

მ. შილაკაძე, დ. თავხელიძე

ტრიბოტექნიკა

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მ. შილაკაძე, დ. თავხელიძე

ტრიბოტექნიკა



დამტკიცებულია სტუს
სასწავლო-მეთოდური
საბჭოს მიერ

თბილისი
2005

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

განხილულია ტრიბოგენეზის თეორიული საფუძვლები და მისი თანამედროვე პრაქტიკული პრობლემები. შემოთავაზებულია ტრიბოლოგიური სისტემების საინჟინრო განგარიშების მეთოდები და მათვის საჭირო საცნობარე მასალები. მოცემულია საყრდენი კვანძების კონსტრუქციები და რეკომენდაციები მათ კონსტრუქციული გადაწყვეტის შესახებ, განხილულია გაუცვეთადი 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

წ ი ნ ა ს ი ტ ყ ვ ა ო ბ ა

ტრიბოტექნიკა მეცნიერული დისციპლინაა, რომელიც უზრუნველყოფს ტექნიკური ობიექტის, კერძოდ, სხვადასხვა დანიშნულების მანქანა-მოწყობილობის საიმედოობას და მის ეფექტურ მუშაობას. იგი შეისწავლის და განიხილავს ტრიბოლოგიურ პროცესებთან დაკავშირებულ ფიზიკურ-ქიმიურ, მექანიკურ, ტექნოლოგიურ და კონსტრუქციულ საკითხებს. ტრიბოტექნიკა და მისი უფრო ფართო გაგება – ტრიბოლოგია მექანიკური მოწყობილობის დაპროექტებისა და ექსპლუატაციის ერთ-ერთი ძირითადი მეცნიერული საფუძველია. შესაბამისად, ტრიბოტექნიკა, 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 ზოგადსაინჟინრო დისციპლინებს შორის.

ნაშრომი განიხილავს მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის ფიზიკურ საფუძველებს შორის უმთავრესს – ტრიბოტექნიკას. ამასთან, უკანასკნელი სრულად შესატყვისება საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ტრიბოტექნიკის სასწავლო პროგრამას ინჟინერ-მექანიკოსებისათვის. საფიქრებელია, რომ უახლოეს პერიოდში ტრიბოტექნიკის, როგორც სასწავლო დისციპლინის, შესწავლა დაიწყება აგრეთვე ქვეყნის სხვა უმაღლეს ტექნიკურ სასწავლებლებში (მსოფლიო პრაქტიკის შესაბამისად, მოსალოდნელია სპეციალისტი ტრიბოლოგების გამოშვების დაწყება).

მსოფლიოში დღეს არ არის საკამათო ტრიბოლოგია-ტრიბოტექნიკის საკითხებზე ყურადღების კონცენტრაციის მაღალი ეფექტურობა სახალხო მეურნეობაში. ბოლო ორ ათეულ წელიწადში ყველგან უზარმაზარი ნაბიჯები იქნა გადადგმული. განვითარებული ქვეყნების უმაღლეს, საშულო და სხვადასხვა ტიპის სასწავლებლებში ფართო მასშტაბით დაიწყო ტრიბოლოგიის (ტრიბოტექნიკის) შესწავლა. დასაბამი მიეცა სპეციალისტების გამოშვებას ტრიბოლოგიაში. 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 ცოცხალი არ არის გაკეთებული. საკითხთა მრავალრიცხოვანი დაბალი დანაკარგებია.

ყოველივე განპირობებულია ჩვენი საინჟინრო პერსონალის დაბალი კვალიფიკაციით ამ სფეროში. ტრიბოტექნიკის საკითხები არ შეისწავლებოდა და ქვეყნის

მექანიკოსი კონსტრუქტორები ეერ 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 ინტენსიობა, ოპტიმალური შემზეთი საშუალებები და მეთოდები, დაასაბუთონ გამოყენებული მასალები.

საინჟინრო-ტექნიკური პერსონალის შესაბამისი თეორიული და პრაქტიკული ჩვენების ღეფიციტის აღმოფხვრის პრობლემამ ჩვენში დასახა უმნიშვნელოვანესი ამოცანა - უმოკლეს ვადაში ფართოდ დანერგილიყო ქვეყნის უმაღლეს სასწავლებლებში ტრიბოლოგია-ტრიბოტექნიკის შესწავლა, უზრუნველყოფილიყო იგი შესაბამისი სახელმძღვანელოებით.

მექანიკური მოწყობილობის საიმედოობის ისეთი კონკრეტული საკითხი, როგორცაა ტრიბოტექნიკა, მომავალი ინჟინერ-მექანიკოსების მიერ მხოლოდ ნაწილად იყო. ცალკეულ ნაწილებად შესწავლებოდა 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 დაწერილებით განიხილება ტრიბოტექნიკის 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 განმოგადების საფუძველზე.

პირველი თავი ეძღვნება ტრიბოლოგიისა და ტრიბოტექნიკის მოგად ამოცანებს; მოცემულია ტრიბოტექნიკის განვითარების საწყისები და ძირითადი მიმართულებანი, ტრიბოტექნიკის ძირითადი ცნებები და განმარტებანი.

მეორე თავში მოცემულია ტრიბოტექნიკის თეორიის საფუძველები, ზედაპირული ფენის მექანიკური თვისებები და სტრუქტურა, მოლეკულური და მექანიკური ურთიერთქმედებანი ტრიბოლოგიურ პროცესში, ზედაპირული მექანიკური თვისებების შეფასების "დადებითი გრადიენტის წესის" არსი.

მესამე თავში შესწავლის და განიხილავს შერჩევითი გადატანის ეფექტს ტრიბოლოგიურ პროცესში; შერჩევითი გადატანის არსის ახსნასთან ერთად გახსნილია სერვოიკული აფსის წარმოქმნის მექანიზმის შემთხვევები და მისი ფიზიკური საფუძველები; განხილულია ანომალური მცირე ხახუნის ეფექტი.

მერთხე თავეში ტრიბოლოგიური პროცესები კვალიფიცირებულია შემგვით მასალების მიხედვით, დახასიათებულია შემგვითი საშუალებები დანიშნულებისა და თვისებების მიხედვით.

მეშუთე თავეში ეძღვნება თხევად შეგვითას და მისი პიდროდინამიკური თეორიის საფუძელების შესწავლას, განსასამღვრია ზეთის წწეითი ფენის ზიდის უნარი და ხახუნის პარამეტრები თხევადი შეგვითის პირობებში; მოცემულია ტრიბოსისტემის თბური გაანგარიშების მეთოდიკა; მოგანილია გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითი.

მეშუთე თავეში შესწავლის შეგვითის სხეადასხეა სახის სისტემებსა და მეთოდებს; მოცემულია მათი განსხეეებული კონსტრუქციული გადაწყვეტები.

მეშუთე თავეში ფუნდამენტურადაა განხილული ტრიბოსისტემებისა და, კერძოდ, სრიალის საკისრების გაანგარიშების მეთოდიკა სასამღვრო და მშრალი ხახუნის დროს; ჩამოთელილი და დასაბუთებულია ტრიბოსისტემების მუშაობის უნარის კრიტერიუმები; მოცემულ თავეში განსაკუთრებული ადგილი ეთობზა პლასტმასის სრიალის საკისრებს; მოყენილია კონტაქტური ამოცანის დასმის საფუძეულზე მიღებული სრიალის საკისრების ზიდის უნარის განსამღვრის განტოლებები და მათი ამოხსნის მეთოდი; წარმოდგენილია სრიალის საკისრებში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსამღვრისათვის საჭირო გრაფიკულ-ანალიზური დამოკიდებულებები და საინჟინრო გაანგარიშების მეთოდიკა, საცნობარო მასალები დასამეები ძაბვების შერჩევისათვის; შემოთავაშებულია ტრიბოსისტემების თბური გაანგარიშების მეთოდები; მოცემულია რეკომენდაციები სრიალის საკისრების კონსტრუქციული პარამეტრების შესახებ; მოცემულია სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების მეთოდიკა და მოგანილია სრიალის საკისრების გაანგარიშების რიცხვითი მაგალითი მშრალი და სასამღვრო ხახუნის დროს.

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

მეშხრე თავეში მოიცავს ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის საჭირო სასაკისრე მასალებს; იძლევა მათ დახასიათებას და სხეადასხეა სფეროში გამოყენების რეკომენდაციებს.

ავტორები დიდად მადლობელნი დარჩებიან ყველა კრიტიკული შენიშვნისა და წინადადებისათვის, რომელსაც დამსახურებს ეს ნაშრომი – ტრიბოტექნიკის 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 აეგომობილი, ასი
ათასჯერ დააჩქაროს ქიმიური
რეაქცია, ზირზე ჩაწეროს ადამიანის
ხმა, მოუსმინოს ვიოლინოს...*

პროფ. დ. გარკუნევი

შ ე ს ა ვ ა ლ ი

ადამიანმა უხსოვარ ღროშივე ისწაულა ხახუნის დამორჩილების და დამარცხების მრავალი გზა. მაგრამ ხახუნის ბუნება დღეისათვის ერთ-ერთ იღუმალ პროცესად რჩება და სირთულეები, რომლებიც მასთანაა დაკავშირებული, კელაეაც ინეინერთა წინაშე მდგომი ურთულესი პრობლემაა.

კაცობრიობის პროგრესის ხანგრძლივი გზის პირველივე საფეხურზე ადამიანმა აღმოაჩინა, რომ მყარ საგანთა გადაადგილება რაიმე მედაპირზე 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 მედაპირზე 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 მავნე მოვლენაა, რომლის გადასალახად კაცობრიობა ხარჯავდა, ხარჯავს და მომავალშიც დახარჯავს ენერგიის უზარმაზარ რესურსებს. ვინაიდან ეს ენერგია მთლიანად გარდაიქმნება სითბოდ, იგი ახურებს მანქანა-მექანიზმების ნაწილებსა და კვანძებს. უკანასკნელს, ბუნებრივია, ხშირად მიეყავართ მანქანა-მოწყობილობის დაზიანებამდე, მგყუნებამდე. ასევე, ხახუნის მუდმივად თანამდევი პროცესია მანქანათა ნაწილების ცვეთა, რაც, თავის მხრივ, მექანიკური მოწყობილობის დაზიანებათა უმთავრესი მიზეზია.

ამასთან, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, დიდია ხახუნის სასარგებლო როლიც. ხახუნის გარეშე წარმოდგენელია 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 მაგერიალური რესურსები.

აღნიშნული მიზეზების გამო ხახუნზე დახარჯული ენერჯის შემცირება თანამედროვე მეცნიერებისა და ტექნიკის უმნიშვნელოვანესი პრობლემაა. ამასთან, გრიბოტექნიკის 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 საფუძელები 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 ტრიბოლოგიური სისტემების (ხახუნის კვანძების) პრინციპული, კონსტრუქციულ-ექსპლუატაციური პარამეტრების, ცვეთისა და შეშეთის პირობების, მოხახუნე წყვილების მასალების შერჩევის ოპტიმიზაციაზე. მოყვანილ საკითხებს ფართო მასშტაბით შეისწავლის ტრიბოლოგია და ტრიბოტექნიკა.

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

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

ტრიბოლოგიის კვლევის ძირითად ობიექტებს მიეკუთვნება ხახუნის, ცვეთის და შეშეთის პროცესები.

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

მეორეს მხრივ, ტრიბოლოგია შეისწავლის გარე და შიგა ხახუნის პროცესებს, შესაბამისად, მყარი და თხევადი მასალებისათვის, ხოლო ტრიბოტექნიკა არის მეცნიერება ტრიბოლოგიის პრაქტიკული გამოყენების შესახებ, ხახუნის კვანძების ტრიბოლოგიური სისტემების კონსტრუირების, დამზადებისა და ექსპლუატაციის შესახებ.

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

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

ამასთან ერთად, გრიბოლოგია ძველი მეცნიერული მიმართულებაა. გრიბოლოგიის მოგ კანონებს ადამიანი უხსოვარი დროიდან იცნობდა და იყენებდა. მაგალითად, ხახუნის შედეგად გაჩენილ სითბოს იყენებდა ცეცხლის მიღებისათვის, ხახუნის პროცესებს მძიმე ტვირთებისა და საგნების გასრიალების გზით ტრანსპორტირებისათვის. ასეთ შემთხვევაში წვეის 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 გამოსატყულება პოვა იმ დროისათვის საკმაოდ მაღალი ღონის მეცნიერულ ნაშრომში, რომელშიც მრავალი მართებული გაანგარიშება და მტკიცებაა მოყვანილი, სადაც ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი იყო მტკიცება სრიალის ხახუნის წინააღმდეგობისა და მოხახუნე შედაპირებზე 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 შედაპირებისადმი ნორმალურად მიმართული ძალისა. ეს დამოკიდებულება დღესაც ფართოდ გამოიყენება

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

სადაც F_f 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 შემთვის დროს და ჩამოაყალიბა კანონი, რომელიც ამყარებს კავშირს თხევადი შემთვის შიგა ხახუნის წინააღმდეგობასა და ამ წინააღმდეგობის დაძლევისათვის საჭირო ძალას შორის. ლამინირებული ღინების ამ კანონით დღესაც სარგებლობენ.

1699 წელს გ. ამონტონმა ფრანგული სამეფო აკადემიის ყოველწლიურ ეურნალში 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 ზედაპირის 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 აღქმის საკითხები ხახუნის პროცესში და გ. ამონტონის საპირისპიროდ დაასკვნა, რომ საკონტაქტო ზედაპირის გაზრდა იწვევს ხახუნის წინააღმდეგობის გაზრდას. ამასთან, 1778 წელს იგი პირველი გვთავაზობს ხახუნის ძალის ფორმულას ორი წვერის სახით, რომელთაგანაც პირველი A_0 დამოკიდებული არ არის ნორმალური მიმართულების დატვირთვაზე, ხოლო მეორე $K F_n$ დამოკიდებულია უკანასკნელზე:

$$F_f = A_0 + KF_n, \quad (12)$$

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

სამწუხაროდ, ეს კანონიც მივიწყებული იქნა და საინჟინრო პრაქტიკაში XX საუკუნემდე გამოიყენებოდა მხოლოდ ლეონარდო და ვინჩი – ამონტონის კანონი (რომელიც ზოგჯერ 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 ზედაპირების შეჭიდულობის წინააღმდეგობაზე. ამ მეცნიერული გააზრების საფუძველზე შ. კულონმა გააკეთა დასკვნა ხახუნის პროცესში ენერჯის გაფანტვის შესახებ.

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

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

რეინოლდსმა დაასაბუთა, რომ ბ. გაუერის ცდების საფუძველზე შემჩნეული მოვლენა არის პიდროდინამიკური ხასიათისა და მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ზეთის სიბლანტეზე. მანვე 1886 წელს დაამუშავა შეგთვის პიდროდინამიკური თეორია.

ნ. პეტროვმა დაახლოებით იმავე პერიოდში რეინოლდსისგან დამოუკიდებლად ჩამოაყალიბა პიდროდინამიკის საკითხები ნაშრომში - „ხახუნი მანქანებში და შემგეთი სითხის გაულება მასზე“.

XX საუკუნის დასაწყისისათვის გუქნიკის სფეროში მცენარეული და ცხოველური ზეთები თანდათანობით გამოდევნილ იქნა მინერალური ზეთებით, რომელიც ემყარებოდა ნათობგადამამუშავებელი მრეწველობის შემდგომ აღმავლობას და, რაც მთაყარია, განსაზღვრული შეგთვის დროს შეგმეთი ფენის შენარჩუნების სხვადასხვაგვარ შესაძლებლობებს. 1936 წ. უ. პარდიმ („რჩეული შრომები“) შეისწავლა ეს საკითხი და განსაზღვრული შეგთვის 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 მეცნიერებმა. მათი მეცადინეობით მსოფლიო მეცნიერული პროგრესის ახლანდელ პროცესში სხვაგვარად გამოიყო და შეფასდა გრიბოლოგიის (გრიბოგუქნიკის) საკითხები.

თვით გერმინიც „გრიბოლოგია“ პირველად გამოყენებული იქნა ინგლისელი ექსპერტების მიერ, როდესაც მათ დიდი ბრიტანეთის პარლამენტს წარუდგინეს მოხსენებითი ბარათი ქვეყანაში შეგთვის 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 შეგთვის 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 შეშეთის როლს სახალხო მეურნეობაში. მაგალითად, ამ ჯგუფის დასკვნით დიდი ბრიტანეთის საშეთი მეურნეობის გაუმჯობესებამ შესაძლებელი გახადა ქვეყანას დაეზოგა ნახევარი მილიარდი ფუნტი სტერლინგი. ამ ანგარიშში გამოვლენილი იქნა ფაქტორები, რომელთა შორისაც უმნიშვნელოვანესად მიიჩნეოდა როგორც მომსახურე პერსონალის, ასევე დამპროექტებლების ცოდნის დაბალი თეორიული და პრაქტიკული ღონე ტრიბოტექნიკის სფეროში, ტრიბოლოგიის სპეციალისტთა ღუფიციტი.

ამასთან დაკავშირებით სამუშაო ჯგუფი წინადადებას იძლეოდა დაწყებულიყო ტრიბოლოგიის საფუძვლიანი შესწავლა ყველა ღონეზე, რისთვისაც უნდა შექმნილიყო სპეციალური დანიშნულების ინსტიტუტები, უნდა შეეცლილიყო ტექნიკისა და ინჟინერ-მშეთაეების სტატუსი, მომატებულიყო ხელფასი, შემოღებულიყო უფრო მაღალი საკვალიფიკაციო ჯგუფები და პროფესიული წოდება – ტრიბოლოგი. ამავდროულად, ყოფილ საბჭოთა კავშირში ღონისძიებათა ნუსხა ეერ გასცდა რამდენიმე ფორმალური სახის საზოგადოებისა და ლიტერატურის უმნიშვნელო მასშტაბით გამოჩენას ტრიბოლოგია-ტრიბოტექნიკაში.

კიდევ უფრო სავალალო მდგომარეობაა ჩვენს ქვეყანაში, სადაც შეშეთის 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 შეზღუდული მოცულობით შეისწავლება დისციპლინა ტრიბოლოგია ან, როგორც უწოდებენ, ტრიბოტექნიკა, მაშინ, როდესაც ამერიკის შეერთებული შტატების, გერმანიის, დიდი ბრიტანეთის უნივერსიტეტები დღეს უართო პროფილით ამზადებენ სპეციალისტებს ტრიბოლოგიაში.

12. ძირითადი ცნებები და განმარტებანი

მოვიყვანოთ ტრიბოლოგიაში (ტრიბოტექნიკაში) გამოყენებული ძირითადი ცნებები განმარტებით, რომელთა უმრავლესობაც დიდი ხანია არის ცნობილი და

კლასიკურ ხასიათს ატარებს. გრიბოტეჟნიკის 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 შედაპირების ტანგენციალური მიმართულებით ფარდობითი გადაადგილების დროს და რომელსაც თან ახლავს ენერჯის დისიპაცია (გაფანტვა). წინააღმდეგობის ამ ძალას ხახუნის ძალას უწოდებენ და იგი აღინიშნება $F_{\text{ჩ}}$ -ით, რომელიც მიმართულია სხეულის გადაადგილების საწინააღმდეგოდ.

ასევე არსებობს ხახუნის უფრო ზოგადი განმარტება – ხახუნი არის მოვლენათა კომპლექსი ორი ურთიერთგადაადგილებადი სხეულის შედაპირების 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 ($F_{\text{ჩ}} = f F_{\text{წ}}$). გრიბოტეჟნიკის კლასიკური კანონების ჩამოყალიბება შეუშუალებია 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 ზედაპირებზე მოსული ნორმალური დატვირთვისა.

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

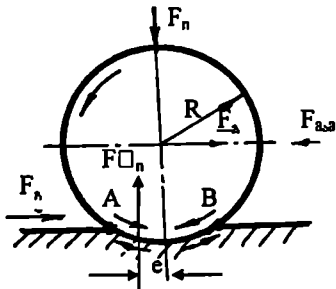
3. უძრაობის ხახუნის კოეფიციენტი აღემატება მოძრაობის ხახუნის კოეფიციენტს.

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 საინჟინერო-სამანქანათმშენებლო პრაქტიკაში არსებული პირობებისათვის, ვარდა იმ შემთხვევებისა, როცა ძალიან დიდი დატვირთვების დროს ფაქტიური საკონტაქტო ფართობი ნომინალურს უახლოვდება. IV კანონი ხშირად არ იძლევა ზუსტ შედეგებს ბლანტ-დრეკადი მასალებისათვის (პოლიმერები, ელასტომერები და ზოგიერთი ფერადი ლითონი).

ახლა ჩამოვყალიბოთ გორვის ხახუნის ფიზიკური არსი. იგი შემდეგში გამოიხატება:

ღეფორმირებადი ცილინდრისა და სიბრტყის ურთერთემოქმედების 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 აქეთ ერთმანეთთან მიახლოების ტენდენცია, ხოლო სიბრტყის შესაბამის A და B წერტილებს – ერთმანეთთან დაშორების. ამ პირობებს მიეყავართ იმ გარემოებასთან, რომ გვაქვს ცილინდრისა და სიბრტყის ზედაპირების 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,

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

სადაც F_{δ} გორვის ხახუნის ძალაა; $F_{\text{სა}}$ – მამოძრავებელი ძალა.

მაშინ მამოძრავებელი მომენტი ტოლი იქნება

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

სადაც R საგორავის რადიუსია.

მოცემულ პირობებში მამოძრავებელი მომენტის გაწონასწორება ხდება გორვის ხახუნის ძალით

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

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

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

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 $M \square = F_n \square \cdot e$. ბუნებრივია, რომ როცა $M \square = M$ და $F_n \square = F_n$

$$F_n \square \cdot e = F_{\delta} \cdot R$$

(1.8)

და

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

(1.7)-ის გათვალისწინებით

$$e = \square_{\delta}.$$

გორვის ხახუნის კოეფიციენტს აქვს ხაზოვანი 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 შეუშეთავ და შეშეთით ხახუნს. ხახუნი შეშეთის გარეშე იწოდება და განიხილება, როგორც მშრალი ხახუნი. ხახუნი შეშეთი მასალის გამოყენების რაოდენობის მიხედვით შეიძლება განიხილებოდეს როგორც სასაზღვრო ხახუნი (როცა მოხახუნე ზედაპირები ზეთის შემდეგული რაოდენობის თხელი ფენითაა დაფარული), ან როგორც თხევადი ხახუნი (როცა მოხახუნე ზედაპირებს შორის არსებობს ზეთის გარკვეული სისქის ფენა). ყველა სხვა შემთხვევაში განიხილული ტრიბოლოგიური პროცესი სხეულის ურთიერთმოქმედების გარე ხახუნის ეარიანტებია. ამავდროულად შიგა ხახუნის ყველაზე უფრო თვალსაჩინო მაგალითია ტრიბოლოგიური სისტემა თხევადი შეშეთით. ასეთი სახის ხახუნი პიდროდინამიკური შეშეთის პირობები ითვალისწინებს შეუღლებული დეტალების განცალკევებას და, სათანადოდ, მათ უშუალო კონტაქტში არყოფნას. ამიგომ 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 ენერჯის მინიჭებით. საინჟინრო პრაქტიკაში მყარ სხეულებში შიგა ხახუნის არამრავალრიცხოვანი მაგალითებიდან ერთ-ერთია ის, რომ ლითონების და ზოგი სხვა მასალის ჭრით დამუშავების დროს ზედაპირების ქვეშ, დეტალის სიღრმეში შეინიშნება მასალის გადახურება და შესაბამისი სტრუქტურული ცვლილები.

1.3. განვითარების ძირითადი მიმართულებანი

ტრიბოტექნიკის, 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 ტრიბოტექნიკის საფუძვლების შესწავლის ფონზე.

ქვემოთ მოგვყავს ტრიბოტექნიკის, 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 გავყავს 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 შეზეთვის 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 დიდ 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 შემთხვევაში ხსენებული მთავარი მეცნიერული ამოცანის გადაწყვეტა ითვალისწინებს ფუნდამენტური, თეორიული საფუძვლებისა და რთული ექსპერიმენტული მოწყობილობისა და გაანგარიშებათა მეთოდოლოგიის დამუშავებას. ამ კომპლექსური თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების ობიექტებად იგულისხმება:

მოსახუნე მუშა ზედაპირული ფენების თვისებათა საფუძვლიანი შესწავლა;

„შერჩევითი გადატანის“ უფქვების გამოყენების სფეროების გაფართოება;

სამშენი მასალების თვისებათა მაჩვენებლების რეგულირება და მათი პოტენციური შესაძლებლობების რადიკალური შეცვლა ახალი მისართების გამოყენების მეშვეობით;

მცირე სიბლანტის თხევადი შემშენი მასალები;

აიროვანი ნივთიერებების გამოყენება შემშენი მასალად;

მყარი და ფხვნილოვანი შემშენი მასალები;

ახალი ანტიფორმული და ფორმული მასალები სხვადასხვა გარემოში ექსპლუატაციის დროს.

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

შემთხვევით მოყვანილ დონისძიებათა რეალიზაცია სახალხო მეურნეობაში მეცნიერებისა და ინჟინრებისაგან მოითხოვს ტრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუირების ახალი პრინციპების დანერგვას. საჭირო ხდება თითქმის ყველა დარგის მანქანათმშენებლობაში უარი ეთქვამთ ტრიბოლოგიური სისტემების გაანგარიშების გრადიულ მეთოდებზე, როდესაც ხახუნის ძალებისა და მოშენების განსაზღვრისას იგულისხმება ხახუნის კოეფიციენტისა და ცვეთის ინტენსივობის მუდმივი მნიშვნელობები; გაანგარიშებისას, როგორც წესი, ვათვალისწინებულნი უნდა იქნეს ხახუნის კოეფიციენტის და ცვეთის ინტენსივობის დამოკიდებულება კვანძის მუშაობის რეჟიმის ისეთ პარამეტრებთან, როგორცაა: 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 არაალითონური სადებების გამოყენების დროს). ყოველივე უნდა შესრულდეს დინამიკური და

ტემპერატურული რეჟიმების გათვალისწინებით. კონტაქტური ამოცანები გადაწყვეტილი უნდა იქნას სიერცეში.

პრაქტიკაში ხახუნის და ცეეთის საინჟინრო გაანგარიშებებს უნდა მოეთხოვებოდეს დიდი სიზუსტე და საიმედოობა. იგი უნდა აღმატებოდეს ჩვეულებრივი მანქანათა დეტალებისადმი მოთხოვნებს, სადაც მათი მარაგი სიმტკიცეზე აიღება 2...3 ბლერებში. შედეგად უნდა შემუშაედეს საიმედო კონკრეტული საინჟინრო საანგარიშო მეთოდები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ტრიბოლოგიური სისტემის სამსახურის ვადის განსაზღვრას საჭირო სიზუსტით მშრალი და სასაზღვრო ხახუნის დროს, აგრეთვე, შემუშაედეს თანამედროვე ტექნიკურ მიღწევათა გამოყენებით პილროდინამიკური, ელასტიკურ-დინამიკური და აიროვანი შეშეთის 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 შემუშაებას, რომლებიც დაფუძნებულია მეცნიერების თანამედროვე მიღწევათა ღონეზე პროცესების მათემატიკური, ფიზიკური, ანალოგური მოდელირებით.

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

სწორად გაიანგარიშოს მოძრავი შეერთებები, შეარჩიოს კვანძის კონსტრუქციული პარამეტრები და შეშეთის 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 ადადგინოს 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 უფრო 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, ტრიბოლოგიურ სისტემად მიჩნეულია დეტალი ან დეტალების ერთობლიობა, რომელიც გამოყოფილია გარემოდან ფიზიკურად ან წარმოსახვით [21], ხოლო ტრიბოლოგიურ პროცესად – ტრიბოლოგიური სისტემის შემადგენელი დეტალების თვისებათა შეცვლის თანმიმდევრობა დროში.

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

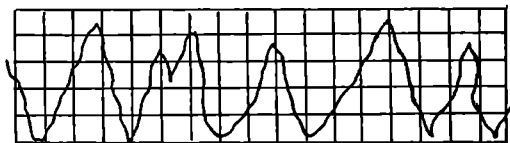
თაპი 2. ტრიგობქენიპის თეორიის საფუკპლავი

2.1. ძირითადი თეორიული ცნებები და პარამეტრები

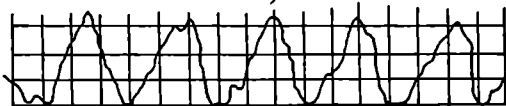
ტრიბოლოგიური პროცესის სრული შეფასებისათვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მომენგია ის, რომ რაოდენობრივად და თვისობრივად სწორად იქნეს შეფასებული ნორმალური ძალებით გამოწვეული დაწნევა მოხახუნე გედაპირებზე, რისთვისაც აუცილებელია შეუღლებული ღეგალების საკონგაქტო ფართობის განსაზღვრა.

ორი ერთმანეთზე დადებული ბრტყელი მყარი სხეულის რეალური გედაპირები, გარდა ლოკალური სიმქისისა, ხასიათდებიან ტალღურობითაც, რომლებიც თაედაპირველად სამ წერტილში ეხებიან ერთმანეთს.

სასელმწიფო სტანდარტი GOCT 2789-73-ისა და ეკონომიკური ურთიერთდაბმარების საბჭოს ქვეყნების სტანდარტი CT CЭB 638-77-ის შესაბამისად სიმქისედ იველისხმება ის უსწორმასწორობანი, რომელთა ბიჯი არ აღემატება 800 მკმ-ს, სიმაღლე 0,03-დან 400 მკმ-მღეა, ხოლო ტალღურობად მიიჩნევა ის უსწორმასწორობა, როცა ბიჯის ფარღობა სიმაღლესთან $\square 40$.



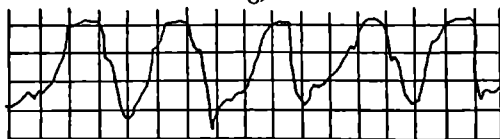
ა)



ბ)



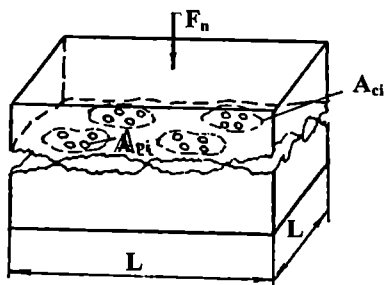
გ)



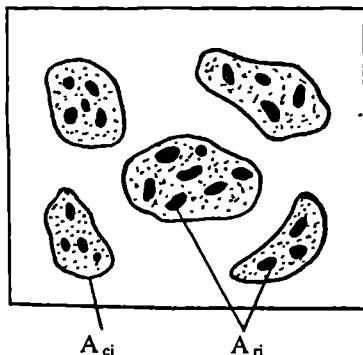
დ)

ნახ. 2.1. ფოღადის გაჩარხული გედაპირის პროფილოგრამა იოპანსონის ფიღასთან შეხების შემღეგ კონგურული წნეეა, მპა: ა-0; ბ-50; გ-200; დ-350 [10]

ლაგვირთვის თანდათანობითი მოდების შემდეგ შეუღლებული ზედაპირები ერთმანეთს უახლოვდებიან და კონტაქტში შედიან უფრო მეტი ცალკეული ბორცვებით, რის შედეგადაც დიდდება შვერების მოთვლილი ფართობი. გასაგები მიზეზების გამო ტალღის 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 ზედაპირების მოთვლილი შვერები ტალღურ ბორცვებზე ქმნიან კონტურულ ფართობებს, რომლებიც, თავის მხრივ, წარმოადგენენ შვერების კონტაქტების ერთობლიობას. ექსპერიმენტულად ეს მოვლენა მკაფიოდ წარმოჩნდება ზედაპირების შეუღლების „საღებავის” მეთოდით შეფასების დროს, როცა საკონტაქტო ადგილებს ლაქით გამოარჩევენ ხოლმე (ნახ.2.2, 2.3).



ნახ. 2.2. ზედაპირების დაკონტაქტების სქემა



ნახ. 2.3. საკონტაქტო ფართობის გრაფიკული მოდელი

მემოთ აღნიშნულის თანახმად, განასხვავებენ შემდეგი სახის საკონტაქტო ფართობებს:

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

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

შეხების კონტურული ფართობი მთელი სხეულისათვის გამოითვლება შემდეგი ტოლობით:

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

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, ცეფთაზე 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.

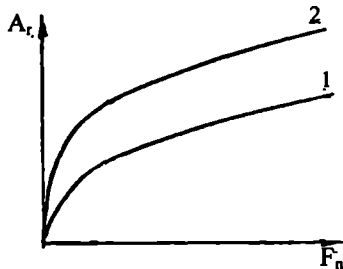
ფაქტობრივ წნედად მიჩნეულია საკონტაქტო ზედაპირებისადმი ნორმალურად მიმართული დატვირთვის შეფარდება შეხების ფაქტობრივ ფართობთან

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

სადაც p_r ფაქტობრივი წნევაა.

როგორც აღენიშნეთ, ფაქტობრივი დაკონტაქტების ფართობი დამოკიდებულია ზედაპირის სიშქისის პარამეტრებზე, შეუღლებულ ზედაპირებზე მოდებული ნორმალური ძალის სიდიდესა და ზედაპირის მასალის გვარობაზე. სათანადოდ, დაკონტაქტების ფართობის პროგნოზირება შესაძლებელია მოხაზუნე ზედაპირების პროფილის მეშვეობით მათი სიმაღლეთა დონის 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 შეერები ზოგ შემთხვევაში, როცა ძაბვის სიდიდე აღემატება დენადობის ზღვარს, განიცდიან არაუკუქცევად დეფორმაციებს. ამასთან, ბორცვების შეერების შეხების ფაქტობრივი წნევა პლასტიკური კონტაქტის დროს თავისი მნიშვნელობით შეესაბამება მასალის სიმკციის ზღვარს, ხოლო დრეკადობის ზღვრებში კონტაქტის დროს – მნიშვნელოვნად უფრო მცირეა უკანასკნელზე.



ნახ. 2.4. მოხაზუნე ზედაპირების ფაქტობრივი საკონტაქტო ფართობის A_r

დამოკიდებულება ნორმალურ F_n დატვირთვაზე [9]:

1 – HB, სისაღის დროს; 2 – HB₂ სისაღის დროს. HB₂ < HB₁

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

შეხების ფაქტობრივი ფართობი, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორებისა, დამოკიდებულია მოხახუნე შეუღლებული ზედაპირების მასალების მექანიკურ თვისებებზე – დენადობის ზღვარზე, 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 ზედაპირების სისაღეთა მნიშვნელობების ფართობზე.

განასხვავებენ დაკონტაქტების შემდეგ პირობებს:

მოხახუნე შეუღლებული ზედაპირების სისაღეების მნიშვნელობები ერთი რიგისაა;

მოხახუნე შეუღლებული ერთი ზედაპირთაგანის სისაღე ბევრად ნაკლებია მეორეზე.

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

მეორე შემთხვევაში, როცა ერთი ზედაპირის სისაღე ბევრად ნაკლებია მასთან კონტაქტში მყოფ ზედაპირთან შედარებით, მეორის მიკრობორცვები მთლიანად ეფლობიან პირველის ზედაპირში. 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 ზედაპირების ფაქტობრივი და კონტურული ფართობების გასაზომად საინჟინრო პრაქტიკაში რამდენიმე ეფექტური მეთოდი და ტექნიკური საშუალებებია შემუშავებული, რომელთა შორის აღსანიშნავია ხელსაწყობები, რომელთა მოქმედების პრინციპი ეფუძნება კონტაქტის ადგილის ელექტრული გამტარობის ფიქსირებას, ნივთიერებათა ერთი ზედაპირიდან 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 ღონებუც 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 მეგნაკლებ გამტკიცებას. ზედაპირული ფენის გამტკიცება, თავის მხრივ, განპირობებულია მასალის მექანიკური მაჩვენებლების (სიმტკიცისა და დენადობის მღერების) 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 გემპერატურულ რეჟიმზე (ეფექტურობა იზრდება გემპერატურის მომატებით).

ზედაპირების მექანიკური დამუშავების დროს ზედაპირული ფენის ფიზიკურ თვისებებზე ღიდ გავლენას ახდენს გემპერატურული 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 ღიდ გავლენას ახდენს ის გარემოება, რომ მასში მექანიკური და თერმული ზემოქმედების 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 – გამჭვიში ნარჩენი ძაბვები. ნარჩენი ძაბვების წარმოშობას ხელს უწყობს აგრეთვე პროცესი, რომელიც დაკავშირებულია ლითონის ბურბუშელას აცლასთან. ინსტრუმენტის მეშვეობით ბურბუშელას აცლის დროს ხდება მედაპირული ფენების ჭრის მიმართულებით გაჭიმვა, რაც, თავის მხრივ, გელა ფენებში ამცირებს კუმშვის ნარჩენ ლეფორმაციებს, ხოლო გულარში ზრდის გაჭიმვის ნარჩენ ლეფორმაციებს.

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

ამრიგად, ლითონური მანქანათა ნაწილების მექანიკური დამუშავების დროს პლასტიკური ლეფორმაციები მედაპირულ 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 ლეფორმაციების 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 ლევირებული ფოლადებისათვის – 550 °C.

აღსანიშნავია აგრეთვე ის, რომ მედაპირული ფენის საშუალო ტემპერატურა ხეხვის დროს 300 – 400 °C-ია, ხოლო უკიდურესი მედაპირული ფენისათვის – 800 – 850 °C. ამავე რიგისაა მედაპირული ფენის ტემპერატურული რეჟიმი ჩქაროსნული ჩარხის დროსაც.

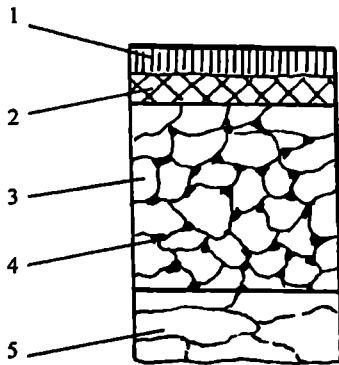
ზედაპირული ფენებისათვის თბური პროცესებით აღძრული და ნარჩენი დაძაბულობებით განპირობებული შიგა ძაბვა შეიძლება ასე გამოითვალოს:

$$\sigma = 0,5(f_2 - f_1)\alpha E,$$

სადაც f_1 და f_2 შესაბამისად, ზედაპირული ფენის საწყისი და მაქსიმალური ტემპერატურაა; α – მასალის ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი; E – მასალის დრეკადობის მოდული 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 ეანგულების თხელი აუსკი, რომელიც შესამჩნევად მოქმედებს ტრიბოლოგიურ პროცესზე და მის პარამეტრებზე.

ზოგადად კი, მანქანათა ნაწილების ზედაპირების ხარისხი დამოკიდებულია მასალის მიკროსტრუქტურაზე, ზედაპირების მიკრო- და მაკროტეომეტრიაზე, ტალღურობასა და ნარჩენი დეფორმაციების ხარისხზე. მეორეს მხრივ, ზედაპირების ხარისხი დამოკიდებულია მასალის გეარობაზე, მისი დამუშავების მეთოდზე, გამოყენებული ინსტრუმენტის პარამეტრებზე, დამუშავების რეჟიმზე, შეზუთვის და გამაციებელი 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 I არის სასაზღვრო ფენა, სადაც აღსორბირებულია სინესტე, გაზები, შემშეთ-გამაციებელი სითხეები, რომელთა მოცილებაც შესაძლებელია მხოლოდ ეაკუმში, ისიც გაცხელების შედეგად. ამ ფენის სისქვა 0,002...0,008 მკმ; 2 – დეფორმირებული ფენა, რომელიც ფორმირდება ძლიერ დაქუცმაცებული ნაწილაკებით და დამახინჯებული კრისტალური მესრით. ამ ფენაში ხეხვის შედეგად წარმოქმნილი მაღალი ტემპერატურა იწვევს ნახშირბადის გამოწვას, რასაც მოსდევს ფენისათვის დამახასიათებელი ქანვეულების, ნიგრიდების, საპაერო ბუშტების, ნაპრალეების გაჩენა. ამ ფენის სისქე იცვლება 0,002...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 ტემპერატურის მოქმედებით მასში წარმოიქმნება სტრუქტურულად თავისუფალი ცემენტის და ფენის სისქე შეადგენს 0,3...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 მტკად ოხელი 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 დეგალის 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.

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

მელაპირულ ფენებში ამა თუ იმ ფაქტორის მანე 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 დეტალებში შეიძლება შეადგინოს 500...1000 მპა. ამასთან, ისინი შეიძლება იყოს როგორც გამჭიმვი, ისე მკუმშავი ხასიათის. ე.ი. ნარჩენი ძაბვების სიდიდე შესაძლებელია აღემატებოდეს მასალის ზღვრულ სიმკაცეს, რაც, თავის მხრივ, იმას ნიშნავს, რომ დეტალმა შეიძლება დაგვირთვის გარეშე განიცადოს რღვევა, დაკარგოს თავისი ფუნქციური დანიშნულება – გატყდეს, გაიზაროს, შეიცვალოს გეომეტრიული ფორმა და ა. შ.

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

პროფ. ა. სუსლოპაროვის ექსპერიმენტული გამოკვლევის დროს დეტალის (ფოლადი 45) დამუშავება ხდებოდა წმინდა გაჩარხებით სალი შენადნობიანი საჭრისით გაციების გარეშე; ხოლო გრძივი მიწოდება შეადგენდა 0,1 მმ-ს. ექსპერიმენტის შედეგი ასეთი აღმოჩნდა: 100მ/წმ ჰრის სიჩქარის დროს ნარჩენი ძაბვა მელაპირულ ფენაში იყო გამჭიმვი და შეადგენდა 70 მპა-ს, 200 მ/წთ ჰრის სიჩქარის დროს – 0-ს, ხოლო 400 მ/წთ ჰრის 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 დეტალებისათვის არაერთგვაროვნება კიდევ უფრო მეტადაა გამოკვეთილი, როგორც ქიმიური აქტიულობის, 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 დეტალის დამუშავების ტექნოლოგიურ რეჟიმზე (ჰრის სიჩქარის, მიწოდების სიდიდის, ტემპერატურული რეჟიმის, ინსტრუმენტის გეომეტრიის და ა.შ.) და მეთოდების (მექანიკური, ლაზერული, ქიმიურ-თერმული და ა.შ.) სწორ შერჩევამზე, რის შესაბამისადაც, ოპტიმალური არჩევანი ზოგ შემთხვევაში შესაძლებლობას იძლევა, რამდენიმეჯერ გაეადიღოთ დეტალის მუშაობის რესურსი.

2.3. ხახუნის თეორიები და მუშა ზედაპირების 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 აღვნიშნეთ, 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, ვილერი). ამავდროულად, ეფუძნებოდა რა გრიბოლოგიური პროცესის არსზე პირვანდელ წარმოდგენებს, მექანიკური თეორია ვერ ხსნიდა რიც მოვლენებს. მაგალითად, ამ თეორიის თანახმად, ყოველგვარ ლოგიკას ეწინააღმდეგება ცვეთის ინტენსივობის გაზრდა ძლიერ მცირე სიმჭისის ზედაპირების შემთხვევაში, რაც ასე მარტივად დასტურდებოდა ექსპერიმენტებით (როცა სიმჭისის პარამეტრები $R_c \leq 0,32 \dots 0,04$ მკმ, მიკრობორცვზე ასელის წინააღმდეგობა პრაქტიკულად არ არსებობს, ვინაიდან კუთხე ბორცვის ძირთან გატარებული პროფილის და პორიზონტს 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 ლიგერატურაში ხახუნის შესახებ უმეტესად აღკვეთურ შემდგენად იწოდება. შესაბამისად, ხახუნის ძალის ამ შემდგენისათვის შემოვიღოთ აღნიშვნა - F_2 .

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

როგორც აღრე აღნიშნეთ, ორი მყარი სხეულის მოლეკულური ურთიერთქმედების შედეგად წარმოქმნილ წინააღმდეგობას მათი ფარდობითი სრიალის დროს F_2 აღკვეთურ შემდგენს განაპირობებს მოხახუნე შედაპირების შევიდულება და მათი აღკვეთური თვისებები. უკანასკნელი, თავის მხრივ, შედეგია იმ ძალთა ველის მოქმედებისა, რომელიც წარმოიქმნება იმ მოლეკულების (ატომების, იონების) მუხგით, რომლებიც შეადგენენ საკონტაქტო შედაპირის გედა ფენას. ამ ველის მოქმედება ექსპონენციური კანონის მიხედვით მცირდება შედაპირიდან მანძილის გაზრდის შესაბამისად და შედაპირული ფენიდან 0,001-0,002 მკმ მანძილზე ვან-დერ-ვაალსის ძალების* მნიშვნელობა პრაქტიკულად უგოლდება ნულს.

დღეს აღიარებული ხახუნის თეორიის მიხედვით მიჩნეულია, რომ ალკემიური 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. გამოიკვლია 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) 10^{-4} მკმ-ს. დაწინაა, რომელიც წარმოიქმნება ატომურ-მოლეკულური მიზიდულობის შედეგად ურთიერთკონტაქტში მყოფ შედაპირებს შორის, ბუნებრივია, დამოკიდებულია მასალების გეარობასა და შედაპირების მდგომარეობაზე (მაგ, პროფილის პარამეტრებზე), ეანგის აფსკის არსებობაზე, ალსორბციის ხარისხზე და ა. შ. გამოკვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ფოლადის შედაპირისათვის, როდესაც მანძილი მათ შორის 0,005-0,01 მკმ-ია, სხეულთა ალკემიის შედეგად წარმოქმნილმა წნევამ შეიძლება 10^5 პა-ს მიაღწიოს.

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

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

2.5. მექანიკური ურთიერთქმედება ტრიბოლოგიურ პროცესში

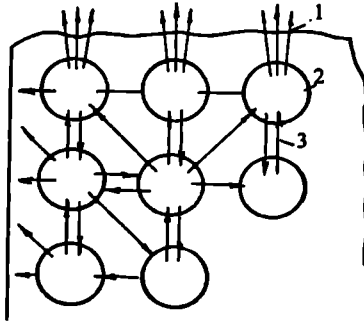
ხახუნის ძალის მეორე შემდგენი, რომელიც ასახავს სხეულთა მექანიკურ ურთიერთქმედებას სხეულთა ფარდობითი სრიალის დროს, როცა ერთის შვერი კონტაქტში არის მეორესთან და იწვევს მის მორღვევას ან დეფორმაციას, თანამედროვე ლიტერატურაში მოიხსენიება, როგორც კოჰეზიური შემდგენი და აღინიშნება F_j -თი.

იმის გამო, რომ შემოხსენებულ მექანიკური ურთიერთქმედებით შვერების მოჭრასთან ერთად ხდება მათი ღრეკაი 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. პუმბელმა კი ჩამოაყალიბა თეორია, რომელიც ხახუნის ძალის წინააღმდეგობად მიიჩნევდა ერთი სხეულის შვერით მეორის მასალის გამოდენის ფაქტს. თავის დროზე მასალის პლასტიკური გამოდენის 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:

$$F_j = \sum_{i=1}^m F_{j,i},$$

სადაც m შვერების რაოდენობაა საკონტაქტო ზედაპირზე; $F_{j,i}$ - ხახუნის ძალის კოჰეზიური შემდგენი i -ური შვერისათვის.

კოჰეზიური ძალები თავისი არსით მცირედ განსხვავებიან 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. ალპემიური და კოპემიური ძალების მოქმედების პირობითი სქემა:
1 – ალპემიური ძალები; 2 – სხეულის ელემენტები; 3 – კოპემიური ძალები

ალპემიური და კოპემიური ძალების ნათლად წარმოდგენისათვის გავაკეთოთ შემდეგი სახის დაშვებები შესაბამისი შეფასებებით:

- 1) ორი ერთმანეთის მიმართ მოძრავი სხეულის მუშა ზედაპირები აბსოლუტურად გლუვია, რაც შეესაბამება წინააღმდეგობის ძალების ალპემიურ ხასიათს;
- 2) ორ ერთმანეთის მიმართ მოძრავ სხეულს აქვს რეალური, მქისე ზედაპირები – მაშინ წინააღმდეგობის ძალებს აქვს როგორც ალპემიური, ასევე კოპემიური ხასიათი.

ამრიგად, რეალური გარე ხახუნი ბუნებაში ალპემიური და კოპემიური ძალების მოქმედების შედეგია და იგი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს, როგორც ალპემიური F_a და კოპემიური F_k შემდგენების ჯამი:

$$F_f = F_a + F_k,$$

სადაც F_f ჯამური გარე ხახუნის ძალაა.

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

- მასალათა დრეკადი დეფორმაცია;
- მასალათა პლასტიკური დეფორმაცია;
- მოხახუნე ზედაპირებში შუკრილი შევრების ჭრა;

უანგის აუსკების შეჭიდულობა და მათი რღვევა;

ზედაპირების მოღვეკუღური შეჭიდულობა, რომელსაც თან სღვეს სიდრმითი ამოღღვეჯები.

ურთიღერთქმღღების ზემოთ მოყენიღი სახეების მნიშენღობის რაოღენობრიღი მარენებღები განაპირობებენ F_a და F_j შემღღენების თანაღარღობას ტრიბოლოღური პროცესში, რაც, თავის მხრივ, განსაზღღერავს ზედაპირების დაშლის ხასიათსა და ინტენსიოღობას, შესაბამისად, მანქანათა ნაწიღების საიმღღღობას და, კერძოდ, ხანგამღღღობას.

2.6. მასალის მექანიკური თვისებების შეფასება დაღებითი გრადიენტის წესით

როგორც უკვე აღენიშნეთ, ტრიბოლოღური სისტემის კონსტრუირების დროს მნიშენღლოვანი მომენღია მოხახუნე წყვიღებისათვის მასაღებისა და მათი ზედაპირების დამუშავების მეთოღის შერჩევა. ორივე ფაქტორი ერთად მნიშენღლოვანწიღად განსაზღღერავს მოხახუნე ზედაპირული ფენის საერთო მღღღომარეღობას. აღნიშნუღის გამო თანამღღღოვე საინჟინრო და მეცნიერულ პრაქტიკაში ტრიბოლოღური სისტემების შრომისუნარიანობის ერთ-ერთ ყვეღამე ეფექტურ კრიტერიუმად შეიღღღება იქნეს მიჩნეული „გრადიენტის წესის“ გამოყენება.

გრადიენტის წესი ითვალისწინებს განისაზღღეროს მასალის მექანიკური მარენებღლის ცვლიღების სურათი – გრადიენტი ზედაპირის ნორმალის მიმართუღებით (თვალსაჩინოებისათვის მექანიკურ მარენებღელს ზოგჯერ გამოსახავენ ვექტორის სახით). თუ მასალის მექანიკური მარენებღელი, მაგ., სიმტკიცის ზღღარი σ , იზრღღება

ზედაპირის სიდრმის მიმართუღებით, გრადიენტი დაღებითია $\frac{d\sigma_z}{dz} > 0$ (ნახ. 2.7ა), საღღაც

σ , მასალის მექანიკური მარენებღელია, ხოლო z – მიმღინარე კოორღინატი ზედაპირის ნორმალის მიმართუღებით, მაშინ მოხახუნე წყვიღის ხახუნის პროცესისათვის შექმნიღია მიზანშეწონიღი, ოპტიმალური პირობები. ზემოხსენებული მიიღწევა იმით, რომ ტრიბოლოღური პროცესში დეფორმაციის ზონა არ ვრცელღება დიდ სიდრმეზე და დეფორმირღება მხოლოდ ზედაპირული თხელი ფენა, რაც მნიშენღლოვანი პირობაა იმისა, რომ არ მოხღღეს ღღღალის სიდრმისეული რღღევა, ე. ი. ღღღალის ინტენსიური ცვეთა.

თუ ლეგალის მოხახუნე ზედა ფენას აქვს უფრო მაღალი სიმტკიცის 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 ლეგალის ზედაპირული რღვევით მოხახუნე ფენების ერთმანეთთან შეჭიდულობისა და სიღრმისეული ფენების ნაკლები სიმტკიცის გამო. პროცესის ფიზიკური არსი მღვობარობს იმაში, რომ მოხახუნე ზედაპირიდან ხდება მასალის პაგარა გუნდების სიღრმისეული ამოგლეჯები, რაც, თავის მხრივ, ფრიალ უარყოფით მოუღენად ითვლება.

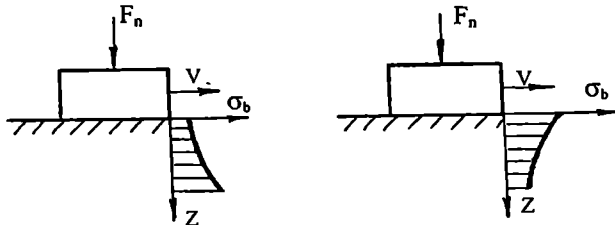
მემოთ ნათქვამის გათვალისწინებით შეიძლება დამატებით დავასკვნათ, რომ ტრიბოლოგიურ პროცესში მნიშვნელოვანი ფაქტორია ის, რომ სხეულების ადჰეზიური კავშირების სიმტკიცე უნდა განსხვავდებოდეს სიღრმისეული ფენების სიმტკიცისაგან. ამასთან, ჭეშმარიტი გარე ხახუნის პროცესის დამყარებისათვის საჭიროა, რომ სიღრმისეული ფენების სიმტკიცე მეტი იყოს ადჰეზიური კავშირების სიმტკიცეზე (დადებითი გრადიენტი), აღნიშნულ შემთხვევაში ლეფორმაციები ვრცელდება მხოლოდ თხელ ზედაპირულ ფენებში და ცვეთა ნაკლებად ინტენსიურია. თუ ადჰეზიური კავშირების სიმტკიცე მეტია სიღრმისეული ფენების სიმტკიცეზე (უარყოფითი გრადიენტი), ლეფორმაციები მოცულობითია და, შესაბამისად, ცვეთა ინტენსიური იქნება. ე. ი. ტრიბოლოგიური პროცესის ხელსაყრელად წარმართვისათვის უნდა ხორციელდებოდეს დადებითი გრადიენტის წესი. ამასთან, საჭიროა გაითვალისწინოთ ის, რომ როგორც კი ირღვევა დადებითი გრადიენტის წესი, გარე ხახუნის პროცესთან ერთად იწყება შიგა ხახუნი, და რომ ამ მოუღენას დიდად უწყობს ხელს კონტაქტის მონაში წარმოშობილი მაღალი ტემპერატურა. უკანასკნელი განპირობებულია იმით, რომ ტემპერატურის მომატება ძლიერ მოქმედებს ზედაპირის დამცველი აფსკების სიცოცხლის უნარზე.

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

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

2) 1-ლ პუნქტში აღწერილ ზედაპირზე დანაწევრებულ ფენებში თხევალი ან აიროვანი პროდუქტების შეყვანა.

ამ მიმართულებით საინტერესო დაკვირვება აქვს ლ. გარკუნოს, რომელმაც დააფიქსირა, რომ თევზებს, ფრინველებს, თაგვებს, თხუნულებს უმცირესი წინააღმდეგობა აქვთ შესაბამის გარემოში მათი მოძრაობისას.



ნახ. 2.7. მასალის მექანიკური მახასიათებლების გრადიენტის განსაზღვრის წესი:

ა – დაღებითი გრადიენტი; ბ – უარყოფითი გრადიენტი.

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

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

დღეს კი საინჟინრო პრაქტიკაში დაღებითი გრადიენტის განხორციელების მიღწევა შეიძლება ისეთი კონკრეტული, კონსტრუქციული გადაწყვეტილებებით, როგორცაა:

საკონტაქტო ზონაში ისეთი შემზეთი მასალების გამოყენება, რომლებიც ამცირებენ ზედაპირული ფენების სიმკვრივეს ფენის აღსორბირების საფუძველზე (რებილდერის ეფექტი) ან ქიმიური ზემოქმედების შედეგად;

მცირე სიმკვრივის მქონე თხელი ლითონური ან სხვა მასალების გამოყენება ზედაპირების დაფარვის მიზნით;

ზოგადი დასკვნით გრიბოლოგიური სისტემების ეფექტური მუშაობა მნიშვნელოვანწილად არის განპირობებული შერჩევითი გადატანის განხორციელებისათვის საჭირო წინაპირობების შექმნით. ერთ-ერთ ასეთად შეიძლება მივიჩნიოთ გრიბოლოგიურ სისტემებში გამოყენებული მასალების ზედაპირული ფენების სიღრმითი მიმართულებით დაღებითი გრადიენტის მიღების პირობა.

თავი 3. შერჩევითი ბადატანა ტრიბოლოგიურ პროცესში

3.1. ტრიბოტექნიკის განვითარების ახალი ამოცანა

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

აღნიშნული არგუმენტების კომპლექსური გავლენა ტრიბოლოგიურ პროცესებზე, რომლებიც ფაქტიურად განსაზღვრავენ ცვეთის ხარისხს, პრაქტიკაში შემდეგი სახით ელინდება:

- პლასტიკური დეფორმაციები, რომლებიც იწვევენ მოსახუნე ზედაპირების ციკლედას და მიკრობორცვების რღვევას;
- ჯანგითი პროცესები, რომლებიც წარმოქმნიან ჯანგეულების აფსკებს (მართალია, ისინი დადებითი გრადიენტის წინაპირობას წარმოადგენენ, მაგრამ იმის გამო, რომ ნაკლებად მტკიცენი არიან, ადვილად ირღვევიან);
- ერთი მოსახუნე ზედაპირთაგანის შეერების მეორეში ჩადრმაეება მათი ფარდობითი სრიალის დროს უკანასკნელში იწვევს ღრმულების გაჩენას და საბოლოოდ, პროცესის მრავალჯერადი გამეორების დროს, ზედაპირის რღვევას;
- აღქმური შეჭიდულობა, რომელიც იწვევს ერთი მასალის მეორეზე შეჭიდებას, რაც, თავის მხრივ, განაპირობებს მასალის პატარა გუნდების ამოგლეჯას;
- მოსახუნე ზედაპირზე წყალბადის კონცენტრაციის გამზრდა, რაც ტრიბოლოგიური სისტემის მუშაობის პირობების მიხედვით მკვეთრად ზრდის ცვეთის ინტენსივობას.

ბოლო დრომდე ხახუნის ძალების და, შესაბამისად, ცვეთის შემეცირების ძირითად და თითქმის ერთადერთ მიმართულებად რჩებოდა მოსახუნე სხეულების ზედაპირების სისაღის გადიდება. აღნიშნული განპირობებულია იმით, რომ ზედაპირული სისაღის გადიდება ამცირებს სხეულთა მიკრო- და მაკრობორცვების ურთიერთჩადრმაეებას, ე.ი. ამცირებს პლასტიკური დეფორმაციების მნიშვნელობას და, მამასადამე, მადეფორმირებელ, კოპეზიურ მდგენელს. გარდა ამისა, ხსენებული ფაქტორი ამცირებს

ტრიბოლოგიურ სისტემაზე აბრაზიულ ზემოქმედებას და ქანგვითი პროცესების ინტენსივობას.

მექანიკური სისტემების ხახუნის კვანძების ნაწილების ზედაპირული სისაღის ცალიდების მრავალი მეთოდი არსებობს. მათი დიდი უმრავლესობა დღესაც ფართოდ გამოიყენებოდა სამანქანათმშენებლო პრაქტიკაში. მაგ.: ზედაპირული წრთობა, ცემენტაცია, აზოტიზაცია, ციანიზაცია, ქრომირება, საღი შენადნობების თხელი ფენის დადუღება და სხვ. ჩამოთვლილი მეთოდები ტრადიციულია და მნიშვნელოვნად ზრდის ტრიბოლოგიური სისტემის ხანგამძლეობას. მაგალითად, ცილინდრების ელექტროლიტური ქრომირების შემდეგ შიგაწვის ძრავას წყვილის „ცილინდრ-დვების“ რგოლის ცვეთამდეგობა თუჯის ცილინდრებთან შედარებით 4...5-ჯერ იზრდება [4].

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

აღნიშნული მიზეზების გამო საჭირო გახდა ახალი მაგისტრალური ემების ძიება.

3.2. შერჩევითი გადატანის არსი

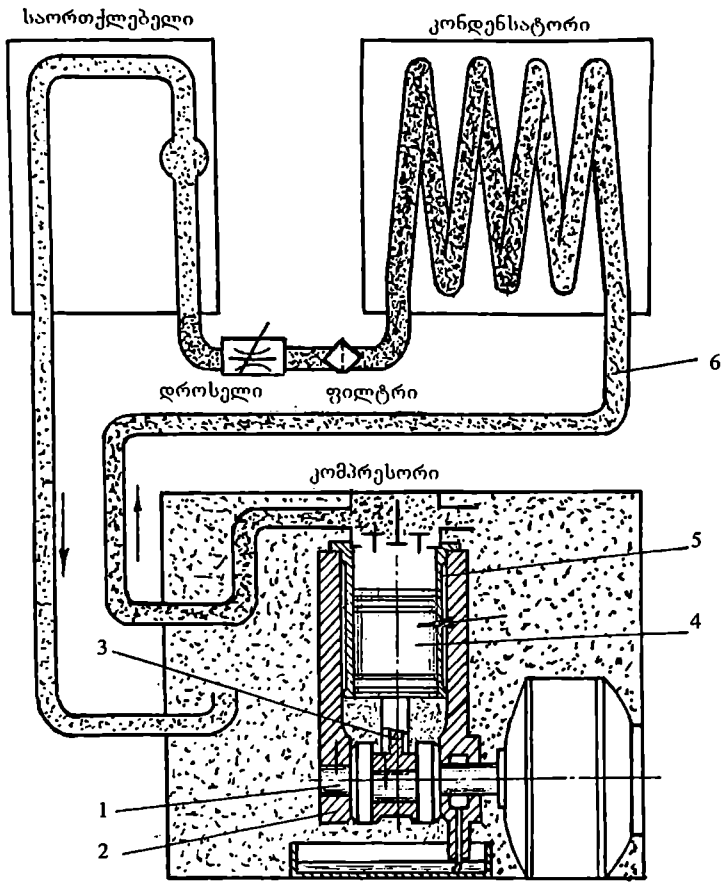
ჩვენი საუკუნის 50-იან წლებში მკვლევართა მიერ შენიშნულ იქნა, რომ მანქანათა ნაწილების ტრიბოლოგიურ პროცესში ერთ-ერთი მოხახუნე ლითონის თხელი ფენა გადაიტანებოდა მეორეზე. ეს მოვლენა განსაკუთრებით თვალსაჩინო იყო ფოლადი-ბრინჯაოს მოხახუნე წყვილებისათვის სპირტ-გლიცერინის ნარევის შემეთვის პირობებში. ლითონის აფსკი,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





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

და ფოლადი-ფოლადის წყვილის ზეთისა და ფრეონის ნარევი შეგეთვის დროს (საყოფაცხოვრებო მაციერის კომპრესორის ხახუნის კვანძი).

რბილი ლითონის ერთი სხეულიდან კონტრასხეულზე გადატანის მოვლენა მკვლევრებისათვის იმთავითვე უდაუო ფაქტი გახდა. პრობლემურად მხოლოდ გადატანის მექანიზმის მოძღვის შემუშავება გამოიყურებოდა. თუმცა ამ პერიოდისათვის საესებით 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 წარმოქმნება ბრინჯაოს ანოდური გახსნის შედეგად. აღნიშნული შეესაბამება იმ ვითარებას, როცა ბრინჯაოს ან თითბრის მალეგირებული ელემენტები – კალა, თუთია, ალუმინი, რკინა გადადიან შემგეთ მასალებში, ხდება მოხახუნე ზედაპირის სპილენძით გამდიდრება. ტრიბოლოგიურ სისტემებში ძირითად მასალად გამოყენებული შენადნობი – ბრინჯაო, ზედაპირის გამდიდრების გამო სპილენძით რომ დაიფარება, აღარ იხსნება შემგეთ მასალაში და მყარდება შერჩეული გადატანის რეჟიმი. საყოფაცხოვრებო მაციერის 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 ზეთი-ფრეონის ნარევი სპილენძის მილაკების ზედაპირული ფენების გახსნით. ამ სახით სპილენძის იონები შედიან ტრიბოლოგიური სისტემის საკონტაქტო ზონაში და წარმოქმნიან სპილენძის აფსკს. სწორედ ეს მოვლენა უღევს საფუძვლად მაციერის კომპრესორების მეხანგამძლეობას, რომელიც კვანძის უმტყუნებო მუშაობის ათწლეულებით განისაზღვრება.



-  მაღალი წნევის ფრეონის ორთქლი
-  დაბალი წნევის ფრეონის ორთქლი
-  თხევადი ფრეონი
-  ზეთი

ნახ. 3.1. საყოფაცხოვრებო მაციერის კომპრესორის შემეთვის სქემა

(ხახუნის მონების სპილენძით დანაფარი ნაჩვენებია ისრებით):

- 1 – მუხლა ლილევი; 2 – მუხლა ლილვის საკისარი; 3 – ბარბაცა; 4 – დგუში;
- 5 – ცილინდრი; 6 – სპილენძის მილაკების კლაკნილა

ამ შესანიშნავი აღმოჩენის ფორმირებაში გარკვეული როლი ითამაშა ბუნების ფუნქციონის სწორმა გაანალიზებამაც. ავტორების მიერ შესაძლებელი გახდა ისეთი საინტერესო 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.

დაწერილებით განვიხილოთ შერჩევითი გადატანის მექანიზმი საყოფაცხოვრებო მაციერის მაგალითზე. მაციერის კომპრესორი, როგორც უკვე ნახსენები იყო, მძიმე ექსპლუატაციის პირობებში (დიდია ჩართვითა რაოდენობა დროის ერთეულში) უმცირესობად მუშაობს ათეული წლების მანძილზე. ამასთან, პრაქტიკულად არ ხდება ცვლათა. ტრიბოლოგიური სისტემის დეტალები დამზადებულია ფოლადისაგან; გამაცივებელი საშუალება - 50% ფრეონი პლუს 50% მეთი (ნარევის შემთხვევაში ფუნქციას აქვს). მუშაობის პროცესში ტრიბოლოგიური სისტემის ზედაპირებზე – მუხლა ლილვის ძირეულ და ბარბაცას ყელზე წარმოიქმნება 1-2 მკმ სისქის სპილენძის აფსკი. აფსკი, როგორც უკვე აღენიშნეთ, ფორმირდება სპილენძის იონებით, რომლებიც, თავის მხრივ, წარმოიქმნება სპილენძის გამაცივებელი მილების უმნიშვნელო, ზედაპირული კოროზიის შედეგად. სპილენძის იონები საკონტაქტო ზონაში გადაიტანება გამაცივებელი ფრეონ-მეთის ნარევით.

გამაცივებელი ნარევის აქტიუობა სპილენძის მილაკების მიმართ იზრდება საკონტაქტო ზონაში კომპრესორის მუშაობის დროს წარმოქმნილი სუსტი მკაეას მოქმედების გამო. მკაეას წარმოქმნის წყაროა მეთის დაქანგვის პროცესი, რომელიც ტრიბოლოგიური სისტემების მუღმევაღ თანამღვეი პროცესია.

პროცესის შემღგომ ეტაღმე, მას შემღმეღ, რაღ მოხახუნე ზეღაღირებზე უკვე წარმოიქმნება სპილენძის გარკვეული სისქის აფსკები, მნიშვნელოვნად იცელება ტრიბოლოგიური პროცესის პარამეტრები: მცირდება ხახუნის ძაღა, საკონტაქტო ზონაში წარმოქმნილი ტემპერატურა და ფაქტობრივი კონტაქტური წნევა, რის შედეგაღაც წყდება სპილენძის აფსკის წარმოქმნის ხელშემწყობი პროცესი - მეთის დაქანგვა და მილაკების ზეღაღირებზე სპილენძის გახსნა. აღნიშნულ პირობებში არ ხდება სპილენძის აფსკის ღამიანება და იღი იღავს მოხახუნე ზეღაღირებს ცეუთისაგან, რაღ მნიშვნელოვნად ამცირებს ხახუნის ძაღას და ზრღის კეანძის ხანგამღლეობას.

ამრიგად, ზემოხსენებულ კომპრესორის ტრიბოლოგიურ სისტემებში ჯაღვი ურთიერთგამომწვეე მოვლენებისა, რომლებიც მიმღინარეობს მოხახუნე ზეღაღირებზე, ასე შეიღლება იქნას წარმოდგენილი:

საწყისი პერიოდი: კომპრესორის გამაცივებელი ნარევის აქტივობა სპილენძის მილაკების მიმართ იზრდება; ტრიბოლოგიური სისტემის შემთვის დროს შემშეთი მასალა იეანგება; წარმოქმნილი სუსტი მყაეები ხსნიან სპილენძის მილაკების ზედაპირულ ფენებს და შემშეთ სისტემას ამარაგებენ სპილენძის იონებით.

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

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

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

ხახუნის დამყარებულ რეჟიმში სპილენძის აფსკები, ჩვეულებრივ, აღარ ირღევა. სპილენძის ნაწილაკებს შეუძლიათ ერთი ზედაპირიდან მეორეზე გადასვლა. ცეეთის პროდუქტები კი ღრეჩობებში ელექტრული ძალებით არის შეკაეებული.

განხილული მაგალითის შესაბამისად დ. გარკუნოვის მიერ გაკეთდა დასკენა, რომ ტრიბოლოგიური პროცესი გარკეეულ პირობებში შეიძლება გახდეს ევოლუციური და რომ იგი შეიძლება არ იყოს მრღევეი 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.

ტრიბოლოგიური პროცესის ამგვარი შეფასება სულ ცოტა ხნის წინათ მეცნიერებაში ახალი, რეეოლუციური სიგყვა იყო.

3.3. სერვოეიტული აუსკის წარმოქმნის მექანიზმის შემთხვევები

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

ზოგ შემთხვევაში სერვოეიტული აუსკის წარმოქმნის პროცესი მოხაზუნე ზედაპირების, შემზეთი მასალების და ხახუნის სხვა პარამეტრების მიხედვით შეიძლება სხვადასხვაგვარ პირობებში მოხდეს. განვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

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

საწყისი პერიოდი: მოხაზუნე ბრინჯაოს ზედაპირი იხსნება გლიცერინში. ამასთან, საკონტაქტო ზონაში გლიცერინი მოქმედებს, როგორც სუსტი მჟავა, რის შედეგადაც მალეგირებელი ელემენტები – კალა, ალუმინი და სხვა გადადიან შემზეთ მასალაში და ხდება ბრინჯაოს ზედაპირის სპილენძის ატომებით გამდიდრება, ხოლო მოხაზუნე ზედაპირების დეფორმაცია იწვევს მალეგირებელი ელემენტების ატომების ახალი დიფუზიური ნაკადის წარმოქმნას საკონტაქტო ზონაში, რომელიც ასევე გადადის შემზეთ მასალაში. ამგვარად, ბრინჯაოს ზედაპირული 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 ზედაპირის სპილენძის თხელ ფენას ათავისუფლებს ჟანგეულების აუსკებისაგან (გლიცერინი არის სპილენძის ჟანგისა და ქვეჟანგის აღმდგენი). ჟანგეულების აუსკებისაგან თავისუფალი მოხაზუნე სპილენძის ფენა მეტად აქტიურია და რადგანაც აქვს თავისუფალი კავშირები, მას შეუძლია ფოლადის ზედაპირებთან კარგი შეჭიდულობის უზრუნველყოფა. შედეგად ფოლადის ზედაპირი თანდათანობით იფარება სპილენძის თხელი ფენით. ვინაიდან ამ დროს ბრინჯაოს ზედაპირზე სპილენძის თხელი ფენა უფრო თხელდება, ხდება ბრინჯაოს ფენის შემდგომი გარდაქმნა სპილენძად. ეს პროცესი გრძელდება მანამ, სანამ ორივე ზედაპირზე არ წარმოიქმნება დაახლოებით ერთნაირი სისქის ფენა.

დამყარებული პერიოდი: ორივე, როგორც ბრინჯაოს, ასევე ფოლადის ზედაპირი დაფარულია სპილენძის სისქის 1...2 მკმ აფსკით. ბრინჯაოს გახსნის პროცესი წყდება, ვინაიდან გლიცერინის მოლეკულები უკვე ევლარ ალაღვენენ ლითონს ზედაპირულ ფენებში, რის შედეგადაც შერჩევითი გადატანის პროცესი გადადის დამყარებულ რეჟიმში.

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

2. სერვოვიტული აფსკი შეიძლება წარმოიქმნას ხახუნის კვანძში ისეთი შემგები მასალების გამოყენების დროს, რომლებსაც ლითონმიმტკეცი (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 გყვიის დამატებით შემეთვის დროს გამოყენებული ლითონების ფხენილის თხელი აფსკით იფარება. ხახუნის პროცესში ლითონური ფხენილები იხსნება შემგეთ მასალაში და ჟანგეულების აფსკებიდან განთავისუფლების შემდეგ მჭიდროდ უკავშირდება ფოლადის ზედაპირს, რითაც წარმოქმნის სერვოვიტულ აფსკს. ასეთი გზით წარმოქმნილი აფსკი ფოროვანია, ხოლო ფორები შეიცავენ შემგეთ მასალას. შედეგად მკვეთრად უმჯობესდება ხახუნის პარამეტრები – მცირდება ხახუნის კოეფიციენტი, ფოლადის ზედაპირი პრაქტიკულად არ ცვდება.

თუ შემგეთი მასალა ხასიათდება კარგი აღმდგენი თვისებებით, შერჩევითი გადატანის რეალიზებისათვის საკონტაქტო ზონაში შეიძლება აგრეთვე სპილენძის ქვეკანგის ან ჟანგის შეტანა.

3. სერვოვიტული აფსკი შეიძლება ფორმირებულ იქნეს მამინაც, თუ ერთ-ერთ მოხახუნე სხეულად გამოყენებულია სპილენძის ქვეკანგით შევსებული ფთოროპლასტ-4 (პოლიეტერაფთორეთილენი) გლიცერინის შემეთვის პირობებში. სერვოვიტული აფსკი წარმოიქმნება სპილენძის ქვეკანგის აღდგენით, რომელიც გლიცერინის ხელშეწყობით ხდება. შედეგად ფოლადის ზედაპირი სპილენძის ფენით იფარება.

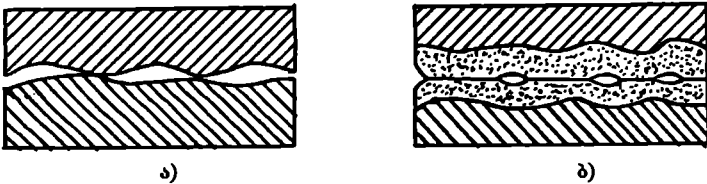
არსებობს ხახუნის პროცესში სერვოვიტული აფსკის წარმოქმნის სხვა პირობებიც.

3.4. შერჩევითი გადატანის ფიზიკური საფუძვლები

გავარკვიოთ და შევისწავლოთ შერჩევითი გადატანის ის ფაქტორები, რომლებიც უზრუნველყოფენ ესოდენ დიდ ეფექტს – ტრიბოლოგიურ სისტემაში უმცირეს ხახუნის ძალას და პრაქტიკულად ცვეთის გარეშე პროცესს.

1. შეშეთის გარეშე, ან სასაზღვრო შეშეთის პირობებში ჩვეულებრივი ტრიბოლოგიური 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 ტრიბოლოგიური სისტემის ინტენსიური ცვეთისა.

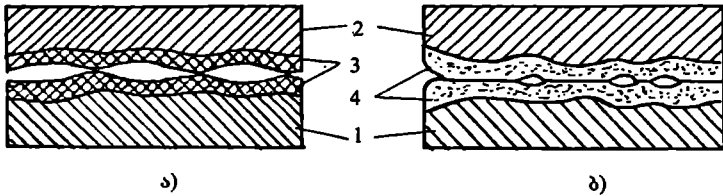
გემოთ ნათქვამი სქემატურად ილუსტრირებულია 3.2ა ნახ-ზე, საიდანაც თვალნათლივ ჩანს, რომ ჩვეულებრივი ხახუნი წერტილოვანი შეხებით ხორციელდება. შერჩევითი გადატანის დროს კი კონტაქტი ხდება პლასტიკურად დეფორმირებული სპილენძის ფენების ურთიერთშეხების მეშვეობით (ნახ. 3.2ბ), ეი რამდენიმე ათეულჯერ უფრო დიდ ფართობზე,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



ნახ. 3.2. მოხახუნე დეტალების კონტაქტის სქემა სასაზღვრო შეშეთისა (ა) და შერჩევითი გადატანის (ბ) დროს

როგორც გემოთ იყო აღნიშნული, სერვოვიტული აფსკის სისქე 1..2 მკმ-ია, რაც დაახლოებით შეესაბამება მანქანათმშენებლობაში გამოყენებული დეტალების სიმჭისის პარამეტრებს, რის გამოც შერჩევითი გადატანისას ხახუნის კონტაქტი ხორციელდება ბრტყელ, შედარებით დიდ ზედაპირებზე.

2. სასამღერო შეშეთისა და საერთოდ, შეშეთის გარეშე მოხახუნე ზედაპირები ხახუნის პროცესში იფარებიან ეანგის აფსკით (ნახ. 3.3), რომელიც, როგორც ცნობილია, იცავს ლითონურ ზედაპირებს ერთმანეთთან შეჭიდებისაგან. მაგრამ იმის გამო, რომ აფსკი მეტად მყიფეა, მუშაობის გარკვეული პერიოდის შემდეგ ღეფორმაციების შედეგად ირღვევა მისი მთლიანობა. აფსკის რღვევის პროცესი არის წინააღმდეგობის რაღაც მნიშვნელობა და იგი გარკვეულწილად განსამღერავს ხახუნის ძალას მოცემულ კეანმში.



ნახ. 3.3. წარმონაქმნები მოხახუნე ღეგალების საკონტაქტო ზედაპირზე სასამღერო შეშეთისა (ა) და შერჩევითი გაღატანის (ბ) დროს:

1 – ფოლადი; 2 – ბრინჯაო; 3 – ნაეანგი აფსკი; 4 – სეროვიტული აფსკი

ტრიბოლოგიური პროცესებისათვის დამახასიათებელი მაღალი ტემპერატურული მნიშვნელობები იწვევენ აფსკის სისქის გაღიდებას, რაც, თავის მხრივ, ზრდის წინააღმდეგობის სიღიდეს ანუ ხახუნის ძალას.

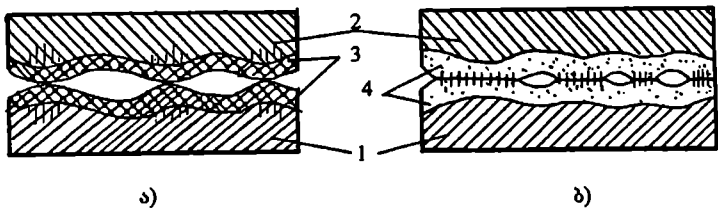
შერჩევითი გაღატანის რეჟიმში მოხახუნე ზედაპირები დაცულია დაცანგვისაგან დაღებითად დამუხტული აღსორბირებული ზედაპირულაქტიური ნითიერებების სქელი ფენით, რომელიც წარმოიქმნება გარემო პირობებისა და შეშეთი საშუალებების ხახუნის პროცესში მონაწილეობის შედეგად და რომლებიც იცავენ სეროვიტულ აფსკს ეანგბადისაგან. შედეგად ხელი ეწყობა კემოსორბციულ პროცესებს, რაც, თავის მხრივ, დამცაეი საშუალებაა ციენაჭეღობის წარმოქმნის საწინააღმდეგოდ და, შესაბამისად, იცავს ზედაპირს ინტენსიური ცვეთისაგან (კემოსორბცია ისეთი პროცესია, როღესაც მყარი სხეულის ზედაპირზე კონცენტრირღება რაიზე ნითიერება გავის ან სითხის სახით და, განსხეაეებით აღსორბციისაგან, წარმოიქმნება ქიმიური შენაერთი).

აღნიშნულის გამო, თუ ჩეულებრივი ხახუნის დროს მოხახუნე ზედაპირებზე წარმოქმნება ციენაჭეღობის კერები, რომლებიც ხახუნის პროცესში იწვევენ ზედაპირის

რღვევას, სერვოეიტულ აუსკეჲ ცინაჲჲელობის კერუბი არ წარმოიქმნება და შესაბამისად შესაძლებელია მისი მრავალჯერადი ღეფორმირება ზედაპირის რღვევის გარეჲე.

3. შერჩეითი გადაგანის პროცესის რეალიზაციისათვის აუცილებელია შემზეთ გარემოში ზედაპირულაქტიური ნივითერებების არსებობა, რომელსაც უმრაველეს შემთხეევაში შემზეთი საშუალებები შეიცავენ, წინააღმდეგ შემთხეევაში მათი მისართის სახით გათვალისწინება რთული არ არის. ზედაპირულაქტიური ნივითერებები თავისი ფიზიკურ-ქიმიური ჲემოქმედებით იწევენ ლითონის, ამ შემთხეევაში, სპილენძის ზედაპირული ფენის პლასტიფიცირებას (ღენაღობასა და ელასტიკურობის მაჩვენებლების მრღას), შესაბამისად, ხახუნის ძალის შემცირებას მოხახუნე ზედაპირებს შორის. სამეცნიერო პრაქტიკაში ეს მოვლენა პირველად პ. რეზინღერმა შენიშნა, ამიგომ სამეცნიერო ლიგურატურაში, სათანაღოღ, „რეზინღერის ეფექტი“ ეწოღა. ამ ეფექტის არსი ასეთია: საჭიროა მოხახუნე ზედაპირებზე დაღებით გრადიენტის უმრუნეეეყოფა ზედაპირული ფენის სიმკციის შემცირებისა და გაფხეიერების გზით, რომელიც, თავის მხრივ, განპირობებულია ზედაპირულაქტიური კომპონენტების მოქმედების შეღეღად გამოწვეული აღსორბციით.

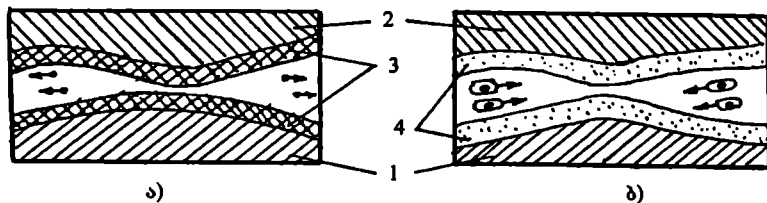
ჩეეულებრივი ხახუნის ღროს ნაქანგი აუსკის არსებობის გამო ზედაპირულაქტიური ნივითერება ვეღარ აღწეეს ლითონის ზედაპირამღე და მცირღება რეზინღერის ეფექტი, ე.ი. იმრღება პლასტიკური ღეფორმაციების მასშგაბები (სიღრმე) და მასთან ერთად ცეეთის ინტენსიოზა (ნახ. 3.4ა).



ნახ. 3.4. ღეფორმაციების განაწილების სქემა საკონტაქტო აღცილებში სასაზღერო შეზეთვისა (ა) და შერჩეითი გადაგანის (ბ) ღროს:
1 – ფოღაღი; 2 – ბრინჯაო; 3 – ნაქანგი აუსკი; 4 – სერვოეიტული აუსკი;
5 – პლასტიკური ღეფორმაციის მონა

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

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



ნახ. 3.5. ცვეთის პროდუქტების მოძრაობის სქემა საკონტაქტო ზონაში სასაზღვრო შეშეთისა (ა) და შერჩევითი გადატანის (ბ) დროს:

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

შერჩევითი გადატანის დროს სერვოვიტული 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 სერვოვიტულ აფსკს.

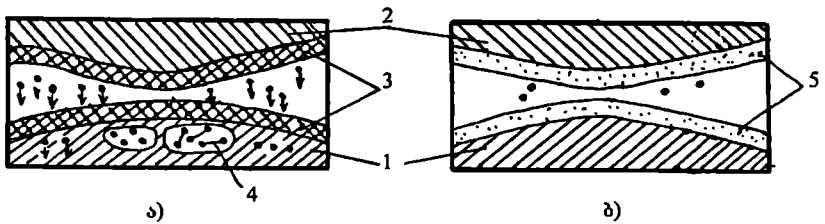
5. ცვეთის გამომწვევი ცნობილი ფაქტორებიდან თავისი ხვედრითი წილით ერთ-ერთი მთავარია წყალბალოვანი ცვეთა (ეს მოვლენა აღმოჩენის დონეზე დაამუშავა დ.

გარკუნოვმა ო. პოლიაკოვთან ერთად). ხახუნის კვანძების ზონაში წყალბადის წარმოშობის წყაროა საწვავის შემზეთი საშუალებების, შემზეთ-გამაციებელი 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 ზედაპირული 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 გადატანა 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.

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



ნახ. 3.6. წყალბადის მოძრაობის სქემა საკონტაქტო ზონაში სასაზღვრო შემეთვის დროს (ა) და შერჩევითი გადატანის (ბ) დროს:
 1 – ფოლადი; 2 – ბრინჯაო; 3 – ნაქანგი აფსკი; 4 – წყალბადის იონების შეგროვების ადგილები; 5 – სერვოვიტული აფსკი

3.5. ანომალური მცირე ხახუნის ეფექტი

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

პოლიეთილენისა და პოლიპროპილენის (კლასიკურ ანტიფრიქციულ მასალად არც ერთი არ ითვლება) ხახუნის კოეფიციენტი ეაკუუმის პირობებში მათზე ჰელიუმის ატომების ნაკადით ზემოქმედების 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) ზემოქმედების 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 $665.10^{-6}...665.10^{-4}$ კა. გამოსხივების შეწყვეტისთანავე ხახუნის ზემოქმედების ეფექტის მოვლენა ქრება.

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

ანომალური ზემოქმედება ხახუნზე და, შესაბამისად, მცირე ცვეთა ოპტიკურ-ფიზიკურ გამოშვებათა საკუთრივ სამეცნიერო-საკვლევო ინსტიტუტის გამოკვლევების საფუძველზე იმით აიხსნა, რომ მოხახუნე დეგალის 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 ტრიბოლოგიური პროცესებისათვის დამახასიათებელ მაღალ ტემპერატურაზე.

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

აღწერილი მოვლენის საფუძველზე ეფექტის აეგორება შეძლეს შეექმნათ ახალი თვითმეთვადი მასალა, რომელიც წარმატებით მუშაობს ჩვეულებრივ და მძიმე

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

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

შემოაღწერილის საფუძველზე ეფექტი მომავალში პერსპექტიულ მოვლენად წარმოგიდგება.

თავი 4. ტრიბოლოზური პროცესი შემჯავთი მასალებით

4.1. შემჯეთი მასალის დანიშნულება და თვისებები

შემჯეთი მასალის დანიშნულებაა ტრიბოლოგიურ სისტემაში შეამცროს ხახუნის ძალები და ცვეთის ინტენსივობა. ვარდა ამისა, შემჯეთი მასალის გამოყენება ხელს უწყობს ტემპერატურისა და დაწნევის მნიშვნელობათა გათანაბრებას ხახუნის ზონებში, სითბოს არინებას მაქსიმალური ტემპერატურის ზონიდან, დარტყმითი დატვირთვების და რხევების შემცირებას, კოროზიისაგან მასალების დაცვას, ცვეთამდევე ეანგეულებისა და სეროვოგიული აფსკების წარმოქმნას და ა. შ.

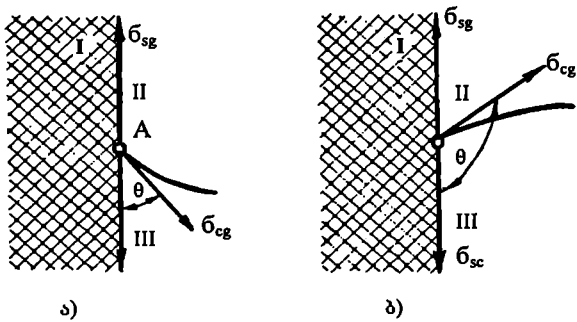
ყოველივე ეს მიიღწევა იმის მეშვეობით, რომ შემჯეთი მასალა ერთმანეთისაგან აცალკევებს მოხახუნე ზედაპირებს და, შესაბამისად, ამცირებს ურთიერთაღქმვიურ და მექანიკურ მეშქმელებას.

შემჯეთი 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 სიყვეებით, ხახუნის მცირე წინააღმდეგობა მოხახუნე ზედაპირების ურთიერთმოძრაობის დროს ძირითადად აიხსნება შემჯეთი მასალის შიგა ხახუნის მცირე მნიშვნელობით.

შემჯეთი მასალის აუცილებელი თვისებაა, რომ მას ჰქონდეს მოხახუნე ზედაპირის შემჯეთის უნარი. ამისათვის იგი უნდა ასეველებდეს მას. კარგი დასეელების უნარი ოპტიმალური შემჯეთის ძირითადი პირობაა. განვიხილოთ ამ მოვლენის მოვიერთი პარამეტრი: კუთხე θ იწოდება დასეელების კუთხედ და იგი განსაზღვრავს შემჯეთი სითხის მყარი სხეულის დასეელების ხარისხს. დასეელების კუთხე θ , რომელიც ზოგჯერ სასაზღვროდაც იწოდება, არის კუთხე დასეელებულ ზედაპირსა და სითხის მენისკის მყარ სხეულთან შეხების წერტილში გავლებულ მხებს შორის (ნახ.

4.1, 4.2, 4.3). თუ $\theta < \frac{\pi}{2}$, მაშინ შემჯეთი სითხე ასეველებს მოხახუნე ზედაპირს და თუ

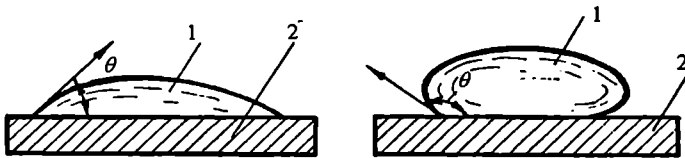
$\theta > \frac{\pi}{2}$, სითხე ზედაპირს არ ასეველებს.



ნახ. 4.1. სითხის მენისკის სხვადასხვა ფორმები ვერტიკალურ ზედაპირზე:

ა – მუზნეული მენისკი; ბ – ამობურცული მენისკი;

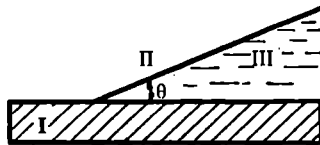
I – მყარი სხეული; II – ჰაერი (გაზი); III – სითხე



ნახ. 4.2. მყარი სხეულის დასველების კუთხის სხვადასხვა

მნიშვნელობა პორიზონტალურ 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 შემზეთი სითხის მიერ ზედაპირის აბსოლუტური დასველება და როცა $\theta = \pi$, გვაქვს აბსოლუტური არდასველება.

დასველების (სასამღვროს) 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 ზედაპირიდან არაუმეტეს მოლეკულური მიზიდულობის მანძილსა;
- გრავიტაციული ძალები.

მოქმედი ძალების გაანალიზების საფუძველზე შეიძლება დავასკენათ, რომ კოჰეზიური ძალები უზრუნველყოფენ დასველების კუთხის მრდას, 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 სიბლანტე. ზეთების სიბლანტე ანუ სითხეების შიგა ხახუნის წინააღმდეგობა შეიძლება განიმარტოს, როგორც მეთის ერთი ფენის მეორის მიმართ ძერისადმი წინააღმდეგობის თვისება ანუ წინააღმდეგობა იმ ძალებისადმი, რომლებიც იწვევენ სითხის მოძრაობას. ამასთან, ერთის მხრივ დიდი სიბლანტე აძნელებს ხახუნის მონიდან მეთის გამოდენას და, შესაბამისად, უზრუნველყოფილია ხახუნის პროცესში მოხახუნე ზედაპირებს შორის მეთის არსებობა. მეორეს მხრივ, დიდი სიბლანტე მომეტებული წინააღმდეგობაა დიდი შიგა ხახუნის გამო. ამიტომ მეთის შერჩევა ოპტიმალური სიბლანტით ტრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუირების დროს საპასუხისმგებლო ამოცანაა.

განახსნავენ სიბლანტის ორ მახასიათებელს: დინამიკურს და კინემატიკურს.

დინამიკური სიბლანტის მახასიათებელი გამოიყენება შეზეთების პიდროდინამიკური გაანგარიშების დროს. დინამიკური სიბლანტის ერთეულად მიღებულია ძალა, რომელიც საჭიროა რომელიმე ზედაპირიდან ერთეული მანძილით დაშორებული ერთეულოვანი ფართობის მქონე ზედაპირის 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. CH 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 გაღინებისათვის კაპილარულ მილში საკუთარი სიძიმის ძალის მეშვეობით. ამიგომ მასალის კინემატიკური სიბლანტე დამოკიდებულია მის სიმკვრივეზე და წარმოადგენს დინამიკური სიბლანტის ფარდობას სიმკვრივესთან. კინემატიკური სიბლანტის ერთეულად ფიზიკურ ერთეულთა სისტემაში მიჩნეული იყო სმ²/წმ ანუ 1 სტოქსი. CH სისტემაში შესაბამისი ერთეულია 1 მ²/წმ (სტოქსი=10⁻⁴ მ²/წმ). პრაქტიკაში კინემატიკური სიბლანტის ერთეულად ხშირად იყენებენ 100-ჯერ ნაკლებ სიდიდეს – სანტისტოქსს (სანტისტოქსი=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 (CH სისტემაში – კგ/მ³); η – დინამიკური სიბლანტე, სანტიჰუაზი (CH სისტემაში – პა.წმ); ν – კინემატიკური სიბლანტე, სანტისტოქსი (CH 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 შემზეთ 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 დევრადირებას ლესტრუქციით. პოლიმერების ლესტრუქცია კი, თავის მხრივ, იწვევს სიბლანგის შემცირებას, რაც ზეთის უეარგისად მიჩნევის მიზეზი ხდება.

ზეთი, როგორც აღვნიშნეთ, ხახუნის კოფიციენტის შემცირებასთან ერთად მუშა მონიდან წარიტაცებს ხახუნის შედეგად გაჩენილ სითბოს. მაგრამ, იმის გამო, რომ ზეთების სითბოტევადობა მცირეა (იგი დაახლოებით 4-ჯერ ნაკლებია წყლისაზე), საჭირო ხდება იგი ხახუნის ზონაში 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 ენერჯია 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 შემზეთის 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 მინარეებით ნაგვიანდებიან.

პირველი განპირობებულია ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის დამახასიათებელი თბური და ქაერის ეანგბადის ზემოქმედებით;

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

აღნიშნული გარემოებების მოქმედების შედეგად ეანგვა, გარეშე მინარეუები და თერმოქიმიური ცვლილებები ხახუნის პროცესში იწვევენ ზეთების ქიმიური შედგენილობის შეცვლას, რაც, თავის მხრივ, იწვევს მისი თვისებების შეცვლას.

შანბმის პროცესში ხდება პაერში არსებული ეანგბადის შეერთება ზეთის ყველაზე ნაკლებად მედეგ კომპონენტებთან და წარმოიქმნება მკეფას პროდუქტები. იძენს რა მკეფურ თვისებებს, ზეთი იწვევს ტრიბოლოგიური სისტემის ლითონური დეტალების კოროზიას. გარდა ამისა, ეანგვის პროცესს შეიძლება პქონდეს დეჰიდრირების თვისება (ჰიდრირება ანუ ჰიდროგენიზაცია – ლათინური სიტყვიდან hydrogenium – წყალბადი, რომელიც აღნიშნავს პროცესს, როდესაც მიმდინარეობს წყალბადის შეერთება შემგეთი მასალის შემადგენელ ქიმიურ ელემენტებთან ან შენაერთებთან. ამაედროულად, უკურეაქციას, როდესაც წარმოებს წყალბადის მოხლეჩა ქიმიური შენაერთებიდან, ეწოდება დეჰიდრირება ანუ დეჰიდროგენიზაცია. ამ დროს ეანგბადი ნახშირწყალბადოვან მოლეკულებს ართმევს წყალბადის ატომებს და მასთან წარმოქმნის წყალს, ხოლო ზეთის დეჰიდრირებული მოლეკულები ღიად დარჩენილი თაეისუფალი კაეშირების გამო იძენენ ერთმანეთთან ეაერთიანების მიდრეკილებას და წარმოიქმნიან შენაერთების ღიდი მოლეკულური მასით. ასეთი გზით შენაერთების წარმოქმნა მიჩნეულია ფისების წარმოქმნის ტიპურ რეაქციად, რომელთაც, ბუნებრივია, არ ეაჩნიათ ზეთის საწყისი თვისებები და ტრიბოლოგიურ პროცესში უარყოფით როლს თამაშობენ. ფისებს აქეთ შაეი ფერი და მათი კონცენტრაციის გავრდა, რა თქმა უნდა, იწვევს ზეთის გამუქებას, რის გამოც აღნიშნულ მოუვენას იყენებენ ზეთის დაძველების შეფასების ერთ-ერთ კრიტერიუმად.

ბარემში მინარემები შემგეთ მასალაში სხეადასხეა სახისაა და სხეადასხეაა მათი წარმოქმნის წყაროც. გარეშე მინარეუები შემგეთ მასალაში შემდეგი სახით გეხელება:

- გარემო პაერის მტერი;
- ხახუნის კეანძის ცვეთის პროდუქტები (ლითონური აბრაზივი);
- ზეთის მოცულობებისა და მილგაყენილობის კოროზიის პროდუქტები;
- არასრული წვის შედეგად დარჩენილი პროდუქტები (სათბობი, წყალი).

თერმოქიმიური პროცესები ამცირებენ ზეთში მსუბუქი ფრაქციების რაოდენობას, იწვევენ ზეთის მოლეკულების თბურ დამლას და ინტენსიურს ხლიან დეჰიდრირებას, ე. ი. ნახშირწყალბადიანი ნაერთებისაგან ფისწარმოქმნას, რაც, თავის მხრივ, იწვევს მოლეკულური წონის გავრდას, მამასადამე, სიბლანტისა და სიმკვრივის გავრდას.

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

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

ზოგადად, ზეთის დაძველება მნიშვნელოვანწილადაა დამოკიდებული ექსპლუატაციის დროის ხანგრძლივობაზე, ქიმიური პროცესის, მაგალითად, კოროზიის, პოლიმერიზაციის, დაეანგვის ინჰიბიტორების (ლათინური სიტყვიდან *inhibeo* – ვიჭერ) არსებობაზე და, ასევე, ლითონების კაგალიზატორულ თვისებებზე.

4.2. შემზღეთი მასალების სახეები და კლასიფიკაცია

ფიზიკური მდგომარეობის მიხედვით განასხეავენ: აიროვან, თხევად, პლასტიკურ (კონსისტენციურ) და მყარ შემზღეთ მასალებს.

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

თხევადი ზეთები მათი დანიშნულების მიხედვით შეიძლება დაიყოს შემდეგ ძირითად ჯგუფებად:

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

4.1 ცხრილში მოცემულია საერთო მანქანათმშენებლობაში ძირითადად გამოყენებული ზეთები და მახასიათებლები. ცხრილში მოყვანილი მსუბუქი ინდუსტრიული ზეთები, რომელთა კინემატიკური სიბლანტე არ აღემატება 10 სანტიგოქს 50⁰II ტემპერატურაზე, გამოიყენება მაღალი სიჩქარის მქონე მექანიზმებისათვის. მაგალითად, ველოსიტი გამოიყენება ისეთი მექანიზმებისათვის, რომელთა ბრუნვის სიხშირე აღემატება 8000 ბრ/წთ, ხოლო ვაშელინის მეთი-მექანიზმებისათვის ბრუნთა სიხშირით 5000...8000 ბრ/წთ და სეპარატორული ზეთი – მექანიზმებისათვის – 5000 ბრ/წთ-მდე.

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

მძიმე ინდუსტრიული ზეთების კინემატიკური სიბლანტე 100⁰ II ტემპერატურაზე 10-30 სანტიგოქსია. ისინი ფართოდ გამოიყენებიან მძიმედ დატვირთულ კბილანურ და ჰიაკბილანურ გადაცემებში. საცილინდრე ზეთები ასევე ფართოდ გამოიყენება ცილინდრებისა და ორთქლის მანქანების სხედასხვა კვანძების შესამეთად.

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

საერთო მანქანათმშენებლობაში გამოყენებული ძირითადი

მეთები და მახასიათებლები

მეთის მარკა	კინემატიკური სიბლანტე 50 °C-ზე, სანტისტოქსი	მეთის მარკა	სიბლანტე კინემატიკური 50 °C-ზე, სანტისტოქსი
მსუბუქი ინდუსტრიული		საგურბინე	
1 მაღალსიჩქარიანი მექანიზმებისათვის (ველოსიტი)	4,5-5,1	1 საგურბინე 20 2 საგურბინე 30 3 საგურბინე 46 4 საგურბინე 57	20-23 28-32 44-48 55-59
2 მაღალსიჩქარიანი მექანი- ზმებისათვის (ვაშელის)	5,1 -8,5	მძიმე ინდუსტრიული	სიბლანტე 100 °C-ზე
3 სეპარატორული II	6,1-10,0	1 საცილინდრე 11 2 საცილინდრე 24 3 წნეხებისათვის საავტოტრანსპორტო	9-13 20-28 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 MII-20	20

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

II - II - III - IV .

სადაც სქემაში მეორე ადგილზეა მეთის დანიშნულების აღმნიშვნელი ასო:

II - შეესაბამება მეთებს მსუბუქად დატვირთული საკისრებისათვის;

Г – ზეთებს ჰიდროსისტემებისათვის;

Н – ზეთებს მიმართულელებისათვის;

Т – ზეთებს მძიმედ დატვირთული კვანძებისათვის (კბილანური გადაცემებისათვის).

სქემის მესამე ადგილი ითვალისწინებს საექსპლუატაციო თვისებებისა და შედგენილობის დამახასიათებელ აღნიშვნებს:

А – შეესაბამება ზეთებს მისართის გარეშე;

В – ზეთებს დაქანებისა და კოროზიის საწინააღმდეგო მისართებით;

С – ზეთებს ცვეთის საწინააღმდეგო მისართებით;

Д – ზეთებს ამოგლეჯვის საწინააღმდეგო მისართებით;

Е – ზეთებს ნახტომსწინააღმდეგო 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 მარკა И-Л-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 შედგენილობისა და გამოყენების სფეროს, კერძოდ:

1 – შეესაბამება ზეთებს მისართის გარეშე;

2 – ზეთებს ცვეთის საწინააღმდეგო მისართებით;

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

5 – ზეთებს მაღალი ინტენსივობის ამოგლეჯვის საწინააღმდეგო და მრავალუნეციური მისართებით.

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

ზეთის კინემატიკური სიბლანტის კლასი ამ შემთხვევაშიც წარმოადგენს საშუალო სიბლანტეს (მმ /წმ-ში). მაგრამ აქვს განსხვავებული საფეხურები, კერძოდ: 6; 9; 12; 18; 34; 43.

ცხრილი 4.2

ყოფილ საბჭოთა კავშირში მიღებული საგრანსპორტო მეთების კლასიფიკაცია

სიბლანტის კლასი	ზეთის 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 სანტიმეტრის 50 C ტემპერატურაზე, გამოიყენება ორთქლისა და პიდრავლიკური ტურბინების, ელექტრული გენერატორების და სხვა ისეთი მანქანებისათვის, სადაც საჭიროა ხანგრძლივი მუშაობა ზეთის შეუცვლელად. სატურბინე მეთები ხასიათდებიან მაღალი მედეგობით დაქანგვისადმი, დაბალი საწყისი მკაეიანობით, მექანიკური მინარევების უმნიშვნელო სიდიდით.

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

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

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

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

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

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

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

პლასტიკური შემგმეთი მასალებისათვის უმთავრესი მახასიათებლებია:

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

მილიმეტრის მეთოდებით. 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 პილშიში, რომლის ბოლოშიც ჩასმულია მინის ფიალა 3 მმ-იანი ნახერეთით. წვეთას ტემპერატურა განსაზღვრავს შემზეთი მასალის მუშაობის უნარის ტემპერატურულ ზღვარს. მიღებულია, მუშაობის უნარის ზღვრად მიჩნეულ იქნეს წვეთას ტემპერატურაზე 10-20 C-ით ნაკლები ტემპერატურული ღონე.

3) ტენმედვობა ე. ი. საწყისი მახასიათებლების შენარჩუნება წყალთან კონტაქტის შემთხვევაში (პლასტიკური შემზეთი მასალების უმრავლესობა ხასიათდებიან ტენმედვობის 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 ამოცება, მათ აქვთ ვერტიკალურ კვლეზე თავის შეკაების 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 გატანა ხახუნის ზონიდან 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 საპერმეტიზაციო თვისებებით, დანიშნულების მიხედვით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს:

- ღია გრიბოლოგიურ სისტემებში;
- ძნელად საპერმეტიზაციო ხახუნის კვანძებში;

- ტრიბოლოგიურ სისტემებში, სადაც განსაკუთრებული მოთხოვნებია საიმედო პერმეტაბაციისადმი (მაგალითად, საქსოვ დაზგებში – ქსოვილის გაფუჭების თავიდან აცილებისათვის, მშრალ ფრიქიულ გადაცემებში, როცა გადაცემაში ხახუნის კოეფიციენტის შემცირება დაუშვებელია და ა. შ.);
- ძნელად მისადგომ ტრიბოლოგიურ სისტემებში, სადაც ცათვალისწინებულია მისი ხანგრძლივი მუშაობა მეთის შეცვლის გარეშე (ერთჯერადი შემეთვის კეანძები);
- მექანიზმებში, რომლებიც მუშაობენ ფართო ტემპერატურულ და საექსპლუატაციო რეჟიმებში;
- მექანიზმებსა და კეანძებში, სადაც საჭიროა დეტალების ხანგრძლივი კონსერვაცია.

პლასტიკური შემშეთი მასალებიდან ყველაზე უფრო გავრცელებული ჯგუფია სოლიდოლები. მათი გამოყენების რაციონალური ზღვარია 60-80 °C. სოლიდოლების ერთ-ერთი უმთავრესი უპირატესობა მათი ტენმედგობაა. კონსტალინები მიეკუთვნება ძნელდნობად შემშეთ მასალებს და გამოიყენება კეანძებში, სადაც ტემპერატურა 100-150 °C-მდეა, ზოგ შემთხვევაში კი 200 °C-მდე. ნაკლია – კონსტალინები წყალში იხსნებიან, რის გამოც დაუშვებელია მათი წყალთან კონტაქტი.

ზემთ მოყვანილი შემშეთი მასალების თვისებათა კომპლექსს შეიცავენ ნატრიუმ-კალიუმიანი შემშეთები, რომლებიც ხასიათდებიან სოლიდოლებზე უფრო მაღალი ტემპერატურული მედეგობით (100 °C-მდე და უფრო მეტი) და, იმავე დროს, საკმაო ტენმედგობით.

საერთო დანიშნულების შემშეთი მასალების გარდა არსებობს სპეციალური დანიშნულების მეთები: საგლინაი დგანების, ტექსტილის მანქანების, რკინიგზის მანქანა-მოწყობილობების, დამცავი, დაბალი და მაღალტემპერატურული და სხვ.

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

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

4.3. შეშეთის სახეები

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

აირული შეშეთა ისეთი სახის შეშეთაა, როცა მოხახუნე ზედაპირების განმხოლოება ხორციელდება ისეთი შეშეთი მასალით, რომელიც აირის მდგომარეობაშია. ასეთი სახის შეშეთა მექანიკურ მანქანებში იშვიათად გამოიყენება.

თხევადი შეშეთის დროს მოხახუნე ზედაპირების განმხოლოება ხდება თხევადი შეშეთი მასალებით. ასეთი სახის შეშეთის განხორციელება ეკონომიკურად ფრიად გამართლებულია და პრაქტიკაში ცდილობენ მის ფართოდ გამოყენებას. თხევადი შეშეთა საკმაოდ ხშირად გამოიყენება მანქანათა უმრავლესობის ტრიბოსისტემებში.

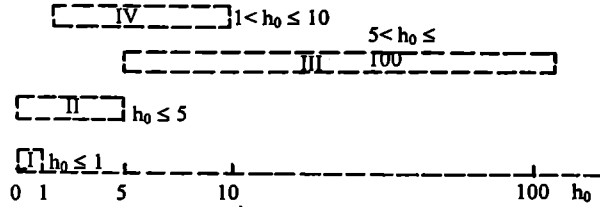
მყარი მასალებით შეშეთის დროს მოხახუნე ზედაპირების განმხოლოება ხდება მყარი შეშეთი მასალების მეშვეობითაც. დღეს ასეთი სახის შეშეთა სამანქანათმშენებლო პრაქტიკაში საკმაოდ პერსპექტიულად არის მიჩნეული.

ჰიდროლინამიკური შეშეთა თხევადი შეშეთის ერთ-ერთი სახეა და იგი განპირობებულია თხევადი შეშეთი მასალის დაწნევით მდგომარეობაში ყოფნით, რომელიც წარმოიქმნება მოხახუნე ზედაპირების ურთიერთგადაადგილების შედეგად. ამასთან, წარმოქმნილი ზეთის ფენის სისქე და პარამეტრები განსაზღვრავენ შეშეთისა და ხახუნის სახეს (თხევადი, პიდროლინამიკური შეშეთის შექმნისა და კონსტრუირების საფუძვლები განიხილება ქვემოთ). შეშეთი მასალის ფენის ფარდობითი სისქე (h_0) ხახუნის სახეთა კლასიფიცირების უმთავრესი კრიტერიუმია და ზოგადად ასე გამოისახება:

$$h_0 = \frac{h}{R_1 + R_2}, \quad (4.2)$$

სადაც h_0 არის ზეთის ფენის სისქე; R_1 , R_2 – შესაბამისად, პირველი და მეორე მოხახუნე ზედაპირების ცენტრალური დერძის მიმართ უსწორმასწორობათა საშუალო გადახრა.

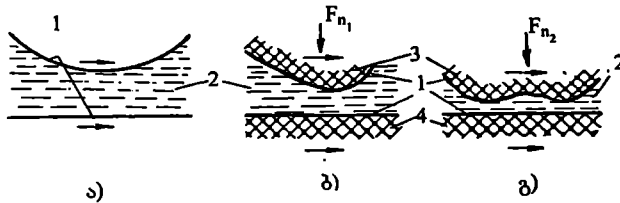
თხევადი შეშეთის განხორციელებას, რომელიც პრაქტიკაში თხევადი ხახუნის პროცესად იწოდება, შეესაბამება $5 \leq h_0 \leq 100$ პირობა (ხახუნისა და შეშეთის სახეთა კლასიფიკაცია h_0 -ის მიხედვით მოცემულია 4.4 ნახაზზე, ხოლო 4.5-ზე მოცემულია მოხახუნე ზედაპირების კონტაქტების მოდელები).



ნახ. 4.4. შეშეთის სახეთა კლასიფიკაცია h_0 კრიტერიუმის მიხედვით:

I – სასაზღვრო; II – შერეული; III – თხევადი;

IV – ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკური თხევადი



ნახ. 4.5. შემშეთი ფენის მოდელები თხევადი შეშეთის დროს:

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

ჰიდროსტატიკური შემშეთა ასევე თხევადი შემშეთაა, რომლის დროსაც ჰიდროდინამიკურისგან განსხვავებით, სადაც მეთის წნევის წარმოქმნის წყარო არ

არის მოხაზუნე ზედაპირების ურთიერთგადაადგილება. წნევა მეთის ფენაში წარმოიქმნება გარეშე დანადგარის მეშვეობით.

აიროდინამიკური და აიროსტატიკური შეგუებები ჩვენი ქვეყნის პირობებში მექანიკურ მანქანებში იშვიათად გამოიყენება. ამის გამო აღნიშნული შეგუების სახეები მოცემულ ნაშრომში არ განიხილება.

პლასტიკურ-ჰიდროდინამიკური შეგუების თეორიული საფუძვლები კლასიკური ჰიდროდინამიკური თეორიისაგან განსხვავებით ითვალისწინებს მოხაზუნე ზედაპირების დრეკად დეფორმაციებს. იგი განსაკუთრებით ანგარიშგასაწეია, როცა თხევადი ხაზუნი ხორციელდება დიდი დატვირთვებისა და მრუდე ზედაპირების (მაგალითად, ცილინდრულების) შემთხვევაში.

თვით შეგმეტი მასალის ფენა ასეთი შეგუების დროს ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკურია და იგი წარმოიქმნება საკონტაქტო ზონაში დიდი წნევების შედეგად, რაც, თავის მხრივ, იწვევს მეთის სიბლანტის მნიშვნელოვნად გადიდებას.

ასეთი სახის შეგუების დროს h_0 კრიტერიუმი იცვლება ზღერებში 1...10.

სასაზღვრო შებენი იხეთი სახის შეგუეთეა, როცა კენამში ხახუნის ძალა და, შესაბამისად, ცვეთა განპირობებულია მოხაზუნე დეტალების და შეგმეტი საშუალებების ზედაპირული აქტივობის თვისებების ერთობლიობით. აღნიშნულის გამო მეთის სიბლანტე, რომელიც სითხის მოცულობითი თვისებაა, პრაქტიკულად არ მოქმედებს სასაზღვრო ხახუნის წინააღმდეგობაზე. ერთ-ერთ ძირითადი გრიბოტექნიკური თვისებაა მეთის ფენის სისქის მცირე სილიდე სასაზღვრო ხახუნის შემთხვევაში მოხაზუნე ზედაპირების სიმქისის პარამეტრებთან შედარებით.

მის გამო კრიტერიუმი h_0 სასაზღვრო შეგუების და, შესაბამისად, სასაზღვრო ხახუნის პირობებისათვის ერთზე ნაკლები უნდა იყოს.

შეპაულო შეგუეთეა დამახასიათებელია უმრავლესი გრიბოლოგიური სისტემებისათვის. ამ დროს გრიბოლოგიურ სისტემაში ერთდროულად არის განხორციელებული როგორც სასაზღვრო, ისე თხევადი შეგუეთეა ე. ი. კენამში ნაწილობრივ საზღვრული ხახუნია, ნაწილობრივ თხევადი, ანუ მუშა პროცესში ვერ ხერხდება მოხაზუნე ზედაპირების მთლიანი განმხოლოება. ასეთ შემთხვევაში ცალკეული ბორცვების ურთიერთკონტაქტის გამო იზრდება მეთის ფენის მიდვის უნარი. ამ კომპლექსურ თვისებათა გამო ასეთი შეგუეთეა და, შესაბამისად, ხახუნი იწოდება შერეულად. ამასთან, h_0 კრიტერიუმი შერეული შეგუებისათვის 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 შემთვის მეორეში ასევე თანდათანობით გადასვლა. ამასთან, კვანძის ოპტიმალური მუშაობის ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორად რჩება შემშეთი მასალის უმთავრესი თვისება – სიბლანტე. მასალის ეს თვისება წარმოჩინდება მისი ფორმის ცვლილების დროს და იგი ზოგადად ახასიათებს შემშეთი მასალის შიგა ხახუნს.

თხევადი შემთვის პირობებში ხახუნის ძალის გამოთვლისათვის გამოიყენება გამოსახულება

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

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

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

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

სადაც F_n არის ნორმალური დატვირთვა ან წნევა საყრდენ ხახუნის კვანძში.

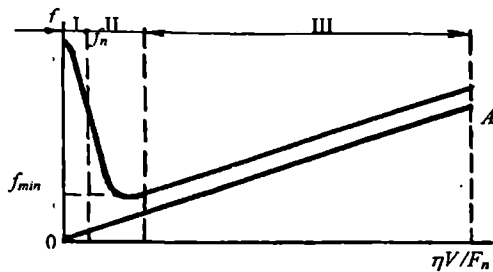
საინჟინრო პრაქტიკაში გრიბოლოგიური სისტემის ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებლად მისი თხევადი შემთვის დროს მიჩნეულია გერსი-შგრიბიკის დიაგრამა.

უკანასკნელი წარმოადგენს ხახუნის კოეფიციენტის $\frac{\eta}{F_n} \frac{V}{F_n}$

პარამეტრებთან დამოკიდებულებას (ნახ. 4.6). დიაგრამიდან ჩანს, რომ ხახუნის

კოეფიციენტის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება $\frac{\eta}{F_n} \frac{V}{F_n}$ 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 ზედაპირზე ადსორბირდება საკმაოდ მდგრადი შემზეთი მასალის უმცირესი სისქის ფენა. ხახუნის კვანძის შემზეთის ასეთ პირობებს შეესაბამება სასაზღვრო შემზეთვა (ნახ. 4.6.), როდესაც ხახუნის კოეფიციენტი ლითონური მასალებისათვის იცვლება ზღვრებში 0,1... 0,15. ხახუნის კოეფიციენტის შედარებით დიდი მნიშვნელობები სასაზღვრო ხახუნის პირობებში განპირობებულია მოხახუნე ზედაპირების 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 ზედაპირების ბორცვების მექანიკური ურთიერთქმედება. ამასთან, ეინაიდან შემცირებულია ხახუნის ძალის ადპეზიური მდგენელი, ორივე ფაქტორის ერთობლივი მოქმედება იწვევს ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელოვნად შემცირებას. შექმნილი პირობები შეესაბამება შერეული შემზეთის (ხახუნის) სახეს და გერსი-შგრიბეკის დიაგრამაზე გამოისახება II ზონით (ნახ. 4.6). ამ სახის შერეული შემზეთის 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 ზედაპირების ერთმანეთისაგან მთლიანი განმხოლოება. ბუნებრივია, ამ დროს ფენის სისქე უნდა აღემატებოდეს მოხახუნე ზედაპირების ბორცვების სიმაღლეს. შემზეთის ასეთ პირობებში ხახუნის ხასიათი მთლიანად განპირობებულია თხევადი შემზეთი

მასალის მოცულობითი თვისებებით, რაც იმას ნიშნავს, რომ მოხახუნე ზედაპირების ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობა დამოკიდებულია შემზეთი მასალის ცალკეული ფენების ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობაზე. გერსი-შკრიბეის დიაგრამაზე ასეთი სახის შემთეას შესაბამება III ზონა (ნახ. 4.6). ასეთი შემთეის პირობებში ხახუნის კოეფიციენტის უმცირესი მნიშვნელობა მიიღება შემზეთი მასალის უმცირესი სიბლანტის შემთხევაში. ამასთან, უნდა გვახსოვდეს, რომ თხევალი შემთეის (ხახუნის) უზრუნველყოფისათვის კონკრეტული პარამეტრების შემთხევაში შემზეთ მასალას საჭიროა ჰქონდეს გარკვეული სიბლანტე. III ზონაში ტემპერატურის მომატება იწევეს რა სიბლანტის შემცირებას, ამცირებს ხახუნის კოეფიციენტს. მაგრამ შემცირება გრძელდება გარკვეულ პერიოდამდე. ტემპერატურის შემდგომმა გადილებამ შესაძლებელია თხევალი ხახუნის სახე (III ზონა) გადიყვანოს შერეული შემთეაზე (I ზონა), რაც იწევეს ხახუნის კოეფიციენტის არა შემცირებას, არამედ მის მნიშვნელოვნად გადიებას.

ზოგადად, თხევალი შემთეის სახე მიჩნეულია მდგრად რეჟიმად. ტემპერატურის გაზრდა საკონტაქტო ზონის ფარგლებში იწევეს სიბლანტის შემცირებას, ხოლო იგი – ხახუნის კოეფიციენტის შემცირებას, რაც, თავის მხრივ, იწევეს ტემპერატურის ისევე შემცირებას და, მამასადამე, რეჟიმის ისევე ალდგენას.

რაც შეეხება შემთეის შერეულ და სასაზღვრო სახეებს, ისინი არამდგრად რეჟიმებადაა მიჩნეული. ამ შემთხევაში ტემპერატურის გაზრდა ამცირებს რა სიბლანტეს, იწევეს $\frac{\eta}{F_n}$ პარამეტრის შემცირებას. უკანასკნელის გამო კიდე უფრო იზრდება ხახუნის კოეფიციენტი და, მამასადამე, ტემპერატურაც და იწეება ახალი აღმეალი ციკლი, რომელსაც მიყავართ მუშაობის არამდგრად რეჟიმებამდე.

ამრიგად, თხევალი შემთეა განპირობებულია შემზეთი მასალის შიგა ხახუნით და ამით უზრუნველყოფილია ხახუნის კოეფიციენტის უმცირესი მნიშვნელობები 0,005...0,05. ასეთი სახის შემთეის განხორციელება შესაბამისი პარამეტრების დაციის შემთხევაში მრავალი სახის მანქანაშია შესაძლებელი. ბუნებრივია, მანქანა-მოწყობილობის საიმელობისა და ხანგამძლეობის მაჩვენებელთა ამალლების გზამე ტრიბოლოგიურ სისტემებში თხევალი შემთეის განხორციელება უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. თხევალი შემთეის – ჰიდროდინამიკურის, ჰიდროსტატიკურის თუ ელასტიკურ-ჰიდროდინამიკურის დანერგვა მანქანებში მნიშვნელოვნად ამცირებს ენერგეტიკულ დანაკარგებს ხახუნის ძალის დაძლევაზე და აუმჯობესებს საპასუხისმგებლო დეტალების მუშაობის პირობებს.

თავი 5. თხევადი შიხეთვა და მისი ჰიდროდინამიკური თეორია

5.1. ჰიდროდინამიკური შეშეთვის (ხახუნის) საფუძვლები

შემოთ აღნიშნული იყო, რომ გრიბოლოგიური სისტემის ეფექტური მნიშვნელობა მნიშვნელოვანწილადაა დამოკიდებული თხევადი შეშეთი მასალის რაციონალურ გამოყენებაზე. საყრდენ კეანებში ინტენსიური ცვეთის და დიდი ენერგეტიკული დანაკარგების თავიდან აცილებისათვის საჭიროა საკისრის სატაცისა და სადების ზედაპირები განმხოლოებულნი იქნენ ერთმანეთისაგან შეშეთი მასალის გარკვეული სისქის ფენით. მაგრამ იმისათვის, რომ მოხახუნე ზედაპირებს შორის არსებობდეს ერთიანი ზეთის ფენა, იგი უნდა იმყოფებოდეს წნევის ქვეშ. მამასადაამე, იმისათვის, რომ დატვირთული დეტალების ღრეოში წარმოიშეას და შენარჩუნდეს გარკვეული სიბლანტის მქონე თხევადი ზეთის ფენა, საჭიროა - ღრეოში მიწოდებულ იქნეს ზეთი ისეთი წნევით, რომელიც უზრუნველყოფს მოხახუნე ზედაპირების განმხოლოებას, ან შეიქმნას ისეთი კონსტრუქციულ-საექსპლუატაციო ვითარება, რომელიც თავად წარმოქმნის ზეთის ზიდვისუნარს ფენას, ე. ი. წნევას ზეთის ფენაში.

პირველი მიმართულება, რომელიც ითვალისწინებს მოხახუნე ზედაპირებს შორის არსებულ ღრეოში 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:

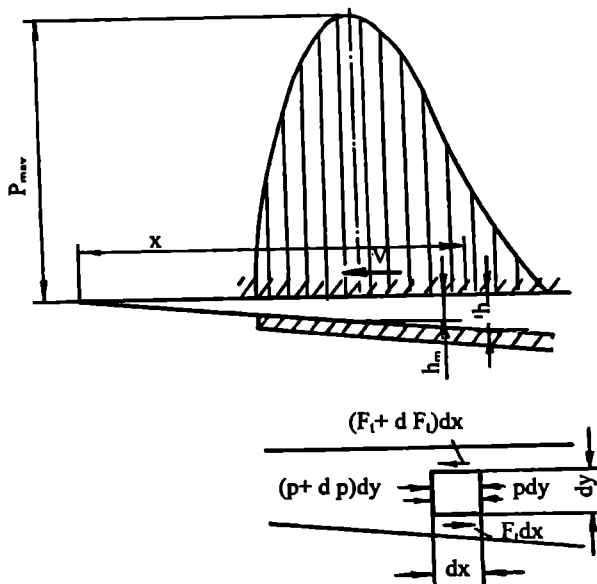
ერთ შემთხვევაში საყრდენი დეტალები წარმოდგენილია, როგორც ბრტყელი ზედაპირები (ნახ. 5.1). ამასთან, გაკეთებულია შემდეგი დაშვებები:

- 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 ნაჩვენები მიმართულებით მოძრაობისას შეშეთი მასალის ნაკადი შედის სოლის ფორმის ღრეოში ფართო მხრიდან და გამოედინება ვიწრო მხრიდან. ვინაიდან თხევადი შეშეთი მასალა, ზეთი პრაქტიკულად უკუმშველია, ნაკადის უწყვეტობის პირობიდან აუცილებელია ასეთ ღრეოში წარმოიშეას შიგა წნევა,

რომელიც პიდროდინამიკური იქნება. იგი მყარი სხეულის მსგავსად ეცდება “გახლიოს”, 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, პიდროდინამიკური შეხეთისა და, შესაბამისად, პიდროდინამიკური ხახუნის განხორციელებისა.

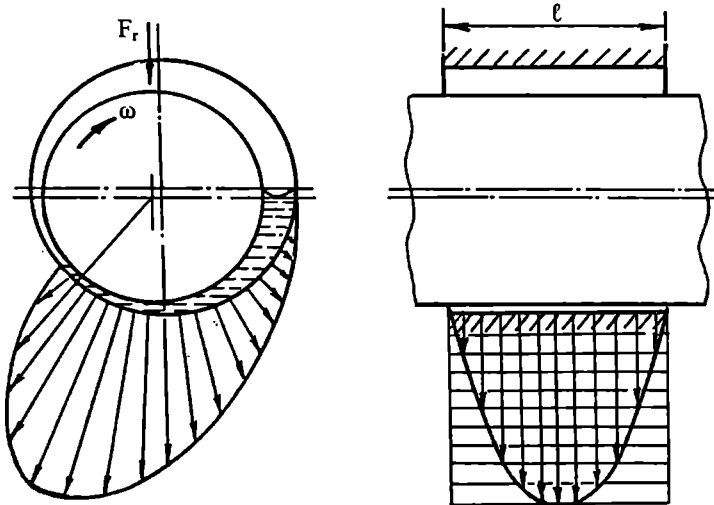
ამრიგად, განხილულ შემთხვევაში ზედაპირის ამომგდები ძალა ძირითადად განპირობებულია მისი ფარდობითი სიჩქარით.



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

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

საკისრის ღერძის მიმართ იკავენს ექსცენტრიულ მდგომარეობას. ლილვი ბრუნვის დროს თან წარიტაცებს გარკვეული რაოდენობის ზეთს და შეიტანს სოლის ფორმის ღრეჩოში, რომელიც იქმნება ლილვსა და საღებს შორის. ამ დროს სატაცე მოქმედებს, როგორც ტუმბო, რომელიც განუწყვეტლივ ტუმბავს ზეთს ეკანში არსებულ ღრეჩოში. ღრეჩო კი ლილვის მბრუნვის მიმართულებით თანდათან ვიწროვდება, რის გამოც ზეთის სოლში წარმოიქმნება მნიშვნელოვანი სიდიდის ჰიდროდინამიკური წნევა, რაც უმბრუნველყოფს მიღვისუნარიანი ზეთის ფენის შექმნას, რომლის წნევის განაწილების ტიპური ეპიურები რადიალური და გრძივი მიმართულებით მოცემულია 52 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 ზეთის განდინებით.

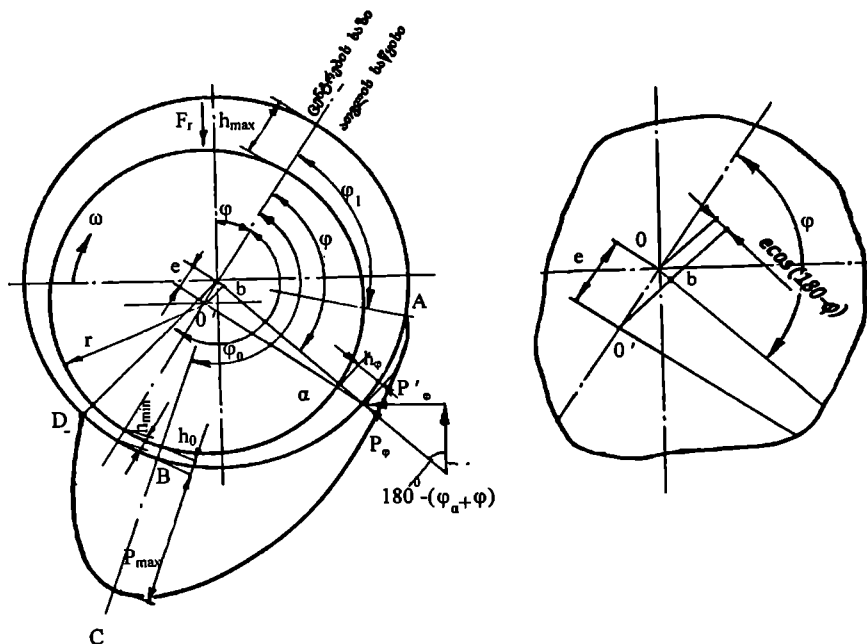


ნახ. 52. ჰიდროდინამიკური წნევის ეპიურები სრიალის საკისარში:

ა - რადიალური მიმართულებით; ბ - გრძივი მიმართულებით

52. გეომეტრიული პარამეტრები

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



ნახ. 53. სრიალის საკისრის საანგარიშო სქემა:

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

თხევადი შემეთვის შემთხვევაში შემზეთი მასალის ფენის გავრცელების ზონები საყრდენ კვანძში, რომელიც ცილინდრული დეგალებისაგან შედგება, ასე

წარმოიღვინება: ზეთის პილროლინამიკური ფენის გავრცელების ზონები ბევრად არის დამოკიდებული კვანძში მიწოდებული ზეთის რაოდენობაზე, შემზეთი მასალის მიწოდების ადგილზე, შემზეთი არხების არსებობასა და მდებარეობაზე. ზოგად, ტიპურ შემთხვევაში პილროლინამიკური ფენის საწყის წერტილად მიიჩნევენ ადგილს, სადაც რადიალური ღრეჩო დიდი სიდიდისაა და იგი ახლოა პორიზონტალურ ღერძთან (ნახ. 5.3, წერტილი A). თუ საყრდენი კვანძი შეიცავს შემზეთის არხს, პილროლინამიკური შემზეთის ფენა სათავეს ამ არხიდან იღებს.

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

პილროლინამიკური 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 დაასკენან, რომ ზეთის ფენა C წერტილში თავდება.

შემზეთის პილროლინამიკურ თეორიაში უფრო ზუსტ მოსაზრებად მიჩნეულია, რომ $p=0$ და $\frac{dp}{d\varphi}=0$ 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 პილროლინამიკური თეორიის უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. პირველ რიგში განვიხილოთ ეს ამოცანა ზეთის ბრტყელი ნაკადის მაგალითზე, როცა ზეთის გორსული განდინება მხედველობაში არ მიიღება. აღნიშნული მაგალითი ბრტყელი მედაპირების სახით, როცა ერთ-ერთი მათგანი დახრილია მეორის მიმართ, კარგად ეთანადება ტიპური 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 რეონოლდის სახელწოდება მიიღო.

რეინოლდის 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 ბლანტი თვისებების გამო წარმოიშობიან ძერის ძალები, რომლებიც ლამინარული დინების დროს განისაზღვრება ნიუტონის კანონით. ბლანტი ძერის ძალა ერთეულ ფართობზე განისაზღვრება გამოსახულებით

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

სადაც F_i არის ბლანტი ძერის ძალა; V_x - ფარლობითი სიჩქარე x მიმართულებით; η - ზეთის დინამიკური სიბლანტე.

ელემენტარული ნაწილის წონასწორობის პირობიდან (დაგვევილებით x ღერძზე) $dp \cdot dy = dF_i \cdot dx$, აქედან

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

(5.1)-ისა და (5.2)-ის გათვალისწინებით

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

ზეთის გამდინარების 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 გაუგოლოთ ზეთის q_x მოცულობები, რომლებიც გაედინებიან ერთ წამში h და h_m . აქ h_m ღრეჩოს სიღიდეა ისეთი კვეთისათვის, სადაც წნევის სიღიდე ფენაში მაქსიმალურია ე.ი. სადაც $p = p_{\max}$ და $\frac{dp}{dx} = 0$ სიღიდის ღრეჩოებში

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

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 განსაზღვრულია ზეთის განდინების სიჩქარე რომელიმე x კოორდინატისათვის, ნიუტონის კანონით და ელემენტარული გარდაქმნებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ერთეულოვან ზედაპირზე ბლანტი ძვრის 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 გამრდას და სატაყის აყურებას საკისრის სადებიდან, რითაც იზრდება ზეთის განდინების განიკვეთი. ამ ფაქტორებისა და რადიალური დაკვირვების ერთობლივი ზემოქმედების შედეგად მყარდება სხეულის (სატაყის) წონასწორობის მდგომარეობა, როცა წნევის განაწილება ზეთის ფენაში უზრუნველყოფს ზეთის გადინებას ღრეჩოში იმავე მოცულობით ღროის ერთეულში, როგორც შემოდინებას ლილვის მეშვეობით ღრეჩოს განიერ ნაწილში. ამასთან სატაცზე მოქმედი ნებისმიერი ჰიდროდინამიკური წნევის p მიმართულება თანხვედრია ზედაპირის ნორმალის ანუ სატაყის რადიუსის.

თუ p , წნევას დაეშლით p'_z პორიზონტალურ და p''_r ვერტიკალურ შემდგენებად, აღმოჩნდება, რომ უკანასკნელებს ძალუძთ გარეშე რადიალური F_z დაკვირვების გაწონასწორება. ხოლო რაც შეეხება პორიზონტალურ შემდგენებს, ისინი იწვევენ სატაყის საკისარსში პორიზონტალურ გადაადგილებას (ნახ. 5.3).

საბოლოოდ შემზეთი მასალის წნეითი ზემოქმედების შედეგად ლილვისა და საკისრის ღერების შემართებული ხაზი გარეშე ძალის მოქმედების მიმართულებიდან გადაიხრება რაღაც ϕ , კუთხით.

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

საკისრის თხევადი შემზეთვის პირობებში ზიღვის უნარის, ანუ ზეთის ფენის ზიღვის უნარის განსაზღვრისათვის შემოვიღოთ შემდეგი დაშვებები*:

- ა) ზეთის ნაკადი პიდროდინამიკური ძალების წარმოშობის ზონებში მოძრაობს ლამინარულად;
- ბ) ზეთის ნაწილაკების შეჭიდების ძალები სატაცთან და საკისრის საღებთან ისეთი სიდიდისაა, რომ ზედაპირის უშუალო მოსაზღვრე ზეთის ნაწილაკების სიჩქარე ზედაპირების მიმართ ნულის ტოლია;
- გ) ზეთის მასისათვის, რომლითაც შეესებულია ღრერო, 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: დიაშეტრული ღრერო - $\Delta = D - d$, სადაც D საკისრის საღების დიაშეტრია; d - ლიღვის სატაცის დიაშეტრია; რადიალური ღრერო - $\delta = \frac{\Delta}{2}$, ფარღობითი ღრერო - $\psi = \frac{\Delta}{d} = \frac{\delta}{r}$, სადაც r სატაცის რადიუსია;

აბსოლუტური ექსცენტრისიტეტი - $e = \delta - h_{\min}$; სადაც h_{\min} ზეთის სისქის მინიშალური სისქეა; ფარღობითი ექსცენტრისიტეტი (ახასიათებს სატაცის მღებარეობას საკისარში) - $\chi = \frac{e}{\delta}$.

e და χ მნიშვნეღობათა გათვალისწინებით ზეთის ფენის მინიშალური მნიშვნეღობა

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

* ქვეშ მოყვანილი დაშვებები, ასევე, იღვლისხმებოღა რეინოღდისის განტოღების გამოყვანისას შესაბამისი პირობების დაცვის შემთხვევაში.

ტიპური საკისრის გეომეტრიული განგარიშებანი თხევადი შეშეთის პირობებში გარკვეულ სირთულესთანაა დაკავშირებული, მაგრამ ყოველივე საკმაოდ მარტივება, თუ დაუშვებთ, რომ სატაცის ექსცენტრისიტი საკისრის მიმართ მცირე სიდიდა შეუღლების ღრეჩოსთან შედარებით. ასეთი დაშვება საესებით მისაღებია სატაცის საშუალო და სწრაფი ბრუნთა სიხშირის, საშუალო რადიალური დატვირთვებისა და ტრიბოლოგიური სისტემის მეთით საკმაო რაოდენობით უზრუნველყოფის დროს.

ცენტრების შემაერთებელი ღერძიდან რაიმე φ კუთხეზე მეთის ფენის სისქის განსაზღვრისათვის განვიხილოთ ნახაზი 5.3.

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

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

სადაც r სატაცის რადიუსია, φ - ცენტრალური კუთხე.

შესაბამისი ჩასმებითა და გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ, რომ

$$h_p = \delta - e \cos \varphi = \delta(1 + \chi \cos \varphi) \quad (5.11)$$

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

$$h_0 = \delta(1 + \chi \cos \varphi_0). \quad (5.12)$$

ცილინდრული ფორმის საკისრებისათვის რეინოლდსის განტოლება მიზანშეწონილია პოლარულ კოორდინატებში იქნეს განხილული. განტოლება (5.7)

გადაეწეროთ შემდეგი გამოსახულებების გათვალისწინებით: $dx = r d\varphi$; $h = h_p$; $V = \omega r$.

აქ ω სატაცის 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)

$$p_p = \int_{\varphi_1}^{\varphi} dp = \frac{6\eta\omega}{\psi^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi} \frac{\chi(\cos \varphi - \cos \varphi_0)}{(1 + \chi \cos \varphi)^3} d\varphi. \quad (5.14)$$

p_p წნევის ვერტიკალური შემდგენი იქნება (ნახ. 5.3)

$$p_p^* = p_p \cos[180^\circ - (\varphi_p + \varphi)] = p_p [-\cos(\varphi_p + \varphi)]. \quad (5.15)$$

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

$$\Delta F_r = p_r^* l r \Delta \varphi = p_r^* \frac{ld}{2} \Delta \varphi, \quad (5.16)$$

სადაც d და l საკისრის შესაბამისად დიამეტრი და სიგრძეა.

ვერტიკალური შემდგენების შეჯამება პილროდინამიკური წნევის მოქმედების (φ_1 , φ_2) ზღვრებში და შესაბამისი მნიშვნელობების ჩასმა განტოლებებში (5. 15) და (5. 16) მოგვცემს პილროდინამიკური ზეთის მიღვის უნარს:

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

სადაც

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

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

მეორეს მხრივ, ზომერფელდის 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 ზომერფელდის რიცხვი - S_0 (1-ზე, რიგი მკვლევარების რეკომენდაციით ხახუნის

კოეფიციენტი $f \approx \frac{\eta \cdot V}{F_r}$, ხოლო თუ $S_0 > 1$, 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 შეზეთის დროს ხახუნის

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

ყველა შემთხვევაში მოყვანილ ფორმულაში და შემდგომ პარამეტრში იგულისხმება CH სისტემის ერთეულებში: η -პა.წმ; p -პა; F_r -ნ; d, l -მ; ω -წმ $^{-1}$.

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

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

დატვირთვის კოეფიციენტის განსაზღვრა შედარებით ნაკლები სიზუსტით 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.

პირობინამიკური თეორიის დამოკიდებულებების ანალიზისა და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე შესაძლებელია მოგიერთი საერთო დასკვნის გაკეთება.

ერთის მხრივ, რაც უფრო მცირეა $h_{\text{მმ}}$, მით უფრო დიდია მეთის ფენის მიღვის უნარი F_r . მეორის მხრივ, $h_{\text{მმ}}$ -ის მნიშვნელობა უნდა უზრუნველყოფდეს იმ გარემოებას, რომ შეუღლებული ზედაპირების ბორცვები არ ეხებოდნენ ერთმანეთს მათი ურთიერთგადაადგილების დროს. სხვა სიტყვებით, მეთის ფენის სისქე მისი უმცირესი განივევების ადგილზე უნდა იყოს სატაცისა და საკისრის სადების ზედაპირების სიმჭისის 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 დეკალის სიმუსისა და კვანძში დრეკადი დეფორმაციების (ლილვის ღუნვაზე) გათვალისწინება მარაგის კოეფიციენტის მეშვეობით. მაშინ

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

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

თუ მოხახუნე ზედაპირები მზადდება წმინდა ჩარხით ან შიგნარხით, 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).

ფარლობითი ღრეჩო საკისრის კვანძებში იღება ზღვრებში

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

ღრეჩოს დიდი მნიშვნელობები შეესაბამება დიდ ფარლობით სიჩქარეებს, მცირე რადიალურ დატვირთვებს, გრძელ საკისრებს და დიდი დრეკადობის მოდულის მქონე საკისრის სადებების გამოყენებას (პოლიმერული სადებების გამოყენების შემთხვევაში სარგებლობენ სპეციალური რეკომენდაციებით და გაჭექვის თავიდან აცილების მიზნით იღებენ ღრეჩოს უფრო დიდ მნიშვნელობებს).

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

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

სადაც V სატაცის 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 სადების ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურულ კოეფიციენტებს შორის განსხვავებით, ისე კვანძის კონსტრუქციული თავისებურებებით (გარე და შიგა დეკალის აბსოლუტურ გაფართოებებს შორის სხვაობით. ღრეჩოს სიდიდის ცვლილება გამოწვეული პირველი მათგანით შეიძლება იქნას გამოსახული

$$\Delta' = 2a(\alpha_1 - \alpha_2).$$

(5.24)

სადაც Δ' ღრეოს მნიშვნელობის ცელილებააა ტემპერატურული სხვაობით გამოწვეული; a – საკისრის სადების ან ანტიფრიქციული ფენის სისქე; α_1 – სადების ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი; α – ლილვის ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი.

ზემთ მოყვანილი გამოსახულებების ანალიზისა და საერთოდ საკისრების მუშაობის მექანიკური კვლევის საფუძველზე დადგენილია, რომ ზეთის ფენის მიღვის უნარი F_z იზრდება ზეთის სიბლანტისა და წრიული სიჩქარის გამრდასთან ერთად და მცირდება საკისრის ღრეოს გამრდის დროს. ე.ი. შეიძლება გაკეთდეს მნიშვნელოვანი დასკვნა - შეიძლება ისე გაზარდოთ საკისრის რადიალური დატვირთვის უნარი, რომ არ გავადლოთ მისი კონსტრუქციული ზომები და არ გამოვიყენოთ უფრო ძვირფასი მასალები მოხახუნე დეტალების დასამზადებლად. კერძოდ, გამოვიყენოთ მეტი სიბლანტის მქონე თხევადი ზეთები და შევარჩიოთ ნაკლები სიდიდის ღრეოები. მაგრამ მეორეს მხრივ, ეს ღონისძიებანი იწვევენ სხვა უარყოფით მოვლენებს. მაგალითად, მეტი სიბლანტის მქონე ზეთის გამოყენება ზრდის ხახუნის კოეფიციენტს ხახუნის კვანძში, ე.ი. ხახუნის მომენტს და, მამასადამე, სხვა უარყოფით მოვლენებთან ერთად იწვევს ტემპერატურული რეჟიმის გაუარესებას და საჭირო რეჟიმის შენარჩუნებისათვის აუცილებელი ხდება ხელოვნური გაციევის გამოყენება.

ამრიგად, ხელოვნური გაციევის გარეშე სიბლანტის გამრდა და ღრეოს შემცირება მისაღებია მხოლოდ გარკვეულ მღერებში. ამ მღერის მიღმა გვაქვს უკუეუქტი, რაც განპირობებულია ტემპერატურული რეჟიმის გაუარესებით, რომელიც იწვევს საკისრის მუშა ზონებში ზეთის სიბლანტის და, შესაბამისად, ზეთის ფენის მიღვის უნარის შემცირებას.

სრიალის საკისრის გაანგარიშება თხევადი შეზეთვის პირობებში მოგჯერ დაიყვანება მოცემულ ექსპლუატაციურ პირობებში მაქსიმალური ღრეოს განსამღერამე. სხვა შემთხვევაში საკისრის ღრეოსა და ზეთის სიბლანტის შერჩევის შემდეგ გაანგარიშება შემოწმებით ხასიათს ატარებს. კერძოდ, საკისრის ღრეოსა და ზეთის სიბლანტის დადგენის შემდეგ განისამღერება Δ_0 კოეფიციენტი, ხოლო მისი მეშვეობით 5.1 ცხრილიდან ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი χ შემდგომ ანალიზურად აღვილად გამოითვლება ზეთის მინიმალური ფენის სისქე, რომელიც უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას – მოხახუნე ზედაპირების მიკრობორცვები ხახუნის პროცესში ერთმანეთს არ უნდა ეხებოდნენ. ზემოხსენებული პარამეტრების განსამღერის შემდეგ შესაძლებელი

ხდება ისეთი ძირითადი ექსპლუატაციური პარამეტრების განსაზღვრა, როგორცაა 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 შეშეთის პროცესში მთლიანად განპირობებულია სითხის ბლანტი ხახუნით, ე.ი. ხახუნის ისეთი პროცესით, როცა იგი ზეთის ფენების ურთიერთგადაადგილების წინააღმდეგობაა.

განვსაზღვროთ გრიბოტექნიკის ეს ძირითადი პარამეტრები თხევადი შეშეთის ღროს. სიმარტივისათვის ჯერ განვიხილოთ ამოცანა, როცა სატაცის ექსცენტრისიგეტი საკისარში მცირეა და, მაშასადამე, ღრეზო 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 ღრეზო მთლიანად საესება ზეთით.

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

$$F_f = F_t = \eta A \frac{dV}{dy}, \quad (525)$$

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

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

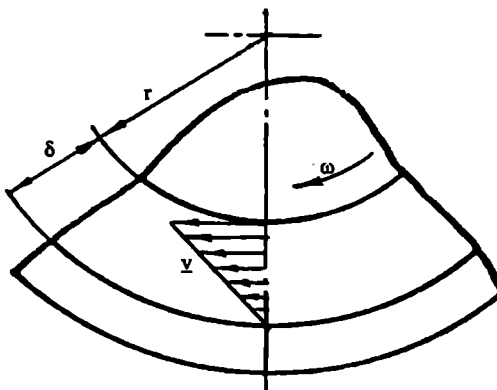
$$\frac{dV}{dy} = \frac{V}{\delta} = \frac{\omega r}{\psi V} = \frac{\omega}{\psi}. \quad (526)$$

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

$$F_t = \pi d l \frac{\eta \omega}{\psi}. \quad (527)$$

შესაბამისად, ხახუნის კოეფიციენტი

$$f = \frac{F_t}{F_r} = \frac{\pi \eta \omega}{\psi p}. \quad (528)$$



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 სიმუსტის 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 ღრეო მცირდება დატვირთულ ზონაში და წარმოიშობა პიდროდინამიკური წნევა. უკანასკნელი მნიშვნელოვნად ცვლის სიჩქარის გრადიენტის სურათს. ამიტომ საჭირო ხდება ხახუნის კოეფიციენტის კორექტირება, რომელიც დაახლოებით მაინც გაითვალისწინებს რეალურ პირობებს. მაშინ ემპირიული ფორმულა განზომილებათა ტექნიკურ სისტემაში (კგმ, მ, წმ) იღებს სახეს [19]:

$$f = \frac{\pi}{\psi} \cdot \frac{\eta \omega}{P} + 0,55 \psi \zeta, \quad (529)$$

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

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

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

$$f = 3,36 \cdot 10^{-9} \frac{d}{\Delta} \cdot \frac{\eta n}{p} + 5,5 \cdot 10^{-9} \frac{\Delta}{d} \zeta, \quad (5.30)$$

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

როცა წინასწარ დადგენილია პირობები პირობები წინააღმდეგობის კანონი, ხახუნის მომენტის განსაზღვრის დაზუსტებული ფორმულა მიიღება სატაყის შედაპირზე მეთის ძერის 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 მომენტი, ნმ; 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 გექნიკურ ლიტერატურაში ცხრილების სახითაც.

პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის განზომილებათა გექნიკურ სისტემაში (სადაც η სანტიკუაუმებშია, 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 შეშეთის დროს

ტრიბოსისტემის წნევითი შეშეთის 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

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

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

- სითბოს ნაკადი, რომელსაც გადასცემს საკისარი და ლილევი,
- სითბოს ნაკადი, რომელიც გადაიტანება შემშეთი მასალის მიერ.

წნევითი შეშეთის პირობებში ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის პირველი შემდგენი უმნიშვნელოა და უმრავლეს შემთხვევაში მხედველობაში არ მიიღება, ამიტომ მოცემულ პარაგრაფში იგი არ განიხილება. შესაბამისად, სრიალის საკისრების წნევითი შეშეთისას 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 შემშეთი მასალის მიერ ხახუნის ზონიდან არინებული სითბოს ნაკადია და იგი გოლია

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

სადაც Q შემშეთი მასალის რაოდენობაა, რომელიც გაედინება საკისრის ღრეჩოში, მ³/წმ; ρ – შემშეთი მასალის სიმკვრივე, ილება ზღვრებში 870...890კგ/მ³; c – ზეთის

ხედრითი სითბოტევალობა, იღება მღერებში – $(1,7...2,1) 10^3 \frac{\text{ჯოული}}{\text{კგ. კელვინი}}$; t_2, t_1 –

შემაველი და გამომაველი შემზეთი მასალის ტემპერატურები, °C.

t_2 -ს დადგენის ღროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს ის გარემოება, რომ იგი განსხვავდება ხახუნის ზონაში 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 აღმაველი ციკლი კელაე მეორდება კვანძის მწყობრიდან გამოსულამდე.

სითბოს იმ რაოდენობის დადგენისათვის, რომელიც აირინება გრიბოლოგიური სისტემიდან, საჭიროა განისაზღვროს შემზეთი მასალის რაოდენობა, რომელიც გაედინება დატვირთული, 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 სამგანზომოლებიანი ნაკადის გორსული გადინების ჰიდროდინამიკურ განტოლებებს. ამოცანის გამარტივება – სიერცულის 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, ღმ-ში. მაშინ შემზეთი მასალის ხარჯი განისაზღვრება დამოკიდებულებით

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

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

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

სადაც p_c შემგვითი მასალის წნევაა, რომელიც მიეწოდება შემგვით არხს ტუმბოდან, მპა; p – საშუალო ხედრითი წნევა, მპა; β – უგანზომილებო კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილებში (ცხრილი 5.3).

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

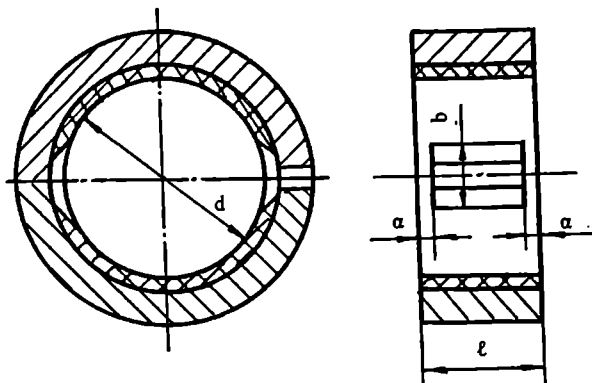
$$q_3 = \nu S_0 \left(\frac{d}{l} \right)^2 \frac{b}{d} \left(\frac{l}{a} - 2 \right) \frac{p_2}{p} \quad (5.43)$$

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

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

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

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



ნახ. 5.5. შემშვითი არხების განლაგების სქემა

ცხრილი 5.1.

დატვირთვის კოეფიციენტი (ზომურფუელდის 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

შემგეთი მასალის და დატვირთული ზონის ტორსული გელაპირიდან
გადინების კოეფიციენტი

$\frac{l}{d}$	x													
	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

$\frac{l}{d}$	λ													
	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 საკისარი														
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

β და φ კოეფიციენტების მნიშვნელობები

χ	β კოეფიციენტი საკისრის შემოხვევის კუთხის მიხედვით			φ კოეფიციენტი საკისარში ორი გრძივი არხის შემთხვევაში
	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
0,075	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 სახუნის 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.

$$t_0 = t_2 + (0...30)^\circ\text{C}. \quad (5.47)$$

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

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

მაბალაიტი [19]: შეფასდეს სრიალის საკისრის მუშაობის უნარი და ხახუნის პარამეტრები, როცა მოცემულია: $d = 0,158$, $l = 0,188$, $n = 600$ წთ⁻¹, $F_r = 60$ კნ, ლილვის სატაცს აქვს მედაპირული წრთობა, სადები IAM 10-5 შენადნობია და სატაცის მედაპირული სიმქისის მახასიათებელს წარმოადგენს: $R_{z1} = 0,8 \dots 1,68$ კმ, ხოლო სადების - $R_{z2} = 1,6 \dots 3,28$ კმ.

ლილვის ბრუნვათა კუთხური სიჩქარე

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

ფარლობითი სრიალის წრიული სიჩქარე

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

საშუალო ხეცვრითი 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 შეეუფარდოთ დასაშვებ სიდიდეებს. აღებული მასალებისა და პირობებისათვის ისინი დასაშვებია.

შეეარჩიოთ სრიალის საკისრის ფარლობითი ღრეჩო ზემოთ 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 დაეუშვათ საკისრის მუშა ტემპერატურა 50°C (ზუსტდება ტემპერატურული გაანგარიშების შემდეგ) და შევარჩიოთ მეთი – ინდუსტრიული И-Г-А-32 კინემატიკური სიბლანტით $\nu = 208 \text{ მ}^2/\text{წმ} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ მ}^2/\text{წმ}$. შესაბამისად, დინამიკური სიბლანტე

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

მაშინ საკისრის დატვირთვის კოეფიციენტი (ზომერფელდის რიცხვი)

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

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

$$S_c = 2,83 - \chi \approx 0,75.$$

მეთის 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 მეთის ფენის სისქის მიხედვით

$$S = \frac{h_{\min}}{R_1 + R_2} = \frac{22,5}{1,6 + 3,2} = 4,7)2.$$

ხახუნის მომენტი სატაცზე (531) გამოსახულების მიხედვით

$$T = \frac{\eta \omega}{\psi} \cdot \frac{d^2 l}{2} C_T = \frac{0,018 \cdot 62,8}{0,0012} \cdot \frac{0,15^2 \cdot 0,18}{2} \cdot 5,36 \approx 106,8,$$

სადაც

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

ხახუნის ძალა

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

ხახუნის კოეფიციენტი

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

ახლა განვსაზღვროთ შემთვის სისტემაში ზეთის ხარჯისა და წნევის სიდიდე. ამისათვის ეიპოვოთ სრიალის საკისარში გამოყოფილი სითბოს ნაკადი

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

შემგეთი 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, დაეუშვათ, რომ 10°C -ის ტოლია.

მაშინ (5.39) დამოკიდებულებიდან საკისრის ზეთის ხარჯის სრული კოეფიციენტი

$$q = \frac{2Q}{\psi \omega d^2} = \frac{2 \cdot 37,6 \cdot 10^{-4}}{0,0012 \cdot 62,8 \cdot 0,18 \cdot 0,15^2} = 0,246.$$

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

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

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

ხოლო

$$q_3 = 8S \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \frac{b}{d} \left(\frac{l}{a} - 2\right) \frac{P_c}{p} = 0,24 \cdot 2,83 \cdot \left(\frac{0,15}{0,18}\right)^2 \frac{0,03}{0,15} \left(\frac{0,18}{0,018} - 2\right) \frac{P_c}{p} = 0,415 \frac{P_c}{p},$$

სადაც შემზეთი 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

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

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

შემზეთ სისტემაში საჭირო წნევა იქნება

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

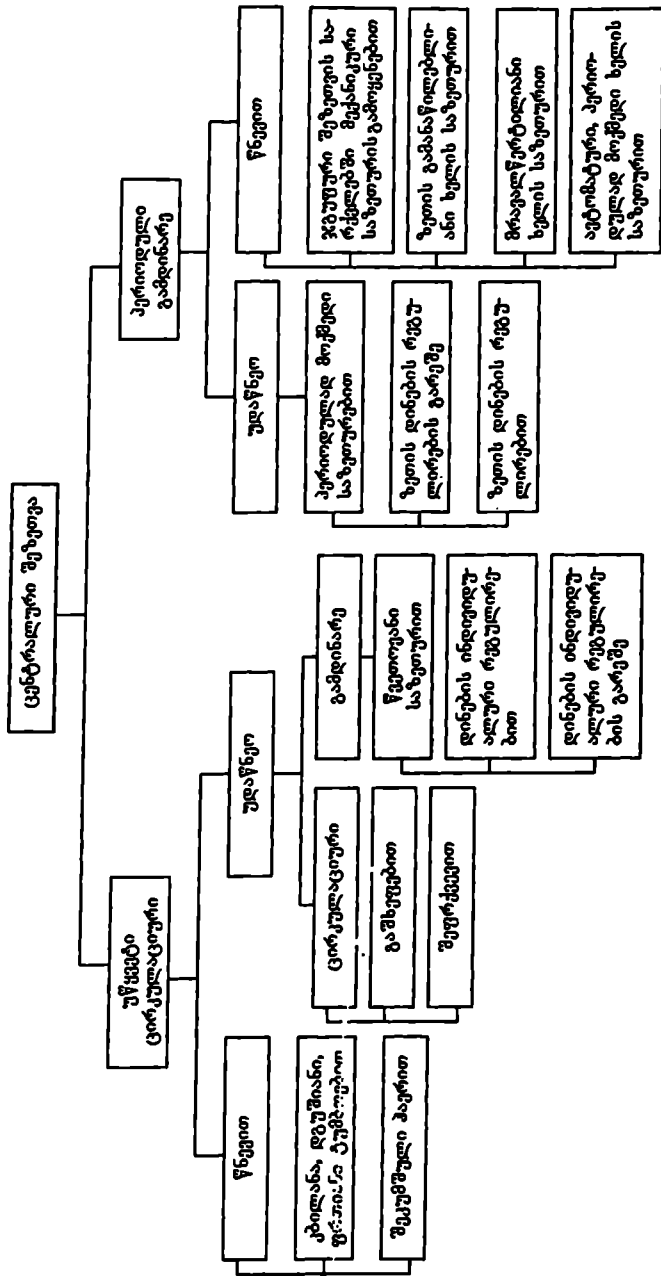
თავი 6. შეზღვევის სისტემები და მეთოდები

შეზღვევის სისტემის ფუნქციაა შესაბამისი ტექნიკურ-მატერიალური საშუალებების მეშვეობით შემზეთი მასალის მიწოდების უზრუნველყოფა უშუალოდ ხახუნის მონაში. ამასთან, იგი შედგება: შემზეთი მასალის დანიშნულების ადგილზე მიმწოდებელი მოწყობილობისაგან, შემზეთი მასალის რემერეუარისაგან, შემზეთი მასალის ხახუნის მოლიდან გამომყვანი მოწყობილობისაგან, სამაციერო სისტემებისაგან, შემზეთი მასალის გამწმენდი დანადგარისაგან, შემზეთი მასალების საწნევის ნაკადის რეგულირებისა და სისტემების სხვა საზომ-საკონტროლო და მართვის ხელსაწყოებსა და საშუალებებისაგან.

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

თანამედროვე მანქანათმშენებლობაში, როგორც უკვე აღნიშნული იყო, შემზეთი მასალად ძირითადად იყენებენ მინერალურ და ნათობის გადამუშავების შედეგად მიღებულ მეთებს. გამოიყენება აგრეთვე ხელოვნური, სინთეტიკური მეთები. არის შემთხვევები, როცა შემზეთი მასალად იყენებენ სხვადასხვა მუშა სითხეებს და წყალს.

განასხვავებენ შემზეთის 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. შეზღუდვის ცენტრალური სისტემები [21]

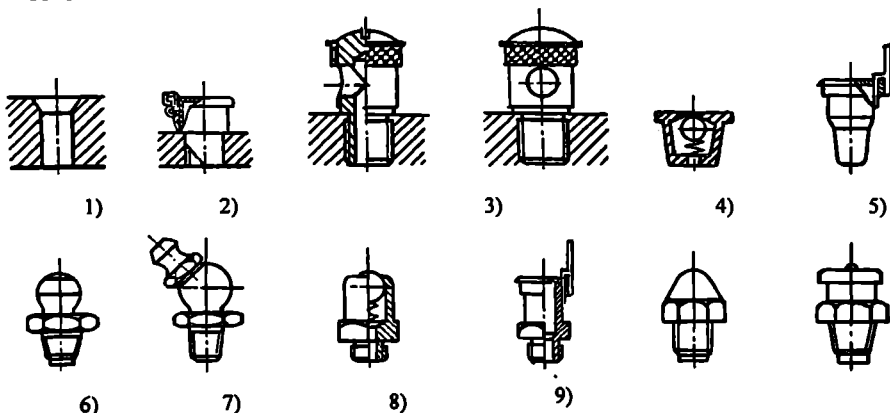
შემგეთვის პერიოდულობის მიხედვით განასხვავებენ განუწყვეტელი (ცირკულარული მოქმედების, წნევით და უდაწნეო) და პერიოდული (ასევე წნევით და უდაწნეო) მოქმედების გრიბოლოგიურ სისტემებს. არსებობს და საინჟინრო პრაქტიკაში საკმაოდ ფართოდაა გამოყენებული აგრეთვე ერთჯერადი შემგეთვის მეთოდი (კვანძი იმთება მხოლოდ ერთხელ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

შემგეთი მასალა ხახუნის ზონაში შეიძლება მიწოდებულ იქნეს უდაწნეო და წნევითი შემგეთი სისტემების საშუალებით.

განვიხილოთ შემგეთვის ძირითადი მეთოდები.

6.1. ინდივიდუალური შემგეთვა

პერიოდული უდაწნეო შემგეთვა შემგეთვის უმარტივესი მეთოდია. ყველაზე ხშირად იგი ხორციელდება ხელით და ჯერ კიდევ საკმაოდ ფართოდ არის გამოყენებული მანქანებში. მეთოდის ძირითადი არსი ასეთია: ხახუნის კვანძის სპეციალურ ნახერეგებში ხელით ან დგუშოანი, ანდა მემბრანული საზეთურით შეჰყავთ შემგეთი მასალა (ნახერეგებისა და მათი სარქველების კონსტრუქციული სახეები მოცემულია 6.3 ნახ-ზე).

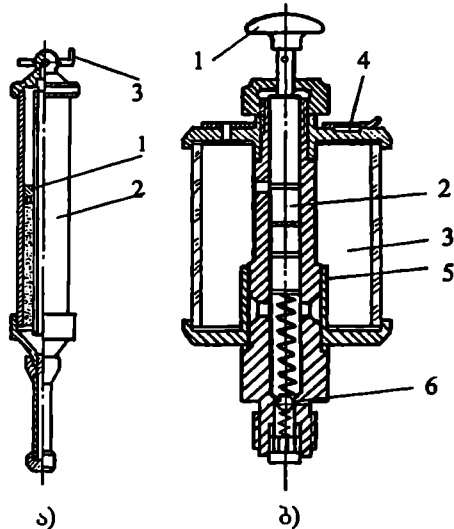


ნახ. 6.3. საზეთი ნახერეგები და სარქველები

1,2,3 – საზეთი ნახერეგები, (2 – ჩამოსაცმელი სახურავით, 3 – ჩასრახნილი ბუნიკით);
4,5 – ჩასაწნეხი სარქველები; 6-11 – ჩასახრახნი სარქველები და საზეთურები

პერიოდული წნევით შემთვება. ამ სახის შემთვება ხორციელდება ხელის სამეთურების მეშვეობით სპეციალურ ნახერეგებში ზეთის წნევით შეყვანით. ეს მეთოდი ზემოთ აღნიშნულისაგან განსხვავებით უზრუნველყოფს ხახუნის მონების უფრო მეტი ფართობის დაფარვას ზეთით, შესაბამისად, ხახუნის პროცესის უფრო ხელსაყრელ პირობებში წარმართვას.

ხელის სამეთურების კონსტრუქციები მოცემულია 6.4 ნახ-ზე.



ნახ. 6.4. ხელის სამეთურები

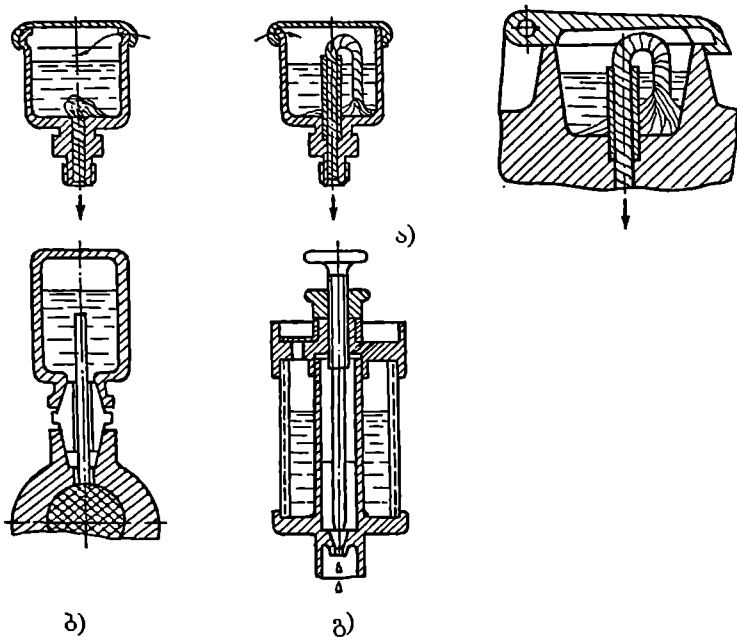
წნეხ-სამეთური: 1 – დგუმი; 2 – კორპუსი; 3 – სახელური;

წნევით პერიოდულად მომუშავე: 1 – ენოპი; 2 – პლუნჯერი; 3 – აემი;

4 – ნახერეგი ზეთის ჩასასხმელად; 5 – ბადისებრი ფილტრი;

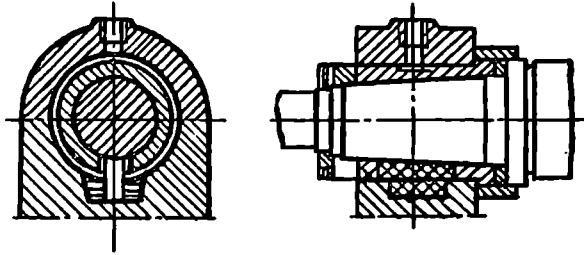
6 – ბურთულიანი სარქველი

გამდინარე უდაწნო შემთვება. ასეთი მეთოდი სარგებლობის დროს იყენებენ შესაბამის კვანძის და ზეთის რეზერვუარის ღონეთა სხვაობას. აღნიშნული მეთოდის განსხვავებულ ჯგუფს შეადგენს ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები, რომლებშიც გამოყენებულია პატრუქიანი წვეთოვანი და ნემსისებრი სამეთურები (ნახ. 6.5), სადაც ერთ შემთხვევაში გამოყენებულია პატრუქის კაპილარული თვისებები, ხოლო მეორე შემთხვევაში გრიბოლოგიური სისტემის შეზღუდული შემთვება მიღწეულია



ნახ. 6.5. საზეთურები: პაგრუქიანი (ა), ნემსისებრი (ბ), წვეთოვანი (გ)

საზეთურის მცირე განივკვეთით, რომლის სიდიდე შესაძლებელია რეგულირებადი იყოს. შეზეთვის ასეთ სისტემებში ზეთის მიწოდებას ზოგჯერ გიგეივებით არეგულირებენ, და ბოლოს, ამ სახის შეზეთვის სისტემის ცალკე ჯგუფია ე.წ. „ბალიშები“ – ქერის, 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.

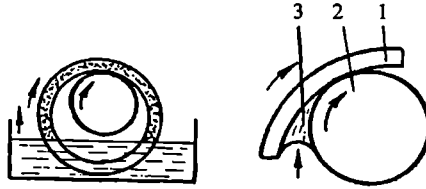


ნახ. 6.6. სპეციალური „ბალიშით“ აღჭურვილი სრიალის საკისარი

უწყვეტი ცირკულაციური უღაწეო შეშეთვა. განასხვავებენ ამ მეთოდით შეშეთვის ორ სახეს. პირველი ხორციელდება შუალედური სხეულის მეშვეობით, მეორე – უშუალოდ მოხახუნე, დასაბეით დეგალის მეშვეობით. შეშეთვის პირველი სახე შეიძლება განხორციელდეს მხოლოდ პორიზონტალური სრიალის საკისრებისათვის ლილეზე ნებისმიერი განიკვეთის რგოლის ჩამოცმით ან დამაგრებით (ნახ. 6.7). მცირე სისმირით მბრუნავი ლილეების შემთხვევაში რგოლის მაგივრად იყენებენ მცირეზიან ჯაჭვებს. ყველა შემთხვევაში მბრუნავი რგოლის ქვედა ნაწილი ჩაძირულია ზეთში. ბრუნვის შედეგად თხევადი ზეთი განედინება ლილეზე და ბოლოს უბრუნდება ზეთის რეზერუარს. ასეთი მეთოდით, როცა გამოყენებულია ლილეზე თავისუფლად ჩამოცმული რგოლი, შესაძლებელია ლილეის ეფექტური შეშეთვა ლილეის წრიული სიჩქარის ფართო დიაპაზონისათვის 0,5...32 მ/წმ.

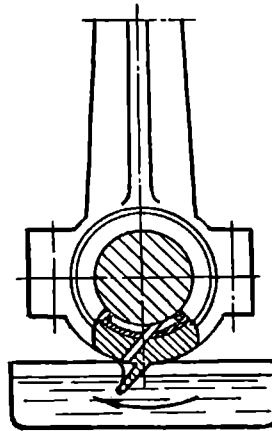
ასეთი მეთოდით შეშეთვის ერთი სახე, როგორც აღენიშნეთ, ხორციელდება ლილეთან ერთად მბრუნავი დეგალის მეშვეობით და ის უმრავლეს შემთხვევაში გამოიყენება რედუქტორებში კბილანების და შიგაწის ძრავებში მუხლა ლილეის კენბის შესაბეთად (ნახ.6.8). კბილანური გადაცემის შეშეთვის პროცესის განსახორციელბლად კბილანური წყვილიდან ერთ-ერთი მათგანი, უფრო ხშირად კბილათვალი, ნაწილობრივ (მცირე ნაწილით) ჩაძირულია ზეთში. კბილანის ბრუნვის შედეგად ზეთი გადადის მეორე კბილანაზე და ზეთავს მას. იმავე დანიშნულებით ზოგჯერ იყენებენ უქმი სელის, პარაზიგულ კბილანებსაც. ასეთი წესით შეშეთვის განხორციელბა რეკომენდებულია კბილანების 15 მ/წმ წრიულ სიჩქარემდე. უფრო მაღალი სიჩქარეების დროს მისი გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი დიდი ენერგეტიკული დანაკარგების გამო.

ზემოთ აღწერილ ყველა შემთხვევაში დასმულ ჭურჭელში (რელუქტორში, კარტერში) მოძრავი დეტალის მეშვეობით ხდება ზეთის ინტენსიური გაშხეუება და შიგა სივრცე ივსება ზეთის ღრუბლით. შედეგად უზრუნველყოფილია მთელი კვანძის ერთგვაროვანი შემეთვა.



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

1 – რგოლი; 2 – ლილევი; 3 – ზეთი

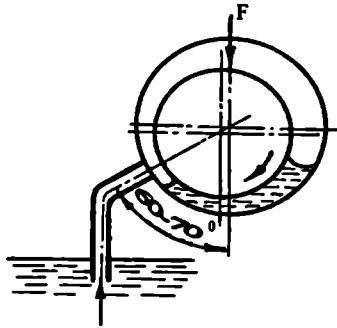


ნახ. 6.8. ცენტრალური შემეთვა ზეთის გაშხეუთ

(მუხლა ლილვის ნიჩბის მეშვეობით)

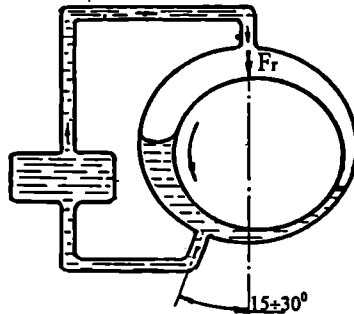
თვითშემეთვა. მოცემული კონსტრუქცია (ნახ. 6.9) გამოიყენება სრიალის საკისრების სატაცების შესაზეთად, როდესაც ღრეჩოს სიდიდე არ აღემატება 10 მკმ-ს, ხოლო წრიული სიჩქარე არანაკლებ 3 მ/წმ-ია. აღნიშნულ პირობებში შესაბამის ზონებში წარმოიქმნება გაუხშოება, რის შედეგადაც რეზერუარიდან შეიწოვება ზეთი. პრინციპული გადაწყვეტა ასეთი მეთოდით საკისრების შემეთვისას მოცემულია ნახაზზე.

ამასთან, აღწერილი კონსტრუქციული გადაწყვეტა გამოსადეგია მხოლოდ განსაზღვრული სიბლანტის ბეთების გამოყენების დროს – დიდი სიბლანტის მქონე ბეთების შემთხვევაში იგი არ ფუნქციონირებს.



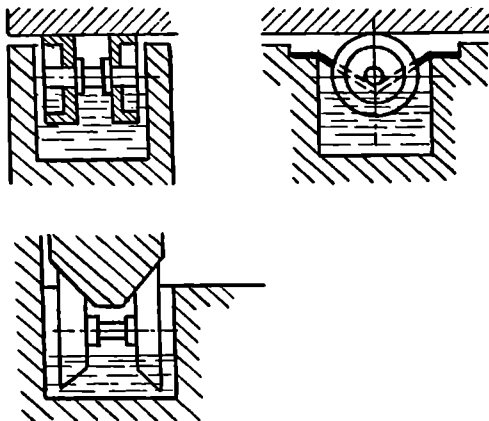
ნახ. 6.9. თვითშეგვთვის სქემა [37]

სტუ-ს სამშენებლო მანქანებისა და მექანიკური მოწყობილობის კათედრაზე შემუშავებულია ტრიბოლოგიური სისტემების ინდივიდუალური თვითშეგვთვის ახალი მეთოდი პიდროდინამიკური შეგვთვის პირობებში. უკანასკნელის არსი ასეთია: პიდროდინამიკური წნევების მონაში (დაბალი წნევების ადგილებში) საკისარს უკეთდება ერთი ან რამდენიმე მცირე დიამეტრის ნახურეტი, რომლებიც პრაქტიკულად არ მოქმედებენ ბეთის ფენის მიღვის უნარზე. ამ გზით ბეთის განსაზღვრული რაოდენობა მიეწოდება შემზეთ სისტემას, რომელიც შეიცავს რემერეუარს – გამაციებელს – 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 პიდროდინამიკური შეგვთვის პირობებში

შეგეთვა საგორავით სშირად გამოიყენება საფრეზაჲი და სარანდაჲი მაგიდების მიმმართელების დასაშეთად (ნახ.6.11). საგორაჲი ერთი მხრივ ჩაძირულია ზეთში, ხოლო მეორე მხრივ კონტაქტშია მოხახუნე ზედაპირთან, რის შედეგადაც საგორაჲს ზეთი გადააქვს ამ უკანასკნელზე.



ნახ. 6.11. სარანდაჲი ჩარხების მიმმართელების შეგეთვის
სქემა საგორაჲების მეშვეობით [35]

უწყვეტი წნეით შეგეთვა. მოცემული მეთოდის შემთხვევაში ზეთი ხახუნის ზონას მიეწოდება წნეით მცირე სიმძლავრისა და მწარმოებლურობის კბილანური, დგუშიანი ან ფრთიანი ტუმბოს მეშვეობით. ამასთან, შესაზეთი ზონების რაოდენობა შემლუღულია – მცირეა. შესაზეთი ობიექტის ლოკალურობის გამო შეგეთვის სისტემას არ აკომპლექტებენ გამაციეებელი და გამწმენდი საშუალებებით.

6.2. ცენტრალური შეგეთვა

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

შეშეთვის ცენტრალური მეთოდის გამოყენების დროს ძირითადად შეორდება შეშეთვის ინდივიდუალური კონსტრუქციული გადაწყვეტილებები. ცენტრალური მეთოდი გამოირჩევა და, ამასთან, განსხვავდება ინდივიდუალურისაგან მხოლოდ შესაშეთი ობიექტების სიმრავლით.

ულაწნეო შეშეთვის დროს, ისევე როგორც ინდივიდუალური ულაწნეო შეშეთვისას, მეთის მიწოდება ხდება გრაფიკაციული ძალების მეშვეობით და, ბუნებრივია, შეშეთვის სისტემის ყველა მოწყობილობა ხახუნის კვანძის (შეშეთვის მონის) მემოთ უნდა მდებარეობდეს. ყველა ცენტრალიზებული შეშეთვის სისტემის აუცილებელი დეტალია მეთის საერთო რემერეუარი – ავმი, რომელიც დაკავშირებულია თითოეულ ტრიბოლოგიურ სისტემასთან. სისტემის ავმი ხელით ივსება.

თუ ულაწნეო ცენტრალიზებული შეშეთვა პერიოდულია, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს პნემატური პრინციპი. პნემატური საშეთურის ამძრავად იყენებენ პნეუმოცილინდრს.

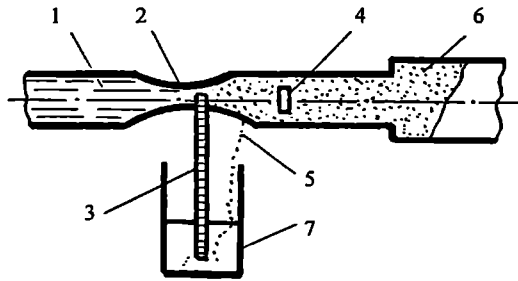
პერიოდული წნევით შეშეთვის დროს იყენებენ როგორც მანქანურ, ისე ხელის ტუმბოებს. ამასთან, მანქანური ტუმბოების ამძრავების ჩართვა პერიოდული ჩართვის საჭიროების შემთხვევაში ხდება ელექტრომაგნიტური და პროგრამული მართვის საშუალებებით. ჩვეულებრივად, ასეთი შეშეთვათა სისტემების აუცილებელი და საპასუხისმგებლო დეტალია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

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

ცენტრალიზებული შეშეთვის დიდი სისტემებისათვის, როგორც წესი, იყენებენ სპეციალურ ბაკს, საიდანაც მეთი მიეწოდება ტრიბოლოგიურ სისტემებს და შემკრებ

კურჭელს, სადაც ჩამოედინება ნამუშეური ზეთი. ამასთან, სისტემას აკომპლექტებენ ზეთის გამწმენდი ცენტრიფუგებით, მაცივრებით, სამომ-საკონტროლო ხელსაწყოებით (მანომეტრებით, ხარჯზომებით, თერმომეტრებით და ა. შ.), მართვის საშუალებებით.

ცენტრალური შეგთვა 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 შემოსენებულ ფუნქციას, ხშირად გამფრქვევად იწოდება და მისი უმარტივესი კონსტრუქცია მოცემულია 6.12 ნახ-ზე. მისი მოქმედების არსი მდგომარეობს შემდეგში: ჰაერის გარკვეული სიჩქარის მქონე ნაკადი მიღში წარმოშობს გაიშვითებას. 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 მიღგაყვანილობით მიეწოდებიან შესაბამეთ წერტილებს. ასეთი მეთოდით შექმნილი ზეთის ნაწილაკების მომები რამდენიმე მიკრომეტრი, ხოლო მიწოდების სიჩქარე – 2 მ/წმ. მიზნის მიღწევის შემდეგ ჰაერის აგმოსფეროში გაშვებამდე ხდება ჰაერის გაწმენდა ზეთის დარჩენილი წვეთებისაგან.



ნახ. 6.12. შეგთვა 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 მეთის უმცირეს ნაწილაკებად დაშლას, ლისპერსიას (ლათინური სიტყვიდან *dispersio* – გაფანტული), ე. ი. ღრუბლის შექმნას.

ნ3. სპეციფიკური მანქანა-მოწყობილობის შემთავის სისტემები

შიგაწვის ძრავების შემთავის სისტემები. შიგაწვის ძრავების შესაბამისად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შემთავის შემდეგი სისტემები: გაშხეფით შემთავა, ცირკულაციურ-იძულებითი, შემთავა ე. წ. მეთის „მშრალი კარტერი“ და შემთავა სათბობთან ერთად ნარეით.

შემთავის გამხეფის სისტემა ეფუძნება მემოთ უკვე მოხსენებულს და აღარ გავიშორებთ შემთავის აღწერის პროცესს. აღვნიშნავთ მხოლოდ, რომ ასეთი სისტემა უზრუნველყოფს საკისრების, მრუდმხარა-ბარბაცა მექანიზმის, მცოცის, ცილინდრის შემთავას და ნამუშევარი მეთის ისე კარტერში დაბრუნებას.

ცირკულაციურ-იძულებითი სისტემის გამოყენების დროს მეთი შეიწოვება მრუდმხარას სივრციდან და მიიყვანება ძრავას ყველა საჭირო წერტილში (ამასთან, მეთის წნევა აიღება 0,4 მპა). შემდეგ მეთი ჩამოედინება კარტერში, საიდანაც ისევე მიეწოდება სისტემას. ასეთი სისტემით შემთავის დროს მეთი მიეწოდება მთავარ და მცოცის საკისრებს, ღვეშის კვანძს, ღვეშის ტაბიკს და განაწილების სისტემას.

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

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

ჰაერის კომპრესორების შეზეთვა. პაგარა ჰაერის კომპრესორები შეიზეთება წვეთოვანი საზეთურებით, უფრო ხშირად კი ვაშეფით, რომელიც, თავის მხრივ, წარმოშობს ზეთის ღრუბელს. დიდი კომპრესორების შესაზებად თითქმის ყოველთვის გამოიყენება შეზეთვის ცენტრალიზებული სისტემა მრავალდგომიანი ლუბრიკატორებით. ამასთან, ცილინდრები შეიზეთება გაფრქვევით შემწოვი სარქელის გზით. ხახუნის კვანძის „ცილინდრი-დგუმის“ შეზეთვის პირობების გასაუმჯობესებლად ზოგჯერ გამოიყენება დგუმის სპეციალური რგოლები, რომლებიც დამზადებულია თვითშემზეთი მასალის – ელექტროგრაფიტისაგან და უზრუნველყოფს ხახუნის კვანძის ნორმალურ მუშაობას საკმაოდ მაღალი ტემპერატურის (250°C) პირობებში და გამორიცხავს ამ ტემპერატურაზე წარმოქმნილი ნარევების თვითაფეთქების საშიშროებას.

სამაციერო კომპრესორების შეზეთვა. სამაციერო კომპრესორების შეზეთვის მეთოდები არ ხასიათდება რაიმე პრინციპული ორიგინალობით. გამოიყენება შეზეთვის როგორც ცენტრალიზებული, ისე ინდივიდუალური მეთოდები: ზეთის გაფრქვევა, თვითშემზეთი რგოლები. სპეციფიკურია მხოლოდ საპრობლემო საკითხები: ა) არსებობს ზეთის გამაციებელ აგენტში გახსნის პოტენციური შესაძლებლობა; ბ) შემზეთი მასალა დაბალ ტემპერატურაზე იცელის თავის ერთ-ერთ ძირითად მაჩვენებელს (სიბლანტეს).

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

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

მაგალითად: სამშენებლო, საგზაო და ამწე-სატრანსპორტო მანქანა-მოწყობილობების ტრიბოსისტემებისათვის დამახასიათებელია:

1. საზეთი მასალების ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები უნდა პასუხობდნენ საჭირო მოთხოვნებს ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში – ($40\dots 120^{\circ}\text{C}$).

2. შემზეთი სისტემა და საზეთი მასალები უნდა უზრუნველყოფდნენ ნორმალურ ფუნქციონირებას ინტენსიურ აბრაზიულ გარემოში მუშაობის დროს.

3. შემზეთი სისტემის ნორმალური ფუნქციონირება უზრუნველყოფილი უნდა იყოს საველე 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 მიეყავართ 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 ციფენადობის მოვლენები.

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

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

სადაც σ_{Hmax} 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 ღრეკალობის მოდულის განსაზღვრის დროს გათვალისწინებული უნდა იქნეს მისი ცვლილებები ტრიბოლოგიურ პროცესში დროისა და ტემპერატურის მიხედვით. საანგარიშო ღრეკალობის 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 ბონაში განისაზღვრება მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვა. შემდეგ კონკრეტული პირობებისათვის დგინდება დასაშვები კონტაქტური ძაბვა და ხდება საკისრის მუშაობის უნარის შეფასება.

იმ შემთხვევაში, როცა კვანძის ფუნქციონირება ლიმიტირებულია სატაციისა 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, როგორცაა 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 ბიდეის 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 ბონაში მაქსიმალური მუშა ტემპერატურის მნიშვნელობაზე.

საკისრის მუშაობის უნარი უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

$$l_3 \leq l_p,$$

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

რიგ შემთხვევებში ტრიბოსისტემის მუშაობის უნარის მნიშვნელოვან მახასიათებლად მიიჩნევა მისი ცვეთამდეგობა. ეს მახასიათებელი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს მშრალი ხახუნის დროს, როცა კონსტრუქციული მოსაზრებებით დასაშვები ღრუბრის სიდიდე მცირეა. მაგრამ ცვეთამდეგობის რაოდენობრივი შეფასება ტრიბოსისტემებში დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული ამოცანაში მრავალი პარამეტრის არსებობის გამო, ამიტომ უმრავლეს შემთხვევაში კმაყოფილდებიან ტრიბოსისტემის ცვეთამდეგობის ზოგადი შეფასებით.

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

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

7.2. საკისრების ზიღვის უნარი

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

კონტაქტურ სიმკიცეზე საკისრის ზიღვის უნარის განსაზღვრა საჭიროა ეაწარმოთ საკისრის კონსტრუქციული გადაწყვეტილების შესაბამისი დამოკიდებულებებით. კერძოდ, როცა მოხახუნე წყვილის – ლილეი-საკისრის მასალების დრეკადობის მოდულების მნიშვნელობები ერთი რიგისაა (ზოგი ლითონურსადებებიანი საკისარი), გაანგარიშებები წარმოებს ერთი სახის გრაფო-ანალიზური დამოკიდებულებებით, ხოლო როცა ტრიბოლოგიურ სისტემაში გამოყენებულია დიდად განსხვავებული დრეკადობის მოდულის მქონე მასალები (მაგ, პლასტმასოვანი საკისრები) – მეორე სახის დამოკიდებულებებით.

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

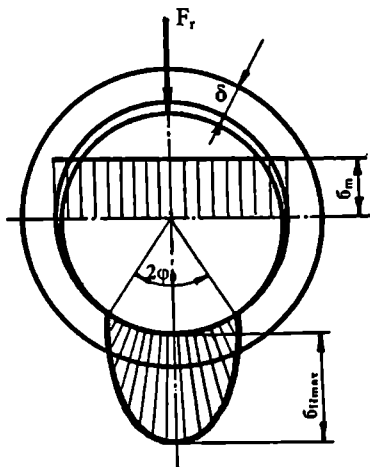
საკისრის პირველი შემთხვევის შესაბამისი კონსტრუქციული გადაწყვეტისათვის კვანძში აღბრული კონტაქტური ძაბვა უმეტესად არ არის სრიალის მუშაობის მაღალიმიტირებელი პარამეტრი. თუმცა საერთო შეუასების დროს იგი მაინც იწვევს გარკვეულ ინტერესს. მაგალითად, ზოგჯერ ზიდვის უნარის გაანგარიშების პროცესში კონსტრუქციული თვალსაზრისით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

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

7.3. სრიალის საკისრის ზიდვის უნარის განსაზღვრის განგოლებები*

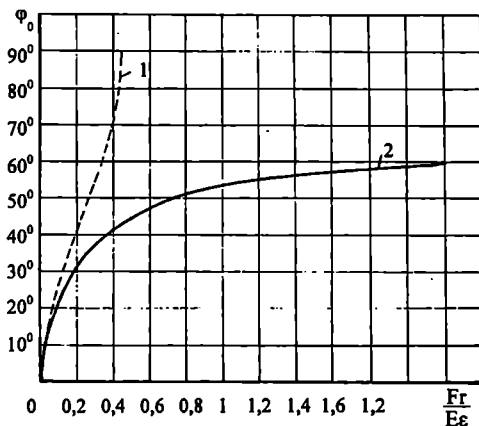
თვალსაჩინო გეომეტრიული ანალიზის საფუძველზე ცხადია, რომ საკისარზე მოქმედი დატვირთვა ვრცელდება არა საკისრის დიამეტრულ კვეთაზე, როგორც ეს იგულისხმება საშუალო ხედრითი წნევის განსაზღვრის დროს, და რომელსაც უმეტესად იყენებენ კონსტრუქტორები სრიალის საკისრების გაანგარიშების დროს, არამედ მხოლოდ იმ ზედაპირზე, რომელიც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

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



ნახ. 7.1. სრიალის საკისრის საანგარიშო სქემა

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



ნახ.7.2. φ_0 კუთხისა და $\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ პარამეტრის ურთიერთდაბოკიდებულება ერთნაირმოდულიანი შეუღლებული დეტალებისათვის (ლითონური საკისრებისათვის):

1 – მრული პერცის თეორიით; 2 – მრული 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 მეთოდის 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 ხისგად 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 ხისგ სხეულად.

3. ხახუნის კვანძი განიხილება სტატიკურ მდგომარეობაში.

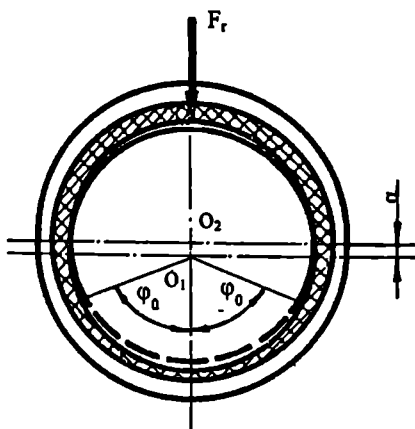
4. შეუღლებული დეტალების რადიუსები მცირედ განსხვავებული სიდიდეებია.

თითოეული დაშვების მიზანშეწონილობა და მართებულობა პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის ადვილად შეიძლება დასაბუთდეს.

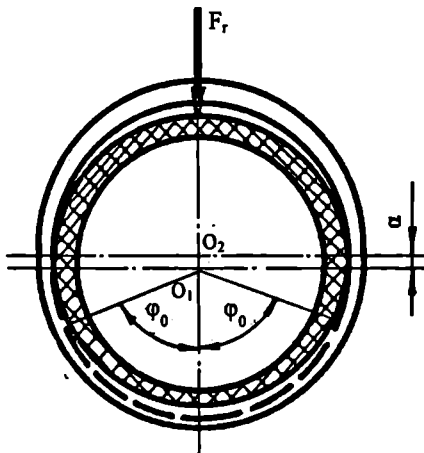
გარდა ამისა, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ პლასტმასოვანი სრიალის საკისრები საინჟინრო პრაქტიკაში რეალიზდება ორი გზით:

– „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 ხისგად, ხოლო მეორე – ცილინდრის ჭრილის ფორმის მქონე სხეული – დრეკადად („პირდაპირი წყვილი“).

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

იმ განტოლების გამოსაყვანად, რომელიც გამოსახავს ლილეისა 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]

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

სადაც F_r არის რადიალური ძალა სიგრძის ერთეულზე,

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

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:

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

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

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

სადაც $\varphi_0 = \varphi(\varphi_0)$; ხოლო „შექცეული წყვილისათვის“

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

სადაც $-\varphi_0 < \varphi < \varphi_0$; r_1, r_2 შესაბამისად, ლილეისა 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 სიღიღე მათი კუმშვის დროს.

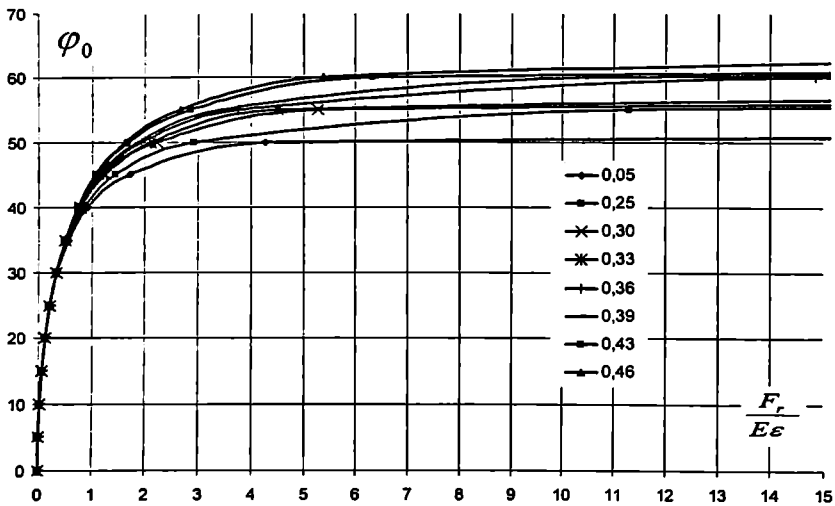
7.4. კონტაქტური ამოცანების ინტეგრალური განტოლების ამოხსნის მეთოდი

(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 განსამზღვრული ინტეგრალების ამოხსნა, რომლებიც არ გამოისახებიან ელემენტარული ფუნქციებით, პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის უფრო მოხერხებული აღმოჩნდა ინტეგრალური განტოლებების ამოხსნის მიახლოებითი მეთოდები.

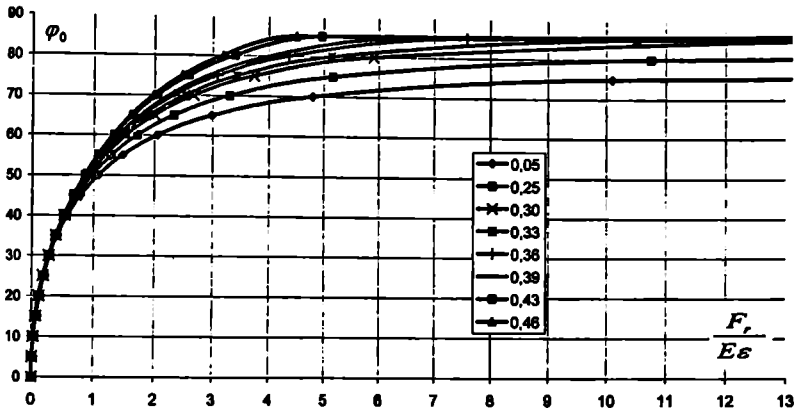
მოყვანილი (7.5), (7.6) განტოლებების ამოხსნისათვის, ი. შტაერმანის მსგავსად, გამოყენებული იქნა სასრულ სხეაობათა მეთოდი. ამ მეთოდის არსი ისაა, რომ საძებნი ფუნქცია წარმოიდგინება არა როგორც უწყვეტი, არამედ წყვეტილი, საფეხურებრივი ცელადი. ამისათვის საძებნი ფუნქციის ინტერვალი იყოფა n ნაწილად და იგულისხმება,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

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

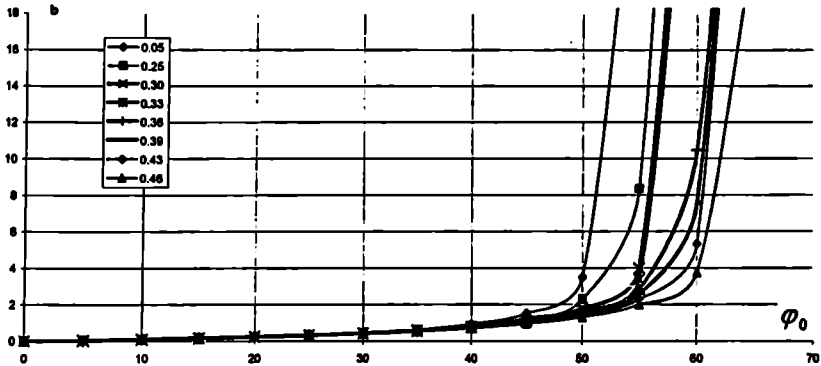
ნახაზებზე (7.5 – 7.8) მოყვანილია ამ გზით ამოხსნილი (7.5) და (7.6) ინტეგრალური განტოლებების ამოხსნის შედეგები. კერძოდ, 7.5 და 7.6 ნახაზებზე მოცემულია მრუდები, რომლებიც გამოსახავენ კომპლექსური პარამეტრის – $\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ დამოკიდებულებას საკონტაქტო კუთხესთან პუასონის კოეფიციენტების სახედასხვა 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“.



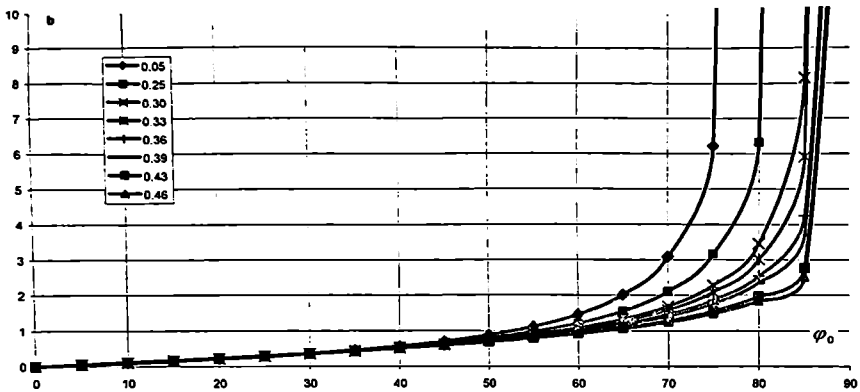
ნახ. 7.5. φ_0 – კუთხისა და $\frac{F_r}{E \cdot \varepsilon}$ პარამეტრის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა მოდულიანი შეუღლებული დეტალების „პირდაპირი წყვილისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის



ნახ. 7.6. ϕ_0 - კუთხისა და $\frac{F_r}{E \cdot \epsilon}$ პარამეტრის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა მოდულიანი შეუღლებული დეტალების „შექცეული წყვილისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის



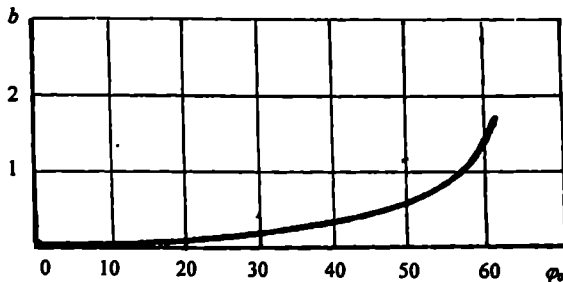
ნახ. 7.7. b - უგანზომილებო კოეფიციენტის და ϕ_0 კუთხის ურთიერთდამოკიდებულება სხვადასხვა მოდულიანი შეუღლებული „პირდაპირი წყვილისათვის“ სხვადასხვა პუასონის კოეფიციენტებისათვის



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

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

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



ნახ. 7.9. b – უგანზომილებო კოეფიციენტის და ϕ კუთხის ურთიერთდამოკიდებულება ერთნაირმოდულიანი შეუღლებული დეტალუბისათვის

7.5. სრიალის საკისარში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მეთოდიკა

ზემოთ ნახსენები გრაფიკების მეშვეობით თითოეულ კონკრეტულ შემთხვევაში შესაძლებელია მარტივად და ოპერატიულად ეიპოვოთ 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, N/m ; ε – რადიალური დრეჟო საკისრის კვანძში; $\varepsilon = r_2 - r_1$; r_2 – საკისრის რადიუსი, m ; r_1 – ლილვის რადიუსი, m ; E – დრეკადობის საანგარიშო ნამდვილი მოდული, რომელიც პოლიმერული მასალის შემთხვევაში განისაზღვრება ტემპერატურის, დროის და კონსტრუქციული გადაწყვეტილების ფაქტორების გათვალისწინებით. შესაბამისად, საანგარიშო ე. წ. „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის განსაზღვრისათვის ესარგებლობთ გამოსახულებით:

$$E = E_0 \cdot K_\phi \cdot K_{\text{ტ}} \cdot K_3, \quad (7.7)$$

სადაც E_0 არის პოლიმერული მასალის მყისიერი დრეკადობის მოდული ნორმალური ტემპერატურის ($20^\circ C$) დროს და მოცემულია საცნობარო ლიტერატურაში, Pa (N/m^2), ან Mpa ; K_ϕ – ტემპერატურული კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს პოლიმერული

მასალის დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულებას ტემპერატურაზე და თერმოპლასტიკური მასალებისათვის

$$K_{\phi} = \frac{I_{\phi} - I_0}{I_{\phi} - 20}, \quad (7.8)$$

სადაც I_{ϕ} პოლიმერული მასალის დნობის ტემპერატურაა, °C; I_0 – საკისრის საანგარიშო მუშა ტემპერატურა, °C; K_{ϕ} – დროის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დრეკადობის მოდულის დამოკიდებულებას დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაზე, ე. ი. ითვალისწინებს ცივი დენადობის მოვლენას და გამოითვლება ფორმულით

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

სადაც t – დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობაა, 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 – $0,062$, $3,3 \cdot 10^{-4}$; ვინილპლასტიკისათვის – $0,07$, $2 \cdot 10^{-4}$.

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

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

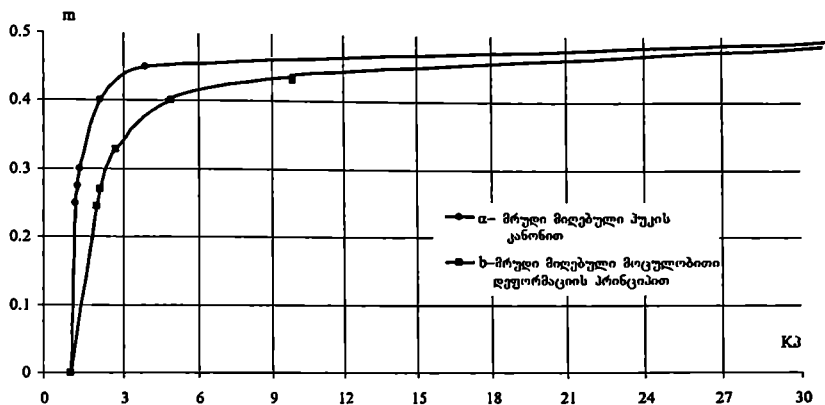
სადაც μ სადების პუასონის კოეფიციენტია.

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

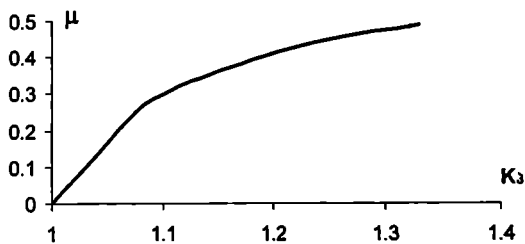
$\left(\frac{\delta}{d} (0.4 \dots 0.5)\right) E_3$ სადების განსასაზღვრად რეკომენდებულია გამოსახულება*

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

K_3 -ს განსაზღვრა შესაძლებელია აგრეთვე ქვემოთ მოყვანილ ნახაზებზე ნაჩვენებ მესაბამისი 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, ზემოხსენებული 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 ცვეთამდეგობის მნიშვნელოვნად გაზრდას.

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

7.6. დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოდის (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 მალიმიტირებელი. ამასთან, დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოდისა და ლითონებისათვის შედარებით კარგად არის დამუშავებული და წარმოდგენილი გექნიკურ 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 განგარიშების დროს დასაშვები ძაბვების შერჩევის შედარებითი სირთულე განპირობებულია პლასტმასების, როგორც კონსტრუქციული მასალების სპეციფიკურობით, მათი დაძაბულ მდგომარეობაში მოქცევის ხასიათით, მიღვის უნარის ტემპერატურაზე ამკარად გამოხატული დამოკიდებულებით, დატვირთვის შედეგად ძალოვანი დეტალების ფორმისა და მოშების ცვლილებებით, დატვირთვის მოქმედების დროის მნიშვნელოვანი გავლენით საკისრის მუშაობის უნარზე და ა.შ.

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

ამის გამო პლასტმასის სადებები (ხშირად სხვა დატვირთული პლასტმასის დეტალებიც) მიზანშეწონილია განგარიშებულ იქნეს კონსტრუქციულ-გეომეტრიულ განსაზღვრულობაზე, რომელიც განაპირობებს მის ეფექტურ ფუნქციონირებას.

სხვა სიტყვებით, სრიალის საკისრების პლასტმასის სადებების განგარიშება 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 სადების გეომეტრიულ უცვლელობაზე ექსპლუატაციის პროცესში.

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

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

მონიშნით, რომელიც ამასთანავე ძირითადად უნდა შეესაბამებოდეს დეტალის ღრეკად დეფორმაციათა დიაპაზონს.

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

თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები ადასტურებენ, რომ ანტიფრიქციული თერმომალასტების სიმკციის 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 ბლანტ-ღრეკადი მასალებისათვის (ვოლტერის I გვარის განტოლება) გადაიქცევა ჩვეულებრივ ჰუკის კანონად, რომელიც სამართლიანია მხოლოდ იდეალურად ღრეკადი სხეულებისათვის.

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

$$\sigma_p = E \cdot \epsilon_p, \quad (7.13)$$

სადაც E არის ნამდვილი ღრეკადობის მოდული (7.7), მკა; σ_p – საწყისი დასაშვები ძაბვა ღრეკადი მასალებისათვის, მკა; ϵ_p – დასაშვები ფარდობითი დეფორმაცია.

ზოგ შემთხვევაში σ_p -ის განსაზღვრისათვის მოსახერხებელია ვისარგებლოთ თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე მიღებული ციფრობრივი მონაცემებით. ქვემოთ მოყვანილია საორიენტაციო მონაცემები პრაქტიკაში ყველაზე ხშირად გამოყენებული მოგიერთი მასალისათვის:

$\sigma_p = 24$ მკა – პოლიამიდ 6-ისთვის, როცა ფარდობითი დეფორმაცია 2%-ის ტოლია;

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

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

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

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

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

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

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

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-წნახების გამოყენებით;

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

K_2 არის ტენშემეცელობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ანტიფორიქციული პოლიმერული მასალების მექანიკური მაჩვენებლების შემცირებას ტენის შემეცელობის 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 განივიკვეთები, არხები, ჭრილები, ნახურეკები და სხვა);

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

K_4 არის დადლილობითი სიმკაცის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ცეკლადი (ციკლური) დატვირთვების მრავალჯერად მოქმედებას და იღება ზღვრებში – 0,5...0,7. არაუცილებელი დატვირთვების შემთხვევაში – 0,9...1,0.

K_3 არის ჰექსის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ჰექსის გავლენას სადების დაძაბულ მდგომარეობაზე და იღება ზღვრებში 0,6...1,0.

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

ზოგიერთი ანტიფრიქციული პოლიმერული მასალის ცალკეული
მექანიკური მახასიათებლები

ცხრილი 7.1

№	მასალის დასახელება	სიმტკიცის მქარა კუმულატი, მპა	დრეკადობის მოდული, E_0 , მპა	პუასონის კოეფიციენტი	დნობის ტემპერატურა	ხაზობრივი გაფართოების ტემპ. კოეფ., 10^3 ერთ კელვინზე	თბოგამტარობის კოეფ. ვ/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	ფთოროპლასტ 4	12	470...850	0,45	327	8...25	0,25
4	პოლიაცეტალი (პოლიფორმალ-დეჰიდრი)	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	შეშეთვის გარეშე	კონსისტენციური შეშეთვა	შებლული შეშეთვა (წვეთოვანი)	წყლით შეშეთვა
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	ფთოროპლასტ 4	0,04–0,06	0,04–0,09	0,02	0,02
4	პოლიაცეტალი (პოლიფორმალდეჰიდრი)	0,09–0,12	0,03–0,1	0,01–0,04	0,09

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

2. მონაცემები საჭიროებს შემდგომ დიფერენციაციას და დამუშავებას.

7.7. ტრიბოსისტემების თბური გაანგარიშების საფუძვლები

სითბოს ინტენსიური გამოყოფა ტრიბოლოგიური 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 ელინდება. რიგი ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე მიჩნეულია, რომ მოხახუნე ზედაპირების ფაქტური საკონტაქტო წერტილებში ჩნდება ტემპერატურული პიკები, რომელთა აბსოლუტური მნიშვნელობა $900-1000^{\circ}\text{C}$ -ს აღწევს.

ტრიბოლოგიური პროცესის დროს წარმოქმნილი სითბოს ნაკადი მოემართება სხეულის სიღრმეში და გადაეცემა გარემოს. ამასთან, გამოყოფილი სითბო განშვავდება რამდენიმე ნაკადად – თვით მოხახუნე სხეულებში, პაერში და შემგთ მასალაში.

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

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

თბურ პროცესებში, რაც მიმდინარეობს ტრიბოსისტემებში, არჩევენ ორ ძირითად სკადაის:

1. არადაზარებულ რეჟიმს, რომელიც ხასიათდება გრიბოსისტემის ტემპერატურის ცვლილებით დროში. ასეთი რეჟიმი კვანძის გამეფებისა და გაჩერების ან მანქანის ხანმოკლე მუშაობის დროს.

2. დაზარებული რეჟიმი, რომელიც ხასიათდება ტემპერატურის მუდმივობით დროში.

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

განვიხილოთ ზოგადად გრიბოსისტემების თბური პროცესები სრიალის საკისრის მაგალითზე.

არადაზარებული 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 ზონაში.

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

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

სადაც Φ საკისარში დროის ერთეულში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობაა (ანუ სითბოს ნაკადი, თბური სიმძლავრე); Φ_{κ} – საკისრის მიერ დროის ერთეულში მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა; Φ_{λ} – ლილვის მიერ დროის ერთეულში მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა.

საკისარში გამოყოფილი სითბო დროის ერთეულში შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი დამოკიდებულებით, ვც ($1,16\text{ვც} = 1\text{კკალ/სთ}$):

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

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

საკისრისა და ლილვის მიერ მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობის განსაზღვრისათვის გამოყვანილი ფორმულები ეფუძნებიან ფურიეს კანონს და საჭირო სიმუსტის 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 ტემპერატურა ერთნაირია;

2. ტემპერატურა საღების მუშა ზონაში მუდმივია და სითბო საკისარში ვრცელდება მხოლოდ რადიალური მიმართულებით.

უკანასკნელი დაშვება საესებით მისაღებია პლასტმასოვანი თხელსაღებებიანი საკისრებისათვის (თბოგამგარობის კოეფიციენტი პლასტმასებისათვის 400-600-ჯერ ნაკლებია ბრინჯაომე), მაგრამ დიდ მარაგს იძლევა ლითონურსაღებებიანი საკისრებისათვის.

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

$$\Phi_k = K_k \cdot l(t_s - t_0), \quad (7.17)$$

სადაც t_s ტემპერატურაა საკისრის მუშა ზონაში, კელვინი (K); t_0 - გარემოს ტემპერატურა, კელვინი (K); l - საკისრის სიგრძე, მ; K_k - საკისრის თბოგადაცემის ჯამური კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია საკისრის კონსტრუქციულ გადაწყვეტაზე, გეომეტრიულ პარამეტრებზე, მასალების თბოგამგარობისა და თბოგადაცემის კოეფიციენტებზე (არ უნდა აგვერიოს ერთმანეთში თბოგადაცემისა და თბოგაცემის კოეფიციენტები, რომლებსაც განსხვავებული ფიზიკური შინაარსი და განზომილებები აქვთ).

K_k კოეფიციენტი ახასიათებს საკისრის უნარს, გაატაროს და გადასცეს სითბო. მისი შებრუნებული სიდიდე 3 ფენიანი ტიპური საკისრის შემთხვევაში, როცა ანტიფრიქციული საღები ჩაწნეხილია ფოლადის ჰიქსში, ხოლო იგი - თავის მხრივ,

მანქანის კორპუსში, იქნება $\frac{\text{მ} \cdot \text{კელვინი}}{\text{მ}^3}$ [1]:

$$\frac{1}{K_k} = \frac{1}{2 \cdot \varphi} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d+2\delta}{d} + \frac{1}{\lambda} \ln \frac{D}{d+2\delta} \right) + \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2\pi} \ln \frac{D_j}{D} + \frac{1}{\alpha \cdot D_j} \right), \quad (7.18)$$

სადაც φ - საკონტაქტო კუთხეა, გრად; λ_1 - საღების თბოგამგარობის კოეფიციენტი

(ცხრ. 7.1, 7.4), $\frac{\text{მ}^3}{\text{მ} \cdot \text{კელვინი}}$; d - ლილვის დიამეტრი, მ; δ - პლასტმასის საღების სისქე, მ;

λ – ჰქიის და კორპუსის თბოგამტარობის კოეფიციენტი (ცხრილი 7.4) – $\frac{\text{მბ}}{\text{მ} \cdot \text{კელვინი}}$;
 D – ლითონის ჰქიის გარე დიამეტრი, მ.; D_j – საკისრის კორპუსის დიამეტრი, მ.;
 α – საკისრის ზედაპირის თბოგაცემის კოეფიციენტი (შემოქრევის გარეშე $\alpha=12\dots14$)
 $\frac{\text{მბ}}{\text{მ}^2 \cdot \text{კელვინი}}$;

შემოქრევის შემთხვევაში α შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით

$$\alpha = 17\sqrt{V}, \tag{7.19}$$

სადაც V შემოქრევის სიჩქარეა, რომელიც დამოკიდებულია ლილვისა და მასზე დასმული დეტალების ბრუნვათა სიხშირეზე (გამოსახულებაში V -ს მინიმალური სიდიდეა $18/\varphi$ მ), $3/\varphi$ მ.

ლილვის მიერ მუშა ზონიდან არინებული სითბოს რაოდენობა ერთეულ დროში შეიძლება ასე განისაზღვროს, ვც:

$$\Phi_c = c(t_c - t_o), \tag{7.20}$$

სადაც $c = c_1 + c_2$ ლილვის თითოეული მხარის თბოგადაცემის ჯამური კოეფიციენტია და დამოკიდებულია ლილვის გეომეტრიულ პარამეტრებზე, $\frac{\text{მბ}}{\text{კელვინი}}$; c_1 და c_2 კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოცემულია 7.3 ცხრილში;

ცხრილი 7.3

ლილვის თბოგადაცემის კოეფიციენტები

ლილვის ტიპი	ლილვის კონსტრუქცია, თბოგაცემის პირობები	თბოგადაცემის ჯამური კოეფიციენტის განსაზღვრისათვის საჭირო გამოსახულებაანი, $\frac{\text{მბ}}{\text{კელვინი}}$	თბოგადაცემის 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	$c_{II} = \lambda \cdot f \cdot m \cdot x$ $\times \frac{sh(mL) + Bch(mL)}{ch(mL) + Bch(mL)}$	$m = 2\sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda \cdot d}}$; $B = \frac{\alpha_2}{\lambda \cdot m}$

III	ძალიან მცირე სიგრძის ლილვი ($L = 0$). თბოგაცემა მხოლოდ ტორსული ზედაპირიდან	$c_{III} = \alpha^2 \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ α_2 - ლილვის ტორსული ზედაპირის თბოგაცემის კოეფიციენტი
-----	---	--	---

t_0 - გარემოს ტემპერატურა, კელვინი (K); t_{Σ} - ლილვის ზედაპირის ტემპერატურა, კელვინი (K), და როცა საკისარი უძრავია და ლილვი ბრუნავს, შეიძლება დაეუშვათ, რომ

$$t_{\Sigma} = t_{\Sigma},$$

(7.21) (7.15) გამოსახულებაში (7.16), (7.17), (7.20) და (7.21) გამოსახულებების ჩასმით და შესაბამისი ელემენტარული მათემატიკური გარდაქმნების შემდეგ მუშა ზონაში ტემპერატურა

$$t_{\Sigma} = \frac{f \cdot F_r \cdot \omega \cdot r + t_0 (K_{\Sigma} \cdot l + C)}{K_{\Sigma} \cdot l + C} \quad (7.22)$$

(7.20) გამოსახულებაში შესაბამისი წევრები დასაშვებია $^{\circ}C$ -ში.

საკისრის კვანძის პერიოდული მუშაობის შემთხვევაში საჭირო ხდება განისაზღვროს დროის ის T მონაკეფი, როცა ტემპერატურა აღწევს t_p დასაშვებ ზღვარს.

ამ შემთხვევისათვის თბური ბალანსის განტოლებას ექნება ასეთი სახე:

$$\Phi \cdot T - T(c + K_{\Sigma} \cdot l)(t_p - t_0) = mC(t_p - t_0), \quad (7.23)$$

სადაც $\Phi \cdot T$ არის T დროში გამოყოფილ სითბოს რაოდენობა, ჯოული; $T(c + K_{\Sigma} \cdot l)(t_p - t_0)$ - T დროში გარემომე 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, კვ: β -კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ტემპერატურათა სხვაობას ხახუნის მონაში და ლეტალის პერიფერიაზე:

$$\beta = \frac{0,5 - 2\rho}{0,5 + 2\rho}, \quad (7.25)$$

სადაც ρ მანძილია ხახუნის მონიდან ლეტალის ყველაზე უფრო დამორებულ წერტილამდე, მ.

(7.23)-დან საკისრის კვანძის t_p ტემპერატურამდე გაცხელების დრო განისაზღვრება გამოსახულებით

$$T = \frac{mC(t_p - t_s)}{\Phi - (c + K_s \cdot l)(t_p - t_s)}, \quad (7.26)$$

ხოლო თუ აუცილებელია განისაზღვროს საკისრის მუშა ტემპერატურა რაღაც T დროში, მაშინ ბალანსის განტოლებაში მიიღება, რომ $t_p = t_g$ და

$$t_g = \frac{\Phi T}{T(c + K_s l) + mC} + t_s. \quad (7.27)$$

შიახლოებითი საორიენტაციო გაანგარიშებისათვის შეიძლება ვისარგებლოთ გამარტივებული დამოკიდებულებებით, როცა იგულისხმება, რომ საკისრის კორპუსისა და ლილვის მემწეობით ხახუნის მონიდან არინებული სითბო პროპორციულია რაღაც პირობითი A ფართობის, ტემპერატურათა სხვაობის - $(t_g - t_s)$ და თბოდაცემის α კოეფიციენტისა, ე.ი.

$$\Phi = \alpha(t_g - t_s)A, \quad (7.28)$$

სადაც Φ გამოყოფილი ან ხახუნის კვანძიდან გატანილი სითბოა, ეგ; $A = A_1 + A_2$ - ხახუნის კვანძის თბოდაცემის პირობითი ფართობი, მ²; A_1 - საკისრის კორპუსის თბოდაცემის პირობითი ფართობი (მ²) დამოკიდებულია საკისრის კონსტრუქციაზე და ზომებზე. საშუალოდ იღება $A_1 = 25d^2$ ან $A_1 = 20 dl$, სადაც d და l , შესაბამისად, არის საკისრის დიამეტრი (მ) და სიგრძე (მ).

მოგჯერ 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 (m^2) და ლილვის თითოეული მხარისათვის იღება (5...8) d^2 . მნიშვნელობები მცირე აიღება, როცა ლილვის ღიაბეგრის $< \Phi 100$ -ზე, ხოლო ღიდი – როცა ღიაბეგრი $> \Phi 100$ -ზე.

ცხრილი 7.4

თბოგამტარობის მნიშვნელობები 20 და $100^\circ C$ 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 (ღიდი 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	

(728) 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

$$t_a = \frac{\Phi}{\alpha \cdot A} + t_r \quad (7.30)$$

ბუნებრივია, ყველა შემთხვევაში უნდა შესრულდეს პირობა

$$t_a \leq t_p.$$

ამასთან, ყველა მიღებულ ანალიზურ გამოსახულებაში მიჩნეულია, რომ თბოტევადობა, 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 (აღქმიური) და მექანიკური (კოპეზიური) შემდგენების შეცვლას. ცვლილებების მასშტაბები დიდად არის დამოკიდებული მოხახუნე დეტალების მასალების გეარობაზე.

ლითონური ზედაპირებისათვის ხახუნის ძალის მექანიკური შემდგენები ტემპერატურის მომატებით მასალის სისალის შესაბამისი შეცვლის შედეგად იცვლება (არალითონური, მაგალითად, პოლიმერული მასალებისათვის ეს მომენტი კიდევ უფრო გამოკვეთილია). ლითონური მასალების სისალის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე განისაზღვრება ექსპონენციალური დამოკიდებულებით [23]:

$$H = H_0 \cdot e^{-\beta \Delta t},$$

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 მომატების შედეგად მოხახუნე ზედაპირების სისალის შემცირება. ამასთან, უფრო რბილი მასალებისათვის იგი კიდევ უფრო ინტენსიურია.

აღნიშნულის გამო ტრიბოლოგიურ 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 ტრიბოლოგიური სისტემის კონსტრუქციის და მასალის გეარობის მიხედვით.

ლითონური მასალებისაგან დამზადებული ხახუნის კვანძის დეტალებისათვის ტრიბოლოგიური პროცესის ნორმალურ პირობებზე ითვლება ტემპერატურული ზღვარი $t_g < (0,2 \quad 0,3) t_{\text{დნ}}$ სადაც $t_{\text{დნ}}$ მასალის დნობის ტემპერატურაა. ამასთან,

ტემპერატურულ დიაპაზონში (0...0,2)°C-ზე ხდება ხახუნის ძალის მოლეკულური შემდგენის შესაბამისად შემცირება, რაც განპირობებულია ზედაპირზე სწრაფი დაჯანგვის გამო თხელი აფსკების წარმოშობით. ხოლო ტემპერატურის შემდგომი გადიდება იწვევს კონტაქტში მყოფი ბორცვების ერთმანეთთან ინტენსიურ შეჭიდულებას (მაღალი ტემპერატურის გამო ჯანგის თხელი აფსკი ამ მოვლენას ხელს ევლარ უშლის და იზრდება ხახუნის ძალის მოლეკულური შემდგენი).

განსხვავებული სურათია, როდესაც მოხახუნე ზედაპირთაგან ერთ-ერთი მანევრული 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 დიაპაზონში არ გვხვდება კრიტიკული წერტილები.

მოგადად ყველა შემთხვევისათვის ხახუნის ძალის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მრუდზე შეიძლება გამოიყოს ხელსაყრელი ტემპერატურული რეჟიმების მონები. ამ მონების განსაზღვრა და კვანძის კონსტრუქციული გადაწყვეტა ტემპერატურული რეჟიმის თვალსაზრისით არის ტრიბოლოგიური 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

ტრიბოლოგიური სისტემის საექსპლუატაციო პარამეტრებსა და საიმედოობის მაჩვენებლებს.

ქვემოთ მოყვანილი კონსტრუქტორული პარამეტრების შერჩევისათვის რეკომენდებული თანაფარდობები სპეციალური გამოკვლევების საფუძველზე განზოგადებულია ლიტერატურულ წყაროებში [1], [28].

როგორც ცნობილია, პლასტმასოვანი სრიალის საკისარი უმრავლეს შემთხვევაში არის პლასტმასის სადები, რომელიც ჩაწნებილია ფოლადის ჭიქაში, ხოლო თავის მხრივ, იგი ჩადებულია სპეციალურ ან მანქანის კორპუსში (“პირდაპირი წყვილი”), ანდა ფოლადის ლილვზე დაწნებილი პლასტმასის მილისა, რომელიც შეუღლებულია რომელიმე კორპუსთან (“შექცეული წყვილი”).

საანგარიშო ჩაწნების (დაწნების) ჭექის სიდიდემ უნდა უზრუნველყოს სადებების უმოდრაო ჩასმა საკისრის მთელი სამსახურის ვადის განმავლობაში.

ამოცანის არსი ისაა, რომ საკისრის ხანგრძლივი ექსპლუატაციისა და პერიოდული გაცხელების დროს ცივი დენადობისა და ძაბვების რეალქსატიის მოუღენების გამო ჭექი კვანძში სუსტდება ან ქრება. შედეგად მილისა ბრუნდება შესაბამისი დეტალის მიმართ და წყდება საკისრის ფუნქციონირება. მაგრამ თუ წინასწარი ჭექის ხარისხი აღემატება რაღაც მნიშვნელობას, ჭექი ე. ი. მილისას დაძაბული მდგომარეობა პრაქტიკულად შეიძლება მუდმივად იქნას შენარჩუნებული. ამასთან, სადების დაძაბული მდგომარეობა დადებითად მოქმედებს ცვეთამუდგობაზე და ამცირებს ცივი დენადობის მოუღენებს.

გემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, მიზანშეწონილია შეუღლებაში გათვალისწინებულ იქნეს ჭექის მაქსიმალური მნიშვნელობა ისე, რომ აღძრული ძაბვა არ აჭარბებდეს დენადობის ზღერის დონეს.

ექსპერიმენტული გამოკვლევების საფუძველზე პოლიამიდური სადებებისათვის ჭექის მნიშვნელობა რეკომენდებულია ზღერებში

$$\delta_6 = (0,035 \dots 0,045) D, \quad (7.32)$$

ხოლო პოლიაცეტალის (პოლიფორმალდეჰიდის) სადებებისათვის

$$\delta_6 = (0,03 \dots 0,04) D, \quad (7.33)$$

სადაც δ_6 ჭექის აბსოლუტური სიდიდეა, მმ; D – ლითონური ჭიქის ან ლილის დიამეტრი, მმ.

ჭექის 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 (ჭექის მცირე მნიშვნელობები) ან პლასტმასოვანი სადებები ვერ უძლებენ ჩაწნების ან დაწნების შედეგად აღძრულ კონტაქტურ ძაბვებს (ჭექის ღიდი მნიშვნელობები).

აღნიშნულის გამო, ჭექის სიდიდის შერჩევის დროს უნდა ვიხელმძღვანელოთ შემდეგი მოსაზრებით:

- კვანძის საიმელოობის, და ხანგამძლეობის გადიდების მიზნით ჭექის სიდიდის მნიშვნელობა შესაძლებლობის მღერებში უნდა იყოს მაქსიმალური;
- გრძელი და სქელკედლიანი სადებებისათვის აიღება ჭექის მცირე მნიშვნელობები, ხოლო მოკლე და თხელკედლიანი სადებებისათვის – ჭექის ღიდი მნიშვნელობები;
- შემესებიანი (გრაფიტი, ტალკი, მოლიბდენის დისულფიდი) პლასტმასისაგან დამზადებული სადებებისათვის საჭიროა ჭექის სიდიდე შემცირდეს;
- დაბალ მუშა ტემპერატურაზე იღებენ ჭექის ხარისხის მცირე მნიშვნელობებს, ხოლო მაღალზე – დიდს;
- “შექცეული წყვილისათვის” იღებენ ჭექის შემცირებულ მნიშვნელობებს.

რეკომენდაციებით დადგენილი ჭექის მნიშვნელობები ძნელად უთავსდება სახალხო მეურნეობაში მიღებულ სტანდარტულ ჩასმებს. ამიტომ ხახუნის კვანძის კონსტრუქტორულ დოკუმენტაციაში არაა რეკომენდებული მონიშნოს შეუღლების ნომინალური ზომა.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრის მუშაობის უნარზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ხახუნის კვანძის ღრეჩოს სიდიდე.

პოლიმერული მასალები, ხასიათდებიან რა ღიდი ხამობრივი 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 ვიხელმძღვანელობდეთ საერთო ტექნიკური მოსაზრებებით. ამასთან, მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული მუშაობის კონსტრუქციული და ექსპლუატაციური პირობები – შეზღუდვის სახე, ვაცივების საშუალებები, დატვირთვის რეჟიმი, მოხახუნე მედაპირების მდგომარეობა და ა. შ.

ღრეჩოს გადიდებული მნიშვნელობები უარყოფითად მოქმედებს მანქანის საერთო კონსტრუქციულ მეთანწყობაზე. ამას გარდა, ღრეჩოს გადიდება იწვევს მოხახუნე

მელაპირებზე კონტაქტური ძაბვების გაზრდას, რაც თავის მხრივ, განაპირობებს ხახუნის კვანძის ინტენსიურ ცვეთას.

აღნიშნულის გამო ღრეროს ოპტიმალური სიდიდის შერჩევა ტრიბოლოგიური სისტემის დაპროექტების დროს მეტად სპასუსხისმგებლო საქმეა.

მრავალი ექსპერიმენტისა და თეორიული კვლევის საფუძველზე პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების დიამეტრული ღრეროს შერჩევისათვის რეკომენდებულია შემდეგი თანაფარდობა:

$$\Delta=(0,004 \dots 0,015)d.$$

სადაც d ლილვის დიამეტრია, მმ.

იმის გამო, ღრეროს სიდიდე უდიდეს გავლენას ახდენს ხახუნის კვანძის მუშაობის უნარზე, საჭიროა დიდი სიფრთხილით იქნეს შერჩეული ღრეროს ოპტიმალური მნიშვნელობა. ამასთან, გათვალისწინებული უნდა იქნეს სრიალის საკისრის მუშაობის კონკრეტული პირობები და კონსტრუქციული გადაწყვეტილება. მაგალითად, თხელკედლიანი სადებებისათვის რეკომენდებულია შეირჩეს ღრეროს მცირე მნიშვნელობები, ხოლო სქელკედლიანებისათვის – დიდი. მოსალოდნელი მძიმე გემპერატურულრეჟიმისათვის საკისრებისათვის საჭიროა შეირჩეს ღრეროს დიდი მნიშვნელობები, მსუბუქისათვის – მცირე.

იმასთან დაკავშირებით, რომ ღრეროს გაზრდა იწვევს კონტაქტური ძაბვების გაზრდას კვანძში, ღრეროს შერჩევის შემდეგ აუცილებელია შემოწმებითი გაანგარიშება მაქსიმალურ კონტაქტურ ძაბვებზე ზემოთ მოყვანილი მეთოდით და საჭიროების შემთხვევაში ხდება მისი კორექტირება.

ამას გარდა, სპეციალურ ლიტერატურაში მოცემულია რეკომენდაციები ანალიზური გამოსახულებების სახით, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია სადების თავისუფალი ბელაპირის (შიგა ან გარე დიამეტრის) ზომათა ცვლილებების განსაზღვრა სადების ჩაწნეხვის (დაწნეხვის) 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 მომების 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:

$$\delta = 0,2 + \sqrt{0,1d}, \quad (7.35)$$

სადაც d არის მოხახუნე ზედაპირის ნომინალური დიამეტრი, მმ;

მიღებული სიდიდე საკისრის დაპროექტების დროს შეიძლება კორექტირებული იქნეს $\pm 15\%$ -ით.

საკისრის სიგრძე, როგორც ეს ჩვეულებრივ არის მიღებული, იზღუდება ნომინალური დიამეტრის მიხედვით და ოპტიმალურად მიჩნეულია $\frac{l}{d} = 1$, აქ l საკისრის სიგრძეა, ხოლო d - ნომინალური დიამეტრი.

დრეკადსაფუძელიანი სრიალის საკისრებისათვის აღნიშნული ფარდობა შეიძლება გაზრდილი იქნეს 1,5...1,8 ზღვრებაამდე, ხოლო არაზუსტი აწყობისას და ლილვის დიდი დეფორმაციის პირობებში არ უნდა აღემატებოდეს 0,8-ს.

შემოთ მოყვანილ კონსტრუქტორულ პარამეტრებთან ერთად პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების დაპროექტების დროს საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს:

- შეუღლებაში გამოყენებული ლითონური დეტალების ზედაპირის სიმქისის რაციონალურ მნიშვნელობად სიმქისის მე-7. მე-8 კლასები, ხოლო პლასტმასის დეტალისათვის (თუ იგი მექანიკურად მუშაედება) – მე-6 კლასი.
- ლითონური დეტალისათვის ზედაპირული სისხლის რაციონალურ სიდიდელ არაუმეტეს HRC 50. . . 55;
პლასტმასის სადების შეძლებისდაგვარი თანაბარკედლიანობა (ადგილობრივი შესუსტებები ან შესქელებები მნიშვნელოვნად აქვეითებენ მის შრომის უნარს);
- დეტალების ჭეჭით ჩასმის დროს ლითონური დეტალის ზედაპირის სიმქისის ოპტიმალურ მნიშვნელობად სიმქისის მე-6 კლასი (მეტი სიმქისის ზედაპირები იწვევენ ჩაწნების ძალის გაზრდას და მასთან დაკავშირებულ უარყოფით მოვლენებს, ხოლო ნაკლები – უძრავი ჩასმის საიმედოობის შემცირებას);
- მექანიკური ჩაწნების წინ ერთ-ერთ შეუღლებულ ზედაპირზე 30⁰-იანი ნაზოლი;
- ჩაწნებილი (დაწნებილი) სადების მექანიკური დამუშავება მოხდეს არა უადრეს 6. . . 8 სთ-ისა წნების პროცესიდან (მომების სტაბილიზაციის მიზნით);

- პლასტმასის სადებიანი გრიბოლოგიური სისტემების კონსტრუირების დროს პლასტმასის სადების გაფართოების შესაძლებლობა გრძივი მიმართულებით (განივი მიმართულებით გაფართოების შესაძლებლობას ითვალისწინებს დიამეტრული დრეჩო).

7.9. სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების მეთოდოლოგია

პირობითი გაანგარიშების მეთოდოლოგია მიზანშეწონილია გამოიყენოთ სრიალის საკისრების წინასწარი, საორიენტაციო გაანგარიშების დროს. იგი ეფუძნება მანქანათა გრიბოტექნიკური სისტემების ექსპლუატაციის გამოცდილებას, ექსპერიმენტულ შედეგებს. კერძოდ, სარგებლობენ ანალოგიური კონსტრუქციული გადაწყვეტილებისა და დატვირთვის პარამეტრების შემთხვევაში მიღებული ექსპლუატაციური მონაცემებით. აღნიშნული მეთოდისათვის დამახასიათებელია საანგარიშო მეთოდოლოგიის მაქსიმალური სიმარტივე.

განახსევავენ 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 სატაკი ზემოქმედებს რადიალური მიმართულებით საკისრის სადებზე 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 დატვირთვა სატაკზე; d , l – შესაბამისად, საკისრის დიამეტრი და სიგრძე; p_p – დასაშვები წნევა სრიალის საკისრისათვის.

სტაციონარული მანქანების უმრავლესობისათვის კონკრეტული პირობების – ძირითადი და შემხეთი მასალების და კონსტრუქციული პარამეტრების მიხედვით გაბარიტებისადმი განსაკუთრებული მოთხოვნების არ არსებობის შემთხვევაში p_p იღება 1... 4 მპა-ის ზღვრებში.

მიგაწევის ძრავების ძირითადი და ბარბაცას საკისრებისათვის $p_p = 4...20$ მპა. ხოლო, საგლინავე დგანების, წნეხებისა და სამჭედლო მანქანებისათვის – $p_p = 10...30$ მპა.

ასეთი მეთოდის ძირითადად შემოწმებითი ხასიათისაა, ვინაიდან სატაციის დიამეტრი განისაზღვრება ლილვის კონსტრუქციული გაანგარიშების დროს. თუმცა ლავირების საშუალებას იძლევა საკისრის სიგრძე, რომელიც უზრუნველყოფს წნევის ცელილებას.

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; ტრიბოლოგიური 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.

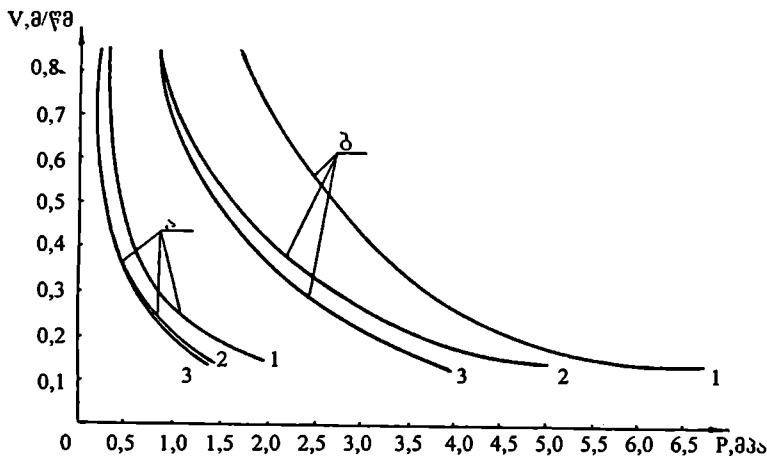
როგორც უკვე აღვნიშნეთ, p და $(pV)_p$ სიდიდეები იცვლებიან ფართო ზღვრებში და მნიშვნელოვანწილად არიან დამოკიდებულნი რიგ კონსტრუქციულ და ექსპლუატაციურ ფაქტორებზე: დატვირთვის ხარისხზე, შეშეთის და გაცივების პირობებზე და საშუალებებზე, მასალებზე, დეტალების დამზადების ტექნოლოგიაზე, მუშაობის ხანგრძლივობაზე, ჩართების რაოდენობაზე, გარემო პირობებზე და ა. შ.

გემოთ ჩამოთვლილის გამო მოყვანილ მეთოდს არ გააჩნია პრეცენდია სიმუსტემე და თხევადი შეშეთის შემთხვევაში მხოლოდ საორიენტაციო ხასიათს ატარებს.

განსხვავებულ ღირებულებას იძენს აღნიშნული მეთოდის იმ ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის, რომლის ექსპლუატაცია ხდება ან შეშეთის გარეშე, ანდა

არარეგულარული, ან შეზღუდული შემთვის პირობებში. ასეთ პირობებში კი, როგორც ცნობილია, მეტად ეფექტურია დიდი ცვეთამდეგობის 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 დამუსტებული გაანგარიშება კონტაქტური ძაბვისა და მუშა ტემპერატურის განსაზღვრის მეშვეობით აღწერილი წესით.

ნახ. 7.12-ზე გრაფიკული სახით არის წარმოდგენილი საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში შესრულებული გამოკვლევების შედეგად მიღებული pV ნამრავლის ზღვრული მნიშვნელობები სხვადასხვა პოლიმერული მასალებისათვის.



ნახ. 7.12. კუთრი წნევის და ფარდობითი სრიალის სიჩქარის ზღვრული მნიშვნელობების ურთიერთდამოკიდებულების გრაფიკი პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის:

- 1 – პოლიაცეტალის (პოლიფორმალდეჰიდის) სადებით; 2 – პოლიამიდი 66-ის სადებით; 3 – პოლიამიდი 6-ის სადებით;

ა – არარეგულარული შემთვის პირობები; ბ – წვეთოვანი შემთვის პირობები

მაგალითი: შევაფასოთ პოლიმერულსადებიანი სრიალის საკისრის მუშაობის უნარი “პირობითი” ღრეკადობის მოდულის გამოყენებით ექსპლუატაციის შემდეგ პირობებში:

რადიალური დატვირთვა საკისარზე $F_p=5000$ ნ;

ლილვის ბრუნვათა სიხშირე	$n=100\text{წმ}^{-1}$;
ლილვის დიამეტრი	$d=55\text{მმ}$;
სადების მასალა	- პოლიამიდ 66;
პუასონის კოეფიციენტი	$\mu=0,37$;
შეშეთვა	- შემზღვეული, მინერალური ზეთით;
მუშაობის რეჟიმი	- უწყვეტი;
კორპუსის გარე დიამეტრი	$D_0=150\text{ მმ}$.

საკისრის კონსტრუქციული გადაწყვეტილება – “ პირდაპირი წყვილი”.

პირველ რიგში ვადგენთ საკისრის კონსტრუქციულ პარამეტრებს. (7.35)
გამოსახულების შესაბამისად, სადების კედლის სისქე

$$\delta=0,2+\sqrt{0,1d}=0,2+\sqrt{0,1\cdot 55}=2,55\text{ მმ}.$$

იმის გამო, რომ სავარაუდოა საკისრის მძიმე ტემპერატურული რეჟიმი, შევარჩიოთ სადების კედლის სისქის შემცირებული მნიშვნელობა $d=2,5\text{ მმ}$.

შევარჩიოთ საკისრის დიამეტრული ღრეჩოს საორიენტაციო მნიშვნელობა (7.34)
გამოსახულებიდან

$$\Delta=0,01d=0,1\cdot 55=0,55\text{ მმ}.$$

კონსტრუქციული მოსაზრებების გათვალისწინებით მივიღოთ რადიალური ღრეჩოს მნიშვნელობა $\epsilon=0,25\text{ მმ}$. შევარჩიოთ საკისრის სიგრძის მნიშვნელობა $l=55\text{ მმ}$.

ვიპოვოთ საანგარიშო, „პირობითი“ დრეკადობის მოდული $E_9=85^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურისა (შერჩეულია საორიენტაციოდ და საჭიროების შემთხვევაში სრულდება გადაანგარიშება) და 4 სთ (შეესაბამება ერთი ცვლის ხანგრძლივობის ნახევარს) დატვირთვის ხანგრძლივობისათვის (7.7) გამოსახულებით

$$E=E_0\cdot K_{\delta}\cdot K_{\text{დრ}}\cdot K_{\text{ვ}}=1200\cdot 0,67\cdot 0,65\cdot 3,85=2012\text{ მპა},$$

სადაც K_{δ} ტემპერატურული კოეფიციენტია და, (7.8) გამოსახულების თანახმად,

$$K_{\delta}=\frac{t_{\text{დრ}}-t_9}{t_{\text{დრ}}-20}=\frac{219-85}{219-20}=0,67;$$

$t_{\text{დრ}}$ – პოლიამიდ 66-ის ღნობის ტემპერატურაა (ცხრილი 7.1) – 219°C ;

$K_{\text{დრ}}$ – დროის კოეფიციენტია და, (7.9) გამოსახულების თანახმად,

$$K_{\text{დრ}}=\left(\frac{t}{B}\right)^{-m}=\left(\frac{4}{4\cdot 10^{-4}}\right)^{-0,047}=0,65;$$

$K_{\text{ვ}}$ – საანგარიშო, ე.წ. „პირობითი“ დრეკადობის მოდულის მაკორექტირებელი კოეფიციენტი, (7.10) გამოსახულების თანახმად

$$K_3 = \frac{1}{1-2\mu} = \frac{1}{1-2 \cdot 0,37} = 3,85.$$

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 - ჰექსის 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

$$t_0 = \frac{\Phi}{\alpha A} + t_0 = \frac{57,6}{13 \cdot 0,075} + 20 \approx 80 \text{ }^\circ\text{C,}$$

სადაც Φ საკისარში გამოყოფილი სითბოა,

$$\Phi = fF, \text{ორ} = 0,04 \cdot 5000 \frac{3,14}{30} 100 \cdot 0,0275 = 57,6 \text{ ეტ,}$$

სადაც f ხახუნის კოეფიციენტი წყვილისათვის ფოლადი-პოლიამიდი 66-ია. შემღვლეული თხევადი მეთით შემეთვის პირობებში ავიღოთ $f = 0,04$ (ცხრ. 7.2).

თბოგადაცემის პირობითი ჯამური კოეფიციენტი α საშუალო პირობებში ავიღოთ $\alpha = 13 \text{ ეტ/მ}^2 \text{ კელვინი};$

t° – გარემოს ტემპერატურა – $20^{\circ}\text{C};$

$$A = A_1 + A_2,$$

სადაც A_1 საკისრის კორპუსის თბოგადაცემის ფართობი ავიღოთ

$$A_1 = 20 \cdot 0,055 \cdot 0,055 = 0,06 \text{ მ}^2; \quad A_2 \text{ ლილვის თბოგადაცემის პირობითი ფართობი}$$

$$A_2 = 5d^2 = 5 \cdot 0,055^2 = 0,015 \text{ მ}^2; \quad A = 0,06 + 0,015 = 0,075.$$

ე.ი. დაცულია პირობა

$$t_p / t_p = 85^{\circ}\text{C}.$$

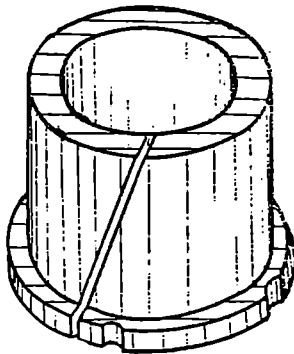
ამრიგად, საკისრის მუშაობის უნარის ორივე კრიტერიუმი შესრულებულია, რაც განსაზღვრავს საკისრის ექსპლუატაციის შესაძლებლობას.

თავი 8. სრიალის საკისრების კონსტრუქციები

8.1. სრიალის საკისრების გრადიციული კონსტრუქციები პოლიმერული სადებით

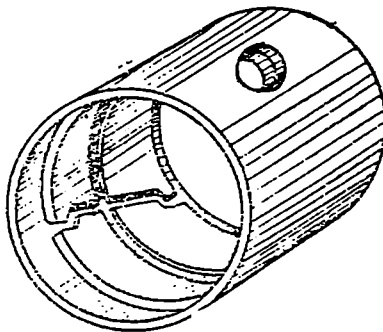
სრიალის საკისრების გიპური კონსტრუქციები ლითონური ანტიფრიქციული სადებებით ნორმალიზებული და უმრავლეს შემთხვევაში სტანდარტიზებული იყო ყოფილი საბჭოთა კავშირის ეკონომიკურ სიერცეში. შესაბამისად, მათი კონსტრუქციების და კონსტრუქციული პარამეტრების შერჩევა კონკრეტული პირობებისათვის არ ხდებოდა. მაგრამ, განსხვავებული სიგუაცია ისახება პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების გამოყენების რიგ შემთხვევებში, სადაც ტრიბოლოგიური სისტემების საიმელო და ეფექტური ფუნქციონირება დიდად არის დამოკიდებული პლასტმასოვანი სრიალის საკისრის კონსტრუქციის და კონსტრუქციული პარამეტრების ოპტიმალურ შერჩევაზე. ამიგომ, როცა ყველა ჩეულებრივი, გიპური კონსტრუქციული გადაწევილება 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 ტემპერატურის 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.



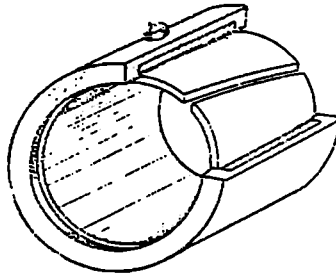
ნახ. 8.1. გრძივჭრილიანი სრიალის საკისრის პოლიმერული სადები

ცნობილია თხელკედლა საკისრის კონსტრუქცია (ნახ.8.2), რომელიც შედგება გარსაკრისაგან, რომელშიც ჩადგმულია თხელკედლა სადები საკომპესაციო ჭრილებით. ზომათა ცვლილების შემთხვევაში (გახურების ან სხვა ფაქტორების შემოქმედების შედეგად) სადები იწყებს გადაადგილებას, სრიალს გარსაკრის შიგა ზედაპირზე, რის შედეგადაც უცვლელი რჩება მისი შიგა დიამეტრი. აღნიშნული ტიპის საკისარს აქვს ნახერეტი და რგოლისებრი ღარები შემშეთი მასალის მისაწოდებლად. ლითონური გარსაკრის სისქეა 1,6 მმ, ხოლო პოლიმერული სადების სისქე - 0,8 მმ. ასეთი საკისრის უარყოფითი მხარეა სადების არასაიმედო ჩაჭიდება გარსაკრავთან. შესაბამისად, დინამიური დატვირთვებისას იქმნება სადების გარსაკრავიდან აგლეჯის საშიშროება.



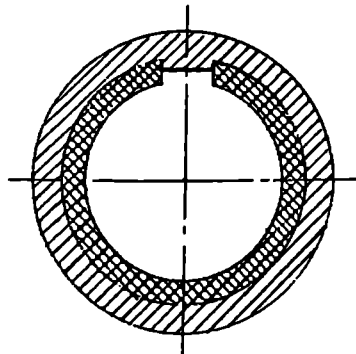
ნახ. 8.2. თხელკედლა სრიალის საკისარი

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 ხეხრებით. თუ სადები ჩამოსისმება 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 ზედაპირზე ხრახნის მოჭრა ან ღარების ამოღება.



ნახ. 8.3. ღრეკადი საკისარი „კლეიფლექსი“

კონსრუქცია (ნახ.8.4.) გამოირჩევა სიმარტივით. მასში სადების ფიქსაცია ხორციელდება გაჭრილი მილისის გორსული ზედაპირის მიბრუნებით კორპუსის სასოგმანე შვერზე. ამასთან, სადების პირვანდელი ჭრილის (l_0) სიგანე ნაკლები უნდა იყოს სასოგმანე შვერის (l) სიგანეზე. ამიგომ სადები კორპუსის კედლებს მიეზივება ჰექით. ჰექის 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 პრაგმატიკაში, რის გამოც მნიშვნელოვნად არის შემღუღული 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 ფენილოვანი გაფრქვევა. პოლიმერული ფენის პატარა სისქის გამო ასეთი საკისრები კარგად ატარებენ სითბოს, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს პოლიმერული მასალის დენადობასა და მისი ზომების არასტაბილურობას, მრდის მათ მიღვის უნარს. მაგრამ, დინამიკური დატვირთვებისას და შემღუღული შემთხვევის 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 ჩაწეხილია ლითონურ კორპუსში და, მამასადაბე, 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. ამიტომ 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, ფრიალ არასასურველი მოვლენაა. იგი მრდის კუთრ დაწნევას, ეს უკანასკნელი კი იწვევს საკისრის ინტენსიურ ცვეთასა და გადახურებას.

დღევანდელ პირობებში აქტუალურ საკითხად არის მიჩნეული საკისრებში ფერადი და ძვირად ღირებული ლითონების გამორიცხვა და მათი შეცვლა პოლიმერული

მასალებით. აღნიშნული განსაკუთრებით დიდ ეკონომიკურ ეფექტს იძლევა დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისრებში.

ასეთ საკისრებში მინიმალური ღრეჩოს მიღწევა, რაც განსაკუთრებული მნიშვნელობის ამოცანაა მსხვილ ენერგეტიკულ დანადგარებში, კერძოდ, ჰიდრო- და თბოტურბინებში, 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, ჰიდროტურბინების, საყრდენი კვანძების მნიშვნელოვანი დამახასიათებელი ნიშან-თვისებაა მისი დიდი გაბარიტები. ამ ტიპის საყრდენი კვანძების, ისევე როგორც ბევრი სხვა გრადიციული ტრიბოლოგიური სისტემების, ნორმალური უწყვეტიონირება დიდად არის განპირობებული ანტიფრიქციული საღებების ხანგამძლეობით, ცვეთამუდგეობით და დეფორმაციის მაქსიმალური დასაშვები სიდიდით.

ტრიბოლოგიური სისტემების, განსაკუთრებით, დიდგაბარიტიანი, მაგ., ჰიდროტურბინების სრიალის საკისრების წარმატებით გამოყენების მნიშვნელოვანი ფაქტორია საღებების მასალის თვითღირებულება და ტექნოლოგიურ დამუშავებაზე გაწეული დანახარჯების მოცულობა. აღნიშნულ კვანძებში საკისრის საღებებს გრადიციულად ამზადებენ ბაბიტისაგან, რომელიც ამჟამად ძვირად ღირებულ და დეფიციტურ მასალად ითვლება. გარდა ამისა, გრადიციული ბაბიტური საკისრის დამუშავება, კერძოდ, შიგარხვა დიდგაბარიტიანი სრიალის საკისრის დამზადებისას გარკვეულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ამასთან, აღნიშნული შენადნობის საღებები საკმაოდ მგრძობიარეა აწყობის უმუსგობებზე, განსაკუთრებით, თხელი ანტიფრიქციული ფენის შემთხვევაში, რის შედეგადაც მუშაობის დროს ხდება კონტაქტური დატვირთვების მკვეთრი ზრდა, რაც, თავის მხრივ, მუშაობის პროცესში იწვევს ცვეთის ინტენსიურობას.

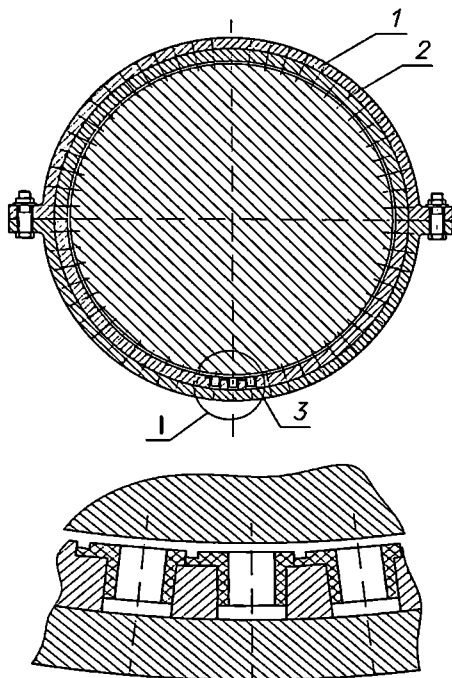
ჰიდროენერგეტიკული დანადგარების მშენებლობის პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ რეზინის რგოლისებრ საკისარს, რომლის ძირითადი დადებითი თვისებებია: შემშეთ მასალად შეიძლება და მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს წყალი,

აქვს მცირე თვითღირებულება. უარყოფითი მხარეა მცირე სიდიდის ცვეთამედგობა, რადიალური მიმართულებით დაფორმირების მნიშვნელოვანი სიდიდე და სირთულეები დიდი გაბარიტის რემინის რგოლისებრი სადების დამზადების პროცესში. კერძოდ, ეულკანიზაციის დროს აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნას ნამატი, რომელიც უნდა დამუშავდეს შიგნარხებით კარუსულურ ჩარხზე საჭირო ზომის მისაღებად შეუღლებული ლილვის ზომის შესაბამისად. სწორედ ეს უნა, რომელიც ხასიათდება საკისრის ექსპლუატაციის პირობებისათვის რიგი საუკეთესო თვისებებით სიმკიცითა და ცვეთამედგობით და იგი შექმნილია ანტიფრიქციული სადების მიერ ეულკანიზაციის პროცესში. ამასთან, ექსპლუატაციის პროცესში რემინის დიდი დრეკადობის გამო დიდია სადების დეფორმაცია, რაც იწვევს ლილვის ცემის მნიშვნელობის მაკებას, 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 ტრიბოლოგიური სიტემის 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 ზ. ქაშიაშვილის სახელზე გაცემულია პატენტი GE P2001 №2502B.



ნახ. 8.5. დიდგაბარიტიანი სარიალის საკისარი

1 – საკისრის კორპუსი; 2 – ლითონის ნახეარგოლი; 3 – მოდულური ელემენტი

შემოთავაზებული კონსტრუქცია შეიძლება ორ ვარიანტად იქნეს შესრულებული:

ა) საკისრის მუშა ზედაპირი გაჩარხულია და აქვს ცილინდრული პროფილის სახე;

ბ) საკისრის მუშა ზედაპირი არ იჩარხება, იგი არის მოდულური ელემენტების გორსულ ზედაპირთა სიმრავლე.

აღწერილი ტიპის საკისრების გამოყენების შემთხვევაში მასში საკომპენსაციო არეთა გათვალისწინებით შესაძლებელია დიამეტრული ღრეჩოს უმცირესი მნიშვნელობის მიღწევა-0,02...0,03%-ის ფარგლებში.

თავი 9. მასალები ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის

უმრავლეს შემთხვევაში ტრიბოსისტემებში მოხაზუნე მელაპირთაგან 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 კონტრასტულთან;
- მაღალ ცვეთამდეგობას;
- კონტრასტულს მინიმალურა ცვეთის უზრუნველყოფას.

ამას გარდა, სასაკისრე მასალები უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

სასაკისრე მასალებს შექნა კურა ნაიფინისულმა (დასაწვები კონტაქტური ძაბვა. ფარდობითი დეფორმაცია) უნდა უზრუნველყოს დეჰალის ფუნქციონირება დაგვირთვის მოქმედების პროცესში

- დასაწვები გეგმურაგ უნდა იყოს არანა კლუბ მსმ მ-თა:

სადეჰალის ნიჭის უნე შედგანდნი ზუნა დონოქროსა შექცროვად გენდრაქროთა და ეკრეჰობა სანქტ-გობა ზეწოქმედოთის შედეგად ღერ უნდა ითოქლოს საეკრეჰობა ნეშეობის უნარზე შეიწინაჟ კი როცა შალონი ლაინთა შაქლოთა დანარეჰედის დრეჰით არ ადენეგეიი მსმ მ-თა

- ძქინდეს შეწეოთი მასალოთო კროვად დაიუღლეობა უნთო
- ხასაოადეოთდეს კრობობიამდეგეოთით;
- ძქინდეს დაბალი დრეკადობის მოდულა

- მასალის ზედაპირული სტრუქტურა უნდა უზრუნველყოფდეს „დადებით გრადიენტს“;
- უნდა ჰქონდეს კარგი მიმუშავების და „ხაზოვანი“ წნევების გადანაწილების უნარი, რომელიც პრაქტიკაში წარმოიქმნება გადაცერების შედეგად დეფორმაციებისა და უმუსტობის მიზეზით;
- გრიბოლოგიურ 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, უმტყუნობის, სარემონტოდ ვარგისობის და შენახვის უნარს მაჩვენებლების ამაღლებას.

სასაკისრე ანტიფორიქციული მასალები, ანუ მასალები, რომელზეც აკმაყოფილებენ ზემოთ მოყვანილ მოთხოვნებს, შეიძლება დაიყოს შემდეგ ჯგუფებად:

1. ფერადი ანტიფორიქციული შენადნობები – ბრინჯაო, ბაბიტი, თუთიანი და ალუმინიანი შენადნობები.
2. ანტიფორიქციული თუჯი.
3. ლითონკერამიკული (ფხენილოვანი) მასალები.
4. სინთეტიკური პლასტმასები (პოლიმერები) – პოლიამიდები, პოლიაცეტალები, პოლიეტერაფთორეთილენი, პოლიკარბონატი.
5. სხვა არალითონური მასალები – ხე, მერქანშრეული პლასტიკები, რეზინი, გრაფიტი.
6. ახალი თვითმეთვადი, ანტიფორიქციული, თბომდგმი, პოლიმერული კომპოზიციები.

სასაკისრე მასალების ნომენკლატურა ყოველწლიურად მდიდრდება ახალ-ახალი მასალებით.

9.1 ფერადი ანტიფორიქციული შენადნობები

ბრინჯაო. არსებობს ბრინჯაოს სასაკისრე მთელი გამა. მათგან ყველაზე გავრცელებული სახეა უნივერსალური თვისებების მქონე კალიანი ბრინჯაო. კერძოდ, ფართოდ არის ცნობილი კალაფოსფორიანი ბრინჯაო CuNi10P1 (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 ზოგიერთ სახეს, მაგალითად, ტყვიანსა და ალუმინიანს.

ღიდი ნიმანცელადი და ღინამიკური დატვირთვების შემთხვევაში, კერძოდ, შიგაწვის ძრავის, დეჟშიანი კომპრესორების, ტუმბოების სრიალის საკისრებისათვის იყენებენ ტყვიან ბრინჯაოს - CuNi30 (გამოიყენება, როცა $(p \cdot V)$ (30 მპა. მ/წმ) ამ სახის ბრინჯაოს უპირატესობაა დარტყმითი სიბლანტის მაღალი მაჩვენებელი. ნაკლად ითვლება ის, რომ ზოგიერთი დეკანგული ზეთი იწვევს მის კოროზიას. აგრეთვე ტყვიანი ბრინჯაოს სადები მეტ მოთხოვნებს უყენებს სატაციის ზედაპირულ სისალეს – აუცილებელს ხდის სატაციის წართობას. წინააღმდეგ შემთხვევაში ინტენსიურად ცელება ლილვის სატაცი. ტყვიის შემცველობის გაზრდა (შესაძლებელია 35 %-მდე) ამცირებს ცვეთას.

ფართოდაა ცნობილი და აგრეთვე გამოიყენება კალათუთიატყვიანი ბრინჯაოები - CuNi4C17 და CuNi7C5 (გამოიყენება, როცა $(p \cdot V)_p$ (15 მპა.მ/წმ).

ბაბიტნი შეიქმნა გასული საუკუნის 40-იან წლებში ამერიკელი გამოგონებლის 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, შემესებია 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 ცვეთამდეგობას.

ბაბიტები ხასიათდებიან უფრო მაღალი ანტიფორიქციული თვისებებით, ვიდრე სხვა ანტიფორიქციული შენადნობები, მაგრამ აქვთ დაბალი მექანიკური სიმტკიცე, ვიდრე თუჯს, სპილენძს. ბაბიტები გამოიყენა სადებების 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 მგრძობიარენი 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...35 მპა. მ/წმ (ბაბიგები კალის დიდი შემცველობით - B83, B89, BH).

ასევე დიდი დატვირთვის კომპრესორების, ცენტრიდანული ტუმბოების, ელექტროძრავების, რედუქტორების, ჯალამბრების, ბურთულებიანი წისქვილების და მღოვრე დატვირთვების მქონე მანქანების სრიალის საკისრები, როცა $(p \cdot V)_p$ (5...10 მპა. მ/წმ (ბაბიგები კალისა და გყვიის შემცველობით - B16, B6).

ვაგონების ბუქსები, საგლინი დგანები და ლითონმჭრელი ჩარხების სრიალის საკისრები, როცა $(p \cdot V)_p$ (6 მპა. მ/წმ-ზე (უკალო ბაბიგები - BK2, BK).

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 ანტიფორიქციული თვისებებით. თავისი ეკონომიკურ-ტექნოლოგიური თვისებების გამო მათ B 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% სტიბიუმი, 0,3...0,7% სპილენძი, დანარჩენი ალუმინი). გამოიყენება $\text{F}_p\text{L30}$ შემცველად გრაქტორის ძრავებში. მგრძობიარეა ზეთის გაჭუჭყიანებისადმი, აქვს მაღალი ხაზობრივი გაფართოების ტემპერატურული კოეფიციენტი.

სხვებთან ერთად პერსპექტიულ ანტიფორიქციულ მასალადაა მიჩნეული ალუმინიან-კალიანი შენადნობები, რომლებიც ხასიათდებიან კარგი ანტიფორიქციული თვისებებით. ცნობილია ამ ჯგუფის შენადნობების ტიპები: A09-1 (9%-კალა, 1%- სპილენძი, დანარჩენი ალუმინი), A09-2, A020-1. მათ წარმატებით იყენებენ მძიმე გრაქტორების, თბომავლების

და გემების შიგაწვის ძრავების სრიალის საკისრებში, ამასთან, აქეთ უნარი შემლდული შეგეთის პირობებში კონტრსხულზე წარმოქმნან დამუცავი, სეროვიტული აფსკი კალისაგან, რაც, თავის მხრივ, დადებითი გრადიენტის წინაპირობაა.

თითბერი წარმოადგენს სპილენძისა და თუთიის ბაზაზე სხვა მალევირებული ელემენტების დამატებით შექმნილ შენადნობს. თითბერს მოგჯერ იყენებენ ბრინჯაოს შემცველად, მაგრამ ანტიფორიქციული თვისებებით და სიმტკიცით მნიშვნელოვნად ჩამოუვარდება მას. ამიტომ იგი კალიანი ბრინჯაოს მაგიერად შეიძლება გამოიყენოთ მცირე და საშუალო სრიალის სიჩქარეების დროს, როცა $(p \cdot V) < 10$ მპა. მ/წმ, მაგალითად, გრანსპორტიორებზე, როლგანგებზე, კონვეიერებზე, მსხვრევეარებზე, ამწებებზე.

9.2. ანტიფორიქციული თუჯი

ანტიფორიქციული თუჯი გამოიყენება საშუალოდ დატირთული (დარტყმების გარეშე) ნელა მავალი სრიალის საკისრებისათვის. ანტიფორიქციული თუჯის სადებიანი სრიალის საკისრების ხანგრძლივობის უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია მოგიერთი სპეციალური გექნიკური ღონისძიების გატარება, რომელთა შორის შეიძლება გამოიყოს:

- გექნიკურ-კონსტრუქციული ღონისძიებანი, რომლებიც თითქმის მთლიანად გამოირიცხავენ გადაცერებას;
- ღრეჩოს გადიდება ბრინჯაოს სადებების გამოყენებასთან შედარებით 15...30%-ით საშუალო გემპერატურული რეჟიმის დროს;
- თანმიმდევრული მიმუშავება ხანგრძლივი პერიოდის მანძილზე; ხარისხოვანი შემეშეთი მასალის განუწყვეტელი მიწოდება;
- მოხახუნე წყვილი უნდა შეირჩეს იმგვარად, რომ ლილვის სატაცის სისალის მაჩვენებელი მეტი უნდა იყოს საკისრის სადებზე 20...40 HB-თი.

ანტიფორიქციული თუჯის უმთავრესი დადებითი თვისებაა მისი მცირე თვითღირებულება.

სრიალის საკისრებში გამოიყენება შემდეგი მარკის ანტიფორიქციული 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 ხედრითი წნევა $p=700$ მპა, შეცხოვის ტემპერატურა $850-1100^{\circ}C$. ასეთი ტექნოლოგიით დამზადებული დეტალების ფორიანობა საწყისი ფხენილის დანამცეების და ტექნოლოგიური პარამეტრების მიხედვით იცვლება ზღვრებში $15..35\%$. ბუნებრივია, დეტალის ფორიანობის მომატებით მცირდება მექანიკური სიმტკიცე. შესაბამისად გათვალისწინებული უნდა იქნეს ის, რომ იქ, სადაც არის დარტყმითი დატვირთვები, ფორიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 20% . ამასთან, არაა მიზანშეწონილი ასეთი დეტალების მექანიკური გზით გაჩაჩხვა ფორების ამოქოლების საშიშროების გამო, დასაშვებია მხოლოდ დაკალბრება. შემდგომ ეტაპზე ხდება მზა დეტალების კონსისტენტური თუ თხევადი შემმეითი მასალებით გაკლინთვა (ხშირად სრიალის საკისარს აკომპლექტებენ საზეით პატრუქით). მილისას კორპუსში ჭექით ათავსებენ, რაც იწვევს შიგა დიამეტრის ჭექის $0,6..0,9$ ნაწილით შემცირებას.

ლითონკერამიკული მილისებრი ან სადებები გამოიყენება გრანსპორტიორების, ტუმბოების, როლგანგების, სოფლის მეურნეობის და სხვა მანქანების ისეთ სრიალის საკისრებში, სადაც შემმეითი მასალის მიწოდება გაძნელებულია.

ბრინჯაოგრაფიტოვანი საკისრებისათვის ($9..10\%$ კალა, $1..4\%$ გრაფიტი, დანარჩენი სპილენძი), როცა ფორიანობა $20..25\%$ -ია, დასაშვები წნევა სხვადასხვა სრიალის სიჩქარეებისათვის შემდეგია:

$v, მ/წმ \dots 0,1 \ 0,5 \ 1,0 \ 2 \ 3 \ 4,$

$p, მპა \dots 15 \ 6 \ 5 \ 4 \ 3 \ 1,$

ხოლო იმავე ფორიანობის რკინაგრაფიტოვანი ($1..3\%$ გრაფიტი, დანარჩენი რკინა) საკისრებისათვის:

$v, მ/წმ \dots 0,1 \ 0,5 \ 1,0 \ 2 \ 3 \ 4,$

$p, მპა \dots 20 \ 7 \ 6,5 \ 5,5 \ 3,5 \ 0,8.$

9.4. სინთეტიკური პლასტმასები (პოლიმერები)

სინთეტიკური პლასტმასებიდან გრიბოლოგიურ სისტემებში ყველაზე ფართოდაა გავრცელებული თერმოპლასტები, მათ შორის, სხედასხვა მარკის პოლიამიდები, პოლიაცეტალები, პოლიკარბონატები და სხვა მასალები. მათთვის ზოგადად დამახასიათებელია ისეთ თვისებათა ერთობლიობა, როგორცაა:

- მცირე სიმკვრივესთან ერთად მაღალი მექანიკური სიმტკიცე;
- კარგი ანტიფრიქციული თვისებები;
- შეზღუდული შეშეთვის პირობებში მედეგობა ამოგლეჯვებისათვის;
- გამსხნელებისადმი და აგრესიული აგენტებისათვის მაღალი ქიმიური მედეგობა;
- წყლის შემთხვევაში მასალად გამოყენების შესაძლებლობა;
- კარგი დემპირების უნარი და მაღალი სიმტკიცე დატვირთვებისადმი;
- მაღალი ელასტიურობის მაჩვენებელი;
- აბრაზიულ გარემოში მუშაობის კარგი უნარი.

მნიშვნელოვან უპირატესობად ითვლება ის გარემოება, რომ დიდი უმრავლესობა ანტიფრიქციული სინთეტიკური პლასტმასებისა, მათ შორის, ძირითადი ჯგუფი თერმოპლასტები გადაშუშავებისა და ნაკეთობად კონსტრუქციული მასალებისათვის ყველაზე პროგრესული ტექნოლოგიური მეთოდებით: წნეებით ჩამოსხმით, ექსტრუზიით, ცენტრიდანული ჩამოსხმით. გარდა ამისა, ისინი კარგად მუშავენ ნაკეთობად, უმრავლესობა კარგად დულდება და წებდება.

სრიალის საკისრები ან ზოგადად გრიბოლოგიური სისტემები ანტიფრიქციული პოლიმერული სადებებით განსაკუთრებით ეფექტურად გამოიყენებიან შეშეთის გარეშე და შეზღუდული შეშეთის პირობებში. ამიტომ მოხახუნე ზადაპირების დამზადება ზემოთ აღნიშნული მასალებისაგან განსაკუთრებით მიზანშეწონილია იქ, სადაც შეშეთა დაუშვებელია ამა თუ იმ ნორმებით (კვებისა და მსუბუქი მრეწველობის დანადგარების გრიბოსისტემები) და როცა შეშეთა 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 უსადება როგორც უარყოფითი თვისებები:

- დაბალი დრეკადობის მოდულით;

მაღალი ხაზობრივი გაფართოების გემპერატურული კოეფიციენტით;
 ლითონებთან შედარებით მეტად დაბალი თბოგამტარობის კოეფიციენტით;
 პიკროსკოპულობით;
 დეტალის დამზადების პროცესში ჩაჯდომის ხარისხის არასტაბილურობით;
 ნაკლები დატვირთვის უნარით.

საერთო, ყოველმხრივი ანალიზის საფუძველზე ანტიფორიქციული 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, პოლიტეტრაფთორეთილენი, პოლიკარბონატები. შესაბამისად, მათ ბაზაზე შექმნილი მრავალი სასაკისრე მასალა, კომპოზიცია ფართოდ გამოიყენება მანქანათმშენებლობაში.

პოლიამიდები გამოშვებული ნომენკლატურისა და მოცულობის მიხედვით დღეისათვის ყველაზე გავრცელებული ანტიფორიქციული თერმოპლასტიკური მასალებია.

პოლიამიდების უმინიმუმოვანესი 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. ტრიბოლოგიურ სისტემაში შემგეთი მასალის შეტანით ეს უპირატესობა მცირდება, თუმცა პოლიამიდები შემგეთის პირობებშიც ინარჩუნებენ უპირატესობას ამ მაჩვენებლის მიხედვით.

ყოფილი საბჭოთა კავშირის ეკონომიურ სიერცეში ყველაზე გავრცელებული პოლიამიდებია: პოლიამიდ 6 (სამომხმარებლო მარკები – ПA6-210; ПA6-211) და პოლიამიდ 66 (ПA66).

განსხვავებული გავრცელების სფეროები აქვთ ბლოკურ პოლიამიდ 6-ს (კაპროლონ B) და ბლოკურ პოლიამიდ 12-ს (დეკლონი). ისინი ნაკეთობად გადამუშავდებიან მხოლოდ მექანიკური დამუშავების გზით, რაც დეტალების მცირე რაოდენობით საჭიროების დროს და მსხვილგაბარტიანი ნაკეთობის დამზადებისათვის ფრიად მოხერხებული მეთოდია (ნაკეთობის დამზადება ტექნოლოგიური მოწყობილობის გარეშე);

პოლიამიდების შემოაღნიშნული ტიპებისათვის დამახასიათებელია ტენის შთანთქმის მაღალი მაჩვენებელი, რასაც, როგორც ცნობილია, თან სდევს ხაზობრივი მომების შეცვლა. უკანასკნელი განსაკუთრებით საშიში მოვლენაა მოხახუნე შეუღლებული ზედაპირებისათვის, როცა შესაძლებელია საგარანტიო ღრწის გაქრობა. უკანასკნელი კვანძის მუშაობის უნარის დაკარგვას იწვევს.

რაც შეეხება პოლიამიდებს 11, 12, 6.10, ისინი ნაკლებად მგრძობიარენი არიან ნესტისადმი, რაც მათ ღიდ უპირატესობას აძლევს შემოსხენებული ჯგუფის მიმართ. მაგრამ პოლიამიდების ეს ჯგუფი რამდენიმეჯერ უფრო ძვირია, ვიდრე პოლიამიდ 6, ამასთან, დამზადებისათვის საჭიროებს დეფიციტურ ნედლეულს.

პოლიამიდები, ისევე როგორც სხვა ანტიფორქიციული თერმოპლასტები, ადვილად ეგუებიან აბრაზიულ გარემოს. ამასთან, საჭიროა აღინიშნოს, რომ მათ შორის საუკეთესო მაჩვენებლით ამ საკითხში ხასიათდება პოლიამიდ 6.

პოლიამიდები ბევრად ნაკლებად ცვეთავენ ლილვის სატაცს, ვიდრე ფერადი მენდანობები. გამონაკლისი მხოლოდ ის პოლიამიდებია, რომელთაც მისართად მინის ბოჭკოები აქვთ გამოყენებული.

პლასტმასოვანი სრიალის საკისრების ნაადრევად მწყობრიდან გამოსვლის მიზეზი უმრავლეს შემთხვევაში ხახუნის მონაში ტემპერატურის გადაჭარბებაა. შედეგად მოხახუნე ზედაპირი ერთ შემთხვევაში ნახშირდება (თერმორეაქტიული მასალა), ხოლო მეორე შემთხვევაში ღნება (თემოპლასტიკური მასალა). ორივე შემთხვევაში მუშა მდგომარეობას ინარჩუნებს მეორე მოხახუნე ზედაპირი – კონტრსხეული (ლილვის სატაცი), რაც, ბუნებრივია, ამარტივებს კვანძის გარემონტების საკითხს. ეს მომენტი პლასტმასოვანი საკისრების მნიშვნელოვანი უპირატესობაა ლითონურთან შედარებით.

პოლიმერული მასალების სპეციფიკური მხარე და მასთან ერთად ნაკლია ის, რომ ტემპერატურის მომატება 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 გაღიდება;

მესამე – სიმტკიცის მექანიკური მაჩვენებლების გაღიდება.

სრიალის საკისრების პლასტმასოვანი საღებების ამა თუ იმ საექსპლუატაციო ოვისებების გაუმჯობესებისათვის საბაზო ნედლეულს უმატებენ სხვადასხვა სახის

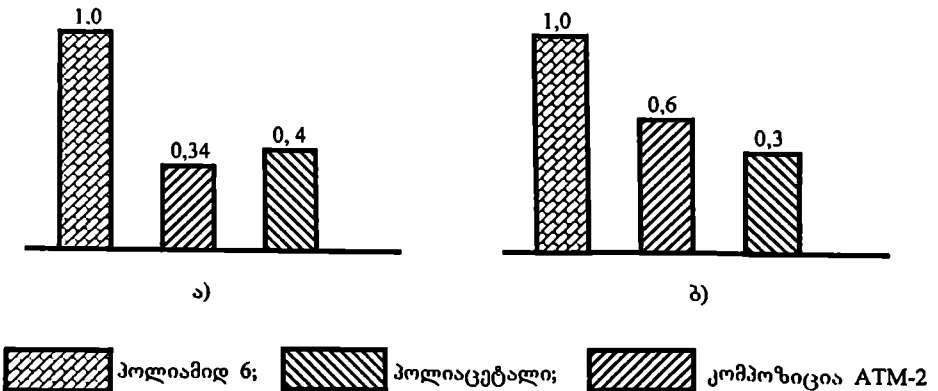
მისართებს. მაგალითად, ძირითადი ანტიფორიქციული მაჩვენებლების (ცვეთამედევობის, ხახუნის კოეფიციენტის) ამაღლებისათვის გამოიყენება გრაფიტი, მოლიბდენის დისულფიდი. ტალკი; სიმტკიცის მაჩვენებლებისათვის მინის ბოჭკო; ხოლო თბოგამტარობის გადილებისათვის ლითონური ფხენილები, მინის და ნახშირის ბოჭკოები.

პოლიამიდების გადამუშავება ნაკეთობად ხდება ყველაზე პროგრესული მეთოდებით: წნევითი ჩამოსხმით, ექსტრუზიით, გაფრქვევით და ცენტრიდანული ჩამოსხმით.

პოლიამიდურ საღებებიანი საკისრებისათვის შეზღუდული შემთავის პირობებში ($p \cdot V$) პარამეტრის ზღვრული მნიშვნელობაა $(p \cdot V)_p = 0,08$ მპა.მ/წმ.

კოლიაცეტალეზი (კოლიფორმალდეჰიდეზი) 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.

პოლიაცეტალეზი ითვლებიან ერთ-ერთ საუკეთესო ანტიფორიქციულ მასალებად. გამოირჩევიან ზომების სტაბილურობით, ნაკლებად აქვთ გამოსატული ციფენადობის მოვლენა, აქვთ მაღალი სიმტკიცის მაჩვენებლები, მათ შორის, კონტაქტურ ძაბებებზე. და ბოლოს, გამოირჩევიან შედარებით მაღალი ცვეთამედევობით და დაბალი ხახუნის კოეფიციენტით (ნახ. 9.1).



ნახ. 9.1. ფარდობითი ცვეთის დიაგრამა თერმოპლასტიკებისათვის ($V = 0,9$ მ/წმ):
 ა) ხახუნი შეშეთვის გარეშე; ბ) პერიოდული შეშეთვის დროს ($t_0 = 40^{\circ}C$)

ნაკლოვანი მხარვა პოლიაცეტალების ცუდად მუშაობა აბრაზიულ გარემოში პოლიამიდებთან შედარებით.

პოლიაცეტალები დეტალბად გადამუშავებიან წნეით ჩამოსხმით და ექსტრუზიით (გადამუშავების პროცესი პოლიამიდებთან შედარებით გარკვეული სირთულით ხასიათდება).

პოლიაცეტალების სადებებისათვის შემზღული შეზღუდვის პირობებში პარამეტრი $(p \cdot V)_p = 0,1$ მპა·მ/წმ.

პოლიტიტრაფთორატილინი (ფთოროპლასტი 4). ამ სახელის მატარებელი სინთეტიკური პოლიმერი სუფთა სახით ხასიათდება ყველაზე დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი (0,04...0,06) და უაღრესად მაღალი ქიმიური მედეგობით გამსხნელებისადმი, რის გამოც მას „პლასტმასების ოქროსაც“ უწოდებენ. გარდა ამისა, ფთოროპლასტი 4 (პოლიტეტრაფთორეთილენის ყველაზე გავრცელებული მარკა) გამოირჩევა დიდი მუშა ტემპერატურული დიაპაზონით—200...+300°C.

ფთოროპლასტებისათვის დამახასიათებელია ცივდენადობის მკვეთრი მოკლეობა, ამასთან, ყველაზე გამოკეთილად. ამ ნაკლის აღმოფხვრა პრაქტიკაში წარმატებით წყდება საბაზო მასალაზე მისართების დამატებით. საინჟინრო პრაქტიკით დამტკიცებულია, რომ ფთოროპლასტებზე სხვადასხვა მისართების დამატებით სადების ხანგრძლივობა 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, როგორცაა 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 (პოლოლეფინებს – პოლიეთილენებს).

ფთოროპლასტ 4-ის გადამუშავება წარმოებს შეცხოვის მეთოდით. უკანასკნელი გამორიცხავს რთული კონფიგურაციის დეტალების დამზადებას აღნიშნული მეთოდით და რთული კონფიგურაციის დეტალების დამზადება შესაძლებელია მხოლოდ მექანიკური დამუშავების გზით (მექანიკურად იგი კარგად მუშავდება).

სუფთა ფთოროპლასტ 4-ისათვის $(p \cdot V)$ პარამეტრი არ აღემატება 0,03 მპა·მ/წმ-ს. მისართების დამატებით $(p \cdot V)_p$ პარამეტრი შეიძლება 10-ჯერ გაიზარდოს.

ფთოროპლასტ 4-ის სადებების დატვირთვის უნარის მეკეთრი გაზრდა შესაძლებელია აგრეთვე ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტილების გამოყენებით, რომელიც გამოირიცხავს მასის ცივად გაღინების შესაძლებლობას ე.ი. ე.წ. „საკეტიანი“ კონსტრუქციის გამოყენებით.

ცნობილია, აგრეთვე ფთოროპლასტ 4-ის გამოყენება ისეთი სახით, როცა დაწნეხილი და შემდეგ შეცხოხილი ფხენილოვანი ბრინჯაოს სადები „იქლინება“ 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, ანტიფორქციული თერმოპლასტია. ახასიათებს მაღალი მექანიკური მაჩვენებლები, პოლიამიდებთან შედარებით აქვთ ნაკლები ტენის შთანთქმის უნარი, ხასიათდება ქიმიური მედეგობით ზეთების, ბენზინის სუსტი მკავეების მიმართ, მაგრამ იხსნება ტუტეებში.

პოლიკარბონატი გადამუშავდება წნეითი ჩამოსხმით, ექსტრუზიით და დაწნეხით.

პოლიკარბონატის სადებისათვის პარამეტრი $(p \cdot V)_p = 0,08 \text{ მპა} \cdot \text{მ}^3/\text{წმ}$

9.5. სხვა არალითონური მასალები

ბმ. სრიალის საკისრების სადებების ხის მასალისაგან დამზადებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ისეთი ჯიშები, როგორცაა: ბზა, რცხილა, წიფელი და სხე. ბოლო პერიოდში მეტი გავრცელება პოვა პლასტიფიცირებულმა ხის მასალებმა (ლიგნოფოლი). პლასტიფიცირების არსი მდგომარეობს ხის ძელაკების პოლიმერული ფისებით გაუღენტვაში.

ტრიბოლოგიურ სისტემებში ხის მასალების გამოყენების ძირითადი სფეროა მცირე სიჩქარეების საკისრები. განსაკუთრებით ეფექტურია მათი გამოყენება რევერსული მოძრაობის დროს, როცა არ არის პიდროდინამიკური შეზღუდვის განხორციელების პირობები. ხის სადებებიანი საკისრების სპეციფიკურობა გამოიხატება წყლის შემზღეთ საშუალებად ეფექტურად გამოყენების შესაძლებლობაში. დასაშვები

ხედრითი წნევა ხის მასალებისათვის $p_p = 10$ მპა, ხოლო დასაშვები სრიალის სიჩქარე $V = 1$ მ/წმ.

მერძანშეშრეული პლასტიკატები გამოიყენება პიდროტურბინების, წყლის ცენრტალური მოქმედების ტუმბოების, მგლინავი დგანები სრიალის საკისრების სადებებად. ამზადებენ სხვადასხვა ტიპის მერქანშერეულ პლასტიკებს, რომელთა შორის განსხვავება ბოტკოების ერთმანეთის მიმართ ორიენტირებაშია.

$p \cdot V$ პარამეტრის მაქსიმალური მნიშვნელობა წყლით შეგეთვის პირობებში $(p \cdot V)_p = 35$ მპა·მ/წმ. მინერალური ზეთებით შეგეთვის დროს დატვირთვის უნარი რამდენიმეჯერ უფრო ნაკლებია ვიდრე წყლით შეგეთვის დროს.

რეზინი გამოიყენება პიდროტურბინების, წყლის ტუმბოების, ტურბოპურლების იმ სრიალის საკისრების სადებების პირნაკეთობად, რომელთა შეგეთვა ხორციელდება წყლის შეშეობით. ასეთი სადებების ძირითადი სპეციფიკური ნიშანია მათი ნაკლებად მგრძნობიარობა ლილვის რხევებისადმი (ასრულებენ მადემპუერებულ ფუნქციებს) და გადაცერებისადმი. კარგად ეგუებიან გატუჭყიანებულ წყალს.

მორეზინებული სადებები სწრაფად კარგავენ მუშაობის უნარს შემგეთვაგამაცივებელი 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 დატვირთვისუნარიანობა. მაქსიმალური ხედრითი დატვირთვის უნარია 2...6 მპა.

საინჟინრო პრაქტიკაში ცნობილია რეზინის შემცველი პოლიმერული მასალა - ეულკოლანი, რომელსაც დაახლოებით ისეთივე ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები აქვს, როგორც მკერიე რეზინს.

ბრაშიტი ყველაზე ეუქტიანად გამოიყენება ქიმიური მრეწველობის საწარმოებში, იქ, სადაც დიდ მოთხოვნილებებია თბომდეგობის და ქიმიური მედეგობისადმი.

გრაფიტის სადებები ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შეუცვლელად მუშაობენ უართო ტემპერატურულ დიაპაზონში ($100...600^{\circ}C$). ისინი ინერტულნი არიან მკავა და ტუტე გარემოში, აქეთ დაბალი ხახუნის კოეფიციენტი (0,15).

გრაფიტის სადების ძირითადი ნაკლი მის სიმყიფესა და მცირე მექანიკურ სიმტკიცეშია. დასაშვები ხედრითი დაწნევა გრაფიტის სადებიან საკისრებისათვის $p_p = 1,5$ მპა. გრაფიტოვანი საკისრების მიღვის უნარის გაზრდისათვის საინჟინრო

პრაქტიკაში მიღებულია სადების ფორების ანტიფრიქციული ლითონებითა და შენადნობებით (ტყვია, ბაზიტი და სხვ.) გაკლენთვა. ასეთი კომპოზიციებით დამზადებული სადებები გამოიყენება მცირე რადიალური დატვირთვის, მაგრამ სწრაფმავალ გრიბოლოგიურ სისტემებში. მაგ., სახეხი დანადგარების შპინდლებში, სადაც უმცირესი დრეზოს შემთხვევაში ჰაერით შეზეთვა გათვალისწინებული.

გრაფიტისა და პლასტმასების სხვადასხვა კომპოზიციებით მიიღება რიგი შესანიშნავი ანტიფრიქციული თვისებების მქონე სასაქისრე მასალები. მაგ., გრაფიტისა და ფენოლ-ფორმალდეჰიდური ფისის შერწყმით მიღებულია თერმორეაქტიული მასალა – გრაფიტირებული გექსტოლიტი – ATM-1. იგი გამოიყენება შენაკრები სრიალის საქისრების სადებების და ზოგიერთი სახის მუშგა და კბილანური შეგთვის შემთხვევაში.

ისევე, როგორც ყველა თერმორეაქტიული მასალისათვის, ATM-1-ის ნაკლია დეტალების დამზადების ნაკლები გექნოლოგიურობა. სწორედ ამ მიზეზის გამოა თერმორეაქტიული მასალების გამოყენება პრაქტიკაში შეზღუდული. თუმცა იქ, სადაც არსებობს გაზრდილი მოთხოვნები თერმული მედეგობის, ზომების სტაბილურობისა და სიხისტისადმი, გრაფიტირებული გექსტოლიტები წამყვან პოზიციებსაც კი ინარჩუნებენ. ისინი გამოიყენება ქიმიურ და მეტალურგიულ მანქანათმშენებლობაში, აგრეთვე, რკინიგზისა და წყლის გრანსპორტზე.

ქ. გომელის ლითონპოლიმერული სისტემების ინსტიტუტში შექმნილია თვითზეთვადი მაღალტემპერატურული თბომედეგი გექსტოლიტი, რომელიც მზადდება გრაფიტირებული, მოსპილენძებული ქსოვილისა და თბომედეგი ფურანის ფისისაგან ზედაპირულად აქტიურ ნივთიერებათა დამატებით. ამ მასალისაგან დამზადებული სრიალის საქისრების სადებების ექსპლუატაციის პროცესში შეინიშნება ლილვის სატაცზე სპილენძის ნაწილაკების შერჩევითი გადატანის ეფექტის ფრიალ კეთილი გაკლენა.

გრაფიტი ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია ისეთი საკმაოდ ფართოდ ცნობილი თერმოპლასტიკური მასალებისათვის, როგორიცაა ATM-2 (მეორადი პოლიამიდი 6 + გრაფიტი + თერმონანტრაციტი) და ATM-2A (მეორადი პოლიამიდი 66 + გრაფიტი + თერმონანტრაციტი).

გრაფიტის მეოხებით ამ მასალების თბოგამტარობა (0,80 ვტ/მ.კ.) დაახლოებით 2,7-ჯერ მეტია საბაზო პოლიმერის შესაბამის მაჩვენებელთან შედარებით (0,29 ვტ/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 თოგამგარობა შეიძლება გაიზარდოს 1,0 ეტ/მ.კ.-მდე.

სუფთა გრაფიტოვანი სრიალის საკისრების საღებები მზადდება გრაფიტის უხენილისაგან დაწნეხის მეთოდით.

9.6. თვითმთვალე ანტიფრიქციული თბომდეგი პოლიმერული კომპოზიციები

ზემოთ განხილული ძირითადი ანტიფრიქციული პოლიმერული მასალები ხასიათდებიან დაბალი დასაშვები მუშა ტემპერატურით (გამონაკლისია მხოლოდ პოლიეტერაფთორეთილენი – ფთოროპლასტ 4). ამასთან, ხანმოკლე ტემპერატურული გადატვირთვა პლასტმასოვანი სრიალის საკისრებისათვის კატასტროფულია. განსახილველი ტიპის ანტიფრიქციული მასალების ჯგუფს ეს ნაკლი არ ახასიათებს. უკანასკნელ ათწლეულებში შექმნილი ეს ანტიფრიქციული პოლიმერული კომპოზიციები პოლიაკრილატების საფუძველზე ხასიათდებიან მაღალი თბომდეგობით ($200...300^{\circ}C$) 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.

მოყვანით ამ ჯგუფის მასალების ზოგიერთი მონაცემი:

მახასიათებლები	ესტერან-21	ვილან-9	ტესან-2
სიმკვრივე, ρ , კგ/მ ³	3100	2800	3000
მაქსიმალური მუშა ტემპერატურა, $^{\circ}C$	200	300	250
ზღვრული ძაბვა კუმშვაზე, σ , მპა	80	175	80
სისალე (HB)	230	250	210
ხახუნის კოეფიციენტი	0,08	0,08	–
დარტყმითი სიბლანტე, კჯ/კოული/მ ²	3,0	1,5	7,0

ზემოთ მოყვანილი მასალების გამოყენების სფეროა მშრალი ხახუნის კვანძები და ტრიბოლოგიური სისტემები მაღალი ეაკუმის პირობებში. ისინი გადაშუშვებიან წნეითი ჩამოსხმით და დაწნეხით.

9.1. ტიპური სასაკონსტრუქციო მასალების ზოგიერთი მაჩვენებელი

№	პარამეტრების დასახელება	პოლიმერული მასალა					პრინჯაო ნქ051/ს5	ბაბიჯი 583
		პოლიამიდი 6 ПА6-210	პოლიაცეტატი ОАД	პოლიაცეტატი ОАД.АД	ფთორო- პლასტი 4	პოლიამიდი 6, კრაფიტი АТМ-2		
1	სიმკვრივე, კგ/მ ³	1140	1410	1500	2100	1390	8500	-
2	ხაზობრივი გაფართოების ტემპურატურული კოეფიციენტი, $\alpha \times 10^{-3}$ ერთ კელვინზე	11,0	11,0	12,0	17,0	5,0	1,8	2,3
3	დრეკადობის მოდული კუმშვაზე	0,0011	0,0036	0,0032	0,0004	0,007	0,09	0,048
4	$E \times 10^6$, მპა თბოგამტარობა, ვტ/ მ · K	0,29	0,29	0,29	0,25	0,80	105	44
5	სიმტკიცის მღვარი კუმშვაზე, მპა	90	135	70	20-30	110	-	-
6	სისხალე HB	100-120	180-250	110	20	210-230	500	-
7	დარტყმითი სიბლანტე, კჯ/მ ³	160	75-130	-	-	14-16	-	-
8	პუასონის კოეფიციენტი	0,4	0,35	0,4	0,45	0,4	-	-
9	ხაზობრივი მოშების მოახ-ური შეყვლა 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: Мецნიერება, 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 триботоники. 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., Кобаев 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. "მომბე". თბილისი, 1993, № 2 გ. 147. გვ. 286-293.
32. შილაკაძე მ. სამშენებლო მანქანების საიმედობის 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.

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 თეორიის საშუკვეთები	
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	31
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. სერეოვიტული აფსკის წარმოქმნის მექანიზმის შემთხვევები	45
3.4. შერჩევითი გადატანის ფიზიკური საფუძვლები	47
3.5. ანომალური მცირე ხახუნის ეფექტი	52
თავი 4. ტრიბოლოგიური პროცესი შემზავნი მასალებით	
4.1. შემზავნი მასალის დანიშნულება და თვისებები	54
4.2. შემზავნი მასალების სახეები და კლასიფიკაცია	60
4.3. შემზავნის სახეები	68
თავი 5. თხევადი შუამთვა და მისი ჰიდროდინამიკური თეორია	
5.1. ჰიდროდინამიკური შემზავნის (ხახუნის) საფუძვლები	74
5.2. გეომეტრიული პარამეტრები	77
5.3. ზეთის ფენის მიღვის უნარი	78
5.4. ხახუნის პარამეტრები	87
5.5. თხური გაანგარიშების საფუძვლები წნევით შემზავნის დროს	90
თავი 6. შუამთვის სისტემები და მეთოდები	101
6.1. ინდივიდუალური შემზავნა	104
6.2. ცენტრალური შემზავნა	110

	6.3. სპეციფიკური მანქანა-მოწყობილობის შემთავის სისტემები	113
თავი 7.	სრიალის საკისრების გაანბარიშების მეთოდოლოგია სასაჯღვრო და მშრალი ხახუნის ღროს	
	7.1. სრიალის საკისრების მუშაობის უნარის კრიტერიუმები	115
	7.2. საკისრების მიღვის უნარი	117
	7.3. სრიალის საკისრის მიღვის უნარის განსაზღვრის განტოლებები	118
	7.4. კონტაქტური ამოცანების ინტეგრალური განტოლების ამოხსნის მეთოდი	123
	7.5. სრიალის საკისარში მაქსიმალური კონტაქტური ძაბვების განსაზღვრის მეთოლოგია	127
	7.6. დასაშვები ძაბვების შერჩევის მეთოლოგია (პლასტმასოვანი სადებებისათვის)	130
	7.7. ტრიბოსისტემების თბური გაანგარიშების საფუძვლები	135
	7.8. სრიალის საკისრების კონსტრუქციული პარამეტრები	143
	7.9. სრიალის საკისრების პირობითი გაანგარიშების მეთოლოგია	148
თავი 8.	სრიალის საკისრების კონსტრუქციები	
	8.1. სრიალის საკისრების ტრადიციული კონსტრუქციები პოლიმერული სადებით	154
	8.2. დილაბაროგანი სრიალის საკისრები მოდულური ელემენტებით	158
თავი 9.	მასალაბი ტრიბოლოგიური სისტემებისათვის	161
	9.1. ფერადი ანტიფრიქციული შენაღობები	163
	9.2. ანტიფრიქციული თუჯი	165
	9.3. ლითონკერამიკული (ფხვნილოვანი) მასალები	166
	9.4. სინთეტიკური პლასტმასები (პოლიმერები)	167
	9.5. სხვა არალითონური მასალები	172
	9.6. თვითშეთვადი ანტიფრიქციული თბომედეგი პოლიმერული კომპოზიციები	175
ლიტერატურა	177

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

გ

გადაეცა წარმოებას 02.03.2004 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 06.06.2005 წ. 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