

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

0. კვირიკაძე, კ. ხახანაშვილი, თ. ლომია

ფუნქციონალური მეთოდები

თბილისი – 2012

ს ა რ ჩ ე ვ ი

I. ფხვნილთა მეტალურგია. შესავალი	3
1. ფხვნილთა მეტალურგიის პროცესის არსი	7
2. ფხვნილთა მეტალურგიაში გამოყენებული მასალების ზოგადი დახასიათება.	8
2.1. ფხვნილთა ქიმიური თვისებები	9
2.2. ფხვნილთა ფიზიკური თვისებები	11
2.3. ფხვნილთა ტექნოლოგიური თვისებები	18
3. ფხვნილების წარმოება	24
3.1. მყარი ლითონის დაფქვა ბურთულებიან ვიბრაციულ წისქვილში.	26
3.2. თხევადი ლითონების და შენადნობების გაფრქვევა და გრანულაცია	29
3.3. ლითონური ფხვნილების მიღება ქიმიური ნაერთების აღდგენის მეთოდით	33
3.4. რკინის ფხვნილის მიღება ჟანგეულიდან.	34
3.5. ლითონური ფხვნილების მიღება წყალხსნარების ელექტროლიზით.	37
4. ფორმის მიცემა.	39
4.1. ფხვნილების წინასწარი მომზადება	40
4.2. ფხვნილების დაწნეხვა.	44
4.3. ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება დაწნეხვის სიდიდეზე.	46
4.4. გვერდითი დაწნეხვა.	48
II. ფხვნილოვანი მასალები	
1. საკონსტრუქციო ფხვნილოვანი მასალები	49
1.1 ფხვნილოვანი მასალები რკინის ფუძეზე	51
1.2. შეცხოვნილი ფოლადები	52
2. საიარაღო მასალები.	55
3 რკინა-სპილენძის შეცხოვნილი შენადნობები.	56
4. შეცხოვნილი ალუმინის ფხვნილისაგან დამზადებული ნაკეთობები.	57
5. სპილენძის ფუძეზე დამზადებული ფხვნილოვანი შენადნობები და ნაკეთობანი.	58
6. სპეციალური თვისებების მქონე ფხვნილოვანი მასალები	59

6.1. ანტიფრიქციული მასალები.	59
6.2 ფრიქციული მასალები	61
6.3. ფორიანი მასალები	62
6.4. მაგნიტური მასალები.65
6.5. საკონტაქტო მასალები.69
6.6 ვაკუუმური მასალები..70
7. ლითონკერამიკული სალი შენადნობები და	
სურვალმტკიცე მასალები72
7.1 სალი შენადნობები72
7.2. ალმას – ლითონური მასალები.74
7.3 მინერალოკერამიკული სალი შენადნობები75
7.4 მსურვალმტკიცე და მსურვალმედეგი მასალები	75
ლიტერატურა78

I. ფხვნილთა მეტალურგია

შესავალი

ფხვნილთა მეტალურგია ეწოდება ტექნიკის დარგს, რომე-ლიც მოიცავს ლითონების და ლითონთა მაგვარი ნაერთების ფხვნილების მიღების და მათგან ანდა მათი, არალითონურ ფხვნილებთა ნარეგებიდან ნახევარფაბრიკატების და ნაკეთობათა დამზადების მეთოდების ერთობლიობას, ძირითადი კომპონენტის გადნობის გარეშე.

მოცემულ განმარტებაში მითითებულია ფხვნილთა მეტალურგიის ძირითადი განმასხვავებელი ნიშანი: საწყისი მასალა არის ფხვნილი-ნივთიერება გარკვეულ აგრეგატულ მდგომარეობაში, ხოლო მისი გარდაქმნა შეცხოვბილ მასალად ან ნაკეთობად ხდება ძირითადი კომპონენტების ფუძის გადნობის გარეშე.

ლითონთა დამუშავების მრავალრიცხოვან ხერხებს შორის ფხვნილთა მეტალურგიას უჭირავს განსაკუთრებული ადგილი, წარმატებით უწევს კონკურენციას ჩამოსხმას, წნევით დამუშავებას, ჭრით დამუშავებას და სხვა მეთოდებს, ავსებს ან ცვლის მათ.

არსებობს ცნობილი რუსი მეცნიერის მ.ი. ბალშინის მხატვრული გამოთქმა—“ფხვნილთა მეტალურგია, ადამიანის ისეთივე უძველესი ქმნილებაა, როგორც ეგვიპტური პირამიდები და ისეთივე თანამედროვე, როგორც რეაქტიული თვითმფრინავი.”

მართლაც, არქეოლოგიური მონაპოვრის შესწავლა ადასტურებს, რომ ოქროს, სპილენძის და ბრინჯაოს ფხვნილებს ადამიანი უძველესი დროიდანვე იყენებდა, მაგალითად დეკორატიული მიზნით კერამიკის წარმოებაში ან მხატვრობაში ეს იმას ნიშნავს, რომ ბრინჯაოს ხანაში გააჩნდა ადამიანს ზოგიერთი ლითონის ფხვნილების დამზადების გამოცდილება.

სწორედ ნაკეთობათა დამზადების მსგავსი ტექნოლოგიის გამოყენებამ გახადა შესაძლებელი და დააჩქარა, თავის დროზე რკინის ხანის დადგომა. არ შეეძლოთ, რა სუფთა რკინის გადნობა (~1539°C), უძველესმა მეტალურგებმა ბაბილონსა (დღევანდელი ერაყის ტერიტორია) და

ეგვიპტეში ისწავლეს რკინის გუნდების მიღება და მათგან სხვადასხვა იარაღის დამზადება. როგორც არქეოლოგიური მასალებით დასტურდება, ეს მოხდა, ჯერ კიდევ ჩვენს წელთაღრიცხვამდე 3000 წლით ადრე. ეგვიპტის ფარაონის ტუტანჰამონის სარკოფაგში (იგი მეფობდა ძვ.წ.ა. მე-13 საუკუნეში), ნაპოვნია ნაჭედი ხანჯალი, რომელიც შემკულია ფხვნილოვანი ოქროთი და რკინისაგან დამზადებული ამულეტი.

ლითონდამუშავებით და მათ შორის რკინის დამუშავებით გამოირჩეოდნენ უძველესი, პროტო ქართველური ტომები: თუბალები (ტაბალები), მოსინიკები, ხალიბები და სხვა.

ცნობილია ინდოეთში ეგ.წ დელის სვეტი-ძეგლი, რომელიც დამზადებულია სუფთა რკინისაგან (99,72% ე). იგი დამზადებული უნდა იყოს ჩვ.წ.ა 415 წელს. მისი წონა არის 6,5 ტონა, ხოლო სიმაღლე 7,3 მ და დიამეტრი ფუძესთან 41,6 სმ, თავში კი 29,5 სმ. ეს სვეტი, როგორც მისი მეცნიერული შესწავლა უჩვენებს, გაკეთებულია, ეგ.წ. დრუბლოვანი რკინისგან, მისი ქურაში გახურებით ~1000°C-ზე, რომლის დროსაც რკინის ქანგეულით მდიდარი მადნებიდან მიიღებოდა აღდგენილი რკინის გუნდა და მისი შემდგომი დამუშავება ხდებოდა, გავარვარებულ მდგომარეობაში, ჭედვის გზით.

მართალია, რკინის მიღებისა და მისგან სხვადასხვა საგნების დამზადების აღნიშნული მეთოდი არ წარმოადგენს ფხვნილთა მეტალურგიას თანამედროვე გაგებით, მაგრამ იგი შეიცავს იმ რაციონალურ მარცვალს, რაც დამახასიათებელია ფხვნილთა მეტალურგიისათვის. ერთდორდ დრუბლოვანი, ფოროვანი, რკინის გუნდა დაკომპაქტებას განიცდიდა გარეგანი წნევის გამოყენებით—ჭედვის გზით.

თანამედროვე ფხვნილთა მეტალურგიის დაბადების თარიღად ითვლება XIX საუკუნის ოციანი წლები, როდესაც რუსეთსა და ინგლისში, ერთი მეორისაგან დამოუკიდებლად, თითქმის ერთდროულად დამუშავდა პლატინის მიღების მეთოდი.

რუსეთში პ.გ. სობოლევსკიმ და ვ.ვ. ლიუბარსკიმ აღმოაჩინეს პლატინის მიღების და დამუშავების ახალი

მოსახერხებელი და მარტივი მეთოდი, რომელიც მდგომარეობდა პლატინის ფხვნილის დაწნეხვაში ცივად და დაწნეხილი ბრიკეტის გახურებასა და ჭედვაში. ეს მეთოდი დამუშავდა 1826 წლის მაისში. ამ მეთოდით პეტერბურგის მონეტების სახლმა დაამზადა და მიმოქცევაში გაუშვა 1829 წლიდან 1846 წლამდე პლატინის ფული: 3 და 6 მანეთიანები აგ.წ. “დუპლონები” და 12 მანეთიანი “კვადრუპლონები”. 1846 წლიდან პლატინის ფულის გამოშვება სხვადასხვა მიზეზების გამო შეწყვეტილი იქნა.

დაახლოებით იმავე პერიოდში პლატინის მიღების მეთოდებს ამუშავებენ ინგლისელი მკვლევარები: სიკინგენი, ნეკერი, ბარიუელი, ვოლასტონი, რივოლფი და სხვები.

1829 წელს ვოლასტონმა გამოაქვეყნა ცნობა იმის შესახებ თუ როგორ მიიღო პლატინის ზოდი ღრუბლოვანი პლატინიდან. მან აიღო პლატინაქლოროვანი ამონიუმი- $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ და აღადგინა იგი ნახშირბადშემცველი მასალით (სავარაუდოდ დამწვარი შაქრით). მიღებული შავი ფხვნილი გარეცხა და დაწნეხა წნეხის საშუალებით. ამგვარად მიღებული ბრიკეტი გაახურა წითლად ვარვარებად და გაჭედა გახურებულ მდგომარეობაში. ამ მეთოდით მიიღებოდა კომპაქტური პლატინა, რომლის ჭედვა და დამუშავება სასურველი ფორმის მისაღებად, შესაძლებელი იყო.

ოცი-ოცდაათი წლის შემდეგ მნიშვნელოვნად განვითარდა საღუმელე ტექნიკა და უკვე შესაძლებელი გახდა უფრო მაღალი ტემპერატურის მიღება. უკვე შეიძლებოდა მრავალი ლითონის გადნობა, მათ შორის ძნელდნობადისაც და სხმულების მიღება. ყოველივე ამის შედეგად გარკვეული ხნით დავიწყებას მიეცა ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდები.

XX საუკუნის დასაწყისიდან დიდი ინტერესი გაჩნდა კატალიზატორების მიმართ. ამ შემთხვევაში ძალიან დიდი მნიშვნელობა ენიჭებოდა ზედაპირის ფართობის სიდიდეს, რომელზედაც უნდა წარიმართოს ქიმიური რეაქცია. ამიტომაც ფხვნილები, რომლებსაც ყველაზე აქტიური ზედაპირი გააჩნიათ, ძალიან დიდ ინტერესს იწვევდნენ.

1900 წლიდან მოყოლებული ამ მიზეზით დაიწყო ნიკელის ფხვნილების სამრეწველო მასშტაბით წარმოება.

XX საუკუნის დასაწყისი გამოირჩეოდა ელექტროტექნიკის ინტენსიური განვითარებით, რაც თავის მხრივ მოითხოვდა ახალი მასალების ათვისებას მაგალითად: ვოლფრამის და მოლიბდენის უწვრილეს ძაფებს, სპილენძ-გრაფიტის მუსებს და სხვა, რომელთა დამზადებაც ტრადიციული მეთოდებით ძალიან ძნელი და შეუძლებელიც კი იყო. ყოველივე ამის გამო დაიწყო ფხვნილთა მეტალურგიის სწრაფი განვითარება.

ფხვნილოვანი, შეცხოვბილი მასალების წარმოების მაღალი ტემპები მიუთითებს თუ რაოდენ ფართოა მათი გამოყენების სფერო, ტექნიკის, თითქმის ყველა დარგში.

ლითონდამამუშავებელ მრეწველობაში ეს არის სალი შენადნობები; სამთო მომპოვებელ და სანავთობო მრეწველობაში—დასადუღებელი და არმირებისათვის გამოყენებული სალი შენადნობები, აღმას-ლითონური კომპოზიციები, საბურღი ინსტრუმენტებისათვის; მეტალურგიულ მრეწველობაში—მისართი ფხვნილოვანი ლითონები, ფეროშენადნობები და მოდიფიკატორები, პრეციზიული გლინვისა და ალიდვისათვის გამოყენებული სალი შენადნობები. საშემდუღებლო ტექნიკაში ფხვნილები გამოიყენება დადუღებისათვის და სპეციალური ჭრისათვის. მანქანათმშენებლობაში, ხელსაწყოთმშენებლობაში, სატრანსპორტო მანქანათმშენებლობაში, საავტომობილო მშენებლობასა და ავიაციაში ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდი გამოიყენება მანქანებისა და მექანიზმების სხვადასხვა ცვეთამედები დეტალების დასამზადებლად, ანტიფრიქციული და ფრიქციული თვისებების მქონე ნაკეთობების დასამზადებლად და სხვა.

თანამედროვე ელექტროტექნიკაში ძნელია იპოვო ისეთი ხელსაწყო და მოწყობილობა, რომელშიც არ იყოს გამოიყენებული შეცხოვბილი, ფხვნილოვანი დეტალები და მასალები. ეს ეხება როგორც უფაქიზეს ელექტრონულ ხელსაწყოებს ისე უმსხვილეს ენერგეტიკულ დანადგარებსა და ნაგებობებს საღუმელო აგრეგატებს.

ზოგადად ფხვნილთა მეტალურგიის გზით ნაკეთობათა დამზადების ტექნოლოგიური პროცესი შედგება შემდეგი

ძირითადი ოპერაციებისაგან: ლითონების ფხვნილების ან და სხვადასხვაგვარი მასალების ფხვნილების ნარევების მიღება, ნამზადების ფორმის წარმოქმნა, შეცხოვა და საბოლოო დამუშავება—დაყვანა, დაკალიბრება, გამამკვრივებელი მოჭიმვა, თერმული დამუშავება და სხვა.

1. ფხვნილთა მეტალურგიის პროცესის არსი

ნებისმიერი სამეცნიერო აღმოჩენა თუ მიიღწევა, რაგინდ დიდი მნიშვნელობისაც არ უნდა იყოს იგი, ვერ ჩადგება ადამიანთა სამსახურში, თუ არ იქნება დამუშავებული, მათი განხორციელებისათვის საჭირო კონკრეტული ტექნოლოგიური პროცესები და მოწყობილობანი. სწორედ ამ პროცესების მახასიათებლები განსაზღვრავენ ტექნიკის განვითარების დონეს, გამოშვებული პროდუქციის ხარისხს, ფასს, შრომის ნაყოფიერებას და სხვა მნიშვნელოვან ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

ფხვნილთა მეტალურგიის ტექნოლოგია არსებითად განსხვავდება ნაკეთობათა წარმოების სხვა მეთოდებისაგან.

ფხვნილთა მეტალურგიის ტრადიციული ტექნოლოგია შემდეგი ძირითადი ოპერაციებისაგან შედგება:

1. ფხვნილების მიღება;
2. კაზმის (სხვადასხვაგვარი მასალების ფხვნილების ნარევის) მომზადება;
3. ნამზადის ფორმის წარმოქმნა (მისთვის ფორმის მინიჭება), რაც გულისხმობს ფხვიერი, ფხვნილოვანი ნაწილაკების კონგლომერატიდან, შედარებით მყარი, გარკვეული სიმტკიცის მქონე ნამზადის მიღებას, რომელიც თავისი ფორმით და ზომებით (დაშვებათა გათვალისწინებით) მზა ნაკეთობის შესაბამისი იქნება;
4. ნამზადის შეცხოვა, რომლის შედეგადაც ის მიიღებს აუცილებლად საჭირო სიმტკიცეს და განსაზღვრულ თვისებებს;
5. საბოლოო დამუშავება—გამამკვრივებელი მოჭიმვა, თერმული დამუშავება, დაყვანა, დაკალიბრება და სხვა.

ფხვნილთა მეტალურგიის ტექნოლოგიის ღირსება მდგომარეობს შემდეგში:

1. იძლევა მასალის მიღების შესაძლებლობას ისეთი ლითონებიდან, რომლებიც ერთმანეთთან არ წარმოქმნიან შენადნობს ან ლითონის და არალითონის ნარევისგან;

2. უმრავლესი ძნელდნობადი ნაერთის მიღება და მის ფუძეზე ნაკეთის წარმოება, შესაძლებელია მხოლოდ ფხვნილთა მეტალურგიის გზით;

3. ტექნოლოგია იძლევა სხვადასხვა ფორიანობის მქონე ნაკეთის მიღების საშუალებას, ფარიანობის ფართო დიაპაზონში ~ 0–95 %;

4. უზრუნველყოფს მიღებული მასალის მაღალ სისუფთავეს, რომელიც მიუღწევადია სხვა მეთოდების გამოყენების შემთხვევაში;

5. უზრუნველყოფს მიღებულ ნაკეთობის ზომების მაღალ სიზუსტეს და ზედაპირის ხარისხს;

6. ფხვნილთა მეტალურგიის ტექნოლოგია არ არის რთული, გამოირჩევა ოპერაციათა მცირე რაოდენობით და არ მოითხოვს მაღალი კვალიფიკაციის მუშახელს.

ამასთანავე ფხვნილთა მეტალურგიას გააჩნია გარკვეული სიძნელებები რაც მისი გამოყენების მასშტაბებს ზღუდავს:

1. ფხვნილის შედარებით მაღალი ფასი და გამოყენებული ინსტრუმენტის სიძვირე;

2. ნაკეთობის ფორმა და ზომა, რაც განპიროვნებულია წნეხფორმის კონსტრუქციული თავისებურებით და დამწნეხი მოწყობილობის არა საკმარისი სიმძლავრით.

2. ფხვნილთა მეტალურგიაში გამოყენებული მასალების ზოგადი დახასიათება

ფხვნილთა მეტალურგიაში გამოყენებული საწყისი მასალები იყოფა ძირითად და დამხმარე მასალებად. ძირითად მასალებს მიეკუთვნება ლითონები და მათი შენადნობები, ზოგიერთი არალითონური ელემენტის და ნაერთის ფხვნილი, ხოლო დამხმარე მასალებს – მპოსავი, მწებავი და ზოგიერთი სხვა ნივთიერება. ძირითადი მასალების თვისებები განსაზღვრავენ მიღებული ფხვნილოვანი ნაკეთობის და მასალის ქიმიურ შედგენილობას და მათი თვისებათა მახასიათებლებს. დამხმარე მასალის

დანიშნულება არის ფხვნილოვანი კაზმისათვის საჭირო ტექნოლოგიურ თვისების მინიჭება. სუფთა ლითონის ან და მათი შენადნობის ფხვნილის მიღება, სათანადო ქიმიური და გრანულომეტრული შედგენილობის მქონე ფხვნილოვანი კაზმის მომზადება, რომელსაც ექნება საჭირო ტექნოლოგიური თვისებები, წარმოადგენს ფხვნილოვანი ნაკეთობის წარმოების ყველაზე საპასუხისმგებლო ოპერაციას.

ფხვნილი ეწოდება ურთიერთ კონტაქტში მყოფი და ერთი-მეორესთან არა შეკავშირებული მასალის ნაწილაკების ერთობლიობას, ზომით 1 მმ–მდე. ფხვნილები განსხვავდებიან შესაბამისი ლითონების და მათი შენადნობების ბუნებით, მათში მინარევების შემცველობით, გრანულომეტრული შედგენილობით, ნაწილაკების ფორმების მიხედვით, მათი მიღების ხერხისაგან დამოკიდებულებით და სხვა მახასიათებლებით. ლითონური ფხვნილის ძირითადი მახასიათებლები, თავის მხრივ განსაზღვრავენ მიღებული ფხვნილოვანი მასალის და ნაკეთობის ქიმიურ შედგენილობას, სტრუქტურასა და თვისებებს. ერთი და იგივე ლითონის ფხვნილის თვისებები ხშირად იცვლება მათი მიღების მეთოდისაგან დამოკიდებულებით.

ფხვნილი ძირითადად ხასიათდება ფიზიკური, ქიმიური და ტექნოლოგიური თვისებებით. ფხვნილის თვისებების ცოდნა აუცილებელი პირობაა ტექნოლოგიური პროცესის სწორად ორგანიზაციისა და განხორციელებისათვის.

2.1. ფხვნილთა ქიმიური თვისებები

ფხვნილის ქიმიური შედგენილობა ბევრადაა დამოკიდებული საწყისი მასალის ქიმიურ შედგენილობაზე და ფხვნილის მიღების მეთოდზე. ძირითადი ლითონის შემცველობა ფხვნილებში როგორც წესი არ უნდა იყოს 98–99%-ზე ნაკლები. ფხვნილის ასეთი სისუფთავე უმრავლესი შეცხოვრილი ნაკეთობისათვის დამაკმაყოფილებელია.

ფხვნილში ჟანგულის დიდი რაოდენობით შემცველობა ამცირებს დაწინეხვადობას და ნაწნეხი ბრიკეტის სიმტკიცეს, აძნელებს შეცხოვრებას და აუარესებს შეცხოვრილი

ნაკეთობის მექანიკურ თვისებებს. ჟანგეულები ძირითადად აუარესებენ ტექნოლოგიურ თვისებებს, კერძოდ დაწნეხვადობას და იწვევს წნეხფორმის გაზრდილ ცვეთას. თუმცა, ზოგჯერ ფხვნილში, წყალბადით იოლად აღსადგენი ჟანგეულების (რკინის, სპილენძის, ნიკელის, ვოლფრამის და სხვათა ჟანგეულები) არსებობა სასურველიც კი არის, ასეთი ფხვნილების კარგი შეცხობადობის გამო. ხოლო ძნელად აღსადგენი ჟანგეულების არსებობა (ქრომის, მანგანუმის, სილიციუმის, ტიტანის, ალუმინის და სხვა) არა სასურველია რადგანაც ისინი ამნელებენ დაწნეხვადობასა და შეცხობადობას.

ლითონური ფხვნილები მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავენ აირებს (ჟანგბადს, წყალბადს, აზოტს და სხვა), როგორც ზედაპირზე ადსორბირებულს, ისე ნაწილაკების შიგნით მოხვედრილს, ფხვნილების დამზადების პროცესში. დიდი რაოდენობით აირების არსებობა ზრდის ფხვნილის სიმკვრივეს, ამნელებს დაწნეხვადობას, ხოლო შეცხობის პროცესში, მათი ინტენსიური გამოყოფა იწვევს ნაკეთის დაბრეცას. ამიტომ ფხვნილებს აირების მოცილების მიზნით ხშირად უტარდებათ ვაკუუმური დამუშავება.

ზოგიერთი ფხვნილისათვის დამახასიათებელია პიროფორმულობა, ე.ი. ჰაერთან შეხების დროს თვითააღების უნარი. პიროფორმულობა დამოკიდებულია ლითონის ქიმიურ ბუნებაზე, დისპერსიულობის ხარისხზე და ფხვნილის ნაწილაკების ფორმაზე, მათი ზედაპირის მდგომარეობაზე (ჟანგეულთა აფსკები ამცირებენ პიროფორმულობას), სისუფთავის ხარისხზე და სხვა. უმეტეს ფხვნილებს არ ახასიათებთ პიროფორმულობა და დამზადების პროცესში არ არსებობს მათი თვითააღების საშიშროება. მაგრამ რკინის, კობალტის, ცირკონიუმის და ზოგიერთი სხვა ლითონის წვრილდისპერსიული ფხვნილები ჰაერთან შეხების დროს ადვილად ააღდებიან.

უმეტესი ლითონისა და შენადნობის ფხვნილების მტვრის მაგვარი ჰაერში შეწონილი ნაწილაკები გარკვეულ კონცენტრაციაზე წარმოადგენენ აფეთქებასაშიშს. აფეთქებადობის კონცენტრაციული ზღვარი (გ/მ³), მაგალითად ცირკონიუმისათვის არის 40, ტიტანისათვის—60, მაგნიუმი-სათვის—60, ალუმინისათვის—10, კარბონილური

რკინისათვის—105, ალდგენილი რკინისათვის—66, ტანტალისათვის—200.

ფხვნისებობის შემდეგი თავისებურება არის მათი ტოქსიკურობა რადგანაც, პრაქტიკულად ნებისმიერი ლითონის მტვერს, მათ შორის კომპაქტურ მდგომარეობაში სრულიად უვნებელსაც კი, შეუძლია ზემოქმედება მოახდინოს ადამიანის ორგანიზმზე და გამოიწვიოს მასში პათოლოგიური ცვლილებები. ამის გამო ლითონებისა და მათი ნაერთების აეროზოლების ზღვრული დასაშვები კონცენტრაცია (მგ/მ³) ატმოსფეროში საკმაოდ მცირე უნდა იყოს და შეადგენს მაგალითად: ბერილიუმი-სათვის—0,001, ვანადიუმის ხუთჯანგისა და სპილენძის ჟანგისათვის—0,1, ლითონური კობალტისა და ნიკელის ჟანგეულებისათვის—0,5, ალუმინისა და ქრომისათვის—2, ლითონური რკინის ჟანგეულებისათვის—4÷6, ვოლფრამისათვის—6.

ამიტომ ფხვნისებობთან მუშაობის დროს ყოველთვის მკაცრად უნდა იყოს დაცული უსაფრთხოების წესები.

ფხვნისებობის ქიმიურ თვისებებში იგულისხმება პირველ რიგში ძირითადი ლითონის შემცველობა, მინარეგების რაოდენობა, აირების შემცველობა ქიმიურად შეკავშირებული (ჟანგეულების სახით), აღსორბირებულ ან გახსნილ მდგომარეობაში.

2.2. ფხვნისებობა ფიზიკური თვისებები

ფხვნისებობის ფიზიკური თვისებების ქვეშ ჩვეულებრივ იგულისხმება ნაწილაკის უპირატესი ფორმა და ფხვნის გრანულომეტრული შედგენილობა. ფიზიკურ თვისებებს მიაკუთვნებენ აგრეთვე ფხვნის ნაწილაკების მდგომარეობას, რაც დაკავშირებულია მათ წინასწარ დამუშავებასთან (მაგ. მომწვარი ფხვნის, ცინაჭედი და ა.შ.).

ნაწილაკების ფორმა

ფხვნისებობის მნიშვნელოვანი მახასიათებელია ნაწილაკების ფორმა, რომელიც ძირითადად დამოკიდებულია ფხვნის მიღების მეთოდზე და შეიძლება იყოს: სფერუ-

ლი, დრუბლოვანი, ნამსხვრევი, თეფშისმაგვარი, დენდრიტული, ბრტყელი ან ქერცლოვანი. ამა თუ იმ ხერხით მიღებული ფხვნილის ნაწილაკების ფორმა რამდენადმე შეიძლება შეიცვალოს შემდგომი დამუშავების დროს (მოწვის, დაფქვის, გრანულაციის და ა.შ).

ნაწილაკების ფორმა ჩვეულებრივ განისაზღვრება ოპტიკური ან ელექტრონული მიკროსკოპის საშუალებით.

ნაწილაკების ფორმა გავლენას ახდენს ფხვნილის ნაყარ სიმკვრივეზე, მის დაწნეხვადობაზე, ფორმის წარმოქმნის უნარზე – დაწნეხილი ბრიკეტის სიმკვრივეზე, სიმტკიცეზე და ერთგვაროვნებაზე. ნაწნეხის ყველაზე მაღალ სიმტკიცეს იძლევიან დენდრიტული ფორმის ნაწილაკები. ტექნიკურ პირობებში ფხვნილებზე ჩვეულებრივ მითითებული უნდა იყოს ნაწილაკების საჭირო ფორმა.

ნაწილაკების ზომა და ფხვნილების გრანულომეტრული შემადგენლობა

ფხვნილების ნაწილაკების ზომები, რომლებიც მიღებულია სხვადასხვა მეთოდით, მერყეობს რამოდენიმე მიკრონიდან 0,5÷1 მმ-დე. ნაწილაკებს ზომების ყველაზე დიდი დიაპაზონი გააჩნიათ ალდგენით და ელექტროლით მიღებულ ფხვნილებს.

ფხვნილის ნაწილაკების ზომები შესამეზული სხვა თვისებებთან განსაზღვრავენ იმ აუცილებელ ხვედრით წნევას დაწნეხვაზე რომელიც საჭიროა მოცემული ფორიანობის, შეცხოების დროს ჩაჯდომის და შეცხოებილი ნაწარმის მექანიკური თვისებების მისაღებად.

პრაქტიკულად არასოდეს გვხვება ფხვნილები ნაწილაკების ერთი და იგივე ზომებით. გარკვეულ ფრაქციაში ნაწილაკების რაოდენობრივი შემცველობის ფარდობას ფხვნილის საერთო რაოდენობასთან ეწოდება ფხვნილის **გრანულომეტრული შედგენილობა**. გრანულომეტრული შედგენილობა ჩვეულებრივ გამოისახება ცხრილის სახით ან გრაფიკულად მარცვლოვანობის მრუდის სახით.

ნაწილაკების სიდიდის მიხედვით გრანულომეტრული შედგენილობა განისაზღვრება ანალიზის სხვადასხვა მეთოდით: საცრული, მიკროსკოპული, სელიმენტაციური და სხვა.

საცრული მეთოდი ერთ-ერთი ფართოდ გავრცელებული ანალიზის მეთოდია, რომლისთვისაც გამოიყენება სპეციალური ხელსაწყო, საცრების ნაკრებით. ეს მეთოდი ყველაზე მარტივია და იგი გამოიყენება ფხვნილის გრანულომეტრული შედგენილობის დასადგენად, როდესაც ნაწილაკების ზომები 40 მკმ და მეტია.

საცრული მეთოდის შემთხვევაში აწონილი სინჯი (მისი მასა, თუ გამოსაცდელი ფხვნილის ნაყარი სიმკვრივე მეტია 1,5 გ/სმ³—აიღება 100გ., ხოლო როდესაც ნაყარი სიმკვრივე ნაკლებია 1,5 გ/სმ³ —აიღება 50 გ.), ჩაიყრება საცრების ნაკრების ზედა საცერში და თავი დაეხურება. შემდეგ საცრების ნაკრები მოთავსდება შემრხვეზე და იგი ჩაირთვება. ნიმუშის გაცრის დრო აიღება 30 წთ. გაცრის დამთავრების შემდეგ საცრებიდან შეგროვდება ცალკეული ფრაქციები. პრიალა ზედაპირის მქონე ქაღალდზე შეგროვებული ფრაქცია აიწონება ლაბორატორიული სასწორის მეშვეობით 0,01 გ. შიზუსტით. ამგვარად აიწონება ყველა საცერზე შეგროვებული ფრაქცია. ყველა ფრაქციის წონების ჯამი არ უნდა იყოს თავდაპირველი გამოსაცდელი ნიმუშის (ფხვნილის) 99%—ზე ნაკლები. მათ მასებს შორის განსხვავება უნდა გადანაწილდეს ყველა ფრაქციაზე მათი მასების პროპორციულად.

ცალკეული ფრაქციის შიგთავსი X, % გამოითვლება 0.1%-ის სიზუსტით შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$X = \frac{G_{\text{ფ}}}{G} \cdot 100 \%$$

სადაც $G_{\text{ფ}}$ —არის მოცემული ფრაქციის მასა, G —გამოსაცდელი ნიმუშის მასა, გრამებში.

მიკროსკოპული მეთოდი მარცლოვანობის განსაზღვრის მდგომარეობს შემდეგში: ფხვნილის მომზადებული პრეპარატი შეისწავლება ოპტიკური ან ელექტრო-

ნული მიკროსკოპის საშუალებით. ოპტიკური მიკროსკოპის შემთხვევაში მიკროსკოპის ტუბუსზე მაგრდება ოკულარ-მიკრომეტრი, რომლის სკალის საშუალებითაც განისაზღვრება ცალკეული მარცვლის ზომები. შემდეგ გამოითვლება გარკვეული ზომების მარცვლების პროცენტული შემცველობა. ოპტიკური მიკროსკოპის საშუალებით შესაძლებელია 0.3–100 მკმ ზომების მქონე ნაწილაკების გაზომვა. როდესაც ნაწილაკების ზომები ნაკლებია 1 მკმ-ზე, მაშინ გამოიყენება ელექტრონული მიკროსკოპი.

სელიმენტაციური მეთოდი ფხვნილების გრანულომეტრული ანალიზისა ეფუძნება ფხვნილების სითხეში გამოლექვის (დასმის) დროს მასების მიხედვით ნაწილაკების დაყოფის პრინციპს. ნაწილაკების დალექვის სიჩქარის განსაზღვრის შემდეგ შეიძლება გამოითვალოს მათი რადიუსი, სტოქსის კანონით:

$$r = \left[\frac{9\eta v}{2(\gamma_{\text{ვ}} - \gamma_{\text{ს}})g} \right]^{1/2}$$

სადაც r – ნაწილაკის რადიუსი, სმ; v – ნაწილაკის დალექვის სიჩქარე თხევად არეში, სმ/წმ; $\gamma_{\text{ვ}}$ – ფხვნილის მასალის სიმკვრივე, გ/სმ³; $\gamma_{\text{ს}}$ – თხევადი არეს სიმკვრივე, გ/სმ³; g – სიმძიმის ძალის აჩქარება, სმ/წმ²; η – თხევადი არეს სიბლანტე, გ/სმ წმ.

თხევადი არე კარგად უნდა ასველებდეს ფხვნილს და ამასთანავე იყოს ქიმიურად ინერტული მის მიმართ. ამ მიზნით გამოიყენება სპირიტ (ეთილის, ბუთილის, იზოამილის), აცეტონი სოიოს ზეთი, ციკლოჰექსანი. თუ აიგება დალექვის მრუდი, შეიძლება განისაზღვროს საკვლევი ფხვნილის ფრაქციული შედგენილობა.

მოცემული ფხვნილისა და ფხევადი არისათვის η , $\gamma_{\text{ვ}}$, $\gamma_{\text{ს}}$ მუდმივი სიდიდეებია, სხვაგვარად:

$$\left[\frac{9\eta}{2(\gamma_{\text{ვ}} - \gamma_{\text{ს}})g} \right]^{1/2} = \text{const} = K$$

თუ ჩავსვამთ ამ მნიშვნელობებს წინა ფორმულაში, მივიღებთ

$$r = K\sqrt{u}$$

სტაციონალური მოძრაობის დროს $u = \text{const} = H/t$, სადაც H –არის ვარდნის სიმაღლე, ხოლო t –დრო. ამიტომ

$$r = K\sqrt{H/t}$$

სტოქსის განტოლება გამოსაყენებელია ფხვნილებისათვის რომელთა ნაწილაკების ზომებია 1–100 მკმ.

ლითონური ფხვნილების გრანულომეტრული შედგენილობის განსაზღვრისათვის სულ უფრო ფართო გამოყენებას პოულობს იმპულსური კონდუქტომეტრული მეთოდი.

ხვედრითი ზედაპირი

ფხვნილის ნაწილაკების ფორმა და ზომა განსაზღვრვენ ხვედრითი ზედაპირის სიდიდეს, რომელიც წარმოადგენს ფხვნილის ერთეული მასის ან მოცულობის შემადგენელი ყველა ნაწილაკის ჯამურ ზედაპირს. ლითონური ფხვნილების ხვედრითი ზედაპირის სიდიდე მერყეობს 0,01 მ²/გ–დან რამოდენიმე კვადრატულ მეტრამდე 1 გრამში.

ფხვნილების ხვედრითი ზედაპირის განსაზღვრა სხვადასხვა მეთოდებით ხდება, მათ შორის გამოირჩევა ადსორბციული და აირგანვლადობის განსაზღვრის მეთოდი.

სიმკვრივე

ფხვნილის სიმკვრივის განსაზღვრავად ფართოდ გამოიყენება პიკნომეტრული მეთოდი. ფხვნილების პიკნომეტრული (ჰეშმარიტი) სიმკვრივე დამოკიდებულია მათ შინაგან ფორიანობაზე, კრისტალური გისოსის დეფექტურობაზე, ჟანგეულების შემცველობაზე და სხვა.

სიმკვრივის განსაზღვრა ხდება სპეციალური ხელსაწყო-პიკნომეტრის საშუალებით. პიკნომეტრს მისი მოცულობის ორი მესამედით ავსებენ ფხვნილით და წონიან. შემდეგ დარჩენილ თავისუფალ მოცულობას ავსებენ პიკნომეტრული სითხით (ბენზოლის სპირტით, ნავთით), რომელმაც კარგად უნდა დაასველოს ფხვნილი და ამასთანავე იყოს ქიმიურად ინერტული მის მიმართ, უნდა ჰქონდეს სტაბილური სიმკვრივე, ორთქლის დრეკადობის, სიბლანტის, ზე-დაპირული დაჭიმულობის და მოლეკულის ზომის მინიმალური მნიშვნელობა.

პიკნომეტრი ფხვნილითა და სითხითურთ ისევ იწონება და პიკნომეტრული სიმკვრივე – γ_K განისაზღვრება ფორმულით:

$$\gamma_K = \frac{P_2 - P_1}{P_3 - P_2} \cdot V - \frac{1}{\gamma_s}$$

სადაც P_1 – არის პიკნომეტრის მასა, გ.; P_2 – პიკნომეტრის მასა ფხვნილითურთ, გ.; P_3 – პიკნომეტრის მასა ფხვნილით და სითხითურთ, გ.; V – პიკნომეტრის მოცულობა, სმ³; γ_s – პიკნომეტრული სითხის სიმკვრივე, გ/სმ³.

გაზომვის სიზუსტის გაზრდის მიზნით გამოიყენება ვაკუუმური პიკნომეტრი, რომელიც იძლევა პიკნომეტრში მოთავსებული ფხვნილისა და სითხის ვაკუუმირების საშუალებას.

ზოგჯერ საკვლევ ფხვნილს წნეხავენ ბრიკეტის სახით, 20–30% ფორიანობით, რომელსაც უტარებენ ვაკუუმირებას 30–40 წუთის განმავლობაში და შემდეგ ბრიკეტი იჟლინთება ცნობილი სიმკვრივის მქონე სითხით. ამის შემდეგ ბრიკეტი იწონება ჰაერზე და წყალში. პიკნომეტრული სიმკვრივე იანგარიშება ფორმულით:

$$\gamma_K = \frac{P_1}{\frac{P_2 - P_3}{\gamma_{\text{წ}}} - \frac{P_2 - P_1}{\gamma_s}}$$

სადაც P_1 და P_2 – არის გაუქვნილობის და გაქვნილი ბრიკეტის მასა შესაბამისად, გ.; P_3 – არის გაქვნილი ბრიკეტის მასა წყალში, გ.; γ_f – წყლის სიმკვრივე, გ/სმ³; γ_s – სითხის სიმკვრივე, გრ/სმ³.

მიკროსისალე

სხვადასხვა ლითონი ხასიათდება დეფორმაციისადმი სხვადასხვა წინააღმდეგობით, რაც განპიროვნებულია მათი კრისტალური გისოსის აგებულებით. გარდა ამისა ერთი და იგივე ლითონს შეიძლება ჰქონდეს დეფორმაციისადმი სხვადასხვა წინააღმდეგობა წინასწარი დამუშავებისაგან დამოკიდებულებით, რომელიც ცვლის სტრუქტურას, რაც თავის მხრივ დაკავშირებულია ფხვნილის მიღების მეთოდთან.

ლითონის დეფორმირებადობა, გარკვეულწილად ხასიათდება სისალით და დიდი მნიშვნელობა გააჩნია ლითონური ფხვნილის ტექნოლოგიური თვისებების, ძირითადად დაწნეხადობის შესაფასებლად. ფხვნილის პლასტიკურობა მნიშვნელოვან წილად განსაზღვრავს გამკვრივების შესაძლებლობას დაწნეხვის დროს, ბრიკეტის სიმტკიცეს, დამწეხი მოწყობილობის სიმძლავრეს, წნეხფორმების საექსპლუატაციო დროის გაზრდის შესაძლებლობას და სხვა.

ფხვნილის პლასტიკურობის განსაზღვრის ყველაზე კარგი მეთოდია მისი ნაწილაკების მიკროსისალის გაზომვა. ფხვნილის მიკროსისალის განსაზღვრისათვის წინასწარ მზადდება სათანადო ნიმუში. ნიმუში მზადდება შემდეგნაირად: საკვლევი ფხვნილი უნდა შეერიოს ბაკელიტთან ან ორგცემენტთან. ნარევი იწნეხება $1 \div 2$ ტ/სმ² წნევით, მცირე ბრიკეტებად, რომლებიც შემდეგ განიცდიან გახურებას $100 \div 140^\circ\text{C}$ -ზე, შემავსებლის პოლიმერიზაციის მიზნით. შემდეგ ბრიკეტის ერთ-ერთი გვერდი გაიხეხება და გაპრიალდება. მიკროსისალის განსაზღვრა ხდება PMT-2 ან PMT-3 ხელსაწყოთა საშუალებით. მიკ-

როსისაღე დამოკიდებულია ძირითადად ლითონში მინარეკებისა და მალეგირებელი ელემენტების შემცვლობაზე, კრისტალური გისოსის დამახინჯების ხარისხზე და სხვა.

2.3. ფხვნილთა ტექნოლოგიური თვისებები

ფხვნილების ტექნოლოგიური თვისებები მოიცავს შემდეგ მახასიათებლებს: **ნაყარი სიმკვრივე** – ფხვნილის მოცულობის ერთეულის მასა თავისუფალ დაყრის დროს; **ფხვნილის დენადობა**; **დაწნეხადობა**; **ყალიბადობა** – ე.ი. ფხვნილის უნარი გარეგანი წნევის გამოყენებით მიიღოს და შეინარჩუნოს გარკვეული ფორმა და ზომები; **შეცხობადობა** და სხვა.

ნაყარი სიმკვრივე

ნაყარი სიმკვრივე წარმოადგენს თავისუფლად დაყრილი ფხვნილის ერთეულოვანი მოცულობის მასას და არის მისი მოცულობითი მახასიათებელი. ნაყარი სიმკვრივე მით მეტია, რაც უფრო მსხვილია ფხვნილის ნაწილაკები და რაც უფრო კომპაქტური და სწორი ფორმა გააჩნია მათ. დიდი მნიშვნელობა აქვს ფხვნილის გრანულომეტრულ შედგენილობას, რომელიც ასახავს სხვადასხვა ზომის ნაწილაკების თანაფარდობას.

არსებით გავლენას ნაყარ სიმკვრივეზე ახდენს წვრილი ფრაქციების არსებობა ფხვნილებში. როგორც წესი მათი შემცველობის ზრდა ამცირებს ნაყარ სიმკვრივეს სიცარიელების წარმოქმნის შედეგად. ამასთანავე უნდა გვახსოვდეს, რომ წვრილი ფრაქციები ავსებენ მსხვილ ნაწილაკებს შორის არსებულ სიცარიელებს და ამით ნაყარი სიმკვრივე იზრდება. ყველა შემთხვევაში ფხვნილების ხვედრითი ზედაპირების ზრდისას ნაყარი სიმკვრივე მცირდება და პირიქით.

ნაყარი სიმკვრივის ცოდნა აუცილებელია წნეხ–ფორმების დაპროექტების დროს, რადგანაც დაწნეხვის დროს ფხვნილების დოზირება უმეტეს შემთხვევაში ხორციელდება მოცულობითი მეთოდით და ამ დროს ნაყარი

სიმკვრივის მნიშვნელობის მუდმივობის დაცვა აუცილებელი პირობაა.

ფხვნილის ნაყარ სიმკვრივესთან მჭიდროდაა დაკავშირებული ჩაჯდომა შეცხობის დროს. რაც უფრო ნაკლებია ნაყარი სიმკვრივე მით მეტია ჩაჯდომა.

ნაყარი სიმკვრივე როგორც ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მახასიათებელი გათვალისწინებულია ყველა ტექნიკურ პირობებში ლითონურ ფხვნილებზე და მისი განსაზღვრა ხდება სტანდარტული მეთოდით.

ნაყარი სიმკვრივის განსაზღვრის მეთოდი მდგომარეობს გარკვეული მუდმივი მოცულობის შევსებაში ფხვნილით, სტანდარტული ძაბრის გავლით ან და ძაბრებისა და ფირფიტების სისტემის გავლით (ვოლიუმომეტრი), და ამ მოცულობაში დაგროვილი ფხვნილის მასის განსაზღვრაში. წინასწარ ფხვნილი განიცდის შრობას $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე საშრობ კარადაში მუდმივი მასის მიღებამდე. შემდგომ იგი უნდა გაცივდეს ექსიკატორში გარემოს ტემპერატურამდე.

ძაბრის გამოყენებით ისაზღვრება იმ ფხვნილის ნაყარი სიმკვრივე რომელიც თვითღინებით გამოედინება ძაბრის 5მმ დიამეტრის მქონე ნახვრეტიდან (ნახ.1.ა). თუ კი ფხვნილი თვითღინებით არ გამოედინება ასეთი ძაბრიდან მაშინ გამოიყენება ვოლიუმეტრი (ნახ.1.ბ).

ნაყარი სიმკვრივე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\gamma_{\text{ნაყ}} = (G_2 - G_1) V \text{ გ/სმ}^3,$$

სადაც G_1 –საწყაოს (მზომის) მასა, გ.; G_2 –საწყაოს მასა ფხვნილთან ერთად, გ.; V –საწყაოს მოცულობა, სმ^3 .

ნაყარი სიმკვრივის გაზომვა ხდება სამჯერ და შემდეგ გამოითვლება საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

ფხვნილის ნაყარი სიმკვრივის შებრუნებულ სიდიდეს ეწოდება ნაყარი მოცულობა – $V_{\text{ნაყ}}$, $\text{სმ}^3/\text{გ}$:

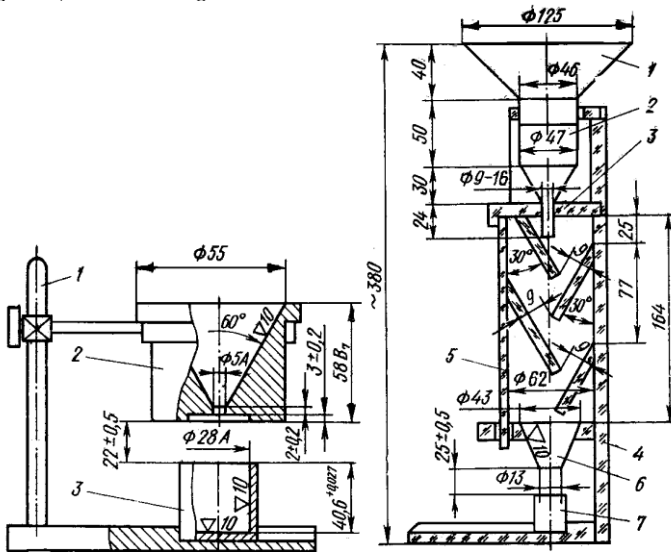
$$V_{\text{ნაყ}} = 1 / \gamma_{\text{ნაყ}}$$

ფხვნილის ნაყარი მოცულობა ყოველთვის რამოდენიმეჯერ აღემატება კომპაქტური ლითონის ხვედრით მოცულობას და იგი შედგება კომპაქტური ლითონის ნაწილაკების მოცულობათა და ფორების მოცულობათა ჯამისაგან.

ფხვნილის მოცულობითი მასხასიათებელია აგრეთვე ჩატკეპნის მოცულობა $V_{\text{ჩ}}$ და ჩატკეპნის სიმკვრივე $\gamma_{\text{ჩ}}$. ჩატკეპნის მოცულობა განისაზღვრება ფხვნილის გარკვეული წონაკის (10–50გ.) დატკეპნის გზით მუდმივ მოცულობამდე. მისი განსაზღვრა ხდება დანაყოფებიანი მენზურის საშუალებით. დატკეპნა შეიძლება მოხდეს სპეციალური ვიბრატორის საშუალებითაც. ჩატკეპნის მოცულობა გამოითვლება ფხვნილის აწონვის შემდეგ ფორმულით:

$$V_{\text{ჩ}} = V / G \text{ სმ}^3 / \text{გ}$$

სადაც V არის ფხვნილის მოცულობა მენზურაში, სმ^3 ; G – ფხვნილის მასა, გ .



ა)

ბ)

ნახ.1.ფხვნილის ნაყარი სიმკვრივის განმსაზღვრელი მოწყობილობა:

- ა)–ძაბრი(1–შტატივი; 2–ძაბრი; 3–ჭიქა მოცულობით 25 სმ³);
 ბ)–ვოლიუმეტრის სქემა (1–დიდი მიმღები ძაბრი; 2–მცირე ძაბრი; 3–მოსასხნელი სახურავი; 4–კორპუსის საყრდენი კედელი; 5–ამრიდი ფირფიტები; 6–მიმართველი ძაბრი; 7–ჭიქა მოცულობით 25 სმ³).

ჩატკეპნის სიმკვრივე წარმოადგენს ჩატკეპნის მოცულობის შებრუნებულ სიდიდეს:

$$\gamma_{\text{ჩ}} = 1 / V_{\text{ჩ}}$$

ჩატკეპნის სიმკვრივე 20–50 %-ით მეტია ნაყარ სიმკვრივესთან შედარებით.

თუ ცნობილია $\gamma_{\text{ნაყ}}$, $V_{\text{ნაყ}}$ და ფხვნილის მასალის სიმკვრივე $\gamma_{\text{ჩ}}$ შეიძლება გამოითვალოს ფხვნილის სხვა მოცულობითი მახასიათებლები:

ფარდობითი მოცულობა: $\beta = V_{\text{ნაყ}} / V_{\text{ჩ}} = \gamma_{\text{ჩ}} / \gamma_{\text{ნაყ}} ;$

ფარდობითი სიმკვრივე: $\theta = \gamma_{\text{ნაყ}} / \gamma_{\text{ჩ}} = 1 / \beta ;$

ფორიანობა: $\Pi = (V_{\text{ნაყ}} - V_{\text{ჩ}}) / V_{\text{ნაყ}} = (\gamma_{\text{ჩ}} - \gamma_{\text{ნაყ}}) / \gamma_{\text{ჩ}} = 1 - \gamma_{\text{ნაყ}} / \gamma_{\text{ჩ}};$
სადაც $V_{\text{ჩ}} = 1 / \gamma_{\text{ჩ}} .$

ფარდობითი მოცულობა გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ მეტია ფხვნილის ნაყარი მოცულობა კომპაქტური ლითონის ხევედრით მოცულობაზე. ფარდობითი სიმკვრივე ახასიათებს ლითონის ფხვნილის მიერ დაკავებულ წილს, ხოლო ფორიანობა – ფორების მიერ დაკავებულ მოცულობის წილს.

დენადობა

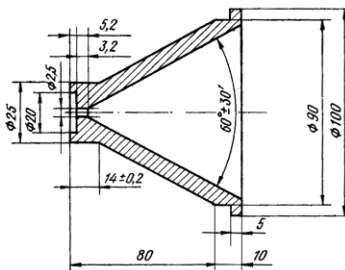
ფხვნილის დენადობა, ანუ უნარი გარკვეული სიჩქარით გამოეღინოს გარკვეული ზომის ნახვრეტიდან, წარმოების თვალსაზრისით ძალიან მნიშვნელოვანი მახასიათებელია. მასზე არის დამოკიდებული ფხვნილის “წონაკის” სწრაფი და უწყვეტი მიწოდება წნეხფორმაში და რთული ფორმის წნეხფორმების კარგი შევსება. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება დენადობას ავტომატური დაწნეხვის დროს, როდესაც სიჩქარე და თვით წნეხფორმის შევსების შესაძლებლობით შეზღუდულია წნეხის მწარმოებლურობა.

ფხვნილის დენადობა–რთული კომპლექსური მახასიათებელია და იგი მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, როგორცაა-მაგალითად: სიმკვრივე, გრანულომეტრული შედგენილობა, ნაწილაკების ფორმა, მათი ზედაპირების მდგომარეობა და სხვა. ძირითადი ფაქტორია ნაწილაკებს შორის ხახუნი და შეჭიდულობა, რაც ზღუდავს მათ ურთიერთ გადაადგილებას.

დენადობა ჩვეულებრივ მცირდება ნაწილაკების ზომების შემცირებასთან ერთად, რადგანაც წმინდა (წვრილმარცვლოვან) ფხვნილებს გააჩნიათ მეტი ხვედრითი ზედაპირი. ნაწილაკების ფორმის სირთულე და ხორკლიანობის ზრდა აგრეთვე ამცირებენ დენადობას. ფხვნილების დაჟანგვა დენადობას ზრდის, რადგანაც ამ დროს მცირდება ხახუნის კოეფიციენტი და ნაწილაკების ზედაპირის რელიეფი უფრო გლუვი ხდება. დენადობას მნიშვნელოვნად ამცირებს ფხვნილის ტენიანობა.

სტანდარტის GOCT 208999-75-ის მიხედვით ფხვნილის დენადობა გამოისახება დროის მონაკვეთით (წმ) , რომლის განმავლობაშიც 50 გრამი ფხვნილი გამოედინება კონუსური ძაბრის 2,5 მმ-ი დიამეტრის მქონე დაკალიბრებული ნახვრეტიდან. ძაბრი მაგრდება შტატივზე. მასში ჩაიყრება აწონილი -50 გრამი გამოშრობილი ფხვნილი. ძაბრის ნახვრეტი ამ დროს იხურება თითის მაშველობით. ამის შემდეგ იხსნება დაკალიბრებული ნახვრეტი და ერთდროულად ირთვება წამზომი. როგორც კი გამოვა უკანასკნელი ნაწილაკები ნახვრეტიდან დაფიქსირდება წამზომის ანათვალი. გამოცდა ტარდება მინიმუმ ხუთჯერ და იანგარიშება საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა.

რაც უფრო მეტია ძაბრის დაკალიბრებული ნახვრეტიდან ფხვნილის გამოდინების დრო მით უფრო ცუდი დენადობა აქვს ფხვნილს და პირიქით. დენადობის გაზრდა შესაძლებელია ფხვნილის გამოწვით ან მისი დამზადების ტექნოლოგიური რეჟიმების შეცვლით. ფხვნილის დენადობის განსასაზღვრელი ძაბრის სქემა მოცემულია ნახ.2.



ნახ.2.ლითონური ფხვნილების დენადობის განმსაზღვრელი ძაბრის სქემა.

დაწნეხვადობა

ფხვნილები დაწნეხვადობა და ყალიბადობა (ფორმის მინიჭების უნარი) მნიშვნელოვანი ტექნოლოგიური მახასიათებლებია. თუ განვიხილავთ ფხვნილის უნარს გამკვრივებისადმი, მხედველობაში უნდა გვქონდეს, ერთის მხრივ მოჭიმვის უნარი დაწნეხვის პროცესში (დაწნეხვადობა) და მეორეს მხრივ ფორმის შენარჩუნების უნარი დაწნეხვის შემდეგ (ყალიბადობა). კარგი დაწნეხვადობა აიოლებს და აიაფებს დაწნეხილი ბრიკეტის მიღების პროცესს. დაწნეხვადობა ძირითადად დამოკიდებულია ფხვნილის ნაწილაკების პლასტიკურობაზე. მასზე ნაკლებ გავლენას ახდენს ნაწილაკების ფორმა და ზომები. ფორმის მიღება კი პირიქით ძირითადად დამოკიდებულია ნაწილაკების ფორმაზე და მათი ზედაპირის მდგომარეობაზე. ნაწილაკები განვითარებული ხორკლიანობით და დენდრიტული აგებულებით ხასიათდებიან კარგი ყალიბადობით. დაწნეხვადობის რაოდენობრივი შეფასება ხდება ან იმ აუცილებელი წნევის განსაზღვრით, რომელიც საჭიროა გამოსაცდელი ფხვნილიდან მოცემული სიმკვრივის მქონე ბრიკეტის მისაღებად, ან და გამკვრივების ხარისხის დადგენით გარკვეულ ხვედრით წნევაზე. იგი უნდა შეესაბამებოდეს ბრიკეტის სიმკვრივის ფარდობას ფხვნილის ნაყარ წონასთან.

ყალიბადობის (ფორმირების) უნარის რაოდენობრივი შეფასება შესაძლებელია მოხდეს დაწნეხილი ბრიკეტის კუმშვაზე გამოცდით, ნელ და მდოვრე დატვირტვაზე. მისი მახასიათებელი ამ დროს იქნება ბრიკეტის კუმშვაზე სიმტკიცის მნიშვნელობის ფარდობა დაწნეხვის ხვედრით წნევასთან:

$$\Phi = \sigma_{კუმშვა} / P_{ბ3}$$

სადაც Φ —არის ყალიბადობის მაჩვენებელი; $\sigma_{კუმშვა}$ —სიმტკიცე კუმშვაზე; $P_{ბ3}$ —დაწნეხვის ხვედრითი წნევა.

ყალიბადობის შეფასების შემდეგი მეთოდი არის ეგ. წ. დოლური მეთოდი, რომელიც დაწნეხილი ბრიკეტის ცვეთითა და რღვევით (ჩამოფხვით) ხასიათდება. ეს მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში: დაწნეხილი ბრიკეტი ჩაიტვირთება პერფორირებული კედლების მქონე დოლში, რო-

მელიც ბრუნვით მოძრაობაში მოიყვანება. გარკვეული დროის გასვლის შემდეგ (მაგ. 15 წუთი) დოლის ჩერდება. ბრიკეტი იწონება და განისაზღვრება მის მასებს შორის სხვაობა გამოცდამდე და გამოცდის შემდეგ.

როგორც წესი კარგი ყალიბადობის მქონე ფხვნილები ხასიათდებიან მცირე დაწნეხვადობით და პირიქით. რაც უფრო მაღალია ფხვნილის ნაყარი სიმკვრივე, მით უარესია მისი ყალიბადობა (უმეტეს შემთხვევაში) და უკეთესია დაწნეხვადობა.

3. ფხვნილების წარმოება

შეცხოვნილი მასალების და ნაკეთობათა მიღების ტექნოლოგია იწყება ლითონური ფხვნილების მიღებით. ლითონური ფხვნილების თვისებები, მათი სტრუქტურა და შედგენილობა განპირობებულია ერთის მხრივ შესაბამისი ლითონის ბუნებით და მეორეს მხრივ ფხვნილების მიღების მეთოდებით.

ფხვნილის მიღების ტექნოლოგიის შერჩევა ძალიან მნიშვნელოვანია და მათი მიღება არ ხდება ფხვნილების შემდგომი გამოყენების სფეროს გაუთვალისწინებლად.

დღეისათვის პრაქტიკაში გამოყენებული ფხვნილების მიღების ყველა არსებული მეთოდი შეიძლება დაიყოს ორ დიდ ჯგუფად: მექანიკური და ფიზიკო-ქიმიური.

ფხვნილების მიღების **მექანიკური მეთოდები** – ეს ისეთი ტექნოლოგიური პროცესებია რომელთა დროსაც საწყისი მასალა განიცდის დაწვრილმარცვლოვნებას გარეგანი ძალის ზემოქმედებით, ქიმიური შედგენილობის არსებითი ცვლილების გარეშე. ასევე მეთოდებია:

დაქუცმაცება და დაფქვა – ნედლეულის სახით ამ შემთხვევაში გამოიყენება წარმოების ნარჩენები: ლითონის ბურბუშელა, მცირე ნაჭრები და ა.შ.. ამ მეთოდით მიიღება რკინის, სპილენძის, მანგანუმის, ქრომის, მაგნიუმის, ალუმინის, ფოლადის და რკინის ფუძეზე წარმოებული სხვა შენადნობების ფხვნილები.

გამდნარი ლითონის გაფრქვევა – ერთ-ერთი მწარმოებლური მეთოდია. მისი საშუალებით მიიღება ალუმინის, ტყვიის, თუთიის, კალის, ბრინჯაოს, თითბერის,

სპილენძის, ფეროშენადნობების, რკინისა და ფოლადის ფხვნილები.

გრანულაცია – ეს არის გამდნარი ლითონის წყალში ჩამოსხმის ხერხი, რომლის შედეგადაც მიიღება რკინის, სპილენძის, ვერცხლის, ტყვიის, კალის და თუთიის უხეში ფხვნილები.

ლითონების ჭრით დამუშავება – ამ გზით მიიღება მაგნიუმის, ფოლადის, თითბერის, ბრინჯაოს, მცირე-სილიციუმისანი თუჯები და სხვა ფხვნილები.

ფხვნილების მიღების ფიზიკო-ქიმიური მეთოდები – გული-სხმობს ფხვნილისმაგვარი ლითონების მიღებას საწყისი მასალის დრმა ფიზიკო-ქიმიური გარდაქმნების შედეგად. ამ დროს საბოლოო პროდუქტი – ფხვნილი, როგორც წესი, თავისი ქიმიური შედგენილობით განსხვავდება საწყისი მასალისაგან.

ფხვნილების მიღების ფიზიკო-ქიმიური მეთოდებია:

ჯანგულების ან მარილების აღდგენა – ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული და ეკონომიური მეთოდია, განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც საწყის მასალად გამოიყენება მადანი, მეტალურგიული წარმოების ნარჩენები (მაგ. ნაქლიბის ხენჯი) და ნედლეულის სხვა იაფი სახეები. ეს მეთოდი ხშირად გამოიყენება რკინის, სპილენძის, ნიკელის, კობალტის, ვოლფრამის, მოლიბდენის მისაღებად; იგი იძლევა ფხვნილის ნაწილაკების ფორმისა და ზომების კარგი რეგულირების საშუალებას; ასეთი ფხვნილები კარგად იწნეხებიან და შეიცხობიან.

წყალხსნარებისა და გამდნარი არეების ელექტროლიზი – იგი თავისი მნიშვნელობით მეორე ადგილზეა აღდგენის შემდეგ. ამ გზით თითქმის ყველა ლითონის ფხვნილის მიღებაა შესაძლებელი; მიღებული ფხვნილები ძალიან მაღალი სისუფთავისაა რადგანაც ელექტროლიზის პროცესში ხდება მინარევებისაგან გასუფთავება, მაგრამ ფხვნილის მიღება ძვირი ჯდება დაბალი მწარმოებლურობისა და ელექტროენერჯის მაღალი ხარჯის გამო. ამ გზით მიიღება რკინის, ნიკელის, სპილენძის, ტანტალის, ტიტანის, თორიუმის, ბერილიუმის, ვერცხლის, ქრომის, მანგანუმის და რკინის, ნიკელის თუ სპილენძის ფუძეზე არსებული სხვადასხვა შენადნობის ფხვნილები.

კარბონილების დისოციაცია – ხასიათდება იმით, რომ მიღებულ ფხვნილებს გააჩნიათ მაღალი სისუფთავე, მაგრამ ეს მეთოდი ძალიან ძვირია. იგი გამოიყენება რკინის, კობალტის, ქრომის, მოლიბდენის, ვოლფრამის და რკინისა თუ ნიკელის ლეგირებული ფხვნილების მისაღებად.

კონდენსაცია – ეს მეთოდი გამოიყენება მხოლოდ დაბალი დნობისა და აორთქლების ტემპერატურის მქონე ლითონთა ფხვნილების მისაღებად როგორცაა მაგალითად თუთია, მაგნიუმი, კადმიუმი. მეთოდი გულისხმობს ლითონის ორთქლის კონდენსაციას ცივ ზედაპირზე. მიღებული ფხვნილები დიდი რაოდენობით შეიცავენ უანგულებს და ძალიან წვრილმარცვლოვანი არიან, რის გამოც მათი გამოყენება შეზღუდულია.

კრისტალთაშორისი კოროზია – ეს მეთოდი გულისხმობს კრისტალიტებს შორის კოროზიის ინტენსიურ განვითარებასა და კოროზიული ფენის შემდგომ გახსნას, რის შედეგადაც კრისტალიტები კარგავენ ურთიერთშორის კავშირს და მიიღება ლითონური ფხვნილი. ამ მეთოდის გამოყენება შეზღუდულია და იგი ძირითადად გამოდგება უჟანგავი და ქრომონიკელიანი ფოლადების მისაღებად.

თერმოდოფუზიური გაჯერება – ეს არის ლეგირებული ფხვნილების და სხვადასხვა შენადნობის მიღების მეთოდი. იგი განსაკუთრებით ეფექტურია არა როგორც ფხვნილების მიღების დამოუკიდებელი ხერხი არამედ, როგორც სხვადასხვა ლითონზე ზედაპირული დანაფარის მიღების მეთოდი.

ფხვნილების მიღების მრავალრიცხოვანი მეთოდებიდან სამრეწველო გამოყენებას მხოლოდ ზოგიერთი ძირითადი მეთოდი პოულობს, როგორცაა: ლითონთა უანგულებისა და სხვა ნაერთების აღდგენა, ელექტროლიზი, აქროლადი ნაერთების თერმული დისოციაცია, მყარი ლითონის დაფქვა ბურთულებიან, ვიბრაციულ, ჭავლიან ან გრიგალურ წისკვილებში და თხევადი ლითონების გაფრქვევა.

ზემოთჩამოთვლილი ლითონური ფხვნილების მიღების მრავალრიცხოვანი მეთოდებიდან მოკლედ განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

3.1. მყარი ლითონის დაფქვა ბურთულებიან ვიბრაციულ წისწვილში

კომპაქტური ლითონის მექანიკური დაქუცმაცება და დაფქვა ფართოდ არის გავრცელებული ფხვნილთა მეტალურგიაში. ამ ხერხით ფხვნილად შეიძლება იქცეს ნებისმიერი ლითონი.

დაქუცმაცება და დაფქვა ნიშნავს მასალის ნაწილაკების საწყისი ზომების შემცირებას გარეგანი ძალის ზემოქმედებით გამოწვეული რღვევის შედეგად, რასაც იწვევს შეჭიდულობის შინაგანი ძალების დაძლევა. დაწვერილმარცვლოვანება დაქუცმაცების, დაფქვის და გახეხვა-ცვეთის გზით წარმოადგენს ფხვნილების მიღების უძველეს ხერხს. ის შეიძლება იყოს ლითონური ფხვნილების მიღების როგორც დამოუკიდებელი მეთოდი ისე დამატებითი ხერხი სხვა მეთოდებით ფხვნილების მიღების დროს. ასეთი მეთოდი განსაკუთრებით მიზანშეწონილია მყიფე ლითონების ფხვნილების მიღების შემთხვევაში როგორცაა მაგალითად: სილიციუმი, ბერილიუმი, ანთმონი (სურმა), ქრომი, მანგანუმი, ფეროშენადნობები, ალუმინის შენადნობები მაგნიუმთან და სხვა.

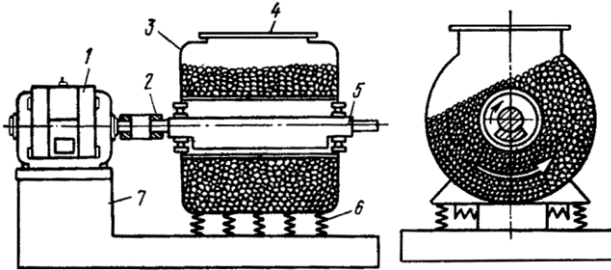
მექანიკური დაფქვა-დაქუცმაცების ოპერაციას ხშირად უთავსებენ ფხვნილების ფხვნილობის ნარევების მომზადების ოპერაციებთან.

ფხვნილთა მეტალურგიის პრაქტიკაში სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება ვიბრაციული წისქვილები, რომელიც უზრუნველყოფს მასალების წვრილად და სწრაფად დაფქვას. მათი გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია ტიტანის, ვოლფრამის, სილიციუმის, ვანადიუმის და ბორის კარბიდების დასაფქველად და სალი შენადნობების საწარმოებლად.

ვიბრაციული დაფქვით შესაძლებელია ბრინჯაოს და ალუმინის წვრილდისპერსული ფხვნილის მიღება. ამასთანავე ალუმინის დაფქვა უნდა წარმოებდეს თხევად არეში აფეთქების თავიდან აცილების მიზნით. ვიბრაციული წისქვილის პრინციპიალური სქემა მოცემულია ნახ.3.

დებალანსური ლილვი 5 მოძრაობაში მოდის ელექტროძრავით 1 ელასტიური ქუროს 2-ის მეშვეობით. ლილ-

ვის გაუწონასწორებელი მასები (დებლანსი) ბრუნვის დროს იწვევენ წისქვილის კორპუსის რხევებს ამპლიტუდით 2-4 მმ. კორპუსში ჩატვირთულია დამფქველი სხეულები და დასაფქველიმასალა. კორპუსი ეყრდნობა ზამბარებს 6, რომლებიც ამორ-ტიზებას უწვენ ინერციულ ძალებს. კორპუსის ნებისმიერი წერტილის ტრაექტორია, რომელიც ასრულებს წრიულ რხევებს, ძვეს ვიბრატორის დერძის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში.



ნახ.3. ვიბრაციული წისქვილის სქემა.

1-ელექტრო ძრავი; 2-დრეკადი (ელასტიური) შემაერთებელი ქურო; 3-ფოლადის კორპუსი; 4-ჩასატვირთი ლუქი; 5-დებლანსიანი ლილვი; 6-სპირალური ზამბარები; 7-უძრავი ჩარჩო.

წისქვილის ჩანატვირთი, რომელიც შედგება დამფქველი სხეულებისა და დასაფქველი მასალისაგან, მიიღებს რა კორპუსის კედლებიდან იმპულსებს, ასრულებს რთულ მოძრაობას. დამფქველი სხეულები ზემოთ აიტყორცნიებიან ერთმანეთს ეჯახებიან, ტრიალებენ და ცურდებიან წისქვილის კედლებზე.

დამფქველ სხეულებზე მოსული იმპულსების დიდი რაოდენობა დროის ერთეულში და მათი რთული მოძრაობა განაპირობებენ დასაფქველ მასალაზე მათი ზემოქმედების ხასიათს. დასაფქველი მასალის ნაწილაკებზე წისქვილის მთელ ზონაში სხვადასხვა მიმართულებით მოქმედებენ ცვლადი სიდიდის დარტყმითი, მკუმშავი და ჩამოჭრის ძალები.

დამფქველი სხეულების დიდი რაოდენობა მოცულობის ერთეულში და ვიბრაციის მაღალი სიხშირე განაპირობებს დასამუშავებელი მასალის ინტენსიურ დაფქვას.

დამფქველ სხეულებზე დროის ერთეულში მინიჭებული იმპულსების ჯამური რიცხვი m , შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი ფორმულით:

$$m = V k \varphi n z B$$

სადაც V —არის წისქვილის მოცულობა, დმ^3 ; k —დამფქველი სხეულების რიცხვი, რომელიც შეიძლება მოთავსდეს 1დმ^3 მოცულობაში; φ —დამფქველი სხეულებით წისქვილის შევსების კოეფიციენტი; n —ლილვის ბრუნთა რიცხვი წუთში, ჩვეულებრივ აიღება $1000\text{--}3000$ ბრ/წთ; z —თითოეულ დამფქველ სხეულზე წისქვილის კორპუსის მიერ მინიჭებულ იმპულსების რაოდენობა ერთ წრიულ რხევაზე; B —თითოეულ დამფქველ სხეულზე მეზობელი დამფქველი სხეულების მიერ მინიჭებულ იმპულსების რაოდენობა ლილვის ერთ ბრუნზე.

თუ მივიღებთ, პირობითად, რომ $k \approx 1250$ ცალი/დმ³ (დამფქველი სხეულის საშუალო დიამეტრი 10მმ შემთხვევაში), $\varphi = 0,8$; $n = 1500$ ბრ/წთ, $z = 1$ (ე.ი. ვიბრატორის ლილვის ერთ ბრუნვაზე დამფქველ სხეულს გადაეცემა ერთი იმპულსი), $B = 1$ (ე.ი. არ იქნება გათვალისწინებული სისშირის მატება, რომელიც დამატებით გადაეცემა ყოველ ბურთულას მეზობელი სხეულებით), მაშინ დამფქველ სხეულებზე მოსული იმპულსების რიცხვი 200 დმ³ მოცულობის მქონე წისქვილში იქნება: $m = 200 \cdot 1250 \cdot 0,8 \cdot 1500 = 300\ 000\ 000$ იმპულს წუთში. ამ რიცხვის დასაფქველი მასალის ნაწილაკების რაოდენობაზე განაყოფის წილადური ნაწილი იძლევა ყოველ ნაწილაკზე ზემოქმედების სისშირეს.

დამფქველი სხეულებისათვის ყველაზე რაციონალური ფორმა არის სფერო ან მცირე სიგრძის ცილინდრები. მათ დასამზადებლად გამოიყენება ფოლადი ან სალი შენადნობები.

წისქვილის დოლი დამფქველი სხეულებით უნდა შეივსოს მოცულობის $75\text{--}85\%$ —დე, ხოლო დასაფქველი მასალის მოცულობა არუნდა აღემატებოდეს ბურთულებს შორის არსებული თავისუფალი სივრცის მოცულობას.

3.2. თხევადი ლითონების და შენადნობების გაფრქვევა და გრანულაცია

თხევადი ლითონის გაფრქვევის მეთოდით ფხვნილების მიღება სულ უფრო ფართო გავრცელებას ჰპოვებს. ამ გზით მიიღება ალუმინის, თუთიის, ტყვიის, ზოგიერთი ფეროშენადნობის, რკინის, ფოლადის და სხვა მთელი რიგი ლითონების და შენადნობების, მათ შორის ძნელდნობადი ლითონების ფხვნილები.

გაფრქვევისა და გრანულაციის მეთოდით მიღებულ ფხვნილებს ეწოდებათ გრანულირებული ფხვნილები. ისინი გამოირჩევიან მაღალი სისუფთავით, ერთგვაროვანი შედგენილობით, ნაწილაკების წინასწარი დასახული ზომებისა და ფორმის კომპლექსით. გარდა ამისა თხევადი ლითონების გასაფრქვევ დანადგარებს გააჩნიათ მაღალი მწარმოებლურობა, მცირე ხვედრითი კაპიტალურ დანახარჯებთან ერთად, ამიტომ ამ მეთოდით მიღებული ფხვნილების ფასი მცირედ აღემატება საწყისი მასალის ღირებულებას.

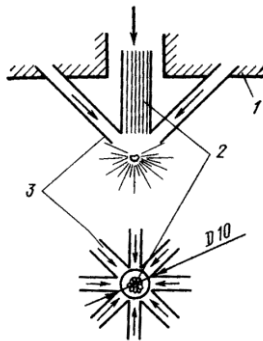
ნალღობის (გამდნარი ლითონის) გაფრქვევის არსი მდგომარეობს შემდეგში: გამდნარი ლითონის ჭავლის დანაწევრება ხდება მექანიკური გზით ან და მაღალი წნევის მქონე ენერგომატარებლის—აირის ან წყლის გამოყენებით. გრანულაციის დროს ჭავლი ნაწილაკებად იქცევა მისი თხევად არეში მაგ. წყალში ჩაღვრის შედეგად.

გრანულაციას შედარებით იშვიათად მიმართავენ. იგი ძირითადად გამოიყენება შედარებით დაბალი $\sim 1000^{\circ}\text{C}$ –ზე ნაკლები ტემპურატურის მქონე ლითონებისა და შენადნობების ფხვნილების მისაღებად.

დღეისათვის უფრო ფართოდაა გავრცელებული თხევადი ლითონის გაფრქვევა აირადი მაღალი ენერგომატარებლის გამოყენებით. თხევადი ლითონის გაფრქვევის სქემა ნაჩვენებია ნახ.4.–ზე. ლითონის ჭავლის რღვევა ხდება შეკუმშული აირის (ჰაერის, აზოტის, არგონის და სხვა) კინეტიკური ენერჯიის ხარჯზე. აირის მიმწოდებელი საქმენის ღერძი ჭავლის მიმართ ჩვეულებრივ განლაგებულია 60° კუთხით. ლითონის ჭავლის დანაწევრება ხდება აქტიური კონუსის ზონაში.

ლითონის ჭავლის რღვევის მექანიზმი ძალზე რთულია, რადგანაც ლითონმიმღების ფსკერზე ნახვრეტში გამოსვლისას ჭავლზე მოქმედებენ ნაღლობის ზედაპირული დაჭიმულობა, გარეგანი ხახუნი და წნევა, შექმნილი ენერგომატარებლით, შინაგანი ხახუნი ნაღლობის ჭავლში, ენერგომატარებლის ნაკადის რხევითი ზემოქმედება.

ჩამოვლილი ფაქტორების ერთობლივი ზემოქმედების შედეგად თავდაპირველად ჭავლი იღებს ტალღოვან ფორმას, კარგავს მედეგობას და იყოფა ცალკეულ ნაკადებად (რიგებად), რომლებიც შემდეგ იშლებიან წვეთებად და ამგვარად ხდება ნაწილაკების ფორმირება. დადგენილია, რომ გაფრქვევა იწყება აირის ~ 100 მ/წმ სიჩქარის დროს. ამ პროცესის ინტენსიფიკაციის მიზნით მიმართავენ დაახლოებით ბგერის გავრცელების სიჩქარეების გამოყენებას ~ 300 მ/წმ, ხოლო ბოლო დროს ზებგერით სიჩქარეებსაც ~ 1000 მ/წმ. ენერგომატარებლის ამგვარი სიჩქარეების დროს გაფრქვევის აქტიურ კონუსში (ზონაში) პირველადი წვეთები იყოფიან უფრო მცირე ზომის მეორად ნაწილაკებად.



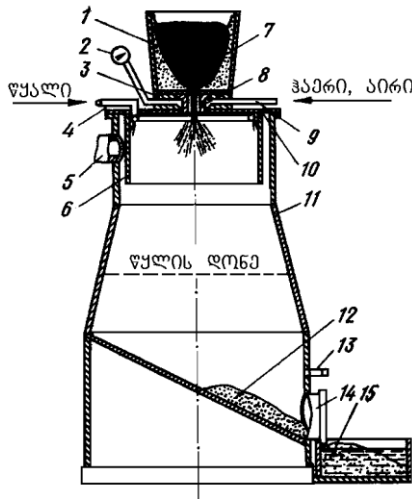
ნახ.4. თხევადი ლითონისაირის გაფრქვევის სქემა.

1-საქშენი; 2-თხევადი ლითონის ჭავლი; 3-აირის ჭავლი.

თხევადი ლითონის გაფრქვევის პროცესი ყველაზე ეფექტურია მაშინ როდესაც აირის ნაკადის ტემპერატურა ემთხვევა ნაღლობის ტემპერატურეს, რადგანაც ამ შემთხვევაში არ ხდება ნაღლობის გადაცივება, ხოლო სიბლანტე და ზედაპირული დაჭიმულობა არ იცვლება.

ასეთი პირობების შექმნა ლითონებისათვის, რომელთა დნობის ტემპერატურე $1500-1700^{\circ}\text{C}$ -ია, შეუძლებელი ხდება შესაბერი აირის ასეთ ტემპერატურამდე გახურების სირთულეების, საქშენის დაბალი ეროზიული მედეგობის და გასაფრქვევი მოწყობილობის არსებითი გართულების გამო.

ნახ.5. მოყვანილია ლითონების გასაფრქვევი, ნახევრად სამრეწველო დანადგარის სქემა. თხევადი ლითონი ჩაისხმება წინასწარ $1250-1300^{\circ}\text{C}$ -მდე გახურებულ ლითონის მიმღებში 1.



ნახ.5. ლითონების გასაფრქვევი, ნახევრად სამრეწველო დანადგარის სქემა.

1-ციცხვი; 2-მანომეტრი; 3-საქშენი; 4-წყლის მიწოდების სისტემა; 5-აირგამომყვანი; 6-ეკრანი; 7-გამდნარილითონი (ნაღვლი); 8-დრეზოს მარეგულირებელი; 9-აირმიმყვანი; 10-სახურავი; 11-კორპუსი; 12-დახრილი ტიხარი; 13-წყლის შტუცერი; 14-ფხენილის გამოსატვირთი ლუკის სახურავი; 15-მიმღები ბუნკერი.

მაღალცეცხლგამძლე მასალისაგან დამზადებული ჭიქის ნახვრეტიდან ლითონი ხვდება გაფრქვევის კამერაში. წარმოქმნილი ფხენილის ნაწილაკები, გაფრენის მომენტში განიცდიან წყლით გაცივებას, რათა არ

მოდეს მათი შეცხოვა. წარმოქმნილი ფხვნილი წყალთან ერთად ხდება დახრილ სიბრტყეზე 12, რომლის დახრის კუთხე ჰორი-ზონტალური ღერძის მიმართ არის 45⁰. ამის შემდეგ მიღებული ფხვნილი წყალთან ერთად ხდება მიმღებ ბუნკერში 15, რომელიც შეიძლება იყოს სექციური. ამ შემთხვევაში მაქსიმალურად მცირდება წყლის ნაკადით მიტაცებული ფხვნილის წვრილი ნაწილაკების დანაკარგები.

გამდნარი ლითონის წყლით გაფრქვევის მექანიზმი და ძირითადი კანონზომიერებანი იგივეა, როგორც აირის გამოყენების შემთხვევაში. განსხვავება მხოლოდ ის არის, რომ საჭიროა წყლის ნაკადის უფრო დიდი წნევა, რათა წყლის ნაკადს ჰქონდეს მეტი სიჩქარე, ეს განპირობებულია იმით, რომ წყლის სიბლანტე უფრო მეტია ამ მიზნით გამოყენებული ნებისმიერი აირის სიბლანტეზე. ამიტომ გაფრქვევისათვის გამოყენებული წყლის ნაკადის წნევა 3,5–20 მპა შეადგენს. ამ შემთხვევაში გასათვალისწინებელია ისიც, რომ საკონტაქტო ზედაპირზე წყალი–გამდნარი ლითონი წარმოიქმნება ორთქლი, რაც ხელს უწყობს წარმოქმნილი ლითონის წვეთის უფრო ინტენსიურ დისპერგირებას. გაფრქვევის დროს წარმოქმნილი ნაწილაკების ფორმა შეიძლება იყოს სფერული ან არასწორი.

გაფრქვევის შემდეგ ნედლ ფხვნილს, რომელიც შეიცავს ჟანგბადს, ჯანგეულების სახით, ნახშირბადს და სხვა მინარე-ვებს, უტარდება მოწვა აღმდგენელ ატმოსფეროში, რის შედეგადაც უმჯობესდება მისი ქიმიური შედგენილობა და ტექნოლოგიური თვისებები.

3.3. ლითონური ფხვნილების მიღება ქიმიური ნაერთების აღდგენის მეთოდით

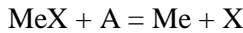
როგორც უკვე ავღნიშნეთ, ფიზიკო-ქიმიური მეთოდები– ეს ისეთი ტექნოლოგიური პროცესებია, რომელთა გამოყენების დროსაც საწყისი მასალის ღრმა ფიზიკო-ქიმიური გარდაქმნის შედეგად ფხვნილის მიღება დაკავშირებულია ქიმიური შედგენილობის შეცვლასთან. მექანიკურ მეთოდებთან შედარებით ფიზიკო-ქიმიური მეთოდ-

დებიუფრო უნივერსალურია. ლითონური ფხვნილებისათვის ზოგიერთი მოთხოვნების დაკმაყოფილება მაგალითად, ქიმიურ შედგენილობასა და სტრუქტურაზე შესაძლებელია მხოლოდ ფიზიკო-ქიმიური მეთოდების გამოყენების შემთხვევაში.

სხვადასხვა ნაერთების აღდგენით პრაქტიკულად ყველა ლითონის ფხვნილი შეიძლება იქნას მიღებული.

სამრეწველო პრაქტიკაში ყველაზე ფართო გავრცელება მოიპოვა ჟანგულების (როგორც ბუნებრივი, ისე ხელოვნურად მიღებული), ჰალოგენების და სხვა ნაერთების აღდგენის მეთოდებმა აღმდგენელებად წყალბადის, ნახშირბადის ან და უფრო აქტიური ლითონების გამოყენების შემთხვევაში.

ლითონის აღდგენის რეაქცია მისი ნაერთიდან $-MeX$, ზოგადად შეიძლება გამოისახოს:



სადაც A-არის აღმდგენელი.

3.4. რკინის ფხვნილის მიღება ჟანგულიდან

რკინის ფხვნილი – ფხვნილთა მეტალურგიის ერთ-ერთი ძირითადი ნედლეულია.

რკინის ფხვნილის მისაღებად გამოიყენებენ სხვადასხვაგვარ მეთოდებს. სიიაფის თვალსაზრისით რკინის ფხვნილის მისაღებად ყველაზე ხელსაყრელია ნაგლის ხენჯის გამოყენება, რომელიც დიდი რაოდენობით გროვდება მეტალურგიულ მრეწველობაში რკინის, ფოლადის და თუჯის სხმულების გახურება-გაცივების დროს. რკინის ხენჯი შედგება Fe_3O_4 -ისა და მცირე რაოდენობით Fe_2O_3 –ის ნარევისაგან. მასში რკინის საერთო შემცველობა ~72 % –ია.

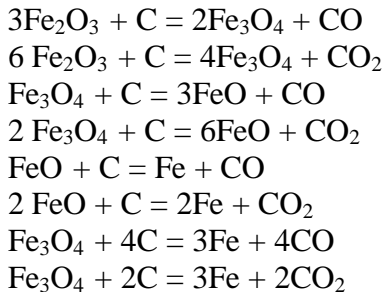
რკინის ფხვნილის მისაღებად ასევე იაფი და უხვი ნედლეული არის რკინის ბუნებრივი ჟანგული მადნები მაღალგამდიდრებული კონცენტრატის სახით, რომელიც შეიცავს რკინას ~71 % –ის ოდენობით. ასეთი კონცენტრატები რკინას შეიცავენ გემატიტის Fe_2O_3 –ის, მაგნე-

ტიტის Fe_3O_4 , ლიმონიტის HFeO_2 -ის, სიდერიტის FeCO_3 -ის და სხვა ქიმიური ნაერთების სახით.

ნედლეულის ორთავე ზემოთ მითითებული სახე შეიცავს გარკვეული რაოდენობის მინარევებს. ასე მაგალითად ხენჯში არსებული მინარევებიდან ყველაზე დიდი რაოდენობით არსებობს მაგნიუმი, რომლის შემცველობაც აღწევს 0,3–0,4 %. მინარევი რომელიც მაგნე ზეგავლენას ახდენს მიღებულ ფხვნილებზე არის სილიციუმი. მისი შემცველობა ხენჯში აღწევს 0,2–0,3 %. აღდგენის დროს სილიციუმის ნაწილი წარმოიქმნება SiO_2 -დან და იგი იხსნება რკინაში.

სამრეწველო მასალებით რკინის ფხვნილის მისაღებად გამოიყენება რამოდენიმე მეთოდი: აღდგენა წყალბადით, აღდგენა მყარი ნახშირბადით, კომბინირებული ხერხი კონვერტირებული ბუნებრივი აირით ($3\text{H}_2 + \text{CO}$) და მყარი ნახშირბადით.

განვიხილოთ მყარი ნახშირბადით რკინის აღდგენის მეთოდი. რკინის უანგეულების მყარი ნახშირბადით აღდგენის რეაქციები შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:



ჩვეულებრივ უანგეულებს აღადგენენ მყარი ნახშირბადით $900 \div 1000^\circ\text{C}$ -ზე.

Fe_3O_4 -ის აღდგენის პროცესი 650°C -ზე მაღლა და FeO -ს 690°C -ზე მაღლა ბოლომდე მიდის. პრაქტიკულად რკინის ფხვნილის მიღება შესაძლებელია 690°C -ზე მაღალ ტემპერატურებზე, როდესაც CO -ს კონცენტრაცია $601 \div 00$ %-ია.

მყარი ნახშირბადით რკინის ქანგეულების აღდგენის მეთოდი – რკინის ფხვნილის მიღების ერთ-ერთი გავრცელებული და ეფექტური მეთოდია. ეს მეთოდი პირველად გამოიყენა შვედურმა ფირმამ “ჰიგინესმა”. აღდგენის პროცესი წარმართება შემდეგნაირად: მზადდება კაზმი, რომელიც შესდგება გამომშრალი და დაფქველი ქანგეული ნედლეულისა ნახშირბადის ნარევისაგან. ეს კაზმი ჩაიყრება ტიგელში ერთიმეორეში შეურეველი კონცენტრირებული რგოლური ფენების სახით. ტიგელი მზადდება სილიციუმის კარბიდისაგან. ნედლეული მოთავსდება მილისებური ფენების სახით, რომლის შიგნითაც და გარეთაც იყრება კირქვასთან შერეული თერმოშტიბი ანუ თერმოანტრაციტული წარმოშობის ნარჩენი. კაზმის შედგენილობა მაგალითისათვის ასეთია: ქანგეული ნედლეული 69 %, თერმოშტიბი –25 %, კირქვა –6%. ერთ ტიგელში (კაპსულაში), რომლის შიგა დიამეტრი არის 350 და სიმაღლე 1500 მმ თავსდება 200 კგ ქანგეული ნედლეული.

ტიგელები იხურება სახურავით და 16 ასეთი ტიგელი ჩაიტვირთება ვაგონეტში, რომელიც ბიძგარების ან კონვეიერის საშუალებით გვირაბულ ღუმელში გადაადგილდება. ღუმელი ხურდება ბუნებრივი აირის წვის შედეგად. გვირების სიგრძე შეიძლება იყოს 120 მ და მისი განივი ჭრი-ლი 3,3 მ. ასეთი ღუმელის შემთხვევაში აქტიური ტემპერატურის ზონის სიგრძე შეადგენს ~35 მ. ღუმელის დანარჩენი სიგრძე უჭირავს შემავალ შესურების და გამომავალ გაცივების ზონებს. აქტიური ზონის ტემპერატურა შეადგენს $1180 \pm 1200^{\circ}\text{C}$ –ს, ხოლო კაპსელის შიგნით ტემპერატურა $1001 \pm 50^{\circ}\text{C}$ –ით ნაკლებია. გახურებულ ზონაში კაპსელებით დატვირთული ვაგონეტი იმყოფება 40 ± 50 სთ., ხოლო ღუმელში ყოფნის საერთო დრო შეადგენს ~130 სთ.–ს.

გაცივებული კაპსელების გადმოტვირთვის შემდეგ მათგან იღებენ აღდგენილი რკინის შეცხოვრილ, დრუბლოვან, ფორიან მასალებს. მათ ასუფთავებენ თერმოშტიბის ზედ მიკრული ნაჭრებისაგან და ჭრიან ნაწილებად. ამის შემდეგ აღდგენილი და ნაწილებად დაჭრილი რკინა განიცდის დაქუცმაცებისა და დაფქვის რამოდენიმე სტადიას ნაწილაკების საჭირო ზომებამდე დაყვანის მიზნით.

მიღებული რკინის ფხვნილი განიცდის გაცრას და სხვადასხვა ზომისფრაქციებად დახარისხებას.

ღუმელის გაცივების ზონაში და დაფქვის დროს ადგილი აქვს რკინის ღრუბლებისა და ფხვნილის ციფკედვასა და გარკვეულად დაჟანგვას, ამიტომ მიღებულ ფხვნილს უტარდება ხანმოკლე აღდგენა წყალბადის არეში, $750 \div 800$ °C ზე. ეს ოპერაცია იძლევა ჟანგბადის რაოდენობის შემცირების შესაძლებლობას $0,1 \div 0,2$ %-დე.

ნახშირბადის შემცველობა სხვადასხვა მარკის ფხვნილებში მერყეობს პროცენტის მეასედი ნაწილიდან $0,1 \div 0,12$ %-დე. ძირითადი დამატუჭყიანებელი მინარევის სილიციუმის რაოდენობა დამოკიდებულია მის შემცველობაზე საწყის ნელ-ლელში.

3.5. ლითონური ფხვნილების მიღება წყალხსნარების ელექტროლიზით

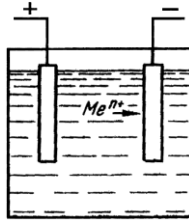
ლითონების ფხვნილების მიღება წყალხსნარების ელექტრო-ლიზით ერთ-ერთი ფართოდ გავრცელებული მეთოდია, განსაკუთრებით ტექნიკურად ისეთი მნიშვნელოვანი ლითონის მისაღებად როგორცაა სპილენძი. ამ მეთოდის უპირატესობა სხვა მეთოდებთან შედარებით გამოიხატება იმაში, რომ მიღებულ ფხვნილებს გააჩნიათ მაღალი სისუფთავე და კარგი ტექნოლოგიური თვისებები (დაწნეხვადობა, შეცხობადობა). ამ გზით ადვილად მიიღება სტანდარტული პროდუქცია. ეს მეთოდი ეკონომიკურად ეფექტურია როგორც მცირე ისე მძლავრი წარმოების შემთხვევაში.

დღეისათვის ელექტროლიზით მიიღება: რკინის, სპილენძის, ვერცხლის, თუთიის, ნიკელის, კადმიუმის, ტყვიის, კალის, სტიბიუმის და სხვა ზოგიერთი იშვიათი ლითონის თუ შენადნობის ფხვნილები.

ფხვნილების მიღების ელექტროლიტური მეთოდის არსი მდგომარეობს მისაღები ლითონის ქიმიური ნაერთის წყალხ-სნარის დაშლაში, მასში მუდმივი დენის გატარების შედეგად. ამ დროს ლითონური იონების განმუხტვა ხდება კათოდზე $Me^n + ne \rightarrow Me^0$

ლითონების ელექტროლიტური გამოყოფის დროს კათოდური გამოლექვის (დასმის) ხასიათი დამოკიდებულია მისაღები ლითონის ინდივიდუალურ თავისებურებებზე, ხსნარის შედგენილობაზე და ელექტროლიზის პირობებზე.

ელექტროლიზის პროცესის გამარტივებული სქემა ნახევრებია ნახ.7-ზე.



ნახ.6. ელექტროლიზის პროცესის გამარტივებული სქემა.

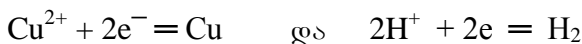
მიღებული ფხვნილების ხარისხზე დიდ გავლენას ახდენს კონცენტრაცია, ტემპერატურა, დენის სიმკვრივე და ელექტროლიტის არევა პროცესის დროს.

ელექტროლიტური ფხვნილების ზომებზე, შედგენილობასა და სტრუქტურაზე მოქმედი ძირითადი ფაქტორებია: დენის სიმკვრივე, ხსნარის მუავიანობა და კონცენტრაცია.

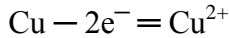
თუ შევადარებთ სპილენძის ფხვნილების მიღების სხვა-დასხვა მეთოდებს როგორცაა, მაგალითად სხვა-დასხვა ნაერ-თების აღდგენა, თხევადი ლითონის გაფრქვევა და სხვა, ელექტროლიტურ მეთოდთან, ეს უკანასკნელი გაცილებით უფრო რენტაბელურია და მიღებული ფხვნილების ხარისხიც უფრო მაღალია.

სპილენძის ფხვნილის მისაღებად საწყისი ნედლეული შეიძლება იყოს სპილენძის ანოდები და კათოდები (მაგ. 1 მარკის) და სპილენძის შაბი.

სპილენძის სულფატის შემჟავებული ხსნარიდან, კათოდზე მიმდინარეობს რეაქცია

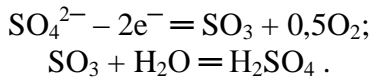


ანოდზე ხდება სპილენძის გახსნა:



ამგვარად კათოდის მიმდებარე არე ღარიბდება სპილენძით და მდიდრდება SO_4^{2-} ით, ხოლო მიმდებარე არე მდიდრდება სპილენძის იონებით.

კათოდზე სპილენძის გარდა გამოიყოფა აგრეთვე წყალბადი, ამიტომ სპილენძის გამოსავალი დენის მიხედვით შეადგენს 80%, ხოლო ანოდზე ადგილი აქვს ლითონის თითქმის 100%-ს გადასვლას ელექტროლიტში. ადგილი აქვს ელექტროლიტის გამდიდრებას სპილენძის იონებით და გაღარიბებას წყალბადის იონებით. ამიტომ ელექტროლიტის შედგენილობის გასათანაბრებლად სქემაში ირთვება ყოველი მეხუთე აბაზანა ტყვიის ანოდებით (1%-მდე ვერცხლის დამატებით), რომელიც არ იხსნება სულფატურ ხსნარში. ასეთ რეგენერაციულ აბაზანებში ანოდებზე გამოიყოფა უანგბადი და ხდება გოგირდმჟავას რეგენერაცია შემდეგი რეაქციით:



გარდა ამ რეაქციებისა ადგილი აქვს აგრეთვე სპილენძის გარკვეული რაოდენობის გახსნას, რაც გამოწვეულია კათოდზე გამოყოფილი ფხვნილის განვითარებული ზედაპირით:



ამ რეაქციის შედეგად ელექტროლიტიც აგრეთვე მდიდრდება სპილენძით. კათოდებიდან მოხსნილი სპილენძის ფხვნილი გადმოიტვირთება აბაზანიდან ყოველი 1,5–2 საათში. ამის შემდეგ სპილენძის ფხვნილი განიცდის გარეცხვას, შემდეგ გაუწყლოებას ანუ ტენის მოშორებას (ჰაერის შებერვით) და გაშრობას ვაკუუმურ საშრობ კარადებში $\sim 110^\circ\text{C}$ -ზე $10\div 12$ სთ განმავლობაში, ან სპეციალურ საშრობ ქვაბში, ელექტროგახურებით $200\div 350^\circ\text{C}$ -ზე $30\div 40$ სთ განმავლობაში.

4. ფორმის მიცემა

ზოგადად ფხვნილოვანი ნამზადისათვის ფორმის მიცემა ნიშნავს, მისთვის სათანადო ფორმის, სიმკვრივის და მექანიკური სიმტკიცის მინიჭებას. ფხვიერი მასალის საწყისი მოცულობა იკლებს მოჭიმვის შედეგად და ხდება ფხვნილის კონსოლიდაცია, რის შედეგადაც ყალიბდება საჭირო ბრიკეტი. სწორედ ფხვნილოვანი პირველსაწყისი მოცულობის ცვლილება წარმოადგენს ამ მასალის დეფორმირების არსებით განმასხვავებელ ნიშანს კომპაქტური მასალის დეფორმირებისაგან, რომლის დროსაც მოცულობით ცვლილებას ადგილი არა აქვს. ფხვნილების გამკვრივება შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა მეთოდით, როგორცაა მაგალითად: დაწნეხვა ლითონურ წნეხფორმებში, სითხის ან აირის ზემოქმედებით; გლინვა; ჭედვა პლასტიკურ გარსებში; შლიკერული ჩამოსხმა და სხვა. ფორმის მიცემით, სხვა ოპერაციებთან შედარებით, ყველაზე უფროა ლიმიტირებული ფხვნილთა მეტალურგიის შესაძლებლობები. ფორმის წარმოქმნის თანმდევი მოვლენების სირთულე მოითხოვს ფხვნილების წინასწარი, სპეციალური, მოსამზადებელი ოპერაციების ჩატარებას.

4.1. ფხვნილების წინასწარი მომზადება

ფხვნილების წინასწარი მომზადების ოპერაციები ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი და საპასუხისმგებლო მომენტია შეცხოვნილი ნაკეთობების წარმოების მთლიან ტექნოლოგიურ ციკლში.

ფხვნილების დასაწნეხად მოსამზადებელი ძირითადი ოპერაციებია: მოწვა (მოღობა), გაცრა და შერევა.

მოწვა ფხვნილებს უტარდებათ მათი პლასტიკურობის გასაზრდელად და ამის შედეგად დაწნეხადობისა და დაფორმებადობის (ყალიბადობის) გასაუმჯობესებლად. მოწვის დროს ძირითადად მოიხსნება ცივნაჭედობა, ე.ი. გამოსწორდება ლითონის კრისტალური გისოსის დამახინჯება ნაწილაკების ზედაპირის მიმდებარე ფენებში. ამასთანავე ხდება ჟანგეულების აღდგენა, როგორც ფხვნილების მიღების შემდეგ ნარჩენი ისე მათი

ხანგრძლივი ან არასწორი შენახვის დროს ნაწილობრივ წარმოქმნილი.

მოწვისათვის გახურება ხდება დამცველ გარემოში (აღმდგენელ, ინერტულ ან ვაკუუმის არეში), ფხვნილის ლითონის 0,4–0,6 ტონ ტემპერატურაზე. მაგალითად, სპილენძის დაუანგული ფხვნილის აღდგენა ხდება 350–400°C, ხოლო რკინის ფხვნილის 650–750°C-ზე.

მოწვა უფრო ხშირად უტარდებათ მექანიკური, ელექტრო-ლიზის და კარბონილების დაშლის მეთოდით მიღებულ ფხვნილებს. ასეთი ფხვნილები შეიცავენ უფრო მეტი რაოდენობით უანგეულებს, გახსნილ აირებს ან და მეტად არიან ცივნაჭედი.

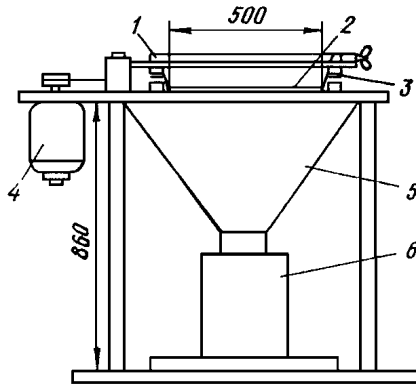
ლითონური ფხვნილების მოწვა წარმოებს გამავალ ღუმელ-ში, მსგავსად აღდგენისა და შეცხოვის პროცესისა. ფხვნილების უფრო მეტი ხარისხით მინარევებისაგან გასა-სუფთავებლად მოწვის პროცესი ტარდება ჰალოგენ-შემცველ დანამატებიან ატმოსფეროში. ასე მაგალითად, რკინის ფხვნილის მოწვა ხდება წყალბადისა და ქლოროვანი წყალბადის ნარევის გარემოში.

კლასიფიკაცია (გაცრა) ნიშნავს ფხვნილების დაყოფას ფრაქციებად, ნაწილაკების ზომების მიხედვით. ეს ფრაქციები შეიძლება გამოყენებული იქნას უშუალოდ დასაწინესად ან და საჭირო ზომის მქონე ნაწილაკების გარკვეული პროცენტული რაოდენობით შემცველობის ნარევების მისაღებად. ამასთანავე გარკვეული ფრაქციების მქონე ფხვნილები შეიძლება გამოუსადეგარი იყოს და ისინი მოითხოვენ რაიმე სახის დამატებით დამუშავებას (გამსხვილებას ძალიან წმინდა ფხვნილის შემთხვევაში ან დაფქვას მსხვილი ფრაქციის შემთხვევაში).

კლასიფიკაციას ფხვნილთა მეტალურგიაში ძირითადად აწარმოებენ საცრული მეთოდით, რისთვისაც გამოიყენება სხვადასხვა სახის საცრები, მათ შორის ერთ-ერთი ძირითადია მექანიკური საცრები, ელექტრომაგნიტური ან ბერკეტული ვიბრატორით (ნახ.7).

საცრის უჯრედი რომელზედაც გადაჭიმულია სასაცრე ბადე, დამაგრებულია მოზამბარე ჩარჩოზე. ჩარჩო ექსცენტრული ლილვის მეშვეობით ვიბრირებს, რომელიც მოძრაობაში ელექტრო ძრავის მიერ ღვედური გადაცემით

მოდის. გაცრილი ფხვნილი ძაბრის გავლით ხვდება მიმღებ ავზში. საცერს უნდა ჰქონდეს გარსაცმი და გამწოვი ვენტილაცია.



ნახ.7. ვიბრაციული საცრის სქემა.

1—საცრის რკალი; 2—საცრის ბადე; 3—ზამბარები; 4—ელექტროძრავა; 5—ძაბრი; 6—ფხვნილის მიმღები ავზი.

ასეთი საცრები გამოირჩევიან მაღალი მწარმოებლობით. ბადეები მზადდება ბრინჯაოს ან თითბერის მავთულისაგან, აბრეშუმისა და კაპრონისაგან.

რიგ შემთხვევაში ვიბროსაცერს უკეთდება მაგნიტური სეპარატორი, ფხვნილის მაგნიტური მინარევებისაგანგასასუფთავებლად.

ფხვნილების კლასიფიკაცია, რომელთა ნაწილაკების ზომა $40 \div 50$ მკმ-ზე ნაკლებია, ხდება საჰაერო სეპარატორების გამოყენებით. ძალზე ეფექტურია აგრეთვე ამ მიზნით ციკლონ-სეპარატორის გამოყენება.

ფხვნილების მოწვა და კლასიფიკაცია მიზანშეწონილია ტარდებოდეს მიმწოდებელ ქარხანებში, სადაც უნდა ხდებოდეს აგრეთვე ფხვნილების გასაშუალება, მათი თვისებების სტაბილიზირების მიზნით.

ფხვნილების ნარევების მომზადება (შერევა) შეცხოვბილი ნაკეთობების დამზადების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ოპერაციაა. კაზმის კომპონენტების აწონვა ხდება ტექნიკური სასწორის საშუალებით, ხოლო მისი მომზა-

დება სათანადო შედგენილობით – სათანადო შემრევ მოწყობილობაში. დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მომზადებული კაზმის ერთგვაროვნებას. კაზმი ითვლება ერთგვაროვნად იმ შემთხვევაში, როდესაც კაზმიდან ნებისმიერად აღებულ სინჯს ექნება წინასწარ დასახულის შესაბამისი ქიმიური შედგენილობა. კაზმის ერთგვაროვნება მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული: შერევის მეთოდზე და ხანგრძლივობაზე, ფხვნილის სიმკვრივისა და გრანულომეტრულ შედგენილობაზე. პრაქტიკაში ყველაზე გავრცელებულია ფხვნილების შერევა ბურთულებიან წისქვილებში, ისეთებში რომლებიც გამოიყენება დაფქვისათვის და შემრევებში. ბურთულებიან წისქვილში შერევის დროს ნარევის ხარისხი განისაზღვრება დოლის ბრუნვის სიჩქარით, დამფქველი სხეულებისა და კაზმის მასების თანაფარდობით და დოლის შევსების ხარისხით. უკეთესი შედეგები მიიღება მაშინ, როდესაც ბრუნვის სიჩქარე შეადგენს კრიტიკულის $20\pm 40\%$, კაზმის და ბურთულების თანაფარდობა (მასის მიხედვით) არის $1 : 1$ და ბურთულების დიამეტრი 10 ± 15 მმ. ამ შემთხვევაში შერევა ხდება ერთდროულად კომპონენტების დაფქვასთან ერთად.

იმ შემთხვევაში, როდესაც არ არის სასურველი კომპონენტების დაფქვა გამოიყენება სხვადასხვა ტიპის შემრევი მოწყობილობა: დოლური, მათ შორის წანაცვლებული დერძით, ე.წ. “მთვრალი კასრი”, ხრახნული, ფარფლებიანი, ცენტრიდანიული, პლანეტარული, კონუსური და უწყვეტი ქმედების შემრევები.

ფხვნილების შერევის დროს გამოყენებული აირებია: ჰაერი, რომელიმე აირი (უმეტეს შემთხვევაში ინერტული), სითხე (სპირიტი, ბენზინი, წყალი და ა.შ.). თხევად არეში შერევა უფრო ინტენსიურად მიმდინარეობს ვიდრე აირადში.

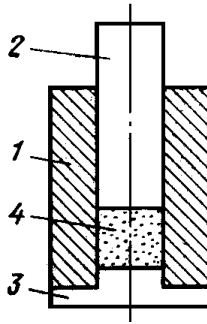
მკვეთრად განსხვავებული სიმკვრივეების მქონე კომპონენტების შერევის დროს საჭირო ხდება განსაკუთრებული ხერხების გამოყენება. მაგალითად, კომპონენტების ნაწილ-ნაწილ ჩატვირთვა – ჯერ შეურევენ ყველაზე მსუბუქ და ყველაზე მძიმე ნაწილაკებს. შემდეგ ასეთ ნარევს თანდათანობით ემატება სხვა კომპონენტები.

ზოგიერთ შემთხვევაში, მაგ. დისპერსიულად-გასაღებადი მასალების მიღების დროს, გამოიყენება შერევის ქიმიური მეთოდი. ასეთი შერევა შეიძლება სხვადასხვა გზით განხორციელდეს: შეურევენ შესაბამისი ლითონების მარილების ხსნარებს და შემდეგ გამოაკრისტალებენ ამ მარილების გაერთიანებული ხსნარის აორთქლების გზით, ხსნარიდან ზედაპირზე გამოლექავენ ძირითადი კომპონენტის ლითონ-დანამატის ნაწილაკებსა, ააორთქლებენ (ამოაშრობენ) ლითონ-დანამატის მარილის ხსნარს, ძირითადი ლითონის ფხვნილთან ერთდროული ინტენსიური შერევით. ქიმიური შერევა უზრუნველყოფს კომპონენტების თანაბარ განაწილებას, მაგრამ იგი პრაქტიკაში იშვიათად გამოიყენება, რადგანაც ყოველთვის ვერ ხერხდება საჭირო ლითონების ნაერთების შესაბამისი ხსნარების შერევა. შერევის შედეგების კონტროლი შეიძლება განხორციელდეს ან კაზმის ტექნოლოგიური თვისებების მიხედვით (საცრული შედგენილობა, ნაყარი სიმკვრივე, დენადობა, დაწნეხადობა და შეცხოვბილი ნამზადის ფიზიკო-მექანიკური თვისებები) ან და კაზმის სინჯის ქიმიური ანალიზის საშუალებით. უნდა გვახსოვდეს, რომ კაზმის ნარევის ხანგრძლივი შენახვის შემთხვევაში ადგილი აქვს გარკვეულ სეგრეგაციას, ანუ კომპონენტების განშრეგებას მათი სიმკვრივეთა მიხედვით. ფხვნილების ნარეგების მომზადებით სრულდება კომპონენტების მომზადების ციკლი.

4.2. ფხვნილების დაწნეხვა

დაწნეხვა წრმოადგენს ფორმის მიცემის ისეთ მეთოდს, რომელიც ხორციელდება დახურულ ფორმაში ან გარსში მოთავსებულ ფხვნილზე გარეგანი წნევის ზემოქმედებით. უმარტივესი წნეხფორმის სქემა მოცემულია ნახ.8-ზე. ფხვნილები კომპაქტური სხეულებისაგან განსხვავდებიან ნაწილაკების მნიშვნელოვანი მოძრაობის უნარით, მათდამი მინიჭებული ფორმის მხოლოდ გარკვეულ პირობებში შენარჩუნებით, შემომზადუდავ ზედაპირზე დაწნევის მოხდენის თვისებით, გამჭიმავი ძალებისადმი უმნიშვნელო წინააღმდეგობის უნარით და სხვა.

უკვე ფხვნილის წნეხფორმაში ჩაყრის დროს ნაწილაკების ზედაპირული ფენები, რომლთაც დამახინჯებული კრისტალური გისოსი აქვთ იღებენ კონტაქტურ დატვირთვას.



ნახ.8. პრესფორმა

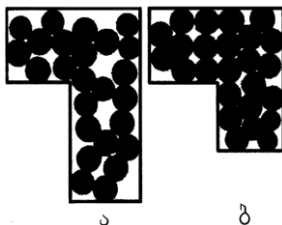
1—მატრიცა; 2—ზედა პუნსონი; 3—ქვედა პუნსონი; 4—ფხვნილი

საკონტაქტო ზედაპირი ეწოდება ფხვნილის ნაწილაკების (ყველა ნაწილაკის ან ბრიკეტის) გარე ზედაპირების იმ ნაწილს, რომელიც ხასიათდება ნაწილაკების ურთიერთშეხებით და რომლის მეშვეობითაც გადაეცემა ძაბვები.

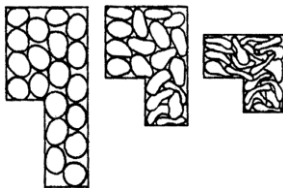
დაწნევის პროცესის არსი მდგომარეობს ფხვიერი ფხვნილოვანი სხეულის გარკვეული მოცულობის დეფორმირებაში მოჭიმვის გზით, რომლის დროსაც ხდება პირველსაწყისი მოცულობის შემცირება და მოცემული ფორმის, ზომების და თვისებათა მქონე ბრიკეტის ფორმირება. ამ დროს მიმდინარე საწყისი მოცულობის დეფორმირება არსებითად განსხვავდება კომპაქტური მასალის დეფორმირებისაგან, რომლის მოცულობაც უცვლელი რჩება.

ფხვნილოვანი სხეულის მოცულობა დაწნევის დროს იცვლება ცალკეული ნაწილაკების წანაცვლებით, რომლებიც ავსებენ ნაწილაკთა შორის თავისუფალ ადგილებს და თვით ნაწილაკების დეფორმაციით. ლითონური ფხვნილების დაწნევის მოდელი ნაჩვენებია ნახ.9-ზე. გარეშე ძალის ზემოქმედებით სიცარიელები შეივსებიან და მიიღწევა უფრო მჭიდრო წყობა. პლასტიკური ლითონ-

ნების შემთხვევაში შემდგომი გამკვრივება მოხდება ძირითადად ნაწილაკების დეფორმაციის ხარჯზე (ნახ.10).



ნახ.9. ლითონური ფხვნილების დაწნევის მეთოდი.
 ა)-თავისუფალი ჩაყრის მდგომარეობა; ბ)-სიცარიელების შევსება ნაწილაკებით.



ნახ.10. პლასტიკური ლითონების ნაწილაკების დაწნევის თანმიმდევრული სტადიები.

4.3. ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება დაწნევის სიღრმეზე

ლითონური ფხვნილების დაწნევის თეორიაში, დაწნევის ძირითადი განტოლების გამოსაყვანად, რომელიც ამყარებს კავშირს წნევასა და სიმკვრივეს, შორის არსებობს ორი ძირითადი მიმართულება.

პირველ შემთხვევაში შემოაქვთ მთელი რიგი დაშვებები, რომელთა გამოყენებითაც ამოცანა მარტივად ამოიხსნება. მეორე შემთხვევაში რთული მათემატიკური აპარატის გამოყენებით ხდება პროცესის აღწერა.

რუსი მკვლევარის მ.ი.ბალშინის მიერ გარკვეული დაშვებების საფუძველზე გამოყვანილი იქნა ორი განტოლება:

$$\lg P = -L (\beta - 1) + \lg P_{\max} \quad (1)$$

და

$$\lg P = -m \lg \beta + \lg P_{\max} \quad (2)$$

ან

$$\lg P = m \lg \theta + \lg P_{\max} \quad (3)$$

სადაც P – დაწნეხვის წნევაა; P_{\max} – დაწნეხვის ის წნევაა, რომელიც უზრუნველყოფს უფრო ბრიკეტის მიღებას; L და m – მუდმივებია, რომლებიც ითვალისწინებენ დასაწნეხი მასალის ბუნებას და შესაბამისად დაწნეხვის ფაქტორი და მაჩვენებელ ეწოდებათ; β – ნაწნეხი ბრიკეტის ფარდობითი მოცულობაა; θ – ნაწნეხი ბრიკეტის ფარდობითი სიმკვრივე.

გაკეთებული იქნა შემდეგი დაშვებები:

1. განმტკიცებას პლასტიკური მასალის დეფორმაციის დროს საკონტაქტო ზონაში ადგილი არა აქვს, რაც განაპირობებს საკონტაქტო წნევის σ_K -ს მუდმივობას.

2. ჰუკის კანონი, რომელიც გამოსახავს დამოკიდებულებას დრეკად დეფორმაციასა და გამჭიმავ ან მკუმშავ ნორმალურ ძაბვებს შორის კომპაქტურ მასალაში, რომლის თანახმადაც დეფორმაციის უსასრულოდ მცირე ნაზრდი შეესაბამება ძაბვის უსასრულოდ მცირე ნაზრდს, სამართლიანია პლასტიკური დეფორმაციის შემთხვევაშიც.

3. ნაწილაკის მასალა კონტაქტის ზონაში მუდმივად იმყოფება დაძაბულ მდგომარეობაში, რომელიც ახლოა ცალღერბა კუმშვასთან.

4. კომპაქტური და ფხვნილოვანი მასალის დეფორმირება ხდება იდენტურად, რაც გულისხმობს ნაწილაკთა შორის (სტრუქტურული დეფორმაციის) არ არსებობს.

დაწნეხვის ვექტორი L დაკავშირებულია საკონტაქტო წნევის σ_K -ს მნიშვნელობასთან შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$L = 0.434 \frac{k}{\sigma_K} \cdot \frac{h_K}{h_0}$$

სადაც k – მუდმივი კოეფიციენტი; h_k – ნაწნეხის დაყვანილი სიმაღლეა, ე.ი. ნაწნეხის სიმაღლე 100% სიმკვრივის შემთხვევაში; h_0 – ფხვნილის საწყისი სიმაღლეა წნეხფორმაში.

აქედან გამომდინარე, დაწნეხვის ფაქტორი L მუდმივი შეიძლება იყოს მხოლოდ მაშინ როდესაც $\sigma_K = \text{const}$, რადგანაც h_k და h_0 ფხვნილის აღებული წონაკისათვის მუდმივი სიდიდეებია. სინამდვილეში $\sigma_K \neq \text{const}$ და იზრდება, როგორც მასალის განმტკიცების ხარჯზე დაწნეხვის პროცესში ისე მასალის დაძაბული მდგომარეობის სქემის ცვლილების შედეგად საკონტაქტო ზონაში.

დაწნეხვის მაჩვენებელი m ახასიათებს ფხვნილის თვისებებს და შეიძლება განისაზღვროს ცდის საშუალებით ან და საორიენტაციოდ შემდეგი ფორმულით:

$$m = 2 + \theta / \Delta\theta ,$$

სადაც $\Delta\theta = \theta - \theta_0$, ხოლო θ_0 – არის ფხვნილოვანი სხეულის საწყისი ფარდობითი სიმკვრივე მასზე დატვირთვის მოღებამდე. ნებისმიერი ლითონური ფხვნილისათვის $m \geq 3$.

4.4 გვერდითი დაწნეხვა

წნეხფორმაში ჩაყრილი ფხვნილი, დაწნეხვის დროს, სითხეების მსგავსად ცდილობს გაედინოს გვერდებზე, რის შედეგადაც წნეხფორმის კედლებზე წარმოიქმნება წნევა, რომელსაც გვერდით წნევას უწოდებენ.

თუმც სითხისაგან განსხვავებით, რომელიც მასზე მოდებულ წნევას თანაბრად გადასცემს ყველა მიმართულებით, ფხვნილებში შეიმჩნევა მისი არათანაბარი განაწილება. ამის შედეგად შეკუმშვის ხარისხი, სხვადასხვა კვეთში არათანაბარია, ხოლო წნეხფორმის კედლებს მნიშვნელოვნად ნაკლები წნევა გადაეცემა ვიდრე დაწნეხვის მიმართულებით, რაც ძირითადად განპირობებულია ნაწილაკებს შორის ხახუნით, მათი ურთიერთ ჩასოღვით და სხვა ფაქტორებით, რომლებიც ართულებენ ნაწილაკების გვერდებისაკენ გადაადგილებას, ამასთან დაკავშირე-

ბით მნიშვნელოვან მახასიათებლად ითვლება გვერდითი დაწნეხვის კოეფიციენტი ξ , რომელიც წარმოადგენს გვერდითი წნეხის P_T ფარდობას დაწნეხვის წნევასთან P :

$$\xi = P_T / P \leq 1.$$

ზოგადად ξ იძლევა გასამკვრივებელი ლითონის პლასტიკურობის ხარისხობრივ დახასიათებას. მისი რაოდენობრივი განსაზღვრისათვის განვიხილოთ დრეკად-დაძაბული მდგომარეობა, ლითონის გარკვეული მოცულობისა, ბრიკეტის შუაგულში, მას შემდეგ რაც დასრულდა გამკვრივება და ფხვნილის ნაწილაკების გადაადგილება შეწყდა. ამ მომენტში ბრიკეტი იმყოფება სტაბილურ მდგომარეობაში და შეკუმშულია დაწნეხვის წნეხის ზემოქმედებით და მატრიცის გვერდითი კედლის რეაქციით.

II თავი. ფხვნილოვანი მასალები

1. საკონსტრუქციო ფხვნილოვანი მასალები

რკინისაგან, ნახშირბადიანი, ლეგირებული და უჟანგავი ფოლადებისაგან, სპილენძის თითბერის, ბრინჯაოს და სხვა ლითონებისა და შენადნობებისაგან დამზადებული ფხვნილოვანი მასალები გამოიყენებიან მანქანებისა და ხელსაწყოების სხვადასხვა დეტალების დასამზადებლად.

ფხვნილოვანი დეტალების კონსტრუირების დროს თავიდან უნდა იქნას აცილებული მახვილი კუთხეები და სხვა ფორმები, რაც მკვეთრად ამცირებს წნეხფორმის სიმტკიცეს, აგრეთვე კედლის სისქეების მკვეთრი ცვლილება, რაც ართულებს ნაკეთობის თანაბარ სიმკვრივეს მოცულობაში.

დეტალის ზედაპირების შეუღლებისას გათვალისწინებული უნდა იქნს მომრგვალების რადიუსი არა უმცირესი 0,25 მმ. დეტალების თავისუფლად ამოსაღებად გაუხსნეელი წნეხფორმიდან აუცილებელია მცირე კონუსურობის გათვალისწინება დეტალის გამოგდების მიმართულებით. მილისების კედლის სისქე უნდა იყოს არა ნაკლებ 1,2 მმ.

როული ფორმის დეტალები მზადდება ცალკეულ ნაწილებად, რომელთა შეერთებაც ერთ მთლიანად ხდება შეცხოების დროს. დეტალების ცალკეული ნაწილების მტკიცე შეერთებების მისაღებად იყენებენ შემდეგ ხერხს: ფოროვანი ნაკეთობის შეცხოების დროს თხევადი ლითონით გაუფენთვა (სპილენძი ან თითბერი), შესაუღლებელ ზედაპირებზე სარჩილის, რკინის ან ნიკელის ძალიან წვრილი ფხვნილების პასტის დატანა, აგრეთვე ფხვნილში სარჩილის შეტანა (სპილენძი), რომელიც შეცხოების დროს დნება. ფხვნილოვანი ნაკეთობების მექანიკური დამუშავება (ჩარხვა, ბურღვა, გაფრეზვა, ხრახნის მოჭრა და სხვა) უტარდებათ მათთვის საბოლოო ფორმის მისანიჭებლად, რაც შეუძლებელია მიღებული იქნას დაწნეხვით ან და განსაკუთრებით როული ფორმის მისაღებად.

კომპაქტური ფხვნილოვანი მასალების მექანიკური დამუშავება უმნიშვნელოდ განსხვავდება იმავე შედგენილობის სხმული მასალების დამუშავებისაგან.

დაწნეხვასა და შეცხოების შემდეგ შეიძლება მიღებული იქნას დეტალები 4 კლასის სიზუსტით და 6–7 კლასის ზედაპირის სისუფთავით. დაკალიბრების გამოყენებით შესაძლებელია ზედაპირის სისუფთავე გაიზარდოს 10 კლასამდე და სიზუსტე 2–3 კლასამდე.

საკონსტრუქციო ფხვნილოვანი დეტალების მექანიკური თვისებების – სიმტკიცის, სისაღის, პლასტიკურობის გაზრდა ხდება მაღალი ხორისხის ფხვნილების გამოყენებით, ლეგირებული ფხვნილების გამოყენებით ან მათი ლეგირებით შეცხოების პროცესში, დეტალების თერმული ან ქიმიურ-თერმული დამუშავებით.

უფრო წვრილი და სუფთა ფხვნილების და აგრეთვე ლეგირებული ფხვნილების გამოყენება იძლევა უფრო მაღალი მექანიკური თვისებების მიღების საშუალებას.

ფოლადის ფხვნილოვანი დეტალების სისაღის გასაზრდელად გამოიყენება წრთობა. ზედაპირული ფენების განმტკიცება შეიძლება ცემენტაციით, ქრომირებით, დაახოტებით.

ნაკეთობის სიმკვრივის და სიმტკიცის გაზრდა ხდება შეცხოების შემდეგ დამცველ ატმოსფეროში ცხელი დაწნეხვით ან შუალედური მოწვის გამოყენებით მრავალჯე-

რადი ცივი დაწნეხვით, ფორიანი ნამზადის თხევადი ლითონით ან მათი შეცხობით, თხევადი ფაზის წარმოქმნით შეცხობის პროცესში.

1.1 ფხვნილოვანი მასალები რკინის ფუძეზე

მანქანების და მოწყობილობათა დეტალების უმრავლესობა მზადდება კომპაქტური მასალებიდან (ფორიანობით 1,0–1,5%) რკინის ფუძეზე. რკინის ფხვნილი შეიძლება მიღებული იქნას სხვადასხვა ხერხით – ხენჯის აღდგენით, გაფრქვევის მეთოდით, კარბონილური მეთოდით, გრიგალური დაფქვით და სხვა. ყველაზე იაფი და ხელმისაწვდომია ხენჯის აღდგენით მიღებული რკინის ფხვნილები. ამ ფხვნილებს აქვთ ნამსხვრევების ფორმა, რაც იძლევა დაწნეხვის პროცესში მკვრივი ნამზადის, ხოლო შეცხობის შემდეგ მტკიცე ნაკეთობის მიღების საშუალებას.

იმ შემთხვევაში, როდესაც საჭიროა სპეციალური თვისებების მქონე ნაკეთობის დამზადება, განსაკუთრებით სუფთა რკინის ფხვნილისაგან, გამოიყენებენ უფრო ძვირადღირებულ კარბონილურ ფხვნილებს, რომლებიც შეიცავენ მინარევების უმნიშვნელო რაოდენობას (0,05%–ზე ნაკლებს).

კომპაქტური ნაკეთობის დამზადების ტიპური ტექნოლოგია შემდეგი ოპერაციებისაგან შედგება: საწყისი ფხვნილის შერევა, დაწნეხვა $150 \div 1000$ მნ/მ² წნევის ქვეშ, შეცხობა დამცველ გარემოში. $1100 \div 1200^{\circ}\text{C}$ –ზე და მზა ნაკეთობის კონტროლი. უფრო მკვრივი ნაკეთის მისაღებად შეიძლება გამოყენებული იქნას ორმაგი დაწნეხვა და შეცხობა. ნულოვანი ფორიანობის მქონე ნაკეთს ცხელი დაწნეხვით ღებულობენ.

რკინის ფხვნილებს არა მხოლოდ მზა ნაკეთობათა დასამზადებლად იყენებენ. ამ ფხვნილებიდან ამზადებენ კომპაქტურ ფურცლებსა და სხვადასხვა პროფილებს, რომელთაგანაც შტამპვის გზით ან სხვა მეთოდით ხდება დეტალების მიღება.

რკინის ფხვნილების გლინვით შესაძლებელია ისეთი ფურცლების მიღება, რომელთა მექანიკური თვისებებიც

უმნიშვნელოდ ჩამოუვარდება ჩვეულებრივი სხმულებიდან მიღებულ ფურცლების თვისებებს. ამ ფურცლების მიღება ხდება ლენტების გლინებს შორის ცივ მდგომარეობაში მრავალჯერადი მოჭიმვით, ხოლო ცივჭედვის მოსახსნელად შუაღლედური მოწვის გამოყენებით 1 საათის დაყოვნებით 750°C -ზე.

1.2. შეცხოვრილი ფოლადები

ნაკეთობას ნახშირბადიანი ფოლადისაგან ამზადებენ ფოლადის ფხვნილის ან რკინის ფხვნილისა და გრაფიტის ($1\pm 2\%$ -მდე) ნარევის შეცხოვით. შეცხოვა შეიძლება განხორციელდეს ისეთ გარემოში, როგორცაა წყალბადი, გენერატორის აირი, ბუნებრივი აირი, ენდოთერმული აირი ($40\%\text{H}_2 - 20\%\text{CO} - 40\%\text{N}_2$), დისოცირებული ამიაკი ნახშირ-წყალბადის დანამატით, ინერტული აირები, ვაკუუმი ან მყარი ნახშირბადშემცველი გარემო. შეცხოვრილი ნახშირბადიანი ფოლადისაგან ნაკეთის დამზადებისას ძნელია ნახშირბადის მკაცრად განსაზღვრული შემცველობის დაცვა, გარემოს გამაუნახშირბადებელი ან დამანახშირბადებელი გავლენის გამო. მაგალითად რკინის ფხვნილისა და გრაფიტის ნარევის შეცხოვბის დროს შეიძლება ამოიწვას ნახშირბადის $\sim 30\%$ დამცველ გარემოში წყლის ორთქლის ხარჯზე ან საწყის ფხვნილში ჟანგეულების არსებობის გამო. მაგრამ თუ მკაცრად იქნება დაცული შეცხოვბის რეჟიმი და სწორად იქნება შერჩეული დამცველი გარემო შეიძლება ხარისხოვანი დეტალების მიღება. შეცხოვბის შემდეგ სტრუქტურის გაერთოვაროვნების და ნახშირბადის (გრაფიტის) სრული და თანაბარი დიფუზიის მიზნით შეიძლება ჩატარდეს საჰომოგენიზაციო მოწვა $\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურაზე ერთი დღე-ღამის განმავლობაში. ფოლადის ფხვნილის ან რკინის ფხვნილისა და გრაფიტის ნარევისაგან დამზადებული ნაკეთის შეცხოვბის პროცესი დაკავშირებულია აუსტენიტის წარმოქმნასთან შეცხოვბის ტემპერატურაზე და მის დაშლასთან ნაკეთის გაცივების დროს. გაცივების სიჩქარის რეგულირებით (გამაცივებელი არის შერჩევით)

შეიძლება მზა ნაწარმის მიღება, რომელსაც ექნება საჭირო სტრუქტურა და მექანიკური თვისებები.

ლეგირებული ფოლადი შეიძლება მიღებული იქნას მზა ფოლადის ფხვნილის ან ფოლადში შემავალი კომპონენტების ფხვნილების მექანიკური ნარევის დაწნეხვითა და შეცხობით ან და რკინის ან ფოლადის ბრიკეტის მალეგირებელი ელემენტებით გაჟღენთვის გზით.

ლეგირებული ფოლადის სიმკვრივისა და მექანიკური თვისებების გასაზრდელად, რომელიც მიღებულია ცივად დაწნეხვისა და შეცხობის გზით, აუცილებელია დამატებით განმეორებითი დაწნეხვა და საჰომოგენიზაციო მოწვა.

ლეგირებული ფოლადის ფხვნილების ცხელი დაწნეხვა იძლევა ისეთი მასალის მიღების საშუალებას, რომელიც თვისებებით არ ჩამოუვარდება, ჩვეულებრივი მეტალურგიული გზით გამოდნობილი ლეგირებული ფოლადების თვისებებს.

ფოსფორიანი ფოლადს გააჩნია კარგი მექანიკური თვისებები ($\sigma_B=600$ მნ/მ², $\delta=20$ %) და მაღალი სიმკვრივე. ფოლადის ფხვნილოვანი კაზმის შედგენილობაში შედის 0,8% ფოსფორი. ფოსფორი აადვილებს ნაწილაკების შეცხობის პროცესს, რადგანაც 1050°C -ზე წარმოქმნის თხევად ევტექტიკას Fe - Fe₃, რომელიც ავსებს ფორებს. შეცხობა $\sim 1100^{\circ}\text{C}$ -ზე ხანგრძლივი დაყოვნებით იწვევს ფოსფორის დიფუზიას ნაწილაკების სიღრმეში და ევტექტიკის გაქრობას. ამ ფოლადის ნაკლია დიდი ჩაჯდომა შეცხობის დროს, რაც ართულებს მისგან ზუსტი ზომების მქონე ნაკეთობის მიღებას.

მანგანუმიანი ფოლადის მიღება ხდება რკინის და მანგანუმის (2÷16%) ფხვნილების ნარევისაგანდა მისი შემდგომი გაჟღენთვით სპილენძისა და მანგანუმის შენადნობით. ასეთ ფოლადს გააჩნია მაღალი სიმტკიცე, პლასტიკურობა და ცვეთამედეგობა. წრთობისა და დისპერსიული გასაღების შემდეგ მისი სისალე ბრინელით არის ~ 600 მნ/მ².

ნიკელიანი შეიძლება მიღებული იქნას რკინის ფხვნილის, კარბონილური ნიკელის ფხვნილის (14%-დე) და გრაფიტის (0,7%-დე) ნარევის დაწნეხვით 600 მნ/მ³ წნე-

ვის ქვეშ და $\sim 1200^{\circ}\text{C}$ -ზე შეცხოვით 4 საათის განმავლობაში მშრალი წყალბადის გარემოში. თავისი თვისებებით ასეთი ფოლადი არ ჩამოუვარდება ჩვეულებრივი მეტალურგიით მიღებულ ანოლოგიურ ფოლადებს. ქრომონიკელიანი ფოლადის მიღება ხდება რკინის ფხვნილისა და ადვილდნობადი ($1200\div 1250^{\circ}\text{C}$) ევტექტიკური ლიგატურის ($65\%\text{Ni} - 30,5\%\text{Cr}-4,5\%\text{C}$) ნარევით. ფოლადს გააჩნია მაღალი სიმკვრივე (7600 კგ/მ^3 -დე) და კარგი მექანიკური თვისებები. კაზმის შემადგენლობაში 10% ადვილდნობადი ლიგატურის შეყვანა და შეცხოვა თხევადი ფაზის არსებობისას 1250°C -ზე 4 საათის განმავლობაში იძლევა მარტენსიტული კლასის ($6,5\%\text{Ni} - 3,1\%\text{Cr}-0,44\%\text{C}$) ფოლადის მიღების საშუალებას.

რკინის ფხვნილზე 15% ლიგატურის დამატებით შეიძლება მივიღოთ ფოლადი შემცველობით: $9,7\%\text{Ni} - 4,6\%\text{Cr} - 0,67\%\text{C}$, რომელსაც აქვს გაზრდილი სიბლანტე, ფოლადის სტრუქტურაში აუსტენიტის არსებობის გამო.

ქრომიანი და ქრომონიკელიანი ფხვნილოვანი ფოლადებიდან მაღალი ხარისხის კომპაქტური ნაწარმი შეიძლება მივიღოთ აგრეთვე მზა ფოლადის ფხვნილის დაწნეხვით ან ფორიანი ნამზადის $900\div 1000^{\circ}\text{C}$ -ზე ქრომით დიფუზიური გაჯერების გზით. ამ უკანასკნელს ამზადებენ რკინის და ნიკელის ან მათი შენადნობის ფხვნილისაგან.

უქანგავი ფოლადის ფხვნილისაგან (X18H9T) დაწნეხვით 800 მნ/მ^2 წნევის ქვეშ, წყალბადის არეში 1300°C -ზე 3 საათის განმავლობაში შეცხოვით და შემდგომი მოჭიმვით მიიღება ნაკეთობა, რომლის სიმტკიცის ზღვარია გაჭიმვაზე $\sim 520 \text{ მნ/მ}^2$, ხოლო სისხალე ბრინელის ერთეულებში $\sim 1520 \text{ მნ/მ}^2$.

მკვრივი უქანგავი ფოლადის მიღება შეიძლება აგრეთვე ფოლადი X18H9T -ის ფხვნილის ერთჯერადი დაწნეხვით, ფოსფორის ან ბორის დამატებით, რომლებიც შემდგომი შეცხოვობის პროცესის გააქტიურებას იწვევენ.

2-3%-მდე Si-ის შემცველი უქანგავი ფოლადებიდან ამზადებენ ფხვნილებს უანგეულების მინიმალური რაოდენობით და კარგი დაწნეხვადობით. ასე მაგალითად შეცხოვობილ უქანგავ ფოლადს, რომელიც შეიცავს $17\div 19\%\text{Cr}$, $10\div 12\%\text{Ni}$, $1,75\div 2,5\%\text{Mo}$, $0,8\div 1,2\%\text{Nb}$ და $2\div 3\%\text{Si}$, აქვს

სიმტკიცე გაჭიმვაზე ~650 მნ/მ² და ფარდობითი წაგრძელება 3÷6%.

უჟანგავი შეცხოვნილი ფოლადი შეიძლება მიღებული იქნას აგრეთვე რკინის ფხვნილისა, ქრომის, ნიკელის და ნახშირბადისაგან შედგენილი ლიგატურის ნარევისაგან.

2. საიარაღო მასალები

მჭრელი იარაღების დასამზადებლად განკუთვნილი საიარაღო მასალებისადმი წაყენებული ძირითადი მოთხოვნაა—მჭრელი წიბოს შენარჩუნება ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ამ მოთხოვნის უზრუნველსაყოფად აუცილებელია, რომ მასალას ჰქონდეს სისაღე არა ნაკლები 60HRC და წითელმედეგობა, ე.ი. უნარი შეინარჩუნოს მაღალი სისაღე გახურებულ მდგომარეობაში.

ძირითადი საიარაღო ფხვნილოვანი მასალებია სწრაფ-მჭრელი ფოლადები და სალი შენადნობები.

სწრაფმჭრელი ფოლადების წითელმედეგობის გაზრდა ხდება კარბიდწარმოქმნელი, მალეგირებული ელემენტების დამატებით (W, Mo, Cr, V), იმ რაოდენობით, რომლის დროსაც თითქმის მთელი ნახშირბადი დაკავშირებული იქნება სპეციალური კარბიდების სახით.

სწრაფმჭრელი ფოლადის თვისებები განისაზღვრება კარბიდული ფაზის მდგომარეობით (რაოდენობა, შედგენილობა, ნაწილაკების ფორმა, ზომა, მათი განაწილება). თანაბრად განაწილებული წვრილი კარბიდების ზრდა აუმჯობესებს ამ ფოლადების მექანიკურ და მჭრელ თვისებებს.

სხმული სწრაფმჭრელი ფოლადების წარმოებისას ადგილი აქვს კარბიდულ ლიკვაციას, რაც ამცირებს ამ ფოლადების მექანიკურ, ტექნოლოგიურ და საექსპლუატაციო თვისებებს. ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდები იძლევიან ფხვნილოვანი სწრაფმჭრელი ფოლადების მიღების საშუალებას კარბიდული ლიკვაციის გარეშე.

ფხვნილოვანი სწრაფმჭრელი ფოლადების დამზადება მათი შემადგენელი კომპონენტების ფხვნილისაგან, შედგენილობის სირთულის გამო, მოითხოვს მაღალტექნოლოგიურ დაყოვნებას საპროდუქციო საცდელად, რაც იწვევს

კარბიდების გაზრდას. ყველაზე კარგი შედეგების მიღება შეიძლება გაფრქვევით მიღებული სწრაფმჭრელი ფოლადების ფხვნილების გამოყენების დროს.

სხმულ და წნევით დამუშავებულ სწრაფმჭრელ ფოლადებთან შედარებით ფხვნილოვანი ფოლადები ხასიათდებიან წვრილდისპერსიული კარბიდების თანაბარი განაწილებით. ეს ხელს უწყობს აუსტენიტის მარცვლის ზომების და გადახურებისადმი მიდრეკილების შემცირებას, ცვეთამედეგობის და ღუნვაზე სიმტკიცის გაზრდას.

ფხვნილოვანი სწრაფმჭრელი ფოლადები ჩვეულებრივ სწრაფმჭრელ ფოლადებთან შედარებით 3–7-ჯერ მეტი მედეგობით ხასიათდებიან, რაც განპირობებულია უფრო ერთგვა-როვანი სტრუქტურით და მარცვლების იზოტროპული კრისტალოგრაფიული ორიენტაციით. ფხვნილოვანი სწრაფმჭრელი ფოლადების თერმული დამუშავება ანოლოგიურია ჩვეულებრივი სწრაფმჭრელი ფოლადების თერმული დამუშავებისა და იგი შედგება წითობისაგან $\sim 1280^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურიდან და მოშვებისაგან 560°C . P18 ტიპის ფხვნილოვანი სწრაფმჭრელი ფოლადის სისაღე, თერმული დამუშავების შემდეგ შეადგენს 62 ± 65 HRC. ფხვნილოვანი სწრაფმჭრელი ფოლადების თერმული დამუშავების შემდეგ ნაკლებად აქვს ადგილი ნაკეთის ფორმის შეცვლას, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ხეხვით დამუშავების ხანგრძლივობას.

3. რკინა-სპილენძის შეცხობილი შენადნობები

დკინა-სპილენძის შეცხობილი შენადნობები ხასიათდებიან მაღალი სიმტკიცით, მათი დისპერსულად გასაღების უნარის გამო, რაც განპირობებულია სპილენძის არსებობით.

სპილენძის შემცველობისაგან და მიღების მეთოდებისაგან დამოკიდებულებით ფხვნილოვანი რკინა-სპილენძის შენადნობები იყოფიან სამ ჯგუფად:

- 1) $0,5\pm 1,5\% \text{Cu}$; რკინისა და სპილენძის ფხვნილების მექანიკური ნარევის მრავალჯერადი დაწნეხვა და შეცხობა;
- 2) $5\pm 10\% \text{Cu}$; ერთჯერადი დაწნეხვა და შეცხობა;

3) 15÷22% Cu; რკინის ფხვნილის გაჟღენთვა გამდნარი სპილენძით.

პირველი ჯგუფის შენადნობებს ჩვეულებრივ უტარებენ ორჯერად დაწნეხვას და შეცხობას ~1120°C-ზე. ასეთი შენადნობები ხასიათდებიან კარგი შეცხობადობით, თხევადი ფაზის არსებობის გამო და აქვთ მცირე ჩაჯდომა შეცხობის დროს. ეს შენადნობები გაზრდილი ცვეთამედევობის და სიბლანტის გამო ფართოდ გამოიყენებიან ავტომობილების, მოტოციკლეტების, ველოსიპედებისა და საკერავი მანქანების დეტალების დასამზადებლად.

მეორე ჯგუფის შენადნობებს იღებენ დაწნეხვით და შეცხობით, შემდგომი განმეორებითი ცხელი დაწნეხვით. ისინი ხასიათდებიან მაღალი სიმტკიცით $\sigma_B=350\div400$ მნ/მ², მაგრამ ამ შენადნობების გამოყენება შეზღუდულია შეცხობის დროს ნამზადის ზრდისადმი მიდრეკილების გამო.

სხვადასხვა დანამატების გამოყენებით (მაგალითად 0,7% გრაფიტის და ვოლფრამის ანჰიდრიდის) შეიძლება რამდენჯერმე შემცირდეს ნაკეთის ზრდისადმი მიდრეკილება შეცხობის დროს.

მესამე ჯგუფის შენადნობებს გაჟღენთვის მეთოდით იღებენ. ნაკეთობის გაჟღენთვა შეიძლება მოხდეს სრულად ან ნაწილობრივ (კაპილარული გაჟღენთვის მეთოდით). გამდნარ სპილენძში ჩართვით ან და ნამზადზე დადებული შესაბამისი ლითონის გადნობით. ნამზადის სუფთა სპილენძით გადნობის გაჟღენთვის დროს ამ ჯგუფის შენადნობებს აქვთ დაბალი მექანიკური თვისებები, განსაკუთრებით მაღალ ტემპერატურებზე. ეს აიხსნება ფაზათა შორის საზღვრების არასრულყოფილი აგებულებით, და სპილენძისა და რკინის ურთიერთ დიფუზიის დროს ფორებისა და სხვა დეფექტების წარმოქმნით. ამ დეფექტების აღმოფხვრა შესაძლებელია ნამზადების გაჟღენთვით რკინისა და სპილენძის ნაჯერი ხსნარებით.

მესამე ჯგუფის შენადნობებს იყენებენ დარტყმით დატვირთვებზე მომუშავე დიდი ზომის დეტალების დასამზადებლად.

დკინა-სპილენძის შენადნობების მიკროსტრუქტურა შეცხობისა და გაჟღენთვის შემდეგ წარმოადგენს –

სპილენძის მატრიცაში ჩასმულ რკინის მომრგვალებულ მარცვლებს.

4. შეცხოვრილი ალუმინის ფხვნილისაგან დამზადებული ნაკეთობები

ფართო გამოყენება ჰპოვა შეცხოვრილი ალუმინის ფხვნილისაგან (შაფ) დამზადებულმა მასალამ. ალუმინის პუდ-რის მიღება შეიძლება ალუმინის ფხვნილის დაფქვით ბურთულებიან წისქვილში. ალუმინის ფხვნილი შეიცავს $6\pm 22\%$ ალუმინის ჟანგს. ალუმინის ფხვნილის წინასწარი დაწნევით 200 ± 250 მნ/მ² წნევით და შემდგომი მოჭიმვით 500 ± 600 °C-ზე, 500 ± 1000 მნ/მ² წნევისას მიიღება მაღალი სიმტკიცისა და თბომდეგობის მქონე მასალა. იგი მსუბუქია ($D=2740$ კგ/მ³), საკმაოდ მტკიცეა 20°C -ზე, ძალიან კოროზიამდეგია, კარგად მუშავდება წნევით და ჭრით. სიმტკიცეს ინარჩუნებს 350°C -დე გახურებისას. 500°C -ზეც კი მისი სიმ-ტკიცე $\sigma_B=80\pm 120$ მნ/მ². ამ მასალის გამოყენება წარმატებით შეიძლება თბომდეგი ან უქანგავი ფოლადების ნაცველად, საფრენ აპარატებში, სხვადასხვა ქიმიური აპარატურის და ატომური ტექნიკის დეტალების დასამზადებლად და სხვა.

5. სპილენძის ფუქეზე დამზადებული ფხვნილოვანი შენადნობები და ნაკეთობანი

მზა თითბერის ფხვნილის დაწნევით, რომელიც შეიცავს $50\text{--}90\%$ Cu და $10\text{--}50\%$ Zn, და შემდგომი შეცხოვით წყალბადის არეში მიიღება კარგი სიმტკიცის მქონე ნაკეთობები.

თითბერის ფხვნილი ხასიათდება კარგი დაწნევისა და შეცხოვობის უნარით. ნაკეთობის სიმტკიცის გაზრდის მიზნით თითბერის ფხვნილს უმატებენ $0,25\pm 0,5\%$, ხოლო ჭრით დამუშავების უნარის გასაზრდელად იმატებენ $1,5\%$ -მდე Pb.

თითბერის ფხვნილის დაწნევა 400 ± 700 მნ/მ² წნევის დროს ხორციელდება, ხოლო შეცხოვა $840\pm 880^{\circ}\text{C}$ -ზე. ასეთი ტექნოლოგიით მიღებულ მასალას აქვს სიმტკიცის

ზღვარი გაგლეჯაზე ~281 მნ/მ² და ფარდობითი წაგრძელება 15÷40%.

თითბერის ნაკეთობის მიღება სპილენძისა და თუთიის ფხვნილების ნარევისაგან ძნელია, თუთიის დიდი აორთქლების გამო შეცხობის დროს.

ბრინჯაოს ნაკეთობათა (ფხვნილოვანი) სიმტკიცის ზღვარი გაცილებით ნაკლებია (<150 მნ/მ²) თითბერის სიმტკიცის ზღვარზე.

კალიანი ბრინჯაოს ფხვნილიდან 7% გრაფიტის დამატებით, ამზადებენ უფრო საკისრებს, რომლებსაც კარგი საექსპლუატაციო თვისებები ახასიათებთ.

6.სპეციალური თვისებების მქონე ფხვნილოვანი მასალები

სპეციალური თვისებების მქონე ფხვნილოვან მასალებს მიეკუთვნება: ანტიფრიქციული, ფრიქციული, ფორიანი, მაგნიტური, ვაკუუმური, საკონტაქტო და სხვა მასალები.

6.1. ანტიფრიქციული მასალები

ანტიფრიქციული მასალები შეიძლება იყოს ფორიანი და უფრო. როგორც ცნობილია ამ მასალებისათვის დამახასიათებელია სალი და რბილი სტრუქტურული მდგენელების შემცველობა. 10÷35% ფორიანობის მქონე ანტიფრიქციულ მასალებში ლითონური ფუძე წარმოადგენს საღ “სტრუქტურულ მდგენელს”, ხოლო ზეთით, ჰაერით, გრაფიტით ან პლასტიკური მასებით ამოვსებული ფორები ასრულებენ “რბილი სტრუქტურული მდგენელის” როლს.

სრიალის ფორიანი საკისრების თავისებურებანი შემდეგია: ხახუნის შედარებით დაბალი კოეფიციენტის დროს განსაკუთრებით კარგი “მიმუშავების” უნარი, თვითშეზეთვის უნარი, საკმაო სიმტკიცე და ხმაურის დაბალი დონე მუშაობის დროს.

ფორიანი საკისრების თვითშეზეთვა ხდება ფორების ზეთით გაუდენთვის ხარჯზე, რომელთა შენარჩუნება ფორებში ხდება კაპილარული ძალების შედეგად. საკისრების მუშაობის დროს ზეთი ხურდება რა, გამოიდევნება

ფორებიდან და მოხახუნე ზედაპირზე წარმოქმნის შემზუ-
თავ აფსკს. საკისრის მუშაობის შეწყვეტისა და მისი გა-
ცივების შემდეგ ზეთი ნაწილობრივ შეიწოვება ფორებში.

ზეთის მარაგი საკისრების ფორებში საკმარისია რა-
მოდენიმე თვის მუშაობისათვის. უფრო ხანგრძლივი
დროით მუშაობისათვის გამოიყენება ფორიანი საკისრები,
სპეციალური “ჯიბეებით”, საკისრის ტანზე. ზეთის მარა-
გი ამ “ჯიბეებში” უზრუნველყოფს საკისრის მუშაობას
 $2\div 3$ წელი.

ასეთი საკისრები ფართოდ გამოიყენება, მაშინ როდე-
საც რეგულარული შეხეთვა გაძნელებულია ან და რო-
დესაც დაუშვებელია საპოხავის მოხვედრა პროდუქტებში
(კვების, საფეიქრო მრეწველობა და სხვა). ფორიანი ან-
ტიფრიქციული მასალებისათვის ლითონურ ფუძედ იყენე-
ბენ რკინას, სპილენძის შენადნობებს და შენადნობებს
ალუმინის ფუძეზე. რკინის ფუძეზე დამზადებულ ანტი-
ფრიქციულ მასალებს მიეკუთვნება: რკინის ფორიანობით
 $10\text{--}30\%$; რკინა-გრაფიტის ფორიანობით $20\div 30\%$, რომლებ-
იც გრაფიტს შეიცავენ 3% -დე; რკინა-სპილენძ-გრაფიტის
ფორიანობით $20\div 30\%$, რომლებიც შეიცავენ $3\div 15\%$ სპი-
ლენძს და $0\div 3\%$ გრაფიტს.

სპილენძის ფუძეზე ამზადებენ ბრინჯაო-გრაფიტის
კომპოზიციას ფორიანობით $20\div 30\%$, რომლებიც შეიცავენ
 $97\div 98\%$ ბრინჯაოს და $2\div 3\%$ გრაფიტს.

ალუმინ-რკინა-გრაფიტის კომპოზიცია შეიცავს $5\div 7\%$
რკინას და $3\div 5\%$ გრაფიტს, ხოლო ალუმინ-სპი-
ლენძ-გრაფიტის 10% სპილენძს და 3% გრაფიტს.

გრაფიტი მნიშვნელოვნად ზრდის საკისრების ანტი-
ფრიქციულ თვისებებს, ზრდის ამოჭმისადმი წინააღმდე-
გობას და ცვეთამედეგობას. გრაფიტის ნაცვლად შეიძლე-
ბა სხვა ნივთიერების გამოყენება, რომელსაც გააჩნია ფე-
ნოვანი აგებულება, მაგალითად მოლიბდენის დისილიცი-
დი (MoSi_2).

რკინის ფუძეზე დამზადებული საკისრებისათვის კარგ
შედეგს იძლევა სულფატირება ან და ფორების გაუღვინთ-
ვა გოგირდით, მისი შემდგომი ამოწვით $650\div 700^\circ\text{C}$ -ზე.

რკინა-გრაფიტის საკისრებისათვის ნორმალურია და
ყველაზე ხელსაყრელი სტრუქტურა არის ისეთი, რომელ-

იც შედგება პერლიტის მარცვვლებისაგან, მასში გრაფიტის ნაწილაკებით, და თანაბრად განაწილებული ფორე-ბით.

სპილენძის ფუძეზე დამზადებულ მასალაში გრაფიტი არ შედის ლითონთან ურთიერთობაში და რჩება თავისუფალი სახით.

ფორიანი ანტიფრიქციული მასალების მიღების ტექნოლოგია შედგება შემდეგი ოპერაციებისაგან: საწყისი ფხვნილების ურთიერთშერევა, დაწნეხვა $250\div 400$ მნ/მ² წნევით, შეცხოვა დამცველ გარემოში $2\div 3$ საათის განმავლობაში, $1000\div 1050^{\circ}\text{C}$ -ზე (რკინა-გრაფიტის მასალები) და $800\div 820^{\circ}\text{C}$ -ზე (ბრინჯაო-გრაფიტის მასალები), გაუქვნივთვა ზეთით $160\div 180^{\circ}\text{C}$ -ზე 3 საათის განმავლობაში და დაკალიბრება.

უფრო ანტიფრიქციულ მასალებს ამზადებენ ბიმეტალური ან ტრიმეტალური სადებების სახით. მტკიცე ლითონური ფუძის შეხამებით ფოროვან ანტიფრიქციულ მასალასთან შეიძლება მივიღოთ მაღალი ხარისხის ნაკეთობები.

ბიმეტალურ მასალებს ღებულობენ სემდეგი ტექნოლოგიით: ფოლადის ლენტზე თავისუფლად აყრიან ლითონური ფხვნილის ნარევს და ახორციელებენ შეცხოვის პროცესს. შეცხოვის შემდეგ ამ ლენტას ამუშავებენ წნევით, ანტიფრიქციული ფენის $18\div 20\%$ ფორიანობამდე დაყვანისა და მექანიკური თვისებების გაზრდის მიზნით.

მძიმედ დატვირთული საკისრებისათვის გამოიყენებენ ლითონკერამიკულ სადებებს, ტყვიანი ბრინჯაოს ფენით ($69\% \text{Cu}$, $29\% \text{Pb}$, $1\% \text{Sn}$, $0,5\%$ გრაფიტი). ამ საკისრების დამზადება ჩამოსხმის ჩვეულებრივი მეთოდით გაცივებისას, ტყვიის დიდი ლიკვაციის გამო, მნიშვნელოვან სირთულეებთანაა დაკავშირებული.

ტრიმეტალური სადებები მზადდება იმგვარად, რომ ფოლადის ლენტის ზედაპირზე უნდა იქნას მიღებული შუალედური ფორიანი ფენა, შემდგარი სპილენძისა და ნიკელის ფხვნილებისაგან, რომელიც უნდა გაიჟღინთოს ბაბიტით. ასეთი მასალა 20% -ით მეტ დატვირთვას უძლებს ვიდრე სხმული, მაღალკალიანი და ტყვიანი ბაბიტით.

6.2 ფრიქციული მასალები

ფრიქციულ მასალებს მაღალ მოთხოვნებს უყენებენ. ამ მასალების ხახუნის კოეფიციენტი უნდა იყოს საჭირო სიდიდის და სტაბილური მაღალ ტემპერატურაზე ($\sim 1000^{\circ}\text{C}$ –დე). მასალა უნდა იყოს საკმაოდ მტკიცე, ჰქონდეს მაღალი თბოგამტარებლობა და კოროზიამდებობა. ასეთი ფრიქციული მასალების მიღება შესაძლებელია მხოლოდ ფხვნილთა მეტალურგიის გზით.

ლითონკერამიკულ ფრიქციულ მასალებში ლითონური ფენის როლში გამოიყენება რკინა და სპილენძი.

ხახუნის კოეფიციენტის გაზრდა კაზმში კაუმიწის, ძნელდნობადი ლითონების კარბიდების, ზოგიერთი ლითონის ჟანგეულის ან ასბესტის დამატებით ხდება.

ცვეთის შესამცირებლად კაზმს უმატებენ ტყვიას ან გრაფიტს. ტყვია მნიშვნელოვნად გახურების დროს, ხახუნისას მასალაში ქმნის თხევად აფსკს, რომელიც ასრულებს ლითონური საპოხავის როლს, რაც ამცირებს ცვეთას. “მშრალი” საპოხავის როლს ასრულებს გრაფიტი.

ფრიქციული მასალები სპილენძის ფუძეზე ($60\div 75\% \text{Cu}$, $5\div 15\% \text{Pb}$, $5\div 10\% \text{Sn}$, $0\div 2\% \text{Ni}$, $0\div 10\% \text{Fe}$, $0\div 7\% \text{Zn}$, $0,2\% \text{Si}$, $4\div 8\%$ გრაფიტი, $0,6\% \text{Si}_2$, $0,2\div 10\%$ ასბესტი), ფართოდ გამოიყენება მრეწველობაში. იგი ხასიათდება მაღალი სიმტკიცით კუმშვაზე, კარგი თბოგამტარობით და თერმომედეგობით.

კარგი თვისებები აქვს აგრეთვე ფრიქციულ მასალას რკინის ფუძეზე ($64\% \text{Fe}$, $15\% \text{Cu}$, 9% გრაფიტი, $3\% \text{SiO}_2$, 3% ასბესტი და $6\% \text{BaSO}_4$). ამ მასალას გააჩნია ხახუნის მაღალი კოეფიციენტი.

6.3. ფორიანი მასალები

ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდებით შეიძლება დამზადდეს მოცემული ფორიანობის ($10\div 70\%$) ლითონური მასალები. ამ მასალებიდან, რომელთაც გააჩნიათ აირების და სითხეების მიმართ შეღწევადობის უნარი, ამზადებენ სხვადასხვა დანიშნულების დეტალებს.

ფორიანი მასალები ფართოდ იყენებენ ლითონური ფილტრების დასამზადებლად. მათ ტექნიკის სხვადასხვა დარგებში იყენებენ ჰაერისა და აირების გასასუფთავებლად, თხევადი საწვავისა და საპოხი მასალების გასაფილტრად, მჟავების, სხვადასხვა ხსნარების და ქიმიური ნაერთების სხვა აგრესიული პროდუქტების გასაწმენდად და სხვა მიზნებისათვის.

ლითონურ ფილტრებს განსხვავებით ქაღალდის, ქსოვილის, მინის ან კერამიკის ფილტრებისაგან გააჩნიათ მნიშვნელოვანი სიმტკიცე, სიხისტე, აქვთ კარგი თბოგამტარობა, შეუძლიათ მაღალი ტემპერატურებისა და წნევის პირობებში მუშაობა, უკეთესად შეუძლიათ წვრილი მყარი ნაწილაკების დაჭერა. გარდა ამისა ლითონური ფილტრების გაწმენდა ნალექისაგან ადვილია და შესაძლებელია მათი გამფილტრავი უნარის სრულად აღდგენა, ხოლო ამ ფილტრების დამზადების ტექნოლოგია არ წარმოადგენს სირთულეს.

ლითონური ფილტრების გამტარობის ანუ გამფილტრავი უნარი დამოკიდებულია მათ ფორიანობაზე და აგრეთვე ნაწილაკების ფორმისა და ზომებზე.

ფხვნილის ნაწილაკების ზომების მიხედვით ფილტრები იყოფა წვრილფორიან ($60 \div 100$ მკმ), საშუალო ფორიან ($100 \div 300$ მკმ) და მსხვილფორიან ($300 \div 800$ მკმ) ფილტრებად.

დანიშნულების მიხედვით ლითონურ ფილტრებს ამზადებენ რკინის, სპილენძის, თითბერის, ბრინჯაოს, ალუმინის, უჟანგავი ფოლადების, სხვადასხვა ძნელდნობადი ლითონების, მათი შენადნობების და კარბიდების, ოქროს, ვერცხლის, ნიკელის და სხვა ლითონებისა და შენადნობების ფხვნილებისაგან.

ფილტრების დასამზადებლად ლითონების ფხვნილების ნაწილაკთა ზომები უნდა იყოს ერთნაერი, მათ უნდა ჰქონდეს გლუვი ზედაპირები და სფერული ფორმა, რაც იძლევა ერთნაირი და თანაბრად განაწილებული და ერთი მეორესაგან თანაბარი ფორების მქონე მასალების მიღების საშუალებას. ამ მოთხოვნების შესაბამისი ფხვნილების მიღება ხდება თხევადი ლითონებისა და შენადნობების გაფრქვევით, კარბონილების თერმული დისოციაციით

და წინასწარ წერილად დაჭრილი მავთულისაგან მიღებული ნაჭრების გრიგალურ წისქვილში, სფერულ ფორმამდე დამუშავებით.

ლითონური ფილტრების დამზადება ხდება შემდეგი ძირითადი მეთოდებით: 1) ფხვნილის თავისუფლად დაყრით და ფორმასთან ერთად (გრაფიტის ან ლითონის) შეცხობით; 2) ნამზადის დაწნეხვით ლითონურ ფორმაში და შემდგომი შეცხობით ფორმის გარეშე; 3) ლითონური ფხვნილების გლინვით და შემდგომი შეცხობით.

ფხვნილების შეცხობის დროს აუცილებელია ფორების შენარჩუნება და მათი დახურვის თავიდან აცილება. ამის მიღწევა შესაძლებელია შესაბამის ფორმებში თავისუფლად ჩაყრილი ფხვნილების შეცხობით ან და ფხვნილებისა და აქროლადი შემესხებების ნარევის დაწნეხვით (გაგლინვით) და შეცხობით. ასეთი შემესხებების როლში, რომლებიც არ ურთიერთქმედებენ შესაცხობ მასალასთან და შეცხობის პროცესში გარდაიქმნებიან აირად პროდუქტებში, შეიძლება გამოყენებული იქნას ნახშირმჟავა ნატრიუმი, ნახშირმჟავა ამონიუმი და სხვა. შეიძლება აგრეთვე ასეთი შემესხების როლში ლითონების ნაერთების გამოყენება, რომლებიც შეცხობის პროცესში აღდგებიან (იშლებიან) ლითონებად და გამოიყოფა აირადი ნივთიერებები (ქლორიდები, ნიტრატები, ოქსალატები და სხვა). აღდგენილი ლითონი შედნება შესაცხობ მასალასთან და ზრდის მის სიმტკიცეს, ხოლო აირადი პროდუქტები უზრუნველყოფენ მასალის შეღწევადობას და მისი ფორების შენარჩუნებას.

ფართოდ გამოიყენება კალიანი ბრინჯაოს (92%Cu, 8%Sn) და უწნეხავი ფხვნილების შეცხობით დამზადებული ფილტრები. ამ ფილტრების ფორიანობა ტოლია 5%, სიმტკიცე გაჭიმვაზე 30 ± 40 მნ/მ². ამ ფილტრებს მუშაობა შეუძლიათ ჟანგვისგან დაცვის გარეშე $\sim 80^{\circ}\text{C}$ -დე, ხოლო დამცველ გარემოში $\sim 500^{\circ}\text{C}$ -დე.

გარდა ფილტრებისა ფორიანი ფხვნილოვანი მასალები გამოიყენება მაღალ ტემპერატურებზე მომუშავე დეტალების დასამზადებლად. ამ შემთხვევაში დეტალების სამუშაო ზედაპირების ინტენსიური გაცივება ხდება დეტალის “დანამის” ე.ი. მის ფორებში გამავალი სითხის აორ-

თქლების შედეგად. გაცივების ასეთი ხერხი იძლევა ლითონებისა და შენადნობების, ისეთ ტემპერატურებზე გამოყენების საშუალებას (გაზის ტურბინების ფრთების, ალქმედი ღუმე-ლების ტიხრები და სხვა), რომლებიც აღემატება მათი დნობის ტემპერატურას.

ფორიანი მასალები გამოიყენება აგრეთვე აკუმულატორის ელექტროდების, ლითონკერამიკული ფიტილების სანთურების და სხვათა დასამზადებლად.

6.4. მაგნიტური მასალები

ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდებით ამზადებენ საღ მაგნიტურ მასალებს (მუდმივ მაგნიტებს), რბილ მაგნიტურ მასალებს და მაგნიტოდიელექტრიკებს.

სალი მაგნიტურ მასალებს ამზადებენ ფერომაგნიტური მასალებისაგან, რომლებსაც გააჩნიათ დიდი კოერციტიული ძალა და მაღალი ნარჩენი ინდუქცია. ფხვნილებისაგან დამზადებული მუდმივი მაგნიტები იყოფიან ოთხ ძირითად ჯგუფად. ცხრილში 1 მოცემულია თითოეული ჯგუფის ტიპური მუდმივი მაგნიტების შედგენილობა და თვისებები.

ყველაზე მეტი სამრეწველო მნიშვნელობა გააჩნიათ შემდეგი ტიპის ლითონკერამიკულ მაგნიტებს: ალნი (Al + Ni), ალნიკო (Al + Ni + Co) და მაგნიკო. ამ მაგნიტების დამზადება ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდებით იძლევა რთული ფორმისა და ზუსტი ზომების მქონე მაგნიტების მიღების საშუალებას, რომლებსაც გააჩნიათ ერთგვაროვანი წვრილ-მარცვლოვანი სტრუქტურა და მკაცრად დაცული დანა-მატების რაოდენობა (Co, Cu, Ti, Zr, Si), რომლებიც ზრდიან მაგნიტურ თვისებებს.

მაგნიტების (ალნი, ალნიკო, მაგნიკო) დამზადების ტექნოლოგია შემდეგი ოპერაციებისაგან შედგება: რკინის ნიკელის და სხვა კომპონენტების კარბონილური ფხვნილების შერევა ლიგატურის Fe - Al, Co - Al, Fe - Co - Al ფხვნილებთან; დაწნევა წნეხ-ფორმაში 1000÷1600 მნ/მ² წნევის ქვეშ, შეცხოება 1280÷1350°C-ზე გასუფთავებული და გამომშრალი წყალბადის არეში (ან ვაკუუმში) ორი

საათის განმავლობაში; თერმული დამუშავება მაგნიტური თვისებების გასაზრდელად.

მაგალითად: ალნის შენადნობებს უტარებენ წრობას, ალნიკოს–წრობასა და მოშვებას, მაგნიკოს–წრობას, მაგნიტური ველის მოღებასთან ერთად და მოშვებას.

ცხრილი 1

სალი მაგნიტური მასალების შედგენილობა და თვისებები

ლითონების ჯგუფი	მაგნიტების მასალა	შემადგენლობა, %	სიმკვრივე კგ/მ ³	ნარჩენი ინდუქცია, ტლ	კოერციტიული ძალა, ა/მ
1. მეტალოკურამიკული	ალნი	12Al, 23Ni, 65Fe	6700-7000	0,6 – 0,7	19,9–27,8
	ალნიკო	9Al, 19Ni, 15Co, 4Cu, 53Fe	6800-7100	0,65– 0,75	39,8–47,7
	მაგნიკო	8Al, 15Ni, 24Co, 53Fe	6900-7200	0,95– 1,05	43,8–55,7
	Co - Pt	23Co, 77Pt	14500	0,3– 0,5	198,9–318,3
2. მეტალოპლასტიკური	ალნი	15Al, 24Ni, 4Cu, 57Fe	5000-5200	0,27–0,34	35,8–39,8
	ალნიკო	9Al, 20Ni, 15Co, 4Cu, 52Fe	5300-5500	0,32–0,40	39,8–43,8
	ბარიუმიანი ფერიტი	14BaO, 86Fe ₂ O ₃	4000	0,17	95,5
3. წვრილდისპერსიული ფხვნილები	Fe	Fe, Fe ₃ O ₄	4100-4400	0,45–0,50	35,8–39,8
	Fe - Co	Fe, Co, Fe ₂ O ₃	4300-4600	0,55–0,70	43,8–47,7
	Mn - Bi	23Mn, 77Bi	8500	0,42	246,7
4. ოქსიდური ფერიტები	ბექტოლიტი	30Fe ₂ O ₃ , 44Fe ₃ O ₄ , 26Co ₂ O ₃	3000	0,16	71,6
	ბარიუმიანი ფერიტი	14BaO, 86Fe ₂ O ₃	4300-4600	0,17–0,23	111,4–159,1

მაგნიკოს შენადნობებს, ტერმომაგნიტური დამუშავების შემდეგ გააჩნიათ მაღალი ანიზოტროპული მაგნიტური თვისებები (მაქსიმალური წრობის დროს მოღებული ველის მიმართულებით).

მეტალოპლასტიკური მაგნიტების მიღება ხდება მზა სალმაგნიტური მასალის ფხვნილის და პოლიმერული მა-

საღის დაწნეხვით ($700 \div 800$ მნ/მ² წნავაზე). კაზმის შედგენილობაში შეჰყავთ 24% (მოცულობის მიხედვით) ბაკელიტის ფისი, პოლიჰლორვინილი ან კაუჩუკი.

მეტალოპლასტიკური მაგნიტები, მაგნიტური თვისებებით ჩამოუვარდებიან სხმულ მაგნიტებს, მაგრამ ტექნოლოგიური უპირატესობების გამო მათ ხშირ შემთხვევაში წარმატებით გამოიყენებენ.

წვრილდისპერსული ფხვნილებისაგან (ნაწილაკების ზომები $0,020 \div 0,03$ მკმ) დამზადებული მაგნიტები გამოირჩევიან კოერციტიული ძალის დიდი მნიშვნელობით. ასეთი მაგნიტები წარმატებით ცვლიან ძვირადღირებულ და დეფიციტურ შენად-ნობებისაგან დამზადებულ სხმულ და მეტალოკერამიკულ მაგნიტებს.

ოქსიდურ მაგნიტებს ამზადებენ ჟანგეულების ფხვნილების ნარევის დაწნეხვით და შეცხობით დამჟანგველ გარემოში. ეს მაგნიტები მზადდება არადეფიციტური მასალებისაგან. ასეთ მაგნიტებს გააჩნიათ მცირე სიმკვრივე, მცირე სიმტკიცე და სიმყიფე. მათი მექანიკური დამუშავება ხდება მხოლოდ ხეხვით.

რბილი მაგნიტური მასალები ხასიათდებიან მაღალი მაგნიტური შეღწევადობით, მცირე კოერციტიული ძალით და სიმძლავრის მცირე დანაკარგებით გადამაგნიტების დროს. რბილი მაგნიტური მასალები იყოფიან ორ ძირითად ჯგუფად:

1) სუფთა რკინა და რკინის შენადნობები ნიკელთან, სილიციუმთან, სილიციუმთან და ალუმინთან, ბრომთან და ალუმინთან;

2) ლითონების ჟანგეულების ფხვნილების დაწნეხვით და შეცხობით მიღებული ფერიტები.

რკინისა და მისი შენადნობების ფუძეზე მიღებულ მაღალი ხარისხის რბილ მაგნიტურ მასალებს ამზადებენ კარბონილური ან ელექტროლიტური ფხვნილებისაგან დაწნეხვითა, შეცხობით და შემდგომი მოწვით. კარბონილური რკინისაგან დამზადებულ მაგნიტებს აქვთ $302 \cdot 10^{-4}$ მნ/მ, კოერციტიული ძალის 11,2 ა/მ მნიშვნელობის დროს.

ფხვნილოვანი რბილმაგნიტური მასალები პერმადლოი (შენადნობი Fe - Ni; $5 \div 0-80\%$ Ni), პერმინდიური (შენად-

ნობი Fe - Co; 30 ÷ 70% Co), პერმინგარი (შენადნობი Fe - Ni - Co) ხასიათდებიან კარგი მაგნიტური თვისებებით.

მაღალი და ზემოდალი სიხშირეების პირობებში მუშაობისათვის, სადაც საჭიროა მასალებს ჰქონდეთ მაღალი საწყისი მაგნიტური შედგენადობა და ძალიან მწირე დანა-კარგები გადამაგნიტების დროს, გამოიყენებენ ფერიტებს. ისინი მიეკუთვნებიან კერამიკულ მასალებს. ფერიტები შედგებიან ლითონების ჟანგეულებისაგან და ზოგადად შეიძლება გამოისახოს ქიმიური ფორმულით; $MeO \cdot Fe_2O_3$, რომელშიდაც ლითონის როლში შეიძლება იყოს ნიკელი, მანგანუმი, სპილენძი, თუთია და სხვა. გარდა ორმაგი ფერიტებისა გამოიყენებენ სამმაგ უფრო რთულ ფერიტებს.

რბილი მაგნიტური ფერიტები მზადდება ძირითადად შემდეგი სისტემების ფუძეზე: $Ni - ZnO - Fe_2O_3$ ან $MnO - ZnO - Fe_2O_3$; მათ აქვთ ძალიან მაღალი ხვედრითი ელექტროწინა-ღობა. ფერიტებს, რომლებსაც აწვთ ჰისტერეზისის სწორკუთ-ხა მარყუჯი ($MgO - MnO - Fe_2O_3$ -ის ფუძეზე) ჟანგეულების მცირე რაოდენობის დამატებით (NiO, ZnO, CaO და სხვა) გამოიყენებენ ელექტრონული გამომთვლელი მანქანების მოწყობილობებისათვის, მაგნიტური გამაძლიერებლის გადამ-რთველი მოწყობილობებისათვის და სხვა.

ფერიტების დამზადების ტექნოლოგია შედგება შემდეგი ოპერაციებისაგან: ლითონების ჟანგეულების დაფქვა და შერევა, მიღებული კაზმიდან ბრიკეტების დაწნეხვა, მოწვა $800 \div 950^\circ C$ -ზე, ფერიტიზაციის რეაქციის წარმართვისათვის; ბრიკეტების დაფქვა და 1% პლასტიფიკატორის დამატება (პოლივინილის სპირტი, პარაფინი და სხვა), ნაკეთის დაწნეხვა $30 \div 40$ მნ/მ² წნევით და შეცხობა $1100 \div 1400^\circ C$ -ზე. რადგანაც ფერიტები მყიფე მასალაა, მათ ამუშავებენ მხოლოდ აბრაზივებით.

მაგნიტოდიელექტრიკები წარმოადგენენ მაგნიტურ მასალებს, რომლებიც შედგებიან წვრილდისპერსული ფერომაგნიტური ნაწილაკებისაგან, რომელთა შორისაც ადგილი არა აქვს მაგნიტურ და ელექტრულ ურთიერთობებს, და მექანიკურად დაკავშირებული არიან დიელექტრიკთან უწოდებენ მაგნიტოდიელექტრიკებს.

ასეთ მასალებს, რომლებსაც აქვთ გრიგალურ დენებზე უმნიშვნელო დანაკარგები, გამოიყენებენ ინდუქციური კოჭების გულარების დასამზადებლად მაღალი სისწირის ტრანსფორმატორებისათვის და სხვა დეტალებისათვის, რომლებიც მაღალი სისწირის ცვლადი დენის წრედში მუშაობენ.

ფერომაგნიტური ფხვნილის როლში იყენებენ კარბონილური რკინის ფხვნილს ნაწილაკების ზომით 3 ± 20 მკმ.

პერმალის შენადნობების ფხვნილებს ($20\%Fe$ და $80\%Ni$) ზომებით 50 ± 100 მკმ, ალსიფერს ($10\%Si$, $7,5\%Al$, $82,5\%Fe$), ზომებით 15 ± 200 მკმ. ფხვნილების დიელექტრიკული მაკავშირებელი შეიძლება იყოს სხვადასხვა სინთეტიკური, პოლიმერული მასალები (ბაკელიტის ფისი, სხვადასხვა ლაქები, სილიკატები, სილიკონი, პოლიჰლორინილი და სხვა).

მაგნიტოდიელექტრიკების დამზადების ტექნოლოგია შედგება შერევისაგან, დაწნეხვისაგან და აუცილებლობის შემთხვევაში შემაკავშირებელი ნივთიერების პოლიმერიზაციისაგან.

6.5. საკონტაქტო მასალები

ელექტრულ წრედებში მომუშავე თანამედროვე საკონტაქტო მასალებს მოეთხოვებათ ისეთი თვისებების კარგი შესამება, როგორცაა მაღალი სითბო და ელექტროგამტარებლობა, სისაღე, არ უნდა ჰქონდეს დეფორმაცია მაღალ ტემპერატურებზე, უმნიშვნელო მიდრეკილება მიღუღებისა და მიკრობისადმი (მიწეპებისადმი), მაღალი ელექტროეროზიული და კოროზია მედეგობა, აგრეთვე დაბალი და სტაბილური გადასვლის წინაღობა.

სუფთა ლითონებსა და ჩვეულებრივ შენადნობებს არ გააჩნიათ თვისებათა ასეთი შესამება. ასეთი თვისებების მასალების მიღება შესაძლებელია მხოლოდ ფხვნილთა მეტა-ლურგის მეთოდებით. ლითონკერამიკული საკონტაქტო მასალები თავიანთი შედგენილობით წარმოადგენენ მაღალი სიმტკიცისა და ძნელდნობადობის მქონე ლითონებს (W , Mo და სხვა) ფხველოშენადნობებს მაღა-

ლი ელექტროგამტარებ-ლობის მქონე ლითონებთან (Ag, Cu და სხვა).

კომპოზიციებს W - Cu ან და W - Ag ვოლფრამის შემცველობით 30÷70% W, შეხამებული აქვთ ვოლფრამის დადებითი თვისებები სპილენძისა და ვერცხლის მაღალ სითბო და ელექტრო გამტარებლობასთან. ამ მასალებს ამზადებენ ფხვნილების ნარევის დაწნეხვით 300÷1500 მნ/მ² წნევის ქვეშ და შეცხობით წყალბადის არეში 1000÷1100°C-ზე 3÷4საათის განმავლობაში.

უფრო კონტაქტები, რომლებსაც გააჩნით გაზრდილი თვისებები, მიიღებიან ვოლფრამის ფორიანი ბრიკეტის (მარცვლოვანებით ~50 მკმ) სპილენძით ან ვერცხლით გა-ელენთვით 1200÷1300°C-ზე.

მძლავრი საჰაერო ჩამრთველებისათვის, სადაც საჭი-როა რკალური განმუხტვის წინააღმდეგ მედეგობა, გა-მოიყენება კონტაქტები ვოლფრამის კარბიდის ფუძეზე (80%-დე), ხოლო შემაკავშირებლის როლში გამოიყენება სპილენძი, ვერცხლი, კობალტი, ოსმიუმი, პლატინა, ირი-დიუმი და სხვა მასალები.

ფართო გამოყენება აქვს ფხვნილოვან კონტაქტებს, რომლებიც დამზადებულია შემდეგი შენადნობებისაგან: Ag-CdO, Ar-CuO, Ag-W, Ag-Mo, Ag-Ni.

Ag-CdO (15%Cd) და Ag-CuO (10%CuO) შენადნობისა-გან დამზადებული კონტაქტები ხასიათდებიან დიდი ელექტროგამტარებლობით, ცვეთამედეგობით, პლასტიკუ-რობით, კარგი დამუშევადობით და გაზრდილ დატვირთ-ვებზე მუშაობის უნარით.

დინამომეტრების და ელექტროძრავების მუხებისა და საკოლექტორო ფირფიტებისათვის იყენებენ სპილენძ -გრაფიტის კომპოზიციას, გრაფიტის შემცველობით 25÷92% და სპილენძის შემცველობით 8÷25%. იგი ხა-სიათდება კარგი საკონტაქტო და ანტიფრიქციული თვი-სებებით. სპილენძ-გრაფიტის კონტაქტები იწნეხება 200÷250 მნ/მ² წნევაზე და შეც-ხობა ხდება ნახშირბადის შემცველ გარემოში 900÷920°C-ზე 1-2 საათის განმავლო-ბაში.

6.6 ვაკუუმური მასალები

ვაკუუმურ ტექნიკაში ფართოდ გამოიყენება ფხვნილოვანი მასალები ვარვარების ნათურების, რენტგენის მილაკების, კათოდური ნათურების, გამმართველების, კენეტრონების, გაზოტრონების და სხვათა დასამზადებლად. ვაკუუმურ მასალებს მუშაობა უხდებოდ მაღალ ტემპერატურებზე. გარდა მაღალი მექანიკური სიმტკიცის, ქიმიური ინერტულობის, ხაზოვანი გაფართოების დაბალი კოეფიციენტისა, გახურებულ მდგომარეობაში ამ მასალებს უნდა გააჩნდეთ ორთქლის დაბალი დრეკადობა, დაბალი გაფრქვევის უნარი და აირებისაგან განთავისუფლების მაღალი უნარი. ასეთ მოთხოვნებს კარგად აკმაყოფილებენ ძნელდნობადი ლითონები W, Mo, Ta. 1-2% თორიუმის ოქსიდის (ThO_2) დამატება ზრდის ვოლფრამის სიმტკიცეს მაღალ ტემპერატურებზე და აუმჯობესებს მის ელექტრონულ ემისიას.

ძნელდნობადი ლითონებისაგან ცალკეულ დეტალებს, ჩვეულებრივ ამზადებენ ფურცლოვანი მასალისაგან ან მავთულისაგან, რომელთა მიღებაც ხდება წინასწარ დაწინეხილი ბრიკეტების გლინვით ან ადიდვით, დამცავ გარემოში ან ვაკუუმში მრავალჯერადი შეცხობით. ძნელდნობადი მასალების ასეთი ტექნოლოგია გამორიცხავს მათ გადნობას და ამით გამოწვეულ მინარევებით გაჭუჭყიანებას.

ძვირადღირებული და ძნელად დასამუშავებელი ძნელდნობადი ლითონების შემცველად, აღნიშნული მიზნით შეიძლება გამოყენებული იქნას, მაღალი სისუფთავის რკინა და მისი შენადნობები ნიკელთან, მოლიბდენტან, კობალტთან და სპილენძთან.

ფხვნილოვანი მასალა, რომელიც შედგება 58% Ni, 22% Fe და 20%Mo, თავისი სიმტკიცის მახასიათებლებით, 800°C-ზე, ახლოსაა მოლიბდენტანს. შენადნობი კარგად მუშავდება წნევივით გახურებულ მდგომარეობაში, გააჩნია ქიმიური მედეგობა, მაგრამ ცუდად დუღდება. ეს შენადნობი გამოიყენება ელექტრონული ნათურების ბადების დასამზადებლად.

ფხვნილოვან შენადნობებს, რომელთა ხაზოვანი გაფართოვების კოეფიციენტი ახლოა მინისა და კერამიკის ხაზოვანი გაფართოვების კოეფიციენტთან იყენებიან ვაკუუმური ხელსაწყოების ელექტროდების და სხვა დეტალების დასამზადებლად, რომელთა მირჩილვაც მინასთან ხდება. ასეთ შენადნობებს მიეკუთვნებიან შემდეგი შედგენილობის შენადნობები: 23÷27% Ni, 17÷30% Co, 43÷60% Fe ან და 5÷20% Mo, 1% Cu, 79÷94% Fe, ან 45% Ni, 55% Fe. ეს შენადნობები უზრუნველყოფენ საიმედო ჰერმეტილობას, მათი დაქანგული ზედაპირის მინით კარგი დასველადობის გამო.

7. ლითონკერამიკული სალი შენადნობები და მსურვალმტკიცე მასალები

7.1 სალი შენადნობები

ლითონკერამიკული სალი შენადნობები წარმოადგენენ განსაკუთრებით სალი ძნელდნობადი ნაერთებისაგან შედგენილ კომპოზიციებს, ბლანტ, შემაკავშირებელ ლითონებთან შეხამებით. ძნელდნობადი და ცვეთამედეგი ნაერთების როლში გამოიყენებენ ნახშირბადის, აზოტის, ბორის და სილიციუმის ნაერთებს, პერიოდული სისტემის IV, V და VI ჯგუფის ძნელდნობად ლითონებთან (Ti, V, Cr, Nb, Mo, Hf, Ta, W).

ყველაზე დიდი პრაქტიკული გამოყენება ლითონკერამიკული სალი შენადნობების დასამზადებლად ჰპოვეს კარბიდებმა—WC, TiC. შემაკავშირებელი ლითონის როლს კი ასრულებს კობალტი, ზოგჯერ კი ნიკელი და რკინა. კარბიდული და შემაკავშირებელი ნაწილაკების ზომები შენადნობების უმრავლესობაში ტოლია 0,5÷10 მკმ.

კარბიდული ფაზეს შედგენილობის მიხედვით სალი შენადნობები იყოფიან სამ ძირითად ჯგუფად: 1) WC-Co (BK ტიპის); 2) WC-TiC-Co (TK ტიპის); 3) WC-TiC-TaC(NbC)-Co (TTK ტიპის).

პირველი ჯგუფის ფოლადებს ერთიმეორისაგან ანსხვავებან კობალტის შემცველობის (2–30%) და კარბიდული ფაზეს მარცვლოვანების მიხედვით. კობალტის

შემცველობის გაზრდით იზრდება შენადნობის სიბლანტე, მცირდება სისალე და ცვეთამედეგობა. ვოლფრამის კარბიდების ზომების გამსხვილება 5 მკმ-დე ზრდის შენადნობის სიბლანტეს, მაგრამ ამცირებს სისალს. წვრილმარცვლოვანი კარბიდული ფაზა~1 მკმ-დე უზრუნველყოფს უფრო მაღალ ცვეთამედეგობას.

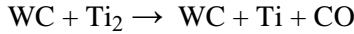
მცირეკობალტიანი შენადნობები, რომლებიც შეიცავენ $20\div 30\%Co$, გამოიყენებიან საშტამპე იარაღებისათვის, რომლებ-საც მუშაობა უხდება მნიშვნელოვანი დარტყმით დატვირთვებზე.

წვრილმარცვლოვანი სალი შენადნობები (BK6M) გამოიყენება სალი თუჯების დასამუშავებლად. ამ შენადნობების მედეგობა ~600-ჯერ მეტია იმავე მარკის საშუალო მარცვლოვანების მქონე შენადნობების მედეგობაზე.

მეორე ჯგუფის შენადნობები (WC-TiC-Co) მაღალი სისალის და ცვეთამედეგობის გამო, გამოიყენებიან უპირატესად ფოლადების მაღალი სიჩქარით დამუშავებისას. ამ შენადნობების თვისებები პირველ რიგში განპირობებულია ტიტანი-სა და კობალტის კარბიდებით. ტიტანის კარბიდების შემცველობის გაზრდით იზრდება შენადნობის ცვეთა-მედეგობა და მცირდება მისი სიმტკიცე. კობალტის შემცველობის გაზრდა ამცირებს სისალს და ზრდის სიბლანტეს.

მესამე ჯგუფის შენადნობები (WC-TiC-TaC(NbC)-Co), ჩვეულებრივ შეიცავენ 5-15% TiC, 2-10% TaC(NbC), 5-15% Co, დანარჩენი არის WC. ტიტანის ან ნიობიუმის კარბიდების დამატება დადებით გავლენას ახდენს შენადნობის სიმტკიცესა და მჭრელ თვისებებზე. ვოლფრამის ფუძეზე მიღებული ლითონკერამიკული სალი შენადნობები მზადდება შემდეგი ტექნოლოგიით: ვოლფრამისა და კობალტის ფხვნილები მიიღება მათი ჟანგულებიდან (WO_3 და Co_3O_4) აღდგენის გზით. ვოლფრამის ანჰიდრიდს აღადგენენ წყალბადით $900\div 1200^{\circ}C$ -ზე ან ნახშირბადით $1450\div 1800^{\circ}C$ -ზე, ხოლო კობალტის ჟანგს-წყალბადით $520\div 570^{\circ}C$ -ზე. რთული ტიტან-ვოლფრამის კარბიდი მიიღება, ვოლფრამის კარბიდის, ტიტანის ორჟანგის და ჭვარტლის ნარევის გამოწვეთ $2000\div 2300^{\circ}C$ -ზე, გამომშრ-

ლი წყალბადის ნაკადში. რეაქცია მიმდინარეობს შემდეგი სქემით:



კარბიდებისა და კობალტის ფხვნილების ნარევის მომზადება ხორციელდება თხევად არეში (სპირიტი ან წყალი) დაფქვით ბურთულებიან წისქვილებში. გაშრობის შემდეგ მიღებულ ნარევს შეუარევენ შემაკავშირებელ ნივთიერებას (კაუჩუკის ხსნარი ბენზინში, გლიცერინში და სხვა) და კვლავ გააშრობენ. ფხვნილის გაცრისა და გრანულირების შემდეგ ხდება მისი დაწნეხვა ბრიკეტების სახით. ბრიკეტები იწნეხება ლითონის წნეხფორმებში $100 \div 120$ მნ/მ² წნევით. დაწნეხილი ბრიკეტები, მათი სიმტკიცის გაზრდის მიზნით, განიცდიან შრობას $100 \div 120^\circ\text{C}$ -ზე.

დაწნეხილი ნამზადის შეცხოვა ხორციელდება ორ სტადიად: წინასწარი შეცხოვა $700 \div 800^\circ\text{C}$ -ზე და სობოლო $1390 \div 1500^\circ\text{C}$ -ზე წყალბადის არეში BK ტიპის შენადნობებისათვის, ხოლო TK ტიპის შენადნობებისათვის $1450 \div 1500^\circ\text{C}$.

გარდა ნამზადების დაწნეხვისა ფოლადის წნეხფორმაში, გამოიყენება ფორმის მიცემის სხვა მეთოდებიც. მაგალითად რთული პროფილეს ნაკეთობის (გრძელი მილები, წნელები და სხვა), გამოიყენება მუნდშტუკის ტიპის დაწნეხვა. დიდი ზომის ნაკეთობები, რომელთაც რთული ფორმები აქვთ (მატრიცები, მანქანათა დეტალები და სხვა) მზადდება გრძელი დაწნეხვით გრაფიტის წნეხფორმებში.

რთული ფორმის ფასონური მჭრელი ინსტრუმენტების (ფრეზები, ზენკერები, საფართები, ფასონური დისკური საჭრისები, წვრილი გარესახრახნები, ფასონური შტამპების დეტალები და სხვა) დასამზადებლად გამოიყენებენ BK6M, BK10M, BK15M და BK20M წვრილმარცვლოვანი, სალი შენადნობების პლასტიფიცირებულ ნამზადებს.

7.2. ალმას-ლითონური მასალები

ალმას-ლითონურ მასალებს ამზადებენ ალმასის $0,05 \div 2,5$ მმ ზომების მქონე ნაწილაკებისა ($5 \div 20\%$) და ლითონის ფხვნილის ნარევიდან, ცივი დაწნეხვით და შემდგომი შეცხოვით ან ცხელი დაწნეხვით. შემაკავშირე-

ბელ მასალად გამოიყენება შენადნობი რკინის ან სპილენძის ფუძეზე, სალი შენადნობები ვოლფრამის კარბიდის ფუძეზე ან ვოლფრამის, სპილენძის და ნიკელის შენადნობები.

ალმას–ლითონის მასალები გამოიყენებიან სალი შენადნობების დააზოტირებული და ცემენტირებული ფოლადების გასახეხად და აგრეთვე მინის, კერამიკისა და ძვირფასი ქვების დასამუშავებლად.

ალმასის მარცვლების ნაცვლად შეიძლება გამოყენებული იქნას ბორის კარბიდი (B_4C), რომელიც სისალით მხოლოდ ალმასს ჩამოუვარდება.

7.3 მინერალოკერამიკული სალი შენადნობები

მინერალოკერამიკულ სალ შენადნობებს ამზადებენ იაფი არადეფიციტური მასალისაგან – ალუმინის უანგი-საგან. ინე-რალოკერამიკული სალი შენადნობი – მიკროლიტი შედგება სუფთა თეთრი კორუნდის (Al_2O_3 -ის $0,5\div 3$ მკმ ზომის მარცვლების) უწვრილესი კრისტალები-საგან უმნიშვნელო რაოდენობის მინერალურ დანამატებთან ერთად, რომლებიც ქმნიან მინისმაგვარ ფენას.

მინერალოკერამიკის ნაკეთობებს (ფირფიტები, ფილტრები და სხვა) ამზადებენ წვრილადდაფქული კაზმის დაწნეხვით ფოლადის წნეხფორმებში და შემდგომი ხანგრძლივი შეცხობით $1700\div 1800^{\circ}C$ -ზე. მინერალოკერამიკას გააჩნია მაღალი სისაღე და წითელმედეგობა.

მაღალი წითელმედეგობა ($1100\div 1200^{\circ}C$ -ზე) იძლევა მინერალოკერამიკის გამოყენების საშუალებას ჭრის მაღალი სიჩქარეების დროს, მაგრამ მას გააჩნია მაღალი სიმეიფე რაც ზღუდავს მისი გამოყენების შესაძლებლობას.

7.4 მხურვალმტკიცე და მხურვალმედეგი მასალები

მაღალ ტემპერატურებზე მომუშავე საკონსტრუქციო მასალებს უნდა გააჩნდეს მაღალი მხურვალსიმტკიცე და ცოცვადობისადმი წინააღმდეგობა, უნდა ჰქონდეს აგრეთვე მედეგობა თერმული დაღლილობის და დაუანგვის წინააღმდეგ. ამ მოთხოვნებს $850\text{--}950^{\circ}C$ -დე პასუხობენ ლი-

თონური შენა-დნობები ნიკელის, კობალტის, ქრომის და რკინის ფუძეზე, მოლიბდენის, ტიტანის, ტანტალის, ნიობიუმის, ვალფრამის და სხვა ელემენტების დანამატი.

უფრო მაღალ ტემპერატურებზე ($2000\div 3000^{\circ}\text{C}$ -ზე და უფრო მეტი) შეიძლება გამოყენებული იქნას ძნელდნობადი და სალი ნაერთები, ჟანგეულების, კარბიდაბის, ბორიდების, სილიციდების, ნიტრიდების ტიპის, რომლებსაც გააჩნიათ მაღალი მხურვალსიმტკიცე და ჟანგვისადმი წინააღმდეგობა. მაგრამ ამ მასალებს აქვთ მაღალი სიმყიფე და ამიტომ სუფთა სახით მათი გამოყენება, გაზის ტურბინების, რეაქტიული ძრავების და ა.შ. სხვადასხვა დეტალების დასამზადებლად არ ხდება.

მყიფე ძნელდნობადი ნივთიერების პლასტიკურობა შეიძლება გაიზარდოს, თუ მათი კომპოზიციები დამზადდება ფხვნილთა მეტალურგიის მეთოდით. ლითონური შემაკავშირებლის როლში უნდა შეირჩეს ისეთი ლითონი ან შენადნობი, რომელიც თავისი მხურვალსიმტკიცით ახლოს იქნება ძნელდნობად ნაერთთან, არ წარმოქმნის ქიმიურ ნაერთს და მცირედ იხსნება მასში, აგრეთვე ახლო იქნება მათი ხაზოვანი გაფართოვების, თბოგამტარებლობის და დრეკადობის მოდულის კოეფიციენტების მნიშვნელობები.

გარდა ამისა შემაკავშირებელი ლითონი მედეგი უნდა იყოს ჟანგვისადმი ან ადვილად შეიძლებოდეს მისა საიმედო დაცვა დაჟანგვისაგან.

ლითონების ძნელდნობადი ჟანგეულები სუფთა ლითონებთან ერთად შეხამებული ფართოდ გამოიყენებიან მხურვალსიმტკიცე მასალების – კერამიკების დასამზადებლად.

ერთ-ერთი საუკეთესო კერამიკი ოქსიდურ ფუძეზე წარმოადგენს კომპოზიციას რომელიც შედგება 70% Al_2O_3 და 30% Cr –ისაგან.

კერამიკის მიღების ტექნოლოგია ითვალისწინებს თხევად გარემოში (სპირტი) ალუმინისა და ქრომის ჟანგის წმინდა ფხვნილების ხანგრძლივ შერევას. კაზმის სიმკვრივის გასაზრდელად, ფორმის მიცემის წინ მას წნეხავენ და უკეთებენ გრანულირებას. ნაკეთობათა ნამზადების ჰიდროსტატიკური დაწნეხვა შეიძლება განხორ-

ციელდეს, კაზმში პლასტიფიკატორის შეყვანის გარეშე 250 მნ/მ² წნევაზე.

შეცხოება სორციელდება 1700°C-ზე წყალბადის ატმოსფეროში. კერმეტს (Al₂O₃ – Cr) შეუძლია ხანგრძლივად მუშაობა 1100–1200°C-ზე. მას გააჩნია ჟანგვისადმი მაღალი წინააღმდეგობა 1500°C-ზე და დამაკმაყოფილებელი თერმული მედეგობა 1315°C-ზე. ამ კერმეტების არსებითი ნაკლია დაბალი დარტყმითი სიბლანტე ოთახის ტემპერატურაზე.

კარბიდების ფუძეზე დამზადებული კერამიკა – ლითონური მასალებიდან სამრეწველო გამოყენება ჰპოვეს ტიტანის კარბიდზე დამზადებულმა მხურვალმტკიცე შენადნობებმა. ტიტანის კარბიდს ახასიათებს მაღალი მხურვალსიმტკიცე, ჟანგვისადმი წინააღმდეგობა (მხურვალმდეგობა), კარგი წინააღმდეგობა თბური დარტყმებისადმი და ლითონთან დაკავშირების კარგი უნარი.

ლითონური შემაკავშირებლის როლში ტიტანისკარბიდებიან მხურვალმტკიცე შენადნობებში გამოიყენება ნიკელი, ქრომის, მოლიბდენის, ალუმინის, ვოლფრამის და კობალტის დანამატებით. ლითონური ფუძის მალეგირებელი დანამატები ზრდიან სიმტკიცეს მაღალ ტემპერატურებზე და ჟანგვისადმი წინააღმდეგობას. ლითონური ფაზეს რაოდენობა შეიძლება იყოს 20–72%.

ტიტანის კარბიდის ფუძეზე მიღებული კერმეტებისაგან ნამზადებს აკეთებენ წხელი დაწნეხვით და შემდგომი მექანიკური დამუშავებით. ასეთი კერმეტები დამაკმაყოფილებლად მუშაობენ 1100°C-ზე. უფრო მაღალ ტემპერატურებზე სამუშაოდ შეიძლება სილიციუმისა და ბორის კარბიდების ფუძეზე დამზადებული კერმეტების გამოყენება.

კერმეტები ქრომისა და ცირკონიუმის ბორიდების ფუძეზე შეიცავენ 15% ლითონურ შემაკავშირებელ ფაზეს, რომელიც შედგება ქრომისაგან, ნიკელისაგან ან მათი შენადნობებისაგან ალუმინის, სპილენძის თუთიის კალის ტყვიის დანამატებით.

ბორიდული კერმეტების ცხელი დაწნეხვით ამზადებენ რეაქტიული ძრავების სხვადასხვა დეტალებს, რომლებსაც მუშაობა უხდებათ მაღალ ტემპერატურებზე და აგრესიული აირების გარემოში.

ლიტერატურა

1. Порошковая металлургия. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А., Москва; «Металлургия». 1980. -496 с.
2. Либенсон Г.А. Знакомьтесь-порошковая металлургия. Москва; «Металлургия»ю 1976. -56 с.
3. Новые композиционные материалы. Карпинос Д.М., Гучинский Л.И., Вишняков Л.Р. Киев; «Вища школа». 1977. 312 с.