

## 8. ზესუფთა ლითონები

წარმოიღვინეთ, რომ ქარხანა აგებულია დედამიწის სიღრმეში. მის საამქროებში ხელოვნურად არის შექმნილი ინერტული აირის ატმოსფერო. ადამიანები მუშაობენ კოსმონავტის კოსტიუმებში. ეს არ გეგონით მოვარეზე 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 მეძვირედი პროცენტით 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 ერთმანეთისგან. მოცემული ელემენტის ყველა იზოტოპის ატომგული 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 წარმოებასაც. ასე მაგალითად, მთელ რიგ ნახევრად გამტარ მასალებში მინარევების რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს ერთ მეძვირედ 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%

---

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

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 ოპტიკური ტელესკოპის სარკე რუსეთში.

ყველა ლითონისათვის დამახასიათებელია მისთვის განსაკუთრებით მაგნე მინარევი, როგორც ამბობენ, №1 მტერი. მთავარია მასალა გაიწმინდოს არა ყველა შესაძლო მინარევისგან, არამედ მხოლოდ განსაკუთრებით მაგნე მინარევებისგან. ეს არის ჟანგბადი ნიობიუმში, ტანტალსა და რენიუმში; აზოტი ქრომიში; 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  $1850^{\circ}\text{C}$ -ზე დაბლა მდებარეობდა, მაგრამ რამდენად დაბლა, ვერავინ აკონკრეტებდა. რაც უფრო მეტი სისუფთავის ურანს ღებულობდნენ, მით უფრო ქვემოთ გადაადგილდებოდა ეს ზღვარი: 1932 წელს იგი განისაზღვრა  $1650^{\circ}\text{C}$ -ით, 1935 წელს –  $1400^{\circ}\text{C}$ -ით, ხოლო 1956 წელს ჩატარებულმა გაზომვებმა უჩვენა  $1133^{\circ}\text{C}$ .

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 მყიდებოდა. ამ მოვლენას ცივტეხადობა 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 გვისმარია 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 შეაღწიონ ლითონის სიღრმეში. 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  $32 \times 10^6$  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. დაჭუჭყიანე-

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

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

## 9. ათასწლეულების მიჯნა

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 მხერა, 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, - შეაწვევტინა 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 მოიხმო კალატოზი და ჰკითხა:

- ვინ გააკეთა შენი იარაღები?

- რა თქმა უნდა, მჭედელმა, - უპასუხა გააკვირვებულმა კალატოზმა.

- შენი? – მიმართა მეფემ ხუროს.

- ვინ, თუ არა მჭედელმა, - დაუფიქრებლად უპასუხა მან.

- შენი ნიჩაბი და წერაქვი? – დაინტერესდა სოლომონი მიწის მთხრელის აზრით.

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

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

- აი, ვინ არის ტაძრის მთავარი მშენებელი, - წამოიძახა ბრძენთა ბრძენმა 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: ლეგენდაში არეკვლილია ძველთაძველი დროიდანვე უდიდესი პატივისცემა იმ ოსტატების მიმართ, რომლებიც ფლობდნენ ლითონის დამუშავების ხელოვნებას და აიძულებდნენ მას ხალხის სამსახურში ჩამდგარიყო.

წარჩინებული საზოგადოების მხრიდან ასეთი პატივისცემა არც არის გასაკვირი, რადგან ლითონის მიღებისა და დამუშავების ხელოვნება ზოგჯერ ისეთი ძალით გამობრწყინდებოდა ხოლმე, რომ თანამედროვე მეცნიერებიც კი განცვიფრებაში მოჰყავს, ხოლო ხელოვნების საიდუმლოება დღემდე ბურუსით მოცული რჩება. სამწუხაროდ, ტექნოლოგიის ასეთი გონებამახვილური მიგნება ზოგიერთი ოსტატისათვის ტრაგედიით მთავრდებოდა.

ერთხელ კარის ოსტატმა რომის იმპერატორ ტიბერიუსს ლითონისაგან დამზადებული გვირგვინი მიართვა. გარეგნულად იგი ვერცხლს წააგავდა, მაგრამ 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 დაანგრევინა, რადგან შეეშინდა, ახალ ლითონს არ გაეუფასურებინა მისი ვერცხლის საგანძური. იმპერატორის გვირგვინი ალუმინისგან იყო დამზადებული.

ძველბერძნელი 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 პირველმა გერმანელმა ქიმიკოსმა, ფრიდრიხ ვიოლერმა 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, ავიღოთ 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 ფუქსთან – 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 ღებულობენ, 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 ერთ-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 არა მეტალურგებსაც. 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 და-



ახლოებით 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 ემირმა 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 უკანგავი და არაჩვეულებრივად მტკიცე ფოლადის მი-

---

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

ღება? 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 აღნობდნენ, 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 ითვალისწინებს ნამზადის მიღებას ტიგელში 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 მუზარადს,

დღევანდელმა მეცნიერებმა ცემენტიტით ( $Fe_3C$ ) გავსებული ნახშირბადის ნანო-განზომილების მილაკები აღმოაჩინეს.

## 10. რკინა

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

უძველესი ეგვიპტელები რკინას „ვააპრე“-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 – ვარსკვლოვან 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. ჰომეროსოს ნაწარმოებში „ოდისეა“ მოთხრობილია, რომ თამაშებში გამარჯვებულებს ოქროსა და რკინის ნატეხებით ასაჩუქრებდნენ. რკინის მეტისმეტად მაღალ ღირებულებას ადასტურებს აგრეთვე სკანდინავიის სამარხებში ნაპოვნი ხმალი. იგი მოლიანად 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 გაახალგაზრდავდეს; 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, რომ-

ლის 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 გამოდნობით 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 მალდდებოდა 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, მაშვრალი ლითონის – რკინის სიდიადის სიმბოლოდ, მის ძველად არის აღმართული. პარადოქსულად უღერს, მაგრამ ჩვენი ცივილიზაციის მსგავსად ამ ძველ, მაგრამ დღემდე ახალგაზრდა ლითონს ჯერ კიდევ არ ამოუწურია საკუთარი თავი და იგი საუხეა 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 აუცილებე-

ლი პროცესის განხორციელებაში – სუნთქვაში მდგომარეობს. რკინის სამი მეოთხედი შედის ჰემოგლობინის შემადგენლობაში, ხოლო ერთი მეოთხედი განაწილებულია მთელ ორგანიზმში. ჰემოგლობინი იტაცების ჰაერის უანგბადს 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  $5 \times 10^{-6}$ %-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-მანგანუმის მინერალური წარმონაქმნებით მცირე ზომის ბურთულებისა და კვრების სახით. ისინი რკინას შეიცავენ 15%-მდე, ხოლო მანგანუმს – 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 გაგლეჩის 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 ჟანგით 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 უძვირფასესი 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! ყოველწლიურად 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, შიდავს 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. დიას, 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. 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 განსხვავდნენ ბოდნენ რაღაც მინარევების შემცველობით. მხოლოდ 1814 წელს მიუთითა გერმანელმა მკვლევარმა კარსტენმა, რომ ასეთ მინარევს ნახშირბადი წარმოადგენდა.

---

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

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

- მე, - ამბობს ფოლადი, - უჟანგავი ვარ, ეშმაკურად შედუღებული! აღმასივით მაგარი ვარ, გველივით მოქნილი. ვიწრობი – არ ავიხლიხები. ხეხვა, ბურღვა, ჭრა – ყველაფერი შემიძლია; ყველაფრისთვის გამოვდგები! გინდა ბულატად ვიქცევი, გინდა – ნემსად. ხიდად გავიდები. ლიანდაგად დავიგები. მანქანად ავმუშავდები. 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 მოდური 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 დვიდლ ქალიშვილად ეკუთვნის, რომ ფოლადი თავის სიცოცხლეს თუჯს უნდა უმადლოდეს. ხოლო დანარჩენი, რა თქმა უნდა, მართალია, მხედველობაში თუ არ მივიდებთ 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 მაგნიუმში დაუმატეს. მაგნიუმის აალების გამო ლითონი ჩქეფდა, თუხთუხებდა, ციციხვში 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 და-

სამზადებლად. 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 ფერდინანდ თავაძის 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, თავაძისეული, - 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 ჩვეულებრივი 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).

---

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

მაღე 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 ზელანდიამდე და უკან. გამოცდის დამთავრების შემდეგ აღმოჩნდა, რომ ლითონმა შეინარჩუნა თავისი პირვანდელი სახე ყოველგვარი ცვლილების გარეშე. ქრომის ფუძეზე დამზადებულ შენადნობებს, გარდა უანგვისადმი 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 ჭიდილი 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 დაიმტვრა. კატასტროფის ადგილიდან ფორდმა შეაგროვა ძრავის სარქველის ღერძის ნამსხვრევები. იგი გააოცა ლითონის სიმ-

სუბუქემ და სისალემ. 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 მაღალი მექანიკური თვისებებითა და ხარისხით. მიუხედავად ამისა, მხოლოდ მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ დაიპკიდრა 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 პლასტიკურომას.

სპეციალური თვისებების მისანიჭებლად საკმარისი არ არის ფოლადის ლეგირება ერთი რომელიმე ელემენტით. როგორც წესი, ახალ თვისებებს რამოდენიმე ელემენტის კომპლექსური გამოყენებით ღებულობენ. მაღლეირებელი 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 სისხლის ამაღლების 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 გაღებულ 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 წრთობის პროცესი ცნობილია ჩვენს ერამდე XV საუკუნიდან.

ბალაგალის ტაძრის მატეანეში, რომელიც მდებარეობს მცირე აზიაში, ნაპოვნია ჩვენს ერამდე IX საუკუნეში სატევარის წრთობის ასეთი რეცეპტი: „გახურეთ 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. წრთობა რეკომენდირებულია წითური ბიჭის შარდში. ამ რეცეპტში არის რაციონალური მარცვალი, რადგან მარილწყალსნარში წრთობა უკეთესად მიმდინარეობს, ვიდრე სუფთა წყალში.

ფოლადის წრთობა იყო ლითონმცოდნეობის ის ერთ-ერთი სფერო, სადაც გამეფებული იყო მეტ-ნაკლებად უაზრო შეხედულებები. წრთობის დროს ფოლადის მაღალი სიმტკიცის მიღებას უკავშირებდნენ სხვადასხვა სასწაულმოქმედ ძალებს. ყვებოდნენ, რომ დამასკოს იარაღის მწარმოებლები თავის განთქმულ ხანჯლებს აწრთობდნენ 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 წრთობას აწარმოებდნენ.

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

ერთ-ერთ კომერციულ ლექსიკონში ვკითხულობთ: „წრთობა არის საშუალება, რომლითაც ფოლადსა და რკინას მიენიჭება სიმკვრივე, სისალე და სიმტკიცე. იგი მდგომარეობს გახურებული ფოლადის ან რკინის ნიეთების ჩატვირთვაში ზოგჯერ ჩვეულებრივ სუფთა წყალში, ზოგჯერ კი სხვადასხვა წვენებისა და სითხეების ნარევში ოსტატის ჩვეულებისა და გამოცდილების შესაბამისად“. გამაცვივებელ არეებად დასახელებულია ძმარი, პირშუშხას წვენი, წყალი, რომელშიც შერეულია მიწის გასრესილი ჭიაცყელები, 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 რბილმანტურ თვისებებს ამჟღავნებს მსხვილმარცვლოვანი აგებულების რკინა, რასაც სპეციალური თერმული დამუშავების გზით აღწევენ. წრთობის დროს მიმდინარე გარდაქმნებით ფიქსირებული თხელფირფიტოვანი სტრუქტურა კი საკმაოდ მაღალი სისხლით ხასიათდება, მაგრამ ამავე დროს ფოლადი მეტად მყიდება.

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 შემცირებას, 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 ცვეთამედეგობის 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 ალფა-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 დასჭირდება, 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, ნატრიუმი კალასთან ცხრა ნაერთს იძლევა.

სუფთა ლითონებისაგან განსხვავებით, რომლებსაც გააჩნიათ შედარებით უბრალო კრისტალური სტრუქტურა რამოდენიმე ატომით ელემენტურ უჯრედში, ლითონური ნაერთები ხშირად მეტად რთული კრისტალური აგებულებით ხასი-

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

ფრანგი მეზაღე 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 საღებებმა. მდგომარეობიდან გამოსასვლელად მეზაღემ გადაწყვიტა საღებებზე გრძივად დაემაგრებინა ლითონის მათულები, მაგრამ ლითონის ჩონჩხედში მოქცეული კასრი, მართალია, გამძლე, მაგრამ შეუხედავი გა-

მოდგა. 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  $1100-1200^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე ორჯერ მეტია ყველაზე მსურვალმტკიცე 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 ფრთასსმულობას, 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. მოჭიმული ქაფალუმინის სიმტკიცე ისეთივეა, როგორც სხმული ლითონისა, ხოლო კუთრი წონა – ორჯერ ნაკლები (1,4 გ/სმ<sup>3</sup>). 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.

---

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

ამგვარად, ლითონის უნარმა შევიდეს კავშირში სხვა ლითონებთან თუ არალითონებთან, 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“ მასალად 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 მეკვლევარს, 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 შედუღებული 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 გადასაზიდი 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 კოროზიამედევობა ათჯერ აღემატება ფოლადის კოროზიამედევობას ზღვის წყალში. ამიტომ იგი წარმატებით გამოიყენება გემთმშენებლობაში და დიდ სიღრმეებში მომუშავე აპარატურის დასამზადებლად. 1960 წელს გერმანიის ფედერაციულ რესპუბლიკაში ექსპლუატაციაში გა-

უშვეს 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 ღებვას კოროზიისგან 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.

ნა, გახურებისას კი ფეთქავს დამაბრმავებელი თეთრი ალის წარმოქმნით. მაგნიუმში 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  $1284^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე (უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ალუმინის დნობის ტემპერატურა შეადგენს  $660^{\circ}\text{C}$ , ხოლო მაგნიუმისა -  $651^{\circ}\text{C}$ ). განსაკუთრებით ძვირფასია ის თვისება, რომ ალუმინიზე 1,5-ჯერ მსუბუქი ბერილიუმი უფრო მტკიცეა მრავალ სპეციალურ ფოლადთან შედარებით.  $500-600^{\circ}\text{C}$ -მდე მისი ხვედრითი სიმტკიცე აღემატება დღემდე ცნობილი ნებისმიერი საკონსტრუქციო მასალის იგივე მაჩვენებელს. ბერილიუმში შეთავსებულია სიმსუბუქეც და საკმაოდ მაღალი მხურვალმედევობაც. იგი არ კარგავს დადებით თვისებებს  $700-800^{\circ}\text{C}$ -მდეც კი.

ბერილიუმი შენადნობებში ზრდის სისაღეს, სიმტკიცეს, მხურვალმედევობასა და კოროზიამედევობას. ბერილიუმით გაჯერებული ფოლადის ნაკეთობის ზედაპირი განსაკუთრებულ სისაღესა და მდგრადობას ინარჩუნებს  $800^{\circ}\text{C}$ -

მდე. რადგან მაღალ მხურვალემდეგობასთან ერთად ბერილიუმის სითბოგამტარობა შეიდეჯერ 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 ბერილიუმიანი მასალისგან დამზადებული საპლანეტაშორისო „მარინერ-71“ ავტომატური სადგურის ძრავი მხოლოდ 7,7 კგ-ს იწონიდა.

ზეჩქაროსნულ ავიაციაში გამოყენებული მასალების უმთავრესი მოთხოვნაა კონსტრუქციის სიხისტე (არ განიცადოს გრძივი გაღუნვა კონსტრუქციის მინიმალური სისქის 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 ბონგის 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 ჩაღიან.

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 აღ-



სანიშნავია 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 სისალისა 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 დამკვრობთა 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.

ზებგერთი 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 ზებგერთი ლაინერი „ბონგ-733“. სამგზავრო თვითმფრინავების ძრავებში ტიტანის გამო-

ყენებამ 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 რადიაციისაგან, ისე ნეიტრონების შემნელებლებს და ამრეკლი და მარეგულირებელი დეროების 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 დეროებიცა\* 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 რეაქტორებში 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, მა-

---

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

გრამ ნეიტრონების ძლიერი შთანთქმეელია. 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 ( $1850^{\circ}\text{C}$ ) ცირკონიუმი კოროზიის მიმართ კარგი მდგრადობით გამოირჩევა. თვისებათა ასეთი შეხამება ცირკონიუმს შეუდარებელ მასალად ხდის ატომური ძრავების სხვადასხვა კონსტრუქციული ელემენტის დასამზადებლად. ცირკონიუმისგან ამზადებენ „სამოსს“ ურანის ფორფიტების ან ცილინდრების კოროზიისაგან დასაცავად ატომურ რეაქტორებში, მაცივებელ მილებს რეაქტორებსა და ატომმავალებში და ა.შ.

რეაქტორის საწვავის ატომგულის დაყოფის შედეგად წარმოიქმნება რამდენიმე ელემენტი. ეს ძვირფასი „ნაცარი“ ხასიათდება მეტად მაღალი რადიოაქტიურობით. საკმარისია აღინიშნოს, რომ მისი ყოველი კილოგრამი თავისი გამოსხივების ინტენსიურობით ორი ტონა რადიუმის ტოლფასია. რადიოაქტიური ნარჩენები გამოყენებას პოყლობს 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 კვებავს 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. ძნელდნობადი ლითონები და უძნელდნობადი

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

საქმე იმაში მდგომარეობს, რომ გახურებისას ფოლადი კარგავს სიხის-

ტეს და 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 და პლასტიკური ხდება, ტოგორც ტყვია ოთახის ტემპერატურაზე. სწორედ ეს თვისება იძლევა ფოლადის ჭედვის, ტვიფრვისა და 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 და დასახულია ისეთი აირტურბინული ძრავების შექმნა, რომელთა მუშა ტემპერატურა 1700°C-მდე გაიზრდება. ძრავების სიმძლავრის შემდგომი ამაღლება შეეფერება არა საწვავის შესაძლებლობების გამო, არამედ მხოლოდ იმ მასალების არარსებობით, რომლებიც საიმედოდ და ეფექტურად იმუშავენ უფრო და უფრო მაღალ ტემპერატურებზე.

როგორ იქმნება მხურვალმტკიცე მასალები? ამ საკითხში უკეთ გარკვევისათვის საჭიროა ავხსნათ, თუ რა განსაზღვრავს ლითონების და შენადნობების 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 მქდავენდება 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 წახნაგ-დაცენტრებულ 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 მალე გირებელი 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 მხურვალმტკიცე შენადნობების მისაღებად აუცილებელია სუფთა საწყისი მასალების გამოყენება.

თანამედროვე მხურვალმტკიცე შენადნობები ზოგჯერ შეიცავენ ათზე

მეტ მაღეგირებელ დანამატს. თერმული დამუშავების დროს შენადნობის ფუძიდან მაღეგირებელი 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  $1000^{\circ}\text{C}$ -ის ზღვრებში მდებარეობს. ბუნებრივია, უფრო მხურვალმტკიცე შენადნობების მისაღებად ფუძედ ძნელდნობადი ლითონების გამოყენებაა საჭირო.

სუფთა ვოლფრამი ( $t_{\text{დნ}}=3410^{\circ}\text{C}$ ) არ ხასიათდება მხურვალმედვეობით, რადგან უკვე  $700^{\circ}\text{C}$ -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 მაღეგირებელი ელემენტი ვოლფრამის გადნობამდე იწყებს აორთქლებას.

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

ტანტალის ( $t_{\text{დნ}}=3000^{\circ}\text{C}$ ) შენადნობები ვოლფრამთან და ჰაფნიუმთან ( $t_{\text{დნ}}=1975^{\circ}\text{C}$ ) სიმტკიცეს ინარჩუნებენ  $2000^{\circ}\text{C}$ -მდე და არ მყიდებიან აბსოლუტურ ნულამდე 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  $4215^{\circ}\text{C}$  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 მენდელეევიან 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 იუანგება ჰაერზე და მეტად უმნიშვნელოდ რეაგირებს მუავებთან და ტუტეებთან. მაღალი დნობის ტემპერატურა ( $3180^{\circ}\text{C}$ ), 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 კონტაქტები სრულად გამოდის მწყობრიდან რამოდენიმე დღე-ღამის განმავლობაში, რენიუმისაგან დამზადებული მუშაობს თვეობით და წლებითაც კი.

რენიუმისა და მისი შენადნობების გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა არსებითად გაზრდილიყო ხელსაწყოების მუშაობის ხანგრძლივობა და შექმნი-



ლიყო 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 უცვლელია. 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 ორჯე-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. კერმეტებისგან ამზადებენ, მაგალითად, რაკეტის მაღალტემპერატურული ძრავის საქშინებს.

---

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

## 18. კეთილშობილი ლითონები

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

ოქრო ( $t_{\text{ღვ}}=1064^{\circ}\text{C}$ ) 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 გამოიჭიმოს 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/სმ<sup>3</sup>, პლატინისა – 21,5 გ/სმ<sup>3</sup>, ოქროსი – 19,3 გ/სმ<sup>3</sup>, ხოლო ვერცხლისა – 10,5 გ/სმ<sup>3</sup>. 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 სასადილო ჭურჭელს ფარავდნენ, ამჟამად მათ გამოიყენებენ რაკეტების, დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრების, კოსმოსური ხომალდების, დამუხტული ნაწილაკების ამაჩქარებლებისა და თვითმფრინავის განსაკუთრებით საპასუხისმგებლო დეტალების დასაფარად. უთხელესი (მილიმეტრის მეზილიონედ) ოქროს ფენით ფარავენ ჰერმომუზარადის საჩეხს, რომელიც თავისუფლად ატარებს ხილულ სინათლეს, ხოლო ინფრაწითელი გამოსხივების 60%-ს ირეკლავს.

ოქრო წარმოადგენს ზოგიერთი ქიმიური რეაქციის კატალიზატორს, მაგალითად, ატომური ჟანგბადის მოლეკულად შეერთების რეაქციისათვის. მეცნიერები და კონსტრუქტორები ოცნებობენ ამ რეაქციის ენერგია გამოიყენონ სტრატოსფერული თვითმფრინავების შექმნისათვის, რომლებსაც არ დასჭირდებათ საფრენად საწვავის მარაგის ადება – 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 სითბოსგამზომ ხელსაწყოებში, მაგალითად, საავიაციო წინააღობის თერმომეტრებში.

და კიდევ ვერცხლის გამოყენების ერთ-ერთი სფეროს შესახებ. წარმოიდგინეთ, რომ ელექტროშემდუღებელი გამჭვირვალე სათვალეებით ამზადებს სამუშაოს, დამაბრმავეებელი 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. სინათლის 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 მხურვალმტკიცე 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. პალადიუმის 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 შე-

ნაღნობი ვოლფრამთან მისთვის დამახასიათებელ ძვირფას ელექტრულ და სხვა თვისებებს ინარჩუნებს ზღვის წყალში, ამიაკის ორთქლში, გოგირდოვან აირში და სხვა ქიმიურად აგრესიულ გარემოში. აღნიშნული შენაღნობების 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 ძვლისგან, 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 ადვანსით 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 თრომბის წარმოქმნის საშიშროებას.

მთელი რიგი ლითონები და შენაღნობები (ტანტალი, ცირკონიუმი, ოქრო და მისი შენაღნობები სპილენძთან, პლატინა, ირიდიუმი, უჟანგავი ფოლადი) უთავსდება ადამიანის ორგანიზმს. ისინი არა თუ არ განიცდიან კოროზიას, არა-

მედ 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 ძელები 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, გამონახობაში 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 ვერცხლისწყალს. ამ რაოდენობის თითქმის ნახევარი გარემოში იბნევა. დაახლოებით ამდენივე გადადის ატმოსფეროში ნახშირის წვისას, ლითონების გამოდნობისას 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 მომწავლავე 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 უსაძღვრო, 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 მეტალურგია-

---

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

ში, 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. ნაგარაუდევია, 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 მოუტონს 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, მეღუბები – 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 გადარბეული, გამოუსადეგარი საბადოებიდან. მათ ასევე შეუძლიათ დახმარების გაწევა იმ ნარჩენების გადამუშავებაში, რომლებიც მთებად არის წამოზრდილი მრავალადგილას.

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

არაგისღვის არ არის საიდუმლო, რომ იღევა 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 უკვე დებულობენ 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 –  $4 \times 10^5$  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 უკიდურეს 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 სახავს, 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 მონაცემების 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 განსაზღვროს სა-

სურველი 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 ატომგულის დაშლის შესაძლებლობის აღმოჩენა, რამაც ატომური მრეწველობის განვითარებას დაუდო სათავე.

კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ეფექტი აღმოაჩინა ნიკელისა და ტიტანის შენადნობების თვისებათა გულდსმით შესწავლამ – ნაკეთობის ფორმისა და ზუსტი ზომების დამახსოვრების უნარი. აღნიშნული ეფექტი უკვე რეალიზებულია დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრის ანტენის კონსტრუქციაში. რაკეტის გაშვების მომენტში ანტენა კომპაქტურად არის დაკეცილი, ხოლო კოსმოსში, როდესაც იგი გახურდება მზის ენერგიით, „ახსენდება საკუთარი წარსული“, იწყებს გაშლას და ღებულობს ისეთივე ურთულეს ფორმას, როგორც მას მინიჭებული ჰქონდა დედამიწაზე კომპაქტირებამდე. ნავარაუდევია ასეთი შედგენილობის ნიკელ-ტიტანის შენადნობისგან ორბიტალური რადიოტელესკოპის ანტენის შექმნა, რომლის დიამეტრიც კოსმოსში გაშლის შემდეგ დაახლოებით ორი კილომეტრის რიგისა იქნება.

მექანიკური მახსოვრობის ეფექტი ახასიათებთ აგრეთვე ნიკელის შენად-

ნობებს კობალტთან და ტიტანთან, ოქროს – კადმიუმთან, სპილენძს – მანგანუმთან და ალუმინთან, ნიკელთან და ალუმინთან.

გამომუდგენებულია ენერჯის 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 უვნებელყოთ თუნდაც ავტომობილის გამონაბოლქვი – წვის პროდუქტი ხომ მხოლოდ წყლის ორთქლი იქნება.

მსაღების ახალი თვისებების გამომუდგენებისათვის აუცილებელია:

- მაღალი სისუფთოვის 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 ენერჯის ნაწილაკები, მძლავრი ელექტრული, მაგნიტური და ულტრაბგერის ველები, უწონადობა და ა.შ. ამის მკაფიო მაგალითია ზეგამტარობის ეფექტის აღმოჩენა აბსოლუტურ ნულთან მიახლოებულ ტემპერატურებზე ან გრაფიტის აღმასად გარდაქმნა ზემადალი წნევისა და გაზრდილი ტემპერატურის პირობებში.

სხვაგვარად არც შეიძლება ხდებოდეს. ნივთიერება მეტად მგრძნობიარეა 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 ყინული დნება  $0^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურაზე, ხოლო ე.წ. ყინული VII, რომელიც მაღალი წნევის პირობებში მიიღება,  $442^{\circ}\text{C}$ -ზე.

გამოთვლებით ნაჩვენებია, 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 ზემოაღნიშნული წნევის მოხსნის შემდეგ? ამის ფაქტი არსებობს. ხელოვნური ალმასი 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 ენერგია (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, დებულობს წვრილი ნემსის ფორმას და მკვეთრად იკუმშება. შედეგად კრისტალში წარმოიქმნება მეტად მაღალი ენერგიის კავშირის ძალები. ნივთიერების დნობის ტემპერატურა მილიონამდე გრადუსს აღწევს.

არ არის გამორიცხული, რომ ახლო მომავალში მეტად ძვირად ღირებული, 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. ჟურნალი „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 . . . . .	30
7. ლითონის მედეგობა . . . . .	31
8. ზესუფთა ლითონები . . . . .	35
9. ათასწლეულების მიღმა . . . . .	39
10. რკინა . . . . .	45
11. რკინის შენადნობები . . . . .	49
12. ფოლადის თვისებათა შეცვლის ხერხები . . . . .	53
12.1. ლეგირება . . . . .	53
12.2. თერმული დამუშავება და მისი არსი . . . . .	56
12.3. ქიმიურ-თერმული დამუშავება და მისი არსი . . . . .	58
13. ლითონური ნაერთები და კომპოზიტები . . . . .	59
14. ლითონი საფრენი აპარატებისათვის . . . . .	62
15. კოსმოსური ხომალდის საწვავი . . . . .	68
16. ლითონები ატომური ელექტროსადგურებისთვის. რადიოაქტიური ნარჩენები . . . . .	69
17. ძნელდნობადი ლითონები და შენადნობები . . . . .	70
18. კეთილშობილი ლითონები . . . . .	76
19. ლითონები და გარემო . . . . .	80
20. ლითონის ალტერნატიული მარაგი . . . . .	83
21. ლითონმცოდნეობის მომავალი . . . . .	85
ლიტერატურა . . . . .	89