

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. შილაკაძე, დ. თავხელიძე

ტ რ ი ბ ო ტ ე ქ ნ ი კ ა



დამტკიცებულია სტუ-ს
სასწავლო-მეთოდური
საბჭოს მიერ

თბილისი
2005

მოცემულია მექანიკური მოწყობილობის გრიბოლოგიური სისტემების საიმედოობის ფიზიკური საფუძვლები, კერძოდ, საყრდენი კვანძების დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის ძირითადი ამოცანები.

განხილულია გრიბოტექნიკის თეორიული საფუძვლები და მისი თანამედროვე პრაქტიკული პრობლემები. შემოთავაზებულია გრიბოლოგიური სისტემების საინჟინრო გაანგარიშების მეთოდები და მათვის საჭირო საცნობარე მასალები. მოცემულია საყრდენი კვანძების კონსტრუქციები და რეკომენდაციები მათ კონსტრუქციული გადაწყვეტის შესახებ, განხილულია გაუსვითადი ხახუნის საფუძვლები - შერჩევითი გადატანის ეფექტი.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია მექანიკის ყველა სპეციალობის სტუდენტებისა და მაგისტრანტებისათვის, ასევე, შეიძლება გამოადგეთ საწარმოთა საინჟინრო-ტექნიკურ მუშაკებსა და კონსტრუქტორებს.

რეცენზენტები: პროფ. ჯ. ბიჭიაშვილი
პროფ. ვ. ნათბილაძე

რედაქტორი თ. ცისკარიშვილი
ტექნიკური რედაქტორი ნ. ცირეკიძე
კორექტორი ო. ჭანკვეტაძე
კომპიუტერული უზრუნველყოფა დ. თავხელიძის

გადაეცა წარმოებას 02.03.2004. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 06.06.2005.
ქალაქის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 14. სააღრიცხვო-
საგამომცემლო თაბახი 12,75. ტირაჟი 100 ეგზ. შეკვეთა № 146

გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



სტუ-ს სტამბა, თბილისი, კოსტავას 75

ს ა რ ჩ ე ვ ი

წინასიტყვაობა	3
შესავალი	6
თავი 1. ტრიბოლოგია და ტრიბოტექნიკა	
1.1. განვითარების საწყისები	8
1.2. ძირითადი ცნებები და განმარტებანი	12
1.3. განვითარების ძირითადი მიმართულებანი	16
თავი 2. ტრიბოტექნიკის მიმართის საუბეჭდები	
2.1. ძირითადი თეორიული ცნებები და პარამეტრები	21
2.2. ზედაპირული ფენის მექანიკური თვისებები და სტრუქტურა	26
2.3. ხახუნის თეორიები და მუშა ზედაპირების კონტაქტები	30
2.4. მოლეკულური ურთიერთქმედება ტრიბოლოგიურ პროცესში	32
2.5. მექანიკური ურთიერთქმედება ტრიბოლოგიურ პროცესში	34
2.6. მასალის მექანიკური თვისებების შეფასება დადებითი გრადიენტის წესით	36
თავი 3. შერჩევითი ბაღატანა ტრიბოლოგიურ პროცესში	
3.1. ტრიბოტექნიკის განვითარების ახალი ამოცანა	39
3.2. შერჩევითი გადატანის არსი	40
3.3. სერვოვიტული აფსკის წარმოქმნის მექანიზმის შემთხვევები	45
3.4. შერჩევითი გადატანის ფიზიკური საფუძვლები	47
3.5. ანომალიური მცირე ხახუნის ეფექტი	52
თავი 4. ტრიბოლოგიური პროცესი შემზავნითი მასალებით	
4.1. შემზავნითი მასალის დანიშნულება და თვისებები	54
4.2. შემზავნითი მასალების სახეები და კლასიფიკაცია	60
4.3. შემზავნითის სახეები	68
თავი 5. თხევადი შემზავნა და მისი ჰიდროდინამიკური თეორია	
5.1. ჰიდროდინამიკური შემზავნის (ხახუნის) საფუძვლები	74
5.2. გეომეტრიული პარამეტრები	77
5.3. ზეთის ფენის ზილვის უნარი	78
5.4. ხახუნის პარამეტრები	87
5.5. თხური გაანგარიშების საფუძვლები წნევით შემზავნის დროს	90
თავი 6. შემზავნის სისტემები და მეთოდები	101
6.1. ინდივიდუალური შემზავნა	104
6.2. ცენტრალური შემზავნა	110

6.3. სპეციფიკური მანქანა-მოწყობილობის შემეთვის სისტემები	113
თავი 7. სრიალის საკისრების გაანგარიშების მეთოდობა სასაზღვრო და მშრალი ხაზუნის დროს	
7.1. სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის კრიტერიუმები	115
7.2. საკისრების ზიდვის უნარი	117
7.3. სრიალის საკისრის ზიდვის უნარის განსაზღვრის განგოლებები	118
7.4. კონტაქტური ამოცანების ინგეგრალური განგოლების ამოხსნის მეთოდი	123
7.5. სრიალის საკისარში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მეთოდიკა	127
7.6. დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოდიკა (პლასტმასოვანი საღებებისათვის)	130
7.7. გრიბოსისგემების თბური გაანგარიშების საფუძვლები	135
7.8. სრიალის საკისრების კონსტრუქციული პარამეტრები	143
7.9. სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების მეთოდიკა	148
თავი 8. სრიალის საკისრების კონსტრუქციები	
8.1. სრიალის საკისრების გრადიციული კონსტრუქციები პოლიმერული საღებით	154
8.2. დიდგაბარიტის სრიალის საკისრები მოღულური ელემენტებით	158
თავი 9. მასალები ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის	161
9.1. ფერადი ანგიფრიქციული შენაღნობები	163
9.2. ანგიფრიქციული თუჯი	165
9.3. ლითონკერამიკული (ფხვნილოვანი) მასალები	166
9.4. სინთეტიკური პლასტმასები (პოლიმერები)	167
9.5. სხვა არაღლითონური მასალები	172
9.6. თვითღეთვადი ანგიფრიქციული თბომეღეგი პოლიმერული კომპოზიციები	175
ღიგერატურა	177

წ ი ნ ა ს ი ტ ყ ვ ა ო ბ ა

გრიბოგექნიკა მეცნიერული დისციპლინაა, რომელიც უზრუნველყოფს ტექნიკური ობიექტის, კერძოდ, სხვადასხვა დანიშნულების მანქანა-მოწყობილობის საიმედოობას და მის ეფექტურ მუშაობას. იგი შეისწავლის და განიხილავს გრიბოლოგიურ პროცესებთან დაკავშირებულ ფიზიკურ-ქიმიურ, მექანიკურ, ტექნოლოგიურ და კონსტრუქციულ საკითხებს. გრიბოგექნიკა და მისი უფრო ფართო გაგება – გრიბოლოგია მექანიკური მოწყობილობის დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის ერთ-ერთი ძირითადი მეცნიერული საფუძველია. შესაბამისად, გრიბოგექნიკა, როგორც დისციპლინა, არის საინჟინრო კადრების კომპლექსური მომზადების მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილი და, ბუნებრივია, რომ მას ყველა წამყვანი ტექნიკური სასწავლებლის ინჟინერ-მექანიკოსების მომზადების სასწავლო გეგმაში კუთვნილი ადგილი უჭირავს მოგადსაინჟინრო დისციპლინებს შორის.

ნაშრომი განიხილავს მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის ფიზიკურ საფუძვლებს შორის უმთავრესს – გრიბოგექნიკას. ამასთან, უკანასკნელი სრულად შეესატყვისება საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში გრიბოგექნიკის სასწავლო პროგრამას ინჟინერ-მექანიკოსებისათვის. საფიქრებელია, რომ უახლოეს პერიოდში გრიბოგექნიკის, როგორც სასწავლო დისციპლინის, შესწავლა დაიწყება აგრეთვე ქვეყნის სხვა უმაღლეს ტექნიკურ სასწავლებლებში (მსოფლიო პრაქტიკის შესაბამისად, მოსალოდნელია სპეციალისტი გრიბოლოგების გამოშვების დაწყებაც).

მსოფლიოში დღეს არ არის საკამათო გრიბოლოგია-გრიბოგექნიკის საკითხებზე ყურადღების კონცენტრაციის მაღალი ეფექტურობა სახალხო მეურნეობაში. ბოლო ორ ათეულ წელიწადში ყველგან უმარმაზარი ნაბიჯები იქნა გადადგმული. განვითარებული ქვეყნების უმაღლეს, საშულო და სხვადასხვა ტიპის სასწავლებლებში ფართო მასშტაბით დაიწყო გრიბოლოგიის (გრიბოგექნიკის) შესწავლა. დასაბამი მიეცა სპეციალისტების გამოშვებას გრიბოლოგიაში. ამ, ერთის მხრივ, უძველეს და, მეორეს მხრივ, ახალ სამეცნიერო მიმართულებას 60-იან წლებში პირველი და უდიდესი იმპულსი მისცეს ინგლისის სამეცნიერო წრეების წარმომადგენლებმა. სამწუხაროდ, საქართველოში ამ მიმართულებით დღემდე ცოტა რამ არის გაკეთებული. საკითხთა მრავალრგოლიანი ჯაჭვი ჩვენთვის თითქმის არც კი არსებობს, შედეგი კი უდიდესი მატერიალური დანაკარგებია.

ყოველივე განპირობებულია ჩვენი საინჟინრო პერსონალის დაბალი კვალიფიკაციით ამ სფეროში. გრიბოგექნიკის საკითხები არ შეისწავლებოდა და ქვეყნის მექანიკოსი კონსტრუქტორები ვერ ფლობდნენ ხახუნის კვანძების გაანგარიშება-

კონსტრუირების სპეციფიკურ ხელოვნებას. მაღალი კვალიფიკაციის კონსტრუქტორებისთვისაც კი პრობლემურია ხახუნის კვანძებში კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის საკითხი ექსპერიმენტული კვლევის გარეშე; საკმაოდ რთულია დაადგინონ ოპტიმალური კონსტრუქციული პარამეტრები, ცვეთის ინტენსივობა, ოპტიმალური შემშეთი საშუალებები და მეთოდები, დაასაბუთონ გამოყენებული მასალები.

საინჟინრო-ტექნიკური პერსონალის შესაბამისი თეორიული და პრაქტიკული ჩვევების დეფიციტის აღმოფხვრის პრობლემამ ჩვენში დასახა უმნიშვნელოვანესი ამოცანა - უმოკლეს ვადაში ფართოდ დანერგილიყო ქვეყნის უმაღლეს სასწავლებლებში გრიბოლოგია-გრიბოტექნიკის შესწავლა, უზრუნველყოფილიყო იგი შესაბამისი სახელმძღვანელოებით.

მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის ისეთი კონკრეტული საკითხი, როგორიცაა გრიბოტექნიკა, მომავალი ინჟინერ-მექანიკოსების მიერ მხოლოდ ნაწილობრივ, ცალკეულ ნაწილებად შეისწავლებოდა სხვადასხვა სასწავლო დისციპლინებში (მანქანებისა და მექანიზმების თეორიაში, მანქანათა ნაწილებში, მასალათა გამძლეობაში და ა. შ.). ეს ნაშრომი პირველი ცდაა, წარმოგვედგინა იგი მოცემული სახით (არა მარტო ქართულ ენაზე), სადაც დაწვრილებით განიხილება გრიბოტექნიკის თანამედროვე პრობლემები და პრაქტიკული რეკომენდაციები. წიგნი კარგ სამსახურს გაუწევს როგორც მომავალ ინჟინრებსა და ასპირანტებს, ასევე წარმოების მუშაკებსა და მეცნიერებს.

ნაშრომი დაწერილია ავტორთა საკუთარი გამოკვლევებისა და სხვადასხვა ავტორების მიერ მიღებული შედეგების განზოგადების საფუძველზე.

პირველი თავი ეძღვნება გრიბოლოგიისა და გრიბოტექნიკის ზოგად ამოცანებს; მოცემულია გრიბოტექნიკის განვითარების საწყისები და ძირითადი მიმართულებანი, გრიბოტექნიკის ძირითადი ცნებები და განმარტებანი.

მეორე თავში მოცემულია გრიბოტექნიკის თეორიის საფუძვლები, ზედაპირული ფენის მექანიკური თვისებები და სტრუქტურა, მოლეკულური და მექანიკური ურთიერთქმედებანი გრიბოლოგიურ პროცესში, ზედაპირული მექანიკური თვისებების შეფასების “დადებითი გრადიენტის წესის” არსი.

მესამე თავში შეისწავლის და განიხილავს შერჩევითი გადაგანის ეფექტს გრიბოლოგიურ პროცესში; შერჩევითი გადაგანის არსის ახსნასთან ერთად გახსნილია სერვოვიგული აფსკის წარმოქმნის მექანიზმის შემთხვევები და მისი ფიზიკური საფუძვლები; განხილულია ანომალიური მცირე ხახუნის ეფექტი.

მეორეს მხარეში გრიბოლოგიური პროცესები კვალიფიცირებულია შემზღუდვი მასალების მიხედვით, დახასიათებულია შემზღუდვი საშუალებები დანიშნულებისა და თვისებების მიხედვით.

მესამე მხარეში ეძღვნება თხევად შემზღუდვი და მისი ჰიდროდინამიკური თეორიის საფუძვლების შესწავლას, განსასაზღვრია მეთის წნევითი ფენის მიღვის უნარი და ხახუნის პარამეტრები თხევადი შემზღუდვის პირობებში; მოცემულია გრიბოსისტემის თხური გაანგარიშების მეთოდიკა; მოგანილია გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითი.

მეოთხე მხარეში შეისწავლის შემზღუდვის სხვადასხვა სახის სისტემებსა და მეთოდებს; მოცემულია მათი განსხვავებული კონსტრუქციული გადაწყვეტები.

მეხუთხე მხარეში ფუნდამენტურადაა განხილული გრიბოსისტემებისა და, კერძოდ, სრიალის საკისრების გაანგარიშების მეთოდიკა სასაზღვრო და მშრალი ხახუნის დროს; ჩამოთვლილი და დასაბუთებულია გრიბოსისტემების მუშაობის უნარის კრიტერიუმები; მოცემულ თავში განსაკუთრებული ადგილი ეთმობა პლასტმასის სრიალის საკისრებს; მოყვანილია კონტაქტური ამოცანის დასმის საფუძველზე მიღებული სრიალის საკისრების მიღვის უნარის განსაზღვრის განტოლებები და მათი ამოხსნის მეთოდი; წარმოდგენილია სრიალის საკისრებში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრისათვის საჭირო გრაფიკულ-ანალიზური დამოკიდებულებები და საინჟინრო გაანგარიშების მეთოდიკა, საცნობარო მასალები დასაშვები ძაბვების შერჩევისათვის; შემოთავაზებულია გრიბოსისტემების თხური გაანგარიშების მეთოდები; მოცემულია რეკომენდაციები სრიალის საკისრების კონსტრუქციული პარამეტრების შესახებ; მოცემულია სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების მეთოდიკა და მოგანილია სრიალის საკისრების გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითი მშრალი და სასაზღვრო ხახუნის დროს.

მეექვსე მხარეში აღწერილია სრიალის საკისრების კონსტრუქციები პოლიმერული სადებებით. მოცემულია დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისრის პრინციპულად ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტა მოდულური ელემენტებით.

მეშვიდე მხარეში მოიცავს გრიბოლოგიური სისტემებისათვის საჭირო სასაკისრე მასალებს; იძლევა მათ დახასიათებას და სხვადასხვა სფეროში გამოყენების რეკომენდაციებს.

ავტორები დიდად მაღლობელნი დარჩებიან ყველა კრიტიკული შენიშვნისა და წინადადებისათვის, რომელსაც დაიმსახურებს ეს ნაშრომი – გრიბოგექნიკის ქართული სახელმძღვანელოს პირველი გამოცემა.

შენიშვნების გამოგზავნა შეიძლება მისამართზე: 380094, თბილისი, გამსახურდიას ქ. კ. 19, ბ. 58.

*ხახუნი ბუნების საოცარი
ფენომენია! კაცობრიობას მან აჩუქა
სითბო და ცეცხლი, შესაძლებლობა
მცირე ღროში გააჩეროს ჩქაროსნული
მატარებელი და ავტომობილი, ასი
ათასჯერ დააჩქაროს ქიმიური
რეაქცია, ფირზე ჩაწეროს ადამიანის
ხმა, მოუსმინოს ვიოლინოს...*

პროფ. დ. გარკუნოვი

შ ე ს ა მ ა ლ ი

ადამიანმა უხსოვარ ღროშივე ისწავლა ხახუნის დამორჩილების და დამარცხების მრავალი გზა. მაგრამ ხახუნის ბუნება დღეისათვის ერთ-ერთ იღუმალ პროცესად რჩება და სირთულები, რომლებიც მასთანაა დაკავშირებული, კვლავაც ინჟინერთა წინაშე მდგომი ურთულესი პრობლემაა.

კაცობრიობის პროგრესის ხანგრძლივი გზის პირველივე საფეხურზე ადამიანმა აღმოაჩინა, რომ მყარ საგანთა გადაადგილება რაიმე ზედაპირზე ყოველთვის განიცდის გარეშე ძალების წინააღმდეგობას. შესაბამისად, იმთავითვე ცხადი გახდა, რომ სხეულთა ურთიერთგადაადგილებისათვის გარკვეული ენერგია უნდა დახარჯულიყო. ამ წინააღმდეგობის ბუნება კი ადამიანისათვის უცნობი იყო. შემდგომ ცნობილი გახდა, რომ მყარი სხეულების რაიმე ზედაპირზე მოძრაობის წინააღმდეგობის ბუნება ხახუნია, რომელიც სითბოდ გარდაიქმნება. ზოგადად ეს შეიძლება ასე იქნეს განმარტებული: ხახუნი ერთმანეთის მიმართ მოძრავი სხეულების ურთიერთქმედებაა, რომელიც ენერგიის დისიპაციით ხასიათდება.

ხახუნი უფრო ხშირად მაგნე მოვლენაა, რომლის გადასალახად კაცობრიობა ხარჯავდა, ხარჯავს და მომავალშიც დახარჯავს ენერგიის უზარმაზარ რესურსებს. ვინაიდან ეს ენერგია მთლიანად გარდაიქმნება სითბოდ, იგი ახსურებს მანქანა-მექანიზმების ნაწილებსა და კვანძებს. უკანასკნელს, ბუნებრივია, ხშირად მივყავართ მანქანა-მოწყობილობის დამიანებად, მტყუნებამდე. ასევე, ხახუნის მუდმივად თანამდევი პროცესია მანქანათა ნაწილების ცვეთა, რაც, თავის მხრივ, მექანიკური მოწყობილობის დამიანებათა უმთავრესი მიზეზია.

ამასთან, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, დიდია ხახუნის სასარგებლო როლიც. ხახუნის გარეშე წარმოუდგენელია კაცობრიობის ყოველდღიური ცხოვრება.

სხვადასხვა ქვეყნის მეცნიერთა გამოკვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ მანქანათა 70-80%-ის მწყობრიდან გამოსვლა გამოწვეულია ხახუნის კვანძების ცვეთის გამო. შესაბამისად, თითოეული ქვეყნის მასშტაბით მანქანათა რემონტსა და რეაბილიტაციაზე ყოველწლიურად იხარჯება უზარმაზარი თანხები და მატერიალური რესურსები.

აღნიშნული მიზეზების გამო ხახუნზე დახარჯული ენერგიის შემცირება თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის უმნიშვნელოვანესი პრობლემაა. ამასთან, ტრიბოტექნიკის შესწავლისა და კონკრეტულ პრობლემათა რიცხვს მიეკუთვნება ისეთი საკითხები, როგორიცაა: გარე ხახუნის პროცესის არსი და თავისებურებანი; ხახუნის თანამედროვე თეორიები; ხახუნის კოეფიციენტის განსაზღვრის და შემცირების გზები; ახალი პროგრესული ანტიფრიქციული და შემზეთი მასალების შექმნა; საყრდენი კვანძების დაპროექტების საფუძვლები და ახალი კონსტრუქციები.

თ ა ვ ი 1. ტრიბოლოგია და ტრიბოტექნიკა

1.1. განვითარების საწყისები

თანამედროვე ტექნიკის შესაბამისი მანქანების და მოწყობილობის, საიმედოობა-ხანგრძლივობის მაჩვენებლები ძირითადად დამოკიდებულია მათი გრიბოლოგიური სისტემების (ხახუნის კვანძების) პრინციპული, კონსტრუქციულ-ექსპლუატაციური პარამეტრების, ცვეთისა და შემეთვის პირობების, მოხახუნე წყვილების მასალების შერჩევის ოპტიმიზაციაზე. მოყვანილ საკითხებს ფართო მასშტაბით შეისწავლის გრიბოლოგია და გრიბოტექნიკა.

ტრიბოლოგია ახალი მეცნიერული დისციპლინაა ხახუნისა და ცვეთის პროცესების შესახებ. სახელწოდება შედგენილია ბერძნული სიტყვებისაგან tribos – ხახუნი და logos – სიტყვა.

გრიბოლოგია მექანიკურ პროცესებთან ერთად შეისწავლის ხახუნთან დაკავშირებულ ელექტრულ, მაგნიტურ, სითბურ, ქიმიურ და, ასევე, ბიოლოგიურ პროცესებს.

გრიბოლოგიის კვლევის ძირითად ობიექტებს მიეკუთვნება ხახუნის, ცვეთის და შემეთვის პროცესები.

ტრიბოტექნიკა - გრიბოლოგიის ერთ-ერთი სფეროა, რომლის წინაშეც დგას კონკრეტული ამოცანები, დაკავშირებული მანქანათა საიმედოობა-ხანგრძლივობის უზრუნველყოფის დაგეგმვის პროცესთან.

მეორეს მხრივ, გრიბოლოგია შეისწავლის გარე და შიგა ხახუნის პროცესებს, შესაბამისად, მეარი და თხევადი მასალებისათვის, ხოლო გრიბოტექნიკა არის მეცნიერება გრიბოლოგიის პრაქტიკული გამოყენების შესახებ, ხახუნის კვანძების - გრიბოლოგიური სისტემების კონსტრუირების, დამზადებისა და ექსპლუატაციის შესახებ.

გრიბოლოგიის, როგორც მეცნიერების დარგის მიზანია იმ პრინციპების, მეთოდებისა და ტექნიკური საშუალებების შემუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფენ მანქანა-მოწყობილობის საიმედოობა-ხანგრძლივობის ნორმატიულ მაჩვენებლებს.

გრიბოლოგია, როგორც დამოუკიდებელი მეცნიერება, ჩამოყალიბდა წინა საუკუნის 50-60-იან წლებში. ბოლო ათწლეულში შესრულებული სამუშაოების მიხედვით გრიბოლოგიის თეორიულ საფუძვლად მიჩნეულია ისეთი მეცნიერული დარგები, როგორიცაა: ფიზიკა (მასზეა დაფუძნებული თანამედროვე ხახუნის თეორია), ქიმია, მათემატიკა, ლითონ- და მასალათმცოდნეობა, რეოლოგია და თერმოდინამიკა.

ამასთან ერთად, გრიბოლოგია ძველი მეცნიერული მიმართულებაა. გრიბოლოგიის ზოგ კანონებს ადამიანი უხსოვარი დროიდან იცნობდა და იყენებდა. მაგალითად, ხახუნის შედეგად გაჩენილ სითბოს იყენებდა ცეცხლის მიღებისათვის, ხახუნის პროცესებს მძიმე გვირგვინისა და საგნების გასრიალების გზით გრანსპორტირებისათვის. ასეთ შემთხვევაში წვევის ძალას წარმოადგენდნენ ადამიანები და ცხოველები. ამასთან, საგნის გადატანისათვის საჭირო ძალა შეადგენდა საგნის სიმძიმის ძალის 30%-ზე ნაკლებ სიდიდეს. ხახუნის მოვლენების პრაქტიკული გამოყენების მაგალითების გარდა შეიქმნა მეცნიერული, თეორიული შრომებიც.

XV საუკუნის მეორე ნახევარში ლეონარდო და ვინჩის მეცნიერულმა ნააზრევმა მყარი სხეულების ხახუნის საკითხებზე გამოხატულება პოვა იმ დროისათვის საკმაოდ მაღალი დონის მეცნიერულ ნაშრომში, რომელშიც მრავალი მართებული გაანგარიშება და მტკიცებაა მოყვანილი, სადაც ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი იყო მტკიცება სრიალის ხახუნის წინააღმდეგობისა და მოხახუნე გედაპირებზე მოსული ნორმალური დატვირთვის პროპორციულობის ცნება, რითაც ფაქტიურად დასტურდება, რომ ლეონარდო და ვინჩის მიერ ჯერ კიდევ XV საუკუნეში აღმოჩენილი კანონი, რომლის მიხედვითაც ხახუნის ძალა პირდაპირპროპორციულია მოხახუნე გედაპირებისადმი ნორმალურად მიმართული ძალისა. ეს დამოკიდებულება დღესაც ფართოდ გამოიყენება

$$F_j = f F_n , \quad (1.1)$$

სადაც F_j არის ხახუნის ძალა; F_n – ნორმალური ძალა; f – ხახუნის კოეფიციენტი.

ლეონარდო და ვინჩი ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობას მასალების სახის განურჩევლად მიიჩნევდა 0,25-ის გოლ სიდიდედ.

შემდგომ პერიოდში ლეონარდო და ვინჩის ნაშრომი დავიწყებას მიეცა და ახალი ინტერესი გამოიწვია მხოლოდ ორი საუკუნის შემდეგ.

XVII საუკუნის ბოლოს ისააკ ნიუტონმა შეისწავლა შიგა ხახუნის მოვლენები თხევადი შემეტვის დროს და ჩამოაყალიბა კანონი, რომელიც ამყარებს კავშირს თხევადი შემეტვის შიგა ხახუნის წინააღმდეგობასა და ამ წინააღმდეგობის დაძლევისათვის საჭირო ძალას შორის. ლამინირებული დინების ამ კანონით დღესაც სარგებლობენ.

1699 წელს გ. ამონტონმა ფრანგული სამეფო აკადემიის ყოველწლიურ ჟურნალში გამოაქვეყნა ორიგინალური შრომები ხახუნის თეორიის შესახებ. მან ხელახლა აღმოაჩინა ლეონარდო და ვინჩის კარგა ხნის წინათ მივიწყებული კანონი იმის შესახებ,

რომ ხახუნის ძალა არ არის დამოკიდებული მოხახუნე გედაპირის ფართობზე, ხოლო კოეფიციენტი მუდმივია და რიცხობრივად უდრის 0,3-ს.

ორივე ეს კანონი გარკვეული პირობებისათვის დღესაც ფართოდ გამოიყენება და საკმაოდ მუსტ შედეგებსაც იძლევა.

XVIII საუკუნის მეორე ნახევარში შ. კულონმა შეისწავლა აღჰეზიის საკითხები ხახუნის პროცესში და გ. ამონგონის საპირისპიროდ დაასკვნა, რომ საკონტაქტო გედაპირის გამრდა იწვევს ხახუნის წინააღმდეგობის გამრდას. ამასთან, 1778 წელს იგი პირველი გვთავაზობს ხახუნის ძალის ფორმულას ორი წვერის სახით, რომელთაგანაც პირველი A_0 დამოკიდებული არ არის ნორმალური მიმართულების დატვირთვაზე, ხოლო მეორე $K F_h$ დამოკიდებულია უკანასკნელზე:

$$F_j = A_0 + K F_h, \quad (1.2)$$

სადაც A_0 შეჭიდულობის მახასიათებელია და იგი ისევე, როგორც ხახუნის ძალა, არის განგენციალური წინააღმდეგობა და, მისგან განსხვავებით, არ არის დამოკიდებული ნორმალური მიმართულების დატვირთვაზე; * K შეჭიდულობის კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მხოლოდ მოხახუნე გედაპირების თვისებებზე.

სამწუხაროდ, ეს კანონიც მივიწყებული იქნა და საინჟინრო პრაქტიკაში XX საუკუნემდე გამოიყენებოდა მხოლოდ ლეონარდო და ვინჩი – ამონგონის კანონი (რომელიც მოგჯერ არამართებულად დღესაც კულონის კანონად იწოდება საინჟინრო პრაქტიკაში). თავად შ. კულონმა XVIII საუკუნის ბოლოს გამოაქვეყნა ცნობილი შრომა „უბრალო მანქანების თეორია“, სადაც ეფექტურად იყო ილუსტრირებული ავტორის წარმოდგენა კონტაქტის შედეგად რელიეფური გედაპირების შეჭიდულობის წინააღმდეგობაზე. ამ მეცნიერული გააზრების საფუძველზე შ. კულონმა გააკეთა დასკვნა ხახუნის პროცესში ენერგიის გაფანტვის შესახებ.

XIX საუკუნის მორე ნახევარში ბ. ტაუერმა შემთხვევით აღმოაჩინა, რომ გარკვეულ პირობებში, გარკვეული კონსტრუქციულ-ექსპლუატაციური პარამეტრების დროს მეთის ფენების ფარდობითი გადაადგილების შედეგად აღმოცენდება მეთის დინამიკური წნევა, რომელმაც შეიძლება ფრიალ დაღებითი როლი ითამაშოს ხახუნის პროცესში.

* შეჭიდულობის კოეფიციენტი არის ორი სხეულის უძრავობის უდიდესი ხახუნის ძალის ფარდობა იმ ერთმანეთზე მიჭერის ძალასთან, რომელიც მოხახუნე გედაპირების ნორმალური მიმართულებისაა.

რეინოლდსმა დაასაბუთა, რომ ბ. ტაუერის ცდების საფუძველზე შემჩნეული მოვლენა არის ჰიდროდინამიკური ხასიათისა და მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გეთის სიბლანგეზე. მანვე 1886 წელს დაამუშავა შებეთვის ჰიდროდინამიკური თეორია.

ნ. პეგროვმა დაახლოებით იმავე პერიოდში რეინოლდსისგან დამოუკიდებლად ჩამოაყალიბა ჰიდროდინამიკის საკითხები ნაშრომში - „ხახუნი მანქანებში და შემზეთი სითხის გავლენა მასზე“.

XX საუკუნის დასაწყისისათვის ტექნიკის სფეროში მცენარეული და ცხოველური გეთები თანდათანობით გამოდევნილ იქნა მინერალური გეთებით, რომელიც ემყარებოდა ნავთობგადამამუშავებელი მრეწველობის შემდგომ აღმავლობას და, რაც მთავარია, განსაზღვრული შებეთვის დროს შემზეთი ფენის შენარჩუნების სხვადასხვაგვარ შესაძლებლობებს. 1936 წ. უ. ჰარდიმ („რჩეული შრომები“) შეისწავლა ეს საკითხი და განსაზღვრული შებეთვის თეორიის საფუძვლებთან ერთად ჩამოაყალიბა სასაზღვრო ფენის სტრუქტურის კონცეფცია. სასაზღვრო ხახუნის და მყარი სხეულების ხახუნის პრობლემებს შეისწავლიდა აგრეთვე ფ. ბოუდენი.

ხახუნის და ცვეთის პროცესების კვლევა უფრო მაღალ საფეხურზე აიყვანეს საბჭოთა პერიოდის მეცნიერებმა: პ. რეზინდერმა, ვ. კუზნეცოვმა, ი. კრაგელსკიმ, დ. გარკუნოვმა, მ. ხრუშოვმა, ა. ბელიმ, ა. ჭიჭინაძემ. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს ი. კრაგელსკის როლი, რომლის ფუნდამენტურმა შრომებმა ხახუნის თეორიაში მსოფლიო აღიარება მოიპოვა და რომელიც „კრაგელსკის თეორიითაა“ ცნობილი და თარგმნილია მსოფლიოს მრავალ ენაზე.

ფართო ინტერესი გამოიწვია ხახუნის თეორიაში დ. გარკუნოვის ორიგინალურმა შრომებმა, რომლებიც საბჭოთა კავშირის შესაბამისი კომიტეტის მიერ რეგისტრირებული იქნა, როგორც აღმოჩენები. და მაინც, უახლოეს პერიოდში ხახუნის დარგში ერთ-ერთი ყველაზე თვალსაჩინო როლი ითამაშეს ინგლისელმა მკვლევრებმა. მათი მეცადინეობით მსოფლიო მეცნიერული პროგრესის ახლანდელ პროცესში სხვაგვარად გამოიყო და შეფასდა გრიბოლოგიის (გრიბოტექნიკის) საკითხები.

თვით გერმინიც „გრიბოლოგია“ პირველად გამოყენებული იქნა ინგლისელი ექსპერტების მიერ, როდესაც მათ დიდი ბრიტანეთის პარლამენტს წარუდგინეს მოხსენებითი ბარათი ქვეყანაში შებეთვის პრობლემების შესახებ.

ფრიად მნიშვნელოვან წამოწყებათა ავტორად წარმოგვიდგინა თავი დიდი ბრიტანეთის განათლებისა და მეცნიერების მინისტრმა ლორდმა ფ. ბოუდენმა, როდესაც მან 1964 წელს აუცილებლად მიიჩნია გამოეკვლიათ და გაეანალიზებინათ მანქანათა შებეთვის პირობები და მასთან დამოკიდებული საკითხები, როგორც ქვეყნის სახალხო მეურნეობის წინსვლის ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური ამოცანა. აღნიშნულის შედეგად

პროფ. ნ. პ. ჯოსტის ხელმძღვანელობით შეიქმნა სპეციალისტების სამუშაო ჯგუფი, რომელმაც შეაჯამა შესრულებული სამუშაოს შედეგები და 1966 წელს გამოაქვეყნა იგი. გამოქვეყნებული ანგარიშის საფუძველზე დასახული ღონისძიებათა ფორმა და შინაარსი პირველად ისტორიაში ჯეროვნად აფასებდა მანქანათა შეზეთვის როლს სახალხო მეურნეობაში. მაგალითად, ამ ჯგუფის დასკვნით დიდი ბრიტანეთის საბჭოთა მეურნეობის გაუმჯობესებამ შესაძლებელი გახდა ქვეყანას დაემოგა ნახევარი მილიარდი ფუნტი სტერლინგი. ამ ანგარიშში გამოვლენილი იქნა ფაქტორები, რომელთა შორისაც უმნიშვნელოვანესად მიიჩნეოდა როგორც მომსახურე პერსონალის, ასევე დამპროექტებლების ცოდნის დაბალი თეორიული და პრაქტიკული ღონე გრიბოტექნიკის სფეროში, გრიბოლოგიის სპეციალისტთა დეფიციტი.

ამასთან დაკავშირებით სამუშაო ჯგუფი წინადადებას იძლეოდა დაწყებულიყო გრიბოლოგიის საფუძვლიანი შესწავლა ყველა ღონეზე, რისთვისაც უნდა შექმნილიყო სპეციალური დანიშნულების ინსტიტუტები, უნდა შეცვლილიყო ტექნიკისა და ინჟინერ-მშენებლების სტატუსი, მომატებულიყო ხელფასი, შემოღებულიყო უფრო მაღალი საკვალიფიკაციო ჯგუფები და პროფესიული წოდება – გრიბოლოგი. ამავდროულად, ყოფილ საბჭოთა კავშირში ღონისძიებათა ნუსხა ვერ გასცდა რამდენიმე ფორმალური სახის საზოგადოებისა და ლიგერატურის უმნიშვნელო მასშტაბით გამოჩენას გრიბოლოგია-გრიბოტექნიკაში.

კიდევ უფრო სავალალო მდგომარეობაა ჩვენს ქვეყანაში, სადაც შეზეთვის გლობალური და აქტუალური საკითხები მრავალი დარგისათვის ძალიან ხშირად ყველაზე დაბალი კვალიფიკაციის მუშის პრიმიტიულ საქმიანობადაა წარმოდგენილი. დღევანდლამდე რესპუბლიკის უმაღლესი და საშუალო განათლების სასწავლებლებიდან მხოლოდ სტუ-ს ზოგიერთ სპეციალობაზე, ისიც შემღუდული მოცულობით შეისწავლება დისციპლინა გრიბოლოგია ან, როგორც უწოდებენ, გრიბოტექნიკა, მაშინ, როდესაც ამერიკის შეერთებული შტატების, გერმანიის, დიდი ბრიტანეთის უნივერსიტეტები დღეს ფართო პროფილით ამზადებენ სპეციალისტებს გრიბოლოგიაში.

12. ძირითადი ცნებები და განმარტებანი

მოვიყვანოთ გრიბოლოგიაში (გრიბოტექნიკაში) გამოყენებული ძირითადი ცნებები განმარტებით, რომელთა უმრავლესობაც დიდი ხანია არის ცნობილი და კლასიკურ ხასიათს აგარებს. გრიბოტექნიკის რიგი ტერმინები, რომელთა საერთო

რიცხვია 97, ყოფილი საბჭოთა კავშირის ეკონომიურ სივრცეში კლასიფიცირებული და სტანდარტიზებული იყო სახელმწიფო სტანდარტით.

გარეგან ხახუნად, უფრო ხშირად - ხახუნად პირობითად იწოდება მექანიკური წინააღმდეგობის მოვლენა, რომელიც წარმოიშობა ორი სხეულის ერთმანეთზე მიჭერისა და შეხების სიბრტყეში გედაპირების ტანგენციალური მიმართულებით ფარდობითი გადაადგილების დროს და რომელსაც თან ახლავს ენერგიის დისიპაცია (გაფანტვა). წინააღმდეგობის ამ ძალას ხახუნის ძალას უწოდებენ და იგი აღინიშნება F_f -ით, რომელიც მიმართულია სხეულის გადაადგილების საწინააღმდეგოდ.

ასევე არსებობს ხახუნის უფრო მოგადი განმარტება – ხახუნი არის მოვლენათა კომპლექსი ორი ურთიერთგადაადგილებადი სხეულის გედაპირების კონტაქტის ზონაში, რის შედეგადაც ამ ზონაში წარმოიშობა კონტაქტური ძალები [21].

მოხახუნე სხეულებს შორის ფარდობითი მოძრაობის არსებობის ან არარსებობის მიხედვით განასხვავებენ უძრაობის და მოძრაობის ხახუნს; სხეულების ურთიერთფარდობითი მოძრაობის ხასიათის მიხედვით - სრიალისა და გორვის ხახუნს.

უძრაობის ხახუნი ხშირად სტატიკურ ხახუნადაც იწოდება და იგი ორი სხეულის ხახუნია ერთმანეთის მიმართ მიკროგადაადგილების მომენტში, მოძრაობის დაწყებამდე.

მოძრაობის (კინეტიკური) ხახუნი იმ ორი სხეულის ხახუნია, რომლებიც ერთმანეთის მიმართ მოძრაობენ.

სრიალის ხახუნი ისეთი მოძრაობის ხახუნია, როდესაც სხეულების შეხების წერტილში მათი მოძრაობის სიჩქარე სხვადასხვაა სიდიდით და მიმართულებით, ან მარტო სიდიდით, ან მარტო მიმართულებით:

გორვის ხახუნი – მოძრაობის ხახუნია ისეთი მყარი სხეულებისათვის, როდესაც მათი სიჩქარეები თეორიული შეხების წერტილში ერთნაირია სიდიდით და მიმართულებით.

ხახუნის ძირითად რიცხობრივ მაჩვენებლად მიჩნეულია ხახუნის ძალა და ხახუნის კოეფიციენტი.

ხახუნის კოეფიციენტი წარმოადგენს ორი მოხახუნე სხეულის მოძრაობის შედეგად წარმოქმნილი ხახუნის ძალისა და ერთმანეთზე მიჭერის ნორმალური ძალის ფარდობას.

შესაბამისად, სრიალის ხახუნის ძალა დღესაც წარმატებით შეიძლება გამოისახოს ჩვენთვის უკვე ნაცნობი 1.1 დამოკიდებულებით ($F_f = f F_n$).

ტრიბოტექნიკის კლასიკური კანონების ჩამოყალიბება შეუზღუდავი სრიალის ხახუნის პირობებში შესაძლებელი იყო და ფაქტიურად ჩამოყალიბდა კიდევ ჯერ კიდევ XV საუკუნეში ლეონარდო და ვინჩის შრომების საფუძველზე შემდეგი სახით:

1. ხახუნის ძალა პროპორციულია მოხახუნე გედაპირებზე მოსული ნორმალური დატვირთვისა.

2. ხახუნის კოეფიციენტი არ არის დამოკიდებული მოხახუნე გედაპირების ნომინალურ საკონტაქტო ფართობზე.

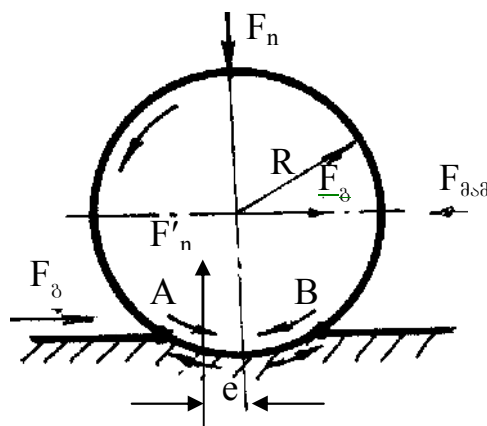
3. უძრაობის ხახუნის კოეფიციენტი აღემატება მოძრაობის ხახუნის კოეფიციენტს.

4. ხახუნის კოეფიციენტი არ არის სრიალის სიჩქარეზე დამოკიდებული.

მრავალმხრივმა კვლევამ თანამედროვე პირობებში გააანალიზა კლასიკური კანონების სასაზღვრო პირობები და გამოიგანა დასკვნა, რომ I, II და III კანონები სამართლიანია უმრავლეს საინჟინრო-სამანქანათმშენებლო პრაქტიკაში არსებული პირობებისათვის, გარდა იმ შემთხვევებისა, როცა ძალიან დიდი დატვირთვების დროს ფაქტიური საკონტაქტო ფართობი ნომინალურს უახლოვდება. IV კანონი ხშირად არ იძლევა ზუსტ შედეგებს ბლანგ-დრეკადი მასალებისათვის (პოლიმერები, ელასტომერები და მოგიერთი ფერადი ლითონი).

ახლა ჩამოვყალიბოთ გორვის ხახუნის ფიზიკური არსი. იგი შემდეგში გამოიხატება:

დეფორმირებადი ცილინდრისა და სიბრტყის ურთერთგეგმელების შედეგად წარმოქმნილი საკონტაქტო უბნის სასაზღვრო წერტილებია A და B. ცილინდრული სხეული ამ უბანზე იკუმშება, ხოლო სიბრტყე იმავე უბანზე იჭიმება. ეს იმას ნიშნავს, რომ სიბრტყეზე ცილინდრის თანაბარი სიჩქარით გადაგორების დროს მის A და B წერტილებს აქვთ ერთმანეთთან მიახლოების ტენდენცია, ხოლო სიბრტყის შესაბამის A და B წერტილებს – ერთმანეთთან დაშორების. ამ პირობებს მივყავართ იმ გარემოებასთან, რომ გვაქვს ცილინდრისა და სიბრტყის გედაპირების ფარდობით გადაადგილება, სრიალი.



ნახ. 1.1. გორვის ხახუნის წარმოდგენის სქემა

თვისობრივად ასეთი ხასიათის ხახუნია მანქანათა მთელ რიგ კვანძებში. მაგალითად, ბურთულებიან და გორგოლაჭებიან საკისრებში, კბილანებში, შეუღლებებში – ბორბალი-ლიანდაგი.

1.1 ნახ-ზე წარმოდგენილი სქემის მიხედვით, წონასწორობის პირობიდან გამომდინარე,

$$F_{\delta} = F_{\text{მამ}}, \quad (1.3)$$

სადაც F_{δ} გორვის ხახუნის ძალაა; $F_{\text{მამ}}$ – მამოდრავებელი ძალა.

მაშინ მამოდრავებელი მომენტი ტოლი იქნება

$$M = F_{\text{მამ}} \cdot R, \quad (1.4)$$

სადაც R საგორავის რადიუსია.

მოცემულ პირობებში მამოდრავებელი მომენტის გაწონასწორება ხდება გორვის ხახუნის ძალით

$$F_{\delta} = f_{\delta} \cdot F_n \quad (1.5)$$

შესაბამისად, გორვის ხახუნის კოეფიციენტი შეიძლება გამოისახოს როგორც მამოდრავებელი მომენტის (M) ფარდობა ნორმალურ ძალასთან (F_n)

$$f_{\delta} = \frac{M}{F_n} = \frac{F_{\text{მამ}} \cdot R}{F_n} = \frac{F_{\delta} \cdot R}{F_n}, \quad (1.6)$$

საიდანაც

$$F_{\delta} = \frac{f_{\delta} \cdot F_n}{R}. \quad (1.7)$$

მეორეს მხრივ, ნორმალური რეაქცია F_n ღერძიდან გადანაცვლებულია რაღაც e მანძილით, რის შესაბამისადაც რეაქციული მომენტი $M' = F_n' \cdot e$. ბუნებრივია, რომ როცა $M' = M$ და $F_n' = F_n$

$$F_n' \cdot e = F_{\delta} \cdot R \quad (1.8)$$

და

$$e = \frac{F_{\delta} \cdot R}{F_n}. \quad (1.9)$$

(1.7)-ის გათვალისწინებით

$$e = f_{\delta} \cdot R.$$

გორვის ხახუნის კოეფიციენტს აქვს საზოგადო განზომილება, გეომეტრიულად წარმოადგენს შეკუმშვის ზონის ნაწილის ნახევარქორდას და რიცხობრივად უდრის e -ს. გორვის ხახუნის კოეფიციენტის სიდიდე დამოკიდებულია დეტალის მასალის დრეკად

თვისებებზე. კერძოდ, იმ შემთხვევაში, მასალას აქვს მაღალი მექანიკური თვისებები, მცირეა ქორდის სიდიდე, შესაბამისად, მცირეა გორვის ხახუნის კოეფიციენტი და ძალა.

შემშეთი მასალის გამოყენების მიხედვით განასხვავებენ შეუმეთავ და შეშეთით ხახუნს. ხახუნი შეშეთის გარეშე იწოდება და განიხილება, როგორც მშრალი ხახუნი. ხახუნი შემშეთი მასალის გამოყენების რაოდენობის მიხედვით შეიძლება განიხილებოდეს როგორც სასაზღვრო ხახუნი (როცა მოხახუნე გედაპირები ზეთის შეზღუდული რაოდენობის თხელი ფენითაა დაფარული), ან როგორც თხევადი ხახუნი (როცა მოხახუნე გედაპირებს შორის არსებობს ზეთის გარკვეული სისქის ფენა). ყველა სხვა ზემოთ განხილული გრიბოლოგიური პროცესი სხეულის ურთიერთმოქმედების გარე ხახუნის ვარიანტებია. ამავდროულად შიგა ხახუნის ყველაზე უფრო თვალსაჩინო მაგალითია გრიბოლოგიური სისტემა თხევადი შეშეთით. ასეთი სახის ხახუნი ჰიდროდინამიკური შეშეთის პირობები ითვალისწინებს შეუღლებული დეტალების განცალკევებას და, სათანადოდ, მათ უშუალო კონტაქტში არყოფნას. ამიტომ შესაბამის პირობებში ხახუნი წარმოადგენს ზეთის ფენებს შორის წინააღმდეგობას მათი ერთმანეთის მიმართ გადაადგილების დროს და, ბუნებრივია, ხახუნის კოეფიციენტი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ზეთის სიბლანტეზე.

მყარ სხეულებში ხახუნი სხეულის შიგნით შესაძლებელია გარე ხახუნთან ერთად. ამასთან, იგი ხასიათდება სითბოს გამოყოფით და განპირობებულია სხეულისადმი გარე მექანიკური ენერგიის მინიჭებით. საინჟინრო პრაქტიკაში მყარ სხეულებში შიგა ხახუნის არამრავალრიცხოვანი მაგალითებიდან ერთ-ერთია ის, რომ ლითონების და ზოგი სხვა მასალის ჭრით დამუშავების დროს გედაპირების ქვეშ, დეტალის სიღრმეში შეინიშნება მასალის გადახურება და შესაბამისი სტრუქტურული ცვლილებები.

1.3. განვითარების ძირითადი მიმართულებანი

გრიბოტექნიკის, როგორც მეცნიერული დარგის არსის სრული ახსნა მნიშვნელოვანწილადაა განპირობებული რიგ ერთმანეთისაგან განსხვავებული მეცნიერების მრავალმხრივი შესწავლით. ფიზიკა, მათემატიკა, ქიმია, ელექტრობა, ლითონ- და მასალათმცოდნეობა – ეს ის მეცნიერული დარგებია, რომლებიც, თავის მხრივ, წარმოადგენენ დამოუკიდებელი კვლევის ობიექტებს, ცალკეულ აქტუალურ პრობლემათა კომპლექსებს გრიბოტექნიკის საფუძვლების შესწავლის ფონზე.

ქვემოთ მოგვყავს გრიბოტექნიკის, როგორც მეცნიერული დარგის, ძირითადი შემადგენელი ნაწილები და განვითარების მიმართულებანი.

1. მყარი სხეულების კონტაქტების ფიზიკურ-ქიმიური მექანიკა მათი ურთიერთსრიალის და გორვის დროს.
2. მშრალი, სასაზღვრო და თხევადი ხახუნის კვლევა და მის საფუძველზე გაანგარიშების საინჟინრო მეთოდების შექმნა აღნიშნული ხახუნის სახეების შეფასებისათვის.
3. ცვეთის კვლევა და მანქანათა ნაწილების ცვეთაზე გაანგარიშების მეთოდების შექმნა.
4. ხახუნისა და ცვეთის სითბური დინამიკა.
5. ხახუნისა და ცვეთის სისტემური ანალიზი და მოდელირება.

ამასთან, საჭიროა ხაზი გაესვას ტრიბოტექნიკის მთავარ მეცნიერულ ამოცანებს, უმნიშვნელოვანეს პრობლემურ საკითხთა რიგს, რომელთა შორისაა:

- „უცვეთი“ ტრიბოლოგიური სისტემების (ხახუნის კვანძების) შექმნა;
- ახალი პროგრესული ცვეთამედეგი ანტიფრიქციული და ფრიქციული მასალების შექმნა;
- მანქანათა ნაწილების დაცვა წყალბადოვანი ცვეთისაგან;
- არააბრაზიული საფინიშო ოპერაციების შემუშავება;
- პრინციპულად ახალი, ავტომატიზებული შემეტვის სისტემის შექმნა;
- სპეციალისტების მომზადება ტრიბოტექნიკაში.

ტრიბოტექნიკის პრაქტიკულად აქტუალურ საინჟინრო საკითხებს განეკუთვნება:

- ტრიბოლოგიური სისტემების საიმედოობის, კერძოდ, ხანგამძლეობის მაჩვენებლების გაზრდა და პროგნოზირება;
- ტრიბოლოგიური სისტემების მუშაობის უნარის გაზრდა ღიდ ტემპერატურულ დიაპაზონში;
- ტრიბოლოგიურ სისტემებზე მოსული ხვედრითი დატვირთვების გაზრდა, კონსტრუქციული პარამეტრების ოპტიმიზაცია;
- ტრიბოლოგიურ სისტემაში დასაშვები ფარდობითი სრიალის სიჩქარის გაზრდა;
- მინიმალური ხახუნის წინააღმდეგობის უზრუნველყოფა საკისრების შემთხვევაში და მაქსიმალურისა – მუხრუჭების შემთხვევაში;

ყველა ზემოთ ხსენებული მთავარი მეცნიერული ამოცანის გადაწყვეტა ითვალისწინებს ფუნდამენტური, თეორიული საფუძვლებისა და რთული ექსპერიმენტული მოწყობილობისა და გაანგარიშებათა მეთოდების დამუშავებას. ამ კომპლექსური თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ობიექტებად იგულისხმება:

- მოხახუნე მუშა ზედაპირული ფენების თვისებათა საფუძვლიანი შესწავლა;
- „შერჩევითი გადატანის“ ეფექტის გამოყენების სფეროების გაფართოება;

- საშეთი მასალების თვისებათა მაჩვენებლების რეგულირება და მათი პოტენციური შესაძლებლობების რადიკალური შეცვლა ახალი მისართების გამოყენების მეშვეობით;
- მცირე სიბლანტის თხევადი შემზეთი მასალები;
- აიროვანი ნივთიერებების გამოყენება შემზეთ მასალად;
- მყარი და ფხვნილოვანი შემზეთი მასალები;
- ახალი ანტიფრიქციული და ფრიქციული მასალები სხვადასხვა გარემოში ექსპლუატაციის დროს.

აღნიშნულის შედეგად გრიბოტექნიკაში მეცნიერულ-ტექნიკური პროგრესის შემდგომ ეტაპად მიიჩნევა მანქანა-მოწყობილობის ხახუნისა და ცვეთის პროცესების მართვა ექსპლუატაციის სხვადასხვა პირობებში.

ზემოთ მოყვანილ ღონისძიებათა რეალიზაცია სახალხო მეურნეობაში მეცნიერებისა და ინჟინრებისაგან მოითხოვს გრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუირების ახალი პრინციპების დანერგვას. საჭირო ხდება თითქმის ყველა დარგის მანქანათმშენებლობაში უარი ეთქვათ გრიბოლოგიური სისტემების გაანგარიშების გრადიციულ მეთოდებზე, როდესაც ხახუნის ძალებისა და მომენტების განსაზღვრისას იგულისხმება ხახუნის კოეფიციენტისა და ცვეთის ინტენსივობის მუდმივი მნიშვნელობები; გაანგარიშებისას, როგორც წესი, გათვალისწინებული უნდა იქნეს ხახუნის კოეფიციენტის და ცვეთის ინტენსივობის დამოკიდებულება კვანძის მუშაობის რეჟიმის ისეთ პარამეტრებთან, როგორიცაა: სრიალის სიჩქარე, რადიალური დატვირთვა, დაკონტაქტების გეომეტრია, გარემო პირობების გავლენა, თბოგადაცემის პირობები, კონსტრუქციული პარამეტრები, მუშა ტემპერატურა, ნარჩენი დეფორმაციები და სხვა ფაქტორები.

საანგარიშო მეთოდები უნდა იძლეოდნენ შესაძლებლობას, საკონტაქტო ზონებში გაანგარიშებულ იქნეს საკონტაქტო დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობები (აღნიშნულ საკითხებს მეტი ყურადღება უნდა მიექცეს ხახუნის კვანძებში არალითონური სადებების გამოყენების დროს). ყოველივე უნდა შესრულდეს დინამიკური და ტემპერატურული რეჟიმების გათვალისწინებით. კონტაქტური ამოცანები გადაწყვეტილი უნდა იქნას სივრცეში.

პრაქტიკაში ხახუნის და ცვეთის საინჟინრო გაანგარიშებებს უნდა მოეთხოვებოდეს დიდი სიზუსტე და საიმედოობა. იგი უნდა აღემატებოდეს ჩვეულებრივი მანქანათა დეტალებისადმი მოთხოვნებს, სადაც მათი მარაგი სიმტკიცეზე აიღება 2...3 ბლვრებში. შედეგად უნდა შემუშავდეს საიმედო კონკრეტული საინჟინრო საანგარიშო მეთოდები, რომლებიც უზრუნველყოფენ გრიბოლოგიური სისტემის სამსახურის ვადის

განსაზღვრას საჭირო სიზუსტით მშრალი და სასაზღვრო ხახუნის დროს, აგრეთვე, შემუშავდეს თანამედროვე ტექნიკურ მიღწევათა გამოყენებით ჰიდროდინამიკური, ელასტიკურ-დინამიკური და აიროვანი შემეთვის პირობებში მძიმედ დატვირთული სრიალის და გორვის საკისრების, კბილანური გადაცემის, სახსრების, ცილინდრ-დგუშოვანი წყვილების, მიმართულების და სხვა ხახუნის კვანძების გაანგარიშების მეთოდები.

განსაკუთრებული მნიშვნელობა უნდა მიექცეს ტრიბოლოგიურ პროცესებს კვანძებში, სადაც სადებ მასალად გამოყენებულია პოლიმერული მასალები და კომპოზიციები მათ საფუძველზე; ტრიბოლოგიური სისტემების გამოცდების იმ დაჩქარებული მეთოდების შემუშავებას, რომლებიც დაფუძნებულია მეცნიერების თანამედროვე მიღწევათა ღონებე პროცესების მათემატიკური, ფიზიკური, ანალოგიური მოდელირებით.

ტრიბოტექნიკის შემდგომი განვითარების პროცესში განსაკუთრებული როლი ენიჭება სამეცნიერო და საინჟინრო-ტექნიკური კადრების მომზადებას. ტრიბოტექნიკის საფუძვლების ცოდნა ღღეს აუცილებელი პირობა ხდება ყველა პროფილის ინჟინერ-მექანიკოსის მომზადებისათვის, ვინაიდან მხოლოდ იგი აძლევს ინჟინერს საშუალებას, რომ:

- სწორად გაიანგარიშოს მოძრავი შეერთებები, შეარჩიოს კვანძის კონსტრუქციული პარამეტრები და შემეთვის სისტემა, დანიშნოს კვანძისათვის მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმი, განსაზღვროს საიმედოობის ძირითადი მაჩვენებლები და სხვა ამგვარი საკითხები მანქანის კონსტრუირების პროცესში;

- შეარჩიოს ეფექტური ტექნოლოგიური პროცესები მანქანების დამზადების პროცესში;
- უზრუნველყოს, არეგულიროს ან ადაღინოს ეკონომიკურად გამართლებული მუშა პროცესები შესასრულებელი სამუშაოს და შექმნილი პირობების მიხედვით მანქანათა ფუნქციონირება-ექსპლუატაციის დროს.

სამწუხაროდ, ამ მიმართულებით ჩვენს ქვეყანაში სამუშაოები ფაქტიურად ჯერ არ დაწყებულა და იგი სასწრაფოდ გადასაწყვეტი ამოცანაა.

დაბოლოს, საჭიროა მომავალი და მოქმედი სახალხო მეურნეობის სპეციალისტებისათვის ცნობად იქნას მიღებული, რომ დღეისათვის ჯერ კიდევ ფართოდ ცნობილი ტერმინების – „ხახუნის კვანძის“ და „ხახუნის პროცესის“ ნაცვლად უახლესი სამეცნიერო-ტექნიკური ლიტერატურა იწყებს ახალი, შედარებით უფრო ღრმა ცნებების, შესაბამისად, „ტრიბოლოგიური სისტემის“ და „ტრიბოლოგიური პროცესის“ ხმარებას.

ამასთან, გრიბოლოგიურ სისტემად მიჩნეულია დეტალი ან დეტალების ერთობლიობა, რომელიც გამოყოფილია გარემოდან ფიზიკურად ან წარმოსახვით [21], ხოლო გრიბოლოგიურ პროცესად – გრიბოლოგიური სისტემის შემადგენელი დეტალების თვისებათა შეცვლის თანმიმდევრობა დროში.

მოცემულ ეტაპზე დასაშვებად მიგვაჩნია როგორც ძველი, ისე ახალი განსაზღვრებით სარგებლობა.

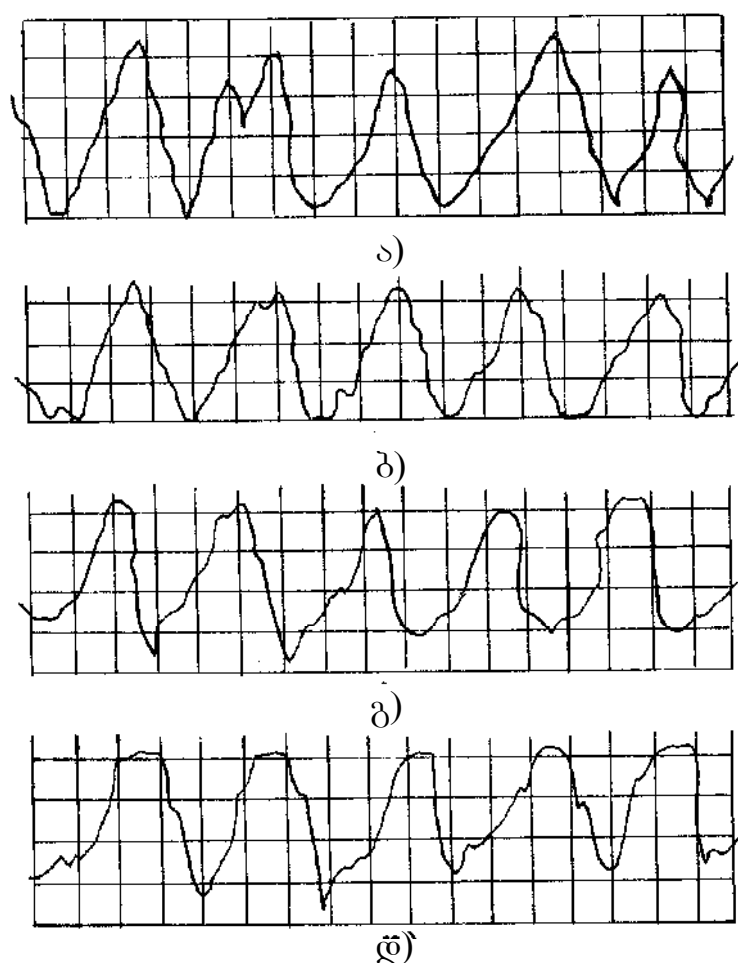
თავი 2. ტრიბოტექნიკის თეორიის საფუძვლები

2.1. ძირითადი თეორიული ცნებები და პარამეტრები

ტრიბოლოგიური პროცესის სრული შეფასებისათვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მომენტი ის, რომ რაოდენობრივად და თვისობრივად სწორად იქნეს შეფასებული ნორმალური ძალებით გამოწვეული დაწნევა მოხახუნე ზედაპირებზე, რისთვისაც აუცილებელია შეუღლებული დეტალების საკონტაქტო ფართობის განსაზღვრა.

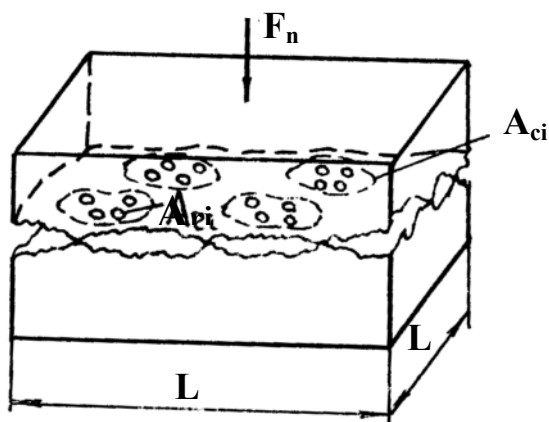
ორი ერთმანეთზე დადებული ბრტყელი მყარი სხეულის რეალური ზედაპირები, გარდა ლოკალური სიმქისისა, ხასიათდებიან გალღურობითაც, რომლებიც თავდაპირველად სამ წერტილში ეხებიან ერთმანეთს.

სახელმწიფო სტანდარტი *ГОСТ 2789-73*-ისა და ეკონომიკური ურთიერთდახმარების საბჭოს ქვეყნების სტანდარტი *СТ СЭВ 638-77*-ის შესაბამისად სიმქისედ იგულისხმება ის უსწორმასწორობანი, რომელთა ბიჯი არ აღემატება 800 მკმ-ს, სიმაღლე 0,03-დან 400 მკმ-მდეა, ხოლო გალღურობად მიიჩნევა ის უსწორმასწორობა, როცა ბიჯის ფარდობა სიმაღლესთან ≥ 40 .

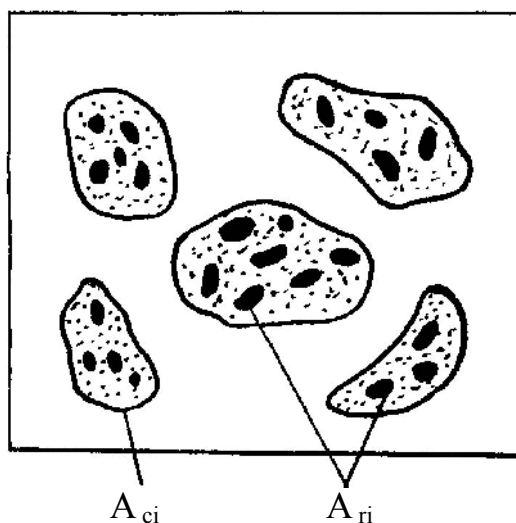


ნახ. 2.1. ფოლადის გაჩარხული ზედაპირის პროფილოგრამა იოჰანსონის ფილასთან შეხების შემდეგ. კონტურული წნევა, მპა: ა-0; ბ-50; გ-200; დ-350 [10]

დაგვირთვის თანდათანობითი მოდების შემდეგ შეუღლებული გედაპირები ერთმანეთს უახლოვდებიან და კონტაქტში შედიან უფრო მეტი ცალკეული ბორცვებით, რის შედეგადაც ღივდება შვერების მოთელილი ფართობი. გასაგები მიზეზების გამო გალლის ის ნაწილი, რომელიც შეესაბამება დადაბლებულ ადგილებს, განიცდის დრეკადი სახის, ხოლო შვერები – პლასტიკურ დეფორმაციებს. დრეკად დეფორმაციებს განიცდის სხეულის ის ნაწილები, სადაც ძაბვა არ აღემატება მასალის დენადობის ზღვარს (ნახ. 2.1). რეალური გედაპირების მოთელილი შვერები გალურ ბორცვებზე ქმნიან კონტურულ ფართობებს, რომლებიც, თავის მხრივ, წარმოადგენენ შვერების კონტაქტების ერთობლიობას. ექსპერიმენტულად ეს მოვლენა მკაფიოდ წარმოჩნდება გედაპირების შეუღლების „სადებავის“ მეთოდით შეფასების დროს, როცა საკონტაქტო ადგილებს ლაქით გამოარჩევენ ხოლმე (ნახ.2.2, 2.3).



ნახ. 2.2. გედაპირების დაკონტაქტების სქემა



ნახ. 2.3. საკონტაქტო ფართობის გრაფიკული მოდელი

გემოთ აღნიშნულის თანახმად, განასხვავებენ შემდეგი სახის საკონტაქტო ფართობებს:

1. ნომინალური საკონტაქტო ფართობი $A = l \times l$, სადაც l მუშა გედაპირის გაბარიტული ზომაა, გამოითვლება ტალღურობის გაუთვალისწინებლად, როგორც გეომეტრიული ფართობი.

2. კონტურული შეხების ფართობი A_c , რომელიც წარმოიქმნება სხეულების მოცულობითი მოთელვით და რომელიც განპირობებულია რეალური გედაპირების ტალღურობით. ამასთან, შეხების ფაქტიური წერტილები განლაგებულია კონტურულ ფართობზე. თავის მხრივ, კონტურული ფართობი დამოკიდებულია როგორც გედაპირის პროფილის გეომეტრიულ პარამეტრებზე, ასევე დატვირთვის სიდიდეზე.

შეხების კონტურული ფართობი მთელი სხეულისათვის გამოითვლება შემდეგი გოლობით:

$$A_c = \sum_{i=1}^m A_{ci}, \quad (2.1)$$

სადაც m კონტურული ფართობების რიცხვია; A_{ci} – ცალკეული i -ური კონტურის ფართობი.

3. სხეულის შეხების ფაქტიური (ფიზიკური) საერთო ფართობი A_r წარმოადგენს სხეულის მცირე ფაქტობრივი კონტაქტების ფართობთა ჯამს. შეხების ფაქტობრივი ფართობი დამოკიდებულია სიმქისის გეომეტრიულ პარამეტრებზე.

სხეულების შეხების ფაქტობრივი ჯამური ფართობი

$$A_r = \sum_{i=1}^n A_{ri}, \quad (2.2)$$

სადაც n ფაქტიური კონტაქტების რიცხვია; A_{ri} – ცალკეული i -ური ფაქტობრივი შეხების ფართობი.

ფაქტობრივი კონტაქტის ადგილები, რომლებიც წარმოიქმნებიან მიკრობორცვების დეფორმაციის დროს, ძალიან მცირე სიდიდისაა და მათი ხაზობრივი ზომები არ აღემატება 3...50 მკმ-ს. ამიტომ ნომინალური ფართობის ფარდობა ფაქტობრივთან საკმაოდ დიდი სიდიდეა და შეადგენს $10^2 \dots 10^4$ -ს. ამ დასკვნას იყენებენ მანქანათა ნაწილების სიმტკიცეზე, ცვეთაზე და საიმედოობაზე გაანგარიშების დროს. მაგალითად, როცა p წნევას განსაზღვრავენ, როგორც F_n ნორმალური ძალის ფარდობას კონტაქტის ნომინალურ A ფართობთან, $p = \frac{F_n}{A}$, იგი შეიძლება ფაქტიურზე 100-ჯერ ან

10 000-ჯერ ნაკლები აღმოჩნდეს, ხოლო ფაქტობრივი, თავის მხრივ, შეიძლება მეტი იყოს დასაშვებ ძაბვაზე. აღნიშნულის გამო ფაქტობრივი კონტაქტის ფართობის განსაზღვრა ფრიად მნიშვნელოვანი ამოცანაა.

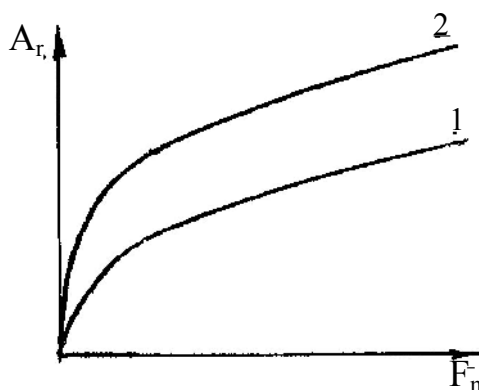
ფაქტობრივ წნევად მიჩნეულია საკონტაქტო ზედაპირებისადმი ნორმალურად მიმართული დატვირთვის შეფარდება შეხების ფაქტობრივ ფართობთან

$$p_r = \frac{F_n}{A_r} = \frac{F_n}{\sum_{i=1}^n A_{ri}}, \quad (2.3)$$

სადაც p_r ფაქტობრივი წნევაა.

როგორც აღვნიშნეთ, ფაქტობრივი დაკონტაქტების ფართობი დამოკიდებულია ზედაპირის სიმქისის პარამეტრებზე, შეუღლებულ ზედაპირებზე მოდებული ნორმალური ძალის სიდიდესა და ზედაპირის მასალის გვარობაზე. სათანადოდ, დაკონტაქტების ფართობის პროგნოზირება შესაძლებელია მოხახუნე ზედაპირების პროფილის მეშვეობით მათი სიმაღლეთა ღონის შესაბამისად.

შეხების კონტურული და ფაქტობრივი ფართობები და მათი ფარდობები კიდევ უფრო მეტად არიან დამოკიდებულნი ზედაპირებისადმი ნორმალურად მოქმედ F_n ძალაზე (ნახ. 2.4). F_n -ის გარკვეულ ზღვრამდე გაზრდით მნიშვნელოვნად იზრდება კონტაქტის ფართობი. ეს აიხსნება იმით, რომ დატვირთვის გამო მიკრობორცვების შევრები ზოგ შემთხვევაში, როცა ძაბვის სიდიდე აღემატება ღენადობის ზღვარს, განიცდიან არაუკუქცევად დეფორმაციებს. ამასთან, ბორცვების შევრების შეხების ფაქტობრივი წნევა პლასტიკური კონტაქტის დროს თავისი მნიშვნელობით შეესაბამება მასალის სიმტკიცის ზღვარს, ხოლო დრეკადობის ზღვრებში კონტაქტის დროს – მნიშვნელოვნად უფრო მცირეა უკანასკნელზე.



ნახ. 2.4. მოხახუნე ზედაპირების ფაქტობრივი საკონტაქტო ფართობის A_r

დამოკიდებულება ნორმალურ F_n დატვირთვაზე [9]:

1 – HB_1 სისაღის დროს; 2 – HB_2 სისაღის დროს. $HB_2 < HB_1$

აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ შეხების ფაქტობრივი ფართობისა და ნორმალური მიმართულების დატვირთვის დამოკიდებულება განსხვავებულია ხაზობრივისაგან.

შეხების ფაქტობრივი ფართობი, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორებისა, დამოკიდებულია მოხახუნე შეუღლებული გედაპირების მასალების მექანიკურ თვისებებზე – დენადობის მდვარზე, სისაღესა და დრეკადობის მოდულზე. ამასთან, რაც უფრო მაღალია მასალის მექანიკური მახასიათებლები, მით უფრო ნაკლებია კონტაქტირების ფაქტობრივი ფართობი. სხეულების კონტაქტის ფაქტიური ფართობი და მათი ურთიერთქმედების ხასიათი დამოკიდებულია აგრეთვე მოხახუნე გედაპირების სისაღეთა მნიშვნელობების ფართობზე.

განასხვავებენ დაკონტაქტების შემდეგ პირობებს:

- მოხახუნე შეუღლებული გედაპირების სისაღეების მნიშვნელობები ერთი რიგისაა;
- მოხახუნე შეუღლებული ერთი გედაპირთაგანის სისაღე ბევრად ნაკლებია მეორეზე.

პირველ შემთხვევაში ნორმალური მიმართულების დატვირთვის შედეგად ხდება გედაპირების თანდათანობითი დაახლოება, რომელსაც თან სდევს ახალ-ახალი საკონტაქტო ზომების წარმოქმნა. მოხახუნე მასალების სისაღეების ერთმანეთისაგან განსხვავებისას სხეულების დაახლოება ხდება შედარებით რბილი მასალის მიკრობორცვების შვერების მოთელვით და მეორე უფრო სალი გედაპირის შვერების პირველში ჩაღრმავებით.

მეორე შემთხვევაში, როცა ერთი გედაპირის სისაღე ბევრად ნაკლებია მასთან კონტაქტში მყოფ გედაპირთან შედარებით, მეორის მიკრობორცვები მთლიანად ეულობიან პირველის გედაპირში. დაკონტაქტების ასეთი სქემა დამახასიათებელია ისეთი შეუღლებისათვის, როცა ერთი სხეული დამზადებულია არალითონური მასალისაგან, მაგ., პოლიმერისაგან და როცა მისი დრეკადობის მოდული 200-ჯერ და უფრო მეტად ნაკლებია კონტრსხეულის დრეკადობის მოდულზე.

მოხახუნე გედაპირების ფაქტობრივი და კონტურული ფართობების გასაზომად საინჟინრო პრაქტიკაში რამდენიმე ეფექტური მეთოდი და ტექნიკური საშუალებებია შემუშავებული, რომელთა შორის აღსანიშნავია ხელსაწყოები, რომელთა მოქმედების პრინციპი ეფუძნება კონტაქტის ადგილის ელექტრული გამტარობის ფიქსირებას, ნივთიერებათა ერთი გედაპირიდან მეორეზე გადატანას, რადიაქტიულ იზოტოპებს და ოპტიკურ-ფიზიკურ მეთოდებს.

2.2. ზედაპირული ფენის მექანიკური თვისებები და სტრუქტურა

მანქანათა ნაწილების დამზადების პროცესში ზედაპირების დამუშავება ტექნიკის განვითარების თანამედროვე დონეზე კი წარმოქმნის მთელ რიგ პრობლემურ საკითხებს – დამზადების მეთოდის მიხედვით ხშირად მნიშვნელოვნად იცვლება ზედაპირული ფენის მიკროსტრუქტურა და ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლები.

მანქანათა ნაწილების ზედაპირების მექანიკური დამუშავება იწვევს ზედაპირული ფენის პლასტიკურ დეფორმაციას და ტექნოლოგიური პარამეტრების შესაბამისად მის მეტ-ნაკლებ გამტკიცებას. ზედაპირული ფენის გამტკიცება, თავის მხრივ, განპირობებულია მასალის მექანიკური მაჩვენებლების (სიმტკიცისა და დენადობის მღვრების) გაზრდით და პლასტიკურობის მაჩვენებლების შემცირებით. უმრავლეს შემთხვევაში ეს მოვლენა მანქანათა ნაწილების ექსპლუატაციის პროცესში უარყოფით როლს თამაშობს. ზედაპირული ფენის განმტკიცება იწვევს მასალის სტრუქტურულ ანომალიებს, სტრუქტურულ მარცვლებში ნარჩენი ძაბვების წარმოშობას და მათ არათანაბარ განაწილებას. ყოველივე ეს კი – ლითონური მასალის სტრუქტურულ არამდგრად მდგომარეობას, რომელსაც დამზადების პროცესის დამთავრების შემდეგ ნორმალურ მდგომარეობაში დაბრუნების ტენდენცია აქვს. ამ პროცესს „დასვენების“ პროცესს უწოდებენ და მისი ეფექტურობა დამოკიდებულია დასვენების ხანგრძლივობაზე და ტემპერატურულ რეჟიმზე (ეფექტურობა იზრდება ტემპერატურის მომატებით).

ზედაპირების მექანიკური დამუშავების დროს ზედაპირული ფენის ფიზიკურ თვისებებზე დიდ გავლენას ახდენს ტემპერატურული რეჟიმი, რომელიც განპირობებულია დეტალის გარემოსთან თბოგაცვლის პროცესის პარამეტრებით. დამზადების პროცესში წარმოშობილი სითბოს ხარჯზე ხდება დეტალის გაუთვალისწინებელი ზედაპირული წრთობა.

მანქანათა ნაწილების მექანიკური მეთოდით დამზადების დროს ზედაპირული ფენის მდგომარეობაზე დიდ გავლენას ახდენს ის გარემოება, რომ მასში მექანიკური და თერმული ბეჭდვების შედეგად აღმოცენდება ნარჩენი ძაბვები.

მანქანათა ნაწილებში ნარჩენი ძაბვის წარმოშობის მექანიზმი შემდეგნაირად შეიძლება იყოს წარმოდგენილი: მექანიკური დამუშავების პროცესში დეტალის პლასტიკურად დეფორმირებული (შეკუმშული) ზედა ფენები ცდილობენ ქვედა უცვლელი ფენების დეფორმირებას (გაჭიმვას), რომლებიც, თავის მხრივ, ეწინააღმდეგებიან პლასტიკური დეფორმაციების გავრცელებას, რის შედეგადაც ზედაპირულ ფენებში უმეტეს შემთხვევაში ფორმირდება კუმშვის, ხოლო გულაში, ზედაპირიდან 50.....200 მკმ სიღრმეზე – გაჭიმვი ნარჩენი ძაბვები. ნარჩენი ძაბვების წარმოშობას ხელს უწყობს

აგრეთვე პროცესი, რომელიც დაკავშირებულია ლითონის ბურბუშელას აცლასთან. ინსტრუმენტის მეშვეობით ბურბუშელას აცლის დროს ხდება ზედაპირული ფენების ჭრის მიმართულებით გაჭიმვა, რაც, თავის მხრივ, ზედა ფენებში ამცირებს კუმშვის ნარჩენ დეფორმაციებს, ხოლო გულარში მრდის გაჭიმვის ნარჩენ დეფორმაციებს.

ნარჩენი ძაბვების წარმოშობის მნიშვნელოვანი წყაროა ტემპერატურული ცვლილებები, რომლის მექანიზმი ასეთია: ზედაპირული ფენის ამა თუ იმ მიზეზით და ხარისხით გახურების დროს მისი მოცულობა იზრდება. ქვედა ფენები და გულარი, რომლებმაც არ განიცადეს ტემპერატურული გემოქმედება, წინააღმდეგობას უწევენ ზედაპირული ფენების გაფართოებას, ხოლო გაცივების პროცესში, როცა ზედაპირული ფენის მოცულობა მცირდება, დეგალის გულარი, ბუნებრივია, ხელს უშლის მასალის კუმშვას. ტემპერატურული გრადიენტის მოხსნის შემდეგ ზედაპირულ ფენებში რჩება გაჭიმვის, ხოლო დეგალის გულში – კუმშვის ნარჩენი ძაბვები.

ამრიგად, ლითონური მანქანათა ნაწილების მექანიკური დამუშავების დროს პლასტიკური დეფორმაციები ზედაპირულ ფენებში იწვევენ კუმშვის, ხოლო მასალის ჭრის შედეგად აღმოცენებული თბური ეფექტები – გამჭიმ ნარჩენ ძაბვებს. აქ ნარჩენი ძაბვების ჯამური ნიშანი დამოკიდებულია ფაქტორის უპირატესობაზე.

იმავედროულად, კონსტრუქციულ მასალებში მასალის პლასტიკურობის მაჩვენებელი მდგომარეობას მთლიანად ვერ ათანაბრებს, იგი მხოლოდ არბილებს ნარჩენი დეფორმაციების გავლენას.

მანქანათა ნაწილების მუშაობის უნარის ამგვარი შეფასების დროს მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ რეკომენდაციებით, რომელიც ითვალისწინებს, რომ ტემპერატურის მიხედვით არჩევენ ლითონური სხეულების ორ მდგომარეობას – დრეკადს და პლასტიკურს (დრეკადისაგან განსხვავებით, პლასტიკურ მდგომარეობაში რეალურად ძაბვები არ გროვდება).

ნახშირბადოვანი ფოლადებისათვის კრიტიკულ ტემპერატურად, როცა ისინი პლასტიკურ მდგომარეობაში გადადიან, მიჩნეულია 450°C , ხოლო ლეგირებული ფოლადებისათვის – 550°C .

აღსანიშნავია აგრეთვე ის, რომ ზედაპირული ფენის საშუალო ტემპერატურა ხეხვის დროს $300 - 400^{\circ}\text{C}$ -ია, ხოლო უკიდურესი ზედაპირული ფენისათვის – $800 - 850^{\circ}\text{C}$. ამავე რიგისაა ზედაპირული ფენის ტემპერატურული რეჟიმი ჩქაროსნული ჩარხვის დროსაც.

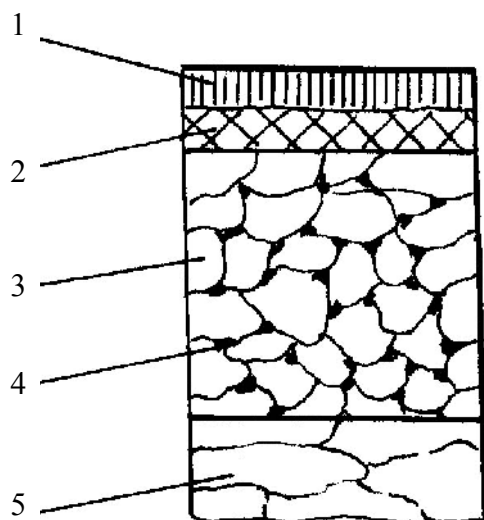
ზედაპირული ფენებისათვის თბური პროცესებით აღძრული და ნარჩენი დაძაბულობებით განპირობებული შიგა ძაბვა შეიძლება ასე გამოითვალოს:

$$\sigma = 0,5(t_2 - t_1)\alpha E,$$

სადაც t_1 და t_2 შესაბამისად, ზედაპირული ფენის საწყისი და მაქსიმალური ტემპერატურაა; α – მასალის ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი; E – მასალის დრეკადობის მოდელი მაქსიმალური ტემპერატურის დროს.

მანქანათა ნაწილებისა და, საერთოდ, ზედაპირული ფენების ერთ-ერთი თავისებურება ის გახლავთ, რომ გარემო პირობებთან ურთიერთქმედების შედეგად იცვლება მათი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები, კერძოდ, ლითონის ზედაპირზე წარმოიქმნება ქანგეულების თხელი აფსკი, რომელიც შესამჩნევად მოქმედებს გრიბოლოგიურ პროცესზე და მის პარამეტრებზე.

ზოგადად კი, მანქანათა ნაწილების ზედაპირების ხარისხი დამოკიდებულია მასალის მიკროსტრუქტურაზე, ზედაპირების მიკრო- და მაკროგეომეტრიაზე, ტალღურობასა და ნარჩენი დეფორმაციების ხარისხზე. მეორეს მხრივ, ზედაპირების ხარისხი დამოკიდებულია მასალის გვარობაზე, მისი დამუშავების მეთოდზე, გამოყენებული ინსტრუმენტის პარამეტრებზე, დამუშავების რეჟიმზე, შეზღუდვის და გამაცივებელი საშუალებების სახეებსა და ინტენსივობაზე. ლითონური დეტალების ზედაპირული ფენები, რომლებიც მიღებულია ხეხვის საფინიშო ოპერაციით, გამოირჩევიან არაერთგვაროვნებით. ფენათა არაერთგვაროვნების გადანაწილება ფენების სიღრმის მიხედვით მოცემულია 2.5 ნახ-ზე.



ნახ. 2.5. ფენათა არაერთგვაროვნების გადანაწილება ფენების სიღრმის მიხედვით

ნახაზზე 1 არის სასაზღვრო ფენა, სადაც აღსორბირებულია სინესტე, გაზები, შემშეთ-გამაცივებელი სითხეები, რომელთა მოცილებაც შესაძლებელია მხოლოდ ვაკუუმში, ისიც გაცხელების შედეგად. ამ ფენის სისქეა 0,0002...0,0008 მკმ; 2 – დეფორმირ-

ებული ფენა, რომელიც ფორმირდება ძლიერ დაქუცმაცებული ნაწილაკებით და დამახინჯებული კრისტალური მესრით. ამ ფენაში ხეხვის შედეგად წარმოქმნილი მაღალი გემპერაგურა იწვევს ნახშირბადის გამოწვას, რასაც მოსდევს ფენისათვის დამახასიათებელი ჟანგეულების, ნიგრიდების, საჰაერო ბუშგების, ნაპრალების გაჩენა. ამ ფენის სისქე იცვლება 0,0002...0,008 მკმ ზღვრებში. 3 – ფენა წარმოდგენილია ძლიერ დეფორმირებული სტრუქტურული მარცვლებით, რომელიც გამოწვეულია სახეხი წრის დაწნევით და ხეხვის განგენციალური ძალებით. ამ ფენისათვის დამახასიათებელი სპეციფიკაა ის, რომ მაღალი გემპერაგურის მოქმედებით მასში წარმოიქმნება სტრუქტურულად თავისუფალი ცემენტიტი და ფენის სისქე შეადგენს 0,8...5 მკმ. 4 – ფენა წარმოადგენს საწყის სტრუქტურას, რომელიც შეესაბამება სხეულის ძირითადი მასის სტრუქტურულ აგებულებას.

ზოგადად ზედაპირული ფენის შესახებ შესაძლებელია ითქვას შემდეგი: თუ მხედველობაში არ მივიღებთ აღსორბირებულ ზედაპირს, ზედაპირული ფენა, რომელიც მიიღება ინსტრუმენტის ზემოქმედების მეშვეობით, შედგება ორი ძირითადი ნაწილისაგან: 1) გარეთა მეტად თხელი ფენა საკმაოდ დამახინჯებული კრისტალური მესრით, რაც დარღვეული სტრუქტურული მარცვლებია, და 2) გამოკვერილი ფენა, რომელსაც გამოკვეთილი კრისტალური სტრუქტურა აქვს.

ზედაპირული ფენის განმტკიცება შეიძლება შეფასდეს მიკროსისალის (საწყისთან შედარებით) ცვალებადობის შესაბამისად. ცნობილია, რომ მიკროსისალის მაჩვენებელი მცირდება ღეგალის ზედაპირიდან დაშორების შესაბამისად, ამასთან, დაცემის ხარისხი განსაკუთრებით მკვეთრია მეორე ფენაში, რომელიც ხასიათდება დამახინჯებული კრისტალური მესრით, ხოლო გამოკვერვით ზედაპირების განმტკიცების ეფექტი ნაკლებად შესამჩნევია მტკიცე და მყიფე მასალებისათვის, და პირიქით, ეფექტურია ნაკლებად მტკიცე და ბლანტი, მცირენახშირბადიანი მასალების შემთხვევაში.

ღეგალების დამზადების ტექნოლოგიური პროცესების გავლენა ზედაპირულ ფენებზე ზოგადად შეიძლება საკმაოდ დიდ სიღრმეზე გავრცელდეს. მაგალითად, გაჩარხვის დროს ზემოთ ნახსენები ფაქტორების გავლენით ზედაპირული ფენა შეიძლება იცვლებოდეს 0,25...2,0 მმ ზღვრებში, ხოლო ხეხვის დროს – 2...25 მკმ და 0,2 მკმ-მდე – პოლირების დროს.

ზედაპირულ ფენებში ამა თუ იმ ფაქტორის მავნე გავლენის ძირითად მაჩვენებლად (რა თქმა უნდა, სტრუქტურულ ცვლილებებთან ერთად) მიჩნეულია დამზადების პროცესის დამთავრების შემდეგ დაძაბული მდგომარეობის შენარჩუნება.

ექსპერიმენტული კვლევებით დადასტურებულია, რომ ნარჩენი ძაბვების სიდიდემ ლითონურ ღეგალებში შეიძლება შეადგინოს 500...1000 მპა. ამასთან, ისინი შეიძლება

იყოს როგორც გამჭიმში, ისე მკუმშავი ხასიათის. ე.ი. ნარჩენი ძაბვების სიდიდე შესაძლებელია აღემატებოდეს მასალის მღვრულ სიმკვრივეს, რაც, თავის მხრივ, იმას ნიშნავს, რომ დეგალმა შეიძლება დაგვირთვის გარეშე განიცადოს რღვევა, დაკარგოს თავისი ფუნქციური დანიშნულება – გატყდეს, გაიბზაროს, შეიცვალოს გეომეტრიული ფორმა და ა. შ.

რიგი ავტორების მიერ დაფიქსირებულია მეგად საინტერესო მომენტებიც. მაგალითად, როცა ტექნოლოგიური რეჟიმების რაოდენობრივი ცვლილებები იწვევენ თვისობრივს – გამჭიმში ძაბვა იცვლება მკუმშავით.

პროფ. ა. სუსლოპაროვის ექსპერიმენტული გამოკვლევის დროს დეგალის (ფოლადი 45) დამუშავება ხდებოდა წმინდა გაჩარხვით სალი შენადნობიანი საჭრისით გაცივების გარეშე; ხოლო გრძივი მიწოდება შეადგენდა 0,1 მმ-ს. ექსპერიმენტის შედეგი ასეთი აღმოჩნდა: 100მ/წმ ჭრის სიჩქარის დროს ნარჩენი ძაბვა შედარებულ ფენაში იყო გამჭიმში და შეადგენდა 70 მპა-ს, 200 მ/წმ ჭრის სიჩქარის დროს – 0-ს, ხოლო 400 მ/წმ ჭრის სიჩქარის დროს ნარჩენი ძაბვა იყო უკვე მკუმშავი – 166 მპა.

მიკროსკოპული არაერთგვაროვნება მეტ-ნაკლებად დამახასიათებელია ყველა მყარი სხეულისათვის, ხოლო ლითონებში არაერთგვაროვნება განპირობებულია ლითონთა კრისტალების გარკვეული ანიზოტროპიულობით. მექანიკური წესით დამუშავებული ლითონური დეგალებისათვის არაერთგვაროვნება კიდევ უფრო მეტადაა გამოკვეთილი, როგორც ქიმიური აქტივობის, ისე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების თავისებურებების მხრივ და ყველა მათგანი ძირითადად დამოკიდებულია დამზადების პროცესის ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე.

ამრიგად, მანქანათა ნაწილების საიმედოობის მაჩვენებლები, კერძოდ, ხანგამძლეობა, დიდად არის დამოკიდებული დეგალის დამუშავების ტექნოლოგიურ რეჟიმზე (ჭრის სიჩქარის, მიწოდების სიდიდის, გემპერატურული რეჟიმის, ინსტრუმენტის გეომეტრიის და ა.შ.) და მეთოდების (მექანიკური, ლაზერული, ქიმიურ-თერმული და ა.შ.) სწორ შერჩევაზე, რის შესაბამისადაც, ოპტიმალური არჩევანი ზოგ შემთხვევაში შესაძლებლობას იძლევა, რამდენიმეჯერ გავაღიდოთ დეგალის მუშაობის რესურსი.

2.3. ხახუნის თეორიები და მუშა შედაპირების კონტაქტები

მეცნიერული წარმოდგენა ხახუნის ბუნებაზე კაცობრიობის განვითარების ისტორიაში იცვლებოდა იმის მიხედვით, თუ რა წარმოდგენა ჰქონდათ და როგორი იყო მეცნიერების ცოდნის დონე მყარი სხეულების ბუნებაზე იმ პერიოდისათვის. როგორც

უკვე აღნიშნეთ, ორ სხეულს შორის ხახუნი წარმოიშობა, როცა ისინი ერთმანეთის მიმართ გადაადგილდებიან (კინეტიკური ხახუნი) ან მათი ურთიერთგადაადგილების მცდელობისას (უძრაობის, სტატიკური ხახუნი). ამასთან, ხახუნის მოვლენა განპირობებულია მყარი სხეულების ზედაპირების ურთიერთქმედებით (გარე ხახუნი) ან თვით სხეულში სტრუქტურული ელემენტების ერთმანეთის მიმართ გადაადგილებით (შიგა ხახუნი). უკანასკნელი შეიძლება ხდებოდეს როგორც თხევად და აიროვან ნივთიერებებში, ისე მყარ სხეულებში.

ბოლო ათწლეულების მეცნიერულმა გამოკვლევებმა დაამტკიცეს, რომ გრიბოლოგიურ პროცესში მექანიკურის პარალელურად არსებობს ელექტრული, მაგნიტური, თბური და სხვა მოვლენები. ამ მოვლენათა კომპლექსი კონტაქტის ზონაში წარმოშობს სხეულთა ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობას, რომლის გოლქმედი პირობითად მიჩნეულია ხახუნის ძალად.

გრიბოტექნიკის განვითარების ადრეულ ეტაპზე (XVII-XVIII სს.) ხახუნის ბუნების ახსნას ცდილობდნენ მექანიკური თეორიით, რომელსაც პირობითად „გეომეტრიულსაც“ უწოდებენ. ამ თეორიის თანახმად ხახუნის არსის ახსნა ხდებოდა მხოლოდ გეომეტრიული მოსაზრებებით, კერძოდ, მიკრობორცვების გადალახვის წინააღმდეგობით, რაც შეესაბამებოდა მყარი სხეულების მექანიკის განვითარების იმ პერიოდს, როცა მყარი სხეულები აბსოლუტურად ხისტად იყო მიჩნეული. აღნიშნულის შესაბამისად, ხახუნის კოეფიციენტი მიიღებოდა ერთეულოვანი მიკრობორცვის დახრის კუთხის ტანგენსის ტოლად (პარანი, ეილერი). ამავდროულად, ეფუძნებოდა რა გრიბოლოგიური პროცესის არსზე პირვანდელ წარმოდგენებს, მექანიკური თეორია ვერ ხსნიდა რიგ მოვლენებს. მაგალითად, ამ თეორიის თანახმად, ყოველგვარ ლოგიკას ეწინააღმდეგება ცვეთის ინტენსივობის გაზრდა ძლიერ მცირე სიმქისის ზედაპირების შემთხვევაში, რაც ასე მარტივად დასტურდებოდა ექსპერიმენტებით (როცა სიმქისის პარამეტრები $R_a \leq 0,32 \dots 0,04$ მკმ, მიკრობორცვზე ასვლის წინააღმდეგობა პრაქტიკულად არ არსებობს, ვინაიდან კუთხე ბორცვის ძირთან გატარებული პროფილის და ჰორიზონტს შორის $1 \dots 2^\circ$ -ზე ნაკლებია).

გრიბოლოგიურ პროცესის თანამედროვე წარმოდგენას საფუძვლად უდევს საბჭოთა მეცნიერ ი. კრაგელსკის თეორია (1939 წ.), რომელიც იწოდება მოლეკულურ-მექანიკურად და რომელიც ეფუძნება ფარდობით გადანაცვლების დროს სხეულთა ურთიერთქმედების ორ სახეს:

ა) მოლეკულურს, რომელიც განპირობებულია ორ სხეულს შორის ატომურ-მოლეკულური ურთიერთქმედებით;

ბ) მექანიკურს, რომელიც განპირობებულია იმ მუშაობით, რომელიც ხმარდება სხეულის გარკვეული მოცულობის დეფორმაციას ერთი სხეულის შვერის მეორეში ჩაღრმავების დროს.

ი. კრაგელსკის თეორიის თანახმად, წინააღმდეგობის ორივე ფაქტორი ერთად შეადგენს ხახუნის ძალის წინააღმდეგობას.

2.4. მოლეკულური ურთიერთქმედება გრიბოლოგიურ პროცესში

მოლეკულური ურთიერთქმედება სხეულებს შორის სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში ხახუნის შესახებ უმეტესად აღჭრბიურ შემდგენად იწოდება. შესაბამისად, ხახუნის ძალის ამ შემდგენისათვის შემოვიღოთ აღნიშვნა $-F_s$.

პირველად გრიბოლოგიური პროცესის მოლეკულური თეორია წარმოადგინა ინგლისელმა ფიზიკოსმა ი. დებარგიულემ (1704 წ.). შემდგომ ეს მიმართულება განავითარეს ასევე ინგლისელმა მეცნიერებმა – უ. ჰარდიმ (1919 წ.), გ. გომილინსონმა (1929 წ.) და საბჭოთა მეცნიერმა ბ. დერიაგინმა (1934 წ.). აქვე შეიძლება ვახსენოთ ცნობილი ინგლისელი მეცნიერის – ფ. ბოუდენის შრომები, სადაც მყარ სხეულებს შორის შედუღების კავშირების საფუძვლად იგულისხმება მოლეკულური ურთიერთქმედება.

როგორც აღრე აღვნიშნეთ, ორი მყარი სხეულის მოლეკულური ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილ წინააღმდეგობას მათი ფარდობითი სრიალის დროს F_s აღჭრბიურ შემდგენს განაპირობებს მოხახუნე გედაპირების შეჭიდულება და მათი აღჭრბიური თვისებები. უკანასკნელი, თავის მხრივ, შედეგია იმ ძალთა ველის მოქმედებისა, რომელიც წარმოიქმნება იმ მოლეკულების (ატომების, იონების) მუხტით, რომლებიც შეადგენენ საკონტაქტო გედაპირის გედა ფენას. ამ ველის მოქმედება ექსპონენციური კანონის მიხედვით მცირდება გედაპირიდან მანძილის გაზრდის შესაბამისად და გედაპირული ფენიდან 0,001-0,002 მკმ მანძილზე ვან-დერ-ვაალსის ძალების* მნიშვნელობა პრაქტიკულად უტოლდება ნულს.

* ვან-დერ-ვაალსის ძალები მოლეკულების სპეციფიკური ურთიერთქმედებაა. მისი მეშვეობით შესაძლებელი ხდება დიდი მაკრომოლეკულის შექმნა და იგი მოლეკულათშორის ძალად იწოდება. ამის გამო აღნიშნული ძალები მკვეთრადლა გამოხატული მყარ ნივთიერებებში და ნაკლებად – აირთვანსა და თხევადში, ე.ი. ნაკლებად იქ, სადაც მოლეკულებს შორის მანძილი დიდია. ვან-დერ-ვაალსის ძალები მოლეკულების ელექტრული ველების ურთიერთქმედებაა ელექტრონების ერთმანეთში გადასვლის გარეშე.

დღეს აღიარებული ხახუნის თეორიის მიხედვით მიჩნეულია, რომ ალჰეზური შემდგენი ვან-დერ-ვაალსის ძალებითაა განპირობებული. ნათქვამი დასტურდება იმით, რომ გრიბოლოგიურ პროცესში სხეულის რღვევის პროდუქტები არის მოლეკულები ან მოლეკულების ჯგუფი დიდი მაკრომოლეკულების სახით, ხოლო სხეულის ნაწილებს შორის გადანაცვლება-დეფორმაციათა მასშტაბები მოლეკულურია. ამიტომ ხახუნის პროცესის შესწავლის დროს შიგა მოლეკულური, ატომური კავშირები არ განიხილება. გამონაკლისია წყალბადოვანი (პროტონული) კავშირები, რომლებიც ერთდროულად შიგამოლეკულური და მოლეკულათშორისი კავშირებია. ასევე დამტკიცებულია, რომ ვან-დერ-ვაალსის ძალები მაქსიმალურ სიდიდეს აღწევენ, როცა მაღალია სხეულების შედაპირების დამუშავების ხარისხი, კერძოდ, მაღალია სიმჭისის მაჩვენებლები, შედაპირები სუფთაა ქიმიურად და ფიზიკურად და, ამასთან, მანძილი საკონტაქტო შედაპირების ელემენტებს შორის არ აღემატება $(3-5) \cdot 10^{-4}$ მკმ-ს. დაწინევა, რომელიც წარმოიქმნება ატომურ-მოლეკულური მიზიდულობის შედეგად ურთიერთკონტაქტში მყოფ შედაპირებს შორის, ბუნებრივია, დამოკიდებულია მასალების გვარობასა და შედაპირების მდგომარეობაზე (მაგ., პროფილის პარამეტრებზე), ჟანგის აფსკის არსებობაზე, აღსორცის ხარისხზე და ა. შ. გამოკვლევების შედეგად დადგენილია, რომ ფოლადის შედაპირისათვის, როდესაც მანძილი მათ შორის 0,005-0,01 მკმ-ია, სხეულთა ალჰეზიის შედეგად წარმოიქმნილმა წნევამ შეიძლება 10^5 პა-ს მიაღწიოს.

არსებული მწყობრი თეორიის მიუხედავად, ხახუნის ძალას ალჰეზური შემდგენის განსაზღვრა თანამედროვე მეცნიერების დონეზეც პრაქტიკულად შეუძლებელია ალჰეზური კავშირების რთული ბუნებისა და მრავალი ცვლადი ფაქტორების გამო, რომლებიც საბოლოო ჯამში განაპირობებენ ელემენტების ურთიერთქმედების პროცესს. აღნიშნულის გამო ხახუნის კოეფიციენტის ალჰეზურ შემდგენს უმეტესწილად განსაზღვრავენ ემპირიული დამოკიდებულებიდან, როდესაც ძირითად არგუმენტად მიჩნეულია კონტაქტში მყოფი სხეულების ერთმანეთზე მიჭერის, ნორმალური წნევის საშუალო მნიშვნელობა.

2.5. მექანიკური ურთიერთქმედება გრიბოლოგიურ პროცესში

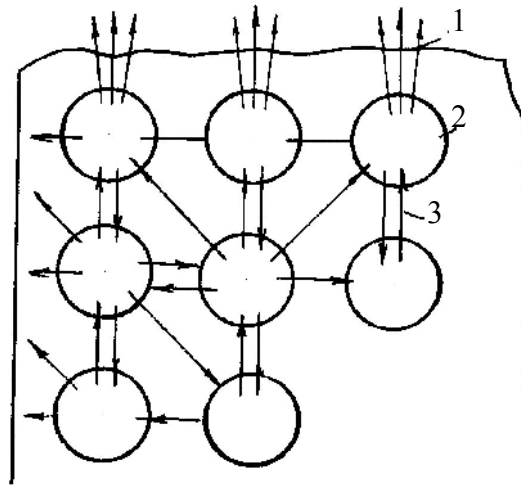
ხახუნის ძალის მეორე შემდგენი, რომელიც ასახავს სხეულთა მექანიკურ ურთიერთქმედებას სხეულთა ფარდობითი სრიალის დროს, როცა ერთის შვერი კონტაქტში არის მეორესთან და იწვევს მის მორღევეას ან დეფორმაციას, თანამედროვე ლიგერატურაში მოიხსენიება, როგორც კოჰეზიური შემდგენი და აღინიშნება F_3 -თი.

იმის გამო, რომ გემოხსენებულ მექანიკური ურთიერთქმედებით შვერების მოჭრასთან ერთად ხდება მათი ღრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციები, სხეულთა ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობის ამ შემდგენს მადეფორმირებელსაც უწოდებენ. ხახუნის დარგში პირველი თეორია ამ შეხედულების გათვალისწინებით წარმოადგინა (1801 წ.) ინგლისელმა ფიზიკოსმა დ. ლესლიმ, რომელიც თვლიდა, რომ ხახუნი განპირობებულია დეფორმაციის ტალღით, რომელიც წინ მიუძღვის მეორე სხეულში ჩაღრმავებულ პირველი სხეულის შვერს. 1921 წელს გერმანელმა მეცნიერმა ლ. ჰუმბელმა კი ჩამოაყალიბა თეორია, რომელიც ხახუნის ძალის წინააღმდეგობად მიიჩნევდა ერთი სხეულის შვერით მეორის მასალის გამოდევნის ფაქტს. თავის დროზე მასალის პლასტიკური გამოდევნის ეს თეორია საკმაოდ დამაჯერებლად გამოიყურებოდა, მაგრამ საბოლოოდ მაინც ვერ გაუძლო ექსპერიმენტული შემოწმების რიგ სირთულეებს და საჭირო აღიარება ვერ მოიპოვა. ხახუნის ძალის კოჰეზიური შემდგენი შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ:

$$F_3 = \sum_{i=1}^m F_{3i},$$

სადაც m შვერების რაოდენობაა საკონტაქტო ზედაპირზე; F_{3i} – ხახუნის ძალის კოჰეზიური შემდგენი i -ური შვერისათვის.

კოჰეზიური ძალები თავისი არსით მცირედ განსხვავდებიან ადჰეზიური ძალებისაგან. მეტიც, ისინი ერთი ბუნებისანი არიან და ემყარებიან ატომურ-მოლეკულურ ურთიერთქმედებას. განსხვავება მხოლოდ მათი მოქმედების სფეროებია. კოჰეზიური ძალები ადჰეზიურისაგან განსხვავებით, რომლებიც სხეულის ზედაპირზეა მოდებული, მოქმედებენ სხეულის შიგნით და წინააღმდეგობას უწევენ ყოველი სახის დეფორმაციებს. ე.ი. თუ ძალები მოქმედებენ სხეულის ზედაპირზე, ისინი იწვევენ ადჰეზიურ მოვლენებს და თუ სხეულის შიგნით მოქმედებენ, კოჰეზიურს. ყოველი გემოქმედება სხეულზე, რომელიც იწვევს მისგან მისი ელემენტების აგლეჯას, კოჰეზიური ძალების წინააღმდეგობის შედეგია. ადჰეზიური და კოჰეზიური ძალების თვალსაჩინო ილუსტრაცია მოცემულია 2.6 ნახ-ზე.



ნახ. 2.6. აღჭეზიური და კოჭეზიური ძალების მოქმედების პირობითი სქემა:

1 – აღჭეზიური ძალები; 2 – სხეულის ელემენტები; 3 – კოჭეზიური ძალები

აღჭეზიური და კოჭეზიური ძალების ნათლად წარმოდგენისათვის გავაკეთოთ შემდეგი სახის დაშვებები შესაბამისი შეფასებებით:

- 1) ორი ერთმანეთის მიმართ მოძრავი სხეულის მუშა ზედაპირები აბსოლუტურად გლუვია, რაც შეესაბამება წინააღმდეგობის ძალების აღჭეზიურ ხასიათს;
- 2) ორი ერთმანეთის მიმართ მოძრავი სხეულს აქვს რეალური, მქისე ზედაპირები – მაშინ წინააღმდეგობის ძალებს აქვს როგორც აღჭეზიური, ასევე კოჭეზიური ხასიათი.

ამრიგად, რეალური გარე ხახუნის ბუნებაში აღჭეზიური და კოჭეზიური ძალების მოქმედების შედეგია და იგი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს, როგორც აღჭეზიური F_s და კოჭეზიური F_p შემდგენლების ჯამი:

$$F_f = F_s + F_p,$$

სადაც F_f ჯამური გარე ხახუნის ძალაა.

ხახუნის თეორიის განვითარების დღევანდელ ეტაპზე საპრობლემო საკითხია ხახუნის ძალის შემდგენლების თანაფარდობის დადგენა. საქმე იმაშია, რომ ხახუნის პროცესში შეიძლება გამოყოფილ იქნეს სხეულთა ურთიერთქმედების შემდეგი სახეები:

- მასალათა დრეკადი დეფორმაცია;
- მასალათა პლასტიკური დეფორმაცია;
- მოხახუნე ზედაპირებში შეჭრილი შვერების ჭრა;

- ქანგის აფსკების შეჭიდულობა და მათი რღვევა;
- გედაპირების მოლეკულური შეჭიდულობა, რომელსაც თან სდევს სიღრმითი ამოგლეჯები.

ურთიერთქმედების გემოთ მოყვანილი სახეების მნიშვნელობის რაოდენობრივი მაჩვენებლები განაპირობებენ F_s და F_k შემდგენების თანაფარდობას გრიბოლოგიურ პროცესში, რაც, თავის მხრივ, განსაზღვრავს გედაპირების დაშლის ხასიათსა და ინტენსივობას, შესაბამისად, მანქანათა ნაწილების საიმედოობას და, კერძოდ, ხანგამძლეობას.

2.6. მასალის მექანიკური თვისებების შეფასება დადებითი გრადიენტის წესით

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუირების დროს მნიშვნელოვანი მომენტია მოხახუნე წყვილებისათვის მასალებისა და მათი გედაპირების დამუშავების მეთოდის შერჩევა. ორივე ფაქტორი ერთად მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავს მოხახუნე გედაპირული ფენის საერთო მდგომარეობას. აღნიშნულის გამო თანამედროვე საინჟინრო და მეცნიერულ პრაქტიკაში გრიბოლოგიური სისტემების შრომისუნარიანობის ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ კრიტერიუმად შეიძლება იქნეს მიჩნეული „გრადიენტის წესის“ გამოყენება.

გრადიენტის წესი ითვალისწინებს განისაზღვროს მასალის მექანიკური მაჩვენებლის ცვლილების სურათი – გრადიენტი გედაპირის ნორმალის მიმართულებით (თვალსაზირობისათვის მექანიკურ მაჩვენებელს ზოგჯერ გამოსახავენ ვექტორის სახით). თუ მასალის მექანიკური მაჩვენებელი, მაგ., სიმტკიცის ზღვარი σ_b იზრდება

გედაპირის სიღრმის მიმართულებით, გრადიენტი დადებითია $\frac{d\sigma_b}{dz} > 0$ (ნახ. 2.7ა), სადაც

σ_b მასალის მექანიკური მაჩვენებელია, ხოლო z – მიმდინარე კოორდინატი გედაპირის ნორმალის მიმართულებით, მაშინ მოხახუნე წყვილის ხახუნის პროცესისათვის შექმნილია მიზანშეწონილი, ოპტიმალური პირობები. გემოხსენებული მიიღწევა იმით, რომ გრიბოლოგიურ პროცესში დეფორმაციის ზონა არ ვრცელდება ღიდ სიღრმეზე და დეფორმირდება მხოლოდ გედაპირული თხელი ფენა, რაც მნიშვნელოვანი პირობაა იმისა, რომ არ მოხდეს ღეგალის სიღრმისეული რღვევა, ე. ი. ღეგალის ინტენსიური ცვეთა.

თუ დეტალის მოხახუნე გელა ფენას აქვს უფრო მაღალი სიმკვრივის მაჩვენებელი ვიდრე ძირითად მასას (ნახ. 2.7ბ), გრადიენტი უარყოფითია ($\frac{d\sigma_b}{dz} < 0$) და მოხახუნე წყვილისათვის შექმნილია ყველა წინა პირობა ინტენსიური ცვეთისათვის. ეს კი გამოწვეული იქნება დეტალის გელაპირული რღვევით მოხახუნე ფენების ერთმანეთთან შეჭიდულობისა და სიღრმისეული ფენების ნაკლები სიმკვრივის გამო. პროცესის ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მოხახუნე გელაპირიდან ხდება მასალის პაგარა გუნდების სიღრმისეული ამოგლეჯები, რაც, თავის მხრივ, ფრიალ უარყოფით მოვლენად ითვლება.

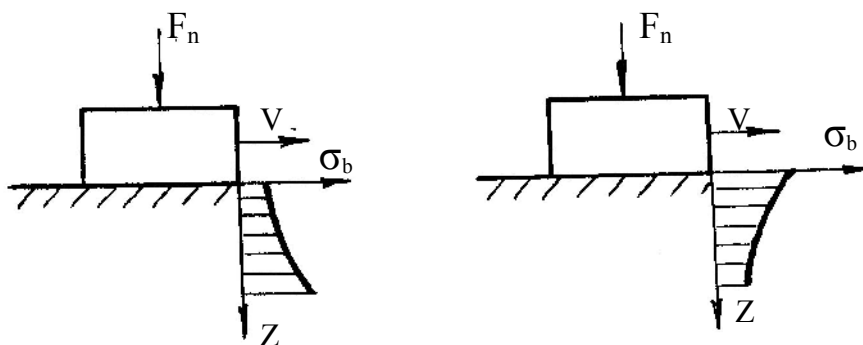
გემოთ ნათქვამის გათვალისწინებით შეიძლება დამატებით დავასკვნათ, რომ გრიბოლოგიურ პროცესში მნიშვნელოვანი ფაქტორია ის, რომ სხეულების ალჰემიური კავშირების სიმკვრივე უნდა განსხვავდებოდეს სიღრმისეული ფენების სიმკვრივისაგან. ამასთან, ჭეშმარიტი გარე ხახუნის პროცესის დამყარებისათვის საჭიროა, რომ სიღრმისეული ფენების სიმკვრივე მეტი იყოს ალჰემიური კავშირების სიმკვრივეზე (დადებითი გრადიენტი), აღნიშნულ შემთხვევაში დეფორმაციები ვრცელდება მხოლოდ თხელ გელაპირულ ფენებში და ცვეთა ნაკლებად ინტენსიურია. თუ ალჰემიური კავშირების სიმკვრივე მეტია სიღრმისეული ფენების სიმკვრივეზე (უარყოფითი გრადიენტი), დეფორმაციები მოცულობითია და, შესაბამისად, ცვეთა ინტენსიური იქნება. ე. ი. გრიბოლოგიური პროცესის ხელსაყრელად წარმართვისათვის უნდა ხორციელდებოდეს დადებითი გრადიენტის წესი. ამასთან, საჭიროა გავითვალისწინოთ ის, რომ როგორც კი ირღვევა დადებითი გრადიენტის წესი, გარე ხახუნის პროცესთან ერთად იწყება შიგა ხახუნი, და რომ ამ მოვლენას დიდად უწყობს ხელს კონტაქტის ზონაში წარმოშობილი მაღალი ტემპერატურა. უკანასკნელი განპირობებულია იმით, რომ ტემპერატურის მომატება ძლიერ მოქმედებს გელაპირის დამცველი აფსკების სიცოცხლის უნარზე.

საკუთარი და სხვა მკვლევარების დაკვირვებათა საფუძველზე ჩვენს მიერ გაკეთებული იქნა დასკვნები იმის შესახებ, რომ გრიბოლოგიური სისტემების მუშაობის რადიკალური გაუმჯობესება დადებითი გრადიენტის განხორციელების გზით შესაძლებელი იქნება თუ მოხერხდება:

1) ისეთი „ქერცლიანი“ მოხახუნე გელაპირის (ერთ-ერთის) ფორმირება, რომლისთვისაც ნიშანდობლივია რბილი, დანაწევრებული, დეფორმირებადი სასაზღვრო ფენები;

2) 1-ლ პუნქტში აღწერილ გელაპირზე დანაწევრებულ ფენებში თხევადი ან აიროვანი პროდუქტების შეყვანა.

ამ მიმართულებით საინჟინრო დაკვირვება აქვს დ. გარკუნოს, რომელმაც დააფიქსირა, რომ თევზებს, ფრინველებს, თაგვებს, თხუნელებს უმცირესი წინააღმდეგობა აქვთ შესაბამის გარემოში მათი მოძრაობისას.



ნახ. 2.7. მასალის მექანიკური მახასიათებლების გრადიენტის განსაზღვრის წესი:

ა – დადებითი გრადიენტი; ბ – უარყოფითი გრადიენტი.

შესაბამისად უნდა ვიფიქროთ, რომ აღნიშნული მოვლენა შეიძლება აიხსნას სწორედ მათი სხეულის გედაპირების „ქერცლიანობით“ და დანაწევრებულ მოხახუნე ფენებს შორის თხევადი ან აიროვანი „ბალიშების“ არსებობით.

ბუნების გემოთ ნახსენებ ანალოგებზე დაკვირვებების და რეკომენდაციების თეორიული დასაბუთება ჯერჯერობით პრობლემურად გამოიყურება და გადაწყვეტას მოითხოვს.

დღეს კი საინჟინრო პრაქტიკაში დადებითი გრადიენტის განხორციელების მიღწევა შეიძლება ისეთი კონკრეტული, კონსტრუქციული გადაწყვეტილებებით, როგორიცაა:

- საკონტაქტო ზონაში ისეთი შემზეთი მასალების გამოყენება, რომლებიც ამცირებენ გედაპირული ფენების სიმტკიცეს ფენის აღსორბირების საფუძველზე (რეზინდერის ეფექტი) ან ქიმიური გემოქმედების შედეგად;
- მცირე სიმტკიცის მქონე თხელი ლითონური ან სხვა მასალების გამოყენება გედაპირების დაფარვის მიზნით;

ზოგადი დასკვნით ტრიბოლოგიური სისტემების ეფექტური მუშაობა მნიშვნელოვანწილად არის განპირობებული შერჩევითი გადაგანის განხორციელებისათვის საჭირო წინაპირობების შექმნით. ერთ-ერთ ასეთად შეიძლება მივიჩნიოთ ტრიბოლოგიურ სისტემებში გამოყენებული მასალების გედაპირული ფენების სიღრმითი მიმართულებით დადებითი გრადიენტის მიღების პირობა.

თავი 3. შერჩევითი ბაღატანა ტრიბოლოგიურ პროცესში

3.1. გრიბოტექნიკის განვითარების ახალი ამოცანა

მოხახუნე გელაპირების რღვევა მათი ურთიერთხახუნის დროს უშუალოდ უკავშირდება საკონტაქტო ზონებში მიმდინარე უკვე აღნიშნულ ფიზიკურ-ქიმიურ პროცესებს. ამ პროცესების ინტენსივობა დიდად არის დამოკიდებული ხახუნის მოვლენის ისეთ არგუმენტებზე, როგორიცაა: მუშა გელაპირზე წარმოქმნილი წნევა, გელაპირების ფარდობითი სრიალის სიჩქარე, ტემპერატურა საკონტაქტო ზონაში, გარემო და შეშეთვის პირობები და საშუალებები, ხახუნის კვანძის კონსტრუქციული პარამეტრები, გამოყენებული მასალები, მოხახუნე გელაპირების მდგრადობა და სხვ.

აღნიშნული არგუმენტების კომპლექსური გავლენა გრიბოლოგიურ პროცესებზე, რომლებიც ფაქტიურად განსაზღვრავენ ცვეთის ხარისხს, პრაქტიკაში შემდეგი სახით ვლინდება:

- პლასტიკური დეფორმაციები, რომლებიც იწვევენ მოხახუნე გელაპირების ცივჭედვას და მიკრობორცვების რღვევას;
- ქანგვითი პროცესები, რომლებიც წარმოქმნიან ქანგულების აფსებს (მართალია, ისინი დადებითი გრადიენტის წინაპირობას წარმოადგენენ, მაგრამ იმის გამო, რომ ნაკლებად მტკიცენი არიან, ადვილად ირღვევიან);
- ერთი მოხახუნე გელაპირთაგანის შევრების მეორეში ჩაღრმავება მათი ფარდობითი სრიალის დროს უკანასკნელში იწვევს ღრმულების გაჩენას და საბოლოოდ, პროცესის მრავალჯერადი გამეორების დროს, გელაპირის რღვევას;
- აღჭებიური შეჭიდულობა, რომელიც იწვევს ერთი მასალის მეორეზე შეჭიდებას, რაც, თავის მხრივ, განაპირობებს მასალის პატარა გუნდების ამოგლეჯას;
- მოხახუნე გელაპირზე წყალბადის კონცენტრაციის გაზრდა, რაც გრიბოლოგიური სისტემის მუშაობის პირობების მიხედვით მკვეთრად ზრდის ცვეთის ინტენსივობას.

ბოლო დრომდე ხახუნის ძალების და, შესაბამისად, ცვეთის შემცირების ძირითად და თითქმის ერთადერთ მიმართულებად რჩებოდა მოხახუნე სხეულების გელაპირების სისაღის გადიდება. აღნიშნული განპირობებულია იმით, რომ გელაპირული სისაღის გადიდება ამცირებს სხეულთა მიკრო- და მაკრობორცვების ურთიერთჩაღრმავებას, ე.ი. ამცირებს პლასტიკური დეფორმაციების მნიშვნელობას და, მამასადამე, მადეფორმირებელ, კოჰეზიურ მდგენელს. გარდა ამისა, სხენებული ფაქტორი ამცირებს

გრიბოლოგიურ სისტემაზე აბრაზიულ ზემოქმედებას და ქანგვითი პროცესების ინტენსივობას.

მექანიკური სისტემების ხახუნის კვანძების ნაწილების ზედაპირული სისაღის გადიდების მრავალი მეთოდი არსებობს. მათი დიდი უმრავლესობა ღრესაც ფართოდ გამოიყენებოდა სამანქანათმშენებლო პრაქტიკაში. მაგ.: ზედაპირული წროთობა, ცემენტაცია, ამოტიზაცია, ციანიზაცია, ქრომირება, სალი შენადნობების თხელი ფენის დადუღება და სხვ. ჩამოთვლილი მეთოდები ტრადიციულია და მნიშვნელოვნად ზრდის გრიბოლოგიური სისტემის ხანგამძლეობას. მაგალითად, ცილინდრების ელექტროლიტური ქრომირების შემდეგ შიგაწვის ძრავას წყვილის „ცილინდრი-დგუშის“ რგოლის ცვეთამედეგობა თუჯის ცილინდრებთან შედარებით 4...5-ჯერ იზრდება [4].

უკანასკნელ დროს, რომელსაც ახასიათებს გრიბოლოგიურ სისტემებში დატვირთვების გაზრდა და მანქანათა ნაწილებისადმი ახალი მოთხოვნების წაყენება, აღრე აღიარებული მიმართულება (ზედაპირების სისაღის გაზრდა) აღარ ამართლებს. კერძოდ, დიდი სისაღის შემთხვევაში გარდაუვალი გადაცერებების გამო ხშირად მნიშვნელოვნად მცირდება ფაქტიური საკონტაქტო ფართობი, რაც, ბუნებრივია, ფრიალ უარყოფითი მოვლენაა მოძრავი შეუღლებებისათვის.

აღნიშნული მიზეზების გამო საჭირო გახდა ახალი მაგისტრალური გზების ძიება.

3.2. შერჩევითი გადაგანის არსი

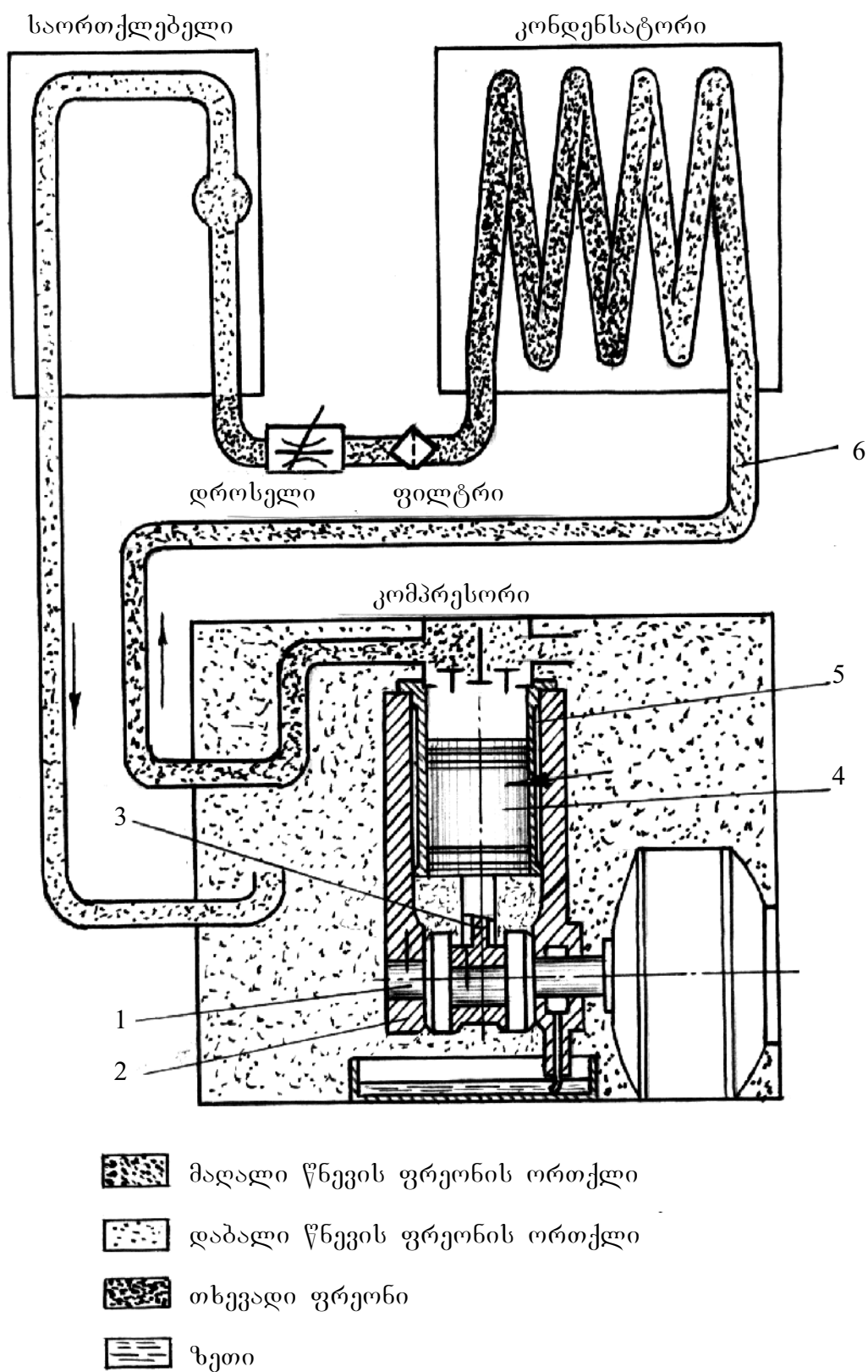
ჩვენი საუკუნის 50-იან წლებში მკვლევართა მიერ შენიშნულ იქნა, რომ მანქანათა ნაწილების გრიბოლოგიურ პროცესში ერთ-ერთი მოხახუნე ლითონის თხელი ფენა გადაიტანებოდა მეორეზე. ეს მოვლენა განსაკუთრებით თვალსაჩინო იყო ფოლადი-ბრინჯაოს მოხახუნე წყვილებისათვის სპირგ-გლიცერინის ნარევის შეზეთვის პირობებში. ლითონის აფსკი, რომელიც წარმოიქმნებოდა როგორც ერთ, ისე მეორე ზედაპირზე, წარმოადგენდა სპილენძის თხელ დანაფარს, სისქით 1...2 მკმ (მოგვიანებით გრიბოლოგიურ სისტემებში ლითონის ასეთი გადაგანა დადასტურდა ტექნიკური საშუალებებით).

დ. გარკუნოვის მიერ დამტკიცდა, რომ ზემოთ აღნიშნული პირობებისათვის სპილენძის ფოლადზე გადაგანის ფაქტობრივი მოვლენა დიდად, ხშირად 10-ჯერ ამცირებს ხახუნის ძალას და, შესაბამისად, ცვეთის ინტენსივობას. ანალოგიური მოვლენა შეინიშნა აგრეთვე ხახუნის ფოლადი-ბრინჯაოს წყვილის ЦИАТИМ- 201-ით შეზეთვისა

და ფოლადი-ფოლადის წყვილის ბეთისა და ფრეონის ნარევით შეშეთვის დროს (საყოფაცხოვრებო მაცივრის კომპრესორის ხახუნის კვანძი).

რბილი ლითონის ერთი სხეულიდან კონგრესხეულზე გადაგანის მოვლენა მკვლევრებისათვის იმთავითვე უდავო ფაქტი გახდა. პრობლემურად მხოლოდ გადაგანის მექანიზმის მოდელის შემუშავება გამოიყურებოდა. თუმცა ამ პერიოდისათვის სავსებით ნათელი იყო ის გარემოება, რომ რბილი ლითონისაგან წარმოქმნილი აფსკი მოხახუნე ზედაპირებზე წარმოქმნის დადებით გრადიენტს, რომელიც, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, აუცილებელი პირობაა ტრიბოლოგიური პროცესის ოპტიმალურად წარმართვისათვის.

დ. გარკუნოვის და ი. კრაგელსკის გამოკვლევები ამ სფეროში, 1966 წ. საბჭოთა კავშირის აღმოჩენებისა და გამოგონების სახელმწიფო კომიტეტის მიერ იქნა აღიარებული, როგორც მეცნიერული აღმოჩენა. ამ მოვლენის ძირითადი არსი ისაა, რომ ფოლადი-ბრინჯაოს მოხახუნე წყვილის ზედაპირებზე სპილენძის აფსკი წარმოიქმნება ბრინჯაოს ანოდური გახსნის შედეგად. აღნიშნული შეესაბამება იმ ვითარებას, როცა ბრინჯაოს ან თითბრის მალეგირებული ელემენტები – კალა, თუთია, ალუმინი, რკინა გადადიან შემზეთ მასალებში, ხდება მოხახუნე ზედაპირის სპილენძით გამდიდრება. ტრიბოლოგიურ სისტემებში ძირითად მასალად გამოყენებული შენადნობი – ბრინჯაო, ზედაპირის გამდიდრების გამო სპილენძით რომ დაიფარება, აღარ იხსნება შემზეთ მასალაში და მყარდება შერჩევითი გადაგანის რეჟიმი. საყოფაცხოვრებო მაცივრის კომპრესორის ხახუნის კვანძებში (ნახ.3.1) წარმოქმნილი სპილენძის აფსკის წარმოშობის ტექნოლოგიური პროცესი კი რამდენადმე განსხვავებულია ხსენებულისაგან. აქ ფოლადი-ფოლადი მოხახუნე წყვილის ზედაპირზე სპილენძის აფსკის წარმოშობა განპირობებულია კომპრესორის გამაცივებელი სისტემის ბეთი-ფრეონის ნარევი სპილენძის მილაკების ზედაპირული ფენების გახსნით. ამ სახით სპილენძის იონები შედიან ტრიბოლოგიური სისტემის საკონტაქტო ზონაში და წარმოქმნიან სპილენძის აფსკს. სწორედ ეს მოვლენა უდევს საფუძვლად მაცივრის კომპრესორების მესანგამძლეობას, რომელიც კვანძის უმცყუნებო მუშაობის ათწლეულებით განისაზღვრება.



ნახ. 3.1. საყოფაცხოვრებო მაცივრის კომპრესორის შეშეთვის სქემა

(ხახუნის მონების სპილენძით დანაჟარი ნაჩვენებია ისრებით):

- 1 – მუხლა ლილვი; 2 – მუხლა ლილვის საკისარი; 3 – ბარბაცა; 4 – ღვუში;
5 – ცილინდრი; 6 – სპილენძის მილაკების კლავნილა

ამ შესანიშნავი აღმოჩენის ფორმირებაში გარკვეული როლი ითამაშა ბუნების ფენომენის სწორმა გაანალიზებამაც. ავტორების მიერ შესაძლებელი გახდა ისეთი საინგერესო ანალოგების მოძებნა ბუნებაში, როცა ხახუნის უმცირესი მნიშვნელობები დაფიქსირებულია არა სალი და გლუვი ზედაპირებისათვის, როგორც ეს ადრე იყო მიჩნეული მეცნიერებაში, არამედ რბილი ზედაპირებისათვის – თევზების, ფრინველების და თაგვების მაგალითზე.

დაწვრილებით განვიხილოთ შერჩევითი გადაგანის მექანიზმი საყოფაცხოვრებო მაცივრის მაგალითზე. მაცივრის კომპრესორი, როგორც უკვე ნახსენები იყო, მძიმე ექსპლუატაციის პირობებში (დიდია ჩართვათა რაოდენობა დროის ერთეულში) უმცირესოდ მუშაობს ათეული წლების მანძილზე. ამასთან, პრაქტიკულად არ ხდება ცვეთა. გრიბოლოგიური სისტემის დეტალები დამზადებულია ფოლადისაგან; გამაცივებელი საშუალება - 50% ფრეონი პლუს 50% ბეთი (ნარეკს შემზეთი ფუნქციაც აქვს). მუშაობის პროცესში გრიბოლოგიური სისტემის ზედაპირებზე – მუხლა ლილვის ძირეულ და ბარბაცას ყელებზე წარმოიქმნება 1...2 მკმ სისქის სპილენძის აფსკი. აფსკი, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ფორმირდება სპილენძის იონებით, რომლებიც, თავის მხრივ, წარმოიქმნება სპილენძის გამაცივებელი მილების უმნიშვნელო, ზედაპირული კოროზიის შედეგად. სპილენძის იონები საკონტაქტო ზონაში გადაიგანება გამაცივებელი ფრეონ-ბეთის ნარევით.

გამაცივებელი ნარევის აქტივობა სპილენძის მილაკების მიმართ იმრდება საკონტაქტო ზონაში კომპრესორის მუშაობის დროს წარმოქმნილი სუსტი მქაფას მოქმედების გამო. მქაფას წარმოქმნის წყაროა ბეთის დაჟანგვის პროცესი, რომელიც გრიბოლოგიური სისტემების მუდმივად თანამდევია პროცესია.

პროცესის შემდგომ ეტაპზე, მას შემდეგ, რაც მოხახუნე ზედაპირებზე უკვე წარმოიქმნება სპილენძის გარკვეული სისქის აფსკები, მნიშვნელოვნად იცვლება გრიბოლოგიური პროცესის პარამეტრები: მცირდება ხახუნის ძალა, საკონტაქტო ზონაში წარმოქმნილი ტემპერატურა და ფაქტობრივი კონტაქტური წნევა, რის შედეგადაც წყდება სპილენძის აფსკის წარმოქმნის ხელშემწყობი პროცესი - ბეთის დაჟანგვა და მილაკების ზედაპირებზე სპილენძის გახსნა. აღნიშნულ პირობებში არ ხდება სპილენძის აფსკის დაზიანება და იგი იცავს მოხახუნე ზედაპირებს ცვეთისაგან, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს ხახუნის ძალას და ბრდის კვანძის ხანგამძლეობას.

ამრიგად, გემოხსენებულ კომპრესორის გრიბოლოგიურ სისტემებში ჯაჭვი ურთიერთგამომწვევ მოვლენებისა, რომლებიც მიმდინარეობს მოხახუნე ზედაპირებზე, ასე შეიძლება იქნას წარმოდგენილი:

საწყისი პერიოდი: კომპრესორის გამაცივებელი ნარევის აქტივობა სპილენძის მილაკების მიმართ იზრდება; გრიბოლოგიური სისტემის შეზღუდვის დროს შემზღუდო მასალა იქანგება; წარმოქმნილი სუსტი მეავეები ხსნიან სპილენძის მილაკების ზედაპირულ ფენებს და შემზღუდო სისტემას ამარაგებენ სპილენძის იონებით.

გარდამავალი პერიოდი: შემზღუდო სისტემაში ცირკულირებენ სპილენძის იონები; სპილენძის იონები ეფინებთან მხოლოდ საკონტაქტო ზონებს, რომლებიც ანოდურ უბნებს წარმოადგენენ; მოხახუნე ზედაპირზე იქმნება სპილენძის აფსკები.

დამყარებული პერიოდი: მოხახუნე ზედაპირზე წარმოიქმნება სპილენძის აფსკები, ფოლადი-ფოლადი მოხახუნე წყვილი იცვლება სპილენძი-სპილენძი წყვილით; მცირდება გამაცივებელი ნარევის დაქანგვის ინტენსივობა; წყდება სპილენძის მილაკების გახსნის პროცესი.

სპილენძის აფსკის შემთხვევითი დარღვევის დროს პროცესი თავიდან იწყება და ხდება დამიანების „შეკეთება“.

ხახუნის დამყარებულ რეჟიმში სპილენძის აფსკები, ჩვეულებრივ, აღარ ირღვევა. სპილენძის ნაწილაკებს შეუძლიათ ერთი ზედაპირიდან მეორეზე გადასვლა. ცვეთის პროდუქტები კი ღრეჩობებში ელექტრული ძალებით არის შეკავებული.

განხილული მაგალითის შესაბამისად დ. გარკუნოვის მიერ გაკეთდა დასკვნა, რომ გრიბოლოგიური პროცესი გარკვეულ პირობებში შეიძლება გახდეს ევოლუციური და რომ იგი შეიძლება არ იყოს მრღვევი პროცესი და პირიქით, მან შეიძლება შექმნას მოხახუნე ზედაპირის დამცავი ფენა სპილენძის აფსკის სახით.

ამრიგად, დღეს დადასტურებულია, რომ ხახუნმა შეიძლება არა მარტო მოარღვიოს ზედაპირული ფენა, არამედ შესაფერისი პირობების შემთხვევაში მოახდინოს ამ ფენის ფორმირება.

გრიბოლოგიური პროცესის ამგვარი შეფასება სულ ცოტა ხნის წინათ მეცნიერებაში ახალი, რევოლუციური სიგყვა იყო.

3.3. სერვოვიგული აუსკის წარმოქმნის მექანიზმის შემთხვევები

გრიბოლოგიურ პროცესში ზემოთ აღწერილი გზით წარმოქმნილ დამცავ აუსკს სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში ეწოდება „სერვოვიგული“ (ლათინური სიტყვიდან servo-witte – სიცოცხლის გადარჩენა).

მოგ შემთხვევაში სერვოვიგული აუსკის წარმოქმნის პროცესი მოხაზუნე მედაპირების, შემზეთი მასალების და ხახუნის სხვა პარამეტრების მიხედვით შეიძლება სხვადასხვაგვარ პირობებში მოხდეს. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

1. სერვოვიგული აუსკის ფორმირება საინჟინრო პრაქტიკაში ყველაზე ხელმისაწვდომია ბრინჯაო-ფოლადის ხახუნის წყვილისათვის, როცა მისი შეზღუდვა ხდება გლიცერინით, რაც აღვილად უზრუნველყოფს შერჩევითი გადატანის რეჟიმს ნახსენები წყვილისათვის. ამ პირობებში სერვოვიგული აუსკის გამომწვევი მოვლენათა ჯაჭვი შემდეგია:

საწყისი პერიოდი: მოხაზუნე ბრინჯაოს მედაპირი იხსნება გლიცერინში. ამასთან, საკონტაქტო ზონაში გლიცერინი მოქმედებს, როგორც სუსტი მეჟავა, რის შედეგადაც მალეგირებელი ელემენტები – კალა, ალუმინი და სხვა გადადიან შემზეთ მასალაში და ხდება ბრინჯაოს მედაპირის სპილენძის ატომებით გამდიდრება, ხოლო მოხაზუნე მედაპირების დეფორმაცია იწვევს მალეგირებელი ელემენტების ატომების ახალი დიფუზიური ნაკადის წარმოქმნას საკონტაქტო ზონაში, რომელიც ასევე გადადის შემზეთ მასალაში. ამგვარად, ბრინჯაოს მედაპირული ფენა, რომელიც ხახუნის პროცესში განიცდის დეფორმირებას, თანდათანობით თავისუფლდება მალეგირებელი ელემენტებისაგან და ძირითადად სპილენძად გადაიქცევა. ამასთან, მასში წარმოიქმნება დიდი რაოდენობით ვაკანსიები, რომლებიც წარმოქმნიან ფორებს გლიცერინის მოლეკულებით.

გარდამავალი პერიოდი: გლიცერინი მოხაზუნე მედაპირის სპილენძის თხელ ფენას ათავისუფლებს ქანგეულების აფსკებისაგან (გლიცერინი არის სპილენძის ქანგისა და ქვექანგის აღმდგენი). ქანგეულების აფსკებისაგან თავისუფალი მოხაზუნე სპილენძის ფენა მეტად აქტიურია და რადგანაც აქვს თავისუფალი კავშირები, მას შეუძლია ფოლადის მედაპირებთან კარგი შეჭიდულობის უზრუნველყოფა. შედეგად ფოლადის მედაპირი თანდათანობით იფარება სპილენძის თხელი ფენით. ვინაიდან ამ დროს ბრინჯაოს მედაპირზე სპილენძის თხელი ფენა უფრო თხელდება, ხდება ბრინჯაოს ფენის შემდგომი გარდაქმნა სპილენძად. ეს პროცესი გრძელდება მანამ, სანამ ორივე მედაპირზე არ წარმოიქმნება დაახლოებით ერთნაირი სისქის ფენა.

დამყარებული პერიოდი: ორივე, როგორც ბრინჯაოს, ასევე ფოლადის მედაპირი დაფარულია სპილენძის სისქის 1...2 მკმ აფსკით. ბრინჯაოს გახსნის პროცესი წყდება, ვინაიდან გლიცერინის მოლეკულები უკვე ვეღარ აღადგენენ ლითონს მედაპირულ ფენებში, რის შედეგადაც შერჩევითი გადატანის პროცესი გალადის დამყარებულ რეჟიმში.

ამრიგად, პროცესი მოკლედ ასე შეიძლება წარმოვსახოთ: რადგან გლიცერინი კარგი აღმდგენია, ათავისუფლებს ლითონს ქანგეულებისაგან და უზრუნველყოფს სპილენძისა და ფოლადის საიმედო შეჭიდებას. შედეგად ფოლადის მედაპირი იფარება სპილენძის აფსკით და მოხახუნე წყვილი ბრინჯაო-ფოლადი გადაიქცევა წყვილად სპილენძი-სპილენძი.

2. სერვოვიტული აფსკი შეიძლება წარმოიქმნას ხახუნის კვანძში ისეთი შემზეთი მასალების გამოყენების დროს, რომლებსაც ლითონმიტკეცი (ლითონის დაფარვის) თვისებები აქვთ და შეიცავენ ბრინჯაოს, სპილენძის, კალას, ვერცხლის და სხვა ლითონური მასალების მცირე ნაწილაკებს. მაგალითად, მოხახუნე წყვილი – ფოლადი-ფოლადი ЦИАМИТ -201-ზე სპილენძის, ბრინჯაოს, თითბრის ან ტყვიის დამატებით შემეთვის დროს გამოყენებული ლითონების ფხვნილის თხელი აფსკით იფარება. ხახუნის პროცესში ლითონური ფხვნილები იხსნება შემზეთ მასალაში და ქანგეულების აფსკებიდან განთავისუფლების შემდეგ მჭიდროდ უკავშირდება ფოლადის მედაპირს, რითაც წარმოქმნის სერვოვიტულ აფსკს. ასეთი გზით წარმოქმნილი აფსკი ფოროვანია, ხოლო ფორები შეიცავენ შემზეთ მასალას. შედეგად მკვეთრად უმჯობესდება ხახუნის პარამეტრები – მცირდება ხახუნის კოეფიციენტი, ფოლადის მედაპირი პრაქტიკულად არ ცვლება.

თუ შემზეთი მასალა ხასიათდება კარგი აღმდგენი თვისებებით, შერჩევითი გადატანის რეალიზებისათვის საკონტაქტო ზონაში შეიძლება აგრეთვე სპილენძის ქვექანგის ან ქანგის შეტანა.

3. სერვოვიტული აფსკი შეიძლება ფორმირებულ იქნეს მაშინაც, თუ ერთ-ერთ მოხახუნე სხეულად გამოყენებულია სპილენძის ქვექანგით შევსებული ფოროპლასტ-4 (პოლიტეტრაფთორეთილენი) გლიცერინის შემეთვის პირობებში. სერვოვიტული აფსკი წარმოიქმნება სპილენძის ქვექანგის აღდგენით, რომელიც გლიცერინის ხელშეწყობით ხდება. შედეგად ფოლადის მედაპირი სპილენძის ფენით იფარება.

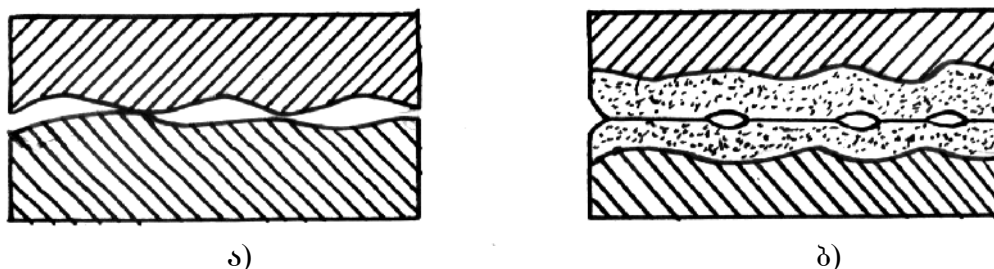
არსებობს ხახუნის პროცესში სერვოვიტული აფსკის წარმოქმნის სხვა პირობებიც.

3.4. შერჩევითი გადაგანის ფიზიკური საფუძვლები

გავარკვევით და შევისწავლოთ შერჩევითი გადაგანის ის ფაქტორები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ესოდენ დიდ ეფექტს – გრიბოლოგიურ სისტემაში უმცირეს ხახუნის ძალას და პრაქტიკულად ცვეთის გარეშე პროცესს.

1. შებეთვის გარეშე, ან სასაზღვრო შებეთვის პირობებში ჩვეულებრივი გრიბოლოგიური პროცესის დროს კონტაქტი ვრცელდება მცირე ფართობზე და, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, იგი შეადგენს ნომინალური ფართობის მხოლოდ 0,01...0,0001 ნაწილს. შესაბამისად, დიდია ლოკალური კონტაქტური ძაბვების მნიშვნელობები. უკანასკნელი იწვევს პლასტიკურ და სხვა სახის დიდ დეფორმაციებს. ყოველივე ეს კი წინაპირობაა გრიბოლოგიური სისტემის ინტენსიური ცვეთისა.

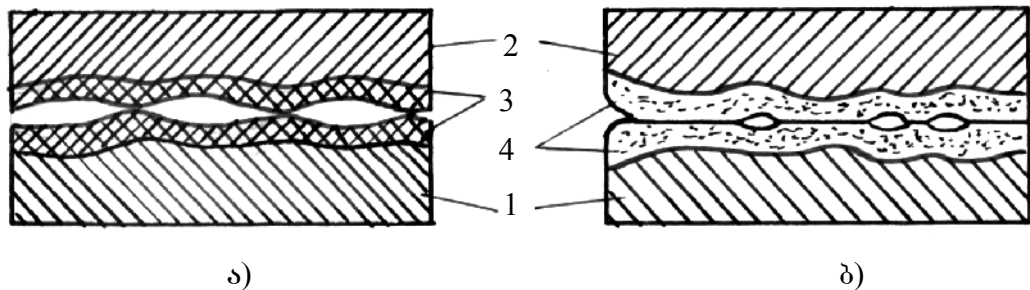
გემოთ ნათქვამი სქემატურად ილუსტრირებულია 3.2ა ნახ-ზე, საიდანაც თვალნათლივ ჩანს, რომ ჩვეულებრივი ხახუნი წერტილოვანი შეხებით ხორციელდება. შერჩევითი გადაგანის დროს კი კონტაქტი ხდება პლასტიკურად დეფორმირებული სპილენძის ფენების ურთიერთშეხების მეშვეობით (ნახ. 3.2ბ), ე.ი რამდენიმე ათეულჯერ უფრო დიდ ფართობზე, რაც ნიშნავს იმას, რომ დეფორმაცია ბევრად უფრო მცირეა და უმრავლეს შემთხვევაში მდებარეობს დრეკადობის ზღვრებში.



ნახ. 3.2. მოხახუნე ღეგალების კონტაქტის სქემა სასაზღვრო შებეთვისა (ა) და შერჩევითი გადაგანის (ბ) დროს

როგორც გემოთ იყო აღნიშნული, სერვოვიტული აფსკის სისტემა 1...2 მკმ-ია, რაც დაახლოებით შეესაბამება მანქანათშენებლობაში გამოყენებული ღეგალების სიმქისის პარამეტრებს, რის გამოც შერჩევითი გადაგანისას ხახუნის კონტაქტი ხორციელდება ბრტყელ, შედარებით დიდ ზედაპირებზე.

2. სასაზღვრო შეშეთვისა და საერთოდ, შეშეთვის გარეშე მოხახუნე გელაპირები ხახუნის პროცესში იფარებიან ქანგის აფსკით (ნახ. 3.3), რომელიც, როგორც ცნობილია, იცავს ლითონურ გელაპირებს ერთმანეთთან შეჭიდებისაგან. მაგრამ იმის გამო, რომ აფსკი მეტად მყიფეა, მუშაობის გარკვეული პერიოდის შემდეგ დეფორმაციების შედეგად ირღევეა მისი მთლიანობა. აფსკის რღვევის პროცესი არის წინააღმდეგობის რაღაც მნიშვნელობა და იგი გარკვეულწილად განსაზღვრავს ხახუნის ძალას მოცემულ კვანძში.



ნახ. 3.3. წარმონაქმნები მოხახუნე დეტალების საკონტაქტო გელაპირზე

სასაზღვრო შეშეთვისა (ა) და შერჩევითი გადაგანის (ბ) დროს:

1 – ფოლადი; 2 – ბრინჯაო; 3 – ნაქანგი აფსკი; 4 – სერვოვიტული აფსკი

გრიბოლოგიური პროცესებისათვის დამახასიათებელი მაღალი ტემპერატურული მნიშვნელობები იწვევენ აფსკის სისქის გადიდებას, რაც, თავის მხრივ, ზრდის წინააღმდეგობის სიდიდეს ანუ ხახუნის ძალას.

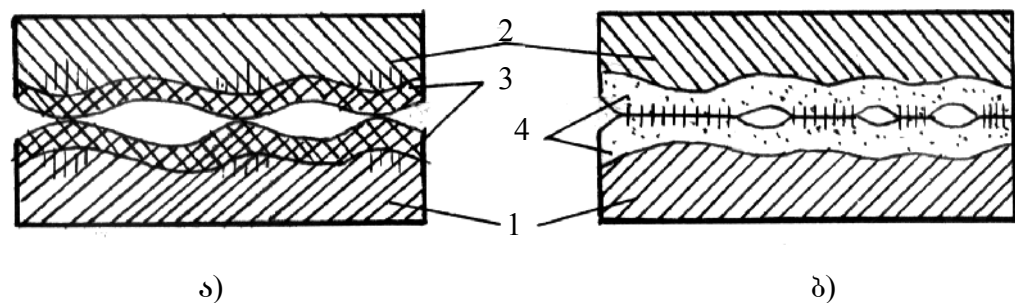
შერჩევითი გადაგანის რეჟიმში მოხახუნე გელაპირები დაცულია დაქანგვისაგან დადებითად დამუხტული ადსორბირებული გელაპირულაქტიური ნივთიერებების სქელი ფენით, რომელიც წარმოიქმნება გარემო პირობებისა და შემშეთი საშუალებების ხახუნის პროცესში მონაწილეობის შედეგად და რომლებიც იცავენ სერვოვიტულ აფსკს ქანგბადისაგან. შედეგად ხელი ეწყოფა ჰემოსორბციულ პროცესებს, რაც, თავის მხრივ, დამცავი საშუალებაა ცივნაჭელობის წარმოქმნის საწინააღმდეგოდ და, შესაბამისად, იცავს გელაპირის ინგენსიური ცვეთისაგან (ჰემოსორბცია ისეთი პროცესია, როდესაც მყარი სხეულის გელაპირზე კონცენტრირდება რაიმე ნივთიერება გაზის ან სითხის სახით და, განსხვავებით ადსორბციისაგან, წარმოიქმნება ქიმიური შენაერთი).

აღნიშნულის გამო, თუ ჩვეულებრივი ხახუნის დროს მოხახუნე გელაპირებზე წარმოიქმნება ცივნაჭელობის კერები, რომლებიც ხახუნის პროცესში იწვევენ გელაპირის

რღევას, სერვოვიტულ აუსკზე ცინაჭელობის კერები არ წარმოიქმნება და შესაბამისად შესაძლებელია მისი მრავალჯერადი დეფორმირება გელაპირის რღვევის გარეშე.

3. შერჩევითი გადაგანის პროცესის რეალიზაციისათვის აუცილებელია შემზოთ გარემოში გელაპირულაქტიური ნივთიერებების არსებობა, რომელსაც უმრავლეს შემთხვევაში შემზოთი საშუალებები შეიცავენ, წინააღმდეგ შემთხვევაში მათი მისართის სახით გათვალისწინება რთული არ არის. გელაპირულაქტიური ნივთიერებები თავისი ფიზიკურ-ქიმიური გემოქმედებით იწვევენ ლითონის, ამ შემთხვევაში, სპილენძის გელაპირული ფენის პლასტიფიცირებას (დენალობასა და ელასტიკურობის მაჩვენებლების მრდას), შესაბამისად, ხახუნის ძალის შემცირებას მოხახუნე გელაპირებს შორის. სამეცნიერო პრაქტიკაში ეს მოვლენა პირველად პ. რებინდერმა შენიშნა, ამიგომ სამეცნიერო ლიტერატურაში, სათანადოდ, „რებინდერის ეფექტი“ ეწოდა. ამ ეფექტის არსი ასეთია: საჭიროა მოხახუნე გელაპირებზე დადებითი გრადიენტის უზრუნველყოფა გელაპირული ფენის სიმკვცის შემცირებისა და გაფხვიერების გზით, რომელიც, თავის მხრივ, განპირობებულია გელაპირულაქტიური კომპონენტების მოქმედების შედეგად გამოწვეული აღსორბციით.

ჩვეულებრივი ხახუნის დროს ნაქანგი აუსკის არსებობის გამო გელაპირულაქტიური ნივთიერება ვეღარ აღწევს ლითონის გელაპირამდე და მცირდება რებინდერის ეფექტი, ე.ი. იზრდება პლასტიკური დეფორმაციების მასშტაბები (სიღრმე) და მასთან ერთად ცვეთის ინტენსივობა (ნახ. 3.4ა).



ნახ. 3.4. დეფორმაციების განაწილების სქემა საკონტაქტო ადგილებში

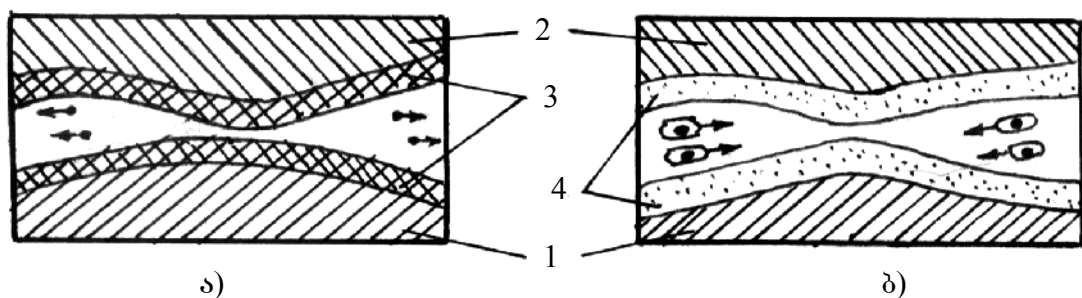
სასაზღვრო შემთოვისა (ა) და შერჩევითი გადაგანის (ბ) დროს:

1 – ფოლადი; 2 – ბრინჯაო; 3 – ნაქანგი აუსკი; 4 – სერვოვიტული აუსკი;

5 – პლასტიკური დეფორმაციის ზონა

შერჩევითი გადაგანის შემთხვევაში, იმის გამო, რომ არ არსებობს ნაქანგის აფსკი, რეზინდერის ეფექტი რეალიზებულია მთელი თავისი შესაძლებლობით და დეფორმირდება მხოლოდ სერვოვიგული აფსკი. შედეგად მნიშვნელოვნად მცირდება ხახუნის წინააღმდეგობა და ცვეთა (ნახ. 3. 4ბ)

4. ჩვეულებრივი ხახუნის დროს სასაზღვრო შეშეთვის პირობებში ცვეთის პროდუქტი ძირითადად ქანგეულებია, რომელთაც ელექტრული მუხტი არა აქვთ. ცვეთის პროდუქტების უმცირესი ნაწილაკები თავისუფლად გადაადგილდებიან საკონტაქტო ზონაში მოხახუნე ზედაპირებს შორის და გემოქმედებენ ზედაპირებზე, როგორც აბრაზიული ელემენტები. ამის გამო პრაქტიკაში გრიბოლოგიური სისტემების მუშაობის ხელსაყრელი გარემოების შექმნის ერთ-ერთი პირობაა ხახუნის ზონიდან და შემდეგ შემზეთი სისტემიდან მათი გაგანა (ნახ. 3.5).



ნახ. 3.5. ცვეთის პროდუქტების მოძრაობის სქემა საკონტაქტო ზონაში

სასაზღვრო შეშეთვისა (ა) და შერჩევითი გადაგანის (ბ) დროს:

1 – ფოლადი; 2 – ბრინჯაო; 3 – ნაქანგი აფსკი; 4 – სერვოვიგული აფსკი

შერჩევითი გადაგანის დროს სერვოვიგული აფსკის არსებობის პირობებში ცვეთის პროდუქტია სპილენძის ნაწილაკები, რომელთა ზედაპირები დიდი აქტიურობის გამო სწრაფად აღსორბირდება ზედაპირულაქტიური ნივთიერებების მეშვეობით. იმის გამო, რომ ასეთი ნაწილაკები (მათ მიცელებს უწოდებენ) ელექტრულად დამუხტულია, ზოგი თავს იყრის ღრეჩოებში (ნახ. 3.5 ბ), ხოლო ზოგი ერთი ზედაპირიდან მეორეზე გადადის. ამასთან, სპილენძის ნაწილაკების შეჭიდება ძირითადად ლითონთან წარმოქმნის სერვოვიგულ აფსკს.

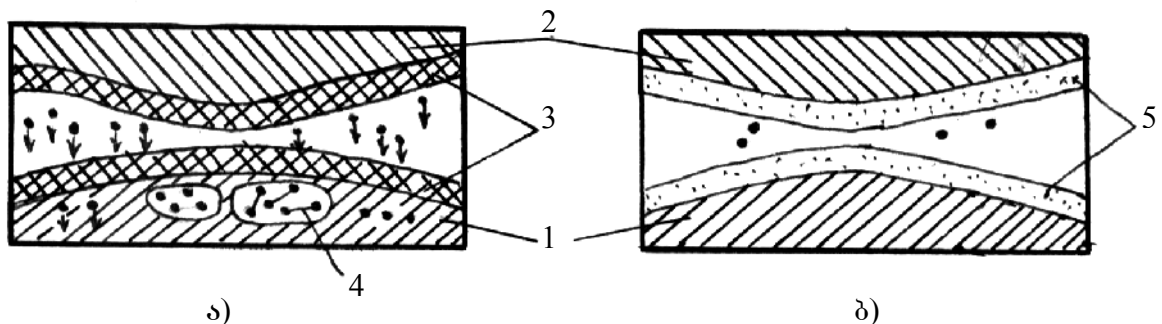
5. ცვეთის გამომწვევი ცნობილი ფაქტორებიდან თავისი ხვედრითი წილით ერთ-ერთი მთავარია წყალბადოვანი ცვეთა (ეს მოვლენა აღმოჩენის ღონეზე დაამუშავა დ.

გარკუნოვმა ო. პოლიაკოვთან ერთად). ხახუნის კვანძების ზონაში წყალბადის წარმოშობის წყაროა საწვავის შემზეთი საშუალებების, შემზეთ-გამაცივებელი სითხეების, წყლის ორთქლის დაშლის პროცესი. წყალბადის წარმოშობის მიზეზი შეიძლება იყოს აგრეთვე პოლიმერული მასალების დესტრუქციის მოვლენა.

ამასთან, წყალბადი ადვილად აღწევს ლითონის სიღრმეში და წარმოქმნის ბზარების კერებს (ნახ. 3.6). უკანასკნელი იწვევს დეგალის გედაპირული ფენის ინტენსიურ ცვეთას. წყალბადოვანი ცვეთის პროცესი თან სდევს კოროზიულ-მექანიკურ და აბრაზიულ ცვეთას.

წყალბადოვანი ცვეთის პროცესი ჯერჯერობით არ არის სრულად შესწავლილი და მრავალ პრობლემურ საკითხს შეიცავს. დღეისათვის დაცვის ეფექტურ საშუალებად მხოლოდ შერჩევითი გადაგანა შეიძლება ჩაითვალოს. უკანასკნელი განპირობებულია შემდეგი გარემოებებით: სერვოვიტული სპილენძის აფსკი ამცირებს ხვედრით რეალურ დატვირთვებს, რაც ხელს უშლის წყალბადის წარმოქმნის პირობებს. ამას გარდა, სპილენძის აფსკი არის საკმაოდ კარგი დამცავი საშუალება წყალბადის მოხახუნე სხეულში შეღწევისაგან.

გემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორების სია სრული არ არის და შესაძლებელია მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების შემდგომ ეტაპებზე გაიზარდოს.



ნახ. 3.6. წყალბადის მოძრაობის სქემა საკონტაქტო ზონაში სასაზღვრო
შემზეთის დროს (ა) და შერჩევითი გადაგანის (ბ) დროს:

1 – ფოლადი; 2 – ბრინჯაო; 3 – ნაქანგი აფსკი; 4 – წყალბადის იონების
შეგროვების ადგილები; 5 – სერვოვიტული აფსკი

3.5. ანომალიური მცირე ხახუნის ეფექტი

მე-20 საუკუნის 60-იანი წლების ბოლოს რუსი მეცნიერების – ა.სილინისა და ე.დუხოვსკის მიერ აღმოჩენილ იქნა გემცირე ხახუნის მოვლენის ეფექტი, რომლის არსი ასე შეიძლება ჩამოყალიბდეს:

პოლიეთილენისა და პოლიპროპილენის (კლასიკურ ანტიფრიქციულ მასალად არც ერთი არ ითვლება) ხახუნის კოეფიციენტი ვაკუუმის პირობებში მათზე ჰელიუმის ატომების ნაკადით გემოქმედების შედეგად შესაძლებელია ორი რიგით შემცირდეს. მაგ., თუ ნომინალურ პირობებში მათი ხახუნის კოეფიციენტი იცვლება 0,10...0,13 ზღვრებში, ატომური ნაკადის (სიმკვრივით 10^3 ატომი ერთ სმ^2 -ზე და ენერგიით 2 კილოელექტრონვოლტი) გემოქმედების შედეგად ხახუნის კოეფიციენტი მცირდება 0,0015-მდე. ასეთი შედეგები მიღებულ იქნა შემდეგი საექსპლუატაციო პარამეტრების პირობებში: სრიალის სიჩქარე – 0,2 მ/წმ; წნევა – 20...60 კპა, გარემოს გაიშვიათება $665 \cdot 10^{-6}$... $665 \cdot 10^{-4}$ პა. გამოსხივების შეწყვეტისთანავე ხახუნის გემცირე ეფექტის მოვლენა ქრება.

აღნიშნული მოვლენა ჯერ ყველა მასალისათვის არ არის შესწავლილი, მაგრამ ცნობილია, რომ იგი ფთოროპლასტ 4-სა და პოლისტიროლზე არ შეინიშნება.

ანომალიური გემცირე ხახუნი და, შესაბამისად, მცირე ცვეთა ოპტიკურ-ფიზიკურ გამოძვრათა საკავშირო სამეცნიერო-საკვლევი ინსტიტუტის გამოკვლევების საფუძველზე იმით აიხსნა, რომ მოხახუნე დეტალის ზედაპირის თხელი ფენა დასხივების შედეგად განიცდის სტრუქტურულ მოწესრიგებას, ორიენტაციას. უკანასკნელისათვის კი დამახასიათებელია მცირე ზედაპირული ენერგია, რომელიც, თავის მხრივ, უზრუნველყოფს ხახუნის ძალების მინიმიზაციას. ამასთან, ზედაპირის ასეთი მდგომარეობა მდგრადია გრიბოლოგიური პროცესებისათვის დამახასიათებელ მაღალ ტემპერატურამდე.

აღწერილი ეფექტი დასხივების გარეშე შეინიშნება ისეთი სტრუქტურული აგებულების ნივთიერებებზე, რომლებსაც ფენოვანი კრისტალური სტრუქტურა აქვთ (მაგ., მოლიბდენი). ამ შემთხვევაში ზედაპირული ფენის მოწესრიგება - გრიბოლოგიური პროცესის სტრუქტურული ორიენტაცია ვაკუუმში მიმდინარეობის დროს ხორციელდება სითბური ენერგიის ხარჯზე, მაგრამ აჩქარებული ნაწილაკებით მოხახუნე ზედაპირის დაბობვდა პროცესს მაინც უფრო ინტენსიურს ხდის.

აღწერილი მოვლენის საფუძველზე ეფექტის ავტორებმა შეძლეს შეექმნათ ახალი თვითმეთვალი მასალა, რომელიც წარმატებით მუშაობს ჩვეულებრივ და მძიმე

პირობებში, კერძოდ, ვაკუუმის პირობებში. დაბალ და მაღალ ტემპერატურაზე მასალა ინარჩუნებს შრომის უნარს და უზრუნველყოფს ზემცირე ხახუნის კოეფიციენტს. იგი გამოცდილი იქნა სხვადასხვა დარგის რეალურ საწარმოო პირობებში.

გამოსხივების წყარო შესაძლებელია პორტატული ხელსაწყოთა სახით დამზადდეს. ამასთან, მცირე ენერგიის ხარჯი გამოსხივებაზე.

ზემოაღწერილის საფუძველზე ეფექტი მომავალში პერსპექტიულ მოვლენად წარმოგვიდგება.

თავი 4. ტრიბოლოგიური პროცესი შემზეუთი მასალებით

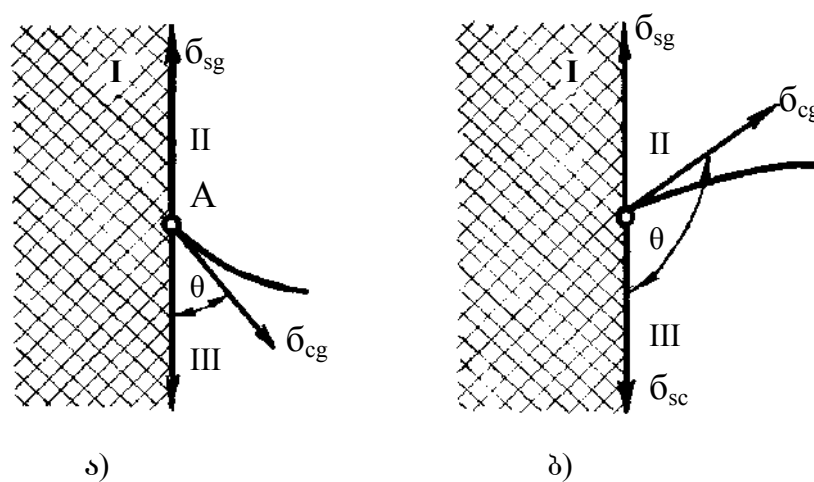
4.1. შემზეუთი მასალის დანიშნულება და თვისებები

შემზეუთი მასალის დანიშნულებაა ტრიბოლოგიურ სისტემაში შეამციროს ხახუნის ძალები და ცვეთის ინტენსივობა. გარდა ამისა, შემზეუთი მასალის გამოყენება ხელს უწყობს ტემპერატურისა და დაწნევის მნიშვნელობათა გათანაბრებას ხახუნის ზონებში, სითბოს არინებას მაქსიმალური ტემპერატურის ზონიდან, დარტყმითი დატვირთვების და რხევების შემცირებას, კოროზიისაგან მასალების დაცვას, ცვეთამდე გვიანგეულებისა და სერვოვიტული აფსკების წარმოქმნას და ა. შ.

ყოველივე ეს მიიღწევა იმის მეშვეობით, რომ შემზეუთი მასალა ერთმანეთისაგან აცალკევებს მოხახუნე ზედაპირებს და, შესაბამისად, ამცირებს ურთიერთაღჰეზიურ და მექანიკურ ზემოქმედებას.

შემზეუთი მასალების დამახასიათებელ თვისებად ითვლება მასალის სტრუქტურულ ელემენტებს (ფენებს, მოლეკულებს, ატომებს, იონებს) შორის სუსტი ურთიერთმიზიდულობა. უკანასკნელი განაპირობებს იმას, რომ სტრუქტურული ელემენტების ფარლობით გადაადგილებაზე იხარჯება ენერგიის მცირე ნაწილი, რაც, თავის მხრივ, ხსნის მცირე წინააღმდეგობის ეფექტს ხახუნის პროცესში. სხვა სიტყვებით, ხახუნის მცირე წინააღმდეგობა მოხახუნე ზედაპირების ურთიერთმოძრაობის დროს ძირითადად აიხსნება შემზეუთი მასალის შიგა ხახუნის მცირე მნიშვნელობით.

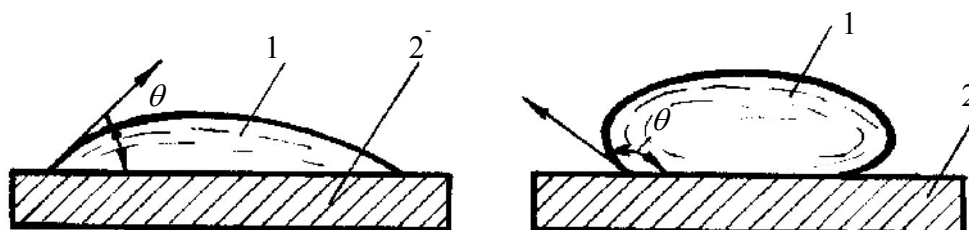
შემზეუთი მასალის აუცილებელი თვისებაა, რომ მას ჰქონდეს მოხახუნე ზედაპირის შემეთვის უნარი. ამისათვის იგი უნდა ასველებდეს მას. კარგი დასველების უნარი ოპტიმალური შემეთვის ძირითადი პირობაა. განვიხილოთ ამ მოვლენის ზოგიერთი პარამეტრი: კუთხე θ იწოდება დასველების კუთხედ და იგი განსაზღვრავს შემზეუთი სითხის მყარი სხეულის დასველების ხარისხს. დასველების კუთხე θ , რომელიც ზოგჯერ სასაზღვროდაც იწოდება, არის კუთხე დასველებულ ზედაპირსა და სითხის მენისკის მყარ სხეულთან შეხების წერტილში გავლებულ მხებს შორის (ნახ. 4.1, 4.2, 4.3). თუ $\theta < \frac{\pi}{2}$, მაშინ შემზეუთი სითხე ასველებს მოხახუნე ზედაპირს და თუ $\theta > \frac{\pi}{2}$, სითხე ზედაპირს არ ასველებს.



ნახ. 4.1. სითხის მენისკის სხვადასხვა ფორმები ვერტიკალურ ზედაპირზე:

ა – შეზნექილი მენისკი; ბ – ამობურცული მენისკი;

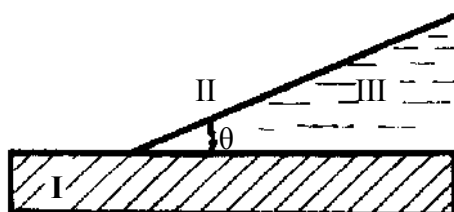
I – მყარი სხეული; II – ჰაერი (გაზი); III – სითხე



ნახ. 4.2. მყარი სხეულის დასველების კუთხის სხვადასხვა

მნიშვნელობა ჰორიზონტალურ ზედაპირზე:

1 – სითხე; 2 – მყარი სხეული



ნახ. 4.3. მაღალი დასველების თვისების მქონე მყარი სხეულის

დასველების პარამეტრი:

I – მყარი სხეული; II – ჰაერი (გაზი); III – სითხე

თუ დასველების კუთხე $\theta = 0$, ხდება შემზეითი სითხის მიერ გელაპირის აბსოლუტური დასველება და როცა $\theta = \pi$, გვაქვს აბსოლუტური არდასველება.

დასველების (სასაზღვროს) კუთხის სიდიდე სითხის წვეთისათვის, რომელიც მდებარეობს მყარ სხეულზე, განპირობებულია შემდეგი ძალების წონასწორობის პირობებიდან:

- სითხის მოლეკულებს შორის არსებული კოჰეზიური ძალები;
- მყარი სხეულის ნაწილაკებსა (იონების, მოლეკულების, ატომების) და სითხის მოლეკულებს შორის მიზიდულობის ძალები;
- მიზიდულობის ძალები სითხის იმ მოლეკულებს შორის, რომლებიც უშუალოდ არ ეხებიან მყარ სხეულს, მაგრამ დაშორებულია მისი გელაპირიდან არაუმეტეს მოლეკულური მიზიდულობის მანძილისა;
- გრავიტაციული ძალები.

მოქმედი ძალების გაანალიზების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ კოჰეზიური ძალები უზრუნველყოფენ დასველების კუთხის ბრძას, ხოლო სხვა დანარჩენი ძალები კი ამცირებენ დასველების კუთხეს. ამასთან, წონასწორობის პირობიდან შესაძლებელია დასველების კუთხის განსაზღვრა ანალიზურად.

სითხეების შიგა ხახუნის წინააღმდეგობის ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორად ითვლება სითხის სიბლანგე. ბეთების სიბლანგე ანუ სითხეების შიგა ხახუნის წინააღმდეგობა შეიძლება განიმარტოს, როგორც ბეთის ერთი ფენის მეორის მიმართ ძერისადმი წინააღმდეგობის თვისება ანუ წინააღმდეგობა იმ ძალებისადმი, რომლებიც იწვევენ სითხის მოძრაობას. ამასთან, ერთის მხრივ დიდი სიბლანგე აძნელებს ხახუნის მონიდან ბეთის გამოღვენას და, შესაბამისად, უზრუნველყოფილია ხახუნის პროცესში მოხახუნე გელაპირებს შორის ბეთის არსებობა. მეორეს მხრივ, დიდი სიბლანგე მომეტებული წინააღმდეგობაა დიდი შიგა ხახუნის გამო. ამიტომ ბეთის შერჩევა ოპტიმალური სიბლანგით გრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუირების დროს საპასუხისმგებლო ამოცანაა.

განასხვავებენ სიბლანგის ორ მახასიათებელს: დინამიკურს და კინემატიკურს.

დინამიკური სიბლანგის მახასიათებელი გამოიყენება შემზეთვის ჰიდროდინამიკური გაანგარიშების დროს. დინამიკური სიბლანგის ერთეულად მიღებულია ძალა, რომელიც საჭიროა რომელიმე გელაპირიდან ერთეული მანძილით დაშორებული ერთეულოვანი ფართობის მქონე გელაპირის ერთეულოვანი სიჩქარით გადაადგილებისათვის.

უკანასკნელ პერიოდამდე ფართოდ გამოყენებულ ფიზიკურ ერთეულთა სისტემაში თუ ძალის ერთეულად მივიჩნევთ 1 დინს, სიჩქარის ერთეულად – 1 სმ/წმ-ს და ფართობს – 1 სმ²-ს, მაშინ დინამიკური სიბლანტის ერთეულია 1 ჰუაზი. SI სისტემაში დინამიკური სიბლანტის მაჩვენებლად მიღებულია პა.წმ (1ჰუაზი= 10⁻¹ პა. წმ) და აღინიშნება ასოთი „η“. პრაქტიკაში ხშირად სარგებლობენ 100-ჯერ ნაკლებ ერთეულს - სანტიჰუაზს (1 სანტიჰუაზი=10⁻³ პა.წმ).

ზეთების წარმოების დროს მოსახერხებელია ისარგებლონ სიბლანტის კინემატიკური მაჩვენებლით, რომელიც აღინიშნება ν -თი და განისაზღვრება დროის იმ მონაკვეთით, რომელიც საჭიროა მოცემული რაოდენობის ზეთის გადინებისათვის კაპილარულ მილში საკუთარი სიმძიმის ძალის მეშვეობით. ამიგომ მასალის კინემატიკური სიბლანტე დამოკიდებულია მის სიმკვრივეზე და წარმოადგენს დინამიკური სიბლანტის ფარდობას სიმკვრივესთან. კინემატიკური სიბლანტის ერთეულად ფიზიკურ ერთეულთა სისტემაში მიჩნეული იყო სმ/წმ ანუ 1 სტოქსი. SI სისტემაში შესაბამისი ერთეულია 1 მ²/წმ (1სტოქსი=10⁻⁴ მ²/წმ). პრაქტიკაში კინემატიკური სიბლანტის ერთეულად ხშირად იყენებენ 100-ჯერ ნაკლებ სიდიდეს – სანტისტოქსს (1სანტისტოქსი=10⁻⁶ მ²/წმ).

კინემატიკური სიბლანტის გადაანგარიშებისათვის დინამიკურის გათვალისწინებით პრაქტიკულად შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$\eta = \rho \cdot \nu, \quad (4.1)$$

სადაც ρ არის ზეთის სიმკვრივე გ/სმ³ ან კგ/ლ მოცემულ ტემპერატურაზე (SI სისტემაში – კგ/მ³); η – დინამიკური სიბლანტე, სანტიჰუაზი (SI სისტემაში – პა.წმ); ν – კინემატიკური სიბლანტე, სანტისტოქსი (SI სისტემაში – მ²/წმ).

ზეთის სიბლანტის მაჩვენებლები შესაბამის ცნობარებში მოცემულია 50 ან 100 °C-ზე.

ნავთობისაგან მიღებული თხევადი შემზეთი მასალები ნაკლებად შეიცავენ დიდი სიბლანტის მქონე ზეთოვან ფრაქციებს. ამ ნაკლის აღმოსაფხვრელად შემზეთი მასალაში შეჰყავთ თხევადი პოლიმერები დიდი ფარდობითი მოლეკულური მასით.

პოლიმერების დიდი და გრძელი მოლეკულები აძნელებენ ზეთის მცირე მოლეკულების ერთმანეთში გადარევას და, ე. ი. ზრდიან სიბლანტეს. შესაბამისად, რაც უფრო დიდია პოლიმერების კონცენტრაცია შემზეთი მასალის მასაში, მით უფრო დიდია ზეთის სიბლანტე. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ შემზეთი მასალის სიბლანტის გაზრდა ამ გზით არ არის უნაკლო. საქმე ისაა, რომ ზეთებში არსებული პოლიმერების

მოლეკულები განიცდიან დეგრადირებას დესტრუქციით. პოლიმერების დესტრუქცია კი, თავის მხრივ, იწვევს სიბლანტის შემცირებას, რაც ზეთის უვარგისად მიჩნევის მიზეზი ხდება.

ზეთი, როგორც აღვნიშნეთ, ხახუნის კოეფიციენტის შემცირებასთან ერთად მუშა მონიდან წარიგაცებს ხახუნის შედეგად გაჩენილ სითბოს. მაგრამ, იმის გამო, რომ ზეთების სითბოგევალობა მცირეა (იგი დაახლოებით 4-ჯერ ნაკლებია წყლისაზე), საჭირო ხდება იგი ხახუნის მონაში დიდი რაოდენობით შევიტანოთ.

განსხვავებულ სურათს იძლევა შემზეთი მასალები ტრიბოლოგიურ სისტემებში პოლიმერული მასალების გამოყენებისას. ხახუნის კვანძებში პოლიმერული მასალების გამოყენების სპეციფიკური სურათი საფუძველს აძლევს ზოგ ავტორს, დასვას საკითხი აღნიშნულ ვითარებაში ზეთების გამოყენების მიზანშეუწონლობის შესახებ. ასეთი მოსაზრება ეფუძნება შემდეგ ფაქტორებს:

- ჩვეულებრივ, იმის გამო, რომ პოლიმერულ ზედაპირებს მცირე ზედაპირული ენერგია აქვთ და გაძნელებულია ზეთის სასაზღვრო აფსკის წარმოშობა, მანქანათმშენებლობის პრაქტიკაში გამოყენებული ზეთები ცუდად ასველებენ პოლიმერულ მასალებს;
- შემზეთი მასალები ზოგ შემთხვევაში იწვევენ მოხახუნე პოლიმერული ზედაპირების პლასტიფიკაციას, ე. ი. მექანიკური თვისებების გაუარესებას.

აღნიშნული მოვლენები მართლაც ხდება იქ, სადაც პოლიმერული მასალებია გამოყენებული ტრიბოსისტემის თხევადი მასალებით შემზეთვის დროს. ზოგადად კი ხახუნის კვანძების ექსპლუატაციის დროს, როცა გამოყენებულია მანქანათმშენებლობაში მიღებული პოლიმერული მასალები, შემზეთი მასალები მაინც დადებით როლს თამაშობენ. მსჯელობა მართებულია მხოლოდ იმის თაობაზე, თუ რამდენად უფრო ეფექტურია მოცემულ ვითარებაში მოცემული ზეთების გამოყენება. უკანასკნელი დასტურდება მრავალმხრივი ექსპერიმენტით.

თხევადი შემზეთი მასალები ხასიათდებიან ორი ფრიად ყურადსაღები თვისებით: ტრიბოლოგიური სისტემების ექსპლუატაციის პროცესში ზეთები „ბერდებიან“ (ძველდებიან) და რეალურ პირობებში მინარევებით ნაგვიანდებიან.

პირველი განპირობებულია ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის დამახასიათებელი თბური და ჰაერის ქანგბადის გემოქმედებით;

მეორე – გარემო პირობებში არსებული და ცვეთის პროდუქტების ნაწილაკების ზეთში შერევით.

აღნიშნული გარემოებების მოქმედების შედეგად ჟანგვა, გარეშე მინარევები და თერმოქიმიური ცვლილებები ხახუნის პროცესში იწვევენ ბეთების ქიმიური შედგენილობის შეცვლას, რაც, თავის მხრივ, იწვევს მისი თვისებების შეცვლას.

ჟანგვის პროცესში ხდება ჰაერში არსებული ჟანგბადის შეერთება ბეთის ყველაზე ნაკლებად მედეგ კომპონენტებთან და წარმოიქმნება მჟავას პროდუქტები. იძენს რა მჟავურ თვისებებს, ბეთი იწვევს გრიბოლოგიური სისტემის ლითონური დეტალების კოროზიას. გარდა ამისა, ჟანგვის პროცესს შეიძლება ჰქონდეს დეჰიდრირების თვისება (ჰიდრირება ანუ ჰიდროგენიზაცია – ლათინური სიტყვიდან *hydrogenium* – წყალბადი, რომელიც აღნიშნავს პროცესს, როდესაც მიმდინარეობს წყალბადის შეერთება შემზეთი მასალის შემადგენელ ქიმიურ ელემენტებთან ან შენაერთებთან. ამავედროულად, უკურეაქციას, როდესაც წარმოებს წყალბადის მოხლეჩა ქიმიური შენაერთებიდან, ეწოდება დეჰიდრირება ანუ დეჰიდროგენიზაცია. ამ დროს ჟანგბადი ნახშირწყალბადოვან მოლეკულებს ართმევს წყალბადის ატომებს და მასთან წარმოქმნის წყალს, ხოლო ბეთის დეჰიდრირებული მოლეკულები ღიად დარჩენილი თავისუფალი კავშირების გამო იძენენ ერთმანეთთან გაერთიანების მიდრეკილებას და წარმოიქმნიან შენაერთების დიდი მოლეკულური მასით. ასეთი გზით შენაერთების წარმოქმნა მიჩნეულია ფისების წარმოქმნის გიპურ რეაქციად, რომელთაც, ბუნებრივია, არ გააჩნიათ ბეთის საწყისი თვისებები და გრიბოლოგიურ პროცესში უარყოფით როლს თამაშობენ. ფისებს აქვთ შავი ფერი და მათი კონცენტრაციის გაზრდა, რა თქმა უნდა, იწვევს ბეთის გამუქებას, რის გამოც აღნიშნულ მოვლენას იყენებენ ბეთის დაძველების შეფასების ერთ-ერთ კრიტერიუმად.

ბარეშე მინარეშეში შემზეთ მასალაში სხვადასხვა სახისაა და სხვადასხვაა მათი წარმოქმნის წყაროც. გარეშე მინარევები შემზეთ მასალაში შემდეგი სახით გვხვდება:

- გარეშე ჰაერის მტვერი;
- ხახუნის კვანძის ცვეთის პროდუქტები (ლითონური აბრაზივი);
- ბეთის მოცულობებისა და მიღგაყვანილობის კოროზიის პროდუქტები;
- არასრული წვის შედეგად დარჩენილი პროდუქტები (სათბობი, წყალი).

თერმოქიმიური პროცესები ამცირებენ ბეთში მსუბუქი ფრაქციების რაოდენობას, იწვევენ ბეთის მოლეკულების თბურ დაშლას და ინტენსიურს ხდიან დეჰიდრირებას, ე. ი. ნახშირწყალბადიანი ნაერთებისაგან ფისწარმოქმნას, რაც, თავის მხრივ, იწვევს მოლეკულური წონის გაზრდას, მაშასადამე, სიბლანტისა და სიმკვრივის გაზრდას.

ხახუნის პროცესში გეთების დაძველების პროდუქტები ურთიერთქმედებენ და წარმოქმნიან რთულ ნაერთებს, რომლებიც იწვევენ გეთის ე. წ. გაჭუჭყიანებას. ამასთან, მყარი მინერალური ნაწილაკები გადაიტყვევიან იმ ცენტრებად, რომლებზეც აღსორბირდება ჟანგვის პროცესის ფისოვანი პროდუქტები. უკანასკნელი წინაპირობაა გეთში შლამის წარმოქმნისა, ე. ი. დაძველების შედეგად იცვლება მომუშავე გეთის ქიმიური და ფიზიკური შედგენილობა. ახალი გეთის დამატება ამცირებს მომუშავე გეთის დაძველების ინტენსივობას, რაც იმითაა განპირობებული, რომ გეთში მცირდება დაძველების პროდუქტების კონცენტრაცია. რეალურ პირობებში მანქანაში მიმდინარეობს გეთის მუდმივად განახლების პროცესი, რომელიც გეთის ფილტრაციაში გამოიხატება და რომლის დანიშნულებაა გეთიდან დაძველების პროდუქტების მოცილება. გარდა ამისა, ხდება გეთის პერიოდული განახლება შეშეთვის სისტემაში ახალი გეთის დამატების გზით.

ამგვარად, მანქანების შემშეთ სისტემაში გეთის დაძველებასთან ერთად ხდება მისი განახლებაც. ეს პროცესი მუდმივია მანქანის ექსპლუატაციის დროს და ამიგომ გეთის მუშაობის ხანგრძლივობის ვადა განისაზღვრება ამ ორი ფაქტორის განმსაზღვრელ სიდიდეთა თანაფარდობით.

მოგადად, გეთის დაძველება მნიშვნელოვანწილადაა დამოკიდებული ექსპლუატაციის დროის ხანგრძლივობაზე, ქიმიური პროცესის, მაგალითად, კოროზიის, პოლიმერიზაციის, ჟანგვის ინჰიბიტორების (ლათინური სიტყვიდან *inhibeo* – ვიჭერ) არსებობაზე და, ასევე, ლითონების კატალიზატორულ თვისებებზე.

4.2. შემშეთი მასალების სახეები და კლასიფიკაცია

ფიზიკური მდგომარეობის მიხედვით განასხვავებენ: აიროვან, თხევად, პლასტიკურ (კონსისტენციურ) და მყარ შემშეთ მასალებს.

ძირითადი სახის შემშეთი მასალებისათვის, თხევადი გეთებისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ ისინი დადებით ტემპერატურაზე იმყოფებიან თხევად მდგომარეობაში.

თხევადი გეთები მათი დანიშნულების მიხედვით შეიძლება დაიყოს შემდეგ ძირითად ჯგუფებად:

- საერთო დანიშნულების ინდუსტრიული გეთები, რომლებიც გამოიყენება უმრავლესი სამრეწველო მოწყობილობის (ჩარხების და ა.შ.) დასაბეჭად და ჰიდროამპრავის მუშა სითხედ (გეთები ინდექსით – II);
- ავტომობილების, ტრაქტორების, თბომავლების, საგზაო და სასოფლო-სამეურნეო მანქანების სატრანსმისიო ელემენტების დასაბეჭად – სატრანსმისიო გეთები (ინდექსით – TM);
- ტურბინების, ელექტროგენერატორების და სხვა მანქანებისათვის საჭირო სატურბინე გეთები;
- საძრავო, სხვადასხვა დანიშნულების (საავტომობილო, სატრაქტორო, საავიაციო და სხვ.) მანქანების შიგაწვის ძრავებისათვის.

4.1 ცხრილში მოცემულია საერთო მანქანათმშენებლობაში ძირითადად გამოყენებული გეთები და მახასიათებლები. ცხრილში მოყვანილი მსუბუქი ინდუსტრიული გეთები, რომელთა კინემატიკური სიბლანტე არ აღემატება 10 სანტისტოქსს 50°C ტემპერატურაზე, გამოიყენება მაღალი სიჩქარის მქონე მექანიზმებისათვის. მაგალითად, ველოსიგტი გამოიყენება ისეთი მექანიზმებისათვის, რომელთა ბრუნვის სიხშირე აღემატება 8000 ბრ/წთ, ხოლო ვამელინის გეთი-მექანიზმებისათვის ბრუნთა სიხშირით 5000....8000 ბრ/წთ და სეპარატორული გეთი – მექანიზმებისათვის – 5000 ბრ/წთ-მდე.

საშუალო ინდუსტრიული გეთები ხასიათდებიან 10....60 სანტისტოქსი კინემატიკური სიბლანტით. ინდუსტრიული გეთები 12, 20 და სეპარატორული T გამოიყენება სწრაფმავალი მექანიზმებისათვის, ხოლო ინდუსტრიული გეთები 30, 45 და 50 საშუალო მანქანათმშენებლობის ძირითადი შემგები მასალაა.

მძიმე ინდუსტრიული გეთების კინემატიკური სიბლანტე 100°C ტემპერატურაზე 10-30 სანტისტოქსია. ისინი ფართოდ გამოიყენებიან მძიმედ დატვირთულ კბილანურ და ჭიაკბილანურ გადაცემებში. საცილინდრე გეთები ასევე ფართოდ გამოიყენება ცილინდრებისა და ორთქლის მანქანების სხვადასხვა კვანძების შესაბეჭად.

ცხრილებში მოყვანილი გეთების დასახელებებით წლების მანძილზე სარგებლობდნენ და გარკვეულწილად ღლესაც სარგებლობენ ყოფილი საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე. მაგრამ, უკანასკნელ წლებში ჩვენში შემუშავდა მინერალური ინდუსტრიული და სატრანსმისიო გეთების ინდექსაციის ახალი სისტემები.

საერთო მანქანათმშენებლობაში გამოყენებული ძირითადი
გეთები და მახასიათებლები

	გეთის მარკა	კინემატიკური სიბლანტე 50 °C-ზე, სანტისტოქსი		გეთის მარკა	სიბლანტე კინემატიკური 50 °C-ზე, სანტისტოქსი
	მსუბუქი ინდუსტრიული			საგურბინე	
1	მაღალსიჩქარიანი მექანიზმებისათვის (ველოსიტი)	4,5-5,1	1	საგურბინე 20	20-23
			2	საგურბინე 30	28-32
			3	საგურბინე 46	44-48
			4	საგურბინე 57	55-59
2	მაღალსიჩქარიანი მექანი- ზმებისათვის (ვაზელინის)	5,1 -8,5		მძიმე ინდუსტრიული	სიბლანტე 100 °C-ზე
3	სეპარატორული II	6,1-10,0	1	საცილინდრე 11	9-13
			2	საცილინდრე 24	20-28
			3	წნეხებისათვის საავტოტრანსპორტო	10
	საშუალო ინდუსტრიული				
1	ინდუსტრიული 12	10-14			
2	სეპარატორული T	14-17	1	AK-10	10
3	ინდუსტრიული 20	17-23	2	AK-15	15
4	ინდუსტრიული 30	27-33			
5	ინდუსტრიული 45	38-52		საავიაციო	
6	ინდუსტრიული 50	42-58	1	MC-20	20

მექანიკურ მოწყობილობებში უმთავრესად გამოყენებული მინერალური ინდუსტრიული გეთები აღინიშნება ასოთი „II“ ხოლო ინდექსაციის სქემა შემდეგი სახისაა:

II - II - III - IV .

სადაც სქემაში მეორე ადგილზეა გეთის დანიშნულების აღმნიშვნელი ასო:

II – შეესაბამება გეთებს მსუბუქად დატვირთული საკისრებისათვის;

Г – ზეთებს ჰიდროსისტემებისათვის;

Н – ზეთებს მიმმართველებისათვის;

Т – ზეთებს მძიმედ დატვირთული კვანძებისათვის (კბილანური გადაცემებისათვის).

სქემის მესამე ადგილი ითვალისწინებს საექსპლუატაციო თვისებებისა და შედგენილობის დამახასიათებელ აღნიშვნებს:

А – შეესაბამება ზეთებს მისართის გარეშე;

В – ზეთებს დაქანგვისა და კოროზიის საწინააღმდეგო მისართებით;

С – ზეთებს ცვეთის საწინააღმდეგო მისართებით;

Д – ზეთებს ამოგლეჯვის საწინააღმდეგო მისართებით;

Е – ზეთებს ნახკომსწინააღმდეგო მისართებით.

მეოთხე ადგილზე იწერება ზეთის კინემატიკური სიბლანტის კლასი, რომელიც წარმოადგენს საშუალო სიბლანტის მაჩვენებელს ($\text{მმ}^2/\text{წმ-ში}^*$) $t=40^\circ\text{C}$ ტემპერატურაზე და აქვს შემდეგი საფეხურები: 2; 3; 5; 7; 10; 15; 22; 32; 46; 68; 100; 150; 220; 320; 460; 680; 1000; 1500.

ინდექსაციის ახალი სისტემების გათვალისწინებით ინდუსტრიული 12-ის შესაბამისი ზეთის მარკაა И-П-А22; ინდუსტრიული 20-ის – И-Г-А32; ინდუსტრიული 30-ის – И-Г-А46; ინდუსტრიული 45 და 50-ის – И-Г-А68.

სატრანსმისიო ზეთების ინდექსაცია შეიცავს: ასოით აღნიშვნას (ТМ), ჯგუფის ნომერს და სიბლანტის კლასებს.

სატრანსმისიო ზეთების ჯგუფის ნომერი ითვალისწინებს შედგენლობისა და გამოყენების სფეროს, კერძოდ:

1 – შეესაბამება ზეთებს მისართის გარეშე;

2 – ზეთებს ცვეთის საწინააღმდეგო მისართებით;

3, 4 – ზეთებს საშუალო და მაღალი ინტენსივობის ამოგლეჯის საწინააღმდეგო მისართებით;

5 – ზეთებს მაღალი ინტენსივობის ამოგლეჯის საწინააღმდეგო და მრავალფუნქციური მისართებით.

* პრაქტიკაში გამოიყენება კინემატიკური სიბლანტის განზომილებად. იგი SI სისტემაში კინემატიკური სიბლანტის ერთეულის – $\text{მ}^2/\text{წმ}$ -ის 10^6 ნაწილს შეადგენს. ამასთან, $1 \text{ მმ}^2/\text{წმ}$ რიცხობრივად 1 სანტისტოქსის ტოლია.

შესაბამისად, საკლასიფიკაციო ჯგუფები ყოფილ საბჭოთა კავშირში გამოშვებული მეთებისათვის არის: TM -1, TM - 2, TM - 3, TM - 4 და TM - 5. ხოლო, აშშ – სათვის შესაბამისი ჯგუფებია – GL - 1, GL - 2, GL - 3, GL - 4 და GL - 5.

მეთის კინემატიკური სიბლანტის კლასი ამ შემთხვევაშიც წარმოადგენს საშუალო სიბლანტეს ($\text{მმ}^2/\text{წმ-ში}$), მაგრამ აქვს განსხვავებული საფეხურები, კერძოდ: 6; 9; 12; 18; 34; 43.

ცხრილი 4.2

ყოფილ საბჭოთა კავშირში მიღებული სატრანსპორტო მეთების კლასიფიკაცია

სიბლანტის კლასი	მეთის ჯგუფები საექსპლუატაციო თვისებებით					გამოყენების ტემპერატურული დიაპაზონი °C
	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	
6	-	-	TM-3-6	TM-4-6	TM-5-6	-65..+15
9	-	TM-2-9	TM-3-9	TM-4-9	TM-5-9	-60..+25
12	-	TM-2-12	TM-3-12	TM-4-12	TM-5-12	-50..+30
18	TM-1-18	TM-2-18	TM-3-18	TM-4-18	TM-5-18	-35..+35
34	TM-1-34	TM-2-34	TM-3-34	TM-4-34	TM-5-34	-20..+45
43	TM-1-43	TM-2-43	TM-3-43	TM-4-43	TM-5-43	-5..+55

სატურბინე მეთები კინემატიკური სიბლანტით 20...60 სანტისგოქსი 50° C ტემპერატურაზე, გამოიყენება ორთქლისა და ჰიდრაულიკური ტურბინების, ელექტრული გენერატორების და სხვა ისეთი მანქანებისათვის, სადაც საჭიროა ხანგრძლივი მუშაობა მეთის შეუცვლელად. სატურბინე მეთები ხასიათდებიან მაღალი მედეგობით დაჟანგვისადმი, დაბალი საწყისი მქაფიანობით, მექანიკური მინარევების უმნიშვნელო სიდიდით.

თხევადი მეთების განსაკუთრებულ, სპეციფიკურ ჯგუფს შეადგენს ძრავას მეთები, რომელთა რიცხვს მიეკუთვნება საავიაციო, საავტომობილო (ავტოლები) და საღებლო. ამ მეთებს წარედგინება დამატებითი მოთხოვნები, რომლებიც დაკავშირებულია ძრავების მუშა ცილინდრების მუშაობის სპეციფიკურ პირობებთან და გარემო პირობების ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონთან (თვითმფრინავები, ავტომობილები)

შემგები მასალები მათი მიღების და შექმნის საფუძვლის მიხედვით შეიძლება იყოს მინერალური, ნავთობის, სინთეტიკური, მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის.

მინერალური ზეთების მისაღებად გამოიყენება ისეთი ბუნებრივი მინერალები, როგორიცაა: ქვანახშირი, გორფი, ფიქლები. მათგან მინერალური შემადგენელი მასალების მიღების ძირითადი გზაა მინერალური პროდუქტების დამუშავება. მინერალური ზეთების ერთ-ერთ ძირითად ნედლეულად გამოიყენება ნავთობი, რომლისგანაც ზეთის მიღება რამდენიმე მეთოდითაა შესაძლებელი.

ნავთობის თხევადი შემადგენელი მასალები წარმოადგენენ ბუნებრივი ნავთობის ნედლეულისაგან გაწმენდის წესით მიღებულ ზეთებს, ხოლო სინთეტიკური შემადგენელი მასალები ორგანული ნაერთების სინთეზის პროდუქტია.

მცენარეული და ცხოველური ზეთები მიიღება, შესაბამისად, მცენარეული და ცხოველური პროდუქტების გადამუშავების შედეგად. პრაქტიკაში ამ ჯგუფის ზეთების განსამზღვრელი მასშტაბებით გამოიყენება განპირობებულია მხოლოდ მათი მაღალი თვითღირებულებით და არაერთარ შემთხვევაში – ხარისხობრივი თვისებებით.

პლასტიკური (კოსისტენტური) შემადგენელი მასალები წარმოადგენენ შესქელებულ საცხისმაგვარ პროდუქტებს, რომლებიც მზადდება თხევად ზეთებზე – მინერალურ ნავთობსა თუ სინთეტიკურ შემადგენელი მასალებში სხვადასხვა სახისა და დანიშნულების შემსქელებლის შეტანით. წარმოქმნის რა სტრუქტურულ ჩონჩხს, შემსქელებელი შემადგენელი მასალას ანიჭებს მყარი სხეულის თვისებას მცირე სიმკვრივის ზღვრით (არაუმეტეს 0,005 მკა). ტემპერატურის მომატებისას 200-300° C-ზე პლასტიკური მასალა გადადის თხევად მდგომარეობაში.

თხევადი კომპონენტი, რომელიც მთელი შემადგენელი მასის 75...90%-ია, უმეტესად არის ნავთობის ზეთი, სადაც შემსქელებლად გამოიყენება კალციუმიანი და ნატრიუმიანი საპნები; აგრეთვე ნახშირწყალბადები (პარაფინი, ცერეზინი). პლასტიკური კალციუმიანი შემადგენელი მასალები იწოდება სოლიდოლებად, ხოლო ნატრიუმიანი – კონსტალინებად.

პლასტიკური შემადგენელი მასალებისათვის უმთავრესი მახასიათებლებია:

1) **პენეტრაცია** (ინგლისური სიტყვიდან penetrate – შეღწევა) არის პლასტიკური შემადგენელი მასალების შესქელების (სიბილის) მაჩვენებელი და იგი განისაზღვრება ხელსაწყოთი, რომელსაც პენეტრომეტრი ეწოდება. მისი მოქმედების პრინციპი ლითონური მასალების სიმჭიმის საზომი ხელსაწყო ანალოგიურია, უკანასკნელის მოქმედების პრინციპი ასეთია: სპეციალური კონუსი თავისი სიმძიმის ძალით 5 წმ-ის განმავლობაში გარკვეული სიღრმით ეფლობა შემადგენელი მასალაში. კონუსის ჩაფლობის სიღრმის მიხედვით ფასდება შემადგენელი მასალის კონსისტენტურობა. შეფასება ხდება პენეტრაციის რიცხვით, რომელიც არის კონუსის პროდუქტში ჩაღრმავება გამოსახული

მილიმეტრის მეათედებით. მაგალითად, თუ პენეტრაციის რიცხვია 200, ეს იმას ნიშნავს, რომ კონუსი 5 წმ-ის განმავლობაში 20 მმ-ით ჩაღრმავდება შემზეთ მასალაში.

2) წვეთას ტემპერატურა პირველი წვეთის დაცემის შესაბამისი ტემპერატურა და განისაზღვრება უბელოდეს ხელსაწყოს მეშვეობით. უკანასკნელი შეიცავს თერმომეტრს ლითონურ ჰილზში, რომლის ბოლოშიც ჩასმულია მინის ფიალა 3 მმ-იანი ნახვრეტით. წვეთას ტემპერატურა განსაზღვრავს შემზეთი მასალის მუშაობის უნარის ტემპერატურულ ზღვარს. მიღებულია, მუშაობის უნარის ზღვრად მიჩნეულ იქნეს წვეთას ტემპერატურაზე $10-20^{\circ}\text{C}$ -ით ნაკლები ტემპერატურული ღონე.

3) გენმედეგობა ე. ი. საწყისი მახასიათებლების შენარჩუნება წყალთან კონტაქტის შემთხვევაში (პლასტიკური შემზეთი მასალების უმრავლესობა ხასიათდება გენმედეგობის მაღალი მაჩვენებლით, გამონაკლისია მხოლოდ კონსტალინები).

პლასტიკურ შემზეთ მასალებს ახასიათებთ დადებითი თვისებების მთელი კომპლექსი. ძირითადად ანტიფრიქციულ თვისებებთან ერთად პლასტიკური შემზეთი მასალები ხასიათდებიან კარგი მამჭიდროებელი თვისებებით - მათი მეშვეობით ხდება ხახუნის კვანძში ღრეჩობის ამოვსება, მათ აქვთ ვერტიკალურ კედელზე თავის შეკავების უნარი, მაშინაც კი, როცა ფენის სისქე საკმაოდ დიდია; ადვილად ეფარებიან და იწმინდებიან ზედაპირებიდან. ამ თვისების გამო ფრიალ მოხერხებულია მათი გამოყენება მანქანათა ხანგრძლივი კონსერვაციისათვის. პლასტიკური შემზეთი მასალების სიბლანტე მცირედ არის დამოკიდებული მათი გათბობა-გახურების ტემპერატურაზე. ფრიალ მნიშვნელოვან თვისებად ითვლება ის, რომ სრიალის წინააღმდეგობა მცირედ არის დამოკიდებული სრიალის სიჩქარეზე (ამ თვისებით პლასტიკური შემზეთი მასალები მკვეთრად განსხვავდება თხევადი ზეთებისაგან).

რეკომენდებულია, რომ პლასტიკური შემზეთი მასალები გამოყენებული იყოს იქ, სადაც ხახუნის პროცესში დიდი რაოდენობით სითბო არ გამოიყოფა და სადაც მისი გაგანა ხახუნის მონიდან არ არის გათვალისწინებული შემზეთი მასალების მეშვეობით. ასეთ კვანძებს მიეკუთვნება ნელმავალი სრიალის საკისრები, გორვის საკისრები და სხვა მსგავსი კვანძები.

ამრიგად, პლასტიკური შემზეთი მასალები, ხასიათდებიან რა კარგი ანტიფრიქციული, საკონსერვაციო თუ საჰერმეტიზაციო თვისებებით, დანიშნულების მიხედვით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს:

- ღია გრიბოლოგიურ სისტემებში;
- ძნელად საჰერმეტიზაციო ხახუნის კვანძებში;

- ტრიბოლოგიურ სისტემებში, სადაც განსაკუთრებული მოთხოვნებია საიმედო პერმეტიზაციისადმი (მაგალითად, საქსოვ დაზგებში – ქსოვილის გაუჟჭების თავიდან აცილებისათვის, მშრალ ფრიქციულ გადაცემებში, როცა გადაცემაში ხახუნის კოეფიციენტის შემცირება დაუშვებელია და ა. შ.);
- ძნელად მისადგომ ტრიბოლოგიურ სისტემებში, სადაც გათვალისწინებულია მისი ხანგრძლივი მუშაობა ბეთის შეცვლის გარეშე (ერთჯერადი შემეთვის კვანძები);
- მექანიზმებში, რომლებიც მუშაობენ ფართო ტემპერატურულ და საექსპლუატაციო რეჟიმებში;
- მექანიზმებსა და კვანძებში, სადაც საჭიროა დეტალების ხანგრძლივი კონსერვაცია.

პლასტიკური შემზეთი მასალებიდან ყველაზე უფრო გავრცელებული ჯგუფია სოლიდოლები. მათი გამოყენების რაციონალური ზღვარია $60-80^{\circ}\text{C}$. სოლიდოლების ერთ-ერთი უმთავრესი უპირატესობა მათი გენმედეგობაა. კონსტალინები მიეკუთვნება ძნელდნობად შემზეთ მასალებს და გამოიყენება კვანძებში, სადაც ტემპერატურა $100-150^{\circ}\text{C}$ -მდეა, ზოგ შემთხვევაში კი 200°C -მდე. ნაკლია – კონსტალინები წყალში იხსნებიან, რის გამოც დაუშვებელია მათი წყალთან კონტაქტი.

ბემოთ მოყვანილი შემზეთი მასალების თვისებათა კომპლექსს შეიცავენ ნატრიუმ-კალიუმიანი შემზეთები, რომლებიც ხასიათდებიან სოლიდოლებზე უფრო მაღალი ტემპერატურული მედეგობით (100°C -მდე და უფრო მეტი) და, იმავე დროს, საკმაო გენმედეგობით.

საერთო დანიშნულების შემზეთი მასალების გარდა არსებობს სპეციალური დანიშნულების ბეთები: საგლინავი დგანების, ტექსტილის მანქანების, რკინიგზის მანქანა-მოწყობილობების, დამცავი, დაბალი და მაღალტემპერატურული და სხვ.

საერთო დანიშნულების მანქანებში ძირითადად ნავთობისაგან მიღებული შემზეთი მასალები გამოიყენება. თუმცა ბოლო პერიოდში უფრო და უფრო მეტი გავრცელება მოიპოვა ხელოვნური გზით შექმნილმა თხევადმა სინთეტიკურმა ბეთებმა. არსებობს ახალი მყარი შემზეთი მასალების ფართოდ გავრცელების საკმაო პერსპექტივა.

შემზეთი მასალების სახეები და ძირითადი მაჩვენებლები სტანდარტიზებულია და მოცემულია ყოფილი სსრკ-ს სახელმწიფო სტანდარტში – ГОСТ 23.002-78.

4.3. შეშეთვის სახეები

გრიბოსისტემის შეუღლებული დეტალების მუშაობის რეჟიმი, შეშეთი მასალების თვისებები და საექსპლუატაციო პირობები განაპირობებენ მოხახუნე გედაპირების ურთიერთქმედების ხასიათს ხახუნის პროცესში. მოხახუნე გედაპირების განმხოლოების პარამეტრების მიხედვით განასხვავებენ შეშეთის შემდეგ სახეებს: ჰიდროდინამიკურს, ჰიდროსტატიკურს, გაზურდინამიკურს, გაზურსტატიკურს, ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკურს, სასაზღვროს და შერეულს, ხოლო შეშეთი მასალის ფიზიკური მდგომარეობის მიხედვით – გაზურს, თხევადს და მყარი მასალებით შეშეთვას.

აირული შეშეთვა ისეთი სახის შეშეთვაა, როცა მოხახუნე გედაპირების განმხოლოება ხორციელდება ისეთი შეშეთი მასალით, რომელიც აირის მდგომარეობაშია. ასეთი სახის შეშეთვა მექანიკურ მანქანებში იშვიათად გამოიყენება.

თხევადი შეშეთვის დროს მოხახუნე გედაპირების განმხოლოება ხდება თხევადი შეშეთი მასალებით. ასეთი სახის შეშეთვის განხორციელება ეკონომიკურად ფრიად გამართლებულია და პრაქტიკაში ცდილობენ მის ფართოდ გამოყენებას. თხევადი შეშეთვა საკმაოდ ხშირად გამოიყენება მანქანათა უმრავლესობის გრიბოსისტემებში.

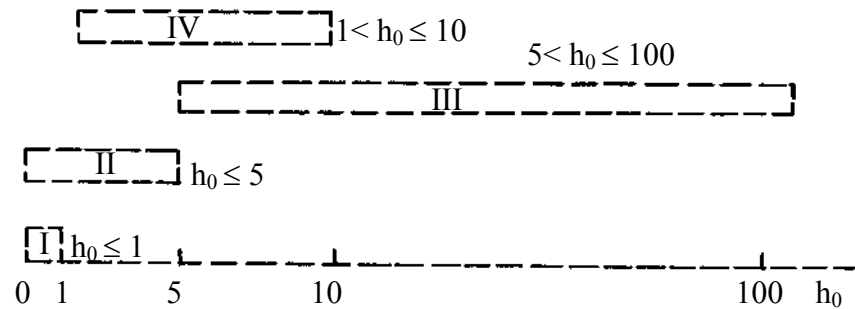
მყარი მასალებით შეშეთვის დროს მოხახუნე გედაპირების განმხოლოება ხდება მყარი შეშეთი მასალების მეშვეობითაც. დღეს ასეთი სახის შეშეთვა სამანქანათმშენებლო პრაქტიკაში საკმაოდ პერსპექტიულად არის მიჩნეული.

ჰიდროდინამიკური შეშეთვა თხევადი შეშეთის ერთ-ერთი სახეა და იგი განპირობებულია თხევადი შეშეთი მასალის დაწნევით მდგომარეობაში ყოფნით, რომელიც წარმოიქმნება მოხახუნე გედაპირების ურთიერთგადაადგილების შედეგად. ამასთან, წარმოქმნილი ბეთის ფენის სისქე და პარამეტრები განსაზღვრავენ შეშეთისა და ხახუნის სახეს (თხევადი, ჰიდროდინამიკური შეშეთის შექმნისა და კონსტრუირების საფუძვლები განიხილება ქვემოთ). შეშეთი მასალის ფენის ფარდობითი სისქე (h_0) ხახუნის სახეთა კლასიფიცირების უმთავრესი კრიტერიუმი და მოგადად ასე გამოისახება:

$$h_0 = \frac{h}{R_{a_1} + R_{a_2}}, \quad (4.2)$$

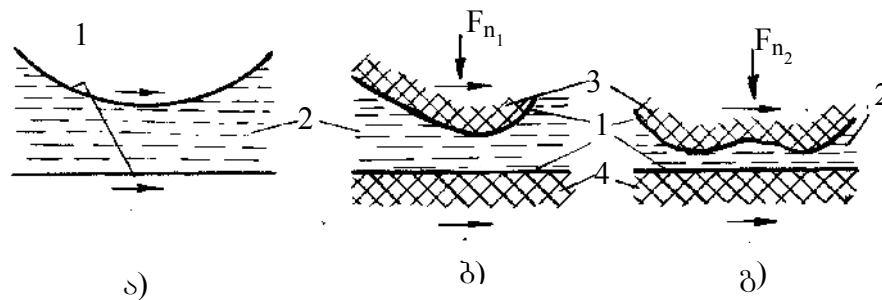
სადაც h_0 არის ბეთის ფენის სისქე; R_{a_1} , R_{a_2} – შესაბამისად, პირველი და მეორე მოხახუნე გედაპირების ცენტრალური ღერძის მიმართ უსწორმასწორობათა საშუალო გადახრა.

თხევადი შეშეთვის განხორციელებას, რომელიც პრაქტიკაში თხევადი ხახუნის პროცესად იწოდება, შეესაბამება $5 \leq h_0 \leq 100$ პირობა (ხახუნისა და შეშეთვის სახეთა კლასიფიკაცია h_0 -ის მიხედვით მოცემულია 4.4 ნახაზზე, ხოლო 4.5-ზე მოცემულია მოხახუნე ზედაპირების კონტაქტების მოდელები).



ნახ. 4.4. შეშეთვის სახეთა კლასიფიკაცია h_0 კრიტერიუმის მიხედვით:

I – სასაზღვრო; II – შერეული; III – თხევადი;
IV – ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკური თხევადი



ნახ. 4.5. შეშეთვის ფენის მოდელები თხევადი შეშეთვის დროს:

ა – გამარტივებული; ბ – ზეთის ფენის თხევადი შეშეთვის დროს; გ – ზეთის ფენა ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკური შეშეთვის დროს; 1 – დამცავი ანუ სასაზღვრო ფენა; 2 – შეშეთვის მასალა; 3 – ღრეკადი სხეული; 4 – მყარი სხეული; F_{n1} – მცირე სიდიდის ნორმალური დატვირთვა; F_{n2} – დიდი ნორმალური დატვირთვა

ჰიდროსტატიკური შეშეთვა ასევე თხევადი შეშეთვაა, რომლის დროსაც ჰიდროდინამიკურისგან განსხვავებით, სადაც ზეთის წნევის წარმოქმნის წყარო არ

არის მოხაზუნე გელაპირების ურთიერთგადაადგილება. წნევა გეთის ფენაში წარმოიქმნება გარეშე დანადგარის მეშვეობით.

აირღინამიკური და აირსტატიკური შეშეთები ჩვენი ქვეყნის პირობებში მექანიკურ მანქანებში იშვიათად გამოიყენება. ამის გამო აღნიშნული შეშეთის სახეები მოცემულ ნაშრომში არ განიხილება.

პლასტიკურ-ჰიდროდინამიკური შეშეთის თეორიული საფუძვლები კლასიკური ჰიდროდინამიკური თეორიისაგან განსხვავებით ითვალისწინებს მოხაზუნე გელაპირების ღრეკად დეფორმაციებს. იგი განსაკუთრებით ანგარიშგასაწევია, როცა თხევადი ხაზუნი ხორციელდება დიდი დატვირთვებისა და მრუდე გელაპირების (მაგალითად, ცილინდრულების) შემთხვევაში.

თვით შეშეთი მასალის ფენა ასეთი შეშეთის დროს ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკურია და იგი წარმოიქმნება საკონტაქტო ზონაში დიდი წნევების შედეგად, რაც, თავის მხრივ, იწვევს გეთის სიბლანგის მნიშვნელოვნად გადიდებას.

ასეთი სახის შეშეთის დროს h_0 კრიტერიუმი იცვლება მღვრებში 1...10.

სასაზღვრო შეშეთა ისეთი სახის შეშეთაა, როცა კვანძში ხაზუნის ძალა და, შესაბამისად, ცვეთა განპირობებულია მოხაზუნე დეგალების და შეშეთი საშუალებების გელაპირული აქტივობის თვისებების ერთობლიობით. აღნიშნულის გამო გეთის სიბლანგე, რომელიც სითხის მოცულობითი თვისებაა, პრაქტიკულად არ მოქმედებს სასაზღვრო ხაზუნის წინააღმდეგობაზე. ერთ-ერთ ძირითადი გრიბოტექნიკური თვისებაა გეთის ფენის სისქის მცირე სიდიდე სასაზღვრო ხაზუნის შემთხვევაში მოხაზუნე გელაპირების სიმქისის პარამეტრებთან შედარებით.

მის გამო კრიტერიუმი h_0 სასაზღვრო შეშეთის და, შესაბამისად, სასაზღვრო ხაზუნის პირობებისათვის ერთზე ნაკლები უნდა იყოს.

შერეული შეშეთა დამახასიათებელია უმრავლესი გრიბოლოგიური სისტემებისათვის. ამ დროს გრიბოლოგიურ სისტემაში ერთდროულად არის განხორციელებული როგორც სასაზღვრო, ისე თხევადი შეშეთა ე. ი. კვანძში ნაწილობრივ საზღვრული ხაზუნია, ნაწილობრივ თხევადი, ანუ მუშა პროცესში ვერ ხერხდება მოხაზუნე გელაპირების მთლიანი განმხოლოება. ასეთ შემთხვევაში ცალკეული ბორცვების ურთიერთკონტაქტის გამო იმრდება გეთის ფენის მიღვის უნარი. ამ კომპლექსურ თვისებათა გამო ასეთი შეშეთა და, შესაბამისად, ხაზუნი იწოდება შერეულად. ამასთან, h_0 კრიტერიუმი შერეული შეშეთისათვის უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას $h_0 \leq 5$.

რეალური გრიბოლოგიური სისტემებისათვის დამახასიათებელია, რომ მუშაობის რეჟიმის ძირითადი პარამეტრების (სიჩქარის, რადიალური წნევის, ტემპერატურის) თანდათანობით შეცვლასთან დაკავშირებით ხდება ერთი სახის შემეტვის მეორეში ასევე თანდათანობით გადასვლა. ამასთან, კვანძის ოპტიმალური მუშაობის ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორად რჩება შემეტვი მასალის უმთავრესი თვისება – სიბლანტე. მასალის ეს თვისება წარმოჩინდება მისი ფორმის ცვლილების დროს და იგი მოგადად ახასიათებს შემეტვი მასალის შიგა ხახუნს.

თხევადი შემეტვის პირობებში ხახუნის ძალის გამოთვლისათვის გამოიყენება გამოსახულება

$$F_f = \frac{\eta S V}{h}, \quad (4.3)$$

სადაც F_f არის ხახუნის ძალა, ნ; η – შემეტვი მასალის დინამიკური სიბლანტე, პა/წმ; S – მოხახუნე ზედაპირების ნომინალური ფართობი, მ²; V – მოხახუნე ზედაპირების ფარდობითი გადაადგილების სიჩქარე, მ/წმ; h – შემეტვი მასალის ფენის სისქე, მ.

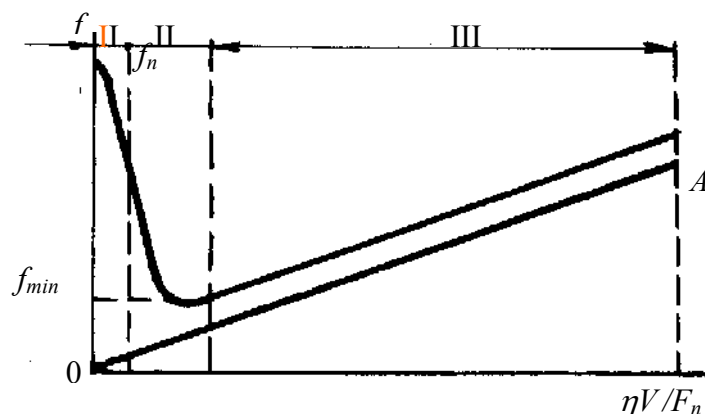
გრიბოლოგიური სისტემის შემეტვისას ხახუნის სახე განისაზღვრება როგორც შემეტვი საშუალებების რაოდენობითა და თვისებებით (სიბლანტით), ისე კვანძის მუშაობის რეჟიმით და კონსტრუქციული პარამეტრებით – მოხახუნე ზედაპირების ფარდობითი სიჩქარით, დატვირთვით, შეუღლებული ღეგალების ღრეჩოს სიდიდით, გეომეტრიული მომებით. ჩამოთვლილი პარამეტრების თანაფარდობა რეალურ პირობებში განაპირობებს ხახუნის სახეს - სასაზღვროს, თხევადს თუ შერეულს.

რიცხობრივად კვანძის მუშაობის რეჟიმს კარგად ახასიათებს ფარდობა $\frac{\eta V}{F_n}$,

სადაც F_n არის ნორმალური დატვირთვა ან წნევა საყრდენ ხახუნის კვანძში.

საინჟინრო პრაქტიკაში გრიბოლოგიური სისტემის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებლად მისი თხევადი შემეტვის დროს მიჩნეულია გერსი-შტრიბეკის დიაგრამა. უკანასკნელი წარმოადგენს ხახუნის კოეფიციენტის $\frac{\eta V}{F_n}$

პარამეტრებთან დამოკიდებულებას (ნახ. 4.6). დიაგრამიდან ჩანს, რომ ხახუნის კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება $\frac{\eta V}{F_n}$ პარამეტრის ნულოვან მნიშვნელობას, რაც, თავის მხრივ, შეესაბამება ნულოვან ფარდობით სრიალს ანუ უძრაობის ხახუნს.



ნახ. 4.6. ხახუნის კოეფიციენტისა და ხახუნის კვანძის მუშაობის რეჟიმისა და შემზეთი მასალის მახასიათებლის დამოკიდებულება

მცირე ფარდობითი სიჩქარის რეჟიმში, ე.ი. როდესაც ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მაქსიმალურია, მოხახუნე გელაპირზე აღსორბირდება საკმაოდ მღვრადი შემზეთი მასალის უმცირესი სისქის ფენა. ხახუნის კვანძის შემზეთვის ასეთ პირობებს შეესაბამება სასაზღვრო შემზეთვა (ნახ. 4.6.), როდესაც ხახუნის კოეფიციენტი ლითონური მასალებისათვის იცვლება მღვრებში 0,1... 0,15. ხახუნის კოეფიციენტის შედარებით დიდი მნიშვნელობები სასაზღვრო ხახუნის პირობებში განპირობებულია მოხახუნე გელაპირების ბორცვების მექანიკური ურთიერთქმედებებით.

ასეთ რეჟიმებში მუშაობენ უმრავლესი მექანიკური მოწყობილობის სრიალის საკისრები და კბილანის კბილების ცალკეული ელემენტები.

ფარდობითი სრიალის სიჩქარის უფრო მაღალი მნიშვნელობისათვის ხდება შემზეთი მასალის ფენის სისქის გაზრდა, რის შედეგად მცირდება მოხახუნე გელაპირების ბორცვების მექანიკური ურთიერთქმედება. ამასთან, ვინაიდან შემცირებულია ხახუნის ძალის ადჰეზიური მდგენელი, ორივე ფაქტორის ერთობლივი მოქმედება იწვევს ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელოვნად შემცირებას. შექმნილი პირობები შეესაბამება შერეული შემზეთვის (ხახუნის) სახეს და გერსი-შტრიბეკის დიაგრამაზე გამოსახება II ზონით (ნახ. 4.6). ამ სახის შერეული შემზეთვის სახე ასევე დამახასიათებელია მრავალი მანქანის სრიალის საყრდენისა და კბილანური გადაცემებისათვის.

იმავე რეჟიმებისა და პარამეტრების დროს, როცა შემდგომ ვზრდით ფარდობითი სრიალის მნიშვნელობას, ხდება შემზეთი მასალის ფენით მოხახუნე გელაპირების ერთმანეთისაგან მთლიანი განმხოლოება. ბუნებრივია, ამ დროს ფენის სისქე უნდა აღემატებოდეს მოხახუნე გელაპირების ბორცვების სიმაღლეს. შემზეთის ასეთ პირობებში ხახუნის ხასიათი მთლიანად განპირობებულია თხევადი შემზეთი

მასალის მოცულობითი თვისებებით, რაც იმას ნიშნავს, რომ მოხახუნე გელაპირების ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობა დამოკიდებულია შემზეთი მასალის ცალკეული ფენების ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობაზე. გერსი-შგრიბეკის დიაგრამაზე ასეთი სახის შემზეთვას შეესაბამება III ზონა (ნახ. 4.6). ასეთი შემზეთვის პირობებში ხახუნის კოეფიციენტის უმცირესი მნიშვნელობა მიიღება შემზეთი მასალის უმცირესი სიბლანტის შემთხვევაში. ამასთან, უნდა გვახსოვდეს, რომ თხევადი შემზეთვის (ხახუნის) უმრუნველყოფისათვის კონკრეტული პარამეტრების შემთხვევაში შემზეთ მასალას საჭიროა ჰქონდეს გარკვეული სიბლანტე. III ზონაში ტემპერატურის მომატება იწვევს რა სიბლანტის შემცირებას, ამცირებს ხახუნის კოეფიციენტს. მაგრამ შემცირება გრძელდება გარკვეულ პერიოდამდე. ტემპერატურის შემდგომმა გადიდებამ შესაძლებელია თხევადი ხახუნის სახე (III ზონა) გადაყვანოს შერეული შემზეთვაზე (I ზონა), რაც იწვევს ხახუნის კოეფიციენტის არა შემცირებას, არამედ მის მნიშვნელოვნად გადიდებას.

ზოგადად, თხევადი შემზეთვის სახე მიჩნეულია მდგრად რეჟიმად. ტემპერატურის გაზრდა საკონტაქტო ზონის ფარგლებში იწვევს სიბლანტის შემცირებას, ხოლო იგი – ხახუნის კოეფიციენტის შემცირებას, რაც, თავის მხრივ, იწვევს ტემპერატურის ისევ შემცირებას და, მაშასადამე, რეჟიმის ისევ აღდგენას.

რაც შეეხება შემზეთვის შერეულ და სასაზღვრო სახეებს, ისინი არამდგრად რეჟიმებადაა მიჩნეული. ამ შემთხვევაში ტემპერატურის გაზრდა ამცირებს რა

სიბლანტეს, იწვევს $\frac{\eta}{F_n} V$ პარამეტრის შემცირებას. უკანასკნელის გამო კიდევ უფრო იზრდება ხახუნის კოეფიციენტი და, მაშასადამე, ტემპერატურაც და იწყება ახალი აღმავალი ციკლი, რომელსაც მივყავართ მუშაობის არამდგრად რეჟიმებამდე.

ამრიგად, თხევადი შემზეთვა განპირობებულია შემზეთი მასალის შიგა ხახუნით და ამით უმრუნველყოფილია ხახუნის კოეფიციენტის უმცირესი მნიშვნელობები - 0,005...0,05. ასეთი სახის შემზეთვის განხორციელება შესაბამისი პარამეტრების დაცვის შემთხვევაში მრავალი სახის მანქანაშია შესაძლებელი. ბუნებრივია, მანქანა-მოწყობილობის საიმედოობისა და ხანგამძლეობის მაჩვენებელთა ამაღლების გზაზე გრიბოლოგიურ სისტემებში თხევადი შემზეთვის განხორციელება უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. თხევადი შემზეთვის – ჰიდროდინამიკურის, ჰიდროსტატიკურის თუ ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკურის დანერგვა მანქანებში მნიშვნელოვნად ამცირებს ენერგეტიკულ დანაკარგებს ხახუნის ძალის დაძლევაზე და აუქობებს საპასუხისმგებლო დეტალების მუშაობის პირობებს.

თავი 5. თხევადი შეზეთვა და მისი ჰიდროდინამიკური თეორია

5.1. ჰიდროდინამიკური შეზეთვის (ხახუნის) საფუძვლები

გემოთ აღნიშნული იყო, რომ გრიბოლოგიური სისტემის ეფექტური მნიშვნელობა მნიშვნელოვანწილადაა დამოკიდებული თხევადი შემზეთი მასალის რაციონალურ გამოყენებაზე. საყრდენ კვანძებში ინტენსიური ცვეთის და დიდი ენერგეტიკული დანაკარგების თავიდან აცილებისათვის საჭიროა საკისრის საგაცისა და სადების ზედაპირები განმხოლოებული იქნენ ერთმანეთისაგან შემზეთი მასალის გარკვეული სისქის ფენით. მაგრამ იმისათვის, რომ მოხახუნე ზედაპირებს შორის არსებობდეს ერთიანი ზეთის ფენა, იგი უნდა იმყოფებოდეს წნევის ქვეშ. მაშასადამე, იმისათვის, რომ დაგვირთული დეტალების ღრეჩოში წარმოიშვას და შენარჩუნდეს გარკვეული სიბლანტის მქონე თხევადი ზეთის ფენა, საჭიროა - ღრეჩოში მიწოდებულ იქნეს ზეთი ისეთი წნევით, რომელიც უზრუნველყოფს მოხახუნე ზედაპირების განმხოლოებას, ან შეიქმნას ისეთი კონსტრუქციულ-საექსპლუატაციო ვითარება, რომელიც თავად წარმოქმნის ზეთის ბილვისუნარს ფენას, ე. ი. წნევას ზეთის ფენაში.

პირველი მიმართულება, რომელიც ითვალისწინებს მოხახუნე ზედაპირებს შორის არსებულ ღრეჩოში ზეთის წნევით მიწოდებას, საჭიროებს რთულ დანადგარებს – ტუმბოებსა და სათანადო მილსადენების გამოყენებას, რაც პრაქტიკაში ხშირად კონსტრუქციულად და ეკონომიკურად გაუმართლებელია.

მეორე მიმართულება, რომელიც უმრავლეს შემთხვევაში უფრო მისაღებია, ითვალისწინებს ზეთის წნევითი ჰიდროდინამიკური ფენის თავისთავად წარმოქმნას. უკანასკნელის განხორციელების მექანიზმი ასე შეიძლება იქნეს წარმოდგენილი:

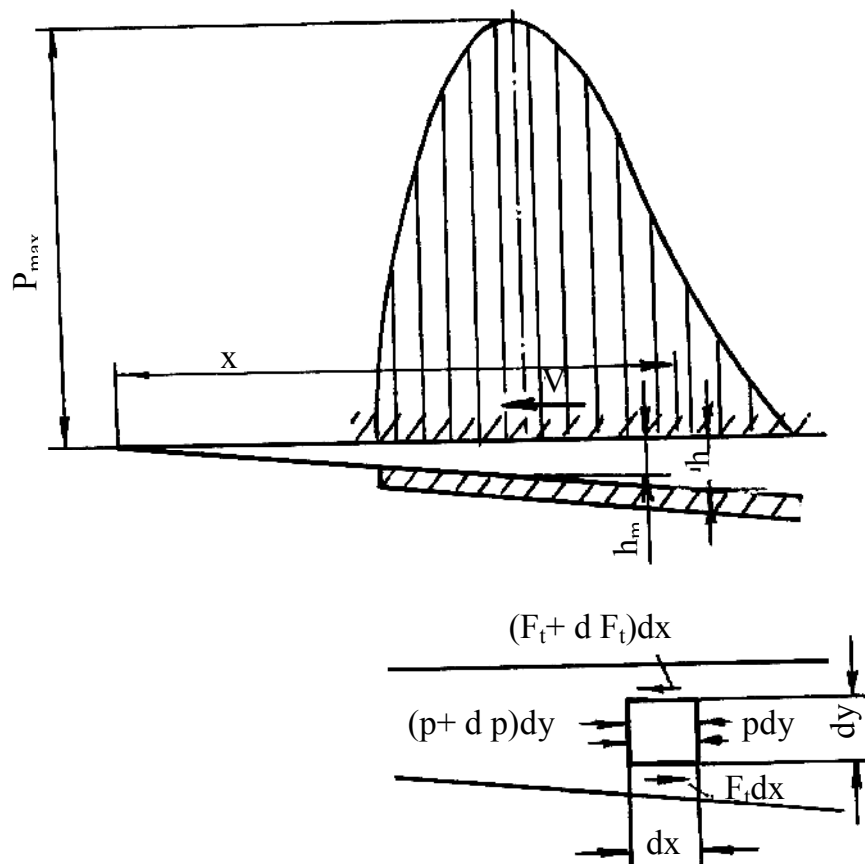
ერთ შემთხვევაში საყრდენი დეტალები წარმოდგენილია, როგორც ბრტყელი ზედაპირები (ნახ. 5.1). ამასთან, გაკეთებულია შემდეგი დაშვებები:

- ზედაპირების სიგრძე (ხაზოვანი ზომა ნახაზის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში) უსასრულოდ დიდია;
- ერთი ზედაპირი გადაადგილდება V სიჩქარით წრფივად, ხოლო მეორე რამდენადმე დახრილია პირველის მიმართ და უძრავია.

პირველი ზედაპირის ნახაზზე ნაჩვენებია მიმართულებით მოძრაობისას შემზეთი მასალის ნაკადი შედის სოლის ფორმის ღრეჩოში ფართო მხრიდან და გამოედინება ვიწრო მხრიდან. ვინაიდან თხევადი შემზეთი მასალა, ზეთი პრაქტიკულად უკუმშველია, ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან აუცილებელია ასეთ ღრეჩოში წარმოიშვას შიგა წნევა,

რომელიც ჰიდროდინამიკური იქნება. იგი მყარი სხეულის მსგავსად ეცდება “გახლიჩოს”, გასწიოს ერთმანეთის მიმართ ზედაპირები. შედეგად ერთ-ერთი ზედაპირი, რომელიც კონსტრუქციულად ამის პოტენციურ შესაძლებლობას ატარებს, აცურდება ზეთის ფენაზე და მოხდება ზედაპირების სრული განმხლოება – შესრულდება პირობა თხევადი, ჰიდროდინამიკური შეშეთვისა და, შესაბამისად, ჰიდროდინამიკური ხახუნის განხორციელებისა.

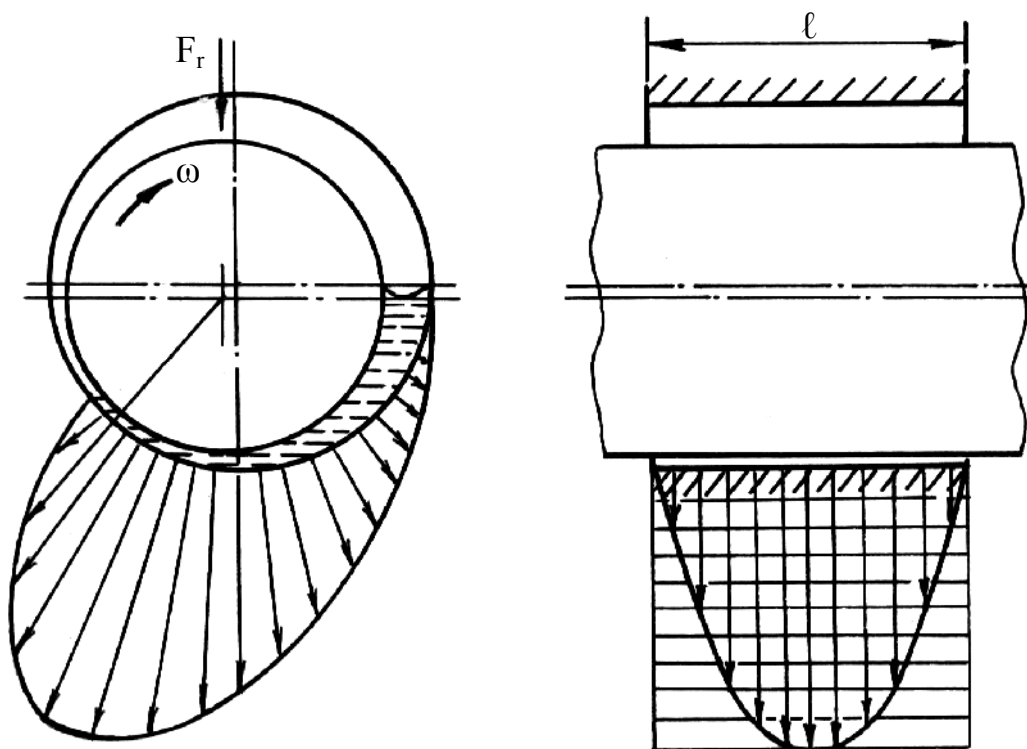
ამრიგად, განხილულ შემთხვევაში ზედაპირის ამომგდები ძალა ძირითადად განპირობებულია მისი ფარდობითი სიჩქარით.



ნახ. 5.1. ბრტყელ ზედაპირებს შორის არსებული ზეთის ფენაში წნევის განაწილება მათი ფარდობითი მოძრაობის დროს

მეორე შემთხვევაში საყრდენ ღეგალებად წარმოდგენილია ცილინდრული ზედაპირები (ნახ. 5.2). საკისარში რადიალური დატვირთვის გამო მბრუნავი ლილვი

საკისრის ღერძის მიმართ იკავებს ექსცენტრიულ მდგომარეობას. ლილვი ბრუნვის დროს თან წარიტაცებს გარკვეული რაოდენობის მეთს და შეიგანს სოლის ფორმის ღრეჩოში, რომელიც იქმნება ლილვსა და სადებს შორის. ამ დროს საგაცი მოქმედებს, როგორც ტუმბო, რომელიც განუწყვეტლივ ტუმბავს მეთს კვანძში არსებულ ღრეჩოში. ღრეჩო კი ლილვის მბრუნვის მიმართულებით თანდათან ვიწროვდება, რის გამოც მეთის სოლში წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი სიდიდის ჰიდროდინამიკური წნევა, რაც უბრუნველყოფს მიღვისუნარიანი მეთის ფენის შექმნას, რომლის წნევის განაწილების ტიპური ეპიურები რადიალური და გრძივი მიმართულებით მოცემულია 5.2 ნახ-ზე. როგორც ნახაზიდან ჩანს, წნევის განაწილება არც ერთი მიმართულებით არ არის თანაბარი და მისი კანონების ცოდნა მნიშვნელოვანი საქმეა როგორც თეორიულ, ისე პრაქტიკულ საქმიანობაში. საკისრის გრძივი მიმართულებით წნევის ეპიურა იცვლება პარაბოლური ტიპის მრუდით, რომლის ნულოვანი წერტილები საკისრის გორსულ ზედაპირებზე მოდის, ხოლო მაქსიმალური – საკისრის შუა ადგილზე. მრუდის ასეთი ხასიათი განპირობებულია გორსული ზედაპირიდან მეთის განდინებით.

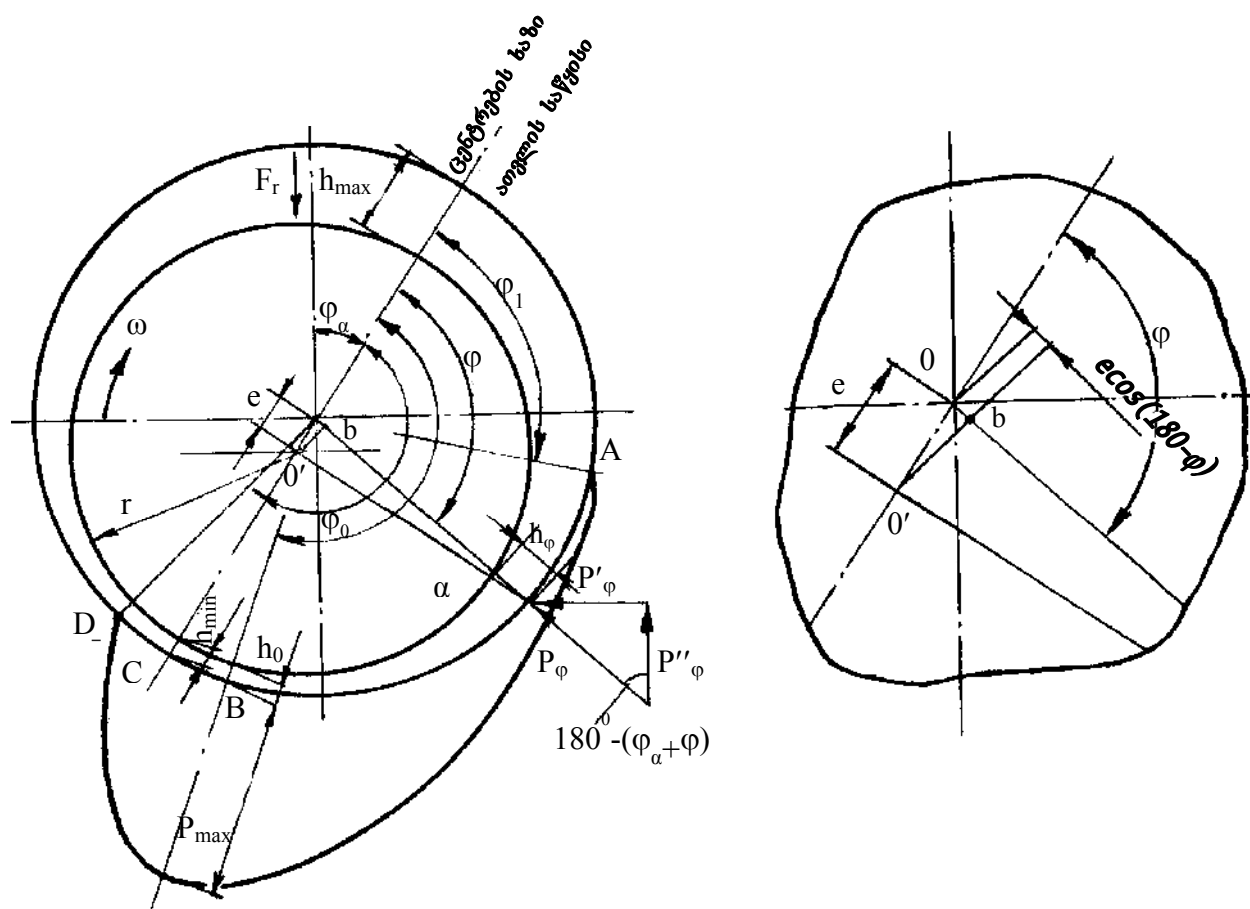


ნახ. 5.2. ჰიდროდინამიკური წნევის ეპიურები სრიალის საკისარში:

ა - რადიალური მიმართულებით; ბ - გრძივი მიმართულებით

5.2. გეომეტრიული პარამეტრები

საკისარში ლილვის უძრავი მდებარეობის დროს სატაცი დევს სადებზე. ლილვის ბრუნვის შემთხვევაში რადიალური დატვირთვის გარეშე იგი თითქმის ცენტრალურ მდებარეობას იჭერს, ხოლო დატვირთვის შემთხვევაში წნევითი ზეთის ფენის გავლენა, რომლის ჯამური ზემოქმედება გარკვეულ კუთხეს შეადგენს ძალის მოქმედების მიმართულებასთან, იწვევს ლილვის სატაცის გვერდით გადაადგილებას. მცირე რადიალური დატვირთვის დროს გვერდითი გადაადგილება ძალის მოქმედების მიმართულებით გადაადგილებასთან შედარებით დიდი სიდიდეა და პირიქით, დიდი დატვირთვების შემთხვევაში – მცირე.



ნახ. 5.3. სრიალის საკისრის საანგარიშო სქემა:

ა - საერთო სქემა; ბ - სატაცის ექსცენტრისიტეტის კონსტრუქციული პარამეტრების საანგარიშო სქემა

თხევადი შემეტვის შემთხვევაში შემზეთი მასალის ფენის გავრცელების ზონები საყრდენ კვანძში, რომელიც ცილინდრული დეტალებისაგან შედგება, ასე წარმოიდგინება: ზეთის ჰიდროდინამიკური ფენის გავრცელების ზონები ბევრად არის დამოკიდებული კვანძში მიწოდებული ზეთის რაოდენობაზე, შემზეთი მასალის მიწოდების ადგილზე, შემზეთი არხების არსებობასა და მდებარეობაზე. ზოგად, გიჟურ შემთხვევაში ჰიდროდინამიკური ფენის საწყის წერტილად მიიჩნევენ ადგილს, სადაც რადიალური ღრეჩო დიდი სიდიდისაა და იგი ახლოა ჰორიზონტალურ ღერძთან (ნახ. 5.3, წერტილი A). თუ საყრდენი კვანძი შეიცავს შემეტვის არხს, ჰიდროდინამიკური შემეტვის ფენა სათავეს ამ არხიდან იღებს.

წნევის უდიდესი მნიშვნელობა ზეთის ფენაში მდებარეობს რომელიმე B წერტილში, რომელიც მოთავსებულია დაგვირთვისა და ცენტრების შემაერთებელ ხაზებს შორის.

ჰიდროდინამიკური ფენის საბოლოო წერტილად მიიჩნევა რომელიმე D წერტილი, რომელიც ლილვის ბრუნვის მიმართულებით C მინიმალური ღრეჩოს წერტილის შემდეგ მდებარეობს (ნახ. 5.3). მაგრამ, ამასთან, მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტებით დამტკიცებულია, რომ ზეთის ფენა, მინიმალური ღრეჩოს წერტილიდან დაწყებული, წყვეტას განიცდის. ეს კი რიგ ავტორებს აძლევს საფუძველს დაასკვნან, რომ ზეთის ფენა C წერტილში თავდება.

შემეტვის ჰიდროდინამიკურ თეორიაში უფრო ზუსტ მოსაზრებად მიჩნეულია, რომ $p = 0$ და $\frac{dp}{d\phi} = 0$ D წერტილში. ამასთან, D და B წერტილები დაახლოებით სიმეტრიულად არიან განლაგებული C წერტილიდან (C წერტილში ზეთის ფენის სისქე მინიმალურია – $h = h_{\min}$) და ე. ი. $DC=CB$.

5.3. ზეთის ფენის ზიდვის უნარი

ზეთის ფენის ზიდვის უნარის განსაზღვრა ჰიდროდინამიკური თეორიის უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. პირველ რიგში განვიხილოთ ეს ამოცანა ზეთის ბრტყელი ნაკადის მაგალითზე, როცა ზეთის გორსული განდინება მხედველობაში არ მიიღება. აღნიშნული მაგალითი ბრტყელი ზედაპირების სახით, როცა ერთ-ერთი მათგანი დახრილია მეორის მიმართ, კარგად ეთანადება გიჟური კონსტრუქციის საკისარში წარმოშობილ შემზეთი მასალის „სოლს“. ამ შემთხვევაში ზეთის ფენის ეპიურის საწყისი და საბოლოო წერტილები, ბუნებრივია, ნულის გოლი იქნება, ხოლო წნევის ცვლილება

სოლის გასწვრივ - $\frac{dp}{dx}$ აღიწერება განტოლებით, რომელმაც რეონოლდსის სახელწოდება მიიღო.

რეინოლდსის განტოლების მისაღებად ზეთის ფენაში განვიხილოთ შემზეთი მასალის ელემენტარული ნაწილი ხაზობრივი ზომებით $dx \times dy \times 1$ (ნახ 5.1), სადაც x მოძრაობის მიმართულებად მიიჩნევა, ხოლო y – შემზეთი ფენის სისქის მიმართულებად.

იმის გამო, რომ ლილვის საკისარში ბრუნვის დროს ხდება ზეთის ფენების ურთიერთგადაადგილება სატაცის ბრუნვის მიმართულებით, საკისრის სოლის ფორმის ღრეჩოში ზეთის ბლანგი თვისებების გამო წარმოიშობიან ძვრის ძალები, რომლებიც ლამინარული დინების დროს განისაზღვრება ნიუტონის კანონით. ბლანგი ძვრის ძალა ერთეულ ფართობზე განისაზღვრება გამოსახულებით

$$F_t = \eta \frac{dV_x}{dy}, \quad (5.1)$$

სადაც F_t არის ბლანგი ძვრის ძალა; V_x - ფარდობითი სიჩქარე x მიმართულებით; η - ზეთის დინამიკური სიბლანგე.

ელემენტარული ნაწილის წონასწორობის პირობიდან (დაგვეგმილებით x ღერძზე)

$$dp \cdot dy = dF_t \cdot dx, \text{ აქედან}$$

$$\frac{dp}{dx} = \frac{dF_t}{dy}. \quad (5.2)$$

(5.1)-ისა და (5.2)-ის გათვალისწინებით

$$\frac{d^2 V_x}{dy^2} = \frac{1}{\eta} \frac{dp}{dx}. \quad (5.3)$$

ზეთის გამდინარეების სიჩქარე მიიღება (5.3) გამოსახულების ორმაგი ინტეგრირებით და შემდეგი სასაზღვრო პირობების ჩასმით. უძრავ ზედაპირზე $y=0, V_x=0$, ხოლო მოძრავ ზედაპირზე $y=h, V_x=V$ (სადაც h ღრეჩოს სიღიღეა x კოორდინატის შესაბამის ნებისმიერ კვეთაში). მაშინ

$$V_x = V \frac{y}{h} + \frac{y}{2\eta} (y-h) \frac{dp}{dx}. \quad (5.4)$$

ერთი ერთეულის სიგანის და h სიმაღლის ღრეჩოში 1 წმ-ში გაედინება ზეთი შემდეგი მოცულობით:

$$q_x = \int_0^h V_x dy = \frac{hV}{2} - \frac{h^3}{12\eta} \cdot \frac{dp}{dx}. \quad (5.5)$$

ზეთის ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან შესაძლებელია ერთმანეთს გავუტოლოთ ზეთის q_x მოცულობები, რომლებიც გაედინებიან ერთ წამში h და h_m . აქ h_m ღრეხოს სიდიდეა ისეთი კვეთისათვის, სადაც წნევის სიდიდე ფენაში მაქსიმალურია ე.ი. სადაც $p = p_{\max}$ და $\frac{dp}{dx} = 0$ სიდიდის ღრეხობებში

$$q_x = \frac{hV}{2} - \frac{h^3}{12\eta} \cdot \frac{dp}{dx} = \frac{h_m V}{2}. \quad (5.6)$$

აქედან, ელემენტარული გარდაქმნებით,

$$\frac{dp}{dx} = 6\eta V \frac{h - h_m}{h^3}. \quad (5.7)$$

(5.7) განტოლება მიღებული იქნა რეინოლდსის მიერ და იგი მის სახელს ატარებს.

ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულების (5.1), (5.4) საფუძველზე, კერძოდ, როცა განსამზღვრელია ზეთის განდინების სიჩქარე რომელიმე x კოორდინატისათვის, ნიუტონის კანონით და ელემენტარული გარდაქმნებით შეგვიძლია განვსამზღვროთ ერთეულოვან ზედაპირზე ბლანგი ძერის ძალა, ხოლო მისი მეშვეობით – ხახუნის პროცესის ძირითადი პარამეტრები:

$$F_t = \eta \left| \frac{dV_x}{dy} \right|_{y=h} = \eta \frac{V}{h} + \frac{h}{2} \frac{dp}{dx} \quad (5.8)$$

ახლა განვიხილოთ ძირითადი ვარიანტი, ე.ი. როცა კვანძი ცილინდრული დეტალებისაგან შედგება.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, წნევა ზეთის ფენაში უზრუნველყოფს ზეთის ნაკადის სიჩქარის გაზრდას და საგაცის აცურებას საკისრის საღებოდან, რითაც იზრდება ზეთის განდინების განივკვეთი. ამ ფაქტორებისა და რადიალური დაგვირთვების ერთობლივი ზემოქმედების შედეგად მყარდება სხეულის (საგაცის) წონასწორობის მდგომარეობა, როცა წნევის განაწილება ზეთის ფენაში უზრუნველყოფს ზეთის გადინებას ღრეხოში იმავე მოცულობით დროის ერთეულში, როგორც შემოდინებას ლილვის მეშვეობით ღრეხოს განიერ ნაწილში. ამასთან საგაცზე მოქმედი ნებისმიერი ჰიდროდინამიკური წნევის p_ϕ მიმართულება თანხვედრია ზედაპირის ნორმალის ანუ საგაცის რადიუსის.

თუ p_ϕ წნევას დავშლით p'_ϕ ჰორიზონტალურ და p''_ϕ ვერტიკალურ შემდგენებად, აღმოჩნდება, რომ უკანასკნელებს ძალუბთ გარეშე რადიალური F_z დაგვირთვის გაწონასწორება. ხოლო რაც შეეხება ჰორიზონტალურ შემდგენებს, ისინი იწვევენ საგაცის საკისარსში ჰორიზონტალურ გადაადგილებას (ნახ. 5.3).

საბოლოოდ შემზეთი მასალის წნევითი გემოქმედების შედეგად ლილვისა და საკისრის ღერების შემაერთებული ხაზი გარეშე ძალის მოქმედების მიმართულებიდან გადაიხრება რაღაც φ_a კუთხით.

ბუნებრივია, შემზეთი მასალის წნევის განაწილების ეპიურების ხასიათი ცილინდრული და ბრტყელი გელაპირების შემთხვევაში ერთმანეთისაგან განსხვავებულია, რაც გელაპირების სხვადასხვაობით არის განპირობებული.

საკისრის თხევადი შეზეთვის პირობებში მიღვის უნარის, ანუ ზეთის ფენის მიღვის უნარის განსაზღვრისათვის შემოვიღოთ შემდეგი დაშვებები*:

- ა) ზეთის ნაკადი ჰიდროდინამიკური ძალების წარმოშობის ზონებში მოძრაობს ლამინარულად;
- ბ) ზეთის ნაწილაკების შეჭიდების ძალები საგატან და საკისრის საღებთან ისეთი სიდიდისაა, რომ გელაპირის უშუალო მოსაზღვრე ზეთის ნაწილაკების სიჩქარე გელაპირების მიმართ ნულის ტოლია;
- გ) ზეთის მასისათვის, რომლითაც შევსებულია ღრეჩო, მხედველობაში არ მიიღება ზეთის ფენის ნაწილაკთა სიმძიმის, ინერციის და კაპილარული ძალები;
- დ) გარეშე დატვირთვის ქვეშ მყოფი ზეთი არ იკუმშება.

განხილვის პროცესისათვის შემოვიღოთ შემდეგი სახის აღნიშვნები: დიამეტრული ღრეჩო – $\Delta = D - d$, სადაც D საკისრის საღების დიამეტრია; d – ლილვის საგატანის დიამეტრია; რადიალური ღრეჩო – $\delta = \frac{\Delta}{2}$, ფარდობითი ღრეჩო – $\psi = \frac{\Delta}{d} = \frac{\delta}{r}$, სადაც r საგატანის რადიუსია;

აბსოლუტური ექსცენტრისიტეტი – $e = \delta - h_{\min}$; სადაც $h_{\min}$ ზეთის სისქის მინიმალური სისქეა; ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი (ახასიათებს საგატანის მდებარეობას საკისარში) – $\chi = \frac{e}{\delta}$.

e და χ მნიშვნელობათა გათვალისწინებით ზეთის ფენის მინიმალური მნიშვნელობა

$$h_{\min} = \delta - e = \delta(1 - \chi) \quad (5.9)$$

* ქვემოთ მოყვანილი დაშვებები, ასევე, იგულისხმებოდა რეინოლდსის განტოლების გამოყენებისას შესაბამისი პირობების დაცვის შემთხვევაში.

ტიპური საკისრის გეომეტრიული გაანგარიშებანი თხევადი შეშეთვის პირობებში გარკვეულ სირთულესთანაა დაკავშირებული, მაგრამ ყოველივე საკმაოდ მარტივდება, თუ დაუშვებთ, რომ საგაცის ექსცენტრისიგეტი საკისრის მიმართ მცირე სიდიდეა შეუღლების ღრეჩოსთან შედარებით. ასეთი დაშვება სავსებით მისაღებია საგაცის საშუალო და სწრაფი ბრუნთა სიხშირის, საშუალო რადიალური დატვირთვებისა და გრიბოლოგიური სისტემის მეტით საკმაო რაოდენობით უზრუნველყოფის დროს.

ცენტრების შემაერთებული ღერძიდან რაიმე φ კუთხეზე შეთის ფენის სისქის განსაზღვრისათვის განვიხილოთ ნახაზი 5.3.

იმის გათვალისწინებით, რომ $ob = e \cos(180^\circ - \varphi)$ და ექსცენტრისიგეტი e მცირე სიდიდეა,

$$\frac{D}{2} = ob + o'a + h_\varphi = e \cos(180^\circ - \varphi) + r + h_\varphi, \quad (5.10)$$

სადაც r საგაცის რადიუსია, φ - ცენტრალური კუთხე.

შესაბამისი ჩასმებითა და გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ, რომ

$$h_\varphi = \delta - e \cos \varphi = \delta(l + \chi \cos \varphi) \quad (5.11)$$

ხოლო შეთის ფენის სისქე ღრეჩოს იმ კვეთისათვის, როცა $p = p_{\max}$ და $\varphi = \varphi_0$

$$h_0 = \delta(l + \chi \cos \varphi_0). \quad (5.12)$$

ცილინდრული ფორმის საკისრებისათვის რეინოლდსის განტოლება მიზანშეწონილია პოლარულ კოორდინატებში იქნეს განხილული. განტოლება (5.7) გადავწეროთ შემდეგი გამოსახულებების გათვალისწინებით: $dx = r d\varphi$; $h = h_\varphi$; $V = \omega \cdot r$.

აქ ω საგაცის კუთხური სიჩქარეა.

$$dp = 6\eta \frac{\omega}{\psi^2} \cdot \frac{(1 + \chi \cos \varphi) - (1 + \chi \cos \varphi_0)}{(1 + \chi \cos \varphi)^3} d\varphi = 6\eta \frac{\omega}{\psi^2} \cdot \frac{\chi(\cos \varphi - \cos \varphi_0)}{(1 + \chi \cos \varphi)^3} d\varphi. \quad (5.13)$$

წნევა რაიმე φ კუთხეზე განისაზღვრება (5.13) ინტეგრირებით φ_1 კუთხიდან φ კუთხემდე, ე.ი. სასაზღვრო პირობებისათვის (φ_1 , φ)

$$p_\varphi = \int_{\varphi_1}^{\varphi} dp = \frac{\sigma \eta \omega}{\psi^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi} \frac{\chi(\cos \varphi - \cos \varphi_0)}{(1 + \chi \cos \varphi)^3} d\varphi. \quad (5.14)$$

p_φ წნევის ვერტიკალური შემდგენი იქნება (ნახ. 5.3)

$$p_\varphi'' = p_\varphi \cos[180^\circ - (\varphi_a + \varphi)] = p_\varphi [-\cos(\varphi_a + \varphi)]. \quad (5.15)$$

მაშინ ელემენტარული სიგანის ($\Delta\varphi$ ცენტრალური კუთხით) ფართობის მიღვისუნარი

$$\Delta F_r = p'' l r \Delta \varphi = p'' \frac{ld}{2} \Delta \varphi, \quad (5.16)$$

სადაც d და l საკისრის შესაბამისად დიამეტრი და სიგრძეა.

ვერტიკალური შემდგენლების შეჯამება ჰიდროდინამიკური წნევის მოქმედების (φ_1 , φ_2) ზღვრებში და შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმა განტოლებებში (5. 15) და (5. 16) მოგვცემს ჰიდროდინამიკური გეთის მიღვის უნარს:

$$\begin{aligned} F_r &= \frac{ld}{2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} P_\varphi [-\cos(\varphi_a + \varphi)] d\varphi = \frac{3\eta \cdot \omega \cdot \ell \cdot d}{\psi^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\chi(\cos \varphi - \cos \varphi_0) d\varphi}{1 + \chi \cos y} [-\cos(\varphi_a + \varphi)] d\varphi = \\ &= \frac{\eta \cdot \omega}{\psi^2} ld S_0, \end{aligned} \quad (5.17)$$

სადაც

$$S_0 = 3 \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \frac{\chi(\cos \varphi - \cos \varphi_0) \cdot dy}{1 + \chi \cos \varphi} [-\cos(\varphi_a + \varphi)] \cdot d\varphi, \quad (5.18)$$

S_0 არის სატაცის საკისარში მდებარეობის უგანზომილებო ფუნქცია მოცემული სასაზღვრო პირობებისათვის და იწოდება საკისრის დატვირთვის კოეფიციენტად. S_0 -ს სამეცნიერო და საინჟინრო პრაქტიკაში მომერფელის რიცხვს უწოდებენ (ზოგ ქვეყანაში ჰუმბელის რიცხვსაც).

მეორეს მხრივ, მომერფელის რიცხვი (5.17)-ის გათვალისწინებით შეიძლება ასე იქნეს წარმოდგენილი:

$$S_0 = \frac{p\psi^2}{\eta\omega}, \quad (5.19)$$

სადაც p – წნევაა, რომელიც განისაზღვრება, როგორც ნორმალური F_r ძალასა და საკისრის დიამეტრალური კვეთის ფართობის – $d \times l$ ფარდობა. ამასთან, თუ მომერფელის რიცხვი – $S_0 \ll 1$ -მე, რიგი მკვლევრების რეკომენდაციით ხახუნის

კოეფიციენტი $f \approx \frac{\eta \cdot V l}{F_r}$, ხოლო თუ $S_0 \gg 1$, მაშინ $f \approx \left(\frac{\eta \cdot V \cdot l}{F_r} \right)^{\frac{1}{2}}$.

$\frac{\eta \cdot V \cdot l}{F_r}$ პარამეტრი წარმოადგენს თხევადი შემეთვის დროს ხახუნის

კომპლექსურ მახასიათებელს და, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გერსი-შტრიბეკის დიაგრამაზე გამოიყენება არგუმენტად.

ყველა ზემოთ მოყვანილ ფორმულაში და შემდგომ პარამეტრში იგულისხმება SI სისტემის ერთეულებში: η -პა.წმ; p -პა; F_r -ნ; d, l -მ; ω -წმ⁻¹.

რეალური საკისრებისათვის ზეთის ფენის ბილვის უნარი (რადიალური გვირგვინობა) განსაზღვრული უნდა იქნეს გორსული მხრიდან ზეთის გადინების გათვალისწინებით, რაც აღრე ხორციელდებოდა ექსპერიმენტულად მიღებული წნევის საკისრის სიგრძეზე განაწილების კანონის საფუძველზე. ასეთი გზით მიღებული მრუდი კარგად ეთანადება პარაბოლას (ნახ. 5.2, ბ). დღეს ამ ამოცანის გადწყვეტისათვის განიხილება სივრცითი ამოცანა საბოლოო სხვაობათა მეთოდისა და ეგმ-ს გამოყენებით.

თხევადი შეზეთვის დროს საკისრის დაგვირთვის კოეფიციენტის (ზომერფელდის რიცხვის) მნიშვნელობა χ ექსცენტრისიტეტისა და $\frac{l}{d}$ ფარდობის შესაბამისად მოცემულია 5.1 ცხრილში.

დაგვირთვის კოეფიციენტის განსაზღვრა შედარებით ნაკლები სიმუსტით შესაძლებელია აგრეთვე გამარტივებული ემპირიული დამოკიდებულებით:

$$S_0 = \frac{m}{1 - \chi} - m, \quad (5.20)$$

სადაც $m \approx 0,66$, როცა $\frac{l}{d} = 0,8$; $m \approx 0,75$, როცა $\frac{l}{d} = 0,9$; $m \approx 0,85$, როცა $\frac{l}{d} = 1,0$;

$m \approx 1,0$, როცა $\frac{l}{d} = 1,2$; $m \approx 1,1$, როცა $\frac{l}{d} = 1,5$.

შუალედური სიდიდეების პოვნა შესაძლებელია ინტერპოლაციით.

აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ $\frac{l}{d}$ ფარდობის უფრო მცირე მნიშვნელობაზე ფორმულა ნაკლებად ზუსტ შედეგს იძლევა.

ჰიდროდინამიკური თეორიის დამოკიდებულებების ანალიზისა და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შესაძლებელია ზოგიერთი საერთო დასკვნის გაკეთება.

ერთის მხრივ, რაც უფრო მცირეა $h_{\min}$, მით უფრო დიდია ზეთის ფენის ბილვის უნარი F_r . მეორის მხრივ, $h_{\min}$ -ის მნიშვნელობა უნდა უზრუნველყოფდეს იმ გარემოებას, რომ შეუღლებული ზედაპირების ბორცვები არ ეხებოდნენ ერთმანეთს მათი ურთიერთგადაადგილების დროს. სხვა სიტყვებით, ზეთის ფენის სისქე მისი უმცირესი განივკვეთის ადგილზე უნდა იყოს საგატისა და საკისრის საღების ზედაპირების სიმჭის უსწორმასწორობების (მიკრობორცვების) სიმაღლეთა ჯამზე

$(R_{z_1} + R_{z_2})$ მეტი. აღნიშნული გარემოება უზრუნველყოფს მოხახუნე ზედაპირების ექსპლუატაციას პრაქტიკული ცვეთის გარეშე. ამ პირობის შესრულებისათვის რეალურ პირობებში საჭირო ხდება დეტალების სიმუსისა და კვანძში ღრეკადი დეფორმაციების (ლილვის ღუნვაზე) გათვალისწინება მარაგის კოეფიციენტის მეშვეობით. მაშინ

$$h_{\min} = S(R_{z_1} + R_{z_2}), \quad (5.21)$$

სადაც S მარაგის კოეფიციენტია და ≥ 2 . მცირე სიჩქარეების პირობებში, როცა ფარდობითი სიჩქარე $V \leq 0,5$ მ/წმ, იღებენ მარაგის კოეფიციენტის მცირე მნიშვნელობებს.

თუ მოხახუნე ზედაპირები მზადდება წმინდა ჩარხვით ან შიგჩარხვით, სიმქისის პარამეტრი იღება $R_z 6,3 \dots R_z 1,6$ (სიმქისის 7...8 კლასი); ხეხვის დროს - $R_z 3,2 \dots R_z 0,4$ (სიმქისის 8...10 კლასი); გაკრიალების დროს - $R_z 0,8 \dots R_z 0,05$ (სიმქისის 10...13 კლასი).

ფარდობითი ღრეჩო საკისრის კვანძებში იღება ზღვრებში

$$\psi = 0,0003 \dots 0,005. \quad (5.22)$$

ღრეჩოს დიდი მნიშვნელობები შეესაბამება დიდ ფარდობით სიჩქარეებს, მცირე რადიალურ დაღვირთვებს, გრძელ საკისრებს და დიდი ღრეკადობის მოდულის მქონე საკისრის საღებების გამოყენებას (პოლიმერული საღებების გამოყენების შემთხვევაში სარგებლობენ სპეციალური რეკომენდაციებით და გაჭეჭვის თავიდან აცილების მიზნით იღებენ ღრეჩოს უფრო დიდ მნიშვნელობებს).

ცნობილია აგრეთვე მუშა ტემპერატურული რეჟიმის პირობებში ფარდობითი ღრეჩოს განსაზღვრის სარეკომენდაციო გამოსახულება [19]:

$$\psi = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot V^{0,25}, \quad (5.23)$$

სადაც V საგაცის წრიული სიჩქარეა, მ/წმ.

რეგულირებად საკისრებში კონსტრუქციულად აღწევენ იმას, რომ ღრეჩოს სიდიდეები განსხვავდებიან ცივ და დამყარებულ რეჟიმებში.

საკისრის კვანძის ღრეჩოს ტემპერატურული ცვლილებები, რომლებიც გამოწვეულია როგორც ლილვისა და საკისრის საღების ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურულ კოეფიციენტებს შორის განსხვავებით, ისე კვანძის კონსტრუქციული თავისებურებებით (გარე და შიგა დეტალის აბსოლუტურ გაფართოებებს შორის სხვაობით. ღრეჩოს სიდიდის ცვლილება გამოწვეული პირველი მათგანით შეიძლება იქნას გამოსახული

$$\Delta' = 2at(\alpha_1 - \alpha_2). \quad (5.24)$$

სადაც Δ' ღრეხოს მნიშვნელობის ცვლილებააა ტემპერატურული სხვაობით გამოწვეული; a – საკისრის საღების ან ანგიფრიქციული ფენის სისქე; α_1 – საღების ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი; α_2 – ლილვის ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი.

გემოთ მოყვანილი გამოსახულებების ანალიზისა და საერთოდ საკისრების მუშაობის მეცნიერული კვლევის საფუძველზე დადგენილია, რომ მეთის ფენის მიღვის უნარი F_z იზრდება მეთის სიბლანგისა და წრიული სიჩქარის გაზრდასთან ერთად და მცირდება საკისრის ღრეხოს გაზრდის დროს. ე.ი. შეიძლება გაკეთდეს მნიშვნელოვანი დასკვნა - შეიძლება ისე გავზარდოთ საკისრის რადიალური დაგვირგთვის უნარი, რომ არ გავადიდოთ მისი კონსტრუქციული ზომები და არ გამოვიყენოთ უფრო ძვირფასი მასალები მოხახუნე დეტალების დასამზადებლად. კერძოდ, გამოვიყენოთ მეტი სიბლანგის მქონე თხევადი მეთები და შევარჩიოთ ნაკლები სიდიდის ღრეხოები. მაგრამ მეორეს მხრივ, ეს ღონისძიებანი იწვევენ სხვა უარყოფით მოვლენებს. მაგალითად, მეტი სიბლანგის მქონე მეთის გამოყენება ზრდის ხახუნის კოეფიციენტს ხახუნის კვანძში, ე.ი. ხახუნის მომენტს და, მაშასადამე, სხვა უარყოფით მოვლენებთან ერთად იწვევს ტემპერატურული რეჟიმის გაუარესებას და საჭირო რეჟიმის შენარჩუნებისათვის აუცილებელი ხდება ხელოვნური გაცივების გამოყენება.

ამრიგად, ხელოვნური გაცივების გარეშე სიბლანგის გაზრდა და ღრეხოს შემცირება მისაღებია მხოლოდ გარკვეულ მდგომარეობებში. ამ მდგომარეობის მიღმა გვაქვს უკუეფექტი, რაც განპირობებულია ტემპერატურული რეჟიმის გაუარესებით, რომელიც იწვევს საკისრის მუშა ზონებში მეთის სიბლანგის და, შესაბამისად, მეთის ფენის მიღვის უნარის შემცირებას.

სრიალის საკისრის გაანგარიშება თხევადი შემეთვის პირობებში ზოგჯერ დაიყვანება მოცემულ ექსპლუატაციურ პირობებში მაქსიმალური ღრეხოს განსაზღვრაზე. სხვა შემთხვევაში საკისრის ღრეხოსა და მეთის სიბლანგის შერჩევის შემდეგ გაანგარიშება შემოწმებით ხასიათს ატარებს. კერძოდ, საკისრის ღრეხოსა და მეთის სიბლანგის დადგენის შემდეგ განისაზღვრება S_0 კოეფიციენტი, ხოლო მისი მეშვეობით 5.1 ცხრილიდან ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი χ . შემდგომ ანალიზურად აღვიღად გამოითვლება მეთის მინიმალური ფენის სისქე, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას – მოხახუნე მედაპირების მიკრობორცვები ხახუნის პროცესში ერთმანეთს არ უნდა ეხებოდნენ. გემოხსენებული პარამეტრების განსაზღვრის შემდეგ შესაძლებელი

ხდება ისეთი ძირითადი ექსპლუატაციური პარამეტრების განსაზღვრა, როგორიცაა ხახუნის მომენტი, ტემპერატურა მუშა ზონაში და ა. შ.

5.4. ხახუნის პარამეტრები

როგორც უკვე აღნიშნული იყო, ხახუნის კოეფიციენტი, შესაბამისად, ხახუნის ძალა და მომენტი სრულყოფილი თხევადი შეზღუდვის პროცესში მთლიანად განპირობებულია სითხის ბლანგი ხახუნით, ე.ი. ხახუნის ისეთი პროცესით, როცა იგი ზეთის ფენების ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობაა.

განვსაზღვროთ გრიბოტექნიკის ეს ძირითადი პარამეტრები თხევადი შეზღუდვის დროს. სიმარტივისათვის ჯერ განვიხილოთ ამოცანა, როცა სატაცის ექსცენტრისიტეტი საკისარში მცირეა და, მაშასადამე, ღრეჩო საკისრის მთელ განივკვეთში შეიძლება მუდმივად ჩაითვალოს. ასეთი მდგომარეობა შეესაბამება საკისრის ექსპლუატაციის იმ პირობებს, როცა საკისარი მუშაობს მაღალი წრიული სიჩქარეებით და მცირე რადიალური დატვირთვებით. ამასთან, იგულისხმება, რომ საკისრის ღრეჩო მთლიანად სავსეა ზეთით.

A ფართობზე მოსული ზეთის ფენის ძვრის ძალა (ხახუნის ძალა) განისაზღვრება ნიუტონის კანონით

$$F_f = F_t = \eta A \frac{dV}{dy}, \quad (5.25)$$

სადაც F_t – ძვრის ძალაა; F_f – ხახუნის ძალა; A – ზეთის ფენის ფართობი საანგარიშო კვეთისათვის ($A = \pi dl$);

$\frac{dV}{dy}$ – სიჩქარის გრადიენტი ზეთის ფენის სისქის მიმართულებით:

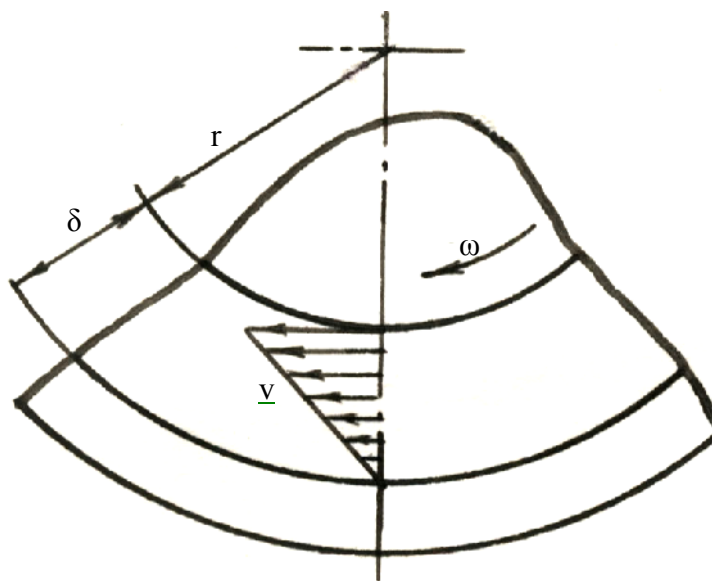
$$\frac{dV}{dy} = \frac{V}{\partial} = \frac{\omega r}{\psi V} = \frac{\omega}{\psi}. \quad (5.26)$$

მაშინ A და $\frac{dV}{dy}$ მნიშვნელობათა გათვალისწინებით ხახუნის ძალა

$$F_t = \pi dl \frac{\eta \omega}{\psi}. \quad (5.27)$$

შესაბამისად, ხახუნის კოეფიციენტი

$$f = \frac{F_t}{F_r} = \frac{\pi \eta \omega}{\psi p}. \quad (5.28)$$



ნახ. 5.4. ზეთის ფენების გადაადგილების სიჩქარეთა სქემა საკისარში

საშუალო სიდიდის დატვირთვის პირობებში მოყვანილი გამოსახულებით განსაზღვრული პარამეტრები – ხახუნის ძალა და კოეფიციენტი შემცირებული სიდიდისაა და ვერ აკმაყოფილებს სიმუხტის მოთხოვნებს. ეს აიხსნება იმით, რომ აღნიშნულ პირობებში სიჩქარის გრადიენტი დატვირთული და დაუტვირთავი ზონებისათვის მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. კერძოდ, რადიალური დატვირთვის ისეთ პირობებში, როცა ექსცენტრისიტეტი არ შეიძლება მიჩნეული იქნეს ნულის ტოლად, ე.ი. როცა ღრეზო მცირდება დატვირთულ ზონაში და წარმოიშობა ჰიდროდინამიკური წნევა. უკანასკნელი მნიშვნელოვნად ცვლის სიჩქარის გრადიენტის სურათს. ამიგომ საჭირო ხდება ხახუნის კოეფიციენტის კორექტირება, რომელიც დაახლოებით მაინც გაითვალისწინებს რეალურ პირობებს. მაშინ ემპირიული ფორმულა განზომილებათა ტექნიკურ სისტემაში (კგძ, მ, წმ) იღებს სახეს [19]:

$$f = \frac{\pi}{\psi} \cdot \frac{\eta \omega}{p} + 0,55 \psi \zeta, \quad (5.29)$$

სადაც $\zeta = \left(\frac{d}{2}\right)^{\frac{1}{5}}$ კოეფიციენტი, რომელიც შემოჰყავთ მოკლე საკისრების შემთხვევაში

ე.ი. როცა $\frac{l}{d} < 1$, ხოლო თუ $\frac{l}{d} \geq 1$, მაშინ $\zeta = 1$.

პრაქტიკული გაანგარიშებისთვის რეკომენდირებული ხახუნის კოეფიციენტის საანგარიშო ფორმულა შეიძლება ასეთი სახით იქნეს წარმოდგენილი [19]:

$$f = 3,36 \cdot 10^{-5} \frac{d}{\Delta} \cdot \frac{\eta n}{p} + 5,5 \cdot 10^{-5} \frac{\Delta}{d} \zeta, \quad (5.30)$$

სადაც d და l პარამეტრების განზომილება მოცემულია სმ-ში; Δ – მკმ-ში; η – სანტიპუაზებში.

როცა წინასწარ დადგენილია ჰიდროდინამიკური წნევის განაწილების კანონი, ხახუნის მომენტის განსაზღვრის დამუშავებული ფორმულა მიიღება საგატის გედაპირზე გეთის ძვრის ელემენტარული ძალების ინტეგრირებით:

$$T = F_f \cdot \frac{d}{2} = \frac{\eta \omega}{\psi} \cdot \frac{d^2 l}{2} C_T, \quad (5.31)$$

სადაც T ხახუნის ძალის მომენტია, ნ.მ; C_T – ბრუნვის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი და გამოითვლება შემდეგი ემპირიული დამოკიდებულებით:

$$C_T = \frac{\pi}{\sqrt{1-\chi^2}} + 0,438 \chi S_0 \sqrt{1-\chi^2}. \quad (5.32)$$

C_T კოეფიციენტის მნიშვნელობები $\frac{l}{d}$ -სა და χ -ის მიხედვით მოცემულია ტექნიკურ ლიტერატურაში ცხრილების სახითაც.

პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის განზომილებათა ტექნიკურ სისტემაში (სადაც η სანტიპუაზებშია, d და l – სმ-შია) ხახუნის მომენტის ფორმულა ასე გამოიყურება:

$$T = 5,35 \cdot 10^{-10} \frac{\eta m d^2 l}{\Psi} C_T. \quad (5.33)$$

შესაბამისად დასაზუსტებულია ხახუნის კოეფიციენტი

$$f = \frac{2T}{d \cdot F_r} = \frac{\eta \omega C_T}{\psi p}. \quad (5.34)$$

იმის გათვალისწინებით, რომ $S_0 = \frac{p \psi^2}{\eta \omega}$,

$$f = \frac{\psi C_T}{S_0}. \quad (5.35)$$

5.5. თბური გაანგარიშების საფუძვლები წნევით შეშეთვის დროს

გრიბოსისგემის წნევითი შეშეთვის დროს თბური გაანგარიშების ამოცანა მუშა ტემპერატურის განსაზღვრასთან ერთად გულისხმობს ზეთის იმ მოცულობის დადგენას, რომელიც გაედინება კვანძში, რათა შენარჩუნებულ იქნეს დასაშვები ტემპერატურა ხახუნის ზონაში.

კლასიკური ტემპერატურული გაანგარიშების მსგავსად, მეთოდი ეფუძნება თბური ბალანსის განტოლებას, სადაც, ერთის მხრივ, გამოყოფილი სითბოს ნაკადი საკისარში

$$\Phi = F_f V = f F_r \omega r = T \omega , \quad (5.36)$$

ხოლო მეორეს მხრივ, ხახუნის ზონიდან არინებული (გაგანილი) სითბოს რაოდენობა ნაწილდება ორ შემდგენზე:

- სითბოს ნაკადი, რომელსაც გადასცემს საკისარი და ლილვი,
- სითბოს ნაკადი, რომელიც გადაიტანება შემზეთი მასალის მიერ.

წნევით შეშეთვის პირობებში გრიბოლოგიური სისტემებისათვის პირველი შემდგენი უმნიშვნელოა და უმრავლეს შემთხვევაში მხედველობაში არ მიიღება, ამიტომ მოცემულ პარაგრაფში იგი არ განიხილება. შესაბამისად, სრიალის საკისრების წნევითი შეშეთვისას თბური გაანგარიშების უმრავლეს შემთხვევებში საკმარისადაა მიჩნეული მხოლოდ მეორე შემდგენის გათვალისწინება (შემთხვევა, როცა გათვალისწინებულია სითბოს გადაცემა საკისრისა და ლილვის მეშვეობით განიხილება ქვემოთ სრიალის საკისრების სასაზღვრო და მშრალი ხახუნის პირობებში მუშაობის გაანგარიშების დროს). ე.ი. თბური წონასწორობის პირობა დამყარებული რეჟიმის დროს სრიალის საკისრებისათვის ასე გამოიყურება:

$$\Phi = \Phi_1, \quad (5.37)$$

სადაც Φ_1 შემზეთი მასალის მიერ ხახუნის ზონიდან არინებული სითბოს ნაკადია და იგი გოლია

$$\Phi_1 = c Q \rho (t_2 - t_1), \quad (5.38)$$

სადაც Q შემზეთი მასალის რაოდენობაა, რომელიც გაედინება საკისრის ღრეზოში, $\text{მ}^3/\text{წმ}$; ρ – შემზეთი მასალის სიმკვრივე, იღება ზღვრებში $870...890 \text{კგ/მ}^3$; c – ზეთის

ხვედრითი სითბოტევადობა, იღება ზღვრებში – $(1,7...2,1) \cdot 10^3 \frac{\text{ჯოული}}{\text{კგ} \cdot \text{კელვინი}}$; t_2, t_1 –

შემაგალი და გამომაგალი შემზეთი მასალის ტემპერატურები, °C.

t_2 -ს დაღგენის დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს ის გარემოება, რომ იგი განსხვავდება ხახუნის მონაში ზეთის ტემპერატურისაგან (t_2). ამასთან, უკანასკნელი არ უნდა აღემატებოდეს $60...75^\circ\text{C}$. წინააღმდეგ შემთხვევაში ხდება შემზეთი საშუალებების მაჩვენებლების მკვეთრი გაუარესება, რაც, თავის მხრივ, აუარესებს ხახუნის პარამეტრებს, ეს კი ზრდის ტემპერატურას და აღმაგალი ციკლი კვლავ მეორდება კვანძის მწყობრიდან გამოსვლამდე.

სითბოს იმ რაოდენობის დაღგენისათვის, რომელიც აირინება გრიბოლოგიური სისტემიდან, საჭიროა განისაზღვროს შემზეთი მასალის რაოდენობა, რომელიც გაედინება დაგვირთული, მოძრაობაში მყოფი სრიალის საკისრის გორსული ზედაპირიდან. ამ ამოცანის გადაწყვეტისათვის არსებობს არაერთი ემპირიული ფორმულა, მაგრამ ყველა მათგანი მოუხერხებელი და შედარებით რთულია, რის გამოც საინჟინრო გაანგარიშებისას ნაკლებად გამოიყენება.

ამ ამოცანის თეორიული გადაწყვეტა ემყარება ბლანტი სითხის სამგანზომილებიანი ნაკადის გორსული გადინების ჰიდროდინამიკურ განტოლებებს. ამოცანის გამარტივება – სივრცულის დაყვანა ბრტყელ ამოცანამდე არ ხერხდება იმ მიზეზით, რომ საკისრის უსასრულო სიგრძის შემთხვევაში სითხის გადინება ღერძული მიმართულებით უნდა შეწყდეს, რაც მიუღებელია ჩვენთვის. აღნიშნულის გამო სამგანზომილებიანი ამოცანის გადაწყვეტისათვის სარგებლობენ მიახლოებითი მეთოდებით – შემზეთი მასალის ხარჯის უგანზომილებო, სრული კოეფიციენტი განისაზღვრება აპროქსიმირებული (მიახლოებული) ფორმულით

$$q = \frac{2Q}{\psi \omega l d^2}, \quad (5.39)$$

სადაც Q შემზეთი მასალის გადინების ხარჯია, ლ/წმ;

დანარჩენი წევრების განზომილება იგივეა, რაც ზემოთ იყო განმარტებული, ლმ-ში. მაშინ შემზეთი მასალის ხარჯი განისაზღვრება დამოკიდებულებით

$$Q = 0,5 \psi \omega l d^2 q, \quad (5.40)$$

შემზეთი მასალის ხარჯის უგანზომილებო, სრული კოეფიციენტი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს, როგორც სამი განზომილების ჯამი

$$q = q_1 + q_2 + q_3, \quad (5.41)$$

სადაც q_1 შემზეთი მასალის დატვირთული ზონის გორსული ზედაპირებიდან განდინების კოეფიციენტი. q_1 -ის მნიშვნელობები კონსტრუქციული პარამეტრების მიხედვით დადგენილია მ. კოროფჩინსკის მიერ და მოცემულია 5.2 ცხრილში (პრაქტიკული გაანგარიშების დროს თუ აღმოჩნდა, რომ $q_1 > q$, ეს იმას ნიშნავს, რომ არახელსაყრელი პირობებია ჰიდროდინამიკური შეზეთვისათვის და მდგომარეობის გამოსასწორებლად საჭიროა ან χ -ის, ან $\frac{l}{d}$ ფარდობის, ანდა ორივე პარამეტრის შემცირება); q_2 – შემზეთი მასალის დაუტვირთავი ზონიდან განდინების კოეფიციენტი, იგი გამოითვლება ფორმულით:

$$q_2 = \beta S_0 \left(\frac{d}{l} \right)^2 \frac{p_e}{p}, \quad (5.42)$$

სადაც p_e შემზეთი მასალის წნევაა, რომელიც მიეწოდება შემზეთ არხს გუმბოლან, მპა; p – საშუალო ხვედრითი წნევა, მპა; β – უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილებში (ცხრილი 5.3).

q_3 არის შემზეთი არხების ზომებისა და მათი განლაგების კოეფიციენტი. ორი დახურული არხის ჩვეულებრივი განლაგების დროს (ნახ. 5.5)

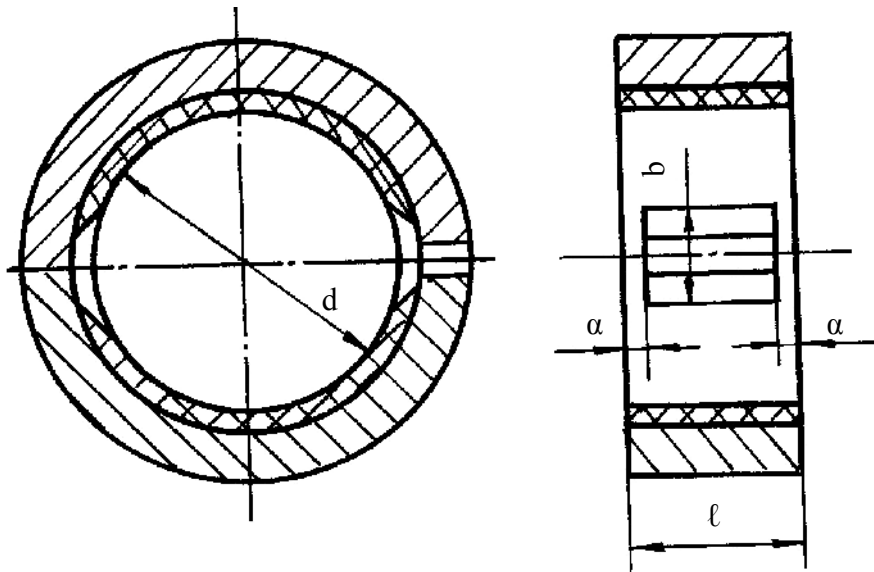
$$q_3 = \nu S_0 \left(\frac{d}{l} \right)^2 \frac{b}{d} \left(\frac{l}{a} - 2 \right) \frac{p_2}{p} \quad (5.43)$$

სადაც ν კოეფიციენტი და χ -ის მიხედვით აიღება ცხრილებიდან (ცხრილი 5.3).

a და b ზომები მოცემულია 8.5 ნახ-ზე და შეირჩევა სატაცის დიამეტრის მიხედვით, მ:

$$a \approx 0,1 l, \quad (5.44)$$

$$b \approx (0,20 \dots 0,25) d. \quad (5.45)$$



ნახ. 5.5. შემშეთი არხების განლაგების სქემა

ცხრილი 5.1.

დატვირთვის კოეფიციენტი (ზომერუელის რიცხვი) S_0

$\frac{l}{d}$	χ													
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,925	0,95	0,975	0,99
	დატვირთვის კოეფიციენტი S_0													
0,3	0,05	0,08	0,13	0,20	0,26	0,38	0,48	0,70	1,22	2,07	3,35	5,73	15,15	50,52
0,4	0,09	0,41	0,22	0,34	0,43	0,57	0,78	1,08	1,78	3,20	5,06	8,39	21,00	65,26
0,5	0,13	0,21	0,32	0,49	0,62	0,82	1,10	1,57	2,43	4,26	6,62	10,7	25,62	75,86
0,6	0,18	0,28	0,43	0,66	0,82	1,07	1,42	2,00	3,04	5,21	7,96	12,6	29,17	83,21
0,7	0,23	0,36	0,54	0,82	1,01	1,31	1,72	2,40	3,58	6,03	9,07	14,1	31,88	88,90
0,8	0,29	0,44	0,65	0,97	1,20	1,54	1,95	2,75	4,05	6,72	9,99	15,4	33,99	92,89
0,9	0,34	0,52	0,75	1,12	1,37	1,74	2,26	3,07	4,46	7,29	10,8	16,4	35,66	96,35
1,0	0,39	0,59	0,85	1,25	1,53	1,93	2,47	3,37	4,81	7,77	11,4	17,2	37,00	98,95
1,1	0,44	0,66	0,95	1,38	1,67	2,10	2,66	3,58	5,11	8,19	11,9	17,9	38,12	101,90
1,2	0,49	0,72	1,03	1,49	1,80	2,25	2,84	3,79	5,36	8,53	12,4	18,4	39,04	102,90
1,3	0,53	0,78	1,11	1,59	1,91	2,38	2,99	3,97	5,59	8,83	12,7	18,9	39,81	104,42
1,5	0,61	0,89	1,25	1,76	2,10	2,60	3,24	4,27	5,95	9,30	13,34	19,7	41,07	106,84
2	0,76	1,09	1,48	2,07	2,45	2,98	3,67	4,78	6,55	10,09	14,34	20,97	43,11	110,79

შემზეთი მასალის და დატვირთული ზონის ტორსული ზედაპირიდან
გაღინების კოეფიციენტი

$\frac{l}{d}$	χ													
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,70	0, 75	0,80	0, 85	0,90	0,925	0,95	0,975	0,99
კონცენტრული საკისარი														
0,4	0,115	0,162	0,209	0,258	0,282	0,306	0,334	0,348	0,366	0,378	0,380	0,376	0,365	0,314
0,5	0,113	0,158	0,203	0,249	0,271	0,292	0,318	0,330	0,343	0,351	0,348	0,340	0,317	0,268
0,6	0,110	0,152	0,196	0,238	0,259	0,278	0,302	0,310	0,320	0,323	0,318	0,306	0,280	0,230
0,7	0,107	0,148	0,189	0,228	0,247	0,264	0,283	0,291	0,297	0,297	0,289	0,275	0,248	0,200
0,8	0,104	0,144	0,181	0,217	0,234	0,249	0,267	0,272	0,275	0,273	0,263	0,248	0,222	0,177
0,9	0,100	0,138	0,174	0,206	0,222	0,235	0,250	0,254	0,255	0,250	0,240	0,225	0,199	0,158
1,0	0,097	0,133	0,166	0,196	0,209	0,221	0,235	0,236	0,237	0,230	0,220	0,205	0,181	0,142
1,1	0,094	0,128	0,158	0,186	0,198	0,208	0,220	0,221	0,220	0,212	0,203	0,188	0,165	0,129
1,2	0,090	0,122	0,150	0,176	0,181	0,196	0,207	0,206	0,205	0,197	0,187	0,174	0,151	0,119
1,3	0,087	0,117	0,143	0,167	0,176	0,185	0,194	0,193	0,191	0,183	0,174	0,160	0,140	0,110
1,5	0,080	0,108	0,130	0,150	0,158	0,164	0,172	0,171	0,168	0,160	0,152	0,140	0,122	0,095
ნახევარი საკისარი (180°-იანი)														
0,4	0,114	0,141	0,174	0,206	0,220	0,232	0,240	0,247	0,242	0,235	0,223	0,207	0,174	0,135

ცხრილი 5.2. გავრძელება

$\frac{l}{d}$	χ													
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,265	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,925	0,95	0,975	0,99
0,5	0,109	0,135	0,166	0,194	0,206	0,217	0,222	0,224	0,218	0,206	0,194	0,178	0,145	0,110
0,6	0,105	0,129	0,156	0,182	0,192	0,200	0,203	0,203	0,196	0,184	0,170	0,153	0,123	0,093
0,7	0,100	0,122	0,147	0,169	0,178	0,185	0,186	0,185	0,176	0,163	0,150	0,134	0,107	0,089
0,8	0,095	0,115	0,138	0,158	0,165	0,170	0,172	0,168	0,158	0,146	0,133	0,118	0,099	0,070
0,9	0,090	0,107	0,129	0,146	0,153	0,157	0,156	0,153	0,143	0,131	0,119	0,106	0,084	0,062
1,0	0,085	0,102	0,121	0,136	0,141	0,145	0,143	0,138	0,130	0,119	0,108	0,096	0,075	0,056
1,1	0,081	0,096	0,113	0,127	0,131	0,139	0,132	0,128	0,119	0,109	0,098	0,087	0,068	0,050
1,2	0,076	0,091	0,106	0,118	0,122	0,124	0,122	0,119	0,110	0,100	0,090	0,080	0,063	0,046
1,3	0,072	0,086	0,100	0,111	0,114	0,117	0,114	0,110	0,102	0,092	0,081	0,074	0,058	0,043
1,5	0,065	0,076	0,088	0,098	0,101	0,101	0,099	0,095	0,088	0,080	0,072	0,064	0,050	0,037
120°-იანი სპეკტრი														
0,4	0,078	0,094	0,106	0,115	0,122	0,127	0,131	0,132	0,129	0,122	0,115	0,104	0,079	0,049
0,5	0,072	0,087	0,098	0,106	0,111	0,115	0,117	0,117	0,113	0,105	0,098	0,087	0,064	0,039
0,6	0,067	0,080	0,089	0,096	0,100	0,103	0,104	0,103	0,098	0,090	0,084	0,074	0,054	0,033
0,7	0,062	0,074	0,082	0,087	0,090	0,093	0,093	0,092	0,086	0,079	0,073	0,064	0,046	0,028
0,8	0,057	0,068	0,075	0,079	0,082	0,084	0,084	0,082	0,077	0,070	0,064	0,056	0,041	0,025
0,9	0,053	0,062	0,069	0,072	0,074	0,076	0,075	0,074	0,069	0,062	0,057	0,050	0,036	0,022
1,0	0,048	0,058	0,063	0,066	0,068	0,069	0,069	0,067	0,063	0,057	0,052	0,045	0,032	0,020
1,1	0,045	0,053	0,058	0,061	0,062	0,063	0,063	0,061	0,057	0,052	0,047	0,041	0,030	0,018
1,2	0,042	0,050	0,054	0,056	0,058	0,058	0,058	0,056	0,052	0,047	0,043	0,038	0,027	0,016
1,3	0,039	0,046	0,050	0,052	0,053	0,054	0,054	0,052	0,048	0,043	0,040	0,035	0,025	0,015
1,5	0,034	0,040	0,044	0,046	0,046	0,047	0,047	0,044	0,042	0,038	0,034	0,030	0,022	0,013

ცხრილი 5.3

β და φ კოეფიციენტების მნიშვნელობები

χ	β კოეფიციენტი საკისრის შემოხვევის კუთხის მიხედვით			φ კოეფიციენტი საკისარში ორი გრძივი არხის შემოხვევაში
	360°	180°	120°	
0,3	0,132	0,194	0,246	0,097
0,4	0,153	0,227	0,285	0,107
0,5	0,175	0,273	0,329	0,116
0,6	0,200	0,323	0,380	0,125
0,65	0,213	0,352	0,408	0,129
0,70	0,226	0,384	0,437	0,131
0,75	0,240	0,417	0,468	0,132
0,80	0,256	0,454	0,501	0,132
0,85	0,273	0,489	0,536	0,128
0,90	0,289	0,535	0,573	0,121
0,925	0,299	0,563	0,592	0,113
0,95	0,308	0,582	0,612	0,108
0,975	0,318	0,609	0,632	0,097
0,99	0,323	0,625	0,645	0,090

საბოლოოდ (5.36), (5.37) და (5.38) ფორმულების გათვალისწინებით განისაზღვრება გამომავალი შემზეთი მასალის ტემპერატურა

$$t_2 = \frac{\Phi + cQ\rho t_1}{cQ\rho}, \quad (5.46)$$

ხოლო ტემპერატურა ხახუნის ზონაში დგინდება იმის გათვალისწინებით, რომ იგი $0...30^\circ\text{C}$ -ით აღემატება გამომავალი შემზეთი მასალის ტემპერატურას, როცა უკანასკნელი შესაბამისად იცვლება $20 \dots 45^\circ\text{C}$ -მდე ზღვრებში, ე.ი.

$$t_g = t_2 + (0...30)^\circ\text{C}. \quad (5.47)$$

იმ შემთხვევაში, როცა საკისრისათვის შერჩეულია t_2 , შემზეთი მასალის ხარჯი (5.37) და (5.38) ფორმულების გათვალისწინებით განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებიდან, მ³/წმ:

$$Q = \frac{\Phi}{c \rho (t_2 - t_1)} \quad (5.48)$$

მაგალითი [19]: შეფასდეს სრიალის საკისრის მუშაობის უნარი და ხახუნის პარამეტრები, როცა მოცემულია: $d = 0,15\text{მ}$, $l = 0,18\text{მ}$, $n = 600\text{წმ}^{-1}$, $F_r = 60\text{კნ}$, ლილვის საგაცს აქვს გედაპირული წრთობა, სადები IAM 10-5 შენადნობია და საგაცის გედაპირული სიმქისის მახასიათებელს წარმოადგენს: $R_{z1} = 0,8...1,6\text{მკმ}$, ხოლო სადების - $R_{z2} = 1,6...3,2\text{მკმ}$.

ლილვის ბრუნვათა კუთხური სიჩქარე

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 600}{30} = 62,8\text{წმ}^{-1}.$$

ფარდობითი სრიალის წრიული სიჩქარე

$$V = \frac{\omega d}{2} = \frac{62,8 \cdot 0,15}{2} = 4,72\text{მ/წმ}.$$

საშუალო ხვედრითი წნევა

$$p = \frac{F_r}{dl} = \frac{60000}{0,15 \cdot 0,12} = 2,2 \cdot 10^6 \text{პა} = 2,2 \text{მპა}.$$

pV პარამეტრის მნიშვნელობა

$$pV = 2,2 \cdot 10^6 \cdot 4,72 = 10,3 \text{მპა} \cdot \text{მ/წმ}.$$

მიღებული p -სა და pV -ს მნიშვნელობები შევუფარდოთ დასაშვებ სიდიდეებს. აღებული მასალებისა და პირობებისათვის ისინი დასაშვებია.

შევარჩიოთ სრიალის საკისრის ფარდობითი ღრეჩო გემოთ მოყვანილი ერთ-ერთი დამოკიდებულებიდან. მაგალითად, (5.23) გამოსახულებით

$$\psi = 0,8 \cdot 10^3 \cdot V^{0,25} = 0,8 \cdot 10^3 \cdot 4,72^{0,25} \approx 0,0012.$$

შესაბამისად, დიამეტრული ღრეჩო

$$\Delta = \psi d = 0,0012 \cdot 0,15 = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ მ (180 მკმ)}.$$

წინასწარ ღაფუშვით საკისრის მუშა ტემპერატურა 50°C (ზუსტდება ტემპერატურული გაანგარიშების შემდეგ) და შევარჩიოთ ზეთი – ინდუსტრიული И-Г-А-32 კინემატიკური სიბლანტით $\nu = 20 \text{ მმ}^2/\text{წმ} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ მ}^2/\text{წმ}$. შესაბამისად, დინამიკური სიბლანტე

$$\eta = \gamma \nu = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 890 = 0,018 \text{ პა.წმ}.$$

მაშინ საკისრის დატვირთვის კოეფიციენტი (მომერფელდის რიცხვი)

$$S_{\circ} = \frac{p \psi^2}{\eta \omega} = \frac{2,2 \cdot 10^6 \cdot 0,0012^2}{0,018 \cdot 62,8} = 2,83.$$

5.1 ცხრილიდან ეპოულობთ ფარდობით ექსცენტრისიტეტს, როცა $\frac{l}{d} = 1,2$ და

$$S_{\circ} = 2,83 - \chi \approx 0,75.$$

ზეთის ფენის მინიმალური სისქე

$$h_{\min} = \delta(1 - \chi) = \frac{0,18}{2}(1 - 0,75) = 0,0225 \text{ მმ} = 22,5 \text{ მკმ}.$$

უსაფრთხოების კოეფიციენტი ზეთის ფენის სისქის მიხედვით

$$S = \frac{h_{\min}}{R_{z_1} + R_{z_2}} = \frac{22,5}{1,6 + 3,2} = 4,7 > 2.$$

ხახუნის მომენტი სატაცზე (5.31) გამოსახულების მიხედვით

$$T = \frac{\eta \omega}{\psi} \cdot \frac{d^2 l}{2} C_T = \frac{0,018 \cdot 62,8}{0,0012} \cdot \frac{0,15^2 \cdot 0,18}{2} \cdot 5,36 \approx 10 \text{ ნ.მ},$$

სადაც

$$C_T = \frac{\pi}{\sqrt{1 - \chi^2}} + 0,438 \chi S_{\circ} \sqrt{1 - \chi^2} = \frac{3,14}{\sqrt{1 - 0,75^2}} + 0,438 \cdot 0,75 \cdot 2,83 \sqrt{1 - 0,75^2} = 5,36.$$

ხახუნის ძალა

$$F_f = \frac{2T}{d} = \frac{2 \cdot 10}{0,15} = 133 \text{ ნ},$$

ხახუნის კოეფიციენტი

$$f = \frac{F_f}{F_r} = \frac{133}{60000} = 0,0022.$$

ახლა განვსაზღვროთ შეშეთვის სისტემაში ზეთის ხარჯისა და წნევის სიდიდე. ამისათვის ვიპოვოთ სრიალის საკისარში გამოყოფილი სითბოს ნაკადი

$$\Phi = F_f V = 133 \cdot 4,72 = 628 \text{ ვტ.}$$

შეშეთი მასალის ხარჯი, (5.48) გამოსახულების შესაბამისად,

$$Q = \frac{\Phi}{c\rho(t_2 - t_1)} = \frac{628}{1,9 \cdot 10^3 \cdot 880 \cdot 10} = 0,376 \cdot 10^{-4} \text{ მ}^3/\text{წმ} = 0,0376 \text{ ლ/წმ},$$

სადაც c არის ზეთის ხვედრითი სითბოტევადობა, ავიღოთ $1,9 \cdot 10^3 \frac{\text{ჯოული}}{\text{კგ კელვინი}}$; ρ – ზეთის სიმკვრივე, ავიღოთ 880 კგ/მ^3 ; $t_2 - t_1$ – ტემპერატურათა სხვაობა, დავუშვათ, რომ 10°C -ის ტოლია.

მაშინ (5.39) დამოკიდებულებებიდან საკისრის ზეთის ხარჯის სრული კოეფიციენტი

$$q = \frac{2Q}{\psi \omega d^2} = \frac{2 \cdot 37,6 \cdot 10^{-6}}{0,0012 \cdot 62,8 \cdot 0,18 \cdot 0,15^2} = 0,246.$$

5.2 ცხრილიდან, როცა $\chi = 0,75$, $\frac{l}{d} = 1,2$, გვაქვს $q = 0,207$.

q_2 და q_3 კოეფიციენტებისათვის 5.3 ცხრილიდან ამოვიწეროთ $\beta = 0,240$ და $\vartheta = 0,132$, მაშინ

$$q_2 = \beta S_\circ \left(\frac{d}{l}\right)^2 \frac{p_e}{p} = 0,24 \cdot 2,83 \cdot \left(\frac{0,15}{0,18}\right)^2 \cdot \frac{p_e}{p} = 0,47 \frac{p_e}{p},$$

ხოლო

$$q_3 = \beta S_\circ \left(\frac{d}{l}\right)^2 \frac{b}{d} \left(\frac{l}{a} - 2\right) \frac{p_e}{p} = 0,24 \cdot 2,83 \cdot \left(\frac{0,15}{0,18}\right)^2 \frac{0,03}{0,15} \left(\frac{0,18}{0,018} - 2\right) \frac{p_e}{p} = 0,415 \frac{p_e}{p},$$

სადაც შეშეთი არხის ზომები

$$b = 0,2d = 0,2 \cdot 0,15 = 0,03 \text{ მ},$$

$$a = 0,1l = 0,1 \cdot 0,18 = 0,018 \text{ მ}.$$

(5.41)-ის საფუძველზე

$$0,246 = 0,207 + \frac{p_e}{p} (0,471 + 0,415) ,$$

$$\frac{p_e}{p} = 0,044 .$$

შემდეგ სისტემაში საჭირო წნევა იქნება

$$p_e = 0,044 p = 0,044 \cdot 2,2 = 0,097 \text{ მპა}.$$

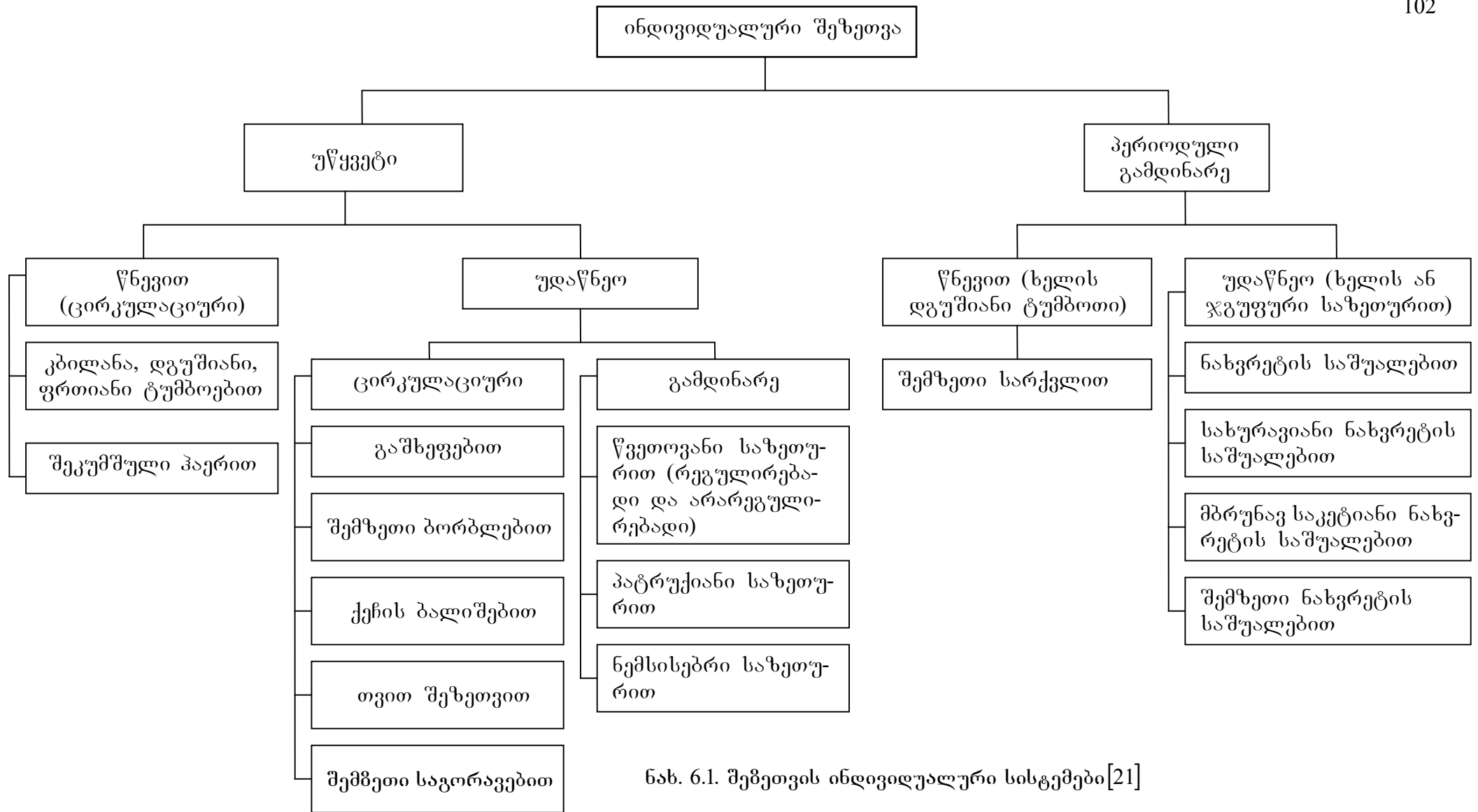
თავი 6. შეშეთვის სისტემები და მეთოდები

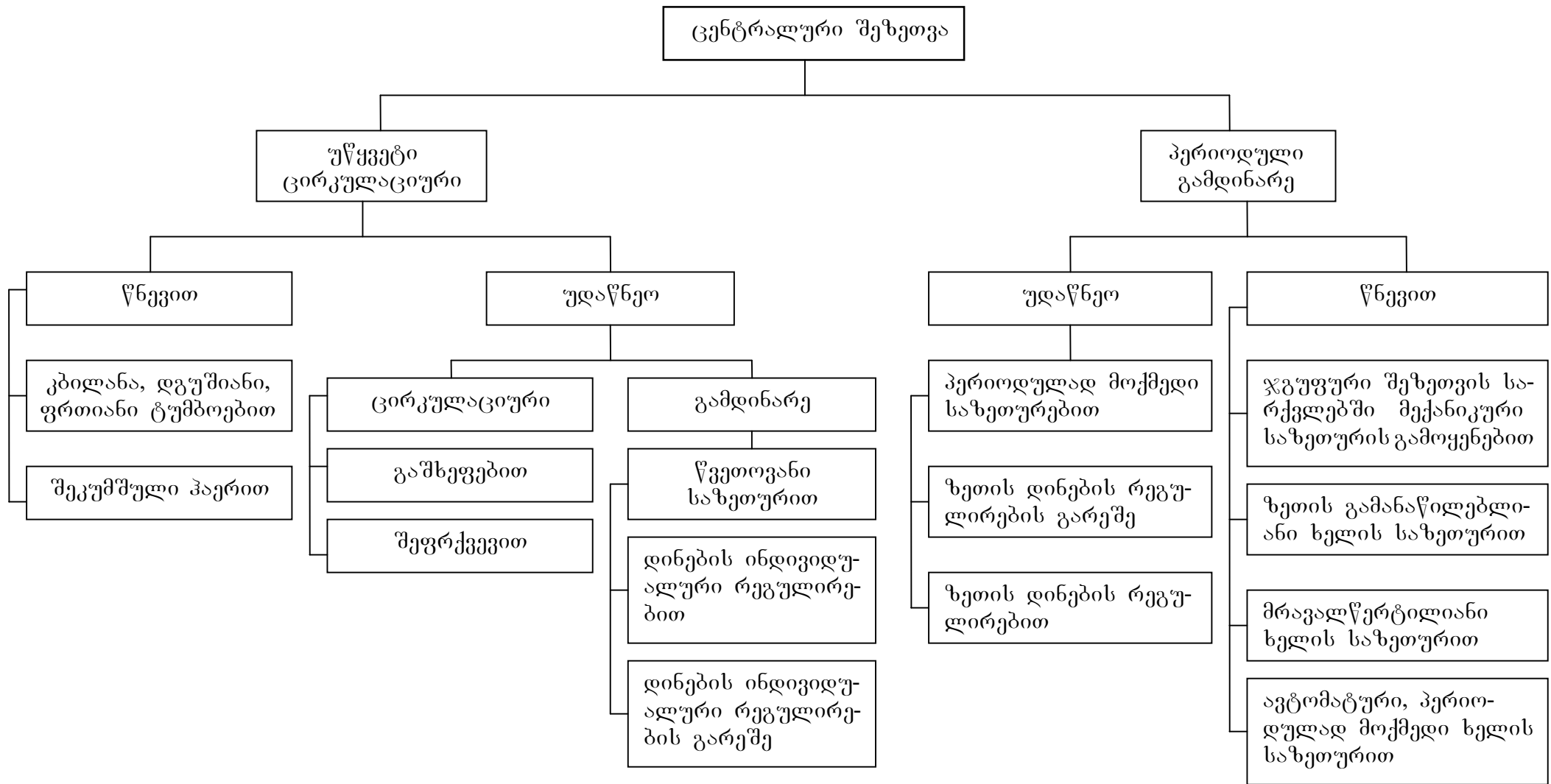
შეშეთვის სისტემის ფუნქციაა შესაბამისი გექნიკურ-მაგერიალური საშუალებების მეშვეობით შეშეთი მასალის მიწოდების უზრუნველყოფა უშუალოდ ხახუნის ზონაში. ამასთან, იგი შედგება: შეშეთი მასალის დანიშნულების ადგილზე მიმწოდებელი მოწყობილობისაგან, შეშეთი მასალის რეზერვუარისაგან, შეშეთი მასალის ხახუნის მოლიდან გამომყვანი მოწყობილობისაგან, სამაცივრო სისტემებისაგან, შეშეთი მასალის გამწმენდი დანადგარისაგან, შეშეთი მასალების საწნევის ნაკადის რეგულირებისა და სისტემების სხვა საზომ-საკონტროლო და მართვის ხელსაწყოთა საშუალებებისაგან.

კონკრეტული პირობების გათვალისწინებით: იმის მიხედვით, თუ როგორ გრიბოლოგიურ სისტემასთან გვაქვს საქმე, შეშეთის რა მეთოდები, რა შეშეთი მასალები და რა რაოდენობით გამოიყენება, შესაძლებელია შეშეთი სისტემის რიგ ელემენტებზე უარის თქმა. შესაბამისად, შეშეთი სისტემები შეიძლება განხორციელდეს როგორც უმარტივესი მაგერიალური შესაძლებლობით, ისე რთული ცენტრალური სისტემებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ ასეულობით ხახუნის კვანძების ერთდროულ შეშეთას და შეშეთი მასალის გონობით გამოყენებას.

თანამედროვე მანქანათმშენებლობაში, როგორც უკვე აღნიშნული იყო, შეშეთი მასალად ძირითადად იყენებენ მინერალურ და ნავთობის გადამუშავების შედეგად მიღებულ ბეთებს. გამოიყენება აგრეთვე ხელოვნური, სინთეტიკური ბეთები. არის შემთხვევები, როცა შეშეთი მასალად იყენებენ სხვადასხვა მუშა სითხეებს და წყალს.

განასხვავებენ შეშეთის ინდივიდუალურ და ცენტრალურ სისტემებს (ნახ. 6.1, 6.2). სისტემა ინდივიდუალურია, თუ იგი ემსახურება ერთ გრიბოლოგიურ სისტემას და ცენტრალურია, თუ ემსახურება ერთდროულად რამდენიმე გრიბოლოგიურ სისტემას.





ნახ. 6.2. შეზეთვის ცენტრალური სისტემები [21]

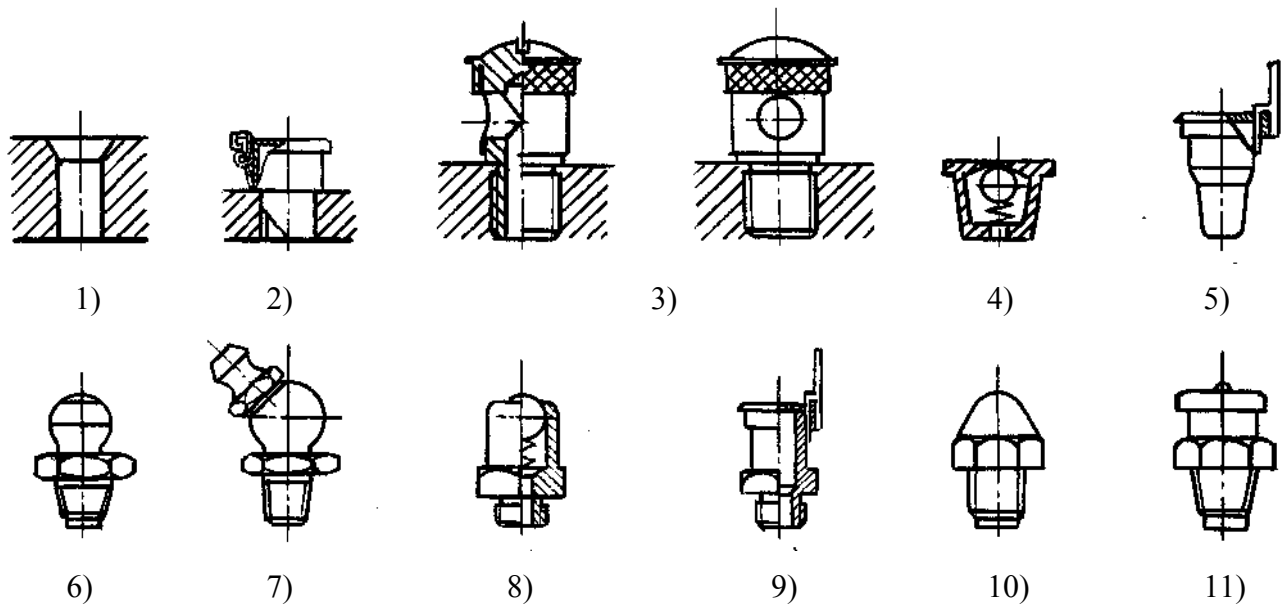
შემეტვის პერიოდულობის მიხედვით განასხვავებენ განუწყვეტელი (ცირკულარული მოქმედების, წნევით და უდაწნოდ) და პერიოდული (ასევე წნევით და უდაწნოდ) მოქმედების გრიბოლოგიურ სისტემებს. არსებობს და საინჟინრო პრაქტიკაში საკმაოდ ფართოდაა გამოყენებული აგრეთვე ერთჯერადი შემეტვის მეთოდი (კვანძი იბეთება მხოლოდ ერთხელ ექსპლუატაციის დასაწყისში. არ შეიძლება ამ მეთოდის გაიგივება შეუბრუნებელ ხახუნთან, რომელიც შეიძლება იყოს მშრალი).

შემეტვი მასალა ხახუნის ზონაში შეიძლება მიწოდებულ იქნეს უდაწნოდ და წნევითი შემეტვი სისტემების საშუალებით.

განვიხილოთ შემეტვის ძირითადი მეთოდები.

6.1. ინდივიდუალური შემეტვა

პერიოდული უდაწნო შემეტვა შემეტვის უმარტივესი მეთოდია. ყველაზე ხშირად იგი ხორციელდება ხელით და ჯერ კიდევ საკმაოდ ფართოდ არის გამოყენებული მანქანებში. მეთოდის ძირითადი არსი ასეთია: ხახუნის კვანძის სპეციალურ ნახვრეტებში ხელით ან ღგუშიანი, ანდა მემბრანული საზეთურით შეჰყავთ შემეტვი მასალა (ნახვრეტებისა და მათი სარქვლების კონსტრუქციული სახეები მოცემულია 6.3 ნახ-ზე).

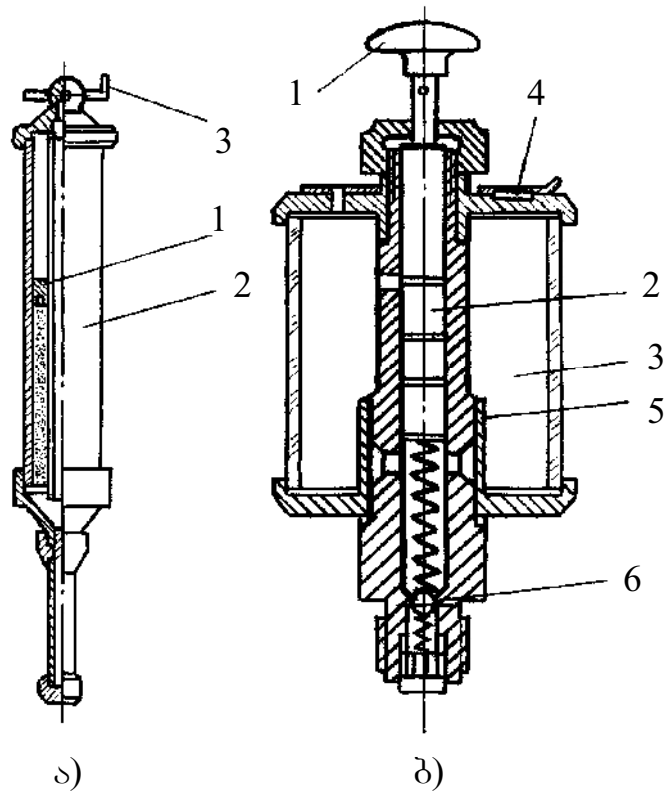


ნახ. 6.3. საზეთი ნახვრეტები და სარქვლები

1,2,3 – საზეთი ნახვრეტები, (2 – ჩამოსაცმელი სახურავით, 3 – ჩახრახნილი ბუნიკით);
4,5 – ჩასაწნეხი სარქვლები; 6-11 – ჩასახრახნი სარქვლები და საზეთურები

პერიოდული წნევით შეზღუდვა. ამ სახის შეზღუდვა ხორციელდება ხელის საბეთურების მეშვეობით სპეციალურ ნახვრეტებში ბეთის წნევით შეყვანით. ეს მეთოდი ბემით აღნიშნულისაგან განსხვავებით უზრუნველყოფს ხახუნის ზონების უფრო მეტი ფართობის დაფარვას ბეთით, შესაბამისად, ხახუნის პროცესის უფრო ხელსაყრელ პირობებში წარმართვას.

ხელის საბეთურების კონსტრუქციები მოცემულია 6.4 ნახ-ზე.



ნახ. 6.4. ხელის საბეთურები

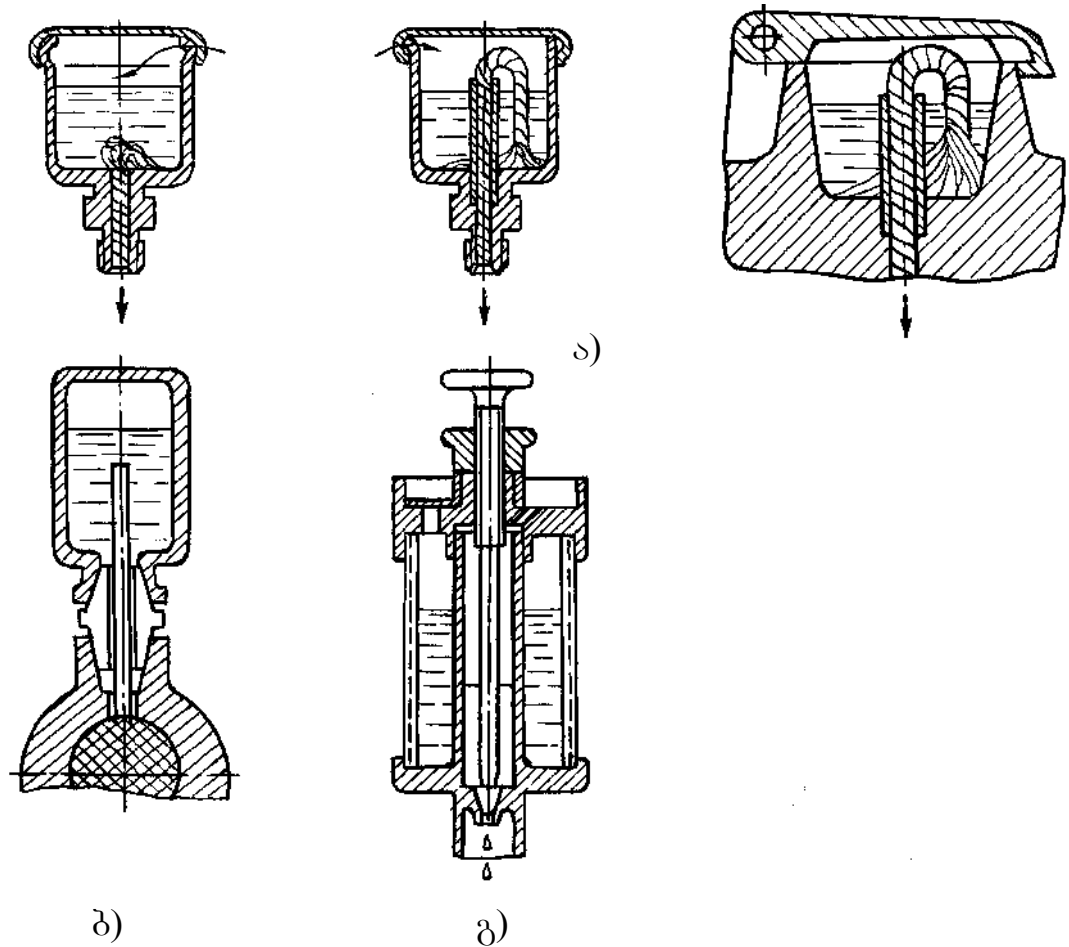
წნეხ-საბეთური: 1 – ღგუში; 2 – კორპუსი; 3 – სახელური;

წნევით პერიოდულად მომუშავე: 1 – კნოპი; 2 – პლუნქერი; 3 – ავზი;

4 – ნახვრეტი ბეთის ჩასასხმელად; 5 – ბადისებრი ფილტრი;

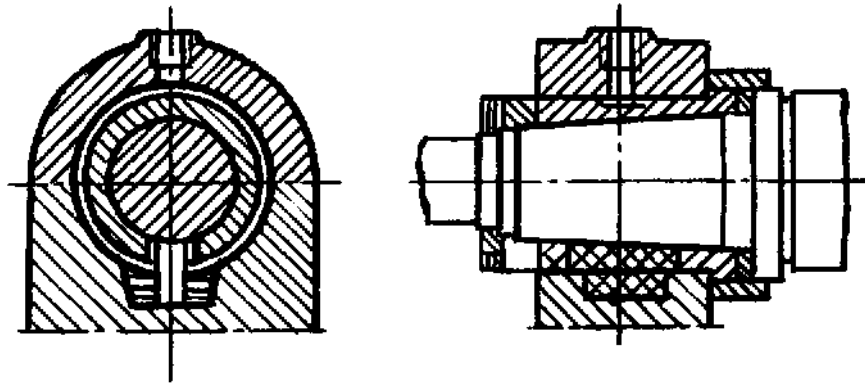
6 – ბურთულიანი სარქველი

გამდინარე უდაწნეო შეზღუდვა. ასეთი მეთოდით სარგებლობის დროს იყენებენ შესაბამისი კვანძის და ბეთის რემერფუარის დონეთა სხვაობას. აღნიშნული მეთოდის განსხვავებულ ჯგუფს შეადგენს ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები, რომლებშიც გამოყენებულია პაგრუქიანი წვეთოვანი და ნემსისებრი საბეთურები (ნახ. 6.5), სადაც ერთ შემთხვევაში გამოყენებულია პაგრუქის კაპილარული თვისებები, ხოლო მეორე შემთხვევაში გრიბოლოგიური სისტემის შემზღუდული შეზღუდვა მიღწეულია



ნახ. 6.5. საბეთურები: პატრუქიანი (ა), ნემსისებრი (ბ), წვეთოვანი (გ)

საბეთურის მცირე განივკვეთით, რომლის სიდიდე შესაძლებელია რეგულირებადი იყოს. შებეთვის ასეთ სისტემებში ბეთის მიწოდებას ზოგჯერ ტივტივებით არეგულირებენ, და ბოლოს, ამ სახის შებეთვის სისტემის ცალკე ჯგუფია ე.წ. „ბალიშები“ – ქეჩის, მაულის, შალის მასალებისაგან, რომლებიც იკვებება მანქანაში სპეციალურად მოწყობილი ნაკეთურებიდან და რომლებიც მუდმივ კონტაქტშია მბრუნავ მოხახუნე ზედაპირთან (ნახ. 6.6). ამასთან, კონტაქტი უმეტესად ხორციელდება მასალათა საკუთარი დრეკადობის ხარჯზე.



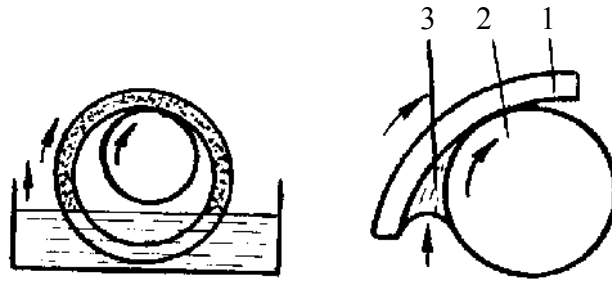
ნახ. 6.6. სპეციალური „ბალიშით“ აღჭურვილი სრიალის საკისარი

უწყვეტი ცირკულაციური უდაწნო შეშეთვა განასხვავებენ ამ მეთოდით შეშეთვის ორ სახეს. პირველი ხორციელდება შუალედური სხეულის მეშვეობით, მეორე – უშუალოდ მოხახუნე, დასაბეითი დეტალის მეშვეობით. შეშეთვის პირველი სახე შეიძლება განხორციელდეს მხოლოდ ჰორიზონტალური სრიალის საკისრებისათვის ლილვზე ნებისმიერი განივკვეთის რგოლის ჩამოცმით ან დამაგრებით (ნახ. 6.7). მცირე სიხშირით მბრუნავი ლილვების შემთხვევაში რგოლის მაგივრად იყენებენ მცირეზიან ჯაჭვებს. ყველა შემთხვევაში მბრუნავი რგოლის ქვედა ნაწილი ჩაძირულია ბეთში. ბრუნვის შედეგად თხევადი ბეთი განედინება ლილვზე და ბოლოს უბრუნდება ბეთის რემერვუარს. ასეთი მეთოდით, როცა გამოყენებულია ლილვზე თავისუფლად ჩამოცმული რგოლი, შესაძლებელია ლილვის ეფექტური შეშეთვა ლილვის წრიული სიჩქარის ფართო დიაპაზონისათვის 0,5...32 მ/წმ.

ასეთი მეთოდით შეშეთვის ერთი სახე, როგორც აღვნიშნეთ, ხორციელდება ლილვთან ერთად მბრუნავი დეტალის მეშვეობით და ის უმრავლეს შემთხვევაში გამოიყენება რედუქტორებში კბილანების და შიგაწვის ძრავებში მუხლა ლილვის კვანძის შესაბეითად (ნახ.6.8). კბილანური გადაცემის შეშეთვის პროცესის განსახორციელებლად კბილანური წყვილიდან ერთ-ერთი მათგანი, უფრო ხშირად კბილათვადი, ნაწილობრივ (მცირე ნაწილით) ჩაძირულია ბეთში. კბილანის ბრუნვის შედეგად ბეთი გადადის მეორე კბილანაზე და ბეთავს მას. იმავე დანიშნულებით ზოგჯერ იყენებენ უქმი სელის, პარაზიტულ კბილანებსაც. ასეთი წესით შეშეთვის განხორციელება რეკომენდებულია კბილანების 15 მ/წმ წრიულ სიჩქარემდე. უფრო მაღალი სიჩქარეების დროს მისი გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი დიდი ენერგეტიკული დანაკარგების გამო.

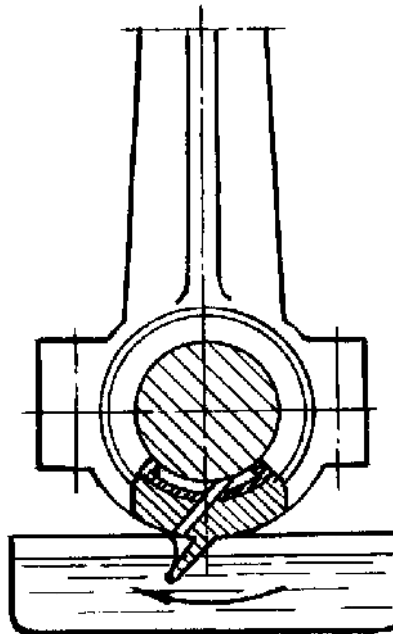
ბემოთ აღწერილ ყველა შემთხვევაში დახმულ ჭურჭელში (რედუქტორში, კარგერში) მოძრავი დეტალის მეშვეობით ხდება ბეთის ინტენსიური გამხეფება და

შიგა სივრცე ივსება ზეთის ღრუბლით. შედეგად უზრუნველყოფილია მთელი კვანძის ერთგვაროვანი შეზეთვა.



ნახ. 6.7. შეზეთი რგოლის მოქმედების სქემა [21]:

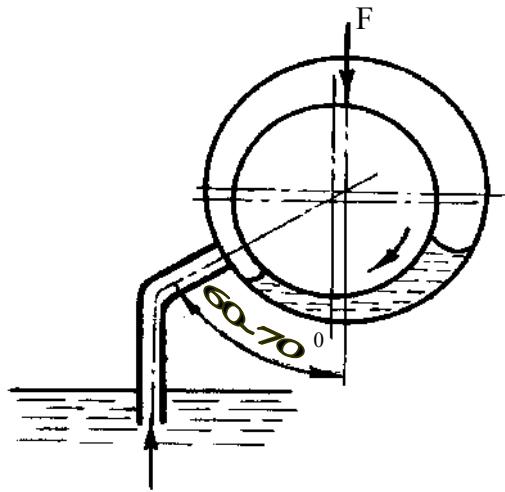
1 – რგოლი; 2 – ლილე; 3 – ზეთი



ნახ. 6.8. ცენტრალური შეზეთვა ზეთის გაშვებით

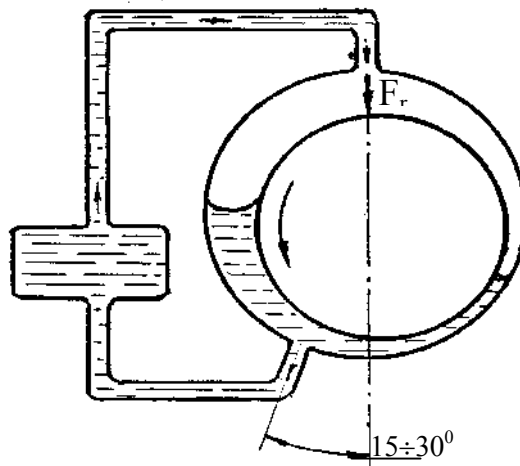
(მუხლა ლილვის ნიჩბის მეშვეობით)

თვითშეზეთვა. მოცემული კონსტრუქცია (ნახ. 6.9) გამოიყენება სრიალის საკისრების სატაცების შესაზეთად, როდესაც ღრეჩოს სიდიდე არ აღემატება 10 მკმ-ს, ხოლო წრიული სიჩქარე არანაკლებ 3 მ/წმ-ია. აღნიშნულ პირობებში შესაბამის ზონებში წარმოიქმნება გაუხშოება, რის შედეგადაც რეზერვუარიდან შეიწოვება ზეთი. პრინციპული გადაწყვეტა ასეთი მეთოდით საკისრების შეზეთვისას მოცემულია ნახაზზე. ამასთან, აღწერილი კონსტრუქციული გადაწყვეტა გამოსადეგია მხოლოდ განსაზღვრული სიბლანტის ზეთების გამოყენების დროს – დიდი სიბლანტის მქონე ზეთების შემთხვევაში იგი არ ფუნქციონირებს.



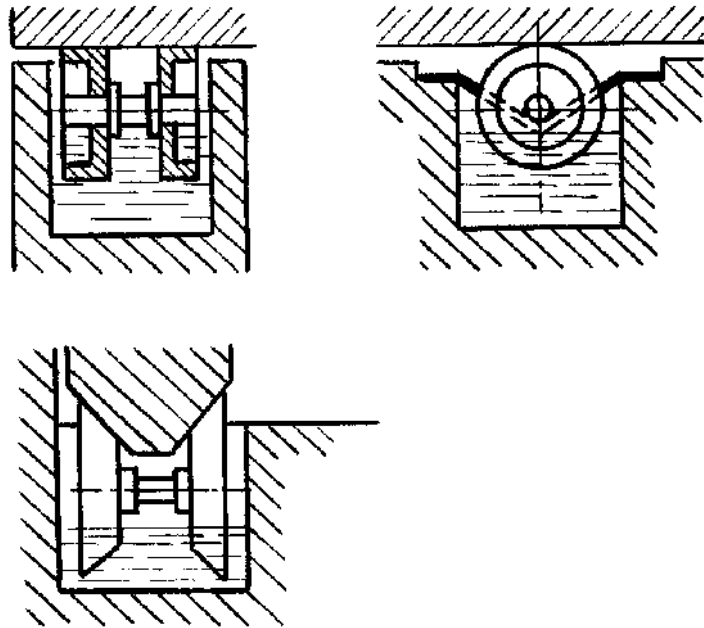
ნახ. 6.9. თვითშეგვთვის სქემა [37]

სტუ-ს სამშენებლო მანქანებისა და მექანიკური მოწყობილობის კათედრაზე შემუშავებულია გრიბოლოგიური სისტემების ინდივიდუალური თვითშეგვთვის ახალი მეთოდი ჰიდროდინამიკური შეგვთვის პირობებში. უკანასკნელის არსი ასეთია: ჰიდროდინამიკური წნევების მონაში (დაბალი წნევების ადგილებში) საკისარს უკეთდება ერთი ან რამდენიმე მცირე დიამეტრის ნახვრეტი, რომლებიც პრაქტიკულად არ მოქმედებენ ბეთის ფენის ბიძვის უნარზე. ამ გზით ბეთის განსაზღვრული რაოდენობა მიეწოდება შემგვთ სისტემას, რომელიც შეიცავს რეზერვუარს – გამაცივებელს – სალექს. შემდეგ სისტემაში არსებული წნევის ხარჯზე ბეთი ისევ უბრუნდება ხახუნის კვანძს არასაკონტაქტო მონაში (ნახ. 6.10). აღწერილი კონსტრუქცია შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ცენტრალური შეგვთვის პირობებშიც.



ნახ. 6.10. საკისრის თვითშეგვთვის სქემა ჰიდროდინამიკური შეგვთვის პირობებში
შეგვთვა საგორავით ხშირად გამოიყენება საფრეზავი და სარანდავი მაგილების მიმმართველების დასაზეთად (ნახ.6.11). საგორავი ერთი მხრივ ჩაძირულია

ზეთში, ხოლო მეორე მხრივ კონტაქტშია მოხასუნე ზელაპირთან, რის შედეგადაც საგორავს ზეთი გადააქვს ამ უკანასკნელზე.



ნახ. 6.11. სარანდავი ჩარხების მიმმართველების შეზღუდვის
სქემა საგორავების მეშვეობით [35]

უწყვეტი წნევით შეზღუდვა. მოცემული მეთოდის შემთხვევაში ზეთი ხახუნის ზონას მიეწოდება წნევით მცირე სიმძლავრისა და მწარმოებლურობის კბილანური, ღეუშიანი ან ფრთიანი ტუმბოს მეშვეობით. ამასთან, შესაბამისი ზონების რაოდენობა შეზღუდულია – მცირეა. შესაბამისი ობიექტის ლოკალურობის გამო შეზღუდვის სისტემას არ აკომპლექტებენ გამაცივებელი და გამწმენდი საშუალებებით.

6.2. ცენტრალური შეზღუდვა

შეზღუდვის ცენტრალური მეთოდისათვის დამახასიათებელია ის გარემოება, რომ ზეთი ერთი ადგილიდან მიეწოდება ხახუნის კვანძების მნიშვნელოვან რაოდენობას. შესაბამისად, ცენტრალიზებულია ზეთის გაწმენდის, გაცივების, კონტროლის, შეცვლის და სხვა პროცესები.

შეზღუდვის ცენტრალური მეთოდის გამოყენების დროს ძირითადად მეორდება შეზღუდვის ინდივიდუალური კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები. ცენტრალური

მეთოდი გამოირჩევა და, ამასთან, განსხვავდება ინდივიდუალურისაგან მხოლოდ შესაბამისი ობიექტების სიმრავლით.

უდაწნო შეშეთვის დროს, ისევე როგორც ინდივიდუალური უდაწნო შეშეთვისას, ბეთის მიწოდება ხდება გრავიტაციული ძალების მეშვეობით და, ბუნებრივია, შეშეთვის სისტემის ყველა მოწყობილობა ხახუნის კვანძის (შეშეთვის ბონის) გემოთ უნდა მდებარეობდეს. ყველა ცენტრალიზებული შეშეთვის სისტემის აუცილებელი დეტალია ბეთის საერთო რეზერვუარი – ავზი, რომელიც დაკავშირებულია თითოეულ გრიბოლოგიურ სისტემასთან. სისტემის ავზი ხელით ივსება.

თუ უდაწნო ცენტრალიზებული შეშეთვა პერიოდულია, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს პნევმატური პრინციპი. პნევმატური საბეთურის ამძრავად იყენებენ პნევმოცილინდრს.

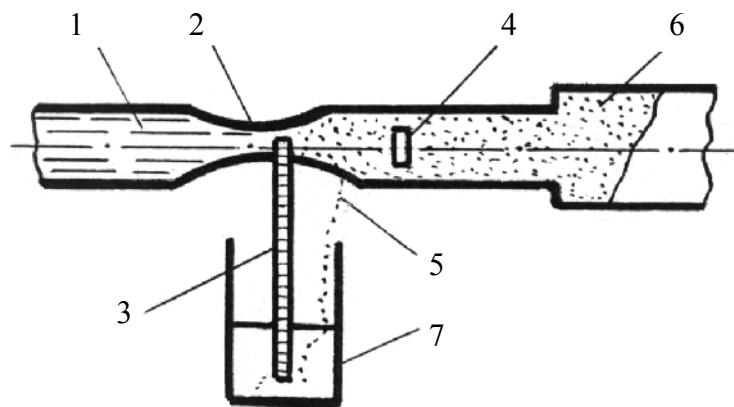
პერიოდული წნევით შეშეთვის დროს იყენებენ როგორც მანქანურ, ისე ხელის ტუმბოებს. ამასთან, მანქანური ტუმბოების ამძრავების ჩართვა პერიოდული ჩართვის საჭიროების შემთხვევაში ხდება ელექტრომაგნიტური და პროგრამული მართვის საშუალებებით. ჩვეულებრივად, ასეთი შეშეთვათა სისტემების აუცილებელი და საპასუხისმგებლო დეტალია ბეთის გამანაწილებლები.

უწყვეტი წნევით შეშეთვა მანქანა-მოწყობილობის საპასუხისმგებლო კვანძების შეშეთვის ერთ-ერთი ყველაზე მასშტაბური, ფართოდ გამოყენებადი და სერიოზული მეთოდია. ასეთი მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იყოს შესაბამისი წერტილების ნებისმიერი რაოდენობისათვის. დიდი რაოდენობის შესაბამისი წერტილების შემთხვევაში იყენებენ შემშეთ წნეხებს – ლუბრიკატორებს. იგი შედგება შემწოვი, დამწნეხი, მანაწილებელი და საკომუნიკაციო დეტალებისაგან. ამ მოწყობილობის მეშვეობით შესაძლებელია ბეთის მიწოდება დიდ მანძილზე მაღალი წნევით ათეულ წერტილებში. ამძრავის როლი თვით ძირითად შესაბამის მანქანას ეკისრება. ლუბრიკატორის მოძრაობა სათავეს იღებს ძირითადი მანქანის ლილვიდან სპეციალური გადაცემის მეშვეობით, რომელიც შეიძლება იყოს ღვედური, ჯაჭვური ან კბილანური (ლუბრიკატორი შეიძლება აღჭურვილი იყოს საკუთარი ამძრავითაც). ამასთან, ლუბრიკატორები მოგჯერ ხელის ამძრავითაც არის აღჭურვილი. ამ უკანასკნელთ სარგებლობენ ძირითადი მანქანის გაშვების პროცესში.

ცენტრალიზებული შეშეთვის დიდი სისტემებისათვის, როგორც წესი, იყენებენ სპეციალურ ბაკს, საიდანაც ბეთი მიეწოდება გრიბოლოგიურ სისტემებს და შემკრებ ჭურჭელს, სადაც ჩამოედინება ნამუშევარი ბეთი. ამასთან, სისტემას აკომპლექტებენ

ზეთის გამწმენდი ცენტრიფუგებით, მაცივრებით, საზომ-საკონტროლო ხელსაწყოებით (მანომეტრებით, ხარჯმომებიტ, თერმომეტრებით და ა. შ.), მართვის საშუალებებით.

ცენტრალური შეგეთვა შეიძლება განხორციელდეს ზეთის ღრუბლის შემქმნელი სპეციალური მოწყობილობით. ტექნიკაში ღრუბლის შექმნის კლასიკური მეთოდია გარკვეულ წნევას (0,2...0,6 მპა-მდე) მიღწეული ჰაერის ნაკადის გამოყენება. მოწყობილობა, რომელიც შეასრულებს ზემოხსენებულ ფუნქციას, ხშირად გამფრქვევად იწოდება და მისი უმარტივესი კონსტრუქცია მოცემულია 6.12 ნახ-ზე. მისი მოქმედების არსი მდგომარეობს შემდეგში: ჰაერის გარკვეული სიჩქარის მქონე ნაკადი მილში წარმოშობს გაიშვიათებას. შედეგად ხდება ზეთის ამოწოვა ბაკიდან, რომელსაც ჰაერის ნაკადი თან წარიტაცებს. იგი დაეჯახება ამრეკლ ფარს. უკანასკნელიდან მსხვილი წვეთები უკან ბრუნდება ბაკში, ხოლო მცირე ნაწილაკები ჰაერთან ერთად გარს შემოუვლიან ფარს, ქმნიან ზეთის ღრუბელს და მილგაყვანილობით მიეწოდებიან შესაბამის წერტილებს. ასეთი მეთოდით შექმნილი ზეთის ნაწილაკების ზომებია რამდენიმე მიკრომეტრი, ხოლო მიწოდების სიჩქარე – 2 მ/წმ. მიზნის მიღწევის შემდეგ ჰაერის აგმოსფეროში გაშვებამდე ხდება ჰაერის გაწმენდა ზეთის დარჩენილი წვეთებისაგან.



ნახ. 6.12. შეგეთვა ზეთის ღრუბლით:

1 – შეკუმშული ჰაერი; 2 – საქმენი; 3 – ზეთის შემწოვი მილი; 4 – ამრეკლი ფარი; 5 – ზეთის წვეთები, რომლებიც ჩაედინება ამრეკლიდან ავზში; 6 – დისპერსირებული ზეთი (ზეთის ღრუბელი); 7 – ზეთის ავზი

ზეთის ღრუბლის მიღების ერთ-ერთი მეთოდია აგრეთვე მაღალი წნევის ქვეშ (≈ 10 მპა) მყოფი ზეთის მასის აგმოსფეროში გაფრქვევა ჰაერის ნაკადის გარეშე, რომელიც ასევე უზრუნველყოფს ზეთის უმცირეს ნაწილაკებად დაშლას, დისპერსიას (ლათინური სიტყვიდან *dispersio* – გაფანტული), ე. ი. ღრუბლის შექმნას.

6.3. სპეციფიკური მანქანა-მოწყობილობის შებეთვის სისტემები

შიგაწვის ძრავების შებეთვის სისტემები. შიგაწვის ძრავების შესაბამისად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შებეთვის შემდეგი სისტემები: გაშხეფით შებეთვა, ცირკულაციურ-იძულებითი, შებეთვა ე. წ. ბეთის „მშრალი კარტერით“ და შებეთვა სათბობთან ერთად ნარევით.

შებეთვის გაშხეფის სისტემა ეფუძნება ბემოთ უკვე მოხსენებულს და აღარ გავიმეორებთ შებეთვის აღწერის პროცესს. აღვნიშნავთ მხოლოდ, რომ ასეთი სისტემა უზრუნველყოფს საკისრების, მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის, მცოცის, ცილინდრის შებეთვას და ნამუშევარი ბეთის ისევ კარტერში დაბრუნებას.

ცირკულაციურ-იძულებითი სისტემის გამოყენების დროს ბეთი შეიწოვება მრუდმხარას სივრციდან და მიიყვანება ძრავას ყველა საჭირო წერტილში (ამასთან, ბეთის წნევა აიღება 0,4 მპა). შემდეგ ბეთი ჩამოედინება კარტერში, საიდანაც ისევ მიეწოდება სისტემას. ასეთი სისტემით შებეთვის დროს ბეთი მიეწოდება მთავარ და მცოცის საკისრებს, ღუშის კვანძს, ღუშის ტაბიკს და განაწილების სისტემას.

შებეთვის სისტემა „მშრალი კარტერით“ თავისი მოქმედების პრინციპით ფრიად ახლოს დგას ცირკულაციურ-იძულებითთან. განსხვავება მდგომარეობს მხოლოდ იმაში, რომ ბეთის მიწოდება შესაბამის წერტილებზე არ ხდება უშუალოდ კარტერიდან, იგი ტუმბოთი მიეწოდება კვანძებს აგრეგატის გარეთ მოწყობილი სპეციალური ბაკიდან. თუმცა ნამუშევარი ბეთი აქაც კარტერში ჩაედინება და აქედან სხვა ტუმბოთი მიეწოდება სპეციალურ ბაკს.

შებეთვა სათბობთან ერთად ითვალისწინებს კვანძის ისეთ კონსტრუქციულ გადაწყვეტას, როცა მანქანა-აგრეგატი არ აღიჭურვება შებეთვის სპეციალური სისტემით. ასეთ შემთხვევაში ბეთს უმატებენ სათბობს, მაგ., ბენზინს, პროპორციით 1:25 ან 1:50 და იგი კარბიურატორის მეშვეობით შეჰყავთ ორგაქტიან ძრავაში. ასეთი შებეთვის სისტემის საეთო პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: წვის არის გაფართოების დროს ბენზინი ნაწილობრივ ორთქლდება. შედეგად ცილინდრის კედლებზე და მასთან შეუღლებულ დეტალებზე ხდება ბეთის უმცირესი ნაწილაკების კონდენსირება და ამით ხახუნის ბონების შებეთვა.

ჰაერის კომპრესორების შებეთვა. ჰაერა ჰაერის კომპრესორები შეიბეთება წვეთოვანი საბეთურებით, უფრო ხშირად კი გაშხეფით, რომელიც, თავის მხრივ, წარმოშობს ბეთის დრუბელს. დიდი კომპრესორების შესაბამისად თითქმის

ყოველთვის გამოიყენება შეშეთვის ცენტრალიზებული სისტემა მრავალდგუშიანი ლუბრიკატორებით. ამასთან, ცილინდრები შეიშეთება გაფრქვევით შემწოვი სარქველის გზით. ხახუნის კვანძის „ცილინდრი-დგუშის“ შეშეთვის პირობების გასაუმჯობესებლად მოგჯერ გამოიყენება დგუშის სპეციალური რგოლები, რომლებიც დამზადებულია თვითშემშეთი მასალის – ელექტროგრაფიტისაგან და უმრუნველყოფს ხახუნის კვანძის ნორმალურ მუშაობას საკმაოდ მაღალი ტემპერატურის (250°S) პირობებში და გამორიცხავს ამ ტემპერატურაზე წარმოქმნილი ნარეგების თვითაფეთქების საშიშროებას.

სამაცივრო კომპრესორების შეშეთვა. სამაცივრო კომპრესორების შეშეთვის მეთოდები არ ხასიათდება რაიმე პრინციპული ორიგინალობით. გამოიყენება შეშეთვის როგორც ცენტრალიზებული, ისე ინდივიდუალური მეთოდები: ბეთის გაფრქვევა, თვითშემშეთი რგოლები. სპეციფიკურია მხოლოდ საპრობლემო საკითხები: ა) არსებობს ბეთის გამაცივებელ აგენტში გახსნის პოტენციური შესაძლებლობა; ბ) შემშეთი მასალა დაბალ ტემპერატურაზე იცვლის თავის ერთ-ერთ ძირითად მაჩვენებელს (სიბლანტეს).

სხვადასხვა დანიშნულების მანქანა-მოწყობილობის გრიბოსისტემების შესაბამისად გამოყენებული მეთოდები არ გამოირჩევა პრინციპული სიახლეებით. ყველა სხვადასხვა მოქმედების პრინციპისა და დანიშნულების ჯგუფის მანქანებში ფართოდ გამოიყენება ინდივიდუალური და ცენტრალური შეშეთვის სქემები, რომლებიც ხორციელდება როგორც უწყვეტი, პერიოდული, ცირკულაციური, უდაწნო, წნევით, თხევადი, კონსისტენციური და მყარი შეშეთვით.

ამასთან, ერთი მოცემული ჯგუფის მანქანა-მოწყობილობის ხახუნის კვანძების შეშეთვის სისტემები შეიძლება ხასიათდებოდნენ რიგი თავისებურებებით.

მაგალითად: სამშენებლო, საგზაო და ამწე-საგრანაპორტო მანქანა-მოწყობილობების გრიბოსისტემებისათვის დამახასიათებელია:

1. საშეთი მასალების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები უნდა პასუხობდნენ საჭირო მოთხოვნებს ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში – ($40...120^{\circ}\text{C}$).
2. შემშეთი სისტემა და საშეთი მასალები უნდა უმრუნველყოფდნენ ნორმალურ ფუნქციონირებას ინტენსიურ აბრაზიულ გარემოში მუშაობის დროს.
3. შემშეთი სისტემის ნორმალური ფუნქციონირება უმრუნველყოფილი უნდა იყოს სავსე მუშაობის პირობებში.

თავი 7. სრიალის საკისრების გაანგარიშების მეთოდობა სასაზღვრო და მშრალი ხახუნის დროს

7.1. სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის კრიტერიუმები

სრიალის საკისრების მუშაობის უნარი მნიშვნელოვანწილად არის განპირობებული ხვედრითი წნევით p , სრიალის სიჩქარით V და ე. წ. ხახუნის პირობითი სიმძლავრით pV . მაგრამ, როგორც უკვე აღნიშნული იყო, სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის განსაზღვრა მოხსენიებული პარამეტრების მიხედვით მხოლოდ მოგადად აფასებს საკისრების მუშაობის რეჟიმს. ამ მეთოდით საკისრების გაანგარიშებას მოგჯერ მიეცემა მნიშვნელოვანი მასშტაბის შეცდომებთან. ამასთან, არ მოგვეპოვება საიმედო რეკომენდაციები p , V და pV სიდიდეებზე.

სრიალის საკისრების სადებები უმრავლეს შემთხვევაში ლილვის მასალასთან შედარებით დაბალი მექანიკური მახასიათებლებით ხასიათდებიან, ამიტომ საკისრის საიმედოობის უზრუნველყოფისათვის კონსტრუქცია გაანგარიშებული უნდა იქნეს კონტაქტურ სიმტკიცეზე. პრაქტიკამ დაადასტურა სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის ამგვარი შეფასების მართებულობა. სრიალის საკისრების სადებების მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზი (განსაკუთრებით დაბალი სრიალის სიჩქარისა და პერიოდული მუშაობის პირობებში) ხშირად აღმოჩნდა ხოლმე სადებებში დაღლილობის შედეგად გაჩენილი ბზარები, მასალის მოთელვის კერები და შესაბამისი ბუნების მასალებისათვის ცივდენადობის მოვლენები.

სრიალის საკისრების სადებების სიმტკიცის შეფასების დროს ამოცანა დაიყვანება სიმტკიცის ძირითად განტოლებაზე:

$$\sigma_{H \max} \leq \sigma_p, \quad (7.1)$$

სადაც $\sigma_{H \max}$ მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვაა შეუღლების მუშა მონაში მოცემული დატვირთვის პირობებში; σ_p – სადების მასალისათვის დასაშვები კონტაქტური ძაბვა დატვირთვის მოცემული პირობებისათვის.

სრიალის საკისრების სადებების სიმტკიცეზე გაანგარიშების დროს იგულისხმება, რომ სადებების მასალები, მათ შორის ანტიფრიქციული პოლიმერებიც, განსახილველ დატვირთვათა დიაპაზონში ემორჩილებიან დრეკადობის თეორიის კანონებს. კვლევით დადასტურებულია, რომ როდესაც ფარდობითი დეფორმაციები არ აღემატება 1,5-2,0%-ს (პრაქტიკაში ასეთი დაშვება მისაღებია), იგი არ იწვევს მნიშვნელოვანი სიდიდის

შეცდომებს. მაგრამ პოლიმერული სადებების გამოყენების შემთხვევაში დრეკადობის მოდულის განსაზღვრის დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს მისი ცვლილებები გრიბოლოგიურ პროცესში დროისა და ტემპერატურის მიხედვით. საანგარიშო დრეკადობის მოდულზე მოქმედი მნიშვნელოვანი ფაქტორია აგრეთვე კონსტრუქციული გადაწყვეტილება. დასაშვები კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს კონსტრუქციული, ტექნოლოგიური და საექსპლუატაციო ხასიათის მრავალი ფაქტორი.

სრიალის საკისრების კონტაქტურ სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდი მდგომარეობს ასეთია: წინასწარ, კონსტრუქციული პარამეტრების – ღრეჩო, საკისრის სიგრძე, ძალის მოქმედების დრო და ტემპერატურის ფაქტორი – გათვალისწინებით მუშა მონაში განისაზღვრება მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა. შემდეგ კონკრეტული პირობებისათვის ღვინდება დასაშვები კონტაქტური ძაბვა და ხდება საკისრის მუშაობის უნარის შეფასება.

იმ შემთხვევაში, როცა კვანძის ფუნქციონირება ლიმიტირებულია საგაცისა და საკისრის ღერძების ურთიერთგადაადგილების ფარდობითი ან აბსოლუტური დეფორმაციებით, კვანძის მუშაობის განმსაზღვრელია კონტაქტური ძაბვის ის მნიშვნელობა, რომელიც განაპირობებს დასაშვებ დეფორმაციას.

მრავალ შემთხვევაში სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის ძირითად მაჩვენებლად გვევლინება მისი თბური რეჟიმი. მუშაობის არახელსაყრელი ტემპერატურული რეჟიმი პრაქტიკაში შეიძლება გახდეს მიზეზი ისეთი არასასურველი მოვლენებისა, როგორიცაა სადების პლასტიკური დეფორმირება, ინტენსიური ცვეთა, შეჭიდებისა და ჩაჭედვის ფაქტები, რაც დამახასიათებელია სრიალის საკისრებისათვის და რომელსაც ძალუძს კვანძის წყობილებიდან გამოყვანა მისი ხანმოკლე გადახურების დროსაც კი.

აღნიშნულის გამო საკისრის გაანგარიშება კონტაქტურ სიმტკიცეზე და ამით მისი მიღვის უნარის განსაზღვრა სრულად ვერ ახასიათებს სრიალის საკისრის მუშაობის უნარს. ტემპერატურული რეჟიმის შეფასების გარეშე უზუსტოა თვით კონტაქტურ სიმტკიცეზე გაანგარიშებაც.

სრიალის საკისრის მუშაობის უნარის სრული შეფასებისათვის საჭიროა განისაზღვროს საკისრის ტემპერატურული დაძაბულობაც, რომელიც დამოკიდებულია საკისრის მუშა მონაში მაქსიმალური მუშა ტემპერატურის მნიშვნელობაზე.

საკისრის მუშაობის უნარი უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

$$t_a \leq t_p, \quad (7.2)$$

სადაც t_0 ტემპერატურაა მუშა ზონაში; t_p – სადების მასალისათვის ან ხახუნის კვანძისათვის დასაშვები ტემპერატურა, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს 80...85 °C-ს.

რიგ შემთხვევებში გრიბოსისტემის მუშაობის უნარის მნიშვნელოვან მახასიათებლად მიიჩნევა მისი ცვეთამედეგობა. ეს მახასიათებელი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს მშრალი ხახუნის დროს, როცა კონსტრუქციული მოსაზრებებით დასაშვები ღრეჩოს სიდიდე მცირეა. მაგრამ ცვეთამედეგობის რაოდენობრივი შეფასება გრიბოსისტემებში დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული ამოცანაში მრავალი პარამეტრის არსებობის გამო, ამიტომ უმრავლეს შემთხვევაში კმაყოფილებიან გრიბოსისტემის ცვეთამედეგობის ზოგადი შეფასებით.

ამრიგად, სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის ძირითად კრიტერიუმებად მიზანშეწონილია მიჩნეულ იქნეს:

- საკისრის ზიდვის უნარი, რომელიც ლიმიტირებულია დასაშვები კონტაქტური ძაბვებით;
- საკისრის ტემპერატურული დაძაბულობა, რომელიც არ უნდა აღემატებოდეს სადების მასალის ან გრიბოლოგიური სისტემისათვის დასაშვებ მუშა ტემპერატურას.

7.2. საკისრების ზიდვის უნარი

სრიალის საკისრების ზიდვის უნარში იგულისხმება საკისრის მედეგობა, თავის თავზე მიიღოს რადიალური მიმართულების დატვირთვა ისე, რომ სადებმა მოცემული დროის პეროდში არ განიცადოს პლასტიკური დეფორმაცია, ან საგაცის საკისრის ღერძების ურთიერთგადაადგილების სიდიდემ, რომელიც გამოწვეულია ღრეკადი დეფორმაციითა და ცვეთის ფაქტორით, არ გადააჭარბოს კონსტრუქციული მოსაზრებებით განსაზღვრულ ზღვარს.

კონტაქტურ სიმკაცრეზე საკისრის ზიდვის უნარის განსაზღვრა საჭიროა ვაწარმოოთ საკისრის კონსტრუქციული გადაწყვეტილების შესაბამისი დამოკიდებულებებით. კერძოდ, როცა მოხახუნე წყვილის – ლილვი-საკისრის მასალების ღრეკადობის მოდულების მნიშვნელობები ერთი რიგისაა (ზოგი ლითონურსადებებიანი საკისარი), გაანგარიშებები წარმოებს ერთი სახის გრაფიკ-ანალიზური დამოკიდებულებებით, ხოლო როცა გრიბოლოგიურ სისტემაში გამოყენებულია დიდად განსხვავებული ღრეკადობის მოდულის მქონე მასალები (მაგ., პლასტმასოვანი საკისრები) – მეორე სახის დამოკიდებულებებით.

ორივე შემთხვევაში გაანგარიშებების შედეგად განისაზღვრება საკისრებისათვის ისეთი მნიშვნელოვანი პარამეტრები, როგორიცაა საკონტაქტო კუთხე და მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა კვანძში.

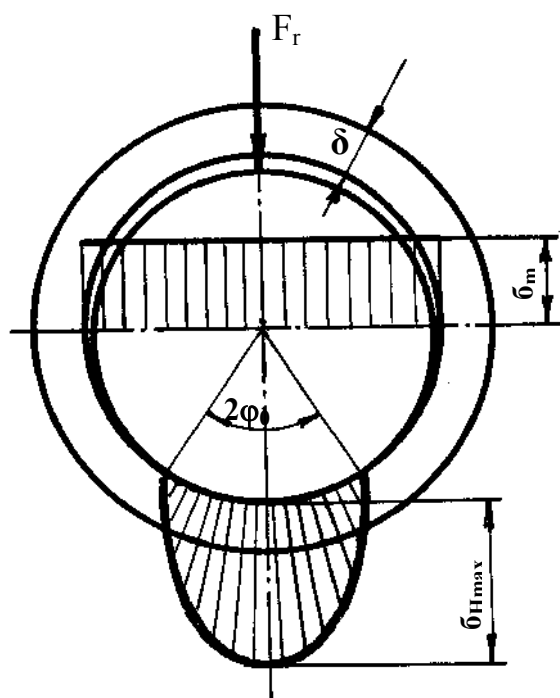
საკისრის პირველი შემთხვევის შესაბამისი კონსტრუქციული გადაწყვეტისათვის კვანძში აღბრუნებული კონტაქტური ძაბვა უმეტესად არ არის სრიალის მუშაობის მაღალიმეტირებული პარამეტრი. თუმცა საერთო შეფასების დროს იგი მაინც იწვევს გარკვეულ ინტერესს. მაგალითად, ზოგჯერ მიღვის უნარის გაანგარიშების პროცესში კონსტრუქციული თვალსაზრისით საჭირო ხდება საკონტაქტო კუთხის განსაზღვრა.

მეორე შემთხვევისათვის, როცა მოხახუნე წყვილის დრეკადობის მოდულები ძლიერ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, მაგალითად, ისეთი საკისრებისათვის, სადაც გამოყენებულია ანტიფრიქციული პლასტმასოვანი სადეები, მიღვის უნარის გაანგარიშება კონტაქტურ სიმტკიცეზე აუცილებელია.

7.3. სრიალის საკისრის მიღვის უნარის განსაზღვრის განგოლებები*

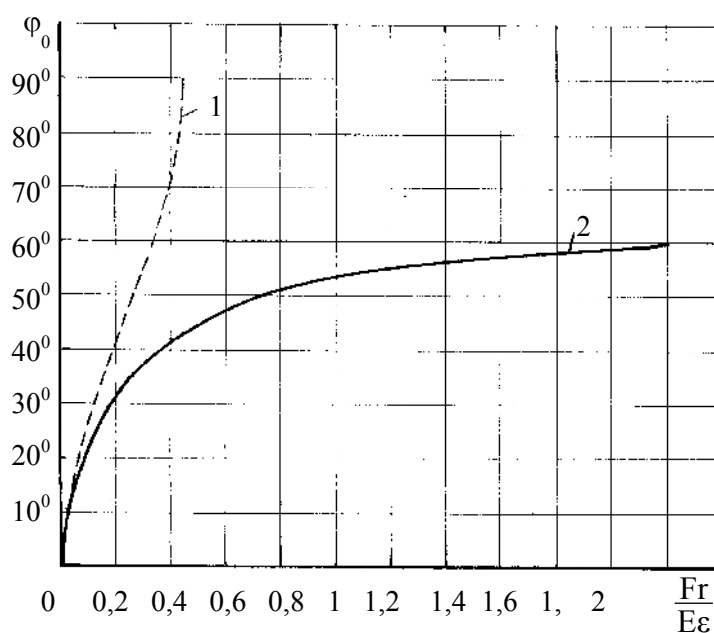
თვალსაზრისით გეომეტრიული ანალიზის საფუძველზე ცხადია, რომ საკისარზე მოქმედი დატვირთვა ვრცელდება არა საკისრის დიამეტრულ კვეთაზე, როგორც ეს იგულისხმება საშუალო ხვედრითი წნევის განსაზღვრის დროს, და რომელსაც უმეტესად იყენებენ კონსტრუქტორები სრიალის საკისრების გაანგარიშების დროს, არამედ მხოლოდ იმ ზედაპირზე, რომელიც შემოსაზღვრულია შეუღლების საკონტაქტო კუთხით – $2\varphi_0$ (ნახ.7.1). ამასთან, კონტაქტური ძაბვები საკონტაქტო ზონაში არ არის თანაბრად განაწილებული – მაქსიმალური $\sigma_{H\max}$ მნიშვნელოვანწილად აღემატება საშუალოს – σ_m .

* ქვემოთ მოყვანილი მიღვის უნარის განსაზღვრის მეთოდის პლასტმასოვანი საკისრებისათვის შემუშავებულია ავტორების მიერ საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში [29], [31], [32], [33], [36].



ნახ. 7.1. სრიალის საკისრის საანგარიშო სქემა

მაქსიმალური კონტაქტური პაბეების განსაზღვრა ჰერცის თეორიით ლითონურ საკისრებშიც კი დიდ ცდომილებებს იძლევა საკონტაქტო ფართობის დიდი მნიშვნელობის გამო, რაც, თავის მხრივ, განპირობებულია სრიალის საკისრების შეუღლებული დეგალების რადიუსებს შორის მცირე სხვაობით (ნახ. 7.2)[30].



ნახ.7.2. φ_0 კუთხისა და $\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ პარამეტრის ურთიერთდამოკიდებულება

ერთნაირმოდულიანი შეუღლებული დეგალებისათვის (ლითონური საკისრებისათვის):

1 – მრუდი ჰერცის თეორიით; 2 – მრუდი ქვემოთ მოყვანილი თეორიით

ერთნაირი დრეკადობის მოდულის მქონე დეტალების შეუღლების შემთხვევაში (ლითონური საკისრები) კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრისათვის გამოიყენება დრეკადობის თეორიის შესაბამისი კონტაქტური ამოცანების ამოხსნის შედეგები [30] (კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მეთოდოლოგია იხ. ქვემოთ).

პლასტმასოვან სრიალის საკისრებში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მიზნით განიხილება კონტაქტური ამოცანა იმ ორი სხეულის კუმშვის შესახებ, როცა ერთს აქვს წრიული ცილინდრის, ხოლო მეორეს – წრიული ცილინდრის ჭრილის ფორმა. ამასთან, ერთ-ერთი მეორის მიმართ აბსოლუტურად ხისტად არის მიჩნეული [29],[31]. აქ ხსენებულ ნაშრომებში დრეკადობის თეორიის კონტაქტური ამოცანა ეფუძნება შემდეგ დაშვებებს:

1. საკისრის ანტიფრიქციული პოლიმერული მასალის სადები წარმოადგენს იდეალურ დრეკად სხეულს.

2. ხახუნის კვანძის შეუღლებაში „პოლიმერი-ფოლადი“, ფოლადის დეტალი მიჩნეულია აბსოლუტურად ხისტ სხეულად.

3. ხახუნის კვანძი განიხილება სტატიკურ მდგომარეობაში.

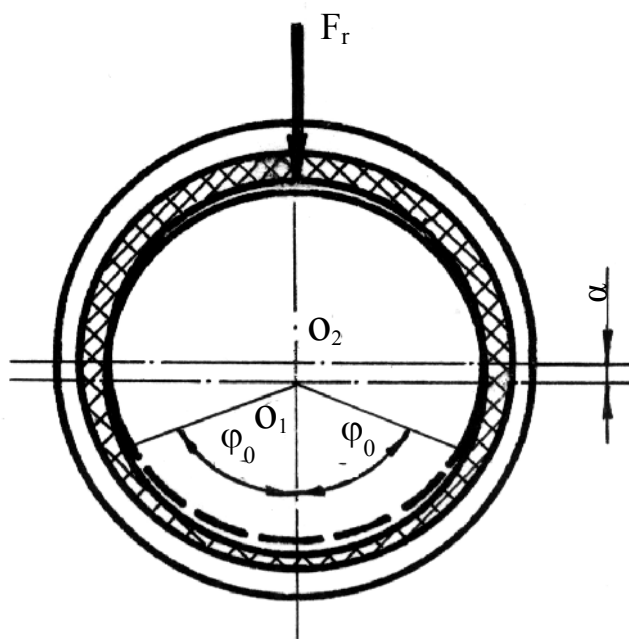
4. შეუღლებული დეტალების რადიუსები მცირედ განსხვავებული სიდიდეებია.

თითოეული დაშვების მიზანშეწონილობა და მართებულობა პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის ადვილად შეიძლება დასაბუთდეს.

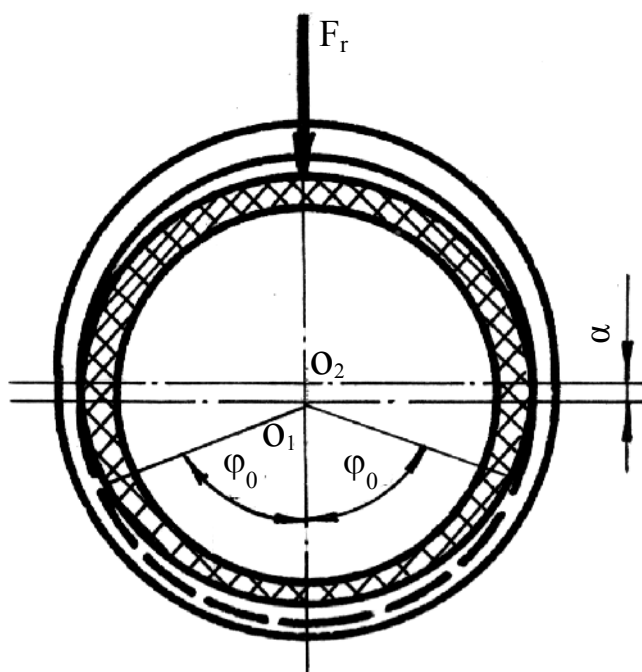
გარდა ამისა, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ პლასტმასოვანი სრიალის საკისრები საინჟინრო პრაქტიკაში რეალიზდება ორი გზით:

– „პირდაპირი წყვილის“ სახით, როცა პლასტმასების სადები ჩაწნეხილია საკისრის ლითონურ კორპუსში და შეუღლებულია ფოლადის ლილვთან (ნახ.7.3);

– „შექცეული წყვილის“ სახით, როცა პლასტმასის სადები დაწნეხილია ლილვზე და შეუღლებულია ლითონური კორპუსის ნახვრეტთან (ნახ. 7.4).



ნახ. 7.3. სრიალის საკისარი „პირდაპირი წყვილის” სახით



ნახ. 7.4. სრიალის საკისარი „შეცეული წყვილის” სახით

შესაბამისად, საინჟინრო პრაქტიკაში გამოყენებული პლასტმასოვანი საკისრებისათვის მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მიზნით განხილული იქნა დრეკადობის თეორიის შემდეგი კონტაქტური ამოცანები:

1. ორი სხეულის კუმშვა, რომელთაგანაც ერთი, მაგ., ცილინდრული ფორმის სხეული, მიჩნეულია აბსოლუტურად ხისტად, ხოლო მეორე – ცილინდრის ჭრილის ფორმის მქონე სხეული – დრეკადად („პირდაპირი წყვილი“).

2. ორი სხეულის კუმშვა, რომელთაგან ერთი ცილინდრული ჭრილის ფორმის სხეული მიჩნეულია აბსოლუტურად ხისტად, ხოლო მეორე ცილინდრული ფორმის მქონე სხეული – დრეკადად („შექცეული წყვილი“).

იმ განტოლების გამოსაყვანად, რომელიც გამოსახავს ლილვისა და საკისრის კონტაქტის ზონაში ძაბვების განაწილების კანონს, სარგებლობენ შეყურსული რადიალური წნევის მოქმედების შედეგად აღძრული რადიალური ძაბვებისა და მისი მოქმედების შედეგად გამოწვეული რადიალური დეფორმაციების დამოკიდებულებებით. კერძოდ, საკონტაქტო ზონაში მდებარე ნებისმიერი წერტილის გადაადგილება, რომელიც გამოწვეულია ცენტრისკენ მიმართულების (ცილინდრული ფორმის სხეულისათვის) ნორმალური ძალებით, გამოითვლება გამოსახულებით [25]

$$U_r = F_r \left[-2\nu \left(1 + \cos \varphi \ln \operatorname{tg} \frac{|\varphi|}{2} \right) + \aleph \sin |\varphi| \right], \quad (7.3)$$

სადაც F_r არის რადიალური ძალა სიგრძის ერთეულზე,

$$\nu = \frac{1 - \mu^2}{\pi E}; \quad \aleph = \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{2E};$$

E – მასალის დრეკადობის მოდული; μ – სხეულის პუასონის კოეფიციენტი; φ – მიმდინარე საკონტაქტო კუთხე სხეულების კუმშვის დროს.

ხოლო საკონტაქტო ზონაში მდებარე ნებისმიერი წერტილის გადაადგილება მიმართულებით „ცენტრიდან“ (ცილინდრული ჭრილის ფორმის სხეულისათვის) გამოითვლება [25] გამოსახულებით:

$$U_r = F_r \left(-2\nu \cos \varphi \ln \operatorname{tg} \frac{|\varphi|}{2} + \aleph \sin |\varphi| \right). \quad (7.4)$$

აღნიშნული დამოკიდებულებების გამოყენებით გამოიყვანება კონტაქტური ძაბვების საკონტაქტო ზონაში განაწილების ორი ინტეგრალური განტოლება [29], [31]. ამასთან, განტოლების საბოლოო სახე „პირდაპირი წყვილისათვის“

$$\begin{aligned} 2\nu \cdot r_1 \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} p(\varphi') \cos(\varphi - \varphi') \ln \operatorname{tg} \frac{|\varphi - \varphi'|}{2} d\varphi' - \aleph \cdot r_1 \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} P(\varphi') \sin |\varphi - \varphi'| d\varphi = \\ = (r_2 - r_1)(1 - \cos \varphi) - a \cos \varphi, \end{aligned} \quad (7.5)$$

სადაც $-\varphi_0 < \varphi < \varphi_0$; ხოლო „შექცეული წყვილისათვის“

$$\begin{aligned}
& 2\nu \cdot r_2 \int_{-\varphi_0}^{\varphi} p(\varphi') \cos(\varphi - \varphi') \ln \operatorname{tg} \frac{|\varphi - \varphi'|}{2} d\varphi' - \aleph \cdot r_2 \int_{-\varphi_0}^{\varphi_0} P(\varphi') \sin |\varphi - \varphi'| d\varphi + \\
& + 2\nu \cdot r_2 \int_{-\varphi_0}^{\varphi} P(\varphi') d\varphi' = (r_2 - r_1)(1 - \cos \varphi) - a \cos \varphi, \quad (7.6)
\end{aligned}$$

სადაც $-\varphi_0 < \varphi < \varphi_0$; r_1, r_2 შესაბამისად, ლილვისა და საკისრის რადიუსებია; $p(\varphi')$ – ნორმალური წნევა; φ – მიმდინარე საკონტაქტო კუთხე კუმშვის დროს; φ' – ინტეგრაციის მიმდინარე კუთხე; φ_0 – საკონტაქტო კუთხის ნახევარი; a – სხეულების ურთიერთდაახლოების სიდიდე მათი კუმშვის დროს.

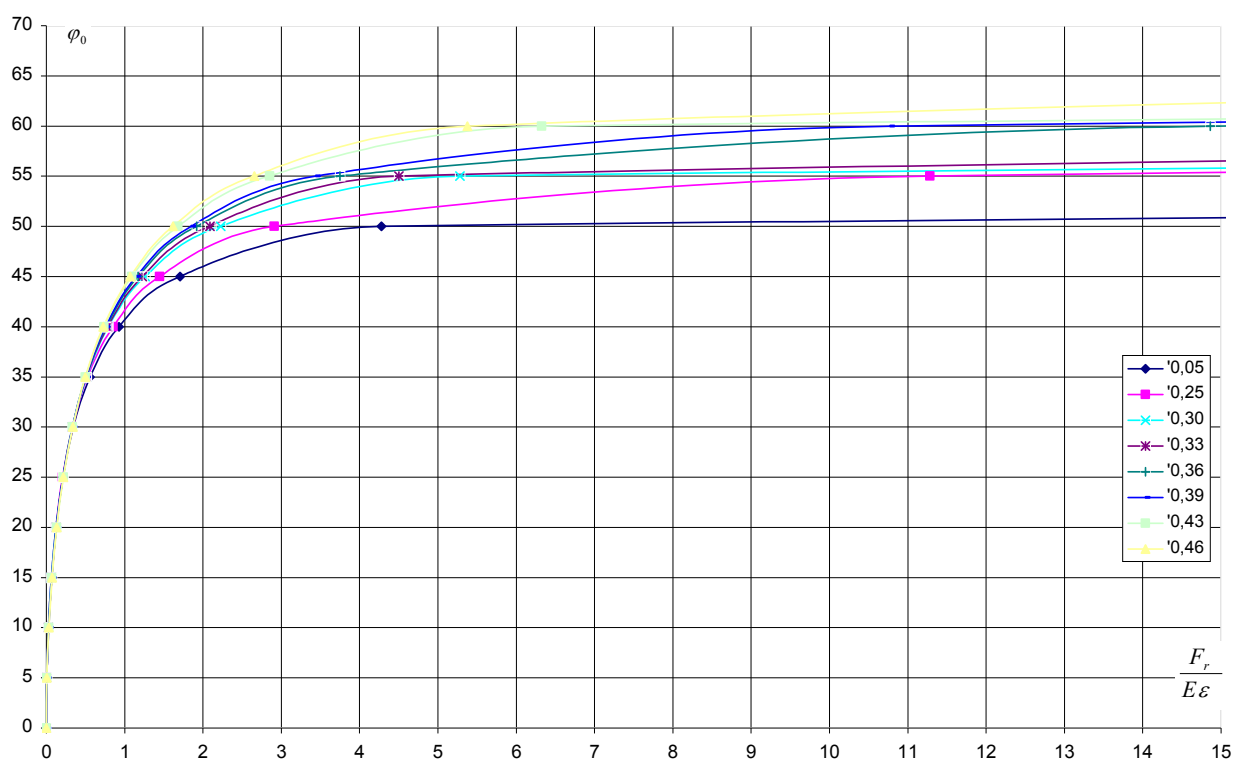
7.4. კონტაქტური ამოცანების ინტეგრალური განტოლების ამოხსნის მეთოდი

(7.5) და (7.6) ტიპის ინტეგრალური განტოლების ამოხსნა ანალიზური გზით განახორციელა ცნობილმა ქართველმა მათემატიკოსმა ი. ვეკუამ. მაგრამ იმის გამო, რომ ამოხსნის პროცესში საჭიროა ისეთი განსაზღვრული ინტეგრალების ამოხსნა, რომლებიც არ გამოისახებიან ელემენტარული ფუნქციებით, პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის უფრო მოხერხებული აღმოჩნდა ინტეგრალური განტოლების ამოხსნის მიახლოებითი მეთოდები.

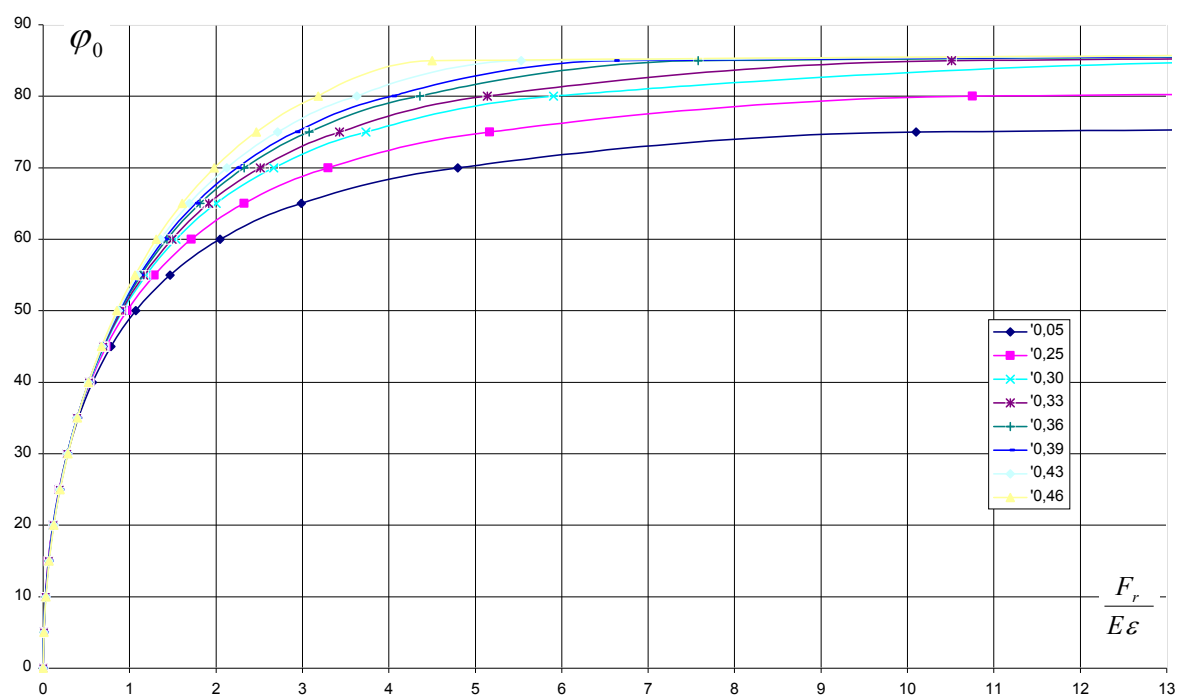
მოყვანილი (7.5), (7.6) განტოლებების ამოხსნისათვის, ი. შტაერმანის მსგავსად, გამოყენებული იქნა სასრულ სხვაობათა მეთოდი. ამ მეთოდის არსი ისაა, რომ საძებნი ფუნქცია წარმოიღგინება არა როგორც უწყვეტი, არამედ წყვეტილი, საფეხურებრივი ცვლადი. ამისათვის საძებნი ფუნქციის ინტერვალი იყოფა n ნაწილად და იგულისხმება, რომ თითოეულ ქვეინტერვალში ფუნქცია ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას. საბოლოოდ ინტეგრალური განტოლების ამოხსნა დაყვანილია საძებნი ფუნქციის n მნიშვნელობის გაგებაზე, ე.ი. ფუნქციის იმ მნიშვნელობების გაგებაზე, როცა ისინი აკმაყოფილებენ ინტეგრალურ განტოლებას.

ამრიგად, მოყვანილი მეთოდის თანახმად ამოცანა დაიყვანება n უცნობიან n ხამობრივ განტოლებათა სისტემის ამოხსნამდე. სისტემის ამოხსნით საძებნი ფუნქცია მიიღება საფეხურების სახით, როცა ფუნქციის ცვლილება ხდება ნახტომებით. ასეთი ფუნქციის გრაფიკის აგებით და შემდგომ ნახტომების მომრგვალებით მიიღება მრუდი, რომელიც მიახლოებით გამოისახავს ზემოთ მოყვანილი ინტეგრალური განტოლების ამოხსნას.

ნახაზებზე (7.5 – 7.8) მოყვანილია ამ გზით ამოხსნილი (7.5) და (7.6) ინტეგრალური განტოლებების ამოხსნის შედეგები. კერძოდ, 7.5 და 7.6 ნახაზებზე მოცემულია მრუდები, რომლებიც გამოსახავენ კომპლექსური პარამეტრის $-\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ დამოკიდებულებას საკონტაქტო კუთხესთან პუასონის კოეფიციენტების სხვადასხვა მნიშვნელობების და პლასტმასოვანი საკისრის ორი შესაძლო კონსტრუქციული ვარიანტიდან „პირდაპირი წყვილისათვის“. ხოლო 7.6 და 7.8 ნახაზებზე მოცემულია მრუდები, რომლებიც გამოსახავენ b უგანზომილებო კოეფიციენტისა და φ_0 კუთხის ურთიერთდამოკიდებულებას „შექცეული წყვილისათვის“.

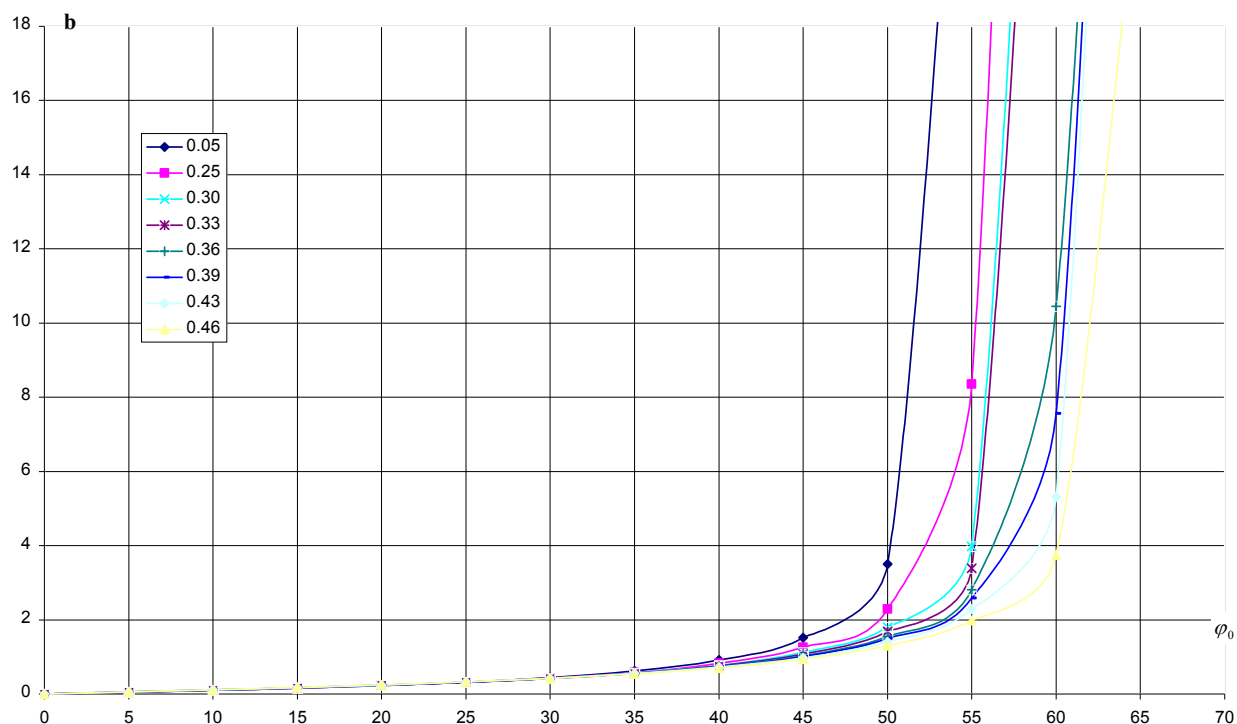


ნახ. 7.5. φ_0 – კუთხისა და $\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ პარამეტრის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა მოდულიანი შეუღლებული დეტალების „პირდაპირი წყვილისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის

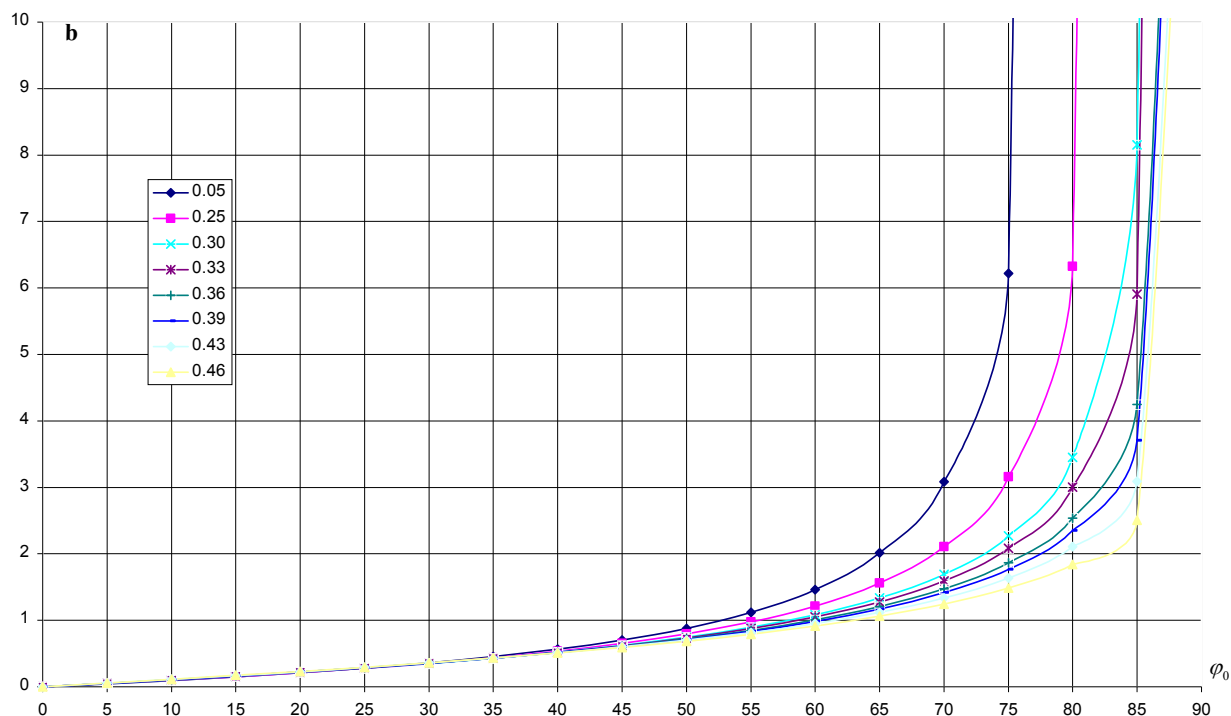


ნახ. 7.6. φ_0 – კუთხისა და $\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ პარამეტრის ურთიერთდამოკიდებულება

სხვადასხვამოდულიანი შეუღლებული დეტალების „შექცეული წყვილისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის



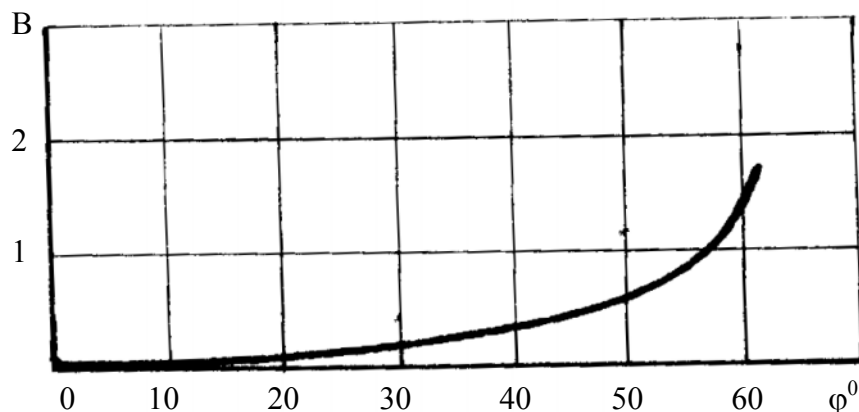
ნახ. 7.7. b – უგანზომილებო კოეფიციენტის და φ_0 კუთხის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვამოდულიანი შეუღლებული „პირდაპირი წყვილისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის



ნახ. 7.8. b – უგანზომილებო კოეფიციენტის და ϕ_0 კუთხის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა მოდულიანი შეუღლებული „შექცეული წყვილისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის

მოცემული გრაფიკების მეშვეობით მარტივად, რაიმე გეჟნიკური სიძნელის გარეშე განისაზღვრება მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა შეუღლებაში საკისარი - ლილვი, სადაც გამოყენებულია პოლიმერული მასალის სადები ან სადები ისეთი მასალებისაგან, რომლის დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობა ბევრად მცირეა ფოლადის დრეკადობის მოდულთან შედარებით.

სრიალის საკისრებში, სადაც შეუღლებული გედაპირები დამზადებულია დაახლოებით ერთნაირი მოდულის მქონე მასალებისაგან, საკონტაქტო კუთხისა და მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვის განსაზღვრა პლატმასოვანი საკისრის ანალოგიურად შესაძლებელია გაწარმოთ 7.2 და 7.9 ნახაზებზე გამოსახული გრაფიკების მეშვეობით.



ნახ. 7.9. b – უგანზომილებო კოეფიციენტის და ϕ_0 კუთხის ურთიერთდამოკიდებულება ერთნაირმოდულიანი შეუღლებული ღებლებისათვის

7.5. სრიალის საკისარში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მეთოდика

გემოთ ნახსენები გრაფიკების მეშვეობით თითოეულ კონკრეტულ შემთხვევაში შესაძლებელია მარტივად და ოპერატიულად ვიპოვოთ მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა სრიალის საკისარში მისი ნებისმიერი კონსტრუქციული გადაწყვეტის დროს.

ამისათვის კონკრეტული ამოცანის შემთხვევაში უნდა განისაზღვროს პარამეტრი $\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$,

სადაც F_r არის საკისრის რადიალური დატვირთვა სიგრძის ერთეულზე და განისაზღვრება საკისარზე მოსული რადიალური ძალის შეფარდებით საკისრის სიგრძესთან, ნ/მ; ε – რადიალური ღრეზო საკისრის კვანძში; $\varepsilon = r_2 - r_1$; r_2 – საკისრის რადიუსი, მ; r_1 – ლილვის რადიუსი, მ; E – ღრეკადობის საანგარიშო ნამდვილი მოდული, რომელიც პოლიმერული მასალის შემთხვევაში განისაზღვრება გემპერატურის, დროის და კონსტრუქციული გადაწყვეტილების ფაქტორების გათვალისწინებით. შესაბამისად, საანგარიშო ე. წ. „პირობითი“ ღრეკადობის მოდულის განსაზღვრისათვის ვსარგებლობთ გამოსახულებით:

$$E = E_0 \cdot K_\delta \cdot K_{\text{ღრ}} \cdot K_\gamma, \quad (7.7)$$

სადაც E_0 არის პოლიმერული მასალის მყისიერი ღრეკადობის მოდული ნორმალური გემპერატურის (20°C) დროს და მოცემულია საცნობარო ლიგერატურაში, პა (ნ/მ²), ან

მპა; K_{ϕ} – ტემპერატურული კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს პოლიმერული მასალის დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე და თერმოპლასტიკური მასალებისათვის

$$K_{\phi} = \frac{t_{\phi} - t_a}{t_{\phi} - 20}, \quad (7.8)$$

სადაც t_{ϕ} – პოლიმერული მასალის დნობის ტემპერატურა, °C; t_a – საკისრის საანგარიშო მუშა ტემპერატურა, °C; K_{ω} – დროის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულებას დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე, ე. ი. ითვალისწინებს ცივი დენადობის მოვლენას და გამოითვლება ფორმულით

$$K_{\omega} = \left(\frac{t}{B} \right)^{-m}, \quad (7.9)$$

სადაც t – დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობა, სთ; B, m – მუდმივები და მოცემულია როგორც გრაფიკების, ისე ცხრილების სახით. თერმოპლასტიკური პოლიამიდებისათვის შესაბამისად იღება $4 \cdot 10^{-4}$, 0,047; პოლიეთილენისათვის – 0,04, $1 \cdot 10^{-4}$; ფთოროპლასტ-4-ისათვის – 0,062, $3,3 \cdot 10^{-4}$; ვინილპლასტისათვის – 0,07, $2 \cdot 10^{-4}$.

K_3 „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის მაკორექტირებელი კოეფიციენტი. იგი ჩვეულებრივი, ტიპური კონსტრუქციის პოლიმერული სადებიანი სრიალის საკისრებისათვის განისაზღვრება თეორიული დებულებიდან ერთ-ერთით (ნახ.7.10). ამასთან, უპირატესობა მინიჭებული აქვს მოცულობითი პრინციპის საფუძველზე მიღებულ გამოსახულებას*:

$$K_3 = \frac{1}{1 - 2\mu}, \quad (7.10)$$

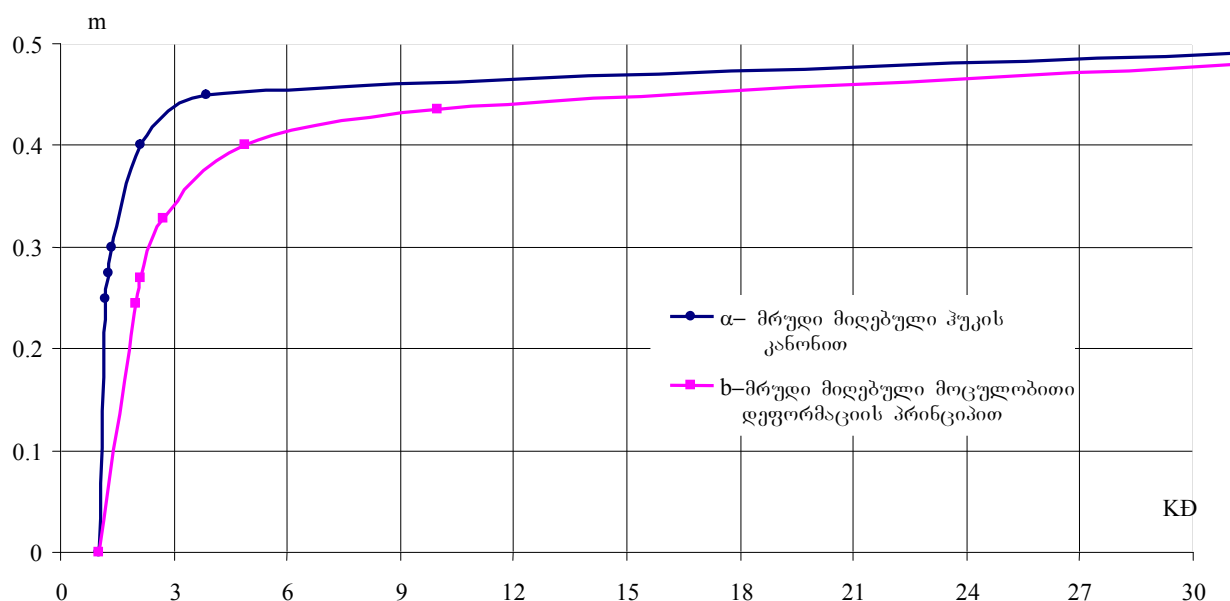
სადაც μ სადების პუასონის კოეფიციენტი.

ძალიან მოკლე $\left(\frac{l}{d} < 0.2 \dots 0.3 \right)$ და სქელკედლიანი სადების მქონე საკისრებისათვის

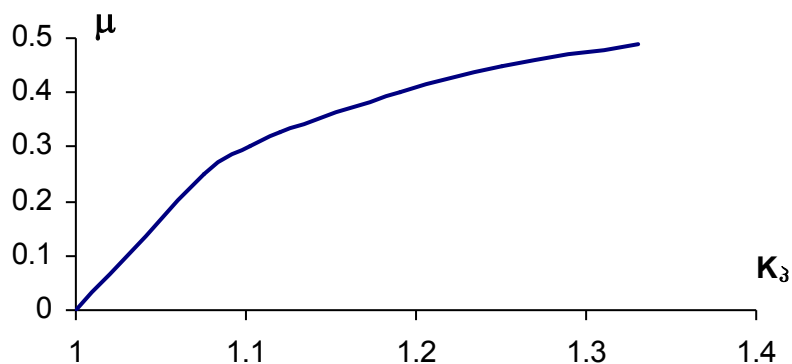
$\left(\frac{\delta}{d} < 0.4 \dots 0.5 \right)$ E_3 სადების განსასაზღვრად რეკომენდებულია გამოსახულება*

$$K_3 = \frac{1}{1 - \mu^2}. \quad (7.11)$$

K_3 -ს განსაზღვრა შესაძლებელია აგრეთვე ქვემოთ მოყვანილ ნახაზებზე ნაჩვენები შესაბამისი გრაფიკების მეშვეობით (ნახ. 7.10, 7.11).



ნახ. 7.10 „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის მაკორექტირებელი K_3 კოეფიციენტის დამოკიდებულება პუასონის μ კოეფიციენტზე (დეფორმაცია შეზღუდულია ორ სიბრტყეში)



ნახ. 7.11 „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის მაკორექტირებელი K_3 – კოეფიციენტის დამოკიდებულება პუასონის μ კოეფიციენტზე (დეფორმაცია შეზღუდულია ერთ სიბრტყეში)

*დადგენილი სპეციალური კვლევის საფუძველზე სტუ-ს სამშენებლო მანქანებისა და მექანიკური მოწყობილობის კათედრაზე ავტორების მიერ ზ. ქაშიაშვილთან ერთად [36].

$\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ პარამეტრის მიხედვით განისაზღვრება φ_0 საკონტაქტო კუთხის ნახევარი

(ნახ.7.2, 7.5, 7.6), ხოლო φ_0 კუთხე სიდიდის მიხედვით – მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვის უგანზომილებო b კოეფიციენტი (ნახ. 7.7, 7.8, 7.9).

დაბოლოს, მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა (მპა) შეუღლებაში განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\sigma_{H \max} = b \frac{E \cdot \varepsilon}{r}. \quad (7.12)$$

თეორიული, კერძოდ, გემოხსენებული გრაფიკულ-ანალიზური მასალის და მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული გამოკვლევის საფუძველზე დადგენილ იქნა, რომ „შექცეული წყვილების“ გამოყენების დროს სხვადასხვა რადიალურ დატვირთვებზე საკონტაქტო კუთხე 20...30%-ით მეტია „პირდაპირი წყვილის“ გამოყენებასთან შედარებით, რაც ცალკეულ შემთხვევაში იწვევს კონტაქტური ძაბვის 20%-მდე შემცირებას და, შესაბამისად, ხახუნის კვანძების ხანგამძლეობისა და ცვეთამედეგობის მნიშვნელოვნად გაზრდას.

მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების გასაზღვრის ანალიზი აღნიშნული მეთოდის საფუძველზე თვალსაჩინოდ ადასტურებს სრიალის საკისრებში „შექცეული წყვილის“ გამოყენების უპირატესობებს.

7.6. დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოდика (პლასტმასოვანი საღებებისათვის)

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, სრიალის საკისრების გაანგარიშება დასაშვებ კონტაქტურ ძაბვებზე ლითონური საღებების გამოყენების დროს ნაკლებად აქტუალური საკითხია და უმრავლეს შემთხვევაში იგი არ არის საკისრის მუშაობის უნარის მაღლიმიტირებელი. ამასთან, დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოდика ლითონებისათვის შედარებით კარგად არის დამუშავებული და წარმოდგენილი ტექნიკურ ლიტერატურაში. შესაბამისად, მათი შერჩევა არ არის დაკავშირებული რაიმე სირთულესთან. აღნიშნული მიზეზების გამო დასაშვები ძაბვების შერჩევა ლითონური საღებებისათვის მოცემულ ნაშრომში არ განიხილება.

განსხვავებულ ყურადღებას ითხოვს პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების გაანგარიშების დროს დასაშვები ძაბვების შერჩევის საკითხი.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების საპროექტო გაანგარიშების დროს დასაშვები ძაბვების შერჩევის შედარებითი სირთულე განპირობებულია პლასტმასების, როგორც კონსტრუქციული მასალების სპეციფიკურობით, მათი დაძაბულ მდგომარეობაში მოქცევის ხასიათით, ზიდვის უნარის ტემპერატურაზე აშკარად გამოხატული დამოკიდებულებით, დატვირთვის შედეგად ძალოვანი დეგალების ფორმისა და ზომების ცვლილებებით, დატვირთვის მოქმედების დროის მნიშვნელოვანი გავლენით საკისრის მუშაობის უნარზე და ა.შ.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის დამახასიათებელია ის, რომ პლასტმასის საღების გეომეტრიული ფორმის შეცვლამ დატვირთვის შედეგად შეიძლება მიგვიყვანოს ისეთ ცვლილებებთან, რომლებიც გადააჭარბებენ დეგალის ზღვრულ დასაშვებ მდგომარეობას, რომელიც, თავის მხრივ, განსაზღვრულია კვანძის ფუნქციურ-კონსტრუქციული მოთხოვნებით.

ამის გამო პლასტმასის საღებები (ხშირად სხვა დატვირთული პლასტმასის დეგალბიც) მიზანშეწონილია გაანგარიშებულ იქნეს კონსტრუქციულ-გეომეტრიულ განსაზღვრულობაზე, რომელიც განაპირობებს მის ეფექტურ ფუნქციონირებას.

სხვა სიფყებით, სრიალის საკისრების პლასტმასის საღებების გაანგარიშება კონტაქტურ ძაბვებზე მიზანშეწონილია გულისხმობდეს არა ცალკე აღებული მაქსიმალური მრღვევი კონტაქტური ძაბვის განსაზღვრას, არამედ იმ კონტაქტური ძაბვის განსაზღვრას, რომელიც იწვევს მაქსიმალურ დასაშვებ დეფორმაციას.

მაგალითად, თანამედროვე მექანიკური სისტემების სრიალის საკისრების ნორმალური ფუნქციონირება მნიშვნელოვანწილად არის დამოკიდებული ლილვისა და საკისრის ღერძების ურთიერთგადანაცვლებასა და საკისრის საღების გეომეტრიულ უცვლელობაზე ექსპლუატაციის პროცესში.

ამგვარად, დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოდის პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის ეფუძნება იმ გარემოებას, რომ ღვინდება პლასტმასის საღების ის მდგომარეობა, რომელიც მიიჩნევა ზღვრულად. შემდგომ განისაზღვრება ძაბვა, რომელიც შეესაბამება ამ მდგომარეობას და იგი იწოდება საწყის დასაშვებ ძაბვად. დაბოლოს, საწყისი დასაშვები ძაბვა დაზუსტებული უნდა იქნეს მაკორექტირებელი კოეფიციენტებით, რომლებიც ითვალისწინებენ კონსტრუქციულ, ტექნოლოგიურ, საექსპლუატაციო და სხვა ფაქტორების გავლენას პოლიმერული მასალების მექანიკურ მახასიათებლებზე.

პლასტმასის საღების ზღვრული მდგომარეობა განისაზღვრება კონსტრუქტორის მიერ საერთო კონსტრუქციული მოსაზრებების საფუძველზე დეფორმაციათა ზღვრების

მონიშვნით, რომელიც ამასთანავე ძირითადად უნდა შეესაბამებოდეს დეტალის ღრეკად დეფორმაციას დიაპაზონს.

მაგალითად, კბილანური გადაცემების შემთხვევაში სრიალის საკისრის ღრეკოსა და შეუღლებული დეტალების ჯამური დეფორმაცია უნდა თავსდებოდეს იმ დაშვებათა ველში, რომელიც უზრუნველყოფს ნორმალურ კბილანურ მოდებას ექსპლუატაციის პროცესში.

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები ადასტურებენ, რომ ანტიფრიქციული თერმოპლასტიკების სიმტკიცის მღვარს შეესაბამება დეტალის მომების 6...8%-ით დეფორმირება. მეორეს მხრივ, ცნობილია, რომ იმავე მასალებისაგან დამზადებული სრიალის საკისრების სადებები დამაკმაყოფილებლად ფუნქციონირებენ იმ შემთხვევაში, როცა დატვირთვის შედეგად ფარდობითი დეფორმაცია არ აღემატება 2%-ს (რაც შეესაბამება ნარჩენი დეფორმაციის არა უმეტეს 0,3%-ს), მხოლოდ იშვიათ შემთხვევაში შეიძლება ფარდობითი დეფორმაცია გაიზარდოს 3%-მდე.

აღნიშნული შუალედი მექანიკური სისტემების პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის მიიჩნევა ე. წ. მღვრულ მდგომარეობად, ხოლო მეორეს მხრივ, საკმაო სიმუსტის დაშვებით განიხილება, როგორც სუფთა ღრეკადი დეფორმაციების დიაპაზონი.

უკანასკნელი დაშვების საფუძველზე დეფორმაციისა და ძაბვის დამოკიდებულების ინტეგრალური განტოლება ბლანგ-ღრეკადი მასალებისათვის (ვოლტერის I გვარის განტოლება) გადაიქცევა ჩვეულებრივ ჰუკის კანონად, რომელიც სამართლიანია მხოლოდ იდეალურად ღრეკადი სხეულებისათვის.

გემოაღნიშნულის საფუძველზე პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის დასაშვები ფარდობითი დეფორმაციის ε_p საშუალებით ჰუკის კანონის საფუძველზე შესაძლებელია ვიპოვოთ საწყისი დასაშვები ძაბვა

$$\sigma_{p_0} = E \cdot \varepsilon_p, \quad (7.13)$$

სადაც E არის ნამდვილი ღრეკადობის მოდული (7.7), მპა; σ_{p_0} – საწყისი დასაშვები ძაბვა ღრეკადი მასალებისათვის, მპა; ε_p – დასაშვები ფარდობითი დეფორმაცია.

მოგ შემთხვევაში σ_{p_0} -ის განსაზღვრისათვის მოსახერხებელია ვისარგებლოთ თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე მიღებული ციფრობრივი მონაცემებით. ქვემოთ მოყვანილია საორიენტაციო მონაცემები პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად გამოყენებული ზოგიერთი მასალისათვის:

$\sigma_{p_0} = 24$ მპა – პოლიამიდ 6-ისთვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 2%-ის გოლია;

$\sigma_{p_0} = 36$ მპა – პოლიამიდ 6-ისთვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 3%-ის ტოლია;

$\sigma_{p_0} = 40$ მპა – პოლიამიდ 66-ისთვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 2%-ის ტოლია;

$\sigma_{p_0} = 60$ მპა – პოლიამიდ 66-ისთვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 3%-ის ტოლია;

$\sigma_{p_0} = 56$ მპა – პოლიაცეტალეებისათვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 2%-ის ტოლია;

$\sigma_{p_0} = 80$ მპა – პოლიაცეტალეებისათვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 3%-ის ტოლია.

პოლიმერული მასალების მექანიკური მაჩვენებლების საბოლოო შეფასებისათვის, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, აუცილებელია კონსტრუქტორული, ტექნოლოგიური, საექსპლუატაციო და სხვა ფაქტორების გათვალისწინება. შესაბამისად, დასაშვები კონტაქტური ძაბვა პლასტმასის სადებებისათვის იქნება:

$$\sigma_p = \sigma_{p_0} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (7.14)$$

სადაც K_1 ტექნოლოგიური კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სადების დამზადების ტექნოლოგიურ მეთოდს და აიღება ზღვრებში:

0,95...1,0 – დეტალებისათვის, რომლებიც დამზადებულია ავტომატურ-საჩამოსხმო მანქანების გამოყენებით;

0,80...0,9 – დეტალებისათვის, რომლებიც დამზადებულია შპრიც-წნეხების გამოყენებით;

0,70...0,80 – დეტალებისათვის, რომლებიც დამზადებულია ავტოკლავების გამოყენებით.

K_2 არის გენშემცველობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ანტიფრიქციული პოლიმერული მასალების მექანიკური მაჩვენებლების შემცირებას გენის შემცველობის გამო და იღება ზღვრებში:

0,95...0,98 – პოლიამიდ 6-ის სადებებისათვის;

0,98...1,0 – პოლიამიდ 66-ის სადებებისათვის;

1,0 – პოლიაცეტალის სადებებისათვის.

K_3 არის კონცენტრაციის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჩამოსხმულ დეტალში კონცენტრაციის კერებს და იღება ზღვრებში:

0,45...0,8 – რთული კონფიგურაციის სადებებისათვის (იგულისხმება დეტალში არაერთნაირი განივკვეთები, არხები, ჭრილები, ნახვრეტები და სხვ.);

0,85...0,95 – მილისას ფორმის მარტივი ფორმის სადებებისათვის.

K_4 არის დაღლილობითი სიმტკიცის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ცვლადი (ციკლური) დატვირთვების მრავალჯერად მოქმედებას და იღება ზღვრებში – 0,5...0,7. არაციკლიური დატვირთვების შემთხვევაში – 0,9...1,0.

K_5 არის ჭექის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჭექის გავლენას საღების დაძაბულ მდგომარეობაზე და იღება ზღვრებში 0,6...1,0.

K_6 არის გაანგარიშების სიმუსისა და მარაგის კოეფიციენტი და იღება ზღვრებში 0,5...1,0.

**ზოგიერთი ანტიფრიქციული პოლიმერული მასალის ცალკეული
მექანიკური მახასიათებლები**

ცხრილი 7.1

№	მასალის დასახელება	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა	დრეკადობის მოდული, E_0 , მპა	პუასონის კოეფიციენტი	დნობის ტემპერატურა	ხაზობრივი გაფართოების ტემპ. კოეფ., 10^{-5} ერთ კელვინზე	თბოგამტარობის კოეფ., ვტ/მ.კელვინი
1	პოლიამიდ 6	90	1100	0,4	215	8...11	0,29
2	პოლიამიდ 66	90	1200	0,4	219...220	8...11	0,29
3	ფთხროპლასტ 4	12	470...850	0,45	327	8...25	0,25
4	პოლიაცეტალი (პოლიფორმალდეჰიდი)	130	3600	0,35...0,4	170...180	8	0,29

ზიდვის უნარის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე და დატვირთვის ხანგრძლივობაზე არ გაითვალისწინება მაკორექტირებელი კოეფიციენტებით. აღნიშნული ფაქტორები გათვალისწინებულია დრეკადობის მოდულის ნამდვილი მნიშვნელობის განსაზღვრის დროს, რომელიც, თავის მხრივ, განაპირობებს საწყისი დასაშვები ძაბვის სიდიდეს.

ზოგიერთი ანტიფრიქციული მასალის ფოლადთან ხახუნის საორიენტაციო კოეფიციენტები

ცხრილი 7.2

№	მასალის დასახელება	შეზღუდვის გარეშე	კონსისტენციური შეზღუდვა	შეზღუდული შეზღუდვა (წვეთოვანი)	წყლით შეზღუდვა
1	პოლიამიდ 6	0,06–0,2	0,03–0,13	0,03–0,05	0,04–0,1
2	პოლიამიდ 66	0,06–0,2	0,03–0,13	0,03–0,05	0,04–0,1
3	ფთხროპლასტ 4	0,04–0,06	0,04–0,09	0,02	0,02
4	პოლიაცეტალი (პოლიფორმალდეჰიდი)	0,09–0,12	0,03–0,1	0,01–0,04	0,09

შენიშვნა: 1. კოეფიციენტების შეფასება შესრულებულია სხვადასხვა ლიგერატურული და ექსპერიმენტული მონაცემებისა და ავტორის ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე.

2. მონაცემები საჭიროებს შემდგომ დიფერენციაციას და დამუშავებას.

7.7. გრიბოსისტემების თბური გაანგარიშების საფუძვლები

სითბოს ინტენსიური გამოყოფა გრიბოლოგიური პროცესისათვის ერთ-ერთი მთავარი დამახასიათებელი და უეჭველი თანმხლები მოვლენაა. ამასთან, წარმოქმნილი სითბოს წყაროდ მიჩნეულია მოხახუნე ზედაპირების მიკრობორცვების მოჭრისა და პლასტიკური დეფორმაციების (მოთელვის) მოვლენები, რაც, თავის მხრივ, იწვევს დეტალის მასალის კრისტალური მესრის შეცვლას და რომელიც ლოკალურად ტემპერატურის მომატებაში ვლინდება. რიგი ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე მიჩნეულია, რომ მოხახუნე ზედაპირების ფაქტიური საკონტაქტო წერტილებში ჩნდება ტემპერატურული პიკები, რომელთა აბსოლუტური მნიშვნელობა $900-1000^{\circ}C$ -ს აღწევს.

გრიბოლოგიური პროცესის დროს წარმოქმნილი სითბოს ნაკადი მოემართება სხეულის სიღრმეში და გადაეცემა გარემოს. ამასთან, გამოყოფილი სითბო განშტოვდება რამდენიმე ნაკადად – თვით მოხახუნე სხეულებში, ჰაერში და შემზეთ მასალაში.

ზოგადად მოხახუნე სხეულების საშუალო ტემპერატურას განსაზღვრავს მათი თბოფიზიკური თვისებები, ზედაპირების პროფილის პარამეტრები (ისინი მნიშვნელოვან როლს ასრულებს თბოგაცვლის პროცესში), გრიბოსისტემის მუშაობის რეჟიმი და სხეულების გარემოსთან თბოგაცვლის საერთო პირობები. მოხახუნე სხეულის საშუალო ტემპერატურა კი დიდად მოქმედებს ხახუნის კოეფიციენტზე, ცვეთის ხასიათსა და, შესაბამისად, გრიბოლოგიური სისტემის ხანგამძლეობაზე. ამ ფაქტორის მიმართ განსაკუთრებით მგრძნობიარეა გრიბოსისტემები, სადაც გამოყენებულია პლასტმასოვანი სადებები. აღნიშნულის გამო გრიბოსისტემის მუშაობის უნარის ძირითად კრიტერიუმად ხშირად მიიჩნევენ მის თბურ რეჟიმს.

გრიბოსისტემების ტემპერატურულ გაანგარიშებას საფუძვლად ედება ენერგიის შენარჩუნების კანონი, რომლის არსი განხილული პირობებისათვის ასეთია: ხახუნის შედეგად გამოყოფილი სითბო ხმარდება მანქანის შესაბამისი დეტალებისა და გარემო სფეროს გათბობას.

თბურ პროცესებში, რაც მიმდინარეობს გრიბოსისტემებში, არჩევენ ორ ძირითად სტადიას:

1. არაღამყარებულ რეჟიმს, რომელიც ხასიათდება გრიბოსისტემის ტემპერატურის ცვლილებით დროში. ასეთი რეჟიმია კვანძის გაშვებისა და გაჩერების ან მანქანის ხანმოკლე მუშაობის დროს.

2. დამყარებული რეჟიმი, რომელიც ხასიათდება ტემპერატურის მუდმივობით დროში.

ტემპერატურული რეჟიმის რეგულირება კონსტრუქციულად შესაძლებელია გრიბოსისტემებში საშუალო წნევისა და ლილვის ბრუნთა სიხშირის შეცვლით, გარდა ამისა, გრიბოსისტემების თბური პირობების ცვლილებით.

განვიხილოთ მოგადად გრიბოსისტემების თბური პროცესები სრიალის საკისრის მაგალითზე.

არადამყარებული რეჟიმის დროს სითბოს ნაწილი იხარჯება მანქანის დეტალების (საკისარი, ლილვი, კორპუსი) გახურებაზე, ნაწილი კი იმავე დეტალების მეშვეობით გადაეცემა გარემოს.

საინჟინრო პრაქტიკაში ტემპერატურული გაანგარიშების ამოცანას წარმოადგენს გახურების ტემპერატურის განსაზღვრა საკისრის მუშა მონაში.

დამყარებული რეჟიმის დროს საკისრის კვანძის თბური წონასწორობის პირობას აქვს შემდეგი სახე [1]:

$$\Phi = \Phi_{\kappa} + \Phi_{\text{л}}, \quad (7.15)$$

სადაც Φ საკისარში დროის ერთეულში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობაა (ანუ სითბოს ნაკადი, თბური სიმძლავრე); Φ_{κ} – საკისრის მიერ დროის ერთეულში მუშა მონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა; $\Phi_{\text{л}}$ – ლილვის მიერ დროის ერთეულში მუშა მონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა.

საკისარში გამოყოფილი სითბო დროის ერთეულში შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი დამოკიდებულებით, ვგ (1,163 ვგ = 1 კკალ/სთ):

$$\Phi = f \cdot F_r \cdot \omega \cdot r, \quad (7.16)$$

სადაც f ხახუნის კოეფიციენტია; F_r – რადიალური დატვირთვა საკისარზე, ნ; ω – ლილვის კუთხური სიჩქარე, რად/წმ; r – საკისრის რადიუსი, მ.

საკისრისა და ლილვის მიერ მუშა მონიდან არინებული სითბოს რაოდენობის განსზღვრისათვის გამოყენებული ფორმულები ეფუძნებიან ფურიეს კანონს და საჭირო სიმუსგის შედეგებს იძლევიან, თუ სრულდება შემდეგი პირობები:

- სხეულები იზოტროპულია;
- სხეულის გასწვრივ ტემპერატურა უმნიშვნელოდ იცვლება.

აღნიშნული პირობების შესაბამისად საანგარიშო ფორმულების გამარტივებისათვის შემოღებულია შემდეგი დაშვებები:

1. ლილვის ღერძიდან თანაბრად დაშორებულ საკისრის ყველა წერტილში გემპერატურა ერთნაირია;

2. გემპერატურა სადების მუშა ზონაში მუდმივია და სითბო საკისარში ვრცელდება მხოლოდ რადიალური მიმართულებით.

უკანასკნელი დაშვება სავსებით მისაღებია პლასტმასოვანი თხელსადებებიანი საკისრებისათვის (თბოგამტარობის კოეფიციენტი პლასტმასებისათვის 400-600-ჯერ ნაკლებია ბრინჯაომე), მაგრამ დიდ მარაგს იძლევა ლითონურსადებებიანი საკისრებისათვის.

საკისრის მიერ მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა ერთეულ დროში შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით (ვგ)

$$\Phi_{\text{ს}} = K_{\text{ს}} \cdot l(t_{\text{ა}} - t_{\text{ო}}), \quad (7.17)$$

სადაც $t_{\text{ა}}$ გემპერატურაა საკისრის მუშა ზონაში, კელვინი (K); $t_{\text{ო}}$ – გარემოს გემპერატურა, კელვინი (K); l – საკისრის სიგრძე, მ; $K_{\text{ს}}$ – საკისრის თბოგადაცემის ჯამური კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია საკისრის კონსტრუქციულ გადაწყვეტაზე, გეომეტრიულ პარამეტრებზე, მასალების თბოგამტარობისა და თბოგადაცემის კოეფიციენტებზე (არ უნდა აგვერიოს ერთმანეთში თბოგადაცემისა და თბოგაცემის კოეფიციენტები, რომლებსაც განსხვავებული ფიზიკური შინაარსი და განმომილეები აქვთ).

$K_{\text{ს}}$ კოეფიციენტი ახასიათებს საკისრის უნარს, გააგაროს და გადასცეს სითბო. მისი შებრუნებული სიდიდე 3 ფენიანი ტიპური საკისრის შემთხვევაში, როცა ანგიფორიციული სადები ჩაწნეხილია ფოლადის ჭიქაში, ხოლო იგი – თავის მხრივ, მანქანის კორპუსში, იქნება $\frac{\text{მ} \cdot \text{კელვინი}}{\text{ვტ}}$ [1]:

$$\frac{1}{K_{\text{ს}}} = \frac{1}{2 \cdot \varphi_{\circ}} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d+2\delta}{d} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{D}{d+2\delta} \right) + \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2\pi} \ln \frac{D_{\text{კ}}}{D} + \frac{1}{\alpha \cdot D_{\text{კ}}} \right), \quad (7.18)$$

სადაც $\varphi_{\circ}$ – საკონტაქტო კუთხეა, გრად.; λ_1 – სადების თბოგამტარობის კოეფიციენტი (ცხრ. 7.1, 7.4), $\frac{\text{ვტ}}{\text{მ} \cdot \text{კელვინი}}$; d – ლილვის დიამეტრი, მ.; δ – პლასტმასის სადების სისქე, მ.;

λ – ჭიქის და კორპუსის თბოგამტარობის კოეფიციენტი (ცხრილი 7.4) – $\frac{\text{ვტ}}{\text{მ} \cdot \text{კელვინი}}$;

D – ლითონის ჭიქის გარე დიამეტრი, მ.; $D_{\text{კ}}$ – საკისრის კორპუსის დიამეტრი, მ.;

α – საკისრის ზედაპირის თბოგაცემის კოეფიციენტი (შემოქრევის გარეშე $\alpha=12\dots14$)

$$\frac{\text{პბ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{კელვინი}};$$

შემოქრევის შემთხვევაში α შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით

$$\alpha = 17\sqrt{V}, \quad (7.19)$$

სადაც V – შემოქრევის სიჩქარეა, რომელიც დამოკიდებულია ლილვისა და მასზე დასმული დეტალების ბრუნვითა სიხშირეზე (გამოსახულებაში V -ს მინიმალური სიდიდეა 1მ/წმ), მ/წმ.

ლილვის მიერ მუშა ბონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა ერთეულ დროში შეიძლება ასე განისაზღვროს, ვგ:

$$\Phi_c = c(t_{\text{ლ}} - t_0), \quad (7.20)$$

სადაც $c = c_1 + c_2$ ლილვის თითოეული მხარის თბოგაცემის ჯამური კოეფიციენტია და დამოკიდებულია ლილვის გეომეტრიულ პარამეტრებზე, $\frac{\text{პბ}}{\text{კელვინი}}$; c_1 და c_2 კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოცემულია 7.3 ცხრილში;

ცხრილი 7.3

ლილვის თბოგაცემის კოეფიციენტები

ლილვის ტიპი	ლილვის კონსტრუქცია, თბოგაცემის პირობები	თბოგაცემის ჯამური კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის საჭირო გამოსახულებანი, $\frac{\text{პბ}}{\text{კელვინი}}$	თბოგაცემის ჯამური კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის საჭირო სიდიდეები
I	უსასრულო სიგრძის ლილვი. თბოგაცემა გვერდითი ზედაპირიდან	$c_I = \frac{\pi}{2} \sqrt{\alpha_1 \cdot \lambda \cdot d^3}$	α_1 – მოძრავი ან უძრავი ლილვის გვერდითი ზედაპირის თბოგაცემის კოეფიციენტი; λ – ლილვის თბოგამტარობის კოეფიციენტი; d – ლილვის დიამეტრი;
II	სასრული L სიგრძის ლილვი. თბოგაცემა გვერდითი გორსული ზედაპირიდან	$c_{II} = \lambda \cdot f \cdot m \cdot \times \frac{sh(mL) + Bch(mL)}{ch(mL) + Bch(mL)}$	$m = 2\sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda \cdot d}}$; $B = \frac{\alpha_2}{\lambda \cdot m}$
III	ძალიან მცირე სიგრძის ლილვი ($L = 0$). თბოგაცემა მხოლოდ გორსული ზედაპირიდან	$c_{III} = \alpha^2 \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ α_2 – ლილვის გორსული ზედაპირის თბოგაცემის კოეფიციენტი

t_0 – გარემოს ტემპერატურა, კელვინი (K); $t_{\text{ლ}}$ – ლილვის ზედაპირის ტემპერატურა, კელვინი (K), და როცა საკისარი უძრავია და ლილვი ბრუნავს, შეიძლება დავუშვათ, რომ

$$t_{\text{ლ}} = t_{\text{ბ}},$$

(7.21) (7.15) გამოსახულებაში (7.16), (7.17), (7.20) და (7.21) გამოსახულებების ჩასმით და შესაბამისი ელემენტარული მათემატიკური გარდაქმნების შემდეგ მუშა მონაში ტემპერატურა

$$t_{\theta} = \frac{f \cdot F_r \cdot \omega \cdot r + t_0 (K_{\text{ბ}} \cdot l + C)}{K_{\text{ბ}} \cdot l + C}. \quad (7.22)$$

(7.20) გამოსახულებაში შესაბამისი წევრები დასაშვებია $^{\circ}C$ -ში.

საკისრის კვანძის პერიოდული მუშაობის შემთხვევაში საჭირო ხდება განისაზღვროს დროის ის T მონაკვეთი, როცა ტემპერატურა აღწევს t_p დასაშვებ ზღვარს.

ამ შემთხვევისათვის თბური ბალანსის განგოლებას ექნება ასეთი სახე:

$$\Phi \cdot T - T(c + K_{\text{ბ}} \cdot l)(t_p - t_0) = mC(t_p - t_0), \quad (7.23)$$

სადაც $\Phi \cdot T$ არის T დროში გამოყოფილ სითბოს რაოდენობა, ჯოული; $T(c + K_{\text{ბ}} \cdot l)(t_p - t_0)$ – T დროში გარემოზე გადაცემული სითბო, ჯოული; $mC(t_p - t_0)$ – კვანძის დეტალების გათბობაზე დახარჯული სითბო, ჯოული; C – მასალის ხვედრითი თბოტევადობა, $\frac{\text{ჯოული}}{\text{კგ} \cdot \text{კელვინი}}$ (სპილენძი, თითბერი – $C = 0,4$; რკინა – $C = 0,46$; ალუმინი

– $C = 0,88$), სადაც განზომილებაა

$$\left(\frac{\text{კკალ}}{\text{კგ} \cdot \text{გრად}} = 4,1868 \frac{\text{კჯოული}}{\text{კგ} \cdot \text{კელვინი}} \right);$$

m – გაცხელებული დეტალების მასა, განისაზღვრება ფორმულით, კგ,

$$m = m_1 + \beta \cdot m_2 + \beta \cdot m_3, \quad (7.24)$$

სადაც m_1 3-4 დიამეტრის სიგრძის ლილვის მასაა, კგ; m_2 – საკისრის მასა, კგ; m_3 – საკისართან უშუალო სიახლოვეს მყოფი და მასთან ერთად გაცხელებული დეტალების მასა, კგ; β – კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ტემპერატურათა სხვაობას ხახუნის მონაში და დეტალის პერიფერიაზე:

$$\beta = \frac{0,5 - 2\rho}{0,5 + 2\rho}, \quad (7.25)$$

სადაც ρ მანძილია ხახუნის ზონიდან ლეტალის ყველაზე უფრო დამორბეულ წერტილამდე, მ.

(7.23)-დან საკისრის კვანძის t_p ტემპერატურამდე გაცხელების დრო განისაზღვრება გამოსახულებით

$$T = \frac{mC(t_p - t_o)}{\Phi - (c + K_b \cdot l)(t_p - t_o)}, \quad (7.26)$$

ხოლო თუ აუცილებელია განისაზღვროს საკისრის მუშა ტემპერატურა რაღაც T დროში, მაშინ ბალანსის განტოლებაში მიიღება, რომ $t_p = t_a$ და

$$t_a = \frac{\Phi T}{T(c + K_b l) + mC} + t_o. \quad (7.27)$$

მიახლოებითი საორიენტაციო გაანგარიშებისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ გამარტივებული დამოკიდებულებებით, როცა იგულისხმება, რომ საკისრის კორპუსისა და ლილვის მეშვეობით ხახუნის ზონიდან არინებული სითბო პროპორციულია რაღაც პირობითი A ფართობის, ტემპერატურათა სხვაობის $-(t_a - t_o)$ და თბოდაცემის α კოეფიციენტისა, ე.ი.

$$\Phi = \alpha(t_a - t_o)A, \quad (7.28)$$

სადაც Φ გამოყოფილი ან ხახუნის კვანძიდან გატანილი სითბოა, ვტ; $A = A_1 + A_2$ – ხახუნის კვანძის თბოგაცემის პირობითი ფართობი, მ²; A_1 – საკისრის კორპუსის თბოგაცემის პირობითი ფართობი (მ²) დამოკიდებულია საკისრის კონსტრუქციაზე და მომეხზე. საშუალოდ იღება $A_1 = 25d^2$ ან $A_1 = 20 dl$, სადაც d და l , შესაბამისად, არის საკისრის დიამეტრი (მ) და სიგრძე (მ).

ზოგჯერ A_1 -ს ირჩევენ ზღვრებში (12...40) dl .

ტიპური სრიალის საკისრებისათვის კორპუსის თბიგადაცემის ფართობი შეიძლება განისაზღვროს საკისრის მთლიანი H სიმაღლისა და ღერძის მიმართულებით l სიგრძის მიხედვით

$$A_1 = \pi \cdot H(l + 0,5H), \quad (7.29)$$

A_2 ლილვის თბოგაცემის პირობითი ფართობია (მ²) და ლილვის თითოეული მხარისათვის იღება (5...8) d^2 . მნიშვნელობები მცირე აიღება, როცა ლილვის დიამეტრი $< \Phi 100$ -ზე, ხოლო დიდი – როცა დიამეტრი $> \Phi 100$ -ზე.

თბოგამტარობის მნიშვნელობები 20 და 100° C ტემპერატურის დროს

№ პოზ.	მასალა	თბოგამტარობა λ , ვტ/მ. კელვინი	
		როცა $t=20^\circ C$	როცა $t=100^\circ C$
1	ტექნიკური ალუმინი	202	206
2	ალუმინის შენადნობები:		
	8%-იანი მაგნიუმით	105	123
	20%-იანი სილიციუმით	160	169
3	დურალუმინი	165	181
4	კალიანი ბაბიტი (დიდი მნიშვნელობა შეესაბამება კალის მცირე შემცველობას)	58...70	47...58
5	ბაბიტი (ტყვიის)	35...47	29...41
6	კალიანი ბრინჯაო	58...81	52...76
7	ალუმინიანი ბრინჯაო	81...94	70...81
8	თითბერი 60	108	120
9	საშუალო ნახშირბადიანი ფოლადი	52...58	47...52
10	რუხი თუჯი	56...64	50...58
11	დაწნეხილი გრაფიტი	105...116	99...110
12	ტექსტოლიტი	0,23...0,35	
13	პოლიამიდი	0,25	

(7.28) გამოსახულებაში დანარჩენი პარამეტრები იგივეა, რაც ზემოთ მოყვანილ გამოსახულებაში იყო გამოყენებული.

მიახლოებითი ანგარიშებისათვის საშუალოდ მიიჩნევენ, რომ თბოგადაცემა ლილვის მეშვეობით, საკისრის თბოგადაცემის 50%-ს შეადგენს.

(7.28) გამოსახულებიდან განისაზღვრება ტემპერატურა ხახუნის ზონაში

$$t_{\delta} = \frac{\Phi}{\alpha \cdot A} + t_{\circ} . \quad (7.30)$$

ბუნებრივია, ყველა შემთხვევაში უნდა შესრულდეს პირობა

$$t_{\theta} \leq t_p .$$

ამასთან, ყველა მიღებულ ანალიზურ გამოსახულებაში მიჩნეულია, რომ თბოგევალობა, თბოგადაცემა და თბოგამტარობა არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე.

მექანიკური სისტემების მექანიკურ მაჩვენებლებზე და საერთო მდგომარეობაზე მნიშვნელოვანწილად მოქმედებს ის გარემოება, რომ მოხახუნე ზედაპირზე ტემპერატურის გაზრდა იწვევს ხახუნის ძალის მოლეკულური (აღჭიმური) და მექანიკური (კოჰეზიური) შემდგენების შეცვლას. ცვლილებების მასშტაბები დიდად არის დამოკიდებული მოხახუნე ღეგალების მასალების გვარობაზე.

ლითონური ზედაპირებისათვის ხახუნის ძალის მექანიკური შემდგენები ტემპერატურის მომაგებით მასალის სისალის შესაბამისი შეცვლის შედეგად იცვლება (არალითონური, მაგალითად, პოლიმერული მასალებისათვის ეს მომენტი კიდევ უფრო გამოკვეთილია). ლითონური მასალების სისალის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე განისაზღვრება ექსპონენციალური დამოკიდებულებით [23]:

$$H = H_0 \cdot e^{-\beta \cdot \Delta t},$$

სადაც H_0 მასალის სისალეა საწყის ტემპერატურაზე; β – მაჩვენებლიანი დამოკიდებულების ტემპერატურული კოეფიციენტი; Δt – ზედაპირების ტემპერატურული ნაზრდი.

ზემოთ მოყვანილი დამოკიდებულება გვიჩვენებს, თუ როგორი ხარისხით ხდება ტემპერატურის მომაგების შედეგად მოხახუნე ზედაპირების სისალის შემცირება. ამასთან, უფრო რბილი მასალებისათვის იგი კიდევ უფრო ინტენსიურია.

აღნიშნულის გამო გრიბოლოგიურ პროცესში ტემპერატურის ზრდა იწვევს ერთი სხეულის მეორეში მეტ ჩაღრმავებას, რაც, თავის მხრივ, განაპირობებს ხახუნის ძალის მექანიკური შემდგენების გაზრდას. რაც შეეხება ხახუნის ძალის მოლეკულურ შემდგენს, იგი ტემპერატურის შეცვლის შედეგად სხვადასხვაგვარად იცვლება გრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუქციის და მასალის გვარობის მიხედვით.

ლითონური მასალებისაგან დამზადებული ხახუნის კვანძის ღეგალებისათვის გრიბოლოგიური პროცესის ნორმალურ პირობებად ითვლება ტემპერატურული ზღვარი $t_g < (0,2 \dots 0,3) t_{\text{ღ}}$, სადაც $t_{\text{ღ}}$ მასალის ღნობის ტემპერატურაა. ამასთან, ტემპერატურულ დიაპაზონში $(0 \dots 0,2) t_{\text{ღ}}$ ხდება ხახუნის ძალის მოლეკულური შემდგენის შესაბამისად შემცირება, რაც განპირობებულია ზედაპირზე სწრაფი დაჟანგვის გამო თხელი აფსკების წარმოშობით. ხოლო ტემპერატურის შემდგომი გადიდება იწვევს კონტაქტში მყოფი ბორცვების ერთმანეთთან ინტენსიურ შეჭიდულებას (მაღალი

ტემპერატურის გამო ჟანგის თხელი აფსკი ამ მოვლენას ხელს ვეღარ უშლის და იზრდება ხახუნის ძალის მოლეკულური შემდგენი).

განსხვავებული სურათია, როდესაც მოხახუნე გელაპირთაგან ერთ-ერთი მაინც პოლიმერული მასალისგანაა დამზადებული. ასეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებისათვის ხახუნის ძალის მექანიკური და მოლეკულური შემდგენების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მექანიზმისა და ხვედრითი წილის ოდენობის განსაზღვრის საკითხი თანამედროვე მეცნიერებისათვის ჯერჯერობით დამაჯერებლად არ არის შემუშავებული, მაგრამ უდავოა ის ფაქტი, რომ კვანძის მუშა მონაში ტემპერატურის გაზრდით (განსაკუთრებით, თერმოპლასტიკური მასალებისათვის) მნიშვნელოვნად იზრდება ხახუნის ძალები. ამასთან, კვანძის მუშა ტემპერატურულ ღიაპაზონში არ გვხვდება კრიტიკული წერტილები.

ზოგადად ყველა შემთხვევისათვის ხახუნის ძალის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მრუდზე შეიძლება გამოიყოს ხელსაყრელი ტემპერატურული რეჟიმების მონები. ამ მონების განსაზღვრა და კვანძის კონსტრუქციული გადაწყვეტა ტემპერატურული რეჟიმის თვალსაზრისით არის გრიბოლოგიური სისტემის კვლევის უმნიშვნელოვანესი ეტაპი ახალი მანქანა-მოწყობილობის კონსტრუირების პროცესში.

7.8. სრიალის საკისრების კონსტრუქციული პარამეტრები

კონსტრუქციული პარამეტრების დადგენა სრიალის საკისრების გაანგარიშების განუყოფელი ნაწილია. ლითონური სადებების გამოყენების შემთხვევაში აღნიშნული საკითხი შედარებით მარტივად წყდება და იგი კარგად არის გაშუქებული ტექნიკურ ლიტერატურასა და შესაბამის დისციპლინებში. ბევრად მეტ ყურადღებას მოითხოვს კონსტრუქციული პარამეტრების დადგენა პლასტმასოვანი სადებების გამოყენების შემთხვევაში.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების საიმედოობა და ხანგამძლეობა მნიშვნელოვანწილად არის დამოკიდებული მათ რაციონალურ კონსტრუირებაზე. ოპტიმალური კონსტრუქციული პარამეტრების შერჩევა მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს გრიბოლოგიური სისტემის საექსპლუატაციო პარამეტრებსა და საიმედოობის მაჩვენებლებს.

ქვემოთ მოყვანილი კონსტრუქტორული პარამეტრების შერჩევისათვის რეკომენდებული თანაფარდობები სპეციალური გამოკვლევების საფუძველზე განზოგადებულია ლიგერატურულ წყაროებში [1], [28].

როგორც ცნობილია, პლასტმასოვანი სრიალის საკისარი უმრავლეს შემთხვევაში არის პლასტმასის სადები, რომელიც ჩაწნეხილია ფოლადის ჭიქაში, ხოლო თავის მხრივ, იგი ჩადგმულია სპეციალურ ან მანქანის კორპუსში (“პირდაპირი წყვილი”), ანდა ფოლადის ლილვზე დაწნეხილი პლასტმასის მილისა, რომელიც შეუღლებულია რომელიმე კორპუსთან (“შექცეული წყვილი”).

საანგარიშო ჩაწნეხის (დაწნეხის) ჭეჭის სიდიდემ უნდა უზრუნველყოს სადებების უმოძრაო ჩასმა საკისრის მთელი სამსახურის ვადის განმავლობაში.

ამოცანის არსი ისაა, რომ საკისრის ხანგრძლივი ექსპლუატაციისა და პერიოდული გაცხელების დროს ცივი დენადობისა და ძაბვების რელაქსაციის მოვლენების გამო ჭეჭი კვანძში სუსტდება ან ქრება. შედეგად მილისა ბრუნდება შესაბამისი დეგალის მიმართ და წყდება საკისრის ფუნქციონირება. მაგრამ თუ წინასწარი ჭეჭის ხარისხი აღემატება რაღაც მნიშვნელობას, ჭეჭი ე. ი. მილისას დაძაბული მდგომარეობა პრაქტიკულად შეიძლება მუდმივად იქნას შენარჩუნებული. ამასთან, სადების დაძაბული მდგომარეობა დადებითად მოქმედებს ცვეთამედევობაზე და ამცირებს ცივი დენადობის მოვლენებს.

გემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია შეუღლებაში გათვალისწინებულ იქნეს ჭეჭის მაქსიმალური მნიშვნელობა ისე, რომ აღძრული ძაბვა არ აჭარბებდეს დენადობის ზღვრის ღონეს.

ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე პოლიამიდური სადებებისათვის ჭეჭის მნიშვნელობა რეკომენდებულია ზღვრებში

$$\delta_d = (0,035 \dots 0,045) D, \quad (7.32)$$

ხოლო პოლიაცეტალის (პოლიფორმალდეჰიდის) სადებებისათვის

$$\delta_d = (0,03 \dots 0,04) D, \quad (7.33)$$

სადაც δ_d ჭეჭის აბსოლუტური სიდიდეა, მმ; D – ლითონური ჭიქის ან ლილვის დიამეტრი, მმ.

ჭეჭის ოპტიმალური მნიშვნელობების შერჩევა გემოთ მოყვანილი დამოკიდებულებების საფუძველზე დაკავშირებულია გარკვეულ სირთულეებთან და, როგორც გამოცდილება გვიჩვენებს, ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში კონსტრუქტორისაგან კონკრეტულ გადაწყვეტილებას მოითხოვს. საქმე ისაა, რომ შესაძლებელია ისეთი არახელსაყრელი ვითარებების დამთხვევა, როცა უმოძრაო ჩასმა ან ვერ მიიღწევა (ჭეჭის მცირე მნიშვნელობები) ან პლასტმასოვანი სადებები ვერ

უძლებენ ჩაწნების ან დაწნების შედეგად აღძრულ კონტაქტურ ძაბვებს (ჭეჭის დიდი მნიშვნელობები).

აღნიშნულის გამო ჭეჭის სიდიდის შერჩევის დროს უნდა ვიხელმძღვანელოთ შემდეგი მოსაზრებით:

- კვანძის საიმედოობის და ხანგამძლეობის გადიდების მიზნით ჭეჭის სიდიდის მნიშვნელობა შესაძლებლობის ზღვრებში უნდა იყოს მაქსიმალური;
- გრძელი და სქელკელლიანი სადებებისათვის აიღება ჭეჭის მცირე მნიშვნელობები, ხოლო მოკლე და თხელკელლიანი სადებებისათვის – ჭეჭის დიდი მნიშვნელობები;
- შემვსებიანი (გრაფიტი, ტალკი, მოლიბდენის დისულფიდი) პლასტმასისაგან დამზადებული სადებებისათვის საჭიროა ჭეჭის სიდიდე შემცირდეს;
- დაბალ მუშა ტემპერატურაზე იღებენ ჭეჭის ხარისხის მცირე მნიშვნელობებს, ხოლო მაღალზე – დიდს;
- “შექცეული წყვილისათვის” იღებენ ჭეჭის შემცირებულ მნიშვნელობებს.

რეკომენდაციებით დადგენილი ჭეჭის მნიშვნელობები ძნელად უთავსდება სახალხო მეურნეობაში მიღებულ სტანდარტულ ჩასმებს. ამიტომ ხახუნის კვანძის კონსტრუქტორულ დოკუმენტაციაში არაა რეკომენდებული მოინიშნოს შეუღლების ნომინალური ზომა.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრის მუშაობის უნარზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ხახუნის კვანძის ღრეჩოს სიდიდე.

პოლიმერული მასალები, ხასიათდებიან რა დიდი ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული და ნესტშემცველობის კოეფიციენტებით, მუშაობის პროცესში ფართოვდებიან. შესაბამისად, ხახუნის კვანძში არსებული ღრეჩო შეიძლება გაქრეს და საკისარი “გაიჭედოს”. აღნიშნულის თავიდან აცილებისათვის კვანძში საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს გაფართოების საკომპენსაციო სიდიდე (ლითონურსადებებიან საკისრებში შესაძლებელია ამ სიდიდის უგულებელყოფა).

ღრეჩოს სიდიდის შერჩევის დროს უნდა ვხელმძღვანელობდეთ საერთო ტექნიკური მოსაზრებებით. ამასთან, მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული მუშაობის კონსტრუქციული და ექსპლუატაციური პირობები – შეზღუდვის სახე, გაცივების საშუალებები, დატვირთვის რეჟიმი, მოხახუნე გედაპირების მდგომარეობა და ა. შ.

ღრეჩოს გადიდებული მნიშვნელობები უარყოფითად მოქმედებს მანქანის საერთო კონსტრუქციულ შეთანწყობაზე. ამას გარდა, ღრეჩოს გადიდება იწვევს მოხახუნე გედაპირებზე კონტაქტური ძაბვების გაზრდას, რაც თავის მხრივ, განაპირობებს ხახუნის კვანძის ინტენსიურ ცვეთას.

აღნიშნულის გამო ღრეჩოს ოპტიმალური სიდიდის შერჩევა გრიბოლოგიური სისტემის დაპროექტების დროს მეტად საპასუხისმგებლო საქმეა.

მრავალი ექსპერიმენტისა და თეორიული კვლევის საფუძველზე პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების დიამეტრული ღრეჩოს შერჩევისათვის რეკომენდებულია შემდეგი თანაფარდობა:

$$\Delta=(0,004 \dots 0,015)d.$$

სადაც d ლილვის დიამეტრია, მმ.

იმის გამო, ღრეჩოს სიდიდე უდიდეს გავლენას ახდენს ხახუნის კვანძის მუშაობის უნარზე, საჭიროა დიდი სიფრთხილით იქნეს შერჩეული ღრეჩოს ოპტიმალური მნიშვნელობა. ამასთან, გათვალისწინებული უნდა იქნეს სრიალის საკისრის მუშაობის კონკრეტული პირობები და კონსტრუქციული გადაწყვეტილება. მაგალითად, თხელკედლიანი სადებებისათვის რეკომენდებულია შეირჩეს ღრეჩოს მცირე მნიშვნელობები, ხოლო სქელკედლიანებისათვის – დიდი. მოსალოდნელი მძიმე გემპერატურულრეჟიმიანი საკისრებისათვის საჭიროა შეირჩეს ღრეჩოს დიდი მნიშვნელობები, მსუბუქისათვის – მცირე.

იმასთან დაკავშირებით, რომ ღრეჩოს გაზრდა იწვევს კონტაქტური ძაბვების გაზრდას კვანძში, ღრეჩოს შერჩევის შემდეგ აუცილებელია შემოწმებითი გაანგარიშება მაქსიმალურ კონტაქტურ ძაბვებზე ზემოთ მოყვანილი მეთოდით და საჭიროების შემთხვევაში ხდება მისი კორექტირება.

ამას გარდა, სპეციალურ ლიგერატურაში მოცემულია რეკომენდაციები ანალიზური გამოსახულებების სახით, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია სადების თავისუფალი ზედაპირის (შიგა ან გარე დიამეტრის) ზომათა ცვლილებების განსაზღვრა სადების ჩაწნევის (დაწნევის) შედეგად.

პოლიმერული მასალების მცირე თბოგამტარობისა და დიდი ხაზობრივი გაფართოების გემპერატურული კოეფიციენტის გამო პლასტმასის სადებები მიზანშეწონილია დამზადდეს თხელკედლიანი. განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია ის გარემოება, რომ სქელკედლიანი პლასტმასის სადებები თხელკედლიანთან შედარებით ხასიათდებიან მასალის დაქვეითებული ფიზიკურ-მექანიკური მაჩვენებლებით (ეს უკანასკნელი პოლიმერული მასალების გადამუშავების სპეციფიკით არის განპირობებული). გარდა ამისა, სქელკედლიანი პლასტმასის სადებებისათვის დამახასიათებელია ხაზობრივი ზომების ნაკლები სტაბილურობა ჩამოსხმის პროცესისათვის დამახასიათებელი “ჩაჯდომის” დიდი ხარისხის გამო.

მოყვანილი ტექნოლოგიური და კონსტრუქტორული მოსაზრებიდან გამომდინარე, პლასტმასის სადების კედლის სისქის საორიენტაციო განსაზღვრისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$\delta=0,2+\sqrt{0,1d} \text{ ,} \quad (7.35)$$

სადაც d არის მოხახუნე გედაპირის ნომინალური დიამეტრი, მმ;

მიღებული სიდიდე საკისრის დაპროექტების დროს შეიძლება კორექტირებული იქნეს $\pm 15\%$ -ით.

საკისრის სიგრძე, როგორც ეს ჩვეულებრივ არის მიღებული, იმდღება ნომინალური დიამეტრის მიხედვით და ოპტიმალურად მიჩნეულია $\frac{l}{d}=1$, აქ l საკისრის სიგრძეა, ხოლო d - ნომინალური დიამეტრი.

დრეკალსაფუძვლიანი სრიალის საკისრებისათვის აღნიშნული ფარდობა შეიძლება გამრდილი იქნეს 1,5...1,8 ზღვრებაზე, ხოლო არამუსტი აწყობისას და ლილვის დიდი დეფორმაციის პირობებში არ უნდა აღემატებოდეს 0,8-ს.

ზემოთ მოყვანილ კონსტრუქტორულ პარამეტრებთან ერთად პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების დაპროექტების დროს საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს:

- შეუღლებაში გამოყენებული ლითონური დეტალების გედაპირის სიმქისის რაციონალურ მნიშვნელობად სიმქისის მე-7. . . მე-8 კლასები, ხოლო პლასტმასის დეტალისათვის (თუ იგი მექანიკურად მუშავდება) – მე-6 კლასი.
- ლითონური დეტალისათვის გედაპირული სისალის რაციონალურ სიდიდელ არაუმეტეს HRC 50. . . 55;
- პლასტმასის სადების შეძლებისდაგვარი თანაბარკედლიანობა (აღვილობრივი შესუსტებები ან შესქელებები მნიშვნელოვნად აქვეითებენ მის შრომის უნარს);
- დეტალების ჭეჭით ჩასმის დროს ლითონური დეტალის გედაპირის სიმქისის ოპტიმალურ მნიშვნელობად სიმქისის მე-6 კლასი (მეტი სიმქისის გედაპირები იწვევენ ჩაწნევის ძალის გამრდას და მასთან დაკავშირებულ უარყოფით მოვლენებს, ხოლო ნაკლები – უძრავი ჩასმის საიმედოობის შემცირებას);
- მექანიკური ჩაწნევის წინ ერთ-ერთ შეუღლებულ გედაპირზე 30⁰-იანი ნაზოლი;
- ჩაწნეხილი (დაწნეხილი) სადების მექანიკური დამუშავება მოხდეს არა უადრეს 6. . . 8 სთ-ისა წნეხვის პროცესიდან (ზომების სტაბილიზაციის მიზნით);
- პლასტმასის სადებიანი გრიბოლოგიური სისტემების კონსტრუირების დროს პლასტმასის სადების გაფართოების შესაძლებლობა გრძივი მიმართულებით (განივი

მიმართულებით გაფართოების შესაძლებლობას ითვალისწინებს დიამეტრული ღრეჩო).

7.9. სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების მეთოდика

პირობითი გაანგარიშების მეთოდика მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ სრიალის საკისრების წინასწარი, საორიენტაციო გაანგარიშების დროს. იგი ეფუძნება მანქანათა გრიბოტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის გამოცდილებას, ექსპერიმენტულ შედეგებს. კერძოდ, სარგებლობენ ანალოგიური კონსტრუქციული გადაწყვეტილებისა და დაგვირთვის პარამეტრების შემთხვევაში მიღებული ექსპლუატაციური მონაცემებით. აღნიშნული მეთოდისათვის დამახასიათებელია საანგარიშო მეთოდის მაქსიმალური სიმარტივე.

განასხვავებენ სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების ორ ძირითად სახეს:

- ანგარიში დასაშვებ წნევაზე;
- ანგარიში დასაშვები წნევისა და სრიალის სიჩქარის ნამრავლზე.

სრიალის საკისრების გაანგარიშება დასაშვებ წნევაზე გამოისახება იმ წნევის ლიმიტირებით, როლითაც საგაცი მემოქმედებს რადიალური მიმართულებით საკისრის საღებზე და რომლის მუშა ფართობი პირობითად საკისრის დიამეტრული კვეთაა, ე. ი.

$$p = \frac{F_r}{dl} \leq p_p, \quad (7.36)$$

სადაც p რადიალური წნევის სიდიდეა საკისარში; F_r – რადიალური დაგვირთვა საგაცზე; d, l – შესაბამისად, საკისრის დიამეტრი და სიგრძე; p_p – დასაშვები წნევა სრიალის საკისრისათვის.

სტაციონარული მანქანების უმრავლესობისათვის კონკრეტული პირობების – ძირითადი და შემზეთი მასალების და კონსტრუქციული პარამეტრების მიხედვით გაბარიტებისადმი განსაკუთრებული მოთხოვნების არ არსებობის შემთხვევაში p_p იღება 1... 4 მპა-ის ზღვრებში.

შიგაწვის ძრავების ძირითადი და ბარბაცას საკისრებისათვის $p_p = 4...20$ მპა. ხოლო, საგლინავი დგანების, წნეხებისა და სამჭედლო მანქანებისათვის – $p_p=10...30$ მპა.

ასეთი მეთოდика ძირითადად შემოწმებითი ხასიათისაა, ვინაიდან საგაცის დიამეტრი განისაზღვრება ლილვის კონსტრუქციული გაანგარიშების დროს. თუმცა

ლავირების საშუალებას იძლევა საკისრის სიგრძე, რომელიც უზრუნველყოფს წნევის ცვლილებას.

წნევის რეალური მნიშვნელობის განსაზღვრა შესაძლებელია მხოლოდ დრეკადობის თეორიის შესაბამისი კონტაქტური ამოცანის (დაახლოებით ერთნაირი რადიუსის მქონე ცილინდრების შიგა კონტაქტური კუმშვა) ამოხსნის გზით [29], [30], [31], [31], [36].

სრიალის საკისრის პირობითი გაანგარიშება დასაშვებ წნევასა და სრიალის სიჩქარის ნამრავლზე შეიძლება შემდეგნაირად იქნას გამოსახული

$$pV \leq (pV)_p, \quad (7.38)$$

სადაც V სრიალის სიჩქარეა; $(pV)_p$ – წნევისა და სრიალის სიჩქარის ნამრავლის დასაშვები სიდიდე.

სრიალის საკისარის pV პარამეტრი მნიშვნელოვანწილად ახასიათებს კვანძის რადიალურ დატვირთვის უნარს, თბურ რეჟიმს და ცვეთას. ამიტომ ხშირად გამოიყენება წინასწარი, საორიენტაციო გაანგარიშების დროს.

სტაციონარული მანქანების უმრავლესობისათვის კონკრეტული პირობების მიხედვით პარამეტრი $(pV)_p$ აიღება ზღვრებში 2...10 მპა მ/წმ; გრიბოლოგიური სისტემების ინტენსიური გაცივების პირობებში pV პარამეტრის მნიშვნელობა შეიძლება გაცილებით მეტი იყოს:

ავტომობილის ძრავების საკისრებში $(pV)_p = 25...35$ მპა მ/წმ. პრაქტიკაში პარამეტრი $(pV)_p$ ზოგჯერ მოცემულია გრაფიკულად, მრუდის სახით, რომელიც შეიძლება განხილულ იქნეს როგორც ჰიპერბოლა.

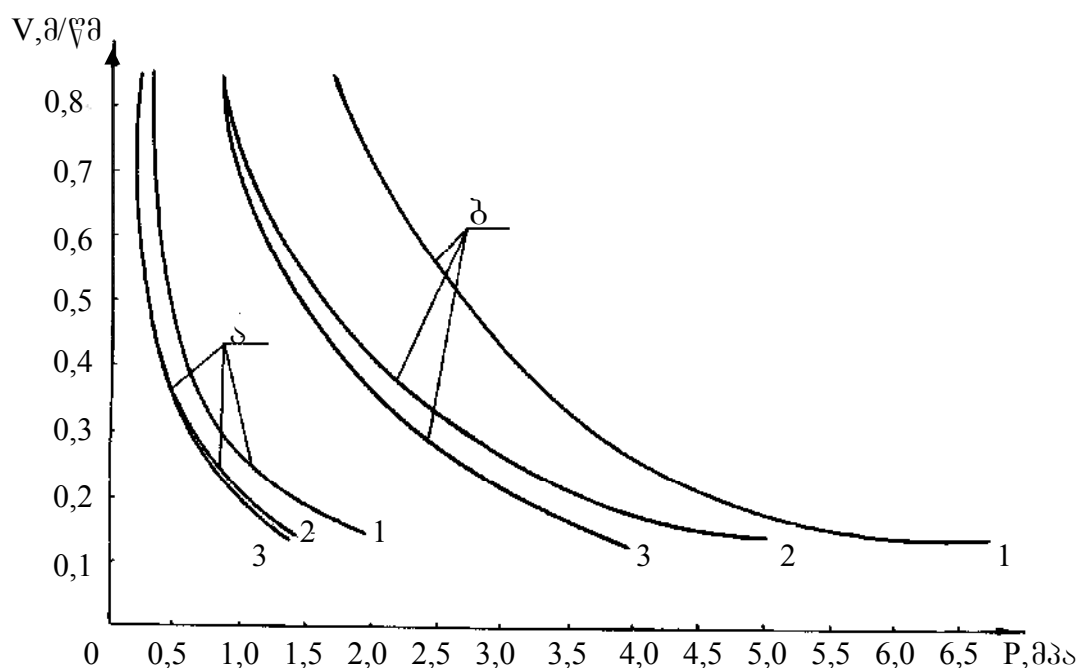
როგორც უკვე აღვნიშნეთ, p და $(pV)_p$ სიდიდეები იცვლებიან ფართო ზღვრებში და მნიშვნელოვანწილად არიან დამოკიდებულნი რიგ კონსტრუქციულ და ექსპლუატაციურ ფაქტორებზე: დატვირთვის ხარისხზე, შებეთვის და გაცივების პირობებზე და საშუალებებზე, მასალებზე, დეტალების დამზადების ტექნოლოგიაზე, მუშაობის ხანგრძლივობაზე, ჩართვების რაოდენობაზე, გარემო პირობებზე და ა. შ.

მემოთ ჩამოთვლილის გამო მოყვანილ მეთოდს არ გააჩნია პრეტენზია სიმუსტებზე და თხევადი შებეთვის შემთხვევაში მხოლოდ საორიენტაციო ხასიათს ატარებს.

განსხვავებულ ღირებულებას იძენს აღნიშნული მეთოდიკა იმ გრიბოლოგიური სისტემებისათვის, რომლის ექსპლუატაცია ხდება ან შებეთვის გარეშე, ანდა არარეგულარული, ან შემზღუდული შებეთვის პირობებში. ასეთ პირობებში კი, როგორც ცნობილია, მეტად ეფექტურია დიდი ცვეთამედეგობის მქონე პლასტმასოვანი სრიალის

საკისრების გამოყენება. მაგრამ ამ ტიპის საკისრებისათვის სარწმუნო რეკომენდაციები p_p და $(pV)_p$ პარამეტრების შესახებ ნაკლებად მოგვეპოვება ტექნიკურ ლიტერატურაში. ამიტომ აქაც უნდა ჩატარდეს საკისრის დაზუსტებული გაანგარიშება კონტაქტური ძაბვისა და მუშა ტემპერატურის განსაზღვრის გემოთ აღწერილი წესით.

ნახ. 7.12-ზე გრაფიკული სახით არის წარმოდგენილი საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შესრულებული გამოკვლევების შედეგად მიღებული pV ნამრავლის მღვრული მნიშვნელობები სხვადასხვა პოლიმერული მასალებისათვის.



ნახ. 7.12. კუთრი წნევის და ფარდობითი სრიალის სიჩქარის მღვრული მნიშვნელობების ურთიერთდამოკიდებულების გრაფიკი პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის:

1 – პოლიაცეტალის (პოლიფორმალდეჰიდის) სადებით; 2 – პოლიამიდი 66-ის სადებით; 3 – პოლიამიდი 6-ის სადებით;

ა – არარეგულარული შეშეთვის პირობები; ბ – წვეთოვანი შეშეთვის პირობები

მაგალითი: შევაფასოთ პოლიმერულსადებიანი სრიალის საკისრის მუშაობის უნარი “პირობითი” ღრეკადობის მოდულის გამოყენებით ექსპლუატაციის შემდეგ პირობებში:

რადიალური დაგვირთვა საკისარზე $F_{r0}=5000$ ნ;

ლილვის ბრუნვათა სიხშირე $n=100$ წმ⁻¹;

ლილვის დიამეტრი $d=55$ მმ;

სადების მასალა	– პოლიამიდ 66;
პუასონის კოეფიციენტი	$\mu=0,37$;
შემეთვა	– შეზღუდული, მინერალური ზეთით;
მუშაობის რეჟიმი	– უწყვეტი;
კორპუსის გარე დიამეტრი	$D_k=150$ მმ.

საკისრის კონსტრუქციული გადაწყვეტილება – “ პირდაპირი წყვილი”.

პირველ რიგში ვადგენთ საკისრის კონსტრუქციულ პარამეტრებს. (7.35)
გამოსახულების შესაბამისად, სადების კედლის სისქე

$$d=0,2+\sqrt{0,1d}=0,2+\sqrt{0,1\cdot 55}=2,55 \text{ მმ.}$$

იმის გამო, რომ სავარაუდოა საკისრის მძიმე ტემპერატურული რეჟიმი, შევარჩიოთ სადების კედლის სისქის შემცირებული მნიშვნელობა $d=2,5$ მმ.

შევარჩიოთ საკისრის დიამეტრული ღრეხოს საორიენტაციო მნიშვნელობა (7.34)
გამოსახულებიდან

$$\Delta=0,01d=0,1\cdot 55=0,55 \text{ მმ.}$$

კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით მივიღოთ რადიალური ღრეხოს მნიშვნელობა $\varepsilon=0,25$ მმ. შევარჩიოთ საკისრის სიგრძის მნიშვნელობა $l=55$ მმ.

ვიპოვოთ საანგარიშო, „პირობითი“ ღრეკადობის მოდული $t_g=85^\circ\text{C}$ ტემპერატურისა (შერჩეულია საორიენტაციოდ და საჭიროების შემთხვევაში სრულდება გადაანგარიშება) და 4 სთ (შეესაბამება ერთი ცვლის ხანგრძლივობის ნახევარს) დაგვირთვის ხანგრძლივობისათვის (7.7) გამოსახულებით

$$E=E_0\cdot K_{\theta}\cdot K_{\text{ღრ}}\cdot K_{\text{ჟ}}=1200\cdot 0,67\cdot 0,65\cdot 3,85=2012 \text{ მპა,}$$

სადაც K_{θ} ტემპერატურული კოეფიციენტია და, (7.8) გამოსახულების თანახმად,

$$K_{\theta}=\frac{t_{\text{ღნ}}-t_g}{t_{\text{ღნ}}-20}=\frac{219-85}{219-20}=0,67;$$

$t_{\text{ღნ}}$ – პოლიამიდ 66-ის დნობის ტემპერატურაა (ცხრილი 7.1) – 219°C ;

$K_{\text{ღრ}}$ – ღროის კოეფიციენტია და, (7.9) გამოსახულების თანახმად,

$$K_{\text{ღრ}}=\left(\frac{t}{B}\right)^{-m}=\left(\frac{4}{4\cdot 10^{-4}}\right)^{-0,047}=0,65;$$

$K_{\text{ჟ}}$ – საანგარიშო, ე.წ. „პირობითი“ ღრეკადობის მოდულის მაკორექტირებელი კოეფიციენტი, (7.10) გამოსახულების თანახმად

$$K_{\text{ჟ}}=\frac{1}{1-2\mu}=\frac{1}{1-2\cdot 0,37}=3,85.$$

E_0 მყისიერი დრეკადობის მოდულია 20°C ტემპერატურაზე, პოლიამიდი 66-ისათვის $E_0=1200$ მპა (ცხრილი 7.1).

რადიალური დატვირთვა საკისრის ერთ მეტრ სიგრძეზე

$$F_r = \frac{F_{r0}}{l} = \frac{5000}{0,055} 909009 \text{ ნ/მ} = 0,091 \text{ მნ/მ};$$

პარამეტრი

$$\frac{F_r}{E\varepsilon} = \frac{0,091}{2012 \cdot 0,00025} = 0,181.$$

საკონტაქტო კუთხის ნახევარი - $\varphi = 23^{\circ}$ (ნახ. 7.5), ხოლო უგანზომილებო კოეფიციენტი - $b = 0,6$ (ნახ.7.7)

მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა

$$\sigma_{H\max} = b \frac{E\varepsilon}{r} = 0,6 \frac{2012 \cdot 0,00025}{0,0275} = 10,98 \text{ მპა}.$$

დასაშვები კონტაქტური ძაბვა

$$\sigma_p = \sigma_{p0} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 = 40,2 \cdot 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 12,93 \text{ მპა},$$

სადაც $\sigma_{p0} = E \cdot \varepsilon_p = 2012 \cdot 0,02 = 40,2$ მპა, აქ ε_p დასაშვები ფარდობითი დეფორმაცია და კონსტრუქციული მოსაზრებებით მივიღეთ $\varepsilon_p = 0,02$ (2,0%);

K_1 არის ტექნოლოგიური კოეფიციენტი - 0,98;

K_2 - ტენზომეტრის კოეფიციენტი - 0,95;

K_3 - კონცენტრაციის კოეფიციენტი - 0,9;

K_4 - დაღლილობითი სიმტკიცის კოეფიციენტი - 0,6;

K_5 - ჭექის კოეფიციენტი - 0,8;

K_6 - ანგარიშის სიზუსტისა და მარაგის კოეფიციენტი - 0,8.

შესრულებულია პირობა

$$\sigma_{H\max} < \sigma_p = 12,93 \text{ მპა}.$$

ვაწარმოთ მიახლოებითი ტემპერატურული გაანგარიშება (7.30) გამარტივებული დამოკიდებულებით

$$t_a = \frac{\Phi}{\alpha A} + t_0 = \frac{57,6}{13 \cdot 0,075} + 20 \approx 80^{\circ}\text{C},$$

სადაც Φ საკისარში გამოყოფილი სითბოა,

$$\Phi = f F_r \omega r = 0,04 \cdot 5000 \frac{3,14}{30} 100 \cdot 0,0275 = 57,6 \text{ ვტ},$$

სადაც f ხახუნის კოეფიციენტი წყვილისათვის ფოლადი-პოლიამიდი 66-ია. შეზღუდული თხევადი მეთით შეშეთვის პირობებში ავიღოთ $f = 0,04$ (ცხრ. 7.2).

თბოგადაცემის პირობითი ჯამური კოეფიციენტი α საშუალო პირობებში ავიღოთ $\alpha = 13$ ვტ/მ² კელვინი;

t° – გარემოს ტემპერატურა – 20 °C;

$$A = A_1 + A_2,$$

სადაც A_1 საკისრის კორპუსის თბოგადაცემის ფართობი ავიღოთ

$A_1 = 20 \cdot 0,055 \cdot 0,055 = 0,06$ მ²; A_2 ლილვის თბოგადაცემის პირობითი ფართობი

$A_2 = 5d^2 = 5 \cdot 0,055^2 = 0,015$ მ²; $A = 0,06 + 0,015 = 0,075$.

ე.ი. ღაცულია პირობა

$$t_{\theta} \langle t_p = 85^\circ C.$$

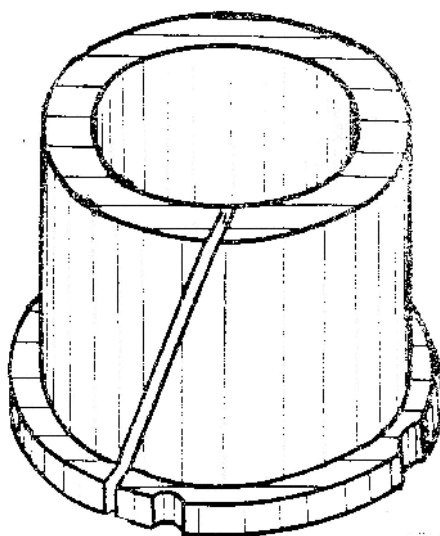
ამრიგად, საკისრის მუშაობის უნარის ორივე კრიტერიუმი შესრულებულია, რაც განსაზღვრავს საკისრის ექსპლუატაციის შესაძლებლობას.

თავი 8. სრიალის საკისრების კონსტრუქციები

8.1. სრიალის საკისრების ტრადიციული კონსტრუქციები პოლიმერული სადებით

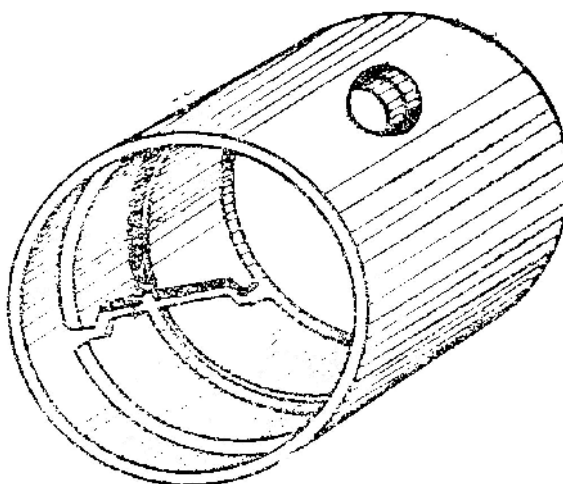
სრიალის საკისრების ტიპური კონსტრუქციები ლითონური ანგიფრიქციული სადებებით ნორმალიზებული და უმრავლეს შემთხვევაში სტანდარტიზებული იყო ყოფილი საბჭოთა კავშირის ეკონომიკურ სივრცეში. შესაბამისად, მათი კონსტრუქციების და კონსტრუქციული პარამეტრების შერჩევა კონკრეტული პირობებისათვის არ ხდებოდა. მაგრამ, განსხვავებული სიტუაცია ისახება პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების გამოყენების რიგ შემთხვევებში, სადაც ტრიბოლოგიური სისტემების საიმედო და ეფექტური ფუნქციონირება დიდად არის დამოკიდებული პლასტმასოვანი სრიალის საკისრის კონსტრუქციის და კონსტრუქციული პარამეტრების ოპტიმალურ შერჩევაზე. ამიტომ, როცა ყველა ჩვეულებრივი, ტიპური კონსტრუქციული გადაწყვეტილება რომელიმე კონკრეტული შემთხვევისათვის მიუღებელია, საჭირო ხდება შევირჩიოთ ისეთი კონსტრუქცია, რომელიც ხელსაყრელია და აკმაყოფილებს მოცემულ საექსპლუატაციო პირობებს.

მაგალითად, რიგ შემთხვევებში სქელკელა სადების ზიდვის უნარის გაზრდის მიზნით საკისრის სადებს აქვს გრძივი ჭრილი (ნახ. 8.1). ამგვარ საკისარს კვანძში გემპერატურის მომატების დროს აქვს გაფართოების შესაძლებლობა, რითაც გამოირიცხება ლილვის გაჭეჭვა, მაგრამ ასეთმა საკისრებმა მაინც ვერ პოვა გამოყენების ფართო არე, ვინაიდან ზიდვის უნარის ზრდა მცირეა, ხოლო კვანძი მთლიანობაში ნაკლებად კონსტრუქციულია.



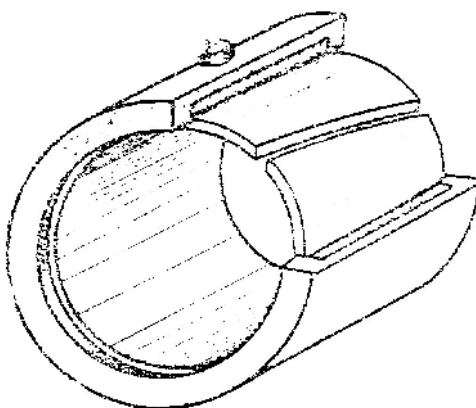
ნახ. 8.1. გრძივჭრილიანი სრიალის საკისრის პოლიმერული სადები

ცნობილია თხელკედლა საკისრის კონსტრუქცია (ნახ.8.2), რომელიც შედგება გარსაკრისაგან, რომელშიც ჩადგმულია თხელკედლა სადები საკომპესაციო ჭრილებით. მომათა ცვლილების შემთხვევაში (გახურების ან სხვა ფაქტორების გემოქმედების შედეგად) სადები იწყებს გადაადგილებას, სრიალს გარსაკრის შიგა ზედაპირზე, რის შედეგადაც უცვლელი რჩება მისი შიგა დიამეტრი. აღნიშნული ტიპის საკისარს აქვს ნახვრეტი და რგოლისებრი ღარები შემზეთი მასალის მისაწოდებლად. ლითონური გარსაკრის სისქეა 1,6 მმ, ხოლო პოლიმერული სადების სისქე - 0,8 მმ. ასეთი საკისრის უარყოფითი მხარეა სადების არასაიმედო ჩაჭიდება გარსაკრავთან. შესაბამისად, დინამიკური დატვირთვებისას იქმნება სადების გარსაკრავიდან აგლეჯის საშიშროება.



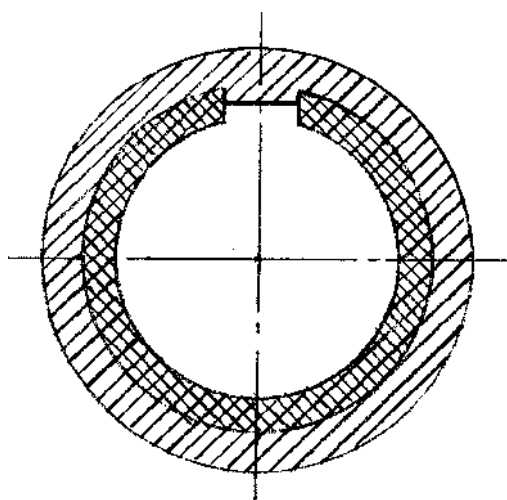
ნახ. 8.2. თხელკედლა სრიალის საკისარი

ასეთივე ნაირსახეობას მიეკუთვნება ღრეკადი საკისარი „კლეიფლექსი“, რომელიც კარგად „არბილებს“ ლილვის გადახრებს, რაც განპირობებულია იმით, რომ პოლიმერული სადები ჩასმულია რეზინის გარსაკრში (ნახ.8.3.), ამასთან, სადების ჩამაგრება გარსაკრში ხდება სხვადასხვა ხეხრხებით. თუ სადები ჩამოიხსმება უშუალოდ გარსაკრში, პოლიმერის ლითონთან ჩამაგრება ხორციელდება ადჰეზიის მეთოდით. მაგრამ კვანძის გახურებისას ხდება ძაბვების შესუსტება და სადები კარგავს ჩაჭიდულობის ძალას. შედარებით საიმედო ჩამაგრებად არის მიჩნეული გარსაკრის შიგა გედაპირზე ხრახნის მოჭრა ან ღარების ამოღება.



ნახ. 8.3. ღრეკადი საკისარი „კლეიფლექსი“

კონსტრუქცია (ნახ.8.4.) გამოირჩევა სიმარტივით. მასში სადების ფიქსაცია ხორციელდება გაჭრილი მილის გორსული გედაპირის მიბრჯენით კორპუსის სასოგმანე შვერზე. ამასთან, სადების პირვანდელი ჭრილის (l_0) სიგანე ნაკლები უნდა იყოს სასოგმანე შვერის (l) სიგანეზე. ამიტომ სადები კორპუსის კედლებს მიეხრება ჭეჭით. ჭეჭის სიდიდე განისაზღვრება $l - l_0$ სხვაობით.



ნახ. 8.4. სრიალის საკისარი სასოგმანე შვერით

ასეთი კონსტრუქციის უპირატესობაა დინამიკური დატვირთვების შემთხვევაში მაღალი მიღვის უნარი და სადების დამზადების შესაძლებლობა ბრტყელი პლასტმასოვანი მოლურებისაგან. უარყოფითი მხარეა საკისრის შიგა დიამეტრის არასწორი გეომეტრია, ლითონის გარსაკრის დამზადების სირთულე სასოგმანე ღირის გამო. ყველა შემთხვევაში ნახსენები სრიალის საკისრების კონსტრუქციისათვის დამახასიათებელია ნაკლები საინჟინრო პრაგმატიზმი, რის გამოც მნიშვნელოვნად არის შეზღუდული მათი საინჟინრო გამოყენების არე.

მანქანათმშენებლობაში ხშირად იყენებენ ლითონის საკისრებს, რომელთა შიგა ზედაპირები მოპირკეთებულია პოლიმერის თხელი (0,05...0,5)მმ ფენით ამასთან, შესრულების ტექნოლოგიურ პროცესად გამოიყენება ფხვნილოვანი გაფრქვევა. პოლიმერული ფენის პაგარა სისქის გამო ასეთი საკისრები კარგად ატარებენ სითბოს, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს პოლიმერული მასალის დენადობასა და მისი ზომების არასტაბილურობას, ზრდის მათ მიღვის უნარს. მაგრამ, დინამიკური დატვირთვებისას და შეზღუდული შეზღუდვის პირობებში საკისრის პოლიმერული ფენა ვერ უზრუნველყოფს საჭირო ჩაჭიდულობის ძალებს მასთან შეუღლებულ დატალთან.

პოლიმერული ფენის სისქე ასეთი შემთხვევისათვის განისაზღვრება ემპირიული ფორმულით

$$\delta = 0.0025 \cdot p \cdot d \cdot f ,$$

სადაც δ პოლიმერის ფენის სისქეა, რომლის დასაშვები მინიმალური მნიშვნელობა $\delta_{\min}=0,2$ მმ.; f – ხახუნის კოეფიციენტი; p – კუთრი დაწნევა; d – ლილვის დიამეტრი.

როგორც ცნობილია, პოლიმერული მასალებს ახასიათებთ თბოგაფართოების მაღალი კოეფიციენტი. მუშაობის პროცესში პოლიმერული სადები გახურების გამო მნიშვნელოვნად ფართოვდება, ვინაიდან იგი ჩაწნეხილია ლითონურ კორპუსში და, მაშასადამე, გარე დიამეტრი ნაკლებად იზრდება. შესაბამისად, პოლიმერის გაფართოება იწვევს საკისრის შიგა დიამეტრის შემცირებას, რის შედეგადაც საკისარსა და ლილვს შორის ღრეჩო შეიძლება მთლიანად გაქრეს და საკისარი გაიჭექოს. ამიგომ პოლიმერულ საკისრებში ღრეჩოს სიდიდე მნიშვნელოვნად მეტი უნდა იყოს ლითონურთან შედარებით. მაგრამ გასათვალისწინებელია, რომ დიდი ღრეჩოს შერჩევისას ხდება ლილვსა და საკისარს შორის საკონტაქტო ფართობის შემცირება, რაც, თავის მხრივ, ფრიად არასასურველი მოვლენაა. იგი ზრდის კუთრ დაწნევას, ეს უკანასკნელი კი იწვევს საკისრის ინტენსიურ ცვეთასა და გადახურებას.

დღევანდელ პირობებში აქტუალურ საკითხად არის მიჩნეული საკისრებში ფერადი და ძვირად ღირებული ლითონების გამოირიცხვა და მათი შეცვლა პოლიმერული

მასალებით. აღნიშნული განსაკუთრებით დიდ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა დიდგაბარიტიან სრიალის საკისრებში.

ასეთ საკისრებში მინიმალური ღრეჩოს მიღწევა, რაც განსაკუთრებული მნიშვნელობის ამოცანაა მსხვილ ენერგეტიკულ დანადგარებში, კერძოდ, ჰიდრო- და თბოგურბინებში, შეუძლებელი ხდება გრადიციული და ზემოთ მოყვანილი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებების გამოყენების დროს. როცა ასეთი საკისრებისათვის დიამეტრული ღრეჩოს მინიმალურ მნიშვნელობად მიიღწევა დიამეტრის მხოლოდ 0,3...0,5%.

8.2. დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისრები მოდულური ელემენტებით

მსხვილი ენერგეტიკული დანადგარების, მათ შორის, ჰიდროგურბინების, საყრდენი კვანძების მნიშვნელოვანი დამახასიათებელი ნიშან-თვისებაა მისი დიდი გაბარიტები. ამ ტიპის საყრდენი კვანძების, ისევე როგორც ბევრი სხვა გრადიციული გრიბოლოგიური სისტემების, ნორმალური ფუნქციონირება დიდად არის განპირობებული ანტიფორიქციული სადებების ხანგამძლეობით, ცვეთამდეგობით და დეფორმაციის მაქსიმალური დასაშვები სიდიდით.

გრიბოლოგიური სისტემების, განსაკუთრებით, დიდგაბარიტიანი, მაგ., ჰიდროგურბინების სრიალის საკისრების წარმატებით გამოყენების მნიშვნელოვანი ფაქტორია სადებების მასალის თვითღირებულება და ტექნოლოგიურ დამუშავებაზე გაწეული დანახარჯების მოცულობა. აღნიშნულ კვანძებში საკისრის სადებებს გრადიციულად ამზადებენ ბაბიგისაგან, რომელიც ამჟამად ძვირად ღირებულ და დეფიციტურ მასალად ითვლება. გარდა ამისა, გრადიციული ბაბიტური საკისრის დამუშავება, კერძოდ, შიგნარხვა დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისრის დამზადებისას გარკვეულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ამასთან, აღნიშნული შენადნობის სადებები საკმაოდ მგრძნობიარეა აწყობის უზუსტობებზე, განსაკუთრებით, თხელი ანტიფორიქციული ფენის შემთხვევაში, რის შედეგადაც მუშაობის დროს ხდება კონტაქტური დაგვირთვების მკვეთრი ზრდა, რაც, თავის მხრივ, მუშაობის პროცესში იწვევს ცვეთის ინტენსიურობას.

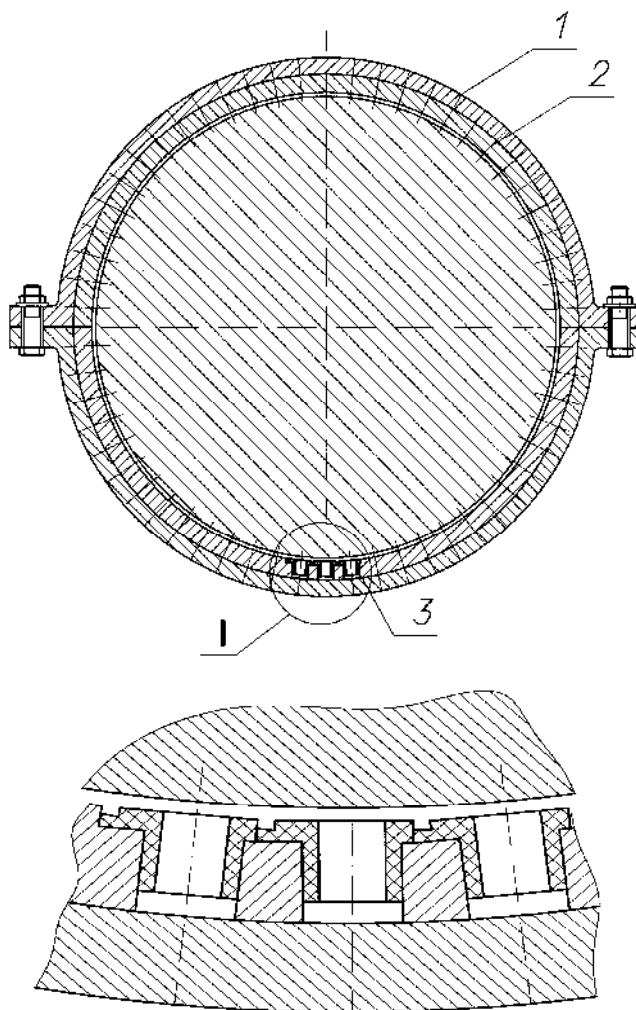
ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების მშენებლობის პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ რეზინის რგოლისებრ საკისარს, რომლის ძირითადი დადებითი თვისებებია: შემზეთ მასალად შეიძლება და მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს წყალი,

აქვს მცირე თვითღირებულება. უარყოფითი მხარეა მცირე სიდიდის ცვეთამდეგობა, რადიალური მიმართულებით დაფორმირების მნიშვნელოვანი სიდიდე და სირთულეები დიდი გაბარიტის რეზინის რგოლისებრი სადების დამზადების პროცესში. კერძოდ, ვულკანიზაციის დროს აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნეს ნამაგი, რომელიც უნდა დამუშავდეს შიგნარხვით კარუსელურ ჩარხზე საჭირო ზომის მისაღებად შეუღლებული ლილვის ზომის შესაბამისად. სწორედ ეს ფენა, რომელიც ხასიათდება საკისრის ექსპლუატაციის პირობებისათვის რიგი საუკეთესო თვისებებით - სიმტკიცითა და ცვეთამდეგობით და იგი შეძენილია ანტიფრიქციული სადების მიერ ვულკანიზაციის პროცესში. ამასთან, ექსპლუატაციის პროცესში რეზინის დიდი დრეკადობის გამო დიდია სადების დეფორმაცია, რაც იწვევს ლილვის ცემის მნიშვნელობის მაგებას, ხოლო უკანასკნელი, ბუნებრივია, უარყოფითად მოქმედებს ხახუნის კვანძისა და მთელი მოწყობილობის სხვა ელემენტების ხანგამძლეობაზე.

სტუ-ში შემუშავებული იქნა დიდგაბარიტიანი ახალი საყრდენი კვანძის ახალი კონსტრუქციული გადაწყვეტა*, სადაც სრიალის საკისრის მზიდი ლითონური ნახევარგოლი ხისტი დეგალია, ხოლო მუშა ზედაპირი – ანტიფრიქციული მასალისაგან დამზადებულ მოდულურ ელემენტთა სიმრავლე. ამასთან, მათი გორსული ნაწილი წარმოადგენს ხახუნის მუშა ზედაპირს და, შესაბამისად, ლილვთან კონტაქტში იმყოფება მხოლოდ მოდულური ელემენტები. შემოთავაზებული გრიბოლოგიური სიგემის ხახუნის კვანძი შედგება საკისრის ლითონის კორპუსისაგან - 1 (ნახ.8.5.), რომელშიც ჩასმულია ორი ლითონის ნახევარგოლი - 2. თავის მხრივ, ნახევარგოლები დახვრეტილია რადიალურად, რომლებშიც ჩაწნეხილია ანტიფრიქციული მასალისაგან დამზადებული ელემენტები - 3.

მუშა ელემენტის გორსული ზედაპირი ლითონური ნახევარგოლის შიგა ცილინდრული ზედაპირის მიმართ ამოწეულია 0,15...0,3 მმ-ით, ხოლო ელემენტის ორთოგონალური გადაწყვეტის დროს ელემენტის მუშა ზედაპირის ცენტრის აწევის დონე ნახევარგოლის შიგა ცილინდრული ზედაპირიდან განისაზღვრება კონსტრუქციულად გეომეტრიული პარამეტრების, კერძოდ, შიგა დიამეტრისა და ანტიფრიქციული ელემენტის დიამეტრის ზომის მიხედვით.

* ნაციონალური ცენტრის „საქპატენტის“ მიერ მ. შილაკაძის და გ. ქაშიაშვილის სახელზე გაცემულია პატენტი GE P2001 №2502B.



ნახ. 8.5. დიდგაბარიტიანი სარიალის საკისარი

1 – საკისრის კორპუსი; 2 – ლითონის ნახევარგოლი; 3 – მოდულური ელემენტი

შემოთავაზებული კონსტრუქცია შეიძლება ორ ვარიანტად იქნეს შესრულებული:

ა) საკისრის მუშა ზედაპირი გაჩარხებულია და აქვს ცილინდრული პროფილის სახე;

ბ) საკისრის მუშა ზედაპირი არ იჩარხება, იგი არის მოდულური ელემენტების გორსულ ზედაპირთა სიმრავლე.

აღწერილი ტიპის საკისრების გამოყენების შემთხვევაში მასში საკომპესაციო არეთა გათვალისწინებით შესაძლებელია დიამეტრული ღრეხოს უმცირესი მნიშვნელობის მიღწევა-0,02...0,03%-ის ფარგლებში.

თავი 9. მასალები ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის

უმრავლეს შემთხვევაში ტრიბოსისტემებში მოხაზუნე ზედაპირთაგან ერთ-ერთი დეტალი ლილვის ან ღერძის სახელწოდებით, მზადდება ნახშირბადიანი ფოლადისაგან (იშვიათად – თუჯისაგან). ვინაიდან ტრიბოლოგიური სისტემების კონსტრუირების პროცესში ლილვის (ღერძის) მასალის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები უკვე განსაზღვრულია მისი სიმტკიცისა და დეფორმირების პირობიდან, კონსტრუქტორის შესაძლებლობები ძირითადად საკისრის სადების შერჩევით შემოიფარგლება. მიუხედავად ჩვენს ხელს არსებული ექსპერიმენტული მონაცემების სიმრავლისა, აღნიშნული საკითხის ოპტიმალური გადაწყვეტა საჭიროებს ამ სფეროში კონსტრუქტორის გარკვეულ, სპეციალურ საინჟინრო და მეცნიერულ მომზადებას. ამასთან, ბუნებრივია, კონსტრუქციული გაანგარიშებანი მჭიდროდ არის დაკავშირებული სადების მასალის ფიზიკურ-მექანიკურ მაჩვენებლებთან. ძირითადი მოთხოვნები, რომელებსაც უნდა აკმაყოფილებდეს სასაკისრე, მოყვანილია ქვემოთ.

უპირველესი მოთხოვნა, რასაც უნდა აკმაყოფილებდეს სასაკისრე მასალა და რაც უზრუნველყოფს საიმედოობის მაღალ მაჩვენებელს, მისი ანტიფრიქციული თვისებებია. თავის მხრივ, მასალის ანტიფრიქციული თვისებები გულისხმობს:

- უმცირეს ხახუნის კოეფიციენტს კონტრსხეულთან;
- მაღალ ცვეთამდეგობას;
- კონტრსხეულის მინიმალური ცვეთის უზრუნველყოფას.

ამას გარდა, სასაკისრე მასალები უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

სასაკისრე მასალების მექანიკურმა მაჩვენებელმა (დასაშვები კონტაქტური ძაბვა, ფარდობითი დეფორმაცია) უნდა უზრუნველყოს დეტალის ფუნქციონირება დატვირთვის მოქმედების პროცესში;

- დასაშვები ტემპერატურა უნდა იყოს არანაკლებ $80...85^{\circ}\text{C}$ -ისა;
- სადების მოხაზუნე ზედაპირის მუშა ღიაზეგის შემცირებამ ტემპერატურისა და გარემოს სინესტის გემოქმედების შედეგად ვერ უნდა იმოქმედოს საკისრების მუშაობის უნარზე მაშინაც კი, როცა ხახუნის კვანძის ასაწყობი ღიაზეგრული ღრეჩო არ აღემატება $0,1...0,2$ მმ-ს;
- ჰქონდეს შემზეთი მასალებით კარგად დასველების უნარი;
- ხასიათდებოდეს კოროზიამდეგობით;
- ჰქონდეს დაბალი დრეკადობის მოდული;

- მასალის გედაპირული სტრუქტურა უნდა უზრუნველყოფდეს „დადებით გრადიენტს“,
- უნდა ჰქონდეს კარგი მიმუშავების და „ხაზოვანი“ წნევების გადანაწილების უნარი, რომელიც პრაქტიკაში წარმოიქმნება გადაცერების შედეგად დეფორმაციებისა და უზუსტობის მიზეზით;
- გრიბილოგიურ სისტემაში შემთხვევითი და ცვეთის პროდუქტების მოხვედრა მკვეთრად არ უნდა ცვლიდეს მუშაობის უნარის მაჩვენებლებს;
- ჰქონდეს კარგი ტექნოლოგიური თვისებები – უნდა მუშავდებოდეს პროგრესული მეთოდებით – წნევითი ჩამოსხმით, დაწნეხვით, დაყალიბებით, კარგად მუშავდებოდეს მექანიკურად და ა. შ.
- არ იყოს დეფიციტური და მაღალი ღირებულების.

ზემოთ მოყვანილი მოთხოვნების შესრულება უზრუნველყოფს, უპირველესად, გრიბოლოგიური სისტემის და შემდეგ მთელი მანქანის თვითღირებულების შემცირებას. გარდა ამისა, ისინი განაპირობებენ მანქანის საიმედოობის, კერძოდ, ხანგამძლეობის, უმცყუნობის, სარემონტოდ ვარგისობის და შენახვის უნარს მაჩვენებლების ამაღლებას.

სასაკისრე ანტიფრიქციული მასალები, ანუ მასალები, რომელებიც აკმაყოფილებენ ზემოთ მოყვანილ მოთხოვნებს, შეიძლება დაიყოს შემდეგ ჯგუფებად:

1. ფერადი ანტიფრიქციული შენადნობები – ბრინჯაო, ბაბიტი, თუთიანი და ალუმინიანი შენადნობები.
2. ანტიფრიქციული თუჯი.
3. ლითონკერამიკული (ფხვნილოვანი) მასალები.
4. სინთეტიკური პლასტმასები (პოლიმერები) – პოლიამიდები, პოლიაცეტალები, პოლი-ტეტრაფთორეთილენი, პოლიკარბონატი.
5. სხვა არალითონური მასალები – ხე, მერქანშრეული პლასტიკები, რეზინი, გრაფიტი.
6. ახალი თვითმეტეადი, ანტიფრიქციული, თბომედგი, პოლიმერული კომპოზიციები.

სასაკისრე მასალების ნომენკლატურა ყოველწლიურად მდიდრდება ახალ-ახალი მასალებით.

9.1 ფერალი ანგიფრიქციული შენადნობები

ბრ06Xაქ. არსებობს ბრინჯაოს სასაკისრე მთელი გამა. მათგან ყველაზე გავრცელებული სახეა უნივერსალური თვისებების მქონე კალიანი ბრინჯაო. კერძოდ, ფართოდ არის ცნობილი კალაფოსფორიანი ბრინჯაო Бр0101Ф1 (გამოიყენება, როცა $(p \cdot V)_p < 15$ მპა.მ/წმ). კალიანი ბრინჯაოს ნაკლად ჩაითვლება ის, რომ შეიცავს კალას მნიშვნელოვანი რაოდენობით, რაც ზრდის მის თვითღირებულებას. ამასთან, კალიანი ბრინჯაო მექანიკური მაჩვენებლებით ჩამოუვარდება ბრინჯაოს მოგიერთ სახეს, მაგალითად, ტყვიანსა და ალუმინიანს.

დიდი ნიშანცვლადი და დინამიკური დატვირთვების შემთხვევაში, კერძოდ, შიგაწვის ძრავის, ღგუშიანი კომპრესორების, ტუმბოების სრიალის საკისრებისათვის იყენებენ ტყვიან ბრინჯაოს - БрС30 (გამოიყენება, როცა $(p \cdot V) < 30$ მპა. მ/წმ). ამ სახის ბრინჯაოს უპირატესობაა დარტყმითი სიბლანტის მაღალი მაჩვენებელი. ნაკლად ითვლება ის, რომ მოგიერთი დაქანგული მეთი იწვევს მის კოროზიას. აგრეთვე ტყვიანი ბრინჯაოს საღებო მეტ მოთხოვნებს უყენებს საგაცის ზედაპირულ სისაღეს – აუცილებელს ხდის საგაცის წრობას. წინააღმდეგ შემთხვევაში ინტენსიურად ცვდება ლილვის საგაცი. ტყვიის შემცველობის გაზრდა (შესაძლებელია 35 %-მდე) ამცირებს ცვეთას.

ფართოდაა ცნობილი და აგრეთვე გამოიყენება კალათუთიატყვიანი ბრინჯაოები - Бр04С4С17 და Бр04С7С5 (გამოიყენება, როცა $(p \cdot V)_p < 15$ მპა.მ/წმ).

ბაბიტი შეიქმნა გასული საუკუნის 40-იან წლებში ამერიკელი გამომგონებლის ი. ბაბიტის მიერ. ბაბიტები მაღალხარისხოვანი შენადნობებია, რომლებიც შეიძლება ძლიერ განსხვავდებოდნენ ერთმანეთისაგან თავისი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით და ქიმიური შემადგენლობით. მაგრამ ყველა მათგანს აერთებს ის თვისება, რომ მათი საფუძველი, შემდგომია რბილი მასალები – ტყვია ან კალა. ხოლო მკვრივ, ჩანართ მარცვლებად იყენებენ სტიბიუმს, ტუტე ლითონებს, სპილენძს და სხვა მასალებს. შედეგად რბილი საფუძველი უზრუნველყოფს კარგ მიმუშავების უნარს, ხოლო მკვრივი - ცვეთამდებობას.

ბაბიტები ხასიათდებიან უფრო მაღალი ანგიფრიქციული თვისებებით, ვიდრე სხვა ანგიფრიქციული შენადნობები, მაგრამ აქვთ დაბალი მექანიკური სიმტკიცე, ვიდრე თუჯს, სპილენძს. ბაბიტები გამოიყენა საღებების მუშა ზედაპირების თხელი ფენით

დაფარვისათვის, რათა თავიდან იქნეს აცილებული განსაკუთრებით მანქანის გაშვების და გაჩერებების დროს კვანძის, კონგრესხეულის ინტენსიური ცვეთა და ამოგლეჯვები.

ბაბიგოვანი ზედაპირები, განსაკუთრებით, კალის დიდი შემცველობით იწვევენ სატაცის მხოლოდ მცირე ცვეთას და ნაკლებად მგრძნობიარენი არიან უკანასკნელის ზედაპირული სისალის და სიმქისის მიმართ.

აღნიშნული თვისებების გამო ბაბიგების გამოყენების სფეროებია:

დიდი ნორმალური დატვირთვისა და მაღალი სიჩქარის სრიალის საკისრები შიგაწვის და დიდი სიმძლავრის (750 კვტ) ელექტროძრავებისათვის, ორთქლის ტურბინებისათვის, როცა $(p \cdot V)_p < 25 \dots 35$ მპა. მ/წმ (ბაბიგები კალის დიდი შემცველობით - Б83, Б89, БН).

ასევე დიდი დატვირთვის კომპრესორების, ცენტრიდანული ტუმბოების, ელექტროძრავების, რელუქტორების, ჯალამბრების, ბურთულებიანი წისქვილების და მღოვრე დატვირთვების მქონე მანქანების სრიალის საკისრები, როცა $(p \cdot V)_p < 5 \dots 10$ მპა. მ/წმ (ბაბიგები კალისა და ტყვიის შემცველობით - Б16, Б6).

ვაგონების ბუქსები, საგლინი ღვანები და ლითონმჭრელი ჩარხების სრიალის საკისრები, როცა $(p \cdot V)_p < 6$ მპა. მ/წმ-ზე (უკალო ბაბიგები - БК2, БК).

თუთიანი შენადნობები. საკმაოდ ხშირად გამოიყენება სახალხო მეურნეობაში თუთია- ალუმინ-სპილენძის შენადნობები ЦАМ10-5 (10% ალუმინი, 5% სპილენძი, დანარჩენი თუთია) და ЦАМ10-1,5, რომლებიც ხასიათდებიან საკმაოდ მაღალი ანტიფრიქციული თვისებებით. თავისი ეკონომიკურ-ტექნოლოგიური თვისებების გამო მათ Б 16 ტიპის ბაბიგებისა და ბრინჯაოს მაგივრად იყენებენ.

უარყოფითი მხარეა - ცუდი მიმუშავების უნარი, დაბალი დასაშვები მუშა ტემპერატურა (80°C), შედარებით მაღალი ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი.

ალუმინიანი შენადნობები. ცნობილია შენადნობი АСМ (3,5...4,5% სიბიუმი, 0,3...0,7% სპილენძი, დანარჩენი ალუმინი). გამოიყენება БpC30 შემცველად გრაქტორის ძრავებში. მგრძნობიარეა ზეთის გაჭუჭყიანებისადმი, აქვს მაღალი ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი.

სხვებთან ერთად პერსპექტიულ ანტიფრიქციულ მასალადაა მიჩნეული ალუმინიან-კალიანი შენადნობები, რომლებიც ხასიათდებიან კარგი ანტიფრიქციული თვისებებით. ცნობილია ამ ჯგუფის შენადნობების ტიპები: А09-1 (9%-კალა, 1%- სპილენძი, დანარჩენი ალუმინი), А09-2, А020-1. მათ წარმატებით იყენებენ მძიმე გრაქტორების, თბომავლების

და გემების შიგაწვის ძრავების სრიალის საკისრებში, ამასთან, აქვთ უნარი შეზღუდული შეზღუდვის პირობებში კონტრსხეულზე წარმოქმნან დამცავი, სერვოვიტული აფსკი კალისაგან, რაც, თავის მხრივ, დადებითი გრადიენტის წინაპირობაა.

თითბარი წარმოადგენს სპილენძისა და თუთიის ბაზაზე სხვა მალეგირებელი ელემენტების დამატებით შექმნილ შენადნობს. თითბერს ზოგჯერ იყენებენ ბრინჯაოს შემცველად, მაგრამ ანტიფრიქციული თვისებებით და სიმკვრივით მნიშვნელოვნად ჩამოუვარდება მას. ამიტომ იგი კალიანი ბრინჯაოს მაგივრად შეიძლება გამოვიყენოთ მცირე და საშუალო სრიალის სიჩქარეების დროს, როცა $(p \cdot V)_p < 10$ მპა. მ/წმ, მაგალითად, გრანსპორტიორებზე, როლგანგებზე, კონვეიერებზე, მსხვრევეარებზე, ამწეებზე.

9.2. ანტიფრიქციული თუჯი

ანტიფრიქციული თუჯი გამოიყენება საშუალოდ დატვირთული (დარტყმების გარეშე) ნელა მავალი სრიალის საკისრებისათვის. ანტიფრიქციული თუჯის სადებიანი სრიალის საკისრების ხანგამძლეობის უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია ზოგიერთი სპეციალური ტექნიკური ღონისძიების გატარება, რომელთა შორის შეიძლება გამოიყოს:

- ტექნიკურ-კონსტრუქციული ღონისძიებანი, რომლებიც თითქმის მთლიანად გამორიცხავენ გადაცერებას;
- ღრეზოს გადიდება ბრინჯაოს სადებების გამოყენებასთან შედარებით 15...30%-ით საშუალო ტემპერატურული რეჟიმის დროს;
- თანმიმდევრული მიმუშავება ხანგრძლივი პერიოდის მანძილზე;
- ხარისხოვანი შემზეთი მასალის განუწყვეტელი მიწოდება;
- მოხახუნე წყვილი უნდა შეირჩეს იმგვარად, რომ ლილვის სატაცის სისალის მაჩვენებელი მეტი უნდა იყოს საკისრის სადებზე 20...40 HB-ით.

ანტიფრიქციული თუჯის უმთავრესი დადებითი თვისებაა მისი მცირე თვითღირებულება.

სრიალის საკისრებში გამოიყენება შემდეგი მარკის ანტიფრიქციული თუჯები: A4C1, A4C2, A4C3, A4C4, A4C5, A4C5, A4C6.

9.3. ლითონკერამიკული (ფხენილოვანი) მასალები

ლითონკერამიკული მასალების საფუძველი უმრავლეს შემთხვევაში არის რკინის ან სპილენძის ფხენილი. სრიალის საკისრების სადებებს და მილისებს ამზადებენ ან სუფთა ლითონის ფხენილისაგან, ან ფხენილისა და მისართისაგან (კალა, გრაფიტი და სხვ.). ამასთან, ტექნოლოგია ხორციელდება შემდეგი პარამეტრებით: დაწნევის ხვედრითი წნევა $p=700$ მპა, შეცხოვის ტემპერატურა $850-1100^{\circ}\text{C}$. ასეთი ტექნოლოგიით დამზადებული დეტალების ფორიანობა საწყისი ფხენილის დანამცეცების და ტექნოლოგიური პარამეტრების მიხედვით იცვლება ზღვრებში 15...35%. ბუნებრივია, დეტალის ფორიანობის მომატებით მცირდება მექანიკური სიმტკიცე. შესაბამისად გათვალისწინებული უნდა იქნეს ის, რომ იქ, სადაც არის დარღვევითი დატვირთვები, ფორიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 20%. ამასთან, არაა მიზანშეწონილი ასეთი დეტალების მექანიკური გზით გაჩარხვა ფორების ამოქოლვის საშიშროების გამო, დასაშვებია მხოლოდ დაკალიბრება. შემდგომ ეტაპზე ხდება მზა დეტალების კონსისტენცური თუ თხევადი შემზეთი მასალებით გაჟღინთვა (ხშირად სრიალის საკისარს აკომპლექტებენ საზეთი პაგრუქით). მილისას კორპუსში ჭექით ათავსებენ, რაც იწვევს შიგა დიამეტრის ჭექის 0,6...0,9 ნაწილით შემცირებას.

ლითონკერამიკული მილისებრი ან სადებები გამოიყენება გრანსპორტიორების, გუმბოების, როლგანგების, სოფლის მეურნეობის და სხვა მანქანების ისეთ სრიალის საკისრებში, სადაც შემზეთი მასალის მიწოდება გაძნელებულია.

ბრინჯაოგრაფიტოვანი საკისრებისათვის (9...10% - კალა, 1...4% - გრაფიტი, დანარჩენი სპილენძი), როცა ფორიანობა 20...25%-ია, დასაშვებია წნევა სხვადასხვა სრიალის სიჩქარეებისათვის შემდეგია:

$$V, \text{ მ/წმ } \dots 0,1 \quad 0,5 \quad 1,0 \quad 2 \quad 3 \quad 4,$$

$$p, \text{ მპა } \dots 15 \quad 6 \quad 5 \quad 4 \quad 3 \quad 1,$$

ხოლო იმავე ფორიანობის რკინაგრაფიტოვანი (1...3% გრაფიტი, დანარჩენი რკინა) საკისრებისათვის:

$$V, \text{ მ/წმ } \dots 0,1 \quad 0,5 \quad 1,0 \quad 2 \quad 3 \quad 4,$$

$$p, \text{ მპა } \dots 20 \quad 7 \quad 6,5 \quad 5,5 \quad 3,5 \quad 0,8.$$

9.4. სინთეტიკური პლასტმასები (პოლიმერები)

სინთეტიკური პლასტმასებიდან გრიბოლოგიურ სისტემებში ყველაზე ფართოდაა გავრცელებული თერმოპლასტები, მათ შორის, სხვადასხვა მარკის პოლიამიდები, პოლიაცეტალები, პოლიკარბონატები და სხვა მასალები. მათთვის ზოგადად დამახასიათებელია ისეთ თვისებათა ერთობლიობა, როგორიცაა:

- მცირე სიმკვრივესთან ერთად მაღალი მექანიკური სიმტკიცე;
- კარგი ანტიფრიქციული თვისებები;
- შეზღუდული შეშეთვის პირობებში მედეგობა ამოგლეჯვებისათვის;
- გამხსნელებისადმი და აგრესიული აგენტებისათვის მაღალი ქიმიური მედეგობა;
- წყლის შემზეთ მასალად გამოყენების შესაძლებლობა;
- კარგი დემპფირების უნარი და მაღალი სიმტკიცე დატვირთვებისადმი;
- მაღალი ელასტიურობის მაჩვენებელი;
- აბრაზიულ გარემოში მუშაობის კარგი უნარი.

მნიშვნელოვან უპირატესობად ითვლება ის გარემოებაც, რომ დიდი უმრავლესობა ანტიფრიქციული სინთეტიკური პლასტმასებისა, მათ შორის, ძირითადი ჯგუფი - თერმოპლასტები გადამუშავდებიან ნაკეთობად კონსტრუქციული მასალებისათვის ყველაზე პროგრესული ტექნოლოგიური მეთოდებით: წნევითი ჩამოსხმით, ექსტრუზიით, ცენტრიდანული ჩამოსხმით. გარდა ამისა, ისინი კარგად მუშავდებიან მექანიკურად, უმრავლესობა კარგად დუღდება და წებდება.

სრიალის საკისრები ან ზოგადად გრიბოლოგიური სისტემები ანტიფრიქციული პოლიმერული სადებებით განსაკუთრებით ეფექტურად გამოიყენებიან შეშეთვის გარეშე და შეზღუდული შეშეთვის პირობებში. ამიგომ მოხახუნე მადაპირების დამზადება ზემოთ აღნიშნული მასალებისაგან განსაკუთრებით მიზანშეწონილია იქ, სადაც შეშეთვა დაუშვებელია ამა თუ იმ ნორმებით (კვებისა და მსუბუქი მრეწველობის დანადგარების გრიბოსისტემები) და როცა შეშეთვა გაძნელებულია ან გარემო აბრაზიულია (სამშენებლო და საგზაო მანქანები).

ლითონებისა და მისი შენადნობებისაგან განსხვავებით, ანტიფრიქციული თერმოპლასტები და სხვა პოლიმერული მასალები ხასიათდებიან სპეციფიკური მაჩვენებლებით, რომლებიც რიგ შემთხვევაში ფასდება როგორც უარყოფითი თვისებები:

- დაბალი ღრეკადობის მოდულით;

- მაღალი ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტით;
- ლითონებთან შედარებით მეტად დაბალი თბოგამტარობის კოეფიციენტით;
- ჰიგროსკოპულობით;
- დეგალის დამზადების პროცესში ჩაჯდომის ხარისხის არასტაბილურობით;
- ნაკლები დატვირთვის უნარით.

საერთო, ყოველმხრივი ანალიზის საფუძველზე ანტიფრიქციული სინთეტიკური პლასტმასები ხასიათდებიან როგორც სრულფასოვანი და პერსპექტიული სასაკისრე მასალები. შესაბამისად, პლასტმასები სულ ახალ-ახალ პოზიციებს იკავებენ მანქანათმშენებლობაში - მათი ფართო გამოყენება სახალხო მეურნეობაში ხელს უწყობს მანქანა-დანადგარების ტექნიკური სრულყოფისა და ეკონომიურობის ამაღლებას, როგორც დამზადების, ისე ექსპლუატაციის პროცესში.

პლასტმასის სასაკისრე მასალების საბაზო პოლიმერებია: პოლიამიდები, პოლიაცეტალები, პოლიეტერათორეთილენი, პოლიკარბონატები. შესაბამისად, მათ ბაზაზე შექმნილი მრავალი სასაკისრე მასალა, კომპოზიცია ფართოდ გამოიყენება მანქანათმშენებლობაში.

პოლიამიდები გამოშვებული ნომენკლატურისა და მოცულობის მიხედვით დღეისათვის ყველაზე გავრცელებული ანტიფრიქციული თერმოპლასტიკური მასალებია.

პოლიამიდების უმნიშვნელოვანესი დადებითი თვისებებია მცირე ხახუნის კოეფიციენტი და მაღალი ცვეთამდეგობა. განსაკუთრებით ხელშესახებია ეს უპირატესობა ლითონურ შენადნობებთან შედარებით მშრალი ხახუნის დროს, როცა ისინი ზოგჯერ 10-ჯერ აჭარბებენ ბრინჯაოს ცვეთამდეგობას. გრიბოლოგიურ სისტემაში შემშეთი მასალის შეგანით ეს უპირატესობა მცირდება, თუმცა პოლიამიდები შემეთვის პირობებშიც ინარჩუნებენ უპირატესობას ამ მაჩვენებლის მიხედვით.

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ეკონომიურ სივრცეში ყველაზე გავრცელებული პოლიამიდებია: პოლიამიდ 6 (სამომხმარებლო მარკები – ПА6-210; ПА6-211) და პოლიამიდ 66 (ПА66).

განსხვავებული გავრცელების სფეროები აქვთ ბლოკურ პოლიამიდ 6-ს (კაპროლონ V) და ბლოკურ პოლიამიდ 12-ს (დეკლონი). ისინი ნაკეთობად გადამუშავდებიან მხოლოდ მექანიკური დამუშავების გზით, რაც დეგალების მცირე რაოდენობით საჭიროების დროს და მსხვილგაბარიტიანი ნაკეთობის დამზადებისათვის ფრიად მოხერხებული მეთოდია (ნაკეთობის დამზადება ტექნოლოგიური მოწყობილობის გარეშე);

პოლიამიდების გემოაღნიშნული ტიპებისათვის დამახასიათებელია ტენის შთანთქმის მაღალი მაჩვენებელი, რასაც, როგორც ცნობილია, თან სდევს ხაზობრივი მომების შეცვლა. უკანასკნელი განსაკუთრებით საშიში მოვლენაა მოხახუნე შეუღლებული გელაპირებისათვის, როცა შესაძლებელია საგარანტიო ღრეჩოს გაქრობა. უკანასკნელი კვანძის მუშაობის უნარის დაკარგვას იწვევს.

რაც შეეხება პოლიამიდებს 11, 12, 6.10, ისინი ნაკლებად მგრძნობიარენი არიან ნესტისადმი, რაც მათ დიდ უპირატესობას აძლევს გემოხსენებული ჯგუფის მიმართ. მაგრამ პოლიამიდების ეს ჯგუფი რამდენიმეჯერ უფრო ძვირია, ვიდრე პოლიამიდ 6, ამასთან, დამზადებისათვის საჭიროებს დეფიციტურ ნედლეულს.

პოლიამიდები, ისევე როგორც სხვა ანტიფრიქციული თერმოპლასტები, ადვილად ეგუებიან აბრაზიულ გარემოს. ამასთან, საჭიროა აღინიშნოს, რომ მათ შორის საუკეთესო მაჩვენებლით ამ საკითხში ხასიათდება პოლიამიდ 6.

პოლიამიდები ბევრად ნაკლებად ცვეთავენ ლილვის საგაცს, ვიდრე ფერადი შენადნობები. გამონაკლისი მხოლოდ ის პოლიამიდებია, რომელთაც მისართად მინის ბოჭკოები აქვთ გამოყენებული.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების ნაადრევად მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზი უმრავლეს შემთხვევაში ხახუნის მონაში გემპერაგურის გადაჭარბებაა. შედეგად მოხახუნე გელაპირი ერთ შემთხვევაში ნახშირდება (თერმორეაქტიული მასალა), ხოლო მეორე შემთხვევაში ღნება (თემოპლასტიკური მასალა). ორივე შემთხვევაში მუშა მდგომარეობას ინარჩუნებს მეორე მოხახუნე გელაპირი – კონგრესხეული (ლილვის საგაცი), რაც, ბუნებრივია, ამარტივებს კვანძის გარემონტების საკითხს. ეს მომენტი პლასტმასოვანი საკისრების მნიშვნელოვანი უპირატესობაა ლითონურთან შედარებით.

პოლიმერული მასალების სპეციფიკური მხარე და მასთან ერთად ნაკლია ის, რომ გემპერაგურის მომაგება აუარესებს როგორც მექანიკურ მაჩვენებლებს, ისე ხახუნის კოეფიციენტსა და ხვედრით ცვეთამდეგობას.

ამ მიზეზის გამო სასაკისრე პოლიმერული მასალების მაჩვენებლების გაუმჯობესების გზაზე მონიშნულია სამი მთავარი მიმართულება:

პირველი – ხახუნის კოეფიციენტის შემცირება;

მეორე – თბოგამტარობის კოეფიციენტის გადიდება;

მესამე – სიმტკიცის მექანიკური მაჩვენებლების გადიდება.

სრიალის საკისრების პლასტმასოვანი სადებების ამა თუ იმ საექსპლუატაციო თვისებების გაუმჯობესებისათვის საბაზო ნედლეულს უმატებენ სხვადასხვა სახის

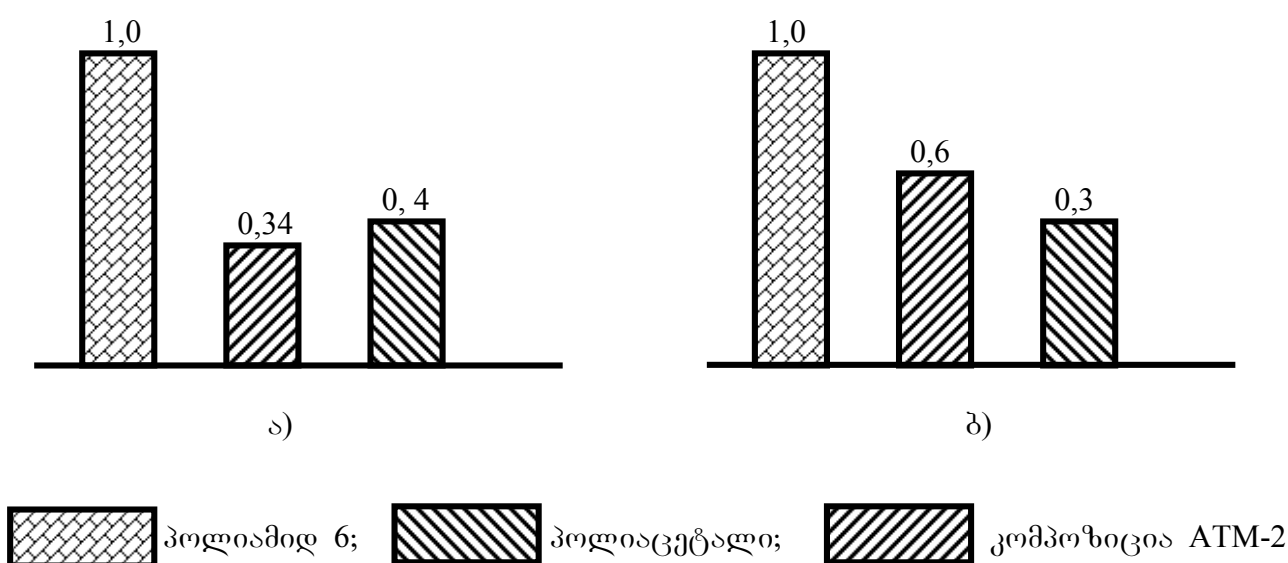
მისართებს. მაგალითად, ძირითადი ანტიფორიქციული მაჩვენებლების (ცვეთამდეგობის, ხახუნის კოეფიციენტის) ამაღლებისათვის გამოიყენება გრაფიტი, მოლიბდენის დისულფიდი, გალკი; სიმტკიცის მაჩვენებლებისათვის - მინის ბოჭკო; ხოლო თბოგამტარობის გადიდებისათვის - ლითონური ფხვნილები, მინის და ნახშირის ბოჭკოები.

პოლიამიდების გადამუშავება ნაკეთობად ხდება ყველაზე პროგრესული მეთოდებით: წნევითი ჩამოსხმით, ექსტრუზიით, გაფრქვევით და ცენტრიდანული ჩამოსხმით.

პოლიამიდურ საღებებიანი საკისრებისათვის შეზღუდული შემეტვის პირობებში $(p \cdot V)$ პარამეტრის ზღვრული მნიშვნელობაა $(p \cdot V)_p = 0,08$ მპა.მ/წმ.

პოლიაცეტალები (პოლივორომალდეჰიდები) მოთეთრო-მოყვითალო ფერის თერმოპლასტიკური ანტიფორიქციული პოლიმერებია. საბჭოთა კავშირის ეკონომიკურ სივრცეში ძირითადად ცნობილი იყო პოლიაცეტალის ორი მარკა: $C\Phi D$ და CTD , რომლებიც საექსპლუატაციო თვისებებით ცოტა განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან.

პოლიაცეტალები ითვლებიან ერთ-ერთ საუკეთესო ანტიფორიქციულ მასალებად. გამოირჩევიან ზომების სტაბილურობით, ნაკლებად აქვთ გამოხატული ცივდენადობის მოვლენა, აქვთ მაღალი სიმტკიცის მაჩვენებლები, მათ შორის, კონტაქტურ დაბეჭდვებზე და ბოლოს, გამოირჩევიან შედარებით მაღალი ცვეთამდეგობით და დაბალი ხახუნის კოეფიციენტით (ნახ. 9.1).



ნაკლოვანი მხარეა პოლიაცეგალების ცუდად მუშაობა აბრაზიულ გარემოში პოლიამიდებთან შედარებით.

პოლიაცეგალები დეგალებად გადამუშავდებიან წნევით ჩამოსხმით და ექსტრუზიით (გადამუშავების პროცესი პოლიამიდებთან შედარებით გარკვეული სირთულით ხასიათდება).

პოლიაცეგალების სადებებისათვის შემზღუდული შეზღუდვის პირობებში პარამეტრი $(p \cdot V)_p = 0,1 \text{ მპა} \cdot \text{მ/წმ}$.

პოლიტეტრაფთორეთილენი (ფთოროპლასტი 4). ამ სახელის მაგარებელი სინთეტიკური პოლიმერი სუფთა სახით ხასიათდება ყველაზე დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი (0,04...0,06) და უაღრესად მაღალი ქიმიური მედეგობით გამხსნელებისადმი, რის გამოც მას „პლასტმასების ოქროსაც“ უწოდებენ. გარდა ამისა, ფთოროპლასტი 4 (პოლიტეტრაფთორეთილენის ყველაზე გავრცელებული მარკაა) გამოირჩევა დიდი მუშა ტემპერატურული დიაპაზონით $-200...+300^\circ \text{C}$.

ფთოროპლასტებისათვის დამახასიათებელია ცივდენადობის მავნე მოვლენა, ამასთან, ყველაზე გამოკვეთილად. ამ ნაკლის აღმოფხვრა პრაქტიკაში წარმატებით წყდება საბაზო მასალაზე მისართების დამატებით. საინჟინრო პრაქტიკით დამტკიცებულია, რომ ფთოროპლასტებზე სხვადასხვა მისართების დამატებით სადების ხანგამძლეობა შეიძლება 3-4-ჯერ გაიზარდოს. მისართების გვარობის და ხვედრითი წილის მიხედვით იცვლება ფთოროპლასტების როგორც ფიზიკურ-მექანიკური, თერმოდეფორმაციული, თბოფიზიკური, ისე ტექნოლოგიური თვისებებიც. ლითონური მისართებიდან პრაქტიკაში იყენებენ სპილენძის, ბრინჯაოს, რკინის, კალის, ტყვიის ფხვნილებს, აგრეთვე ისეთ არაორგანულ ნაერთებს, როგორიცაა მინა, ლითონების მარილები და ოქსიდები, კოქსი და სხვ. ფთოროპლასტების მისართებად ფართოდ იყენებენ ანტიფრიქციულ მისართებს – გრაფიტს, ტალკს, მოლიბდენის დისულფიდს. იყენებენ აგრეთვე სხვადასხვა სახის ბოჭკოებს, ანტიფრიქციულ (პოლიამიდებს) და ჩვეულებრივ პოლიმერებს (პოლილეთილენებს – პოლიეთილენებს).

ფთოროპლასტი 4-ის გადამუშავება წარმოებს შეცხოების მეთოდით. უკანასკნელი გამოირიცხავს რთული კონფიგურაციის დეგალების დამზადებას აღნიშნული მეთოდით და რთული კონფიგურაციის დეგალების დამზადება შესაძლებელია მხოლოდ მექანიკური დამუშავების გზით (მექანიკურად იგი კარგად მუშავდება).

სუფთა ფთოროპლასტი 4-ისათვის $(p \cdot V)$ პარამეტრი არ აღემატება $0,03 \text{ მპა} \cdot \text{მ/წმ-ს}$. მისართების დამატებით $(p \cdot V)_p$ პარამეტრი შეიძლება 10-ჯერ გაიზარდოს.

ფთოროპლასტ 4-ის სადებების დაგვირთვის უნარის მკვეთრი გაზრდა შესაძლებელია აგრეთვე ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტილების გამოყენებით, რომელიც გამორიცხავს მასის ცივად გადინების შესაძლებლობას ე.ი. ე.წ. „საკეტიანი“ კონსტრუქციის გამოყენებით.

ცნობილია, აგრეთვე ფთოროპლასტ 4-ის გამოყენება ისეთი სახით, როცა დაწნეხილი და შემდეგ შეცხობილი ფხვნილოვანი ბრინჯაოს სადები „იჟღინთება“ ფთოროპლასტ 4-ით. შედეგად აღმოიფხვრება ფთოროპლასტ 4-ის ნაკლოვანი მხარე (ცივი დენადობა) და გამოიყენება საუკეთესო თვისებები (დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი, ქიმიური მედეგობა). მაგრამ ასეთი ტექნოლოგიით სადების დამზადება დაკავშირებულია გარკვეულ ტექნოლოგიურ სირთულეებთან და ამიტომ პრაქტიკაში ფართოდ არ გამოიყენება.

პოლიკარბონატი (დიფლონი) გამჭვირვალე მოყავისფრო ფერის კონსტრუქციული, ანტიფრიქციული თერმოპლასტია. ახასიათებს მაღალი მექანიკური მაჩვენებლები, პოლიამიდებთან შედარებით აქვთ ნაკლები ტენიის შთანთქმის უნარი, ხასიათდება ქიმიური მედეგობით ზეთების, ბენზინის სუსტი მჟავების მიმართ, მაგრამ იხსნება ტუტეებში.

პოლიკარბონატი გადამუშავდება წნევითი ჩამოსხმით, ექსტრუზიით და დაწნხით.

პოლიკარბონატის სადებისათვის პარამეტრი $(p \cdot V)_p = 0,08 \text{ მპა} \cdot \text{მ/წმ}$

9.5. სხვა არალითონური მასალები

ხმ. სრიალის საკისრების სადებების ხის მასალისაგან დამზადებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ისეთი ჯიშები, როგორიცაა: ბზა, რცხილა, წიფელი და სხვ. ბოლო პერიოდში მეტი გავრცელება პოვა პლასტიფიცირებულმა ხის მასალებმა (ლიგნოფოლი). პლასტიფიცირების არსი მდგომარეობს ხის ძელაკების პოლიმერული ფისებით გაჟღენთვაში.

გრიბოლოგიურ სისტემებში ხის მასალების გამოყენების ძირითადი სფეროა მცირე სიჩქარეების საკისრები. განსაკუთრებით ეფექტურია მათი გამოყენება რევერსული მოძრაობის დროს, როცა არ არის ჰიდროდინამიკური შეზღუდვის განხორციელების პირობები. ხის სადებებიანი საკისრების სპეციფიკურობა გამოიხატება წყლის შემგუთ საშუალებად ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობაში. დასაშვები

ხვედრითი წნევა ხის მასალებისათვის $p_p = 10$ მპა, ხოლო დასაშვები სრიალის სიჩქარე $V = 1$ მ/წმ.

მმრქანშმრეშული პლასტიკატები გამოიყენება ჰიდროტურბინების, წყლის ცენტრალური მოქმედების ტუმბოების, მგლინავი დგანები სრიალის საკისრების სადებებად. ამზადებენ სხვადასხვა ტიპის მერქანშერეულ პლასტიკებს, რომელთა შორის განსხვავება ბოჭკოების ერთმანეთის მიმართ ორიენტირებაშია.

$p \cdot V$ პარამეტრის მაქსიმალური მნიშვნელობა წყლით შეშეთვის პირობებში $(p \cdot V)_p = 35$ მპა·მ/წმ. მინერალური შეშეთით შეშეთვის დროს დატვირთვის უნარი რამდენიმეჯერ უფრო ნაკლებია ვიდრე წყლით შეშეთვის დროს.

რეზინი გამოიყენება ჰიდროტურბინების, წყლის ტუმბოების, ტურბობურღების იმ სრიალის საკისრების სადებების პირნაკეთობად, რომელთა შეშეთვა ხორციელდება წყლის მეშვეობით. ასეთი სადებების ძირითადი სპეციფიკური ნიშანია მათი ნაკლებად მგრძნობიარობა ლილვის რხევებისადმი (ასრულებენ მადემპჟერებელ ფუნქციებს) და გადაცერებისადმი. კარგად ეგუებიან გაჭუჭყიანებულ წყალს.

მორეზინებული სადებები სწრაფად კარგავენ მუშაობის უნარს შემშეთ-გამაცივებელი საშუალების (წყლის) მიწოდების ხანმოკლე შეწყვეტის დროსაც. ექსპლუატაციის აღნიშნულ პირობებში ხდება რეზინის ლილვზე შეწებება. მორეზინებული სადებები ფრიალ მგრძნობიარენი არიან ტემპერატურის მიმართაც - $65-70^{\circ}C$ ტემპერატურაზე მკვეთრად ეცემა საკისრის დატვირთვის უნარიანობა. მაქსიმალური ხვედრითი დატვირთვის უნარია 2...6 მპა.

საინჟინრო პრაქტიკაში ცნობილია რეზინის შემცველი პოლიმერული მასალა - გულკოლანი, რომელსაც დაახლოებით ისეთივე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები აქვს, როგორც მკვერთ რეზინს.

ბრაზიტი ყველაზე ეფექტიანად გამოიყენება ქიმიური მრეწველობის საწარმოებში, იქ, სადაც დიდ მოთხოვნილებებია თბომდეგობის და ქიმიური მედეგობისადმი.

გრაფიტის სადებები ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შეუცვლელად მუშაობენ ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში ($100...600^{\circ}C$). ისინი ინერტულნი არიან მჟავა და ტუტე გარემოში, აქვთ დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი (0,15).

გრაფიტის სადების ძირითადი ნაკლი მის სიმყიფესა და მცირე მექანიკურ სიმტკიცეშია. დასაშვები ხვედრითი დაწნევა გრაფიტის სადებიან საკისრებისათვის $p_p = 1,5$ მპა. გრაფიტოვანი საკისრების ზიდვის უნარის გამზღისათვის საინჟინრო

პრაქტიკაში მიღებულია სადების ფორების ანტიფორიციული ლითონებითა და შენადნობებით (ცყვია, ბაბიგი და სხვ.) გაქლენთვა. ასეთი კომპოზიციებით დამზადებული სადებები გამოიყენება მცირე რადიალური დაგვირთვის, მაგრამ სწრაფმავალ გრიბოლოგიურ სისტემებში. მაგ., სახეხი დანადგარების შპინდელელებში, სადაც უმცირესი ღრეხოს შემთხვევაში ჰაერით შემთვება გათვალისწინებული.

გრაფიტისა და პლასტმასების სხვადასხვა კომპოზიციებით მიიღება რიგი შესანიშნავი ანტიფორიციული თვისებების მქონე სასაკისრე მასალები. მაგ., გრაფიტისა და ფენოლ-ფორმალდეჰიდური ფისის შერწყმით მიღებულია თერმორეაქტიული მასალა – გრაფიტირებული ტექსტოლიტი – ATM-1. იგი გამოიყენება შენაკრები სრიალის საკისრების სადებების და ზოგიერთი სახის მუშგა და კბილანური შემთვის შემთხვევაში.

ისევე, როგორც ყველა თერმორეაქტიული მასალისათვის, ATM-1-ის ნაკლია დეტალების დამზადების ნაკლები ტექნოლოგიურობა. სწორედ ამ მიზეზის გამოა თერმორეაქტიული მასალების გამოყენება პრაქტიკაში შემლდული. თუმცა იქ, სადაც არსებობს გამრდელი მოთხოვნები თერმული მედეგობის, ზომების სტაბილურობისა და სიხისტისადმი, გრაფიტირებული ტექსტოლიტები წამყვან პოზიციებსაც კი ინარჩუნებენ. ისინი გამოიყენება ქიმიურ და მეგალურგიულ მანქანათმშენებლობაში, აგრეთვე, რკინიგზისა და წყლის გრანსპორტზე.

ქ. გომელის ლითონპოლიმერული სისტემების ინსტიტუტში შექმნილია თვითმეთვადი მაღალტემპერატურული თბომედეგი ტექსტოლიტი, რომელიც მზადდება გრაფიტირებული, მოსპილენძებული ქსოვილისა და თბომედეგი ფურანის ფისისაგან მედაპირულად აქტიურ ნივთიერებათა დამატებით. ამ მასალისაგან დამზადებული სრიალის საკისრების სადებების ექსპლუატაციის პროცესში შეინიშნება ლილვის სატაცზე სპილენძის ნაწილაკების შერჩევითი გადატანის ეფექტის ფრიალ კეთილი გავლენა.

გრაფიტი ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია ისეთი საკმაოდ ფართოდ ცნობილი თერმოპლასტიკური მასალებისათვის, როგორიცაა ATM-2 (მეორადი პოლიამიდი 6 + გრაფიტი + თერმოანტრაციტი) და ATM-2A (მეორადი პოლიამიდი 66 + გრაფიტი + თერმოანტრაციტი).

გრაფიტის მეოხებით ამ მასალების თბოგამტარობა (0,80 ვგ/მ.კ) დაახლოებით 2,7-ჯერ მეტია საბაზო პოლიმერის შესაბამის მაჩვენებელთან შედარებით (0,29 ვგ/მ.კ).

ATM-2 და ATM-2A წარმატებით გამოიყენება საფეიქრო და ლითონსაჭრელი ჩარხების გრიბოლოგიურ სისტემებში.

გრაფიტი ერთ-ერთი საუკეთესო მისართია ყველა სასაკისრე მასალისათვის. გრაფიტის დამატებით პლასტმასების თბოგამტარობა შეიძლება გაიზარდოს 1,0 ვტ/მ.კ-მდე.

სუფთა გრაფიტოვანი სრიალის საკისრების სადებები მზადდება გრაფიტის ფხვნილისაგან დაწნეხის მეთოდით.

9.6. თვითმეთვალი ანტიფრიქციული თბომედეგი პოლიმერული კომპოზიციები

გემოთ განხილული ძირითადი ანტიფრიქციული პოლიმერული მასალები ხასიათდებიან დაბალი დასაშვები მუშა ტემპერატურით (გამონაკლისია მხოლოდ პოლიტეტრაფთორეთილენი – ფთოროპლასტ 4). ამასთან, ხანმოკლე ტემპერატურული გადაცვირთვა პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის კატასტროფულია. განსახილველი ტიპის ანტიფრიქციული მასალების ჯგუფს ეს ნაკლი არ ახასიათებს. უკანასკნელ ათწლეულებში შექმნილი ეს ანტიფრიქციული პოლიმერული კომპოზიციები პოლიაკრილატების საფუძველზე ხასიათდებიან მაღალი თბომედეგობით ($200...300^{\circ}\text{C}$) და დაბალი ხახუნის კოეფიციენტით (0,05...0,12). შექმნილია ახალი ტიპის მასალების მთელი გაბა, რომელთა შორის ცნობილია: ესტერან-1, ესტერან-2, ესტერან-21, ესტერან-29, ესტერან-33, ესტერან-35, ესტერან-51, ტესან-2, ტესან-6, ტესან-30, ვილან-9, ვილან-20, პოლიარ-2 და ა. შ.

მოვიყვანოთ ამ ჯგუფის მასალების ზოგიერთი მონაცემი:

ცხრილი 9.1

მახასიათებლები	ესტერან-21	ვილან-9	ტესან-2
სიმკვრივე, ρ , კგ/მ ³	3100	2800	3000
მაქსიმალური მუშა ტემპერატურა, $^{\circ}\text{C}$	200	300	250
ზღვრული ძაბვა კუმშვაზე, σ_b , მპა	80	175	80
სისაღე (HB)	230	250	210
ხახუნის კოეფიციენტი	0,08	0,08	–
დარტყმითი სიბლანტე, კ/ჯოული/მ ²	3,0	1,5	7,0

გემოთ მოყვანილი მასალების გამოყენების სფეროა მშრალი ხახუნის კვანძები და ტრიბოლოგიური სისტემები მაღალი ვაკუუმის პირობებში. ისინი გადამუშვდებიან წნევითი ჩამოსხმით და დაწნხვით.

ტიპური სასაკისრე მასალების ზოგიერთი მაჩვენებელი

ცხრილი 9.2

№	პარამეტრების დასახელება	პოლიმერული მასალა					ბრინჯაო Bp051C5	ბაბიტი B83
		პოლიამიდ 6 PA6-210	პოლიაცეტალი CΦД	პოლიაცეტალი CΦД-AD	ფთორო- პლასტი 4	პოლიამიდ 6, გრაფიტი ATM-2		
1	სიმკვრივე, კგ/მ ³	1140	1410	1500	2100	1390	8500	—
2	ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი, $\alpha \times 10^{-5}$ ერთ კელვინზე	11,0	11,0	12,0	17,0	5,0	1,8	2,3
3	დრეკადობის მოდული კუმშვაზე $E \times 10^6$, მპა	0,0011	0,0036	0,0032	0,0004	0,007	0,09	0,048
4	თბოგამტარობა, ვტ/მ · K	0,29	0,29	0,29	0,25	0,80	105	44
5	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე, მპა	90	135	70	20-30	110	—	—
6	სისალე HB	100-120	180-250	110	20	210-230	500	—
7	დარტყმითი სიბლანტე, კჯოული/მ ³	160	75-130	—	—	14-16	—	—
8	პუასონის კოეფიციენტი	0,4	0,35	0,4	0,45	0,4	—	—
9	ხაზობრივი ზომების max-ური შეცვლა ნესტის შთანთქმით, მკმ/მმ	25	0	0	0	12	0	0

ლიტერატურა

1. Бакрадзе И.И., Шилакадзе М.Е. Методика расчета пластмассовых подшипников скольжения при ограниченной смазке. Тбилиси: Мецниереба, 1967.-138с.
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1972.-472с.
3. Боуден Ф. П. Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. М.: Машиностроение, 1968. -495с.
4. Гаркунков Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1985.-424с.
5. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965.-524с.
6. Гаркунов Д.Н. , Поляков А.А. Повышение износостойкости деталей конструкции самолетов. М.: Машиностроение, 1974. -200с.
7. Гольц Б.В., Оболенский Е.П., Стефанович Ю.Г., Трофимов О.Ф. Прочность и долговечность автомобиля. М.: 1974.
8. Гриневич Г.П., Коменская Е.А., Алферов А.К., Златопольский А.В., Регирер Л.Е. Надежность строительных машин. Стройиздат, 1983.-296с.
9. Зорин В.А. Основы долговечности строительных машин. М.: Машиностроение, 1986.-245с.
10. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968.-480с.
11. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: 1973.
12. Кос И.И., Зорин В.А. Основы надежности дорожных машин. М.: Машиностроение, 1978.-164с.
13. Михин Н. М. Механизм приработки при исходном пластическом контакте. Трение и износ. 1985. Т.6 №5 .С. 807-811.
14. Мур Д. Основы и применение трибоники. М.: Мир, 1978. 487 с..
15. Папок К.К., Рагозин Н.А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям. М.: Химия, 1975.-392с.
16. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные. Расчет на прочность. ГОСТ - 21354-74. М., 1978.
17. Поляк Ю.Г. Вероятностное моделирование на электронных вычислительных машинах. М.: Советское радио, 1971.-399с.
18. Решетов Д.Н. Детали машин. М.: Машиностроение, 1989.-496с.
19. Решетов Д.Н. Детали машин. М.: Машиностроение, 1964.-723с.

20. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчет деталей на прочность. М.: Машиностроение, 1975.-488с.
21. Справочник по триботехнике. В 3-х томах. Том 1. Под ред. М. Хебды, А.В.Чичинадзе. Москва, Варшава, 1989.
22. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. Т.1. М.: Машиностроение, 1979.-358с.
23. Федоров Д.И., Бондарович Б.А. Надежность рабочего оборудования землеройных машин. М.: Машиностроение, 1981.
24. Тимошенко С.П. Теория упругости. Л.-М.: ОНТИ, 1937.-451с.
25. Хазов Б.Ф. Обеспечение показателей надежности строительных и дорожных машин при проектировании. М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1974.-51с.
26. Чернавский С.А. Подшипники скольжения. М.: Машгиз, 1963.-144с.
27. Чернавский С.А., Ицкович Г.М., Боков К.Н., Чернин И.М., Чернилевский Д.В. Курсовое проектирование деталей машин. М.: Машиностроение, 1979.-350с.
28. Шилакадзе М.Е. Исследование работоспособности и расчет подшипников скольжения с вкладышами из пластмасс при граничном трении. Автореферант диссертации на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Тбилиси, 1969.
29. Шилакадзе М.Е. Определение несущей способности подшипников скольжения из полимеров. Инженерная механика полимеров и применение пластмасс в промышленности. Материалы республиканского совещания. Тбилиси: Мецниереба, 1969.
30. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. М.Л.: Гостехиздат, 1949.-270с.
31. შილაკაძე მ., კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრა გრიბოლოგიურ სისტემებში. საქ. მეც. “მოამბე”. თბილისი, 1993, №2 გ. 147. გვ. 286-293.
32. შილაკაძე მ. სამშენებლო მანქანების საიმედოობის საფუძვლები. თბილისი: სპი, 1988.- 214გვ.
33. შილაკაძე მ. სიორდია ა. კონტაქტური ძაბვებისა და მუშაობის უნარის განსაზღვრის თავისებურებანი გრიბოლოგიურ სისტემებში სტუ შრომები №3(414) საიუბილეო გამოცემა.
34. Тавхелидзе Д.Д. Исследование и расчет исполнительных механизмов манипуляционных роботов. Тбилиси: Издательство ТГУ, 1984.-277с.
35. Тавхелидзе Д.Д., Бардзимашвили Н.Г. Стабилизация момента трения в фрикционных муфтах. Труды ГПИ, №11(350), 1988, 24-27 с.
36. Shilakadze M., Kashiashvili Z., Berishvili N. The Issues of Determination of the Calculative Flexibility Module in Sliding bearings, While Determining Contact Tensions. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 162, 4, 2000, Tbilisi pp10-15.