარის აზრით, მადანი, რომელისგანაც დამასკოს ფოლადს ადნობდნენ, ვოლფრამს შეიცავდა. უძველესმა ოსტატებმა სწორედ იმის წყალობით შეძლეს ბულატისათვის დამახასიათებელი საუცხოო თვისებების მქონე ფოლადის მიღება, რომ მასალად ბუნებრივად ლეგირებულ რკინას იყენებდნენ. უნდა ვივარაუდოთ, რომ ამავე მიზეზით ვერ ღებულობდნენ სხვა მეტალურგიულ ცენტრებში მსგავსი თვისებების მქონე ლითონს – საიდუმლოება ხომ ადგილობრივი რკინის მადნის შედგენილობაში იყო დამალული. ბულატის ფოლადის წარმოების შეწყვეტა დაკავშირებული უნდა იყოს ბუნებრივად ლეგირებული მადნის მარაგის ამოწურვასთან. სხვათა აზრით კი ბულატმა თავისი მნიშვნელობა დაკარგა ცეცხლსასროლი იარაღის გამოჩენის შემდეგ და მისი დამზადების საიდუმლოებაც გაქრა.

თუ დავვერდნობით გამოჩენილი რუსი მეტალურგის, პ. ანოსოვის კვლევის შედეგებს, ბულატის ფოლადი შედგება რკინისა და რკინის კარბიდისაგან. იგი მეტად სუფთა ნახშირბადიანი ფოლადია, რომელიც უნიკალურ თვისებებს განსაკუთრებული რეჟიმით დამუშავების პირობებში ჭედვით ღებულობს.

ბულატის ბურუსით მოცულ საიდუმლოებას კიდევ უფრო მეტი სიცხადე შემატა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის (ამჟამად ფ. თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის) ინსტიტუტის თანამშრომელთა გამოკვლევებმა. აღმოჩნდა, რომ ბულატის სპეციფიკური თვისებები ჩამოსხმისა და ჭედვის განსაკუთრებული მეთოდების გამოყენებით მიიღება. პირველი საფეხური

*მალეგირებელი ელემენტი – ქიმიური ელემენტი, რომელიც საგანგებოდ შეჰყავთ ძირითად ლითონში ამა თუ იმ განსაკუთრებული (მაგალითად, უჟანგავი) თვისების მისანიჭებლად. ასეთ ფოლადს ლეგირებულს უწოდებენ.

ითვალისწინებს ნამზადის მიღებას ტიველში გამდნარი ლითონის ჩამოსხმით გაცივების განსაკუთრებული რეჟიმის დაცვით, ხოლო მეორე ეტაპზე მიმდინარეობს ნახევარფაბრიკატის მაქსიმალური დეფორმაციული დატვირთვის პირობებში სხვადასხვა დახრით ჭედვის პროცესი. შემოთავაზებული ტექნოლოგიით დამზადებულმა ნიმუშებმა თავისი ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლებით ისტორიულ ბულატთან სრული თანხვედრა გამოამჟღავნა, რაც იმის მაუწყებელია, რომ ბულატის დამზადების საიდუმლოება წარმატებით ამოიხსნა.

ზოგიერთი წყაროს თანახმად, ცნობილ დამასკოს ფოლადში, რომლისგანაც დამზადებული ხმლები კარაქივით ჭრიდნენ მტრის ხმლებსა და მუხარადს, დღევანდელმა მეცნიერებმა ცემენტიტით (Fe_3C) გავსებული ნახშირბადის ნაწილობრივი მილაკების მილაკები აღმოაჩინეს.

10. რკინა

რადგან რკინა ცივილიზაციის ერთ-ერთ საფუძველს წარმოადგენს, ჩვენს საუბარს ტექნიკური ლითონების შესახებ სწორედ ამ ელემენტით დავიწყოთ.

უძველესი ეგვიპტელები რკინას „ვააეპრე“-ს (ზოგიერთი წყაროს თანახმად, „ბინიპეტ“-ს) უწოდებდნენ, რაც თარგმანში ციურ წარმოშობილს, ციურ ლითონს ნიშნავს; მესოპოტამიელები - „ან-ბარს“ (ცის რკინა), ანტიკური საბერძნეთისა და ჩრდილო კავკასიის მაცხოვრებლები - ვარსკვლავან ლითონს. ეს ადასტურებს იმ მოსაზრებას, რომ ადამიანი პირველად მეტეორიტულ რკინას გაეცნო.

რკინის მიღების ტექნოლოგია ბევრად უფრო გვიან შემუშავდა, რადგან ჭირდა საჭირო ტემპერატურის მიღწევა. იყო დრო, როდესაც რკინა ოქროზე ძვირად ფასობდა. მაგალითად, ძველეგვიპტელი გეოგრაფისა და ისტორიკოსის, სტრაბონის ცნობით, აფრიკის ზოგიერთი ხალხი რკინაში წონით ათჯერ მეტ ოქროს იძლეოდა. ჰომეროსის ნაწარმოებში „ოდისეა“ მოთხრობილია, რომ თამაშებში გამარჯვებულებს ოქროსა და რკინის ნატეხებით ასაჩუქრებდნენ. რკინის მეტისმეტად მაღალ ღირებულებას ადასტურებს აგრეთვე სკანდინავიის სამარხებში ნაპოვნი ხმალი. იგი მთლიანად ბრინჯაოსგან იყო დამზადებული, ხოლო მჭრელი პირი - რკინისგან.

კაცობრიობის ისტორიაში რკინის მნიშვნელობის შესახებ კარგად ესმოდათ ძველთა-ძველადაც. რომაელი სწავლული, პლინიუს უფროსი (I საუკუნე) თავის ნაშრომში აღნიშნავდა, რომ რკინა ადამიანს აძლევს როგორც ჩინებულ, ისე უბოროტეს იარაღს. მისგან დამზადებული ხელსაწყოებით ვჭრით მიწას,

ვრგავთ ბუჩქებს, ვამუშავებთ ხილის ბაღებს, ვაზს ვაჭრით გარეულ ყლორტებს ყურძნიანად, რითაც ვაიძულებთ, რომ იგი ყოველწლიურად გაახალგაზრდადეს; ვაგებთ სახლებს, ვამტვრევთ ქვას. მაგრამ იმავე რკინით ვამზადებთ ჯავშანს, ვაწარმოებთ ბრძოლებს და ძარცვებს.

რკინის ფუძეზე დღესაც მზადდება ტექნიკაში გამოყენებული საკონსტრუქციო მასალების 90%. რკინა არის ჰიდროელექტროსადგურები და ელექტროგადამცემის საყრდენები, შენობების ჩონჩხედი და ხიდების მაქმანი, არშია. ეს არის წყლის, ნავთობისა და გაზის მილგაყვანილობა, ავტომობილი, ტრაქტორი, რკინიგზა. რკინა ინდუსტრიის გულია – ლითონდამამუშავებელი ჩარხები, რომლის გარეშეც ვერ დაამზადებ ვერც ავტომობილს, ვერც ტელევიზორსა და კოსმოსურ ხომალდს. ეს არის ბინისა და კონსერვის ქილის სახურავი, საბავშვო ეტლი, დანა, ლურსმანი თუ ნემსი. რკინა დღეს არის ტანკის ჯავშანი, ავტომატისა და თოფის ლულა, ატომური წყალქვეშა ნავი, თვითმფრინავი და რაკეტა; ჭურვი, ნაღმი, ყუმბარა და ნგრევისა და სიკვდილის იარაღი. არა მარტო ეკონომიკური, არამედ ქვეყნის სამხედრო ძლიერებაც უპირველეს ყოვლისა რკინის, ამ მთავარი მასალის გამოღობით განისაზღვრება, ანუ რკინა თანდათან გადაიქცა სახელმწიფოებრიობის სიძლიერის საზომად. სწორედ რკინის სახელი დაერქვა მთელ ეპოქას. ასეთი პატივი ყველა ლითონს არ რგებია წილად.

1958 წელს ბრიუსელში, მსოფლიო სამრეწველო გამოფენის ტერიტორიის მახლობლად, დიდებულად მაღლდებოდა უჩვეულო შენობა – ატომიუმი. ცხრა უზარმაზარი (დიამეტრით 18 მეტრი თითოეული) ლითონის სფერო თითქოს ჰაერში იყო ჩამოკიდებული. რვა მათგანი კუბის წვეროებს ქმნიდა, ხოლო ერთი დიაგონალების გადაკვეთის წერტილში იყო მოთავსებული. ალბათ მიხვდით, ეს არის რკინის კრისტალური გისოსის მოდელი, მაგრამ მისი ზომები 165 მილიარდჯერ არის გაზრდილი. ატომიუმი მრეწველობის მთავარი, მაშვერალი ლითონის – რკინის სიდიადის სიმბოლოდ, მის ძველად არის აღმართული. პარადოქსულად ჟღერს, მაგრამ ჩვენი ცივილიზაციის მსგავსად ამ ძველ, მაგრამ დღემდე ახალგაზრდა ლითონს ჯერ კიდევ არ ამოუწურია საკუთარი თავი და იგი სავსეა მოულოდნელი შესაძლებლობებით.

XIX საუკუნეში ფრანგმა მეცნიერმა მერიმ სენსაციური განცხადება გააკეთა – მან ადამიანის სისხლის შემადგენლობაში რკინა აღმოაჩინა. მედიცინაში გაუთვითცნობიერებელი ადამიანები შეძრულნი აღმოჩნდნენ მერის ამ აღმოჩენით. ვიღაცამ აზრიც კი გამოთქვა, რომ მედლები მოეჭრათ ცნობილი ადამიანების სისხლიდან მიღებული რკინისაგან მათი ხსოვნის უკვდავსაყოფად.

მედიცინის ისტორიაში ცნობილია ერთი სამწუხარო შემთხვევა. ახალგაზრდა სტუდენტმა-ქიმიკოსმა გადაწყვიტა თავისი შეყვარებულისათვის ენუქებინა საკუთარი სისხლიდან მიღებული რკინისაგან დამზადებული ბეჭედი. იგი დროდადრო იღებდა სისხლს და ქიმიური მეთოდით მისგან რკინას გამოყოფდა. ახალგაზრდა ყმაწვილი სისხლნაკლებობით გარდაიცვალა ისე, რომ ვერ მოაგროვა ბეჭდის გასაკეთებლად საჭირო რკინის რაოდენობა. საბრალოდ არც კი იცოდა, რომ ზრდასრული ადამიანის სისხლში რკინის რაოდენობა უმნიშვნელოა და საშუალოდ 3-4 გრამს შეადგენს.

რკინის ძირითადი როლი ცოცხალ ორგანიზმში სიცოცხლის აუცილებელი პროცესის განხორციელებაში – სუნთქვაში მდგომარეობს. რკინის სამი მეოთხედი შედის ჰემოგლობინის შემადგენლობაში, ხოლო ერთი მეოთხედი განაწილებულია მთელ ორგანიზმში. ჰემოგლობინი იტაცების ჰაერის ჟანგბადს და იგი გადააქვს ქსოვილში, ანუ ჩვენ რკინის წყალობით ვსუნთქავთ.

რკინა აღმოჩენილია თითქმის ყველა ცხოველის სისხლში. არანაკლებ როლს ასრულებს რკინა მცენარეულ სამყაროში. ნიადაგში რკინის ნაკლებობა იწვევს მცენარეთა რკინით შიმშილსა და სიკვდილს.

ამგვარად, არც ერთ ცოცხალ ორგანიზმს არ შეუძლია რკინის გარეშე არსებობა.

ზღვის წყალს ზოგჯერ თხევად მადანს უწოდებენ. იგი დაახლოებით 80 ელემენტს შეიცავს. ზღვაში გახსნილი რკინა სრულად რომ ამოვიღოთ, პლანეტის თითოეულ მოსახლეზე მოვა 35 ტონა. რა რაოდენობაა ეს? თვითონ განსაჯეთ: კაცობრიობის არსებობის მანძილზე დაახლოებით წარმოებულია 6 ტონა რკინა ამჟამად მცხოვრებ თითოეულ ადამიანზე გათვლით! მიუხედავად ამისა, ზღვის წყალში გახსნილი რკინის რაოდენობა მაინც უმნიშვნელოა.

ზღვის ორგანიზმების უმრავლესობა ქიმიური ელემენტების ძლიერ კონცენტრატებს წარმოადგენს. თუ ზღვის წყალი შეიცავს 5×10^{-6} -მდე რკინას, ზღვის ორგანიზმებში მისი რაოდენობა 10000-ჯერ უფრო მეტია. რაში მდგომარეობს ზღვის ორგანიზმების საკვირველი საიდუმლოება - „ამოიღონ“ წყლიდან სხვადასხვა ნივთიერება, მეცნიერებისათვის ჯერ-ჯერობით უცნობია.

რაც არ უნდა მდიდარი იყოს მინერალური რესურსებით ზღვის წყალი, ინჟინრებისა და მეცნიერთა ყურადღება ოკეანის ფსკერზეა მიპყრობილი, რომლის ფართობი მილიონობით კვადრატულ კილომეტრს ითვლის. იგი მთლიანად დაფარულია რკინა-მანგანუმიანი მინერალური წარმონაქმნებით მცირე ზომის ბურთულებისა და კვერების სახით. ისინი რკინას შეიცავენ 15%-მდე, ხოლო მან-

განუმს – 20%-მდე. მინერალების კონცენტრაციის ცენტრს ნიჟარები, ძვლები და სხვა ნარჩენები წარმოადგენს. ასე მაგალითად, ინდოეთის ოკეანეში კონცენტრაციის ცენტრში ნაპოვნია დიდი ხნის წინ გადაშენებული გიგანტური ზვიგენის კბილი.

მადნის წარმოქმნაზე წყლის გავლენის შესახებ მეტყველებს საინტერესო ექსპონატი, რომელიც ამოღებულია ქერჩის რკინის მადნის საბადოდან. ეს არის სელაპის ძვალი. მასზე მკვეთრად ჩანს ის ბორცვებიც კი, რომლებზეც კუნთები იყო მიმაგრებული. ძვალი იდეალურად არის შემონახული, მაგრამ ადგილი აქვს ერთ საოცრებას: იგი მთლიანად რკინის მადნისგან შედგება. „რას ნიშნავს ეს? – კითხულობს პროფესორი, - ზღვის წყალში რკინის მადნის დაგროვების დროს (ეს კი მილიონი წლების წინ იყო) სელაპები რკინის ძვლებით დაცურავდნენ? არა, უბრალოდ წყალმა გახსნა და გამოიტანა ძვლებიდან მარილები და ისინი რკინის ქანგით შეცვალა“.

დედამიწის ქერქი თექვსმეტი კილომეტრის სიღრმეზე რკინას 4,5% შეიცავს, რაც დაახლოებით 755 მილიარდ ტონას შეადგენს. შემდგომ ფენაში, რომელიც დედამიწის ქერქის ქვეშ მდებარეობს, რკინის შემცველობა სამჯერ მეტია (13,5%), ხოლო ცენტრი, გეოფიზიკოსების ვარაუდით, შედგება რკინის მსგავსი (ნიკელი, კობალტი) ლითონების ნარევისაგან. დედამიწა საშუალოდ შეიცავს 39,76% რკინას. ამგვარად, რკინა წარმოადგენს ჩვენი პლანეტის უმთავრეს შემადგენელ ნაწილს.

მეტეორიტი, კოსმოსური ნივთიერების ეს ერთადერთი ნიმუში დედამიწაზე, შედგება 91% რკინის, 8,5%-მდე ნიკელისა და მცირე რაოდენობის სხვა ელემენტებისაგან. განსხვავებული კლასის (რკინა-ქვისა და ქვის) მეტეორიტებში რკინის შემცველობა 1-50%-ის ზღვრებში იცვლება. მეტეორიტი არის „ციური საჩუქარი“, მეცნიერული კვლევის უპირფასესი ობიექტი. ინფორმაცია, რომელსაც იძლევა მეტეორიტის კვლევა, აუცილებელი აღმოჩნდა ასტრონომების, გეოლოგების, ფიზიკოსების, ლითონმცოდნეებისა და კონსტრუქტორებისათვის კოსმოსური ტექნიკის შექმნის საქმეში.

ამგვარად, რკინას ბუნებაში განსაკუთრებული ადგილი უკავია. არა მარტო მიწის ქერქი, არამედ მზისა და ვარსკვლავების ატმოსფერო რკინასა და მცირე რაოდენობით მსუბუქ ელემენტებს შეიცავს. მეტეორიტის შედგენილობა ადასტურებს მატერიალური სამყაროს ერთიანობას.

სუფთა რკინის ტექნიკური თვისებები უცნობია, რადგან დღემდე არ არის იგი მიღებული ლაბორატორიულ პირობებშიც კი. საკვირველი ფაქტია! ყოველ-

წლიურად მსოფლიოში აწარმოებენ მილიონობით ტონა შავ ლითონებს, მაგრამ თურმე სუფთა რკინა ადამიანს ჯერ არ უნახავს.

ოქროსა და პლატინის გარდა, მართალია, მეტად იშვიათად, მაგრამ მაინც გვხვდება თვითნაბადი რკინაც, რაზეც არაერთ წყაროშია მითითებული. მეტეორიტული რკინისაგან განსხვავებით, რომელიც ყოველთვის შეიცავს ნიკელის გაზრდილ რაოდენობას, თვითნაბადი რკინის შედგენილობაში ნიკელი მხოლოდ 2%-მდე შედის, კობალტი – 0,3%, სპილენძი – 0,4%-ის ფარგლებში და 0,1%-მდე პლატინა. იგი ჩვეულებრივ, მეტად ღარიბია ნახშირბადით.

უკანასკნელ წლებში შემუშავებულია რკინის გასუფთავების არაერთი ეფექტური მეთოდი. ეს საკმაოდ რთული ტექნოლოგიური პროცესებია, რომლებიც უზრუნველყოფენ რკინის მიღებას მინარევების შემცველობით 0,009%, მაგრამ ეს მაინც არ არის სუფთა რკინა. ყველაზე სუფთა რკინა, რომელსაც კარბონილურს უწოდებენ, შეიცავს 0,00016% სხვადასხვა მინარევს.

11. რკინის შენადნობები

ჩვენთვის უკვე ცნობილია, რომ სუფთა რკინა იმდენად რბილია, რომ მისგან შეუძლებელია არა მარტო მანქანათა ნაწილების, მექანიზმების, ხიდებისა და ნაგებობის ჩონჩხედების, არამედ მტკიცე ცულის ან თუნდაც დანის დამზადებაც კი. სხვათა შორის, ადამიანს სუფთა ლითონები მხოლოდ უკანასკნელ პერიოდში დასჭირდა, ლითონური ნაკეთობის უმრავლესობას კი იგი შენადნობებისგან ამზადებდა. ბრინჯაოც, ფოლადიცა და თუჯიც ხომ შენადნობებია.

რკინა საკონსტრუქციო მასალად გადააქცია . . . ჭვარტლმა. დიახ, რბილ ჭვარტლს ან ხის ნახშირს ძალუძს ასევე რბილი რკინა მტკიცე თუჯად ან ფოლადად გარდაქმნას. თუმცა თანამედროვე მეტალურგიაში მრავალი მიზეზის გამო ამ მიზნით კოქსის* ნახშირბადი გამოიყენება.

ყველა სახის თუჯი და ფოლადი რკინისა და ნახშირბადის შენადნობებს მიეკუთვნება. რკინა-ნახშირბადის შენადნობები, უკიდურეს შემთხვევაში, კიდევ ოთხ ელემენტს შეიცავენ – სილიციუმს, მანგანუმს, ფოსფორსა და გოგირდს. ჩვენთვის ეს დღეს არის ცნობილი, ადამიანებმა კი ფოლადის მიღება და გამოყენება ბევრად უფრო ადრე ისწავლეს, ვიდრე მის შემადგენლობას გაეცნობოდნენ.

* კოქსი – მყარი ნახშირბადოვანი ნარჩენი, რომელიც მიიღება ბუნებრივი საწვავის (უმთავრესად ქვანახშირის) გადამუშავების შედეგად. გამოიყენება საწვავად და მადნიდან ლითონის აღსადგენად.

ეგვიპტელებისათვის ჯერ კიდევ ჩვენს ერამდე იყო ცნობილი, რომ რკინის ზოგიერთი „სახეობა“ იწრთობოდა გახურებული მდგომარეობიდან წყალში გაცივებით, ზოგიერთი კი – არა. ფოლადის ეს თვისება – იწრთოს წყალში გაცივებისას, მრავალი საუკუნის განმავლობაში წარმოადგენდა ერთადერთ განმასხვავებელ ნიშანს რკინასა და ფოლადს შორის.

XVIII საუკუნის დასაწყისში მეცნიერთა მიერ გამოთქმული იყო აზრი, რომ რკინა და ფოლადი ქიმიური თვალსაზრისით ერთმანეთისგან განსხვავდებოდნენ რაღაც მინარევების შემცველობით. მხოლოდ 1814 წელს მიუთითა გერმანელმა მკვლევარმა კარსტენმა, რომ ასეთ მინარევს ნახშირბადი წარმოადგენდა.

ძირითადი კომპონენტის, ნახშირბადის რაოდენობა ფოლადში 2%-მდეა. სწორედ იგი განსაზღვრავს ფოლადის უმთავრეს თვისებებს. კერძოდ, ნახშირბადის რაოდენობის გაზრდით სისაღისა და სიმტკიცის მახასიათებლები მატულობს, ხოლო პლასტიკურობა მცირდება. ასეთ შენადნობებს ნახშირბადიან ფოლადებს უწოდებენ განსხვავებით ლეგირებული ფოლადებისაგან, რომლებიც გარდა რკინისა და ნახშირბადისა, დამატებით შეიცავენ ერთ ან რამოდენიმე ელემენტს, რომლებიც ფოლადს ამა თუ იმ განსაკუთრებულ თვისებას ანიჭებს, მაგალითად, უჟანგაობას, ცვეთამედეგობას და ა.შ. როგორც უკვე ვიცით, ფოლადში სპეციალურად შეტანილ ელემენტს მალეგირებელი ელემენტი ეწოდება.

ფოლადისაგან მზადდება მანქანათა ნაწილების უმრავლესობა – ღერძები, კბილანები, ზამბარები, მჭრელი და მზომი იარაღები და კიდევ სხვა მრავალი.

თუჯი მინარევების უფრო მეტ რაოდენობას შეიცავს, ვიდრე ფოლადი. ნახშირბადის შემცველობა მასში 2%-ს აღემატება. ჩვეულებრივი თუჯის ტეხი რუხი შეფერილობისაა, ამიტომ მას რუხ თუჯს უწოდებენ. თუჯი ძალიან კარგად ავსებს ყალიბს, ამიტომ მისგან ასხამენ სადგარებს, ძრავის კორპუსებს და სხვა მრავალ ნაკეთობას, რომელიც შემდგომ დამუშავებას პრაქტიკულად არ მოითხოვს. თუჯის კარგი სამსხმელო თვისებები საშუალებას იძლევა მისგან დამზადდეს სხვადასხვა მხატვრული სხმული (მაგალითად, პარკის ჩუქურთმიანი ღობეები) და ყველანაირი ქანდაკება. თუჯის უმთავრესი უარყოფითი მხარეა მისი გაზრდილი სიმყიფე. თუჯი წარმოადგენს ნედლეულს ფოლადის მისაღებად.

თუჯისა და ფოლადის „ნათესაური კავშირისა“ და ფოლადის გამოყენების სფეროების შესახებ კარგად არის მხატვრულად გადმოცემული ერთ-ერთ მოკლე ზღაპარში, რომლის სათაურია „თუჯი და ფოლადი“.

„გადმოიღვარა ცეცხლის ჭავლად მხურვალე ღუმელიდან ცხელი ფოლადი, აკაშკაშდა ოქროსფერ ვარსკვლავებად, გაცივდა ძვირფას ზოდებად და გა-

ყოყოჩდა. რუხი თუჯის წინაშე ისე დაიწყო თავის ქება, რომ ის (თუჯი) კინაღამ დაიჟანგა სირცხვილისაგან.

- მე, - ამბობს ფოლადი, - უჟანგავი ვარ, ეშმაკურად შედუღებული! აღმასივით მაგარი, გველივით მოქნილი. ვიწრობი – არ ავიხლიჩები. ხეხვა, ბურღვა, ჭრა – ყველაფერი შემძლია; ყველაფრისთვის გამოვდგები! გინდა ბულატად ვიქცევი, გინდა – ნემსად. ხიდად გავიდები. ლიანდაგად დავიგები. მანქანად ავმუშავებ. ზამბარად დავიხვევი. შენ კი რა, თუჯო? ტაფისთვის და უთოსთვის ხარ მხოლოდ ვარგისი. კიდევ მეორე ხარისხოვანი სადგარისათვის და საფქვავის კბილანებად თუ გამოვდგები! არც ჭედადი ხარ, არც სხარტი, მყიფე ხარ, როგორც ყინული. არა ხარ მოღური ლითონი.

ასე ლაპარაკობდა ფოლადი და მთელ საამქროში საკუთარ თავს ადიდებდა. იგი კიდევ გაფრინდება, კიდევ გაცურდება და კიდევ რად არ გადაიქცევა . . . საწერი კალამიც არ დავიწყებია. საათის ისარიც არ გამოუტოვებია. ყველაფერი გაიხსენა. იმდენი ილაპარაკა თავის თავზე, რომ შვიდ ყუთში ვერ ჩაეტეოდა. თუმცა ზედმეტი არაფერი არ მიუმატებია. მისი ფოლადის წკრიალში ყველაფერი სიმართლე იყო.

მართალია, თუჯი შორს დგას ფოლადისაგან, მაგრამ მას ერთი რამ არ უნდა დავიწყებოდა: თუჯს ფოლადი ღვიძლ ქალიშვილად ეკუთვნის, რომ ფოლადი თავის სიცოცხლეს თუჯს უნდა უმადლოდეს. ხოლო დანარჩენი, რა თქმა უნდა, მართალია, მხედველობაში თუ არ მივიღებთ სინდისს“.

ღიას, თუჯი ფოლადის „დედაა“, მისგან არის გამოდნობილი. „თუჯი შორს დგას ფოლადისაგან“, ამბობს ავტორი, მაგრამ ჩვენს ეპოქაში ასეთი მტკიცებულებები ზოგჯერ არ შეესაბამება სინამდვილეს.

ჩვეულებრივი თუჯის დაბალი სიმტკიცე და გაზრდილი სიმყიფე აიხსნება მასში თავისუფალი ნახშირბადის, ანუ გრაფიტის მსხვილი, ფირფიტოვანი ჩანართების არსებობით. ყველა ცდამ, შეეცვალათ გრაფიტის ჩანართების ზომები და თანაბრად გაენაწილებინათ ლითონის მთელ მოცულობაში, შედეგი არ გამოიღო მანამ, სანამ თუჯს არ დაუმატეს რკინისა და სილიციუმის შენადნობი, რომელსაც ფეროსილიციუმს უწოდებენ. ამან განაპირობა გრაფიტის ენერგიული დაწვრილმანება, რამაც თუჯის სიმტკიცე დაბალი ხარისხის ნახშირბადიანი ფოლადის სიმტკიცეს მიუახლოვა. თუმცა სიმყიფის მახასიათებლები იგივე დონეზე რჩებოდა.

ძიება გრძელდებოდა. ფეროსილიციუმის ნაცვლად თხევად ლითონს მაგნიუმი დაუმატეს. მაგნიუმის აალების გამო ლითონი ჩქეფდა, თუხთუხებდა,

ციცხვში მკვეთრად მატულობდა ტემპერატურა. როდესაც გაცივებულ ლითონს ანალიზი ჩაუტარეს აღმოჩნდა, რომ მაგნიუმის ზეგავლენით გრაფიტის ჩანართებმა სფეროიდული ფორმა მიიღო. ახალი თუჯი უფრო მტკიცე აღმოჩნდა, შემცირდა სიმყიფე და თვისებებით არაფრით ჩამოუვარდებოდა მაღალი ხარისხის ნახშირბადიან ფოლადს. ასეთ თუჯს მაღალი სიმტკიცის თუჯი უწოდეს. აღნიშნული თუჯისგან დღეს ათი ათასობით ტონა სხვადასხვა ნაკეთობას ასხამენ, რომელთა მდგრადობა გაზრდილია 1,5-3-ჯერ. ამჟამად შემუშავებულია თუჯის ისეთი მარკები, რომლებიც წარმატებით გამოიყენება მაღალ ტემპერატურაზე, სპეციალური ქიმიური აპარატურის წარმოებაში, საპასუხისმგებლო მანქანათა ნაწილების დასამზადებლად. ამასთან, შენარჩუნებულია თუჯის ერთ-ერთი ყველაზე ძვირფასი უპირატესობა ფოლადთან შედარებით – კარგი სამსხმელო თვისებები, ამიტომ სხმულის წარმოება ფოლადთან შედარებით უფრო მარტივია და იაფი ჯდება. ამგვარად, ახალი მარკის თუჯებს ჭეშმარიტად შეუძლიათ ფოლადთან კამათი. უფრო მეტიც, ზოგიერთი კვანძის დასამზადებლად თუჯი შეიძლება ერთადერთი, შეუცვლელი მასალაც კი აღმოჩნდეს. აი მაგალითი:

გასული საუკუნის სამოციანი წლების დასაწყისი საბჭოთა კოსმონავტიკის დიდი წარმატებებით აღინიშნა. ლენინგრადის (ამჟამად სანკტ-პეტერბურგის) სამხედრო მექანიკური ინსტიტუტის ერთ-ერთ ლაბორატორიას, რომელსაც გამოჩენილი რუსი მეცნიერი, სტალინური პრემიის ლაურეატი, პროფესორი სიმონ ბარანივი ხელმძღვანელობდა, მიღებული ჰქონდა სახელმწიფო შეკვეთა – უნდა დაემზადებინა კბილანები კოსმოსური აპარატის ბორტს გარეთ დამონტაჟებული სპეციალური გადაცემისათვის, რომელიც კოსმოსურ პირობებში ლოკაციური და ენერგომომარაგების სისტემების ორიენტაციის შეცვლას მოემსახურებოდა.

კოსმოსში კბილანებს მოკლე დროის განმავლობაში უნდა ემუშავა – 15-20 წამი, მაგრამ მაღალი ბრუნვებისა და დიდი დატვირთვის პირობებში. პრობლემა საკმაოდ რთული იყო, რადგან ზემოაღნიშნულ ვაკუუმში დეტალები შეპოხვას არ ექვემდებარება და მბრუნავი მოხახუნე ზედაპირები სწრაფად გამოდის მწყობრიდან.

ლაბორატორიაში უკვე გამოცდილი ჰქონდათ მრავალი მასალა, მათ შორის სხვადასხვა კლასის ფოლადი, ძნელდნობადი ლითონები და მათი შენადნობები, მაგრამ შედეგი სავალალო იყო – კვანძი წამებში გამოდიოდა მწყობრიდან. ვადა კი იწურებოდა.

კოსმოსური აპარატურის შემქმნელები ამ მძიმე სიტუაციიდან გამოიყვანა საქართველოში ლითონმცოდნეობის სკოლის ფუძემდებლის, აკადემიკოს ფერდი-

ნანდ თავადის ხელმძღვანელობით ჯერ კიდევ ათი წლის წინ ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორის, პროფესორ ჯ. ხანთაძის მიერ შემუშავებულმა მაგნიუმით მოდიფიცირებულმა თუჯმა გრაფიტის მომრგვალებული ჩანართებით. ს. ბარანოვის ლაბორატორიაში ამ თუჯისგან დამზადებულმა კბილანებმა ტექნიკურ მოთხოვნათა ყველა პარამეტრს დიდი გადაჭარბებით გაუძლო.

- რა ჩამოგვიტანეთ? – ერთხმად შეეკითხნენ დაბნეული კონსტრუქტორები საქართველოს წარმომადგენელს, ახალგაზრდა მკვლევარს, ჯ. ხანთაძეს.

- თუჯი, მხოლოდ არა ჩვეულებრივი, არამედ ქართული, სპეციალური, თავადისეული, - იყო ამომწურავი პასუხი.

XIX საუკუნეში, როდესაც გამოიკვეთა ლითონის გამოყენების ახალი სფეროები – რკინიგზა და მანქანათმშენებლობა, აუცილებელი გახდა ლითონის ხარისხზე უფრო ზუსტი წარმოდგენების ჩამოყალიბება. XIX საუკუნის დასასრულს ცნობილი იყო ფოლადის მხოლოდ რამოდენიმე მარკა. მაგალითად, 1900 წელს ორთქლმავლის ასაგებად, რომელიც იმ დროისათვის მეტ-ნაკლებად რთულ მანქანას წარმოადგენდა, ინჟინრების ხელთ იყო ფოლადისა და ფერადი ლითონების მხოლოდ ათი მარკა, თანამედროვე ავტომობილის დასამზადებლად კი გამოიყენება ასამდე, ხოლო თვითმფრინავმშენებლობაში – სამასამდე ფოლადისა და სხვა შენადნობების მარკები. ამჟამად შექმნილია 8000-მდე შენადნობი, რომელთა სხვადასხვა ხერხით დამუშავება თვისებების შეცვლის მიზნით იძლევა სრულიად განსხვავებული დანიშნულების ათასობით ფოლადისა და შენადნობის სახეობას. მათი თვისებების დიაპაზონი არაჩვეულებრივად დიდია: ტყვიასავით რბილი სუფთა რკინიდან საღ საიარაღო შენადნობებამდე, განსაკუთრებული მაგნიტური თვისებების მქონე ფურცლიდან არამაგნიტურ მასალებამდე, ცვეთამდე სპეციალური ფოლადებიდან კოროზიამდე და უჟანგავ ფოლადებამდე და ა.შ.

12. ფოლადის თვისებათა შეცვლის ხერხები

12.1. ლეგირება*. ფოლადის თვისებათა შეცვლის ერთ-ერთ ეფექტურ ხერხს მისი ლეგირება წარმოადგენს. ფოლადის ლეგირებისათვის პერიოდული სისტემის მრავალი ელემენტი გამოიყენება. მაგალითის სახით ჩვენს საუბარში შევეხებით ზოგიერთი მათგანის გავლენას ფოლადის საექსპლუატაციო თვისებებზე.

ხის, ფერადი ლითონებისა და რბილი ფოლადის დამუშავებისას ჩვეუ-

ლებრივი ნახშირბადიანი ფოლადისაგან დამზადებული საჭრისები სწრაფად ხურდება, რაც ზღუდავს დეტალის დამუშავების სიჩქარეს 5 მ/წთ-მდე. აღნიშნული ბარიერი გადაილახა მას შემდეგ, რაც შემუშავდა ფოლადი ვოლფრამის დანამატებით. ვოლფრამიანი ფოლადის ქიმიური შედგენილობის დახვეწის შემდეგ მრეწველობის მიერ გამოშვებული საჭრისები არ კარგავდა თვისებებს 300°C-მდე გახურებისას, რამაც ერთნახევარჯერ გაზარდა ჭრის სიჩქარე (7,5 მ/წთ).

მალე ბაზარზე გამოჩნდა ამერიკული საჭრისები, რომლებიც არ ბლაგვდებოდა 18 მ/წთ სიჩქარით ლითონის დამუშავებისას. ვოლფრამის წყალობით 50 წლის განმავლობაში ლითონის ჭრის სიჩქარე და ლითონსაჭრელი ჩარხების მწარმოებლობა შვიდჯერ გაიზარდა.

1911 წელს დიდი ზარბაზნების შიდა ზედაპირების მოსაპირკეთებლად შესაბამისი ლითონის ძიების პროცესში შემთხვევით იქნა აღმოჩენილი, რომ რკინის შენადნობი ქრომთან წყალში არ იუანგებოდა. ახალი შენადნობისგან დამზადებული ფურცელი გემს მიაბეს, ჩაუშვეს წყალში და დაულოცეს გზა ინგლისიდან ახალ ზელანდიაში და უკან. გამოცდის დამთავრების შემდეგ აღმოჩნდა, რომ ლითონმა შეინარჩუნა თავისი პირვანდელი სახე ყოველგვარი ცვლილების გარეშე. ქრომის ფუძეზე დამზადებულ შენადნობებს, გარდა ჟანგვისადმი კარგი წინააღმდეგობისა, აღმოაჩნდათ მაღალი მხურვალსიმტკიცის მახასიათებლებიც.

რკინისა და ნიკელის ურთიერთშედნობის მცდელობა დაიწყო XIX საუკუნეში. სუფთა ნიკელის მიღებიდან თექვსმეტი წლის შემდეგ, 1820 წელს, ცნობილმა ფიზიკოსმა, ფარადეიმ, ჩაატარა მთელი რიგი ცდები ნიკელის შემცველი ფოლადების მისაღებად, ხოლო 12 წლის შემდეგ მრეწველობა უკვე აეწყო ასეთი ფოლადების წარმოებისათვის.

პირველ მსოფლიო ომში ინგლისისა და საფრანგეთის ტანკების 75 მილიმეტრიან ჯავშანს, რომელიც დამზადებული იყო მტკიცე, მაგრამ მყიფე მანგანუმიანი ფოლადისაგან, ადვილად არღვევდა გერმანული არტილერიის 75 მილიმეტრიანი ჭურვები. მაგრამ იგივე ჭურვები უძლური აღმოჩნდა 1,5-2% მოლიბდენის შემცველობის ფოლადის ჯავშნის წინააღმდეგ, რომლის სისქე 25 მმ-დე იყო შემცირებული. ბუნებრივია, ამან განაპირობა ჭურვების ჯავშანგამტანიანობის გაზრდის გზების ძიების აუცილებლობა. პრაქტიკულად მუდმივად მიმდინარეობდა ჭი-

*ლეგრება – მასალის შედგენილობის მიზანდასახული შეცვლა მასში მალეგირებელი ელემენტების შეყვანის გზით სტრუქტურისა და თვისებების შესაცვლელად.

დიდი ჯავშნის სიმტკიცესა და ჭურვის ჯავშანგამტანიანობას შორის. სწორედ ასეთ პაექრობაში შემუშავდა მოლიბდენიანი ფოლადის მრავალი სახეობა, რომელმაც წარმატებით შეცვალა ვოლფრამიანი ფოლადები.

მრავალწლიანი შრომის შედეგად ფრანგმა მეტალურგმა მუასსანამ 1893 წელს მიიღო სუფთა ვანადიუმის ნაჭერი, მაგრამ ამ ელემენტის გამოყენების სფერო ვერ განსაზღვრა. ვანადიუმს ყურადღება მიაქცია ამერიკის ავტომრეწველობის მეფემ, ჰენრი ფორდმა. 1905 წელს იგი ესწრებოდა საავტომობილო რბოლებს ინგლისში. რბოლის დროს მოხდა კატასტროფა: ერთ-ერთი ფრანგული ავტომანქანა მეორეს შეეჯახა და დაიშრება. კატასტროფის ადგილიდან ფორდმა შეაგროვა ძრავის სარქველის ღერძის ნამსხვრევები. იგი გააოცა ლითონის სიმსუბუქემ და სისაღემ. ნადავლი ფორდმა ოკეანის გაღმა თავის ლაბორატორიაში გააგზავნა, საიდანაც მალე ასეთი პასუხი მიიღო: „ფოლადი შეიცავს ვანადიუმს“.

ფორდმა მიზნად დაისახა ვანადიუმი გამოეყენებინა საავტომობილო ფოლადის შესაქმნელად, მაგრამ დიდი ხნის განმავლობაში მან ვერ მონახა ქარხანა, რომელიც იტვირთებდა ვანადიუმიანი ფოლადის გამოდნობას – პროცესი საჭიროებდა მაღალ ტემპერატურას. მრავალწლიანი ძიების შემდეგ ფორდმა მონახა პატარა ფოლადსადნობი საამქრო, რომლის მეპატრონეც დიდი გასამრჯელოს ფასად დათანხმდა ცდების წარმოებაზე.

იმ პერიოდში ევროპის საავტომობილო მრეწველობა იყენებდა ფოლადების არაუმეტეს 4-5 სახეობას. საკუთარ ლაბორატორიაში და ქარხანაში ჩატარებული კვლევების საფუძველზე ფორდმა შეიმუშავა ფოლადების 22 მარკა, რომელთაგან 10 ვანადიუმიანი იყო. მისგან დამზადებული დეტალები სამჯერ-ოთხჯერ უფრო გვიან ცვდებოდა წინამორბედთან შედარებით.

1910 წელს საფრანგეთის ვაჭრობისა და მრეწველობის დეპარტამენტმა გამოიკვლია ფორდის ავტომობილების ზოგიერთი დეტალი. აღმოჩნდა, რომ ფორდის ფოლადები თვისებათა ყველა მაჩვენებლით აღემატებოდა ფრანგულს. ფორდმა სიამაყით აღნიშნა: „რომ არ ყოფილიყო ვანადიუმი, არ იქნებოდა არც ჩემი ავტომობილი“.

ვანადიუმიანმა ფოლადებმა შემდგომში მრავალმხრივი გამოყენება ჰპოვეს. პირველი მსოფლიო ომის წლებში ფრანგებმა პირველებმა აღჭურვეს საკუთარი თვითმფრინავები ზარბაზნით, რომლის წონის შემცირება და მისი მოთავსება მცირე ტვირთამწეობის თვითმფრინავზე ვანადიუმიანმა ფოლადმა განაპირობა. ვანადიუმიანი ფოლადისაგან დამზადებულმა მსუბუქმა ჯავშანმა აშშ-ში საარტილერიო გამოცდების დროს 100 შემთხვევიდან 99-ს გაუძლო.

რუსმა მეტალურგმა ობუხოვმა ფოლადის მიღების პროცესში პირველად გამოიყენა არა სუფთა მაგნიტური რკინის მადანი, არამედ ურალში ფართოდ გავრცელებული ტიტანომაგნეტიკი. სწორედ მადნიდან ფოლადში გადასულმა ტიტანმა გაუთქვა სახელი ობუხოვის ფოლადს მადალი მექანიკური თვისებებითა და ხარისხით. მიუხედავად ამისა, მხოლოდ მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ დაიშკრიდა ტიტანმა ღირსეული ადგილი მეტალურგიაში. იაპონელმა მკვლევარებმა დაადგინეს, რომ ზოგიერთი ფოლადის სიმტკიცის მახასიათებლები უფრო ეფექტურად იზრდება ტიტანის დამატებით, ვიდრე ამას მოლიბდენი ან ვანადიუმი განაპირობებდა. ტიტანი ფოლადს ანიჭებს ერთგვაროვან აგებულებას, სისალესა და პლასტიკურობას.

სპეციალური თვისებების მისანიჭებლად საკმარისი არ არის ფოლადის ლეგირება ერთი რომელიმე ელემენტით. როგორც წესი, ახალ თვისებებს რამოდენიმე ელემენტის კომპლექსური გამოყენებით ღებულობენ. მალეგირებელი ელემენტების რიცხვი გამუდმებით იზრდება.

12.2. თერმული დამუშავება და მისი არსი. საურველ თვისებათა მიღება შესაძლებელია ლითონის ისეთი ხერხით დამუშავებითაც, რომელიც ცვლის მის შინაგან აგებულებას, ანუ სტრუქტურას. ერთ-ერთ ასეთ უმნიშვნელოვანეს მეთოდს თერმული დამუშავება მიეკუთვნება.

თერმული დამუშავების სხვადასხვა სახე არსებობს. მათ აერთიანებს ზოგადი ტექნოლოგიური პროცესი, რომლის დროსაც ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შეცვლა ხორციელდება ქიმიური შედგენილობის შეუცვლელად ტემპერატურისა და გაცივების სიჩქარის ზეგავლენით.

სიმტკიცის მახასიათებლების, კერძოდ კი სისალის ამადლების თვალსაზრისით, უპირატეს მნიშვნელობას ფოლადის წრთობის პროცესი ღებულობს. წრთობის ჩასატარებლად ნაკეთობას ახურებენ გარკვეულ ტემპერატურამდე (ნახშირბადიანი ფოლადებისათვის იგი მოიცავს ინტერვალს დაახლოებით 760°C-დან 870°C-მდე ნახშირბადის შემცველობამდე დამოკიდებულებით) და აცივებენ გადიდებული სიჩქარით, მაგალითად, წყალში.

როგორც ვხედავთ, წრთობის ეფექტს პრაქტიკულად ორი მახასიათებელი განსაზღვრავს – ტემპერატურა და გაცივების სიჩქარე, ანუ საწრთობი არე. ეს ძველ მეტალურგებსაც კარგად ჰქონდათ შენიშნული, ამიტომ ძველთაძველ რეცეპტებშიც ყურადღება სწორედ ამ ორ ფაქტორზეა ძირითადად გამახვილებული. მეტალურგები, რომლებიც ფლობდნენ ხელით დამუშავების მაღალ ხელოვნებას,

თავდაპირველად ძვირფას გამოცდილებას ბრმად, მისხალ-მისხალ, ყოველგვარი თეორიის გარეშე აღწევდნენ, შემდეგ კი დამუშავების პროცესში ლითონის თვისებების ცვლილების ხასიათზე დაკვირვების შედეგებს აზავებდნენ გამოგონებულ სიახლეებთან, რაც არაერთი ტექნოლოგიური რეცეპტის შემუშავების საფუძველი გახდა. მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ წროთობის პროცესი ცნობილია ჩვენს ერამდე XV საუკუნიდან.

ბალაგალის ტაძრის მატეანეში, რომელიც მდებარეობს მცირე აზიაში, ნაპოვნია ჩვენს ერამდე IX საუკუნეში სატევარის წროთობის ასეთი რეცეპტი: „გაახურეთ უდაბნოში ამომავალი მზის სიკაშკაშემდე, შემდეგ გააციეთ მეწამულის ფერამდე კუნთიანი მონის ტანში ჩაშვებით. მონის ძალა სატევარში გადადის და მას ანიჭებს სისალეს“.

შუა საუკუნეების რეცეპტი უფრო ჰუმანურია, მაგრამ არანაკლებ უცნაური. წროთობა რეკომენდირებულია წითური ბიჭის შარდში. ამ რეცეპტში არის რაციონალური მარცვალი, რადგან მარილწყალხსნარში წროთობა უკეთესად მიმდინარეობს, ვიდრე სუფთა წყალში.

ფოლადის წროთობა იყო ლითონმცოდნეობის ის ერთ-ერთი სფერო, სადაც გამეფებული იყო მეტ-ნაკლებად უაზრო შეხედულებები. წროთობის დროს ფოლადის მაღალი სიმტკიცის მიღებას უკავშირებდნენ სხვადასხვა სასწაულმოქმედ ძალებს. ყვებოდნენ, რომ დამასკოს იარაღის მწარმოებლები თავის განთქმულ ხანჯლებს აწრობდნენ მთიან ხეობაში, სადაც გამუდმებით უბერავდა ძლიერი ჩრდილოეთის ქარი. მათი აზრით, სწორედ ქარის ძალა გადაეცემოდა იარაღს.

ესპანეთის განთქმული დაშნების მაღალ ხარისხს ხსნიდნენ იმ განსაკუთრებული წყლის იდუმალი თვისებებით, რომელშიც წროთობას აწარმოებდნენ.

XVII საუკუნის ნახევარში ინგლისიდან ამერიკაში სპეციალური გემებით ეზიდებოდნენ წყალს, რომ მიედწიათ ფოლადის წროთობის ისეთივე შედეგებისათვის, როგორსაც ინგლისში ღებულობდნენ. ინგლისის უძველეს პატენტებში მითითებულია, რომ საწროთობ სითხეში აუცილებელია მინდვრის ყვავილების დამატება. ნაწროთობი ფოლადის მაღალ სისალეს კი ხსნიდნენ იმ მოსაზრებით, რომ წროთობის დროს ლითონის შედგენილობაში შემავალი ნახშირბადი თითქოს აღმასად გარდაიქმნებოდა.

ერთ-ერთ კომერციულ ლექსიკონში ვკითხულობთ: „წროთობა არის საშუალება, რომლითაც ფოლადსა და რკინას მიენიჭება სიმკვრივე, სისალე და სიმტკიცე. იგი მდგომარეობს გახურებული ფოლადის ან რკინის ნივთების ჩატვირთვაში ზოგჯერ ჩვეულებრივ სუფთა წყალში, ზოგჯერ კი სხვადასხვა წვენებისა

და სითხეების ნარევეში ოსტატის ჩვეულებისა და გამოცდილების შესაბამისად“. გამაცივებელ არეებად დასახელებულია ძმარი, პირშუშხას წვენი, წყალი, რომელშიც შერეულია მიწის გასრესილი ჭიაყელები, წყლითა და მარილით შეზავებული ტალახი და ა.შ.

ბუნებრივია, ასეთი უცნაური შეხედულებების საფუძველია ის, რომ ადამიანისათვის ჯერ კიდევ უცნობი იყო იმ შიგაკრისტალური გარდაქმნების ხასიათი, რომელიც ლითონში გახურებისა და სწრაფი გაცივების დროს მიმდინარეობდა, თვისებათა შეცვლის მიზეზის ახსნას კი ისინი ცდილობდნენ.

არქეოლოგიური მონაპოვრების მეტალოგრაფიული ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ფოლადის ნაკეთობათა წრთობის პროცესი საყოველთაო გამოყენებას პოულობს ჩვენს ერამდე V-IV საუკუნეებიდან. არისტოტელე (IV საუკუნე ჩვენს ერამდე) წერდა, რომ დაბზარვისა და დაბრეცვის თავიდან ასაცილებლად ფოლადის ფურცლებისაგან დამზადებულ ნაკეთობას ზეთში აწრთობდნენ, რაც იმ დროისათვის საუკეთესო მიგნებად უნდა ჩაითვალოს. ფოლადის ზეთში წრთობა დღესაც სამრეწველო ტექნოლოგიურ პროცესს წარმოადგენს.

ადამიანმა სპილენძის შენადნობების წრთობის საიდუმლოებას ასევე ჩვენს ერამდე მიაგნო. დიდი რაოდენობით კალის შემცველი ბრინჯაოსაგან დამზადებული სარკეების (იტალია, ჩვენს ერამდე V-IV საუკუნეები) ანალიზმა უჩვენა, რომ ნაკეთობათა წყალში წრთობა, უპირველეს ყოვლისა, მიზნად ისახავდა გაპრიალების დროს სარკისებრი ზედაპირის მიღების გაიოლებას.

ამჟამად დადგენილია, რომ ლითონის სტრუქტურასა და თვისებებს შორის საკმაოდ მყარი ხარისხობრივი და რაოდენობრივი კავშირი არსებობს. თუ შევძლებთ სტრუქტურის სასურველი მიმართულებით მართვას, შესაბამისად შეიცვლება ლითონის თვისებებიც. მაგალითად, საუკეთესო რბილმაგნიტურ თვისებებს ამჟღავნებს მსხვილმარცვლოვანი აგებულების რკინა, რასაც სპეციალური თერმული დამუშავების გზით აღწევენ. წრთობის დროს მიმდინარე გარდაქმნებით ფიქსირებული თხელფირფიტოვანი სტრუქტურა კი საკმაოდ მაღალი სისხალით ხასიათდება, მაგრამ ამავე დროს ფოლადი მეტად მყიფეა.

თვისებათა კომპლექსის მისაღწევად (მაგალითად, მაღალი სისხლისა და საკმაო პლასტიკურობის შეხამება) უშუალოდ წრთობის შემდეგ მიმართავენ კიდევ ერთი სახის თერმულ დამუშავებას – მოშვებას. მოშვების დროს ნაწრთობ ნაკეთობას ახურებენ სათანადო ტემპერატურამდე (მაგალითად, 550-650°C) და ნელა აცივებენ. ამ დროს წრთობით ფიქსირებული სტრუქტურა ისეთნაირად იცვლება, რომ იგი უზრუნველყოფს სისხლისა და სიმტკიცის რამდენადმე შემცი-

რებას, მაგრამ სიბლანტისა და პლასტიკურობის მაჩვენებლების გაზრდას.

12.3. ქიმიურ-თერმული დამუშავება და მისი არსი. ლითონს გააჩნია უნარი მაღალ ტემპერატურაზე გაიხსნას იმ კომპონენტის ატომები, რომლის გარემოშიც იგი იქნება მოთავსებული. ბუნებრივია, გახსნის პროცესი დაიწყება ლითონის ზედაპირიდან. აღსორბირებული ატომები დიფუზიის გზით თანდათან გადაადგილდებიან ნაკეთობის სიღრმეში, რის შედეგადაც ზედაპირული ფენები აღნიშნული კომპონენტით უფრო გაჯერებული აღმოჩნდება გულთან შედარებით. როგორც ჩანს, დამუშავების ეს სახე ცვლის როგორც ზედაპირული ფენების სტრუქტურას, ისე მის ქიმიურ შედგენილობას. აქედან გამომდინარე, მას ქიმიურ-თერმულ დამუშავებას უწოდებენ.

ქიმიურ-თერმული დამუშავებით შესაძლებელია ნაკეთობის ზედაპირული ფენების გამდიდრება ნახშირბადით (პროცესს ცემენტაცია ეწოდება), აზოტით (დააზოტება), ან ორივე ელემენტით ერთდროულად (დაციანება). ფოლადის ზედაპირული ფენების მაგალითად, ნახშირბადით გამდიდრების შემდეგ, წრთობის ჩატარება უზრუნველყოფს ნაკეთობის ზედაპირის სისაღისა და ცვეთამდებობის გაზრდას, ხოლო გულში შენარჩუნებული იქნება პირვანდელი სტრუქტურა მისთვის დამახასიათებელი თვისებებით.

გალშტადტის (შუა ევროპა) სამჭედლო ტექნიკის მეტალოგრაფიულმა შესწავლამ ცხადყო, რომ რკინის ნაკეთობათა ცემენტაცია (დანის, შუბის დაბოლოების) და წყალში წრთობა უკვე ცნობილი იყო პირველ ათასწლეულში ჩვენს ერამდე.

მსგავსი ტექნოლოგიური პროცესით, რომელსაც დიფუზურ მეტალიზაციას უწოდებენ, შესაძლებელია ნაკეთობათა ზედაპირის გამდიდრება სხვადასხვა ლითონით, მაგალითად, ალუმინით, ქრომით, სილიციუმით, ნიკელით და ა.შ.

13. ლითონური ნაერთები და კომპოზიტები

თანამედროვე ტექნიკაში გამოიყენება სრულიად განსხვავებული თვისებების მქონე მრავალი ათასი შენადნობი. როგორც აღფა-ბეტას მხოლოდ 33 ასოს სხვადასხვაგვარი ურთიერთშეთანხმებით იქმნება ენის ყველა სიმდიდრე, ასევე დაახლოებით რვა ათეული ლითონი იძლევა სრულიად განსხვავებული თვისებების მქონე უთვალავი რაოდენობის შენადნობის მიღების შესაძლებლობას. პრინციპში შეიძლება შეიქმნას ნებისმიერი მასალა, რომელიც კი ადამიანს დას-

ჭირდება, მაგრამ ამას სათანადო ცოდნა ესაჭიროება.

შენადნობებს მიეკუთვნება აგრეთვე ლითონისა და არალითონის, ან სხვადასხვა ლითონების ქიმიური ნაერთები. უმეტეს შემთხვევაში მათში არ არის დაცული შემადგენელი კომპონენტების ვალენტობა. ამასთან, ლითონის ერთი და იგივე წყვილმა შეიძლება წარმოქმნას რამოდენიმე ნაერთი. მაგალითად, ნატრიუმში კალასთან ცხრა ნაერთს იძლევა.

სუფთა ლითონებისაგან განსხვავებით, რომლებსაც გააჩნიათ შედარებით უბრალო კრისტალური სტრუქტურა რამოდენიმე ატომით ელემენტურ უჯრედში, ლითონური ნაერთები ხშირად მეტად რთული კრისტალური აგებულებით ხასიათდებიან. მაგალითად, Al-Mg სისტემის შენადნობების ერთ-ერთი ნაერთის ელემენტარული უჯრედი 104 ატომს შეიცავს, ხოლო Y-B სისტემის ნაერთისა – 1700! ლითონურ ქიმიურ ნაერთში განსხვავებულია აგრეთვე ატომებს შორის კავშირის ტიპებიც.

კრისტალური სტრუქტურებისა და ატომებს შორის კავშირის ტიპების ნაირსახეობა ხელს უწყობს ლითონურ ნაერთებში ფართო სპექტრის განსაკუთრებული ფიზიკურ-ქიმიური, ელექტრული, მაგნიტური, ოპტიკური, მექანიკური და სხვა თვისებების ჩამოყალიბებას. მაგალითად, მთელი რიგი ასეთი ნაერთების ელექტრული მახასიათებლები შეიძლება იცვლებოდეს ზეგამტარობიდან (თხევად ჰელიუმში) ნახევრად გამტარებლობამდე ოთახის ტემპერატურაზე.

ჩვეულებრივ პირობებში ლითონური ნაერთები გამოირჩევა მეტად მაღალი სისაღითა და სიმყიფით. ამიტომ მრავალი ლითონმცოდნე ჯერ კიდევ ახლო წარსულში თვლიდა, რომ არ შეიძლებოდა მათი გამოყენება რაიმე ფორმის ნაკეთობის დასამზადებლად და ვერ ხედავდა მრეწველობაში მათი გამოყენების პერსპექტივებს. თუმცა აღმოჩნდა, რომ ლითონური ნაერთები მაღალ ტემპერატურაზე, რომელიც დნობის ტემპერატურის 70-90% შეადგენს, ისევე იქცევიან, როგორც განსაკუთრებულად პლასტიკური მასალები. ამან შესაძლებელი გახადა დამუშავებულიყო ლითონური ნაერთებისაგან ნაკეთობის მიღების ტექნოლოგიები.

ცოტა მოგვიანებით აღმოჩნდა მეორე მნიშვნელოვანი და საინტერესო ეფექტი: გახურებისას ჩვეულებრივ პლასტიკურ მასალებში სიმტკიცის მახასიათებლები ყოველთვის კლებულობს, ლითონურ ნაერთებსა და ნახევრად გამტარებში (გერმანიუმი, სილიციუმი, ალმასი) კი პირიქით, შეინიშნება სიმტკიცის ამაღლება, რომელიც ხშირად ასეულ პროცენტს აღწევს (გახურების ტემპერატურა შეადგენს დნობის ტემპერატურის 50-80%). აღნიშნულ ეფექტს, გარდა უდიდესი მეცნიერული ღირებულებისა, პრაქტიკული მნიშვნელობაც გააჩნია, განსაკუთ-

რებით ახალი მხურვალმტკიცე მასალების შემუშავების საქმეში. სამწუხაროა, რომ სიახლეს ჯერ-ჯერობით სრული ახსნა ვერ მოეძებნა.

ფრანგი მებაღე მონიე პალმებს ამრავლებდა. ერთხელ მას პალმები ინგლისში უნდა გაეგზავნა, მაგრამ კასრების შესაძენად ფული არ ეყო. გადაწყვიტა, კასრების დასამზადებლად ხელთ არსებული მასალა, ცემენტი გამოეყენებინა. სამწუხაროდ, ცემენტის კასრები საკმაოდ მძიმე და არამტკიცე გამოდგა. არ უშველა არც ლითონის საღებავებმა. მდგომარეობიდან გამოსასვლელად მებაღემ გადაწყვიტა საღებავზე გრძივად დაემაგრებინა ლითონის მავთულები, მაგრამ ლითონის ჩონჩხედში მოქცეული კასრი, მართალია, გამძლე, მაგრამ შეუხედავი გამოდგა. მონიემ ლითონის ჩონჩხედი გარედანაც ცემენტით ამოლესა, ხოლო კასრის წონის შესამცირებლად და ცემენტის ეკონომიის მიზნით გვერდების დათხელება გადაწყვიტა. აი, ასეთნაირად დაიბადა 1867 წელს რკინა-ბეტონი – მთელი რიგი კომპოზიციური მასალების ერთ-ერთი წარმომადგენელი, რომელშიც შერწყმულია შემადგენელი კომპონენტების დადებითი თვისებები. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მცენარეების, ცხოველებისა და ადამიანის სხეული ბუნებრივი კომპოზიციური მასალების კონსტრუქციას წარმოადგენენ. ისტორიული ცნობების თანახმად, კომპოზიციური მასალები, ანუ კომპოზიტები, ჯერ კიდევ უძველეს ეგვიპტეში გამოიყენებოდა.

კომპოზიციური მასალების თვისებები ზოგჯერ უნიკალურია. მაგალითად, ნიკელის ფუძეზე დამზადებული, ვოლფრამისა და მოლიბდენის ბოჭკოებით არმირებული მასალის ხანგრძლივი სიმტკიცე 1100-1200°C ტემპერატურაზე ორჯერ მეტია ყველაზე მხურვალმტკიცე ნიკელის შენადნობებთან შედარებით.

ნახშირბადის ძაფებით არმირებული პლასტიკური მასა იძლევა კომპოზიტს, რომელიც ორჯერ შეამცირებს თვითმფრინავის დეტალების წონას. ნახშირბადიანი პლასტიკისაგან უკვე ამზადებენ ვერტმფრენის ხრახნის ნიჩბიან ფრთას, ლონჟერონს (გრძივძელს), კუდის ფრთასხმულობას, ხოლო ფართო მოხმარების საგნებიდან – ჩოგბურთის ჩოგნებს და თევზსაჭერი ანკესის ჯოხებს.

მეცნიერები იმედოვნებენ, რომ ზემტკიცე მონოკრისტალებით არმირებული ლითონური „ბეტონი“ ახლო მომავალში საშუალებას მოგვცემს შეიქმნას თეორიულ შესაძლებლობებთან მიახლოებული სიმტკიცის მქონე საკონსტრუქციო მასალები.

კომპოზიციურს მიეკუთვნება აგრეთვე ე.წ. ქაფმასალები. ქაფალუმინი*, მაგალითად, საკმაო სიმტკიცის პირობებში წყალზე ხუთჯერ მსუბუქია. მოჭიმუ-

ლი ქაფალუმინის სიმტკიცე ისეთივეა, როგორც სხმული ლითონისა, ხოლო კუთრი წონა – ორჯერ ნაკლები (1,4 გ/სმ³). ასეთი მასალა უკვე გამოიყენება არა მარტო ავიაციასა და სარაკეტო ტექნიკაში, არამედ სამოქალაქო მშენებლობაშიც. მისგან ამზადებენ კარების პანელებს, ფანჯრის ჩარჩოებს, მთლიან კედლებსა და ჭერს. ქაფალუმინი ადვილად იბურდება, იხეხება, იღებება, წებდება, ირჩილება და დუღდება. მასში იოლად ესობა ლურსმანი.

ამგვარად, ლითონის უნარმა შევიდეს კავშირში სხვა ლითონებთან თუ არაღლითონებთან, ინჟინრებს პრაქტიკულად შეუზღუდავი რაოდენობის მასალების შექმნის შესაძლებლობა მისცა.

14. ლითონი საფრენი აპარატებისათვის

საფრენი აპარატების დასამზადებლად განკუთვნილი მასალისათვის მთავარი მოთხოვნაა არა უბრალოდ სიმტკიცე, არამედ ხვედრითი სიმტკიცე (სიმტკიცე, რომელიც მოდის მასალის წონის ერთეულზე). აქედან გამომდინარე, „მფრინავი“ მასალები უნდა ხასიათდებოდნენ როგორც სიმსუბუქით, ისე მაღალი სიმტკიცის მახასიათებლებით. ზებგერითი სიჩქარით ფრენისას ხომ წვიმაც კი იწვევს თვითმფრინავის გარსაცმის მნიშვნელოვან დაზიანებას. კიდევ უფრო გაზრდილი მოთხოვნები წაეყენა საფრენი აპარატების ძრავისათვის განკუთვნილ მასალებს.

პირველ „მფრინავ“ ლითონად ალუმინია მიჩნეული. ალუმინმა მოხმარებიდან გამოაძევა ჯერ თვითმფრინავის ხის ჩონჩხედი, ხოლო შემდეგ – ქსოვილის შემონაკერი. ამჟამად ალუმინის შენადნობებზე მოდის თვითმფრინავის მშრალი წონის (საწვავის გარეშე) 2/3-დან 3/4-მდე.

სუფთა ალუმინი მეტად რბილი მასალაა, მაგრამ მისი ზოგიერთი შენადნობის ხვედრითი სიმტკიცე ერთნახევარჯერ მაინც აღემატება ფოლადის იგივე მახასიათებელს. როგორც ჩანს, ელემენტს, რომელსაც მენდელეევის პერიოდულ სისტემაში „უიღბლო“, №13 უჯრა უკავია, თვისებათა ჭეშმარიტად „ბედნიერ“ ნაკრებს ფლობს.

ალუმინისაგან საკმაოდ მტკიცე საკონსტრუქციო მასალის მიღების საკითხს მსოფლიოს მრავალი მეცნიერი შეეჭიდა, მაგრამ ყველაზე ადრე გერმანელ

* ქაფალუმინი – უჯრედოვანი სტრუქტურის მქონე მსუბუქი მასალა, რომელიც მიიღება მაგნიუმთან და სილიციუმთან ალუმინის შენადნობის აქაფებით აირადი ასაქაფებელი საშუალებების გამოყენებით.

მკვლევარს, ალფრედ ვილმს გაუმართლა. მრავალრიცხოვანმა ცდებმა ცხადყო, რომ ალუმინში გარკვეული რაოდენობით სპილენძისა და მაგნიუმის დამატებით მიღებული შენადნობის სიმტკიცის მახასიათებლები სამჯერ მაინც იზრდებოდა. სიმტკიცის შემდგომი ამაღლების მიზნით ვილმმა მიღებული შენადნობის თერმულ დამუშავებას – წყალში წრთობას მიმართა. ცდამ შედეგი გამოიღო, მაგრამ მისი რაოდენობრივი შეფასება განსხვავებულ მონაცემებს იძლეოდა.

მეცნიერს ეჭვი ხელსაწყოს სიზუსტეში შეეპარა და იგი შესამოწმებლად ლაბორატორიას გადასცა. რამოდენიმე დღის შემდეგ განმეორებითი გაზომვებით დადგინდა, რომ შენადნობის სიმტკიცე თითქმის ორჯერ იყო გაზრდილი ახლად ნაწრთობ მდგომარეობასთან შედარებით. რასაკვირველია, ასეთი შეცდომის დაშვება უკვე გამორიცხული იყო. მან ცდა რამოდენიმეჯერ გაიმეორა. საბოლოოდ დადგინდა, რომ წრთობისა და ოთახის ტემპერატურაზე რამოდენიმე საათის განმავლობაში დაყოვნების შემდეგ ახლად შექმნილი შენადნობის სიმტკიცის მახასიათებლები რამოდენიმეჯერ იზრდებოდა. ასეთი სახის თერმულ დამუშავებას უწოდეს წრთობა შემდგომი დაძველებით. დაძველების ეს პროცესი აღმოჩნდა ის გამონაკლისი შემთხვევა, როდესაც მას თვალნათლივ მოაქვს მნიშვნელოვანი სარგებლობა. ვილმმა დააზუსტა შენადნობის ქიმიური შედგენილობა, თერმული დამუშავების რეჟიმი, აიღო პატენტი და იგი მიყიდა ერთ-ერთ გერმანულ ფირმას. საწარმოში გამოდნობის ტექნოლოგიის ათვისების შემდეგ ვილმის შენადნობს დურალუმინი უწოდეს.

თანამედროვე ტექნოლოგიებით გამოდნობილი ალუმინის მრავალი შენადნობი სიმტკიცის მიხედვით არ ჩამოუვარდება ლეგირებული ფოლადების ზოგიერთ სახეობას. განსაკუთრებით დასაფასებელია ის, რომ ალუმინის შენადნობები მსუბუქია და სიმტკიცის მახასიათებლებს ინარჩუნებენ არა მარტო არქტიკული ყინვების პირობებში, არამედ თხევადი ჰელიუმის ტემპერატურაზეც კი.

ალუმინი ერთ-ერთი პირველთაგანია „კოსმოსური“ ლითონებიდანაც. მისი შენადნობებისაგან იყო დამზადებული პირველი ხელოვნური თანამგზავრის გარსაცმი. ალუმინის შენადნობები გამოიყენება „დედამიწა-ჰაერი“ და „ჰაერი-დედამიწა“ ტიპის რაკეტების კორპუსებისათვის. სამხედრო ავტომობილი ამფიბია მთლიანად შედგენილი ალუმინის კონსტრუქციისგან არის დამზადებული. ალუმინის, ტიტანის, მაგნიუმისა და ბერილიუმის გამოყენება ტანკებსა და ჯავშანმანქანებში მნიშვნელოვნად ამცირებს მათ წონას და ზრდის მანევრისუნარიანობას. ალუმინი და მისი შენადნობები დღემდე რჩება საავიაციო მშენებლობაში მთავარ მასალად, რომლისგანაც მზადდება მზიდი კონსტრუქციების უმრავლესობა.

ფოლადის შეცვლა ალუმინის შენადნობებით სატრანსპორტო საშუალებების წონას თითქმის სამჯერ ამცირებს, რაც გადასახიდი სასარგებლო ტვირთის რაოდენობას 2-2,5-ჯერ ზრდის, ხოლო 100 კგ ალუმინი, რომლითაც შეცვლილია მძიმე ლითონებისგან დამზადებული იგივე რაოდენობის საავტომობილო დეტალები, იძლევა საწვავის ეკონომიას 15%-ით.

ალუმინის შენადნობების კოროზიამდეგობა ათჯერ აღემატება ფოლადის კოროზიამდეგობას ზღვის წყალში. ამიტომ იგი წარმატებით გამოიყენება გემთმშენებლობაში და დიდ სიღრმეებში მომუშავე აპარატურის დასამზადებლად. 1960 წელს გერმანიის ფედერაციულ რესპუბლიკაში ექსპლუატაციაში გაუშვეს ტანკერი „ალუმინია“, რომლის კორპუსი ალუმინის შენადნობებისგან შედგებით არის აკრეფილი, ხოლო ამერიკული წყალქვეშა ნავი „ალუმინაუტი“ თითქმის მთლიანად ალუმინის შენადნობებისგანაა დამზადებული. ალუმინი გამოიყენება საოკეანო ლაინერების წარმოებაშიც.

1956 წელს მდინარე სეგენიზე (კანადა) აგებულია ალუმინის შენადნობების თაღოვანი ხიდი, რომლის სიგანე 150 მეტრს აღემატება. ხიდი არა მარტო ორჯერ მსუბუქია ანალოგიურ ფოლადის ხიდთან შედარებით, არამედ იგი არ საჭიროებს რეგულარულ დებვას კოროზიისაგან დასაცავად. ამჟამად სულ უფრო და უფრო მეტი ალუმინი გამოიყენება სამშენებლო ინდუსტრიაში და ატომურ რეაქტორებში.

ბორის ბოჭკოთი არმირებული ალუმინის შენადნობები ბრწყინვალე მასალაა საავიაციო მრეწველობისათვის. მაგალითად, ამერიკული თვითმფრინავის „ფანტომ“-ის მრავალი დეტალი აღნიშნული მასალისგანაა დამზადებული, რომლის წონა 60%-ით უფრო ნაკლებია მანმადე გამოყენებული მასალის წონასთან შედარებით.

შექმნილია ალუმინის შენადნობი აქტივირებული დანამატებით, რომელიც წყალში იხსნება. რეაქციის შედეგად გამოიყოფა დიდი რაოდენობით წყალბადი. ერთი გრამი ალუმინი უზრუნველყოფს ერთ ლიტრამდე წყალბადის მიღებას. რეაქციის მეორე პროდუქტს ალუმინის ოქსიდი წარმოადგენს, რომელიც მრავალი დანიშნულებით გამოიყენება. ამასთან, წყალში იხსნება მხოლოდ ალუმინი, აქტივირებული დანამატები კი ნალექში გადადის და შესაძლებელია მისი ხელახალი გამოყენება.

წყალსა და შენადნობს შორის რეაქციის მიმდინარეობის სიჩქარის რეგულირება საკმაოდ ფართო დიაპაზონშია შესაძლებელი, რაც წყალბადის გამოყოფის ინტენსივობის სრული კონტროლის წინაპირობას წარმოადგენს. რადგან

წყალბადი ფრიად პერსპექტიულ საავტომობილო საწვავს მიეკუთვნება, შემუშავებული შენადნობის რეალიზაცია ამ დანიშნულებით არაერთ პრობლემას გადაწყვეტს, მათ შორის ერთ-ერთ უმთავრესს – ეკოლოგიურს – წყალბადის წვის შედეგად ხომ მხოლოდ წყლის ორთქლი გამოიყოფა!

დღითიდღე იზრდება ინტერესი მაგნიუმისადმი და ეს სრულიად გასაგებია. იგი ხომ 1,5-ჯერ მსუბუქია ალუმინზე, 2,6-ჯერ – ტიტანზე, 4,5-ჯერ რკინაზე. მაგნიუმის შენადნობების კუთრი სიმკვრივე კიდევ უფრო მაღალია.

მაგნიუმი მოვერცხლისფრო-თეთრი, ქიმიურად მეტად აქტიური ლითონია. მიუხედავად ამისა, ჰაერზე არ იჟანგება, რადგან მას იცავს ოქსიდის მკვრივი ფენა, გახურებისას კი ფეთქავს დამაბრმავებელი თეთრი ალის წარმოქმნით. მაგნიუმი ძირითადად გამოიყენება მსუბუქი შენადნობების შემადგენელ კომპონენტად. ზოგიერთი მათგანი, მაგალითად, ლითიუმისა და მაგნიუმის შენადნობი, წყალზე მსუბუქია. მაგნიუმის შენადნობები უკვე გამოიყენება თანამედროვე თვითმფრინავმშენებლობაში, რაკეტებისა და თანამგზავრების სხვადასხვა დეტალის დასამზადებლად.

მაგნიუმის თბოშემცველობა დაახლოებით 2,5-ჯერ მეტია ფოლადთან შედარებით. ეს იმას ნიშნავს, რომ ერთი და იგივე რაოდენობის სითბოს შთანთქმის შემთხვევაში მაგნიუმის შენადნობი 2,5-ჯერ უფრო ნაკლებად გახურდება. ამიტომ ხანმოკლე ფრენის პროცესში მისგან დამზადებული დეტალები, მიუხედავად დნობის დაბალი ტემპერატურისა, ვერ ასწრებენ გადახურებას. დროის მცირე მონაკვეთში მომუშავე რაკეტებში (მაგალითად, ტიპი „ჰაერი-ჰაერი“) მაგნიუმის შენადნობების წონა კონსტრუქციის მთლიანი წონის 90% შეადგენს.

საკონსტრუქციო მასალად მაგნიუმის შენადნობების გამოყენებამ ამერიკული რაკეტების წონა 20-30%-ით შეამცირა. ამან არა მარტო მნიშვნელოვნად გაზარდა მათი ფრენის სიშორე და ტვირთამწეობა, არამედ ყოველ რაკეტაზე დაზოგა 500 ათასი დოლარი. კოსმოსური ხომალდის „ჯემინი“ შემაერთებელი სამარჯვების დაახლოებით 85% მაგნიუმის შენადნობებისგან არის დამზადებული.

მაგნიუმის შენადნობები გამოიყენება საავტომობილო მრეწველობაშიც. მაგალითად, ფირმა „ფოლკსვაგენი“ ყოველი ძრავის დასამზადებლად იყენებს 18 კგ მაგნიუმს.

კიდევ უფრო განსაცვიფრებელი თვისებებით ხასიათდება ბერილიუმი. იგი წარმოადგენს საღ და მსუბუქ ლითონს, რომელიც დნება 1284°C ტემპერატურაზე (უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ალუმინის დნობის ტემპერატურა შეადგენს 660°C, ხოლო მაგნიუმისა - 651°C). განსაკუთრებით ძვირფასია ის თვისება, რომ

ალუმინიზე 1,5-ჯერ მსუბუქი ბერილიუმი უფრო მტკიცეა მრავალ სპეციალურ ფოლადთან შედარებით. 500-600°C-მდე მისი ხვედრითი სიმტკიცე აღემატება დღემდე ცნობილი ნებისმიერი საკონსტრუქციო მასალის იგივე მაჩვენებელს. ბერილიუმში შეთავსებულია სიმსუბუქეც და საკმაოდ მაღალი მხურვალმედეგობაც. იგი არ კარგავს დადებით თვისებებს 700-800°C-მდეც კი.

ბერილიუმი შენადნობებში ზრდის სისალეს, სიმტკიცეს, მხურვალმედეგობასა და კოროზიამედეგობას. ბერილიუმით გაჯერებული ფოლადის ნაკეთობის ზედაპირი განსაკუთრებულ სისალესა და მდგრადობას ინარჩუნებს 800°C-მდე. რადგან მაღალ მხურვალმედეგობასთან ერთად ბერილიუმის სითბოგამტარობა შვიდჯერ აღემატება ფოლადის სითბოგამტარობას, ხოლო თბოშემცველობა მეტი აქვს ყველა სხვა ლითონთან შედარებით, იგი წარმატებით გამოიყენება კოსმოსური ხომალდებისა და რაკეტების თბოდაცავ კონსტრუქციებში. ინგლისში ჩატარებული გამოკვლევების თანახმად, ბერილიუმი საშუალებას იძლევა შემცირდეს დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის მზიდი კონსტრუქციების წონა 35%-ით.

ბერილიუმისგან ამზადებენ კოსმოსური ხომალდებისა და თანამგზავრების ანტენის სისტემას, კოსმოსური აპარატების საჭეს, იმ კოსმოსური აპარატურის თბოდაცავ შემონაკერს, რომლებიც უკან ბრუნდებიან დედამიწაზე განსაკუთრებით ეკიპაჟით ბორტზე. კოსმოსური ხომალდის „აპოლონი“ მთვარის კაბინის საკომანდო ნაკვეთური და სამეცნიერო აპარატურის გადასატანი კონსტრუქციები ბერილიუმის შემცველი შენადნობებისგანაა დამზადებული. საინტერესოა ის ფაქტი, რომ ბერილიუმის მასალისგან დამზადებული საკლანეტაშორისო „მარინერ-71“ ავტომატური სადგურის ძრავი მხოლოდ 7,7 კგ-ს იწონდა.

ზეჩქაროსნულ ავიაციაში გამოყენებული მასალების უმთავრესი მოთხოვნაა კონსტრუქციის სიხისტე (არ განიცადოს გრძივი გაღუნვა კონსტრუქციის მინიმალური სიხის შემთხვევაში). ამ მოთხოვნის უნიკალური კომპლექსი სწორედ ბერილიუმს გააჩნია. იგი ინარჩუნებს სიხისტეს როგორც მაღალ ტემპერატურაზე ისე ვიბრაციის პირობებში.

ბერილიუმის გამოყენება საშუალებას იძლევა მკვეთრად შემცირდეს საფრენი აპარატების წონა. მაგალითად, სატრანსპორტო თვითმფრინავის ფიუზელაჟის წონა ორჯერ შემცირდება, თუ ალუმინის შენადნობები ბერილიუმით შეიცვლება. ბერილიუმისაგან კი შესაძლებელია დამზადდეს თვითმფრინავის კონსტრუქციების 80%. ამჟამად ბერილიუმის შენადნობები გამოიყენება ბოინგის და

სხვა ტიპის თვითმფრინავების წარმოებაში.

ალუმინის ანალოგიურად, ბერილიუმიც პერსპექტიულ მასალას წარმოადგენს წყლის სიღრმეში მომუშავე აპარატების კონსტრუქციების დასამზადებლად, მაგალითად, საბრძოლო წყალქვეშა გემებისათვის, რომლებიც 350-400 მ სიღრმეზე ჩადიან.

ბერილიუმი უნიკალური სარესორე მასალაა. თუ ჩვეულებრივი ფოლადისაგან დამზადებული რესორი 800-850 ათას ბიძგს უძლებს, ბერილიუმი – 20 მილიარდს! ანუ პრაქტიკულად მუდმივია.

შეუდარებელია ბერილიუმი ატომურ მრეწველობაში. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ბერილიუმი 17-ჯერ უფრო გამჭვირვალეა რენტგენისა და კათოდური სხივების მიმართ ალუმინთან შედარებით. ამიტომ იგი არის საუკეთესო „ფანჯარა“ რენტგენის აპარატებში.

ბერილიუმის დადებითი თვისებების შესახებ კიდევ ბევრი საუბარი შეიძლება, თუმცა ამ მასალას სერიოზული ნაკლოვანებანიც გააჩნია. მაღალი სისაღისა და სიმყიფის გამო იგი მეტად ძნელად მუშავდება. შეუძლებელია მისი გლინვა, ჭედვა ან ჭრით დამუშავება. ბერილიუმი მეტად მომწამლავი ნივთიერებაა. იგი იწვევს წყლულისა და სიმსივნის გაჩენას, საშიში ქრონიკული დაავადების – ბერილიოზის განვითარებას. ამის გამო ბერილიუმის დამუშავება ხორციელდება არა მარტო სპეციალურ სადგომში, არამედ დამცავ კოსტიუმებში, რაც აძნელებს ისედაც მისი რთული წარმოების ტექნოლოგიას.

ბერილიუმი კი აუცილებელი მასალაა მრეწველობისათვის. ამიტომ, მიუხედავად დიდი სიძნელებისა, მისი წარმოება სწრაფი ტემპებით ვითარდება.

მოსკოვში, სახალხო მეურნეობის მიღწევათა გამოფენის შესასვლელში, აღმართულია კოსმოსის დამპყრობთა მონუმენტი. გაივლის საუკუნეები, მაგრამ მისი ლითონური ბზინვარება არ გამქრალდება, რადგან მონუმენტი დამზადებულია ისეთი ლითონისაგან, რომელიც გამორჩეული ქიმიური მედეგობით ხასიათდება. ეს არის „მუდმივი ლითონი“ - ტიტანი. ტიტანის განსაცვიფრებელი ქიმიური მედეგობა აიხსნება მის ზედაპირზე მეტად მკვრივი ოქსიდური ფირის არსებობით.

ტიტანი ალუმინზე 40%-ით მძიმე, მაგრამ მასზე ექვსჯერ უფრო მტკიცე ლითონია. ამიტომ ტიტანის ხვედრითი სიმტკიცის მახასიათებლები მნიშვნელოვნად მაღალია. გარდა ამისა, იგი ასევე ხასიათდება საკმაოდ მაღალი დნობის ტემპერატურით (1680°C).

ტიტანის წარმოების ტექნოლოგია დღესაც საკმაოდ რთულია, ამიტომ ეს

ლითონი ჯერ კიდევ ძვირად ფასობს. მიუხედავად ამისა, მრეწველობის მოთხოვნის შესაბამისად მისი წარმოება სამჯერ უფრო სწრაფი ტემპით იზრდება, ვიდრე ალუმინისა თავის დროზე.

ზებგერითი სიჩქარით ფრენის დროს თვითმფრინავისა და რაკეტის ზედაპირები ძლიერ ხურდება. ალუმინის მხურვალმტკიცე შენადნობები სიმტკიცეს უკვე 300°C-ზე კარგავს. მხოლოდ ტიტანის გამოყენებამ უზრუნველყო ისეთი სიჩქარეების რეალიზაცია, რომელიც სამჯერაც კი აღემატება ბგერის გავრცელების სიჩქარეს. მთლიანად ტიტანის შენადნობებისაგან არის დამზადებული ზებგერითი ლაინერი „ბონგ-733“. სამგზავრო თვითმფრინავების ძრავებში ტიტანის გამოყენებამ მისი წონა 20%-ით შეამცირა.

ტიტანის მაღალმა კოროზიამდეგობამ განაპირობა მისი წარმატებული გამოყენება ქიმიურ, ნავთობგადასამუშავებელ და კვების მრეწველობაში, ფარმაცევტული, მიკრობიოლოგიური და სამედიცინო აპარატურის წარმოებაში. ტიტანისაგან დამზადებული თბომომოცვლის ელემენტები ქლორის ატმოსფეროში 20 წლის განმავლობაში მუშაობს, ანუ ათჯერ უფრო დიდხანს, ვიდრე უჟანგავი ფოლადი.

ჩვენი აზრით, აქ წარმოდგენილი საკმაოდ მწირი მაგალითებიც კი ცხადყოფს მრეწველობაში ტიტანის გამოყენების დიდ უპირატესობას. მრავალი მეცნიერი ტიტანს რკინის მეტოქედაც კი მიიჩნევს. მართლაც, თუ დანახარჯები მათ წარმოებაზე გათანაბრდება, არ არის გამორიცხული, რომ ტიტანმა რკინა მრეწველობიდან გამოდევნოს კიდევ. ასე, რომ ტიტანს რეალური პრეტენზია გააჩნია მნიშვნელოვანი როლი შეასრულოს მომავალი ცივილიზაციის საფუძვლის ჩაყრაში.

15. კოსმოსური ხომალდის საწვავი

მეორე მსოფლიო ომში ფართოდ გამოიყენებოდა ამნთები ყუმბარები. ისინი დამუხტული იყო თერმიტით, ანუ მაგნიუმისა და ალუმინის ფხვნილთა ნარევით, რომლის წვის დროსაც ვითარდებოდა 3000°C-მდე ტემპერატურა.

ომის ქარცეცხლმა გადაიარა და ყუმბარის დასამზადებლად გამოყენებულმა მასალებმა მშვიდობიან ცხოვრებაშიც მონახა ჯეროვანი ადგილი. აღმოჩნდა, რომ ისინი წარმოადგენენ საუკეთესო საწვავს კოსმოსური ხომალდისათვის. მართლაც, თუ 1 კგ ნავთისა და ჟანგბადის ნარევის წვის დროს გამოიყოფა 2200, ხოლო წყალბადისა და ჟანგბადის ნარევის წვისას – 3000 კილოკალორია,

ჟანგბადის ნარევი ალუმინთან იძლევა 7041, ლითიუმთან – 10270, ბერილიუმთან – 15050 კილოკალორიას. 1 კგ წყალბადის დასაწვავად საჭიროა 8 კგ ჟანგბადი, ხოლო 1 კგ ალუმინის დასაწვავად – მხოლოდ 0,9 კგ. რადგან კოსმოსურ ხომალდში იტვირთება როგორც საწვავი, ისე ჟანგბადი, ალუმინის გამოყენებაც კი უფრო ხელსაყრელია წყალბადთან შედარებით, თუ აღარაფერს ვიტყვით ბერილიუმზე.

16. ლითონები ატომური ელექტროსადგურებისთვის. რადიოაქტიური ნარჩენები

ატომურ ელექტროსადგურებში გამოყენებული ძირითადი ლითონის – ბირთვული საწვავის გარდა, არანაკლები მნიშვნელობა ეკისრებათ როგორც საეკრანო მასალებს, რომელთა დანიშნულებაა მომსახურე პერსონალის დაცვა გამჭოლი რადიაციისგან, ისე ნეიტრონების შემნელებლებს და ამრეკლი და მარეგულირებელი ღეროების მასალებს. მათი დახმარებით იმართება ჯაჭვური რეაქცია.

მომწამლავი ნაწილაკებისა და გამა-გამოსხივებისაგან ადამიანს ყველაზე საიმედოდ ტყვიის ფურცლისგან დამზადებული ეკრანი იცავს, მაგრამ ნეიტრონებისათვის იგი დაბრკოლებას არ წარმოადგენს. ნეიტრონების ძლიერ შთანთქმელს კადმიუმის, ჰაფნიუმისა და გადოლინის ატომები მიეკუთვნება. ამ ლითონების თხელი ფირფიტა გზას უღობავს თითქმის ყველა ნეიტრონს. მათგანვე შეიძლება დამზადდეს მარეგულირებელი ღეროებიცა* და ატომურ რეაქტორში ავარიული დაცვის მოწყობილობაც.

ბერილიუმი არ შთანთქავს ნეიტრონებს. იგი ანელებს მათ მოძრაობას, ირეკლავს და უკან აბრუნებს რეაქტორის აქტიურ ზონაში. ეს მნიშვნელოვნად ამცირებს რეაქტორის აქტიური ზონის ზომებს, ზრდის მუშა ტემპერატურას და ატომური საწვავის გამოყენების ეფექტურობას.

რადგან ბერილიუმი ანელებს ნეიტრონებს, სწრაფი ნეიტრონების რეაქ-

* ჯაჭვური რეაქცია კონტროლიდან რომ არ გამოვიდეს და რეაქტორი არ აფეთქდეს, ისეთი ლითონების ღეროები გამოიყენება, რომლებიც ძლიერ შთანთქავენ ნეიტრონებს. როდესაც ეს ღეროები სრულად არის შეყვანილი რეაქტორში, ჯაჭვური რეაქცია ვერ განვითარდება, რადგან ნეიტრონების უდიდესი ნაწილი შთანთქმება ამ ღეროების მასალის ატომების მიერ. რეაქციის დასაწყებად ღეროებს საჭირო დონემდე გამოსწვევენ. ღეროების მდებარეობას რეაქტორში სპეციალური ავტომატური მოწყობილობა არეგულირებს.

ტორებში მისი გამოყენება არ შეიძლება. ამ შემთხვევაში ამრეკლის როლს ცირკონიუმი ასრულებს. ცირკონიუმის გასაოცარი „გულგრილობა“ ნეიტრონების მიმართ თეორეტიკოსების მიერ ჯერ კიდევ 1947 წელს იყო ნავარაუდები, თუმცა ატომური სადგურებისათვის მნიშვნელოვან მასალად იგი უცბად არ ქცეულა. ამის მიზეზი იმაში მდგომარეობს, რომ ცირკონიუმს გააჩნია ორეული – ჰაფნიუმი, რომელიც ქიმიური თვისებებით ცირკონიუმისაგან თითქმის არაფრით არ განსხვავდება, მაგრამ ნეიტრონების ძლიერი შთანთქმელია. ჰაფნიუმი ბუნებაში თან სდევს ცირკონიუმს და მისი ცალკე ელემენტად გამოყოფა მეტად ძნელია. ამ ამოცანის გადაჭრის შემდეგ ცირკონიუმის წარმოება მსოფლიოში 1949 წლიდან 1969 წლამდე ათასჯერ გაიზარდა. ეს არც არის გასაკვირი, რადგან მაღალი დნობის ტემპერატურასთან ერთად (1850°C) ცირკონიუმი კოროზიის მიმართ კარგი მდგრადობით გამოირჩევა. თვისებათა ასეთი შეხამება ცირკონიუმს შეუდარებელ მასალად ხდის ატომური ძრავების სხვადასხვა კონსტრუქციული ელემენტის დასამზადებლად. ცირკონიუმისგან ამზადებენ „სამოსს“ ურანის ფირფიტების ან ცილინდრების კოროზიისაგან დასაცავად ატომურ რეაქტორებში, მაცივებელ მილებს რეაქტორებსა და ატომმაველებში და ა.შ.

რეაქტორის საწვავის ატომგულის დაყოფის შედეგად წარმოიქმნება რამოდენიმე ელემენტი. ეს ძვირფასი „ნაცარი“ ხასიათდება მეტად მაღალი რადიოაქტიურობით. საკმარისია აღინიშნოს, რომ მისი ყოველი კილოგრამი თავისი გამოსხივების ინტენსიურობით ორი ტონა რადიუმის ტოლფასია. რადიოაქტიური ნარჩენები გამოყენებას პოულობს თანამედროვე მეცნიერებაში, მრეწველობასა და მედიცინაში, როგორც გამჭოლი გამოსხივების წყარო. მათი საშუალებით მკურნალობენ სიმსივნეს, ასტერილებენ წამლებსა და სამედიცინო პრეპარატებს. ქიმიკოსები და ბიოლოგები გამოსხივების წყაროს იყენებენ, როგორც „ნიშანდებულ ატომებს“, რომელთა წყალობითაც შესაძლებელი ხდება ორგანიზმებში ქიმიური ნივთიერებების გზის თვალყურის დევნება. რადიოაქტიური ნივთიერებები გამოიყენება ლითონის, ბეტონისა და სხვა არაგამჭვირვალე მასალების მასიური დეტალების გასაშუქებლად. ქიმიურ მრეწველობაში გამოსხივებით აჩქარებენ მრავალი ორგანული ნივთიერების პოლიმერიზაციას. სტრონციუმ-90 წარმატებით გამოიყენება ატომური ელექტრული ბატარეის წარმოებაში, რომელიც კვებას კოსმოსური რაკეტების, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების, ავტომატური მეტეოროლოგიური სადგურებისა და სხვა მოწყობილობების აპარატურას. ქიმიური ბატარეა შეუფერხებლად მუშაობს არაუმეტეს ნახევარი წლისა, ხოლო ატომური – არანაკლებ ხუთი წლისა.

17. ძენდნობადი ლითონები დო შენდნობები

რატომ ინგრევა მრავალსართულიანი შენობები ხანძრის დროს? მათი ფოლადის ჩონჩხედი ხომ არც იწვის დო არც დნება ხანძრის ცეცხლში!

საქმე იმაში მდგომარეობს, რომ გახურებისას ფოლადი კარგავს სიხისტეს დო ადვილად იცვლის ფორმას მცირე დატვირთვის პირობებშიც კი, რის შედეგადაც შენობის ჩონჩხედი საკუთარი სიმძიმის გამო ჩამოინგრევა.

დნობის ტემპერატურამდე დაახლოებით 300°C-ის ფარგლებში რკინა ისეთივე რბილი დო პლასტიკური ხდება, ტოგორც ტყვია ოთახის ტემპერატურაზე. სწორედ ეს თვისება იძლევა ფოლადის ჭედვის, ტვიფრვისა დო ფორმის შეცვლის სხვა ოპერაციების ჩატარების შესაძლებლობას. პლასტიკურობის ასეთი გაზრდა კი იწვევს სიმტკიცის მახასიათებლების შემცირებას 20-ჯერ მაინც. მაშასადამე, რაც უფრო მაღალია ტემპერატურა, მით უფრო მეტად უძნელდება ლითონს დატვირთვის ზემოქმედებისადმი წინააღმდეგობის გაწევა.

კოსმოსური საუკუნის ტექნიკა ისეთი მასალების დიდ დეფიციტს განიცდის, რომლებიც ხანგრძლივი დროის განმავლობაში იმუშავენ მაღალ ტემპერატურაზე დატვირთვის პირობებში. ამჟამად საავიაციო ძრავის ტურბინები მუშაობენ 1100°C-ზე. მაშასადამე, წვის კამერისათვის განკუთვნილმა მასალამ სიმტკიცე უნდა შეინარჩუნოს 1100°C-ზე უფრო მაღალ ტემპერატურაზე. უახლესი ამერიკული სამხედრო თვითმფრინავების აირის ტემპერატურა აირტურბინული ძრავის გამოსასვლელში 1370°C აღწევს. ამჟამად პროექტირდება დო დასახულია ისეთი აირტურბინული ძრავების შექმნა, რომელთა მუშა ტემპერატურა 1700°C-მდე გაიზრდება. ძრავების სიმძლავრის შემდგომი ამაღლება შეეყოვნებულია არა საწვავის შესაძლებლობების გამო, არამედ მხოლოდ იმ მასალების არარსებობით, რომლებიც საიმედოდ დო ეფექტურად იმუშავენ უფრო დო უფრო მაღალ ტემპერატურებზე.

როგორ იქმნება მხურვალმტკიცე მასალები? ამ საკითხში უკეთ გარკვევისათვის საჭიროა ავხსნათ, თუ რა განსაზღვრავს ლითონების დო შენდნობების სიმტკიცეს მაღალ ტემპერატურაზე.

ცხადია, ვერც ერთი საკონსტრუქციო მასალა ვერ იმუშაებს გამდნარ მდგომარეობაში. დნობის ტემპერატურა კი მით უფრო მაღალია, რაც უფრო მტკიცედ არის დაკავშირებული ერთმანეთთან იონ-ატომები ლითონის კრისტალურ გისოსში. რაც უფრო მაღალია ტემპერატურა, მით უფრო ძლიერად ირხევა ლითონის კრისტალური გისოსი. რა გასაკვირია, რომ უკვე რხევით მოძრაობაში

მოსული გისოსი დამატებითი გარე დატვირთვების ზემოქმედებით ბოლოს და ბოლოს დაინგრეს და ნაკეთობა მწყობრიდან გამოვიდეს. გარე დატვირთვა ნებისმიერ გახურებულ ლითონში განაპირობებს მარცვლის საზღვრებზე შიგა დაძაბულობების თანდათან დაგროვებას და ლითონური კონსტრუქციის უცაბედ ნგრევას. ეს განსაკუთრებით ძლიერად მუდგანდება ჰექსაგონური კრისტალური გისოსის მქონე ლითონებში, რაც, ალბათ, იმით არის განპირობებული, რომ გახურების პროცესში ლითონის მარცვლები ერთი მიმართულებით უფრო ძლიერ ფართოვდება, სხვა მიმართულებით კი – სუსტად. ამასთან, მარცვლის თავისუფალ გაფართოებას ხელს უშლის მეზობელი მარცვლები, რაც კიდევ უფრო დიდ დაძაბულობებს წარმოქმნის ამ უბნებში.

კუბური გისოსის გაფართოების კოეფიციენტი პრაქტიკულად ერთნაირია ყველა მიმართულებით, ამიტომ ასეთი სტრუქტურის მქონე ლითონების გახურებისას მარცვლის საზღვრებში დიდი დაძაბულობები არ წარმოიქმნება, ლითონიც მნიშვნელოვნად ნელა კარგავს სიმტკიცეს. აქედან გამომდინარე, მხურვალმტკიცე მასალების ფუძედ სწორედ ასეთი კრისტალური აგებულების მქონე ლითონების გამოყენებაა მიზანშეწონილი.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ტემპერატურის გაზრდით კრისტალური გისოსი არამდგრად მდგომარეობაში გადადის. ასეთი მდგომარეობა ხშირად განაპირობებს ატომების გადაჯგუფებას სივრცეში და სრულიად განსხვავებული ფორმის გისოსის ჩამოყალიბებას. მაგალითად, 911°C-მდე რკინისათვის დამახასიათებელია სივრცით დაცენტრებული კუბური კრისტალური გისოსი, ხოლო ამ ტემპერატურის ზემოთ გისოსის გეომეტრიული ფორმა იცვლება და იგი წახნაგდაცენტრებულ კუბში გადადის. გახურებისას ასეთი გარდაქმნა ზრდის ლითონის პლასტიკურობასა და სიბლანტეს, მაგრამ ძლიერ ამცირებს მისი სიმტკიცის მახასიათებლებს.

იმისათვის, რომ რკინის იონ-ატომებს შორის გაიზარდოს შეჭიდულობის ძალები და გართულდეს გადაკრისტალების პროცესი, რკინას უმატებენ ძნელდნობად ლითონებს – ვოლფრამს, მოლიბდენს, ნიობიუმს. ვოლფრამი რკინას ერთდროულად ანიჭებს სისაღეს, რომელიც შენარჩუნებულია შენადნობის წითელ ვარვარებამდე გახურებისას. დისლოკაციების გადაადგილების უნარს მნიშვნელოვნად ზღუდავს ალუმინისა და ტიტანის დანამატები. უკეთესია, თუ ძალეგირებული ელემენტები რკინაში ძნელდნობად კარბიდებს წარმოქმნიან.

მხურვალმტკიცე შენადნობებში მავნე მინარევებს მიეკუთვნება ადვილდნობადი ნივთიერებები – გოგირდი, ტყვია და ბისმუტი, რომლებიც თავს იყრიან

მარცვლის საზღვრებში და აუარესებენ ფოლადის თვისებებს. ამიტომ მხურვალ-მტკიცე შენადნობების მისაღებად აუცილებელია სუფთა საწყისი მასალების გამოყენება.

თანამედროვე მხურვალმტკიცე შენადნობები ზოგჯერ შეიცავენ ათზე მეტ მალეგირებელ დანამატს. თერმული დამუშავების დროს შენადნობის ფუძიდან მალეგირებელი ელემენტების ატომები მეტად წვრილი ნაწილაკების სახით გამოიყოფა, რომლებიც უპირატესად თავს იყრიან ფუძელითონის მარცვლის საზღვრებში და ხელს უშლიან ბზარწარმოქმნის პროცესის განვითარებას.

პირველი მხურვალმტკიცე შენადნობი რკინის ფუძეზე შექმნილია XX საუკუნის 40-იან წლებში. მისგან დამზადებული აირტურბინის თათების საექსპლუატაციო ტემპერატურული ჭერი $600-700^{\circ}\text{C}$ შეადგენდა.

შედარებით გვიანი მხურვალმტკიცე შენადნობების ფუძედ გამოყენებულია რკინის მეზობლები პერიოდულ სისტემაში – ნიკელი და კობალტი. ასეთ შენადნობებში ატომებს შორის შეჭიდულობის ძალები შედარებით გაზრდილია და, აქედან გამომდინარე, უფრო მაღალი დნობის ტემპერატურით ხასიათდებიან. მიუხედავად ამისა, საექსპლუატაციო ტემპერატურული ჭერი მხოლოდ 1000°C -ის ზღვრებში მდებარეობს. ბუნებრივია, უფრო მხურვალმტკიცე შენადნობების მისაღებად ფუძედ ძნელდნობადი ლითონების გამოყენებაა საჭირო.

სუფთა ვოლფრამი ($t_{\text{ღნ}}=3410^{\circ}\text{C}$) არ ხასიათდება მხურვალმედვეობით, რადგან უკვე 700°C -ზე მისი ჟანგეულები ადვილად ქროლავს. არაკეთილშობილი ლითონების მთავარ დამცავ ფენას ხომ სწორედ მათ ზედაპირზე წარმოქმნილი მდგრადი ოქსიდური ფირები წარმოადგენს. ვაკუუმში ან ინერტული აირის ატმოსფეროში ვოლფრამს ჟანგვა არ ემუქრება, ხოლო ჰაერზე მუშაობისათვის კი საჭირო ხდება რთული შედგენილობის შენადნობების გამოყენება ან მის ზედაპირზე კოროზიამდეგი დანაფარის ხელოვნურად შექმნა. ვოლფრამისა და სხვა ძნელდნობადი ლითონების ფუძეზე შენადნობთა მიღება არ არის იოლი, რადგან მრავალი მალეგირებელი ელემენტი ვოლფრამის გადნობამდე იწყებს აორთქლებას.

მოლიბდენის ($t_{\text{ღნ}}=2610^{\circ}\text{C}$) შენადნობები უკვე პოულობს გამოყენებას მრეწველობაში. მისგან ამზადებენ თვითმფრინავის, რაკეტისა და კოსმოსური აპარატურის ისეთ საპასუხისმგებლო დეტალებს, რომლებიც მუშაობენ მაღალ ტემპერატურებზე ერთდროული ძლიერი დატვირთვის პირობებში.

ტანტალის ($t_{\text{ღნ}}=3000^{\circ}\text{C}$) შენადნობები ვოლფრამთან და ჰაფნიუმთან ($t_{\text{ღნ}}=1975^{\circ}\text{C}$) სიმტკიცეს ინარჩუნებენ 2000°C -მდე და არ მყიდებიან აბსოლუტურ ნუ-

ლამდე გაცივების შემთხვევაშიც კი. ამასთან, იგი კარგად მუშავდება და დუღდება. ეს სარეკორდო მახასიათებლებია. საზღვარგარეთ ამ და ანალოგიური მასალებისგან ამზადებენ რაკეტების წვის კამერასა და შემონაკერს. ტანტალისა და ჰაფნიუმის თანაპოლიმერი სიმტკიცეს ინარჩუნებს 4215⁰C ტემპერატურამდე!

ერთმა სოლიდურმა ინგლისურმა ფირმამ 1929 წელს ციმბირის ერთ-ერთი ფერადი ლითონების ქარხნის დირექტორს შესთავაზა გარკვეულ საფასურად მათთვის დაეთმო ფუჭი ქანების უზარმაზარი ნაყარები. რაში დასჭირდა ფირმას წარმოების ეს ნარჩენები, რომლიდანაც ყველაფერი იყო ამოღებული, რისი მოპოვებაც კი შეიძლებოდა? თუმცა იყო კი ყველაფერი ამოღებული? გულდასმით ჩატარებულმა ქიმიურმა ანალიზმა უჩვენა, რომ დაგროვილი „ფუჭი“ ქანები შეიცავდა უიშვიათეს ლითონს – რენიუმს. ბუნებრივია, შეთანხმება არ შედგა.

რენიუმის არსებობა მენდელეევიმა ჯერ კიდევ 1871 წელს იწინასწარმეტყველა, ხოლო იგი ნახევარი საუკუნის შემდეგ – 1925 წელს აღმოაჩინეს გერმანელმა ქიმიკოსებმა. მათვე დაარქვეს ლითონს სახელი მდინარე რენისა და გერმანიის რენის პროვინციის პატივსაცემად.

რენიუმის პირველი მილიგრამები მიღებულია 1926 წელს. 1930 წელს რენიუმის მსოფლიო წარმოება შეადგენდა . . . სამ გრამს. ეს არც არის გასაკვირი, რადგან რენიუმი დედამიწაზე არსებულ ელემენტებს შორის ყველაზე იშვიათია. გარდა ამისა, მას არ გააჩნია საკუთარი მადანი და ბუნებაშია გაბნეული. რენიუმის მარცვლის გამოსაყოფად საჭიროა ქანების მთელი მთების გადამუშავება ამ სიტყვების პირდაპირი გაგებით.

რითია საინტერესო ეს უიშვიათესი ძნელდნობადი ელემენტი? რენიუმი მეტად სალი, თეთრი-მოვერცხლისფრო ლითონია, რომელიც გარეგნულად პლატინას წააგავს. იგი თითქმის სამჯერ მძიმეა რკინაზე, ხოლო ძნელდნობადობის მიხედვით მხოლოდ ვოლფრამს ჩამოუვარდება. განსაცვიფრებელია მისი ქიმიური მდგრადობა: არ იყანგება ჰაერზე და მეტად უმნიშვნელოდ რეაგირებს მუავებთან და ტუტეებთან. მაღალი დნობის ტემპერატურა (3180⁰C), მნიშვნელოვანი მექანიკური სიმტკიცე და სისაღე, განსაკუთრებული კოროზიამდებობა, მდგრადობა აირების ზემოქმედების მიმართ და ძვირფასი ელექტრული თვისებები რენიუმს მეტად პერსპექტიულ მასალად ხდის ატომური ენერგეტიკის, კოსმოსური მოწყობილობების, ელექტროტექნიკის, რადიოელექტრონიკისა და ხელსაწყოთმშენებლობის სფეროებისათვის. რენიუმის ელექტროკონტაქტები შეუცვლელია ავტომატურ ელექტრორელეებსა და სხვა მრავალ მოწყობილობაში. ვიბრაციის, ატმოსფერულ, ტროპიკულ და ზღვის კოროზიის პირობებში, სადაც ვოლფრამის კონ-

ტექტები სრულად გამოდის მწყობრიდან რამოდენიმე დღე-ღამის განმავლობაში, რენიუმისაგან დამზადებული მუშაობს თვეობით და წლობითაც კი.

რენიუმისა და მისი შენადნობების გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა არსებითად გაზრდილიყო ხელსაწყოების მუშაობის ხანგრძლივობა და შექმნილიყო მათი ხარისხობრივად ახალი და საიმედო ტიპები. რენიუმის მახურებელი ხუთჯერ-ათჯერ ზრდის სატელევიზიო მილაკის მუშაობის ხანგრძლივობას. უფრო მეტიც, ტელევიზორის კათოდის კვანძი შეიძლება პრაქტიკულად მუდმივი დამზადდეს, მაგრამ ეს არავითარ საჭიროებას არ წარმოადგენს, რადგან თვით ტელევიზორი დაძველდება მორალურად.

2000-2500°C დიაპაზონში ტემპერატურის ზუსტი კონტროლისათვის ყველაზე გამოსადეგია რენიუმისა და ვოლფრამის შენადნობებისაგან დამზადებული გადამწოდები.

კალმის წვერი, რომელიც რენიუმის შენადნობისგან არის დამზადებული, პრაქტიკულად უცვვითია. იგივე მიზეზით აღნიშნულ შენადნობებს იყენებენ საპასუხისმგებლო დერძების, კომპასის ისრებისა და სხვა ზუსტი ხელსაწყოების დეტალების დასამზადებლად. რენიუმის შენადნობები შეუცვლელია იქ, სადაც საჭიროა უწვრილესი, მაგრამ ზემტკიცე მავთულის გამოყენება. რენიუმისგან დამზადებული ძაფი, რომელიც ადამიანის თმაზე ორჯერ-სამჯერ უფრო წვრილია, უძლებს 7 კილოგრამზე მეტ დატვირთვას. სამწუხაროდ, რენიუმი ისევე ძვირია, როგორც პლატინა.

კარბიდები საკმაოდ მაღალი დნობის ტემპერატურით ხასიათდებიან. ცირკონიუმის კარბიდისათვის იგი შეადგენს 3420, ნიობიუმის კარბიდისათვის – 3480, ჰაფნიუმის კარბიდისათვის – 3950 და ბოლოს, ტანტალის კარბიდისათვის - 4000°C! ზოგიერთი კარბიდის სისაღე აღმასის სისაღეს უახლოვდება, მაგრამ გაზრდილი სიმყიფე ზღუდავს მათი გამოყენების სფეროს.

ადამიანმა მაინც შეძლო კარბიდების გამოყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის დასამზადებლად. ფხვნილთა მეტალურგიის* მეთოდით ან ფორიანი კარბიდული კერამიკის გამდნარი ლითონით გაქლენთვის გზით ღებულობენ ისეთ მასალებს, რომლებშიც წვრილი კარბიდის მარცვლები თანაბრად არის განაწილებული ლითონის პლასტიკურ მატრიცაში. ასეთ მასალებს კერმეტებს უწოდებენ.

* ფხვნილთა მეტალურგია – მეტალურგიის სფერო, რომელიც მოიცავს ფხვნილთა წარმოებას, მათ გადამუშავებას და კონსოლიდაციას (შემჭიდროებას, გაერთიანებას) მოცემული თვისებების მქონე ნაკეთობად.

კერამიკებისგან ამზადებენ, მაგალითად, რაკეტის მაღალტემპერატურული ძრავის საქმინებს.

18. კეთილშობილი ლითონები

ოქროს, ვერცხლს, პლატინას, ირიდიუმს, ოსმიუმს, პალადიუმს და კიდევ ზოგიერთ სხვა ლითონს კეთილშობილს უწოდებენ მათი არაჩვეულებრივად მაღალი ქიმიური მდგრადობის გამო.

ოქრო ($t_{\text{დნ}}=1064^{\circ}\text{C}$) არ იუანგება გამდნარ მდგომარეობაშიც კი. ოქროზე არ მოქმედებს ყველაზე მწვავე ტუტეები და მჟავები. იგი მხოლოდ „ჯოჯოხეთურ“ ნარევი იხსნება, რომელსაც „სამეფო ხსნარს“ უწოდებენ. ნარევი შედგება სამი წილი მარილმჟავისა და ერთი წილი აზოტმჟავისაგან. არსებობს უფრო მეტად კეთილშობილი ლითონებიც, მაგალითად, ირიდიუმი და ოსმიუმი, რომლებსაც ვერც „სამეფო ხსნარი“ ვნებს რამეს.

ოქრო მეტად ჭედადი ლითონია. მისი ერთი გრამიდან შეიძლება გამოიჭიროს 3,5 კმ სიგრძის ძაფი! ვერცხლი რამდენადმე სალია ოქროსთან შედარებით, მაგრამ ისიც საკმაოდ რბილი და პლასტიკურია. მნიშვნელოვნად სალია პლატინა, ირიდიუმი და ოსმიუმი. ეს უკანასკნელი „ჩემპიონია“ სიმკვრივის მიხედვით – მისი კუთრი წონაა 22,5 გ/სმ³, პლატინისა – 21,5 გ/სმ³, ოქროსი – 19,3 გ/სმ³, ხოლო ვერცხლისა – 10,5 გ/სმ³. სამაგიეროდ ელექტრო და თბოგამტარობის მიხედვით პირველ ადგილზეა ვერცხლი. ამ მახვენებლებით მას უმნიშვნელოდ ჩამორჩება ოქრო.

ძველთაძველი დროიდან დღემდე კეთილშობილი ლითონების უმრავლესობა გამოიყენებოდა ყველანაირი სამკაულისა და კბილის პროთეზის დასამზადებლად. ამჟამად კი კეთილშობილი ლითონების 80%-მდე იხარუება ხელსაწყოთმშენებლობასა და ქიმიურ მრეწველობაში. თუ ადრე ოქროთი მხოლოდ ტაძრების გუმბათებსა და სასაძილო ჭურჭელს ფარავდნენ, ამჟამად მათ გამოიყენებენ რაკეტების, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების, კოსმოსური ხომალდების, დამუხტული ნაწილაკების ამაჩქარებლებისა და თვითმფრინავის განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო დეტალების დასაფარად. უთხელესი (მილიმეტრის მემილიონედ) ოქროს ფენით ფარავენ ჰერმომუზარადის საჩესს, რომელიც თავისუფლად ატარებს ხილულ სინათლეს, ხოლო ინფრაწითელი გამოსხივების 60%-ს ირეკლავს.

ოქრო წარმოადგენს ზოგიერთი ქიმიური რეაქციის კატალიზატორს, მაგა-

ლითად, ატომური ჟანგბადის მოლეკულად შეერთების რეაქციისათვის. მეცნიერები და კონსტრუქტორები ოცნებობენ ამ რეაქციის ენერგია გამოიყენონ სტრატოსფერული თვითმფრინავების შექმნისათვის, რომლებსაც არ დასჭირდებათ საფრენად საწვავის მარაგის აღება – ღრუბელზედა სიმაღლეებში ხომ ატომური ჟანგბადი საჭიროზე მეტია. იგი მუდმივად იბადება ჟანგბადის მოლეკულების დაშლის შედეგად მზის გამოსხივების ზემოქმედებით. ასე, რომ შესაძლებელია ზეჩქაროსნულმა საკონტინენტთაშორისო ლაინერმა ახლო მომავალში შეძლოს უფასო საწვავის აღება უშუალოდ გარემოდან. ამ ოცნების განხორციელებაში ხელშემწყობი სწორედ ოქროა. ოქროს შემცველი შენადნობები გამოიყენება მიკროელექტრონიკაში და აღდგენით ქირურგიაში.

ტექნიკაში ოქროსთან შედარებით უფრო ფართო გამოყენებას სხვა კეთილშობილი ლითონები – ვერცხლი, პლატინა და პალადიუმი პოულობს.

დიდი ხნის წინ იყო შემჩნეული, რომ ვერცხლის ჭურჭელში წყალი არ ფუჭდება. ძველი ეგვიპტელები კი დაჩირქების გამოსარიცხად და შეხორცების პროცესის მნიშვნელოვნად დასაჩქარებლად ღია ჭრილობაზე ვერცხლის ფირფიტას ადებდნენ. საქმე იმაშია, რომ ვერცხლი უმნიშვნელოდ, მაგრამ მაინც იხსნება წყალში, ხოლო ვერცხლის მეტად სუსტი წყალხსნარიც კი ხოცავს მიკროორგანიზმებს. დღესაც, ძლიერმოქმედი ანტიბიოტიკების საუკუნეში, ვერცხლის გაუსნებოვნების თვისება ფართოდ გამოიყენება მედიცინასა და სანიტარულ ტექნიკაში. მაგალითად, წყალს, რომელსაც სვამდნენ კოსმონავტები, დამატებული ჰქონდა ვერცხლი.

სარკის ამრეკლი ზედაპირი სხვა არაფერია, თუ არა ვერცხლის ან ალუმინის ფენა, რომელიც დატანილია მინაზე. რადგან ვერცხლი სხვა ლითონებთან შედარებით ყველაზე კარგი სითბოგამტარი მასლაა, მას იყენებენ აგრეთვე სხვადასხვა სითბოს გამზომ ხელსაწყოებში, მაგალითად, საავიაციო წინაღობის თერმომეტრებში.

და კიდევ ვერცხლის გამოყენების ერთ-ერთი სფეროს შესახებ. წარმოიდგინეთ, რომ ელექტროშემდუღებელი გამჭვირვალე სათვალეებით ამზადებს სამუშაოს, დამაბრმავებელი ელექტრული რკალის ანთებისთანავე კი სათვალის მინები მყისიერად მუქდება. რკალის ჩაქრობის შემდეგ სათვალის მინა ისეთივე გამჭვირვალე ხდება, როგორც შედუღების დაწყებამდე იყო. საინტერესოა, რა სასწაულმოქმედ სათვალეს უნდა ხმარობდეს შემდუღებელი? უბრალოდ, აქ გამოყენებულია მინის ფოტოქრომული ეფექტი.

ფოტოქრომული მინის შედგენილობაში შეჰყავთ ქლორიანი ვერცხლი. სი-

ნათლის სხივის ზემოქმედებით იგი იშლება სუფთა ვერცხლისა და ქლორის ატომებად, რის შედეგადაც მინა მუქდება. პროცესი შექცევადია, ამიტომ სინათლის წყაროს ჩაქრობისთანავე ატომები კვლავ ერთიანდებიან ქლორიანი ვერცხლის მოლეკულებად და მინა გამჭვირვალე ხდება.

ჯერ-ჯერობით მრეწველობა ფოტოქრომულ მინას უშვებს მხოლოდ სათვალეებისათვის, მაგრამ მომავალში ასეთი მინებით შეიძლება აღიჭურვოს არქივებისა და მუზეუმების ფანჯრებიც.

სამხრეთ ამერიკის ესპანელმა დამპყრობლებმა პლატინო-დელ-პინოს ნაპირზე იპოვეს უცნობი კეთილშობილი ლითონი, რომელიც ვერცხლს წააგავდა. მას პლატინა უწოდეს (სიტყვა პლატინა ესპანურ ენაზე ვერცხლს ნიშნავს). პლატინა ისეთი დიდი რაოდენობით შეიტანეს ესპანეთში, რომ მისი ფასი ოქროზე დაბლა დაეცა. ესპანელმა იუველიერებმა სწრაფად შენიშნეს, რომ კუთრი წონების უმნიშვნელოდ განსხვავების გამო პლატინისა და ოქროს შენადნობი პრაქტიკულად არ განსხვავდებოდა სუფთა ოქროსაგან. ამიტომ მათ დაიწყეს პლატინის შერევა ოქროს საიუველირო ნაკეთობებსა და მონეტებში. ამ ფაქტმა მთავრობა შეაშფოთა, მაგრამ გაყალბების საწინააღმდეგოდ ვერაფერი მოიფიქრა გარდა იმისა, რომ აეკრძალა პლატინის შემოტანა სახელმწიფოში და საკუთარი მარაგიც გაენადგურებინა – იგი ჩაძირეს ზღვასა და მდინარეებში.

პლატინა ($t_{\text{ღვ}}=1770^{\circ}\text{C}$) ხასიათდება თვისებათა ჭეშმარიტად არაჩვეულებრივი შეხამებით. ქიმიური მდგრადობით იგი ვერცხლის შესაბამისია, ხოლო თბო და ელექტროგამტარობით უმნიშვნელოდ ჩამოუვარდება ვერცხლსა და სპილენძს. ამასთან, პლატინა საკმაოდ სალი, მტკიცე და მსურვალმტკიცე მასალაა. თვისებათა კარგი შეხამების წყალობით პლატინა დღეს ფართო გამოყენებას პოულობს. მისგან ამზადებენ ყველანაირ ქიმიურ ჭურჭელს და აპარატურას ლაბორატორიებისა და ქიმიური მრეწველობისათვის, აგრეთვე განსაკუთრებით ზუსტი გამზომი ხელსაწყოების ელექტროდებს. იგი შეუცვლელი მასალაა ოპტიკური მინის სახარში ჭურჭლის დასამზადებლად.

პლატინის სარკე ხასიათდება ცალმხრივი გამჭვირვალობით. ჩრდილის მხრიდან ისევე, როგორც მინიდან, ყველაფერს დაინახავთ, ხოლო სინათლის წყაროს მხრიდან იგი ჩვეულებრივი სარკეა.

პლატინა ოქროზე ძვირი ღირს, ამიტომ მისი გამოყენების სფერო შეზღუდულია.

კეთილშობილი ლითონების ოჯახიდან ყველაზე პერსპექტიულია პალადიუმი. ქიმიურად იგი ნაკლებად მდგრადია, მაგრამ შედარებით იაფი. პალადიუ-

მის მცირე დანამატები მნიშვნელოვნად ზრდის უჟანგავი ფოლადის მედეგობას გოგირდმჟავას ხსნარში, ხოლო ტიტანის შენადნობებს მდგრადობას ანიჭებს ცხელ მარილმჟავასა და გოგირდმჟავაში. პალადიუმი პერსპექტიულია, როგორც საკონსტრუქციო მასალა ქიმიური მანქანათმშენებლობისათვის. პალადიუმის შენადნობი ვოლფრამთან მისთვის დამახასიათებელ ძვირფას ელექტრულ და სხვა თვისებებს ინარჩუნებს ზღვის წყალში, ამიაკის ორთქლში, გოგირდოვან აირში და სხვა ქიმიურად აგრესიულ გარემოში. აღნიშნული შენადნობების გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა ოცჯერ და მეტად გაზრდილიყო მრავალი ელექტრული ხელსაწყოთა საიმედოობა და შეუფერხებელი მუშაობის ხანგრძლივობა. ამასთან, მნიშვნელოვნად შემცირდა დანახარჯები მათ მომსახურებაზე. ელექტრონული პოტენციომეტრების მუშაობის ხანგრძლივობა კი თითქმის ასჯერ გაიზარდა.

დანარჩენი კეთილშობილი ლითონები ნაკლებად გამოიყენება მათი იშვიათობისა და სიძვირის გამო.

ფორდის ქარხნის საამქროებში გამოკრულია პლაკატი: „ღმერთმა ცუდად არ შექმნა ადამიანი, მაგრამ დაავიწყდა მისთვის დაემზადებინა სათადარიგო ნაწილები“. და აი, ადამიანმა თვითონ დაიწყო ზრუნვა მისთვის საჭირო „სათადარიგო ნაწილების“ შექმნაზე. მას, უპირველეს ყოვლისა, შეიძლება მივაკუთვნოთ ხელოვნური კბილები.

უძველესი კბილის პროთეზი ნაპოვნია ეტრუსკების სამარხში, რომლებიც ცხოვრობდნენ იტალიის ტერიტორიაზე IX-VI საუკუნეებში ჩვენს ერამდე. პროთეზი დამზადებულია მსხვილფეხა რქიანი საქონლის ან სპილოს ძვლისაგან, ხოლო სამაგრად გამოყენებულია ოქროს თხელი მავთული და რგოლი. ევროპაში კბილის ლითონის გვირგვინი მხოლოდ XVI საუკუნეში გამოჩნდა.

არქეოლოგიური გათხრების დროს ნაპოვნი ერთ-ერთი მუმიის თავის ქალის ძვალი ოქროს ფირფიტით შეცვლილი აღმოჩნდა. გულდასმით ჩატარებულმა კვლევებმა ცხადყო, რომ ასეთი შეცვლა შესრულებული იყო ადამიანის სიცოცხლეში. ამგვარად, ჯერ კიდევ ძველთაძველ პერიოდში ოქრო გამოიყენებოდა ადვანტით ქირურგიაში.

სპეციალისტთა მრავალწლიანი შრომის შედეგად შექმნილი ლითონური მასალებით შეიძლება შეიცვალოს ადამიანის ესა თუ ის ქსოვილი ან ორგანო. ადამიანის ორგანიზმში საკმაოდ აგრესიული ელექტროქიმიური გარემოა, ამიტომ მასში შეტანილმა უცხო სხეულმა არა მარტო უნდა გაუძლოს მის ზემოქმედებას, არამედ უნდა გამოირიცხოს კიდევ რაიმე არასასურველი შედეგის განვითარება. მაგალითად, სისხლძარღვის შეცვლა პლასტმასით რატომღაც ქმნის თრომ-

ბის წარმოქმნის საშიშროებას.

მთელი რიგი ლითონები და შენადნობები (ტანტალი, ცირკონიუმი, ოქრო და მისი შენადნობები სპილენძთან, პლატინა, ირიდიუმი, უუანგავი ფოლადი) უთავსდება ადამიანის ორგანიზმს. ისინი არა თუ არ განიცდიან კოროზიას, არამედ ცოცხალ ქსოვილსაც კი არ აღიზიანებენ.

სხვა ლითონებთან შედარებით ცოცხალი ორგანიზმის ქსოვილს უკეთ ეგუება ტანტალი. ტანტალის ფირფიტით ხურავენ, მაგალითად, თავის ქალის მოტეხილობას. ტანტალის ძაფის ნართი ცვლის კუნთის ქსოვილს, ხოლო მისგან დამზადებული ბადე გამოიყენება თვალის პროთეზებში. ტანტალის ძაფმა შეიძლება შეასრულოს ნერვებისა და მყესის დაკარგული ნაწილების ფუნქცია.

19. ლითონები და ბარემო

ლითონები დედამიწის ქერქში უმეტეს შემთხვევაში სხვა ელემენტებთან ნაერთების სახით გვხვდება. ადამიანი იღებს ლითონს, ასუფთავებს, ამზადებს პროდუქტს, შემდეგ კი მისი ექსპლუატაციის პროცესში ლითონი გარემოში იბნევა. ამიტომ, გვინდა ეს თუ არა, ლითონური ელემენტების „ჩანერგვა“ ადამიანის ორგანიზმშიც მიმდინარეობს. თუ პირველყოფილი ადამიანის ძეგლები ტყვიას 2 მილიგრამამდე შეიცავდა, თანამედროვე ქალაქში მაცხოვრებელი ამ ელემენტს 100-ჯერ უფრო მეტი რაოდენობით შეიცავს. ამის ერთ-ერთი ძირითადი მიზეზია საავტომობილო ბენზინის წვის პროდუქტები. ძრავის სიმძლავრისა და მარგი ქმედების კოეფიციენტის გაზრდის მიზნით საავტომობილო ბენზინს ტყვიის ტეტრაეთილს უმატებენ ანტიდეტონატორის სახით. ამიტომ ბენზინის ყოველი ლიტრი ატმოსფეროში გამოაფრქვევს 200-დან 400 მგ-მდე ტყვიას. ამჟამად მსოფლიოში 250 მილიონამდე ავტომანქანა მოძრაობს, ამდენად, გამონაბოლქვში ტყვიის რაოდენობა წელიწადში 250000 ტონას აღწევს!

ამერიკის შეერთებული შტატების 19 შტატში, სადაც მცხოვრებთა რიცხვი 100 მილიონს შეადგენს, ადამიანის ჯანმრთელობისათვის საშიში ვერცხლისწყლის კონცენტრაცია დაფიქსირდა. მეზობელ კანადაში კი აიკრძალა ქარიყლასა და ქორჭილას რეწვა, რომლებიც თურმე ვერცხლისწყლის კონცენტრატორებს წარმოადგენენ. მათი ხორციით კვებამ ადამიანები ტრაგიკულ შედეგამდე მიიყვანა. ანალოგიური ტრაგედია მოხდა იაპონიის ქალაქ მინამატაში 1953 წელს, რასაც დაახლოებით 50 ადამიანის სიცოცხლე შეეწირა.

ამჟამად მსოფლიოში ყოველწლიურად აწარმოებენ 8-9 ათას ტონა ვერ-

ცხლისწყალს. ამ რაოდენობის თითქმის ნახევარი გარემოში იბნევა. დაახლოებით ამდენივე გადადის ატმოსფეროში ნახშირის წვისას, ლითონების გამოღობისას თუ ცემენტის წარმოებისას. როგორი პარადოქსულიც არ უნდა იყოს, არა ლითონის წარმოება, არამედ საწვავის წვა არის ძირითადი არხი, რომლითაც ლითონი გარემოში იფრქვევა.

ნახშირის, ტორფის, ნავთობისა და ფიქალის ნაცარი საკმაოდ დიდი რაოდენობით შეიცავს სხვადასხვა ლითონს (სტრონციუმს, ვანადიუმს, თუთიას, გერმანიუმს და სხვა). მსოფლიოში დღეისათვის უკვე დამწვარია არანაკლები 135 მილიარდი ტონა ნახშირი და 40 მილიარდი ტონა ნავთობი. ამდენად, კაცობრიობის მიერ ნაცართან ერთად გარემოში მიმობნეულია მრავალი მილიონი ტონა სხვადასხვა ლითონი.

კადმიუმს შეიცავს ზოგიერთი მინერალური სასუქი. მაგალითად, ფუნგიციდები (სოკოს საწინააღმდეგო პრეპერატი), საღებავი და პლასტმასი. სისხლში კადმიუმის დიდი რაოდენობა იწვევს სისხლის წნევის აწევას, კიბოს მრავალი ფორმის განვითარებას და ძვლის ისე ძლიერ გამყიფებას, რომ ღრმად ჩასუნთქვამ ნეკნის გადატეხვაც კი შეიძლება გამოიწვიოს.

ბუნებრივია, მეტალურგიული პროცესებიც იწვევს გარემოს დაბინძურებას. მაგალითად, ბრძმედის აირი და საკერძის მტვერი შეიცავს რკინას, ტყვიას, კალციუმსა და მაგნიუმს, მანგანუმსა და ვერცხლისწყალს, სპილენძსა და დარიშხანს. შავი სპილენძის ყოველ ტონაზე მოდის ორ ტონამდე მტვერი, რომლის შემადგენლობაში სპილენძისა და რკინის ჟანგის გარდა შედის 45%-მდე დარიშხანი, ვერცხლისწყალი, თუთია და ტყვია. მრავალი ტექნოლოგიური პროცესის დროს უხვად გამოიყოფა გოგირდოვანი და ბუნების მომწამლავი სხვა აირები. საკმაოდ გონებამახვილურად არის ნათქვამი: ან ადამიანებმა უნდა შეამცირონ ბოლი დედამიწაზე, ან ბოლი შეამცირობს ადამიანების რიცხვს.

მდგომარეობა სერიოზულია. ამჟამად ელემენტების ბალანსი დედამიწის ბიოსფეროში, რომელიც მრავალი მილიონი წლების განმავლობაში ყალიბდებოდა, დარღვეულია და ეს გასულ ასწლეულებში მოხდა. მრავალი მეცნიერი ლაპარაკობს სულ უფრო და უფრო მზარდ ლითონურ წნეხზე, რომელიც ბიოსფეროზე მოქმედებს. წყლის დაბინძურების ხარისხი დღითიდღე მატულობს. დედამიწის ატმოსფერო კი სულაც არ არის უსაზღვრო, ხოლო მსოფლიო ოკეანე – უძირო.

არის კი გამოსავალი უკვე დაწყებული ეკოლოგიური კრიზისიდან?

რასაკვირველია. ფუტუროლოგები* ვარაუდობენ, რომ 2100 წლისთვის

მრეწველობაში ქვანახშირზე მოვა კაცობრიობის მიერ გამოიმუშავებული ენერჯის 1%-ზე ნაკლები, ხოლო მრეწველობის ყველა დარგში, მათ შორის მეტალურგიაში, დაინერგება უნარჩენო ტექნოლოგიები. წარმოების ნარჩენები ითამაშებს ნედლეულის როლს ახალ-ახალი დარგების განვითარებისათვის.

მართლაც, ნარჩენები საუცხოო ნედლეულს წარმოადგენს: არ არის საჭირო მათი მოპოვება, დაქუცმაცება და შორი მანძილიდან ზიდვა. ნავარაუდევია, რომ ნახშირის ნაცრისაგან შესაძლებელია 3-3,5 მილიონი ტონა ალუმინის წარმოება; ნაცარი გამოყენებას პოვებს ცემენტის, შიფერისა და სხვა სამშენებლო მასალების წარმოებაში. მისგან დამზადდება მთელი რიგი ძვირფასი ქიმიური პროდუქტები. ამგვარად, გარემოს დაცვაზე ზრუნვა ადამიანს მოუტანს დიდ ეკონომიურ მოგებასაც. ამერიკელი მეცნიერები თვლიან, რომ საყოფაცხოვრებო ნაგვის გადამუშავებით შეიძლება ფოლადის, ალუმინის, სპილენძის, ქადალდის, მინისა და კიდევ მრავალი სხვა ნაწარმის მიღება.

ბუნებრივია, განსაკუთრებული ყურადღების ცენტრშია ისეთი მრეწველობის განვითარება, რომელსაც საერთოდ არ გააჩნია ნარჩენები. ასეთს მიეკუთვნება, მაგალითად, მიკრობიოლოგიური მეტალურგია – ლითონების მოპოვება მიკროორგანიზმების საშუალებით.

ცოცხალ ორგანიზმებს გააჩნიათ უნარი, საკუთარ თავში დააგროვონ ლითონები. მაგალითად, რბილწიწვიანა აგროვებს ნიობიუმს, სიმინდი და შვიტა – ოქროს, ჭარხალი და თამბაქო – ლითიუმს, მოლუსკები – სპილენძს, მედუზები – ტყვიას, თუთიას და კალას. არის ცოცხალი ორგანიზმები, რომლებშიც კონცენტრირდება ვანადიუმი, სტრონციუმი, ნიკელი, ურანი, მოლიბდენი და სხვა ლითონები.

იაპონიაში სპეციალურად ამრავლებენ ცოცხალ ორგანიზმებს, რომლებიც ვანადიუმის კონცენტრატორებს წარმოადგენენ. „ცოცხალ მადანს“ აგროვებენ, წვავენ და ვანადიუმს მისი ნაცრიდან ღებულობენ.

„მიკროსკოპულ“ მეტალურგებს, ანუ მიკროორგანიზმებს, შეუძლიათ ლითონის ამოღება დიდი ხნის წინ მიტოვებული, იმ დროისათვის უკვე გაღარბებული, გამოუსადეგარი საბადოებიდან. მათ ასევე შეუძლიათ დახმარების გაწევა იმ ნარჩენების გადამუშავებაში, რომლებიც მთებად არის წამოზრდილი მრავალ

* ფუტუროლოგია არის სოციალური პროგნოსტიკა, ანუ სოციოლოგიის დარგი, რომელიც კაცობრიობის მომავალს შეისწავლის.

ადგილას. ეს მხოლოდ დასაწყისია. მიკრობიოლოგები და გენეტიკოსები ინტენსიურად მუშაობენ ისეთი მიკროორგანიზმების ახალი ჯიშების (შტამების) გამოყვანაზე, რომლებიც მაღალპროდუქტიულობით იქნებიან გამორჩეული. მიზანდასახული სელექციით უკვე მიღებულია მიკროორგანიზმები, რომლებშიც ოქროს კონცენტრაცია 1 ლიტრ ხსნარში 35 მილიგრამს აღწევს. ეს უკვე კარგი შედეგია.

20 ლითონის ალტერნატიული მარაბი

არაგისთვის არ არის საიდუმლო, რომ იღვევ ვერცხლის, სპილენძის, ნიკელისა და სხვა მრავალი ლითონის მარაგი. მომავალი ქიმიკოსები, მეტალურგები, ლითონმცოდნეები, ტექნოლოგები და კონსტრუქტორები მზად უნდა იყვნენ ახალი ტიპის მადან-ლითონური ნედლეულის გადასამუშავებლად, რომელსაც ადამიანი ოკეანის ფსკერიდან, დედამიწის მანტიიდან, ასტეროიდებიდან, მთვარიდან თუ სხვა პლანეტებიდან მოიპოვებენ.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ზღვის წყალი საუკეთესო ნედლეულია მრეწველობისათვის. დედამიწის ოკეანის წყლებში გახსნილია 8 მილიონი ტონა ოქრო, 80 მილიონი ტონა ნიკელი, 164 მილიონი ტონა ვერცხლი, 800 მილიონი ტონა მოლიბდენი.

ზღვის წყლიდან უკვეღებულობენ მაგნიუმსა და ურანს. ზღვისა და ოკეანის წყლებიდან ამოღებული მაგნიუმი მსოფლიო წარმოების 20%-ს აღწევს. დიდ ბრიტანეთში „ზღვის“ მაგნიუმი აკმაყოფილებს საკუთარი მოთხოვნების 80%.

მსოფლიო ოკეანის რესურსები ამოუწურავია. მათ მიეკუთვნება ფსკერზე გაბნეული მძიმე ლითონები, რკინა-მანგანუმისა და მრავალლითონიანი ნაერთების უზარმაზარი საბადოები, წყალქვეშა მთების ქრომის მადნები, იშვიათი ელემენტები ზღვის მარილში და სხვა სიმდიდრეები.

აფრიკის სამხრეთ-დასავლეთით, ზღვის სანაპიროში, ტუმბოების საშუალებით გრუნტთან ერთად ამოაქვთ ალმასი. აღსანიშნავია, რომ ხრეშიდან ალმასის საშუალო გამოსავალი ხუთჯერ აღემატება ხმელეთის მადნიდან ამოღებულ რაოდენობას.

ოკეანეში არის ლითონის კიდევ ერთი წყარო. ხუთი ათასი მეტრის სიღრმეზე ზღვის გეოლოგებმა აღმოაჩინეს წითელი თიხა. იგი შეიცავს ალუმინის მარაგს გიგანტური რაოდენობით – 4×10^5 ტონამდე. გარდა ამისა, მადანში შედის კობალტი, ნიკელი და სპილენძი. წითელი თიხიდან კობალტის ამოღება საშუალებას მოგვცემს გავახანგრძლივოთ მისი გამოყენება 300 ათასი, ნიკელისა – 20

ათასი, სპილენძისა – 75 ათასი წლით დღევანდელი მასშტაბით მათი მოპოვების დონის შენარჩუნებით.

ნავთობის ჭაბურღილის ბურღვისას სამხრეთ კალიფორნიაში 3000 მეტრის სიღრმიდან ამოხეთქა ცხელი წყლის ჭავლმა, რომელიც ლითონების ნამდვილი წყარო აღმოჩნდა. მასში დიდი რაოდენობით შედის კალიუმი, ნატრიუმი და ლითიუმი. ერთი ლიტრი წყალი შეიცავს რამოდენიმე გრამ რკინას, სპილენძს, მცირე რაოდენობით მაგნიუმსა და ვერცხლს. წყალში ლითონების კონცენტრაცია იმდენად დიდია, რომ ჭაბურღილის პირი იფარებოდა შავი ლითონური ლამითა და წითელი და თეთრი სპილენძის კრისტალებით.

არა, ლითონური კრიზისი ადამიანს არ ემუქრება. ლითონი საკმარისია არა მარტო ჩვენთვის, არამედ ჩვენი შვილის შვილებისთვისაც, თუმცა უნდა გავითვალისწინოთ ერთი ჭეშმარიტება: „ჩვენი პლანეტა შიძლება მივუსადაგოთ უკიდვანო ოკეანეში შეცურებულ იახტას. მის ბორტზე მტკნარი წყლის, სურსათ-სანოვაგისა და სხვა აუცილებელი საგნების შეზღუდული მარაგია. ცურვის დროს ამ მარაგის შევსება ვერსაიდან ვერ მოხერხდება. დედამიწა კი არც ისე დიდია!“

თუმცა კოსმოსურ ერაში გამოკვეთილია ლითონების მოპოვების კიდევ ერთი პერსპექტივა. არსებობს არაერთი პროექტი ციური სხეულებიდან დედამიწის მარაგის შესავსებად. პლანეტებს შორის სივრცეში ათობით ათასი მცირე პლანეტა, ანუ ასტეროიდი „დასეირნობს“, რომლებიც ძირითადად რკინისა და ნიკელისაგან შედგებიან. ზოგიერთი მათგანის ორბიტა მეტად ახლოს გადის დედამიწის ორბიტასთან, რის გამოც ხშირად ძალიან ახლოს აღმოჩნდებიან ხოლმე ჩვენს პლანეტასთან. მეცნიერთა ნაწილის აზრით, კოსმოსური ტექნიკის გამოყენებით თეორიულად შესაძლებელია მათი გადმოყვანა დედამიწის მახლობელ ორბიტაზე, ხოლო შემდეგ – რკინისა და ნიკელის მოპოვების დაწყება.

მიღებული ლითონების დედამიწაზე გადმოსაზიდად ნავარაუდევია ლითონური პენობლოკების დამზადება და მათი ჩამოტვირთვა ოკეანეში, სადაც ისინი იცურებენ მანამ, სანამ სატრანსპორტო გემი არ მიაწვდის სანაპიროზე განთავსებულ მეტალურგიულ ქარხანას.

სპეციალისტების გათვლით, ერთი კუბური მეტრი ასტეროიდი თანამედროვე მოთხოვნის ნორმების პირობებში დედამიწას რკინით უზრუნველყოფს 15, ხოლო ნიკელით – 1250 წლის განმავლობაში. ასტეროიდები შეიძლება შეიცავდნენ აგრეთვე სტაბილურ იზოტოპებს რიგითი ნომრით 112-დან 126-მდე.

მთვარიდან ჩამოტანილი მთის ქანების ანალიზმა ცხადყო, რომ მასში

ბევრად უფრო მეტია თორიუმის, ტიტანის, ცირკონიუმისა და იტრიუმის შემცველობა, ვიდრე დედამიწაზე.

აქედან გამომდინარე, მომავალი ქიმიკოსები, მეტალურგები, ლითონმცოდნეები და ლითონთა ფიზიკოსები უნდა მომზადდნენ იმისათვის, რომ შეძლონ მთვარის, ასტეროიდებისა და სხვა პლანეტებიდან მოპოვებული ნედლეულის გადამუშავება.

21. ლითონმცოდნეობის მომავალი

გასული საუკუნის 80-იან წლებამდე მეცნიერება ლითონების შესახებ, თუ შეიძლება ეს ასე ითქვას, ჩამორჩენილ პოზიციაში იმყოფებოდა. როგორც წესი, ახალ ლითონურ მასალებს ჯერ ლაბორატორიაში დებულობდნენ, ხოლო მისი თვისებების შესწავლას შემდეგ იწყებდნენ. აქედან გამომდინარე, შენადნობების უმრავლესობა შემუშავებულია ემპირიული გზით ისევე, როგორც დებულობდნენ ახალ მასალებს ასწლეულების წინათ.

ტექნიკაში გამოყენებული ელემენტების მრავალფეროვნება და მათი ურთიერთშეხამების ამოუწურავი პირობები უნიკალური თვისებების შენადნობების შექმნის პერსპექტივებს სახავეს, მაგრამ კაცობრიობა ვერ იყენებს ყველა ამ შესაძლებლობას უბრალოდ იმის გამო, რომ ლაბორატორიაში მათი გამოცდის რიგი ჯერ არ დამდგარა. თუმცა ვარაუდობენ, რომ ცნობილი ელემენტების ყველა შესაძლო ურთიერთშეხამების შედეგის ექსპერიმენტული კვლევისათვის საჭირო ლითონის რაოდენობა დედამიწის წონას გადააჭარბებს! ამასთან, საჭირო იქნებოდა უსასრულოდ დიდი დრო და სახსრები. მაშ რაშია გამოსავალი? ამ კითხვას პასუხი ცალსახად შეიძლება გაეცეს: ახალი შენადნობების „გაანგარიშებაში“.

აბა დაუკვირდით: „კალმის წვერის გამოყენებით“ ასტრონომებს აღმოჩენილი აქვთ პლანეტები; წამის მეათედის სიზუსტით ითვლიან მთვარისა და მზის დაბნელების პერიოდს არა მარტო ახლო მომავალში, არამედ რომელიც უკვე მოხდა ათასწლეულების წინ ან მოხდება ასეული და ათასწლეულების შემდეგ. გვირაბის მშენებლები აბსოლუტური სიზუსტით საზღვრავენ მიწის ქვეშ ერთმანეთის შესახვედრად მოძრავი გვირაბგამყვანების შეხვედრის ადგილსა და დროს. მაშ რატომ არ შეიძლება იმავე „კალმის წვერის“ და, უფრო მეტიც, კომპიუტერის გამოყენებით ლითონთა ფიზიკოსმა და ლითონმცოდნეებმა ჯერ გამოთვალონ სასურველი თვისებების მქონე შენადნობების შედგენილობა, განსაზღვრონ შესაბამისი დამუშავების ხერხი და მხოლოდ ამის შემდეგ, წინასწარი მონაცემე-

ბის საფუძველზე, მიიღონ და შეისწავლონ მათი თვისებები? რა არის ამისთვის საჭირო?

სასურველი თვისებების მქონე, ჯერ კიდევ არ არსებული შენადნობის შედგენილობის წინასწარი განსაზღვრისათვის აუცილებელია ვისწავლოთ კრისტალში ელექტრონების განაწილების, მათი ურთიერთქმედების ხასიათისა და ატომთშორისი კავშირის ძალების გამოთვლა. სწორედ ამ გზით არის შესაძლებელი ლითონმცოდნეობის გადაყვანა განვითარების აღწერითი ეტაპიდან ახალ საფეხურზე, როდესაც შესაძლებელი გახდება თეორიულად განისაზღვროს სასურველი თვისებების მქონე შენადნობის შედგენილობა და სტრუქტურა. სწორედ აქ იკვეთება ლითონთა ფიზიკოსისა და ლითონმცოდნისათვის №1 ამოცანა: შეიქმნას შენადნობთა უახლესი თეორია, რომელიც წინასწარ ცნობილი თვისებების მქონე მასალის შექმნის შესაძლებლობას უზრუნველყოფს.

ლითონის თანამედროვე კვანტური თეორია საშუალებას იძლევა პრინციპულად გამოითვალოს პრაქტიკულად ნებისმიერი შენადნობის ყველა ძირითადი მახასიათებელი. არსებული ცნობების თანახმად, დღეისათვის შესაძლებელი გახდა კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით დაახლოებით განსაზღვრულიყო თვისებათა მახასიათებლები უმარტივესი შედგენილობის შენადნობებისათვის. მაგალითად, 0°C ტემპერატურაზე გამოთვლილია ელექტროწინააღობა ნიობიუმისა და მოლიბდენის, მოლიბდენისა და ტანტალის, ტანტალისა და ვოლფრამის, ვოლფრამისა და მოლიბდენის, ვოლფრამისა და ნიობიუმის წყვილების ნებისმიერი კონცენტრაციის შენადნობებისათვის. წინასწარ განსაზღვრული თვისებების მქონე შენადნობების ლაბორატორიული კვლევით დადგინდა, რომ უმეტეს შემთხვევაში პროგნოზი მართლდება, თუმცა მეთოდი შემდგომ სრულყოფასა და დახვეწას მოითხოვს. ეს არც არის გასაკვირი, რადგან გამოთვლითი ლითონმცოდნეობის განვითარების რთულ გზაზე ჩვენ ჯერ კიდევ საწყის პოზიციაში ვდგავართ.

ლითონმცოდნეობის მეორე გენერალური ამოცანა ლითონურ მასალებში დღემდე უცნობი თვისებების გამომჟღავნებაში მდგომარეობს, რამაც შეიძლება საფუძველი ჩაუყაროს ტექნიკის სრულიად ახალ მიმართულებებს. ამის მკაფიო მაგალითია U^{235} -ის ატომბულის დაშლის შესაძლებლობის აღმოჩენა, რამაც ატომური მრეწველობის განვითარებას დაუდო სათავე.

კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ეფექტი აღმოაჩინა ნიკელისა და ტიტანის შენადნობების თვისებათა გულისხმით შესწავლამ – ნაკეთობის ფორმისა და ზუსტი ზომების დამახსოვრების უნარი. აღნიშნული ეფექტი უკვე რეალიზებულია დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ანტენის კონსტრუქციაში. რაკეტის გაშვე-

ბის მომენტში ანტენა კომპაქტურად არის დაკეცილი, ხოლო კოსმოსში, როდესაც იგი გახურდება მზის ენერგიით, „გაახსენდება საკუთარი წარსული“, დაიწყებს გაშლას და მიიღებს ისეთივე ურთულეს ფორმას, როგორც მას მინიჭებული ჰქონდა დედამიწაზე კომპაქტირებამდე. ნაგარაუდევია ასეთი შედგენილობის ნიკელ-ტიტანის შენადნობისგან ორბიტალური რადიოტელესკოპის ანტენის შექმნა, რომლის დიამეტრიც კოსმოსში გაშლის შემდეგ დაახლოებით ორი კილომეტრის რიგისა იქნება.

მექანიკური მასსოვრობის ეფექტი ახასიათებთ აგრეთვე ნიკელის შენადნობებს კობალტთან და ტიტანთან, ოქროს – კადმიუმთან, სპილენძს – მანგანუმთან და ალუმინთან, ნიკელთან და ალუმინთან.

გამომუდავებულია ენერგიის წყაროდ წყალბადის გამოყენების პერსპექტივები, მაგრამ პრობლემას მისი შენახვისა და ტრანსპორტირების საკითხი წარმოადგენს. ზოგიერთ ლითონურ ნაერთს (მაგალითად, ლანთანის ნაერთს ნიკელთან) აღმოაჩნდა უნიკალური თვისება - შთანთქმის, ანუ შეიწოვოს წყალბადის დიდი რაოდენობა ისევე, როგორც ღრუბელმა წყალი და უკან დაიწყოს მისი გამოყოფა ტემპერატურის შეცვლისას. აღნიშნული ეფექტი განპირობებულია ლითონების ჰიდრიდების წარმოქმნის წყალობით.

მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ წყალბადის შენახვის ასეთი ხერხი აბსოლუტურად არ არის ფეთქებადსაშიში. ამასთან, ლითონური ნაერთის წონა ათჯერ მაინც არის ნაკლები თხევადი ან შეკუმშული წყალბადის ბალონის წონასთან შედარებით. წყალბადის საწვავზე გადასვლა შესაძლებელს გახდის სრულიად უვნებელვყოთ თუნდაც ავტომობილის გამონაბოლქვი – წვის პროდუქტი ხომ მხოლოდ წყლის ორთქლი იქნება.

მსაღების ახალი თვისებების გამომუდავებისათვის აუცილებელია:

- მაღალი სისუფთავის საწყისი ნივთიერებებისა და ზუსტი (მათემატიკური) კვლევის მეთოდების გამოყენება;

- მასალის შესასწავლი თვისებების არეალის მნიშვნელოვანი გაფართოება. ამჟამად მათი რიცხვი ათამდე ჩამონათვალთ შემოიფარგლება (მექანიკური, ელექტრული, მაგნიტური, თბური და ა.შ), საჭიროა კი ასობით თვისების შესწავლა;

- ლითონებისა და შენადნობების მისაღებად ექსტრემალური პირობების გამოყენება. აქ იგულისხმება მაღალი და უკიდურესად დაბალი ტემპერატურები, მაღალი წნევის პირობები და კოსმოსური ვაკუუმი, სხვადასხვა ბუნების გამოსხივება და მაღალი ენერგიის ნაწილაკები, მძლავრი ელექტრული, მაგნიტური და ულტრაბგერის ველები, უწონადობა და ა.შ. ამის მკაფიო მაგალითია ზეგამ-

ტარობის ეფექტის აღმოჩენა აბსოლუტურ ნულთან მიახლოებულ ტემპერატურებზე ან გრაფიტის აღმასად გარდაქმნა ზემადალი წნევისა და გაზრდილი ტემპერატურის პირობებში.

სხვაგვარად არც შეიძლება ხდებოდეს. ნივთიერება მეტად მგრძობიარეა გარე ფაქტორების ზემოქმედების მიმართ. ისინი ცვლიან ნივთიერების შინაგან სტრუქტურას, ელექტრონულ-იონურ აგებულებას და, აქედან გამომდინარე, ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებსაც. აღნიშნული ფაქტორების კომპლექსური გავლენა ლითონური მასალების აგებულებასა და თვისებებზე ჯერ კიდევ სრულად არ არის შესწავლილი.

თვისებებზე მაღალი წნევის გავლენის მაგალითად ჩვეულებრივი ყინულიც კი გამოდგება: ატმოსფერულ პირობებში იგი დნება 0°C ტემპერატურაზე, ხოლო ე.წ. ყინული VII, რომელიც მაღალი წნევის პირობებში მიიღება, 442°C -ზე.

გამოთვლებით ნახვენებია, რომ ორ მილიონ ატმოსფერულ წნევას წყალბადი ლითონურ მდგომარეობაში გადაჰყავს. ლითონური წყალბადი კი უნდა ხასიათდებოდეს ზეგამტარული თვისებებით და ეს მდგომარეობა შენარჩუნებული იქნება არა მარტო ოთახის, არამედ 10^2 - 10^3 K ტემპერატურულ პირობებშიც. საკითხავია, შენარჩუნებული აღმოჩნდება თუ არა მიღწეული ლითონური მდგომარეობა ზემადალი წნევის მოხსნის შემდეგ? ამის ფაქტი არსებობს. ხელოვნური აღმასი არ განიცდის თავისთავად უკუგარდაქმნას წნევის მოხსნისთანავე.

ლითონური წყალბადი მიღებულია რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის მაღალი წნევების ფიზიკის ინსტიტუტში. ინტენსიურად მიმდინარეობს ახლო წარსულში ამ ფანტასტიკური ნივთიერების თვისებების შესწავლა.

ლითონმცოდნეობის თვალსაზრისით კოსმოსი ბუნების მიერ შექმნილ გიგანტურ ლაბორატორიას წარმოადგენს ექსტრემალური პირობებით. კოსმოსი – ეს არის ბუნებრივი ღრმა ვაკუუმი, უფასო მზის ენერჯია (მზის ღუმელი), კოსმოსური სიცივე – ტემპერატურა, რომელიც ახლოს დგას აბსოლუტურ ნულთან, უწონადობა, რაც კრისტალიზაციისა და კრისტალების ზრდის პროცესის მართვის საშუალებას იძლევა. უწონადობის პირობებში შესაძლებელია ისეთი ნივთიერებების შერევა ერთმანეთში, რომლებიც დედამიწის პირობებში შეუთავსებელია.

კოსმოსში კოლოსალური სიდიდის დაძაბულობის მაგნიტური ველია – ასეული და ათასეული მილიარდი ერსტედი. ასეთ ველში შეტანილი ნივთიერების ატომები იწველება მაგნიტური ველის გასწვრივ, ღებულობს წვრილი ნემსის ფორმას და მკვეთრად იკუმშება. შედეგად კრისტალში წარმოიქმნება მეტად მა-

დალი ენერჯის კავშირის ძალები. ნივთიერების დნობის ტემპერატურა მილიონამდე გრადუსს აღწევს.

არ არის გამორიცხული, რომ ახლო მომავალში მეტად ძვირად ღირებულნი, ქიმიურად აქტიური იშვიათი ლითონებისა და ნახევრად გამტარების გამოდნობა და დამუშავება კოსმოსურ სივრცეში განხორციელდეს. მეტალურგია კოსმოსში დღეს აღარ არის ფანტასტიკა, არამედ საკმაოდ ახლო მომავლის რეალური სამეცნიერო და ტექნიკურ-ეკონომიკური ამოცანაა.

ლიტერატურა

1. Н.А. Мезенин. Занимательно о железе. М., «Металлургия», 1972, с.199;
2. Е.М. Савицкий, В.С. Клячко. Металлы космической эры. М., «Металлургия», 1978, с.120;
3. К. Бауман, Р. Бернст, Фриц Г. Браунс и др. Металлы будущего. Л., «Химия», 1985, с.240;
4. М.П. Зорин. Архитектура кристаллов. М., «Наука», 1968, с.175;
5. Р.В. Богданов. От молелулы к кристаллу. Л., «Химия», 1972, с. 128;
6. М. Беккерт. Железо. Факты и легенды. М., «Металлургия», 1988, с. 238;
7. Н.И. Шалимова. Черная металлургия – что это? М., «Металлургия», 1986, с.290;
8. თ. ჯაფარიძე. ლითონის წარმოების ადრეული საფეხურები საქართველოში. თბილისი, „ტექნიკა და შრომა“, 1955, გვ.10;
9. გ. კვიციანი. უცხოელი მეცნიერები უძველესი ქართველი ტომების მელითონების შესახებ. თბილისი, „საბჭოთა საქართველო“, 1976, გვ.90;
10. ჯ. ხანთაძე. ლითონთა სამყაროში ფერდინანდ თავაძესთან ერთად. თბილისი, შპს „ფორმა“, 2003, გვ. 335;
11. სად არის საყდრისის ოქრო? ინტერვიუ ქალბატონ ი. დამბაშიძესთან. უკრნალი „მუდმივი კავშირის სამყარო“, 4(28), 2005, გვ. 16-23.
12. დ. ჯიშიაშვილი. ნანოტექნოლოგიის შესავალი. თბილისი, სტუ, 2007, გვ. 83.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

შესავალი	3
1. ლითონი ყველგან	4
2. ცნება მასალის შესახებ. ძველთაძველ დროში გამოყენებული მასალები	6
3. ლითონური მასალები	15
4. კრისტალური და ამორფული მდგომარეობები	17
5. დეფექტები კრისტალებში	25
6. „ულვაშა“ კრისტალები	29
7. ლითონის მედეგობა	30
8. ზესუფთა ლითონები	34
9. ათასწლეულების მიღმა	38
10. რკინა	44
11. რკინის შენადნობები	48
12. ფოლადის თვისებათა შეცვლის ხერხები	52
12.1. ლეგირება	52
12.2. თერმული დამუშავება და მისი არსი	55
12.3. ქიმიურ-თერმული დამუშავება და მისი არსი	58
13. ლითონური ნაერთები და კომპოზიტები	58
14. ლითონი საფრენი აპარატებისათვის	61
15. კოსმოსური ხომალდის საწვავი	67
16. ლითონები ატომური ელექტროსადგურებისთვის. რადიოაქტიური ნარჩენები	68
17. ძნელდნობადი ლითონები და შენადნობები	70
18. კეთილშობილი ლითონები	75
19. ლითონები და გარემო	79
20. ლითონის ალტერნატიული მარაგი	82
21. ლითონმცოდნეობის მომავალი	84
ლიტერატურა	89

იბეჭდება ავტორის მიერ წარმოდგენილი სახით

გადაეცა წარმოებას 03.07.2009. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 10.07.2009. ქაღალდის ზომა 60X84 1/16. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 5,5. ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი,
კოსტავას 77

