
**HÜSEYNOV Ə.G. ƏSƏDOV Ş.N.
HÜSEYNLİ F.S.**

TRİBOLOGİYANIN ƏSASLARI

(DƏRS VƏSƏİTİ)



Ə.G. Hüseynov, Ş.N. Əsədov, Hüseymli F.S.

TRİBOLOGİYANIN ƏSASLARI

(Dərs vəsaiti)

Azərbaycan Texniki Universitetinin
”___“ ___ 2024-cü il tarixli “___-
müx“ sayılı əmri ilə dərs vəsaiti kimi
təsdiq edilmişdir.

Bakı-2024

UOT 621-891

Ə.G. Hüseynov, Ş.N. Əsədov, F.S. Hüseynli.
“Tribologiyanın əsasları”. - Bakı: AzTU, 2024- 263 səh.

Elmi redaktor: t.e.d. **Abbasov V. A.** - Azərbaycan Texniki
Universitetinin “Xüsusi texnologiyalar və
avadanlıqlar” kafedrasının professoru

Rəy verənlər: t.e.d., professor, **Bəşirov R.C.**-AzTU-nun
“Xüsusi təyinatlı material və vasitələr”
kafedrasının müdiri

t.e.d., akademik **Canəhmədov Ə.X.**
- Milli Aviasiya Akademiyasının “Nəqliyyat
mexanikası” kafedrasının müdiri

Dərs vəsaitində tribologiya və tribotexnikanın ümumi məsələləri, triboqovşaqların konstruksiya möhkəmliyi və səth qatının vəziyyəti, bərk cismlərin kontaktı və səthlərin topoqrafiyası, sürtünmənin təbiəti və növləri, materialların və maşın hissələrinin yeyilməsi və yeyilmə növləri, yeyilmənin ölçülməsi üsulları, friksion, antifriksion və yağlayıcı materiallar, materialların və maşın hissələrinin yeyilməyə-davamlılığının artırılmasının əsas üsulları, sürtünmə və yeyilmənin modelləşdirilməsi və laboratoriya sınaqları haqqında məlumat verilmişdir.

Dərs vəsaiti “Mexanika mühəndisliyi” ixtisasına yiyələnən bakalavrlar üçün nəzərdə tutulur. Ondan “Təkrar emal və bərpa texnologiyaları mühəndisliyi” və “Maşın mühəndisliyi” ixtisaslı bakalavrlar və texniki işçilər də istifadə edə bilərlər.

Giriş-----7**I Fəsil. Tribologiya və tribotexnikanın ümumi məsələləri**

1.1. Tribologiya və onun inkişafı -----	9
1.2. Əsas anlayışlar və təriflər-----	12
1.3. Maşınlarda sürtünməyə itkilər və detalların yeyilməsinin təsviri-----	14
1.4. Texnikanın istismarı zamanı sürtünmə və yeyilmə problemlərinin iqtisadi baxışı-----	21
1.5. Triboqovşaqlarda yağların rolu -----	25

II Fəsil. Triboqovşaqların konstruksiya möhkəmliyi və səth qatının vəziyyəti

2.1. Bərk cismin quruluşunun xüsusiyyətləri-----	28
2.2. Tsiklik yüklənmə zamanı detalların materiallarının vəziyyəti-----	33
2.3. Səth qatının artıq enerjisi -----	41
2.4. Maşın detallarının səth qatının strukturu və fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri-----	44
2.5. Səthi-fəal maddələr. Rebinder effekti. Qriffits çatları-----	46
2.6. Sürtünmə səthlərində mayelərin və qazların hərəkətinin xüsusiyyətləri-----	48

III Fəsil. Bərk cismlərin kontaktı və səthlərin topoqrafiyası

3.1. Detalların səthlərinin makrohəndəsəsi -----	51
3.2. Detalların səthlərinin mikrohəndəsəsi -----	52
3.3. Səthin mikrohəndəsəsinin qiymətləndirilməsi metodları-----	54

3.4.	Mikronahamarlıqların əyrilik radiusu və dayaq səthinin əyrisi -----	55
3.5.	Nahamarlıqların kontaktı zamanı friksion əlaqələr-----	58
3.6.	Kələ-kötürlü səthlərin kontakt sahəsi-----	60

IV Fəsil. Sürtünmənin təbiəti və növləri

4.1.	Quru sürtünmədə sürüşmə sürtünməsinin əsas qanunauyğunluqları-----	67
4.2.	Sərhəd yağlanması zamanı sürtünmə -----	78
4.3.	Maye sürtünməsi -----	86
4.4.	Dişirlənmə sürtünməsi -----	98
4.5.	Sürtünmə zamanı temperaturun rolu -----	104

V Fəsil. Materialların və maşın hissələrinin yeyilməsi

5.1.	Yeyilmələrin növünün təsnifatlaşdırılması -----	111
5.2.	Abraziv yeyilməsi-----	113
5.2.1.	Bərkidilmiş abrazivdə yeyilmə-----	115
5.2.2.	Abraziv qatda yeyilmə -----	117
5.2.3.	Abraziv kütlədə yeyilmə -----	119
5.2.4.	Abrazivə zərbə zamanı yeyilmə-----	121
5.2.5.	Qazabraziv yeyilməsi-----	122
5.2.6.	Hydroabraziv yeyilmə-----	125
5.3.	Yorulma yeyilməsi-----	127
5.4.	Kavitasiya yeyilməsi-----	133
5.5.	Adgeziya yeyilməsi-----	138
5.6.	Eroziya yeyilməsi-----	140
5.7.	Korroziya-mexaniki yeyilmə-----	142
5.7.1.	Oksidləşmə yeyilməsi-----	142
5.7.2.	Hydrogen yeyilməsi-----	144
5.7.3.	Fretting – korroziya zamanı yeyilmə-----	146
5.8.	Elektrik eroziya yeyilməsi-----	149

VI Fəsil. Yeyilmənin ölçülməsi üsulları

6.1.	Yeyilmənin ölçülməsi üsullarının təsnifatı-----	151
6.2.	Mikrometrik ölçmə üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini-----	153
6.3.	Kütlə itkisinə görə yeyilmə miqdarının təyini-----	154
6.4.	Profilləşdirmə üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini-----	154
6.5.	Süni bazalar üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini---	158
6.6.	Yağda yeyilmə məhsullarının miqdarına görə yeyilmənin təyini-----	162
6.7.	Səthi aktivləşdirmə üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini-----	163
6.8.	İnduktiv çeviricilərin köməyi ilə yeyilmə miqdarının təyini-----	163
6.9.	Tenzometrik ölçmə üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini-----	165

VII Fəsil. Friksion, antifriksion və yağlayıcı materiallar

7.1.	Friksionluluğun və antifriksionluluğun təbiəti-----	167
7.2.	Friksion materiallar-----	168
7.3.	Antifriksion materiallar-----	171
7.4.	Yağlayıcı materiallar-----	177
7.5.	Sürtünmə düyünü üçün yağlayıcı materialın seçilməsi-----	185

VIII Fəsil. Materialların və maşın hissələrinin yeyilməyədavamlılığının artırılmasının əsas üsulları

8.1	Konstruksiya üsulları-----	191
8.2.	Texnoloji üsullar-----	205
8.3.	İstismar üsulları-----	211
8.4.	Maşın hissələrinin və hissələrin materiallarının yeyilməyədavamlılığının qiymətləndirilməsinin hesabi üsulları-----	214

IX Fəsil. Sürtünmə və yeyilmənin modelləşdirilməsi və laboratoriya sınaqları

9.1. Triboloji proseslərin modelləşdirilməsinin əsasları-	229
9.2. Sürtünməyə və yeyilməyə sınaqlar-----	240
9.3. Sürtünməyə və yeyilməyə sınaqların aparılmasının ümumi metodologiyası-----	252
Ədəbiyyat	261

Giriş

Əmək məhsuldarlığının artırılması yanmaya, enerjiyə, materiala və əmək resurslarına qənaət edilməsi, maşınqayırma materiallarının dünya bazarında rəqabət qabiliyyətinin və texniki səviyyənin təmin edilməsi maşın və mexanizmlərin, cihazların və digər avadanlıqların səmərəliliyindən, etibarlılığından, təhlükəsizliyindən və ekolojiyindən asılıdır.

Maşınqayırma qarşısında duran əsas vəzifələrdən biri maşınların etibarlılığının və uzunömürlülüynün artırılmasıdır. Həqiqət ayrı-ayrı maşınların uzunömürlülü-yünün 30-40 % artırılması istehsalın bu qədər artırılmasına bərabərdir ki bu da külli miqdarda maliyə, material və əmək resurslarına qənaət edilməsinə səbəb olur. Bu zaman maşının uzunömürlülüynü dedikdə həddi vəziyyətnə qədər iş qabiliyyətinin saxlanması başa düşülür, tez-tez ayrı-ayrı hissələrin aşağı möhkəmliyinin olması nəticəsində sınıması ilə deyil onların sürtünmə səthlərinin yeyilməsi ilə, yəni yeyilmə nəti-cəsində onların ölçülərinin dəyişmələri ilə müəyyən edilir. Yeyilmə nəticəsində hermetiklik pozulur (məsələn, silindr-porşen sürtünmə qovşağında), hissələrin qarşılıqlı yerdəyişmənin dəqiqliyi (dəzgahların istiqamətləndiriciləri və supportu) itir və nəticə etibarı ilə maşının iş göstəriciləri pisləşir.

Artan yeyilmə zərər və titrəmə əmələ gətirir ki, bu da qəzaların yaranmasına səbəb olur. Tez-tez böyük kütləli maşınların sıradan çıxması yeyilməsi çox böyük olmayan hissənin iş qabiliyyətinin itirilməsi hesabına baş verir ki, bu zaman yeyilmənin qiyməti millimetrlə hissələri ilə ifadə olunur.

Beləliklə, böyük ölçülü yeyilmə maşının xidmət müddətini müəyyən edir. Məsələn, qapalı dişli çarx ötürmələri üçün bu bir neçə min saat, zəncir ötürməsi üçün isə bir neçə yüz saat təşkil edir. Kotanın yeyilməsi bir neçə on saat müddətində baş verir. Yeyilmiş avadanlıqlar təmirə məruz qalır ki, bu zaman

onun dəyəri bəzən yeni məmulun dəyərindən 3-10 dəfə çox yüksəlmiş olur.

Problemin digər tərəfi odur ki, maşının işi zamanı enerjinin çox hissəsi hədəf yerə sürtünmələrə sərf olunur. Sürtünmə həmişə mənfi rol oynamır. Məsələn, avtomobillərin, traktorların, dəmir yol vaqonlarının, təyyarələrin, texnoloji maşınların əyləc qurğularında əks məsələnin-sürtünmə qüvvələrinin artırılması məsələsinin həlli tələb olunur. Sürtünmə qüvvələrinin istifadəsi ilə yivli birləşmələr, təminatlı gərilməli birləşmələr, friksion və digər ötürmələr və s. işləyir.

Əminliklə demək olar ki, müasir insan elmə və təcrübəyə istinad etməklə nəqliyyatda, sənayedə və məişətdə sürtünmə üzərində vacib qələbələr qazanmış və onu kifayət qədər özünə tabe etmişdir. Bu əsasən diyirlənmə dayaqlarının kütləvi istehsalının mənimsənilməsi, mineral və sintetik, o cümlədən, bərk və qaz şəkilli, ağır və qeyri-adi şəraitdə, kosmik istehsalatda işləyə bilən sürtgülərin çox saylı tiplərinin yaradılması ilə əldə edilmişdir. Lakin belə texniki imkanlar, əsasən XX əsrin ikinci yarısında meydana gəlmişdir. Hal-hazırda tez inkişaf etmiş texnika XXI əsrdə nəinki sürtünmə problemlərini gündəlikdən silmir, əksinə tez-tez onları daha kəskin formada qoyur. Sürtünmə və yeyilmə ilə əlaqədar problemlər, mütərəqqi konstruktor iideyasının həyata keçirilməsi yolunda bəzən durmur, onların reallaşdırılmasını on və yüz illərlə saxlayır.

Bu dərs vəsaiti maşınqayırma və mexanika ixtisaslarında təhsil alan tələbələrin “Tribologiyanın əsasları”, “Maşın hissələrinin sürtünməsi, yeyilməsi və yağlanması” fənlərinin öyrənilməsi üçün mühüm əhəmiyyətə malikdir. Bundan başqa dərs vəsaitindən maşın və mexanizmlərdə sürtünmə, yeyilmə və yağlama ilə əlaqədar konstruktor, texnoloji və istismar məsələlərinin həlli üçün əsas triboloji qanunların məqsədyönlü tətbiq edilməsi üçün istifadə edilə bilər.

I FƏSİL

Tribologiya və tribotexnikanın ümumi məsələləri

1.1. Tribologiya və onun inkişafı

Tribologiya -maşın və mexanizmlərdə sürtünmə, yeyilmə və yağlama prosesləri və hadisələri, qanunauyğunluqları haqqında elmdir.

Tribotexnikaya tribologiyanın tətbiqi hissələri olan sürtünmə düynlərinin iş qabiliyyətliyini təmin edən üsul və vasitələri daxildir.

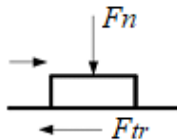
Tribologiya sözü yunanca “tribus” sözündən götürülmüş və “sürtünmə” mənasını verir. Bu termin Böyük Britaniyada 1966-cı ildə prof. P. Djostun rəhbərliyi altında sürtünmə və yeyilmə problemləri üzərində aparılan elmi-tədqiqat işlərinin nəticəsində meydana gəlmişdir. Djost öz əsərlərində 9 mart 1966-cı il tarixini tribologiyanın yeni elmi fənn kimi yaranması gününün olduğunu qeyd etmişdir.

İnsanlar ən qədim zamanlardan sürtünmə məsələləri ilə məşğul olmuşlar. XV əsrdə sürtünmənin öyrənilməsinə dəyərli töhfə Leonardo da Vinci tərəfindən verilmişdir. Saysız-hesabsız elmi nailiyyətlər arasında sürtünmə qanunlarının ilk tərtibi (1519-cu il) var. Leonardo da Vinci müəyyən etdi ki, sürtünmə qüvvəsi materialdan asılıdır və təmasda olan səthlərin sahəsindən asılı deyil, bir sürtünmə cisimini digərinə sıxan yüklə düz mütənəsidir və aralıq diyirlənən cisimlərin (kürələr və ya diyircəklər), və ya sürtünmə səthləri arasında sürtkü yağlarının tətbiqi ilə azaldıla bilər. Leonardo daimi hərəkət maşını yaratmağın mümkünsüzlüyünü əsaslandırırmış, sürtünməni bu səbəblərdən biri hesab edir. O, ilk dəfə sürtünmə əmsalı anlayışını elmə daxil etmiş, sürtünmə qüvvəsinin sürtünmə səthlərinin materialından, onların emal keyfiyyətindən,

ixtira edilmiş diyircəkli və kürəcikli yastıqlardan asılı olduğunu göstərmişdir.

Leonardo da Vinçinin modeli 180 il sonra fransız tədqiqatçısı Q. Amonton (1663-1705) tərəfindən yenidən kəşf edilmişdir. 1699-cu ildə Amonton ilk dəfə sürtünmə səthinə normal yükün böyüklüyündən sürtünmənin asılılığı qanununu tərtib etmişdir (şək. 1.1).

Amonton sürtünməsi bir cismin digərinin səthi üzərində qaldırılmasıdır.



Şək. 1.1. Sürtünmə sxemi

$$F_{tr} = F_n \cdot f, \quad (1.1)$$

burada F_n – normal yük, N ; f - sürtünmə əmsalıdır.

İndiyə qədər bu formul əsas qəbul edilir. Daha sonralar sürtünmənin əsas qanunlarının müəyyən edilməsi və antifriksion materialların işlənməsi ilə Q. Qaliley, İ. Nyüton, M. V. Lomonosov, Ş. Kulon və L. Eyler məşğul olmuşlar.

Şarl Kulon (1781-ci il) sürtünmə elminin yaradıcısı hesab olunur. “Sadə maşınlar nəzəriyyəsi” əsərində o, sürtünmənin əsas aspektlərini əhatə etmişdir. Belə ki, sürüşməyə, diyirlənməyə, daralmaya qarşı müqavimət, ümumiləşdirilmiş Amonton qanunu və sürtünmənin çox vaxt yükdən zəif asılı olduğunu (və ya asılı olmadığını) göstərmişdir, yəni

$$F_{tr} = F_n \cdot f + A, \quad (1.2)$$

burada A - səthlərin ilişməsindən asılı olan sürtünmə hissəsidir.

Rusiyada sürtünmə və yeyilmə elminin əsası M. V. Lomonosov tərəfindən qoyulmuşdur. D. İ. Mendeleyev qeyd etmişdir ki, “bərk cisimlərin sürtünməsi predmeti çətinləşdirir. Sürtünmə qanunlarını bilmək üçün çoxlu təcrübə məlumatlarına malik olmaq lazımdır”. Sürtünmə elminə L. Eyler, N. P. Petrov, N. E. Jukovskiy, S. P. Korolyov, V. D. Kuznetsov, A. Y. İslinskiy, P. A. Rebinder, V.V. Korsak. N. S. Jurkov, Q. M. Bartenyev, A. K. Zaytsev, A.S. Axmatov, B. A. Beliy, B. V. Deryaqin, İ. V. Kraqelskiy, D. B. Koivisarov, V.H. Kaseev, V. F. Lorents, A. İ. Petruşeviç, M. M. Xrusev və başqa alimlər çox böyük töhvə vermişlər.

Müasir dövrdə triboloqların ənənəvi məktəbi dünyada məşhur olan bir çox alimlərlə başlayır. Onların arasında V. A. Balıkin, N. A. Busen. İ. A. Buyanovskin, V. N. Vinogradov, D.N. Qarkunov, İ. Q. Qoryaçevan, N. B. Denikin, Y. N. Drozdov, Y. A. Evdokimov, S. P. Kozirev, V. İ. Kolesnikov, A. C. Kujarov, N. M. Mixin, N. K. Mışkin, V. Q. Pavlov, A. S. Pronikov, S. B. V. Rıjkov, Q. M. Sorokin, A. İ. Sviridenok, A. P. Semyonov, M. B. Tkaçev, A. V. Cirinadze, P. L. Bayer, F. Bouden, K. Lundeman, Q. Poltser, O. Reynolds, Q. Solomon, D. Teybor, M. Xibden, Q. Flyayser, P.N. Semyonoviç və s. alimlər vardır.

Bizim ölkəmizdə S.H. Babayev, Ə.X. Canəhmədov, Ə.G. Hüseynov, Ş.N. Əsədov və s. alimlər də sürtünmə problemlərinə aid elmi tədqiqat işləri aparmışlar.

Maşınlarda sürtünmə, yağlama və yeyilmə sahələrində tədqiqat işləri XX əsrin 50-ci illərində güclü texniki vasitələrin yaradılması və onlarda işçi sürətlərin, yüklərin və temperaturun artması ilə əlaqədar inkişaf etməyə başlamışdır.

Maşınqayırma sahəsindəki elmlərin inkişafı zamanı bütün dövrlərdə triboqovşaqların hazırlanması üzrə təcrübələr ümumi formada yer şəraitinə aiddir.

Bütün onlara, məsələn, kosmik obyektlərin iş şəraiti, yüksək və çox yüksək vakuuma, müxtəlif şüalanmaların intensiv

təsirlə, qeyri-adi istilik şəraiti və nəhayət çəkisizliklə səciyyələndirilənlər aiddirlər. Habelə atom sənayesində (intensiv sərt şüalanma və yüksək temperaturla), enerji maşınqayırmasında (yüksək temperatur və kimyəvi fəal mühit), kriogen texnikasında (çox aşağı temperaturlar), maqnit qurğularında məlumatı saxlamaq üçün iş zamanı meydana çıxan şəraitlər səciyyəvidir.

Kifayətdir qeyd edək ki, fərdi kompyuterlərin işlənməsi və istismarı üzrə ən böyük İBM (ABŞ) kompyuterinin informasiya daşıyıcılarının yeyilməyə dayanıqlığını öyrənmək üçün çox yaxşı laboratoriyası vardır. Bu laboratoriyaya dünyada məşhur olan triboloq R. L. Bayer rəhbərlik edir.

Qeyri-adi və gərginlikli şəraitlər tez-tez yeni texnikanı yaradanları sürtünmə düynələrinin layihələndirilməsi və onlara əsaslanan konstruktor məsələləri üçün uzun müddət əldə edilmiş ənənəvi prinsiplərə yenidən baxmağa məcbur edir. Tribotexniki məsələlər çox müvəffəqiyyətlə həll olunur. Onlardan hissələr praktiki məsələlərin həllində birbaşa mühəndis əlavələrinə malikdir.

“Tribotexnika” termini çoxdan öyrənilən predmetə yeni baxışı, onun tədqiqinə yeni yanaşmanı müəyyən edir. Başqa sözlə tribotexnika elmi maşınların etibarlılığının artırılması üzrə praktiki tədbirlərin işlənməsi məqsədilə maşın hissələrinin işçi səthlərinin qarşılıqlı təsir prosesini öyrənməyə xidmət edir və maşınların elementlərinin işlənməsi, kons-truksiya edilməsi, sınaqdan çıxarılması və istismarı zamanı sürtünmə, yağlama və yeyilmə proseslərinə tətbiq edilən mühəndis elmidir. Yəni, o texnika üçün çox böyük praktiki maraq doğuran fənnidir.

1.2. Əsas anlayışlar və təriflər

Son illərdə tribologiyanın tribokimya, tribofizika, tribomexanika və tribobiomexanika kimi yeni bölmələri inkişaf etmişdir.

Tribokimya təmasda olan səthlərin kimyəvi fəal mühitdə qarşılıqlı təsirini öyrənir.

Tribofizika səthlərin bir-birinə nəzərən qarşılıqlı hərəkəti zamanı onların qarşılıqlı təsirinin fiziki aspektini öyrənir.

Tribomexanika sürtünmə zamanı təmasda olan səthlərin qarşılıqlı təsirinin mexanikasını öyrənir.

Tribobiomexanika bioloji sistemlərin, onların təmaslı qarşılıqlı təsirdə olduqda sürtünmə zamanı mexanikasını öyrənir.

Sürtünmə və yeyilmə proseslərinə aid olan yüzlərlə termin standartlaşdırılmışdır. Bu terminlər sırasına aşağıdakılar aid edilmişdir:

- xarici sürtünmə - iki cismin görüşmə səthləri sahəsində nisbi hərəkət zamanı əmələ gələn, ona toxunan üzrə müqavimətdir ki, enerji ayrılması ilə müşayiət olunur;

- sürtünmə qüvvəsi - xarici qüvvənin təsiri altında bir cismin digər cisim üzərində nisbi hərəkəti zamanı müqavimət qüvvəsi olub, bu cisimlər arasındakı ümumi sərhəd istiqamətinə yönəlir;

- sürtünmə əmsalı - iki cisim arasında yaranan sürtünmə qüvvəsinin, bu cisimləri sıxan normal qüvvəyə olan nisbətidir;

- yeyilmə - sürtünmə zamanı bərk cismin səthindən materialın ayrılması və səthin dağılması və (və yaxud) cismin tədricən ölçülərinin, formasının dəyişməsinə səbəb olan onun qalığ deformasiyalarının toplanmasıdır;

- yeyilmə məhsulu - qoyulmuş vahidlə (uzunluq, həcm, kütlə, və s.) müəyyən edilən, yeyilmə prosesinin nəticəsidir;

- yeyilməyədavamlılıq - müəyyən sürtünmə şəraitlərində yeyilmə sürətinin və yaxud yeyilmə intensivliyinin əksinə, hissənin materialının yeyilməyə müqavimət göstərmək xüsusiyyətidir;

- yeyilmə intensivliyi – yeyilmənin qiymətinin onun əmələ gəlməsi yoluna və yaxud yerinə yetirilmiş işin həcminə olan nisbətidir;

- yağlayıcı material - sürtünmə qüvvəsini və (və yaxud) yeyilmənin intensivliyini azaltmaq üçün sürtünmə səthlərinə daxil edilən materialdır;

- yağlama - yağlayıcı materialın təsiridir ki, nəticədə iki səth arasında sürtünmə zamanı sürtünmə qüvvəsini və (və yaxud) yeyilmə intensivliyini azaldır.

1.3. Maşınlarda sürtünməyə itkilər və hissələrin yeyilməsinin təsviri

Avtomobillər, teploxodlar, fəzada təyyarələr külli miqdarda yanacaq yandırması hesabına hərəkət edirlər. Böyük sürətlə buraxılan güllə və yaxud mərmir bir neçə saniyə uçuşdan sonra bu sürəti itirir. Bütün bu amillərə ümumi və yaxşı məlum olan səbəb sürtünmə prosesidir ki, onun aradan qaldırılmasına həmişə müəyyən miqdarda enerji sərf olunur.

Sürtünmə təbiətin qəribə fenomenidir. O, bəşəriyyətə istilik və alov, qısa müddətdə sürətli qatarı və avtomobili dayandırmaq imkanı, kimyəvi reaksiyanı sürətləndirmək, insanın səsini yazıya çevirmək, skripkanın səsini eşitmək və çoxlu sayda başqa xüsusiyyətlər bəxş etmişdir. Lakin bu vaxta qədər sürtünmə prosesinin çox aspektləri sirr olaraq qalır. Sürtünmə zamanı mexaniki, elektrik, istilik, fiziki və kimyəvi proseslər eyni zamanda baş verir. Sürtünmə metalları möhkəmləndirir və ya zəiflədir, onda karbonun miqdarını artırır və yaxud azaldır, metallarda hidrogeninin miqdarını artırır və yaxud azaldır, qızılı, platini oksidləşdirir, hissələri pardaxlayır və yaxud qaynaq edir. Sözüün geniş mənasında sürtünmə bir cisimin digər cisimə nəzərən hərəkət edən və yaxud ətraf mühitin ilə qarşılıqlı təsiri adlandırılır ki, bu enerjinin ayrılması ilə müşayiət olunur. Sürtünmə ölçüsü kimi vahid yolda ayrılan enerjinin miqdarı qəbul edilir. Onun qüvvə ölçü vahidi var və qiymətəcə sürtünmə qüvvəsinə və yaxud mühitin müqavimət qüvvəsinə bərabərdir.

Sürtünmə prosesinin zərərli hadisə olması haqqında asanlıqla mühakimə yürütmək olar ki, onunla mübarizəyə bəzi qiymətləndirmələrə görə dünya enerji resurslarının üçdə birindən yarısına qədər hissəsi sərf olunur. Bir çox hallarda nəzərə almaq lazımdır ki, göstərilən enerji sadəcə olaraq itirilmir, istiliyə çevirilir, maşında və yaxud cihazda toplanaraq onları qızdırır və iş qabiliyyətinin itirilməsi təhlükəsini yaradır.

Sürtünmənin faydalı rolu son dərəcədə çox vacibdir. Belə vəziyyətlərin modeli sırsıra adlanır. Mülayim havadan və yaxud yağışdan sonra güclü olmayan şaxta birdən heyrətləndirici nəticələrə gətirib çıxarır ki, sürtünmə qismən yox olur. Sırsıra zamanı yol hadisələrinin miqdarı adi səviyyədə olduğuna nisbətən min dəfədən çox artır. Həm də sürücülər üçün əyləcin işləməməsi daha xoşagəlməz təhlükədir ki, burada sürtünmə müsbət rol oynayır.

Hal-hazırda sürtünmə ilə sıx əlaqədar olan ən ciddi problemlərdən biri maşın və mexanizmlərin yeyilməsidir. Gözlə görünmədə və tədricən baş verən yeyilmə maşın və mexanizmləri elə vəziyyətə gətirib çıxarır ki, bundan sonra onların istifadəsi səmərəsiz və hətta təhlükəli olur.

Normal istismar şəraitində maşının hissələrinin və işçi üzvlərinin materiallarının kifayət qədər möhkəm olması və yaxud həddən artıq axıcılıq həddinə malik olması səbəbindən sıradan çıxması çox az hallarda təsadüf edilir. Maşınların hissələrinin və işçi üzvlərinin sıradan çıxmasının ən səbəbi səbəbi sınıma olmayıb, yeyilmə və yaxud işçi səthlərinin zədələnməsidir. Bəşəriyyət hissələrin möhkəmliyə hesablanması üsulları ilə bir əsrdən də çoxdur ki, məşğul olur və onlar bu gün kifayət qədər yaxşı işlənmişdir. Bundan başqa ehtiyat möhkəmlik əmsalı da böyük qiymətə malikdir ($n=1,5-3$). Yeyilməyədavamlılığa hesabat üsulları hələ tamamlanmamış və bəzən çox sayda hissələr üçün mövcud olmur. Eyni zamanda çoxlu sayda maşınlar (85...95 %) hissələrin yeyilməsi səbəbindən iş qabiliyyətini itirir.

Xüsusilə abrazivli və aşındırıcı mühitdə istismar edilən maşınların işçi üzvlərinin və hissələrinin yeyilməsi daha çoxdur. Daş karxanalarında işlədilən kütləsi 6 ton olan daşdoğrayan maşınlar yüksək abrazivli suxurları doğradıqda ildə ona 17 ton doğrayıcı lövhə sərf edilir. Daş karxanasında işləyən yük maşınlarında quraşdırılmış dizel mühərrikləri 1500-2000 saat işlədikdən sonra əsaslı təmir tələb edir. Traktorların yan dişli çarxları dəyişilənə qədər 2000-2500 saatdan çox işləmir. Qumsal torpaqda işləyən traktorda hər mövsüm üçün 2-3 dəst tırtıl (bu yeni traktorun 50 % dəyəridir) dəyişmək lazım gəlir, traktor kotanının kanalı orta hesabla tam yeyilənə qədər 15-20 hektar torpağı emal edir.

Maşınların təmirinə və texniki xidmətinə çəkilən xərclər onların dəyərindən bir neçə dəfə yüksək olur, məsələn avtomobillərdə 6 dəfə, təyyarələrdə 5 dəfəyə qədər, dəzgahlarda 8 dəfəyə qədər, dağ-mədən maşınlarında 15 dəfədən çox olur.

Avtomobillərin xidmət müddətində əmək sərfinin 1,4 %-i hazırlanmanın, 45,4 %-i texniki xidmətin, 46 %-i carı təmirin, 7,2 %-i isə əsaslı təmirin payına düşür. Əmək resurslarının 50 % -dən çoxu təmir işlərinə sərf olunur.

Yeyilməyə görə imtinaların əsas səbəblərindən biri maşının hərəkət edən qovşaqlarının-triboqovşaqların yeyilməsidir. Baxmayaraq ki, yeyilmənin nisbi qiyməti, məsələn, maşının kütlə itkisinin onun əvvəlki kütləsinə nisbəti bəzən çox kiçikdir, yeyilmə bütün qiymətli məmulların sıradan çıxmasına səbəb olur. Məsələn, minik avtomobilinin orta hesabla kütləsi 1000 kq olur. Əgər triboqovşaqların yeyilməsi nəticəsində onun kütləsinin itirilməsi 1 kq olarsa, onda o, artıq təmir olunmalıdır. Avtomobil təsərrüfatına ən çox ziyanı aşındırıcı-mexaniki növlü yeyilmə verir. Tədqiqatlar və təcrübələr göstərir ki, minik avtomobillərinin çardaqlarının aşınmadan dağılması probleminin iki forması mövcuddur: qapalı və çətin daxil olunan səthlərin aşınması və çardağın alt hissəsinin aşınması.

Müxtəlif qruplara daxil olan hissələrin aşınmadan mühafizə edilməsi üsulları müxtəlifdir. Buna səbəb mühitin təsirinin müxtəlif olmasıdır. Əgər daxili səthlər üçün səciyyəvi əlamət həmişə nəmliyin olmasıdırsa, minik avtomobillərinin çardağının altı üçün isə toz, qum, duz, daş qırıntılarının və avtomobilin təkəri ilə atılan digər yüksək sürətlə hərəkət edən bərk hissəciklərin zərbə təsiri nəticəsində aşınmaya qarşı mühafizə örtüyünün yeyilməsi müəyyən edilir. Artıq avtomobillərin istismarının birinci aylarında çardaqda yeyilmiş örtüklər olan sahədə aşınma mənbələri əmələ gəlir, yəni abraziv hissəciklərin təsiri nəticəsində əvvəlcə mühafizə örtüyü (onun bütövlüyü pozulur), sonra isə avtomobilin çardağının altının intensiv aşınması və yaxud birgə aşındırıcı-mexaniki yeyilmə baş verir.

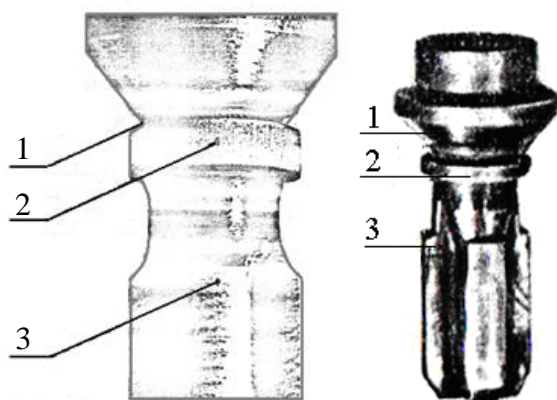
Avtomobil nəqliyyatına aşınmanın vurduğu ziyan xalq təsərrüfatının bütöv bir sahəsinə əsaslı vəsait qoyulması ilə müqaisə ediləndir. Bu onunla əlaqələndirilir ki, avtomobildə ilk növbədə aşınma təsirinə çardaq, onun aşağı kəmərindeki digər düyünlər məruz qalır. Çardaq isə avtomobilin ən bahalı hissələrindən (minik avtomobillərinin tam dəyərinin 72-78 %-nə qədərini təşkil edir) biridir.

Böyük ölkələr hər il avtomobil nəqliyyatında aşınma nəticəsində külli miqdarda yüksək keyfiyyətli polad itirir. Hər il minik avtomobillərində aşınmadan itkilərin dəyəri ABŞ-da 8,5-17 milyard dollar, İngiltərədə 0,25 milyard funt sterlinq, İsveçirədə 0,5 milyard kronudur. Əksəriyyət maşın və avadanlıqların hissələri və sürtünmə düyünləri abraziv yeyilməyə məruz qalır. Şəkil 1.1-də cərgəli yanacaq nasosunun yastıq poladından hazırlanmış vurma klapanının 3,5...4 min mühərriksaat istismardan sonra hidroabraziv yeyilməsi göstərilmişdir.

Yanacaq nasosunun istismarı zamanı vurma klapanın yükboşaldan kəmərciyi və yəhərin yuvası hidroabraziv yeyilməyə məruz qalır. Nəticədə vurma klapanın yükboşaldan kəmərciyinin silindrik forması kəsik konus formasını alır. Vurma klapanın yükboşaldan kəmərciyinin üst hissəsi orta

hesabla 0,005-0,010 mm, alt hissəsi isə 0,020-0,035 mm yeyilməyə məruz qalır. Vurma klapanın yükboşaldan kəmərciyinin yeyilməsi “yükboşaldan kəmərcik-yəhərin yuvası” qovuşmasının arabaşluğunun böyüməsinə səbəb olur. Bu isə yüksək təzyiq xəttinin boşalmasını aşağı salır.

Vurma klapanın istiqamətləşdirici quyruqcuğu da abraziv yeyilməyə məruz qalır. Onun üst hissəsi 0,018 mm, alt hissəsi isə 0,048 mm yeyilməyə məruz qalır. Vurma klapanın istiqamətləşdirici quyruqcuğunun yeyilməsi böyük qiymətlərə çatdıqda, o klapan yəhərinə çəpinə oturur, bu isə bağlayıcı konusun kiçiyinin pozulmasına və yükboşaldan kəmərciyin birtərəfli, eyni zamanda bağlayıcı konusun yeyilməsinə səbəb olur.



Şək. 1.1. Cərgəli yanacaq nasosunun vurma klapanın hidroabraziv yeyilməsi (material-ŞX15):
1-bağlayıcı konus; 2-yükboşaldan kəmərcik;
3-istiqamətləndirici quyruqcuq.

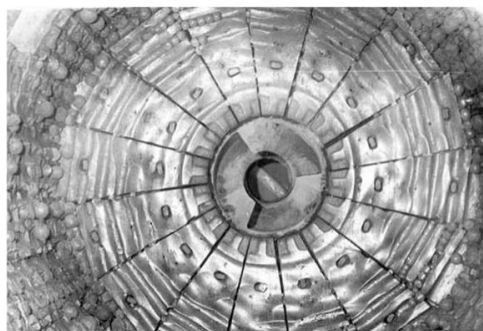
Şəkil 1.2-də KamAZ 740 mühərrikinin qazpaylayıcı mexanizminin paylayıcı valının abraziv yeyilməsi göstərilmişdir. Çoxsaylı tədqiqatların nəticələri göstərir ki, qazpaylayıcı val işi zamanı onun səthlərindən qopan abraziv hissəcik-

ləri sürtünən səthlər arasına düşərək onun boyuncuqlarını və yumrucuqlarını abraziv yeyilməyə uğradır. Nəticədə qazpaylayıcı val üçün təyin olunmuş texniki tələblər pozulur. Bu səbəbdən daxili yanma mühərrikinin (DYM) istismar müddəti azalır.

Dağ-mədən emal müəssisələrində istifadə olunan kürəli dəyirmanların astarlarının (şək. 1.3), bir dəstinin kütləsi dəyirmanın məhsuldarlığından asılı olaraq 30...50 ton həddində olur və 6...8 aydan çox işləmir.



Şək. 1.2. KamAZ 740 mühərrikinin qazpaylayıcı mexanizminin paylayıcı valının abraziv yeyilməsi (material pol.45)



Şək. 1.3. Kürəli dəyirman barabanının yan astarının yeyilməsi (material – 110Q13L ərintisi)



a)



b)

Şək. 1.4. Qum nasosunun işçi çarxı:
a- yeni; b- 360 saat istismardan sonra

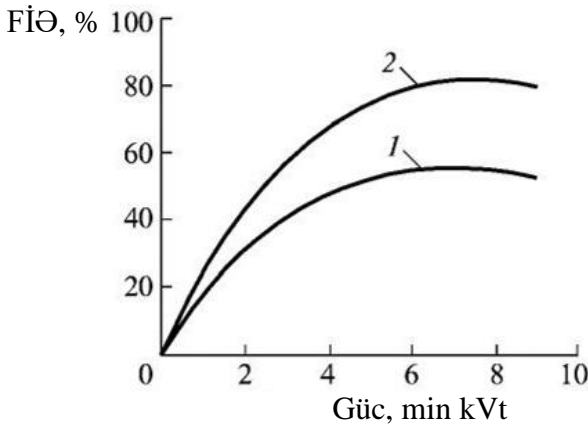
İstismar zamanı çarxın yeyilmiş səthi yerli dərinləşmələr və ikitərəfli boşluqlar olmaqla dalğavari relyeflərdən ibarətdir. Daha böyük gücə gücə malik olan mərkəzdənqaçma süxur nasoslarının, hidroturbinlərin, gəmi vintlərinin, sürgülərin və digər avadanlıqların işçi çarxları da bu formada yeyilmiş dalğavari səthlərə malik olurlar. Bəzən hidroabroziv yeyilmənin baş berməsinə kavitasiya səbəb olur. Birgə kavitasiya-hidroabraziv yeyilməsi daha intensivdir.

1.4. Texnikanın istismarı zamanı sürtünmə və yeyilmə problemlərinin iqtisadi baxışı

Adətən maşın və mexanizmlərin yeyimə aqibəti onların işçi hissələrin yeyilməsi nəticəsində ikili aydınlaşdırılır. Birincisi- hissələrin yeyilmə ölçüsünə görə maşının texniki-iqtisadi göstəricilərinin aşağı düşməsidir (güc, məhsuldarlıq, F.İ.Ə., yanacaq və elektrik enerjisi sərfi və s.). İkincisi-işçi hissələrin yeyilməsini aradan qaldırmaq üçün təmir işlərinin

aparılmasına çəkilən xərclərdir (əmək, materiallar, ehtiyat hissələri, enerji xərcləri və s.). Təcrübədə çox vaxt ancaq ikinci amil nəzərə alınır. Eyni zamanda maşınların istismarı zamanı onun işçi hissələrin yeyilməsi nəticəsində texniki-iqtisadi göstəricilərinin pisləşməsi xalq təsərrüfatına çox ciddi ziyan vurur.

Maşın və mexanizmlərin texniki-iqtisadi göstəricilərinə onun hissələrinin yeyilməsinin təsiri hidroenergetikanın misalında göstərilə bilər. Şəkil 1.5-də işçi çarxı çox yeyilmiş hidroturbinin əsaslı təmirə qədər (1 əyrisi) və əsaslı təmirdən sonra (2 əyrisi) işçi xarakteristikaları göstərilmişdir.



Şək. 1.5. Hidroturbinin işçi xarakteristikaları

İşçi xarakteristikaların müqaisəsi göstərir ki, yeyilmiş çarxın F.İ.Ə. işçi diapazonunda gücün dəyişməsi (5...6 min kVt), əsaslı təmirdən sonrakına nisbətən orta hesabla 13 % azdır. Turbinin yeyilməsi nəticəsində 12-14 % elektrik enerjisi itirilir. Hidroturbinlərin F.İ.Ə. yüksək səviyyədə, yeyilmiş işçi çarxların natamam dəyişdirilməsi ilə saxlanılması artıq bu göstəricinin 0,2 % düşdükdə iqtisadi baxımdan özünü doğruldur.

Digər bir problem ondan ibarətdir ki, maşının işi zamanı verilən enerjinin çox hissəsi hədəf yerə sürtünməyə sərf edilir. Belə ki, metalkəsən dəzgahın işi zamanı ancaq enerjinin 70 %-i faydalı işə, 30 %-i sürtünmə və yeyilməyə sərf olunur. Toxucu maşınlarda isə enerjinin cəmi 20 %-i faydalı işə, 80 % -i sürtünmə və yeyilməyə sərf olunur. Bütövlükdə sənayedə sürtünməyə milyardlarla kilovat-saat enerji sərf olunur. Beləliklə, sürtünməyə sərf olunan xərclərin azaldılması ən vacib məsələlərdən biridir.

İstilik güc qurğularında səmərəliliyin artırılmasında qazanılmış böyük nailiyyətlərin olmasına baxmayaraq yanaçağın xüsusi sərfi bu günə kimi istənilən istilik mühərrikinin ən vacib xarakteristikalarından biri hesab edilir və diqqət mərkəzində durur.

Yüklərin nəql edilməsi zamanı əsas enerji bərk yol örtüyündə, havada və suda sürtünmə nəticəsində xarici müqavimətlərin dəf olunmasına sərf olunur. Müqavimət mühitində eyni hərəkət edən istənilən nəqliyyat vasitəsinin enerji səmərəliliyini ölçüsüz əmsalla (enerji meyarı) qiymətləndirmək olar:

$$K = \frac{v^*}{K^*} , \quad (1.3)$$

burada $v^* = v/v_0$ sürət əmsalı; $K^* = R(v)/G$ müqavimət əmsalı; v - nəqliyyat vasitəsi ilə yükün yerdəyişmə sürəti; v_0 - piyadanın sürəti; $R(v)$ - v sürətində mühitin müqavimət qüvvəsi; G - yükün kütləsidir.

(1.3) ifadəsindən görünür ki, yükün kütləsi və onun yerdəyişmə sürəti böyük olduqda və həmin sürətdə dəf edilən müqavimət azaldıqda daşınmanın səmərəliliyi bir o qədər çox olur.

(1.3) meyarının köməyi ilə keçmişdəki və indiki nəqliyyat növlərinin enerji səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi cədv. 1.1-də verilmişdir.

Cədv. 1.1

Nəqliyyat vasitələrinin enerji səmərəliliyi

Yükün nəql edilməsi üsulu	Sürət əmsalı, v^*	Müqavimət əmsalı, K^*	Enerji meyarı, K
İkitəkərli araba	1,0	0,300	3,3
At arabası	1,5	0,075	20,0
Kürəkli gəmi	3,0	0,006	500,0
Yelkən gəmisi	4,0	0,003	1333
Dəmir yolu	15,0	0,006	2500
Teploxod	10,0	0,004	2500
Avtomobil	30,0	0,200	150
Təyyarə	200	1,1	182

Cədvəl 1.1-in məlumatlarının araşdırılması göstərir ki, K əmsalının daha yüksək qiyməti ilə xarakterizə olunan energetik planda ən səmərəli nəqliyyat növü dəmir yolu və sudur. Müasir nəqliyyatın səmərəliliyi (avtomobil və hava) ilk növbədə yanacaq sərfi ilə deyil, yüklərin və sərnişinlərin daşınması zamanı sərf olunan vaxta qənaət olunmasıdır. Əgər yüklərin çatdırılma sürətinə xüsusi tələblər yoxdursa, onda avtomobil və hava nəqliyyatı səmərəli olmayacaqdır. Lakin, çatdırılma sürəti işgüzar adamlar və sərnişinlər üçün tələb olunur. Bundan başqa yüklərin bilavastə istehlakçıya, anbara, dükana (avtomobillə) kosmik mənbələrə, digər planetlərə (raketlərlə) çatdırılması çox vacib amillərdir.

$v = 80 \text{ km/saat}$ sürətlərdə havanın müqavimətinin dəf edilməsinə müasir avtomobilin gücünün yarısı sərf olunur, $v = 130 \text{ km/saat}$ olduqda isə qarşıdan gələn hava axınına

gücün $2/3$ -si sərf olunur. Bununla əlaqədar olaraq xarici mühitin müqavimət qüvvəsi (yaxud xarici sürtünmə əmsalı) $R(v)$ orta minik avtomobili üçün $v = 80 \text{ km/saat}$ olduqda $0,16$ və $v = 130 \text{ km/saat}$ olduqda isə $0,33$ olur. Verilən qiymətlər avtomobilin təkərinin yaxşı şosədəki sürtünmə əmsalından və həmçinin lokomotivin relslərlə sürtünmə əmsalından dəfələrlə çoxdur. Başqa sözlə desək, havanın müqaviməti ilə mübarizəyə on milyonlarla ton benzin, ağ neft və yağ sərf olunur.

Yüksək sürətlə hərəkət edən cisimin ətraf mühitlə qarşılıqlı təsiri zamanı enerjinin dağılmasının əsas səbəblərindən biri kifayət qədər kinetik enerjisi olan burulğanın əmələ gəlməsi və qırılmasıdır. Nəqliyyat vasitələrinin formasının düzgün seçilməsi burulğandan asılıdır. Burulğan nə qədər kiçik olarsa, nəqliyyat vasitələrinin formasını seçmək daha uğurlu olur. Lakin, hərəkət şəraiti adətən fasiləsiz olaraq dəyişir (sürət, qalxma, enmə, dönmə və s.). Nəzəriyyə göstərir ki, bu dəyişmələri nəzərə almaqla nəqliyyat vasitələrinin formasını dəyişmək lazımdır. Bunu suda elastik örtüyündə güclü budaqlanmış qan damarları və əsəb lifləri olan delfinlər edir. Ona görə də delfinlər böyük sürətlər (100 km/saat) ala bilir, belə ki, onun bədənini anomal aşağı müqavimətə malikdir və uyğun yağ qatını buraxır ki, bu da mühitin müqavimətini aşağı salır. Hələlik heç bir suüstü və sualtı gəmi belə sürətə malik deyildir.

K enerji meyarının artırılması yolları. İlk növbədə ətraf mühitin müqavimətinin $R(v)$ azalmasını öyrənmək lazımdır. Bununla əlaqədar olaraq bir neçə hala baxılır ki, bəzən onlar qeyri-adi görünürlər:

- konkret şəraitə uyğun olaraq nəqliyyat vasitələrinin formasının avtomatik dəyişdirilməsi elə olmalıdır ki, axıcılıq bütün hallarda optimal olsun;

- vakuumlaşdırılmış nəqliyyat tunelinin yaradılması, hansı ki, hava mühitinin müqavimətinin kəskin azalması və yaxud tamamilə aradan qaldırılması mümkün olur (dartqı,

məsələn, elektromaqnit, cazibə və s.). Bu halda nəqliyyat çardağının sürəti $v = 400 \dots 600 \text{ km/saat}$ və enerji meyarı isə vakuumlayıcı sistem olmadan $k = 10^4$ olur. Ən səmərəli nəqliyyat vasitələri üçün uyğun olaraq təkmilləşdirilmiş formanın yaradılması hesab olunur. Nəzəri olaraq heyətin damcı forması sərfəli hesab edilir. Ona görə də, bütün çıxan hissələri götürmək lazımdır (**asılmış** antenna 100 km məsafədə 200 qram, yüksüz yük yeri isə 100 km məsafədə 600 qram yanacağın sərf edilməsini tələb edir). Nəqliyyat vasitələrinin konstruksiya edilməsi və istismarı zamanı bu amilləri mütləq nəzərə almaq lazımdır.

1.5. Triboqovşaqlarda yağların rolu

Texnikada maşın hissələrinin sürtünməsini və yeyilməsini azaltmaq üçün yağlayıcı materiallardan geniş istifadə edilir, hansı ki, triboqovşaqların hissələri ilə birlikdə tribosistemi əmələ gətirir. Tribosistem “iki hissədən” və “üçüncü cisim” yağlayıcı materiallardan ibarət olur. Optimal seçilmiş yağlayıcı materiallar maşınların sürtünmə düyünlərində tribo-loji proseslərin intensivliyini göstərilən materiallar olmadığı proseslərlə müqayisədə on və yüz dəfə azaltmağa imkan verir.

Qovuşan hissələrin və yağlayıcı materialın növündən asılı olaraq onları ayıran sərhəddə görüşən hissələrin səthində ikinci strukturun əmələ gəlməsi ilə qovuşan hissələrin səthlərinin modifikasiyası ilə müşayiət edilən müxtəlif səviyyəli fiziki-mexaniki proseslər baş verir. Xassələrinin optimal əlaqəsi zamanı bu strukturların yeyilməyə davamlı ikinci strukturları əmələ gəlir, hansı ki, sürtünmə əmsalının və uyğun olaraq yeyilmənin azalmasına səbəb olur.

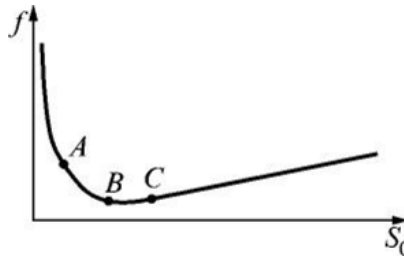
Bərk cisimlərin kontakt sahəsinə daxil olan yağlayıcı materialın miqdarından asılı olacaq müxtəlif növ yağlamalar əmələ gələ bilər. Bunu yastıqda sürtünmə əmsalı f ilə

Zommerfeld ədədi arasında asılılıq yaradan Hersi – Ştribek diaqramının köməyi ilə izah etmək olar (şək. 1.6).

Zommerfeld ədədi aşağıdakı düstura əsasən təyin edilə bilər:

$$S_0 = \frac{p\psi^2}{\eta\omega}, \quad (1.4)$$

burada p -yastıqda orta təzyiq, $\psi = (d_{oy} - d_v)/d_v$ -yastıqda nisbi araboşluğu; d_{oy} və d_v yastıq altında oymağın dəşiyinin və valın diametrləri; μ - yağın dinamik özlülük əmsalı; ω - valın fırlanma bucaq sürətidir.



Şək. 1.6. Hersi – Ştribek diaqramı

$A - B$ yağlama sahəsində sərhəd sürtünməsi, $B - C$ sahəsində isə maye sürtünməsi vardır. Maye yağlaması qovşağın dayanıqlı iş rejimini təmin edir. B nöqtəsindən sağ sahədə sürtünmə əmsalının f bir qədər artması yağ qatının qalınlığının artması ilə əlaqədardır. Sərhəd yağlaması qeyri-dayanıqlı faza adlanır. $B - A$ sahəsində sürtünmə əmsalının artması valın fırlanma tezliyinin aşağı düşməsi ilə əlaqədardır. Bu yağ qatının qalınlığının azalmasına və uyğun olaraq orta təzyiqin p artmasına səbəb olur, nəticədə qovşağın iş şəraiti pisləşir (ilk növbədə mikroçixıntılarda səthlərin tutulmasından).

Qovşağın ən yaxşı iş şəraitini maye sürtünməsi təmin edir. Onun reallaşdırılması zamanı sürtünmə əmsalının minimum

qiyməti və materialların yeyilməsinin intensivliyinin azalması təmin edilir.

Yağlamanın ikinci müsbət xüsusiyyəti sürtünmə sahəsindən istiliyin çıxarılmasıdır. Temperaturun artması ilə yağ öz istismar xüsusiyyətlərini itirir - dinamik özlülük əmsalı η və eyni zamanda qovşağın səthlərini bir-birindən ayıran hidrodinamik qatın qalınlığı azalır.

Sürtünmə düyünlərindən sonradan yağın süzgəc elementlərində təmizləməklə məcburi çıxarılması istilik çıxarmaqla yanaşı vacib texniki məsələni-triboqovşağın kontakt sahəsində yeyilmə məhsullarının da çıxarılmasını həll edir.

Yağlamanın üçüncü müsbət xüsusiyyəti qovşağın, hissələrin aşınmadan mühafizə edilməsindən ibarətdir. Yağın mühafizə xüsusiyyəti iki əsas amillə: metalların səthlərinin atmosfer təsirindən mexaniki izolyasiya edilməsi və metalların səthlərində aşınmanın elektrokimyəvi proseslərinin dayandırılması ilə izah olunur.

Nəhayət yağlama triboqovşaqların dinamik və akustik xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır, belə ki, eyni zamanda elastiki və özlü xüsusiyyətlərin olması, dinamik yüklərin azaldılmasına və mexanizmin istismarı prosesində səs-küyün azaldılmasına köməklik gösrərir.

Yağlayıcı materiallar aqreqat vəziyyətinə görə qazlı, maye, plastik və bərk növlərə bölünürlər. Son illər maqnit maye və ovuntu yağlayıcı materiallar yaradılmış və tətbiq sahəsi tapmışdır.

II Fəsil

Triboqovşaqların konstruksiya möhkəmliyi və səth qatının vəziyyəti

Konstruksiya materiallarının potensial imkanlarından hissələrin səthlərinin keyfiyyəti uyğun tələblərə cavab verdikdə tam istifadə edilir. Səthin keyfiyyəti hərəkətli qovşaqların yeyilməyədavamlılığına, aşınmaya davamlılığına, istilik ötürülməsinə və hissələrin dəyişən qüvvələr şəraitində işlədikdə yorulma möhkəmliyinə təsir edir.

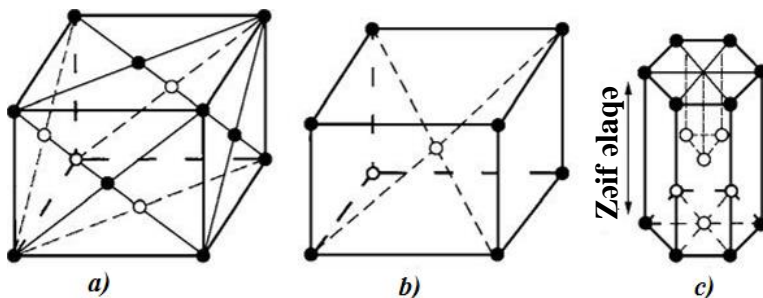
Metalın dərin qatları üst səthinə nisbətən az dərəcədə yorulur. Adətən fiziki səth dedikdə iki fazanın ayrılması sərhədi başa düşülür, məsələn bərk və maye, bərk və qazşəkilli. Lakin sərhəd səth qatı haqqında daha düzgün danışmaq olar, hansı ki, riyazi səthdən fərqli olaraq kənar ölçülərə görə molekulun ölçüsü ilə müqaisə olunan son vəziyyətdə müqayisə edilən son qalınlığa malikdir.

Səth qatının xüsusiyyətləri həcmdəki materialın xüsusiyyətlərindən fərqlənir ki, bu da “səthi” termini ilə birləşdirilən bir sıra hadisələrin təbiəti ilə əlaqədardır. O cümlədən, sonuncuya xarici sürtünmə də aiddir. Xarici sürtünmənin təbiətini başa düşmək üçün maşınqayırma materiallarının səth qatlarının xüsusiyyətləri ilə tanış olmaq lazımdır.

2.1. Bərk cisimin quruluşunun xüsusiyyətləri

Fiziki nöqteyi-nəzərdən bərk cisimlərə ancaq kristalik cisimlər aiddir. Onlar üçün kristalik qəfəs adlanan atomların düzgün yerləşməsi səciyyəvidir.

Kristalik qəfəslərin çoxformalılığına baxmayaraq, əksəriyyət bərk cisimlər üç tip qəfəsə malikdir: kubik həcmi mərkəzləşmiş (KHM), kubik tilləri mərkəzləşmiş (KTM), heksoqonal sıx qablaşmış (HTQ).



Şəkil 2.1. Elementar kristalik özəklərin tipləri:
a-KTM (Cu, Al, γ – Fe); *b*-KHM (Na, W, α -Fe);
c-HTQ (Mg, Zn, Ti, qrafit)

Şəkil 2.1-də çoxsaylı təkrar olunan elementar özəklər göstərilmişdir, hansı ki, bu halda monokristal adlanan bərk cisim almaq olar.

Monokristallar üçün düzgün həndəsə və antitropiya xüsusiyyətləri (yəni, istiqamətdən xüsusiyyətlərin asılılığı) səciyyəvidir. Monokristallarda yüngül sürüşmə müstəvisi adlanan müstəvi var, uzunluğu boyu hansı ki, mexaniki gərginliklərin təsiri altında onun kristalın bir hissəsinin digər hissəsinə nəzərən sürüşməsi baş verir.

Texnikada tətbiq edilən metallar və onların ərintiləri əsasən çoxlu dənələrdən ibarət olan yarımkristal olurlar, bir dənə həddində düzgün kristal qəfəs saxlanılır. Metallar üçün dənənin ölçüləri 1-1000 mkm, dənələr arasında sərhədin uzunluğu 0,5 nm-ə yaxın təşkil edir. Yarımkristalların dənələri nizamsız yer-ləşdiyi üçün onlar izotropdur, yarımkristalın istənilən səthinin xüsusiyyəti orta hesabla eynidir.

Metalların həcmində çoxlu sayda müxtəlif qüsurlar (boşluqlar, kənar atomların olması, dislokasiya) mövcuddur. Karbon sərbəst və yaxud əlaqəli vəziyyətlərdə olur, sabit qarışıqlar (S, Mn, P, S, O, H və s.), legirləyici elementlər (Cr,

Ni, W, V və s.), həmçinin dairəvi boşluqlar və submikroçatlar şəklində materialın bütövlüyünün dağılması mövcud olur.

Metalların quruluşunda dənələrin sərhədi xüsusi yer tutur. Yuxarıda qeyd olunan qüsurların yüksək konsentrasiyası nəticəsində materiallar bu sahədə zəifləmiş vəziyyətdə olurlar. Metallarda qüsurların mümkün olan konsentrasiyasının səviyyəsi haqqında mühakimələri lokal həcmdə çatların əmələ gəlməsi anına uyğun gələn, dislokasiyaların kritik sıxlığının hesabi-eksperimental yolu ilə qiymətləndirməklə aparmaq olur. Fe, Ni, Cu, Al, Mg və başqa metallar üçün bu qiymət 10^{10} - 10^{12} sm^{-2} həddlərində olur.

Araboşluqları və çatlar metallarda inkişaf etmiş mikrokapilyar şəbəkəni formalaşdırır, hansı ki, səthdə mikroskopik və submikroskopik çatlar sistemi və boşluqlar şəklində başlayır, sonra isə elementlərin faza səthlərinə ayrılmasına, struktur və daxili çatlara keçir. Metalların belə quruluşunun olmasına görə xarici mühit adsorbsiya və diffuziya prosesləri hesabına onun daxilinə keçir və bərk cisimlərin səth qatlarında mexaniki xüsusiyyətlərə fiziki-kimyəvi təsir göstərir.

Bərk cisimlərin qarşılıqlı təmas təsiri zamanı metalların həm həcmnin, həm də səthinin mexaniki xüsusiyyətlərini nəzərə almaq lazımdır. Həcmi xüsusiyyətlər bərk cisimin deformasiyasının mexanikasıdan məlum olan kəmiyyətlərlə E elastiklik modulu, σ_r -axıcılıq həddi, μ - Puasson əmsalı və s.-lə səciyyələnir. Səthi xüsusiyyətlər prinsipial olaraq həmin fiziki mənalı kəmiyyətlərə görə səciyyələnməlidir. Lakin, mürəkkəb olduğu üçün onların təyin olunması zamanı integral kəmiyyətlərdən - bərklik və mikrobərklikdən istifadə edilir. Bərklik - materialın bu xassəsi onun tərkibinə daha möhkəm etalon materialın daxil olunmasına müqavimət göstərməsidir.

Belə ki, Brinel üzrə bərklik HB sıxıcı qüvvənin F_n , materialın səthinə tablandırılmış poladdan olan D diametrlili

kürənin sıxılması nəticəsində əmələ gətirdiyi çuxurun sahəsinə S olan nisbətində bərabərdir:

$$B = \frac{F_n}{S} = \frac{2F_n}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

burada, d - izin diametridir.

Mikrobərklik H_0 almaz piramidanın materiala sıxılması zamanı təyin edilir:

$$H_0 = \frac{1,85F_n}{\alpha_1^2},$$

burada α_1 - mikroskop altında ölçülən izin diaqonalıdır, mm.

Bu üsulda istifadə edilən konstruktiv xüsusiyyətlər sürtünmə zamanı materialların deformasiya dərinliyi ilə ölçülən nazik səth qatlarında (10...50 mkm) mexaniki xüsusiyyətlərin təyin edilməsinə imkan verir. Poladın Brinel üzrə bərklik ədədi HB və qırılma zamanı möhkəmlik həddinin qiyməti σ_b arasında aşağıdakı təqribi empirik asılılıq vardır:

$$\sigma_b \approx 0,35HB.$$

Müasir texnikada konstruksiya materialları kimi polimerlər də metallar kimi əsas yerlərdən birini tutur. Onların tətbiq sahəsi fasiləsiz olaraq genişlənir. Polimerlərin fiziki-mexaniki xassələri metalların və ərintilərin xüsusiyyətlərindən fərqlənir. Polimerlər əsasən karbon və hidrogen atomlarından ibarət qrup atomların birləşməsi nəticəsində əmələ gələn böyük molekulardan ibarətdir. Polimerin molekulunun forma və

ölçülərindən asılı olaraq onun xassələri çox geniş həddlərdə dəyişə bilər.

Xətti polimerlər öz aralarında Ban-Der-Vals qüvvələri ilə əlaqəli olan xətti molekulara malikdir. Temperatur artdıqda belə polimerlər asanlıqla yumşalır və maye vəziyyətinə keçir ki, onların xassələrinin dəyişməsi tədricən baş verir (birinci dərəcəli faza keçidi - ərimə yoxdur). Otaq temperaturunda xətti polimerlərin strukturu təm amorfudur və yaxud müəyyən qədər kristalikdir. Xətti polimerlər 200-300 °S temperaturalarda təzyiqlə asanlıqla emal edilən termoplastların əsasını təşkil edir. Termoplastlara ftoroplast, polivinilxlorid, kapron, polietilen, polistirol və s. aiddir.

Qapalı fəza torlu quruluşa malik polimerlər termoreaktiv polimerlərin (fenolformaldehid qətranı, karbolit, etrol və digər **güclü doldurulmuş** polimerlər) əsasını təşkil edir. Termoplastik polimerlərin xüsusi sinfi kauçuktur. Vulkanizasiya edilmiş boz kauçuklar - rezinlər - termoreaktiv elastomerlər hesab olunur.

Polimer materiallar bir sıra üstünlüklərə malikdirlər. Bu üstünlüklərə müqaisə olunduqda aşağı nisbi dəyərli, hissələri hazırladıqda texnoloji, az sıxlıq və uyğun olaraq onlardan bəzilərinin daha yüksək nisbi möhkəm (şüşəplastiklər və s.), yaxşı izolə etmə xassəsi, aşınmaya davamlılığı olması aiddir. Bununla yanaşı polimer materiallar bəzi mənfi xüsusiyyətlərə malikdirlər. Bu mənfi xüsusiyyətlər onların temperatur təsirdən zaman keçdikcə fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinin aşağı düşməsi, ultrabənövşəyi və ionlaşdırıcı şüalanması, ətraf mühitə təsiri (oksigenə, azota, suya və başqaları), Huk qanununa tabe olmamasıdır.

Bu materialların elastiklik modulu temperaturdan və deformasiyanın sürətindən asılıdır. Onların otaq temperaturunda gözə çarpan axıcılığı aşkar olunur. Polimerlərdə elastik deformasiya zamanı kifayət qədər daxili sürtünmələrlə əlaqədar histeretis müşayət olunur. Polimerlər də aşağı istilikkeçiricili-

yinə malikdir ki, bu da onların friksion xüsusiyyətlərinə mənfi təsir göstərir.

Maşınqaqırmada son illər abraziv mühitdə yüksək yeyilməyədavamlılığı, az kütləsi və zərbəyə, titrəməyə yaxşı davamlı olduğu üçün yapışqan çəkilməmiş hissələr çox geniş istifadə edilir. Metallardan fərqli olaraq rezinlər dartılma zamanı deformasiya gərginliyi “S” şəkilli forma əyrisinə, otaq temperaturunda yüksək axıcılığa və qalıq deformasiyasına, kifayət qədər histerizisə malik olur. Rezinlərin mexaniki xassələri temperaturdan və yüklənmə rejimlərindən daha çox asılıdır. Onların deformasiya zamanı həcmi sabit qalır. Bundan başqa rezinlər yüksək kimyəvi davamlılığı ilə səciyyələnir. Eləcə də elastomerlər nadir xüsusiyyətlərə, elastikliyə, yüksək nisbi uzanmaya (100 % -ə qədər) malikdir. Bu xüsusiyyətlərə malik olmasına görə onlar şinlərdə, kipləşdiricilərdə, manjetlərdə və bir çox digər məsul maşın hissələrində geniş istifadə edilir.

2.2 Tsiklik yüklənmə zamanı hissələrin materiallarının vəziyyəti

Gərginlik vaxta görə qiymət və istiqamətini, yaxud ancaq qiymətcə dəyişərsə, onda belə yüklənmə dəyişən (tsiklik) yüklənmə adlanır.

Materialın dəyişən gərginliyin təsiri altında dağılmasına müqavimət göstərmək qabiliyyəti dözümlülük adlanır. Yorulma dəyişən gərginliklərin təsiri zamanı zədələnmələrin toplanması nəticəsində yorulma çatlarının əmələ gəlməsinə səbəb olduğu halda materialların dağılması hadisəsidir.

Dəyişən gərginliklərin əsas xüsusiyyətləri bunlar hesab olunur:

- tsiklin maksimum və minimum gərginliyi- σ_{\max} , σ_{\min} ;
- tsiklin orta gərginliyi

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2};$$

- tsiklin amplitud gərginliyi

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2};$$

- tsiklin asimetriya əmsalı

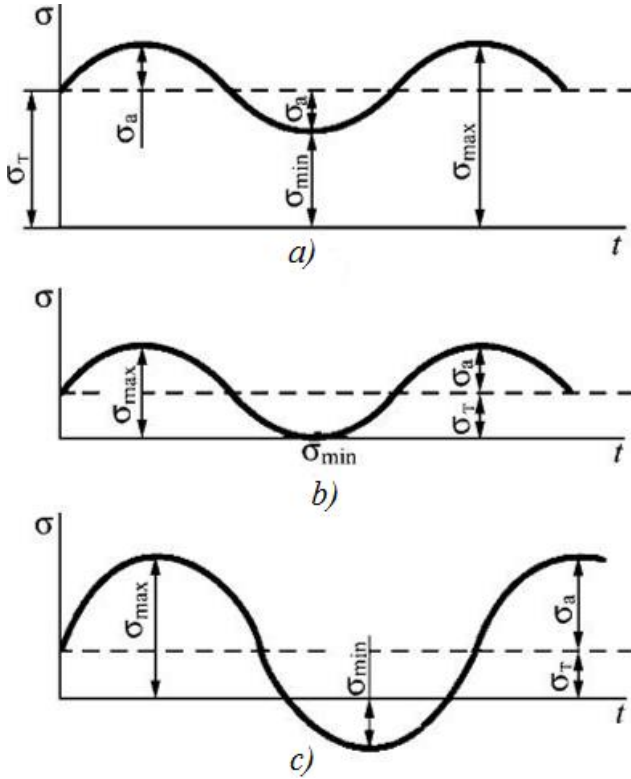
$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}.$$

Müxtəlif tsikllərdə tətbiq olunan dəyişən gərginliklər şəkil 2.2 - də göstərilmişdir.

Tsiklik yüklənmələrin aztsikilli və çoxtsikilli olmaqla iki növü vardır.

Aztsikilli yorulma yüklənməsi. Bu elə tsiklik yüklənmə halıdır ki, dağılma 10^5 sayda tsiklə qədər təkrar elastoplastiki deformasiya zamanı baş verir. Lakin həmin sərhəd şərti hesab olunur və elastoplastiki deformasiyadan elastiki deformasiyaya keçməsi ilə müəyyən edilir. Aztsikilli yorulmanın əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, işarəsi dəyişən deformasiya prosesində plastik histerezis ilgəyi əmələ gəlir (şək. 2.3).

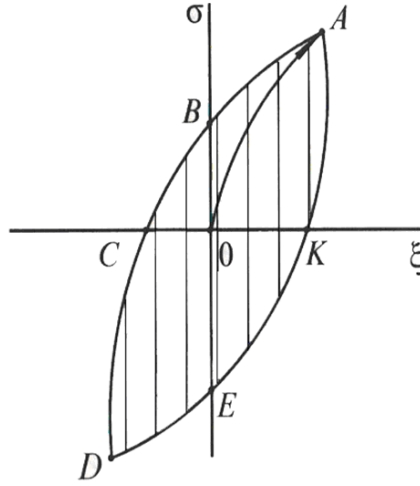
Plastik histerizis ilgəyinin sahəsi ədədi qiymətcə yüklənmənin hər bir tsiklində deformasiyanın qayıtmayan işinə bərabərdir. Bu işin əsas hissəsi istiliyə çevirilir və istilik mübadiləsi yolu ilə çıxır və bəzi nisbətən kiçik hissəsi aztsikilli yorulmanın zədələnmələrinin inkişafına sərf olunur. Materialin aztsikilli dağılmasında müqavimətini yorulma əyrilərinə görə mühakimə edirlər. Şəkil 2.4-də sxematik olaraq simmetrik tsikldə yüklənmənin dəyişməsi zamanı 45 markalı polad üçün yorulma əyrisi göstərilmişdir.



Şək. 2.2. Dəyişən gərginliklər tsikli
a-simmetrik; b-sıfırlayıcı; c-asimmetrik

AB sahəsində möhkəmlik həddinə yaxın yüksək şərti gərginliklərdə τ_{\max} , dağılma kvazistatik xassə daşıyır və boyunun əmələ gəlməsi və en kəsik sahəsinin azalması ilə həqiqi gərginlik tədricən artır və həqiqi həddi möhkəmliyin qiymətinə çatana qədər davam edir. BC sahəsində deformasiyaların lokallaşmasız çatlardan yorulma dağılması baş verir. BC sahəsi davam etdikdə o, çoxtsikilli yorulma əyrisinə keçir.

Çoxtsikilli yorulma yüklənməsi. Bu tsiklik yükləmə halında təkrar elastik deformasiyaların sayı 10^5 -dən 10^7 -yə qədər və daha çox tsikli olduqda dağılma baş verir.

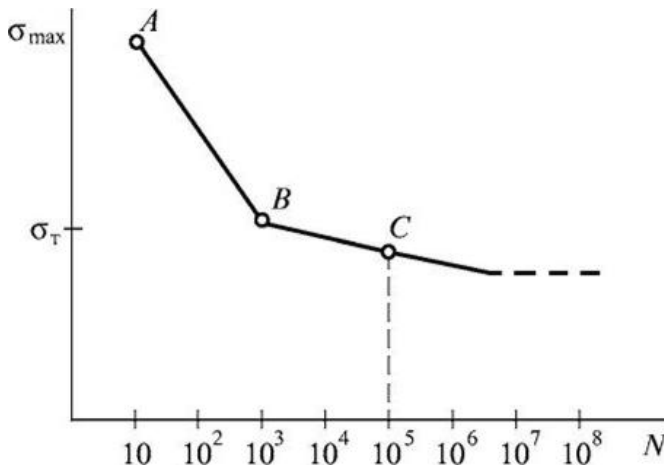


Şək. 2.3. Plastik histerezis ilgəyi

Kristalik materiallarda çoxtsikilli yorulma zamanı mikropplastik deformasiyanın hər bir tsikilində ayrı-ayrı gərginlikli kristalik dənələrdə inkişaf ilə əlaqədar olan sahəsi çox kiçik histerizis ilgəyi əmələ gəlir. Aztsikilli yorulma halında olduğu kimi deformasiyanın qayıtmayan işinin müəyyən hissəsi indi çox böyük sayda tsikillər müddətində istilik şəklində yox olur, lakin bu işin bir hissəsi yorulmadan zədələnmələrin inkişafına səbəb olur. Zədələnmələrin yığılması prosesini şərti olaraq iki mərhələyə ayırmaq olar: yox olmuş zədələnmələrin (mikroçat-ların, boşluqların və s.) mərhələsi və maqistral çatların (mikroskopik) inkişafı mərhələsidir ki, həqiqətən bu mərhələlər arasındakı sərhəd aradan qalxmışdır və onu müəyyən ölçüdə süni qeyd etmək lazım gəlir. Birinci mərhələdə yəni mikroçatların əmələ gəlməsi mexanizmi üzərində dayanılır.

Mikroskopik həcmərdə plastik deformasiya dislokasiyaların yerdəyişməsi ilə əlaqədar ayrı-ayrı dənələrin kristalik qəfə-sin düyünlərində atomların yerləşmələrinin qanuna uy-

ğunluğunun bəzi lokal pozulmasıdır (şək. 2.5). Kristalik qəfəsin daxilində bəzi dislokasiyaların vahid həndəsi tam kimi irəliləmə hərəkəti (sürüşməsi) üçün real toxunan gərginlikləri əmələ gətirən müəyyən sürüşmə qüvvələri tələb olunur. Başlanğıc dislokasiyalar müvafiq ərintinin kristallaşması prosesində əmələ gəlir və toxunan gərginliklərin müəyyən qiymətində onların hərəkəti (sürüşməsi) yeni dislokasiyalar yaradır. Həqiqi kristalların sürüşmə müstəvisində dislokasiyalar qeyri-bərabər paylanır, dəstdə qruplaşaraq “sürüşmə zolağı” adlanan zolağı əmələ gətirir ki, onlar sürüşmənin intensiv mikroskopik deformasiyasının zonalarıdır.

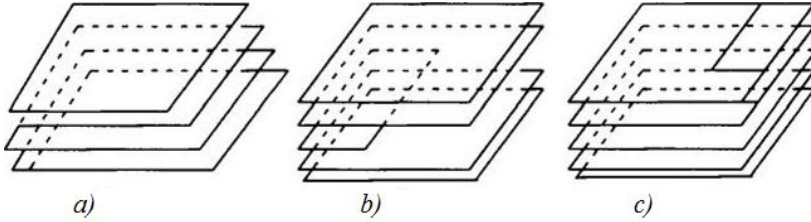


Şək. 2.4. Yorulma əyrisi

N -yüklənmə tsikllərinin sayı; σ_{\max} -gərginlik.

Dislokasiyadan başqa boşluqlar və daxil olmuş atomlar şəklində noqtəvi qüsurlar da mövcuddur. Boşlıqların əmələ gəlməsi kristalik qəfəsin düyünlərində atomların onların müvazinət vəziyyətləri yaxınlığında sabit rəqsi hərəkəti ilə əlaqədardır. Ayrı-ayrı atomların müvazinət vəziyyətindən yerdəyiş-

məsi o qədər böyük ola bilər ki, atom mövcud potensial səddi aradan qaldıraraq öz qəfəs düyünündən çıxır və orada boşluq yaradır.



Şək. 2.5. Şəbəkə müstəvilərinin konfigurasiyası
a -ideal kristal; *b* -kənar dislokasiya; *c* -vintvari
 dislokasiya

Tsiklik yüklənmələr prosesində hərəkət edən dislokasiyalar necə bir-biri ilə, eləcə də maniyyə rolunu oynayan boşluqlarla qarşılıqlı əlaqədə ola bilər. Dislokasiya düyünlərinin əmələ gəlməsi və onların kristal qəfəsin yerli pozulmalarının boşluqları qarşısında toplanması elə həddə çatır ki, mikroskopik çatların əmələ gəlməsi ilə əlaqədar olan fiziki əlaqələrin gərilməsi baş verir. Davam edən tsiklik yüklənmələr şəraitində mikroçatlar dislokasiyaların sürüşməsində maneə rolunu oynayır və onun sonunda kristal qəfəsin elə pozulması meydana gəlir ki, sonradan əlaqələrin dağılmasına gətirib çıxarır. Mikroçatların konsentrasiyası yeri çoxlu düyünlərdən və təqribən ən böyük toxunan gərginliklərin təsir müstəvisi istiqaməti ilə üst-üstə düşən idtiqamətdən keçən “sürüşmə zolaqlarını” əmələ gətirir.

Tsiklik yüklənmənin təsiri altında mikroçatlar birləşərək böyük çatlar əmələ gətirir, hansı ki, sonradan bu artaraq hissənin dağılmasına səbəb olur.

Çoxlu sayda qüsurlar və deməli, mikroçatlar hissənin səthində yerləşir, yəni aztsikilli və çoxtsikilli yüklənmə prose-

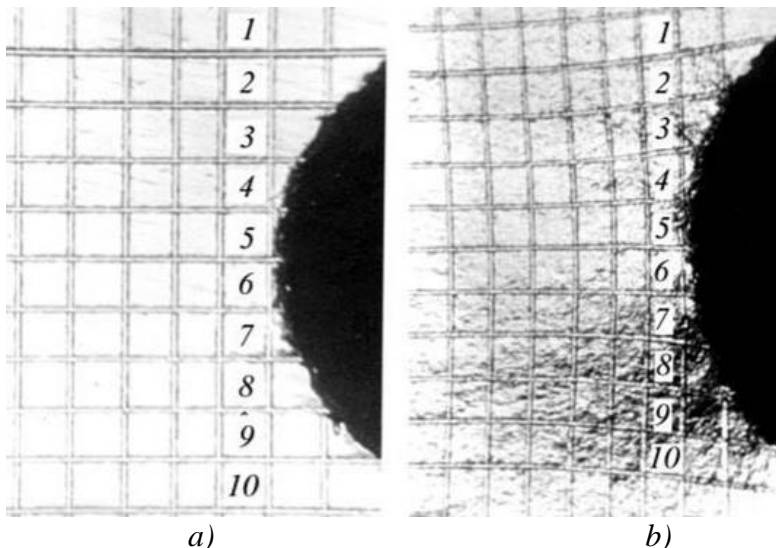
sində ilk növbədə səth qatı möhkəmliyini, bərkliyini itirir və müvafiq olaraq daha intensiv yeyilir.

Maşın hissələrinə dəyişən gərginliklərin təsirinin bütün müxtəlif xüsusiyyətlərindən aşağıdakıları aydınlaşdırmaq olar:

- dəyişən gərginliklərin təsirindən konstruksiyanın elementləri və onların səthləri qarşılıqlı kontakt təsiri zamanı statik yüklər təsir etdikdə dağılmasına nəzərən daha az gərginliklərdə dağılır;

- dəyişən gərginliklər təsir etdikdə xüsusən çoxlu sayda mikroçatlar əmələ gəlir ki, bu da onların səth qatlarının zəifləməsinə səbəb olur.

Şəkil 2.6-da dəyişən gərginliklərin təsirindən 100 tsiklə qədər və ondan çox aztsikilli yorulmalar zamanı çatların əmələ gəlməsinin tədqiq edilməsi üçün təyin edilmiş laboratoriya nümunəsi göstərilmişdir. Torda göstərilmiş yuvaların ölçüsü 20 mkm-ə bərabərdir.



Şək. 2.6. Laboratoriya nümunəsinin dağılmaya qədər (a) və 100 tsikl gərginlik təsirindən sonra (b) vəziyyətləri.

Nümunənin səthinin mikrofototəşkilində (şək. 2.6, *b*) belə gərginliklərin təsirindən metalın struktur elementlərinin zədələnməsi yaxşı görünür (xüsusən 7-10 yuvada) ki, onun nəticəsi yorulma çatlarının yaranmasına səbəb olur.

Hissələrin səth təbəqələrində tsiklik zədələnmələrin baş verməsi və inkişafı prosesi səthdə keyfiyyət dəyişikliklərinə səbəb olur, aşındırıcı maye və qaz mühitinin təsiri altında sürətlənir. Uzun müddətli dağılma şəraitinə uyğun “aşınmadan yorulma” termini tətbiq edilir və başlanğıc mərhələdə fiziki kimya mövqeyindən öyrənilir, lakin özünü gərginliklərin mərkəzləşdiriciləri kimi əmələ gələn səthlərin qopmaları və çatları artdıqca, mexaniki dağılma qanunları qüvvəyə minir.

Tsiklik yükləmə şəraitində işləyən hissələrin əsasən səth qatında mikroçatlar şəklində yorulma zədələnməsi yığılır ki, digər hissələrlə qarşılıqlı kontakt təsirində olduqda sürətli yeyilmə əmələ gəlir və hissənin vaxtından tez sıradan çıxmasına səbəb olur.

2.3. Səth qatının artıq enerjisi

Bərk cisimin və mayenin səthində artıq enerjisi vardır ki, onu səthi adlandırırlar. Maye halında səthin enerjisi asanlıqla səthi gərginlikdən təyin edilir. Bərk cisimlər üçün bu müəyyən çətinliklərlə əlaqədardır. Sürtünmə və yeyilmə prosesləri üçün səthi enerji vacib əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, o, səth qatının atomlarının fəallığı ilə səciyyələnir.

Məlumdur ki, əksəriyyət metallarda həcmdə hər bir atom on iki qonşu ilə, səthdə isə altı qonşu ilə əhatə olunmuşdur. Ona görə də səthi enerji təqribən sublimasiya enerjisi qədər, yəni bərk cisimin müstəqil atomlara ayrılması üçün lazım olan enerji qədər olmalıdır.

Səthi enerjinin qiyməti adgeziya əlaqələrinin əmələ gəlməsi qabiliyyətinə təsir göstərir. Adgeziya dedikdə öz aralarında kontakta səbəb olan müxtəlif cins cisimlər arasında cəzb-

etmə başa düşülür. Bu cəzəbmə molekulyar qüvvələrin qarşılıqlı təsiri ilə əmələ gəlir. Adgeziyadan fərqli olaraq bir cisimin daxilində atomlar və yaxud molekullar arasında olan cəzəbmə koqeziya adlanır. Səth enerjisi çox olduqca adgeziya əlaqələri bir o qədər möhkəm olur və kontaktda olan cisimlərin nisbi yerdəyişməsinə bir o qədər müqavimət olur.

Artıq səthi enerji həmçinin bərk cisimin səthinin kimyəvi fəallığını müəyyən edir. Ona görə də, normal şəraitdə bərk cisimin səthi heç zaman təmiz olmur. O həmişə müxtəlif səthi qatlarla (aşınma məhsulları ilə, adsorbsiya qatları və su qatları, adsorbsiya olunmuş karbonla) örtülür.

Bərk cisimlərdə təmiz səth almaq olduqca çətinidir. Əksəriyyət metallar oksidləşdiricilərlə ilk növbədə oksigen və kükürdlə fəal reaksiyaya daxil olur. Məsələn, hətta vakuumda 10^{-6} mm civə sütunu təzyiqdə bərk cisimin səthi təqribən 1 saniyə müddətində adsorbsialanmış qaz monoqatı ilə örtülür. 10^{-10} mm civə sütunu təzyiqdə bu vaxt bir neçə saat olur. Atmosfer təzyiqində yüzdə bir saniyə ərzində metalın səthində əmələ gəlmiş oksid qatı mühafizə təsirinə malik ola bilər və metallarda müəyyən qalınlıqda qat əmələ gəldikdən sonra onun artımı məhdudlaşır.

Bərk cisimin səthində oksidləşmiş qatdan başqa sulfid, su, (100 nm-ə qədər) polimer qatları da əmələ gəlir. Metal çox zaman polimerləşmə reaksiyasında katalizator rolunu oynayır. Bu qatlar yüksək möhkəmliyə malik olur və sürtünmə zamanı böyük rol oynayır. Onların sürtünmə prosesinə əsas təsiri ondan ibarətdir ki, möhkəm metallik rabitənin əmələ gəlməsinə mane olur və əvəzində daha zəif Van-der-vals rabitəsi yaranır. Əgər metalın oksidləşmə sürəti qatın sürtülüb silinməsi sürətindən kiçikdirsə, onda sürtünmə zamanı qat artmağa imkan tapmır və sürtünən səthləri izolə etmir. Adətən, oksidləşmiş qatların bərkliyi metalların bərkliyindən yüksək olur.

Əgər iki bərk cisimin səthlərini atomlararası məsafəyə qədər yaxınlaşdırsaq, bu zaman onlar arasında yaranan qarşılıqlı təsir qüvvəsi, bir cisimin atomları arasında yaranan qarşılıqlı təsir qüvvəsi kimi olur. Bu qüvvələr sürtünən səthlərin nisbi yerdəyişməsinə müqavimət göstərən əsas səbəbdir və sürtünmə qüvvəsinin molekulyar (adzeziya) toplananının yaranmasına səbəb olur.

Atomlararası qarşılıqlı təsir qüvvəsinin dörd əsas növü var:

- ionlu, kovalentli;
- Van-der-Valslı;
- metallik.

Bu qüvvələr fiziki və kimyəvi təbiətə malik ola bilər; onlar arasındakı fərq ilk növbədə qarşılıqlı təsir enerjisindən asılıdır. Ən çox universal olan Van-der-vaals rabitəsidir ki, təmamilə ətalətli maddələrin qarşılıqlı təsiri zamanı əmələ gəlir. Bu əlaqə ən zəifdir. Rabitələrdən ən möhkəm olanı kimyəvi ion rabitəsidir (cədv. 2.1).

Cədvəl 2.1

Rabitələrin növü, dağılma enerjisi və yaranma təbiəti

Rabitənin növü	Rabitənin gərginlik enerjisi, ev	Rabitənin yaranma təbiəti
1	2	3
İon	8,5	Ancaq müxtəlif cins atomlar arasında yaranır, bu zaman bir atom elektronların bir hissəsini verir, digəri isə alır. İon kristalları böyük istilik və elektrik müqavimətinə və az plastikliyə malikdir

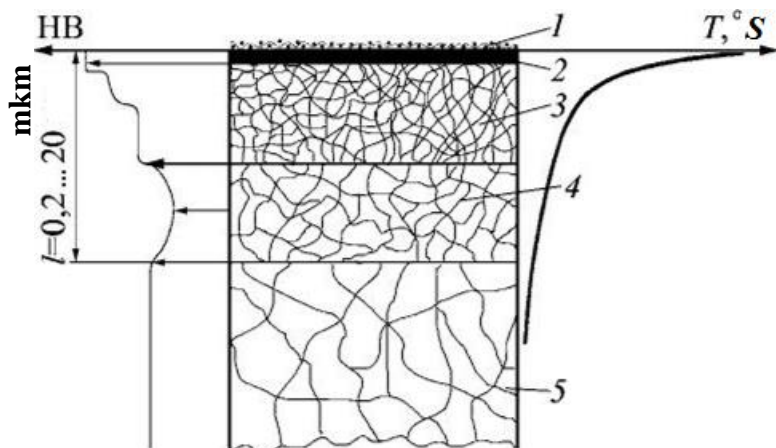
1	2	3
Koalent (koveonolyar)	6,0	Dayanıqlı elektron konfigurasiyaların, ayrıca atomların elektronlarının birləşməsi yolu ilə əmələ gəlir. Bu rabitənin təbiəti kovalent–mexanikidir (məsələn almaz). Az plastik-liyi, istilik və elektrik keçiri-ciliyi vardır.
Metallik	2,5	Sərbəst elektronların olması ilə müəyyən edilir. Bu “qaz” elə bil kristallik cərcivədə olan ionları “birləşdirir”. Sürtünən metallar arasındakı metallik rabitə ancaq oksidləşdirici qat olmadıqda və yaxud bu qatın silinmə sürəti onun yaranma sürətindən böyük olduqda mümkündür.
Var-der-Vaals	0,1	İstənilən molekul və atomlar arasında mövcuddur. Təbiəti-elektrostatikdir. Ən zəifdir, lakin ən universaldır və friksion qarşılıqlı təsir zamanı geniş yayılmışdır.

2.4. Maşın hissələrinin səth qatının quruluşu və fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri

Maşın hissələrinin səth qatlarında elastiki xüsusiyyətləri həcmi xüsusiyyətlərindən çox az fərqlənir (E və G). Plastik xüsusiyyətlər o cümlədən, mikrobərklik tələb olaraq dərinliyi boyunca dəyişir.

Hissələrin mexaniki emalı qatların deformasiyası və möhkəmlənməsi (pərçimlənməsi) ilə müşayiət olunur. Pərçim-

lənmə nəticəsində güclü deformasiya olunmuş kristal qəfəs əmələ gəlir ki, bu da möhkəmliyin, axıcılığın və mikrobərəkliyin artmasına səbəb olur. Növbəti aşağıda yerləşən qatın ayrı-ayrı dənələr arasında daxili gərginlikləri qeyri-bircins paylanmış, pozulmuş kristallik qəfəsə, atomların dayanıqsız, tarazlaşmamış vəziyyətinə, kristalların elastik pozulmuş sürüşmə müstəvisinə malik olur. Bütün bunlar müəyyən dərinlikdə metala dayanıqsız-quruluş vəziyyətini verir. Hissənin materialının səth qatının quruluşunu mexaniki emaldan və yaxud bir metalın digər metala nəzərən xarici sürtünməsindən sonra beş formada göstərilə bilər (şək. 2.7).



Şək. 2.7. Hissənin materialının səth qatının quruluşu

Sürtünmə və yeyilmə proseslərini tədqiq etdikdə materialların və hissələrin yorulma möhkəmliyi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Yorulma - əvvəlcə qeyd olunduğu kimi çoxsaylı (tsiklik) deformasiya nəticəsində hissənin metalının vəziyyətinin dəyişməsidir ki, çat əmələ gəlməsini, sonra isə dağılmasını sürətləndirir.

Yorulma möhkəmliyi materialın tsiklik yüklənməsi zamanı, onun dağılmasına qədər tsikllərin sayının təyin edilməsinə imkan verir (şək. 2.4-ə bax).

Sürtünmə zamanı səthin yorulmadan dağılması prosesi aşağıdakı ardıcılıqla baş verir:

- qəfəsin quruluşunda qüsurların əmələ gəlməsi;
- materialda mikroçatların əmələ gəlməsi;
- mikroçatlar xaricə çıxdıqda səthin dağılması.

Plastiki deformasiya zamanı kristal materiallarda bütün xüsusiyyətlərin dəyişməsi ancaq müvafiq termiki emal zamanı rekristallaşma prosesində aradan qaldırıla bilər.

Metalların rekristallaşması - bir kristal dənənin eyni fazadan olan qonşu dənələr hesabına əmələ gəlməsi və inkişaf etməsidir. Rekristallaşma soyuq deformasiyadan sonra qızma (bişirmə) zamanı baş verir. Nəticədə metalın möhkəmliyi, bərkliyi aşağı düşür və onun plastikliyi artır. Adətən polad üçün rekristallaşma temperaturu 300...400 °S olur.

Adsorbsiya - bərk cisimin səthinə məhlullardan və yaxud qazlardan maddələrin udulmasıdır (mərkəzləşməsi). Adsorbsiya baş verən cisim adsorbent adlanır.

Diffuziya -ionların, atomların, molekulaların, həmçinin daha böyük hissəciklərin hərəkəti nəticəsində, maddələrin hər hansı mühitdə onun mərkəzləşməsinin azalan istiqamətində yeyilməsidir.

Hissələrin qovuşmasında adsorbsiya və diffuziya yeyilmənin artmasında və yaxud azalmasında əhəmiyyətli rol oynayır.

2.5. Səthi-fəal maddələr. Rebinder effekti. Qriffits çatları

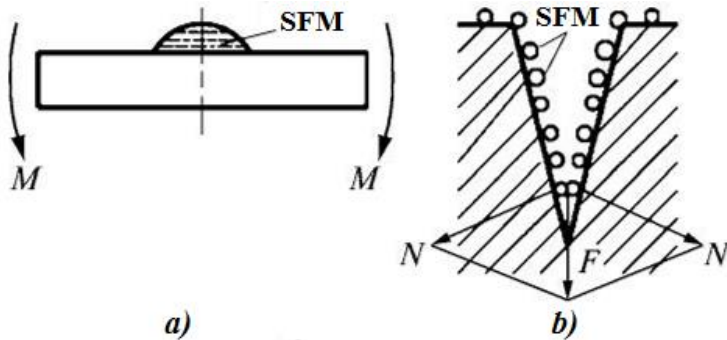
Mayelərin yaxud kristal bərk cisimlərinin digər mayelərdə əriməsi adətən ərintinin səthi gərginliyinin dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Bu zaman əriyən maddələrin konstruksiyası səth qatında ərintinin həcmindəki orta qiymətdən fərqlənir. Bu proses Qibbs tənliyi ilə aşağıdakı kimi yazılır:

$$\Gamma = \frac{C}{R\theta} \frac{d\sigma}{dC},$$

burada Γ -ərintinin 1 sm^2 səthində adsorbsiyalaşmış vasitələrin artıq konsentrasiyası, C -əriyən vasitələrin ərintidə həcmi konsentrasiyası, R -universal qaz sabiti; θ - mütləq temperaturdur.

Üst qatın enerjisini azaldan maddə ($d\sigma/dC < 0$) konsentrasiyanı artıraraq bu qatda artıq miqdarda adsorbsiyalaşır. Onlar səthi-fəal maddələr (SFM) adlandırılır. Tribologiyada SFM-in rolu çox böyükdür. Onlar praktiki olaraq hər bir yağlayıcı materialda (yağlı turşular, spirt, sabun və s.) olur və bərk cisimin mexaniki xüsusiyyətlərinə təsir göstərir.

1928-ci ildə P.A. Rebinder tərəfindən maye mühitin SFM-in təsirindən bərk cisimin səth qatının möhkəmliyinin adsorbsiyadan azalması effektini kəşf edilmişdir. Adsorbsiya effekti xarici və daxili olmaqla bir-birindən fərqlənir (şək. 2.8).



Şək. 2.8. Rebinder effekti

a – effektin xarici təzahürü; *b* – effektin daxili təzahürü.

Xarici effekt deformasiya edən bərk cisimin xarici səthinə SFM-nin adsorbsiyası nəticəsində baş verir (şək. 2.8 *a*). Onun həyata keçirilməsi üçün materialı əvvəlcədən yükləmək və uyğun SFM-i seçmək lazımdır.

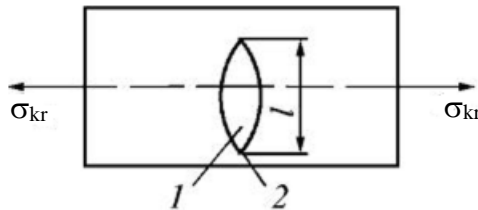
Daxili adsorbsiya effekti ayrılan daxili səthlərdə SFM-nin adsorbsiyasıyla əmələ gəlir. Bu səthlər bərk cisimin deformasiyası prosesində yaranmış germinal mikroçatlarda olur (şək. 2.8, b).

Rebinder effektinin fərqləndirici xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, o, ancaq mühitin və müəyyən gərginlikli birgə təsiri nəticəsində meydana çıxır.

Rebinder effekti və onun qanunauyğunluqları polimer materiallar üzərində də öz qüvvəsini saxlayır.

Rebinderin işləri vaxt baxımından A. Qriffitsin işləri ilə eyni vaxta təsadüf edir ki, o, həmin işlərdə texniki metalların möhkəmliyinin birinci fiziki modelini təklif etmişdir. O, iki həqiqətə diqqət yetirmişdir: metalların praktiki möhkəmliyi onların nəzəri möhkəmliyindən kifayət qədər aşağıdır; metalın həcmində daxili və xarici çatlar şəklində çoxlu miqdarda qüsurlar vardır.

A. Qriffits hesab edir ki, bərk cisimin dağılması ona tətbiq edilmiş dartıcı gərginliyin kritik qiymətə σ_{kr} çatdığı yerdə baş verir, çatların təpəsinin artıq yüklənməsinə səbəb olur, metalın nəzəri möhkəmliyinə bərabər olur, $\sigma_{nez} = \beta \sigma_{kr}$, burada β -gərginliklərin konsentrasiya əmsalıdır (şək. 2.9).



Şək. 2.9. Texniki metalın möhkəmliyinin fiziki modeli (Qriffits modeli):
1-çat; 2- gərginlik konsentratoru

Kritik gərginliyin qiyməti

$$\sigma_{kr} = \alpha \sqrt{\frac{EW}{l}},$$

burada, E -materialın elastiklik modulu; W -səthi enerjidir, qiymətcə səthi gərginlik əmsalına τ bərabərdir; l -çatın uzunluğu; α -mütənasiblik əmsalıdır.

A.Qriffitsin hipotezi sonradan eksperimentlər yolu ilə təsdiq edilmişdir. Onun modeli P.A. Rebinderin işləri ilə birlikdə sonrakı inkişafını tapdı. Həqiqətən, SFM müxtəlif çatlara daxil olaraq səthi enerjinin qiymətini W və onunla da materialın dağılmasına səbəb olan həddə kritik gərginliyi aşağı salır.

2.6. Sürtünmə səthlərində mayelərin və qazların hərəkətinin xüsusiyyətləri

Qazlar kinetik enerjisi olan, molekulları nizamsız hərəkət edən konqlomeratdır.

Onların xarakterik əlaməti sıxılmaqlığı və axıcılığıdır. Real qazların V həcmində hərəkəti Van-der-vals tənliyi ilə yazılır:

$$(p + p')(V - b) = R\theta ,$$

burada, p , V , θ - uyğun olaraq qazın təzyiqi, həcmi və temperaturu; p' -qazın daxilində molekulyar təzyiq; b -qazın molekullarının xüsusi həcmi; R -universal qaz sabitidir.

Mayelər qazlarla bərk cisimlər arasında aralıq vəziyyəti tutur. Onlarda bəzi qaydalar müşayət olur ki, burada molekullar qeyri-ciddi qeyd olunmuş vəziyyəti tutur və bir düyündən

digərinə hərəkət edir. Mayelərin həcmi xüsusiyyəti aşağıdakı tənliyə tabe olur:

$$p'(V - b) = R\theta.$$

Mayenin səth qatı onun həcmi vəziyyətindən fərqlənir, səthi enerjiyə malikdir və səthi gərginlik əmsalı σ , N/m ilə səciyyələndirilir. Maye ilə bərk cisim arasında qarşılıqlı adgeziya təsiri onları ayıran sərhəddə onların qarşılıqlı adgeziya təsirinin enerjisi ilə W_{ad} , $N \cdot m/m^2$ təyin edilir:

$$W_{ad} = \sigma_{bc} + \sigma_{mq} - \sigma_{bm},$$

burada σ_{bq} , σ_{mq} , σ_{bm} -uyğun olaraq bərk cisim-qaz, maye-qaz, bərk cisim-maye ayrılma sərhəddində səthi gərginlik əmsallarıdır.

Mayenin bərk cisimin səthində hərəkətini müəyyən edən ən vacib xüsusiyyəti islatmadır. O, aşağıdakı düsturla təyin edilən kənar islatma bucağı φ ilə xarakterizə edilir:

$$\cos \varphi = \frac{\sigma_{bq} - \sigma_{bm}}{\sigma_{mq}}$$

Yağlar üçün kənar islatma bucağı $0 < \varphi < 90^\circ$ həddində olur. φ -nin belə qiymətlərində maye səthi isladır və onun üzərində axmağa çalışır.

Mayenin səthi gərginliyinin səthin əyriliyi R ilə birlikdə qazın müəyyən həcmi daxilində (qabarcıq) Laplas tənliyi ilə təyin edilən əlavə təzyiq p yaradır:

$$p = 2\sigma_{mq} / R.$$

Onun qiyməti daha böyük ola bilər. Məsələn, su mühitində olan R havanın qabarcığında təzyiq 14 MPa-a qədər ola bilər. Havanın belə qabarcıqları maşın hissələrinin səthində çox yüksək sürətlə dağılır və nəticədə səthin xüsusi formada dağılmasına, kavitasiya yeyilmələrinə (Yunan sözündəndir, kavitasiya-boşluq) səbəb olur. Səthi kələ-kötür iki cisimin qovuşması zamanı onların kontakt sahəsində müxtəlif dar araboşluğu, yarıqlar, çatlar əmələ gəlir. Mayələrin dar kapilyarlarda hərəkətinin öz funksiyaları var. Məsələn, dar şaquli kapilyarda isladan maye öz ağırlıq qüvvəsini dəf edərək “ h ” hündürlüyünə qalxır:

$$h = \frac{2\sigma_{mq}}{r\rho g} \cos \varphi,$$

burada r -kapilyarın radiusu; ρ –mayenin sıxlığı; g – sərbəst düşmə təcilidir.

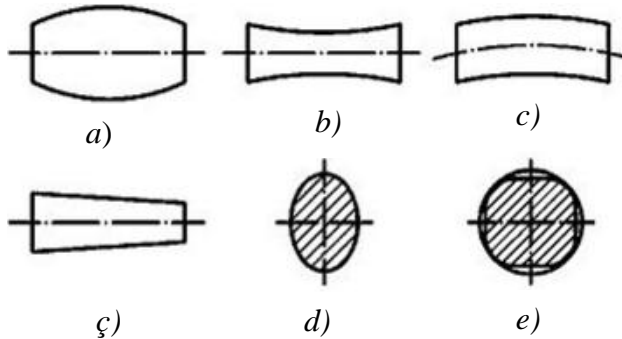
Tribologiyada bu effekt yastıqların metal-keramik materiallarında sürtünmə səthinə yağlayıcını vermək üçün istifadə edilir. Belə yastığın içliyi adətən əvvəlcə yağlarla hopdurulur və iş prosesində friksion qızma və həmçinin kapilyarlıq effekti hesabına yağlayıcı materialın hissəcikləri sürtünmə səthinə daxil olur.

III FƏSİL

Bərk cisimlərin kontaktı və səthlərin topoqrafiyası

3.1. Hissələrin səthlərinin makrohəndəsəsi

Maşın hissələrinin səthlərinin həndəsi forması, qarşılıqlı vəziyyəti və ölçüləri adətən cizgilərlə və texniki şərtlərlə verilir. Hissələrin hazırlanması və ya istismarı zamanı həndəsi formasının və yaxud makromeyllənmələrinin pozulması hissələrin yüksək sürətlə və qeyri-bərabər yeyilməsinə səbəb olur, hərəkətli birləşmələrin işinin dəqiqliyini aşağı salır, oturtmaların xüsusiyyətini dəyişir, kontakt sürtünməsi əmələ gətirir, həmçinin gərilməli oturtmalarda gərginliklərin qeyri-bərabər paylanması və cızılmalar mənbəyini yaradır. Təcrübədə müxtəlif forma meyllənmələrinə rast gəlmək mümkündür.



Şək. 3.1. Silindrik səthlərin forma meyllənməsinin növləri:

- a) qabarıqlıq; b) yəhər şəkilli; v) əyilmiş; q) konusluluq;
d) ovallılıq; e) tillilik

Şəkil 3.1 a - ç - də ən çox rast gəlinən silindrik səthlərin uzununa istiqamətdə forma meyllənmələri, 3.1 d - e -də isə eninə istiqamətdə forma meyllənmələri göstərilmişdir.

Maşınların keyfiyyətinin onların etibarlılığının və uzun-ömürlüylüyünün artması dərəcəsinə görə formasına texniki tələblər artır.

Ölçmə vasitələrinin fasiləsiz təkmilləşdirilməsi qovuşan hissələrin istismar xassələri və forma meyillənmələri arasındakı asılılığın analitik və eksperimental olaraq müəyyən edilməsi üçün imkanlar yaradır. Bu həmçinin mövcud standartların səviyyəsini yüksəltməyə və emal texnologiyasını, metrologiyasını, həmçinin maşında hissənin yerinə yetirdiyi funksiyanı, onun etibarlılığını və yeyilməyədavamlılıq tələblərini nəzərə almaqla onları təkmilləşdirməyə imkan verir.

3.2. Hissələrin səthlərinin mikrohəndəsəsi

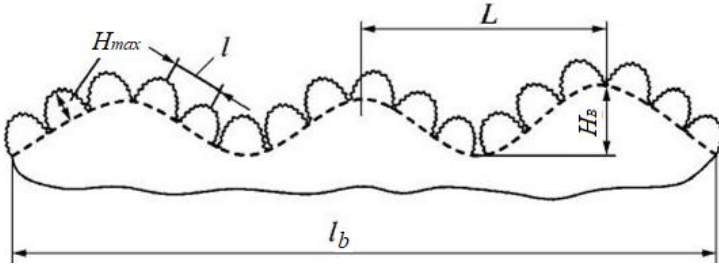
Maşın və mexanizmlərin detallarının səthi, səthin keyfiyyəti ilə qiymətləndirilir. Bundan başqa səthin keyfiyyəti onun fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri və mikrohəndəsəsi ilə müəyyən edilir.

Mikrohəndəsə detalın hazırlanma prosesində yaradılır. O, dalğalariliklə və kələ-kötürlüklə xarakterizə edilir (şək. 3.2).

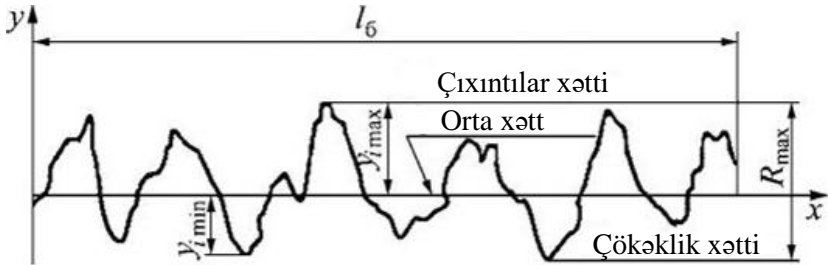
Dalğavarilik nisbətən böyük addımla müntəzəm təkrarlanan nahamarlıqların toplusudur. Mikrohəndəsənin xarakteri dalğanın addımının onun hündürlüyünə nisbəti ilə müəyyən edilir. Dalğavarilik üçün bu nisbət $\frac{L}{H_{\beta}} = 50 \div 100$ həddlərindədir. Burada L dalğanın addımı, H_{β} dalğanın hündürlüyüdür.

Kələ-kötürlük- müəyyən olunmuş baza uzunluğunda ($l_b = 80 \dots 8000 \text{ mkm}$) baxılan detalın səthində relyef yaradan nisbətən kiçik addımlı ($l = 2 \dots 800 \text{ mkm}$) və hündürlüklü ($H_{\max} \approx 0,025 \dots 320 \text{ mkm}$) nahamarlıqların toplusudur. Kələ-kötürlük üçün $\frac{l}{H_{\beta}} < 50$ -dir. Nəzərə almaq lazımdır ki, kələ-

kötürlüyü əmələ gətirən çıxıntıların səthi əlavə ikinci tərtibdən kələ-kötürlüyə - submikrokələ-kötürlüyə malikdir ki, onun qiymətləndirilməsi kifayət qədər etibarlı vasitələr olmadığı üçün normalaşdırılır.



Şək. 3.2. Səthin dalğalariliyinin və kələ-kötürlüyünün sxemi



Şək. 3.3. Səthin kələ-kötürlüyünün profiloqramı

Səthin kələ-kötürlüyü profilin orta xəttindən orta hesabi meyllənmə Ra və nahamarlıqların hündürlüyü ilə xarakterizə edilir.

Rz -i təyin etmək üçün l_b uzunluğa malik (l_b – baza uzunluğudur) profiloqram sahəsində beş ən böyük maksimum və minimum tapılır (şəkil 3.3) və bu on nöqtəyə görə Rz -in qiyməti hesablanır.

$$R_z = \frac{1}{10} \left(\sum_1^5 |y_{i\max}| + \sum_1^5 y_{i\min} \right), \quad (3.1)$$

burada, y_i - hesabi nöqtələrin orta xətdən olan məsafəsidir.

Profilin orta hesabi meyillənməsi aşağıdakı düstura əsasən təyin edilir:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_1^n |y_i|, \quad (3.2)$$

burada n – profil nöqtələrinin sayıdır.

3.3. Səthin mikrohəndəsəsinin qiymətləndirilməsi üsulları

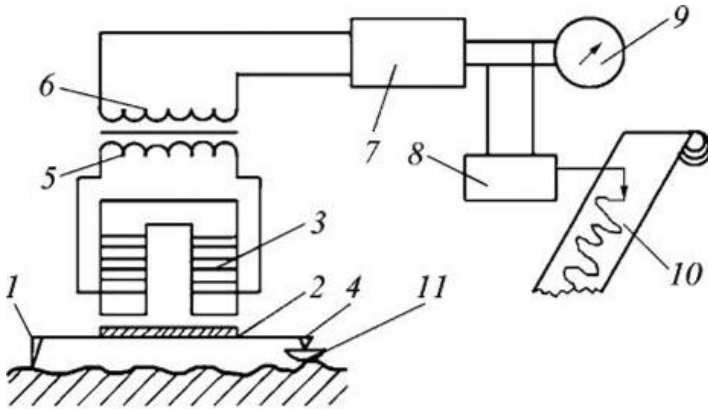
Səthin kələ-kötürlüyünü təyin etmək üçün müxtəlif üsullardan istifadə edilir. Lakin çox üsullarda səthin mikrohəndəsəsi yalnız onun profilinə görə qiymətləndirilir. Mil və optik üsullardan daha geniş formada istifadə edilir.

Optik üsul işıq kəsiyindən istifadəyə əsaslanır, hansı ki, səthə 45° bucaq altında dar parlaq işıqlandırılan yarıq proyeksiyalandırılır. Belə ki, səth nahamar olur, proyeksiya profilin formasını əks etdirir. Bu profil mikroskopun köməyi ilə ölçülə və şəkili çəkilə bilir.

Mil üsulu kələ-kötür səthdə kiçik dəyirmilik radiuslu (2...10 *mkm*) iynənin (1) (şək. 3.4) hərəkət etdirilməsindən ibarətdir. İynə lövbərlə (2) birləşdirilir və onunla birlikdə prizmaya (4) nəzərən dönmə bilər ki, bu zaman içliklə (3) lövbər arasında araboşluğu dəyişir.

Bu makarada (5) dəyişən cərəyanın dəyiş-məsinə səbəb olur. Cərəyan transformatorndan (6) gücləndiriciyə (7) və oradan özüyazan (8) və göstərici (9) cihazlara daxil olur.

Özüyazan cihaz xüsusi kağızda (10) tədqiq edilən səthin profiloqramını yazır.



Şək. 3.4. Mil cihazının sxemi

Prizma (4) oynaqly dayağa (11) nəzərən tərpənməz bərkidilmişdir. Kürəcik böyük ayrilik radi-usuna malik olduğundan dalğavarı səthdə olan mikroçuxın-tıların təpəsinə uyğun olaraq düşüb-qalxaraq şürüşür. Bunun sayəsində dalğalılığın təsirini aradan qaldırıb səthin kələ-kötürlüyünü yazmaq olar. Əgər oynaqly dayaq xüsusi hazır-lanmış (etalon) çox hamar səth üzərində sürüşərsə, onda iynə eyni zamanda həm kələ-kötürlüyü, həm də dalğalılığı yazı-caqdır.

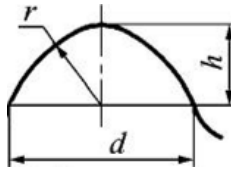
Rusiya Federasiyasının Moskva çəhərində “Kalibr” zavodunda işi yuxarıda göstərilən prinsipə əsaslanan profilometrlər-profilograflar seriyalı istehsal olunur.

3.4. Mikronahamarlıqların ayrilik radiusu və dayaq səthinin ayrisi

Mikronahamarlıqların ayrilik radiusu (şək. 3.5) aşağıdakı ifadəyə əsasən təyin edilir:

$$r = d^2/8h, \quad (3.3)$$

burada d - mikronahamarlığın yuxarı nöqtəsindən $h = 0,35Ra$ məsafədə götürülmüş əsasının enidir. Profilin nahamarlığının təpəsinin gətirilmiş radiusu $r_{gət}$ iki qarşılıqlı perpendikulyar istiqamətdə - eninə və uzununa radiusların orta həndəsi cəmi kimi təyin edilir.



Şək. 3.5. Mikronahamarlığın əyrilik radiusu.

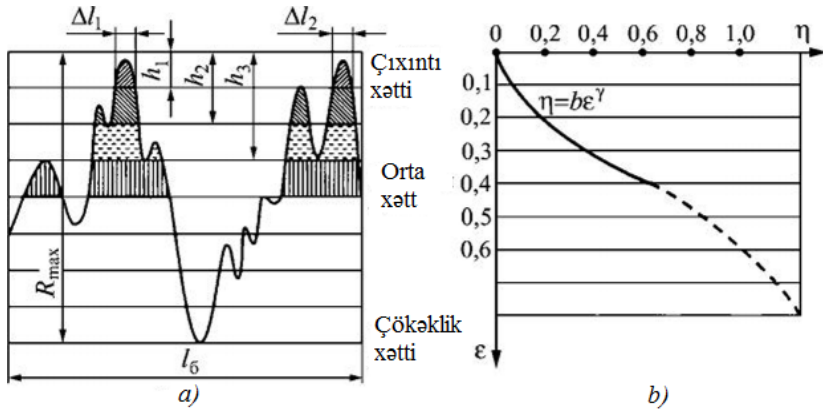
$$r_{get} = \sqrt{r_{enine}^2 + r_{uzununa}^2}$$

Ölçmə diapozonu $r_{gət}=5÷1350 \text{ mkm}$ -dir.

Kələ-kötür səthin profiloqramı sürtünmə prosesini öyrənmək üçün çox vacib olan mikrohəndəsənin bir sıra xarakteristikalarını almağa imkan verir. Onların sırasına dayaq səthinin əyrisi də aiddir (şəkil 3.6). Bu əyrini qurmaq üçün profiloqramı maksimum çıxıntının təpəsindən hər hansı $h_1, h_2...h_i$ səviyyəsində kəsirlər. Bundan sonra hər bir cari səviyyədə çıxıntıların kəsiklərinin parçaları cəmlənir $\sum \Delta l_i = \Delta l_1 + \Delta l_2 + ... + \Delta l_i$ və profilin nisbi dayaq uzunluğu tapılır:

$$\eta = \sum \Delta l_i / l_b, \quad (3.4)$$

Burada l_b – profilin baza uzunluğudur.



Şək. 3.6. Bərk cismin kələ-kötür dayaq səthinin əyrisi:
a-profilogram; b-dayaq əyrisi.

Bu qiymətlər absis oxunda qeyd olunur, ordinat oxu üzrə isə nisbi yaxınlaşmanın qiyməti $\varepsilon = h/R_{\max}$ (R_{\max} çıxıntının maksimum hündürlüyüdür) yazılır, ε və η koordinatlarında qurulan əyri nisbi koordinatlarda səthin dayaq əyrisi adlanır. Bu əyri hündürlük üzrə hər bir səviyyədə kələ-kötürlü qatda olan material hissəsini göstərir. Əyrinin başlanğıc hissəsi üstlü funksiya ilə təsvir olunur:

$$\eta_p = b\varepsilon^\gamma, \quad (3.5)$$

burada, b və γ emal növündən aslı olan bəzi parametrlərdir.

Bir çox hallarda $b = 0,5 \dots 3,5$; $\gamma = 1,3 \dots 2,3$.

Yuxarıda sadalanan parametrlərdən əksəriyyətini birləşdirsək, səthin mikrohəndəsəsi kələ-kötür səthin ölçüsüz kompleksi ilə xarakterizə oluna bilər:

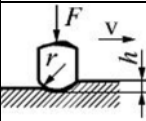
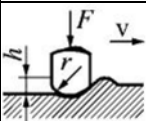
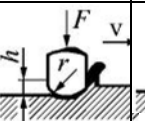
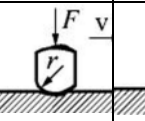
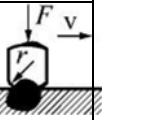
$$\Delta = R_{\max} / rb^{1/\gamma} \quad (3.6)$$

3.5. Nahamarlıqların kontaktı zamanı friksion əlaqələr

Normal və tangensial qüvvələr birlikdə təsir etdikdə izin əmələ gəlməsi, mövcud və ya yox olması friksion əlaqə adlanır. Normal və tangensial qüvvələrin təsiri altında əmələ gələn vahid kontakt izində friksion əlaqənin xüsusiyyəti həndəsi, mexaniki, fiziki və kimyəvi amillərdən asılıdır. Yuxarıda göstərilən amilləri nəzərə alan ən vacib komplekslərdən biri ölçüsüz h/r qiymətidir. Onun qiymətindən aslı olaraq vahid kontakt izində friksion əlaqələrin növü aşağıdakı kimi bir-birindən fərqləndirilir (cədv. 3.1).

Cədvəl 3.1

Friksion əlaqənin növləri

Parametr	Friksion əlaqənin növü				
	I	II	III	IV	V
	Elastiki Sıxışdırılma	Plastik sıxışdırılma	Mikro- kəsmə	Qatın tutuş- ması	Koqo- zion düzlən- dirmə
Friksion əlaqənin sxemi					
Dağılma ya qədər tsikllərin sayı	$n \rightarrow \infty$	$1 \leftarrow n \leftarrow \infty$	$n = 1$	$n = 1$	$n = 1$
Mövcud olma şərti	$\frac{h}{r} < K_0 \left(\frac{c \sigma_{\tau}^2 h}{E r} \right) > K_0 \left(\frac{c \sigma_{\tau}^2 h}{E r} \right) > \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\tau_0}{\sigma_{\tau}} \right) > 0,5$				$\frac{\tau_0}{\sigma_{\tau}} > 0,5$

I. Nahamar materialın elastiki sıxlaşdırılması zamanı kontakt gərginliyi elastiklik həddindən çox yüksəlmir. Bu hal polad üçün $\frac{h}{r} < 0,01$, əlvan metallar üçün isə $\frac{h}{r} < 0,001$ -dir.

II. Nahamar materialın plastiki sıxlaşdırılması zamanı kontakt gərginliyi axıcılıq həddinə çatır ($\frac{h}{r} < 0,5$).

III. Mikrokəsmə zamanı kontakt gərginliyi və yaxud deformasiya dağıdıcı qiymətə çatır ($\frac{h}{r} \geq 0,5$).

IV. Bərk cisimlərin biləvasitə kontakt səthində olan friksion əlaqənin adgezion pozulması. Friksion əlaqənin pozulmasının belə növü materialın dərinlik boyu mexaniki xüsusiyyətlərinin müsbət qradiyenti qaydasına rayət edildikdə $\frac{d\tau}{dh} > 0$, yəni materialın alt qatları səth qatlarına nəzərən daha möhkəm olduqda mümkündür.

V. Friksion əlaqənin koqezion pozulması materialın daxilində bəzi mikrohəcmələrin ayrılması ilə baş verir. Bu o zaman mümkündür ki, materialın nahamarlığının əlaqə möhkəmliyi materialın alt qatlarındakı möhkəmliyindən böyük olsun $\frac{d\tau}{dh} < 0$.

Plastik kontakt şəraitində daha bərk cismin vahid nahamar səthində plastik deformasiya edən materialın donub axması baş verir. Cisimlərin adgeziya qarşılıqlı təsiri ilə əmələ gələn tətbiqin h/r və sürüşmə müqavumətinin τ/τ_m müəyyən qiymətində materialın həcmində nahamarlığın qarşısında dayanma sahəsi əmələ gəlir və kontaktda friksion qarşılıqlı təsirin xarakteri dəyişir. Materialın plastiki sıxışdırılması mikrokəsiməyə keçir. Onun meydana çıxması şərti aşağıdakı bərabərsizliklə təyin edilir.

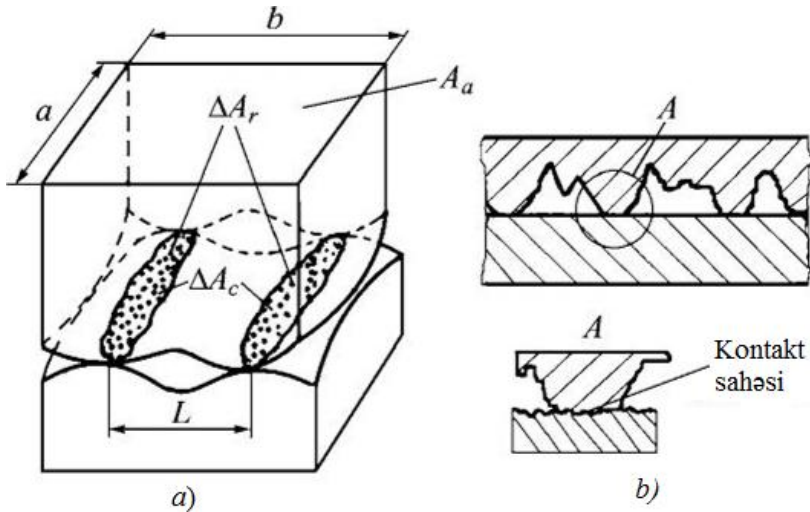
$$\frac{h}{r} > \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2\tau}{\sigma_r} \right), \quad (3.7)$$

burada, τ - adgeziyalı əlaqənin kəsilməsinin toxunan gərginliyi, σ_r - materialın axıcılıq həddidir.

Əgər yükün təsiri altında h/r qiyməti (3.7) bərabərsizliyi ilə müəyyən edilən kritik qiymətdən çox olarsa, onda kontaktda ən təhlükəli növ friksion qarşılıqlı təsir – mikrokəsmə baş verir.

3.6. Kələ-kötürlü səthlərin kontakt sahəsi

Kələ-kötür səthlərin kontaktı zamanı nominal $A_0 = axb$, kontur A_c , faktiki kimi toxunma səthləri bir-birindən fərqləndirilir (şək. 3.7).



Şək. 3.7. Bərk cismlərin kontaktı:
a-toxunma sahəsi, b-dayaq ayrısı

Hissələrin kontaktı zamanı onların səthi dalğavarı olduğu üçün kontaktın konturu əsasən dalğaların təpəsində yaranacaqdır. Hər bir belə sahə ΔA_c konturu ilə əhatə olunacaq, içərisində hansı ki, faktiki kontakt sahələri ΔA_l mövcuddur. Bu konturların biri o birindən dalğanın addımı L məsafəsində silinir. Ümumi kontur sahəsi $A_c = \sum \Delta A_c$ olacaqdır. Əksər hallarda kontaktın kontur sahəsinin qiyməti A_c kontaktın nominal sahəsinin A_0 qiymətinin 5...15 % -ə bərabər olur. Kontaktın faktiki sahəsi (FKS) $A_r = \sum \Delta A_r$ kələ-kötür səthləri əmələ gətirən mikronahamarlıqların kontaktını həyata keçirir. FKS adətən kiçik olur və nominal sahənin A_0 1...10 %-ə qədərini əhatə edir. Ayrı-ayrı mikroçixıntıların deformasiyası nəticə-sində əmələ gələn faktiki kontakt izinin diametri $d_2 = 10...20$ mkm olur. Buna uyğun olaraq kontakt təzyiqi-nin üç növü fərqləndirilir:

$$p_2 = F_n / A_2 - \text{faktiki təzyiq;}$$

$$p_c = F_n / A_c - \text{kontur təzyiqi;}$$

$$p_a = F_n / A_a - \text{nominal təzyiq,}$$

burada, F_n - nominal yüküdür.

FKS A_r maşın hissələrinin ayrılma sərhədində baş verən bütün fiziki və kimyəvi proseslərdə müstəsna rol oynayır.

Sürtünmə və yeyilmə, kontaktların elektriki- və istilikke-çiriciliyi, birləşmələrin sərtliyi, kimyəvi kontakt aşınması və pres birləşməsinin möhkəmliyi - bütün bu hadisələr həlledici dərəcədə bərk cisimlərin FKS-dən asılıdır. Cisimlərin faktiki kontakt sahəsini hesablamaq üçün fiziki modeli işlədikdə aşağıdakı eksperimental faktlar nəzərə alınır. Kələ-kötür səthlərin kontaktının diskret xarakteri vardır ki, bu zaman ayrı-ayrı nahamarlıqlar formaca sferik seqmentə yaxındır: faktiki

kontaktın elementar izi necə elastik, eləcə də plastik deformasiyalar nəticəsində əmələ gəlir: faktiki toxunma sahəsi tətbiq olunan yükə mütənəsbidir, onun artması ilə sahənin artması əsasən orta ölçüsü $d_2 = 10...20$ mkm həddində saxlanılmaqla yeni izlərin meydana gəlməsi hesabına baş verir.

Materialın axıcılıq həddindən σ_T çox yüksəlməyən kontakt təzyiqlərində, cismin gərginlikli-deformasiya vəziyyəti elastik sferanın elastik yarımfəza ilə kontaktı haqqında Hers məsələsinin həllindən müəyyən edilir. Material plastik vəziyyətinə kontaktda orta normal təzyiqlərdə aşağıdakı asılılığa uyğun olaraq keçir.

$$p_r = c\sigma_T, \quad (3.8)$$

burada, σ_T - bir oxlu gərginlikli vəziyyətdə materialın axıcılıq həddi; c - cismin forma təsirini nəzərə alan əmsaldır.

Eksperimental nəzəri tədqiqatların əsasında müəyyən edilmişdir ki, sfera üçün $c \approx 3$, ona görə material plastik vəziyyətə bu şərt daxilində keçəcək:

$$p_r \approx 3\sigma_T \approx HB, \quad (3.9)$$

burada, HB – materialın Brinel üzrə bərkliyidir.

r radiuslu ayrı-ayrı sferik nahamarlıqlar yastı səthlə faktiki kontakt səthi ΔA_r və cisimlərin yaxınlaşması a Hers nəzəriyyəsinə əsaslanır:

$$\Delta A_{ri} = 2,82 \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)^{2/3} (rF_n)^{2/3}; \quad (3.10)$$

$$a = 0,82 \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)^{2/3} r^{-1/3} F_n^{2/3}, \quad (3.11)$$

burada, $E_{1,2}$ və $\mu_{1,2}$ materialın elastiklik modulu və Puasson əmsalı; F_n normal yüküdür.

Sferik nahamarlıqların plastik deformasiyası halında onun kontakt sahəsinə kontaktda orta normal təzyiq materialın HB şkalası üzrə bərkliyinə bərabər olmasını qəbul edərək təqribi olaraq aşağıdakı ifadədən tapmaq olar:

$$\Delta A_{ri} \approx \frac{F_n}{HB}. \quad (3.12)$$

Kələ-kötür səthin hamar səthlə kontaktı zamanı FKS ayrı-ayrı çıxıntıların deformasiyası nəticəsində əmələ gəlmiş kiçik kontakt sahələrinin ΔA_{ri} cəminə bərabərdir:

$$A_r = \sum_1^n \Delta A_{ri}, \quad (3.13)$$

burada, n – kontaktda olan çıxıntıların sayıdır.

Onda nahamarlıqların plastiki deformasiyası halında

$$A_{r(pl)} = \frac{1}{HB} \left(\sum_1^n F_{ni} \right) = \frac{F_n}{HB}. \quad (3.14)$$

Nahamarlıqların elastiki deformasiyası zamanı

$$A_{r(elas)} = \int_0^n \Delta A_{ri} dn_r; \quad (3.15)$$

$$\Delta A_{ri} = \pi a_i; \quad n_r = nb \left(\frac{a_i}{R_{\max}} \right)^{\nu-1} \quad (3.16)$$

burada r , $a - F_n$ yükünün təsiri altında olan nahamarlıqların radiusu və yaxınlaşması; R_{\max} - nahamarlıqların maksimal hündürlüyü; b , ν - əyri dayaq səthinin parametrləri; n - A_c sahəsində bütün çıxıntıların sayıdır.

(3.11), (3.16) ifadələrini (3.15) ifadəsində nəzərə alaraq onu integrallasaq, $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ və $E_1 = E_2 = E$ qəbul etsək alarıq:

$$A_{r(elas)} = \left[\frac{2,35b^{1/2\nu} A_c^{1/2\nu} (1-\mu^2) r^{1/2} F_n}{2^{1/2\nu} K_1 R_{\max}^{1/2} E} \right]^{\frac{2\nu}{2\nu+1}}, \quad (3.17)$$

burada, $K_1 - \nu$ -dən asılı olan elementdir.

İki kələ-kötür səthlərin kontaktına keçmək üçün bir səthə aid ν , b , R_{\max} , r -in əvəzinə iki cismin xüsusiyyətlərini nəzərə alan, onların ekvivalent qiymətlərini V_Σ , b_Σ , $R_{\max \Sigma}$, r_Σ yazmaq tövsiyə edilir.

$$V_\Sigma = \nu_1 + \nu_2; \quad R_{\max \Sigma} = R_{\max 1} + R_{\max 2}; \quad r_\Sigma = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2};$$

$$b_\Sigma = \frac{K_2 b_1 b_2 R_{\max \Sigma}}{R_{\max 1}^{\nu_1} + R_{\max 2}^{\nu_2}}, \quad (3.18)$$

burada, $K_2 - \nu_1$ və ν_2 -dən asılı olan əmsaldır.

IV FƏSİL

Sürtünmənin təbiəti və növləri

Müasir mexanikada sürtünmə dedikdə, bərk cisimlərin toxunan səthlərinin qarşılıqlı təsirindən, həmçinin bərk, maye və qazlı mühitdə daxili hərəkətdə onların deformasiyası zamanı yaranan geniş hadisələr başa düşülür.

İlkin inkişaf, hidrodinamik rejimdə yağlanma zamanı, səthlərdə bir neçə molekulun nazik təbəqələrinin meydana gəlməsi (sərhəd yağlanması) və ya yağlanmadıqda (quru sürtünmə) hərəkət edən, sürüşən, diyirlənən cisimlərin nisbi hərəkətinə müqavimət qüvvəsi kimi xarici sürtünmənin tədqiqi olmuşdur.

Daxili sürtünmə bir cismin (bərk, maye və ya qaz) həcmində baş verən qarşılıqlı təsiri xarakterizə edir. Qarşılıqlı fəaliyyət seçilmiş qatın bütün həndəsi səthi üzrə aparılır. Maddə təbəqələrinin bir-birlərinə nisbətən hərəkətinin sürətlənməsi fasiləsiz və olduqca səlist şəkildə dəyişir.

Xarici sürtünmə ilə qarşılıqlı təsir ümumiyyətlə fərqli quruluşlu bərk cisimlər arasında olur və ikili atom-molekulyar və mexaniki təbiətə malikdir. Bu qarşılıqlı təsir bir-birindən təcrid olunmuş həqiqi kontaktın ayrı-ayrı zonalarında həyata keçirilir. Faktiki kontakt zonalarında sürüşmə sürəti kəskin şəkildə dəyişir.

Xarici və daxili sürtünmə arasındakı oxşarlıq hər iki sürtünmə növünün dissipativ proseslər olmasıdır.

Xarici və daxili sürtünmə arasında aşağıdakı fərqlər var:

1. Qarşılıqlı sürtünən səthlərin fərqli həndəsəsi. Xarici sürtünmədə sürtünən iki cismin kontaktı həmişə diskretdir, yəni ayrı-ayrı nöqtələrdə toxunurlar. Daxili sürtünmədə səthlərin toxunması davamlıdır (fasiləsiz).

2. Xarici sürtünmə zamanı cisim nisbi sürət vektoruna perpendikulyar istiqamətdə hərəkət edir. Daxili sürtünmə cisi-

min nisbi sürət vektoru istiqamətində laminar hərəkəti ilə xarakterizə olunur.

3. Xarici sürtünmə zamanı sürtünən səthlər arasındakı əlaqələrin yaranması və dağılması nazik bir səth qatında, daxili sürtünmədə isə deformasiya zonası onun bütün həcmiə əhatə edir.

Maşın və mexanizmlərdə sürtünmə onların sürtünmə qovşaqlarının işqabiliyyətlik resursunu, onların enerjisini və səmərəliliyini təyin edən deformasiyanın, dinamik, istilik, akustik, elektrik, adgeziya və digər proseslərin əsas səbəbidir.

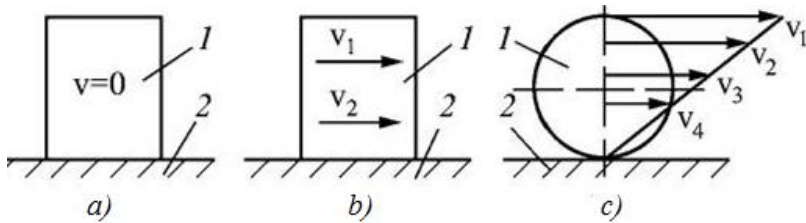
Xarici sürtünmənin kəmiyyət ölçüsü xarici sürtünmə qüvvəsi ayrı-ayrı nahamarlıqların kontakt zonalarında meydana gələn, eyni təsirli elementar sürtünmə qüvvələrinin nəticəsi hesab olunan nisbi sürüşməyə müqavimət qüvvəsidir. Bu qüvvə iki bərk cismin kontakt müstəvisində istiqamətlənir.

Kinematik əlamətlərinə görə sükunət, sürüşmə və diyirlənmə sürtünmə növləri bir-birindən fərqləndirilir (şək. 4.1). Bəzi hallarda sürtünmə və diyirlənmə sürtünməsi eyni zamanda baş verir. Məsələn, dişli ötürmələrdə yaxud relslə təkərlər arasında. Bu diyirlənmənin sürüşməylə müşayiət olunduğu hallarda müşahidə olunur.

Hərəkətsiz sürtünmə qüvvəsi tərpənməz cisimlərə tətbiq edilən və onların sürüşməsinə səbəb olmayan tangensial qüvvə adlandırılır (şək. 4.1, *a*). Sürüşmə sürtünməsi zamanı qovuşmuş cisimlər irəliləmə hərəkəti edir və hərəkət edən cismin müxtəlif nöqtələrinin nisbi sürətləri eyni olur (şək. 4.1, *b*).

Diyirlənmə sürtünməsi zamanı bir cisim başqa bir cisim üzərində diyirlənir və diyirlənən cismin müxtəlif nöqtələrinin nisbi sürətləri müxtəlif olur (şək. 4.1, *c*). Diyirlənmə sürtünməsi zamanı həmişə kontakt zonasında nöqtəni göstərmək olar, hansı ki, sürüşmə sürəti sıfıra bərabərdir. Eyni zamanda məlumdur ki, elastikliyi olan real cismlər bir nöqtədə yox, müəyyən sahədə kontaktda olurlar. Ona görə də bəzən yuxarıda

qeyd edildiyi kimi hər iki növ sürtünmə eyni zamanda əmələ gəlir.



Şek. 4.1. Xarici sürtünmənin növləri:
a-sükunət; b-sürüşmə; c-diyirlənmə

Sürtkü yağının olmasından və onun tıboqovşaqlardakı hərəkətinin xüsusiyyətindən asılı olaraq quru, sərhəd maye və qazlı və yaxud hidrodinamiki sürtünmə rejimləri fərqləndirilir.

4.1. Quru sürtünmədə sürüşmə sürtünməsinin əsas qanunauyğunluqları

Quru sürtünmə sürtünən səthlər arasında yağlayıcı materialar olmadıqda yalnız vakuuma ola bilər. Şerti quru sürtünmədə bərk cismin səthində adsorbsiya qatı olduqda əyləclərdə, friksion ötürmələrdə və muftalarda, məhsulun korlanmaması və yaxud təhlükəsizlik baxımından yağlanmayan toxuculuq, qida və kimya sənayesində quru işləyən sürtünmə düyünlərində rast gəlinir.

Xarici sürtünmə bərk cisimlərin faktiki toxunma sahələrində baş verən mürəkkəb fiziki-mexaniki və mexaniki-kimyəvi proseslərlə müşayiət olunan hadisədir. Xarici sürtünmə ikili təbiətə malikdir. O, faktiki kontakt sahələrində molekulyar qarşılıqlı təsir qüvvələrinin və sürtünən səthlərin formasının dəyişməsi ilə əlaqədar mexaniki müqavimətlərin aradan qaldırılması zamanı enerjinin sərf olunmasına səbəb olur. Sürtün-

mənin qiymətləndirilməsi üçün sürtünmə əmsalından “ f ” istifadə edilir, hansı ki, sürtünmə zamanı iki cismin nisbi yerdəyişməsinə müqavimət qüvvəsinin F_{tr} cisimlərin səthlərinə təsir edən xarici qüvvələrin normal toplananına olan nisbəti ilə təyin edilir:

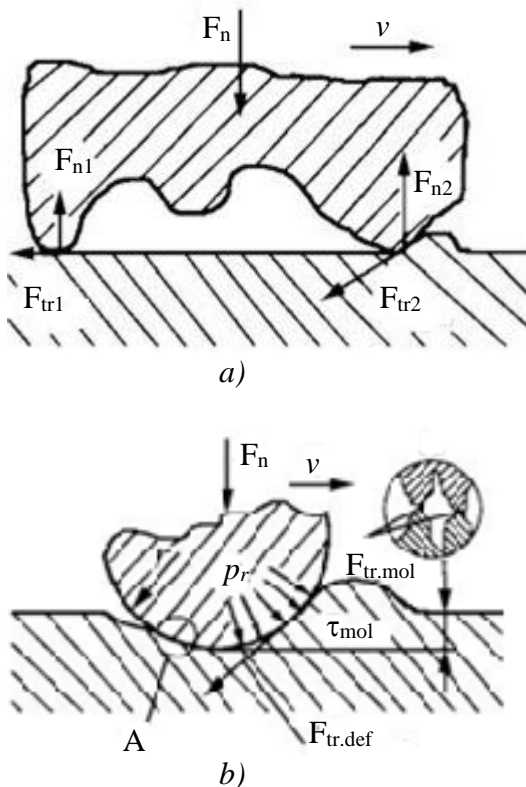
$$f = F_{tr} / F_n \quad (4.1)$$

Ancaq bu əmsalın alındığı rejimlər və şəraitlər göstərilməyən sorğu ədəbiyyatlarından istifadə edərək sürtünmə əmsalının “ f ” qiymətinin verilməsi həmişə düzgün olmur. Sorğu ədəbiyyatlarında sürtünmə əmsalı üçün göstərilən məlumatlar çox zaman onların alınma şəraiti göstərilmədikdə təqribi olur və sürtünmə şəraitindən asılı olaraq eyni bir cüt üçün sürtünmə əmsalının qiyməti çox böyük həddlərdə dəyişə bilər. Hal-hazırda ən çox inkişaf etmiş sürtünmə nəzəriyyəsi, sürtünmənin molekulyar-mexaniki nəzəriyyəsidir. Onun əsası XX əsrdə B. V. Deryaquin, İ. V. Kraqelskiy, F. Bouden, D. Teylor və başqa alimlərin əməyi sayəsində yaradılmışdır.

Molekulyar-mexaniki nəzəriyyəyə uyğun olaraq bərk cisimlərin sürtünməsinə başa düşmək üçün ən əhəmiyyətli odur ki, səthlər kələ-kötür və dalğavari olduğu üçün onların kontaktı diskret olur, yəni ayrı-ayrı sahələrdə kontakt baş verir. Mexaniki qarşılıqlı təsir ayrı-ayrı toxunma nöqtələrinin tətbiq edilməsi ilə əlaqədardır. Bir səthin digər səthə daxil olması ancaq mövcud kələ-kötürlüklərin hesabına deyil, anizotrop mexaniki xüsusiyyətlərin təsirindən yaranan yükün altında yaranan deformasiya ilə də baş verir (şəkl. 4.2).

Molekulyar qarşılıqlı təsir iki cismin səthlərinin qarşılıqlı cəzb edilməsi sayəsində meydana çıxır. Belə ki o, məsafənin 4-cü dərəcəsinə tərs mütənasib olaraq dəyişir və ona görə də praktiki olaraq molekulyar cəzbətmə nəzərə alınmaz qədər

azdır və yaxud həcmdə möhkəm əlaqənin əmələ gəlməsinə səbəb olur. Dağılma yalnız sürüşmə zamanı ola bilər.



Şək. 4.2. İki kələ-kötür səthin kontaktı:

a-iki nahamarlığın qarçılıqlı kontaktı zamanı yaranan sürtünmə qüvvəsi; *b*-deformasiya edici cisimlə sərt sferanın kontaktı; F_n -normal yük; F_{tr} -sürtünmə qüvvəsi; τ_{mol} -kəsiyin toxunan gərginliyi; r və h -nahamarlığın radiusu və onun təsir dərinliyi; $\Delta F_{tr,mol}$ və $\Delta F_{tr,def}$ -ayrı-ayrı nahamarlıqda mövcud olan sürtünmə qüvvəsinin molekulyar və deformasiyaedici təşkilediciləri

Sürtünmə qüvvəsinin cəm qiyməti aşağıdakı kimi tapılır:

$$F_{tr} = F_{tr.mol} + F_{tr.def} = \sum_1^{n_i} \Delta F_{tr.mol} + \sum_1^{n_i} \Delta F_{tr.def}, \quad (4.2)$$

burada, $F_{tr.mol}$ və $F_{tr.def}$ ayrı-ayrı nahamarlığa təsir edən, h dərinliyinə daxil olan (şəkl. 4.2, *b*) və **deformasiya olunan cisim üzərində hərəkət edən sürtünmə qüvvəsinin molekulyar (adqeziya) və deformasiya toplananlarıdır.**

Tənliyin sol və sağ hissəsini normal qüvvəyə F_n bölsək, sürtünmə əmsalı üçün molekulyar və deformasiya toplananlarının cəminə bərabər olan ifadəni alırıq.

$$f = f_{mol} + f_{def} = \frac{\sum_1^{n_i} \Delta F_{tr.mol}}{F_n} + \frac{\sum_1^{n_i} \Delta F_{tr.def}}{F_n} = \frac{F_{tr.mol}}{F_n} + \frac{F_{tr.def}}{F_n}, \quad (4.3)$$

Bu toplananları ayrı-ayrı nahamarlıqlar daxil olan hal üçün təyin edilərək molekulyar toplanılır. Bu məsələyə baxıldıqda qəbul olunur ki, molekulyar əlaqənin sürüşmə müqaviməti τ hissəciyin oturaq həyat vaxtına t mütənəsbidir:

$$\tau = at, \quad (4.4)$$

burada, a – mütənəsiblik əmsalıdır.

Hissəciyin oturaq həyat vaxtı üçün Frankel tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$t = t_0 \exp\left(\frac{u'}{kT}\right), \quad (4.5)$$

burada, $t_0 = 10^{-12}$ san - vaxt sabiti; u' - molekulyar əlaqənin aktivləşmə enerjisi; T - mütləq temperatur; k – Bolsman sabitidir.

Sürtünmə şəraitində, friksion kontaktda toxunan və normal yüklər olduqda, aktivləşmə enerjisini aşağıdakı cəm kimi təqdim etmək olar:

$$u' = u + \gamma p_r, \quad (4.6)$$

burada, u – aktivləşdirmə enerjisi; γ - sabit; p_r - kontaktda olan faktiki təzyiqdir.

Onda (4.4) tənliyi (4.5) və (4.6) tənliklərini nəzərə alsaq, bu formaya düşər:

$$\tau = at_0 \exp[(u + \gamma p_r) / kT] \quad (4.7)$$

(4.7) tənliyini sıraya salsaq, alarıq

$$\tau = at_0 \left(1 + \frac{u}{kT} + \frac{\gamma p_r}{kT} \right). \quad (4.8)$$

Aşağıdakı əvəzləmələri etsək;

$$at_0 + at_0 \frac{u}{kT} = \tau_0; \quad at_0 \gamma / kT = \beta.$$

Onda alarıq

$$\tau = \tau_0 + \beta p_r. \quad (4.9)$$

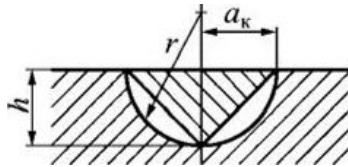
Bu tənliyin hər iki tərəfini p_r -ə bölsək, ayrı-ayrı nahamarlıqlar üçün sürtünmə əmsalının molekulyar toplananının qiymətini alırıq:

$$f_{mol} = (\tau_0 / p_r) + \beta, \quad (4.10)$$

burada, τ_0 – molekulyar əlaqənin kəsilmə gərginliyi; β – pyezo əmsalıdır.

Bu parametrlər materialların səth qatlarının xarakteristikalarından və kontaktda olan cisimlərin səthini örtən qatdan asılıdır. Əksəriyyət metallar və polimerlər üçün $\tau_0 = 0,2...30 \text{ MPa}$, $\beta = 0,02...15$.

Sürtünmə qüvvəsinin deformasiya toplananı. Tutaq ki, kəsiyin sahəsi nahamarlığın hərəkət istiqamətinə perpendikulyardır, birinci yaxınlaşmada onun sahəsi cızılmış üçbucağın sahəsinə bərabər olacaqdır: $A = ha_x$ (şəkil 4.3).



Şək. 4.3. Kontaktın sxemi:

a_k -kontakt izinin radiusu; h -daxil olma dərinliyi;

r -sferik seqment formalı nahamarlığın radiusu

Əgər material müstəvisinin axıcılıq həddi σ_T hərəkət istiqamətində nahamarlığa təsir edən gərginliyə uyğun gələrsə, onda sürtünmə qüvvəsinin deformasiya toplananı aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$F_{TP.def} = ha_k \sigma_T \quad (4.11)$$

Belə nahamarlığa təsir edən normal yük:

$$F_n = \frac{\pi a_k^2 \sigma_n}{2}, \quad (4.12)$$

burada, σ_n – normal gərginlikdir (hərəkət istiqamətinə perpendikulyardır).

Onda $\sigma_n \approx \sigma_T$ şərti təmin olunduqda sürtünmə əmsalının deformasiya toplananını alırıq:

$$f_{def} = \frac{F_{sür.def}}{F_n} = \frac{2h}{\pi a_k} \quad (4.13)$$

və yaxud seqmentin radiusunu $a_k = \sqrt{2hr}$ nəzərə almaqla son olaraq alırıq:

$$f_{def} = k \sqrt{\frac{h}{r}}, \quad (4.14)$$

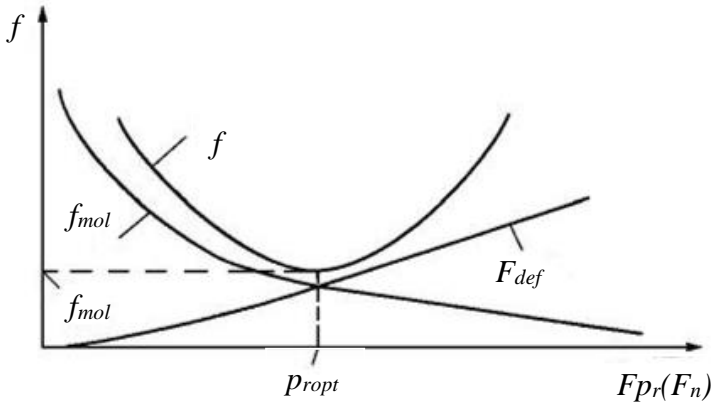
burada plastik kontakt olduqda $k = 0,55\alpha$; elastik kontakt olduqda $k = 0,19\alpha$ (α -materialda histerezis itkisi əmsalıdır).

Vahid nahamarlıq üçün ümumi sürtünmə əmsalı aşağıdakı formada olacaqdır:

$$f = f_{mol} + f_{def} = \frac{\tau_0}{p_r} + \beta + k \sqrt{\frac{h}{r}}, \quad (4.15)$$

burada τ_0 - molekulyar əlaqənin xüsusi sürüşmə möhkəmliyi;
 p_r - faktiki kontakt səthində təzyiq; β - normal sıxıcı gərginliklərin təsirindən molekulyar əlaqənin möhkəmləndirilməsi əmsalı (pyezo əmsal); h - nahamarlığın tətbiq olunma dərinliyi;
 r - nahamarlığın radiusudur.

(4.5) ifadəsinin analizi göstərir ki, elastik kontakt zamanı yükün artması ilə faktiki təzyiq p_r artır və uyğun olaraq sür-tünmə əmsalının molekulyar toplananı kiçilir (birinci iki toplanan). Eyni zamanda nahamarlığın tətbiq (daxil) olması h artır və nəticədə sür-tünmə əmsalının deformasiya toplananı artır. Ümumi halda f minimumdan keçir və bu minimuma uyğun gələn təzyiqin p_{ropt} müəyyən optimal qiyməti mövcud olur (şək. 4.4).



Şək. 4.4. Sür-tünmə əmsalının yükədən asılılığı

R_z -in azalması A_r -in artmasına və f_{mol} artmasına səbəb olur. Çıxıntıların hündürlüyünün artması və bunun nəticəsində onların təpələrinin dəyirmilik radiusunun azalması sür-tünmə qüvvəsinin deformasiya toplananının artmasına səbəb olur.

Bir tərəfdən temperatur artdıqda molekulyar (adzeziya) əlaqənin möhkəmliyi azalır, digər tərəfdən isə kontaktın plastikliyi və uyğun olaraq onun sahəsi də artır. Burada f artır.

Kontakt sahəsində temperatur əhəmiyyətli dərəcədə sürüşmə sürətindən v asılıdır. Ümumi halda sürtünmə əmsalının sürətdən asılılığı maksimumdan keçir ki, onun vəziyyəti kontaktdakı təzyiqdən p_r asılıdır. Maksimumun olması sürtünmə zamanı deformasiya olunan materialda əmələ gələn histerizis itgiləri ilə izah edilir.

Belə ki, friksion kontakt bircins olmayıb və diskret olduğu üçün real cisimlər üçün sürtünmə qüvvəsi ayrı-ayrı kiçik toxunma sahələrində əmələ gələn elementar sürtünmə qüvvələrinin cəmindən ibarət olur.

Təcrübədə friksion əlaqənin bir növ yüklənmədən digərinə keçdikdə adətən sürtünmə əmsalı dəyişir. f hesablandıqda kontaktın növünü: elastik, plastik (doymamış və yaxud doymuş) və yaxud elastikplastikliyi nəzərə almaq lazımdır.

Elastik kontakt triboqovşaqlarda təsir edən yük və molekulyar qarşılıqlı təsir qüvvələri detalların materiallarının səth qatlarında materialın axıcılıq həddindən çox gərginlikləri əmələ gətirmədikdə olur. Plastik kontakt materialın axıcılıq həddindən böyük olan kontakt gərginlikləri ilə xarakterizə edilir hansı ki, bu da kiçik bərkliyi olan hər bir nahamarlığın səthə tətbiq edilməsinə gətirib çıxarır.

Kontaktda olan nahamarlıqların sayına görə doymuş və doymamış kontaklar bir-birindən fərqləndirilir.

İki kələ-kötür səthin kontaktı, toxunmanın kontakt səthində yerləşən nahamarlıqların sayı kontaktda olan nahamarlıqların sayına bərabər olduqda əmələ gələn doymuş adlanır. Doymuş kontakt böyük bərkliyi olan kələ-kötür səthin az kələ-kötürlüyə və az bərkliyə malik materialın düz səthi üzrə sürüşmə şəraiti üçün xarakterikdir.

Doymamış kontakt toxunan kontakt sahəsində yerləşən nahamarlıqların sayı kontakda olan nahamarlıqların sayından az olduğu zaman yaranır. O, bərklikləri bir-birindən çox az fərqlənən cisimlərin sürtünməsi zamanı yaranır. Maşınların əksəriyyət triboqovşaqları elastikplastik deformasiyalarda və plastik doymamış və yaxud doymuş kontakt şəraitində işləyirlər.

Friksion qarşılıqlı təsirin xarakterini nəzərə alaraq İ. V. Kraqelskiy və N. M. Mixin plastik kontakt üçün sürtünmə əmsalını $p_r \approx HB$ şəraitində təyin etməyi tövsiyə edir:

$$f = \frac{\tau_0}{HB} + \beta + 0,5\alpha \sqrt{\frac{h}{r}}, \quad (4.16)$$

(4.16) ifadəsindən istifadə edərək sürtünmə əmsalını dəqiq təyin etmək imkanı yoxdur, belə ki, kontakt sahəsində elastikplastik deformasiya zamanı bərk cisimlərin qarşılıqlı qüvvə təsiri prosesi zəif öyrənilmişdir və bu sürtünən səthlərdə nahamarlıqların daxil olmasının əhəmiyyətinin kifayət qədər dəqiqliklə müəyyən edilməsinə imkan vermir.

Mühəndis hesablamalarında plastik doymamış kontakt şəraitində işləyən detalların sürtünmə əmsalını hesablamaq üçün aşağıdakı formuldan istifadə edilir:

$$f = \frac{\tau_n}{HB} + 0,44\Delta^{1/2} \left(\frac{2p_c}{HB} \right)^{1/4}, \quad (4.17)$$

burada, τ_n – molekulyar qarşılıqlı təsir nəticəsində metalların səth qatlarında əmələ gələn toxunan gərginlik; p_c - kontur təzyiqi; Δ - kələ-kötür səthin kompleks xarakteristikasıdır, $\Delta = R_{\max} / (rb^{1/\gamma})$.

(4.17) formulunun birinci tərkib hissəsi, sürtünmə əmsalının molekulyar toplananını, ikinci tərkib hissəsi isə deformasiya toplananını xarakterizə edir.

Doymuş plastik kontakt şəraitində işləyən hissələrin sürtünmə əmsalı aşağıdakı ifadəyə əsasən təyin edilir:

$$f = \frac{\tau_n}{HB} + 0,76 \left(\frac{R_{\max}}{r} \right)^{1/2} \left(\frac{p_c}{HB} \right)^{1/2}. \quad (4.18)$$

Plastik kontakt şəraitində işləyən ağır yüklənmiş tribo-qovşaqların xarici sürtünmə əmsalını təqribi hesablamaq üçün aşağıdakı ifadədən istifadə etmək olar:

$$f = \frac{0,65 [10 + \lg(60 \cdot 10^4 (R_z / E_{\text{get}}) \rho_{\text{get}})]}{\mu^{0,07} v_{\Sigma}^{0,12} v_{ns}^{0,2}}, \quad (4.19)$$

burada, ρ_{get} - səthin əyriliyinin gətirilmiş radiusu, E_{get} - gərilmiş elastiklik modulu; μ - 50 °S temperaturda yağlayıcının kinematik özlülüyü; v_{Σ} - diyirlənmənin cəm sürəti: ($v_{\Sigma} = v_1 + v_2$); v_{ns} - sürtünən səthlərin nisbi sürüşmə sürətidir.

Vakuumda sürtünmənin xüsusiyyətləri. Xarici sürtünmə yüksək vakuumda iki səthin möhkəm ilişməsinə – onların qaynağına səbəb olur. Maye yağlayıcı atomar oksigen və hidrogenin təsirindən əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Yağlayıcının müxtəlif parsial təzyiqlərə malik olan ayrı-ayrı inqradientləri seçilməklə buxarlanır. Yağlayıcının tərkibi pisləşir. Vakuumda sürtünmə əmsalı artır. Qaz və maye mühitin olmadığı üçün sürtünmə cütündən istilik konvektiv yolla ayrılma bilmir və nəticədə sürtünmə zamanı istilik əmələ gəlməsi artır. Bütün bunlar qızmaya və qovşaqlardakı detalların dağılmasına səbəb olur. Təbiətə eyni materiallar, xüsusən plastik mate-

riallar vakuumda iş qabiliyyətli olmur, onların sıxılması baş verir.

Vakumda sürtünmə düyünlərinin işinin təmin edilməsi problemi- sürtünmə səthlərində dayanıqlı qoruyucu qatların yaradılması problemdir. Qat təmiz metallik kontaktı aradan qaldırmaq üçün lazımdır.

Hissələrin səthində monomolekulyar qatın əmələ gəlməsinin kinetikasi vakuumun dərəcəindən asılı olaraq aşağıdakı kimidir:

Vakuum dərəcəsi.....	10^{-6}	10^{-10}	10^{-11}
Qatın əmələ gəlmə müddəti....	2,5 san	7 saat	70 saat

Qatın bərk maddələrdən tətbiq edilməsi məqsədə uyğundur. Məsələn, qovuşan cisimlərdən birini qalay, gümüş, kadmium, qızıl və yaxud qurğuşun metallarından biri ilə örtmək lazımdır.

Triboqovşaqlar üçün mis və yaxud gümüş əsasında MoS_2 , WS_2 , $NbSe_2$, qrafit və s. ilə doldurulmuş, öz-özünü yağlayan kompozisiyalar çox sərfəlidir.

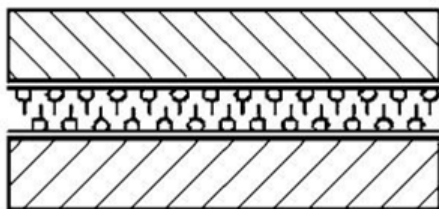
4.2. Sərhəd yağlanması zamanı sürtünmə

Bu xarici sürtünmənin növlərindən biri olub, nisbi hərəkətdə olan cisimlər arasında sürtünmə və yeyilmə həcmindən fərqli olaraq səthlərin və yağlayıcı materialın xassələri ilə təyin edilir.

Sərhəd yağlanması zamanı sürtünmə proseslərinin öyrənilməsinə V. Qarden, F. Buden, Y.V. Deryaqin, A.S. Axmatov və başqaları zənginləşdirmişlər.

Sərhəd yağlanması zamanı iki qovuşan cisimlərin səthi çox nazik qalınlıqlı yağlayıcı material qatı ilə ayrılır (bir molekulun qalınlığından $0,1 \text{ mkm}$ -ə qədər). Bu qat qarşılıqlı molekulyar təsir qüvvələri ilə metallik səthlə çox möhkəm əlaqədədir və ona görə də böyük həcmdə olan mayenin xassələrini itirir ki, burada maye hissəcikləri bir-birinə nəzərən sərbəst

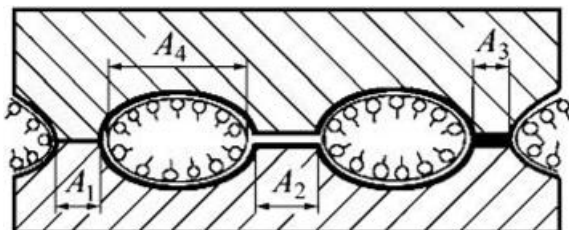
yerdəyişmə ala bilər, mayenin hərəkətinə müqavimət daxili sürtünmə ilə təyin edilir. Sərhəd qatının (mühafizə qatının) olması sürtünmə qüvvəsini yağsız sürtünmə ilə müqayisədə $2 \div 10$ dəfə azaldır, qovuşan səthlərin yeyilməsini yüz dəfələrlə azaldır. Bütün yağlar metallik səthdə adsorbsiya olunmaq qabiliyyətinə malikdir. Sürtünmə səthlərində yağlayıcı materialın molekullarının hərəkətdə olması nəticəsində adsorbsiya böyük sürətlə baş verir ki, bu da yağlayıcı qata zədələnmiş yerlərdə “öz-özünü bərpa etmə” xüsusiyyətini verir. Yağlama təsirinin səmərəliliyi adsorbsiya amilindən başqa metalla yağlayıcı material arasında qarşılıqlı kimyəvi təsirdən asılıdır. Yağa çöküntü kimi daxil olan yağlı turşular metalla reaksiyaya girərək kifayət qədər deformasiyaları dağılmadan saxlamaq qabiliyyətinə malik olan sabun əmələ gətirir. Bu onunla təsdiq olunur ki, təsirsiz metallar (platin, qızıl, gümüş) və şüşə pis yağlanır. Yağlayıcı materialın molekulları adətən bərk səthə perpendikulyar istiqamətlənir ki, bu da aşkarlıq üçün sərhəd qatını xov şəklində (şəkil 4.5) təqdim etməyə imkan verir.



Şək. 4.5. İdeal sərhəd qatının sxemi

Yağlamanın sərhəd qatının formalaşması aşağıdakı ardıcılıqla baş verir. Əvvəlcə müxtəlif işarəli yükləmələri olan bərk səthin aktiv mərkəzlərində səthi aktiv maddələrin molekulları tək-tək birləşir. Məsələn, yağlı turşuların molekulları $(CH_3 - (CH_2)_n - COOH)$ özlərinin polyar-aktiv qrupları

$COOH$ ilə səthin aktiv mərkəzləri ilə kontakta daxil olur. Metilin qruplarından CH_2 və təsirsiz metil qruplarından CH_3 ibarət olan molekulların quyruq hissələri səthə perpendikulyar düzlənir. Tədricən belə molekulların sayı artır və onlar ilkin monoqatın bütöv molekulyar xovunu əmələ gətirirlər (şəkil 4.6).



Şək. 4.6. Real sərhəd qatının sxemi:
 A_1 -metallik kontakt; A_2 -molekulyar qat;
 A_3 -oksid qatı; A_4 -polimolekulyar qat

Polyar qrupları $COOH$ arasında sərhəd qatını möhkəmləndirən əlavə əlaqələr əmələ gətirə bilər.

Birinci monoqatın ardınca ikinci, üçüncü və sair 20÷50-yə qədər qat formalaşır.

Molekulların daxilindəki elementlərin arasındakı və ayrı-ayrı molekulların sonuncu qrupları arasında əlaqə enerjisi eyni deyil. Yağlı turşuların molekullarında, məsələn, onlar polyar qruplarda $COOH$ (336 kC/mol) böyük, metal zəncirlərində zəif (52 kC/mol) və sonuncu metal qruplarının CH_3 qonşu qatları arasında qarşılıqlı təsir son dərəcədə zəif olur (4 kC/mol). Qarışıq qatların molekullarının quyruqları arasında ən zəif əlaqə sərhəd sürtünməsi zamanı bərk cisimlərə aid qatlar arasında yüngül sürüşməni təyin edir. Sürtünmə səthlə-

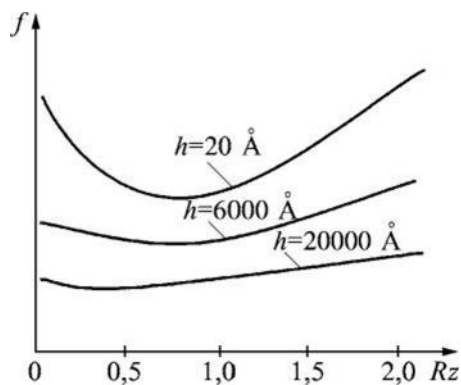
rinin qarşılıqlı yerdəyişməsi zamanı “xovlar” elə bil əks istiqamətdə əyilirlər.

Sərhəd qatında yağlayıcı material antitropdur, tangensial istiqamətdə molekulyar qatlar asanlıqla əyilir və biri digəri üzərində sürüşür, bərk səthə normal üzrə qatın yüksək sıxılma müqaviməti vardır. Sərhəd yağlanması zamanı sürtünmə mexanizmi aşağıdakı kimi təqdim edilir. Yük altında kontaktın kiçik sahələrində elastik və plastik deformasiya baş verir ki, orada yağ qatının bütövlüyünü pozmadan səthlərin qarşılıqlı daxil olması reallaşdırıla bilər. Sürüşmə zamanı hərəkətə tam müqavimət sərhəd qatın sürüşməsinə müqavimətin və daxil olmuş həcməldə, səthin “şumlanması” müqavimətlərinin cəmindən ibarətdir. Bundan başqa kontaktın kiçik A_1 sahələrində, yağlayıcı qatın müvəqqəti dağılması, hətta mikro kələkürürlüklərdə materialın sıxılması baş verə bilər (şək. 4.6). Bu hərəkətin əlavə müqavimətinin yaranmasına səbəb olacaqdır. Sonradan adsorbsiyasının olması sayəsində belə metallik sahələr yenidən yağlayıcı qatla örtülür, yəni öz-özünü bərpa edir.

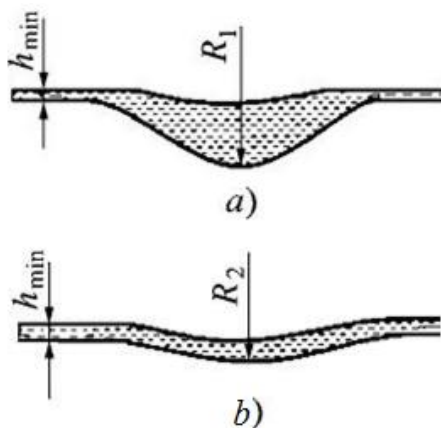
Sərhəd yağlanmasında sürtünmə qüvvəsi və sürtünmə əmsalı bir sıra amillərdən asılı olur. Qatın möhkəmliyi sərhəd qatının molekulyar xüsusiyyətlərindən, kontaktda olan səthlərin xassələrindən və onun temperaturundan asılıdır. Temperaturun dəyişməsinə f_{mol} parametri daha həssasdır. Temperaturun azalması ilə f_{mol} - in qiyməti də artır. Kələ-kötürlük artdıqda sürtünmə əmsalı minimumdan keçir, yağlayıcı qatının qalınlığı nə qədər nazik olarsa, onun təsiri daha da aydın ifadə edilir (şək. 4.7).

Dalğavariliyin radiusu nə qədər kiçik olarsa, dalğaların təpəsində olan yağlayıcı material qatı bir o qədər nazik olur (şək. 4.8, *a*). Dalğavariliyin radiusu artdıqca sürtünmədə daha çox qalın qat iştirak edir (şək. 4.8, *b*) ki, buna uyğun olaraq sürtünmə əmsalı azalır. Sərhəd sürüşmə sürtünməsində,

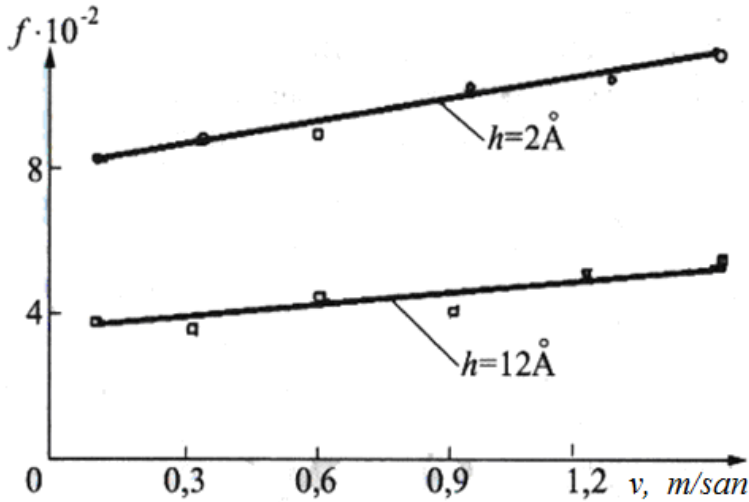
minimal sürtünməyə $R_z = 0,1 \text{ mkm}$ optimal kələ-kötürlük qaydası uyğun gəlir.



Şək. 4.7. Səthin kələ-kötürlüyünün sürtünmə əmsalının qiymətinə təsiri



Şək. 4.8. Dalğaların radiusunun yağlayıcı material qatının qalınlığına təsiri ($R_1 > R_2$):
a - nazik qat; b - qalın qat



Şək. 4.9. Aşağı sürüşmə sürətlərinin sürtünmə əmsalına təsiri: h - sərhəd qatının qalınlığı

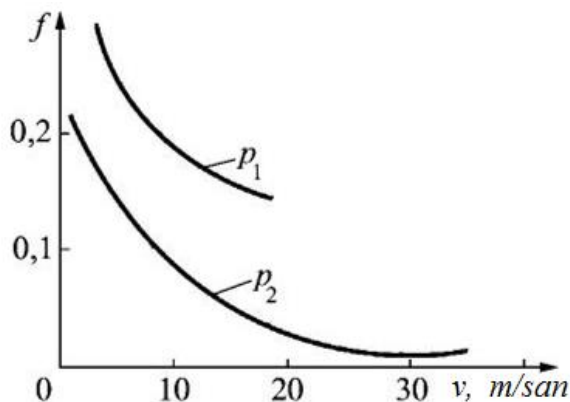
Sürüşmə sürətinin sürtünmə əmsalına təsiri şəkil 4.9 və şəkil 4.10 - da göstərilmişdir. Şəkil 4.9 - da kiçik sürətlərin və sərhəd qatının, şəkil 4.10 - da isə artırılmış sürətlərin və təzyiqin təsiri göstərilmişdir.

Məsələn, sürəti 10 m/san -dən çox artdıqda lülə-mərmi kontaktında temperatur artır. Mərminin mis zolağı yumşalır və bu kontakta yağlayıcı materialın plastik qatın qalınlığının artması üçün şərait yaradır və uyğun olaraq sürtünmə əmsalının kəskin azalmasına imkan yaradır;

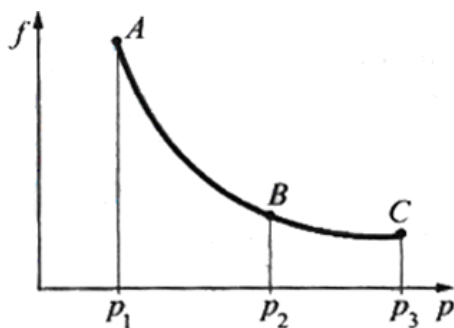
Sürüşmə sürəti, m/san : 10....85.....340.....720.....800

Sürtünmə əmsalı:0,27...0,052...0,031...0,022...0,022

Yük artdıqda sürtünmə əmsalı azalır. Təzyiqin artması ilə sürtünmə əmsalının aşağı düşməsi onunla izah olunur ki, yük artdıqda yağlayıcı material qatının qalınlığı azalır. Yağlayıcının nazik qatları sürüşmədə böyük müqavimətə malik olduğu üçün sürtünmə qüvvəsi artır, lakin bu artım qüvvənin artmasına nəzərən yavaş-yavaş baş verir (şək. 4.11).



Şək. 4.10. Yüksək sürətlərin və təzyiqin sürtünmə əmsalına təsiri ($p_1 > p_2$)

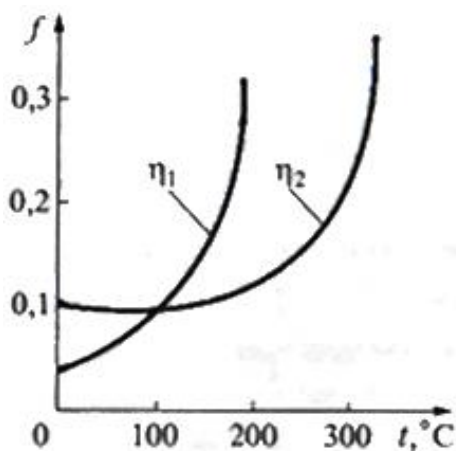


Şək. 4.11. Təzyiqin sürtünmə əmsalının qiymətinə təsiri

B nöqtəsindən başlayaraq qatın nazıqlaşması sona çatır. AB sahəsində kifayət qədər qalın yağ qatı var və bunun nəticəsində bu qatda mayenin molekulları bərk cisimlə möhkəm əlaqədə olur. Dolayı yolla bunun sübutu odur ki, temperatur artdıqda BC sahəsində sürtünmə əmsalı kifayət qədər dəyişir.

Bir sıra hallarda yükün artması zamanı sürtünmə əmsalının artması müşahidə olunur. Bu onunla izah edilir ki, faktiki kontakt nöqtələrində sərhəd sürtünməsi quru sürtünmə ilə əvəz edilir.

Yağın ərimə nöqtəsinə yaxınlaşdıqca sürtünmə əmsalı azalır və aşağı özlüklü yağlayıcıya keçdikdə kəskin artır (şək. 4.12).



Şək. 4.12. Temperaturun sürtünmə əmsalının qiymətinə təsiri

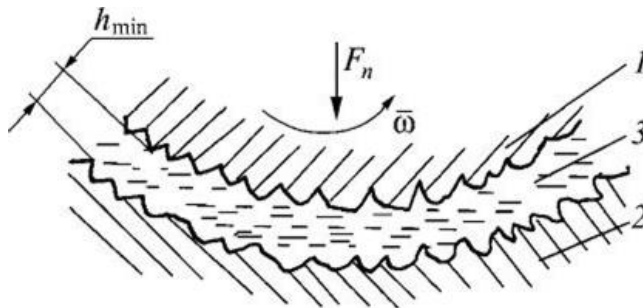
Səth qatının mexaniki xüsusiyyətinin müsbət qradientini bərk cisimlərin özlərinin səth qatlarının möhkəmliyinin azaldılması hesabına təmin etmək olar. Sətin möhkəmliyinin aşağı salınması və səthdə yumşaq mexaniki zəif qatın əmələ gəlməsi SFM olan mühitin təsiri şəraitində ola bilər. Bu hadisə Rebinder effekti adlanır. O, SFM molekullarının həmişə bərk cisimlərin səthində olan mikroçatların divarlarının uzunluğu boyu miqrasiyası (yeyilməsi) nəticəsində baş verir. Bu hadisənin əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, molekullar çatların kənarlarına yaxınlaşdıqca onların hərəkəti çətinləşir, yəni çat

daralır və onlara pazlayıcı parçalama təzyiqi artır. Sürtünmə Rebinder effektinin əmələ gəlməsini intensivləşdirir, belə ki, bu zaman səth qatlarına səth qatlarının dağılmasını (yumşalmasını) sürətləndirən tsiklik yerdəyişmə gərginlikləri təsir edir.

V. İ . Kostenskiy eksperimentlərlə müəyyən etmişdir ki, SAM xüsusilə havadakı və yaxud yağlayıcıda olan oksigenin təsirini aradan qaldıran kimyəvi komponentlərlə birlikdə tətbiq olunanlar daha perspektivlidir. Metalda oksigen qatı SFM-in təsirinin effektivini aşağı salır. Rebinder effektinin əsasında kimyəvi yox, fiziki adsorbsiya dayanır. Ona görə də temperaturun artması ilə effekt azalır ki, bu da fiziki adsorbsiyadan kimyəvi adsorbsiyaya keçməklə əlaqədardır. Yağa kimyəvi aktiv çöküntülərin əlavə edilməsi fiziki adsorbsiyanın getməsinə və kimyəvi adsorbsiyanın aradan qalxmasına imkan verir.

4.3. Maye sürtünməsi

Maye sürtünməsi onunla xarakterizə edilir ki, sürtünən səthlər tətbiq edilən normal yükü qəbul edən yağ qatı ilə h_{\min} , bir-birindən ayrılır və bu halda bərk cisimlərin xarici sürtünməsi maye qatlarının daxili sürtünməsilə əvəz edilir (şək. 4.13).



Şək. 4.13. Maye yağlayıcı triboqovşağın sxemi:

1-val; 2 -yastıq; 3 -yağ qatı

Maye sürtünməsi üçün $h_{\min} > (Rz_1 + Ra_2)$ işçi araboşluğu $h_{is} = h_{\min} / (Rz_1 + Ra_2)$ olmalıdır. Praktikada maye sürtünməsi üçün aşağıdakı meyar işlənməlidir: $5 \leq h_{isc} \leq 100$. Xrici sürtünmə həmişə kinetik enerjinin istiliyə çevrilməsi ilə müşayiət olunur, yəni dispotiv prosesdir. Xarici və daxili sürtünmənin oxşarlığı bundadır.

Xrici və daxili sürtünmənin fərqi aşağıdakılardan ibarətdir:

a) sürtünən səthlərin qarşılıqlı təsirinin həndəsəsində. Xarici sürtünmədə iki bərk cismin görüşməsi ayrı-ayrı nöqtələrdə baş verir, kontakt diskretdir, fiziki kontakt sahəsi isə yükədən asılıdır;

b) daxili sürtünmə materialın nisbi sürət vektoru istiqamətində laminar yerdəyişməsi ilə xarakterizə edilir. Xarici sürtünmə zamanı material nisbi sürət vektorunun perpendikulyar istiqamətində hərəkət edir;

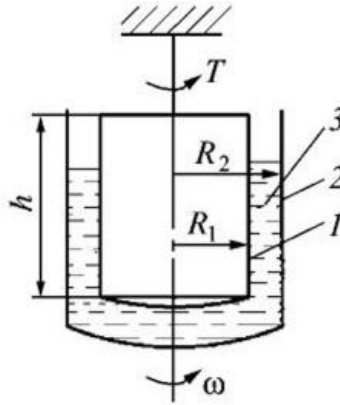
v) xarici sürtünmə zamanı əlaqələrin meydana gəlməsi və dağılması nazik sərh qatında lokallaşır (yayılır). Daxili sürtünmə zamanı deformasiya zonası bütün həcmi əhatə edir;

q) daxili sürtünmənin təbiəti birdir: O, hərəkət miqdarının bir qatdan (hissəcikdən) digərinə ötürməklə əlaqədardır. Xarici sürtünmə ikili təbiətə malikdir: $(f = f_{mol} + f_{def})$.

Bərk cisimlərin, mayelərin və qazların daxilində molekulaların hərəkəti toquşmaların, dartılmaların, burulmaların, rəqsi hərəkətin və molekulaların sürüşməsi nəticəsində daxili enerjinin ayrılmasına səbəb olur. Bu hadisə daxili sürtünmə adlandırılır və o faza vəziyyətindən asılı olaraq müxtəlif formalar qəbul edə bilər. Bərk cisimlərdə histerizis ilməsi, mayelərdə və qatlarda daxili sürtünmə özlülük kimi meydana çıxır.

Özlülük – mayenin fiziki xüsusiyyəti olub, nisbi hərəkətə və yaxud molekulaların deformasiyasına müqavimət göstərməsi qabiliyyətindən ibarətdir. 1969-cu ildə İ. Nyuton böyük

diametrli R_2 radiuslu tərpməz silindrin içərisində yerləşən R_1 radiuslu silindirin fırlanması ilə əlaqədar məlum tədqiqatlar aparmışdır. Onlar arasında qalan fəza müxtəlif mayelərlə doldurulmuşdur (şək. 4.14).



Şək. 4.14. Rotasiyalı viskozimetr:

1-fırlanan silindir; 2-hərəkətsiz silindir; 3 -yağlayıcı material qatı

Nyuton müəyyən etmişdir ki, daxili silindirin sabit bucuq sürəti ω ilə fırlanması zamanı ona moment tətbiq etmək lazımdır ki, qiyməti bu sürətdən, silindirlər arasındakı məsafədən ($R_2 - R_1$) və tətbiq edilən mayenin tipindən asılıdır. Sonradan bu təcrübənin nəticələri Nyutonun özlü axması qanunu şəklində ümumiləşdirilmişdir və aşağıdakı kimi ifadə olunur: mayenin bir qatının digərinə nəzərən yerdəyişməsi zamanı əmələ gələn daxili sürtünmə qüvvəsi F_b , bu yerdəyişmənin nisbi sürətin qradienti və maye qatının sahəsi düz mütənəsidir:

$$F_b = \eta A \frac{dv}{dh}, \quad (4.20)$$

(4.20) ifadəsinin sağ və sol tərəfini A sahəsinə bölsək, alarıq:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dh} \approx \eta \frac{v}{h}, \quad (4.21)$$

burada, τ - mayenin qatları arasında sürüşməyə müqavimət $\eta(dv/dh) \approx \eta(v/h)$ $p = \text{const}$ və $T = \text{const}$ olduqda sürət qradientidir.

Şəkil 4.15 - də göstərilmiş əyrilər reoloji əyrilər adlanır. Onlar maşının tipindən asılı olaraq toxunan gərginliklərin maye qatından asılılığını nəzərə alır.

τ mayədə v/h -dan xətti asılılıdır, η sabit kəmiyyət olan mayələr isə Nyuton mayələri adlanır (şək. 4.15, 1 əyrisi). Onların sırasına su və əksəriyyət baza yağları aiddir. Çoxfazalı mayələr qeyri-nyuton mayələr sinfinə aiddir və daha mürəkkəb asılılıqla ifadə olunur. Xüsusi halda şəkil 4.15- də 2 əyrisi aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$\tau = K \left(\frac{v}{h} \right)^n, \quad (4.22)$$

3 əyrisi isə

$$\tau = \tau_{ltd} + \eta_p \frac{v}{h}, \quad (4.23)$$

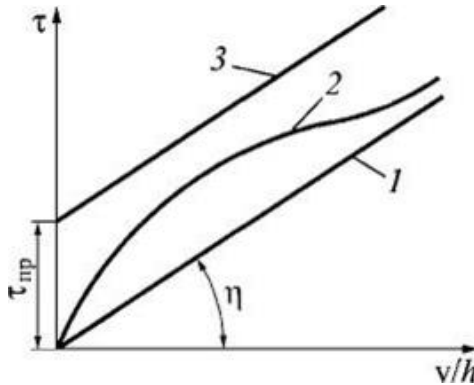
burada, τ_{ltd} - sürüşmənin hədd gərginliyi; η_p - sürüşmədə sərtlik əmsalı, K və n mayenin növündən asılı olan əmsallardır.

Mütənəsiblik əmsalı η (bax şəkil 4.15) mayenin təbiətindən asılıdır və dinamik özlülük əmsalı kimi onun ən vacib xüsusiyyətlərindən biridir.

Dinamik özlülük əmsalı - bu 1 m^2 sahəsi olan və bir-birindən 1 m məsafədə dayanan mayenin iki qatının 1 m/san nisbi sürüşmə sürəti zamanı sürtünmə qüvəsidir (Nyütonla). Praktiki olaraq bu ölçü vahidi $\frac{H \cdot \text{san}}{m^2} = Pa \cdot \text{san}$ olan maye sürtünməsi əmsalıdır. Texnikada həmçinin kinematik özlülükdən də istifadə edilir.

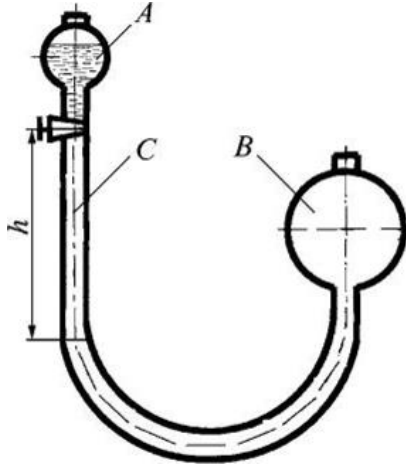
$$v = \frac{\eta}{\rho}, \quad (4.24)$$

burada, ρ – mayenin sıxlığıdır.



Şək. 4.15. Mayenin müxtəlif tipləri üçün reoloji ayrılar:
1-nyuton mayesi; 2 və 3- qeyri-nyuton mayeləri

Kinematik özlülük rotasion kapilyar tipli cihazlarla ölçülür və ölçü vahidi m^2 / san -dir. Rotasiya viskozimetrlinin prinsipial sxemi şəkil 4.16 - da göstərilmişdir.



Şək. 4.16. Kapilyarlı viskozimetr

Kapilyar tipli viskozimetlərdə özlülük h uzunluqlu kapilyar sahədən standart mayenin A həcmindən B həcminə axma vaxtı ilə qiymətləndirilir. Əvvəlcə şərti özlülük qiymətləndirilir.

$$BU = \frac{t}{t_{em}}, \quad (4.25)$$

burada, t - tədqiq edilən 200 sm^3 yağın axma müddəti; t_{em} - etalon mayenin axma müddətidir.

Sonra kinematik özlülük hesablanır:

$$\nu = A(BU) - \frac{B}{(BU)}, \quad (4.26)$$

burada, A və B viskozimetrin konstruksiyasından asılı olan əmsallardır.

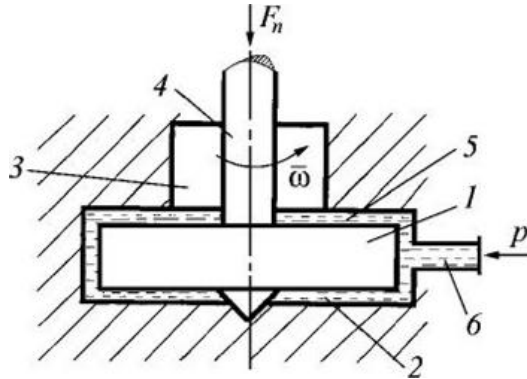
Maye qatının sürtünən səthlərinin ayrılmasına aşağıdakı üsullarla nail olmaq mümkündür:

a) yağı təzyiq altında araboşluğuna məcburi vurulması yolu ilə- hidrostatik üsulla;

b) hidrodinamik effekt vasitəsi ilə.

Birinci üsul sürtünmənin ayrı qovşaqları (düyünləri) üçün istifadə edilir, məsələn hidrostatik iz altı. Şəkil 4.17-də belə iz altının sxemi göstərilmişdir ki, burada maye sürtünməsi iz 1 ilə iz altı 2 arasındakı ara boşluğuna yüksək təzyiqli xüsusi nasosla verilən yağ hesabına həyata keçirilir. Araboşluğunda təzyiq həmişə $15...20 \text{ MPa}$ - dan az olmayaraq sabit saxlanılır. Bu məqsədlə xüsusi kipləşdirici 3 və verilmiş təzyiqi saxlamaq üçün qurğu quraşdırılır. Bu halda val 4 elə bil üzür, bütün tərəflərdə yüksək təzyiqdə yağ qatı ilə əhatə olunmuş iz 1 val döndükdə maye sürtünməsinə məruz qalacaqdır. Bu halda sürtünmə itgiləri minimal olacaqdır, lakin hidrostatik iz altılarda və yastıqlarda onun tətbiqini məhdudlaşdıran çatışmazlıqlar vardır. Belə əksəriyyət sürüşmə yastıqları və iz altıları üçün xüsusi kipləşdirici qurğuların, xüsusi nasos stansiyaların, mülayim və yüksək sürətlə fırlanan vallar - sürtünmə düyünü üçün xüsusi soyutma sisteminin tətbiq edilməsi tələb olunur.

Təcrübədə əsasən hidrostatik effektdən istifadə edilir. Hidrostatik yağlanma nəzəriyyəsinin əsası N. P. Petrovun və O. Reynoldsun əsərlərində yaradılmışdır. 1883 - cü ildə N. P. Petrov hidrostatik effektin fiziki prinsiplərini əsaslandırılmışdır. O, təcrübə apararaq müəyyən etmişdir ki, valın fırlanma bucaq sürəti ω azaldıqda, yükün təsiri nəticəsində sürüşmə yastıqlarında yağ qatının qalınlığı h azalır və formaca bu qat üzükvarilikdən fərqlənir.



Şek. 4.17. Hidrostatik iz altının sxemi:

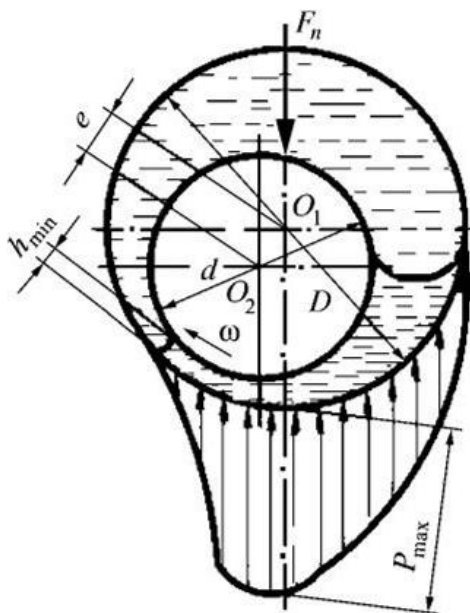
- 1- ləkə; 2-ləkə altı; 3- xüsusi kipəşdirici qurğu;
4-val; 5-yüksək təzyiq maye qatı; yağın veriş sistemi

Hidrostatik effekt hərəkət edən valın divarının və yastığın sürtünmə təsiri altında yağın daralan araboşluğuna dartılması nəticəsində əmələ gəlir. Bu halda yağ zolağının daxilində üzən valı mavazinətləşdirmək qabiliyyəti olan əlavə gərginlik əmələ gəlir. 1886-cı ildə O. Reynolds hidromexanika qanunları əsasında hidrodinamik özlü qatın daşıma qabiliyyətinin differensial formada tənliyini almışdır:

$$\frac{dp}{dx} = 6\eta v \frac{h - h_0}{h^3}, \quad (4.27)$$

burada, $h_0 \approx h_{\min}$ və h – hissələr arasındakı araboşluğudur.

Əksəriyyət sürtünən hissələrin əyri xətti səthə malik olur, ona görə də onlarda maye sürtünməsinin hidrodinamik effekti nisbətən sadə rəlləşir ki, bunu sürüşmə yastığının misalında göstərmək olar (şek. 4.18).



Şək. 4.18. Sürüşmə yastığının sxemi

Diametri d olan val ω bucaq sürəti ilə fırlanır. Müəyyən kritik sürətlərdə ω_{kr} valın və oymağın səthləri arasında bu səthləri bir-birindən ayıran fasiləsiz yağ qatı əmələ gəlir. Valın mərkəzi O_2 vəziyyətini alır və bunun nəticəsində zolaq görünüşlü ara boşluğu əmələ gəlir. O_1 , O_2 mərkəzlərindən keçən müs-təvi kəsiyində yağ qatı minimal qalınlığa h_{\min} malik olur ki, onun qiyməti aşağıdakı bərabərsizliklə təmin olunacaqdır.

$$h_{\min} \geq K(Rz_1 + Rz_2), \quad (4.28)$$

burada, $K = 1,2...1,3$ - ehtiyat əmsəlidir.

Maksimum təzyiq ρ_{\max} , O_1O_2 oxundan valın fırlanma istiqamətinin əks istiqamətinə yerini dəyişir. Mayenin özlü

müqavimətini aradan qaldırmaq üçün sərf olunan iş istilik enerjisinə çevirilir ki, o, yağın və yastığın detallarının qızmasına sərf olunur.

Yağlayıcı qatın həndəsəsi və valın yastığının vəziyyəti oymağın daxilində iki ölçüsüz parametrlərlə müəyyən edilir: ψ - nisbi araboşluğu və χ - nisbi eksentrisitet:

$$\psi = \frac{D-d}{d} = \frac{R-r}{r} = \frac{\delta}{r}; \quad (4.29)$$

$$\chi = \frac{e}{\delta}, \quad (4.30)$$

burada, $\delta = R - r$; e – mütləq eksentrisitetdir.

Sürüşmə yastıqları üçün N. P. Petrov tərəfindən alınmış sürtünmə əmsli f mayenin özlü axması qanunu əsasında tapılmalıdır, əgər hesab etsək ki,

$$A = \pi d L, \quad (dv/dy) \approx v/\delta = r\omega/r\psi = \omega/\psi.$$

Onda (4.20) ifadəsinə əsasən sürünmə qüvvəsini aşağıdakı kimi alırıq:

$$F_{\text{sür}} = \eta A \frac{dv}{dy} = \eta \pi d L \frac{\omega}{\psi}.$$

Bu ifadədən sürtünmə əmsalı təyin edilir:

$$f = \frac{F_{\text{sür}}}{F_n} = \frac{\eta \pi d L \omega}{p d L \psi} = \frac{\pi \eta \omega}{\psi p}. \quad (4.31)$$

Petrov-Reynolds tənlikləri əsasında bazalaşmış hidrodinamik nəzəriyyədə sürtünmə cütü detalları deformasiya etmə-

yən mütləq sərt detallar kimi qəbul edilir, yağlayıcı materialın özlüyü isə təzyiqdən və temperaturdan asılı olmayan sabit kəmiyyətdir.

Bu nəzəriyyə sürtünmə düyünlərində az kontakt təzyiqlərində (50 MPa-a qədər) yağlayıcı kontaktın yük götürmə qabiliyyətini və yağlayıcı qatın qalınlığını hesablamağa imkan verir. Daha böyük təzyiqlərdə ($p > 300$ MPa) yağ qatının vəziyyətinə bərk cisimlərin elastiklik xassələrini və yağlayıcı materialda inkişaf edən istilik prosesləri daha çox təsir etməyə başlayır. Bu hadisələr A. İ. Petrusevin, A. M. Etel və A. N. Qrulin tərəfindən işlənmiş yağlamanın kontakt- hidrodinamik nəzəriyyəsində nəzərə alınır. Bu nəzəriyyə Reynoldsun hidrodinamik tənliklərinin birgə həllinə əsaslanır:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 6\eta(v_1 + v_2) \frac{h - h_0}{h^3}. \quad (4.32)$$

Əyrixətli cisimlərin kontaktı üçün elastiki deformasiya tənliyi (sərhəd şərtləri: $x = -\infty$; $p = 0$)

$$h = h_0 + \frac{x^2 - x_0^2}{2R_{get}} - \frac{2}{\pi} \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right) \int_{-\infty}^{x_0} p(\xi) \ln \left| \frac{\xi - x}{\xi - x_0} \right| d\xi. \quad (4.33)$$

Yağlayıcı qatın istilik vəziyyətini xarakterizə edən ifadə:

$$\rho C v \frac{\partial \theta}{\partial x} = \lambda \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \mu \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2. \quad (4.34)$$

Özlülüğün təzyiqdən və temperaturdan asılılıqları (sərhəd şərtləri $x = -\infty$; $\theta = \theta_0$):

$$\theta(x,0) = \left(\frac{1}{\pi \rho_1 C_1 \lambda_1 v_1} \right)^{1/2} \int_{-\infty}^x \lambda \frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=0} \frac{\partial \varepsilon}{(x-\varepsilon)^{1/2}} + \theta_0;$$

$$\theta(x,0) = \left(\frac{1}{\pi \rho_2 C_2 \lambda_2 v_2} \right)^{1/2} \int_{-\infty}^x \lambda \frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=h} \frac{\partial \varepsilon}{(x-\varepsilon)^{1/2}} + \theta_0;$$

$$\eta = \eta_0 e^{\beta p - \alpha \Delta \theta}, \quad (4.35)$$

burada, p - təzyiq, v_1 , v_2 - cisimlərin çevrəvi sürəti; h - araboşluğu; h_0 – minimal araboşluğu (h_{\min}); R_{get} - gətirilmiş əyrilik radiusu; E_1, E_2 - cisimlərin elastiklik modulları; μ_1, μ_2 - cisimlərin materiallarının Poisson əmsalı; θ və $\Delta \theta$ - temperatur və onun artımı; $\rho_1, C_1, \lambda_1, \rho_2, C_2, \lambda_2$ – uyğun olaraq yağlayıcı materialın və cisimlərin materiallarının sıxlığı, xüsusi istilik tutumu və istilik keçirməsi, β - yağlayıcı materialın özlülüyünün pyezoəmsalı; α - yağlamanın özlülüyünün temperaturdan asılılıq əmsalı; x və y koordinatlar; x_0 – yağlayıcının araboşluğundan çıxdığı yerin absisi; ξ və ε əlavə dəyişənlər; η_0 - atmosfer təzyiqində və 20 °S temperaturda yağın özlülüğü.

Yağlamanın kontakt-hidrodinamik nəzəriyyəsi dişli ötürmələrə, diyirlənmə yastıqlarına, yumruqlu mexanizmlərə və başqalarına xas olan yüksək kontakt gərginlikləri şəraitində yağlayıcı qatın vəziyyətini ifadə edir.

Yüngül yüklənmiş kontaktda silindirlərin fırlanan səthləri dəyişməz olaraq öz həndəsəsinə sabit saxlayırlar və yağ qatında təzyiqin paylanması təmiz hidrodinamik xarakter daşıyır (əksər sürtünmə yastıqları zəncir ötürməsinin şarnirləri və s.).

Məlumdur ki, maye sıxılmaz, qaz isə sıxılır. Bu maye yağlanması və qaz yağlanması müxtəlif olmasından asılı

olur, belə ki, qaz üçün Reynolds tənliyi maye yağlanmasından fərqli olaraq başqa cür olmalıdır.

Qaz yağlanmasının üstünlükləri sürtünməyə aşağı müqavimətli olması, yağlayıcı materialın əlverişli olması (hava), yastığın səthinin çirklənməməsi, çox böyük temperaturlar diapazonunda tətbiq edilə bilməsidir (mənfi aşağı temperaturdan yüksək müsbət temperaturlara qədər).

Qaz yağlanmasının mənfi cəhəti aşağı yük götürmə qabiliyyətli olmasıdır. Belə ki, qazodinamik yağlayıcılarda təzyiq hidrodinamik yağlamaya nisbətən təqribən 100 dəfə aşağıdır; iş sabilliyinin aşağı olması; yastıqların hazırlanma dəqiqliyinə və səthlərinin kələ-kötürlüyünə qoyulan yüksək tələblərin olmasıdır. Dinamik qaz yağlanmasının tətbiqinə misal kimi bor maşının spindelinin yastıqlarını göstərmək olar ($n = 420000$ döv/dəq, $0,36$ MPa təzyiqdə hava sərfi $20409 \text{ m}^3 / \text{san}$). Dinamik qaz yağlama yastıqları çoxsaylı işə düşmə və işdən dayanmaları olan çox yüklənmiş aqreqatlar üçün yararsızdır. Hal-hazırda onlar qida istehsalı avtomatlarında, tekstil və kimya sənayesinin avadanlıqlarında daha çox tətbiq edilir.

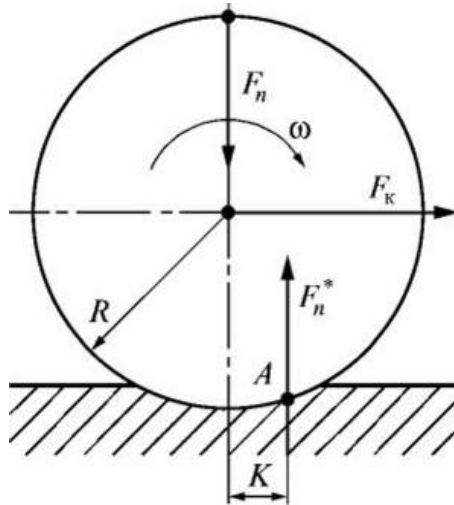
4.4. Diyirlənmə sürtünməsi

İnsan fəaliyyətinin təcrübəsindən məlumdur ki, bir cismin digər cisimə nəzərən diyirlənməsi üçün tələb olunan iş bu cisimlərin sürüşmə sürtünməsi üçün tələb olunan işdən azdır.

Diyirlənmə sürtünməsi iki bərk cismin hərəkətinin sürtünməsidir ki, onların sürəti görüşmə nöqtəsində qiymət və istiqamətcə eynidir (şəkil 4.19)

Normal qüvvənin F_n təsiri altında deformasiya edən səthdə diskin diyirlənməsi zamanı bərabər sürətli hərəkəti saxlamaq üçün ona $F_k R$ burucu momenti tətbiq etmək lazımdır. Bu moment xarici yükə F_n ədədi olaraq bərabər olan F_n^*

reaksiyasının F_n qüvvəsinin təsir xəttinə nisbətən K yerdəyişməsi səbəbindən yaranan $F_n^* K$ reaktiv momenti ilə tarazlanır.



Şək. 4.19. Diskin müstəvi üzərində diyirlənməsi sxemi.

A nöqtəsinə nəzərən moment tənliyini yazsaq alarıq:

$$\sum M_A = F_n R - F_n^* K = 0, \quad (4.36)$$

$$K = \frac{F_n R}{F_n^*}, \quad (4.37)$$

K yerdəyişməsi xətti ölçüsü olan diyirlənmə sürtünməsi əmsalı adlanır. Bu düsturu 1785 - ci ildə fransız hərbi mühəndisi Ş. Kulon almışdır.

Bununla yanaşı diyirlənmədə müqavimət əmsalının ölçüsüz f_k qiyməti də istifadə edilir.

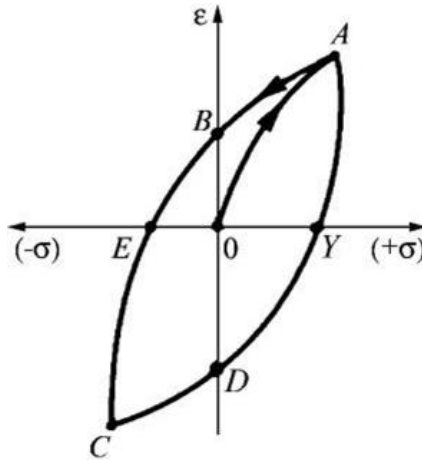
$$f_k = \frac{K}{R} = \frac{F_k}{F_{n*}} \quad (4.38)$$

Bu əmsaldan istifadə etdikdə F_k hansı radiusda alındığını göstərmək lazımdır.

Elastik diskın elastik yarım fəzada diyirlənməsi zamanı diyirlənməyə müqavimət F_k üç səbəblə əlaqədardır: histerizis itkiləri F_1 ilə, kontakt sahəsində mikro sürüşmələrlə F_2 və kontakt sahəsində adqeziya ilə F_3 :

$$F_k = F_1 + F_2 + F_3$$

Elastiki histerizis F_1 diyirlənmə sürtünməsində iştirak edən real cisimlərin elastik xüsusiyyətlərinin təkmil olmaması nəticəsində meydana çıxır. (şək. 4.20)



Şək. 4.20. Materialın işarəsi dəyişən yükləməsi zamanı histerizis itməsi.

σ gərginliyinin təsiri nəticəsində ε deformasiyası yaranır, lakin çətin ideal elastik olmadığı üçün ε deformasiyası σ gərginliyi ilə düz mütənasibətdə olmur (Huk qanunu pozulur, OA düz xətt deyil). Əgər gərginliyi götürsək ($\sigma = 0$), qalıq deformasiya OB qalacaq ki, çıxarılması üçün mənfi gərginlik OE tələb olunur, yəni çıxıcı qüvvə lazımdır. Ardıcılıqla müsbət və mənfi gərginlik tətbiq edərək ABECDYA əyrisini histerizis ilgəyini alırıq. İlmənin sahəsi ədədi qiymətcə vahid həcmdə bir tsikl müddətində tələb olunan paylanmış işə bərabərdir.

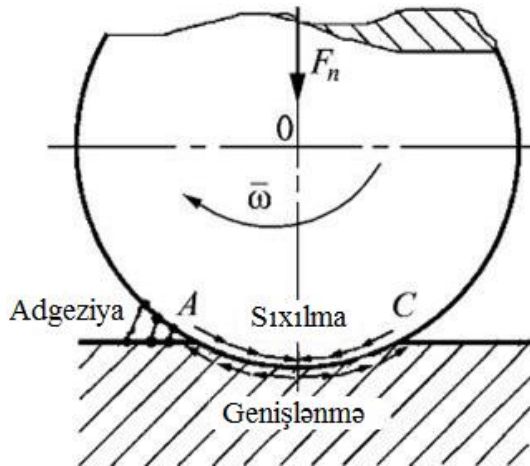
Histerizis fiziki olaraq yüklənmə zamanı dislokasiyasının sürüşməsi ilə əmələ gəlir. Dislokasiyaların sayının artması histerizis itkilərini artırır.

Elastik diskin elastik yarım fəzada diyirlənməsi zamanı onların deformasiyası nəticəsində toxunma sahəsi yaranır. Bu halda diskin materialı sıxılır, dayaq səthinin materialı isə daralır (şəkl. 4.21). Ona görə də kontakt sahəsində kontakt nöqtəsi sıxılmağa, yaxınlaşmağa, çalışır, səth isə nöqtələri ilə dartılma zamanı aralanmağa çalışır. Bu kontakt sahəsində mikrosürüşməyə F_2 gətirir.

AC sahəsində səthlərin diyirlənməsi zamanı disklə səth arasında təsir edən adgez əlaqələrin qırılmasına ayrılır. Bu amillər, kontakt sahəsində adgez toplananın F_3 əmələ gəlməsinə səbəb olur. Təbii ki, mikrosürüşmənin və adgeziyanın diyirlənmə müqavimətinə təsiri çox azdır. Böyük hissəsini histerezis itkiləri təşkil edir.

Real şəraitdə diskin yol örtüyü üzərində diyirlənməsi zamanı hər üç amilin əmələ gəlməsi mümkündür. Onların meydana gəlməsi səviyyəsi materialın fiziki təbiətindən və ətraf mühitin vəziyyətindən asılıdır. Rezin və polimerlər üçün əsas amil onların elastiki xüsusiyyətlərinin təkmil olmadığı histerezis itkiləri üstünlük təşkil etməsi; tablandırılmış poladlar üçün kontakt sahəsində mikrosürüşmələr, dərin vakuuma və

yüksək temperaturlarda metallar və polimerlər üçün – materialların adgez qarşılıqlı təsirinin olmasıdır.

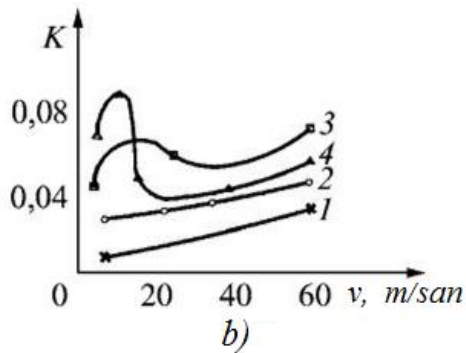
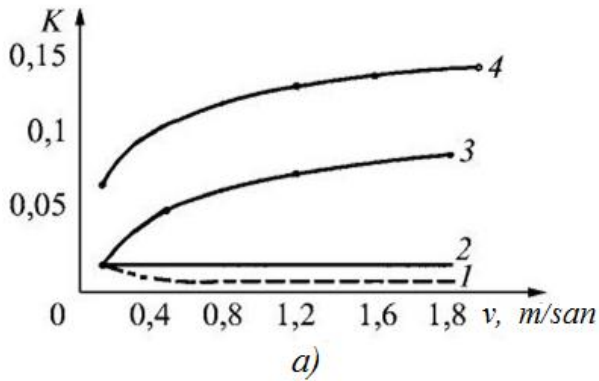


Şək. 4.21. İki cismin qüvvə altında mikrosürüşməsinin sxemi

Diyirlənmə qovşaqlarında yağlanmanın tətbiq edilməsi aşağıdakı məqsədlərə xidmət edir: sürüşmə sürtünməsini azaltmaq; artıq istiliyi çıxarmaq; səthləri karroziyadan mühafizə etmək. Yağlayıcının özlülüyü yüksək olduqda diyirlənməyə müqavimət bir o qədər çox olur ki, sürət azaldıqca artma davam edir (şək. 4.22). Yağlanma olmadıqda sürtünmə əmsalı, yağlanma olduğuna nəzərən aşağı olur.

Daha yüksək diyirlənmə sürətlərinə keçdikdə (20...75 m/san) diyirlənmə sürtünmə əmsalının xarakterində və yerləşməsində əhəmiyyətli dərəcədə dəyişiklər müşayət olunur. (şək. 4.22, b). Bu halda yağlayıcının özlülüyünün azalmasına temperaturun artması əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

Yüklərin kiçik sürətlərdə diyirlənmə sürtünmə əmsalına təsiri şəkil 4.23-də göstərilmişdir.

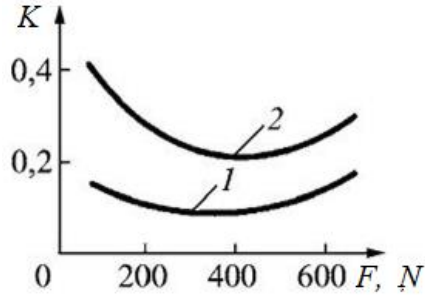


Şək. 4.22. Yağlayıcı materialının kiçik (a) və böyük (b) sürətlərdə diyirlənmə əmsalına təsiri:

1-yağsız diyirlənmə; 2-benzolla yağlanma (0,7 c Ct);

3) texniki vazelinlə yağlanma (25 c Ct);

4- MC-30 (1244 c Ct) yağı ilə yağlanma.



Şək. 4.23. Yükün diyirlənmə sürtünmə əmsalına təsiri:
1- $\nu = 0,07$ m/san; 2 - $\nu = 35$ m/san

Plastik və bərk yağlayıcı materiallar bir qayda olaraq, maye materiallarda müqayisədə diyirlənmə müqavimətinin kəskin artmasına səbəb olmur. Lakin bu yağlayıcıların təsiri uzunömürlü deyil. Maye sürtünməsi yaxşıdır, lakin diyirlənmə müqaviməti yağlayıcının özlülüyündən asılıdır. Yağlayıcının miqdarı həmçinin diyirlənmə müqavimətinə təsir göstərir. Çoxlu yağlama diyirlənmə müqavimətini artırır.

4.5. Sürtünmə zamanı temperaturun rolu

Sürtünmə zamanı detalların qarşılıqlı təsir intensivliyinə, xarici təsirlərin parametrləri təsir göstərir ki, onların arasında yük F_n , sürüşmə sürəti ν , temperatur θ və əhatə edən qaz mühiti daha əhəmiyyətli rol oynayır.

Qüvvənin təsiri altında faktiki kontakt sahəsinin formalaşması; cisimlərin mikronahamarlıqlarının qarşılıqlı daxil olması baş verir və səth qatının gərginlikli – deformasiya vəziyyətinin səviyyəsi (elastik, plastik kontakt və s.) müəyyən edilir.

Cisimlərin sürüşmə və yaxud diyirlənmə sürəti öz növbəsində materialların realoji xüsusiyyətlərindən asılı olaraq onların gərginlikli–deformasiya sürəti artdıqca özlülük xüs-

siyyətləri daha aydın görünməyə başlayır. Yükün və sürətin birgə təsiri zamanı nazik səth qatında intensiv elastik-plastik deformasiya hesabına $q \approx fpv$ kimi xüsusi güclü friksion istilik mənbəyi formalaşır.

Sürtünmə düyünlərində kontaktda yağ qatının dağılması hətta saniyənin bir anında temperaturun ani olaraq bir neçə yüz dəfə artmasına gətirib çıxarır ki, bu da səthdə qopmalara və düyünün sıradan çıxmasına səbəb olur. Triboloji proseslərdə temperatur amilinin müstəsna rolu var. Daha çox materiallar üçün temperaturun artması ilə səth qatının möhkəmliyinin azalması baş verir.

$$H_{n\theta} = H_0 \exp \left[-\beta \frac{\theta}{\theta_{n\theta}} \right], \quad (4.35)$$

burada $H_{n\theta}$, θ temperaturda materialın səth qatının mikrobərkliyi; H_0 - 20 °S temperaturda materialın səth qatının mikrobərkliyi; $\theta_{n\theta}$ - cismin ərimə temperaturu; β - bu materialı digər materialdan fərqləndirən əmsaldır.

Yüklənmiş friksion kontaktda temperaturun artması əsas herts gərginlikləri ilə toplanan əlavə termiki gərginliklər yaradır. Onların qiyməti friksion mənbəyin xüsusi istilik gücündən və istilik ötürmə hesabına səthdən istiliyin çıxarılması intensivliyindən aslı olacaqdır.

Sürtünmə zamanı əyri xətti cisimlərin kontakt səthindən termoelastik gərginliyi hesablamaq üçün M. V. Korovçinski tərəfindən aşağıdakı düstur təklif edilmişdir (iki cismin materialı eynidir):

$$\sigma_T = \sigma_H + \frac{0,3}{\pi} f F_n v \frac{E}{1-\mu} \frac{\alpha}{\lambda}, \quad (4.40)$$

burada, σ_H - tərpənməz kontakt üçün maksimum hers gərginliyi; f - sürtünmə əmsalı; F_n - yük; v - sürüşmə sürəti; E, μ - materialın elastiklik modulu və Puasson əmsalı; α - materialların temperaturkeçirmə əmsalı; λ - materialların istilikkeçirmə əmsalıdır.

Təqdim edilən ədədi qiymətləndirmələr göstərir ki, termoelastik gərginliklər σ_H gərginliklərinə yaxındır.

Kimyəvi reaksiyaların sürəti ω temperaturdan Arrenius qanuna görə asılıdır:

$$\omega = \exp\left[-\frac{u}{R\theta}\right], \quad (4.41)$$

burada, u - kimyəvi reaksiyaların aktivləşmə enerjisi; R - universal qaz sabiti; θ - mütləq temperaturdur.

Sərhəd sürtünməsi zamanı cismin temperaturu yağlayıcı materialın kritik temperaturundan çox olduqda $\theta > \theta_{kr}$ yağlamanın sərhəd pədəsinin dağılması və sürtünmə əmsalının və materialın yeyilməsinin kəskin artması baş verir.

Hər bir cisimdə temperaturun paylanması istilik keçirmə tənliyi ilə ifadə olunur:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2}, \quad (4.42)$$

burada, θ - temperatur; t - vaxt; x, y, z - koordinatlar; α - istilikkeçirmə əmsalıdır.

Sürtünmə zamanı istilik proseslərinin öyrənilməsinə F. Boudenin işlərində başlanmışdır və o, müəyyən etmişdir ki, faktiki kontakt izində cəm temperatur θ_Σ səthin orta temperaturu θ_{II} ilə yanma temperaturunun θ_{BCII} cəminə bərabərdir:

$$\theta_{\Sigma} = \theta_{\Pi} + \theta_{BC\Pi} \quad (4.43)$$

Daimi r_{ϕ} radiuslu kontakt sahəsi üçün $\theta_{BC\Pi}$ temperaturu aşağıdakı formula əsasən hesablanı bilər:

$$\theta_{BC\Pi} = \frac{9}{32} \frac{fF_n v}{(\lambda_1 + \lambda_2) r_{\phi}}, \quad (4.44)$$

Diyirlənən cisimlərin kontaktının ümumi halı üçün, məsələn, dişli çarxlar üçün alırıq:

$$\theta_{BC\Pi} = \frac{0,83 f F_n (v_1 + v_2)}{(\sqrt{\lambda_1 C_1 \rho_1 v_1} + \sqrt{\lambda_2 C_2 \rho_2 v_2}) l \sqrt{a}}, \quad (4.45)$$

burada, F_n - kontaktda normal qüvvə; v_1, v_2 - cisimlərin çevrəvi sürətləri; $\lambda_1, C_1, \rho_1, \lambda_2, C_2, \rho_2$ 1-ci və 2-ci cisimlərin istilikkeçirməsi, istiliktutumu və sıxlığı; a – kontakt sahəsinin eninin yarısı; l – kontakt sahəsinin uzunluğudur.

Bundan başqa, hidrodinamik plyonkanın qalınlığını müəyyən edən yağların özlülüyü temperaturdan çox asılıdır. Hesabatlar göstərir ki, əgər yağlayıcının hidrodinamik plyonkasının minimal qalınlığı yağın özlülüyündən xətti asılıdırsa, onda temperaturun 50 °S - dən 100 °S - yə qədər artması plyonkanın qalınlığının 8 dəfə azalmasına səbəb olur.

V FƏSİL

Materialların və maşın hissələrinin yeyilməsi

İstismar prosesində əsas maşın hissələrində zədələnmələr toplanır ki, bu da bir çox hallarda yorulmadan dağılmaya səbəb olur. Yorulmadan dağılma tsiklik təkrar rejimlə yüklənmə nəticəsində baş verir. Kontaktda böyük təzyiqdən hissələrin metal-larında təhlükəli zonanın əmələ gəlməsinə, onlarda dislokasi-yanın sıxlığının dəyişməsinə, mikroçatların əmələ gəlməsinə və bu mikroçatların birləşməsinə və nəhayət onların dağılmasına (məsələn, diyirlənmə yastıqlarının qaçış yollarında, dişli çarx-ların dişlərinin ovulmasına), həmçinin valların boltlarının və digər çoxlu hissələrin yorulmadan yeyilməsinə gətirib çıxarır. Misal üçün alman alimi Q. Roltser tərəfindən alınmış müxtəlif istismar şəraitlərində avtomobil hissələrinin yorulmadan dağıl-masının səbəblərinin analizinin nəticələrinə baxaq. (cədvəl 5.1)

Bu cədvəlin analizi göstərir ki, metallurgiya istehsalı prosesində materialın özünün qüsurları detalların ümumi qüsurlarının çox az bir hissəsini təşkil edir. Əksər hallarda yorul-madan dağılma konstruktiv, texnoloji və istismar səbəblə-rindən baş verir. Bu səbəblərin çox hissəsi yeyilmədən (90 %) işdən dayanmalara aiddir. Ona görə də, bu hadisənin öyrənil-məsi, detalların xidmət müddətinin artırılması üçün çox vacib əhəmiyyət kəsb edir.

DUIST 27674–88-ə uyğun olaraq yeyilmə maşın hissələ-rinin sürtünməsi zamanı materialın sürtünən səthində meydana çıxan dağılmaların, ayrılımların və (və yaxud) qalıq deforma-siyasının yığılması nəticəsində onların ölçülərinin və forma-larının tədricən dəyişməsi prosesi adlanır.

Yeyilmənin intensivliyi – yeyilmənin qiymətinin, yeyil-mə baş verən yola, və yaxud yerinə yetirilmiş işin həcminə və yaxud yeyilmə dövründə sərf edilmiş işin qiymətinə olan nisbətidir.

Cədvəl 5.1.

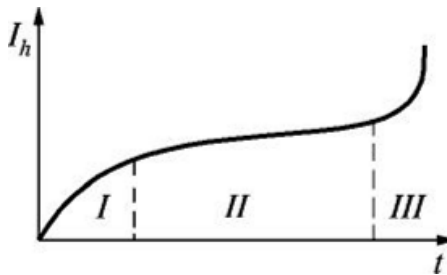
Avtomobil hissələrinin dağılması səbəblərinin analizi.

Hissələrin sıradan çıxması səbəbləri	Hissəsi, %	Təşkil edən səbəblər	Hissəsi %
Material	12	Hazırlanması (metallurgiya)	4
		Formaəmələgəlmə və termik emal (Yayma)	8
Hazırlanma texnologiyası	22,5	-	22,5
Konstruksiya və istismar şəraiti	65,5	Materialın seçilməsi (konstruktorlar)	1
		Konstruktiv həll (gərginlik konsentratörünün olması və s.)	38, 5
		İstismar zamanı meydana çıxan səthi dağılmalar	19
		Artıq yükləmələr (istismar)	7

Maşının iş prosesində hissələrin və qovşaqların yeyilməsinin göstəriciləri sabit qiymətlərini saxlamırlar. Onlar vaxta görə çox zaman V. F. Lorens əyrisi üzrə dəyişirlər (şək. 5.1).

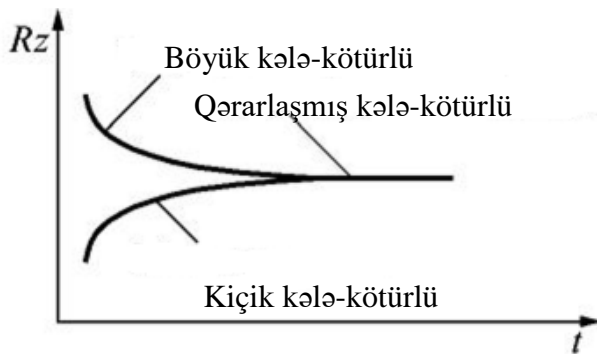
V. F. Lorens əyrisinə görə yeyilmə üç mərhələ ilə səciyyələnir: I – işləmə dövrü; II – qərarlaşmış yeyilmə dövrü; III – təhlükəli yeyilmə dövrü. İşləmə dövrü (I) istiliyin ayrılmasının artması, səthin mikrohəndəsəsinin dəyişməsi və sürtünmə səthlərindən yeyilmə məhsullarının intensiv ayrılması ilə səciyyələnir. Təcrübələr nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, müxtəlif şəraitlərdə və müxtəlif sürtünmə cütlərində istismardan sonra

müəyyən materiallar üçün səciyyəvi olan eyni vəziyyətli kələ -
kötürlü səthlər əmələ gəlir (şək. 5.2).



Şək. 5.1. İstismar müddətinin maşın hissələrinin yeyimə intensivliyinə I_h təsiri (V.F. Lorens əyrisi)

Qərarlaşmış yeyilmə prosesi (II) böyük intensivliyi olmayan yeyilmə ilə xarakterizə edilir və detalların ölçülərinin və formalarının dəyişməsi onların iş şəraitinə təsir etməyinə və yaxud materialın yorulma həddinə çatana qədər davam edir.



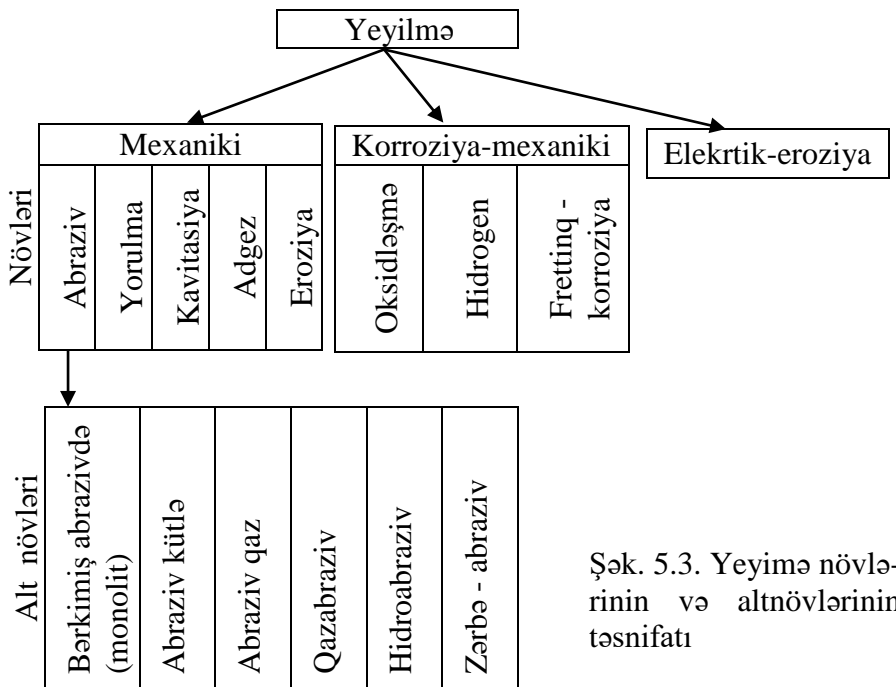
Şək. 5.2. İstismar vaxtının qərarlaşmış kələ-kötürlüyün müəyyən edilməsinə təsiri: Rz -nahamarlıqların orta hündürlüyü; t -vaxt

Konstruktor və yaxud qəzalı yeyilmələr (III) – bu dövrdə yeyilmədən işdən dayanmaların üzərinə korroziya, yorulma prosesləri və materialın köhnəlmə prosesləri əlavə olunur.

Bu praktiki olaraq triboqovşağın və yaxud maşının qəzadan əvvəlki (qəza) vəziyyətidir.

5.1. Yeyilmələrin növünün təsnifatlaşdırılması

Yorulmanın qiymətinə çoxlu sayda amillər təsir edir ki, onlar triboqovşaqların səthlərində müxtəlif növ dağılmalar əmələ gətirə bilər. Bu və ya digər amillər və yaxud amillər qrupunun üstünlük təşkil etməsindən asılı olaraq yeyilməni aşağıdakı qruplara ayırırlar (DÜİST 27674-88): mexaniki, korroziyalı-mexaniki və elektirik-eroziyalı və bunlar şəkil 5.3-də göstərilmişdir.



Şək. 5.3. Yeyilmə növlərinin və altnövlərinin təsnifatı

Nümunə kimi cədvəl 5.2-də avtomobilin elementlərinin və ayrı-ayrı hissələrinin yeyilməsinin növləri və alt növləri göstərilmişdir.

Cədvəl 5.2.

Avtomobilin elementlərinin və detallarının yeyilməsinin növləri və alt növləri.

Yeyilmənin növləri və alt növləri	Avtomobilin elementləri və hissələri
1	2
<p>Abraziv:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bərkimiş abraziv (monolit) - abraziv qazda - hidroabraziv - qazabraziv 	<p>Şimlərin protektorları</p> <p>Vallar və sıxlaşdırıcılar (manjetlər), oynaq dayaqlar, slindr – porşen qrupunun detalları, oynaq</p> <p>Soyutma və yanacaq sistemlərinin elementləri</p> <p>Çardağın alt hissəsi, səs söndürücünün elementləri</p>
Yorulma	Əsas triboqovşaqlar (yastıqlar, dişli çarxlar. Yumruqlar, itələyicilər, klapanlar və s.)
Kavitasiya	Soyutma sisteminin slindirlərinin köynəkdən kənar fəzası, detalları və elementləri.
Adqeziya	Yüksək temperaturda və pis yağlanan bütün sürüşmə yastıqları, val-ların septeleri, üzüklər və slindirlər.
Eroziya	Hava verici, çıxarıcı sistemin elementləri və böyük sürətlərdə kuzovların üstü.

1	2
Korroziya– mexaniki: - oksidləşdirici - fritting- korroziya	Xüsüsən qapalı kuzovların hissələri və çətin əl çatan yerləri Resorlar, təminatlı gərilməli birləşmələrin oturtma yerləri və s.
Elektroeroziya	Ayırıcı-bölüşdürücünün elektrik kontaktları stoporların, generatorların şotkaları və başqaları.

5.2. Abraziv yeyilməsi

Sərbəst və yaxud bərkidilmiş vəziyyətdə olan abraziv hissəciklərin kəsici və ya cızııcı təsirlərin nəticəsində hissənin materialının mexaniki yeyilməsi abraziv yeyilmə adlanır. Metalın bərkliyindən çox olan abraziv hissəcikləri hissənin səthini dağıdır və onların yeyilməsini kəskin şəkildə sürətləndirir. Hissəciklər ən çox mineral mənşəyli oksidlər, yeyilmə məhsulları və yaxud pərçimlənmiş metal hissəciklər olur. Onların müxtəlif formaları, çox hallarda iti tilli və yaxud qabarıqlı olur. Onların əsas təsir mexanizmi kəsmək və cızmaqdır.

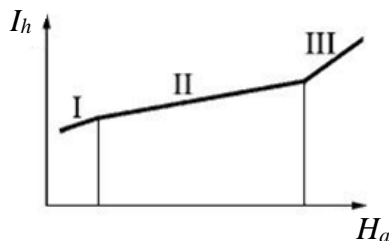
Abraziv yeyilmə ən çox yayılmış yeyilmə növlərindən biri hesab olunur. Nəqliyyat və yol maşınlarında 60 %-dən çox hallarda yeyilmə abraziv xüsusiyyətli olur. Abraziv hissəciklərin, maşın qovşaqlarına düşməsinin əsas mənbəyi ətraf mühitdir. 1 m² havada 60-70 % asılı mineral hissəciklərdən ibarət olan 0,04 - dən 5 q-a qədər tozlar var (kvars, korund, oksigen və silisium dioksidləri, Al, Ca, Mg, Na birləşmələri və s.). Havada olan mineral hissəciklər yüksək bərkliyə malikdir ki, (silisium diok-sidi SiO₂ 10780...11700 MPa, alüminium oksidi 20900...22900 MPa) bu da əksəriyyət maşın hissələrinin işçi səthlərinin bərk-liyindən çoxdur.

Abraziv yeyilməsinin intensivliyi abraziv hissəciklərinin H_a bərkliyinə düz mütənasibdir və sürtünmə səthlərinin bərkliyi H_m ilə tərs mütənasibdir. Yüksək bərklikli materialların yüksək abraziv yeyilməyə davamlılığı vardır.

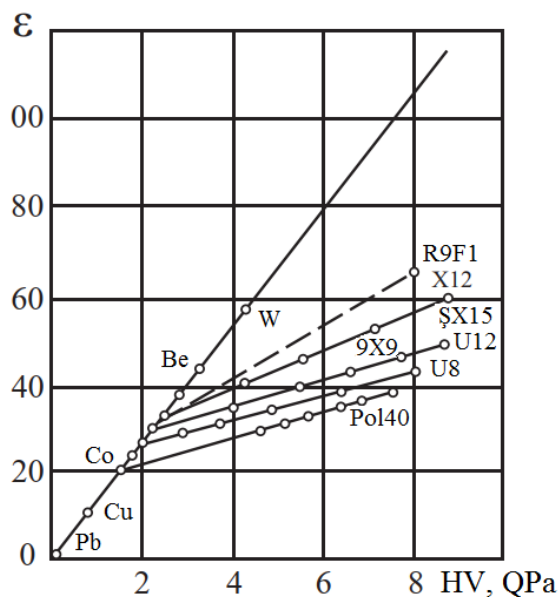
h_{kp} -nın (abraziv hissəciklərin yeyilən materiala daxil olması dərinliyi) hissəciyin dairələnmə radiusuna r olan nisbətinin kritik qiyməti mikrokəsməyə gətirir:

$$\frac{h_{kp}}{r} \geq \frac{1 - (2\tau / \sigma_T)}{2}.$$

Abraziv yeyilmənin, abrazivin və yeyilən materialın bərkliyindən miqdarca asılılığı şəkil 5.4 və 5.5 - də göstərilmişdir.



Şək. 5.4. Hissənin materialının yeyilməsinin intensivliyinə abrazivin bərkliyinin təsiri:
1 – $H_a < H_m$; 2 – $H_a = H_m$; 3 – $H_a > H_m$;



Şek. 5.5. Təmiz metalların, konstruksiya və alət poladlarının nisbi yeyilməyə davamlılığının ε abraziv yeyilmə zamanı onların bərkliyindən HV asılılığı. (M.M. Xruşov və M.A. Babiçevə görə)

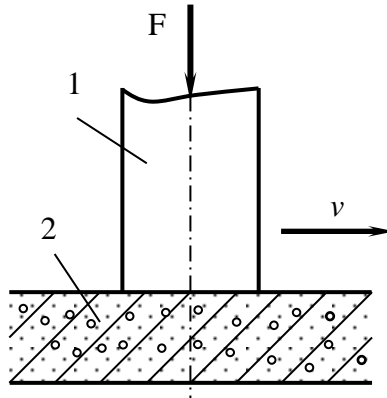
5.2.1. Bərkidilmiş abrazivdə yeyilmə

Bərkidilmiş abrazivdə sürtünmə metalın yeyilməsi və abrazivin özünün xırdalanması və parçalanması yolu ilə dağılması müşayət olunur. Bu metala nəzərən abrazivin yeyilməsi qabiliyyətinin yenilənməsinə gətirir (şek. 5.6).

Təcrübədə abraziv yeyilmənin yeyilmə qabiliyyəti ilə fərqlənən (monolit abraziv, abraziv qalığı və s.) müxtəlif variantlarına rast gəlinməklə yanaşı, onlar üçün o, ümumi olacaqdır ki, abraziv hissəciklər qeydə alınır.

Metal - abraziv belə qarşılıqlı təsirindən möhkəmlik əsası meydana çıxır. Əgər metal daha bərk və möhkəm olarsa onda

abraziv dağılacaq və tərsinə qəbziv bərk və möhkəm olsa, metalın kəsilməsi və deformasiyası baş verəcək. Abraziv yeyilmənin belə alt növünün əsas əlaməti metal səthdə yaxşı fərqlənən xətlərin (cızılmalar) və müxtəlif uzunluqda dərin kəsilmələrin olması və onların həmişə metalın və yaxud abrazivin hərəkəti istiqamətinə yönəlidir (şək. 5.7).



Şək. 5.6. İndentorun 1 abraziv monolitdə
2 yeyilməsinin sxemi

Metalın yeyilməsinin intensivliyini funksional şəkildə aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$\dot{I}_h = \varphi(H_a, H_M, \sigma_M, \sigma_a, F_n, T),$$

burada H_a - abrazivin bərkliyi; H_M -abrazivin materialının bərkliyi; σ_M - abrazivin materialının möhkəmliyi; σ_a - abrazivin möhkəmliyi; F_n - normal yük; T – hissənin səthində temperaturdur.



Şək. 5.7. Materialın bərkidilmiş abrazivdə yeyilməsi zamanı sürtünmə səthinin tapoqrafıyası: material- polad 3, x10

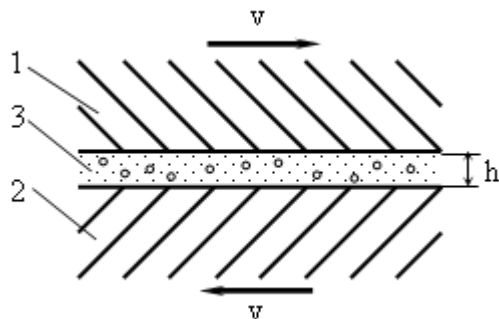
Böyük yüklərdə metalın abrazivin monoliti üzrə sürtünməsi yeyilmə mexanizmini və kontakt sahəsində relyefi keyfiyyətcə dəyişə bilər. Abraziv yeyilməsi qismən termal yeyilməyə çevrilə bilər. Belə şəraitlərdə soyuducu maye sürtünmə sahəsində kontaktın xüsusiyyətinə və sürtünən səthlərin yeyilməsinə müsbət təsir edə bilər.

5.2.2. Abraziv qatda yeyilmə

Bərkidilmiş abraziv hissəciklərlə yeyilmə adətən metal səthlərin 1 və 2 dinamik kontaktı zamanı, onların azalmasına abraziv və yaxud digər bərk hissəciklər 3 düşdükdə baş verir (şək. 5.8).

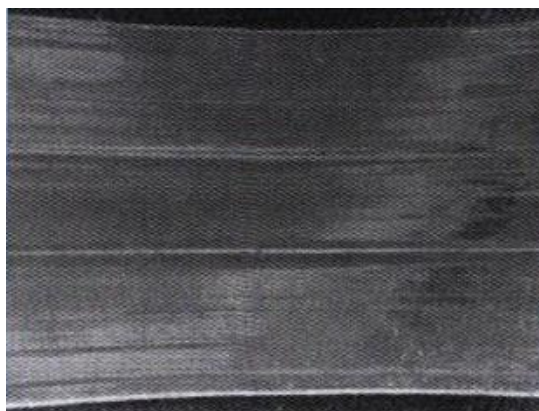
Belə sxemdə bərk hissəciklər, kontakt səthlərinin tam yaxınlaşmasına mane olan abraziv qat şəkilində iştirak edir. Abraziv qatda bərk hissəciklər özlərinin tilləri ilə metal səthə zərbələr endirə bilər, sürüşə bilər, orada dərinləşmələr kələ-

kötürlüklər və yaxud cızılmalar əmələ gətirməklə diyiirlənə bilir (şək. 5.9).



Şək. 5.8. Metal səthlərin abraziv qatda yeyilməsi.

Abraziv qatda yeyilmə qovşaqlarda və daha çox müxtəlif maşın və mexanizmlərin val–oymaq şəklində olan birləşmələrində baş verir.



Şək. 5.9 Sürüşmə yastığının içliyinin (material-ərinti A020-1, $\times 4$) yeyilmiş səthinin topoqrafiyası

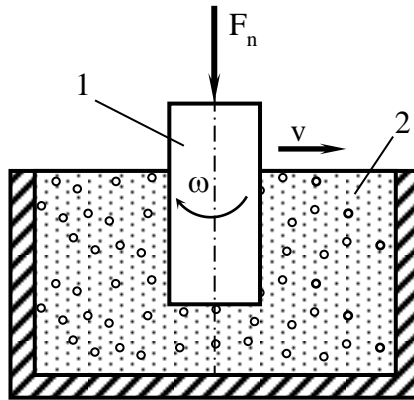
Abraziv qatda maye mühitin olması (yağ, su və b.), maşının soyuducu və yağlayıcı təsirlərin hesabına triboqovşaqlarda elementlərin qarşılıqlı təsiri şəraitini yaxşılaşdırır. Bu mühit abrazivi araboşluqlardan çıxarılmasına şərait yaradır. Belə hallarda yeyilmə səthlərində soyudma prosesini yaxşılaşdırmaq üçün cib nəzərdə tutulur ki, buraya abraziv hissəciklər düşür və sonradan onlar yeyilmə prosesində iştirak etmir, kontakt sahəsindən maye ilə çıxarılırlar. Abraziv qatda yeyilmənin intensivliyini aşağıdakı asılılıqla ifadə etmək olar:

$$\dot{I}_h = \varphi(H_a, H_M, \sigma_M, \sigma_a, F_n, O, T),$$

burada, O – abraziv hissəciklərin oktantlılığıdır.

5.2.3. Abraziv kütlədə yeyilmə

Maşın hissələrinin bərkidilməmiş abraziv hissəciklərin kütləsində hərəkət zamanı ayrıca götürülmüş hissəciklərin və hissənin kontaktında qüvvələrin qarşılıqlı təsiri abraziv yeyilmənin əvvəl baxdığımız alt növlərində müşayət olunan analogi qarşılıqlı təsirdə olacaqdır (şək. 5.10).



Şək. 5.10. Numunənin 1 abraziv kütlədə 2 yeyilməsinin sxemi

Abraziv hissəcik hissənin səthində, mikrokəsməklə və yaxud hissənin plastik deformasiyası ilə müşayət olunan yerdəyişmə edəcəkdir.

Abraziv kütlədə sürtünmə zamanı yeyilmə şəraiti kontaktda xarici qüvvə təsirlərinə görə abraziv yeyilmənin digər alt növlərinin şəraitlərindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir: abraziv kütlə ötürücüdür (elastikliyin fərqi), orada hissələrin hərəkətinə göstərilən müqavimət abraziv yeyilmənin digər alt növlərindəki müqavimətdən çox azdır, abraziv hissəciklər hissəylə hərəkət yolundan sıxışdırılır, kontaktdakı qüvvə abraziv kütlədə hərəkət edən hissənin sürəti, bu kütlənin sıxlığı, ölçüləri və onun hissəciklərinin bərkliyi və həmçinin abraziv kütləsində maye mühitin olması ilə müəyyən edilir.

Abraziv mühitdə sürtünmə zamanı yeyilmənin intensivliyi, bərkidilmiş abrazivdə sürtünməyə nəzərən kifayət qədər aşağı olacaqdır. Təcrübədə bu alt növ abraziv yeyilməyə kənd təsərrüfatında torpaq emal edən maşınların, tikintidə məhlul və beton qarışdırıcı maşınların hissələri və dağ-mədən maşınlarının işçi üzvləri və s. məruz qalır. Şəkil 5.11-də misal kimi hidroabraziv kütlədə spiral klassifikatorun rezin futerovkalarının yeyilməsinin xüsusiyyəti göstərilmişdir.



Şək. 5.11 Spiral klassifikatorların futerovkasının (material-rezin 10214x5) işçi səthinin abraziv kütlədə yeyilməsinin xüsusiyyəti.

Səth hissələri böyük olmayan uzununa cızılmalarlı və kiçik dərinləşmələrli hamardır ki, bu da yorulma və az intensiv abraziv yeyilmənin reallaşmasına səbəbdir.

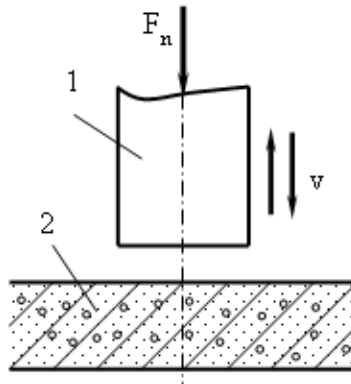
Abraziv kütlədə yeyilmənin intensivliyini funksional olaraq aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$I_h = \varphi(\omega, v, \rho_a, d, F_n, O, A),$$

burada, ω - nümunənin bucaq sürəti, v - nümunənin yerdəyişməsinin və yaxud abraziv hissəciyin xətti sürəti; ρ_a - abraziv hissəciyin sıxlığı; d - abraziv hissəciyin diametral ölçüsü; F_n - normal yük; O - abraziv hissəciyin oktantlılığı; A - mühitin aşındırıcılığı.

5.2.4. Abrazivə zərbə zamanı yeyilmə

Maşın hissələrinin, mexanizmlərin və alətlərin bərk səthdə sərbəst yerləşmiş və yaxud iri **suxur** şəklində olan bərkimiş (monolit) və yaxud bərkiməmiş abraziv hissəciklərin zərbə təsirindən yeyilməsinin çoxsaylı nümunələri məlumdur (şək. 5.12).



Şək. 5.12. Nümunənin 1 abraziv (monolitə) 2 zərbəsi zamanı təsirinin sxemi

Zərbə təsiri ilə bərk hissəciyi nümunəyə düz tətbiq etdikdə onda təqribən hissəciyin həndəsəsini köçürməklə çuxur şəklində dərinləşmələr əmələ gətirir (şək. 5.13).



Şək. 5.13. Bərkidilmiş abrazivə (material – polad 3, $\times 10$) zərbə zamanı yeyilmiş metal səthin topoqrafiyası.

Son nəticə kimi abrazivin hissəciyinin çuxura tətbiqinə çoxlu amillər təsir edir:

$$I_h = \varphi(H_a, H_M, \sigma_M, \sigma_a, F_n, v, m),$$

burada, v - nümunənin yerdəyişməsinin xətti sürəti; H_a - abrazivin bərkliyi; H_M - nümunənin materialının bərkliyi; F_n - normal yük; σ_M - nümunənin materialının möhkəmliyi; σ_a - abrazivin möhkəmliyi; m – hissəciyin kütləsidir.

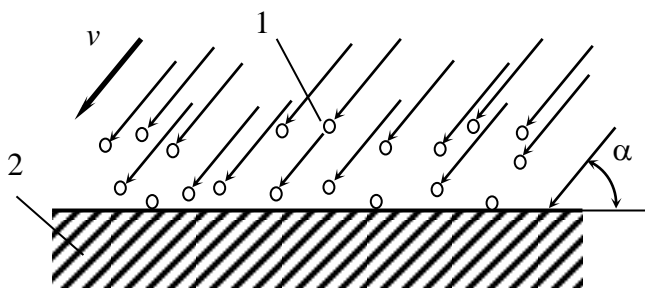
5.2.5. Qazabraziv yeyilməsi

Qazabraziv yeyilməyə, hava axını (qaz) ilə ümumdünya cazibə qüvvəsi ilə və yaxud abraziv hissəciklərin mərkəzdən-

qaçma sürətləndiricilərdəki mərkəzdənqaçma qüvvələri ilə aparılan sərbəst abraziv hissəciklərlə yeyilmə əmələ gəlməsi müşayiət edilir (şək. 5.14). Belə yeyilmə qum şırnaqlı aparatların, şırnaqlı dəyirmanların hissələrində, kompressorlarda, sənaye sərinqşlərində, üfürücülərdə, tozlanmış axınlarda istismar edilən hissələrdə və s. baş verir.

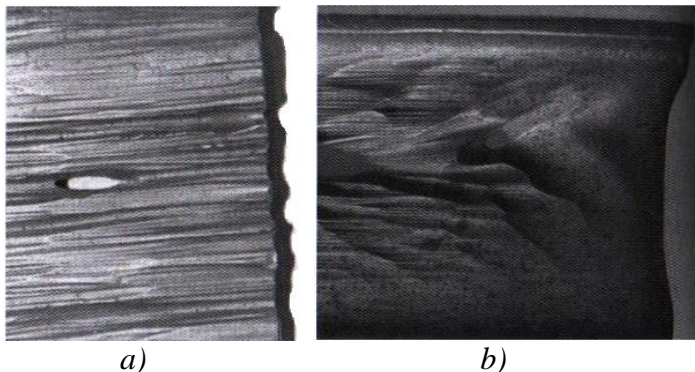
Qazabraziv axında materialların yeyilməsinin öyrənilməsinə İ.K. Lebedevin, V.İ. Kassalvanın, V.N. Vиноgradovun, Q. M. Sorokinin, İ.R. Kleysin, E. F. Nepomnyaşinin, Q. Uetun, K. Vellingerin, N. Finninin və başqalarının işləri həsr olmuşdur.

Qazabraziv yeyilmə prosesinin formalaşmasına və onun intensivliyinə energetik amillər (hissəciyin sürəti və kütləsi) və hissəciyin hücum bucağı α daha çox təsir göstərir. α -nın kiçik qiymətlərində hissəciyin zərbəsi sürüşmə ilə müşayiət olunur və bu halda bir çox materialların yeyilməsinin intensivliyi monolit üzərində sürüşmə zamanı abraziv yeyilməyə yaxın olur (şək. 5.15, a).



Şək. 5.14. Qazabraziv axının 1 yeyilən səthə 2 təsirin sxemi

Hücum bucağı 90° -yə yaxın olduqda abraziv yeyilmənin mexanizmi dəyişir (şək. 5.15, b). Bu halda yüksək qazabraziv yeyilməyə dayanıqlılıq metal-keramik bərk ərintilər və elastometrlər göstərir. Plastmasların yeyilməyə davamlılığı 1...3 sıra aşağıdır.



Şək. 5.15. Qum şirnaqlı aparatın müxtəlif hücum
bucaqları zamanı kürəklərinin yeyilməsinin
xüsusiyyətləri

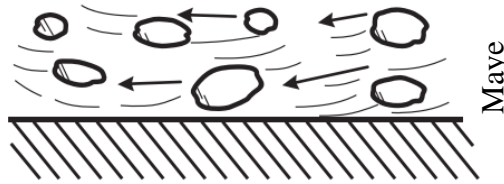
Qazabraziv yeyilməyə məruz qalmış çoxlu hissələrin səthində bərk hissəciklərin axın sürəti vektoruna perpendikulyar istiqamətdə dalğavari səth əmələ gəlir. Bərk hissəciklər axının təsiri nəticəsində yeyilən səthdə əmələ gələn dalğalar bu axının hərəkətini düzülmüş hissəciklərlə əlaqələndirir. Lakin belə dalğalar kiçik hücum bucaqlarında ən çox hallarda isə axın burulğan şəkildə olduqda əmələ gəlir. Materialların və maşın hissələrinin qazabraziv yeyilməsinin intensivliyi aşağıdakı asılılıqla ifadə edilə bilər:

$$I_h = \varphi(v, \rho, d, \alpha, H_a, H_M, m, O, T, t),$$

burada, v - qazabraziv axının sürəti; ρ - abraziv hissəciklərin sıxlığı; d - abraziv hissəciklərin diametral ölçüsü; α – hücum bucağı; H_a - abrazivin bərkliyi; H_M - nümunənin materialının bərkliyi; m - hissəciyin kütləsi; O - abraziv hissəciklərin oktantlığı; T - hissənin səthində temperatur; t - sınaq müddətidir.

5.2.6. Hidroabraziv yeyilmə

Hidroabraziv yeyilmə zamanı, abraziv hissəciklərin daşıyıcısı maye olur (şək. 5.15). Ona görə də hidroabraziv yeyilmənin intensivliyi hissənin səth qatının maye mühit tərəfindən möhkəmliyinin itirilməsini nəzərə almaqla yeyilmə prosesini formalaşdırmasını idarə edən amillərdən (sürət, hissəciyin kütləsi, hücum bucağı və başqaları) asılıdır. Bu növ yeyilməyə qum, refuler nasosların, hidroturbinlərin və çoxlu sayda dağmədən avadanlıqlarının hissələri (hidrotsiklinlər, separatorlar, flozasiya maşınları, pulpa nəqlediriciləri və s.) məruz qalır.

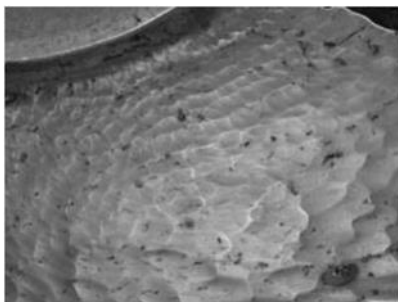


Şək. 5.15. Hidroabraziv yeyilmənin sxemi

Bu mürəkkəb prosesin qanunauyğunluqlarını bir sıra xarici alimlər (S. P. Kozırev, M. M. Tenenbaum, E. Kriqel, Q. Finnl və b.) tədqiq etmişlər. Hissəciklərin və mühitin hissənin səthi ilə qarşılıqlı təsirinin qüvvə sxemi qazabraziv yeyilmədə olduğu kimidir, yəni bu prosesdə həll edici rol hücum bucağı oynayır. Oazabraziv yeyilmədə olduğu kimi yeyilən hissənin səthində özünəməxsus yeyilmə dalğaları əmələ gəlir, bəzi hallarda bu daha açıq şəkildə özünü göstərir. Dalğaların istiqaməti axının hərəkət istiqamətinə, o cümlədən onların buruqlanmasına uyğun gəlir

Abraziv hissəciklərin hissənin səthi üzrə zərbə ilə görüşmə sahəsində mayenin olması yuma, kontaktın kiçik abraziv hissəciklərdən təmizlənməsi, hesabına və həcmnin səthin mikroçatlarına mayenin pazlaşmadan azad olmasına təsiri hesa-

bına bu proses aktivləşir. Mayedə müəyyən sürətlə hərəkət edən abraziv hissəciklər daha dayanıqlı və stabil sistem əmələ gətirir hansı ki, hissəciklərin hərəkəti zamanı qarşılıqlı zərbə təsirinə məruz qaldıqda yeyilmiş səthdən sıçraması müəyyən özlüklü maye fazasının müqaviməti ilə çətinləşir. Eyni zamanda maye yeyilmiş səthi yaxşı soyudur, hissəciyin sürüşmə ilə zərbəsi zamanı özünəməxsus yağlayıcı olur ki, öz növbəsində sürtünmə əmsalını və uyğun olaraq yeyilmənin intensivliyini, xüsusən rezin və yapışdırılmış hissələrdə aşağı salır (şək. 5.16).



Şək. 5.16. Qum nasosunun işəti çarxlarının hidroabraziv axında (material – xromnikelli cuqun ИЧХ28Н2) yeyilməsinin xüsusiyyəti

Lakin hidroabraziv axının sürətinin və təzyiqinin müəyyən qiymətlərində mayedə abraziv yeyilmə güclənir və kavitasiya ilə mürəkkəbləşir.

Maşın hissələrinin hidroabraziv yeyilməsinin intensivliyini aşağıdakı asılılıqla ifadə oluna bilər:

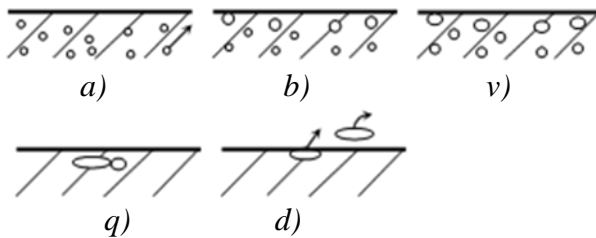
$$\dot{I}_h = \varphi(v, \rho, d, \alpha, H_a, H_M, m, \sigma_a, \sigma_M, O, T, t, A),$$

burada, v - abraziv axının xətti sürəti, ρ - abraziv hissəciklərin sıxlığı; d - abraziv hissəciklərin diametral ölçüsü; α -

hücum bucağı; H_M - nümunənin materialının bərkliyi; m - hissəciyin kütləsi; σ_M - nümunənin materialının möhkəmliyi; σ_a - abrazivin möhkəmliyi; O - abraziv hissəciklərin oktantlığı; T - hissənin səthindəki temperatur; t - sınaq müddəti; A - mühitin aşındırıcılığıdır.

5.3. Yorulma yeyilməsi

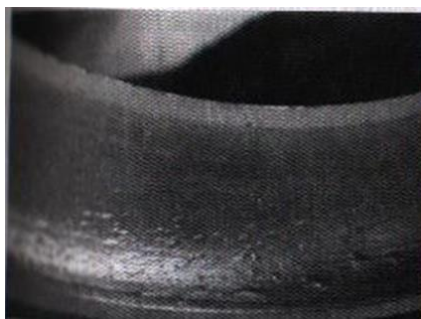
Yoruma yeyilməsi - materialın mikrohəcmnin çoxsaylı deformasiyası nəticəsində materialın mexaniki yeyilməsidir. O, kontaktda olan səthlər yağlanmadıqda, həmçinin sərhəd rejimlərində yağlandıqda və maye yağlanması zamanı baş verir. Bu tsiklik yüklənmə şəraitində olan (dişli çarxlar, sürüşmə, diyirlənmə yastıqları, yumruqlu mexanizmlər və s. hissələr) hissələrin səthlərinin dağılmasının geniş yayılmış növlərindən biridir. Yorulma yeyilməsinin mexanizmi ardıcılıqla şəkil 5.17-də göstərilmişdir.



Şək. 5.17. Yeyilən materialın kontakt sahəsində qüsurlarının yerdəyişməsinin və yeyilmə hissəciklərinin əmələ gəlməsi.

Cisimlərin sürüşməsi zamanı nisbi yerdəyişməsi onların hər birinin səthində faktiki kontakt sahəsinin yerdəyişməsinə səbəb olur ki, nəticədə mikrohəcmnlərin gərginlikli və deformasiya vəziyyəti çox sayda dəyişir (şək. 5.17, a). Bu səth qatının

dərinliyində lokal həcmərdə müxtəlif növ qüsurlar: dislokasiyaların, boşluqların, təkmilləşmiş quruluşların, kənar daxil olmaların və gərginliyin digər konsentrantlarının toplanmasına səbəb olur. (şək. 5.17, *b*, *v*). Sonradan onların səthi yerdəyişməsi və bu qüsurların mikroçatlarda inkişafı baş verir, hansı ki, (şək. 5.17, *q*) öz aralarında birləşir və yeyilmə hissəciyini əmələ gətirir (şək. 5.17, *d*). Nəticədə hissənin işçi səthində boşluqlar və dərinləşmələr əmələ gəlir (şək. 5.18).



a)



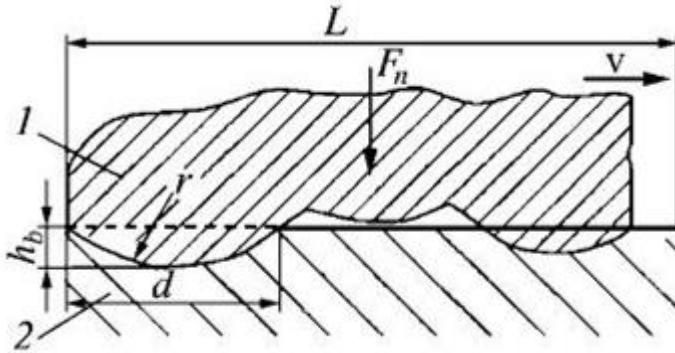
b)

Şək. 5.18. Hissələrin yorulma yeyilməsi:

a) diyirlənmə yastığının xarici üzüyü (material-polad ŞX15, $\times 4$); *b)* qatarın təkəri

XX əsrin 60-cı illərində İ. V. Kraqelski tərəfindən materialların yorulmadan yeyilməsi nəzəriyyəsi işlənmişdir. Onun

əsasında şəkil 5.19, *a*-da göstərilmiş hesabat modeli qoyulmuşdur.



Şək. 5.19 Sərt kələ-kötürlü cismin deformasiya edən hamar cisimlə kontaktının modeli.

Burada səthi kələ-kötür olan mütləq sərt deformasiya etməyən cismin 1 deformasiya edən hamar cismin 2 üzərində nisbi yerdəyişməsi zamanı qarşılıqlı təsirə baxılır. Bu zaman aşağıdakı şərtlər qəbul edilir:

a) Cismin 1 mikrohəndəsəsi r radiuslu sferik seqmentlərin yığımindan ibarətdir, hansı ki, hündürlükləri aşağıdakı tənliklə yazılan dayaq səthinin əyrisinə uyğun olaraq yerləşir:

$$\eta = b\varepsilon^v,$$

burada, $\eta = A_r / A_a$ cisimlərin nisbi toxunma sahəsidir (burada A_r və A_a faktiki və nominal toxunma sahəsidir); $\varepsilon = h / r$ cisimlərin nisbi yaxınlaşmasıdır (burada, h -cisimlərin yaxınlaşması, r – sferanın radiusudur); b və v sabit əmsallardır.

b) 1 -ci cismin 2 – ci cismə nəzərən nisbi hərəkəti zamanı sonunucunun ayrı-ayrı səthi mikrohəcmləri işarəsi dəyişən tsiklik deformasiyaya məruz qalır.

v) 1-ci cismin qeyri-bərabərliklərinin ayrı-ayrı tsikllərinin 2-ci cismin materialının mikrohəcmələrinə təsirinin cəmlənməsi üçün xətti hipotez qəbul edilir, yəni $n_{\Sigma} = \Sigma n_i$;

q) materialın ayrılmasına qədər tsikllərin sayı kontaktda gərginliklərin vəziyyətindən asılıdır.

Bu zaman bölmə 2.2- də qeyd edildiyinə uyğun olaraq kontaktda olan gərginlik 2-ci cismin materialının axıcılıq həddindən aşağı (elastiki kontakt) olduqda çoxtsiklli friksion yorulma və kontaktda gərginlik axıcılıq həddinə çatdıqda (plastik kontakt) isə aztsiklli friksion yorulma kimi fərqləndirilir. Bu hallardan hər birinə materialın dağılmasına qədər tələb olunan tsikllərin sayını təyin edən, özünün eksperimentdən alınan tənliyi uyğun gəlir:

-elastik kontakt üçün:

$$n_y = (\sigma_0 / \sigma)^t, \quad (5.1)$$

-plastik kontakt üçün:

$$n_{hl} = (\varepsilon_0 / \varepsilon)^t, \quad (5.2)$$

burada, σ_0 və ε_0 – materialın gərginliyi və nisbi deformasiyasıdır ki, yeyilmə hissəciklərinin əmələ gəlməsi bir dəfə təsirdə ($n = 1$) baş verir, σ və ε kontakta təsir edən gərginlik və deformasiyadır; t – materialın funksional yorulma parametridir, eksperimentlərlə təyin edilir. (elastik kontakt üçün $0 < t < 8$ və plastik kontakt üçün $2 < t < 3$).

Maşın hissələrinin və materialların uzunömürlülüyünü təyin etmək üçün ən perspektivli energetik yanaşmadır ki, burada tsikllərin sayını dəyişən gərginliyin təsiri zamanı materialın zədələnməsinə sərf olunan enerjinin, materialın bir dəfə yükləməklə dağılması üçün tələb olunan ümumi enerjiyə olan nisbəti ilə təyin etmək olar.

Materialın dağılmasının yorulma modelindən yorulmanın intensivliyinin tənliyi aşağıdakı kimi alınır. 2-ci cismin materialının yeyilməsinin (şək. 5.13) xətti intensivliyi ilə səciyyələnilir:

$$I = \frac{h}{L} = \frac{V_{\Sigma}}{A_a L}, \quad (5.3)$$

burada, V_{Σ} - sürüşmə yolunda L ayrılan materialın cəm həcmi; A_a - nominal kontakt sahəsi; h - materialın yeyilmə qatının qalınlığıdır.

Həqiqətən material ancaq real toxunma izindən çıxdığı üçün (faktiki kontakt sahəsindən A_r), yeyilmənin xüsusi intensivliyi anlayışı daxil edilir:

$$i_h = \frac{V_d}{A_r d}, \quad (5.4)$$

burada, V_d - cisimlərin bir akt qarşılıqlı təsiri nəticəsində 1 – ci cism, kontakt izinin diametri d qədər hərəkət etdikdə 2 – ci cism A_r səthindən çıxarılan materialın həcmidir.

Qəbul edilir ki, yeyilmə qərarlaşmış (xətti) qanun üzrə baş verir, ona görə də aşağıdakı nisbət doğrudur:

$$\frac{V_{\Sigma}}{V_d} = \frac{L}{d} \quad (5.5)$$

Onda, (5.3) ifadəsini (5.4) ifadəsinə bölsək alırıq

$$I = i_h \frac{A_r}{A_a} = i_h \frac{p_a}{p_r}, \quad (5.6)$$

burada, p_a və p_r - toxunmanın nominal və faktiki sahələrində təzyiqdir.

Tutaq ki, deformasiyada ancaq 2- ci cismin həcmi iştirak edir ki, onun qiyməti 1 -ci cismin qeyri-bərabərliklərinə daxil olan həcmə bərabərdir (şək. 5.10):

$$V_d = \int_0^{h_b} A_r dh = A_a R_{\max} b \int_0^{\varepsilon} \varepsilon^v d\varepsilon = A_a R_{\max} \frac{b\varepsilon^{(v+1)}}{(v+1)}. \quad (5.7)$$

Həmçinin, qəbul edək ki, V_b həcmi cisimlərin gərginliyi təsirinin n tsiklində dağılır:

$$V_b = nV_d \quad (5.8)$$

Onda, (5.7) və (5.8) ifadələrini (5.4) ifadəsində yerinə yazsaq alarıq:

$$i_h = \frac{A_a R_{\max} b\varepsilon^{(v+1)}}{(v+1)A_r nd} = \frac{h_b}{(v+1)nd} \quad (5.9)$$

Sferik nahamarlıq üçün həndəsi əlaqələrdən təqribi aşağıdakı bərabərlik doğrudur (şək. 5.10-a bax):

$$d = 2\sqrt{2rh_b}. \quad (5.10)$$

(5.6) ifadəsində (5.9) və (5.10) ifadələrini nəzərə alsaq, materialın friksion - yorulma yeyilməsi zamanı yeyilmənin intensivliyi tənliyini alarıq:

$$\dot{I}_h = \frac{0,3}{(v+1)} \sqrt{\frac{h_b}{r} \frac{p_a}{p_r} \frac{1}{n}}. \quad (5.11)$$

Beləliklə, materialın yeyilməsinin intensivliyi qeyri – bərabərliyin daxil olmasının nisbi dərinliyi h_b / r və uyğun olaraq ona mütənasib xarici qüvvə F_n , səthin mikrohəndəsəsi v , nominal və faktiki təzyiqlərin nisbəti p_a / p_r və yeyilmə hissəciklərinin ayrılmasına gətirən tsikllərin sayı n ilə təyin edilir. Tsikllərin sayı n kontakt gərginliklərindən və deformasiyadan asılıdır. Onlar kontaktdakı sürtünmə prosesləri ilə əlaqədardır və (5.1) və (5.2) tənlikləri ilə təyin edilir.

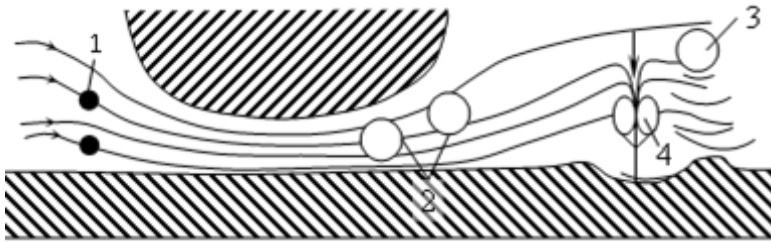
(5.11) tənliyi əsasında friksion yorulma zədələnmələrinin xətti cəmlənməsi hipotezini qəbul edərək, bərk cisimlərin elastik və plastik kontaktda üçün triboqovşaqların yeyilməsinin intensivliyini hesablamaq üçün analitik asılılıqlar alınmışdır.

5.4. Kavitasiya yeyilməsi

Mexaniki yeyilmənin növlərindən biri də kavitasiya yeyilməsidir. Yerli təzyiqin ani dəyişməsi nəticəsində mayedə qabar-cıqların əmələ gəlməsi və aradan çıxması prosesi kavitasiya adlanır. Əgər maye axınında təzyiq doymuş buxarın təzyiqindən aşağı düşürsə, məsələn axının həndəsəsinin kəskin dəyişməsi zamanı orada kavitasiya nüvəsi əmələ gəlir ki, onlar maye ilə birlikdə hərəkət edir. Qabarcıqlar yüksək təzyiq sahəsinə çatdıqda onlar kəskin lopalaşırlar. Bu lopalaşma bərk cisimin səthinin yaxınlığında baş verdikdə, orada eroziya yarada bilər.

Kavitasiyanın yaranma mexanizmi belə səciyyələndirilir. Sıxılma sahələrində və ya yolunda maneələrin olması yüksək sürətlə hərəkət edən maye axınında təzyiq, müəyyən bir temperaturda mayenin buxarlanma təzyiqinə qədər azala bilər. Bu halda, mayenin ayrı-ayrı mikrohəcmlərində, mühitin davamlılığında qırılmalar, boşluqların əmələ gəlməsi (şək. 20-də 1) və onların buxar və ya qazla dolması, kavitasiya

boşluqlarının əmələ gəlməsi (şək. 20-də 2) baş verə bilər. Bu, bir neçə onlarla mkm ölçüsündə mikroqabarcıqların əmələ gəlməsinə səbəb olur (şək. 20-də 3). Nahamar səthdə maye axdıqdan sonra sürəti azalır və statik təzyiq artır. Buxar kondensasiya olunur və qaz həll olur, qabarcığın çökməsi ilə müşayiət olunur. Qabarcığın səthi sıxılır və maye molekulları ona yüksək sürətlə daxil olur (şək. 20, 4).



Şək. 20. Kavitasiya boşluqlarının yaranması və lopaşması sxemi:

1-kavitasiyanın nüvəsi; 2-kavitasiya qabarcığı;
3-qabarcıq; 4-qabarcığın dağılması

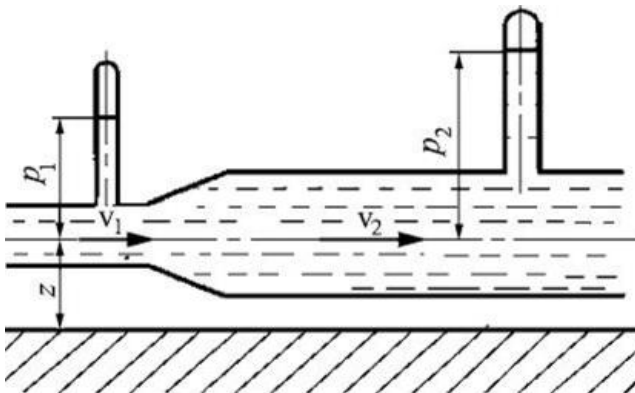
Adətən bu tip kavitasiya hidravlik turbinlərdə, boru nəqletdiricilərində, avar vintlərinin kürəklərində, gəmilərin sualtı qanadlarında və s. müşayiət olunur və hidrodinamik adlanır. Metallarda kavitasiya dövrü olaraq dəyişən təzyiqlərin təsiri-rindən məsələn hidravlik nasoslarda, klapanlarda və həmçinin mühərriklərin titrəməyə məruz qalan yağlama və soyutma sistemlərində, məsələn dizel mühərriklərində (şək. 5.21) meydana çıxı bilər. Bu halda kavitasiya titrəyişli kavitasiya adlanır.

Kavitasiyi yeyilməsi adətən çox intensiv olur və qabarcıqların lopaşması zamanı hissələrin səthində müşahidə olunur, bu zaman zərbə dalğasının və yaxud şırnaq zərbəsinin qiyməti $10^3 \div 10^4$ MPa-a çata bilər.



Şək. 5.21. DYM-nin silindrinin köynəklərarası fəzasının kavitasiya yeyilməsi (mat. - çuqun CЧ30).

Kavitasiya yeyilməsinin əsasında aşağıdakı fiziki hadisələr durur: Bernulli tənliyinə uyğun olaraq mayenin üfüqi hərəkət edən axınında ($z = \text{const}$) mayenin elementar həcmnin və statik təzyiqin kinetik enerjilərin cəmi sabit qalır (şək. 5.22).



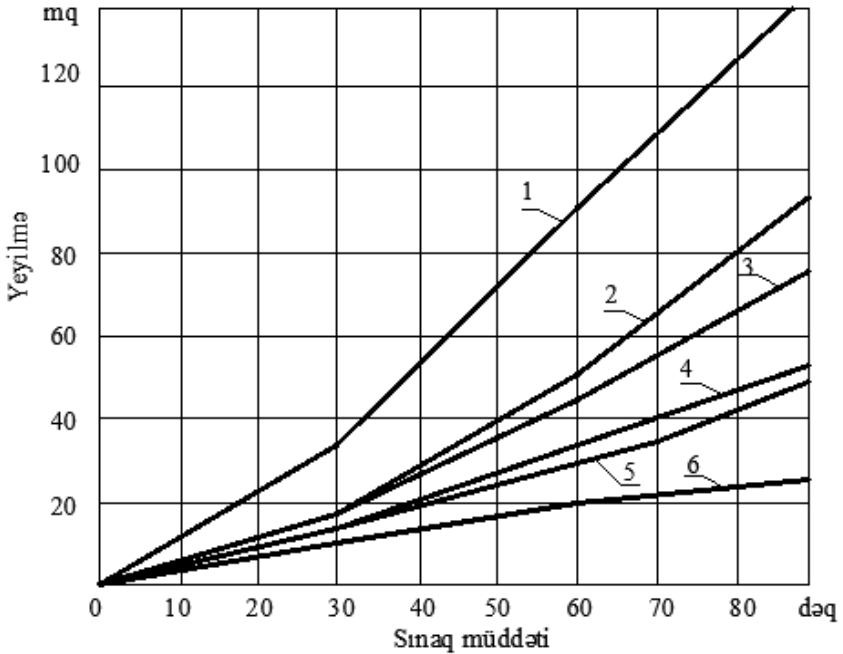
Şək. 5.22. Genişlənən boruda mayə axınının hərəkət sxemi.

Bunu aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = const, \quad (5.12)$$

burada, ρ - mayenin sıxlığı; v - maye axınının sürətidir.

Çoxsaylı təcrübi məlumatlar kavitasiya yeyilmə prosesinin əsasən mexaniki xüsusiyyətli olduğunu göstərir. Aşındırıcı mühit, bütün yorğunluq proseslərində olduğu kimi, materialların dağılma müqavimətinə aktiv təsir göstərir, onu azaldır. Şəkil 5.23-də karbonlu poladların kavitasiya yeyilməsinə sınağının nəticələri göstərilmişdir.



Şək. 5.23. Karbonlu poladların kavitasiya yeyilməsi:

1-polad 20, bərklik 1175 MPa; 2-polad 35, bərklik 1520 MPa;
 3-polad 40, bərklik 1500 MPa; 4-polad 50, bərklik 1590MPa;
 5-polad 48, bərklik 1530 MPa; 6-polad Y7, bərklik 1890 MPa.

(5.12) ifadəsinə uyğun olaraq, əgər axının hər hansı bir mikrohəcmində sürət düşürsə (artırsa), onda axının bu mikro-həcmində təzyiq artır (azalır).

Maye axınında olan r radiuslu qaz qabarcığı eyni zamanda üç təzyiqin təsirinə məruz qalır. Onu mayədə statik təzyiq P və aşağıdakı Laplas tənliyi sıxır:

$$p_l = \sigma_{mq} / (2r),$$

burada, σ_{ms} - maye – qaz sərhəddində mayenin səthi gərginlik əmsalı; r – qabarcığın radiusudur.

Bu təzyiqlərə qaz qabarcığının və yaxud maye buxarının təzyiqi p_b əks təsir göstərir.

Əgər $p_b < p + p_l$ olarsa, onda qabarcığın həcmi artır, $p_b > p + p_l$ olduqda qabarcığın ölçüləri bu təzyiqlərin bərabərləşməsinə qədər $>$ sıxılır, yəni $p_b = p + p_l$

Yüksək sürətlə hərəkət edən maye axınının daralan və yaxud onun yolunda maneələr olduqda onun təzyiqi verilmiş temperaturda mayədə buxar əmələgəlmə təzyiqinə qədər aşağı düşə bilər. Bu zaman mayenin ayrı-ayrı mikrohəcmlərində, bütöv mühitin qırılması, boşluqların əmələ gəlməsi və onların buxarla və yaxud qazla dolması baş verir, Bu bir neçə onlarla mikrometr ölçüdə mikroqabarcıqların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Əgər sonradan belə mikroqabarcıqlar yüksək təzyiq sahəsinə düşürsə, onda onlar sıxılmağa başlayır, onlarda təzyiq p_b artır və təzyiq buxarların kondensasiyalaşması təzyiqinə p_{bk} bərabər olduqda, buxar yenidən maye vəziyyətinə keçir.

Mayenin sıxlığı ρ buxarın sıxlığında p_b çox böyük olduğu üçün qabarcıqda praktiki olaraq vakum yaranır: $\rho \rightarrow 0$. p və p_l təzyiqlərinin təsirindən maye çox böyük təcillə daxilə doğru hərəkət edir, qabarcıq lopaləşir, zərbə dalğası yayılmaqla

mikropartlama baş verir, yüksək sürətli kino çəkilişi göstərir ki, müəyyən şəraitdə 1 sm^2 ölçülü cismin səthinə 1 saniyə ərzində 30 milyon kavitasiya qabarcıqları əmələ gəlir və boşalır, ona görə də qəbul etmək olar ki, heç olmasa onlardan biri detalın səthinə çox yaxında yerləşir və onun dağılmasında iştirak edir.

Çoxsaylı təkrar olunan zərbə impulsları hissənin materialının yorulmadan dağılmasına səbəb olur. Hissənin səthinin yeyilməsi ayrı-ayrı dərinləşmələr formasında olur ki, sonradan birləşərək daha böyük dodaq formalı yarğanlar əmələ gətirir (şək. 5.24).



Şək. 5.24. Kavitasiya yeyilməsi zamanı hidroturbinin kürəklərinin səthinin məsaməli quruluşu (material – polad 35L)

Kavitasiya yeyilməsinin intensivliyi mayenin xüsusiyyətlərindən, hissənin materialından, maşının iş rejimindən asılıdır.

5.5. Adgeziya yeyilməsi

Adgeziya yeyilməsi iki metallik detalın ayrılma səthində adqez əlaqənin (qaynaq körpülərinin) əmələ gəlməsi ilə molekulyar ilişmə qüvvələrinin təsiri nəticəsində əmələ gəlir.

Bu növ qarşılıqlı təsir pərçimlənmə, tutulma və sair zamanı yeyilmə adlanır.

Adgeziya qarşılıqlı təsir qüvvəsi, səthin təmizlik dərəcə-sindən, faktiki kontaktın sahəsindən, materialların təbiətindən və kontaktdakı temperaturdan asılıdır. Qovuşan materialların faktiki kontakt sahəsində adqez pərçimlənməsi və yaxud tutulması üçün energetik vəziyyəti temperaturun artması və birgə plastik deformasiya hesabına çata bilər. Bununla əlaqədar olaraq pərçimlənmələri iki növə ayırırlar: soyuq toxunmanın faktiki pərçimində materialın axıcılıq həddinə qədər çıxan yüksək kontakt təzyiqlərində və nisbətən kiçik sürüşmə sürətlərində; qaynar - yüksək sürüşmə sürətlərində və $100 \div 150\text{ }^{\circ}\text{S}$ və çox temperaturda. Soyuq pərçimlənmə zamanı bir qayda olaraq sürtünmə əmsalı $f = 0,3 \div 10$ qiymətinə qədər artır ki, nəticədə maşın hissələrinin nisbi hərəkəti mümkün olmur. Soyuq pazlaşma sərhəd sürtünməsi rejimində işləyən ağır yüklənmiş kiçik yerdəyişməli triboqovşaqlarda, qaynar-yüksək sürətli sürtünmə düyünlərində, hidrodinamik yağlayıcı plyonkanın dağılması nəticəsində cisimlərin mikroçixıntılarının toxunması və səthin temperaturunun ani olaraq artması ilə baş verir (şək. 5.24).



Şək. 5.24. Diyirlənmə yastığının daxili diyirlənmə səthinin adgeziya yeyilməsi (material – polad ŞX15, x4)

Qaynar pərçimlənmə zamanı metalların dağılma prosesi nazik yumşalmış səth qatında lokallaşır və soyuq pərçimlənmədə olduğuna nəzərən az faciəli baş verir. Qaynar pərçimlənmədən sonra sürtünmə səthlərində uzununa nişanlar və çuxurlar alınır ki, onların dərinlikləri kifayət qədər azdır və nişanların kənarları metalın əriməsi hesabına səlist dəyişə bilər. Qaynar pəzləşmə zamanı temperatura ikili rol oynayır: yağ pərdəsinin dağılması hesabına tutulma prosesini və metalların möhkəmliyinin azalmasını intensivləşdirir və bu zaman nazik səth qatında dağılma prosesini lokallaşdırır. Bunun nəticəsində qaynar pəzləşmə zamanı materialların yeyilməsinin intensivliyi və sürüşmə sürtünmə əmsalını soyuq pərçimlənməyə nəzərən müəyyən qədər aşağı düşür. Metalların təbiəti və onların quruluşu pəzləşmə zamanı əhəmiyyətli rol oynayır. Kontaktda olan metalların xüsusiyyətləri çox fərqləndikcə onların tutulması bir o qədər az olur. Eyni adlı metalların pəzləşməyə meyllənməsi onların strukturasında fərqlərin artması ilə azalır. Polad səthlərin pəzləşməsi ehtimalı, onların kimyəvi, tərkibinin, termik emalının, bərkliyinin fərqi artdıqca azalır. Pəzləşməyə yüksək meyllilik korroziyaya – qaynaqlı austenitlərdə müşayiət olunur belə ki, austenit strukturası daha bircins strukturaadır. Pəzləşməyə daha dayanıqlı qeteroqen strukturalardır ki, buraya martensiti və xüsusən azplastik persiti aid etmək olar.

Kontaktda 800...850 °S temperatur zamanı adətən adgeziya yeyilmənin kəskin artması baş verir. Bu halda metalları kəsməklə emalı zamanı xarakterik olan diffuziya prosesləri böyük təsir göstərir. Yeyilmə mexanizminin dəyişməsi bir metalın digərində diffuziya nəticəsində baş verir və adgez – diffuziya yeyilməsinin intensivliyi artır.

5.6. Eroziya yeyilməsi

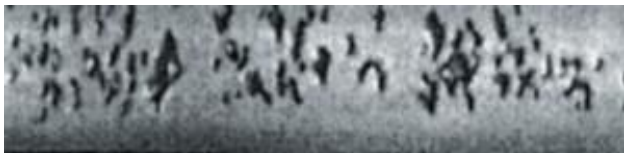
Eroziya-xarici mühitin təsirindən maddələrin səthlərinin dağılması prosesidir. Yüksək sürətli maye, qaz, buxar, hava

axının eroziyaya təsiri bütöv axının və onun səth üzərinə zərbəsindən yaranan sürtünmələrin cəmindən ibarətdir. Belə qarşılıqlı təsir nəticəsində hissənin səthindən materialın ayrı-ayrı dənələrinin və yaxud mikrohəcmlərinin laxlaması (tərpənməsi) və yuyulması baş verir.

Eroziya yeyilməsi ən çox buxar turbinlərinin kürəklərində, uçan aparatların xarici səthlərində yağış damcılarının təsirindən dağılan, yüksək təzyiq altında su, qaz ilə təmizləmək, metalları kəsmək, suxurları doğramaq üçün təyin olunmuş mexanizm və qurğuların, avtomobillərin DYM-nin silindr-porşen üzüyü və klapa-klapan yəhəri cütliklərinin hissələrində müşayət olunur.

Bundan başqa təyyarə mühərriklərinin polad və çuqun porşen halqaları (şək. 5.25) eroziya yeyilməsinə məruz qalır, hansı ki, silindr güzgüsünün təmiri zamanı bərpa edilmiş silindrin xromlanmış səthində sürüşür. Üzüklərin zəif işləməsi səbəbindən onların silindrin divarına tam yapışması təmin edilmir-qazların sıçrayışı və halqanın işçi səthinin intensiv yerli qızması baş verir. Ən çox yumşalmış metal hissəcikləri qoparaq qaz axını ilə daşınır. Daha davamlı struktur təşkilədiciləri təcrid olunaraq dağılır. Səthdə budaqlanan bir quruluşun uzunsov qabıqları əmələ gəlir.

Eroziya yeyilməsi tez-tez sürtünmə səthlərinin tutulması zamanı meydana gələn mikro cızıqlarla başlayır. Üzüklərin işləməsini yaxşılaşdırmaqla onların dağılmasını azaltmaq mümkündür.



Şək. 5.25. Təyyarə mühərrikinin porşen halqasının səthində eroziya ocaqları

Eroziya yeyilməsi prosesinə axında olan kənar hissəciklər təsir göstərir. Məsələn, turbin bıçaqları tərkibində duz hissəcikləri olan buxarın təsiri altında daha intensiv aşınır. Axının tərkibində aşındırıcı hissəciklər varsa, o zaman aşınma aşındırıcı olur. Eroziv aşınma dərəcəsi bərk hissəciklərin xüsusiyyətlərindən, onların konsentrasiyasından və axındakı hərəkət sürətindən asılıdır.

Eroziya və korroziya tez-tez birlikdə olur. Korroziya aşınması mexaniki aşınmanın bir növüdür. Qaz korroziyası və eroziya birlikdə fəaliyyət göstərir, məsələn, DYM-nin yüksək gərginlikli hissələrinin işlənmiş klapanlarında və qaz turbinli mühərriklərin kompressor bıçaqlarının qabaq kənarlarında.

Eroziya yeyilməsinin intensivliyi ilk növbədə axının sürətindən, maye damcısının ölçüsündən və formasından, hissənin materialının üst qatının fiziki-mexaniki və kimyəvi xassələrindən, maye və qazın temperaturundan asılıdır.

5.7. Korroziya-mexaniki yeyilmə

Korroziya-mexaniki yeyilmə materialın ətraf mühitlə kimyəvi və (və ya) elektrik qarşılıqlı təsiri ilə müşayiət olunan mexaniki təsir nəticəsində baş verir. Bu yeyilmə oksidləşmə, hidrogen və fretting-korroziya növlərinə bölünür.

5.7.1. Oksidləşmə yeyilməsi

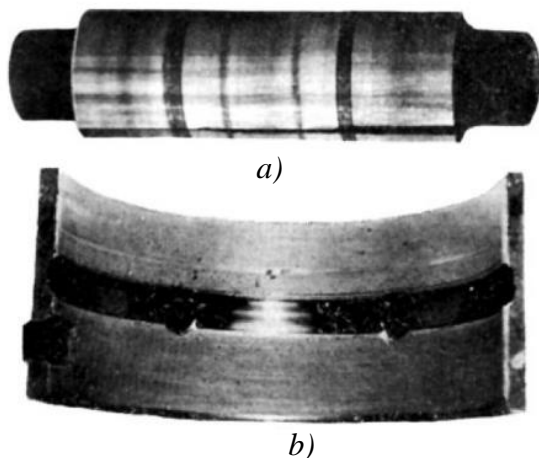
Oksidləşmə yeyilməsi, sürtünmə prosesində davamlı olaraq yenilənən və xətti ölçülərin dəyişməsinə səbəb olan nazik oksid pərdələrinin dağılmasıdır.

Oksidləşmə yeyilməsi, eyni zamanda korroziya və mexaniki amillərin təsiri altında baş verir. Havadakı və yaxud yağlayıcı materialdakı oksigen metalla qarşılıqlı təsirdə olaraq orada sürtünmə və yeyilmə proseslərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərən oksidləşmiş pərdə əmələ gətirir.

Oksidləşmə yeyilməsi dövrü olaraq təkrarlanan üç mərhələdən ibarətdir:

- materialın deformasiyası və aktivliyinin artması;
- ikinci dərəcəli strukturların əmələ gəlməsi (oksigenlə qarşılıqlı təsir nəticəsində nazik oksid pərdəsinin əmələ gəlməsi);
- ikinci dərəcəli strukturların dağıdılması (dövri yüklənmə və yüksək kontakt təzyiqlərinə görə).

Beləliklə, oksidləşmə yeyilməsi fasiləsiz olaraq yaranmış oksidləşmiş nazik qatın yeyilməsindən ibarətdir (şək. 5.26). Statik şəraitdə baş verən təmiz korroziyadan fərqli olaraq oksidləşmə yeyilməsi həmişə qovuşan hissələrin sürüşməsi, diyirlənməsi ilə əlaqədardır, yəni dinamik təsirə məruz qalır.



Şək. 5.26. Oksidləşmə yeyilməsinə məruz qalan maşın hissələrinin xarici görünüşü *a)* DYM-nin porşen barmağı;
b) diyirlənmə yastığının üzüyü

Korroziya proseslərinin getməsi xüsusiyyətinə görə, korroziya kimyəvi və elektro-kimyəvi korroziya kimi bir-birindən fərqləndirilir. Kimyəvi korroziya zamanı metalların

səthində oksid pərdəsinin əmələ gəlməsi ilə oksidləşdirmə proseslərinin üstünlük təşkil edərək inkişafı müşayiət edilir. Bu prosesi sürətləndirən ən əsas amillərdən biri temperaturadır. Ətraf mühitin temperaturu artdıqca kimyəvi korroziya kəskin şəkildə artır.

Elektro-kimyəvi korroziyaya su məhlullarında korroziyanın bütün halları aid edilir ki, bu zaman metalların dağılması həll olmayan məhlulların əmələ gəlməsi və yaxud metalın məhlula ion şəklində keçməsi nəticəsində baş verir.

Mexaniki-korroziya yeyilməsi şəraitində sürtünmə düyünlərinin iş resursunu artırmaq üçün tərkibində yüksək xrom (12...15 %) və nikel (8 %) olan korroziyaya davamlı poladlar tətbiq edilir.

Dəmirə təqribən 12 % xromun əlavə edilməsi ərintinin elektro-kimyəvi potensialının kəskin artmasına imkan verir. Belə metallar özlərini nadir metallar kimi aparırlar. Onlar paslanmır və havada, suda, bəzi turşularda, duzlarda, qələvilərdə oksidləşmir.

Aliminium və maqnezium ərintilərinə korroziyaya davamlılığını artırmaq üçün manqan əlavə edilir ki, onları kristallararası korroziyadan qoruyur.

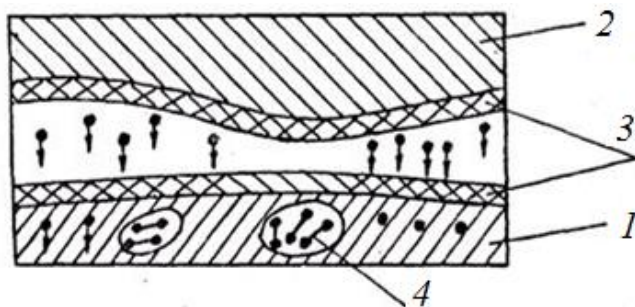
Digər səmərəli vasitə isə antifriksion çöküntüləri olan yağlayıcı materiallardan istifadə etməkdir.

5.7.2. Hidrogen yeyilməsi

Hidrogen yeyilməsi (şək. 5.27), XX əsrin 70-ci illərində rus alimləri D.N. Qarkunov və A.A. Polyakov tərəfindən müəyyən edilmişdir. Təzahürün genişliyi baxımından onu yalnız abraziv yeyilmə ilə müqayisə etmək olar. Bu proses hissələrin sürtünməsi zamanı birləşmələrdən (sürtkü materialından) və sudan hidrogen ionlarının (protonların) ayrılması, hissələrin mikroçatlarına daxil olması və birləşmə nəticəsində hissənin səthinin dağılmasına, ionların hidrogen molekullarına çevril-

məsinə əsaslanır. İonlar birləşərək molekulur əmələ gətirdikdə maddənin həcmi artır. Birləşmiş molekulur böyük həcmli tutur, nəticədə metalın tərkibində, xüsusilə ən dərin və dar çatlarda yüksək gərginlikli vəziyyət yaradır. Nəticədə, mikroçatlarda metal hissəciklər hissədən ayrılır. Sürtünmə nəticəsində yaranan şərait nəticəsində sürtkü yağından və ya sudan ayrılan hidrogen, cisimin qızdırılan nahiyyələrində temperatur fərqlərinin təsiri ilə metalı çox asanlıqla yayılır.

Hidrogen yeyilməsi aşağıdakı birləşmələrdə özünü göstərir: **salnik** (rezin) - val (polad), plastik əyləc kalodkalrı - çuqun əyləc barabanı, polad və ya çuqun dirsəkli val – içliklər və s. Hissələrin hidrogen yeyilməsini azaltmaq üçün yağda hidrogen əmələ gətirən elementlərin əmələ gəlməsini aradan qaldıran sürtkü yağlarından və hidrogeni udan maddələrdən istifadə etmək; hissələrin materiallarını düzgün seçmək lazımdır.



Şək. 5.27. Hidrogen yeyilməsi:

- 1 - polad val; 2 - bürünc oymaq; 3 - oksid pərdəsi;
- 4 - hidrogen ionlarının yığılması və onların molekullaşması

Triboqovşaqlar üçün material seçdikdə onların suya və uyğun olaraq kövrəkləşməsinə meylliliyinə də nəzər salmaq lazımdır.

5.7.3. Fretting – korroziya zamanı yeyilmə.

Fretting-korroziya bu metal-metal və yaxud metal-qeyri-metal cütlərini sıx kontaktda olan səthlərinin, onların rəqsi yellənmələri (titrəməsi) zamanı dağılma prosesidir. Fretting-korroziya yeyilməsinin baş verməsi üçün səthlərin 0,025 mkm amplitudla yerdəyişmələri kifayətdir.

Dağılma, kontaktda olan səthlərdə ərpən, ləkələr və toz şəklində kiçik zədələnmələrin və korroziya məhsullarının əmələ gəlməsindən ibarətdir. Bu növ yeyilmə yalnız karbonlu polad deyil, həm də korroziyaya davamlı polad-polad sürtünmə cütlərində (hər ikisi eyni adlı, həm də müxtəlif adda ola bilər), polad-qalay və ya alüminium, sürmə, eləcə də çuğun-bakelit və ya xrom və bir çox digər sürtünmə cütlərində baş verir.

Kontaktda olan səthlərin kiçik hərəkət amplitudasına görə, zədələnmələr faktiki kontaktların kiçik sahələrində toplanır. Yeyilmə məhsulları kontakt zonasını tərk edə bilmir, nəticədə yüksək təzyiq yaranır və onların əsas metala abraziv təsiri artır.

Fretting-korroziya ilə kontaktda olan səthlərin nisbi hərəkət sürəti kiçikdir. Belə ki, amplitudası 0,025 mm və tezliyi 50 s^{-1} olan harmonik rəqslər zamanı maksimal sürət 7,5 mm/san, orta göstərici isə 2,5 mm/san təşkil edir.

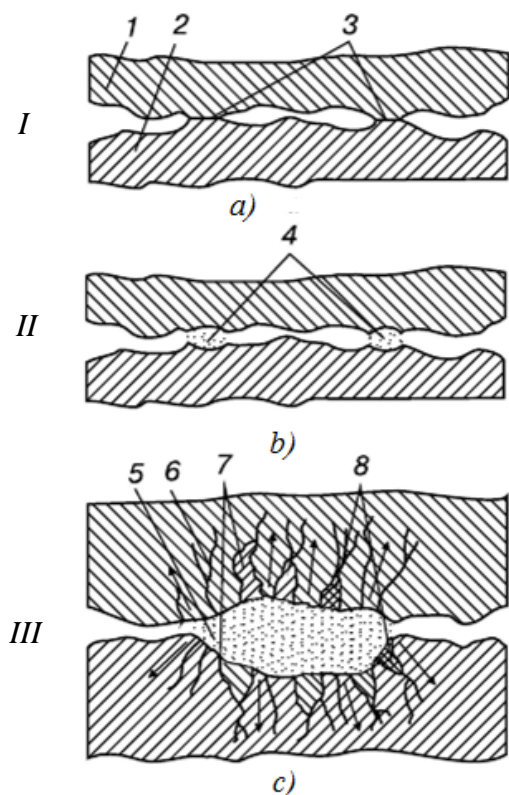
Əgər titrəmə hərəkətin amplitudu böyükdürsə (təxminən 2,5 mm), o zaman fretting-korroziyası səbəbindən zədələnən sahə artır və bir istiqamətli sürüşmədə olduğu kimi yeyilmə baş verir. Təqribən səthin yerdəyişməsinin 2,5 mm-ə yaxın amplitudunun fretting-korroziyasının yaranması üçün amplitudunun yuxarı həddi olduğunu hesab etmək olar. Yuxarıda göstərilənlərin hamısı yağlanmamış səthlərə aiddir.

Fretting-korroziya zamanı yeyilmə mexanizmi şəkil 5.28-də sadələşdirilmiş formada göstərilmişdir. Hissələrin ilkin kontaktı səthin ayrı-ayrı nöqtələrində baş verir:

a) titrəmə zamanı faktiki kontakt zonasındakı oksid pərdələri dağılır (I), oksid pərdələri ilə dolmuş kiçik boşluqlar əmələ gəlir (II);

b) tədricən ölçüsü artır və bir böyük boşluqda birləşir (III);

c) orada oksidləşmiş metal hissəciklərinin təzyiqi artır, çatlar əmələ gəlir. Bəzi çatlar birləşir və ayrı-ayrı metal həcm-ləri qopur. Oksid hissəcikləri abraziv təsir göstərir. Oksid hissəciklərinin artan təzyiq və sürtünmə qüvvələrinin təsiri nəticə-sində temperaturu yüksəlir və ayrılmış hissəciklərdə və boşluq-ların səthində ağ rəngli bərk deformasiya olunmayan strukturlar əmələ gəlir.



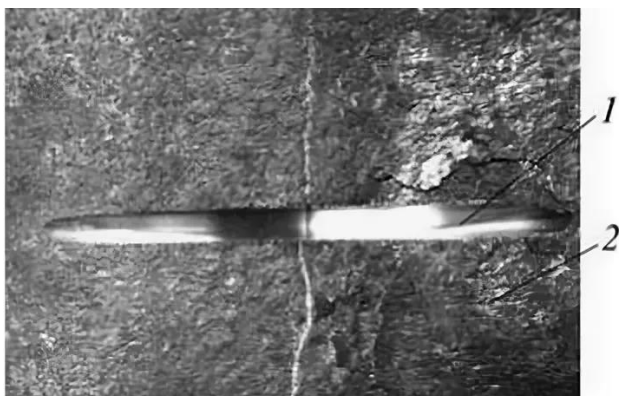
Şək. 5.28. Fretting-korroziya zamanı metal səthlərin yeyilmə mexanizmi:

a - ilkin kontakt; *b* – oksid pərdəsinin dağılması; *c* - boşluğun əmələ gəlməsi; 1, 2 – kontaktda olan hissələr; 3 - səthlərin kontakt nöqtələri; 4 - yaranan kiçik boşluqlar; 5 - ümumi böyük boşluq; 6 - çatlar; 7 - qopan metal həcmli; 8 - möhkəm struktura malik qopmuş hissəciklər

Fretting-korroziya yeyilmənin xüsusi forması olub əmələ gəlmə şəraitinə və xüsusiyyətinə görə yaranması, sürüşmə zamanı baş verən adi yeyilmədən aşağıdakı fərqləri vardır:

- yerdəyişmənin amplitudu kiçik olduğu üçün yeyilmə məhsullarının çıxarılması çətinləşir, ona görə də səthin zədələnməsi faktiki kontakt səthində lokallaşır;
- nisbi yerdəyişmənin sürəti kiçikdir;
- fretting-korroziya zamanı metalların yeyilmə məhsulları əsasən onların oksidləri olur.

Fretting–korroziya yeyilməsinə yük avtomobillərinin resorlarının daxili səthlərinin yeyilməsini misal göstərmək olar (şək. 5.29).



Şək. 5.29. Yük avtomobilinin resorlarının daxili səthlərinin dağılmasının xüsusiyyətləri (material- polad 65Γ, ×6):
1- metalın ilkin strukturu, 2- fretting-korroziyası.

Frettimq-korroziyaya təminatlı gərilməli oturtmalar, şlis, işgil, bolt birləşmələri, pərçim birləşmələri, resorlar, yaylar və s. hissələr məruz qalırlar.

Cədvəl 5.3-də yük avtomobillərinin resorlarının iş qabiliyyətinə frettimq – korroziyanın üstünlük təşkil edən təsirlərin verilmələri göstərilmişdir.

Cədvəl 5.3

Resorların dağılmasının səbəbləri

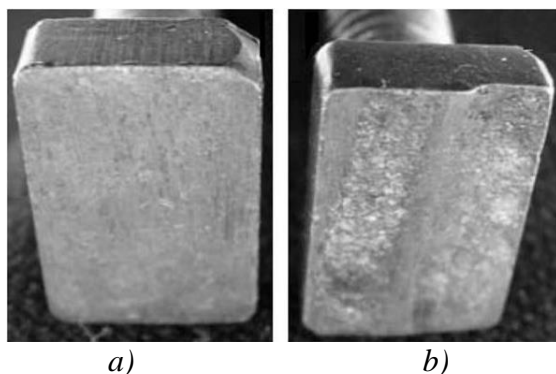
Dağılmanın səbəbləri	Sıradan çıxmış resorların sayı						Bütün dövr ərzində orta qiymət
	1991 – ci il		1992 – ci il		1993 – ci il		
	Ədəd	%	Ədəd	%	Ədəd	%	
Artıq yüklənmə	18	32,1	23	36,5	13	29,6	32,7
Frettimq–korroziya nəticəsində dağılma	38	69,9	40	63,5	31	70,4	67,3

5.8. Elektrik eroziya yeyilməsi

Elektrik boşalmaları sürtünmə səthlərinə təsir etdikdə elektroeroziya yeyilməsi baş verir. Bu cür yeyilmə növü elektrik kontaktları, cərəyan ayırıcıları, elektrik maşınlarının kollektorları, karbyuratorlu avtomobil mühərriklərinin alışıdırma sisteminin şamları üçün xarakterikdir və bir neçə növ yeyilmənin nəticəsidir: sürtünmə və zərbə prosesləri ilə əlaqədar olan mexaniki və elektrik cərəyanının (çox hallarda qövsün) materiallara təsiri ilə əlaqədar elektriki (şək. 5.30). Elektrik qövsü (qılgılcım) adətən mexaniki yeyilməni gücləndirir.

Elektrik yeyilmə kontaktdan və kontakt elementlərinin materialından, cərəyan axını mexanizmindən asılıdır və əsasən bir elementin materialının ionlarının digərinə keçməsi, oksid

pərdələrinin frettingi, təmiz metallar arasında molekulyar ilişmə qüvvəsinin artmasına səbəb olur. Sonra isə mikrotutma və deşilmələrə; qıgılcımların və qövsələrin əmələ gəlməsinə, kontaktlar arasındakı boşluqda böyük istilik enerjisinin buraxılmasına və səthin hamarlığının kəskin şəkildə pisləşməsi ilə metalın buxarlanmasına və ya təmas boşluğuna sıçramasına gətirib çıxarır, bu da sürtünmə cütünün mexaniki yeyilməsini artırır.



Şək. 5.30. Elektrik kontaktlarının elektroeroziya yeyilməsi: *a*-yeni kontakt, *b*-yeyilmiş kontakt (material-elektrotexniki mis, $\times 5$)

Elektrik kontaktlarında mexaniki yeyilmə kiçik yüklənmələrlə işləyən sürtünmə cütlərinə analogi mexanizmlərlə baş verir. Elektrik kontaktlarının elektroeroziya yeyilməsinin miqdarının azaldılması xüsusi sürtkü tərkiblərindən istifadə etməklə əldə edilir.

VI FƏSİL

Yeyilmə miqdarının ölçülməsi üsulları

6.1. Yeyilmə miqdarının ölçülməsi üsullarının təsnifatı

Yeyilmənin ölçülməsi üçün mövcud üsullara həm adi vasitələrdən istifadə etməklə, həm də nüvə fizikası proseslərinə əsaslanan üsullardan istifadə etməklə yeyilmiş hissələrin ölçülərinin təyin edilməsi daxildir.

Bu və ya digər ölçmə üsullarının əhatə dairəsi aşağıdakılarla müəyyən edilir:

- qoyulmuş tədqiqatın məqsədi;
- tələb olunan ölçmə dəqiqliyi;
- kiçik yeyilmənin ölçülməsi imkanı;
- yeyilmənin ölçülməsi üçün tələb olunan vaxt;
- maşını sökmədən və dayandırmadan iş şəraitində yeyilməni ölçmək imkanı;
- ölçmə nəticələrinin hazırlanması, həyata keçirilməsi və emalın bütün sikli üçün tələb olunan vaxt və vasitələr.

Yeyilməni ölçmək üçün zərərli integral və diferensial qiymətləndirilməsi üsullarından istifadə olunur.

Ən məqsədəuyğun olan, yeyilmənin bütün sürtünmə səthi üzrə paylanması təyin etməyə və yeyilmə məhsulunun çıxış parametrlərinə təsirini qiymətləndirməyə imkan verən diferensial üsullardır. Bəzən məhsulun və ya birləşmənin çıxış parametrləri əsasında yeyilmənin qiymətləndirilməsi üsulları istifadə olunur. Yeyilmənin ölçülməsi üsullarının təsnifatı cədvəl 6.1-də verilmişdir.

Hissənin kütləsi və ya həcmi itməsinə görə yeyilmənin ölçülməsi, bir qayda olaraq, nümunələrin tədqiq edilməsində istifadə olunur və əksər maşın hissələri üçün yararlıdır. Birləşmənin çıxış parametrlərini dəyişdirərək yeyilmənin

qiymətləndirilməsi yeyilmə miqdarı haqqında yalnız dolayı fikir söyləməyə imkan verir.

Cədv. 6.1

Sürtünmə səthlərinin yeyilməsinin ölçülməsi
üsullarının təsnifatı

Ölçmə üsulu		Üsulların növü
İnteqral	Ümumi yeyilmənin qiymətləndirilməsi	- nümunənin kütləsinin dəyişməsinə görə; - nümunənin həcmnin dəyişməsinə görə; - birləşmənin araboşluğunun ölçülməsi
	Sürtgü yağında yeyilmə məhsulu	- kimyəvi analiz; - spektral analiz; - radioaktiv izotoplardan istifadə etməklə
Diferensial	Mikrometrik üsul	-ölçülərin ölçülməsi; - profiloqraflama
	Süni bazalar üsulu	- iz üsulu; - deşik üsulu; - tökmə üsulu
	Səthi aktivləşdirmə üsulu	- sahənin aktivləşdirilməsi; - əlavələrdən istifadə
Birləşmənin çıxış parametrlərinin dəyişməsi		Dəyişiklik: sürtünmə əmsalı, sızma və ya sürtkü sərfiyyatı, temperatur

Müxtəlif birləşmələrin istismarı zamanı sürtünmə səthlərinin yeyilməsinin ölçülməsi və qiymətləndirilməsinin əsas üsullarını onların istismarı və ya sınaqdan keçirilməsi şəraitində nəzərdən keçirək.

6.2. Mikrometrik ölçmə üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini

Hissələrin yeyilmə miqdarını təyin etmək üçün ən ümumi və əlverişli üsul mikrometrik ölçmə üsuludur. Bu üsul ən çox yeyilmiş hissələrin böyük mütləq qiymətləri şərti ilə istifadə olunur. Yeyilmə sınaqlarından əvvəl və sonra mexaniki kontaktdan və ya bəzi digər cihazlardan istifadə edərək hissənin ölçülməsinə əsaslanır.

Yeyilmənin mikrometrik qiymətləndirilməsi mikrometrlər, son uzunluq ölçüləri (ölçmə blokları), alət və universal mikroskoplər, indikatorlu daxiliölçən, dəstəkli-mexaniki alətlər və ya dəqiqliyi adətən 1...10 mkm aralığında olan digər alətlər vasitəsilə həyata keçirilir. Ölçmələrin düzgünlüyü tədqiq edilən səthin cihazın ölçmə ucu ilə kontakt şəraitindən, həmçinin hissənin çirklənmədən təmizlənməsinin keyfiyyətindən asılıdır.

Əksər hallarda, istehsal zamanı hissənin səthinin dəqiqliyinə nəzarət etmək üçün istifadə olunan universal və xüsusi alətlər istifadə olunur. Məsələn, DYM-nin porşenlərinin ölçülərinə nəzarət etmək üçün çoxölçülü bir tərtibat yeyilmiş porşenin parametrlərini ölçmək üçün də istifadə edilə bilər. Hissənin kiçik ölçüləri və onun sökülməsi imkanı ilə yeyilmənin ölçülməsi alət və ya universal mikroskoplər, optometr, proyektor, ölçmə maşını və digər alətlərdən istifadə etməklə həyata keçirilə bilər. Yeyilmə ölçüləri maşını sökmədən aparılmalı olan böyük ölçülü hissələr üçün universal ölçmə alətlərindən istifadə edərək çox vaxt xüsusi tərtibatlar hazırlanır.

Mikrometrik üsul ölçülərin ölçülməsinin ənənəvi üsullarına aiddir və yeyilmənin xüsusiyyətlərini nəzərə almır. Bu üsulun nöqsanları maşının istismarı zamanı yeyilmənin ölçülməsinin qeyri-mümkünlüyü, bir qayda olaraq, qovşağın qismən sökülməsi və ya ölçülmüş hissənin sökülməsinə ehtiyac

olması, bilavasitə maşında ölçərkən tərtibatların çox yer tutması, sınaqdan əvvəl və sonra eyni yerdə tədqiq olunan səthin ölçülməsinin çətinliyidir.

6.3. Kütlə itkisinə görə yeyilmə miqdarının təyini

Kiçik hissələrin yeyilməsini təyin etmək üçün adətən, kütlənin itməsi üsulundan istifadə olunur. Hissələrin sınaqdan əvvəl və sonra kütləsi təyin edilir. Kütlə təyin edilməzdən əvvəl hissələr yaxşıca yuyulmalı və qurudulmalıdır. Sınaqdan əvvəl onlardan yeyilmə məhsulları, sürtkü yağları və s. təmizlənməlidir.

Bu üsulun dəqiqliyi tərəzilərin dəqiqliyindən asılıdır və $(0,05...5) \cdot 10^{-6}$ q daxilindədir. Ölçmə alətləri kimi müxtəlif tərəzilərdən istifadə olunur: PR-500 cihazı, analitik VA-200, ADV-200M, texniki, stolüstü, qapalı VNZ-3 və s.

Kütlənin itməsinə görə xətti yeyilmənin miqdarının təyin edilməsi, yeyilmənin sürtünmə səthində bərabər şəkildə baş verdiyi fərziyyəsinə əsaslanan hesablamalarla həyata keçirilir. Xətti yeyilmə xüsusiyyəti vahid sürtünmə yolu üçün yeyilmiş təbəqənin hündürlüyüdür. Kütlə yeyilməsi xəttiyyə aşağıdakı ifadəyə əsasən hesablanır:

$$I = \frac{Q}{S \nu L \cdot 10^5}, \quad (6.1)$$

burada Q – kütləyə görə yeyilmə miqdarı, mq;

S - sürtünmə səthinin sahəsi, sm²;

ν - materialın xüsusi çəkisi, q/sm³;

L - sürtünmə yolu, m.

Kütlə üsulu ilə yeyilmənin qiymətini hissənin ölçülərinə dəyişiklik yalnız hissəciklərin ayrılması səbəbindən baş

verdikdə təyin etmək olar. Ona görə ki, hissənin ölçüləri həm də plastiki deformasiya nəticəsində dəyişə bilər. Yağla hopdurulmuş məsaməli materiallardan hazırlanmış hissələrin yeyilməsi miqdarının təyin edilməsində də kütlə üsulundan istifadə olunması qəbul edilməzdir. Bu halda, sınaqdan əvvəl və sonra kütləni təyin edərkən məsamələrdəki yağın miqdarının eyni olub olmadığını müəyyən etmək mümkün deyildir.

6.4. Profilləmə üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini

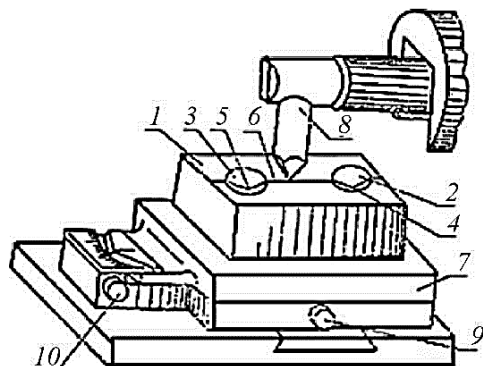
Bəzi hallarda, kiçik yeyilmə qiymətlərində profilləmə üsulu tətbiq olunur. Bu üsul yeyilmənin mikrometrik ölçmə üsulunun bir növüdür.

Profiloqrafda "ilkin yeyilmə" adlanan qiymət ölçülür, hansı ki, sınağın müxtəlif anlarında eyni sahədə ölçülən, çökəkliklər xəttindən silsiləyə qədər olan mikronahamarlıq hündürlüyünün fərqi kimi qəbul edilir. Profilləmə ilə yeyilməni ölçmək üçün profiloqraf-profilometrlərdən istifadə olunur (şək. 6.1).

Bu üsul aşağıdakı kimidir. Tədqiq olunan səthin eyni mikrosahəsindən (6) sınaqdan əvvəl və sonra profiloqramlar götürülür.

Profiloqramlarda eyni çökəkliklərin konturları sabit qalır və çıxıntılar yeyilməyə görə hündürlüyünü dəyişir. Çökəkliklər xəttindən çıxıntıların ümumi azalmasını təyin edərək, ilkin yeyilmənin qiymətini əldə edirik. O nahamarlıqların hündürlüyünü aşarsa, tədqiq olunan səthin qeyri-işçi sahəsi ölçmənin aparıldığı sabit baza kimi seçilir.

Sabit baza, tədqiq olunan səthdə xüsusi olaraq çəkilmiş cızığın və ya **girintinin** (2) və (3) dibi ola bilər, dərinliyi hansı ki, ölçülmüş yeyilmənin qiymətini aşır. Profiloqram cızığın istiqamətinə perpendikulyar istiqamətdə çıxarılır.



Şək. 6.1. Profiloqraf-profilometrde yeyilmənin təyin edilməsi:

- 1 – hissə; 2 və 3 – izlər; 4 və 5 – izlərin ən aşağı nöqtələri;
6 – profilləmə yolu; 7 – nümunə masası; 8 – mil;
9 və 10 – mikrovintlər

İzlər (2) və (3) tətbiq edildikdən sonra hissə və ya nümunə (1) milin iynəsinin (8) hərəkəti boyunca üfqi müstəvidə hərəkət edə bilən nümunə masasında (7) quraşdırılır. Nümunə (1) profilləmə yoluna (6) nisbətən mikrovintlər (9) və (10) ilə elə qurulur ki, iynənin (8) ucu izlərin (2) və (3) ən aşağı nöqtələrindən (4) və (5) keçsin. İzlərin dərinliyinə özüyazan cihazın qələminin meyllənməsi ilə nəzarət olunur.

Şəkil 6.2-də profiloqraf-profilometrlərin müasir modelləri göstərilmişdir.

Üsulun nöqsanları eyni en kəsikdən sınaqdan əvvəl və sonra profiloqramın alınmasının qeyri-mümkün olmasıdır ki, bu da xətti yeyilmənin qiymətinin müəyyən edilməsində xətalara səbəb olur. Bu xəta nə qədər böyükdürsə, səthin nahamarlıqlarının qiyməti ilə müqayisədə yeyilmənin özü də o qədər azdır.



a)



b)

Şək. 6.2. Profiloqraf-profilometrlər:

a - BV-7669 modeli; *b* - "HOMMEL TESTER T1000 basic" modeli

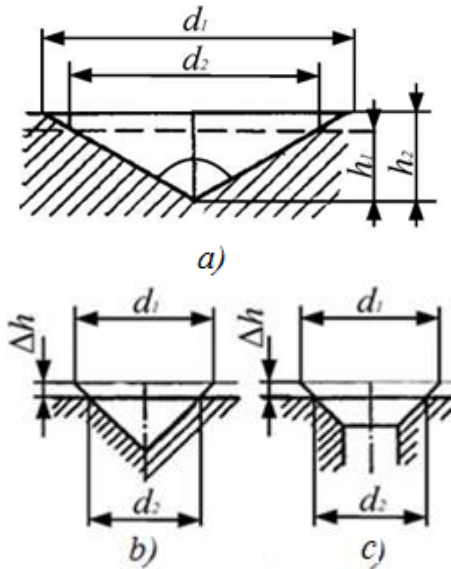
Maşın hissələrinin səthlərinin xətti yeyilməsini təyin etmək üçün başqa yolların axtarışı, yeyilmə səthinin özü ölçmə üçün baza kimi xidmət edən belə üsul və cihazların yaradılmasına gətirib çıxardı.

6.5. Süni bazalar üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini

Süni bazalar üsulunda yeyilmə səthinə ciddi formada müəyyən edilmiş konus, piramida və s. şəkildə iz salınır və izin ölçüsünün azalmasına görə yeyilmənin miqdarı təyin edilir. Bu üsul bazaların tətbiq olunduğu yerlərdə səthin yerli xətti yeyilməsini təyin etməyə imkan verir, buna görə də yeyilmiş səthin formasını qiymətləndirmək mümkündür.

Süni bazalar üsulu, çuxurların tətbiqi üsulundan asılı olaraq, izlər üsuluna, burğulanmış çuxuralar üsuluna, kəsilmiş dəliklər üsuluna bölünür.

İzlər üsulu ilə (şək. 6.3, *a*) çuxur yaratmaq üçün kvadrat əsaslı və əks üzlər arasında zirvə bucağı 136° olan almaz tetraedral piramida istifadə olunur. Belə piramida PMT-3 və Vickers tipli bərkliyi təyin edən cihazlarda istifadə olunur.



Şək. 6.3. Yeyilmə miqdarının ölçülməsi sxemi:
a - iz üsulu ilə; *b* - burğulanmış çuxurlar üsulu ilə;
c-kəsilmiş dəliklər üsulu ilə

Piramida yük altında sınaq səthinə sıxılır və izin diaqonalı *d* ölçülür. İzin dərinliyi bu düsturla hesablanır:

$$h = d / 2 \quad (6.2)$$

burada *d* - izin diaqonalı, mm.

Müstəvi bir səthin xətti yeyilməsinin miqdarı yeyilmə başlamazdan əvvəl və sona çatdıqdan sonra izin dərinlikləri arasındakı fərq kimi müəyyən edilir:

$$\Delta h = h_1 - h_2 = (d_1 - d_2) / 7, \quad (6.3)$$

burada *h*₁ – yeyilmədən əvvəl izin dərinliyi, mm;

*h*₂ – yeyilmədən sonra izin dərinliyi, mm;

*d*₁ - yeyilmədən əvvəl izin diaqonalı, mm;

*d*₂ - yeyilmədən sonra izin diaqonalı, mm.

Bu üsulun bir sıra nöqsanları var. Piramida basıldıqda izin ətrafında material şişir, nəticədə izin forması pozulur, yük götürüldükdən sonra girinti bir qədər bərpa olunur, ilkin formasını dəyişir. Yeyilmənin səth təbəqəsinin plastik deformasiyası ilə müşayiət olunduğu hallarda, izin kənarları üzür və fərqli formasını itirir.

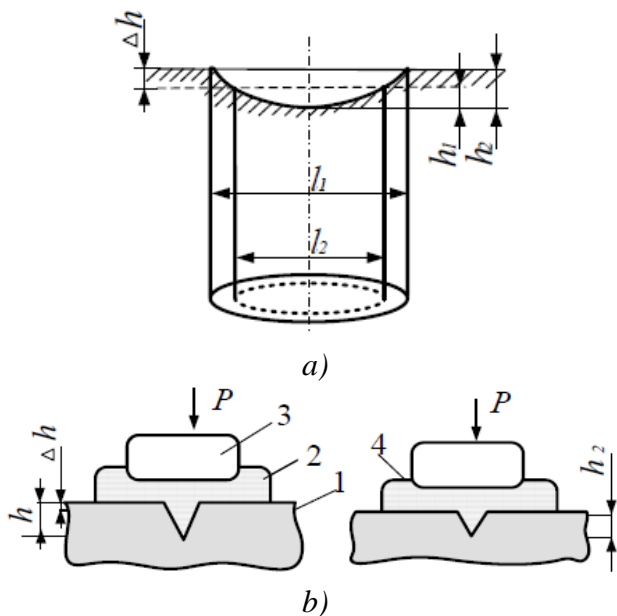
İz üsulu, əvvəlcədən seçilmiş yerdə xətti yeyilmənin faktiki qiymətini və onun sürtünmə səthi üzərində paylanması üçün dəqiq təsvirini təyin etməyə imkan verən tədqiqatçılar üçün mövcud olan bir neçə növdən biridir. Bu üsulun böyük üstünlüyü xətti yeyilmənin qiymətlərinin mikronun hissələri sırasına uyğun ölçməyə imkan verən yüksək ölçmə dəqiqliyidir.

Bəzən burğulanmış çuxur üsulu istifadə olunur. Şəkil 6.3,

b -də burğulanmış konusvari çuxurun sxemi göstərilmişdir. Bu üsul iz üsuluna bənzəyir.

Kəsilmiş dəşik üsulu çox geniş yayılmışdır. Bu, tədqiq olunan səthdə fırlanan kəski ilə bir çuxurun kəsilməsindən ibarətdir (şək. 6.4, a).

Çuxurun dibi sabit bazadır. Sınaqdan əvvəl və sonra müəyyən edilmiş tədqiq edilən sürtünmə səthindən çuxurun dibinə qədər olan məsafələr fərqi xətti yeyilmənin qiymətini ifadə edir. Çuxurun uzunluğu mikroskopla müəyyən edilir. Dəliklər mənfi qabaq bucaq ilə üçbucaqlı piramida şəklində fırlanan almaz kəski ilə kəsilir.



Şək. 6.4. Yeyilmə miqdarının ölçülməsi sxemləri:
 a - kəsilmiş dəşik üsulu ilə; b - əks təsvirlər üsulu ilə
 (1 - hissənin yeyilmə səthi; 2 - ilkin təsvir;
 3 - puanson; 4 - ikinci dərəcəli təsvir)

Kəsilmiş çuxur üsulunun ölçmə dəqiqliyi iz üsulundan daha yüksəkdir, çünki çuxurun dərinliyi ilə uzunluğu arasındakı nisbət iz üsulu ilə 1:7 əvəzinə 1:50...1:80 həddlərində olur.

Kiçik yeyilmə qiymətlərini tədqiq edərkən, bir neçə mikron sırası ilə kəsilmişdeşik üsulundan istifadə etmək çətinidir, bu halda iz üsuluna üstünlük verilməlidir. Çuxurun uzunluğu ilə istiqamətə görə üst-üstə düşən riskləri olan səthlərin yeyilməsini müəyyən etməkdə də çətinliklər yaranır, çünki çuxurun uzunluğunu müəyyən etmək çox çətinidir. Ümumiyyətlə, kəsilmiş çuxur hissənin sürtünmə istiqamətinə perpendikulyar olmalıdır ki, sürtünmə prosesi zamanı çuxurun ucları səthdə yaranan risklərlə birləşməsin. Çuxurun dərinliyinə görə bu üsul kobud səthlərdə yeyilməni təyin etmək üçün istifadə edilə bilməz.

Çuxurun və ya izin mikroskopun köməyiylə bilavasitə ölçülməsi çətin yaxud qeyri-mümkün olduqda (əlvərişli olmayan olan yer, çox kiçik diametrlideşik və s.), çuxurun dərinliyi **tökmə** ilə müəyyən edilir. Belə süni bazalar üsulu aşağıdakı kimidir.

Tədqiq olunan səthdən, üzərində süni çuxur düzəldilmiş, öz-özünə bərkiyən kütlədən istifadə edərək təsvir və ya plastik metal yaxud plastik kütlə üzərində bir təsvir alınır (şək. 6.4, *b*). Sonra, mikroskopdan istifadə edərək, dərinlik və eninə ölçülər arasında qanunauyğun əlaqəsi olmayan çuxur izinin hündürlüyü ölçülür. Sınaqdan əvvəl və sonra iki ölçmə arasındakı fərq yeyilmə miqdarını təyin edir:

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad (6.4)$$

Tökmələrlə yeyilmənin təyini xüsusi avadanlıq tələb etmir, həm laboratoriyada, həm də istehsalat şəraitində həyata keçirilə bilər.

6.6. Yağda yeyilmə məhsullarının miqdarına görə yeyilmənin təyini

Bu üsul metal hissəcikləri, metal oksidləri və metalların aktiv sürtkü komponentləri ilə kimyəvi qarşılıqlı təsiri məhsulları olan yeyilmə məhsullarının yığıldığı istifadə edilmiş yağdan nümunə götürməyə əsaslanır.

Bu üsulundan istifadə olunması maşınların və onların qovşaqlarının sökülməsinin qarşısını alır. Bu üsul laboratoriya şəraitində və istismar zamanı müxtəlif maşın qovşaqlarının integral yeyilməsini ölçmək üçün istifadə olunur. Üsulun dəqiqliyi cihazın yağın tərkibindəki metal qarışıqların tərkibinə həssaslığı ilə səciyyələnilir ki, bu da 1 sm^3 yağda $10^{-6} \dots 10^{-8} \text{ q}$ təşkil edir. Bu üsulla xətti yeyilməni təyin etmək çətindir.

Nümunə götürərkən, sürtkü yağında yeyilmə məhsullarının orta tərkibini səciyyələndirmək lazımdır.

Dəmir və digər təşkiledicilərin tərkibinə görə yağ nümunələrini analiz etmək üçün kimyəvi, spektral və radiometrik üsullardan istifadə olunur.

Kimyəvi üsul yandırılmış yağ nümunəsinin külündə dəmirin və digər yeyilmə məhsullarının tərkibinin təyin edilməsinə əsaslanır. Nümunənin birbaşa analizi mürəkkəb və uzun müddətlidir.

Spektral üsul yağ nümunəsinin yanması zamanı alovun spektral tərkibi vasitəsilə sürtkü yağında metal qarışıqların miqdarının təyin edilməsinə əsaslanır.

Radiometrik üsul radioaktiv hissələrin yeyilməsi nəticəsində yağ süzgəcində toplanan sürtkü yağının tərkibindəki yeyilmə məhsullarının radioaktivliyinin ölçülməsinə əsaslanır. Hissələrin radioaktivliyi ərintiyə radioaktiv izotopların əlavə edilməsi və ya hissələrin radioaktiv təbəqə ilə örtülməsi yolu ilə yaranır.

6.7. Səthi aktivləşdirmə üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini

Yeyilmə miqdarının səthi aktivləşdirmə üsulu ilə təyin edilməsi tədqiq olunan hissənin yeyilməsi zamanı radioaktivliyin azalmasının ölçülməsinə əsaslanır, hansı ki, verilən sahədə zəhərlənmiş hissəciklərlə (proton deytronları, alfa hissəcikləri) sahənin şüalandırılması yolu ilə 0,05...0,4 mm dərinlikdə radioaktiv həcm yaradılır.

Səthi aktivləşdirmə üsulu maşını sökmədən və dayandırmadan stend və istismar sınaqları zamanı hissələrin yeyilməsini təyin etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bu üsuldən istifadə edilməsi yeyilmə sınaqlarının vaxtını azaldan kiçik yeyilmənin ölçülməsinə, yeyilmə dinamikasının araşdırılmasına, yeyilməyə nəzarətin avtomatlaşdırılmasına və yeyilmənin kənardan ölçülməsinə imkan verir.

Böyük ölçülü hissələrin yeyilməsini yoxladıqda, səthi aktivləşdirməyə məruz qalan və sonra yeyilmə səthinə quraşdırılan xüsusi əlavələrdən istifadə olunur. Xüsusi ərintilərdən hazırlanmış əlavələrin istifadəsi 2...2,5 il ərzində yeyilmənin dəqiq ölçülməsi üçün kifayət qədər radioaktivliyin ümumi müddətini başa çatdırmağa imkan verir ki, bu da təbii sınaqlar üçün vacibdir.

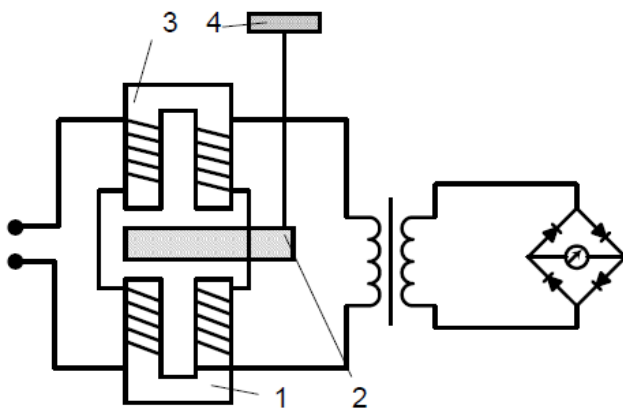
Səthi aktivləşdirmə üsulundan istifadənin üstünlüyü, avadanlıqların mürəkkəbliyinə baxmayaraq, yeyilmə prosesinin gedişi və iş rejimlərinin, yağlamanın və digər amillərin yeyilməyə təsiri haqqında sürətli, etibarlı məlumat əldə etmək imkanındır.

6.8. İnduktiv çeviricilərin köməyi ilə yeyilmə miqdarının təyini

Elektriki induktiv çeviricilərdən istifadə edərək, maşını

dayandırmadan sınaq zamanı yeyilməni ölçmək mümkündür. Yeyilmənin ölçülməsi sxemi şəkil 6.5-də göstərilmişdir. Nümunənin (4) yeyilməsinə görə hərəkəti lövbərin (1) hərəkətinə səbəb olur, bunun nəticəsində körpü sxemindəki elektromaqnitlərin (2), (3) induksiya əmsalının qiymətinə təsir edən araboşluqları dəyişir. Yeyilmənin qeydiyyatı özüyazan və ya əqrəbli cihazlar ilə həyata keçirilir.

Yeyilmənin ölçülməsinin induktiv üsulunun əsas üstünlükləri bunlardır: optik ölçmələrin dəqiqliyi ilə rəqabət apara bilən yüksək ölçmə dəqiqliyi; qurğunun sadəliyi, etibarlılığı və istismarının uzun müddətliliyi; məsafədən ölçmə imkanı; sınaq zamanı yeyilmə qiymətindəki dəyişiklikləri diaqram şəklində qeyd etmək imkanı; nisbətən aşağı qiymət.



Şək. 6.5. İnduktiv çeviricinin sxemi:
1 - lövbər; 2, 3 - elektromaqnitlər; 4 - nümunə

Bu üsulun nöqsanlarına aşağıdakılar daxildir: elektrik sxemlərinin müqayisəli mürəkkəbliyi; dəyişən cərəyanın tezliyinin dəyişdirilməsinin çeviricinin göstərişlərinə təsiri; çeviricinin göstərişlərinin xarici maqnit sahəsindən, şəbəkə gərginliyindən və temperaturdan asılılığı; induktiv çeviricilərə xidmət

edən hər hansı bir elektrik bloku ilə hər hansı bir induktiv çeviricidən istifadənin mümkünsüzlüyü; çeviricinin elektromaqnit qüvvəsinin onunla kontaktda olan hissələrin deformasiyası səbəbindən onun göstərişlərinə təsirinin mümkünlüyü.

6.9. Tenzometrik ölçmə üsulu ilə yeyilmə miqdarının təyini

Sınaq prosesində maşını dayandırmadan nümunələrin yeyilmə miqdarını təyin etmək üçün naqıl müqavimət çeviriciləri (tenzoçeviricilər) tətbiq imkanı tapmışdır. Onlar mexaniki hərəkəti çeviricinin elektrik müqavimətindəki dəyişikliyə çevirməyə xidmət edir. Naqıl çevirici qurğusu naqılın uzanması və ya sıxılması səbəbindən elektrik müqavimətinin dəyişməsinə əsaslanır.

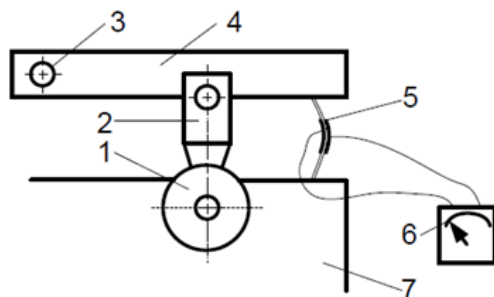
Elastik elementi uzadarkən, sıxarkən və ya əyərkən, ona yapışdırılmış çeviricinin müqaviməti deformasiyaya birbaşa mütənəsib olaraq dəyişir. Elastik bir elementə yapışdırılan müqavimət çeviricisi birlikdə tenzotir adlandırılması qəbul edilmişdir.

Tenzoçeviricilərdən istifadə etməklə sınaq prosesində nümunələrin yeyilmə miqdarının ölçülməsinin prinsipial sxemi şəkil 6.6-da göstərilmişdir.

Tenzometrik mikrometrləmədən istifadə edərək yeyilmə miqdarını təyin etmək üstünlükləri arasında yeyilmənin ölçülməsinin kifayət qədər yüksək dəqiqliyi, özüyazan cihaz və ya osiloskoplardan istifadə edərək kağız lentdə (fotoplüyonkada) əyri şəklində yeyilmənin yazılması, həmçinin EHM-dən istifadə etmək imkanları daxildir. Belə bir yazı prosesin müxtəlif mərhələlərində nümunələrin yeyilmə xüsusiyyətini mühakimə etməyə imkan verir.

Hər bir nümunənin yeyilməsini ayrı-ayrı təyin etməyin mümkünsüzlüyü və yeyilmənin miqdarının ölçülməsi üçün

kiçik həddlərin olması (onlarla mikrondan millimetrin hissəsinə qədər) bu üsulun nöqsanlarıdır. Buna baxmayaraq, ölçmə həddini artırmaq üçün dəstəqli mexanizmləri olan tenzoçeviricilərlə birlikdə istifadə etmək mümkündür.



Şək. 6.6. Tenzometrik üsulla yeyilmə miqdarının ölçülməsi sxemi:

1,2 - yeyilən nümunələr; 3 - şarnir; 4 - tamasa;
5 - tenzotir; 6 - qalvanometr; 7 - çatı

Təsvir edilən üsullara əlavə olaraq, maşının istismarı zamanı yeyilmənin ölçülməsi üçün pnevmatik, tutumlu və digər ilkin çeviricilərin istifadəsinə əsaslanan üsullardan da istifadə edilə bilər.

VII fəsil

Friksion, antifriksion və yağlayıcı materiallar

Şerti olaraq sürtünmə əmsalı $f > 0,2$ olan materiallar friksion, $f < 0,2$ olan materiallar isə antifriksion materiallar adlanır.

Friksion materiallar əyləclərdə, ilişmə muftalarında, friksion mexanizmlərində, təkər və yaxud rels şəklində nəqliyyatda qayış və kanat ötürmələrində tətbiq edilir.

Antifriksion materiallar sürüşmə yastıqlarında, üzük-silindr porşen sistemində, istiqamətləndiricilərdə, elektrik kontaktlarında (ayırıcı) və başqa qurğularda istifadə edilir.

7.1 Friksionluluğun və antifriksionluluğun təbiəti.

Friksionluluğun və antifriksionluluğun təbiəti sürtünmənin təbiətinin ikili olması (sürtünmə qüvvələrinin molekulyar və deformasiya toplanmalarının olması) ilə izah olunur, həmçinin bərk cisimlərin sürtünmə prosesində ancaq səth qatları iştirak edir, hansı ki, onların xüsusiyyətləri (bərkliyi, sürüşmədə möhkəmliyi) həcmi xüsusiyyətlərindən kifayət qədər fərqlənə bilər. Sərhəd qatını materialın həcmindən fərqləndirən bu tələblərin toplusu kontaktda mexaniki xüsusiyyətlərin müsbət qradiyentinin yaradılmasını tələb edir.

Friksion materiallar yüksək sürtünmə əmsalına, antifriksion materiallar isə əksinə aşağı sürtünmə əmsalına malik olmalıdır. Friksion materialın elastik kontakt zamanı aşağı elastiklik modulu və yaxud plastik kontakt zamanı aşağı bərkliyi olur. Bu faktiki kontakt sahəsinin artması hesabına sürtünmə əmsalının adgeziya toplananının artmasını təmin edir və aşağı elastiklik modulu hesabına sürtünmə əmsalının deformasiya toplananının yüksək qiymətini və uyğun olaraq nahamarlıqların daha dərin tətbiq edilməsini təmin edir.

Antifriksion materialların faktiki kontakt sahəsi böyük və imkan daxilində mikronahamarlıqların elastik deformasiyası hesabına formalaşır. Bunun üçün antifriksion materialın kifayət qədər bərkliyi və yüksək elastiklik modulu olmalıdır. Nisbi daxil olmanı (h/R) və histerezis itkilərinin ($\alpha \leq 1$) aşağı salınmasına çalışmaq lazımdır.

Friksion və antifriksion materialların təyinatından irəli gələn tələblərdən başqa onlara əlavə olaraq aşağıdakı tələblər irəli sürülür:

- asanlıqla mexaniki emal olunması qabiliyyəti, alınma texnologiyasının sadəliyi və onların tərkibində bahalı komponentlərin olmaması;
- sürünmə əmsalının sabit qiyməti;
- tez işlənmə qabiliyyəti və az yeyilmənin olması;
- korroziyaya davamlılığının, yaxşı istilik keçiriciliyinin olması və kiçik istidən genişlənmə əmsalına malik olması;
- yeyilmə məhsullarının abraziv, zəhərli və yanğına qarşı təhlükəli olmamalıdır.

Bundan başqa friksion materiallar əylənmənin gedişi zamanı açıq alovla yanmamalıdır, nəmlik olduqda şişməməli, sürtünmə əmsalı 0,2...0,5 intervalında olmalıdır.

Antifriksion materiallar möhkəm olmalı, elastik kontaktı təmin etməli, etibarlı yağlanma zamanı sürtünmə düyününün iş qabiliyyətini təmin etməli, yağlayıcı materialla yaxşı islanmalı və aşağı sürtünmə əmsalına malik olmalıdır.

7.2 Friksion materiallar.

Friksion materiallarda mexaniki xüsusiyyətin müsbət qradienti iki yolla əldə edilir. Birinci yol- kontakt qatına qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərə nəzərən sürüşmə müqaviməti aşağı olan aralıq plastik qat daxil edilir. Bu qat metal və qetrimetal mənşəyli plastik maddələrdən, oksid qatından, bərk yağlardan əmələ gətirilir. İkinci yol – friksion materiallar kimi

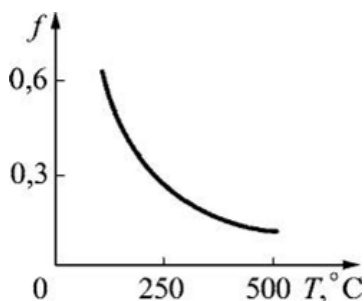
elə materialların tətbiq edilməlidir ki, onlar sürüşmə gərginliklərinin və kontakt sahəsindəki yüksək temperaturun təsirindən yumşalmır. Bu zaman sürtünmə səthində çox nazik plastik qat əmələ gəlir.

Təcrübədə friksion materialların aşağıdakı növləri mövcuddur: metal, azbest-kauçuk, azbest-qətran, üzvi, metalkeramika. Kontur cisim kimi termiki emaldan keçmiş yüksək karbonlu və legirlənmiş poladlardan, həmçinin çugundan istifadə edilir.

Metal friksion materiallara yüksək karbonlu Y7, Y8 markalı poladlarla cütdə işləyən boz çuğun aiddir. Çuğunlarda karbon qrafit şəklində olur, hansı ki, yeyilmə məhsulları ilə birlikdə kontaktda az müqavimət nümayiş etdirən çox nazik qat yaradır. Belə cütlərin mənfi cəhəti nisbətən kiçik sürtünmə əmsalının, üstünlüyü isə dəyərinin aşağı olmasıdır. Belə cüt dəmiryol nəqliyyatının təkərlərinin əyləclərində tətbiq edilir.

Azbest-kauçuk materiallar ilişmə muftalarında, avtomobillərin, traktorların və digər maşınların əyləclərində tətbiq edilir. Onların tərkibinə bu materiallar daxildir: azbest, kauçuk, dəmir sülükəni, kükürd, sink oksidi, qurğuşun, latun yonqarı, kanifol və s. Lifli quruluşu olan azbest məmulatın karkasını və yüksək istiliyə davamlılığını yaradır. Onun sürtünmə əmsalı adətən 0,7...0,8 intervalında olur və temperaturdan az asılıdır. Kauçuk bütün komponentləri əlaqələndirir və yüksək sürtünmə əmsalına malikdir. Sülükən və sink oksidi çox plastiktir. Cızılmış yerləri bağlamaq qabiliyyətinə malik olan səth qatının əmələ gəlməsinə şərait yaradılır. Lakin bu materialların sürtünmə əmsalının qiyməti 200...250 °S temperatur intervalında, kauçukun yumşalması hesabına aşağı düşür (şəkl. 7.1). İkinci çatışmayan cəhət ondan ibarətdir ki, 400 °S temperaturda material alışıq (kauçuk yanır). Azbest-qətran materiallarında, azbest-kauçuk materiallarından fərqli olaraq sintetik qətran şəklində əlaqələndirici vardır, məsələn, epoksid. Bu qətranlar termik ayrılmalarda özlərini kauçukdan fərqli aparır.

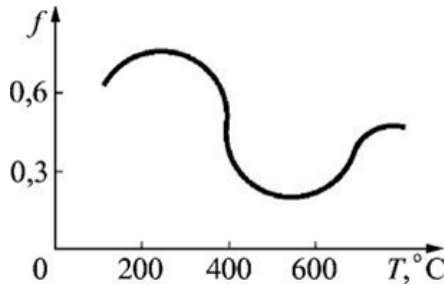
Ayrılma məhsulları çox nazik koks qatı əmələ gətirir. Adətən, koksun quruluşu məsaməli olur, hansı ki, bu məsamələr ayrılma məhsulları ilə dolur. Temperaturun artması ilə belə metalların sürtünmə əmsalı aşağı düşür (şək. 7.2) və 400...500 °S temperaturda minimum olur, sonra isə artır. Tipik azbest-qətran materialı **retinakslardır** (ΦK – 24A, ΦK – 16Л) ki, aralıq qatın quruluşunu yaxşılaşdırmaq üçün onlara latun məftillər daxil edilir.



Şək. 7.1. Kaucuk materialının sürtünmə əmsalına temperaturun təsiri.

Retinakslar ağır yüklənmiş əyləclərdə (qazma bucurqadlarında, təyyarələrin təkərlərində) tətbiq edilir. Azbest-kaucuk və azbest- qətran friksion materialların ümumi çatışmayan cəhəti azbestin olmasıdır. Belə ki, o, ekoloji təhlükəli materialdır. Çox nazik monolif, havaya toz şəklində düşərək dayanaqlı çöküntü əmələ gətirir, hansı ki, asta-asta yerə çökür. İnsanların və heyvanların ciyərlərinə düşən liflər nəfəs üzvlərini məhv edərək “asbestos” xəstəliyini əmələ gətirir.

Üzvi friksion materiallar (ağac, dəri, tıxac, rezin) azyüklənmiş sürtünmə düyünlərində, çox zaman cihazlarda tətbiq edilir. Bu materialların ümumi çatışmamazlığına aşağı istilik keçiriciliyi, istiliyə dayanıqlığı, yüksək dəyərə malik olması və az yükötürmə qabiliyyətini aid etmək olar.



Şək. 7.2. Asbestqətran materialının sürtünmə əmsalına temperaturun təsiri.

Metalkeramik materiallar toz metallurjiyası üsulu ilə alınır: sonradan bişirməklə presləməklə və yaxud toz məftili partlayışla əritməklə. Belə materiallar istiliyə çox davamlıdır, belə ki, onların əsası mis və dəmir olur. Lakin, onlar tutulmaya meyillidir və kəskin ifadə edilən düşmə xüsusiyyətinə $f - T$ (şək. 7.3) malikdir. FMK-11 və MK-5 markalı metalkeramik materiallar daha çox tətbiq sahəsi tapmışdırlar. FMK-11 markalı metalkeramik materialın ($f = 0,21...0,27$, $T = 400...600$ °S) tərkibi 14...16 % mis, 4...6 % barium sulfat, 2...3,5 % asbest, 6,5...8 % qrafit, 2...3,5 % qum və qalanı dəmir; MK-5 markalının isə ($f = 0,25...0,27$, $T = 300...500$ °S) tərkibində 8...10 % qalay, 7...9 % qurğuşun, 3...5 % dəmir, 6...8 % qrafit və qalanı misdir.

Məsələli və müxtəlif polimerlərlə hopdurulmuş metalkeramik materialların tətbiq edilməsi perspektivli hesab olunur.

7.3 Antifriksion materiallar

Nisbətən ağır yüklənmə şəraitində sürtünmə zamanı daha kiçik sürtünmə əmsalına malik olan və az yeyilən materiallar aiddir. Daha çox saylı antifriksion materialların qrupu sürüşmə yastıqları üçün təyin olunmuş materiallardır. “Antifriksion”

anlayışına kompleks xüsusiyyətlər daxildir, hansı ki, yastıq materiallarını təmin etməlidir: **yüksək temperaturda kifayət qədər statik və dinamik möhkəmlik, yağlayıcı materialları möhkəm sərhəd qatı yaratmaq və** onu dağılma yerində tez bərpa etmək qabiliyyəti; mükəmməl yağlanmadıqda aşağı sürtünmə əmsalı, yağlayıcı materialın verilməsində fasilələr olduqda valda dayanmanın olmaması; yüksək istilik keçirmə, istilik tutumu, əlavə işləmək, qovşaqlarda yaxşı yeyilməyədəvamlılıq, nadir tapılan olmamaq və yüksək texnolojilik.

Nəzərə almaq lazımdır ki, bütün göstərilən tələbləri təmin edən yastıq materialları yoxdur. Belə ki, temperatur atdıqca qalaylı babbitlərin möhkəmliyi aşağı düşür. Bürüncün işləməsi qənaətbəxş deyildir. Qeyri-metal antifriksion metalların aşağı istilik keçiriciliyi vardır.

Antifriksion yastıq materiallarının qiymətləndirilməsi meyarı onların iş şəraitidir. Ona görə də, yastıq materiallarının seçilməsi zamanı müəyyən çətinliklər mövcuddur. İstismar şəraitini, qovşaq materiallarının özlərinin və üçüncü cismin, xüsusi halda yağlayıcının əsas xüsusiyyətlərini bilmək vacibdir.

Antifriksion materialların bu növləri mövcuddur: metal, təbii, polimer, öz-özünü yağlayan kompozisiyalar və metal-keramiki. Metal antifriksion materialların ən məlum olan növü babbitlərdir (bu ərinti amüəllifin şərafinə adlandırılmışdır – Babbitt). Birinci babbitlər qalay, sürmə və mis ərintisidir, sonrakı isə mis, sürmə, misyak, kadmium, nikel əlavə edilmiş qurğuşun əsaslı babbitlərdir. İçliklərin hazırlanması üçün ən çox istifadə edilmiş və indi də istifadə olunan B – 83 markalı (83 % qalay, qalanları isə sürmə və mis) babbitdir. O 10 MPa-a qədər təzyiqdə, 50 m/san-yə qədər çevrəvi sürətlərdə və 70 °S-yə qədər işçi temperaturalarda yaxşı işləyir və yağlandıqda $f \leq 0,005$ sürtünmə əmsalına malikdirlə.

Mis əsaslı ərintilər bürünc və qalaydır. Bürünc misin qalayla, latun isə misin sinklə ərintisidir. Hal-hazırda sakit

gedişli sürüşmə yastıqları və sonsuz vint çarxlarının tacı üçün bürünc əsas material hesab edilir. Latun nadir hallarda istifadə edilir.

Alüminium əsalı ərintilər iki növ əlavəyə malikdir: çətin əriyən (xrom, dəmir, manqan, silisium) və asan əriyən (qurğuşun, sürmə, qalay, qurğuşun, kadmium, maqnezium). Bu ərintilərin üstünlükləri: çox baha olmaması, möhkəmlik, yaxşı istilik keçiricilik, yüksək korroziyaya davamlılıq və aşağı sıxlıq. Çatışmamazlıqları: istidən genişlənmə əmsalının böyük olması və tutulma qabiliyyətinin olması.

Son illər tərkibində yüksək miqdarda qurğuşun və qalay olan alüminium əsaslı ərintilər hazırlanmışdır. Belə ərintilər hər şeydən əvvəl aşağı tutulmaya və kifayət qədər yüksək qopmaya dayanıqlıdır. Müasir avtomobil və traktor istehsalında AO20–1 (kütlə hissəsi, %: kalium – 1, qalay – 20, titan – 0, 02...0,1, qalanları aliminium) ərintisi geniş tətbiq sahəsi tapmışdır. Bimetal içliklər yayma ilə birlikdə sonra zolaqdan içlikləri ştamplama yolu ilə hazırlanırlar.

Antifriksion çuğuna lövhəli qrafitli boz çuğunlar, kürəşəkili qrafitli modifikasiya olunmuş çuğunlar, yüksək plastikliyi olan döymə çuğunlar aiddirlər. Çuğunun tərkibində qrafit artdıqca onun antifriksion xüsusiyyəti artır. Bu materialların çatışmayan cəhətləri aşağı yeyilməyə davamlılığa və yüksək sürtünmə əmsalına malik olmasıdır. Ona görə də çuğunlar az məsuliyyətli sürtünmə düyünlərində, aşağı yüklənmələrdə və aşağı sürüşmə sürətlərində tətbiq edilir. Çuğunlar friksion və antifriksion materialların sərhəddindədir.

Təbii antifriksion materialların sırasına ağac, qiymətli daşlar və s. aid edilir. Qiymətli daşlar saat sənayesində sürüşmə dayaqları kimi müvəffəqiyyətlə tətbiq edilir. Onlar aşağı sürtünmə əmsalına və yüksək yeyilməyə davamlılığa malikdirlər. Təmiz şəkildə ağac təsadüfi hallarda tətbiq edilir, adətən onlar müxtəlif yağlayıcılarla hopdurulur və hopdurmada sonra preslənir. Sürüşmə yastıqlarında eninə kəsikli sürtünmə səthi

kimi tətbiq edilir, hansı ki, şirəaparıcı kanallar çıxır. Bu kanallarla yağlayıcı və yaxud özü yağlayıcı əlavələr kontakta daxil olur və mexaniki xüsusiyyətlərin müsbət qradiyentli mühafizə qatını yaradır. Hopdurulmuş ağacın üstünlüyü yüngül işləməsi, az yeyilməsi, öz-özünü yağlaması, az dəyərə malik olmasıdır. Çatışmazlıqları isə aşağı bərkliyi və istilikkeçiriciliyi, şişməsi, nəmi udmasıdır.

Ağacın çatışmazlığının metallaşdırma yolu ilə müəyyən dərəcədə aradan qaldırılmasına V.A. Belov əməkdaşları ilə birlikdə (Belarusiya Elmlər Akademiyası) müvəffəq olmuşlar. Nəticədə sıxlıq 3 dəfə artmış, nəm tutumluluğu 18...25 dəfə azalmış, istilikkeçiriciliyi isə 20 dəfə artmışdır. Adətən, metallaşma polimer qətranla hopdurulmaqla birlikdə həyata keçirilir. Ağac əsasında işlənmiş kompozisiya materialları aşağı və dayanıqlı sürtünmə əmsalına, az yeyilməyə malik olurlar.

Antifriksion polimer (süni) materiallar poliamidlərin və karbozəncirli polimerlərdən, fenolformaldehidlərdən və epoksid qətranlarından, ftoroplastdan hazırlanırlar. Poliamidlər (kapron, neylon), karbozəncirli polimerlər (polietilen) termoplastik polimerlərdir. Onlar yüksək mexaniki xüsusiyyətlərə malikdir, texnologidir, və sürüşmə oymaqları kimi tətbiq edilir. Fenolformaldehidlər və epoksid qətranları əsas kimi istifadə edilir və qrafit, molibden disulfid və s. ilə doldurulur. Epoksid qətranı əsaslı hissələr metallara yaxşı adgeziyaya, kimyəvi dayanıqlığa, yüksək mexaniki möhkəmliyə malikdirlər. Antifriksion materiallar üçün ən çox ED - 5, ED - 6, ED - P, ED - L qətranlarından istifadə edilir.

Antifriksion polimerlərin yaradılması üçün ftoroplast böyük maraq daşıyır. Bu polimerin mikromolekulu karbon zəncirindən ibarətdir ki, ona yan bəndlər kimi hidrogen atomları olan polietiləndən fərqli olaraq yeni bəndlər kimi flüor atomları birləşir. Elektromənfə flüor atomları karbon zəncirinə ekranlaşdırılır və mikromolekullar bir-biri ilə zəif

qarşılıqlı təsirdə olur. Ona görə də flüoroplast kimyəvi ətalətlidir, nəmliyi sorblaşdırmaq qabiliyyəti yoxdur, yüksək plastikliyə, aşağı elastiklik moduluna və çox kiçik sürtünmə əmsalına malikdir. O istiliyə dayanıqlıdır və termoplastikdir. Adətən flüoroplast metaldan və yaxud şüşə liflərindən möhkəm karkas daxil edilir. Metal flüoroplast zolaqdan sürüşmə yastıqları üçün içlik hazırlanır.

Öz-özünü yağlayan materiallara adətən əsas komponent kimi qrafit və disulfidlər, diselenidlər, metalların ditelloridləri (MoS_2 , WSe_2 , MoTe_2) və digər birləşmələr daxil edilir. Bütün göstərilən bərk yağlayıcılar laylı quruluşa malikdir. Ona görə də materialların layları bir-birinə nəzərən asanlıqla sürüşür. Təcrübədə ən çox yayılan qrafit və molibden disulfid əsaslı materiallardır. Molibdenitdən və qrafitdən başqa komponentlərlə qarışığında mürəkkəb kombinə edilmiş özüyağlayan kompozisiyalar (Rusiya Federasiyasında PAM - 15 - 69, PAM - 15 - 67) hazırlanır. ABŞ firmalarının birində qrafitdən, molibdenitdən, qızıldan və natrium silikatdan ibarət material istehsal olunur. Bu material vakuumda, $-60\text{ }^{\circ}\text{S}$ -dən $+800\text{ }^{\circ}\text{S}$ -yə qədər temperatur intervalında, kontaktda 300 MPa-a qədər təzyiq olduqda yastıq içliyinin iş qabiliyyətini təmin edir və $f = 0,1$ sürtünmə əmsalına malik olur.

AMAN tipli antifriksion materiallar yüksək keyfiyyətə malikdirlər. Bu materiallar polimer qətranların bərk yağlayıcı komponentləri və metallar ilə birlikdə kompozisiyasıdır. Onlar presləmə üsulu ilə hazırlanır və epoksid yapışdırıcıları ilə sürtünmə düyünlərinin hissələrinin aparıcı səthlərinə yapışdırılır. Bu materialların yüksək mexaniki, istilik, antifriksion xassələri var və maşınqayırmada yastıq və s. kimi geniş tətbiq edilir.

Antifriksion metalkeramik material kiçik sürtünmə əmsalına və yüksək yeyilməyə davamlılığa malikdir. Onlar bərk hissəciklərlə çirklənmiş yağsız şəraitdə işləyə bilər. Dəmir və qrafit (dəmirqrafit), bürünc və qrafit (bürüncqrafit), alüminium və qrafit (alüminiumqrafit) və həmçinin qrafitlə gümüş və mis

və s. əsaslı məsaməli ərintilər hazırlanır. Qrafit əvəzinə digər bərk (laylı) yağlayıcılar kimi molibdenit, metalların diselinidləri, bor nitridi də istifadə edilə bilər. Dəmirqrafit ən çox yayılmışdır və 80...100 °S temperaturda 15 MPa təzyiqdə işləyə bilər. Dəmir, mis, digər metal əsaslı ərintilər müxtəlif polimerlərlə hopdurulur, əsasən flüoroplastlarla. Həmin şəraitlərdə 150 °S-yə qədər temperaturlarda iki qat (qurğuşun bürünc) və yaxud üç qat lent şəklində dəmirqrafitdən istifadə edilir. Metal altlığa bir və yaxud iki qat uyğun materialın tozu əridilir. Bu lentin alınma texnologiyası tozların preslənməsindən, bişirilməsindən, hopdurulmasından, mexaniki emalından ibarətdir. Bütün hallarda sürtünmə zamanı kifayət qədər elastik əsarlarda metalkeramik materialın səthində mexaniki xüsusiyyətlərin müsbət qradientə malik olan aşağı sürtünmə əmsallı və yeyilməyə yüksək dayanıqlı xüsusiyyətləri olan qat əmələ gəlir. Bu materiallardan sürüşmə yastıqları, ayırıcılar, kipləşdiricilər, hərəkət edən elektrik kontaktları və s. hazırlanır.

Müasir texnikada triboqovşaqların hissələrinin səthinə çəkilən antifriksion örtükləri geniş tətbiq sahəsi tapmışdır. Örtüklər bərk yağlayıcılardan, oksidlərdən və yaxud digər birləşmələrdən ibarət polimer və metal ola bilər. Örtük hissənin səthində yüksək adgeziyaya və hissənin materialının istidən genişlənmə əmsalına yaxın olmalı, yaxşı istilik keçiriciliyinə, aşağı sürtünmə əmsalına və yüksək yeyilməyə davamlılığa malik olmalıdır. Örtüklərin texnologiyası müyyən qədər mürəkkəbdir və daima təkmilləşir. Məsələn, kosmik texnikanın bəzi mexanizmləri üçün yastıqlar molibdenlə örtülmüş titandan hazırlanırlar. Bu örtüklərin sintezi zamanı baş verir. Titan lövhələrinə molibdendən örtük çəkilir və vakuum sobasında yerləşdirilir, orada 600 °S temperatura qədər qızdırılır və eyni zamanda kükürd buxarı üfürülür. Kükürd molibdenlə əlaqəyə girir və titan üzərində qalınlığı təqribən 50 mkm olan molibden disulfiddən ibarət nazik qat əmələ gəlir. Sonra bu

lövhlərdən içliklər və yaxud yastıqların özləri hazırlanır. Adətən onların yağlanması ehtiyac olmur.

7.4. Yağlayıcı materiallar

Maşınvə mexanizmlərin müxtəlif sürtünmə düyünlərində sürtünməni və yeyilməni azaltmaq üçün yağlayıcı materiallardan geniş istifadə edilir. Yağlayıcı materiallar istiliyi sürtünmə səthindən çıxarmaq, detalların işçi səthlərini korroziyadan qorumaq üçün tətbiq edilir. Bundan başqa onlar sürtünmə düyünlərinin hermetikliyini təmin edir, hissəni yanma, yeyilmə məhsullarından, çökmüş çirklərdən və s. təmizləyir. Yağlayıcı materialın düzgün seçilməsindən və onun keyfiyyətindən maşının uzunömürlülüüyü əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Fiziki vəziyyətindən asılı olaraq qazıəkili, maye, plastik və bərk yağlar bir-birindən fərqləndirilir. Hal-hazırda sürtgü yağları adlandırılan maye yağlar maşın və mexanizmlərdə geniş çəkildə tətbiq edilir.

Sürtgü yağları bir qayda olaraq təyinatına və tətbiq sahəsinə görə təsnifatlaşdırılır. Bu təsnifat forması belədir:

- DYM-də tətbiq edilən mühərrik yağları;
- nəqliyyat vasitələrinin transmissiya elementlərini yağlamaq üçün tətbiq edilən transmissiya yağları;
- sənaye avadanlıqlarının yağlanması üçün və həmçinin hidravlik sistemlərin işçi mayesi kimi tətbiq edilən industrial yağlar.

Yağın keyfiyyətini qiymətləndirmək üçün yağlayıcı materialların fiziki-kimyəvi xüsusiyyətləri standartlarda göstərilir.

Bu göstəricilərə aiddir:

- nominal sıxlıq (verilmiş temperaturda);
- nominal özlülük (adətən 50 və 100°S temperaturda);
- alışma temperaturu adi təzyiq şəraitində alovlanmanın yaxınlaşması zamanı qızan yağlayıcı materialların buxarının ən kiçik alışma temperaturu;

- donma temperaturu – yağ axıcılığını itirdiyi zaman ən böyük temperat;
- turşuluq ədədi (KOH) – yanıcı yağlayıcı materialları neytrallaşdırmaq üçün tələb olunan kalium hidroksidin milliqramlarla miqdarı;
- kokslaşma – koksun kütləsinin sınaqdan keçirilən yağlayıcı materialın kütləsinə olan nisbətidir (%);
- küllülük – yağlayıcı materialda yanmayan maddələrin olması;
- mexaniki qarışıqlar tərkibi;
- su tərkibi;
- suda həll olan turşu və qələvi tərkibi;
- dəmir və misə korroziya təsiri;
- həlledicilər tərkibi (yağlayıcı materialların selektiv təmizlənməsi zamanı tətbiq olunan fenol, krezol, nitrobenzol və furfural).

Bütün göstəricilər bu və ya digər şəkildə yağlayıcı materialı istismar zamanı xarakterizə edir və yaxud istehsalı, nəqledirilməsi və saxlanması zamanı onların keyfiyyətinə nəzarət edilməsinə xidmət edir.

Yağ müxtəlif komponentlərin qarışığından ibarətdir ki, onların hər biri müəyyən funksiyanı yerinə yetirir. Adətən həcmi 90 %-ni baza yağının, qalan 10 %-i isə müxtəlif çöküntülər və doldurucular təşkil edir. Baza yağı kimi mineral (neft), sintetik və piy yağları geniş tətbiq edilir.

Qeyd etmək lazımdır ki, neft yağlarından istifadə olunması daha geniş yayılmışdır. Sintetik yağların qiymətləri baha olduğundan çox az istifadə edilir. Onlar hələlik texnikanın xüsusi növlərində tətbiq edilir. Piy yağları bitki və yaxud heyvan mənşəlidir. Bu yağlar tam sərbəst tətbiq olunmur. Onlar neft yağlarında çöküntü kimi tətbiq edirlər.

Çöküntülər müxtəlif kimyəvi birləşmələrdir. Onlar yağın çox az hissəsini (1,002...5 %) təşkil edir və yağın keyfiyyətini

(gənəgərçək və vazelin yağları, qliserin, olein, stearin, tursuları və s.) əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır.

Təyinatına görə çöküntülər aşağıdakı növləri var:

a) yuyucu – sürtünmə səthlərindən yağın oksidləşmə məhsullarını çıxarmaq üçün;

b) oksidləşməyə qarşı – yağın oksidləşmə prosesini azaltmaq üçün;

c) çızılmaya qarşı – sürtünmə səthində tutuşmanın qarşısını almaq məqsədi ilə möhkəm nazik qat (plyonka) yaratmaq üçün;

ç) korroziyaya qarşı – materialları korroziyadan qorumaq üçün;

d) antifriksion – sürtünmə əmsalının qiymətini artırmaq üçün heyvan və bitki piyləri, kükürd birləşmələri, fosfor birləşmələri və s.;

e) yeyilməyə qarşı – səthlərin yeyilməsini azaltmaq üçün (latun, sink duzları və s.);

ə) çoxfunksiyalı.

Son zamanlar çoxfunksiyalı və yaxud eyni zamanda yeyilməyə, çızılmaya qarşı antifriksion təsirlər yaradan tribo-polimerləşdirici çöküntülər tədqiqatçıları daha çox maraqlandırır. Tribopolimerləşdirici çöküntülər triboqovşaqların hissələrinin səthlərində polimer nazik qat əmələ gətirir.

Mühərrik yağları sürtünməni, yeyilməni və sürtünən səthlərdə cızılmanın qarşısını almaq məqsədi ilə DYM-də tətbiq edilir. Mühərrik yağları bir-birindən aşağıdakı xüsusiyyətlərinə görə fərqlənir: 100 °S temperaturda kinematik özlülüyə görə 21 sinfə ($3,82 < \nu < 22 \text{ mm}^2/\text{s}$); tətbiqinin mövsümlüyyətinə görə (yay, qış, bütün mövsümlərdə); mühərrikin tipinə və onun gücünə görə.

Mühərrik yağlarının markalanması qrup işarələr qrupundan ibarətdir. Məsələn, M63/12-Q₁ markalanmasını izah edək. Markalanmada M yağın DYM üçün olduğunu, 6 özlülük

sinifini ($18\text{ }^{\circ}\text{S}$ temperaturda $v \leq 10400\text{ mm}^2/\text{s}$), 3 yağa müdafiəedici çöküntünün daxil edilməsini, 12 yağın $100\text{ }^{\circ}\text{S}$ temperaturda özlülüyünün $12\text{ mm}^2/\text{s}$ olmasını, Q hərfi 1 indeksi ilə yağın yüksək güc yaradan mühərriklərdə istifadə edilməsi üçün təyin olunduğunu göstərir. Cədvəl 7.1-də karbüratorlu DYM və 7.2- də isə dizel DYM üçün mühərrik yağlarının əsas xüsusiyyətləri verilmişdir.

Cədvəl 7.1.

Karbüratorlu DYM üçün mühərrik yağlarının əsas
xüsusiyyətləri

Göstəricilər	Yağın markası		
	M-8-V ₁	M-6 ₃ /10-Q ₁	M – 12 –Q ₁
Kinematik özlülük, mm^2/s			
100 °S-də	8	10	12
0 °S-də	1200	100	-
Özlülük indeksi	90	125	95
Temperatur, °S			
alışma	200	210	220
donma	-25	-30	-20
Qələvi ədədi, mq KOH/q	4,0	10,5	8,5
Sulfat küllülük, %	0,95	1,65	1,3

Sintetik yağların xidmət müddəti avtomobilin yağını dəyişmədən yürüşü 80...100 min km təşkil edir ki, bu da mineral yağlardan istifadə etdikdə avtomobilin yürüşündən (20 min km) çoxdur. Sintetik yağların qiyməti neft əsaslı yağların qiymətindən 2...3 dəfə bahadır.

Transmissiya yağları ötürməni dəyişən qutularda, aparıcı körpülərdə və başqa aqreqlərdə istifadə olunur. Bu mexanizmlər çoxlu sayda müxtəlif dişli ötürmələrə, diyirlənmə və sürüşmə yastıqlarına, şlis birləşmələrinə malikdir. Onlar

yüksək kontakt gərginlikləri (2000 MPa- a qədər), 3 m/san-yə qədər sürüşmə sürətləri, yağın 80...100 °S temperaturu şəraitlərində işləyir.

Cədvəl 7.2.

Dizel DYM üçün mühərrik yağlarının əsas xüsusiyyətləri

Göstəricilər	Yağın markası		
	M-8-Q ₂	M-10-Q ₂	M-10-Q ₂ K
Kinematik özlülük, mm^2 / s 100 °S-də 0 °S-də	8 1200	11 -	11 -
Özlülük indeksi	90	90	90
Temperatur, °S alışma donma	200 -25	205 -15	205 -15
Qələvi ədədi, mq KOH/q	6,0	6,0	6,0
Sulfat küllülük, %	1,65	1,65	1,15

Transmissiya yağları 100 °S temperaturda 6...41 mm²/s aralığında 4 sinif özlülüyə malikdir. Öz-özünü yağlama xüsusiyyətlərindən asılı olaraq onlar istismar tələblərinə və tətbiq sahələrinə (TM – 1, TM – 5) görə 5 qrupa bölünür.

Cədvəl 7.2 – də ayrıca qrup transmissiya yağlarının fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri göstərilmişdir.

Perspektiv transmissiya yağlarının sırasına sintetik yağları aid etmək olar. Tipik sintetik yağların 100 °S – də özlülüüyü 7,1 mm²/s, alışma temperaturu 230 °S, donma temperaturu isə -57 °S-dir. Onların qiymətinin mineral yağların qiymətindən 3...4 dəfə baha olması texnikada geniş tətbiq sahəsi tapmasına imkan verir.

Transmissiya yağlarının əsas xüsusiyyətləri

Göstəricilər	Yağın qrupu		
	TM-3	TM-4	TM-5
	Yağın markası		
	TCp-10	TCp-14tip	TAD-17İ
100 °S-də kinematik özlülük, mm^2 / s	10	14	17
Temperatur, °S			
alışma	128	180	200
donma	-40	-25	-25
Dörd kürəli sürtünmə maşınlarında yağlayıcı xüsusiyyətlər: Cızma qüvvəsi, N	3500	4640	3750
Yeyilmə izinin diametri, mm	0,94	0,86	0,4

İndustrial yağların neft əsaslı yağların qrupuna aid 90 – dan çox növü vardır. Bu da ümumi neft əsaslı yağların həcmnin 30 %-ni təşkil edir. Onlar metalkəsən dəzgahları, presləri, yayma dəzgahlarını, nasosları, cihazları, hidravlik sistemləri və s. yağlamaq üçün təyin olunmuşdur.

Təyinatına görə onlar 4 qrupa bölünür: L - yüngül yüklənmiş sürtünmə düyünləri üçün; Q- hidravlik sistemlər üçün; N -sürüşmə istiqamətləndiriciləri üçün; T- ağır yüklənmiş sürtünmə düyünləri üçün (dişli ötürmələr). İstismar xüsusiyyətlərinə və tərkibinə görə industrial yağları hərflərlə işarələnən dörd qrupa bölünür: A-çöküntüsüz, V- oksidləşməyə qarşı və korroziyaya qarşı çöküntülü, S- əlavə yeyilməyə qarşı çöküntülü, D-əlavə sıçrayışa qarşı çöküntülü. Bu yağların 40 °S – də $\nu = 1,9...1650 \text{ mm}^2/s$ intervallı 18 sinif özlülüyə malikdir.

Yağın markalanmasına yuxarıda göstərilən indekslər daxildir. Məsələn, İ-Q-A-32 göstərir ki, hidravlik sistemlər üçün industrial, çöküntüsüz, 32 –ci sinif özlülüklü ($\nu = 29...35 \text{ mm}^2/\text{s}$) yağdır. Industrial yağların bəzi xassələri cədvəl 7.4 –də verilmişdir.

7.4. Çöküntülü industrial yağların əsas xüsusiyyətləri

	Yağın markası		
	İQP	İNSp	İSP
50 °S-də kinematik özlülük, mm^2 / s	2,2...190	36...120	23,7...118,5
Alışma temperaturu, °S	90...240	190...200	190...210
Donma temperaturu, °S	-8...15	-15...20	-10
Qələvi ədədi, mq KOH/q	0,2	3,3	0,1
Yağlama xassələri: Cızma indeksi İZ	23...24	28...36	44...49
Yeyilmə izinin dia- metri, mm (196 N, 1 saat)	0,4...0,45	0,99...0,99	0,45...0,99

Plastik (konsistent) sürtgülər yüksək piy turşularının duzlarıyla -sabunlarla qatılaşıdırılmış mineral yağları (qatı məhləmlər) təşkil edir. Onlar əsasən diyirlənmə yastıqlarını, dəstəkləri, yumruqlu sistemlərin oynaqlarını və s. yağlamaq üçün təyin olunmuşdur. Plastik sürtgülərin aşağıdakı üstünlükləri vardır: maili və şaquli səthlərdə dayanır, kontaktdan sıxılıb çıxarılır, kifayət qədər böyük temperatur intervallarında yaxşı yağlama qabiliyyətinə malikdir, düyünü hermetikləşdirmə qabiliyyəti vardır, yağın az sərfini təmin edir, düyünün konstruksiyasını sadələşdirməyə imkan verir, material tutumunu azaldır, xidmətə çəkilən xərcləri azaldır, ətraf mühiti

az çirkləndirir. Bu sürtgü materiallarının çatışmamazlıqları sırasına aşağı istilik ötürməsi yeyilmə məhsullarının kərləşdirilməməsi, mənfi temperaturlarda pis işləməsi aiddir.

Plastik sürtgülər adətən sürtünmə düyünlərinin boş yerlərinə doldurulur. Sürtgünün dəyişdirilməsi texniki xidmət zamanı həyata keçirilir. Tərkibindən asılı olaraq plastik sürtgülər kalsiumlu, natriumlu, qarışıq (kalsium-natriumlu) və metal əsaslı, alüminiumla, maqneziumla və başqa sabunlarla qatılaşdırılmış sürtgülər kimi fərqləndirilir.

Kalsiumlu sürtgülər (salıdöl) suda həll olmur. Onları nəmli mühit şəraitində tətbiq etmək olar, lakin onlar 55 °S-dən yüksək temperaturda işləyə bilmir.

Natrium sürtgüləri (konstalinlər) ancaq 100...200 °S temperaturda əriyir, əridikdən sonra donur və soyuma zamanı öz xassələrini bərpa edir. Ancaq bu sürtgülər suda, xüsusilə yüksək temperaturlarda asanlıqla həll olur, və metalları korroziyaya uğradır.

Kalsium-natriumlu sürtgülər yüksək temperaturlarda və az nəmliklərdə tətbiq edilir. Onların xassələri aralıq vəziyyət tutur.

Litium yağları nüvə enerjisi tullantılarından (litium izotoplarından) alınır. Keçmiş SSRİ-dən ayrılıb müstəqillik qazanmış respublikalarda litium yağları (litol-24, fiol-1, fiol-2u, şrus-4 və b.) vahid sürtgü kimi avtomobillərin əsas düyünlərində istifadə edilir.

Bərk yağlayıcı materiallara detalların səthlərinə plyonka şəklində çəkilməmiş maddələr aiddir ki, onların sürüşmədə möhkəmliyinin müsbət qradientini təmin edir.

Bərk yağlayıcı materiallara detalın materialına nisbətən kifayət qədər kiçik tutuşmalara malik nazik qatlar şəklində detalların səthinə çəkilən maddələr aiddirlər. Bu maddələr tutuşma möhkəmliyinin müsbət qradientini təmin edir.

Bərk sürtgü materialları detalların işçi səthində tutuşmanı və mexaniki zədələnməni aradan qaldıran ayırıcı qat yaradaraq

yeyilməmə üçün əlverişli şərait yaradır. Bərk sürtgülər kimi aşağı ərimə temperaturu metallar (qurğuşun, sürmə, bismut) və mürəkkəb strukturalı kristal qəfəsə malik maddələr (qrafit, molibden, mis, sink sulfidləri) tətbiq edilir. Molibden disulfid MoS_2 , volfram disulfid WS_2 və qrafit daha geniş formada istifadə edilir. Onlar detalların işçi səthinə nazik qat şəklində çəkirlər (sürtülür) və yaxud yağlayıcı suspenziyalara toz şəklində əlavələr kimi istifadə edilir.

Yastıqların öz-özünüyağlayan sürtkü materiallarından istifadə etməklə bərk sürtkü yağlarının doldurulması, rotaprint yağlama metodunun tətbiqi, həmçinin maqnit sahəsindən istifadə edərək bərk sürtkü yağlarının saxlanması üsullarından istifadə etmək çox məqsədəuyğundur.

7.5. Sürtünmə düyünü üçün yağlayıcı materialın seçilməsi.

Sürtünmə düyünləri tribolik sistemi təşkil edir ki, hansı ki, burada detalların materialları, yağlayıcı materiallar və iş rejiminin parametrləri sürtünmə əmsalının və yeyilmə intensivliyinin minimal qiymətini və uyğun olaraq onun işinin maksimal resursunu əldə etmək məqsədi ilə qarşılıqlı əlaqədə olmalıdır.

Sürtünmə yastıqlarının misalında V.Q.Pavlov tərəfindən təklif edilən yağlayıcı materialın seçilməsi ardıcılığına baxaq. Qepşı-Ştribek diaqramına (şəkil 1.8) uyğun olaraq yastıq düyünündə yağlama şəraiti Zoomerfeldin ölçüsüz ədədi ilə təyin edilir.

$$S_0 = \frac{p\psi^2}{\eta\omega} \quad (7.1)$$

burada p - yastıqda orta təzyiq; $\psi = (d_{oy} - d_v) / d_v$ - yastıqda nisbi araboşluğu; d_{oy} və d_v - yastığın oymağının və valının

diametrləri; η – yağın dinamik özlülük əmsalı; ω – valın fırlanma bucaq sürətidir.

Şəkil 1.8-dəki qrafikdə kritik nöqtə B vardır ki, o yağlamanın hidrodinamik rejiminin mövcud olmasının hədd rejiminə uyğun gəlir. Bu rejim həddi ədədlə $[S_0]$ xarakterizə edilir. $S_0 \leq [S_0]$ şərtindən yağın lazım olan minimum özlülüüyü təyin edilir:

$$\eta_{\min} \geq \frac{p\psi^2}{\omega[S_0]}. \quad (7.2)$$

$[S_0]$ üçün cədvəl tərtib edilmişdir, hansı ki, bu qiymət yastığın valının diametrindən d_v , nisbi araboşluğundan ψ , və l/d -nin qiymətindən asılı olaraq təyin edilir. Burada, l yastığın uzunluğudur.

η -nin hesabi qiymətləri sorğu ədəbiyyatlarından yağın markası və mexanizmin verilmiş temperaturda işi zamanı dinamik özlülüynün qiyməti seçilir.

Adətən θ_i yağın işçi temperaturu 50...100 °S həddində olur. Yağın özlülüüyü temperaturdan ciddi aslı olduğu üçün yağın qiymətini müəyyən etmək məqsədi ilə yastığın hesabı aparılır. Hesabat yastığın istilik tarazlığı tənliyi əsasında aparılır.

Bunun üçün bir saniyədə sürtünmə qüvvələri hesabına yastıqda əmələ gələn istiliyin miqdarı təyin edilir,

$$Q_1 = fF_n; \quad (7.3)$$

Bir saniyədə qızmış yağın çıxardığı istiliyin miqdarı

$$Q_2 = c\rho V(\theta_a - \theta_d); \quad (7.4)$$

və yastığın gövdəsinin konvensiyası yolu ilə çıxarılan istiliyin miqdarı

$$Q_3 = \alpha_s A (\theta_{yg} - \theta_h), \quad (7.5)$$

burada, f - sürtünmə əmsalı; F_n - yük; v - yastığın valının çevrəvi sürəti; c və ρ – yağın istilik tutumu və sıxlığı; V – vahid zamanda yastıqdan çıxarılan yağın həcmi; α_s və A yastığın konvektiv istilikötürmə əmsalı və səthinin sahəsi; θ_{yg} və θ_d – yastığa daxil olan və çıxan yağın temperaturu; θ_a və θ_h -yaqstığın gövdəsinin və əhatə edən havanın temperaturudur.

Ümumi istilik tarazlığı belədir

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (7.6)$$

(7.3), (7.4) və (7.5) ifadələrinin qiymətlərini (7.6) ifadəsində nəzərə alaraq və bu tənliyi $\Delta\theta = (\theta_a - \theta_d)$ ifadəsinə nisbətən həll edərək yastığın işçı sahəsindən çıxan yağın temperatur artımını təyin edirik. Dövrüəli yağlanma zamanı yastığın əsas istilik miqdarı yağlayıcı material vasitəsi ilə çıxarılır. Bu halda təqribi $Q_1 \approx Q_2$ bərabərliyindən:

$$\Delta\theta = (\theta_a - \theta_d) - \frac{fF_nv}{c\rho V}. \quad (7.7)$$

(7.7) formuluna daxil olan kəmiyyətlərin təyin edilməsi aşağıdakı kimi yerinə yetirilir. Yastığın işçı temperaturda θ_i yüklənmə əmsalı təyin edilir:

$$C_F = \frac{p\psi^2}{\omega\eta_0}, \quad (7.8)$$

burada, η_0 seçilmiş yağın θ_i işçi temperaturda dinamik özlülük əmsalıdır.

Sonra l/d nisbətindən və yastıq düyününün əhatə bucağından (120° , 180°) aslı olaraq cədvəldən C_F üçün yastığın nisbi eksentrisitetinin $\chi = e/\delta$ qiyməti təyin edilir və yağ qatının qalınlığı hesablanır:

$$h_{\min} = \delta(l - \chi), \quad (7.9)$$

Burada $\delta = (d_{oy} - d_v)/2$ yastığın radial araboşluğu; l – valın yastıqda mütləq eksentrisitetidir.

Yağ qatının qalınlığına görə təhlükəsizlik əmsalı hesablanır:

$$\Phi = \frac{h_{\min}}{Rz_1 + Rz_2} \geq 2, \quad (7.10)$$

burada, Rz_1 və Rz_2 valın və oymağın səthlərinin mikro nahamarlığının orta hündürlüyüdür.

Əgər (7.10) şərti ödənilirsə, onda sürüşmə yastığında hidrodinamik yağlama rejimi reallaşır.

Sürüşmə sürtünmə əmsalı:

$$f = \psi \left[\frac{\pi}{C_F \sqrt{1 - \chi^2}} + 0,438 \chi \sqrt{1 - \chi^2} \right], \quad (7.11)$$

Valın bucaq və çevrəvi sürətləri:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}; \quad v = \frac{\omega d}{2}.$$

Yastığın böyük eksentrisitetli işi zamanı (ağır yükləmə rejimi) onda yağ sərfi aşağıdakı kimidir:

$$V = 0,5 \psi \omega d^2 \frac{\pi}{12} (1 + 4\chi) C_F \left(\frac{d}{l} \right) \frac{p_e}{p}, \quad (7.12)$$

burada, p_e -sürtgünün veriş təzyiqi (adətən $p_e = 0,05 \dots 0,2$ MPa); p - yastıqda olan orta təzyiqdir,

$$p = F_n / (l / d).$$

(7.7) düsturuna əsasən hesablanan $\Delta\theta$ temperaturu əhatə edən havanın temperaturu θ_h ilə toplanır. Bu temperaturların cəmi yağ üçün əvvəl seçilmiş işçi temperatura $\theta_i = \Delta\theta + \theta_h$ bərabər olmalıdır. Əgər bu bərabərlik pozularsa, onda yastığın iş şəraitini (yükü F_n , sürəti v , yağın həcmi V və yaxud A sahəsini) dəyişdirmək lazımdır.

VIII fəsil

Materialların və maşın hissələrinin yeyilməyə davamlılığının artırılmasının əsas üsulları

Maşınqayırma müəssisələrinin texniki siyasətinin əsasını istehsal olunan məhsulların keyfiyyətinin rəqabətqabiliyyətli dünya standartları səviyyəsinə yüksəldilməsi təşkil edir. Lakin etibarlılıq və davamlılıq məmulun keyfiyyətinin əsas xüsusiyyətləri olduğundan, məmulların layihələndirilməsi və istehsalı zamanı onlara əsas diqqət yetirilməlidir.

Məlumdur ki, maşınların xidmət müddəti onun hissələrinin yeyilməsi ilə müəyyən edilir. Hissələrin yeyilməsi, yaxud daimi təsir edən yüklərin təsirindən qalıq deformasiyasının yaranması və ya sürtünmə zamanı səth qatının dağılması baş verir. Bu səbəbdən onların səthlərinin ölçüsündə, formasında, kütləsində və ya vəziyyətində dəyişiklik baş verir. Normal istismar şəraitində maşınların hissələrinin və işçi üzvlərinin sıradan çıxması yorğunluqdan dağılma, materialların axıcılığı, mexaniki yeyilmə, korroziya, eroziya, kavitasiya, materialın köhnəlməsi və s. müxtəlif növ fiziki yeyilmənin nəticəsidir. Maşın hissələrinin və mexanizmlərinin sıradan sıxması sürtünmə düyünlərində işçi səthlərin yeyilməsi və zədələnməsidir.

Əksəriyyət triboqovşaqlar üçün materialların yeyilməyə davamlılığına qoyulan əsas tələbləri təyin etmək üçün sürtünmə düyünlərinin hazırlanması və istismarı zamanı aşağıdakı göstəriciləri təmin etmək lazımdır:

- möhkəmliyin, sərtliliyin, etibarlılığın və uzunömürlülü-yün maksimum və yaxud tələb olunan qiymətlərini;
- kütləsinin, səs küyün səviyyəsinin və enerji itkisinin minimum olmasını;
- az metal tutumluluğun, yüksək texnologiyalı və minimum dəyəri;

- quraşdırılmasının və texniki xidmətin əlverişliyi.

Maşınların uzunömürlülüyünün (yeyilməyədavamlılığının) artırılmasının əsas üsulları şərti olaraq konstruktiv, texnoloji və istismar olmaqla üç əsas növə bölünür.

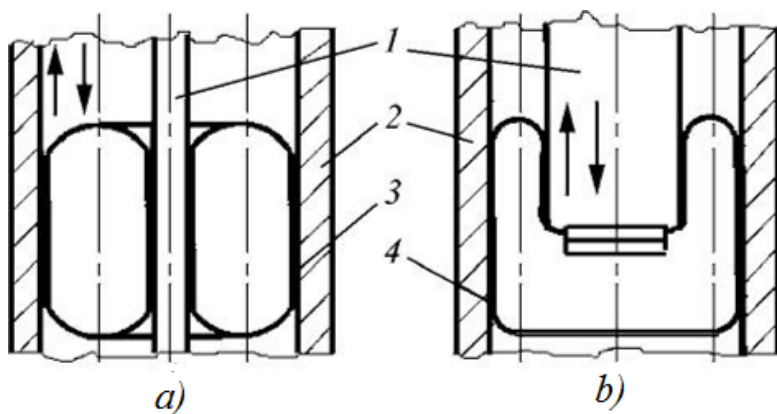
8.1. Konstruksiya üsulları

Maşın hissələrinin yeyilməyədavamlılığının təmin edilməsi istiqamətinə yönəlmiş konstruktiv həllərin sistemləşdirilməsi maşınqayırmada böyük maraq doğur. Əlbəttə, bu çox çətin məsələdir. Bu məsələnin həlli üçün on minlərlə təklif və variantlar saymaq olar. Bununla əlaqədar olaraq onları ayrılıqlıqda nəzərdən keçirək.

Xarici sürtünmənin araqdan qaldırılması. Qovuşan hissələrdə xarici sürtünməni ardan qaldırmaq üçün konstruktiv həllər kifayət qədər çoxdur. Məsələn, mayeləri vurmaq üçün təyin olunmuş membranlı nasoslarda xarici sürtünmə yoxdur. Rezin membran porşenli nasoslarda tətbiq edilir.

Şək. 8.1 *a*-da elastik porşen göstərilmişdir. Porşen rezinləşdirilmiş parçadan tor şəklində nazik divarlı örtüyü 3 özündə təqdim edir və havanın 0,02 MPa-a yaxın xüsusi təzyiqində silindirin 2 daxilində asanlıqla hərəkət edir. Stok 1 slindirin daxilində örtüyün divarlarının deformasiyası nəticəsində hərəkət edir və yeyilmə ilə müşayiət olunmur.

Xarici sürtünmənin ardan qaldırmasına başqa bir misal olaraq hidrosilindirin stokunda rezin deformasiya olunan elementin kipəşdirici kimi istifadə olunmasını göstərmək olar (şək. 8.1, *b*). Ucları stokun 1 və slindirin 2 sonlarına kip düzəldilmiş nazik divarlı rezin boru 4, stokun slindirə sürtünmədən hərəkət etməsi üçün şərait yaradır və mayeənin 0,5...1,0 MPa təzyiqlərində birləşmənin hermetikliyini təmin edir.



Şək. 8.1. Elastik porşenin (a) və ştokun manjetinin (b) sxemi.

Xarici sürtünmənin daxili sürtünmə ilə əvəz edilməsi. Bu konstruktiv üsul rezin-metal şarnirlərdə yerinə yetirilir, texnikada və xüsusilə nəqliyyat vasitələrində geniş şəkildə istifadə edilir (şək. 8.2). Koaksial hissələrin nisbi geri-fırlanma hərəkəti qovşaq hissələrinə vulkanlı birləşdirilmiş rezin elementin deformasiyası hesabına yerinə yetirilir.



Şək. 8.2. KamAZ 6520 markalı avtomobilun rezin-metal şarniri

Buna görə də qovşağa abraziv hissəciklərin düşməsi aradan qalxır və nəticədə abraziv yeyilmənin qarşısı alınır. Belə qovşağın yağlanmasına ehtiyac yoxdur və mexanizm işlədikdə səs-küy səviyyəsi kəskin aşağı düşür.

Maşının daha optimal sxeminin seçilməsi. Konstruktiv üsullar sırasına hissələrin yeyilməyədavamlılığının artırılmasını nəzərə almaqla maşının (mexanizmin) ən optimal prinsipial sxeminin seçilməsini aid etmək olar. Konstruktor təcrübəsi göstərir ki, maşının prinsipial sxemini seçdikdə aşağıdakı amilləri nəzərə almaq lazımdır:

- düz sürtünmə cütündən əks sürtünmə cütünə üstünlük vermək;

- tribologqovşağın rəşional yağlanmasını təşkil etmək;

- triboqovşaqlarda araboşluqlarının tənziqlənməsi imkanını təmin etmək;

- tez yeyilən hissələrin qısa müddətdə dəyişdirilməsi imkanını nəşərdən keçirməli;

- sürtünmə düyünlərinin hissələrinin mümkün istilik deformasiyalarını nəzərə almaq və bununla da tribobirləşmədə hissələrin tutulması və yeyilməsi ehtimalının qarşısını almaq.

Triboqobirləşmələr üçün materialların seçilməsi. Tribo-birləşmələrdə yumşaq materiala yumşaq materialı və təbiətə eyni adlı materialların birləşdirilməsi tövsiyə olunmur. Əksinə bərk materialların yumşaq materialla birləşdirilməsi tövsiyə edilir. Əgər belə sürtünmə cütünü reallaşdırmaq mümkün deyilsə, onda bərk materialın bərk metallarla birləşdirilməsinə üstünlük verilir, lakin belə halda sürtnmə düyünlərinin işləməsini yüngülləşdirilmiş yüklənmə rejimində həyata keçirmək lazımdır. Mümükün olan yerdə polimer və metal-keramik materialları tətbiq etmək məqsədəuyğundur. Bu nadir materialların sərfini, hissələrin kütləsini və maşının işi zamanı titrəməni və səs–küyün səviyyəsini azaldır.

Sürüşmə sürtünməsinin diyirlənmə sürtünməsi ilə əvəz edilməsi. Sürüşmə sürtünməsi şəraitində enerji itkisi diyir-

lənmə sürtünməsinə nisbətən çoxdur. Ona görə də mümkün olduqda sürtünmə düyününün konstruksiyasında diyirlənmə yastıqlarından istifadə etmək lazımdır, hansı ki, sürtünmə yastıqları ilə müqayisəyə görə aşağıda göstərilmiş üstünlüklərə malikdir:

- işə salmada sürtünmə momenti kiçikdir;
- oxboyu əndazə ölçüləri kiçikdir;
- xidməti sadədir və yağlayıcı material sərfi azdır;
- tam qarşılıqlı əvəzolunandır;
- kütləvi istehsal olunmasıyla əlaqədar dəyəri aşağıdır;
- əlvan metalların sərfi azdır.

Uyğunluq prinsipindən istifadə edilməsi. Ümumi və ya yerli hissənin uyğunluğu onun işçi səthinin cütləşən hissənin yenidən formalaşmasını izləməyə və həndəsi formasının qeyri-dəqiqliklərinə uyğunlaşmasına imkan verir. Özünü düzəldən dayaq yastığı, bucaq hərəkətliliyi olan içlik şəklində sərbəst uyğunluqlu hissə, konstruksiyanın ən sadə nümunəsidir. Uyğunluğun tam rolu gəmiqayırmada, hidroturbinqayırmada tətbiq edilən rezin arxa boru deydvud yastıqlarında və yapışqanlaşdırılmış hissələrdə meydana çıxır.

Yapışqanlanmış hissələr kompozit materiallardan hazırlanmış hissələrdir, burada altqatda və ya armaturlarda lazımi sərtlilik və möhkəmlik yaratmaq üçün nəzərdə tutulmuşdur, həmçinin düyünlərdə və birləşdirici ölçülərdə oturtma yerlərini təmin edir. Rezin örtüklər və yaxud rezindən olan doldurucular armaturlar arasına fəzada hissələrin işçi səthlərinin lazımi uyğunluğunu təmin edir.

Belə kompozit hissələr hidroabraziv və yaxud qazabraziv yeyilməyə, korroziya və erroziyadan dağılmaya yaxşı müqavimət göstərir. Onların kütləsi təmiz metallardan olanlardan bir neçə dəfə azdır, vahid yığımlarda tətbiq edilməsi mexanizmlərdəki titrəməni və istehsalat səs-küyünün səviyyəsini azaldır.

Texnoloji olaraq yapışqanlanmış hissələr xüsusi pres-formalarda formalaşdırmaq üsulu ilə alınır və sonradan

vulkanlaşdırılır. Metal səthlərin rezinlə örtülməsi (və yaxud aşağı molekullu tərkibi olan yapışqantərkibli sürtgülər) sonradan buxar qazanlarında və yaxud açıq havada vulkanlaşdırılması (öz-özünü vulkanlaşdırma) üsulundan da istifadə edilir. Yapışqanlaşdırma texnologiyası əsasən hissələrin əndazə ölçüsündən və lazım olan rezin qatının qalınlığından aslı olaraq seçilir.

Cədvəl 8.1-də hidroabraziv axında yeyilmə zamanı, bəzi elastik materialların-kauçuk əsaslı rezinlərin polad-3 -ə və Sç21 markalı çuğuna nəzərən nisbi yeyilməyədavamlılığı haqqında məlumatlar verilmişdir. Cədvəl 8.2-də isə hidroabraziv kütlədə yeyilmə zamanı, bəzi kauçuk əsaslı rezinlərin Kç30-60 markalı çuğuna nəzərən nisbi yeyilməyədavamlılığı haqqında məlumatlar verilmişdir. Bu verilənlərdən aydın olur ki, kauçuk əsaslı rezinlərin yeyilməyədavamlılığı etalon kimi qəbul edilmiş polada və yaxud çuğuna nəzərən 80...70 dəfə çoxdur.

Cədv. 8.1

Hidroabraziv axında yeyilmə zamanı rezinin nisbi
yeyilməyədavamlılığı

Kauçuk əsaslı rezin	Sıçrama elastik- liyi	Şüşələşmə tempera- turu, °S	Dağılmada möhkəmlik, MPa	Rezinin nəzərən nisbi yeyilməyə- davamlılığı	
				Pol. 3	Sç21
SKD	0,52	-110	21	50	88
SKD – HK	0,5	-95	22,4	41	75
SKD+ SKİ-3	0,5	-90	22,3	37	66
Nayrit	0,42	-32	30,8	15	27
SKS-30-1	0,42	-75	34,6	13	23
SKS-30- ARKM-15	0,42	-53	25,7	5	9
SKH-26-1	0,25	-42	32	2	4

SKH-40	0,23	-25	35,9	0,67	1,2
Polad 3	-	-	-	1	1,7
Çuğun Şç21	-	-	-	0,56	1

Qeyd. Axının sürəti- 42 m/san; abrazivin konsentrasiyası - 300 q/l, abraziv hissəciklərinin diametri - 0,5...7 mm; yeyilmə müddəti - 60 dəq.

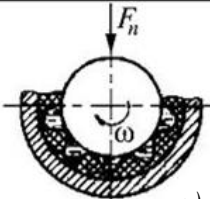
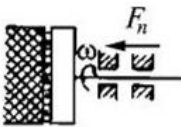
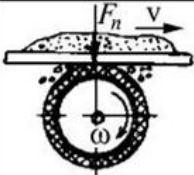
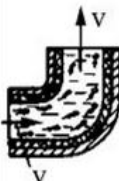
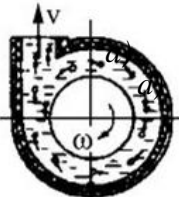
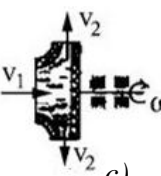
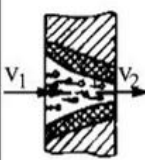
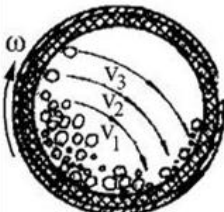
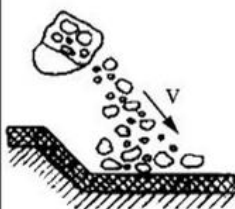
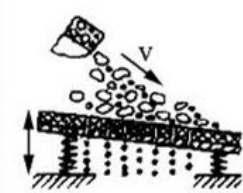
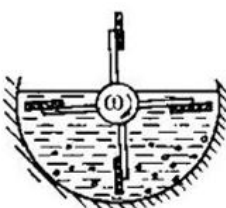
Cədv. 8.2.

Hidroabraziv kütlədə yeyilmə zamanı rezinin nisbi yeyilməyə davamlılığı

Kauçuk əsaslı rezin	Sıçrama elastikliyi	Dağılmada möhkəmlilik, MPa	Nisbi yeyilmə, mm ³ /sm ²	Nisbi yeyilməyə davamlılıq
SKU-7 (L)	0,46	38,0	4,9	50
SKD-3	0,49	12,0	11,5	21
SKD+SKİ-3	0,48	13,8	17,5	14
SKS- 30ARKM-15	0,36	20,5	17,8	14
SKİ-3	0,40	20,2	25,3	9
Nairit “B”	0,40	20,6	34,6	7
Çuğun Kç 30- 60	-	-	246,1	1

Qeyd. Sürüşmə sürəti - 0,43 m/san; yeyilmə müddəti - 1000 saat, abrazivin konsentrasiyası – 80...90 %, abraziv hissəciklərinin diametri - 0,1...1,5 mm;

Şək. 8.3-də **yapışqanlanmış** hissələrin təsnifatının struktur sxemi göstərilmişdir. Bu sxem **yapışqanlanmış** hissələrin tətbiqinin mümkün sahələri haqqında mülahizə yürütməyə imkan verir. Belə ki, I qrup hissələrə abraziv qatların qarşılıqlı təsiri xasdır; II qrupa abraziv şırnağının qarşılıqlı təsiri; III qrup hissələr abrazivin yarıq şəkilli zərbəsinə qarşı durur; IV qrup abraziv kütləsində müvəffəqiyyətli işləmə qabiliyyətinə malikdir.

№	Sxemlər		
I	 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>
II	 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>  <p>ξ)</p>
III	 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>
IV			

Şək. 8.3. Yapışqanlanmış hissələrin təsnifatının struktur sxemi

Şək. 8.4 - də müxtəlif amillərin (rezin qatının qalınlığının, zərbə sürətinin, konsistensiyasının, abraziv hissəciklərin böyüklüyü, hücum bucağının və rezinin əsas fiziki - mexaniki xüsusiyyətlərinin) hidroabraziv və qazabraziv axında rezinin yeyilməsinin intensivliyinə təsiri göstərilmişdir.

Alınmış qiymətlərin və bərk hissəciklər və maye şörnağında rezinin yeyilməsi materiallarının analizi göstərir ki, kritik sürətlərdən aşağı sürətlərdə rezinin yeyilmə intensivliyini enerji formasında və yaxud yeyilməsinin xüsusi intensivliyinin zərbə zamanı enerjisinin udması sıxlığını hesabı kimi ifadə etmək olar.

$$I_w = i_w e_n \quad (8.1)$$

Bu tənliyin tətbiq edilməsinin meyarı $v_0 \leq v_{kr}$ şərtidir, burada v_0 - zərbə zamanı hissəciyin sürətidir; v_{kr} - rezinin səthinin dağılmasının kvazikövrək mexanizmi ilə düşmə anında kritik sürətidir. Hissəciyin zərbəsi zamanı udulan enerjinin sıxlığı bu ifadəyə əsasən təyin edilə bilər:

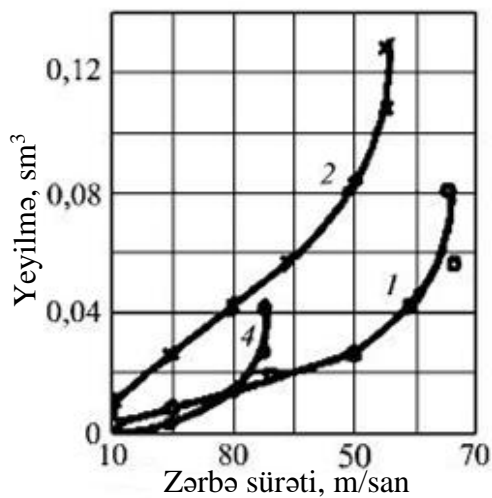
$$e_n = \gamma W_k / V_D, \quad (8.2)$$

burada, γ - zərbə zamanı mexaniki itkilər əmsalı; W_k - hissəciyin zərbə zamanı kinetik enerjisi; V_D - zərbə zamanı materialın deformasiya həcmidir.

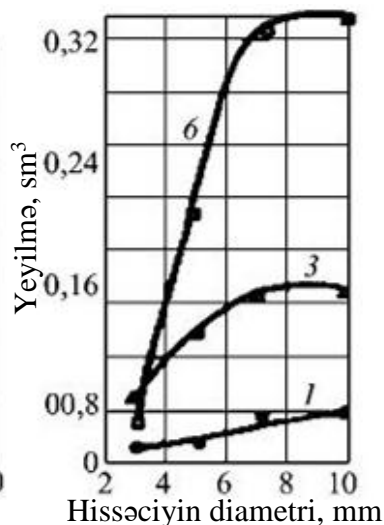
Xüsusi enerji yeyilməsi bu şəkildə təyin ola bilər:

$$i_w = \Delta V_1 / \omega_1, \quad (8.3)$$

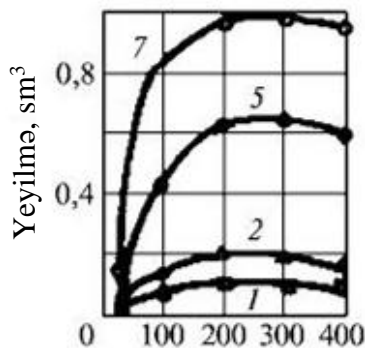
burada, ΔV_1 - orta hesabla friksion əlaqənin bir dəfə pozulmasında çıxarılan materialın həcmi; ω_1 - bu həcmdə materialın ayrılmasına sərf olunan işdir.



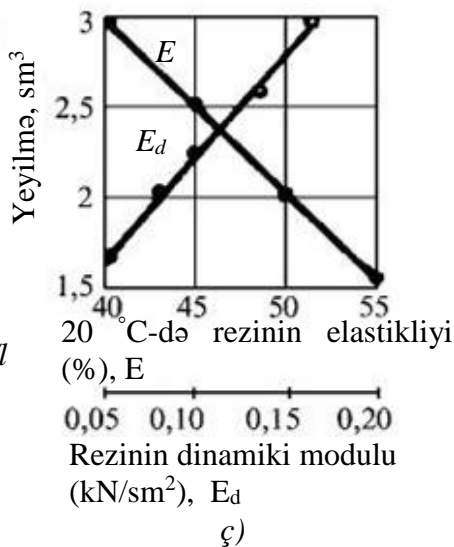
a)



b)

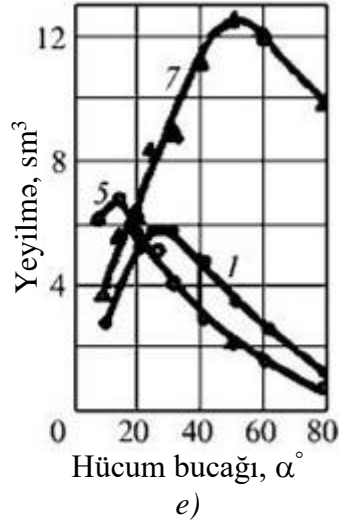
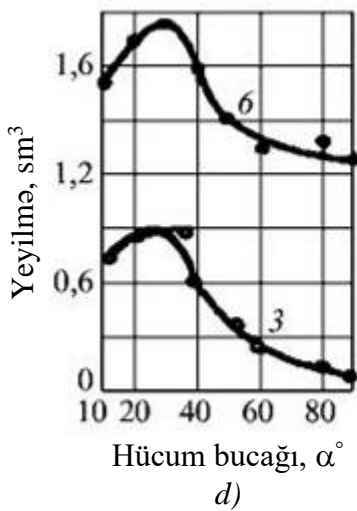


c)



Rezinin dinamikı modulu
(kN/sm^2), E_d

ç)



Şək. 8.4. Hidroabraziv (*a-d*) və qazabraziv (*e*) yeyilmə zamanı rezinin yeyilməsinə müxtəlif amillərin təsiri:
1-SKD+SKİ-3-dən rezin; 2-nairitdən rezin; 3-SKS-30A-dan rezin; 4-NK+SKB-dən rezin; 5-NK rezini; 6-SKN-40 rezini; 7-polad 3.

(8.3) tənliyinə daxil olan parametrləri, kontaktda olan olan səthlərin xarakteristikası və qarşılıqlı təsirinin sayı ilə ifadə edərək alırıq:

$$i_w = \frac{k^t f^t p_r^{t-1}}{(\psi + 1) \sigma_0^t}, \quad (8.4)$$

burada k - materialın gərginlikli vəziyyət əmsalı; f - sürtünmə əmsalı; t - yorulma əmsalı; p_r - həqiqi təzyiq; ψ - abraziv hissəciklərin dairəviliyini xarakterizə edən əmsal; σ_0 - bir dəfə yüklənmə zamanı rezinin möhkəmliyi.

(8.1) tənliyini hissəciklərin axınının kinetik enerjisinə nəzərən həll edib və zərbə parametrlərindən və rezinin xüsusiyyətlərindən rezində mexaniki itkilər əmsalını təyin edərək, rezinin yeyilməsi intensivliyinin tənliyini alırıq:

- zərbə zamanı sürüşmə olmadıqda

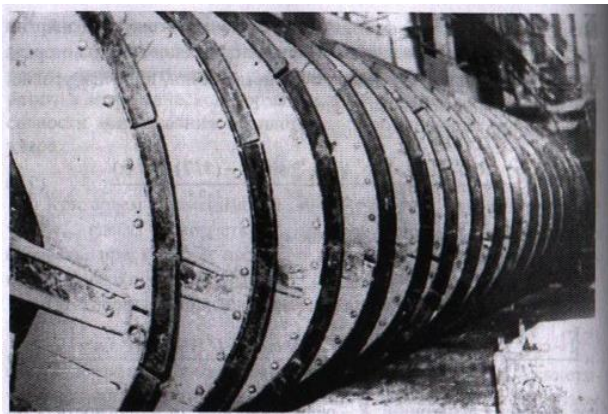
$$I_w = \frac{\pi R^2 \rho_1^{0.6} E_D^{0.4} v_0^{2.2} \sigma^1 N (1-E) \sin^2 \alpha - (5/7) \cos^2 \alpha}{(1+\psi) p_r \sigma_0^t \sin^{0.8} \alpha (1-\mu_2^2)^{0.4}}; \quad (8.5)$$

- zərbə zamanı sürüşmə olduqda

$$I_w = \frac{\pi R^2 \rho_1^{0.6} E_D^{0.4} v_0^{2.2} \sigma^t N}{(1+\psi) p_r \sigma_0^t} \times \frac{\left[1 - \cos^2 \alpha + f(1+\sqrt{E}) \sin^2 \alpha - \Im \sin^2 \alpha - 3,5 f^2 (1+\sqrt{E})^2 \sin \alpha \right]}{\sin^{0.8} \alpha (1-\mu_2^2)}, \quad (8.6)$$

burada, τ - sınaq müddəti; R – hissəciyin diametri; ρ_1 - rezinin sıxlığı; E_D - rezinin dinamik elastiklik modulu; f - sürtünmə əmsalı; v_0 - hissəciyin sürəti; N - zərbələrin sayı (hissəciklərin sayı); E - rezinin elastikliyi; μ_2 - Puasson əmsalı.

Bu tənliklər müxtəlif amillərin yeyilmə intensivliyinə təsirini analiz etməyə imkan verir. Resinin yeyilmə intensivliyinə ən çox təsir edən elastiklik E və f sürtünmə əmsalıdır. Sürtünmə əmsalının artması və rezinin elastikliyinə azalması əhəmiyyətli dərəcədə yeyilməni sürətləndirir ki, konkret maşın hissələrinin xüsusi halda oynaqlı dəyirmanların tuteravkası və spiral klassifikatorların sınağının nəticələri ilə uyğunlaşır. Şək. 8.5-də diametri 2400 mm olan və uzunluğu 12,5 olan KS – 24 olan klassifikatorunun qummirlənmiş spiralı göstərilmişdir.



Şək. 8.5. KC -24 klassifikatorun qummirləşmiş spirali.

“Norilsk nikel” şirkətinin zənginləşdirici fabriki şəraitində belə spiral klassifikatorun sınağı göstərdi ki, rezin tuteravkasının xidmət müddəti yüksək leqirlənmiş İÇX28N2 çuğunun futeravkasının xidmət müddətindən 3 dəfə çoxdur.

Konstruksiya materialı kimi rezinin üstünlüyü şək. 8.6-da göstərilmiş nümunədə də öz əksini tapır.



a)



b)

Şək. 8.6. Biser dəyirmanının metal (a)
və **yapışqanlaşmış** (b) diski.

Biser dəyirmanının metal və yapışqanlaşmış görünüşləri bunu askar sübut edir. Hər iki disk eyni istismar şəraitində 3 ay işləmiş, lakin göstərilən müddətdə metaldan olan disk praktiki olaraq tam yeyilmiş, yapışqanlaşmış isə əvvəlki vəziyyətini saxlamışdır.

Sürtünmə şəraitinin yaxşılaşdırılması. Hissələrin sürtünmə şəraitinin yaxşılaşdırılması imkanları çox müxtəlifdir. Onların konstruktiv həllərin istiqamətlənməsinə görə: kontakt yüklənməsini azaldmaq; sürtünmənin işini azaldmaq; tutulma imkanlarının aradan qaldırmaq; sürtünmənin temperatur rejimini yaxşılaşdırmaq; triboqovşaqlara bərk hissəciklərin düşməsindən mühafizə etmək; triboqovşaqları xarici mühitin kimyəvi təsirlərindən mühafizə etmək və s. sistemləşdirilməsi daha məqsəduyğundur.

Hər bir xüsusi vəziyyətdə rəşional konstruktiv həlləri axtararkən, mənfi nəticələrin və konstruksiyanın dəyərinin artmasının qarşısını almaq üçün hissələrin müəyyən bir resursuna nail olmaq üçün kifayət qədər sürtünmə şərtləri üçün minimum tələbləri müəyyən etmək lazımdır.

Bu məsələnin düzgün həlli üçün yeyilmənin qanunauyğunluqlarını və sürtünmə şəraitini müəyyən edən bu və ya digər amillərin yeyilmənin intensivliyinə təsirini və konstruktiv vasitələlə tənzimləməklə həllinin mümkün olmadığını bilmək lazımdır.

Yeyilən hissələrin bərabərdavamlılığı. Yeyilmənin qeyri-bərabərliyi yeyilən səthin hər hansı sahəsində ən çox yeyilmə yerlərinin mərkəzləşməsi, triboqovşağın hissələrindən birinin yeyilmə sürətinin artırması, adətən qalan hissələrin resurslarından tam istifadə edilməməsi zamanı bütün aqreqatın vaxtından tez iş qabiliyyətinin itirilməsinə gətirib çıxarır.

Profilin qeyri-bərabər yeyilməsinə misal olaraq müxtəlif kəsici alətlərin kəsən hissəsinin kütləşməsini göstərmək olar. Bu çatışmamazlığı kəsən hissənin profilinin müəyyən dərəcədə

bərabərliyini təmin edən konstruktiv texnoloji üsulla, yəni onu özünüitiləməklə aradan qaldırmaq olar.

Məsələn, ət emalı sənayesində geniş istifadə olunan kəsici bıçaqlar üçün özünüitiləmə effekti daha çox yeyilməyə-davamlı təbəqənin bərkliyinin daha az yeyilməyədavamlı təbə-qənin bərkliyinə nisbəti 18...22 həddləri daxilində olan ikiqatlı bıçaqdan istifadə etməklə əldə edilə bilər.

Belə bıçaqların uzunömürlülüüyü adi birqatlı bıçaqların uzunömürlülüüyündən 6...12 dəfə çoxdur.

Hissələrin yeyilməsi zamanı həndəsi formanın öz-özünə təşkili. Hissələrin konstruksiya edilməsi zamanı optimal forma-sının axtarılması mühüm yer tutur. Hissələrin iş qabiliyyətinə yeyilmə prosesində ilkin forma və onun dəyişməsi təsir edir. Eyni zamanda ayrı-ayrı hissələrin təbii yeyilmədən sonra aldıq-ları formadan sonra yeyilmənin tempi dəfələrlə azalır. Bunu ilk dəfə idmançılar müşayət etmişlər ki, altlığı və burnu düz idman ayaqqabılarını dairə forması ilə əvəz etmişlər. Onlar ona təbii yeyilmə forması verib, bir sıra müsbət nəticələr əldə etmişlər. Belə ayaqqabıların yeyilməyədavamlılığı bir neçə dəfə artmışdır. Bundan başqa belə forma idmançının duruşuna və onun dözümlülüüyünə müsbət təsir göstərmişdir.

Yeyilməyədavamlılığın belə effekti silindrik və konusvari dişli çarxlarda dişlərin sonluğunu emal etməklə və onlara çəl-ləkvari forma verməklə əldə olunmuşdur. Dişin çəlləkvari forması ötürmənin uzunömürlülüyünü artırmaqla yanaşı iş zamanı səs-küyü azaldır.

Seçici köçürmə. Sürtünmə düyünündə özü-özünü təşkil etmənin digər forması seçici köçürmədir. Bu hadisə polad - bürünc sürtünmə cütündə qliserin yağlaması və həmçinin ev soyuducusunun kompressorunda yağ-freon qarışığı ilə yağlama zamanı polad-polad sürtünmə düyünü cütlərində müşayət edilmişdir. D. N. Qarkunovun tədqiqatları və təcrübə göstərir ki, bürünc-polad cütündə mis qatı bürüncün qliserində anodla həll olunması nəticəsində əmələ gəlir. Sürtünmə zamanı

qliserin zəif turşu kimi təsir edir. Bürüncün legirləşdirici elementlərinin atomları (qalay, sink, dəmir və sair) yağlayıcı materiala aparılır, nəticədə bürüncün səthi mis atomları ilə zənginləşir. Eyni zamanda polad səthdə misin nazik qatı ilə örtülür. Bürünc və polad səthləri mis qatı ilə örtüldükdən sonra, qliserinin molekulları artıq bürüncə qarşılıqlı təsirdə ola bilmir (legirləyici elementlərin atomlarını “dartmaq”), bürüncün əriməsi prosesi qurtarır və qərarlaşmış seçici köçürmə prosesi başlayır. Bu şəraitlərdə nazik mis qatı, onu servovidli adlandırılar (latınca - “həyatı xilas etmək”), yumşaq material yumşaq üzərində işləyir. Bu halda yük sürtünmə səthində bərabər paylanır və vahid sahədə az qiymətə malik olur ki, triboqovşaqların yeyilməsinin intensivliyinin kəskin aşağı düşməsinə və bütövlükdə sürtünmə düyününün resursunun artırılmasına imkan yaradır.

8.2. Texnoloji üsullar

Maşın hissələrinin yeyilməyə davamlılığının artırılmasında texnoloji üsullar vacib əhəmiyyət kəsb edir. Bu üsulların əsasında tutulmaya və yeyilməyə meyillənməni azaldan, verilmiş xüsusiyyətə malik hissələrin friksion səthlərinin yaradılması durur.

Səthin emal növünün və kələ-kötürlüyünün düzgün seçilməsi. Kələ-kötürlüyü geniş həddlərdə dəyişə bilən, ilkin kələ-kötürlüyündən asılı olmayaraq işlənmənin sonunda (obkatka) hər bir sürtünmə cütü üçün özünün uzun müddət saxlanan müəyyən kələ-kötürlüyü əmələ gəlir.

Optimal qiymətlərlə müqayisədə kələ-kötürlüklərin hündürlüyünün artması mexaniki ilişmənin, qopmaların və səthin mikro-nahamrlıqlarının kəsilməsinin artması səbəbindən yeyilmə intensivliyini artırır. Hündürlüyün optimal qiymətə görə azaldılması da yeyilmə intensivliyinin artmasına kömək edir. Bu, molekulyar yapışma və cütləşən səthlərin tutuşması

ilə bağlıdır. Bu növ yeyilmə hidravlik sistemlərin və avtomobillərin DYM-nin hissələri üçün səciyyəvidir.

Məsələn, kələ-kötürlüyü $Ra = 0,04...0,16$ mkm olan cilalanmış hamar səthlər aşağı özlülüklü sürtkü yağını kipləşdirici elementin (məsələn, manjet) kontakt zonasına daşıya və saxlaya bilmir, bu da nəticədə yüksək irəliləmə müqavimətinə, sözdə yağ aclılığına səbəb olur. Bundan əlavə, faktiki kontakt sahəsinin artması səbəbindən sürtünmə qüvvəsinin molekulyar təşkeildicisi kəskin şəkildə artır, bu da tutuşmaya səbəb olur. Əksinə, sürtkü yağını yaxşı saxlayan $Ra = 1,25...2,5$ mkm kələ-kötürlü kobud səthlərinin istismarı zamanı cütün daha yumşaq materialının səth təbəqəsinin əhəmiyyətli deformasiyaları baş verir. Onun deformasiya təşkeildicisinin artması səbəbindən sürtünmə əmsalında da artım müşahidə olunur. Bu, çox nazik yağ qatının dağılmasına və kipləşdiricilərin yeyilməsinə səbəb olur. Bundan əlavə, yeyilmə məhsulları (abraziv hissəciklər), kipləşdiricinin val ilə kontakt zonasına daxil olur, kipləşdirici materialında ilişib qalır və birləşmənin yeyilmə prosesini sürətləndirir.

Cədvəl 8.3-də ayrı-ayrı hissələrin səthlərinin kələ-kötürlüyü göstərilmişdir:

Cədv. 8.3.

İşlənmiş səthlərin kələ-kötürlüyü

Səth	Profilin orta cəbri meyillənməsi, Ra mkm
Sürüşmə yastıqları	0,15
Təyyarə əyləclərinin diskləri və kolodkalrı	0,78
Dışlı çarxların dışləri	0,7...0,8

Əgər ilkin kələ-kötürlüyü müvazinətə uyğun gələn səthi emal etmək mümkün olsaydı, onda hissələrin işlənmə dövrünə

ehtiyac qalmazdı. Lakin bunun əldə olunması çox çətinidir. Ona görə elə tamamlam əməliyyatını təyin etmək lazımdır ki, müvazinətə mümkün qədər yaxın son kələ-kütürlüyün alınması təmin olunsun. Həddindən çox təmiz və həddindən çox kobud səthlər yeyilməyə davamlılığa pis təsir göstərir. Kobud kələ-kütürlü səthlər kiçik sahələrdə kontaktda olurlar ki, bu da yüksək faktiki təzyiqə və uyğun olaraq böyük yeyilməyə səbəb olur. Hamar səthlər qopmaya meyillidir, onlar sürtgü materialını pis adsorbsiyalandırır.

Emalın izinin istiqaməti böyük əhəmiyyət kəsb edir, hansı ki, yalnız maye sürtünməsi zamanı, kələ-kötür səthlər yağ qatı ilə ayrıldıqda friksion xüsusiyyətlərinə təsir etmir. Kiçik kələ-kötürlü səthlərin sərhəd sürtünməsi zamanı az yeyilmə emal izinin hərəkətə perpendikulyar istiqaməti (tutulma aradan qaldırılır), kobud kələ-kötürlü səthlərin sürtünməsi zamanı isə onun hərəkətə paralel istiqaməti ilə təmin edilir.

Kələ-kötürlükdən başqa sürtünmə səthində həmişə dalğavarilik mövcud olur. Dalğavariliyin səthin xassələrinə təsiri birmənalı deyil. Dalğavarilik kontaktın xarakterinin dəyişməsinə səbəb olur. Ona görə yağlanmamış dalğavari səthlər müstəvi səthlərə nisbətən tutuşmaya (adgez yeyilməyə) daha meyillidir. Eyni zamanda dalğavari səthlər dalğalar arasında çöküklərdə yağı yaxşı saxlayır və müstəvidən yaxşı işləyir.

Kimyəvi- termiki emal (KTE). KTE-in əsas təyinatı leqirləyici elementlərin diffuziyası nəticəsində polad səthdə nazik leqirlənmiş qatın yaradılmasıdır. Sonra səth tablandırılır. Nəticədə hissənin səth qatı yüksək bərkliyə (60 HRC-yə qədər) malik olur. Bunun üçün sementləmə, azotlama, borlama, nikkəlləmə, xromlama, və iki, üç elementi eyni zamanda çökdürmə posesləri tətbiq edilir. Möhkəmləndirilmiş qatın qalınlığı 2 mm-ə qədər yüksələ bilər. Ən çox bərk, maye və qaz karbyurizatorlarda 950...980 °S temperaturlarda sementləmə aparılır. Hissələrin səthlərinin azotlaşdırılması sementləməyə

nisbətən aşağı temperaturlarda 520...560 °S-də aparılır. Poladın tərkibinə daxil olan leqirləyici elementlər (Cr, Mo, Al) azotla birlikdə yüksək bərkliyə və yeyilməyə davamlılığa malik olan dayanıqlı nitridlər əmələ gətirir.

Səthi tablandırma. Sərbəst şəkildə səthi tablandırma orta və yüksək karbonlu poladlardan olan hissələrin səthində bərk yeyilməyə davamlı qatın yaradılması üçün tətbiq edilir. Bunun üçün həmin hissələri əvvəlcə normallaşdırma, həcmi tablandırma və yaxud yüksək tabəksiltmə kimi həcmi termiki emala uğradılması tələb olunur. O, iki əməliyyatdan ibarətdir: səth qatını qızdırmaq və onu tez soyutmaq. Qızdırma yüksək tezlikli cərəyanla, kontakla, plazmayla, lazerlə və elektrolitdə həyata keçirilir. Qızdırmanın yüksək tezlikli və kontakt üsulları çox geniş yayılmış və səmərəli hesab edilir. Yüksək tezlikli cərəyan üsulu üçün istilik mənbəyi kimi yüksək tezlikli cərəyan generatorlarından istifadə edilir. Bu generatorlar makarada elektromaqnit sahəsi, hissədə isə burulğanlı cərəyan (Fuko cərəyanının) almaq üçün təyin olunmuşdur, hansı ki, əmələ gəlmiş ayrılan istilik nazik səth qatından keçir. Qızdırılmış hissənin səthi sonra su axını ilə kəskin şəkildə tez soyudulur.

Elektrokontakt qızdırma hissənin səthində diyirlənən diyircək şəklində hissənin elektrodla kontaktı vasitəsilə dəyişən cərəyan keçirərək həyata keçirilir. Cərəyan mənbəyi adi birfazlı qaynaq transformatorudur. Sonda qızmış səth su şırnağı ilə soyudulur.

Plazma üsulunda hissənin səthlərinin qızdırılması adi qaz yandırıcıları (qaz mühiti - oksigen və asetilen qarışığı) və ya plazma şırnağını generasiya edən qurğunun- plazmatronun köməyi ilə yerinə yetirilir. Plazmayaradıcı qaz kimi əsasən arqondan istifadə edilir.

İnfraqırmızı diapazonda lazer şüaları təqribən diametri 10 mkm olan fokuslaşmış iz hissənin səthi boyu skanerləşmiş hərəkət edir. Bu səth qatının tablanmasını təmin edir. Tablandırma dərinliyi xüsusi mexaniki qurğu ilə skanerləmə

sürətinin dəyişməsi hesabına tənzimlənir. Lazerlə tablandırma yüksək bərkliyi və yeyilməyədavamlılığı olan bircins kiçik kristalın səth quruluşunun alınmasını təmin edir. Lazer süası ilə termiki emaldan sonra hissənin elementlərinin əyilməsi baş vermir, səthin keyfiyyətinin hiss olunan dərəcədə pisləşməsi müşahidə edilmir. Lazerlə tablandırma prosesinin dəyəri yüksək olduğu üçün onunla ən bahalı və məsul hissələri, məsələn DYM-nin dirsəkli valları və s. emal edilir.

Elektrokimyəvi örtüklər. Bu örtüklər hissələrin səthində elektroliz üsulu ilə yaradılır. Elektrokimyəvi örtüklərin alınması üçün ən çox xrom, gümüş, qalay, qurğuşun, sink, indium və s.-dən istifadə edilir. Ən əsas yerlərdən birini hamar və yaxud məsaməli xromlama tutur ki, sürtgü materialını yaxşı saxlayır və sərhəd sürtünməsi şəraitində yeyilməyə yüksək müqavimətli olur.

Texnikada sürüşmə yastıqlarının hissələrinin səthlərinin qalayla, qurğuşunla, indiumla və yumşaq, plastik metallarla və ərintilərlə elektrolitik üsullarla örtülməsi geniş tətbiq edilir. Belə örtüklərdən istifadə edilməsi hissələrin səthlərinin işləməsinə (obkatka) sürətləndirir. Çox zaman bu məqsədlər üçün qalay və qalay-qurğuşun örtüklərindən də istifadə edilir.

Yeyilməyədavamlı qatların əridilməsi. Bu yeyilmiş hissələrin bərpası üçün ən geniş yayılmış üsullardan biridir. Qatların əridilməsi üsulunun məlum olan bütün növlərinin ümumi metallurji və fiziki-kimyəvi əsası vardır. Onlara örtük materialının hissənin səth qatı ilə əridilməsi, ərimiş metalların qarışması və kristallaşma aiddir.

Elektrik qövslü əritmə (əl ilə, yarımavtomatik), flüs qatı altında əritmə və plazma qövslü əritmə ən geniş yayılmışdır. Ən yaxşı nəticə əriyən metalın havadakı oksigenlə əlaqədə olmasının qarşısını aldıqda əldə olunur. Bunun üçün proses argon, karbon qazları və onların qarışığı mühitlərində aparılır.

Əritmənin yüksək səmərəli üsulu ovuntulu məftillərlə əritmədir.

Ovuntu materiallardan örtüklərin püskürdülməsi. Əgər yüksək temperaturlu qaz axınına ovuntu hissəciklərini versək, onda onlar hissənin səthi ilə toqquşaraq deformasiya olunur və hissə ilə möhkəm ilişmədə olur. Belə texnologiyanın iki müxtəlif növü vardır: qaz alovlu püskürtmə və elektrik qövslü və yaxud yüksək tezlikli induksiya cərəyanının köməyi ilə püskürtmə.

Püskürtmə üsulunun əsas üstünlüyü onun universallığı - hissənin materialının təbiətindən asılı olmamasıdır. Örtüyü metallarla yanaşı keramika, ağac, beton, polimer, parça, kağız üzərinə çəkmək olar. Bu onunla əlaqədardır ki, püskürtmə əsasa hissə olunacaq dərəcədə isrilik təsiri göstərmir. Bunu həmçinin püskürdülən material haqqında da demək olar. Əlvan metallar və ərintilər, polad, bərk xəlitələr və keramika, plastmaslar və s. püskürdülülər. Yeyilmiş hissələrin formasını bərpa etmək üçün püskürtmə üsulundan geniş istifadə edilir.

Plakirləmə. Bu üsul hissələri hazırladıqda və yaxud yeyildikdən sonra onların formasını bərpa etdikdə tətbiq edilir. Formalaşdırılan qatın qalınlığı bir neçə millimetr ola bilər.

Qalınlığı böyük olan örtükləri çox zaman yayma üsulu ilə alırlar. Onların ilişməsi yüksək temperaturda diffuziya hesabına həyata keçirilir. Bu üsulla bimetal təbəqələr, üzüklər və s. alınır.

Səthlərin mexaniki möhkəmləndirilməsi. Bu üsul maşın hissələrinin möhkəmləndirilməsinin ən sadə və daha iqtisadi üsullarından biridir. Burada axıcılıq həddinin kifayət qədər artması hadisəsindən istifadə edilir və uyğun olaraq yüksək dərəcədə plastik deformasiya zamanı materialın bərkliyi artır. Bu üsul çox zaman deformasiya möhkəmləndirilməsi adlandırılır. O, deformasiya edici kimi diyircəklərdən, kürəciklərdən, kiçik polad və yaxud şüşə kürəciklərdən və həmçinin sferik almaz ucluqlardan istifadə edilməsinə əsaslanır. Möhkəmləndirmədən başqa hissənin səthi ütülənir, onların kələ-kötürlü-lüyü aşağı düşür. Çıxıntıların təpələri daha hamar olur və

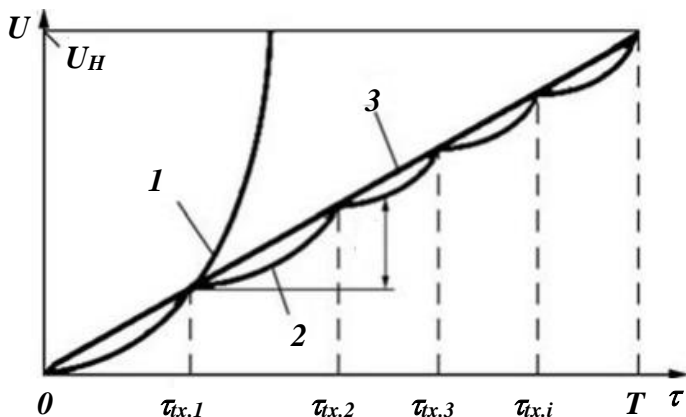
kontakt plastik vəziyyətdən elastik vəziyyətə keçir. Bütün bunlar əhəmiyyətli dərəcədə hissələrin yorulmadan yeyilməyə davamlılığını və möhkəmliyini artırır və onların işləmə (obkatka) müddətini aşağı salır. Yuxarıda göstərilən möhkəmləndirmə üsullarından başqa maşınqayırmada heç də az səmərəli olmayan, onların yeyilməyə davamlılığını artıran digər üsullar da tətbiq edilir.

8.3. İstismar üsulları

Konstruktiv planda təkmilləşmiş və dəqiq hazırlanmış maşın düzgün istismar edilmədikdə tez sıradan çıxır. Maşın hazırlayan zavod tərəfindən tərtib edilmiş texniki pasport və istismar üçün təlimatlara ciddi əməl etməklə istismar olunmalıdır.

Maşının işlənməsi (obkatka). İstənilən yeni və yaxud əsaslı təmir olunmuş maşın (yığım vahidi) işlənməyə məruz qalmalıdır. İşləmənin təyinatı bütün sürtünmə cütlərini vahid komplektdə işlənmə, onlarda müvazinət kələ-kötürlüyünü yaratmaqdır. İşlənmə kələ-kötürlüyü formalaşmayana qədər hissənin toxunmasının faktiki sahəsi az olacaqdır. Belə hissələrə istismar yüklənməsinin tətbiq edilməsi kifayət qədər yeyilməyə səbəb olur. Ona görə də işlənməni bir qayda olaraq kiçik yüklənmələrdə (bol yağlamada) sürtünmə cütlərində temperatura mütləq nəzarət etməklə keçirmək lazımdır. Xüsusi işlənmə üçün tərkibində SFM (səthi fəal maddələr) olan yağların tətbiq edilməsi işlənmə müddətini qısaltmağa və bu dövrdə yeyilməni azaltmağa imkan verir. İşlənmə zamanı sürtünmə əmsalı azalır və tədricən sabitləşir. İşlənmənin qurtarma dövrünü sürtünmə əmsalının və temperaturun sabitləşməsinə görə müəyyən etmək olar. Hal-hazırda yığım vahidlərinin və maşınların işlənməsi istismarda yox stendlərdə aparılır.

Triboqovsaqlara texniki xidmətin dövrülyü. Yığım vahidlərinin və bütövlükdə maşının istismar prosesində texniki xidmətinin və təmirinin düzgün təşkili böyük əhəmiyyət kəsb edir. Məsələn, texniki xidmət olmadıqda triboqovsaqların yeyilməsinin qanunauyğunluğu 1 əyrisi ilə təsvir oluna bilər (şək. 8.6).



Şək. 8.6. Triboqovsaqlara texniki xidmətin dövrülyününə U və resursuna T təsiri.

Analitik formada bu asılılıq aşağıdakı düstur ilə ifadə edilir:

$$U = a + b\tau_{tx}^{\alpha},$$

burada, U – yeyilmə; τ_{tx} – texniki xidmətin dövrülyü; α – eksperimental təyin edilən dərəcə göstəricisi; (sürüşmə yastıqları üçün $\alpha = 1,5$); a və b sabit əmsallardır, triboqovsaqların iş rejimindən asılıdır.

Həddi yeyilmə U_H (şək. 8.6) inkişaf edən yeyilmə olduğuna görə maşının (yığım vahidinin) sonradan istifadə edilə bilməməsi şərtinə görə müəyyən edilir.

Vaxtında texniki xidmət göstərmək (yağın, süzgəclərin dəyişdirilməsi və tənzimləmə işlərinin aparılması) sürtünmə səthlərinin qarşılıqlı təsirinin əlverişli şəraitini yaratmağa və hissələrin yeyilmə sürətini azaltmağa imkan verir. Bu halda alınan yeyilmənin qanunauyğunluğu texniki xidmətin hər bir dövrü üçün şərti olaraq 2 əyrisilə təqdim etmək olar, hansı ki, çox kiçik xəta ilə düz xətlə 3 əvəz etmək olar.

Bu qanunauyğunluğa görə i dövrülüyü ilə texniki xidmət keçirildikdə resurs aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$T_i = \frac{U_{II}}{\Delta u} \tau_{ix} = \frac{U_{II}}{b \tau_{ix}^{\alpha-1}}.$$

$\tau_{ix} = \text{const}$ olduqda, hissənin yeyilməsi istənilən işlənmə zamanı $\tau < T_i$ olduqda aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$U = b \tau_{ix}^{\alpha-1} \tau.$$

$\tau = T$ olduqda həddi yeyilmə aşağıdakı kimi olur:

$$U = b \tau_{ix}^{\alpha-1} T$$

Başqa sözlə desək, bir neçə dövr texniki xidmət keçirildiyi üçün ($\tau_{ix1}, \tau_{ix2}, \dots, \tau_{ixi}$) maşının istismarının resursunu həmin həddi yeyimədə U_H bir neçə dəfə artırmaq olar. Bu üsul təcrübədə geniş tətbiq edilir.

8.4. Maşın hissələrinin və hissələrin materiallarının yeyilməyə davamlılığının qiymətləndirilməsinin hesabı üsulları

Triboqovşaqların yeyilməyə hesabının nəzəri əsasları rus alimləri M.M. Xroşov, İ.V. Kreqlulskiy, Y.N. Drozdov, A.S. Pronikov, D.N. Reşetov və başqaları tərəfindən işlənmişdir. Belə hesabatın əsası kimi materialın yeyilməsi intensivliyinin ölçüsüz qiyməti anlayışı bu formada qəbul edilir:

$$I = \frac{dh}{dl} = \frac{dV}{A_a dl} = \frac{dG}{\rho A_a dl} = \tau_a \frac{dV}{d\omega}, \quad (8.7)$$

və yaxud, yeyilmənin stasionar rejimi zamanı orta qiymətini qəbul etdikdə yeyilmənin intensivliyi aşağıdakı şəkildə düşür:

$$I = \frac{h}{l} = \frac{V}{A_a l} = \frac{G}{\rho A_a l} = \tau_a \frac{V}{\omega}, \quad (8.8)$$

burada, h , V , G – uyğun olaraq materialın xətti, həcmi və kütlə yeyilməsinin qiymətləri; l – sürtünmə yolu; A_a – nominal toxunma sahəsi; $\tau_a = F_{tr}/A_a$ qovuşan cisimlər arasında xüsusi sürtünmə qüvvəsi; F_{tr} – sürtünmə qüvvəsi; $\omega = F_{tr} l$ sürtünmə qüvvəsinin işi; ρ – yeyilən materialın sıxlığıdır.

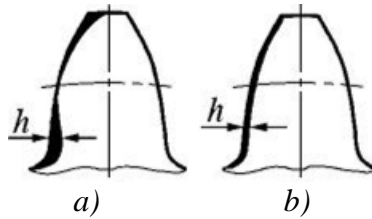
Dişli ötürmələr. Dişli ötürmələrin layihələndirilməsi zamanı əsas hesabat dişli çarxların kontakt dözümlülüyünə görə aparılır. Belə hesablamaların əsasında dişli ötürmənin həndəsi ölçüləri müəyyənləşdirilir ki, bunun üçün dişlərin səthi kifayət qədər möhkəm olmadıqda səthlərin cızılmasına səbəb olacağı qəbul edilir. Eyni zamanda təcrübə göstərir ki, dağ, yol, nəqliyyat, tikinti, metallurgiya və digər maşınların və həmçinin müxtəlif kosmik və enerji mənbələrinin dişli ötürmələri bir qayda olaraq cızılmır, lakin yeyilir. Ona görə də, ötürmələrin

yeyilməyədavamlılıq meyarına görə uzunömürlülüüyünün yoxlanılması mütləq lazımdır.

Dişlərin yeyilməsi prosesinin miqdarca qiymətləndirilməsi kimi yeyilməni h qəbul edirlər ki, buraxıla bilən qiyməti $[h]$ dişli ötürməyə qoyulan tələblərlə, kinematik dəqiqliklə səsküyun səviyyəsi ilə, dinamik yüklərlə, möhkəmliklə, möhkəmləndirilmiş qatın qalınlığı və s. ilə məhdudlaşır. Konstruktor tərəfindən $[h]$ -ın qiymətinin düzgün seçilməsi dişli ötürmənin optimal uzunömürlülüüyünü onun istismar xüsusiyyətlərini azaltmadan təmin edir.

Dişli çarxların istismar təcrübəsi göstərir ki, ötürmənin yüklənməsindən asılı olaraq yeyilmiş dişlərin iki səciyyəvi həndəsəsi mövcuddur. (şək. 8.7).

Modulu $m > 1,5$ mm olan ağır yüklənmiş dişli ötürmənin çox yayılmış tipik növü, şəkil 8.7, a – da göstərilmişdir. Bu növ yeyilmənin xüsusiyyəti yeyilmiş materialın miqdarının qütb xəttindən dişlərin ətrafına, xüsusən dişin ayaq hissəsinə, yəni sürüşmə artan yerə doğru artmasıdır. Digər hal (şək. 8.7, b) dişin profilinin daha bərabər yeyilməsi ilə fərqlənir ki, bu da modulu $m < 1,5$ mm olan az yüklənmiş dişli cütlərə aiddir.



Şək. 8.7. Yeyilmiş disklərin görünüşü:

a –ağır yüklənmiş ötürmə, b -az yüklənmiş ötürmə

Ağır yüklənmiş ötürmə üçün dişin yeyilmiş qatının ən böyük qalınlığı aşağıdakı ifadəyə əsasən təyin edilir:

$$h_{1,2} = 2,25 \cdot 60 I_{H1,2} \sqrt{W_{H1,2} \eta \rho_{PP}} \frac{v_{s1,2}}{v_{k1,2}} n_{1,2} c L_{1,2} \leq [h]_{1,2}, \quad (8.9)$$

burada, $I_{H1,2}$ – I və 2 dişli çarxlarının materiallarının yeyilmə intensivliyi; $W_{H1,2}$ – xüsusi hesabi yük; η – elastiklik sabiti; ρ_{PP} – dişin hesablama nöqtəsində ayriliyin gərilmə radiusu; $v_{s1,2}$ – dişin profilinin hesabat nöqtəsində sürüşmə sürəti; $v_{k1,2}$ – dişin profili üzrə ümumi nöqtənin (diyirlənmə) yerdəyişmə sürəti; $n_{1,2}$ – I və 2 dişli çarxların fırlanma tezliyidir; c – ilişmədə olan dişli çarxların sayı (bir çox dişli ilişmə üçün $c = 1$); $L_{1,2}$ – yeyilməyə görə (uzunömürlülük) ilişmənin iş resursu; $[h]_{1,2}$ – buraxıla bilən yeyilmənin hesabı qiymətidir.

Buraxıla bilən yeyilmənin hesabi qiyməti $[h]_{1,2}$ yeyilmənin buraxıla bilən cədvəl qiymətindən $[h]_{1,2}^*$ sürtünən səthlərin vəziyyətini və dişli ötürmənin funksional təyinatını nəzərə almaqla aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$[h]_{1,2} = K_{\phi} [h]_{1,2}^*, \quad (8.10)$$

burada, $K_{\phi} = 0,5 \dots 1,0$ etibarlılıq səviyyəsini, ekolojiliyi və ötürmənin təhlükəsiz işini (ümumi təyinatlı intiqallar üçün $K_{\phi} \approx 0,9$ qəbul etmək olar) nəzərə alan əmsaldır.

Buraxıla bilən yeyilmənin cədvəl qiymətini təqribi olaraq dişlərin möhkəmləndirilməsi növündən asılı olaraq aşağıdakı kimi qəbul etmək olar:

- YTC ilə (yüksək tezlikli cərəyan) tablandırma ($HRC \leq 50$) $[h]_{1,2}^* = 0,8 \text{ mm}$;
- yaxşılaşdırma ($HB 250 \div 300$) $[h]_{1,2}^* = 0,5 \text{ mm}$;
- sementləmə ($HRC > 50$) $[h]_{1,2}^* = 1,2 \text{ mm}$

- qırma ilə üfurmə $[h]_{1,2}^* = 1,5 \text{ mm}$;
- azotlama $[h]_{1,2}^* = 0,45 \div 0,5 \text{ mm}$;

Möhkəmləndirmənin digər növləri üzrə $[h]_{1,2}^*$ qiymətlərini maşınqayırma üzrə sorğu ədəbiyyatlarından tapmaq olar.

Xüsusi hesabi yükü (N/mm) aşağıdakı ifadəyə əsasən təyin edilir:

$$W_{H1,2} = \frac{2T_{1,2} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{Hv}}{bd_{1,2} \varepsilon \cos \alpha}, \quad (8.11)$$

Burada, $T_{1,2}$ - 1 və 2 çarxlarındakı burucu moment, $N \cdot mm$; $K_{H\alpha}$ - dişlər arasında yükün paylanması nəzərə alan əmsal ($K_{H\alpha} = 1 \dots 1,2$); $K_{H\beta}$ - kontakt xəttinin uzunluğu boyu yükün qeyri-bərabər paylanması nəzərə alan əmsal ($K_{H\beta} = 1 \dots 1,6$); K_{Hv} - dinamik əmsal (düz dişli çarxlar üçün $K_{H\beta} = 1 \dots 1,5$, çəp dişli çarxlar üçün $K_{H\beta} = 1 \dots 1,2$); b - dişli çarxın eni, mm; $\varepsilon = 1,2$ yan örtmə əmsalı; $\alpha = 20^\circ$ - işləmə bucağı; m - ilişmənin modulu; $d_{1,2} = d_{w1,2} - 2(0,3h')$ - dişin ayaq hissəsində ən çox yeyilmə yerində 1 və 2 dişli çarxların hesabi diametri ($d_{w1,2}$ - başlangıç çevrələrin diametri); $h' = 1,25m$ dişin daban hissəsinin hündürlüyü), mm.

Elastiklik sabiti aşağıdakı düstura əsasən təyin edilir:

$$\eta = \left[\frac{(1 - \mu_1^2)}{E_1} + \frac{(1 - \mu_2^2)}{E_2} \right], \quad (8.12)$$

burada, polad dişli çarxlar üçün $\mu = 0,3$ Puasson əmsalıdır, $E_1 = E_2 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ elastiklik moduludur.

Gətirilmiş əyrilik radiusu aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\rho_{\Pi P} = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}; \quad \rho_1 = \frac{d_1 \sin \alpha}{2}; \quad \rho_2 = \frac{d_2 \sin \alpha}{2} \quad (8.13)$$

$v_{k1,2}$ və $v_{s1,2}$ sürətlərinin təqribi qiymətləri aşağıdakı ifadələrə əsasən təyin edilir:

$$v_{k1} = \omega_1 d_{w1} / 2; \quad v_{k2} = \omega_2 d_{w2} / 2; \quad (8.14)$$

$$v_{s1,2} = (\omega_1 - \omega_2) KP_{1,2}, \quad (8.15)$$

burada, $\omega_{1,2} = \pi n_{1,2} / 30$ 1 aparın dişli çarxın və 2 aparılan dişli çarxın bucaq sürətidir; $KP_{1,2}$ - ani fırlanma radiusudur.

Ani fırlanma radiuslarının qiymətlərinin təqribi olaraq belə qəbul etmək olar:

- aparın dişli çarx üçün $KP_1 = d_1 \sin \alpha / 2$;
- aparılan dişli çarx üçün $KP_2 = d_2 \sin \alpha / 2$.

Hesabat nöqtələrində $v_{k1,2}$ və $v_{s1,2}$ sürətlərinin dəqiq qiymətlərini maşın mexanizmləri nəzəriyyəsi kursunda baxılan metodikalardan istifadə etməklə dişli lişmənin sürüşmə diaqramlarına görə əldə etmək olar.

Yeyilməyə hesabatda əsas çətinlik yeyilmə intensivliyini ($I_{h1,2}$) düzgün təyin etməkdir. Ona görə ki, yeyilmə intensivliyi tətbiq edilən yağın tipindən, dişli çarxların yağlanma üsulundan dişli çarxların materiallarının fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərindən, kontaktda olan səthlərin xüsusiyyətlərindən (fiziki, kimyəvi, mexaniki, həndəsi) və digər amillərdən asılıdır.

Oxşarlıq nəzəriyyəsindən və triboloji proseslərin modeləşdirilməsindən istifadə etməklə Y.N. Drozdov qapalı və maye yağ ilə yaxşı yağlanan ötürmədə dişlərin yeyilmə intensivliyini eksperimental-nəzəri tədqiqatlar əsasında aşağıdakı tənliklə təyin etməyi tövsiyə edir:

$$I_h = k \left(\frac{\sigma_H}{HB} \right)^{m_1} \left(\frac{h_{sm}}{\chi} \right)^{m_2} \left(\frac{RT}{Q} \right)^{m_3} \left(\frac{\eta_{100}}{\eta_p} \right)^{m_4} \quad (8.16)$$

burada, k - kontaktın fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərini nəzərə alan əmsaldır.

Yağlamanın tipindən asılı olaraq bu əmsal cədv. 8.2 - də göstərilmiş eksperimental məlumatlar əsasında təyin edilir.

$\left(\frac{\sigma_H}{HB} \right)$ meyarı ölçüsüz kompleksdir, kontaktın gərginlikli vəziyyətini və cisimlərin faktiki toxunma sahəsini

xarakterizə edir ki, burada, σ_H - kontakt gərginliyi; HB – materialın Brinel üzrə bərkliyidir, MPa .

Dişli ötürmə üçün kontakt gərginliyi ənənəvi olaraq məlum düstura əsasən təyin oluna bilər:

$$\sigma_H = Z_E Z_H Z_\varepsilon \sqrt{\frac{2T_1 K_H (u \pm 1)}{d_1^2 b_\omega u}}, \quad (8.17)$$

burada, $Z_E = \sqrt{\frac{E_{\text{ПП}}}{\pi(1 - \mu^2)}}$ dişli çarxların materiallarının mexa-

niki xüsusiyyətlərini nəzərə alan əmsal (polad dişli çarxlar üçün Puasson əmsalı $\mu=0,3$, $E_{\text{ПП}}=2,1 \cdot 10^5$ MPa); Z_H – dişlərin görüşən səthlərinin formasını nəzərə alan əmsal (düz dişli çarxlar üçün $Z_H = \sqrt{2/\sin 2\alpha}$, çəp dişli çarxlar üçün

$Z_H = \sqrt{2 \cos^2 \beta / \sin 2\alpha}$); Z_ε - yan örtmə əmsalının təsirini

nəzərə alan əmsal (düz dişli çarxlar üçün $Z_\varepsilon = \sqrt{(4 - \varepsilon)/3}$,

çəp dişli çarxlar üçün $Z_\varepsilon = \sqrt{1/3}$); $K_H \approx 1,3$ yüklənmə əmsalıdır; T_1 aparan dişli çarxdakı burucu moment, d_1 - aparan

dişli çarxın bölüğü çevrəsinin diametri; b_ω – dişin işçi eni; u – ötürmə ədədidir.

$\left(\frac{h_{sm}}{\chi}\right)$ meyarı yağlayıcı qatın və dişlərin işçi səthlərinin

kələ-kötürlüyünü nəzərə alan əmsaldır, burada χ – səthin kələ-kötürlüyünün gətirilmiş parametri; h_{sm} - yağlayıcı qatın qalınlığıdır.

Bu parametri aşağıdakı düstura əsasən təyin etmək olar:

$$\chi = \sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2},$$

burada, Ra_1 və Ra_2 – aparən və aparılan dişli çarxın dişlərinin səthlərinin kələ-kötürlüyünün ortaq cəbri meyillənməsidir ($Ra_1 = Ra_2 = 1 \dots 1,25$ mkm qəbul etmək olar)

$$h_{sm} = h_{TP} + h_{K.F.},$$

burada, $h_{sm} \leq 0,1$ mkm yağlayıcının sərhəd qatının maksimum qalınlığı; $h_{K.F.} \approx 0,1 \dots 2$ mkm qapalı dişli ötürmə üçün yağlayıcı qatın qalınlığıdır ($h_{sm} \approx 1,1$ mkm).

$\left(\frac{RT}{Q}\right)$ meyarı adsorbsiya təbiətli sərhəd yağlayıcısının

xüsusiyyətlərini səciyyələndirən kompleksdir, burada $R=8,314$ C/mol·K – universal qaz sabiti; T – kontaktda mütləq temperatur; $Q = 20 \dots 25$ kC/mol - yağlayıcı materialın adsorbsiya istiliyidir.

$\left(\frac{v_{100}}{v_p}\right)$ meyarı yağın özlülüyünü xarakterizə edən

kompleksdir, burada v_{100} və v_p uyğun olaraq 100 °S və 50 °S işçi temperaturlarda yağın kinematik özlülüyüdür.

Yuxarıda göstərilmiş hesabat tənliyində eksperimentlərin nəticələrinə görə dişli ötürmələrin və diyircəkli nümunələr

üçün $m_1 \approx m_2 = m_3 = 1$ qəbul etmək olar. k əmsalının və m_4 dərəcə göstəricisinin qiymətləri cədv. 8.4-də göstərilmişdir. Eksperimentlər dişli çarxlar sintetik yağla (№1) yağlanan zaman, neft yağı ilə müqayisədə dişli çarxlarda yeyilmənin artmasını göstərir. Xüsusi çöküntülərdən istifadə etmək dişli çarxların yeyilməsini azaldır (yağ № 4, 5), yağın temperaturunu artırır (cədv. 8.5). Yükün artırılması (kontakt gərginliyinin) praktiki olaraq yeyilmənin mütənasib artmasına gətirir.

Cədv. 8.4.

Yağlayıcı materialın tipindən asılı olaraq k və m_4 asılılıqları

Yağın №- si	Yağlayıcı materialların tipi	$k \cdot 10^{-5}$	m_4
1	Turşuluğa qarşı və yeyilməyə qarşı çöküntülü sintetik mühərrik yağı ($\nu_{100} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$)	1,02	1,5
2	Turşuluğa qarşı, köpüyə qarşı, yeyilməyə qarşı, cızılmaya qarşı, çökiüntüsü olan az özlüklü neft yağı ($\nu_{100} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$)	0,07	1
3	Çoxfunksiyalı, depressorlu, köpüyə qarşı, çöküntülü neft yağı ($\nu_{100} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$)	0,045	3
4	Qazlaşdırılmış depressorlu, turşuluğa qarşı, cızılmaya qarşı, korroziyaya qarşı, köpüyə qarşı çöküntülü neft yağı ($\nu_{100} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$)	0,009	1
5	Qazlaşdırılmış depressorlu, çöküntülü olan neft yağı ($\nu_{100} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$)	0,008	1
6	Çöküntüsüz neft yağı ($\nu_{100} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$)	0,059	2,5

Ümumi təyinatlı yağların özlülüyünə temperaturun təsiri

Kinematik özlülük $10^{-6} \text{ m}^2/\text{san}$	Slindirik, konik və sonsuz vintli dişli çarx ötürmələri üçün				
	TЭП-15	TCП-10	ТАП-15В	ТАП-15К	TAD-17
ν_{100}	15	10	15	15	17
ν_{50}	140	65	140	105	120

Sonda dişli ötürmənin yeyilməyə görə iş resursu (saatla) aşağıdakı düstur ilə təyin edilir:

$$L_{1,2} = \frac{[h]_{1,2} \nu_{k1,2}}{2,25 \cdot 60 \cdot I_{h1,2} n_{1,2} c \nu_{s1,2} \sqrt{W_{H1,2} \eta \rho_{ПП}}} \quad (8.18)$$

və kontakt möhkəmliyinə görə dişli ötürmənin resursu ilə müqayisə edilir.

Şlis birləşmələri. Şlis birləşmələri hazırlanma xətalrı, hissələrin oxlarının üst-üstə düşməməsi (quraşdırma xətalrı), yerdəyişmələr və yük altında hissələrin burulması səbəbindən yüksək yük konsentrasiyası ilə səciyyələnir. Bütün bu xətlər dişlərin yeyilməsinə və fretting - korroziyanın inkişafına gətirib çıxarır. Ona görə də şlis birləşmələrinin layihələndirilməsi zamanı möhkəmliyə hesablamadan və əzilmə gərginliyinə görə möhkəmlikdən başqa, yeyilmə meyarına görə də yoxlama hesabətını aparmaq lazımdır.

Evolvent profilli dişli birləşmənin yeyilməyə davamlılığının şərti hesabətını buraxıla bilən çəplik bucağının təyin edilməsi formasında yerinə yetirilir.

Qəbul edilir ki, quraşdırma nəticəsində və yaxud qüvvə təsirindən şlisli valın oxu, topu əhatə edən oxa nəzərən $\Delta\varphi$ bucağı qədər çəplik alarsa, onda bir dövr ərzində dişlərin (şlislərin) nöqtələrinin ən böyük qarşılıqlı yerdəyişməsi aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$\Delta l = \Delta \varphi d_m \sqrt{1 + (l / d_m)^2}, \quad (8.19)$$

burada, l , d_m - uyğun olaraq birləşmənin uzunluğu və orta diametri; $\Delta \varphi$ - radianla ifadə olunan çəplik bucağıdır.

Nisbi sürüşmə sürəti mm/san ilə aşağıdakı düstura əsasən təyin edilir:

$$v_{ck} = \frac{\Delta \varphi d_m}{60} \sqrt{1 + (l / d_m)^2}, \quad (8.20)$$

Sürtünmənin xüsusi gücü bu düstura əsasən tapılır:

$$P_1 = v_{ck} f \sigma_{sm} = \frac{\Delta \varphi n d_m}{60} f \sigma_{sm} \sqrt{1 + (l / d_m)^2} \leq [P_1], \quad (8.21)$$

burada, n - valın fırlanma tezliyi, $d\varphi^{-1}$; f - sürtünmə əmsalı; σ_{sm} - yüklərin konsentrasiya əmsalı $\psi = 1$ olduqda birləşmədə orta əzilmə gərginliyi; $[P_1]$ - sürtünmənin buraxılabilən gücüdür, $N \cdot mm/mm^2 \cdot san$.

Təcrübələr göstərir ki, qənaətbəxş işləyən şlis birləşmələrində hissələrin səthlərinin bərkliyi HRC 50 -dən çox, maillik bucağı $\Delta \varphi = 7' (0,002 \text{ rad})$ və sərhəd yağlanmasında buraxılabilən güc $[P_1] = 150 \text{ N} \cdot mm/mm^2 \cdot san$, maye yağlanmasında isə $[P_1] = 250 \text{ N} \cdot mm/mm^2 \cdot san$ olur.

Yeyilmə meyarına görə şlis birləşmələrində buraxılabilən çəplik bucağı (8.21) ifadəsinə əsasən təyin edilir:

$$[\Delta \varphi] \leq \frac{60[P_1]}{f \sigma_{sm} n d_m \sqrt{1 + (l / d_m)^2}}. \quad (8.22)$$

Ümumi təyinatlı intiqalların şlīs birləşmələri üçün aşağıdakıları qəbul etmək olar:

- sərhəd yağlanması zamanı (yağ dumanı) birləşmə üçün $[P_1] = 0,3HRC$;

- maye yağlanması zamanı (çiləmə) birləşmə üçün $[P_1] = 0,5HRC$.

Əgər hesabat nəticəsində sürtünməyə sərf olunan güc maye yağlanmasında $P_1 \leq 0,1HRC$, sərhəd yağlanmasında $P_1 \leq 0,06HRC$ alınarsa, onda yüklənmənin hədsiz çoxsaylı tsiklində sürtünmə yoxdur. Buradan məlum olur ki, buraxıla-bilən çəplik bucağını $[\Delta\varphi]$ əzilmə gərginliyinin σ_{sm} və yaxud antifriksion örtüklər tətbiq etmək yolu ilə sürtünmə əmsalının f aşağı salınması hesabına azaltmaq olar. Lakin bütün hallarda çəplik bucağının 10' çox olması arzu olunan deyil, 40' -dan çox olması yolverilməzdir.

Manjet kiplələşdirilməsi. Manjet kiplələşdirilməsi bütün növ nəqliyyat maşınlarında, kənd təsərrüfatı, yol-tikinti və dağ-mədən texnikasında, yüngül, qida sənayesi maşınqayırmasında, hidrintiqallarda, reduktorlarda və digər texnikalarda tətbiq edilir.

Texnikada vallar üçün tətbiq edilən rezin manjet kipləş-diricilərinin konstruksiyası çox müxtəlifdir. Lakin rezinli man-jet kipləşdiricilərlı qurğuların layihələndirilməsi zamanı aşağıdakılar əsas götürülür. Kontakt sahəsində təzyiq (kontakt yükü p_a) kipləşdirici mühitin axma “təzyiq”indən çox olmalıdır.

Elə “kritik” kontakt yükü mövcuddur ki, ondan aşağı yükdə kipləşdirici əsas funksiyanı-hermetikləşdirməni yerinə yetirmir, yəni birmənəlı olaraq aşağıdakı şərt yerinə yetiril-məlidir:

$$p_a > [p] \quad (8.23)$$

Maşınqayırmada geniş yayılmış manjetlər tipləri üçün kritik yük $[p]$ cədv. 8.6 – da göstərilmişdir.

Kipləşdiricilərdən sürtünmə düyünlərinin konstruksiya edilməsi zamanı ikinci tələb sürtünmə zamanı ayrıla bilən istiliyin minimuma endirilməsidir. Adətən, kontakt yükünün qiymətinin artması yağlama şəraitini pisləşdirir, sürtünmə sahəsində temperatur rejimini sərtləşdirir. Bu sürtünmə proseslərini və kipləşdiricinin materialının yorulmadan yeyilməsini sürətləndirir və uyğun olaraq onların uzunömürlülüüyünü azaldır.

Cədv. 8.6.

Manjetlər üçün kritik yüklər

Rezinin tipi	Mühitin temperaturu, S°	Kritik kontakt yükü $[p]$, MPa
SKN–26 kauçuku əsasında	57	0,20
	87	0,25
	110	0,35
SKF– 32 kauçuku əsasında	57	0,14
	87	0,20
	110	0,26

Çox yüklənmiş kontakt sahəsində yeyilmə intensivliyinin hesabı təzyiqdən az asılıdır və rezin kipləşdiricinin yeyilmə-yədavamlılığının qiymətləndirilməsi bu düstura görə aparılır:

$$I = 0,009(f p_a / \sigma_0)', \quad (8.24)$$

burada, I - yeyilmə intensivliyi; f - kipləşdirici rezinin polada görə sürtünmə əmsalı ($f=0,2...0,3$); t - yorulma əmsalı ($t=3...5$) aşağı modullu rezin üçün aşağı qiymətlər, yüksək modullu rezin üçün isə böyük qiymətlər qəbul edilir; σ_0 - rezin dərilməyə məhkəmlidir, MPa.

Təcrübələr göstərir ki, manjetin daxili sürtünmə səthinin sahəsi həddi yeyilməyə çatana qədər kipləşdirmə etibarlı

işləyir. Manjet kipləşdiriciləri üçün həddi yeyilmə - $\Delta l = 1 \dots 1,2$ mm-dir. Hesabi uzunömürlülük (8.17) ifadəsi nəzərə alınmaqla aşağıdakı düstura əsasən təyin edilir:

$$\tau = \frac{\Delta l}{I \cdot 60 \cdot \pi d_{\epsilon} q n K}, \quad (8.25)$$

burada, d_{ϵ} - valın diametri, mm – lə; n – valın fırlanma tezliyi, $d\epsilon q^{-1}$; q - kipləşdiricinin yeyilməsinin qeyri-bərabərliyini səciyyələndirən əmsal ($q = 0,7 \dots 0,8$); K - avadanlıqdan istifadə əmsalıdır ($K < 1$)

Yeyilmənin hədd qiymətinin hesablanması. Maşınların triboqovşaqlarının və hissələrinin uzunömürlülüüyü yeyilmə sürəti ilə yanaşı həddi yeyilmədən də ($I_{\text{ПРЕД}}$) asılıdır. Bu aşağıdakı dörd meyardan biri ilə təyin edilir:

- hissənin iş qabiliyyətliliyi səviyyəsinə görə (yeyilmə nəticəsində dağıla bilir, məsələn, mərkəzdənqaçma nasosunun işçi təkəri);

- yeyilmə intensivliyinə görə (yeyilmə zamanı dinamik yüklər, titrəmə, səs-küyün səviyyəsi artır, temperatur kəskin yüksəlir və s.);

- mexanizmin fəaliyyət göstərməsinin keyfiyyəti (yeyilmə nəticəsində mexaniki emalın dəqiqliyi, avadanlığın məhsuldarlığı, FİƏ, səmərəli güc, burucu moment aşağı düşür);

- ekolojiyin azalması təhlükəsinə görə (daxili yanma mühərriklərində slindr-porşen qrupunun yeyilməsi nəticəsində CO_2 - nin miqdarı artır və s.).

Adətən, belə hallarda təmirlərarası dövrdə yeyilmənin proqnozlaşdırılması zamanı buraxıla bilən yeyilmə

$$I_{\text{ДОП}} = I_{\text{ПРЕД}} - \gamma T_{\text{РЕМ}}, \quad (8.26)$$

burada, γ - yeyilmənin sürətidir, mm/saat; T_{rem} - təmirlərarası dövr, saat.

Digər tərəfdən qəbul edilir:

$$\gamma = \frac{I_{доп}}{T}, \quad (8.27)$$

burada T – hissənin işləmə müddətidir, saat.

Onda, (8.26) ifadəsi (8.27) ifadəsini nəzərə almaqla aşağıdakı şəkllə düşər:

$$I_{доп} = I_{пред} - \frac{I_{доп} T_{рем}}{T}, \quad (8.28)$$

Təmirlərin miqdarını $K = T_{рем}/T$ ilə işarə edək. Onda K – nı nəzərə almaqla yazı bilərik:

$$I_{доп} = I_{пред} T - I_{доп} T_{рем}, \quad (8.29)$$

(8.28) ifadəsini $I_{доп}$ -ə görə həll etsək, son olaraq bir hissə üçün alırıq

$$I_{доп} = \frac{I_{доп} K}{K + 1}. \quad (8.30)$$

Nümunə kimi daxili yanma mühərriklərinin slindr oymağının bərpasına baxaq. Misal üçün DYM işinin keyfiyyət meyarına görə silindir oymağı 80% yeyildikdə $I_{доп} = 0,8[h] = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64$ mm alırıq ki, burada, $[h] = 0,8 \text{ mm}$ örtüyün buraxıla bilən qalınlığıdır. Örtüyün faktiki ölçüdə qalınlığı $h_{фак} = 0,55$ olduqda, $I_{доп} = 0,64$ mm zamanı

slindrik oymağın dördüncü dəfə ($K=4$) içyonulmasına tələbatını təyin edək.

(7.30) ifadəsinə görə son buraxılabilən yeyilmənin qiyməti aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{перед}} \frac{K}{K+1} = 0,64 \frac{4}{5} = 0,51, \text{ mm}$$

Uyğun olaraq, $I_{\text{доп}} = 0,51 \text{ mm}$ örtüyün faktiki qalınlığından $I_{\text{доп}} = 0,55$ azdır, yəni oymağın növbəti içyonulması məqsəduyğun deyil.

IX Fəsil

Sürtünmə və yeyilmənin modelləşdirilməsi və laboratoriya sınaqları

İstismar prosesində maşınların nasaz vəziyyətə düşməsinin əsas səbəblərindən biri sürtünmə düyünlərinin sıradan çıxmasıdır. Sürtünmə düyünlərinin nasaz vəziyyətə düşməsinin əsas səbəbi konstruksiya etməyə və onların hazırlanmasına düzgün yanaşmamaqdır. Bu halda çox tez-tez nəticələri serialılar ilə müqayisədə müvafiq yeyilməyədavamlılığı təsdiqlənməyən materialların birləşmələrini tədricən aradan qaldırmağa fikir verilir. Bu baxımdan acaq model kiçik ölçülü nümunələrin hərtərəfli öyrənilməsi və sınaqdan keçirilməsi əvəzinə yalnız keçmiş təcrübədən istifadə etmək kifayətdir. Eyni zamanda, sürtünmə və yeyilmə proseslərinin bir çox hadisə, amillərlə müşayiət olunduğunu və kontaktda materialın səthinin müxtəlif dağılma mexanizmləri ilə xarakterizə edildiyini nəzərə alaraq, sürtünmə düyünlərinin uzunömürlüyü və sürtünmə itkiləri kifayət qədər yüksək dəqiqliklə qiymətləndirilə bilər.

9.1. Triboloji proseslərin modelləşdirilməsinin əsasları

Adətən sürtünmə düyünlərinin konstruksiyası işləndikdə və onun üçün material seçildikdə, real mürəkkəb obyektin işini müəyyən edən dəyişən şəraitlərin təsirinin öyrənilməsi zərurəti ortaya çıxır. Belə triboloji məsələlər modelləşdirmə vasitəsilə müvəffəqiyyətlə həll edilir.

Modelləşdirmənin fiziki, riyazi, imitasiyaya və anoloq növləri tətbiq edilir.

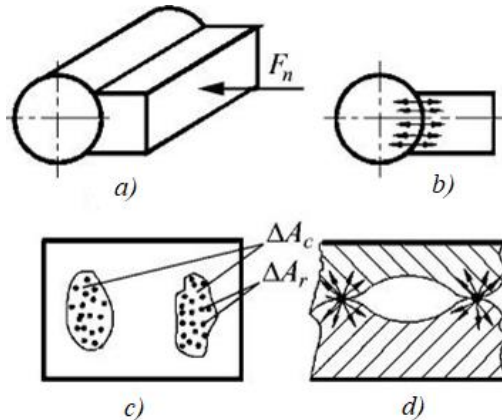
Fiziki modelləşdirmə, hadisələrin fiziki təbiətini başqa ölçülərdə (həndəsi, fiziki və s.) saxlayan, fiziki cəhətdən oxşar

proseslərin qurğularda tətbiq edilməsidir. Fiziki modelləşdirmə zamanı modelin xüsusiyyəti onun təbii obyektindəki ilə eyni olmasıdır. Hər iki halda eyni sürtünmə cütü və yağlayıcı material tətbiq edilir.

Fiziki modelləşdirmənin köməyi ilə sürtünmə əmsalı, yeyilmə intensivliyi və sürtünmə temperaturunun triboqovşaqların fəaliyyət göstərməsi və xüsusiyyətləri haqda ümumiləşdirilmiş informasiyadan asılılığını müəyyən edilməsi məsələləri həll edilir. Modelləşdirmə qanunu oxşarlıq meyarlarına daxil olan iş rejimi parametrləri, triboloji cütün materialları və konstruksiya üçün modeldən təbii keçid üçün tam miqyaslı əmsalların məcmusu olan hesablanmış miqyas amili şəklində müəyyən edilir.

Modelin və təbii obyektin parametrləri aşağıdakı əlaqə ilkin olaraq hesabat yolu ilə müəyyən edilir. Hesablamalardan əvvəl adətən modelləşdirilmiş tribosistemlərin üç mərhələli təhlili aparılır.

Birincisi, sistem qrafik modellər şəkilində alt sistemlərə bölünür. Onların hər biri üçün mexaniki (şək. 9.1, a), termofiziki (şək. 9.1, b), makrokontakt (şək. 9.1, c) və mikrokontaktlı (şək. 9.1, d) kimi tətbiq oluna bilən əsaslı fiziki modellər var.



Şək. 9.1. Sürtünmə prosesinin qrafik modelləri

Qeyd etmək lazımdır ki, bu model inkişaf edəndir. Onu alt modellərlə əlavə etmək olar, məsələn, elektrik hadisələri, kimyəvi çevrilmələr və s.

Hər bir alt sistem üçün İ.V. Kragelskiyə görə friksion əlaqənin pozulmasının növünün aprior informasiyası əsasında müəyyən edilir.

İ.V. Kragelskiyə görə hər bir altsistem üçün aprior məlumatlar əsasında sürtünmə əlaqəsinin pozulması növləri aşkar edilir (bax cədv. 3.1).

İkincisi, altsistemlərin qrafik təsvirinin təhlili əsasında iyerarxik model qurulur, onun məqsədi müəyyənədicisi, əsas və kənar parametrləri müəyyən etməkdir.

Müəyyənədicisi parametrlər bütün alt sistemlərə əhəmiyyətli təsir göstərir, əsas parametrlər yalnız bir və ya bir neçə alt sistemlər daxilində, kənar parametrlər isə sürtünmə və ya yeyilməyə az dərəcədə təsir göstərir (10...15 % -ə qədər).

Üçüncüsü, model üçün tədqiq edilən prosesin parametrlərindən $P_{M1}...P_{Mi}$ çıxış xarakteristikalarının (sürtünmə əmsalının, yeyilmə intensivliyinin, sürtünmə temperaturu və s.) funksional asılılıqları $f_m = \psi(P_{M1}, P_{M2}, ..., P_{Mi})$ ilə təbii obyektlər üçün analogi asılılıqlar $f_H = \psi(P_{H1}, P_{H2}, ..., P_{Hi})$, arasında əlaqə müəyyən edilir, burada məsələn, P_1 - sürət, P_2 - yük və s.-dir.

Belə bir əlaqə yaratmaq üçün ölçülər, oxşarlıq üsullarından istifadə olunur: enerji, enerji-informasiya və onların birləşmələri.

Ölçülər, oxşarlıq üsulları ilə hesablamaları asanlaşdırmaq üçün standart EHM-lər üçün kompüter proqramlardan istifadə etmək olar.

Nümunə kimi aşağıda tədqiq edilən material mühitində sürtünmə düyününü sürtünmə halı üçün enerji metodu ilə miqyas amilinin hesablanması ardıcılığı verilir:

1. Enerji tarazlığı tənliyinin qurulması.

Ümumi halda yağlanan sürtünmə düyünləri üçün enerji tarazlığı tənliyi bu şəkldədir:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \cdots W_{10}, \quad (9.1)$$

burada W - sürtünmə prosesində ayrılan enerji; W_1 - xarici qızma zamanı sürtünmə düyününə verilən enerji; W_2 - udulan enerji; W_3 - konveksiya nəticəsində aparılan enerji; W_4 - yağlayıcı materiala istilik verilməsinə sərf olunan enerji; W_5 - yağlayıcı qatın dağılmasına sərf olunan enerji; W_6 - kontakt materiallarında struktur çevrilmələrə sərf olunan enerji; W_7 - bu materialların disperqirləşməsi enerjisi; W_8 - mikro- nahamarlıqların dağılmasına sərf olunan enerji; W_9 - kimyəvi çevrilmələrə sərf olunan enerji; W_{10} - mikronahamarlıqların deformasiyasına sərf olunan enerjidir.

2. Proseslərin riyazi təsvirinin tərtib edilməsi.

Sürtünmə prosesində ayrılan enerjinin miqdarı arağındakı ifadəyə görə təyin etmək olar:

$$W = fF_n vt, \quad (9.2)$$

burada, f - sürtünmə əmsalı; F_n - kontaktdakı normal qüvvə; v - nisbi yerdəyişmə sürəti; t - prosesin davamətmə müddətidir.

Xarici qızma zamanı sürtünmə düyününə verilən enerji,

$$W_1 = c_{1,2,3} m_{1,2,3} \Delta T_{G1,2,3},$$

burada, $c_{1,2,3}$ - kontaktda olan materialların və onları qatlara ayıran yağlayıcı materialın xüsusi istilik tutumu; $m_{1,2,3}$ -

sürtünmə düyününün elementlərinin kütləsi; $\Delta T_{G1,2,3}$ - sürtünmə düyününün elementlərinin ilkin qızması nəticəsində temperaturun artmasıdır.

Udulmuş enerji

$$W_1 = c_{1,2,3} \cdot m_{1,2,3} \cdot \Delta T \delta_{1,2,3},$$

burada, $\Delta T \delta_{1,2,3}$ sürtünmə düyününün elementlərinin friksion qızması nəticəsində temperaturun artmasıdır.

Konveksiya nəticəsində çıxarılan enerji:

$$W_3 = \sigma_{1,2} \cdot A_{\sigma 1,2},$$

burada, $\sigma_{1,2}$ - sürtünmə düyününün elementlərinin istilikötürmə əmsalı; $A_{\sigma 1,2}$ – onların istilikötürmə səthlərinin sahəsidir.

Yağlayıcı materialda istilik verilməsinə sərf olunan enerji:

$$W_4 = \lambda A_{\sigma 3} \Delta T_3 \frac{t}{h},$$

burada, γ - istilikkeçirmə əmsalı; $A_{\sigma 3}$ - yağlayıcı materialın istilik verici səthinin sahəsi; ΔT_3 - yağlayıcı materialın temperaturu; t - vaxt; h - yağlayıcı qatın qalınlığıdır.

Yağlayıcı qatın dağılmasına sərf olunan enerji;

$$W_5 = E_a A_r,$$

burada, E_a - yağlayıcı qatın dağılmasına sərf olunan xüsusi enerji; A_r - faktiki kontakt sahəsidir.

Kontakt materiallarında struktur çevrilmələrə sərf olunan enerji:

$$W_6 = \Delta\sigma_{1,2}\Delta V_{d1,2} = \Delta\sigma_{1,2}h_{d1,2}A_{d1,2},$$

burada, $\Delta\sigma_{1,2}$ - materialın strukturunun dəyişməsi nəticəsində gərginlikli vəziyyətin dəyişməsi; $\Delta V_{d1,2}$ - deformasiya olunmuş həcm; $h_{d1,2}$ - deformasiya olunmuş qatın qalınlığı; $A_{d1,2}$ - deformasiyaya uğramış səthin sahəsidir.

Bu materialların disperqirsisyasına sərf olunan enerji:

$$W_7 = A_r h_{d1,2} \mu_{1,2} \tau_{adg} n_{ts},$$

burada, $\mu_{1,2}$ - puasson əmsalı; τ_{adg} - ayrılan hissəciklərin adgezisiyası; n_{ts} - yeyilmə hissəciyinin ayrılmasına qədər yüklənmə tsikllərinin sayıdır.

Mikronahamarlıqların dağılmasına sərf olunan enerji:

$$W_8 = \frac{f^2 F_n^2 R A_a}{A_r^2 E K},$$

burada, R - nahamarlıqların hündürlüyü; A_a - nominal kontakt sahəsi; E - elastiklik modulu; K - sürtünmə istiqamətinə nəzərən emal ştrixlərinin istiqamətlərini nəzərə alan əmsaldır.

Kimyəvi çevrilmələrə sərf olunan enerji:

$$W_9 = \Delta H m_r,$$

burada, ΔH – yağlayıcı materialda kimyəvi çevirmələr zamanı ayrılan (və yaxud udulan) xüsusi istilik; m_r - yağın işçi həcmində molların sayıdır.

Mikronahamarlıqların deformasiyasına sərf olunan enerji:

$$W_{10} = \delta_{1,2} F_n,$$

burada, $\delta_{1,2}$ - kontakt səthlərinin deformasiyasıdır.

3. Ölçüsüz meyar komplekslərinin alınması.

(8.1) tənliyi oxşarlıq tənliyinə çevrilir, bunun üçün onun sağ tərəfi sol tərəfinə bölünür. Nəticədə aşağıdakı tip ölçüsüz ifadələr alınır:

$$\pi_1 = W_1 / W; \quad \pi_2 = W_2 / W; \dots; \pi_n = W_n / W,$$

modelləşdirmə zamanı onlara oxşarlıq meyarları kimi baxılır, yəni onlar modelə və təbii obyektə bir-birinə bərabər olmalıdır. Simpleks formada onlar arasındakı şəkildə olur:

$$C_{\pi_1} = \frac{\pi_1'}{\pi_1} = 1; \quad C_{\pi_2} = \frac{\pi_2'}{\pi_2} = 1; \dots; \quad C_{\pi_m} = \frac{\pi_n'}{\pi_n} = 1;$$

burada, π və π' - uyğun olaraq modeldə və təbii obyektə oxşarlıq meyarlarıdır.

Qapalı riyazi təsvir alınmış tənliklərin birgə həlli yolu ilə alına bilər.

4. İlk oxşarlıq tənliyinin tərtib edilməsi.

Miqyas amilinin bir qiymətini almaq üçün tədqiq edilən prosesin qapalı təsvirinin olması zəruri və kifayətdir, yəni meyarların sayı n_k tənlikdəki parametrlərin sayına m_k bərabər olmalıdır.

Oxşarlıq tənliyi aşağıdakı şəkildədir:

$$C_{\varphi} = \varphi(C_{\pi_1}; C_{\pi_2}; C_{\pi_3} \dots C_{\pi_m}). \quad (9.3)$$

$C_{\pi 1}, C_{\pi 2}, C_{\pi 2}$ və s. qiymətləri (8.3) tənliyində nəzərə alsaq, əmin olarıq ki, $n_k \succ m_k$ (məsələn, $n_k = 26, m_k = 10$). Qapalı tənliklər sistemi almaq üçün $(n_k - m_k)$ sərhəd şərtlərinin daxil edilməsi zəruru və bu kifayətdir; məsələn model və təbii obyektlərdə materialların bərabərliyi: $C_{c1,2,3} = 1, C_{\lambda} = 1, C_E = 1, C_{\mu} = 1, C_{adg} = 1, C_{ny} = 1$, model və təbii obyektlərdə eyni bir yağlayıcı material öyrənildiyi üçün $C_{Ea} = 1; C_{\Delta H} = 1$ olmalıdır. Bu zaman sərhəd şərtlərinə, tədqiq edilən texniki proseslərə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edən parametrlər daxil edilməlidir.

Sərhəd şərtlərinin tətbiqindən asılı olaraq, miqyaslı keçid əmsallarının (MKƏ) qiyməti dəyişə bilər.

Olan bəzi (və yaxud bütün) həndəsi kəmiyyətləri kompleks həndəsi parametrlərlə ifadə olunur:

$$K_{Q1,2} = \frac{A_{a1}A_{ar}}{S_1S_2},$$

burada, A_a – sürtünmənin nominal sahəsi; S – kontaktda olan hissələrin sərbəst səthlərinin (kontaktda olmayan) A_{σ} istilik udan həcmə V_{σ} olan nisbətidir (1 və 2 indeksləri uyğun olaraq sürtünmə düyünlərinin 1- ci və 2 - ci elementlərinə aiddir). Model və təbii obyektlərin ölçülərini nəzərə almaqla həndəsi ölçülərin ümumi kompleksi aşağıdakı kimidir:

$$S_{Q1,2} = \frac{A_{a1}A_{ar}}{S_1S_2} \frac{S_1S_r}{A_{a1}A_{ar}},$$

burada, A_a və S modelə, A_a və S isə natural nümunəyə aiddir.

Həndəsi ölçülərin kompleksini hesabladıqda, kontaktda olan nümunələrin real forması (deşiklər, qabarğalar və s.) nəzərə alınır. Uzun val–dar yastıq cütü üçün istiliyin valın dərinliyinə daxil olması nəzərə alınır. Adətən D_{ef} qiymətini valın diametrinin ikidən üçə qədəri götürülür.

Meyar tənliyini tənliklər sisteminə - meyarlara çevirmək üçün meyarların hər biri loqariflənərək xəttləşdirilir, bundan sonra simpleks formasında olan hər bir meyar tədqiq olunan prosesi təsvir edən tənliklər sisteminin elementlərindən biridir.

5. Meyar tənliklərinin uyğunluğunun yoxlanılması.

Tənlikləri çevirdikdə onlar uyğunlaşmaya bilər. Ona görə də tənliklərin uyğunlaşmasını yoxlamaq lazımdır.

Genişləndirilmiş matrisin rəngi A^* , əsas matrisin A rənginə bərabər olduqda sistem uyğunlaşmış olur. Miqyas amilini hesabladıqda, bir qayda olaraq əsas pilləli matris alınır. Əsas matrisin sıfırdan fərqli nöqtələrinin $i, i+1, i+2$ olub olmadığını müəyyən etmək kifayətdir.

Əgər genişləndirilmiş matrisin (belə ki, tənliyin sağ tərəfinə sərbəst hədd daxil olursa) böyük rəngi olarsa, onda sistem uyğunlaşmayandır. Tənliklərin uyğunlaşmasının yoxlanılması metodikasını yoxlamaq üçün EHM üçün standart proqram da mövcuddur.

6. Oxşarlıq tənliyinin həlli.

Tənliklərin birgə həlli matris formasında yerinə yetirilir. Bu zaman kompleks həndəsi parametrlər olan hədlər tənliyin sağ tərəfinə köçürülür. Nəticədə modelin parametrlərinin qiymətini aşağıdakı şəkildə alınır:

$$P' = PC_r^{\sigma},$$

burada P - təbii obyektin parametri; P' - modelin uyğun parametri; σ - dərəcə göstəricisi;

$$C_{\varrho 1,2} = \frac{K_{\Gamma M 1,2}}{K_{\Gamma H 1,2}}.$$

(8.4) tənliyinin analızı göstərir ki, modellərdə sınaqları kiçik yüklərdə, sürüşmə sürətlərində, kiçik sınaq müddətində və s. yerinə yetirmək olar. Miqyas amilinin nəzərə alınması modeldə təbii sürtünmə düyünlərdə olduğu kimi sürtünmə və yeyilmə xüsusiyyətlərini əldə etməyə imkan verir.

Riyazi modelləşdirmə tənliliklərin riyazi oxşarlığına və izomorfizminə əsaslanır, yəni tənliliklərin sistemin davranışının müəyyən aspektlərini təsvir etmək qabiliyyətindən istifadə edərək, təbiətdə fərqli hadisələri təsvir etmək və müxtəlif funksional əlaqələri müəyyən etmək bacarığıdır.

Oxşarlıq nəzəriyyəsi hesablama texnikası ilə eksperiment metodlarını əlaqələndirən hesablama əməliyyatlarının ardıcılığının müəyyən alqoritmini yaratmaq üçün əsasdır.

Model qurarkən real hadisə qaçılmaz olaraq sadələşdirilir, sxematikləşdirilir və bu sxem (əksər hallarda hadisənin qrafik modeli) bu və ya digər riyazi aparatdan istifadə etməklə təsvir edilir.

Model tədqiqat tapşırığının hədəf istiqamətini, tələb olunan dəqiqliyi və əvvəlcədən məlum informasiyanı nəzərə almaqla yaradılır.

Riyazi modelləşdirmə zamanı analitik və statistik modellər tətbiq olunur. Analitik modellər az sayda amilləri nəzərə alır, həmişə hər hansı bir ehtimal və sadələşdirmə tələb edir. Lakin onlara əsaslanan hesablamaların nəticələri daha yaxşı görünür, hadisəyə xas olan əsas qanunauyğunluqları aydın şəkildə əks etdirir və ən əsası, optimal həllərin axtarışı üçün daha uyğundur.

Statik modellər daha dəqiq və hərtərəflidir, böyük ehtimallar tələb etmir, çoxlu sayda amilləri nəzərə almağa imkan verir.

Bu modellərin nöqsanları həcmli olması, pis görünməsi, böyük maşın vaxtı sərfinin olması və ən əsası - sınaq və səhv yolu ilə tapılmalı olan optimal həllərin tapılmasının çətinliyidir.

İmitasiya modelləşdirilməsi - texniki məsələlərin həllinin eksperimental – nəzəri metodologiyasıdır. O, hər vaxt insanın (sınaq aparının) proseslərə müdaxilə etməsi zamanı tətbiq edilir.

Əməliyyata rəhbərlik edən insan, yaranmış vəziyyətdən asılı olaraq bu və ya digər həlli qəbul edə bilər. Sonra riyazi model işə salınır, bu da qərara cavab olaraq vəziyyətin necə dəyişməsinə və müəyyən müddət keçdikdən sonra hansı nəticələrə gətirdiyini göstərir.

Sınaq aparın şəxs növbəti qərarı yeni vəziyyəti nəzərə almaqla qəbul edir. Belə prosedurların çox sayda təkrarlanması nəticəsində sınaqçı ən düzgün qərarı qəbul edir ki, onu optimal qərar hesab etmək olar.

Analoq modelləşdirilməsi model və natura üçün eyni riyazi yazılışa əsaslanır və onun elementlərinə görə fiziki sisteminin analogiyasının əsasında imitasiyası üçün istifadə edilir. Bu zaman modeldə naturanın hər bir fiziki elementinə müəyyən element uyğun gəlir. Modelqismində 1, 2, 3 və sair passiv elementlərdən, cərəyan mənbələrindən, gərginlikdən və elektron operator gücləndiricilərindən tərtib edilmiş elektrik zəncirindən istifadə edilir. Məsələn, triboqovşaqların istilik və qüvvə sahələrində elektrik analoq modelləşdirilməsində bütöv mühit və elektrik toru metodlarından istifadə edilir.

Analoq modelləşdirmə model və təbii obyekt üçün eyni riyazi təsvirə əsaslanır və elementləri üzrə fiziki sistemin analogiyalarına əsaslanaraq imitasiya etmək üçün istifadə olunur. Ona görə də təbii obyektəki elementlərdən hər birinə modeldə müəyyən element uyğun gəlir. Modellər kimi 1, 2, 3 və s. passiv elementlərdən ibarət cərəyan mənbələri, gərginlik və elektron əməliyyat gücləndiriciləri elektrik zəncirləri istifadə olunur.

Birinci halda bütöv keçirici mühitdə (plastinlər, elektrik keçirici kağızlar) elektrik cərəyanı sahəsi model kimi qəbul edilir. İkinci halda toplanmış parametrlı elektrik zəncirləridir. Bu halda model elektrik torundan ibarət olur ki, burada avəzetmə sxemləri diskret yerləşmişdir. Bu vəziyyətdə model ekvivalent sxemlərin diskret olaraq yerləşdiyi bir elektrik şəbəkəsini təmsil edir.

Bütöv mühit metodu sadəliyi və təbii obyektin və modelin sərhəd şərtləri arasında uyğunluğun böyük dəqiqliyi ilə fərqlənir.

Elektrik şəbəkə metodu daha universaldır və adətən qeyri bircins fiziki sahələrin tədqiqi üçün istifadə edilir. Xüsusi halda müxtəlif növ elektrik keçirən kağızın köməyi ilə sürtünmə zamanı materialların müxtəlif termofiziki xüsusiyyətlərini imitasiya etmək olar.

Müxtəlif yağlanma şəraitlərində sürtünmə və yeyilmə proseslərinin stasionar və qeyri-stasionar modelləşməsi haqda daha ətraflı ədəbiyyatlarda tanış olmaq olar.

9.2. Sürtünməyə və yeyilməyə sınaqlar

Sürtünməyə və yeyilməyə çoxlu sayda amillər təsir edir ki, onları aşağıdakı kimi qruplara ayırmaq olar:

1) materialların fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri və sürtünmə düyünlərinin friksion davranışını (axıcılıq və möhkəmlik həddləri, bərklik, mikrostruktur, kimyəvi tərkib, qalıq gərginliyi) müəyyən edən kontakt səthlərinin həndəsəsi;

2) materialların fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinə və kontaktın həndəsəsinə (sürtünmə sürətinə, yüklərin xarakteri və qiyməti, temperatur rejimi, abrazivin, yağlayıcı materialın və yaxud sürtünən səthlərdə örtüyün olması və s.) təsir edən istismar amilləri;

3) temperatur, yüklər və sürtünmə sürəti vasitəsi ilə (istikikeçirmə şərtləri, temperatur sahələrinin və yüklərin

paylanması, sürtünmə növü-diyirlənmə və yaxud sürüşmə, sürtünmə qüeynlərində araboşluqları və s.) sürtnməyə və yeyilməyə təsir edən sürtünmə düyününün konstruktiv xüsusiyyətləri.

Materialların antifriksion (friksion) xüsusiyyətlərini və yeyilməyədavanmıllılığını müəyyən edən sınaqların aparılmasını aşağıdakı ardıcılıqla həyata keçirilməsi məqsədəuyğundur:

- birinci mərhələ- fiziki-mexaniki xarakteristikaları almaq məqsədi ilə laborator sınaqlarının keçirilməsi və onlara görə friksion xüsusiyyətlərin proqnozlaşdırılması. Konkret materiallar üçün sorğu ədəbiyyatlarında verilənlərdən istifadə etməyə icazə verilir, ən yaxşısı DUİST – lərdən istifadə edilir.

- ikinci mərhələ - müxtəlif amillərin (sürətin, yüklərin, ətraf mühitin temperaturunun və s.) sürtünmə cütünün friksion xüsusiyyətlərinə və yeyilməyədavamlılığına təsirinin öyrənilməsi üçün laboratoriya tədqiqatları;

- üçüncü mərhələ - sürtünmə düyününün konstruktiv xüsusiyyətlərinin materialların antifriksion (friksion) xüsusiyyətlərinə və yeyilməsinə təsirini qiymətləndirmək üçün təyin olunmuş stend sınaqları;

- dördüncü mərhələ - sürtünmə düyününün istismar xarakteristikalarını, o cümlədən onların real şəraitdə etibarlılığını və uzunömürlülüyünü təyin etmək üçün istifadə edilən təbii obyektə (sənaye) sınağı.

Birinci iki mərhələ modelləşdirmə üsulundan istifadə etməklə materialların və yaxud maşının və ya mexanizmin konstruksiya etmə mərhələsində örtüklərin tətbiq edilməsi imkanlarını təqribən qiymətləndirməyə imkan verir.

Sürtünmə cütünün triboloji xüsusiyyətləri adətən laboratoriya qurğularında qiymətləndirilir. Kinematik əlamətlərinə görə sürtünmə materiallarının qınaqlarının bütün qurğularını iki böyük sinfə ayırmaq olar:

- I– bir istiqamətdə hərəkət edən qurğular;

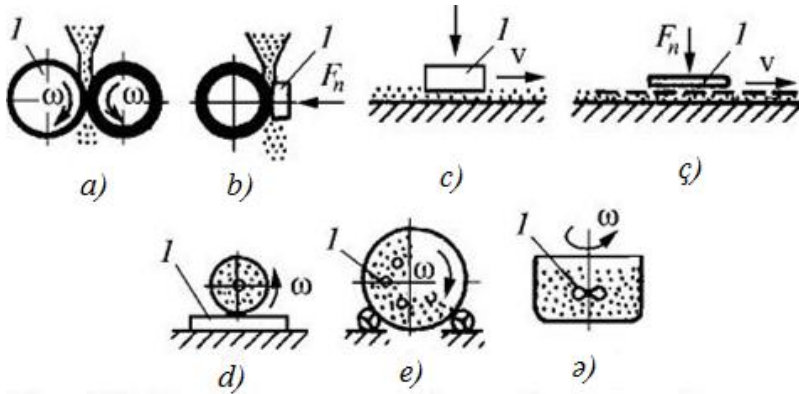
- II– işarəsi dəyişən nisbi yerdəyişən qurğular.

Hər bir sinfdə olan qurğular iki qrupa bölünür:

- yan sürtünmə maşınları;
- əmələgətirici üzrə kontakt sürtünmə maşınları.

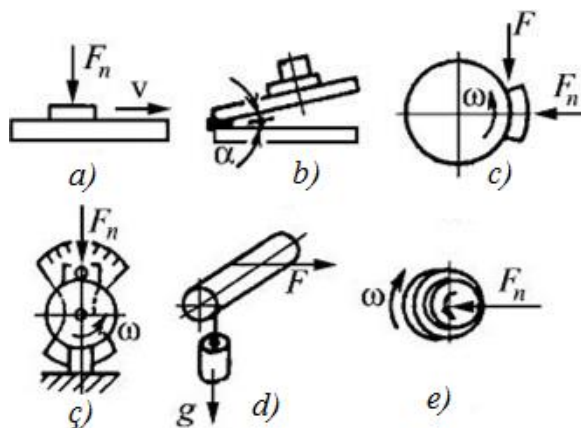
Kontaktla olan səthlərin qarşılıqlı örtmə əmsalını nəzərə almaqla sürtünmə düyünlərinin sınaq maşınlarının 32 - dən çox sxemi təklif olunur.

Yeyilmə və eroziya üçün Amerika Komitəsi tərəfindən müxtəlif materialların uyğun qurğularda sürtünməyə və yeyilməyə sınağı üçün ASTM - in 47 - dən çox standartı təsdiq edilmişdir. Amerika triboloqlarının və mühəndis-yağlayıcılar cəmiyyətinin nəşrində ASTM standartlarına əlavələri nəzərə almaqla yüzə qədər üsul təsdiq edilmişdir (şək. 9.2 - 9.8).



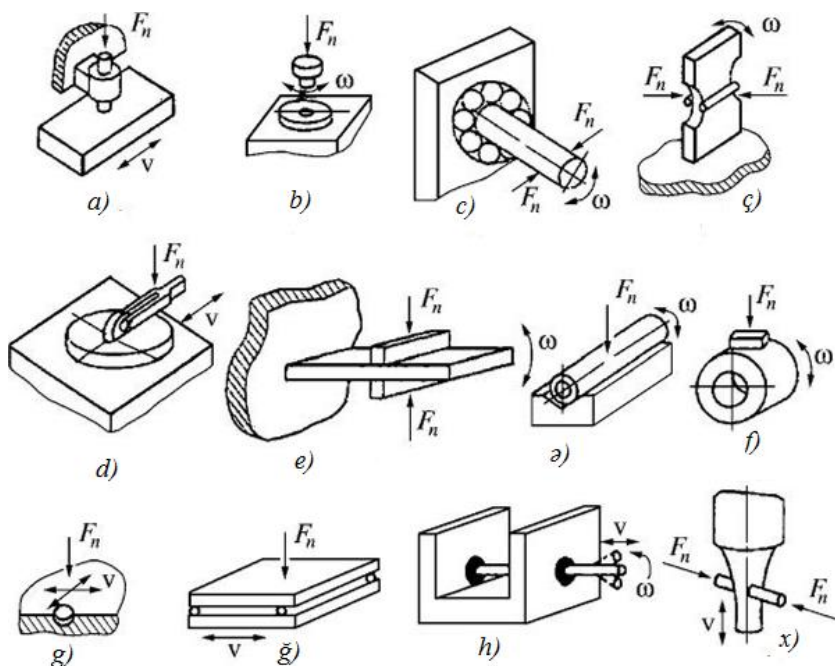
Şək. 9.2. Abraziv yeyilməyə sınaq sxemləri (1 - sınaq nümunəsi):

a, b, c - üç cisim üsulu ilə sınaq; *ç, d* - iki cisim üsulu ilə; *e, ə* - hissəciklər mühitində; *a*) diskin disk üzərində sürtünməsi; *b*) qumlu rezin təkər üzərində sürtünmə; *c*) yüksək gərginliklər zamanı sürtünmə; *ç*) bərkidilmiş abraziv üzərində sürtünmə; *d*) abraziv daşı üzərində sürtünmə; *e*) barabanda yeyilmə; *ə*) qarışdırıcıda yeyilmə.



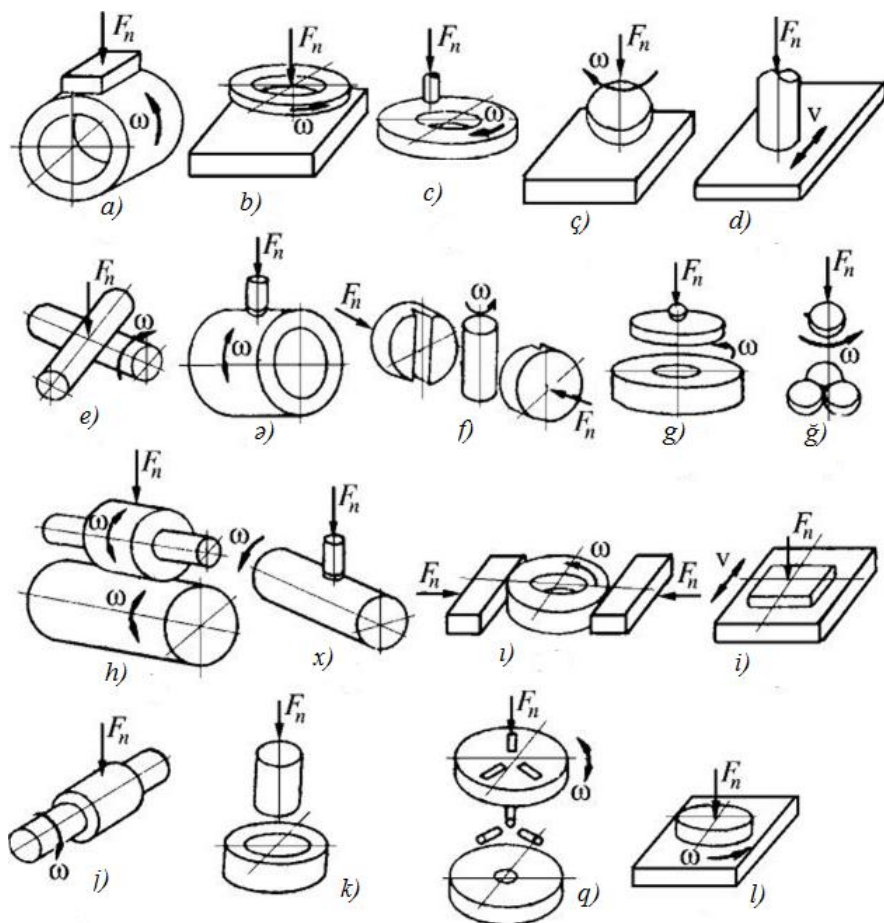
Şək. 9.3. Friksion sınaqların sxemləri:

a) sürüncəklə; b) maili müstəvidə; c) əyləc qəlbi ilə;
ç) mayatniklə; d) qasnaq ilə; e) disk muftə ilə.



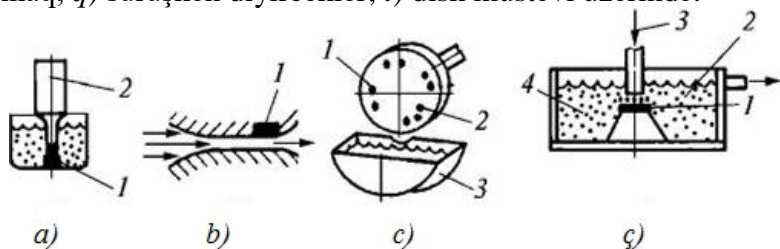
Şək. 9.4. Sürtünməyə sınağın sxemləri:

a) yarımşfera müstəvi üzərində; b) şayba şayba üzərində; c) kürəli yastıqlarda val; ç) slindirlə sədd; d) müstəvi müstəvi üzərində; e) lövhə ilə sədd; ə) müstəvi üzərində silindr; f) üzük kolodka; g) kürə çuxurda; ğ) kürə lövhə üzərində; h) konsol-val; x) ultrasəsle.



Şək. 9.5. Metal birləşmələrin yeyilməyə sınaq sxemləri:

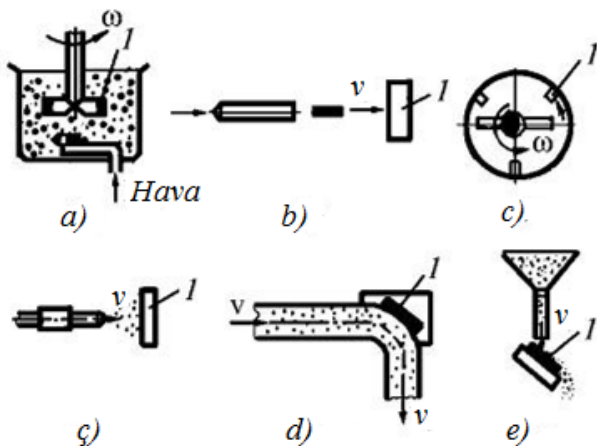
a) üzük üzərində qəlb; b) üzük müstəvi üzərində; c) yarım sfera disk üzərində; ç) sfera müstəvi üzərində; d) yarım sfera müstəvi üzərində; e) çarpazlaşmış slindirlər; ə) yarım sfera silindir üzərində; f) pazvari qəlblər üzük üzərində; g) şayba şayba üzərində; ğ) dörd kürəli sxem; h) oxları paralel slindirlər; x) barmaq slindr üzərində; ı) üzük üzərində iki qəlb; i) müstəvi müstəvi üzərində; j) oymaq val üzərində; k) presləmə zamanı sınaq; q) sürüşkən diyircəklər; l) disk müstəvi üzərində.



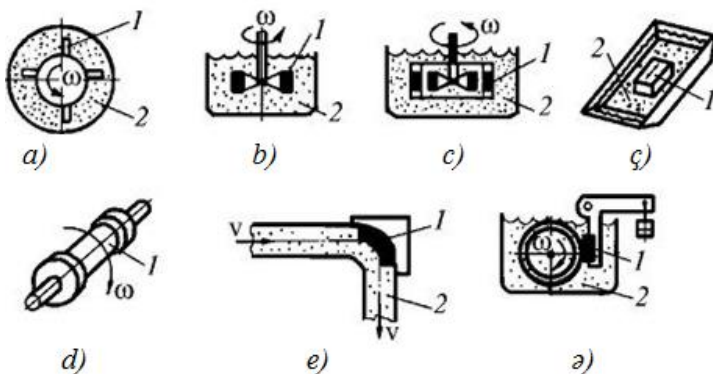
Şək. 9.6. Kavitasiyaya sınaq üsulları:

a) ultrasəs kavitasiyasında sınaq; (1-nümunə, 2-ultrasəs şualandırıcısı); b) Venturi yuvasında sınaq (1-nümunə); c) qabda sınaq (1-nümunə, 2-kavitasiya həyəcanlandırıcısı, 3-qab); ç) yüksək təzyiq axınında sınaq (1-nümunə, 2-maye, 3-mayenin təzyiq altında verilməsi, 4-kavitasiya sahəsi).

Sürtünmə modelləşdirmə üsullarını və tribotexniki materialların rəşional tsiklinin sınaqlarını həyata keçirmək üçün Rusiyada maşınşünaslıq institunda və “Qospribor” istehsalat birliyində hazırlanmış yeni universal sürtünmə maşınları tətbiq edilir. UMT-2168 “Unitrib” sınaq kompleksində dəyişən işçi düyünlərin olması ardıcılıqla kontaktda olmanın səkkiz sxemində avtomatik rejimdə sınaq yerinə yetirməyə imkan verir. (cəđ. 9.1)



Şək. 9.7. Bərk hissəciklərdə eroziyaya sınaq (1-nümunə):
a) mayeləşdirilmiş qatda yeyilmə; b) vahid hissəciklə toqquşma; c) yellənən zərbəedirici ilə toqquşma; ç) sırtaq eroziyası; d) əyilmiş boruda eroziya; e) düşən şırnaqda eroziya.

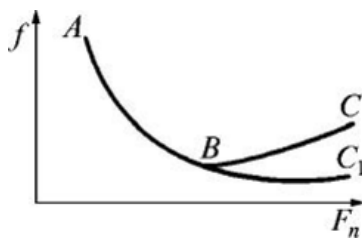


Şəkil 9.8. Nümunələrin 1 suspenziyada (abraziv kütlədə) 2 eroziyaya sınağı:
a) suspensiya olan qabda; b) pərlər suspensiyada; c) NACE üsulu ilə; ç) Millerə görə; d) suspensiya ilə fırlanan boru; e) əyilmiş boruda; ə) rezin təkər üzərində.

Sınaq, sürtünmə, temperatur və sair rejimlərin dəyişməsi haqda qeydedicilərdən alınan informasiya, kompleksə daxil olan EHM - də eyni zamanda emal olunur.

Sürtünmə və yeyilməni müşaiyət edən proseslər çox müxtəlifdir və sürtünmə şəraitindən, materiallardan, kontaktın həndəsəsindən və s. çox asılıdır. Bu səbəbə görə sürtünmənin müxtəlif parametrlərini əlaqələndirən ümumi qanunauyğunluqlar çox azdır. Onların bəzilərini nəzərdən keçirək, hansı ki, standart və yaxud yeni hazırlanmış qurğularda təcrübələr apararkən nəzərə alınır.

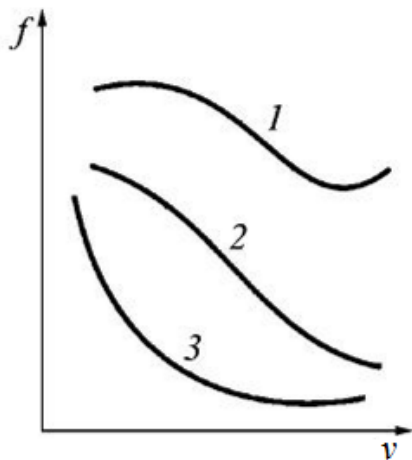
Elastik kontakt zamanı qüvvə artdıqca sürtünmə əmsalı azalır (ABS, sahəsi) (şək. 9.9). Əgər elastiki kontakt plastiki kontakta keçirsə, (B nöqtəsi) onda f -in F - dən asılılığı ABC əyrisi ilə ifadə ediləcəkdir. İşlənmiş səthlər üçün yeyilmə və sürtünmə əmsalı qüvvədən adətən qeyri-xətti asılıdır. İşlənmiş səthlər üçün yeyilmə intensivliyi vahid xüsusi yükə düz mütənəsibdir. Friksion kontaktda olan temperatur yük artırdıqca artır, sürtünmə əmsalının adgez toplananını azaldır. Deformasiya toplananı əsasən materialın bərkliyi ilə əlaqədardır ki, o da temperaturdan asılıdır.



Şək. 9.9. Sürtünmə əmsalının yükədən asılılığı

Sürtünmə sürəti ilk növbədə istilik ayrılmasının və kontakt temperaturunun güclənməsinə təsir edir. Yüksək temperaturlar və mexaniki kimyəvi proseslərin təsiri materialda köklü dəyişmələrə səbəb olur və səth qatı keyfiyyətcə yeni


mexaniki xüsusiyyətlər əldə edir. Sürtünmə sürətinin tribotexniki xüsusiyyətlərinə təsiri hələ kifayət qədər öyrənilməmişdir. Bir çox hallarda sürtünmə əmsalının sürətdən asılılığı şəkil 9.10-da göstərilmiş ayrılrlə xarakterizə edilə bilər.

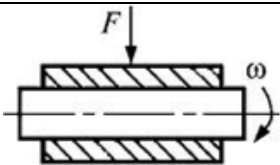

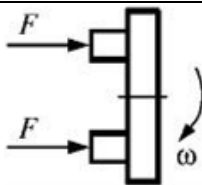
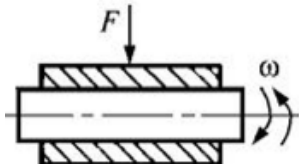
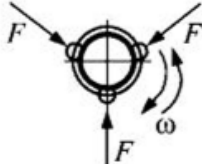
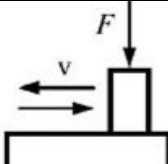


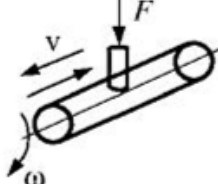
Şək. 9.10. Sürtünmə əmsalının sürüşmə sürətindən asılılığı:
1-aşağı təzyiqdə; 2-orta təzyiqdə; 3-yüksək təzyiqdə.

Cəd. 9.1.

UMT-2168 “Unitrib”sınaq kompleksinin sürtünmə
düyünlərinin sxemi

Seriyalı sürtünmə düyünü	UMT-2168 “Unitrib”-də model
1	2
<div>İrəli hərəkət</div> <div>Disk əyləci, mufta, dayaq yasığı, $K_{vz} \approx 1$ və $K_{vz} < 1$</div>	
	

1	2
Sürüşmə yastığı, $K_{vz} \approx 1$ və $K_{vz} < 1$	
Vaqon əyləci, qaldırıcı kran əyləci, $K_{vz} < 1$	
Daha yüksək sürətlərdə sürtünmə, $K_{vz} < 1$ və $K_{vz} \ll 1$	
Geri-irəli hərəkət	
Şarnir, $K_{vz} \approx 1$	
İstilik dəyişdiricisi boru dəsti, $K_{vz} \ll 1$	
Sürüşmə dayaqları və istiqləşmə tənzimləyicisi, $K_{vz} \ll 1$ və $K_{vz} \rightarrow 0$	

1	2
<p>Yüksək kontakt təzyiqində istənilən düyün, $K_{vz} \ll 1$ və $K_{vz} \rightarrow 0$</p>	 <p>The diagram shows a cylindrical roller in contact with a horizontal track. A vertical arrow labeled 'F' points downwards from the center of the roller, representing a normal force. A horizontal arrow labeled 'v' points to the right, representing the velocity of the roller. A curved arrow labeled 'ω' is at the bottom left of the roller, indicating its angular velocity.</p>

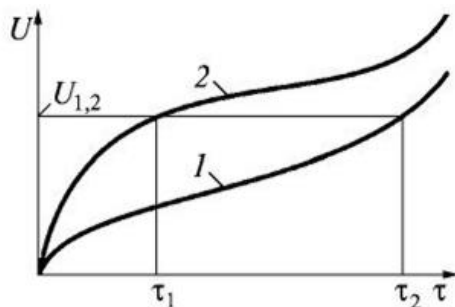
Nazik qatın əsasən həndəsi və fiziki-kimyəvi xüsusiyyətləri ilə xarakterizə edilən səthin keyfiyyəti tribotexniki xarakteristikalara və sürtünmə çütünün yeyilməsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

Texnoloji (ilkin) və istismar səth keyfiyyətləri bir-birindən fərqləndirirlər. Sürtünmə səthinin ilkin vəziyyətdən qərarlaşmış (müvazinət) vəziyyətə keçid, II bölmədə baxılan mürəkkəb qayıtmayan hadisələrlə müşayiət olunur.

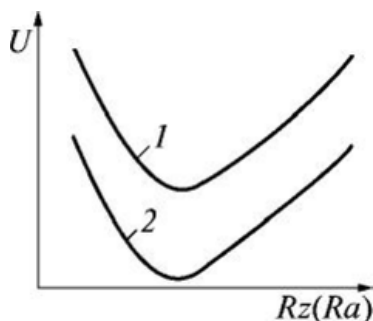
Tədqiqatçılar bunu nəzərə almalıdırlar və müxtəlif nümunələrin yeyilmə intensivliyinin qiymətləndirilməsini ancaq “işləmə” dövrü başa çatdıqdan sonra həyata keçirmək lazımdır. İşlənmə triboqovşağın sınaq müddətinə (işinə) kifayət qədər təsir edir. İşlənmə yeyilməsinin qısaldılması hesabına hissələrin xidmət müddətini kifayət qədər artırmaq olar (şək. 9.11).

İşləmə zamanı yeyilmələrə səthin mikrohəndəsəsi əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir (şək. 9.12).

Gətirilmiş asılılıqlar göstərir ki, müxtəlif iş şəraitinə (sınağa) özünün optimal (müvazinət) kələ-kötürlüyü uyğun gəlir. Yeyilmə, işləmə müddəti və sürtünmə əmsalı bu zaman minimum olacaqdır. Lakin nümunələrin səth qatlarının optimal vəziyyətini ancaq mikrohəndəsənin parametrləri ilə qiymətləndirmək kifayət deyil. Bu məqsədlə pərçimləmə dərəcəsini və dərinliyini, qalıq gərginliyini, strukturanı nəzərə almaq lazımdır.



Şək. 9.11. Müxtəlif səth keyfiyyətinə malik hissələrin yeyilməsinin dəyişməsinin xarakteri



Şək. 9.12. Səthin kələ-kötürlüyündən, yeyilmənin keyfiyyət asılılığı:
1-yüngül istismar şəraitində; 2-ağır istismar şəraitində.

Xarici mühit sürtünmə və yeyilmə proseslərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Yeyilmənin növü və onun intensivliyi qaz mühitinin tərkibindən, sürtünmə sahəsində yağlayıcı materialın və yaxud abraziv hissəciklərin olmasından asılıdır. Düzgün seçilmiş yağlayıcı materiallar yeyilməni və sürtünmə əmsalını kəskin aşağı salır. Sürtünmə sahəsində abrazivin olması sınaq zamanı nümunələrin intensiv yeyilməsinə səbəb olur. Bütün bunları sürtünməyə və

yeyilməyə metodikanın işlənməsi və laboratoriya sınaqlarının aparılması zamanı nəzərə almaq lazımdır.

Sürtünmə cütlərinin aşındırıcı mühitdə (qələvi, turşu, qaz, göbələk əmələgəlməsi və s.) sınağının stabilliyinin təmin edilməsi mürəkkəb məsələdir və sınağı planlaşdırdıqda nəzərə almaq lazımdır.

Ekspərimentlərin aparılması müddətinin qısaldılması, tədqiq edilən sürtünmə və yeyilmə prosesləri haqqında etibarlı məlumatların alınması üçün eksperimentin planlaşdırılması və riyazi statistika üsulları tətbiq edilir.

9.3. Sürtünməyə və yeyilməyə sınaqların aparılmasının ümumi metodologiyası

Materialların və maşın hissələrinin yeyilməyə davamlılığının öyrənilməsi zamanı eksperimental üsullar uzun müddət əsas olaraq qalacaqdır. Materialların və maşın hissələrinin sürtünməyə və yeyilməyə sınağının təşkili zamanı modelləşdirmənin ən vacib məsələlərindən başqa böyük əhəmiyyət kəsb edən proqramın və tədqiqat metodikasının işlənməsi də çox vacibdir.

Məsələnin qoyuluşu – bu işin çox vacib hissəsidir, belə ki, düzgün formalaşdırılmış məsələdən tədqiqatın məqsədi aydın olur. Bu iş trivial deyil, belə ki, sınağın bütün proqramını və ona uyğun eksperimentin keçirilməsi metodikasının əvvəlcədən düşünmək lazımdır. Bunu amerikan tədqiqatçısı K. Dm. Budinski aşağıdakı kimi ifadə edir:

- yeyilmənin qoyulmuş problemini həll etmək; məqsəd - maşını işçi vəziyyətinə qaytarmaqdır.

- yeni sistemdə yeyilmənin məlum probleminin meydana çıxmasının qarşısını almaq; məqsəd - maşının tələb olunan iş qabiliyyətini təmin etmək.

- yeyilməyə görə materialları və emal növlərini təsnifatlaşdırmalı; məqsəd - optimal iş qabiliyyətliliyini təmin

etmək üçün materialların və emal növlərini seçmək üçün ilkin verilənləri almaq.

- yeyilmə materiallarını tədqiq etmək; məqsəd - verilmiş şəraitdə yeyilməyə dayanıqlı materiallar yaratmaq və yaxud seçmək.

- yeyilməyə davamlılığı artıran, yeyilməyə davamlı materialların və yaxud emal növünü işləmək; məqsəd - materialların və yaxud texnologiyaların satılması zamanı gəlir əldə etmək.

Yeyilməyə sınaq proqramının seçilməsinə yanaşma konkret məsələdən və məqsəddən asılıdır. Məsələn, istifadə etdiyimiz polimerlərdən hansının müəyyən bir aqreğatda bir polad val ilə birləşdirmək üçün ondan bir oymaq hazırlandıqda səmərəli olacağını bilmək lazımdırsa, əslində bunlar sınaq proqramı üçün sərhəd şərtləridir - materialların seçimi məhduddur və tribobirləşmənin iş şəraiti məlumdur. Növbəti qayda aydın görünür: sınaq maşınının və bir neçə polimer variantının seçilməsi, sınaq proqramının işlənməsi və ən yaxşı polimer variantını seçmək üçün onun icra edilməsi.

Məqsəd kommersiya məqsədi ilə yeyilməyə davamlı diffuziya örtüyü hazırlamaqdırsa, sınaq proqramı çox fərqli olacaq. Hazırlanmış örtük müxtəlif şəraitlərdə istifadə edilə bilər və buna görə də uğurla həyata keçirmək üçün onu bu şəraitlərdə qiymətləndirmək lazımdır. Beləliklə, məsələn, metalın metalla sürtünməsində yaxşı işləyən bir örtük hidroabraziv və ya qazabraziv yeyilmə şəraitində tez dağıla bilər.

Bu məhdudiyyət olacaqdır, hansı ki, sınağın məsələsinin və məqsədinin və tədqiqatın uyğun proqramının dəqiq ifadə edilməsini tələb edir.

Yeyilmənin növünün təyin edilməsi 5-ci bölmədə ətraflı baxılan yeyilmə növlərinin təsnifatına uyğun olaraq sürtünmə prosesləri ilə məşul olan rus tədqiqatçıları arasında aşağıdakı növ yeyilmələr haqda vahid fikir müəyyənləşmişdir:

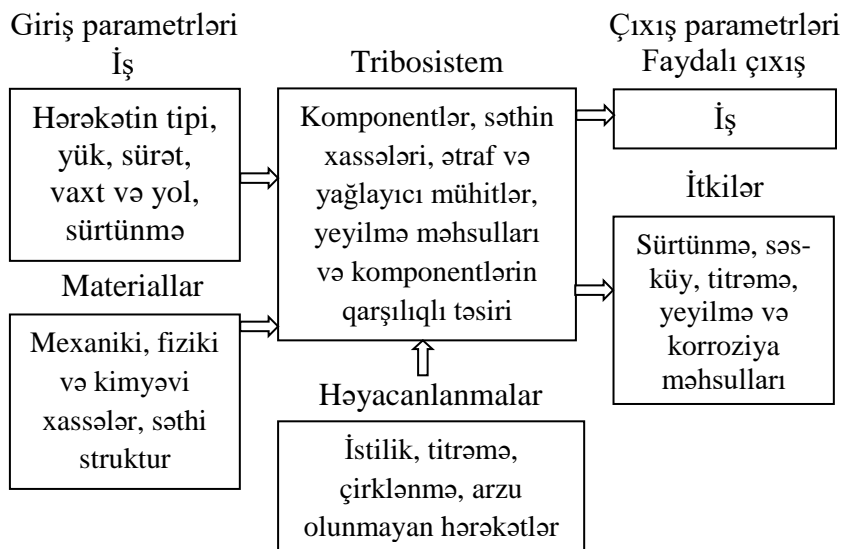
- mexaniki qrup: abraziv, yorulma, kavitasiya, eroziya və adgez. Bu qrupa aşağıdakı altnöv abraziv yeyilmələr daxildir: bərkidilmiş abrazivdə, abraziv kütlədə, abqaziv qatda, qazabraziv, hidroabraziv və zərbə-abraziv yeyilmələr;

- korroziya-mexaniki qrup: oksidləşdirici, hidrogenləşdirici və fretting- korroziya;

- elektroeroziyalı.

Yeyilmənin növünün müəyyən edilməsində mürəkkəblik ondan ibarətdir ki, real yeyilmə şəraitində ya bir, ya da eyni zamanda bir neçə növ yeyilmə meydana çıxa bilər. Yeyilmənin növünü müəyyən etməyə real hissələrin yeyilməsinin səbəbinin ətraflı təhlili kömək edir. Məsələn, ətalətli tikinti materialların çıxarılması müəssisələrindəki xəlbir ələklərinin yeyilməsinin real təsvirini öyrənərək görmək olar ki, ələk yuvalarda az yeyilir, lakin konveyerlərdən ələk üzərinə qum və çınqıl düşən yerdə yeyilmə çoxdur. Təbii ki, bu şəraitdə yeyilmənin xarakteri abrazivdir, abrazivin xəlbir ələyinə zərbəli təsiri nəticəsində yeyilmə üstünlük təşkil edir. Qumun ələyin toru üzərində sürtünməsi nəticəsində əmələ gələn ələyin yuvalarının yeyilməsinin intensivliyi aşağıdır. Ona görə də yeyilmənin növünün təyin edilməsinə xüsusi diqqət yetirmək lazımdır. Ən yaxşısı belə öyrənmələri bir müəssisədə yox bir neçə müəssisədə real hissələrin iş rejimini və yeyilməsini ətraflı təhlil etməklə, yeyilmənin mütləq fotosunu çəkməklə, yeyilmənin ölçülərini ölçməklə və bu yeyilmənin baş verdiyi müddəti qeyd etməklə öyrənmək lazımdır. Sözsüz ki, abrazivin qranulometrik tərkibini, xəlbirin toru üzərinə kütlənin düşmə hündürlüyünü, düşmə sürətini, kütlənin nəmliyini, kütlədə iri daşların olmasını, xəlbirin rəqsi hərəkətinin amplitudasını və tezliyini, tora yapışma dərəcəsini və toru yapışmalardan azad etmə üsulunu, xəlbirin işləmə mövsümünü də (qış, payız, yaz, yay) və s. qeyd etmək lazımdır. Bütün bunlar təcrübi nümunələrin laboratoriya və həqiqi iş şəraitlərində sonrakı sınağı üçün lazımdır.

Tribosistemin təyin edilməsi. Sürtünmə zamanı yeyilməni öyrəndikdə problemlərdən biri ondan ibarətdir ki, tribotexniki xarakteristikalar sadəcə olaraq müəyyən materiallara deyil, həm də nisbi hərəkətdə materialların qarşılıqlı təsir prosesinə aiddir. Bu halda dinamikada materialların xüsusiyyətləri və səthlərin həndəsəsi və xüsusiyyətləri əhəmiyyət kəsb edir. Tribobirləşmələrə sistemli yanaşma çox əlverişlidir. Bu halda tribosistemə (şək. 8.13) nisbi hərəkətdə olan elementlər, ətraf mühit və sistemin elementləri arasındakı əlaqə daxildir. Tribosistemin elementləri həm sürüşmə zamanı bərk cisimlər, həm də məsələn, maye ilə təmasda olan kavitasiyaya məruz qalan bərk cisim ola bilər.



Şək. 9.13. Tribosistem

Tribosistemin giriş xarakteristikası kontakt zamanı materiala mexaniki təsir formasında iş. Bu xarakteristika sürüşmə sürəti, normal qüvvə sürüşmə yolu və s. kimi parametrlərlə qiymətləndirilə bilər. Tribosistemin çıxış

xarakteristikası faydalı işdir, hansı ki, müxtəlif hərəkət formadasın ola bilər: yumruqlu mexanizmdə, səpilmiş yüklərin nəql etdirilməsi və yaxud lokomotivin təkərinin diyirlənməsi. Tribosistemə həyəcanlandırıcı amillər təsir edir, məsələn temperaturun qalxması (düşməsi), titrəmə, çirkəlmə və həmçinin, fırlanan kütlələrin vurmaı kimi hərəkətin kinematikasından meyllənmə. Bütün bu amillər tribosistemə, eyni zamanda onun faydalı işinə və yeyilmənin qiymətinə təsir göstərə bilər. Tribosistemin çıxış xarakteristikasına sonda sistemin dağılmasına gətirib çıxaran yeyilmə proseslərinin nəticələri daxildir: istilik ayrılması, sürtünmə, yeyilmə zamanı materialın hissəciklərinin ayrılması, səs-küy və s.

Qeyd etmək lazımdır ki, bir sistemi modelləşdirmənin sınağı digər sistemə qoyulmuş verilənlərin alınmasını təmin etmir. Məsələn, abraziv yeyilməyə davamlılıq üçün verilənlər, diyirlənmə yastıqlarının təhlili üçün yararlı deyildir. Ona görə də tribosinaqların səmərəli üsulu konkret sistemi modelləşdirməlidir.

Sınağın verilənlərinin təqdim edilməsi. İstənilən sınağın metodologiyasının ümumi hissəsi, sınaq prosesində alınan verilənlərin təqdim edilməsi və emalıdır.

Sınaq avadanlığının növündən asılı olmayaraq, müəyyən amillərə uyğun olan parametrlər protokol şəklində tərtib edilmiş müvafiq jurnalda qeyd edilməlidir. Protokolun əsas elementləri bunlardır:

- işçi parametrlər (hərəkətin forması, işin davam etmə müddəti, yük, sürət, temperatur, obyektin yerləşdiyi yerin digər işçi dəyişənləri);

- tribosistemin strukturu:

- a) sınılan materialın tam təsviri (həndəsəsi, ölçüləri, həcmi, kimyəvi tərkibi), fiziki-kimyəvi verilənlər (bərklik, özlülük və s.);

- b) sınılan səthin təsviri (R_z , R_a), kontakt səthləri (A_a , A_c , A_r) və s.;

c) xarici mühitin təsviri (yağlama və s.).

- triboloji xarakteristikalar (elementlərin xassələrinin dəyişməsi, məsələn, bərklik, özlülük, nəmlik, vaxtdan t , yoldan s asılı olaraq sürtünmənin verilənləri, vaxtdan, yoldan asılı olaraq yeyilmə haqqında verilənlər);

- digər xarakteristikalar (məsələn, titrəmə, səs-küy) və həmçinin yeyilmiş səthin növü.

Protokolun ayrı-ayrı elementləri yeyilmənin növündən (sürüşmə zamanı yeyilmə, qazşəkilli eroziya zamanı yeyilmə və s.) asılıdır. Ən vacib odur ki, tribosistemə təsir edən sınaq verilənləri mütləq protokola daxil edilməlidir. Yeyilməyə sınağın verilənləri elə detallarla yazılmalıdır ki, oxucu (dinləyici) onların hansı yolla alındığını başa düşsün. Ölçü vahidlərinə xüsusi diqqət yetirmək lazımdır, bir qayda olaraq Sİ sistemindən istifadə edilir.

Etibarlı yeyilmə sınağının komponentləri. Ümumi metodologiyaya əlavə olaraq sınağın etibarlı nəticələrini almaq üçün bəzi əlavə şərtləri nəzərə almaq lazımdır: materialın siyahısını, statik əhəmiyyətlik, səthin xassələri, sürüşmə yolunun təsiri, ətraf mühit, yeyilmə və sürtünmənin ölçülməsi, tribosistemdə itkilərin qeydə alınması.

Materialların siyahısı. Metal nümunələr üçün kimyəvi tərkiblə yanaşı termik emalın növünü, mikrostrukturun xüsusiyyətlərini və bərkliyi və yeyilməyə davamlılığa təsir edən digər xüsusiyyətləri də bilmək lazımdır, məsələn, dənələrin orientasiyasını, pəstahın alınma üsulunu, nümunənin emal üsulunu metodunu və s. Bu xüsusiyyətlər materialın siyahısında öz əksini tapmalıdır. Polimer materiallar üçün nümunənin hazırlanması texnologiyası, sınaqdan əvvəl təmizlənməsi haqqında məlumatın olması çox əhəmiyyətlidir. Polimerlər və elastometrlər nəmliyi adsorbsiya edir, sınaq nümunələrini laboratoriya atmosferində sınağa qədər bir sutka saxlamaq faydalıdır.

Statistik əhəmiyyətlik. Yeyilməyə sınaqların əksəriyyəti bahalı nümunələr və dəqiq ölçmələr tələb edir. Təkrar sınaqların sayını azaltmaq və xarakteristikalar arasında korellyasiyanın əhəmiyyətini təyin etmək üçün amil təhlilindən istifadə etmək olar. Təyin etmənin digər sadə yolu sınağın nəticələri arasında statik fərqlin olmasıdır ki, bu kəmiyyətin orta cəbri qiymətindən plus-minus üç orta kvadratik meyillənməni təşkil edən fərqlər diapazonundan istifadə etməkdir. Əgər verilmiş nümunə üçün xətlər diapazonu qapanmırsa, onda verilənlərin statistik etibarlılığına əmin olmaq olar. Bütö imkan verdiyi qədər, əldə edilən məlumatlara statistik məlumatlar tətbiq etməklə, təkrar təcrübələr aparmaq lazımdır.

Səthin xassələri. Səthin finiş emalı yeyilməyədəvamlılığın verilənlərinə təsir edir. Polimer materiallar və elastomerlər üçün finiş emalı haqqında məlumatı nümunəni hazırlamaq üçün istifadə edilən pres-formadan almaq olar. Minimum olaraq kələ-kötürlük Ra və Rz və emal izinin istiqaməti haqqında verilmələr lazımdır.

Sürətin və sürüşmə yolunun təsiri. Əksəriyyət yeyilmə proseslərində onların sürətləri qeyri-xəttidir. Yeyilməyə ideal sınaq kifayət qədər uzun müddətdə aparılır ki, “işlənmə” effekti qurtarsın və yeyilmənin qərarlaşmış sürəti ilə həyata keçən stasionar rejim başlasın. Bu çox hallarda bahalı olduğu üçün qəbul edilməzdir. Bunun üçün çox tez-tez bir sınaqda bir neçə eyni nümunə sınaqdan keçirilir. Əgər bütün nümunələrdə müvazinətli yeyilmə sürəti 1 saat sınaqdan sonra əldə olunarsa, onda bu xarakterik vaxt çoxlu sayda sınaqların yerinə yetirilməsi zamanı istifadə edilə bilər.

Sürtünmənin və yeyilmənin ölçülməsi. Tribotexniki sınaqların nəticələrinə görə xülasələr adətən sürtünmə qüvvəsinin və yeyilmənin qiymətinin ölçülməsinə əsaslanır. Sınağın dəyəri bu ölçmələrin dəqiqliyindən asılıdır. Aydındır ki, sürtünmə qüvvəsinin və yeyilmənin ölçülməsi sınağın ən məsul hissəsidir. Adətən sınaq müddəti real tribosistemin

göstərilən iş müddəti ilə müqayisədə azdır. Yeyilən materialın miqdarı və dağılma dərəcəsi bir qayda olaraq sınaılan nümunənin kütləsi və ölçüləri ilə müqayisədə azdır. Buna baxmayaraq nümunənin sınaqdan əvvəl və sonra kütləsinin təyin edilməsi yeyilmənin ölçülməsinin ən çox yayılan üsuludur. Lakin, ölçmənin dəqiqlik dərəcəsi materialın ümumi yeyilmiş həcmindən asılıdır. Əgər kobud dispers abraziv yeyilmə zamanı, analitik tərəzilərdə əldə olunan dəqiqlik təmamilə kifayətdir, lakin nümunənin səthinin pardaxlanması və yaxud əzilməsi şəraitində yorulma yeyilməsi zamanı kifayət qədər dəqiqliyin təmin edilməsi çox çətinidir. Nümunənin yeyilən kütləsi çox kiçik olduğundan, rezin nümunələrin yeyilməsinin miqdarını qiymətləndirmək çətinidir.

Rezin nümunələrin hidroabraziv yeyilməsi zamanı, rezinin suda şişməsini və rezinin səthinin kiçik abraziv qırıntıları ilə dolmasını nəzərə alsaq ilkin kütləyə əlavəni almaq olar. Bu halda rezin nümunələri sınaqdan sonra laboratoriya şəraitində saxlamaq, sonra səthdən abrazivi çıxarmaq üçün təmiz hava ilə üfürmək və ancaq bundan sonra kütləsini təyin etmək lazımdır. Bunu yeyilməyə sınağa qədər də etmək lazımdır.

Eksperimental tədqiqatların aparılması təcrübəsi göstərir ki, universal yanaşma, sürüşmə yolu ilə və ya qazabraziv yaxud hidroabraziv yeyilmə zamanı nümunənin yeyilməsinə sərf olunan abrazivin kütləsi ilə əlaqəli yeyilmiş maddənin həcm vahidlərində yeyilmənin qeyd edilməsi prinsipidir.

Çoxlu sınaq maşınları sürtünmə qüvvəsini müxtəlif üsullarla ölçməyə imkan verir. Lakin, bəzi hallarda, məsələn, qoparma və adgezya yeyilməsinin ilkin mərhələsi zamanı, sürtünmə qüvvəsi prosesin gedişində vacib indikator kimi iştirak edə bilər, ancaq həmişə bu qanunauyğunluq yerinə yetirilmir və sürtünmə əmsalı birmənalı yeyilməni müəyyən edir. Xüsusi halda iki sementlənmiş materialın ağır şəraitdə

sürtünməsi zamanı yeyilmə çox kiçik, sürtünmə əmsalı isə çox böyük ola bilər.

Sürtünmə qüvvəsinin ölçülməsi zamanı – ölçmə sistemində, sistemin mexaniki hissələrinin deformasiya qüvvələri ilə əlaqədar olan elastik sabitin iştirakını mütləq nəzərə almaq lazımdır. Statik sürtünmə və ilkin yerdəyişmə tribobirləşmənin ölçücü sisteminin ətalət cavabı ola bilər. Ona görə də sürtünmə üzrə verilənlərin ən yaxşı təqdimatı, sınaq şəraitinin və sürtünmə yolunun funksiyası kimi sürtünmə əmsalının yazılması olacaqdır.

ƏDƏBİYYAT

1. Э.С. Привердиев, А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко и др. Узлы трения в машиностроении. Баку: Элм, 2018.-440 ст.

2. А.Х. Джанахмедов, Д.А. Вольченко, М.Я. Джавадов и др. Дисковые и дисково-колодочные тормоза в машиностроении. Том 1. Баку: «APOSTROF-A», 2020.-376 ст.

3. Əsədov Ş. N. Yanacaq nasoslarının vurma klapanlarının diffuziya metallaşdırılması ilə bərpası və səthi möhkəmliyinin artırılması. Fəlsəfə dok. dis. Bakı 2014, 160 səh.

4. Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мелников, В.С. Гаврилюк. Триботехника. Учебное пособие, 2-ое изд., стер.-М.: КНОРУС, 2013-408 ст.- (Бакалавриат)

5. F.Q. Əmirov. İşçi səthlərin vəziyyətinə nəzarətin müasir üsulları. Dərs vəsaiti. “Təhsil” NPM. 2009, 294 səh.

6. Пенкин Н.С., Пенкин А.Н., Сербин В.М. Основы трибологии и триботехники. Учеб. пособие М: Машиностроение, 2008, 206 ст.

7. Canəhmədov Ə.X., Hacıyeva L.S. Sürtünmə və yeyilmə sınaqları. Dərs vəsaiti. Bakı: Azərnəşr 2007, 70 səh.

8. Canəhmədov Ə.X. Tribologiyanın əsasları (sürtünmə, yeyilmə, yağlama): Dərs vəsaiti. Bakı: Çarşıoğlu, 2001, 276 səh.

9. Canəhmədov Ə.X., Əliyev Ə.M. Tribotexniki sınaqlar və proqnozlaşdırma. Dərs vəsaiti. Bakı “Çarşıoğlu” 2001, 164 səh.

10. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): учеб. М.: Изд-во МСХА, 2001.616 с.

11. А.Х. Джанахмедов. Нефтяная триболоия. Баку, Элм, 2003. -326 ст.

12. Ə.X. Canəhmədov, R.Ə. Qurbanov, Ə.H. Sadıxov, Ə.M. Əliyev. Tribotexnika. Dərslik. Bakı: Elm, 1998, 202 səh.

13. <http://stroy-technics.ru/article/iznos-materialov-v-usloviyakh-kavitatsii?>

14.

https://ozlib.com/811234/tehnika/adgezionnoe_iznashivanie

15. <https://extxe.com/28501/iznashivanie-vidy-harakteristiki-mehanizmov-iznashivaniya/>

16.

<https://portal.tpu.ru/SHARED/p/PANIN/learning/Methods/Tab1/Lecture12.pdf>

17.

https://bstudy.net/676618/tehnika/iznashivanie_fretting_korroziya

18. Барейн А.Г., Пенкин Н.С. Процесс изнашивания серповидных ножей куттеров с применением модельной массы // Северо-Кавказский гос. технич. ун-т.: сб. науч. тр. Сер. Естественная. № 2. Ставрополь, 1999. С. 4-8.

19. Беркович И.И., Громаковский Д.Г. Трибология, физические основы, механика и технические приложения: учебник, под ред. Д.Г. Громаковского. Самара, 2000. 268 с.

20. Биргер И.А., Шофф Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин: справочник / изд. 4-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1993. 640 с.

21. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.

22. Джост П. Мировые достижения в области трибологии / АН Белоруссии // Трение и износ. Т. 8. № 8. 1987. С. 5-24.

23. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высшая школа, 1991. 319 с.

24. Машков Ю.К. Трибология конструкционных материалов. Омск: ОмГТУ, 1996. 99 с.

25. Основы трибологии (трение, износ и смазка): учебн. / под ред. А.В. Чичинадзе. М.: Центр "Наука и техника", 1995. 778 с.

26. Павлов В.Г. Основы трения и изнашивания: учеб. пособие / Моек. гос. ун-т путей сообщения (МГУПТ). М.: разд. I - 1993, разд. II - 1994, разд. III- 1995.

27. Справочник по триботехнике. В 3 т. Том 1. Теоретические основы / под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1989. 400 с.

