

EESTI NSV MINISTRITE NÕUKOGU

RIIKLIK TEADUSLIK-TEHNILINE KOMITEE

Tehn. tead. kand. I. J. ALŠITS, ins. L. N. SUŠKINA

UUED
ANTIFRIKTSIOONILISED
MATERJALID JA KATTED



TEHNILIST
INFORMATSIOONI

18



TEADUSLIK-TEHNILIST INFORMATSIOONI nr. 18

Tehn.tead.kand. I. J. Albits

ins. L. N. Suškina

UUED ANTIFRIKTSIOONILISED MATERJALID JA
KATTED

ARHIIVKOGU

Eesti NSV Ministrite Nõukogu
Riiklik Teaduslik-Tehniline Komitee

Tallinn 1959

81 .m INOIGTAMJOTI TELIINET-JIISUJAE

Originaali tiitel:

Канд.техн.наук И.Я. АЛЬШИЦ,
инж. Л.Н. СУШКИНА.

НОВЫЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ПОКРЫТИЯ

Филиал Всесоюзного института науч-
ной и технической информации

МОСКВА 1958

AL 'SIAAJYATAM 'DEIINOTIETIJA 'ZEU

КЛЕТКА

ARHIIVKOGU₂

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
50341

Testi NSV Ministrite Nõukogu
Tehnik-Teadus-Tehnikiline Komisjon
Tartu, 1958

Viimastel aastatel on Nõukogude Liidus ja välismaal loodud palju uusi antifriksioonilisi materjale ja katteid. Eri-
list huvi pakuvad mittemetalsed antifriksioonilised mater-
jalid (grafiidi alusel valmistatud, pressitud puit, mitmesu-
gused plastmassid ja kummi), samuti ka antifriksioonilised
katted, mida saadakse terasest laagriliua tööpinnale sula-
metalli pihustamise teel.

Selliste uute materjalide loomise peamiseks põhjuseks
on masinaehituse kasvavad nõuded: erikoormuste ja kiiruste
suurenemine, temperatuuri tõus, hõõrdesõlmede kasutamine, mis
töötavad tugeva mõjuga agressiivsetes keskkondades, või mi-
da määratakse veega, mille temperatuur on 100-300°, samuti
ka kuivalt töötavate hõõrdesõlmede kasutamine.

Arvukad uurimised näitavad, et paljud nendest materjali-
dest üksnes ei asenda selliseid defitsiitseid värvilisi sula-
meid nagu babiit ja pronks, vaid teatud juhtudel ületavad oma
omadustelt varem kasutatud laagrimaterjale.

Autorid teostasid uute antifriksiooniliste materjalide
ja katete kasutamisalade ja võimaluste selgitamiseks spetsiaalseid katseid Tehnoloogia ja Masinaehituse Teadusliku
Uurimise Keskinstituudi (ЦНИИТМ АН) laboratoorseil seadmel,
kus laagriliudade töötamise tingimused vastasid ekspluatat-
sioonitingimustele.

Katsetati antifriksioonilisi materjale, mis olid val-
mistatud tehases "Karboliit", Tehniliste Kummitoodete Teha-
ses, Kudinovski tehases, Moskva ja Leningradi Plastmasside
Instituutides, Moskva Elektroditehases, Ljubutšanski Plast-
massitehases, Autogeenilise Töötlemise Teadusliku Uurimise
Instituudis (НИИ АТОР) ja mujal. Uurimusi teostati eesmär-
gil, et välja selgitada võimalused katsetatavate materjalide
kasutamiseks praktikas sagedamini esinevate töörežiimide juu-
res.

Teostatud katsete allpool kirjeldatud tulemused laienda-
vad teadmisi rea materjalide antifriksioonilistest omadus-
test ja võimaldavad täpsustada nende materjalide kasutamise
piirkonda ja meetodeis.

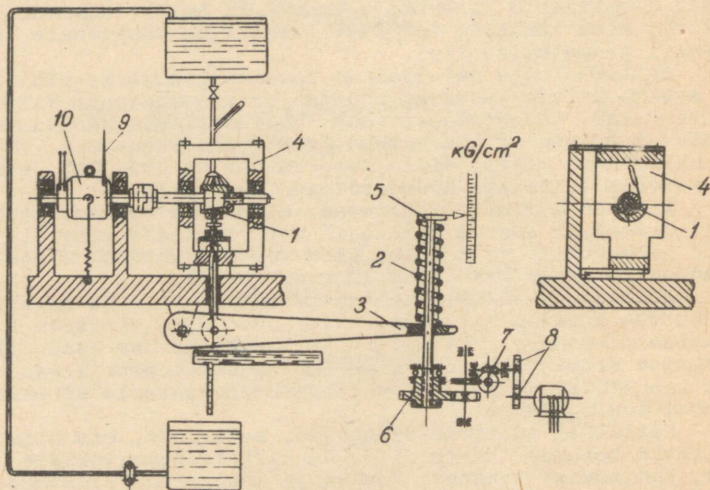
Materjalide peamised antifriksioonilised omadused mää-
rati masinate JTC (laagrite katsetamise masin) ja MM (masin
materjalide hõõrdeteguri ja kuluvuse määramiseks) abil.

Masina JTC abil katsetati uuritavatest materjalidest
liua mudelit ekspluatatsiooniolukorrale lähedastes tingimus-
tes. Selle masina abil määrati kandevõime ja hõõrdetegur ole-
nevalt erikoormusest; liud töötas peamiselt vedelikulise
hõõrdumise tingimustes.

Masina JTC skeem on kujutatud joonisel 1. Vedru 2 teki-
tab koormuse, mis kangi 3, hoova ja raami 4 kaudu antakse
edasi katsetatavale liuale 1. Kruvi 5 surub vedru kokku mut-
ter-hammasratta 6 pöörlemisel. Mutter-hammasrattas pannakse

¹ Masin JTC on konstrueeritud tehn.tead.doktori M.M.Hruštšovi,
tehn.tead.kand. L.I.Malõhhi ja autorite poolt.

aeglaselt pöörlema kolmeastmelise kombineeritud tigu-silinderreduktori 7 ja ühe paari vahetatavate hammasrataste 8 abil. Sel viisil saab laagri koormust ettenähtud kiirusega sujuvalt muuta.



Joon.1. Masina JTC skeem laagrite katsetamiseks.

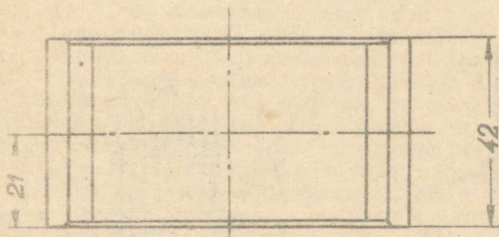
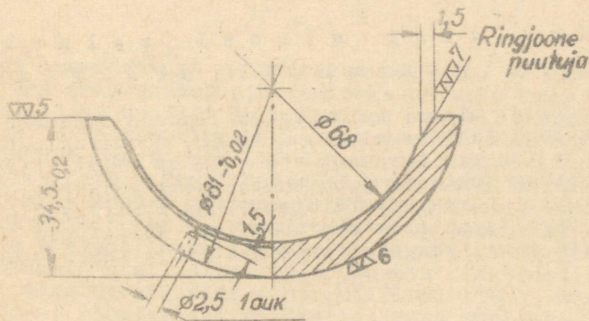
Hõõrdemoment võllil määratakse mootor-kaalu 10 staatori külge kinnitatud osuti 9hälbe järgi.

Masina põhiandmed:

võlli läbimõõt	67 mm;
liua projektsiooni pindala	26,8 cm ² ;
elektrimootori võimsus	6 kW;
võlli pöörte arv	350-1100 p/min.;
maksimaalne erikoormus laagrile	400 kg/cm ² ;
koormamise kiirus	0,2 - 2 kg/cm ² minutis.

Katsetatava liua määrimine toimus tsirkuleeriva õliga või veevärgi veega. Konsistentse määrideainega katsetamisel toimus määrimine perioodiliselt käsitsi. Määrideained juhti kõikidel juhtudel võllile, proovitava liua kohal.

Võlli materjal - teras 45, on termiliselt töödeldud kõvaduseni 40-46 Rc, võlli pinna töötlemisklass 9. Katsetatavate liudade (joon.2) koormust suurendati jääval kiirusel 2 kg/cm² minutis, kuni hõõrdemoment võllil saavutas väärtuse 360 kg/cm ja masin lülitus automaatselt välja. Iga liuda katsetati tööpinna seisundist olenevalt üks kuni kolm korda. Tulemusi kontrolliti kolme ja enam liuaga. Laagrite katsetamisel fikseeriti hõõrdemoment ja koormus.



Joon.2. Masinal JTC katsetatav laagriliud.

Katsetamisel saadud maksimaalset erikoormust, mille juures hõõrdemoment hakkas järsult suurenema, loeti antud tingimustes piirerikoormuseks ja seda kasutati materjalide suhteliseks iseloomustamiseks kandevõime järgi.

Masina *MM* abil määrati mudelite kuluvus ja hõõrdetegur liughõõrdumisel piirhõõrdumise olukorras, katse skeem on näidatud joonisel 3.

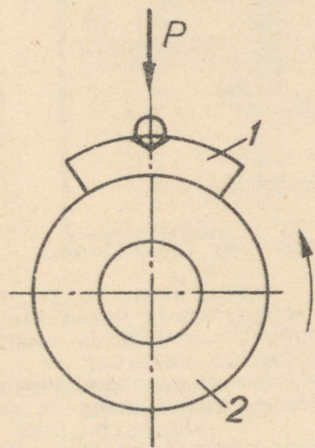
Mudel 1 surutakse vastu pöörlevat rulli 2, mille läbimõõt on 40 mm, laius 10 mm. Rull on valmistatud terasest 45 ja termiliselt töödeldus kõvaduseni 48-52R_C, pinnasiledus 9. Rulli alumine osa ulatub määrdeainega täidetud vanni. Kihulistest või tugevasti paisuvatest materjalidest valmistatud mudelid paigutatakse eelnevalt metallkassettidesse. Koormus antakse edasi kuulikese kaudu, mis annab mudelile rulli suhtes iseseadvuse võimaluse.

Hõõrdemoment masinal *MM* fikseeriti isekirjutava aparaadiga. Mudelid töödeldi eelnevalt rulli pinnaga täieliku kontakti saavutamiseni.

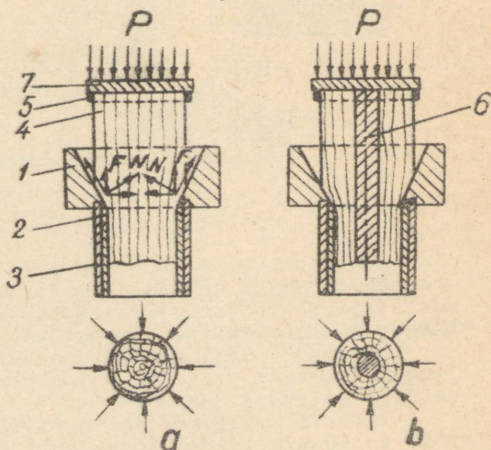
Kõikidest (välja arvatud poorsetest) materjalidest mudelite ja rullide kuluvust määrati analüütiliste kaaludega. Poorsetest materjalidest mudelitel määrati joonkuluvus, kuna nad imavad määrdeainet ja kuluvust kaalu vähenemise järgi ei ole võimalik.

Grafiidi alusel valmistatud antifriktsoonilised materjali

Grafiidi alusel valmistatud liudade omadused ilmnevad hästi kuival töötamisel. Nagu teada, sööbivad babiidist ja pronksist laagrid terasest või malmist võlli kuival pöörlemisel enamikel juhtudel juba suhteliselt väikeste erisurvetega ja kiiruste juures. Grafiidist liudad säilitavad sellistes tingimustes tavaliselt oma töövõime. Võllitapid jäävad kahjustamata isegi kõrgetel erisurvetel ja temperatuuril.



Joon.3. Mudeli katsetamine



Joon.4.

Täis- (a) ja õõnes-silindrite (b) kontuurpressimine.
 1- suunaja; 2- pide; 3- hülss (abi=pressvorm); 4- puit; 5- kaitsevõru; 6- varras (sõrm); 7- puust vahetükk.

Grafiidi isemäärivust seletatakse sellega, et grafiidikristallide üksteise suhtes nihutamiseks on vaja üsna väike-seid tangensijõude. Grafiit on võimeline metalli pinnale moodustama nn. orienteeritud kihi, mis asendab määrdeainet. Sellega põhjendataksegi grafiidi alusel valmistatud materjälide ja määrdeainete väikest hõõrdeegurit metalli puhul.

Meie tööstus toodab mitmesuguseid grafiitseid antifriktsioonilisi materjale, mille tooraineteks on looduslik grafiit, koks ja kivisöe tõrv. Katsetati järgmisi materjale:

- 1) immutamata grafiidist liudu (Moskva Elektroditehas);
- 2) liudu nn. plastografiidist (antegmiidist) ATM-1, mis kujutab termiliselt töötlemisel polümeriseeruva sünteetilise vaiguga immutatud grafiidimassi (Ljubutšanski Plastmasside Tehas);
- 3) liudu babiidiga immutatud grafiidist BH (Moskva Elektroditehas);
- 4) liudu seatinaga immutatud grafiidist CB (sama tehase);
- 5) liudu massist ЭГ-2a- põletatult ja põletamata (Kudinovski tehase);
- 6) liudu massist ПКО (sama tehase).

Termiliselt töödeldud immutamata grafiidist liudad, tänu oma poorsusele, töötavad hästi nii õli kui ka mitmesuguste vedelikkudega (näiteks bensiiniga) määrimisel. Immutamata grafiidi positiivseteks omadusteks on kõrge soojusjuhtivus (kuni 130 kcal/mh kraad), keemiline püsivus, soojuskindlus ja võime taluda järseke temperatuuri muutusi. Kuid poorsusel on peale väärtuste ka omad puudused: sellest on tingitud materjali survetugevuse vähenemine, haprus ja mõningane läbilaskvus agressiivses keskkonnas töötamisel. Neid puudusi võib tunduvalt vähendada grafiidimassi pooride täitmisel mitmesuguste keemiliselt püsivate orgaaniliste vaikudega. Siin grafiit ja vaik nagu täiendaksid teineteist - vaik vähendab poorse grafiidi haprust, grafiit aga tagab materjalile küllaldase soojusjuhtivuse. Kuid vaiguga immutamise tagajärjel väheneb grafiitsete materjalide soojuskindlus ja keemiline püsivus. Pärast immutamist sõltuvad need omadused peamiselt kasutatud vaigu soojuskindlusest ja keemilisest püsivusest.

Tabelis 1 on toodud Ljubutšanski Plastmasside Tehase poolt valmistatud immutamata grafiidi ja formaldehüüdvaiguga immutatud plastografiidi ATM-1 füüsikalik-mehaaniliste omaduste ligikaudsed andmed.

Tabel 1

Peamised omadused	Immutamata grafiit	Plastografiit (antegmiit) ATM-1
Erikaal (näiv) g/cm ³	1,56	1,85
Tõmbetugevus kG/mm ²	65	180-220
Survetugevus kG/mm ²	320	1000-1200
Staatiline paindetugevus kG/mm ²	123	400-500
Joonpaisumistegur	0,22.10 ⁻⁵	0,85.10 ⁻⁵
Soojuskindlus (piirtemperatuur õhus kasutamiseks) °C	600	170
Soojusjuhtivus kcal/mh °C	90-130	35

Tuleb arvestada seda, et materjalide omadused võivad tunduvalt muutuda, olenevalt tootmistehnoloogiast, tooraine kvaliteedist, detailide mõõtmetest ja konfiguratsioonist.

Moskva Elektroditehas laseb välja metalliga immutatud grafiite CB ja BH.² Neid looduslikust grafiidist valmistatud materjale, millele on lisatud koksi ja pigi, töödeldakse termiliselt ja pressitakse suure surve all. Viimaseks staadiumiks on vaakuumis metalliga immutamine rõhu all 100-150 at. Metalliga immutatud grafiidil on kõrgendatud mehaaniline tugevus ja kõvadus ning gaasi- ja veekindlus. Soojuskindluselt ületab tunduvalt plastografiidid. Veel kõrgemad näitajad on Kudinovski tehases valmistatud spetsiaalsetel materjalidel ЭГ-2a ja ПКО.

Allpool on esitatud ЦНИИТМ АШ -is teostatud grafiidi baasil valmistatud materjalide antifriktsiooniliste omaduste katsetamise tulemused.

Katsed toimusid kuivhõõrdumisel, määrimisel veega ja õliga "Industriaalne 45".

Materjali katsetati paaris lihvitud rulliga, mis oli valmistatud terasest 45, kõvadusega 48-52 Rc. Materjalide hõõrdeegurid ja kuluvus (keskmised väärtused), mis määrati masina ММ abil erikoormusel 25 kg/cm² ja kiirusel v = 0,4 m/sek, on toodud tabelis 2.

Tabelist 2 on näha, et kuivalt töötavate grafiitide kuluvus, mis on immutatud seatinaga (grafiit CB) ja babiidiga (grafiit BH), on peaaegu ühesugune. Seepärast on kuivalt töötamisel otstarbekam kasutada seatinaga immutatud grafiiti, kuna viimane on vähem defitsiitne.

Immutamata grafiidi ja plastografiidi АТМ-1 kuluvus kuivhõõrdumisel on metalliga immutatud grafiidi kuluvusest kaks korda suurem. Seda põhjendatakse sellega, et immutamata materjalis on grafiidiosakeste vahel nõrk side, kuna АТМ-1 kulumiskindlusele kuivhõõrdumisel mõjub siduva vaigu soojenemine.

Tabel 2

Materjal	Kuivalt		Määrimisel veega		Määrimisel õliga "Industriaalne 45"	
	Mudeli kuluvus g	Hõõrde-egur tegur	Mudeli kuluvus g	Hõõrde-egur tegur	Mudeli kuluvus g	Hõõrde-egur tegur
Grafiit CB	0,0006	0,23	0,012	0,06	0,0004	0,009
Grafiit	0,0005	0,20	0,014	0,08	0,0002	0,018
Immutamata grafiit	0,0009	0,16	0,42	0,092	0,0003-	0,017
АТМ-1 (plastografiit)	0,0009	0,17	0,0004	0,065	0,0004	0,044

² Koostis ja valmistamise tehnoloogia on välja töötatud G.K. Bannikovi, V.D. Bologorski ja A.M. Sigarjevi poolt.

Põletamata ЭГ-2a	0,0003	0,32	Kuluvus umbes 5 korda väiksem kui gra- fiidil CB ¹	0,21	Kuluvus samas suurus- järgus ¹	0,032
Põletatud ЭГ-2a	0,0004	0,39	sama ¹	0,29	Sama ¹	0,10
Põletatud ПКО	0,0008	0,44	Kuluvus umbes 10 korda väiksem kui gra- fiidil CB	0,21	Sama ¹	0,10

Kuivalt töötamisel on nii põletatud kui ka põletamata materjalil ЭГ-2a hea kulumiskindlus, suurem kui grafiitidel CB ja BH, materjal ПКО aga kulub nendest grafiitidest mõnevõrra intensiivsemalt.

Veega määrimisel ja piirhõordumisel suureneb metalliga immutatud grafiitide kuluvus üle 20 korra, kuna vesi ei lase hõõrdepinnale tekkida grafiidiosakeste orienteeritud kihti. Immutatud grafiit kulus veelgi intensiivsemalt - umbes 40 korra rohkem kui metalliga immutatud grafiit.

Plastografiit ATM-2 käitub veega määrimisel teisiti - tema kulumiskindlus suureneb kuivalt töötamisel ja eriti metalliga immutatud grafiitidega võrreldes. Seda saab nähtavasti põhjendada sellega, et vesi jahutab vaiku, mille kulumiskindlus soojenemisel järsult langeb.

Põletatud ja põletamata materjalidel ЭГ-2a ja ПКО on veega määrimisel kulumiskindlus mitu korda suurem kui metalliga immutatud grafiitidel (ЭГ-2a kulub viis korda, ПКО kümme korda vähem). Siiski muutub põletamata ЭГ-2a veega määrimisel hapraks ja mudelid purunevad tihti. Kuivalt, samuti õliga määrimisel töötavad sellest materjalist mudelid normaalselt.

Piirhõõrdumise olukorras õliga määrimisel kulusid kõik katsetatud materjalid ligikaudu võrdselt, kusjuures kulumise suurus oli lähedane kuluvusega kuivhõõrdumisel.

Kuivhõõrdumisel ja töötamisel paaris - grafiitsed materjalid ja lihvitud rull - on hõõrdeteguri keskmised väärtused 0,16-0,44. Seejuures on immutamata grafiidi, plastografiidi ATM-1 ja metalliga immutatud grafiitide hõõrdetegurid väiksemad (0,16-0,23), materjalidel ЭГ-2a ja ПКО aga suuremad (0,32-0,44).

¹ Märkus. Määratud joonkuluvuse järgi, kuna määrdeaine imbumise tõttu mudeli kaal suurenes.

Veega määrimisel hõrdetegur väheneb: immutatata grafiidil, grafiitidel CB ja BH ning plastografiidil asub see piirides 0,06-0,09, materjalidel ST-2a ja PKO aga piirides 0,21-0,29.

Õliga määrimisel väheneb hõrdetegur veelgi enam. Põletatud ST-2a ja PKO hõrdetegur on 0,1, teistel materjalidel aga 0,009-0,044.

Metalliga immutatud grafiite (CB ja BH), plastografiiti-ATM-1 ja materjali PKO katsutati peale selle ka masinal JTC liudade kujul, mis töötasid määritud veega, õliga "Industriaalne 45" ja kuivalt, kiirusega $v = 1,1$ m/sek. Katsed näitasid, et kuivalt töötavad kõik materjalid kiirusel $v=1,1$ m/sek normaalselt ja püsiva soojusrežiimiga kuni erikoormuseni 10 kg/cm². Koormuse suurenemisel toimub seostatud detailide ülekuumenemine.

Veega määrimisel oli seatinaga immutatud grafiidi keskmine kandevõime 155-160 kg/cm², babiidiga immutatud grafiidil - 140 kg/cm², plastografiidil - 120-150 kg/cm². Kiiruse suurenemisel kuni 4 m/sek, tõusis uuritud materjalidest liudade kandevõime veega määrimisel keskmiselt kuni 200 kg/cm².

Õliga määrimisel kandevõime mõnevõrra langeb, kusjuures kiiruse suurendamisel kuni 4 m/sek. toimub erikoormusel ca 70 kg/cm² õli ülekuumenemine ja kõikide katsetatud grafiitsete materjalide kasutamine muutub võimatuks.

Metalliga immutatud grafiidist ja plastografiidist valmistatud liudade kuluvust katsetamisel ei jälgitud. Immutatamata grafiit, mida katsetati liudade kujul masinal JTC, kulus väga kiiresti, kuigi piirerikoormus saavutas väärtuse 200-300 kg/cm². Hõrduva rulli kuluvust ei jälgitud ühelgi juhul.

LIIMITAMINE -1 ja teiste organisatsioonide poolt teostatud uurimuste põhjal võib anda mõningaid juhendeid grafiitsete liudadega hõrdesõlmede konstrueerimiseks.

Grafiitse liua edukaks töötamiseks on kõigepealt vaja õigesti valida seostatud detaili (võllitapi) materjal, eriti siis, kui laager töötab korrosiooni tekitavas keskkonnas. Sõebimisel muutub tapi pind krobeliseks, mille tõttu laagri kulumine suureneb. Võllitapp tuleb kroomida või valmistada roostevabast terasest. Grafiitsed liudad paaritud aluminiiumiga või vase sulamitega töötavad halvasti.

Eriti kõrge grafiidisisaldusega liuda on soovitatav konstrueerida äärikuteta ja mitte väga õhukeste seintega.

Telgkoormuste edasiandmiseks võib äärikute asemel kasutada liua otsi. Selleks peavad nad laagri kerest 1-2 mm väljajulatuma. Seinte paksused b , olenevalt liua välisest läbimõõdust D , võib ligikaudu võtta järgmised:

$D = 25$ mm	puhul	$b = 6$ mm,
$D = 50$ mm	"	$b = 8$ mm,
$D = 75$ mm	"	$b = 10$ mm,
$D = 100$ mm	"	$b = 12,5$ mm,
$D = 125$ mm	"	$b = 15$ mm.

Väikestel erikoormustel ja määrdeainega töötamisel ei ole õlikanalite tegemine tingimata vajalik. Suhteliselt suurte erikoormustel, samuti ka abrasiivses keskkonnas töötamisel on

hõrdepinnalt abrasiivsete osakeste ärajuhtimiseks õlituskalid vajalikud. Plastografiidist laagrites, mis töötavad normaalsetel temperatuuridel, võib kasutada suhtelist lõtku $= 0,0025 - 0,003$.

Plastografiidist pukse on otstarbekohane pressida metallist kereesse; sel juhul võivad seinad olla veidi õhemad. Plastografiidist pukside pressimisel metallist kereesse väheneb lõtk umbes pingu suuruse võrra, mida peab arvestama, kui liua sisemine läbimõõt tuleb lõplikult töödelda enne pressimist. Kõrgematel temperatuuridel töötamisel tuleb kasutada suuremaid lõtke.

Väikese sooguspaisumisteguriga grafiitsed liuad võivad soojenemisel jääda laagri keres vabaks. Sellest lähtudes teostati Uuringud -is uurimusi, millede ülesandeks oli määrata pingu suurus, mis kõrgematel temperatuuridel tagab plastografiidist pukside jäiga ühenduse metallkeregaga. Uurimusi teostati puksidega, mille välimine läbimõõt oli 90 ja sisemine 75 mm.

On kindlaks tehtud, et töötamiseks temperatuuril kuni 160° (kõrgematel temperatuuridel ei ole plastografiidist liudu soovitatav kasutada) saavutatakse kindel ühendus pressistu puhul. Suurema läbimõõduga liudade puhul, kui pingu suurus on 0,1-0,15 mm, tuleb liua pinna vigastamise vältimiseks keret enne puki sissepressimist soojendada. Metallist laagrikere seinte paksus võib olla ligikaudu võrdne liua seinte paksusega.

P r e s s i t u d p u i t

Puidu kasutamine laagrimaterjalina looduslikul kujul on piiratud tema väikese nihketugevuse ja muljumistugevuse tõttu. Alates kolmekümnendatest aastatest hakati puitu (peamiselt lehtpuu liike) tema mehaaniliste omaduste parandamiseks pressima. Käesoleval ajal kasutatakse laagrite valmistamiseks laialdaselt nn. kihilisi puitplastikaate (ДЦП), mis kujutavad sünteetiliste (peamiselt fenool- või kresoolformaldehüüd-) vaikudega immutatud treivineeri kihte, mis on termilisel töötlemisel kõrge rõhu all kokku liimitud. On loodud ka odavam materjal - pressitud või plastifitseeritud puit, s.o. puitplastikaat, mis saadakse puitklotsi kuumalt pressimisel.

P. N. Huhrijanski esitas puidu kontuurpressimise meetodi, mille abil võib laagrite pukse saada õõnsate silindrite kujul, mis vajavad ainult puhast mehaanilist ületöötlemist. Aurutatud klots (joon.4) - täis või õõnes (puk) - pressitakse kuumalt (temperatuuril $80-90^{\circ}$) koonilise suunajaga silindrilisse pressivormi nii, et pressimise jõud oleks suunatud kiududega risti. Pukside pressimisel paigutatakse õõnes-silind-

3 $= \frac{D-d}{d}$, kus D - liu läbimõõt, d - võlli läbimõõt.

rilisse pressvormi nii, et pressimise jõud oleks suunatud kuidudega risti. Pukside pressimisel paigutatakse õnes-silindrisse varras (õõrm). Klotsi pragunemise vältimiseks asetatakse selle ülemisele otsale terasvõru. Pressimise jõud antakse edasi puust vahetüki kaudu. Klots surutakse läbi suunaja pressvormi (hülssi). Pärast seda kuivatatakse puit koos hülsiga temperatuuril 100-150°⁴.

Ust-Ižorski Vineerivabrik kasutab kontuurpressimisel puidu kuumutamiseks ja kuivatamiseks sulatatud petrolaatumi. Enne pressimist hoitakse klotsid 2,5-3 tundi petrolaatumis temperatuuril 105-110°, pärast pressimist 1-2 tundi temperatuuril 130-140° (koos hülsiga). Pärast seda on silindrid hülsidest kergesti väljavõetavad.

Peale kontuurpressimise kasutatakse puidu ühesuunalist ristikiude pressimist ja otsest painutamist koos pressimisega. Ühesuunalisel pressimisel on pressvormi konstruktsioon selline, et rõhu all muutub ainult klotsi kõrgus 2-2,8 korda, kuna teised mõõtmed jäävad samaks. Painutamise korral paigutatakse aurutatud toorikud, mille paksus on 15-35 mm, metallkarkassi (fiksaatorisse) otstega ülespoole ning asetatakse painutamiseks spetsiaalsesse seadmesse (rèhvi). Poolrõngaks painutatud ja kuivatatud toorikutest valmistatakse laagri liudu.

Pressitud puitu töödeldakse metallilõikepinkidel kuitvalt, lõikekiirusega 1,5-2 m/sek. ja ettenihkega 1-2 mm/p. Kiirlõiketerasest tera peab olema spetsiaalselt teritatud. Saagida saab edukalt liht- või ketassae abil pöörete arvuga 2000-3000 p/min.

ЦНИИТМАШ -is katsetati kontuurpressimise teel saadud puidu antifriksioonilisi omadusi. Nimetatud materjal valmistati Vineeri ja Mõõbli Teadusliku Uurimise Instituudis (Leningradis) puusüdamekest, mis jäävad üle treivineeri tootmisel (materjali valmistamisel kasutati petrolaatumit).

Selle materjali mahu tihenemine on 0,5; mahukaal 1,02 g/cm³; survetugevus piki kiude 1200 kG/cm², risti kaudu 450 kG/cm²; niiskus 5-10%; Brinelli kõvadus risti kiude 5, piki kiude 10.

Kontuurpressimisel saadud puidu kuluvust liughõõrdumisel piirhõõrdumise olukorras uuriti masina МИ abil järgmistes tingimustes: v=0,4 m/sek; rõhk 50 ja 14 kG/cm²; rull terasest 45, kõvadusega 48-52 G_C; katse kestvus - 24000 pööret. Tabelis 3 on toodud pressitud puidu katsetamise (10-12 katse keskmised) tulemused ja võrdluseks kihilise puitplastikaadi ДСПБ-10 katsetamise tulemused samades tingimustes.

Nagu tabelist 3 näha, on pressitud puidust mudelite kulumine suurem kui mudelitel materjalist ДСПБ-10. Seejuures erikoormusel 14 kG/cm² kuluvad pressitud puidust mudelid kaks korda kiiremini kui puitplastikaadist ДСПБ-10 mudelid, erikoormusel 50 kG/cm² aga suureneb pressitud puidust mudelite

⁴ К. Н. Фисенко и В. Д. Бурцев. Опыт применения прессованной древесины как заменителя антифрикционных металлов, 1956 г.

kuluvus veelgi enam. Hõõrdetegur oleneb määrdeainest: määrimisel õliga "Industriaalne 45" on pressitud puidu hõõrdetegur suurem kui materjalil ДСПБ-10, määrimisel solidooliga on aga samadel erikoormustel pressitud puidu ja ДСПБ-10 hõõrdetegurid peaaegu võrdsed.

T a b e l 3

Eri- koor- mus kG/cm ²	Pressitud puit			ДСПБ -10		
	Laagriliua kuluvus mm	Rulli kuluvus g	Hõõrde- tegur	Laagri- liua kuluvus mm	Rulli kulu- vus g	Hõõrde- tegur
Määrdeaine - õli "Industriaalne 45"						
14	0,007	0,00014	0,0402	0,003	0,00013	0,0232
50	0,0173	0,0067	0,0753	0,0033	0,00012	0,0417
Määrdeaine - solidool						
14	0,009	0,0009	0,0451	0,0011	-	0,0483
50	0,016	0,00115	0,0446	0,0025	0,0017	0,0516

Pressitud puidu kulumiskindluse määramiseks mustunud määrdeaine kasutamisel teostati katseid, kus mudeleid määriti solidooliga, millele oli lisatud 10% lihvimpulbrit nr. 150. Sel juhul mõlema katsetatava materjali kuluvus peaaegu ei muutunud, võrreldes kuluvusega töötamisel puhta solidooliga, kuid rulli kuluvus suurenes üle 100 korra, isegi erikoormusel 25 kG/cm² (erikoormusel 50 kG/cm² ei olnud võimalik töötada määrdeaine ülekuumenemise tõttu).

Laagrite katsetamiseks ettenähtud masinal JTC katsetati pressitud puitu ekspluatatsiooniolukorrale lähedastes tingimustes. Mudeliteks olevate liudade läbimõõt oli 68 mm ja laius 40 mm.

Nagu jooniselt 5 näha, on vedela õliga "Industriaalne 45" määrimisel ja kiirusel $v=1,1$ m/sek. pressitud puidu keskmine lubatav erikoormus 65-70 kG/cm². Kiiruse suurenemisel kuni $v=3,76$ m/sek., väheneb lubatav erikoormus 45-50 kG/cm². ДСПБ-10 lubatav erikoormus on samades tingimustes 10-12% väiksem.

Mõlemast materjalist liudade tööpinnad katsetamisel tööstusliku õliga olid enamikul juhtudel heas seisukorras; korduskatsetel väikesed praod liua kandevõimet ei vähendanud.

Veega määrimisel töötab kontuurpressimisel saadud puit halvemini kui kihiline puitplastikaat ja on pärast katsetamist krobelisema pinnaga, mida seletatakse materjali suurema veeimavuse ja tursumisega. Kuid lubatavate erikoormuste absoluutväärtused on veega määrimisel suuremad kui määrimisel õliga (vt. joon. 5) ja kiirusel $v=1,1$ m/sek. ulatuvad piiridesse 70-100 kG/cm².

Solidooliga määrimisel pressitud puidust ja materjalist ДСП-10 valmistatud liuad võivad töötada ülekuumenemiseta kiirusel $v=1,1$ m/sek, erikoormusega $5-7$ kg/cm^2 . Kiirusel $v=3,76$ m/sek. töötavad mõlemad materjalid ainult kõige minimaalsematel koormustel ($1-2$ kg/cm^2).

Peab märkima, et teiste autorite andmete järgi olid pressitud puidu piirkoormused tunduvalt väiksemad. A.M. Zaitsevi andmetel saadi tapi pöörlemisel kiirusega $1,2$ m/sek. mitmesugustest puuliikidest pressitud puidule järgmised piirkoormused (tabel 4).

T a b e l 4

Materjal	Mahukaal g/cm^3	Piirerikoormus kg/cm^2	
		Veega määrimisel	Värtnaõliga määrimisel
Kask	1,28	29,2	14,6
Saar	1,07	36,5	14,6
Lehis	1,30	58,4	14,6
Pöök	1,18	29,2	14,6
Kask, õliga immutatult	1,24	43,8	14,6
Pöök, õliga immutatult	1,16	29,2	7,3
Saar, õliga immutatult	1,08	36,5	7,3

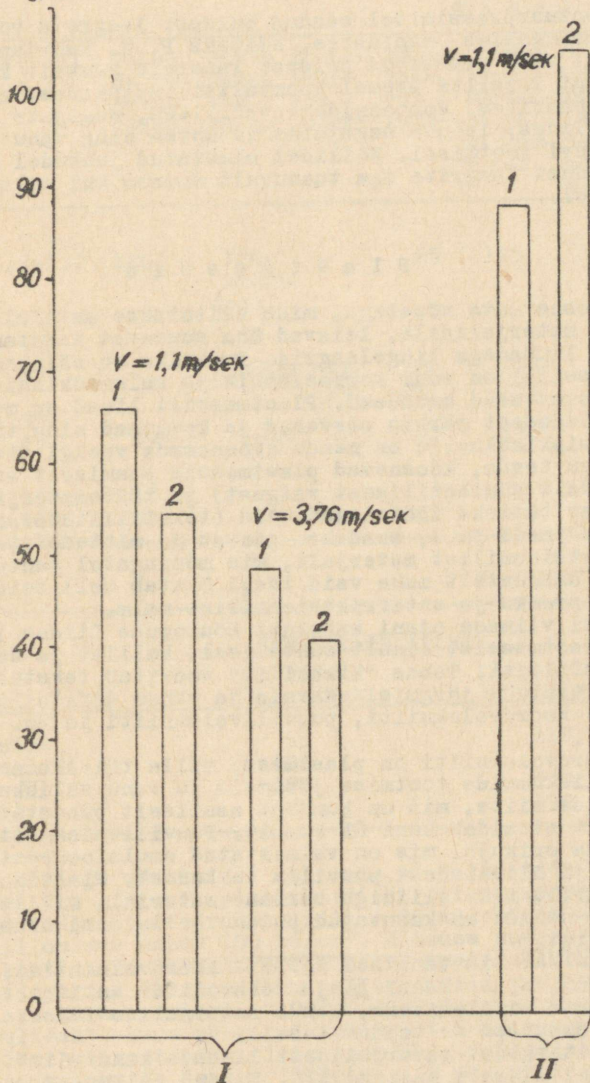
J. S. Gallai ja V. G. Matvejev esitavad pressitud puidust laagrite kandevõime järgmised piirid (mitmesugustes määrimise tingimustes): kuivalt - $1-2$ kg/cm^2 , konsistentse määrdeaine korral - $5-10$ kg/cm^2 , ohtral määrimisel vedela õliga - $15-25$ kg/cm^2 , veega määrimisel üle 50 kg/cm^2 , väikestel kiirustel aga kuni 200 kg/cm^2 .

Sissetöötanud pindadega liudade hõordetegur on ДИИИИТМАШ-1 andmeil määrimisel õliga "Industriaalne 45" ja kiirusel $1,1$ m/sek pressitud puidul $0,01-0,03$, materjalil ДСПЕ-10 aga $0,015-0,04$; kiirusel $3,76$ m/sek. on mõlema materjali hõordetegur $0,01-0,02$. Solidooliga määrimisel on pressitud puidu hõordetegur samuti mõnevõrra väiksem ($0,01-0,05$) kui materjalil ДСПЕ-10 ($0,03-0,06$); pärast katseid solidooliga olid materjalist ДСПЕ-10 liudade pinnad rohkem vigastatud kui pressitud puidust liudadel.

Veega määrimisel oli pressitud puidust liudadel hõordetegur kõige väiksem - $0,025$, materjalist ДСПЕ-10 aga $-0,007$. Võlli pind jäi kõikidel juhtudel puhtaks.

Järelikult töötab pressitud puit vedela õli ja solidooliga määrimisel kihulistest puitplastikaatidest paremini, veega määrimisel on tema kandevõime aga $10-20\%$ väiksem kui puitplastikaatidel.

$P_{\text{kg/cm}^2}$



Joon.5. Keskmised piirkoormused määrimisel õliga "Industriaalne 45" (1) ja veega määrimisel (II). 1- pressitud puit; 2-ДСТ.В=10.

Kontuurpressimisel saadud puidust laagreid võib kasutada mitmesugustes masinates. Näiteks P. N. Huhrijanski andmete järgi võib pressitud puidust laagreid edukalt kasutada metallist laagrite asemel kuumvaltsimispinkides, atrades ja kultivaatorites, kombainides, vedurites, segajate pöörlevates rullides, lahuse segajates ja uhte- ning vanuusmasinates kalevi tootmisel. Kõikidel nimetatud juhtudel on pressitud puidust laagrite iga tunduvalt suurem kui metallist laagritel.

P l a s t m a s s i d

Seoses uute nõuetega, mida esitatakse antifriktsoonilistele materjalidele, leiavad üha suuremat kasutamist plastmassist liudadega liugelaagrid. Praktika on näidanud, et plastmassidel on suur korrosiooni- ja kulumiskindlus ning sööbimisvastased omadused. Plastmassist liudad on metallist laagriliudadest märksa odavamad ja kergemad ning tänu suurele kulumiskindlusele on nende ökonoomsus veelgi suurem.

Nagu teada, koosnevad plastmassid peamiselt sideainest (tavaliselt sünteetilisest vaigust) ja täitematerjalist. Kasutades täiteks tootmisjäätmeid (tekstiilitööstuse-, koordriide jäätmeid jm.), saadakse odavat ja mittedefitsiitset antifriktsoonilist materjali, mis mõningatel juhtudel ei jää oma omadustelt maha vaid isegi ületab selliseid materjale nagu pronks ja antifriktsooniline malm.

Kuni viimase ajani kasutati Nõukogude Liidus laagrite jaoks plastmassist ainult suhteliselt kallist ja defitsiitset tekstoliiti. Tehas "Karboliit" soovib tekstoliidi asendajana kasutada järgmisi odavaid ja vähem defitsiitseid materjale: koordvolokniiti, puuvillvolokniiti ja nn. plastiikaati III.

Koordvolokniiti on plastmass, mille täiteks on kasutatud auto väliskumme tootmise jäätmeid ja vanu väliskumme, s.t. koordriide niite, mis on kummist osaliselt puhastatud. Koordvolokniit sisaldab kuni 6% kummit. Puuvillvolokniit on volokniidi üks erikuju, mis on valmistatud emulsioonist resoolvaigust ja õlivabadest puuvilla takkudest. Plastiikaat III on struktuurilt tekstoliidiga sarnane materjal, milles puuvillase riide asemel on kasutatud puidu tselluloosi alusel valmistatud riidet.

III -is teostati katseid koordvolokniidi, puuvillvolokniidi, plastiikaadi III ja tekstoliidi antifriktsooniliste omaduste võrdlemiseks. Nende materjalide füüsikalise-mehaanilised omadused on toodud tabelis 5.

Uuritavatest materjalidest liudade kandevõime veega määrimisel määrati masinal ЛТС. Saadud tulemused on toodud tabelis 6.

Andmetest on näha, et ainult koordvolokniidi kandevõime on tunduvalt väiksem kui tekstoliidil. Veega määrimisel kõikide katsetatud materjalide kandevõime kiiruse suurenedes tõusis.

T a b e l 5

Materjal	Erikaal g/cm ³	Pain- de tu- gevus kG/cm ²	Surve tuge- vus kG/cm ²	Tõmbe- tuge- vus kG/cm ²	Löögi- tuge- vus kG/cm ²	Soojus- kindlus Marten- si jär- gi krea- dides	Vee ime- vus 24 tunni- ga %- des	Kõva- dus Bri- nelli järgi kG/cm ²
Teksto- liit 2	1,3-1,4	1200	1200 (kihti- dega)	-	25	125	1,5	-
Koord- volok- niit	1,32- -1,35	-	700+800	200- -300	18- -20	106- -113	0,4- -0,5	13- -16
Plasti- kaat III	1,35- -1,45	850	1200	-	15	130	-	-
Puuvill- volok- niit	1,35- -1,45	800	900	-	32	164	0,4	23

T a b e l 6

Materjal	Kandevõime kG/cm ²	
	kiirusel 1,1 m/sek	kiirusel 3,76 m/sek
Koordvolokniit	55	112
Puuvillvolokniit	100	-
Plastikaat III	180	220
Tekstoliit 2	120	190

Mineraalõliga määrimisel halvenes plastikaatide töötamine. Kiirusel üle 1 m/sek. plastikaadi III piirerikoormus ei ületa 30-40 kG/cm², koordvolokniidil - 20 kG/cm² ja ainult tekstoliidil on see umbes 100 kG/cm². Kiiruse suurenedes langeb plastikaatide kandevõime õliga määrimisel veel rohkem.

Hõõrdetegur on õliga määrimisel tunduvalt suurem (0,03-0,01) kui veega määrimisel (0,002-0,005) ja muutub ebaühtlaselt, hüppeliselt, kuna veega määrimisel toimub see sujuvalt.

Mudelite kuluvust määrati masinal MM. On kindlaks tehtud, et koordvolokniit ja puuvillvolokniit on kulumiskindlusest lähedased tekstoliidiga.

Järelikult võib tekstoliidist laagreid veega määrimisel asendada plastikaadist III või puuvillvolokniidist (näiteks valtsimisseadmetes) laagritega. Määrimisel õliga on selline

asendamine võimalik ainult suhteliselt väikestel koormustel. Koordvolokniiti võib nii õliga kui ka veega määrimisel tekstoliidi asendajana kasutada kergemate töötamistingimuste puhul.

Uute plastiliste materjalide hulka, mille kasutamiseks laagrites on väljavaateid, kuuluvad ka nailoni tüüpi materjalid - polüamiidvaigid 68 ja 54 (mille retseptuur ja tehnoloogia on välja töötatud Plastmasside Teadusliku Uurimise Instituudi -НИИПМ poolt) ja kaproon. Neid materjale soovitatakse kasutada koos määrdeainega. Vaik 68 on järgmiste füüsikalise-mehaaniliste omadustega (НИИПМ-i andmete järgi):

sulamistäpp	213-220°C
erikaal	1,13 g/cm ³ ,
löögitugevus	100 kG/cm ² ,
staatiline paindetugevus	800-900 kG/cm ² ,
survetugevus	700-800 kG/cm ² ,
tõmbetugevus	450-500 kG/cm ² ,
pikenemine tõmbel	100%
kõvadus Brinelli järgi	10-13 kG/mm ² ,
Soojuskindlus:	
Martensi järgi	60 kraadi
BVK -i järgi	195-205 kraadi
Veeimavus:	
õöpäeva jooksul	0,5%
kuu jooksul	1,8%

Polüamiidist liudade heaks omaduseks on väike erikaal, vastupidavus korrosioonile, suur elastsus ja kõvadus ning väike hõõrdetegur. Polüamiidist liudad summutavad vibratsiooni, tagades mürata töötamist. Väikeste koormuste ja kiiruste puhul võivad need liudad töötada isemäärivalt.

Rea teadlaste andmete järgi jääb polüamiidide hõõrdetegur konstantseks temperatuuride vahemikus 27-32°. Temperatuuri tõusmisel üle 32° hõõrdetegur kahekordistub. Toatemperatuuril on polüamiidid vastupidavad abrasiivsele mõjule ja vähe deformeeruvad.

Polüamiidide puuduseks on suur soojuspaisumistegur ja kaldumus imada vett, mis avaldab mõju liua mõõtmetele ja töökindlusele. Peale selle aja jooksul see materjal koormuse all deformeerub. Aeg, mille jooksul deformatsioon toimub, oleneb koormusest. Pärast selle aja möödumist deformatsioon praktiliselt lakkab. Töötamise ajal polüamiidist liua mõõtmete muutmise tingitud kahjuliku mõju vältimiseks soovitatakse liudat teha õhukesed. Selleks pressitakse liudad metallist puksidesse ja treitakse paksuseni 1-3 mm.

Polüamiidist laagrite määrimiseks kasutatakse tavaliselt mineraalõli. Vajaduse korral võib kasutada ka vett, bensini ja teisi vedelikke.

Väliskirjanduses on toodud sama tüüpi materjali - nailoni hõõrdetegurid. Nailoni hõõrdetegur on mõõda terast hõõrdumisel kuivalt 0,34, määrimisel õliga 0,08-0,16. Nailonist laagrite kandevõime kiirusel $v=6$ m/sek. on 100 kG/cm², kiirusel $v=1,2$ m/sek - 600 kG/cm².

Välismaal kasutatakse sageli õhukesti nailonist liudu (paksusega 1,5-2 mm), millel on sooned või suurendatud lõtkud, et kompenseerida tursumisest või soojenemisest tingitud deformatsiooni. Liudad valmistatakse spetsiaalse valamismasina või hüdraulilise pressi abil survevalu meetodil. Materjal pehmentatakse laadimiskambris ja surutakse kinnisesse pressvormi, kus ta saab vajaliku kuju ja kõvastub.

ЦНИИТМАШ -is katsetati polüamiidvaigust 54 valmistatud liudade esimesi proovoalandeid, mis olid valatud -is. Hõõrdumisel mööda terast oli hõõrdetegur, mida kontrolliti masinal МИ, kuivalt 0,17-0,20; õliga määrimisel 0,014-0,020; veega määrimisel 0,02-0,05. Liudade kandevõime, mida kontrolliti masinal ЛТС, oli määrimisel vee ja õliga kiiruse $v=4$ m/sek. juures 150-200 kg/cm². Suurematel koormustel suruti materjal laagrist välja.

Peale täielikult polüamiidvaigust valmistatud liudade katsetati ka metallist liudu, mis olid kaetud 0,09 ja 0,3 mm paksuse polükaprolaktaami (ПК-4) kihiga⁵. Nende liudade töövõime oli suurem kui täielikult polüamiidist valmistatud liudadel, kuna kiht deformeerus vähem.

Mitmetes autoremonditehastes on kaproonjätmeist hakatud tootma laagripukse. Kaproonitükid sulatatakse, kuivatatakse lämmastiku läbipuhumise teel ja valatakse pressvormidesse rõhu all 6-15 at. Kuna valatud detailid on haprad, keedetakse naid mitu tundi vees. Mehaaniline töötlemine seisneb valukanalite ja kraadide eemaldamises. Nii valmistatakse näiteks auto vedrupoltide pukse. Sellised laagrid on ekspluateerimisel osutunud kulumiskindlateks nii määritult kui ka kuivalt töötamisel.

Plastmassiga vooderdatud laagrid

Õhukese plastmassist kihi kasutamine liudades antifriktioonilise kihina on üsna soodus, kuna alusmaterjal võib sel juhul valida tugevam.

Täisplastmassist valmistatud liudade asemel õhukese plastmassi kihi kasutamisel soojusjuhtivus veidi suureneb ja paranevad hõõrdepindade jahtumise tingimused. Ka Majanduslikust seisukohast lähtudes on õhukese plastmassist antifriktioonilise kihi kasutamine soodus, kuna selliste laagrite valmistamiseks võib kasutada tekstoliidi puru (tootmisjäätmeid), mis sisaldab 40-50% vaiku.

Tekstoliidijätmetest kiht pressitakse terasest või malmist alusele (kerele) survevalu meetodil. Selleks asetatakse celnevalt tolmut ja õlist puhastatud laagri kere elektrisoo-

⁵ Katsete toimusid koos НИИИПМ ja Metallilõikepinkide Eksperimentaalse Teadusliku Uurimise Instituudiga (ЭИИМС).

jendajaga varustatud kaliibrile. Kaliibri silindrilise pinna raadius võrdub selle völliitapi raadiusega, mille jaoks laagri valmistatakse. Laager surutakse vastu kaliibrit plaadiga, millel asub punker vooderdusmaterjaliga. Materjal soojeneb ja pehmeneb 1-2 minuti jooksul. Kolvi survel läbib taigakuuline mass ülemises plaadis ja laagri keres asuvad aavad ning täidab laagri sisepinna ja kaliibri vahelise ruumi.

Tekstoliidimassi polümeriseerimiseks hoitakse laagri voodrit 18-20 minutit surve all 400 kg/cm^2 ja temperatuuril $150-180^\circ$.

Vooderdusmaterjali kinnitamiseks tehakse kere sisepinnale piki- ja ristkanalid. Nagu näitasid katsed, mida teostati tehase "Punane Viiburlane" valtspinkidel ja ~~UHVITMAAN~~-i sten-didel, võib sulatatud tekstoliidipuruga vooderdatud liudu kasutada lahtistes laagrites, määrides neid veega, emulsiooni ja mineraalõliga. Õliga määrimisel on lubatav erikoormus 100 kg/cm^2 , vee ja emulsiooniga määrimisel 200 kg/cm^2 ja rohkem.

Tekstoliidipuruga vooderdatud laagreid võib kasutada ka babiidiga B-83 ülevalatud liudade asemel suletud tüüpi vedelikulise hõõrdumisega laagrites; õliga määrimisel kiirustel 4-10 m/sek. ja üle selle peavad nad vastu koormusele $75-90 \text{ kg/cm}^2$, veega määrimisel kiirustel üle 10 m/sek. aga koormusele 140 kg/cm^2 .

Valtspinkides tekstoliidipuruga vooderdatud liudade (pronksist või sulamist HAM 10-5 liudade asemel) kasutamisel väheneb elektrienergia kulu, pikeneb laagrite iga ja suureneb pinkide tootlikkus.

Tekstoliidi asendajana võivad tulevikus laagrite vooderdusmaterjalidena kasutamist leida ka teised plastmassid (koordvolokniidi või puuvillvolokniidi tüüpi), kui odavamad ja vähem defitsiitsed materjalid ning uut tüüpi plastmassid, millega vooderdatud liudu võib kasutada töötamisel raskemates tingimustes.

Kõrgematel temperatuuridel ja agressiivsetes keskkondades töötamiseks on eriti suured perspektiivid laagritel, mis on vooderdatud poorsete antifriktsiooniliste materjalidega või samast materjalist valmistatud liudadega ja immutatud nn. fluoroplastidega, mis kujutavad endast etüleeni derivaatide polümeere. Tänu seotud fluori olemasolule suureneb nende plastmasside soojuskindlus ja keemiline püsivus. Laagrite jaoks võib kasutada fluoroplasti-4, mis esineb koheva, kiulise pulbri kujul. Fluoroplast-4 on lahustumatu ja agressiivsete keskkondade (lämmastik- ja väävelhappe, kuningvee ja paljude teiste) mõjule kõikidest plastmassidest keemiliselt püsivaim.

Fluoroplast-4 füüsikalisi-keemilisi omadusi iseloomustavad järgmised andmed (D.D. Tšegodaevi järgi):

erikaal
maksimaalne töötemperatuur
ekspluateerimisel
soojusjuhtivus
erisoojus
veeimavus 24 tunniga

$2,1-2,3 \text{ g/cm}^3$,
 250°
 $4,9-6 \frac{\text{cal}}{\text{sek. kraad}} \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3$
 $0,25 \text{ cal/g kraad}$
 $0,00\%$

tõmbetugevus karastamatult	140-200 kG/cm ² ,
tõmbetugevus karastatult	160-250 kG/cm ² ,
suhteline pikenemine katkemisel	250-500%,
jääv pikenemine	250-350%,
staatiline paindetugevus	110-140 kG/cm ² ,
elastsusmoodul paindel:	
temperatuuril +20°	4700-8500 kG/cm ² ,
temperatuuril -60°	13200-27800 kG/cm ² ,
löögitugevus	100 kGcm/cm ² ,
kõvadus Brinelli järgi	3-4 kG/mm ² .

Puhast fluoroplasti võib laagriliudade jaoks kasutada ainult üsna väikeste erikoormuste (kuni 5 kG/cm²) juures, kuna koormatult juba veidi kõrgendatud temperatuuridel on fluoroplastil suur voolavus. Kõig. otstarbekohasem on immutada teemaga poorseid materjale - poorset vaske, grafiidi-, alumii- niimi- ja roostevaba terase pulbrit.

Kuna fluoroplastist laagrite maksimaalne ja minimaalne töötemperatuur oleneb rohkem kasutatud määrdeainete kui materjali omadustest, siis on üksikjuhtudel, arvestades fluoroplasti häid antifriktsioonilisi omadusi, otstarbekohasem määrdeainet mitte kasutada (fluoroplasti hõõrdetegur on 0,04-0,08).

Välismaa teadlaste andmetel töötasid bimetallist liuad, mis on valmistatud lehtterasest ja kaetud põletatud pronksi-pulbri poorse kihiga, mida hiljem immutati teflooniga (fluoroplasti tüüpi plastmass), ilma määrdeaineta kiirustel v=5-0,5 m/sek. ja koormustel 0,35 kuni 140 kG/cm². Teflooni võib kasutada ka suurematel kiirustel, kuid sel juhul vähenevad lubatud koormused. Teflooni hõõrdetegur on 0,05 igast materjalist võlli puhul.

K u m m i

On teada, et kummil on head antifriktsioonilised omadused veega määrimisel. Kummilaagreid kasutatakse löök- ja vibratsioonkoormuste ning mustunud veega määrimise korral. Peamiseks põhjuseks, mis piirab kummilaagrite kasutamist, on kummi suur deformeerumine koormuse all. Peale selle on levinud arvamus, mis käesoleva ajani kirjanduses esineb, et kummi lubatud grikoormus on 6-14 kG/cm² pehmetel markidel ja 40-50 kG/cm² kõvadel markidel.

LIHAKUMMI -is teostati Leningradi Tehniliste Kummitoodete Tehase järgmisest viiest kummimargist valmistatud mudelite mitmekülgset uurimist:

8130 - kõvadus Shore'i järgi	- 86
8070 - " " "	- 80
68 - " " "	- 74
8190 - " " "	- 62
1626 - " " "	- 54

Kummist liudade mudeleid töödeldi treipingil. Kõvemate

kummimarkide (8130, 8070, 68 ja 8190) vajalik pinnasiledus saavutati järgmise režiimiga: $n=600$ p/min, ettenihe - 0,12 mm/p, löikenurk 30° ; pehmete markide (1626) töötlemisel kasutati nõakujulist tera.

Kummi kuluvust ja hõõrdetegurit piirhõõrdumise olukorras määrati masinal MM puhta ja abrasiivse veega määrimisel. Arvestades kummi suurt elastsust, paigutati mudelid spetsiaalsetesse pidemetesse, mis takistasid kummi muljumist. Joonkuluvust mõõdeti indikaatoriga märkimisplaadil. Eelkatsete põhjal asetati mudelile koormus 15 kg/cm^2 , kuna suuremad koormused vigastasid liudade (mudelite) hõõrdpinda. Rullid olid valmistatud terasest 2X13; kiirusel $v=0,4$ m/sek. kestis katse 2400 pöört.

Tabelis 7 on toodud katsete (12 katse keskmised) tulemused.

T a b e l 7

Kummi mark	Liua kuluvus mm	Rulli kuluvus g	Hõõrdetegur
8130	0,155	0,0001	0,338
8070	0,07	0,0001	0,207
68	0,092	0,0001	0,317
8190	0,017	0,0001	0,117
1626	0,124	0,0001	0,209

Kummi nagu teistegi materjalide hõõrdejoendused oleneb tegelikust kontaktpinna suurusest. Kuid kummil ei ole see tingitud plastilisest deformatsioonist ja kuluvusest nagu metallist liudadel, vaid ainult elastsest deformatsioonist.

Kõikidel juhtudel oli rulli kuluvus väga väike - mõttelisvõlgade piires (0,0001 g); kummi kuluvus aga 17-155 mikronit. Kummist mudelite kõvaduse ja kuluvuse vahel otsest seost ei saanud määrata, kuna suurim kuluvus oli kõige kõvemal (8130) ja kõige pehmemal (1626) kummil. Kõige väiksema kulumiskindlusega kummil 8130 on suurim hõõrdetegur (0,338), aga suurima kulumiskindlusega kummil 8190 - väikseim hõõrdetegur (0,117).

Puuplastikaatide, mida kasutatakse nagu kummitki peamiselt veega määrimisel, kuluvus erikoormusel 50 kg/cm^2 on samas suurusjärgus (0,027-0,07 mm) nagu kummil, mille erikoormus on 15 kg/cm^2 (0,02-0,15mm). Siit võib teha järelduse, et mittetäielikul määrimisel on kummi kuluvus suurem kui puuplastikaatidel. Kummi hõõrdetegur samades tingimustes on samuti mõnevõrra suurem.

Katsetest, mida teostati teist marki terasest (SHT) rullidega kuid sama pinnasiledusega, selgus, et seostatud detaili materjalist olenevad kummi kuluvus ja hõõrdetegur praktiliselt vähe. Kuid see järeldus kehtib katsete konkreetsete tingimuste kohta; korrosiooni olukorras on tulemused ilmselt teised.

Kui veele lisati 10% abrasiivainet (lihvimispulbrit

nr.280), suurenes rulli kuluvus 100-300 korda (tabel 8), kuna kummi kuluvus üldiselt isegi vähenes. Kummi kõikide markide, väljaarvatud 8190, hõõrdetegurid töötamisel abrasiivse veega osutusid isegi väiksemateks kui puhta veega määrimisel.

Kummi ja plastikaatide võrdlemisest nähtub, et plastikaatide hõõrdetegur abrasiivses keskkonnas suureneb, kummil aga väheneb. Sama tulemuse saame ka kuluvuse võrdlemisel. Seda nähtust võib seletada järgmiselt: kummi sisse tunginud ja sealt väljaulatuvad abrasiivosakesed kaitsevad mõnevõrra kummi pinda kulamise eest, samuti loovad tingimused vee paremaks tungimiseks hõõrduvate pindade vahele. Kui kummilaager töö sõltub määrimise režiimist, siis viimane asjaolu põhjustab hõõrdeteguri ja kuluvuse vähenemist.

Arvestades kummi elastsete omadustega, teostati katseid käivitusemomendi määramiseks olenevalt mudeli koormuse all seismise ajast. Mitme katse keskmised tulemused on toodud tabelis 9.

T a b e l 8

Kummi mark	Liiva kuluvus mm	Rulli kuluvus g	Hõõrdetegur
8130	0,018	0,0132	0,0915
8070	0,018	0,0126	0,153
68	0,059 ^x	0,0188	0,164
8190	0,105 ^x	0,0295	0,185
1626	0,022	0,0185	0,115

Tulemuste suur erinevus

T a b e l 9

Mudeli koormuse all hoidmise kestus min.	Hõõrdemoment kGcm	
	käivitamisel	töötamisel
0	71	12
5	65	12
15	72	12
30	78	12
60	83	12
180	98	12

Tabelist 9 on näha, et mudeli koormuse all hoidmise kestuse ja käivitusemomendi vahel on otsene sõltuvus. Aja jooksul haardub kummi võlliga tihedamalt ja käivitamise momendil määrdeaine pääsemine hõõrduvate pindade vahele raskeneb. Hõõrdemomendi vähenemist pärast viie minuti kestuse all seismist võib seletada sellega, et esimese käivitamise ajal mudel sealt rulli järgi, millest ongi tingitud hõõrdemomendi suurendamine.

Samadest kummi markidest valmistatud laagreid katsetati masinal JTC suhtelise lõtku 0,003 mm puhul. Isegi lõtku kolmekordne suurenemine ei mõjutanud hõõrdeteguri väärtust ega kandevõimet, mida põhjendatakse kummi elastsusega. Katseid teostati kiirustel $v=3,45$ ja $1,1$ m/sek. ning määrimisel veevärgi veega tarvitusega $0,1$ l/min. ruutsentimeetrile; töörežiim oli peamiselt hüdrodünaamiline.

Joonistel 6 ja 7 on toodud kõverad, mis iseloomustavad hõõrdeteguri sõltuvust erikoormusest. Suurim hõõrdetegur on liudadel kummist 8130 ja 68, väikseim - liudadel kummist 8190 ja 8070. Kummist liudade hõõrdeteguri absoluutväärtused on üsna väikesed: näiteks erikoormusel 70 kg/cm^2 - $0,002-0,008$; ainult kummil 1626 on kiirusel $v=1,1$ m/sek. suhteliselt suurem hõõrdetegur.

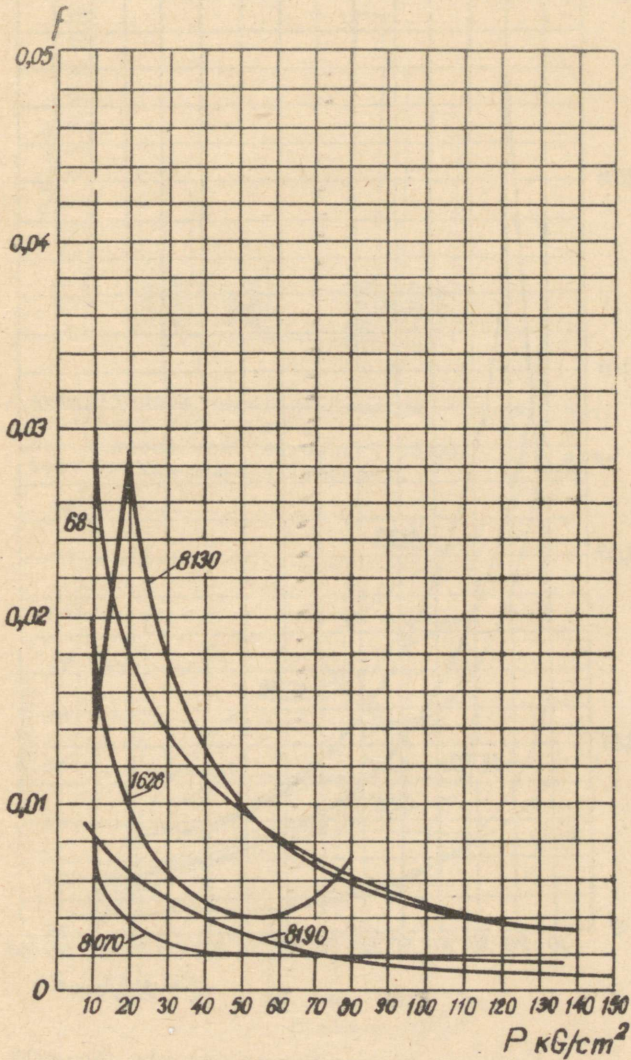
Katsetatud liudade kandevõime suurused erinevad tunduvalt kirjanduses toodud väärtustest. Peaaegu kõik laagri-liudade peale kummist 1626 valmistatud liudade, töötasid pinnavigastusteta erikoormuseni 140 kg/cm^2 . See oli ka piirkõormus, kuna kõormamissõlme konstruktsioon ei ole arvestatud kummist liudade deformatsiooni väärtustele.

Üht laagri-liuda (kummist 8070) siiski koormati kuni 220 kg/cm^2 , mille mahavõtmisel söövitusjälgi ei esinenud, kui jätta arvestamata tähtsusetut külmu. Seejuures paindus kummi deformeermisel tekkinud suure rõhu tõttu plaat, mis surus liuda otstest kokku. Kummi 1626 töötas erikoormusteni $50-100 \text{ kg/cm}^2$. Tööpinna mõningaid vigastusi märgitu kummist 68 liudade juures.

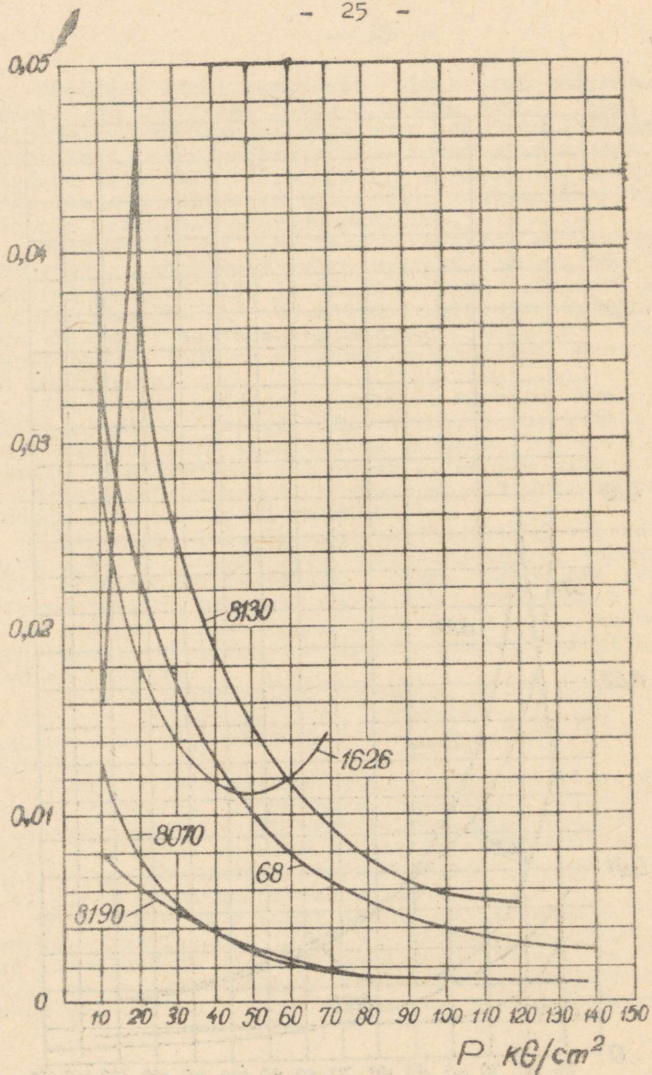
Katseid teostati ka liudadega, mis ei olnud otstest kokku surutud. Tulemused, s.o. hõõrdetegur ja kandevõime, saadi samasugused, võib-olla seetõttu, et 140 kg/cm^2 ei ole kummi koormamise piiriks.

Kummiliudade deformatsiooni suurused võlli staatilisel surveel 150 kg/cm^2 on näidatud diagrammil (joon.8). Nagu diagrammist nähtub, on otstest kokkusurutud liudade deformatsioon kaks korda väiksem kui liudadel, mis asuvad laagris vabalt. Kummi kõvaduse ja deformatsiooni vahel on otsene seos, s.t. kõvem kummi deformeerub vähem.

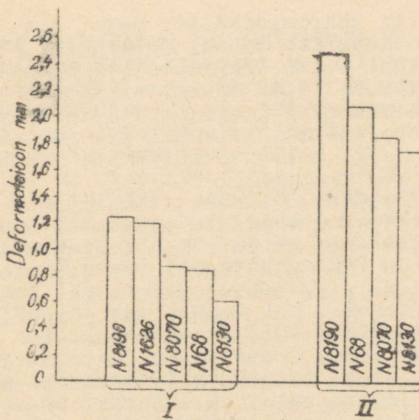
Kõik katsetatud kummi margid deformeerusid tunduvalt rohkem kui plastikaadid (joon.9). Näiteks on otstest kokkusurutud kummiliudade deformatsioon erikoormusel 150 kg/cm^2 $0,6-1,25$ mm, plastikaatliudade sama erikoormuse juures deformeeruvad aga $0,05-0,12$ mm, s.o. umbes 10 korda vähem.



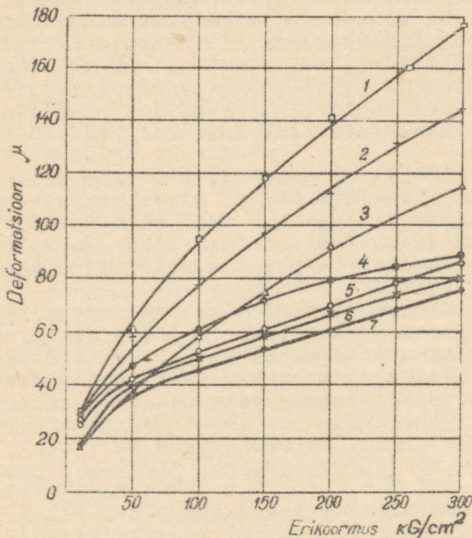
Joon. 6. Kummiliudade hõrdeteguri erikoormusest sõltuvuse kõverad kiirusel $v=3,76$ m/sek.



Joon.7. Kummiliudade hõõrdeteguri erikoormusest sõltuvuse kõverad kiirusel $v=1,1 \text{ m/sek.}$



Joon.8. Kummiliudade deformatsioonide diagramm eri-koormusel 150 kg/cm².
I - otstest kokkusurutud liudadel; II - otstest kokkusurumata liudadel.



Joon.9. Kõverad, mis iseloomustavad plastikaatliudade deformatsiooni sõltuvast koormusest. 1- koordvolokniit; 2- puidupuru; 3- teks- toliit; 4-ДСПВ, mille valmistamiseks kasutati vaiku ФК-40; 5-ДСПВ; 6-ДСПБ-10; 7- ДСПБ-20.

Samuti kontrolliti määrimisrežiimi mõju, s.t. vee tarviduse muutumist kummilaagrite tööle. On kindlaks tehtud, et veehulga vähendamine kuni 0,125 l/h ruutsentimeetrile erikoormusel 20 kG/cm² ja kiirusel 3,45 m/sek. ei mõjuta laagri tööd. Veehulga edasisel vähendamisel laagri töötamine järsult halveneb, toimub kiire soojenemine ja kummi kleepumine võlli külge; kiirusel 1,1 m/sek. halveneb töötamine veetarvituse juures 0,035 l/h ruutsentimeetrile.

Puitplastikaadid töötavad samades tingimustes mõlema kiiruse juures normaalselt, kui vee kulu on kuni 0,025 l/h ruutsentimeetrile, kusjuures vee juurdevoolu lõppemusel hõõrdetegur pikkamööda suureneb (2-3 minutiga 10 korda) ning laagri ja võlli soojenevad. Liua pind osutub pärast selliseid katseid tumedaks ja konarlikuks; vee lühemaajalisel puudumisel (kuni 1 min.) jäävad pinnad tavaliselt kahjustamata.

Järelikult ei või kummi vastandina puitplastikaatidele, isegi lühikest aega töötada rikutud määrimisüsteemi tingimustes, rääkimata määrimise täielikust katkemisest. Siin, nähtavasti peale kummi kleepumise võlli külge on tähtsus veel asjaolul, et kummi veeimavus on praktiliselt null, erinevalt plastikaatidest, millel on poorides määrdeaine teatud varu.

Võib teha järelduse, et kummilaagrid kannatavad välja märkimisväärseid erikoormusi (100-200 kG/cm²) määrimise hüdrodünaamilise režiimi olukorras; kummi elastsus tagab vedelikulise hõõrdumise, kusjuures määrimise halvenemisele reageerib kummi järsult.

Piirhõõrdumisel on kummist laagrite näitajad nii kuluvuse kui ka hõõrdeteguri poolest halvemad kui plastikaatidel; nendes tingimustes katsetatud kummimarkide kandevoime ei ületanud 15 kG/cm².

Kui vees leidub väikesi aineosakesi, siis piirhõõrdumise olukorras paraneb laagrite töö ja mõnevõrra väheneb käivitusmoment. Seisuaja pikenemisel kummilaagrite käivitusmoment suureneb. Liudade otstest kokkusurumise korral deformatsioon tundub väheneb (teostatud katsetel umbes kaks korda).

Mittetäielikul määrimisel kummi halva töötamise, samuti suure käivitusmomendi vastu võib võidelda konstruktsiivsete meetoditega, näiteks ette nähes kalded või õlikanalid, mis tagaksid nii töötamisel kui seisemisel määrdeaine olemasolu hõõrdpindadel määrdeaine juurdevoolu ajutisel vähenemisel või katkemisel.

Pulverisatsioonimeetodil saadud antifriktsoonilised katted

Tasest laagri liudade katmisel pulverisatsioonimeetodil antifriktsooniliste metallide sulamite või plastmassidega, saadakse struktuuriga kate, mis parandab hõõrdetingimusi.

Samal meetodil võib saada ka antifriktsioonilisi katteid mitmesugustest mittedefitsiitsetest metallidest, mis tavalistes sulamites ühendeid ei anna. Hõõrdepinna poorsus on kasulik mittetäieliku määrimise ja piirhõõrdumise olukorras; vedelikulise hõõrdumise olukorras kergendab poorne pind käivitamist, seiskamist ja reverseerimist.

Järelikult on otstarbekohane kasutada antifriktsioonilist kihti, kuna ta hästi seostub terasest või malmist laagrikere pinnaga. Pinna poorsus on kasutatud materjalist. Liudadel, millele on pihustatud vase sulameid, on 1 mm² suurusel pinnal 5-22 poori läbimõõduga 2-7 , alumiiniumi puhul 12-45 poori läbimõõduga 0,3-20 , tsingi puhul 4000-5000 poori läbimõõduga 0,01-0,1 . Metalliliste ja mitte-metalliliste antifriktsioonikihtide tekitamise meetodid on analoogilised. Laagriliua terasest alus tuleb enne antifriktsioonilise kihiga katmist hoolikelt puhastada - eemaldada rasvullused ja soojendada. Pihustatud kihi paremaks seostamiseks kerega tuleb luua tingimused nn. mehaaniliseks kinnituseks. Selleks muudetakse pind krobelineks liivajoa aparaadiga või tehakse pinnale väikesed kanalid. Kaetavate pindade teravad nurgad tuleb ümardada.

Liiga paksu kihi tekitamine ei ole otstarbekohane. Kihi paksus peab olema antud sõlme oletatavast maksimaalsest kuluvusest mõnevõrra suurem.

Metalliga katmiseks võib kasutada nii elektrimetallisaatoreid, näiteks SM-3, kui ka gaasiga töötavaid metallisaatoreid TMM-1. Plastmassipulbrite pihustamiseks kasutatakse aparaati УПН-4. Selleks, et terasliud ei kuumeneks üle 80-90°, teostatakse metalliga katmist katkendlikult või jahutatakse liuda kuiva suruõhuga.

Gaasiga töötavas metallisaatoris sulatatakse traat atsetüleeni - hapniku leegis ja pihustatakse suruõhuga pisi-osakesteks, mis katavad liua pinna. Aparaadis УПН-4 täidetakse punker metalli või mittemetalli pulbriga, mis voolikut mööda juhitakse pihustisse, kus pulbrit ka kuumutatakse. Õhu abil paisatakse antifriktsiooniline materjal pihustist suure kiirusega liua krobelinele pinnale. Aparaadist väljumisel kuumutatakse massi leegiga, mille tulemusena osakesed pehmenevad. Sattudes liua pinnale ja omavahel ning metalliga ühinedes osakesed kõvastuvad. Saadud kihi tugevus on pihusti ja kaetava pinna vahelisest kaugusest.

Pulverisatsioonimeetodit võib kasutada ka ümberpööratud paari puhul, s.t. kui laagriliud on valmistatud terasest ja antifriktsiooniline kiht kantakse võlli või võllile pressitud puksi välispinnale.

O.S.Kolesnik uuris metalliga kaetud liudadega laagrite tööd. Metallograafilistest uurimustest selgus, et tekitatud kiht koosneb peamiselt üksikutest komponentidest ja metallide keemilist ühinemist kihis ei toimu. Hõõrdepinna moodustunud õlikihi stabiilsus ja paksus on erinevate sulamite puhul erinevad. Suurim püsivus saavutati alumiiniumi ja tina kasutamisel. Sellest lähtudes valiti antifriktsiooniliste katete põhimaterjaliks alumiinium, millele kõvaduse ja kulu-

miskindluse suurendamiseks lisati mitmesuguseid komponente. Kataetest selgus, et seatina või nikli lisamisega tekib pinna püsivam õlikile kui tsingi, vase ja raua lisamisega (tabel 10, O.S.Kolesniku andmete järgi).

Tabel 10

Katte koostis	Kõvadus	Katte koostis	Kõvadus
Al + 50 % Pb	15 13,1	Al + 15 % Zn	21,7
Al + 15 % Pb	20,8	Al + 2 % Ni	26
Al + 3 % Cu	21,7	Al + 9 % Cu	30
		Al + 15 % Cu	45

Katsetamise tingimused: kuulikese läbimõõt 2,5 mm; katse kestvus 60 sek.; koormus 15,6 kg. Kate ei tohi koormuse mõjul vajuda, kuna poorsus eel juhul väheneb ja lõtk suureneb ning lõtku suurenedes laagri kandevõime väheneb. Autor määras katte vajuvuse 2,5 mm läbimõõduga kuulikese sissevajumise järgi, mis toimus koormuse all 15 ja 30 kg mitme ööpäeva jooksul. Kate, mis sisaldab 9 % Cu ja 2 % Ni või 15 % Pb vajub vähe (märksa vähem kui babiit Б-83). Suurima vajuvusega on alumiiniumist katted, millele on lisatud 15 % Zn või 3 % Cu. Kuna 15 % Zn lisamisega kõvadus suureneb vähe kuid tunduvalt suureneb vajuvus. Lisades alumiiniumile 15 % Pb, saame pihustamisel kihi, mis oma antifriksiooniliste omaduste poolest ligikaudu vastab babiidile Б-83, aga 2 % Ni lisamisega - pronksile ОЦ-10-2.

Istu valimisel, millest oleneb lõtku suurus laagris, peab arvestama sellega, et katte soojuspaisumine oleneb katte koostisosade liigist ja omadustest. Näiteks alumiiniumist katte puhul, mis sisaldab 15 % Pb, on soovitatav kasutada kergekäigu- või lobeistu, aga 50 % Pb sisaldusega katte puhul võib lõtk olla väiksem ja otstarbekamaks osutub käiguist.

ЦНИИТМАШ -is teostatud katsetest selgus, et liuad, millele on pihustatud alumiiniumi ja raua (30% Al, ülejäänud Fe) või vase ja raua (40% Cu, ülejäänud Fe) pulbrite segu, töötavad hästi keskmistel erikoormustel.

Jätkuvate katsete alusel võib jelda, et selliseid liuad võib edukalt kasutada ka suuremate koormuste juures. Katseid tehti ka liudadega, mis olid aparaadi УНМ-4 abil kaetud pulbriga ПОН-12 ja mis koosneb peamiselt fenoolformaldehüüdvaigust ja grafiidist (10%). Pulber on valmistatud Moskva Plastmasside Instituudis G.S. Brodski poolt. Veega määrimisega ja kiirusel $v=1,1$ m/sek. töötavad need liuad keskmiselt erikoormuseni 120 kg/cm^2 . Oli "Industriaalne 45" kasutamisel

6 Katseid teostati E.V. Antošini juhtimisel koos НИИ Автогени brigaadiga.

Tõlkinud G. Sõpma
Toimetaja H. Rehema

Trükkimisele antud 9.XII 59. Paber 60x92 1/16
Arvutuspoognaid 1,91. Tir. 700 MB 10568
Tõlkitud ENSV Ministrite Nõukogu Riikliku Teaduslik-
Tehnilise Komitee rotoprindil, Tallinn, Pärnu mnt.10.
Rbl. 0.95

Trükivigu

Lk.	Rida	On	Peab olema
7	Tabel 2, lahter 1, 2.ülalt	Grafiit	Grafiit BH
19	8.aalt	Fluora- plast-4	Fluoro- plast-4
21	Tabel 7, lahter 3, 1.ülalt	0,0001	< 0,0001
21	Tabel 7, lahter 3, 3.ülalt	0,0001	< 0,0001
22	Tabel 8, viide	Tulemuste suur eri- nevus	x Tulemuste suur eri- nevus

861. 0.95

A
B-192

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00421605 9