tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA VII
MART '85
1

Nauka i tehnologija o prenosu i rasipanju masa i energije u mehaničkim sistemima

YU ISSN 0351-1642

GODINA VII
BROJ 1
MART 1985.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ПЕРЕДОВИЦА

B. IVKOVIĆ: Tribološka istraživanja smanjuju trošenje sredstava rada - Tribological research reduce machine tool and equipment wear - Трибологические исследования понижают расходование средств труда - - - - - - - - - - - - - - - 3

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

M. DJURDJANOVIĆ, M. NEDELJKOVIĆ: Prilog razmatranju primene frikcionog zavarivanja - One annex to consideration of application friction welding - К анализу применения сварки трением - 5

R. RAKIĆ: Prilaz odredjivanju triboloških svojstava maziva kod alatnih mašina na osnovu poznavanja njihovih fizičko-hemijskih karakteristika - Approach determine tribological properties lubricants of machine tools on base knowledge their physico-chemical characteristics - Подход к определению трибологических свойств смазок для металлообрабатывающих станков на основании знания их физико-хемических характеристик - 12

M. STEFANOVIĆ: Odredjivanje koeficijenta trenja pri dubokom izvlačenju - Determination of coefficient of friction in deep drawing - Определение коэффициента трения при глубокой вытяжке - 21

NOVOSTI
NEWS
ИЗВЕСТИЯ - 26

KNJIGE I ČASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ - 28

NAUČNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ - 30

REZIMEA
ABSTRAKTS
РЕЗЮМЕ - 30

B. IVKOVIĆ

Tribološka istraživanja smanjuju trošenje sredstava rada

Problemi trošenja sredstava rada (mašine, pribori, alati) u industriji u osnovi su problemi trošenja minulog rada koji je u sredstvima rada sadržan. Minuli rad kao deo ukupnog utrošenog rada prenosi se i opterećuje jedinicu proizvoda u količini koja je zavisna od produktivnosti proizvodnih procesa u celini. Veću ukupnu produktivnost rada moguće je postići samo smanjenjem utroška i minulog i živog rada po jedinici proizvoda.

U industriji prerade metala minuli rad koji se odnosi na sredstva rada (mašine, pribori, alati) učestvuje u ukupnom utrošenom radu po jedinici proizvoda obično izmedju 20 i 30% u zavisnosti od vrste proizvodnih procesa odnosno vrste sredstava rada koja se koriste pri realizaciji proizvodnje.

Opterećenje jedinice proizvoda minulim radom ove vrste zavisi od intenziteta trošenja sredstava rada i njihovog ukupnog veka trajanja. U javnosti su prisutne informacije o tome da sredstva rada, u vremenu u kome živimo, veoma brzo tehnološki zastarevaju tako da ih je neophodno menjati u relativno kratkim vremenskim intervalima, da bi se proizvodni procesi održali na visokom tehnološkom nivou odnosno da bi produktivnost rada bila na dovoljnoj visini. Pominje se često da je danas moguće dozvoliti da vek mašine bude najviše 5 godina a da u nekim industrijskim granama oprema mora da se zamenjuje već posle 2-3 godine. Preuveličavanja u ovom pravcu, po mišljenju autora ovog napisa ima dosta. Vek trajanja mašina alatki, na primer, koja čine osnovnu masu sredstava rada u industriji prerade metala kreće se i do 30 godina pri čemu se osnovna masa mašina alatki nalazi u dobu izmedju 10 i 20 godina starosti.

Najveća produktivnost rada i minulog i živog ostvaruje se danas u dve industrijski razvijene zemlje u svetu. To su: SAD i Zapadna Nemačka. U industrijama ovih zemalja na realizaciji proizvodnih procesa angažovane su mašine alatke (sredstva rada) sledećih doba starosti:

Zemlja	Starost mašine alatke			
	do 4 god.	od 5-9	od 10-19	preko 20
USA	10%	21%	35%	34%
Z.Nemačka	35%	30%	preko 35%	

Očigledno je da je dug vek trajanja mašina alatki u proizvodnim procesima u industriji prerade metala obe zemlje osnovna karakteristika ove vrste sredstava rada.

Dugi vek trajanja sredstava rada ove vrste pruža mogućnost proizvodnje veće količine proizvoda na njima što znači da će njihova ukupna vrednost odnosno minuli rad sadržan u njima biti prenesen na veći broj jedinica proizvoda. Drugim rečima, veći vek trajanja sredstava rada omogućava realizaciju proizvodnih procesa sa većom produktivnošću kroz smanjenje utroška minulog rada ove vrste po jedinici proizvoda.

Duži vek trajanja sredstava rada (mašine, pribori, alati) moguće je ostvariti samo obezbedjivanjem dovoljno informacija za upravljanje procesima trenja i habanja na elementima osnovnih tribo-mehaničkih sistema kojima se u sredstvima rada vrši prenos snage i kretanja, vodjenje elemenata, prenos informacija, ali i realizacija procesa obrade materijala.

Upravljanje procesima trenja i habanja u osnovnim tribo-mehaničkim sistemima zahteva poznavanje triboloških karakteristika njihovih elemenata u uslovima u kojima tribo-mehanički sistemi funkcionišu. Pod ovim se podrazumeva ne samo sredina u kojoj tribo-mehanički sistem egzistira već i režim rada odnosno opterećenje, brzine, temperature, itd.

Do karakteristika elemenata tribo-mehaničkih sistema kao i do uticaja pojedinih faktora koji definišu uslove pod kojima se kontakt izmedju elemenata u tribo-mehaničkim sistemima stvara moguće je doći samo sistematskim tribološkim istraživanjem. Rezultati ovih istraživanja svrstavaju se u tzv. tribološke banke podataka pomoću kojih se vrši upravljanje procesima trošenja sredsta-

va rada u industrijskim sistemima. Poznavanjem uticaja pojedinih faktora kojima su definisani uslovi pod kojima se proces proizvodnje razvija na intenzitet trošenja odnosno vek trajanja sredstava rada omogućava realno prognoziranje njihovog veka trajanja i odredjivanje realne amortizacione stope.

Triboloških istraživanja, nažalost, ima veoma malo u našoj zemlji i to kako u industriji tako i na univerzitetima i institutima. U jednom od prethodnih brojeva časopisa TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI naveden je podatak o broju istraživačkih projekata iz oblasti tribologije koji su se izvodili na većem broju inženjerskih škola (univerziteta) u Americi u 1984. godini. To je samo mali deo ogromnog programa istraživanja u oblasti tribologije u Americi u kojoj se borba za veću produktivnost rada (minulog i živog) vodi veoma oštro već nekoliko godina a posebno je intenzivirana od 1980. godine kada je shvaćeno da druge industrijske zemlje sve brže prilaze nivou produktivnosti američke industrije.

U domaćoj industriji, bez obzira na pad produktivnosti koji se već nekoliko godina javlja, bitka za veću produktivnost rada još uvek nije ni počela što je sigurno i osnovni razlog zbog koga se ne pojavljuje potreba za rezultatima istraživanja i znanja iz oblasti tribologije.

Razvoj triboloških istraživanja uslovljen je, pre svega, postojanjem odgovarajućeg istraživačkog kadra osposobljenog za istraživanja u ovoj oblasti. Posledipломske studije iz oblasti tribologije traju već više od jedne decenije na Mašinskim fakultetima u Kragujevcu, Beogradu i Zagrebu, a već više godina i na Strojarskom fakultetu u Ljubljani. Broj kandidata na ovim studijama je relativno mali zbog čega i školovanih kadrova za istraživanja u oblasti tribologije imamo još uvek veoma malo. U ovom pravcu je očigledno potrebno učiniti značajan napor na prevazilaženju postojećeg stanja.

Drugi uslov za razvoj triboloških istraživanja odnosi se na istraživačku opremu u kojoj se pored standardne merne, odnosno istraživačke instrumentacije, nalaze i specijalni istraživački uredjaji - tribometri različitih vrsta. Standardne istraživačke instrumentacije za istraživanja u oblasti tribologije ima relativno dovoljno u laboratorijama i instituta i fakulteta, medjutim, tribometara različitih vrsta je još uvek veoma malo, a nekih neophodnih specifičnih uredjaja ove vrste uopšte nema.

Oba navedena uslova za razvoj tribološkog istraživanja mogli bi da budu zadovoljeni u narednim godinama ako bi se u industriji povela borba za porast produktivnosti rada i to ne samo živog već i minulog. Veća produktivnost rada odnosno veći društveni proizvod po zaposlenom moguće je ostvariti u godinama koje dolaze dobrim delom smanjenjem utroška minulog rada po jedinici proizvoda koji je u domaćoj industriji nagomilan u ogromnim količinama u sredstvima rada svih vrsta. Neophodnost razvoja pokreta za veću produktivnost rada daje realnu nadu da će i tribološka istraživanja u narednom periodu dobiti u intenzitetu i obimu.

UDK: 621.791.76

M. ĐURĐANOVIĆ, M. NEDELJKOVIĆ

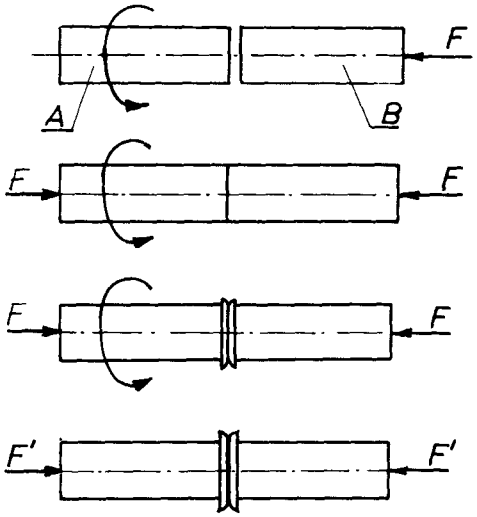
Prilog razmatranju primene frikcionog zavarivanja

Jedan od najekonomičnijih vidova zavarivanja u čvrstoj fazi jeste zavarivanje trenjem ili frikciono zavarivanje, čija se fizička suština zasniva na korišćenju toplote koja se pri frikciji oslobadja na tarnim površinama. Naime, toplotna energija koja nastaje transformacijom mehaničke na mestima realnog fizičkog kontakta elemenata koji se taru može da se generiše u količini koja omogućuje povišenje temperature materijala u zoni dodira do blizu tačke topljenja. Kondukcijom se tako oslobodjena toplota prenosi od površine u dubinu frikcionih elemenata čime se povećava plastičnost materijala a time olakšava formiranje zavarenog spoja. Iz činjenice da se na ovaj način dobijena toplota oslobadja na mestu gde se neposredno i koristi i da je njeno dejstvo lokalizovano na relativno mali sloj materijala, slede i karakteristike frikcionog zavarivanja koje ga svrstavaju u red najekonomičnijih i, u poslednje vreme, sve više korišćenih načina ostvarivanja zavarenih spojeva u mnogim granama industrije.

U ovom radu će biti reči o mogućnostima i prednostima frikcionog zavarivanja sa posebnim osvrtom na trenutno stanje u njegovoj primeni i razlozima koji tu primenu u još širem obimu ograničavaju, a isto tako i o tendencijama daljeg razvoja i usavršavanja ove tehnologije.

PRINCIP FRIKCIONOG ZAVARIVANJA

Principijelno, ostvarivanje zavarenog spoja pomoću trenja je veoma jednostavno i sastoji se u sledećem. Deo *A* koji je čvrsto stegnut u glavi mašine i koji treba da se zavari sa delom *B*, vrši rotaciono kretanje oko zajedničke ose, dok je deo *A* fiksiran i može, zajedno sa steznom glavom u kojoj se nalazi, aksijalno da se pomera pod dejstvom osne sile, kako je šematski prikazano na sl. 1. U trenutku kada ovi elementi dodju u kontakt, na njihovim dodirnim površinama usled rada sile trenja nastaje intenzivno oslobadjanje toplote i oni se zagreva-

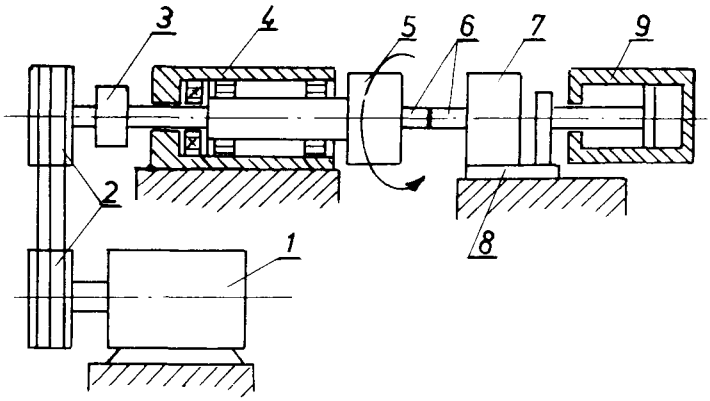


Sl. 1. - Principijelna šema zavarivanja trenjem

ju. To zagrevanje traje sve dok se materijalu ne povisi temperatura do blizu tačke topljenja kada prestaje dalje obrtanje dela *A* pa samim tim i dalje generisanje toplote. Iza toga oba elementa bivaju, najčešće, kratkotrajno pritisnuta nešto povećanom osnom silom a onda se rasterećuju, vade iz mašine i hlade. Pri tome, usled dejstva pritisne osne sile, deo materijala izlazi u radijalnom pravcu formirajući na spojnom mestu karakterističan prsten, ili okovratnik, koji se može kasnijom obradom ukloniti.

Tehnološki gledano, postoje različite varijante ostvarivanja rotacionog kretanja elemenata koji se zavaruju (mogu oba da rotiraju u suprotnom ili istom smeru, ili oba stoje, a treći izmedju njih da rotira), ali je prikazani način najjednostavniji i najčešće primenjivan u praksi.

Analogno ovome, i mašine za zavarivanje trenjem su u principu takodje jednostavne. Na sl. 2. prikazana je



Sl. 2. - Konstruktivno-kinematička šema mašine za zavarivanje trenjem: 1-motor, 2-frikcioni prenosnik, 3-spojnica, 4-kućište menjača brzina, 5-rotaciona glava, 6-elementi koji se zavaruju, 7-aksijalno pokretna glava, 8-postolje mašine, 9-hidraulični cilindar

konstruktivno kinematička šema jedne takve mašine sa koje je potpuno jasan način njenog funkcionisanja.

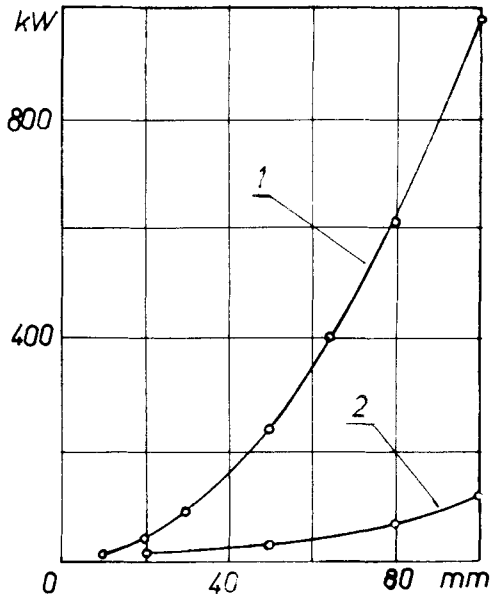
OSNOVNE KARAKTERISTIKE FRIKCIONOG ZAVARIVANJA

Frikciono zavarivanje ima niz preimućstava u odnosu na druge mnogo rasprostranjenije metode zavarivanja u čvrstoj fazi.

Visoka proizvodnost frikcionog zavarivanja javlja se kao posledica potrebe za zagrevanjem malog sloja materijala. Interval zagrevanja ovde traje, zavisno od termofizičkih svojstava materijala i dimenzija poprečnog preseka, od nekoliko sekundi do pola minuta. Sa te tačke gledišta sa ovim vidom zavarivanja može da se poredi jedino elektrokontaktno zavarivanje.

Mali utrošak snage i energije je takodje posledica potrebe za zagrevanjem male količine materijala i činjenice da se toplota neophodna za zavarivanje stvara upravo na mestu gde se i koristi, pa kako nema posebnih prenosilaca energije - to su i gubici utoliko manji. Energetska karakteristika frikcionog zavarivanja je veoma visoka: utrošak energije je 5 do 10 puta manji nego pri elektrokontaktnom zavarivanju koje inače važi kao jedno od najekonomičnijih uopšte. Radi ilustracije na sl. 3. je prikazan dijagram utroška energije za zavarivanje punih elemenata istih prečnika elektrokontaktno i trenjem.

Visok kvalitet zavarenog spoja je jedna od najvažnijih karakteristika ovog vida zavarivanja. Ako se pravilno izabere režim rada, onda materijal na spoju i zonama oko njega ima svojstva čvrstoće i plastičnosti veoma bliska osnovnom materijalu. Ovakva mehanička svojstva pri frikcionom zavarivanju nastaju uglavnom iz dva razloga. Prvo, oksidne opne, maziva kao i druge nečistoće kojih na realnim površinama metala uvek ima, pod dejstvom osne pritisne sile izlaze zajedno sa izvesnom količinom materijala izvan zone zavara, u okovratnik, te ih unutar spoja nema. Pored toga, način kontakta površina pri frikcionom zavarivanju ne pogoduje naknadnom stvaranju oksida. Naime, s obzirom da se radi o kontaktu apsolutno čistih površina, na mestu spoja pored oksidnih opni, ne može da egzistira ni šljaka niti bilo kakva druga nečistoća, šupljina ili mikronepravilnosti kojih kod drugih vidova zavarivanja uvek ima. Drugi razlog se sastoji u tome što u samom varu i zoni termičkog uticaja oko njega, struktura metala postaje sitnozrnastija u poredjenju sa osnovnim materijalom. Takva struktura nastaje kao posledica lokalnog zagrevanja male zapremine materijala i velike brzine hladjenja uz istovremeno dejstvo visokog pritiska (pritisak se kreće i do 500 bara).



Sl. 3. - Utrošak energije pri zavarivanju istih elemenata punog poprečnog preseka: 1 - elektrokontaktno, 2-trenjem

Stabilnost svojstava zavarenog spoja, kao što su zatezna čvrstoća, ugao savijanja i dr. jeste važna odli-

ka frikcionog zavarivanja. Brojne vrednosti ovih veličina se, i bez naknadne obrade zavarenog spoja, ne menjaju više od 5 do 10%, što nije slučaj kod drugih vidova zavarivanja. Ova pojava se objašnjava stabilnošću osnovnih parametara procesa - brzine, pritiska i vremena zagrevanja, odnosno veličine skraćenja ili deformacije. Na taj način je i uticaj ovih, tzv. spoljašnjih, faktora zavarivanja na stabilnost svojstava zavarenog spoja veoma mali.

Svojstvo stabilnosti mehaničkih karakteristika zavarenog spoja u savremenim uslovima proizvodnje je veoma važno i sa stanovišta kontrole kvaliteta izrade: dovoljno je samo nekoliko puta u toku procesa rada izvršiti kontrolu pa da se dobije sasvim pouzdana slika kvalite - ta.

Mogućnost zavarivanja elemenata sa neobradjenim površinama. Naime, pri zavarivanju trenjem površine delova po kojima se vrši spajanje ne moraju prethodno posebno da se čiste i pripremaju: na njima mogu da budu prisutne i nečistoće, oksidi, itd. pa da se zavarivanje nesmetano i kvalitetno izvede, što je jasno iz prethodnog izlaga - nja. Na taj način prethodna priprema delova za zavarivanje nije neophodna pa su moguće i znatne uštede u vremenu.

Mogućnost zavarivanja metala i legura sa različitim termofizičkim karakteristikama. Ispitivanja su pokazala da je moguće ostvariti kvalitetan zavareni spoj ne samo izmedju istorodnih nego i izmedju, po karakteristikama , veoma različitih materijala. Neki od njih se isključivo frikcijom mogu kvalitetno da zavare. Tako je, na primer, moguće zavariti aluminijum sa čelikom, bakar sa čelikom, titan sa aluminijumom, austenitne i perlitne čelike,itd. U tabeli 1. dat je pregled zavarljivosti nekih materijala tehnologijom frikcionog zavarivanja.

TABELA 1. - Pregled zavarljivosti nekih materijala primenom frikcionog zavarivanja: [x] - potpuno zavarljiva kombinacija sa zadovoljavajućim svojstvima zavarenog spoja; [●]- ograničeno zavarljiva kombinacija; [○] - moguća je zavarljivost; [ ] - nemoguće ili nije pokušano zavarivanje

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	X	X	X	X			X		X	X			X	X							X	●	X		X			X			X				
2	X	X	X	X			X		●	●											●	●			X										
3	X	X	X	●			●								X				○			X			X										
4	X	X	●	X															X	●		X	●		X										
5					X																	X	X								●				
6						X											X				X	X	X		X										
7	X	X	●														X				X	X			X						●		○		
8								X																											
9	X	●							X	X																		X							
10	X	●							X	X											●														
11											X												●			●		X							
12												X									X	X	X												
13	X																		X		X	X	X					X							
14	X																				X		●			X									
15			X																																
16																					●		X								●				
17						X	X																					X							
18																		○																	
19			○	X									X						X				X		X										
20				●																X	X	X	X	X	X										
21	X	●				X	X			●		X	X	X		●				X	X	X	X	X	X	●		●		●	X				
22	●	●	X	X	X	X	X					X	X							X	X	X	X	X	X			●						X	X
23	X			●	X	X					●	X	X	●		X			X	X	X	X	X	X	X			●			●			X	
24																				X	X	X	X	X	X								○	X	
25	X	X	X	X		X	X												X	X	X	X	X	X	X			●			●		●	●	
26											●			X							●					X		X							
27																											○								
28	X								X		X		X				X				●	●	●		●	X		X							
29																													○						
30																					●														
31	X				●		●									●					X		●		●										
32																																X			
33							○																	○	●								X		
34																						X	X	X	●										
35																						X													X

OZNAKE MATERIJALA: 1-Al, 2-legure Al, 3-mesing, 4-bronza, 5-Co, 6-legure Cu-Ni, 7-Cu, 8-Pb, 9-Mg, 10-legure Mg, 11-Mo, 12-monel metal, 13-Ni, 14-nimonik, 15-invar (legura Fe-Ni), 16-Nb, 17-Ag, 18-legure Ag, 19-čeličnl liv, 20-specijalni čelici, 21-nerdjajući čelici, 22-ugljenični čelici, 23-legirani čelici, 24-alatni čelici, 25-nelegirani čelici, 26-Ta, 27-Th, 28-Ti, 29-U, 30-V, 31-Zr i njegove legure, 32-W, 33-oksid Cd, 34-karbidi pojedinih metala, 35-sinterovani materijali.

Pored navedenih karakteristika frikcionog zavarivanja, treba istaći i njegovu apsolutnu higijeničnost (nema nikakvih štetnih zračenja, isparenja, itd.) kao i mogućnost potpune automatizacije procesa što za velikoserijsku i masovnu proizvodnju ima izuzetan značaj.

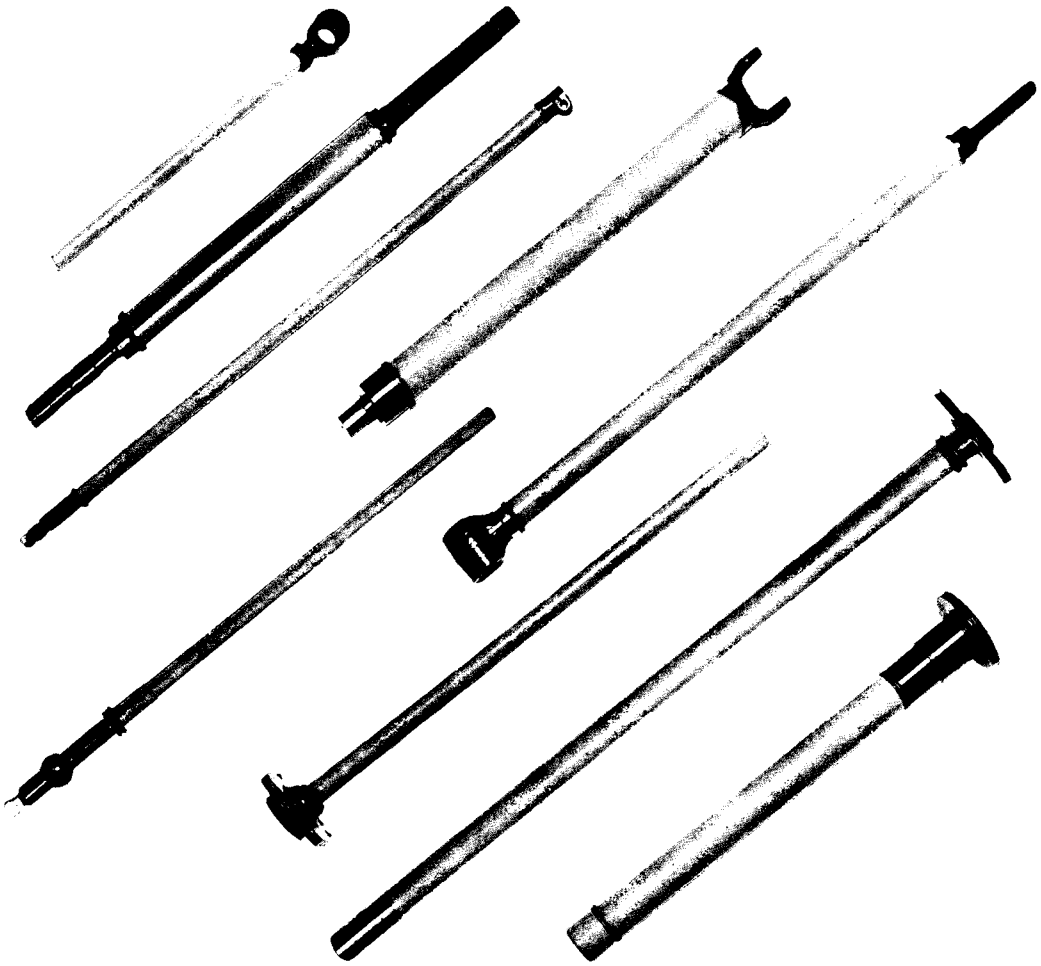
ANALIZA STANJA U PRIMENI FRIKCIONOG ZAVARIVANJA

Oblast primene i oblici frikcionog zavarivanja

Najefektivnija primena frikcionog zavarivanja je pri izradi delova u kombinacijama zavareno-kovanih, zavareno-livenih i zavareno-presovanih elemenata, pri čemu se ostvarivanjem bimetalnih i trimetalnih spojeva može postići veoma velika ušteda u materijalu. Tako, na primer pri izradi reznog alata samo radni deo je načinjen od kvalitetnog materijala i on se frikcionim zavarivanjem spaja sa držačem alata koji je izradjen od konstruktivnog čelika; pri izradi ventila za motore s unutrašnjim sagorevanjem - glave ventila se kuju od kvalitetnog pa se frikcijom zavaruju za telo od konstruktivnog čelika; pri izradi vratila za menjače brzina, zupčanici se izradjuju od legiranog čelika pa se frikcionim zavarivanjem spajaju sa telom koje je od manje kvalitetnog materijala, itd. (Na sl. 4. prikazani su neki delovi koji se koriste u autoindustriji dobijeni primenom frikcionog zavarivanja). Na ovaj način ne samo što se postiže ušteda u materijalu nego se i proces proizvodnje ubrzava, što pogoduje naročito velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji, kakve su industrija motornih vozila , proizvodnja reznih alata, izrada alata za drvnu industriju, itd. Naravno, primena frikcionog zavarivanja nije vezana samo za velike serije proizvoda, već naprotiv - njegove su karakteristike takve da se ono veoma dobro i efikasno može da primeni i pri malim serijama.

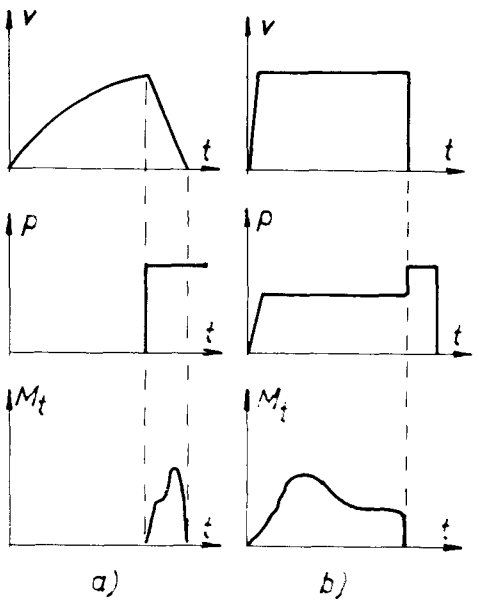
Korišćenje procesa frikcije za ostvarivanje zavarenih spojeva dovelo je do nekoliko načina zavarivanja trenjem. To su obično zavarivanje trenjem, koje se najviše primenjuje i na koje se odnosi dosadašnje izlaganje, zatim inerciono frikciono zavarivanje i orbitalno frikciono zavarivanje. Iako izmedju njih nema principijelne razlike, zahvaljujući isključivo posebnim konstruktivnim rešenjima pojedinih sklopova i delova mašina za zavarivanje, primenom inercijalnog i orbitalnog frikcionog zavarivanja može da se dobije nešto kvalitetniji spoj, a orbitalnim zavarivanjem je još moguće i izvestan broj necilindričnih delova.

Inercionalnim zavarivanjem dobijaju se kvalitetniji zavareni spojevi naročito kod teško zavarljivih metala i legura, što proizilazi iz činjenice da se na ovaj način postiže generisanje maksimalne specifične toplotne snage na mestu spajanja. Samim tim kod inercionog zavarivanja dolazi do izvesnog smanjenja ukupne energije i do skraćenja vremena zavariva-



Sl. 4. - Neki od delova koji se koriste u autoindustriji dobijeni primenom frikcionog zavarivanja

nja što se može zaključiti poredjenjem ciklograma običnog i inercionog zavarivanja, prikazanih na sl. 5.



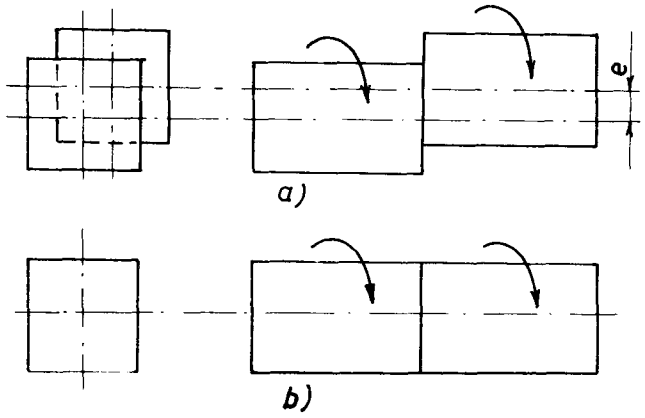
Sl. 5. - Ciklogrami a) inercionog i b) običnog frikcionog zavarivanja

Inerciono zavarivanje, medjutim, ima dosta mana. Izmedju ostalog, njegova primena zahteva obaveznu pripremu delova što znatno utiče na proizvodnost. U suprotnom, javlja se zaostajanje oksida i nečistoća u spoju te se kvalitet vara pogoršava a stabilnost svojstava vara naglo opada.

Realizacija procesa inercionog zavarivanja moguća je odgovarajućom konstrukcijom mašine za zavarivanje. Za razliku od mašina za obično zavarivanje, na vratilu rotacione glave kod ovih mašina nalazi se zamajac, a vratilo je elastičnom spojnicom povezano sa motorom. U trenutku kada se akumulira odredjena količina energije (definisana istim parametrima kao kod običnog zavarivanja) vratilo motora se isključuje, a delovi koji se zavaruju dovode se u kontakt pa se zavarivanje obavlja posredstvom energije akumulirane u zamajcu.

Iako je ovaj način frikcionog zavarivanja novijeg datuma (1971.), on je već dobio industrijsku primenu, posebno u SAD i Japanu, a njegovi optimalni tehnološki parametri tek treba da se odrede.

Pri orbitalnom frikcionom zavarivanju, za razliku od običnog, rotacioni element se ne okreće oko zajedničke ose već mu se osa kreće po kružnoj putanji, tzv. orbiti, oko ose nerotirajućeg elementa, neprestano smanjujući radijus orbite do nule, kako je prikazano na sl. 6. U trenutku kada se ose elemenata poklope, generisana je dovoljna količina toplote i elementi se, budući da su koaksijalni, fazom prokivanja spajaju, kako se radi



Sl. 6. - Principijelna šema orbitalnog frikcionog zavarivanja: a) period zagrevanja; b) period prokivanja; e - radijus orbite

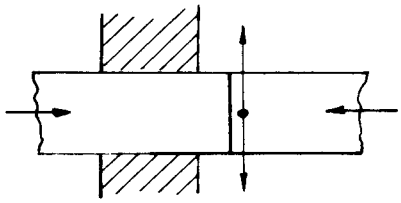
i kod običnog frikcionog zavarivanja. Treba naglasiti da se kod orbitalnog zavarivanja najčešće oba elementa rotaciono kreću čime se utiče na smanjenje vremena zavarivanja.

Postupkom orbitalnog zavarivanja moguće je eliminisati neke nedostatke kojih kod običnog zavarivanja ponekad ima, kao što je prstenasta neproverenost, ali je njegova najveća prednost u tome što omogućuje zavarivanje delova čiji presek nije kružni. Medjutim, mašine za orbitalno zavarivanje su veoma složene konstrukcije, pa zato i skupe, te za ulaganja u njih treba imati posebne razloge.

Mnogi bolji rezultati u pogledu zavarivanja neokruglih delova postižu se primenom najnovijeg postupka frikcionog zavarivanja, tzv. zavarivanja vibrotrenjem, čija je principijelna šema prikazana na sl. 7. Kod ovog postupka jedan od elemenata koji se zavaruju je fiksiran i miruje dok drugi vrši translatorno kretanje sa malim amplitudama i velikim frekvencama. Kako se pokazalo, na ovaj način se može generisati toplota u količini koja je dovoljna za formiranje kvalitetnog zavarenog spoja.

Zavarivanje vibrotrenjem je veoma pogodno za spajanje elemenata malih dimenzija, pri čemu je vreme zavarivanja veoma kratko. Na primer pri zavarivanju elemenata od bakra preseka 0,5 mm (frekvenca 22 *kHz*, amplituda 6 *μm*, pritisak 100 *daN*) utroši se 0,63 sekunde.

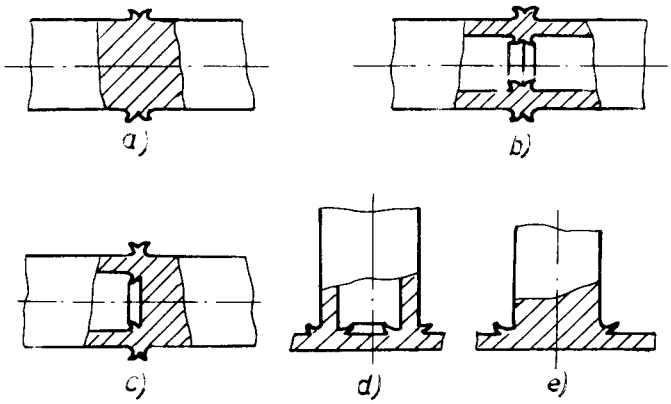
C P R



Sl. 7. - Principijelna šema frikcionog zavarivanja vibrotrenjem

Oblici i dimenzije zavarivanih elemenata

Ako se izuzmu pojedinačni slučajevi ostvarivanja neobičnih formi, pomoću običnog frikcionog zavarivanja, s obzirom da kretanje bar jednog od zavarivanih elemenata mora da bude rotaciono, kvalitetni spojevi se mogu dobiti jedino njegovom primenom kod zavarivanja delova punog i cevastog poprečnog preseka medjusobno i u njihovim kombinacijama sa drugim elementima koji imaju ravne površine na mestu gde treba da se zavaruju, kako je prikazano na sl. 8. Postoji veoma ograničen broj slučajeva kada je moguće medjusobno zavariti i elemente drugačijeg oblika preseka. To je izvodljivo samo onda kada ne treba voditi računa o uzajamnom položaju njihovih spoljašnjih ili unutrašnjih gabaritnih formi. S obzirom da su takvi slučajevi izuzeci, sa tog stanovišta se može zaključiti da ovaj vid zavarivanja, strogo uzevši, nije univerzalan, a ograničenje koje iz ovoga proizilazi može se uslovno nazvati "geometrijskim ograničenjem". Mogućnost šire industrijske primene frikcionog zavarivanja nije ograničena samo formom elemenata koji se zavaruju nego i veličinom površine njihovog poprečnog preseka. Naime, ekonomičnost običnog zavarivanja trenjem o kojoj je ranije govoreno, opada kada se zavaruju delovi čije su površine preseka velike. Na primer, ako je površina preseka 30.000 mm^2, što odgovara prečniku punog profila od oko 200 mm, za kvalitetno zavarivanje elemenata od niskougljeničnog čelika takvih dimenzija potrebna je mašina sa snagom motora od oko 500 kW i osnim pritiskom od oko 3000 *kN*. Ne ulazeći u probleme konstruktivne prirode, kao što je na primer pravovremeno zaustavljanje rotacione glave, sama njena eksploatacija ne bi za sada bila celishodna s obzirom na mogućnosti drugih vidova zavarivanja u datom slučaju; frikcionim zavarivanjem bi se utrošilo više energije nego primenom nekog drugog vida. Veličina poprečnog preseka na taj način prouzrokuje drugo ograničenje koje se može nazvati "energetskim", s obzirom na prirodu teškoća koje izaziva.



Sl. 8. - Tipovi spojeva koje je moguće dobiti primenom frikcionog zavarivanja: a) puni čeono zavareni elementi, b) cevni čeono zavareni elementi, c) puni i cevni čeono zavareni elementi, d) i e) T-spoj cevnog i punog sa ravnim elementom

Na sadašnjem stepenu razvoja tehnologije frikcionog zavarivanja optimalni dijapazon površina preseka zavarivanih elemenata se kreće od 0,4 do 21.370 mm^2, što odgovara dijapazonu prečnika punih elemenata od oko 0,7 do 165 mm.

Medjutim, uprkos opisanim ograničenjima (ograničenja koja proizilaze od dužine elemenata su sekundarna), u prilog sve većoj primeni frikcionog zavarivanja - pored iznetih prednosti - govori i činjenica da čak 50 do 79% delova koji se u industriji medjusobno spajaju zavarivanjem ima takav oblik i dimenzije i tako se medjusobno spajaju da je moguće primeniti obično frikciono zavarivanje. To je jedan od razloga što se ovaj vid zavarivanja u poslednje vreme sve češće sreće u industriji. U našoj zemlji je prvi put primenjeno u Fabrici reznog alata u Cačku 1966. godine, a danas se koristi u Jugoalatu u Novom Sadu, Fabrici alata u Trebinju, Prvom partizanu u T. Užicu, Simosu u Kopru i dr.

ZAKLJUČAK

Zahvaljujući jednostavnosti postupka, visokoj produktivnosti i ekonomičnosti, frikciono zavarivanje je za relativno kratko vreme (od 1958. godine) steklo punu afirmaciju kao posebno značajan i produktivan vid zavarivanja u čvrstoj fazi. Za industrijsku proizvodnju je veoma važno što se pomoću njega mogu medjusobno zavarivati mnogi po termofizičkim svojstvima različiti materijali. Neki od njih se isključivo frikcijom kvalitetno spajaju.

Ozbiljan nedostatak frikcionog zavarivanja predstavljaju teškoće do kojih dolazi usled nemogućnosti njegove primene na sve oblike i sve dimenzije poprečnih pres-

eka zavarivanih elemenata. Upravo u pravcu eliminisanja ovih, geometrijskih i energetskih, ograničenja idu težnje istraživača u ovoj oblasti. U tom pogledu je energetsko ograničenje - sa tehnološkog i konstruktivnog aspekta - teži problem s obzirom na to da se u pogledu eliminisanja geometrijskog ograničenja (iako za sada u uskom opsegu dimenzija) za orbitalnog, a naročito od zavarivanja vibrotrenjem, ubuduće može više očekivati.

LITERATURA

|1| ВИЛЛЬ, В. И., Сварка металлов трением, Ленинград, Машиностроение, 1970.

|2| SCHOBER D., Entwicklungsrichtungen auf dem Gebeit des Reibschweisens, Mitteilungen, No 1,1975.

|3| JUG, B., Zavarivanje trenjem, zavarivanje, No1,1975.

|4| Prospekti proizvodjača mašina za zavarivanje trenjem KUKA, THOMPSON, SCYAKI.

|5| ЛЕБЕДЕВ, К.В. и др., Инерционная сварка трением низкоуглеродистой стали, Автоматическая сварка, Но 7, 1980.

|6| ВОИНОВ, П.В. и БОЛДЫРЕВ, Н.Р., Некоторые варианты сварки трением, Сварочное производство, Но 10, 1973.

|7| СОКОЛОВСКОЙ, М.В. и др., Сварка трением - один из путей экономии металла, Сварочное производство, Но 9, 1977.

|8| DJURDJANOVIĆ, M., Zavarivanje trenjem pri dejstvu impulsa struje visoke frekvence, magistarski rad, Ljubljana 1982.

Mr MIROSLAV DJURDJANOVIĆ, dipl. maš. inž., rodjen je 1940. god. Diplomirao je na Mašinskom fakultetu u Nišu 1970. a magistrirao na Strojniškom fakultetu u Ljubljani. Radio je u Mašinskoj industriji MIN u Nišu, a sada je predavač na Mašinskom fakultetu u Nišu.

PRODUKTIVNOST U INDUSTRIJI

kod nas i u svetu

Da li ste se pretplatili na novu publikaciju?

CENTAR ZA PRODUKTIVNOST RADA

Mašinski fakultet
Kragujevac
Ul. Sestre Janjić br. 6
Tel.: 034/67-500

UDK: 621.91.07.004.1

R. RAKIĆ

Prilaz određivanju triboloških svojstava maziva kod alatnih mašina na osnovu poznavanja njihovih fizičko-hemijskih karakteristika

UVOD

Mazivo, koje je praktično uvek prisutno u zoni ostvarivanja kontakta između dva elementa tribo-mehaničkog sistema, ima dva osnovna zadatka. Prvi zadatak je da odvede toplotu, koja se stvara u procesu trenja, a drugi da potpuno ili delimično razdvoji kontaktne površine elemenata u dodiru i na taj način smanji otpore kretanja, odnosno smanji trenje.

Svaki tribo-mehanički sistem alatnih mašina može da obavlja svoju funkciju uz prisustvo različitih triboloških svojstava maziva. Medjutim, od triboloških svojstava maziva zavisi otpornost na habanje elemenata tribo - mehaničkih sistema, zastoji, vek trajanja, a time i pouzdanost istih.

Osnovna koncepcija autora u ovom radu je verifikacija pretpostavke da će skup fizičko-hemijskih i performansnih karakteristika dati odgovarajuća tribološka svojstva maziva, izražena preko veličine S koje karakterišu vrstu i kvalitet maziva. Kod iznalaženja metodike ispitivanja triboloških svojstava maziva u proizvodnim uslovima rada, autor je prevashodno pretpostavio grupe maziva definisane standardima, a ne definisane od strane proizvodjača maziva.

Ovaj rad je deo doktorske disertacije kandidata prijavljene na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu pod nazivom: *"Prilog istraživanju pouzdanosti mašine alatki u funkciji triboloških svojstava maziva"*.

MAZIVA U TRIBO-MEHANIČKIM SISTEMIMA ALATNIH MAŠINA

Medjunarodnim, nacionalnim i drugim standardima izvršene su klasifikacije maziva, tako da maziva odgovarajućih vrsta moraju da imaju propisane fizičko-hemijske karakteristike. Medjutim, svi ovi standardi nikada ne propisuju i tribološke karakteristike maziva. Propisivanje triboloških svojstava maziva s jedne strane je vrlo složeno, a sa druge strane je ono u direktnoj zavisnosti od uslova pod kojima se kontakt ostvaruje u tribo - mehaničkim sistemima, kao i prirode materijala elemenata u kontaktu.

Raznovrsnost uslova pod kojima se kontakt u tribo-mehaničkim sistemima alatnih mašina ostvaruje, uslovljava i potrebu za veoma različitim osobinama maziva za podmazivanje.

U tribo-mehaničkim sistemima alatnih mašina se uglavnom koriste maziva u tečnom stanju (industrijska ulja) i maziva u polučvrstom stanju (industrijske mazive masti).

Podela industrijskih ulja sa gledišta primene u tribo-mehaničkim sistemima mašina alatki izgleda:

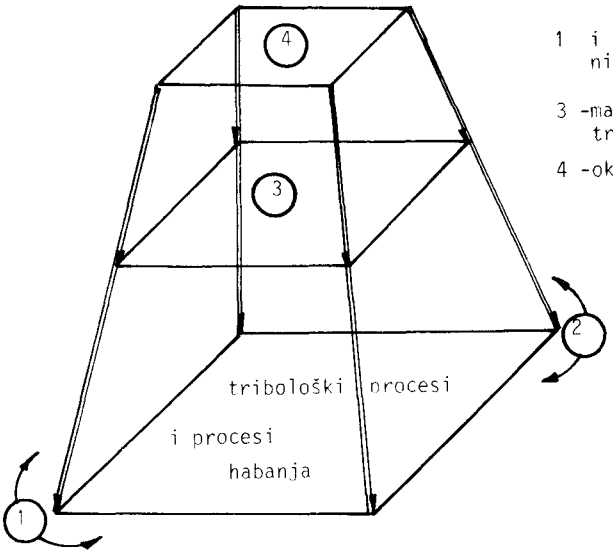
- ležišna ulja po JUS B.H3.402-407 (tehnički prevazidjena ulja),
- cirkulaciona ulja po JUS B.H3.230,
- hidraulična HD ulja po JUS B.H3.120-128,
- ulja za klizne staze, van JUS-a,
- hidraulična ulja velike prionljivosti, van JUS-a,
- specijalna hidraulična ulja po JUS B.H3.280 (predlog),
- specijalna industrijska ulja za mašine alatke (u SFRJ se za sada ne proizvode).

Druga prisutna vrsta maziva u tribo-mehaničkim sistemima mašina alatki su industrijske mazive masti. Sa aspekta primene kod mašina alatki dele se na:

- masti za ležajeve (kalcijeve masti) po JUS B.H3.656,
- višenamenske masti (litijske masti) po JUS B.H3.634,
- masti za visoke pritiske (litijske masti sa EP dodacima) po JUS B.H3.624,
- masti sa molibdendisulfidom (litijske masti sa M_oS_2) po JUS B.H3.666,
- specijalne industrijske masti za mašine alatke (u SFRJ se za sada ne proizvode).

PREDLOG METODE ZA DEFINISANJE TRIBOLOŠKIH SVOJSTAVA MAZIVA NA OSNOVU POZNAVANJA FIZIČKO-HEMIJSKIH KARAKTERISTIKA

Uzajamno delovanje elemenata u tribo-mehaničkom sistemu je autor predstavio u trodimenzionom prostoru kako je prikazano na sl. 1.



1 i 2 -elementi tribo-mehaničkog sistema

3 -mazivo,kao treći elemenat tribo-mehaničkog sistema

4 -okolina(sredina)

Sl. 1. - Uzajamno delovanje elemenata tribo-mehaničkog sistema predstavljeno u trodimenzionalnom prostoru

Svojstva elemenata tribo-mehaničkog sistema dele se u dve grupe:

- karakteristike koje govore o geometrijskim, fizičko-hemijskim i strukturnim osobinama elemenata,
- karakteristike koje govore o mikro-geometriji kontaktnih površina i strukturnim osobinama kontaktnih elemenata 1 i 2.

Predmet autorovog istraživanja su tribološka svojstva maziva, elementa 3 tribo-mehaničkog sistema izražena veličinom, koja karakteriše vrstu i kvalitet maziva,koja prema autorovoj ideji ima sledeće oznake:

$S = 0/1,1,2,3,3/4,4,5,...,$

sa napomenom da je

- oznaka maziva beskonačnih triboloških svojstava teorijska pretpostavka kontakta bez triboloških procesa.

Da bi moglo da se govori o tribološkim svojstvima maziva, osnovno je razmotriti pravu ulogu podmazivanja. Podmazivanje ima za cilj da razdvoji kontaktne površine i da na taj način smanji trenje i habanje kontaktnih slojeva u tribo-mehaničkim sistemima. Način podmazivanja i uticaj podmazivanja na razvoj triboloških procesa,zavisi od vrste sredstava za podmazivanje i od debljine sloja maziva, koji se nalazi izmedju kontaktnih površina.Način podmazivanja može biti razvrstan najbolje pomoću poznate Stribeck-ove krive.

Danas je prihvaćeno da Stribeck-ova kriva reprezentruje opšte karakteristike podmazivanja u tribo-mehaničkim sistemima u kojima se jedan elemenat kreće po drugom. U zavisnosti od geometrije kontakta, materijala predmeta u kontaktu, uslova rada pod kojima se kontakt ostvaruje i debljine sloja maziva, razlikuju se tri osnovna režima podmazivanja i to:

- granično podmazivanje,
- mešovito podmazivanje,
- hidrodinamičko podmazivanje.

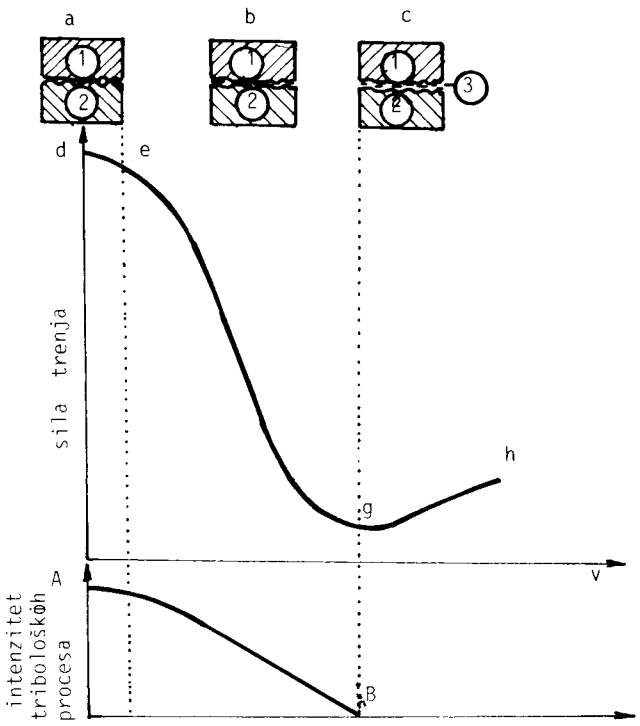
Koliko su bitna tribološka svojstva maziva na veličinu sile trenja, a posebno na intenzitet triboloških procesa i procesa habanja se najbolje vidi preko navedenih krivih (sl. 2)

Prema sl. 2, kada elementi mašina miruju ($n = 0$, $v = 0$), delovi koji prenose silu nalaze se u dodiru, u medjusobno uzubljenim hrapavostima (položaj a) i to je područje graničnog trenja Usled kretanja i uticaja maziva dolazi do postepenog rastavljanja medjusobno uzubljenih površina (položaj b) i to je područje mešovitog trenja. U daljem toku kretanja pojavljuje se nova sila, koja izaziva prevazilaženje mešovitog trenja. To je hidrodinamički mazivi klin (položaj c), koji deluje proporcionalno unutrašnjem trenju, odnosno viskozitetu maziva, kao i brzini v.

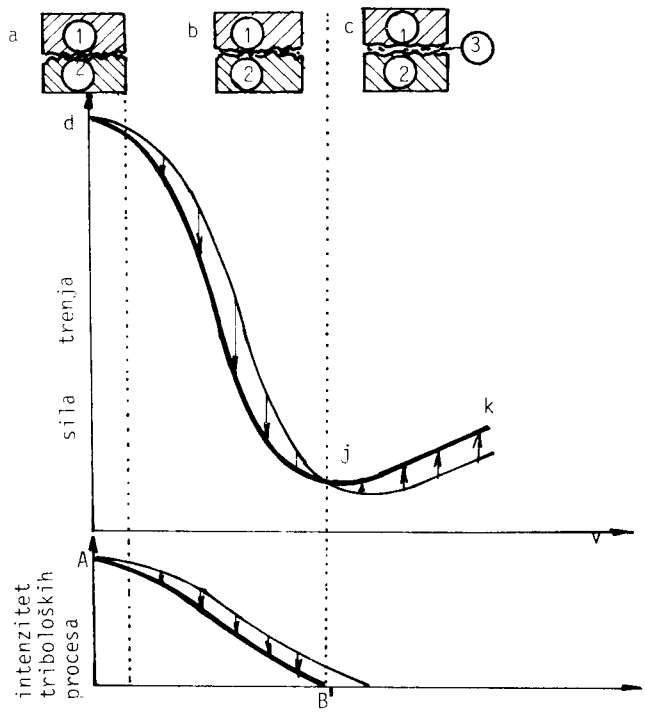
Posledice ovog efekta je smanjenje sile trenja i triboloških procesa i procesa habanja, kako je to prikazano putem krive d-e-g, odnosno krive A-B. Kod brzine, odnosno kod broja obrtaja koji odgovara tački g nastupilo je hidrodinamičko trenje, koje se polako povećava pri daljem porastu broja obrtaja usled unutrašnjeg trenja maziva, kako je prikazano putem krive g-h. Karakterstike krivih d-e-g-h, odnosno A-B su postignute sa mazivom koje ima tribološka svojstva izražena veličinom S=1.

Način za smanjenje nepovoljnog graničnog i mešovitog trenja, odnosno smanjenja triboloških procesa i procesa habanja su moguća putem:

- promene *ISO* viskozitetne gradacije mazivog ulja ili *NLGI* broja kod masti (eventualno povećanjem grada -



Sl. 2. - Verovatna kriva sile trenja i intenziteta triboloških procesa na elementima TMS korišćenjem maziva triboloških svojstava oznake S=1



Sl. 3. - Verovatna kriva sile trenja i intenzitet triboloških procesa na elementima TMS korišćenjem maziva triboloških svojstava oznake S=1, višeg viskoziteta po ISO VG

cije),

- korišćenjem maziva boljih triboloških svojstava, na primer $S = 2$.

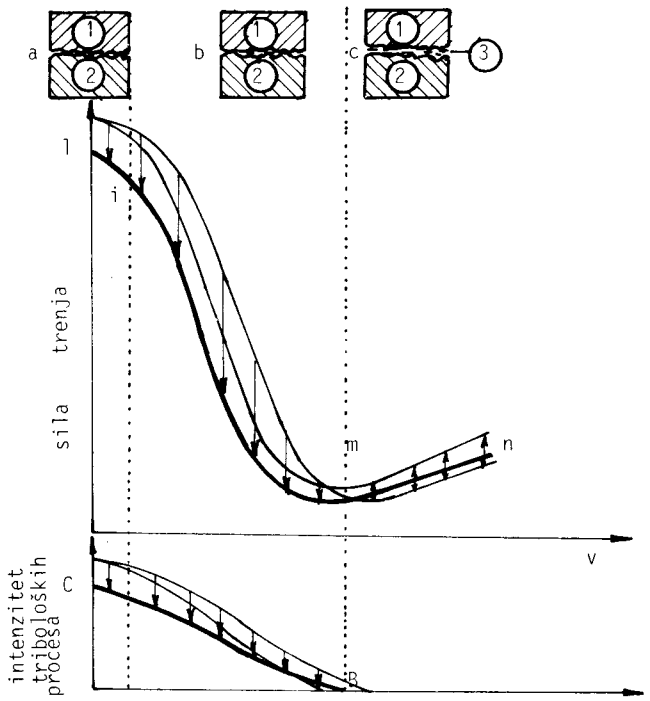
Korišćenjem maziva veće viskozitetne gradacije, efekat eventualnog poboljšanja triboloških procesa i procesa habanja se vide na sl. 3.

Ova eventualna mogućnost poboljšanja mazivog sloja prema Stribeck-ovoj krivoj *d-j-k* se ogleda u sledećem:

- granično trenje se eventualno smanjuje, ali samo tamo gde je viši viskozitet poželjan, s obzirom na sposobnost prijanjanja maziva,

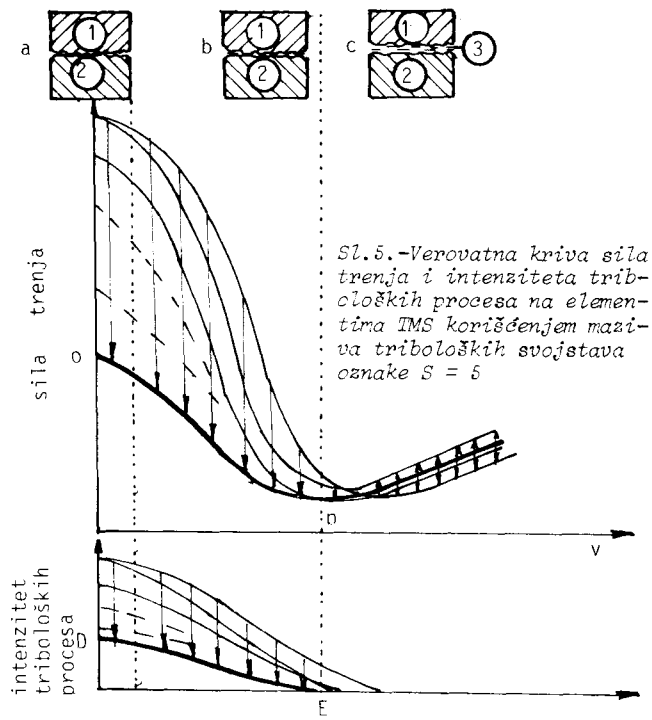
- hidrodinamičko trenje, prema krivoj *j-k*, je veće nego kod prethodnog maziva manje gradacije usled većeg gubitka energije, i jačeg zagrevanja maziva. Tribološki procesi i procesi habanja bi eventualno mogli biti manji, prema krivoj *A-B'*.

Korišćenjem maziva boljih triboloških svojstava, efekat poboljšanja je predstavljen na sl. 4.



Sl. 4. - Verovatna sila trenja i intenziteta triboloških procesa na elementima TMS korišćenjem maziva triboloških svojstava oznake S=2

Kao način poboljšanja triboloških svojstava maziva, koja se prate putem navedenih krivih, može se postići preko posebnih dodataka, sintetskih komponenata, čvrstih maziva itd. Ovi dodaci su izuzetno bitni u području graničnog i mešovitog trenja radi smanjenja sila trenja i smanjenja triboloških procesa i procesa habanja. Sa ovakvim mazivom poboljšanih triboloških svojstava, podmazi-



Sl.5.-Verovatna kriva sila trenja i intenziteta tribloških procesa na elementima TMS korišćenjem maziva triboloških svojstava oznake S = 5

vanje teče uzduž krive *l-i-m-n* kako je prikazano na sl. 4. sa bitno smanjenom silom trenja i sa redukovanim tribološkim procesima i procesima habanja na novu krivu *C-B*.

Specijalna maziva se danas preporučuju i koriste u veoma složenim područjima primene kod alatnih mašina. U narednom periodu se može očekivati dalja ekspanzija primene specijalnih maziva kod tribo-mehaničkih sistema na mestima povećanih radnih temperatura, pritisaka i drugih nepovoljnih uslova rada. Koliko bi njihova prednost bila u smislu smanjenja triboloških procese i procesa haba - nja kod elemenata mašina tribo-mehaničkih sistema. S obzirom na njihovu današnju cenu, to je stvar konkretnih istraživanja sa ekonomske tačke gledišta.

Radi prikaza efekta podmazivanja preko Stribeckovih krivih, na sl. 5. je prikazano specijalno mazivo sa još poboljšanim tribološkim svojstvima, oznake *S* = 5.

Celokupan efekat korišćenja ovog maziva sa pripadajućim tribološkim svojstvima je prikazan putem krive *o-p*. Reducirani tribološki procesi i procesi habanja prikazani su pomoću relativne nisko položene krive *D-E*.

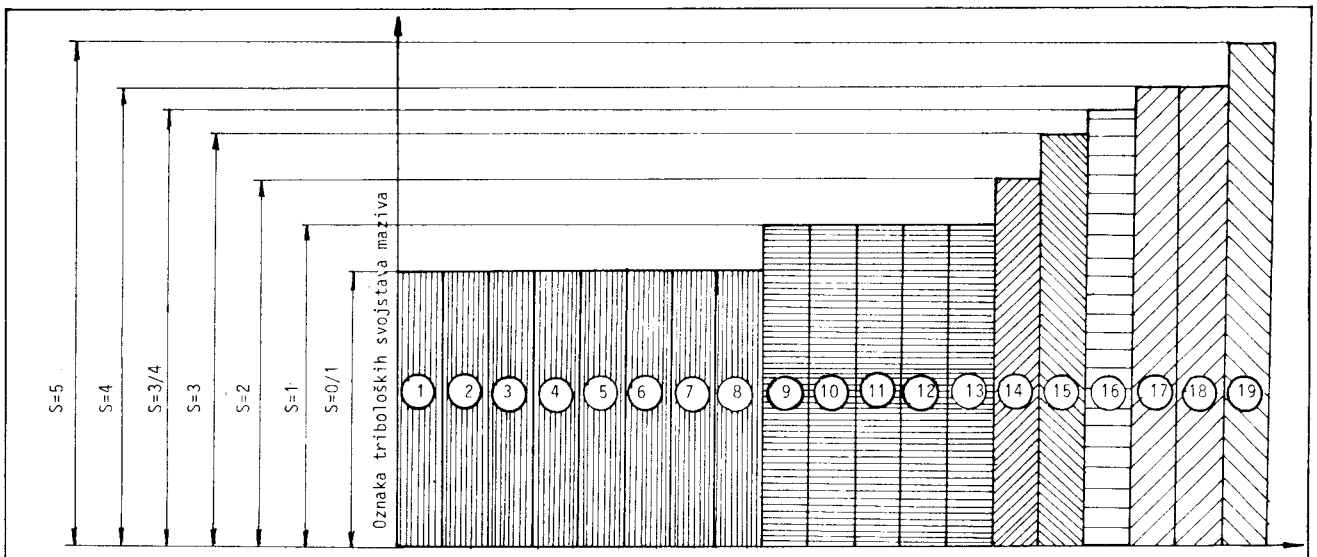
Jedan od osnovnih ciljeva autora je da korišćenjem maziva sa takvim tribološkim svojstvima, smanji trenje, tribološke procese i procese habanja elemenata tribo-mehaničkih sistema svede na najmanju moguću meru. Znači, neophodno je osigurati vrlo spore promene u geometrijskom obliku površina, u dimenzijama i tolerancijama elemenata mašina, kao i male promene u mehaničkim i tehnološkim svojstvima materijala i njihovih površina.

Da bi mogao da prezentira metodu za definisanje triboloških svojstava grupe maziva izraženih preko veličina, autor je u tu svrhu koristio poznavanje fizičko - hemijskih performansnih karakteristika maziva propisanih od strane JUS-a, DIN-a i drugih nacionalnih standarda, kao

TABELA 1: Prikaz osnovnih karakteristika za definisanje triboloških svojstava grupa industrijskih ulja za alatne mašine

R. br.	Fizičko-hemijs.i performansne karakteristike mazivih ulja	Ležišna ulja	Cirkulaciona ulja	Hidraulič.HD ulja	Hidraulična ulja velike prionljiv.	Ulja za zatvorene zupčas.prenosnike	Specijalna hidraulična ulja	Specijal.inudstrij. ulja za mašine alatke	Oznaka triboloških svojstava maziva
1.	Gustina (zapremin.masa)	+	+	+	+	+	+	+	
2.	Spoljni izgled i boja	+	+	+	+	+	+	+	
3.	Viskozitet *	+	+	+	+	+	+	+	
4.	Temperatura paljenja	+	+	+	+	+	+	+	
5.	Temperatura stinjavanja	+	+	+	+	+	+	+	S=0/1
6.	Neutralizacioni broj	+	+	+	+	+	+	+	
7.	Voda i mehaničke primese	+	+	+	+	+	+	+	
8.	Korozija (C_u) traka	+	+	+	+	+	+	+	
9.	Index viskoziteta		+	+	+	+	+	+	
10.	Penušanje sklonost/stabilnost		+	+	+	+	+	+	
11.	Emulzivnost/deemulzivnost		+	+	+	+	+	+	S=1
12.	Antikorozivne osobine		+	+	+	+	+	+	
13.	Oksidaciona stabilnost		+	+	+	+	+	+	
14.	Antihabajuće osobine			+	+	+	+	+	S=2
15.	Proba trenja				+	+	+	+	S=3
16.	Naglašena izdržljiv.na prit.					+	+	+	S=3/4
17.	Naglaš.visok index viskozit.						+	+	S=4
18.	Naglašeni test krilne pumpe						+	+	
19.	Poseb.zahtevi za maš.alatke							+	S=5

* karakteristika po kojoj je izvršena klasifikacija tečnih industrijskih maziva po JUS B.HO.511/1981. godine.



LEGENDA: 1-zapreminska masa(gustina), 2-spoljni izgled i boja, 3-viskozitet, 4-temperatura paljenja, 5-temperatura stinjavanja, 6-neutralizacioni broj, 7-voda i mehaničke primese, 8-korozija(C_u traka), 9-index viskoziteta, 10-penušanje(sklonost/stabilnost), 11-emulzivnost/deemulzivnost, 12-antikorozivne osobine, 13-oksidaciona stabilnost, 14-antihabajuće osobine, 15-proba trenja, 16-naglašena izdržljivost na pritisak, 17-naglašeni visok index viskoziteta, 18-naglašeni test krilne pumpe, 19-posebni zahtevi za mašine alatke(karakteristike pod rednim brojevima 15-19 su van JUS-a).

Sl. 6. - Oznake triboloških svojstava industrijskih ulja za alatne mašine prema propisanim fizičko-hemijskim karakteristikama obuhvaćene JUS-om

i preporuke svetskih i domaćih proizvodjača maziva.

Za industrijske grupe ulja, koja bi mogla doći u obzir za podmazivanje tribo-mehaničkih sistema mašina alatki, metodiku za definisanje triboloških svojstava na osnovu propisanih fizičko-hemijskih i performansnih karakteristika ulja, autor je iznec u tabeli br. 2, a grafički na sl. 6.

Za industrijske grupe tehničkih masti, koje bi mogle doći u obzir za podmazivanje tribo-mehaničkih sistema mašina alatki, metodu za definisanje triboloških svojstava, na osnovu propisanih fizičko-hemijskih i performansnih karakteristika masti, autor je izneo u tabeli br.2, a grafički na sl. 7.

U tabelama br. 1 i 2. kolone bez oznake (+) označavaju karakteristiku grupe maziva nerelevantnu za navedenu vrstu maziva, koja se ne iskazuje po standardima ili je pak ne poseduje. Kolone sa oznakom (+) označavaju karakteristiku grupe maziva relevantnu za navedenu vrstu maziva, koja se iskazuje po standardima i koje navedeno mazivo poseduje.

Ispitivanje triboloških svojstava maziva u proizvodnim uslovima rada autor je izvršio sa domaćim mazivima.

Potvrda opravdanosti označavanja triboloških svojstava grupe maziva domaćih proizvodjača je isključivo us-

SHP — MIXER

UREĐAJ ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE U SVIM KONCENTRACIJAMA

PRIMENOM UREĐAJA OBEZBEĐUJE SE:

- **priprema SHP sa optimalnom koncentracijom**
- **smanjenje potrošnje mineralnih emulgirajućih ulja, polusintetičkih i sintetičkih sredstava**
- **smanjenje utroška rada za pripremanje SHP**

KVALITETNOM PRIPREMOM SHP POSTIŽE SE:

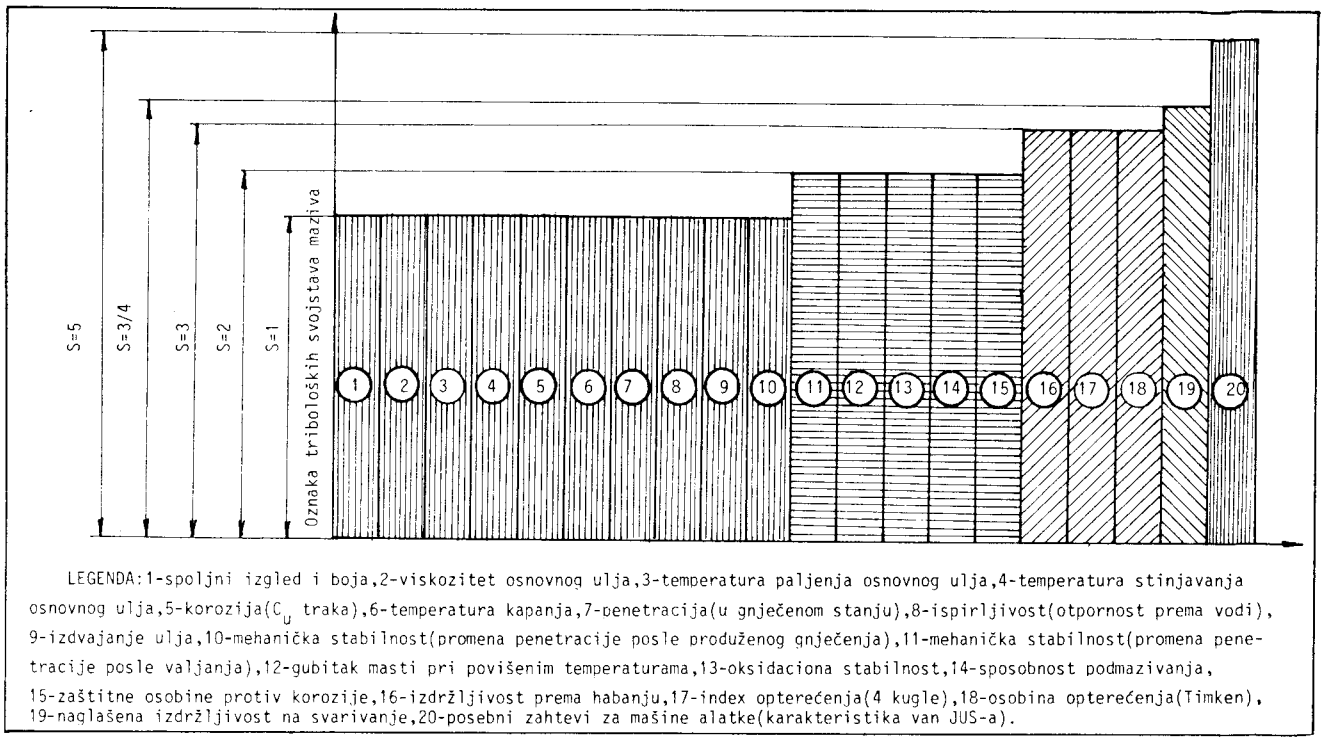
- **smanjenje potrošnje alata**
- **povećanje kvaliteta obrađenih površina**
- **poboljšanje zaštite površina od korozije**

UREĐAJ JE RAZVILA

Laboratorija za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

PROIZVOĐAČ

Zavodi »Crvena zastava« OOUR »MAŠINE«



Sl. 7. - Oznake triboloških svojstava industrijskih masti za alatne mašine prema propisanim fizičko-hemijskim karakteristikama obuhvaćene JUS-om

lovljeno sa dva kriterijuma:

- propisanih fizičko-hemijskih karakteristika po JUS-u, i
- jediničnim cenama.

Ovim su zadovoljeni i kriterijumi uopštenosti predložene metode za definisanje triboloških svojstava maziva. Korišćenjem metode dedukcije, odnosno zaključivanje od opšteg na pojedinačno, mogu se dalje odredjivati tribološka svojstva maziva iste grupe, a različitih domaćih proizvodjača preko matrice:

Grupe maziva	PROIZVODJAČI MAZIVA				
S_i	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5
$S=1$	$S=1_1$	$S=1_2$	$S=1_3$	$S=1_3$	$S=1_3$
$S=2$	$S=2_1$	$S=2_2$	$S=2_3$	$S=2_3$	$S=2_3$
$S=3$	$S=3_1$	$S=3_2$	$S=3_3$	$S=3_3$	$S=3_3$
$S=4$	$S=4_1$	$S=4_2$	$S=4_3$	$S=4_3$	$S=4_3$
$S=5$	$S=5_1$	$S=5_2$	$S=5_3$	$S=5_3$	$S=5_3$

Indeksi:

1 - oznaka Rafinerije Beograd
2 - oznaka Rafinerije Novi Sad
3 - oznaka Fabrike maziva Kruševac
4 - oznaka Rafinerije Modriča
5 - oznaka Rafinerije Zagreb

Ko raspolaže informacijama može da donosi valjane odluke

CPR

TABELA 2: Prikaz osnovnih karakteristika za definisanje triboloških svojstava grupa industrijskih masti za alatne mašine

R. br.	Fizičko-hemijske i performansne karakteristike tehničkih maziva masti	Kalcijeve masti	Litijeve masti	Litijeve masti sa EP dodacima	Litij.masti sa MoS_2 dodacima	Specij.masti za mašine alatke	Oznaka tribolož.svojstava maz.
1.	Spoljni izgled i boja	+	+	+	+	+	
2.	Viskozitet osnovnog ulja	+	+	+	+	+	
3.	Temper.palj.osnovnog ulja	+	+	+	+	+	
4.	Temper.stinjav.osnov.ulja	+	+	+	+	+	
5.	Korozija (C_u traka)	+	+	+	+	+	
6.	Temperatura kapanja	+	+	+	+	+	S=1
7.	Penetracija*(u gnječenom stanju)	+	+	+	+	+	
8.	Ispirljiv.(otpor.prema vodi)	+	+	+	+	+	
9.	Izdvajanje ulja	+	+	+	+	+	
10.	Mehaničke stabilnosti (promena penetracije posle produženog gnečenja)	+	+	+	+	+	
11.	Mehanička stabilnost (promena penetracije posle valjanja)		+	+	+	+	
12.	Gubitak masti pri povišenim temperaturama		+	+	+	+	S=2
13.	Oksidaciona stabilnost		+	+	+	+	
14.	Sposobnost podmazivanja		+	+	+	+	
15.	Zaštitne osobine protiv korozije		+	+	+	+	
16.	Izdržljivost prema habanju			+	+	+	S=3
17.	Index opterećenja (4 kugle)			+	+	+	
18.	Osobina opterećenja (Timken)			+	+	+	
19.	Naglašena izdržljiv.na svariv.				+	+	S=3/4
20.	Posebni zantevi za mašine alatke					+	S=5

* karakteristika po kojoj je izvršena klasifikacija mazivih masti po JUS B.HO.512/1981. godine

Da li ste obnovili pretplatu za **1985.** godinu?

Redakcija časopisa Tribologija u industriji

REZULTATI ISTRAŽIVANJA TRIBOLOŠKIH SVOJSTAVA MAZIVA U PROIZVODNIM USLOVIMA RADA

Istraživanje triboloških svojstava maziva alatnih mašina u proizvodnim uslovima rada autor je vršio:

- u normalnim i uobičajenim proizvodnim uslovima rada i uticaja okoline,
- na veličini uzorka od 114 alatnih mašina,
- u dovoljno dugom periodu, od dva puta po šest meseci rada u dve smene.

Istraživanje triboloških svojstava maziva alatnih mašina autor je izvršio preko analize pouzdanosti alatnih mašina u funkciji triboloških procesa. Veoma značajna karakteristika pouzdanosti, koju je autor koristio u radu je intenzitet zastoja oznake $\lambda(t)$, koji prema definiciji iznosi:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \qquad (1)$$

gde je:

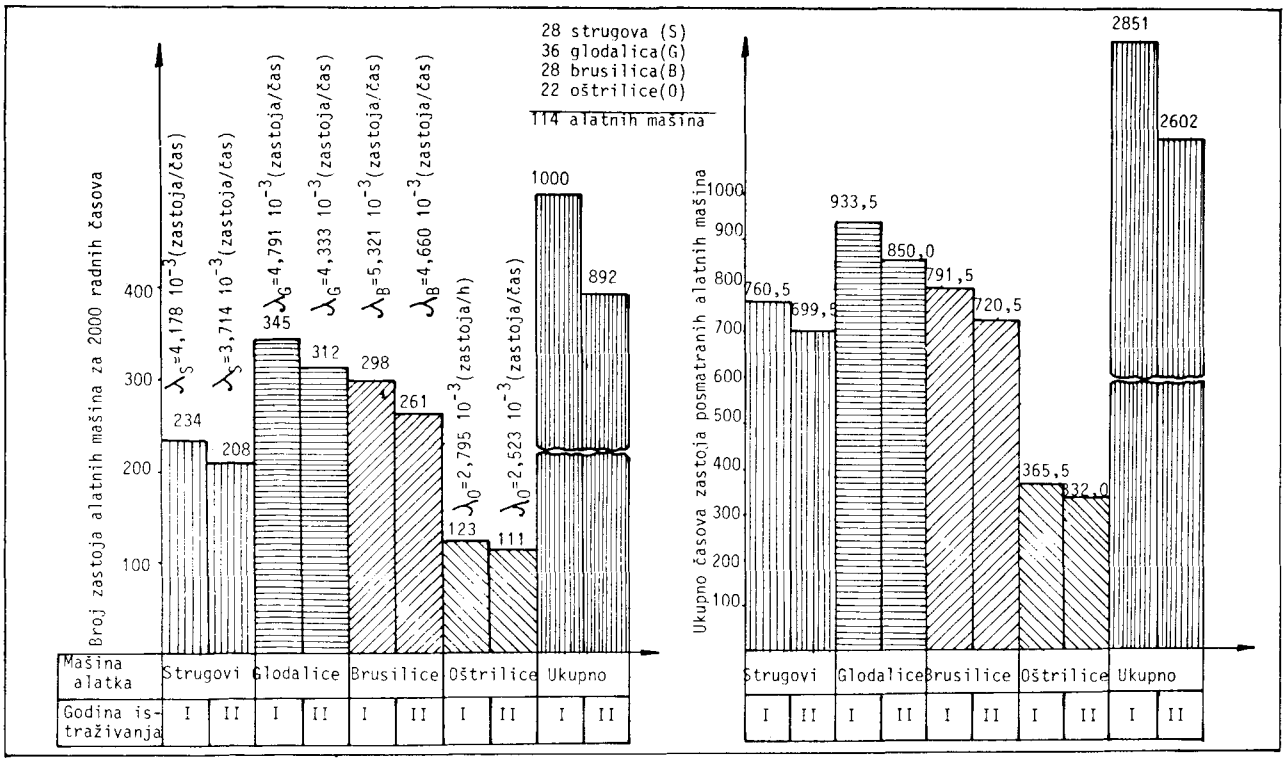
$f(t)$ - gustina raspodele vremena rada do zastoja,

$R(t)$ - funkcija pouzdanosti.

Navedena proizvodna istraživanja pouzdanosti autor je izvršio za sve identifikovane tribo-mehaničke sisteme posmatranih alatnih mašina pojedinačno i to:

Vreme istraživanja	*Industrijska ulja*		*Industrijske masti*
I GODINA	*S=1* (cirkulaciona ulja)	*S=2* (hidraulična HD ulja)	*S=2* (Litijeve masti)
II GODINA	*S=1/2* (ulja za brzohoda vretena)	*S=3* (hidraulična ulja velike prionljivosti) *S=4* (specijalna hidraul. ulja)	*S=2* (Litijeve masti)

Rezultate istraživanja pojava zastoja po pojedinim vrstama alatnih mašina u godinama ispitivanja u funkciji triboloških svojstava maziva je autor izneo preko sl. 8



Sl. 8. - Rezultati istraživanja pojava zastoja po pojedinim vretama alatnih mašina i godinama ispitivanja u funkciji triboloških svojstava maziva

Z A K L J U C A K

Ovim radom je potvrdjena ideja autora da će skup fizičko-hemijskih i performansnih karakteristika maziva dati odgovarajuća tribološka svojstva maziva, izražena preko veličine S, koja karakterišu vrstu i kvalitet maziva.

CPR

CENTAR
ZA
PRODUKTIVNOST
RADA

MAŠINSKI FAKULTET
34000 KRAGUJEVAC
Ul. Sestre Janjić br. 6
Tel. (034) 67-500

Originalnost rada se potvrdjuje metodikom ispitivanja i ocenjivanja triboloških svojstava maziva, kod tribo-mehaničkih sistema alatnih mašina u proizvodnim uslovima rada. Iznadjena tribološka svojstva maziva se isključivo odnose na definisane uticajne faktore pod kojima se kontakt u tribo-mehaničkom sistemu ostvaruje.

Autor je u ovom radu teorijskim postavkama i praktičnim primerom dokazao da redukovanjem triboloških kontakata na elementima alatnih mašina, preko odgovarajućih triboloških svojstava maziva, nepovoljni tribološki procesi habanja, a time i zastoji mogu se ublažiti i smanjiti.

LITERATURA

|1| IVKOVIĆ B.: Osnovi tribologije u industriji prerade metala, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1983.

|2| Jugoslovenski standardi: Nafta i proizvodi prerade nafte, sadržaj B-II-1, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd.

|3| Katalozi proizvoda petrolejskih kuća: Mobil Shell, EP, Esso, Texaco, Rafinerija Beograd, Rafinerija Modriča, FAM Kruševac i Rafinerija Zagreb.

|4| MOOR F. DESMOND: Principles and applications of tribology, Pergamon press, Oxford (prevod na Ruski, 1978.

|5| RAKIĆ R., KRČEDINAC M.: Predavanja iz predmeta Tehnologija sa poznavanjem robe (skripta), Petrolunion, Sr. Karlovci, 1981.

|6| ZELENOVIĆ D., STANIVUKOVIĆ D.: Pouzdanost sistema, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1979.

Mr RADOSLAV RAKIĆ, dipl. ing. maš., "Naftagas promet", Novi Sad, rukovodilac poslovnice primene.

Rodjen 1943. god. u N. Sadu. Diplomirao na Mašinskom fakultetu tehničkih nauka u N.Sadu.

Radio je u Fabrici "27. mart" N. Sad na problemima tehničke pripreme, kontrole proizvoda i održavanja mašina. Od 1975.god. radi u "Naftagas prometu" - Novi Sad.

PUT DO VISOKE PRODUKTIVNOSTI VODI I KROZ TRIBOLOGIJU

Podsetimo se: u ukupno utrošenom minulom radu, koji se odnosi na energiju, sredstva rada i sredstva za podmazivanje, otpada, po pravilu, oko 60 odsto.

U kojoj meri se koriste tribološka znanja u neposrednoj praksi za postizanje ukupne produktivnosti rada u metaloprerađivačkoj industriji?

U razvijenim industrijskim zemljama već godinama se ulažu znatna sredstva u tribološka istraživanja i ostvaruju programi primene naučnih saznanja iz ove oblasti za uvećanje produktivnosti rada, odnosno uvećanje koeficijenta ekonomičnosti proizvodnje.

Ovi programi nisu stvar samo naučno istraživačkih instituta i industrije, oni uživaju punu podršku i materijalnu pomoć vlada ovih zemalja.

Međutim, mogućnosti korišćenja triboloških znanja kod nas još uvek se ne koriste u potrebnoj meri. Da li se dovoljno zna da put do produktivnosti rada vodi i kroz stvaranje i prikupljanje triboloških znanja i kroz njihovu intenzivvu primenu?

UDK: 621.777.004.6

M. STEFANOVIĆ

Određivanje koeficijenta trenja pri dubokom izvlačenju

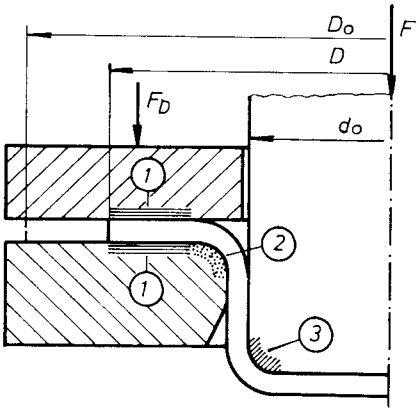
UVOD

Osnovna poteškoća u modeliranju i izučavanju trenja pri dubokom izvlačenju je postojanje mnoštva lokalnih shema deformisanja, koje se pored razlika u naponsko-deformacionim odnosima, odlikuju i razlikama u uticaju trenja (nisu istovetni centralni uslovi trenja - brzina i pritisak; trenje u nekim zonama može biti korisno, u nekim štetno). Uobičajena analiza procesa izvlačenja geometrijski nepravilnih komada je veoma otežana. Zbog toga se poznati pristup izučavanja obradivosti limova dubokim izvlačenjem preko modela, koji su relevantni za odredjene karakteristike (npr. *"n-faktor"* za razvlačenje, *"r - faktor"* za čisto duboko izvlačenje), mora primeniti i kod istraživanja uticaja spoljašnjeg trenja na proces izvlačenja.

U opštem slučaju, pri dubokom izvlačenju se razlikuju tri karakteristične zone, s obzirom na uticaj trenja; sl. 1: zona trenja izmedju držača i matrice (1), zona trenja na zaobljenju ivice matrice (2) i zona trenja na zaobljenoj ivici izvlakača (3). Sniženje trenja u prve dve zone i njegovo povećanje u trećoj, doprinosi smanjenju potrebne sile i uvećanju koeficijenta izvlačenja.

Osnovne parametre trenja opredeljuju: stanje kontaktnih površina komada i alata, mazivo, sila držanja i brzina izvlačenja. Odredjivanje koeficijenta trenja u posmatranoj - zoni (2) omogućava izučavanje uticaja trenja, tačno izračunavanje sile izvlačenja, izbor maziva, i zajedno sa rezultatima drugih istraživanja, doprinosi generalizaciji znanja u ovoj oblasti.

DA LI RAZMIŠLJATE O POVEĆANJU PRODUKTIVNOSTI KROZ TRIBOLOGIJU?



Sl. 1. - Zone trenja pri izvlačenju

TEORIJSKA RAZMATRANJA

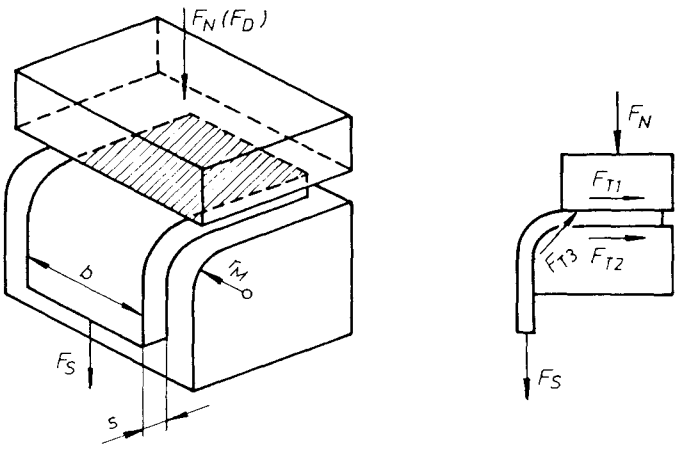
Postoji nekoliko metoda za odredjivanja koeficijenta trenja pri izvlačenju limova, koji u osnovi imaju istraživanja na odgovarajućim modelima |1|. Efikasan metod za odredjivanje koeficijenta trenja na ivici matrice za izvlačenje izložen je u radovima |2| i |3|, a u radovima |4| i |5| prezentirani su postupci za odredjivanje koeficijenta trenja u zoni (3).

U radovima |2| i |3| za modeliranje je korišćen postupak prevlačenja trake od lima preko oslonca u vidu valjčića, koji se može okretati, ili biti fiksiran. U prvom slučaju se odredjuje sila savijanja oko valjčića (ivica matrice), a u drugom - sila trenja izmedju lima i valjčića. Zatim se računski odredjuje koeficijent trenja.

Odsustvo prethodnog poravnjanja neravnina površine lima u zoni držača, koja zatim dolazi u zonu zaobljenja ivice matrice, je osnovni nedostatak prethodnih metoda. U ovom radu se izlaže novi postupak za odredjivanje koeficijenta μ_M, pri korišćenju dvougaonog savijanja sa

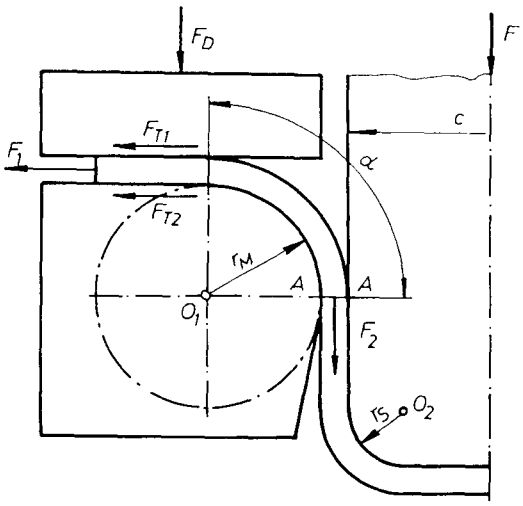
zatezanjem, sl. 2 i sl. 3. kao osnovnog modela istraživanja. Prethodni nedostatak je ovakvim postupkom eliminisan, ali se pri tome mora poznavati koeficijent trenja pri provlačenju lima izmedju ravnih kontaktnih površina.

Prevlačenje lima preko površine držača i matrice i ivice matrice pri odsustvu tangencijalnih napona u materijalu, u potpunosti se može simulirati savijanjem sa zatezanjem. Ovako koncipirano istraživanje je prirodni nastavak provlačenja izmedju ravnih površina držača i matrice, s obzirom da lim posle klizanja po ravnim površinama dolazi u zonu zaobljenja ivice matrice, sl. 2.



Sl. 2. - Shema ispitivanja savijanjem sa zatezanjem

Geometrijski odnosi u zoni savijanja omogućavaju deformisanje u oblasti plastičnosti. Naponsko i deformaciono stanje je ravansko, bez promene širine trake i napona u pravcu debljine lima. Ukupna sila savijanja sa zatezanjem (F) jednaka je, prema |6|, |7|: zbiru sile trenja na zaobljenju ivice matrice (F^I) i sile čistog savijanja oko radijusa r_M (F^{II}):



Sl. 3.-Shema dejstva sila pri ispitivanju

$$F = 2(F^I + F^{II}) = 2(F_1 e^{\mu_M \alpha} + F^{II})$$

gde je F_1 - sila na ulasku u zonu zaobljenja,
μ_M - koeficijent trenja koji se odredjuje,
α - ugao zone kontakta na zaobljenju ivice matrice.

U opštem slučaju, koeficijenti trenja u zoni (1), sl. 1., na gornjoj i donjoj površini nisu jednaki. Za srednji koeficijent trenja μ_D:

$$F_1 = 2F_D\mu_D = 2P_D A_D \mu_D$$

gde je: P_D - specifični pritisak držača,
A_D - površina ravnog dela držača.

Sila (F^I) se odredjuje na sledeći način:

$$F^I = 0{,}5F - F^{II} = 2\mu_D F_D e^{\mu_M \alpha}$$

Odavde je:

$$\mu_M = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{F^I}{2\mu_D F_D}$$

Pošto se vrši potpuno dvougaono savijanje, pri $\alpha = \frac{\pi}{2}$ dobija se:

$$\mu_M = \frac{2}{\pi} \ln \frac{F - 2F^{II}}{4\mu_D F_D}$$

Vrednosti koeficijenta μ_D za zonu (1) odredjene su prethodnim merenjima autora |8|, pri provlačenju trake od lima, za identične tribološke uslove, koji postoje u zoni držača.

Veličina sile "idealnog" savijanja odredjuje se prema rezultatima eksperimentalnog ispitivanja i naknadnoj ekstrapolaciji, s obzirom na otežano računsko odredjivanje ojačanja u zoni savijanja. Pri savijanju sa zatezanjem neophodno je ostvariti više merenja sa različitim silama držača (F) (ili pritiscima na ravnom delu kontaktne površine (P_D), kako bi se ekstrapolacijom (grafičkom, analitičkom, tj. regresionom analizom) pri $P_D = 0$ dobilo $F = F^{II}$. Zavisnost F-P_D aproksimirana je izrazom

$$F = a_o + a_1 P_D + a_2 P_D^2$$

Na taj način, poznavajući veličinu μ_D može se izmeriti sila F i odrediti koeficijent trenja izmedju lima i zaobljene ivice matrice.

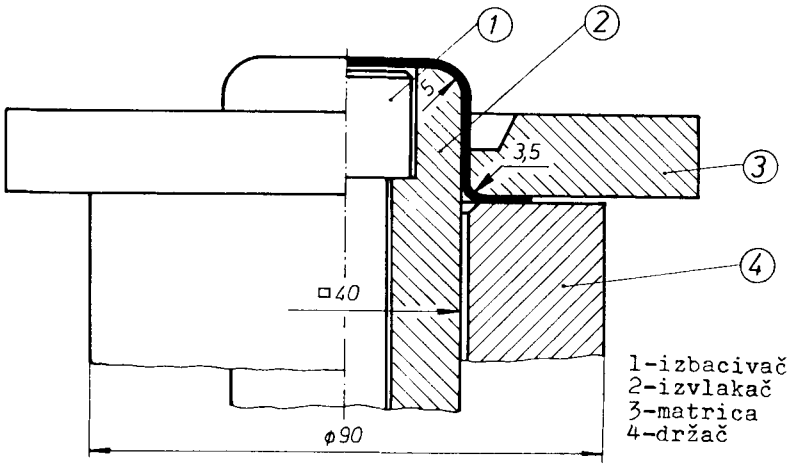
EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Uslovi ispitivanja

Sva ispitivanja su vršena na specijalnoj mašini za ispitivanje limova, tipa ERICHSEN 142/12, sa mogućnošću zapisivanja sile savijanja od hoda oblikača. Ispitivani su sledeći materijali: 1 - kvalitetni niskougljenični čelični lim za duboko izvlačenje, uobičajenog izgleda površina, Č.0148 P5; 2 - lim sa prevlakom cinka, nanetom u toplom stanju, Č.0148 Zn; 3 - lim sa tzv. ZINCROMETAL prevlakom, koja se nanosi valjanjem iz dva sloja, sa odgovarajućim organskim komponentama. Poslednja dva materijala, nestandardnih oznaka, spadaju u grupu limova sa antikorozionim prevlakama, koje se sa tribološkog aspekta mogu posmatrati i kao čvrsti mazivi filmovi. Prevlake se nalaze samo sa jedne strane lima; u ovom slučaju u kontaktu su površine matrice i strane lima sa prevlakom. U tabeli 1. su date osnovne mehaničke karakteristike i parametri površina (srednji, sa obe strane) merene u pravcu valjanja, kako su i sečene trake korišćene pri merenjima.

TABELA 1.

Material	s mm	σ_M MPa	σ_T MPa	ε %	n	R_a µm	R_z µm	R_t µm	R_p µm
Č.0148 P5	0,83	300,7	177	38,2	0,24	1,81	10,8	12,4	6,19
Č.0148 Zn	0,80	316,0	210	38,0	0,23	1,29	7,48	8,71	3,90
Č.0148 ZnCr	1,00	293,0	203	32,6	0,21	1,80	11,0	12,3	7,12



Sl. 4.-Elementi alata za ispitivanje

S obzirom da je ispitivana značajnost uticaja osnovnih parametara procesa (pritisak, brzina, mazivo) disperzionom analizom, program ispitivanja je uskladjen sa propozicijama punog faktornog eksperimenta |9|, koji podrazumeva randomizaciju, više ponavljanja pri istom nivou faktora i sl.

Veličina pritiska držača je bila P_D = 5,9; 4,0; 14,8; 20,5 MPa pri brzinama v = 20; 200 mm/min. Kao mazivo su korišćena ulja za duboko izvlačenje (mineralna ulja visoke viskoznosti sa EP-aditivima) M_1 i M_2; oznaka -S- odnosi se na suve kontaktne površine. Epruvete su u obliku traka, širine 20 mm, i dužine 90 mm sa kontaktnom površinom od 810 mm^2. Ostale geometrijske veličine su, prema sl. 3.: c = 40 mm, r_s = 3,5 mm. Radne površine alata su brušene i polirane, pri R_a = 0,08 m.

Za ispitivanje je korišćen alat za izvlačenje kvadratnih komada, dimenzija 40x40 mm, sl. 4. Epruveta se savija u prostoru van zaobljenja uglova kvadratne matrice.

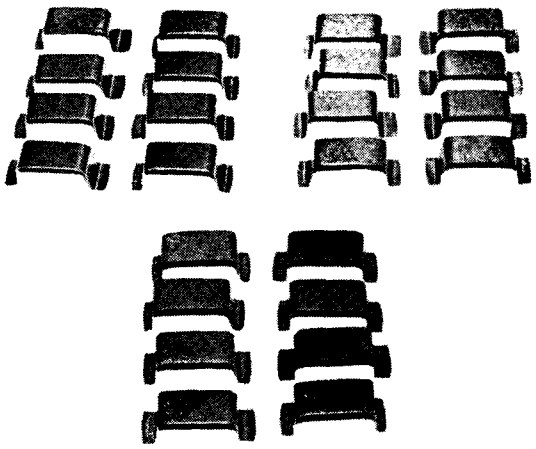
Rezultati ispitivanja

Sve epruvete su savijane približno do iste visine, h = 22 mm. Precizna izrada alata omogućava tačno oblikovanje, bez neravnomernog uvlačenja krajeva epruveta. Izgled jedne od ispitivanih serija epruveta, prikazan je na sl. 5.

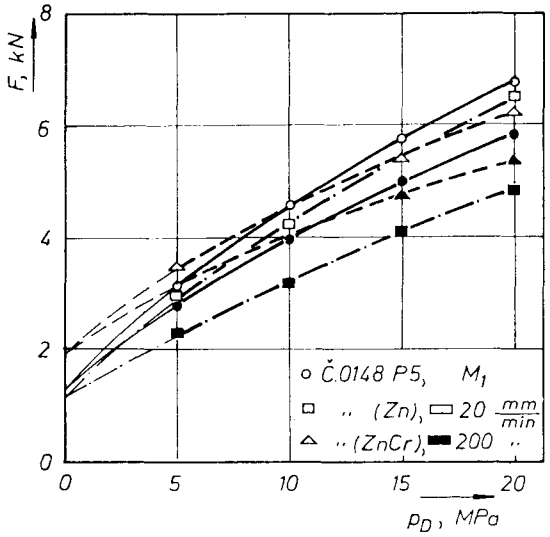
Grafička zavisnost sile savijanja od hoda oblikača za odredjene uslove ispitivanja prikazana je na sl. 5. Za mernu vrednost sile uzimana je ona veličina, koja odgovara hodu od 10 mm, s obzirom na prirodu ove zavisnosti u oblasti visokih kontaktnih pritisaka.

Prema rezultatima disperzione analize, značajan je uticaj svih faktora, i prema strožijem F - kriterijumu |9|. Medjudejstvo brzine i maziva ne utiče bitno na silu savijanja. Stepen značajnosti pojedinih uticaja je analogan onima, koji se dobijaju pri ispitivanju provlačenjem izmedju ravnih pritisnih površina |8|.

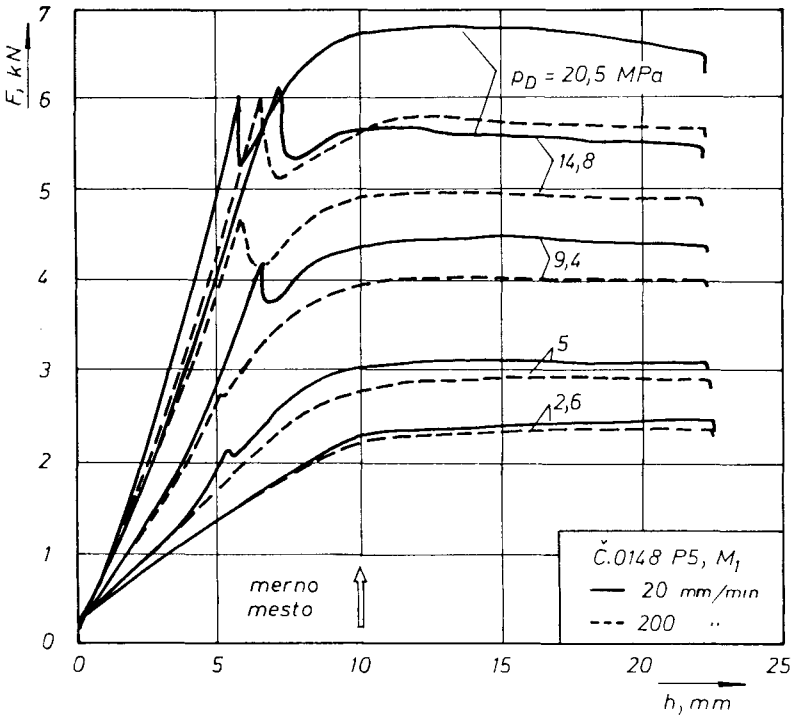
Regresione krive F-P_D prikazane su na sl. 7; ekstrapolirani deo krivih do vrednosti P_D = 0 ucrtan je tankim linijama.



Sl. 5. - Epruvete korišćene pri ispitivanju



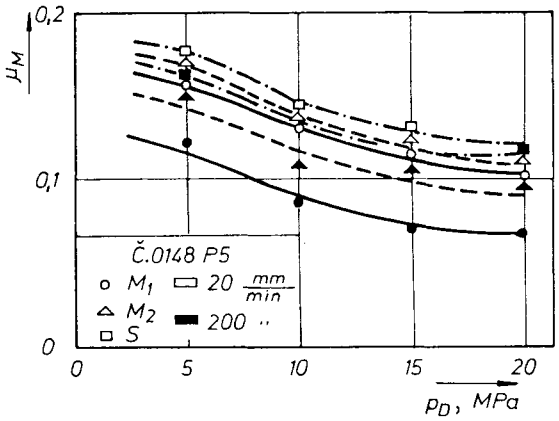
Sl. 7. - Regresione krive $F-p_D$



Sl. 6. - Zavisnost sile savijanja od hoda oblikača

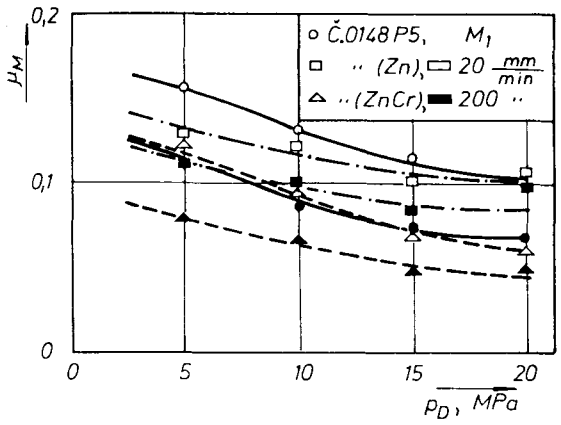
Poznavajući vrednosti sila F^{II}, uvrštavanjem u prednje izraze odredjuje se koeficijent trenja μ_M. Na sl.8 i 9. date su zavisnosti koeficijenta μ_M od pritiska držača za različite uslove ispitivanja.

Uporedni prikaz promene koeficijenata trenja na ravnoj (μ_D) i zaobljenoj (μ_M) površini matrice, dat je na sl. 10. Koeficijent trenja μ_M opada sa porastom pritiska držača i za identične uslove na ravnom delu kontaktnih površina, znatno je niži. Ovo se može objasniti povišenjem specifičnog pritiska u zoni zaobljenja, koji je mnogostruko veći od onog u zoni držača.

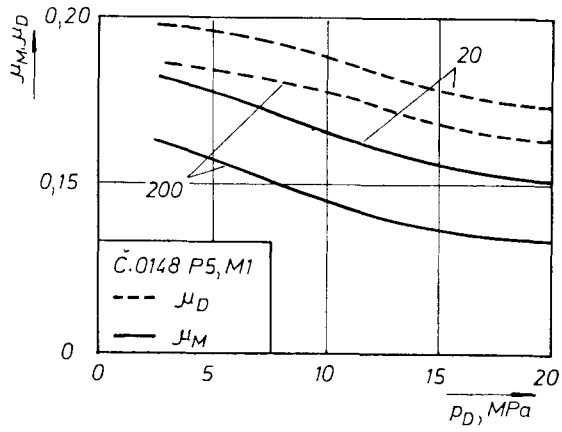


Sl. 8. - Zavisnost koeficijenta trenja od pritiska P_D

SHP — MIXER



Sl. 9. - Zavisnost koeficijenta trenja od pritiska p_D



Sl. 10. - Zavisnost koeficijenata u_M i u_D od pritiska p_D

ZAKLJUČAK

Na silu savijanja sa zatezanjem bitno utiče pritisak, mazivo i brzina. Međudejstvo pojedinih faktora i uticaj na silu savijanja (ili trenja) su analogni uticaji pri ispitivanju provlačenjem lima izmedju ravnih kontaktnih površina; najsnažnije je izražen uticaj pritiska.

Analiza i uporedjenje dobijenih rezultata pokazuje njihovu saglasnost sa rezultatima dobijenim drugim metodama. Sila "idealnog" oblikovanja, odredjena prema izloženom postupku autora, omogućava izračunavanje koeficijenta trenja u zoni zaobljenja ivice matrice za izvlačenje. Na taj način se omogućava razdvojeno izučavanje trenja u zonama koje pripadaju jedinstvenom procesu deformisanja.

U svim slučajevima koeficijent trenja se smanjuje sa uvećanjem brzine deformisanja; takodje, koeficijent trenja opada pri porastu pritiska držača, pri čemu je sa porastom pritiska intenzitet tog smanjenja slabiji.

LITERATURA

|1| M. GIERZYNSKA, Tarcie zużycic i amarowanie w obroboe plastycznej metali, Wydownictwa Haukovo - Techniczne, Warszawa, 1983.

|2| M. SULONEN, P. ESKOLA, A reliable method for measurung the friction coefficient in shect metal forming, Mecting of IDDRG, Tokio, 1981.

|3| P. WITIHUSER, Untersuchung von Prüfverfahren zur Beurtcilung der Reibungsverhältnisse beim Tiefziehen, Dissertation, Hannover, 1980.

|4| J. L. DUNCAN, B.S. SHABEL, J. GERBASO, A tensile strip test for evaluating friction in shect metal forming, Aluminium, 54, 1978, 585-588.

|5| Ю. П. КАЗАКОВ, Способ определения коэффициента трения при пластическом течении листовых металлов, Кузн. штамп. производство, Но 9, 1972,20-21.

|6| В. В. СЕРЕПЬЕВ, Напряженно-деформированное состоя - ние листовой заготовки при перетягиванию через закругленную кромку, Кузн. штап. производство, Но 10, 1965, 22-24.

|7| Е. А. ПОПОВ, Основы теории листовой штамповки, Москва,"Машиностроение", 1977.

|8| M. STEFANOVIĆ, Provlačenje traka kao osnovni postupak simulacije trenja pri izvlačenju limova, 17. SPMJ, Titograd, 1983, III/69-72.

|9| M. KRAL, Hodnoconi mazadel pri hlubokem taženi plechu, Strojirenska Vyrcha, 4/1978, 220-224.

PRODUKTIVNOST
- KLJUČ ZA
BUDUĆNOST