

VPLIV BAZNEGA OLJA ZA ŠTANCANJE NA TRENJE IN OBRABO ORODJA

M. Polajnar¹, L. Čoga¹, M. Kalin¹

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

Povzetek

Maziva, ki se uporabljajo pri štancanju se med seboj razlikujejo po kemijski sestavi in pripadajočih fizikalnih lastnostih. V raziskavi smo obravnavali maziva z različno kemijsko sestavo (voda, parafinsko olje in naftensko olje) in viskoznostjo ($0.7 \text{ mm}^2/\text{s}$, $2 \text{ mm}^2/\text{s}$ in $20 \text{ mm}^2/\text{s}$) in preučevali njihov vpliv na torno obnašanje kontakta pločevina-orodje in obrabo kontaktnih površin. Kot najboljši se izkažeta obe olji z višjo viskoznostjo ($20 \text{ mm}^2/\text{s}$), medtem ko izmed olj z nizko viskoznostjo ($2 \text{ mm}^2/\text{s}$) le naftensko olje izkazuje primerne tribološke lastnosti. Parafinsko nizko viskozno olje se izkaže kot neučinkovito saj zaradi prenizke površinske napetosti ne uspe zagotoviti ustrezne mazalnega filma, kar vodi v veliko količino prenosnega filma iz pločevine na orodje in zelo visok koeficient trenja. Po drugi strani pa voda, navkljub najnižji viskoznosti, zagotavlja, zaradi visoke površinske napetosti, ustrezno mazanje.

Ključne besede: štancanje, obraba, trenje, viskoznost, omočljivost

Abstract

Lubricants used in stamping differ in chemical composition and associated physical properties. In this study lubricants with different chemical composition (water, paraffinic oil and naphthenic oil) and viscosity (0.7 cSt , 2 cSt and 20 cSt) were used and their influence on the frictional behavior of the sheet-tool contact and wear of contact surfaces was evaluated. Both oils with a higher viscosity (20 cSt) provided best performance, while among the oils with a low viscosity (2 cSt) only naphthenic oil shows suitable tribological performance. Paraffinic low viscosity oil provides inadequate lubricating film due to too low a surface tension, leading to a large amount of transfer film from the sheet metal to the tool and a very high coefficient of friction. On the other hand, water, despite its lowest viscosity, provides adequate lubrication due to its high surface tension.

Key words: stamping, wear, friction, viscosity, wetting

1. Uvod

Proces preoblikovanja in obdelave kovin je eden izmed najbolj masovnih izdelovalnih procesov, predvsem za avtomobilski sektor, sektor gospodinjskih aparatov, sektor mehatronike in sektor električnih pogonov. Gre za sektorje, ki so v mnogih državah glavna gonilna sila razvoja in ekonomske rasti in so zaradi tega izpostavljene vedno večjim zahtevam glede produktivnosti in tehnološke izpopolnjenosti, energijske učinkovitosti in kvalitete izdelkov [1]. Za doseganje vseh teh ciljev pa je ustrezna izbira maziva zelo pomembna. Mazivo namreč zniža trenje ter s tem prispeva k energijski učinkovitosti procesa, hkrati pa tudi preprečuje obrabo orodja in s tem prispeva k daljši življenski dobi in boljši kvaliteti izdelkov.

Pri tem je izbira maziva danes vedno bolj pogojena tudi z njegovim vplivom na okolje pri čemer glavne omejitve postavlja vedno bolj zaostrena domača in mednarodna zakonodaja. To še posebej velja za proces štancanja, ki zahteva maziva z okolju nevarnimi aditivi kot so žveplo, fosfor in klor [2], da preprečuje lepljenje pločevine na orodje [3]. Medtem ko so aditivi na osnovi klora danes že izločeni iz uporabe v določenih delih sveta ali pa se uporabljalo le še tisti manj nevarni z daljšimi verigami [4], še vedno ni ustreznih zelenih rešitev na ostale aditive.

Poleg aditivov pa pomembno vlogo pri mazanju igra tudi izbira baznega maziva. Za štancanje se tako uporabljam sintetična maziva na vodni osnovi, hitro-hlapljiva olja ali pa oljne emulzije v vodi. V tej študiji se tako osredotočamo na različna bazna maziva in njihov vpliv na tribološke lastnosti v kontaktu med pločevino in orodjem za štancanje. Ker je večina testnih metodologij za izdelovalne procese prilagojena predvsem preoblikovalnim procesom, smo v študiji pomemben del namenili tudi testni metodologiji, ki bi v laboratorijskih razmerah ustrezno simulirala pogoje pri štancanju in omogočala hitro in zanesljivo vrednotenje maziv za uporabo v procesu štancanja.

2. Eksperimentalni del

2.1. Materiali

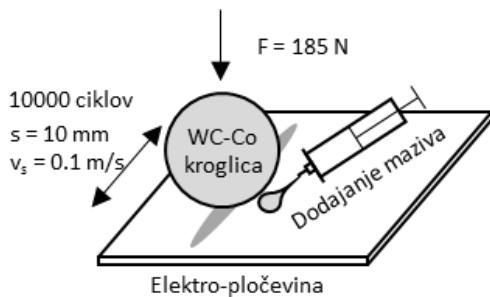
Uporabili smo parafinsko in naftensko bazno olje dveh različnih viskoznosti ($2 \text{ mm}^2/\text{s}$ in $20 \text{ mm}^2/\text{s}$ pri 40°C) in vodo (viskoznost $0,7 \text{ mm}^2/\text{s}$ pri 40°C), kot tipični sestavni del sintetičnih maziv in emulzij. Vseh pet maziv, katerih lastnosti so povzete v preglednici 1 smo primerjali s suhim, nemazanim kontaktom. Za kontaktni material smo uporabi elektro-pločevino debeline $0,65 \text{ mm}$, proti material pa je bila kroglica premera 10 mm iz WC-Co materiala, ki je tipičen material noža pri orodju za štancanje.

Preglednica 1: Uporabljeni mazivi

Mazivo	Viskoznost pri 40°C , mm^2/s	Gostota pri 15°C , g/cm^3
Voda	0,7	0,999
Parafinsko NV	2,0	0,791
Naftensko NV	2,9	0,860
Parafinsko VV	21,9	0,860
Naftensko VV	22,0	0,900

2.2. Tribološki preizkusi

Suh in mazan kontakt pločevina-WC-Co kroglica smo testirali na recipročnem drsnem preizkuševališču (Bruker, Massachusetts, ZDA) pri pogojih, ki ustrezano štancanju: pritisna normalna sila 185 N (ustreza 3.3 GPa Hertzovega kontaktnega tlaka), drsna hitrost $0,05 \text{ m}/\text{s}$, temperatura $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Opravljenih je bilo 10.000 ciklov drsenja v dolžini enega cikla 10 mm (slika 1). Mazivo je bilo v kontakt tekom testa dodajano v majhnih količinah po $20 \mu\text{L}$, da smo simulirali pogoje mazanja pri štancanju. Koeficient trenja je bil določen v ustaljenem stanju, kar je bilo v večini primerov za zadnjih 2.000 ciklov.



Slika 1: Mazan kontakt pločevina-WC-Co kroglica.

2.3. Analize površin

Pločevina in orodje (WC-Co kroglica) sta bila po opravljenih 10.000 ciklih analizirana z namenom ugotovitve obrabe in obrabnih mehanizmov. Pločevino smo analizirali z optičnim interferometrom, ter določili obrabni volumen in izračunali koeficient obrabe. WC-Co kroglico smo analizirali pod elektronskim vrstičnim mikroskopom in določili prisotnost prenosnega filma iz pločevine na orodje. Dodatne analize pločevine so bile opravljene tudi z XPS metodo in mikroskopom na atomsko silo (AFM).

2.4. Analize površinske napetosti maziv in omočljivosti površin

Interakcijo maziv z pločevino in orodjem smo ovrednotili z analizo omočljivosti na optičnem merilniku kontaktnih kotov (CAM 101, KSV Instruments, Finska).

Najprej smo določili skupno površinsko napetost maziv z uporabo metode viseče kapljice. Polarno in disperzijsko komponento pa smo določili z merjenjem kota omočljivosti na PTFE površini in izračunom po metodah Wu [5] in Fowkes [6].

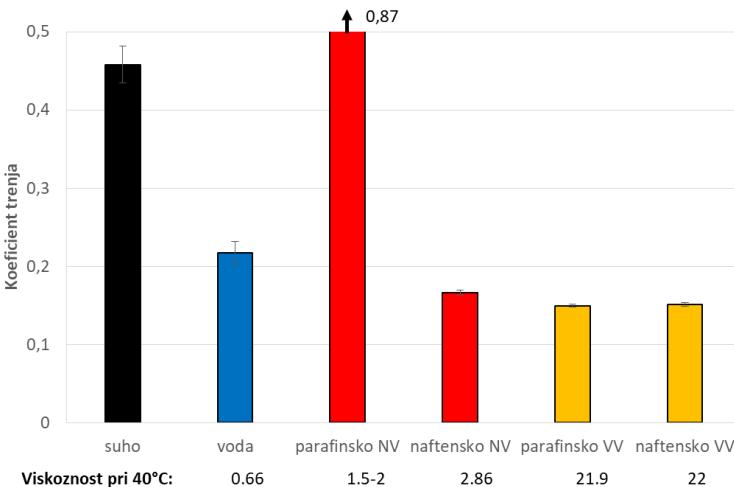
Omočljivost pločevine in orodja z obravnavanimi mazivi smo določili z kotom omočljivosti v stacionarnem stanju, ki je bilo doseženo tipično po 10 sekundah od nanosa maziva na površino.

3. Rezultati in diskusija

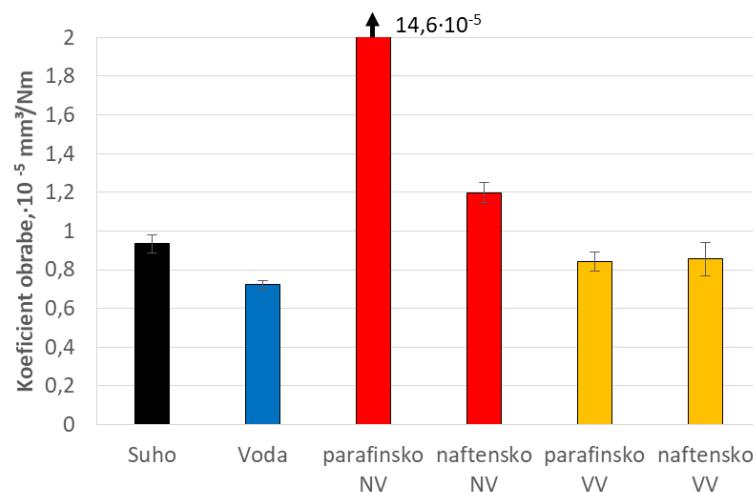
3.1. Tribološki preizkusi in analize površin

Rezultati koeficienta trenja so prikazani na sliki 2. Najnižje trenje dajeta obe olji z najvišjo viskoznostjo (parafinsko VV in naftensko VV), katerima sledi naftensko NV in voda. Vsa ma maziva bistveno znižajo koeficient trenja glede na suh, ne-mazan kontakt. Edino mazivo, ki izkazuje izrazito slabo delovanje in celo višji koeficient trenja glede na suh kontakt je parafinsko NV olje.

Rezultati obrabe pločevine so prikazani na sliki 3. Obe mazivi z višjo viskoznostjo (VV) in voda le minimalno izboljšajo obrabno odpornost pločevine, medtem ko obe mazivi z nizko viskoznostjo (NV) ne kažeta izboljšave, oziroma parafinsko NV olje izkazuje celo znatno večji koeficient obrabe kot suh kontakt, kar se ujema tudi v bistveno večjim koeficientom trenja, slika 2.

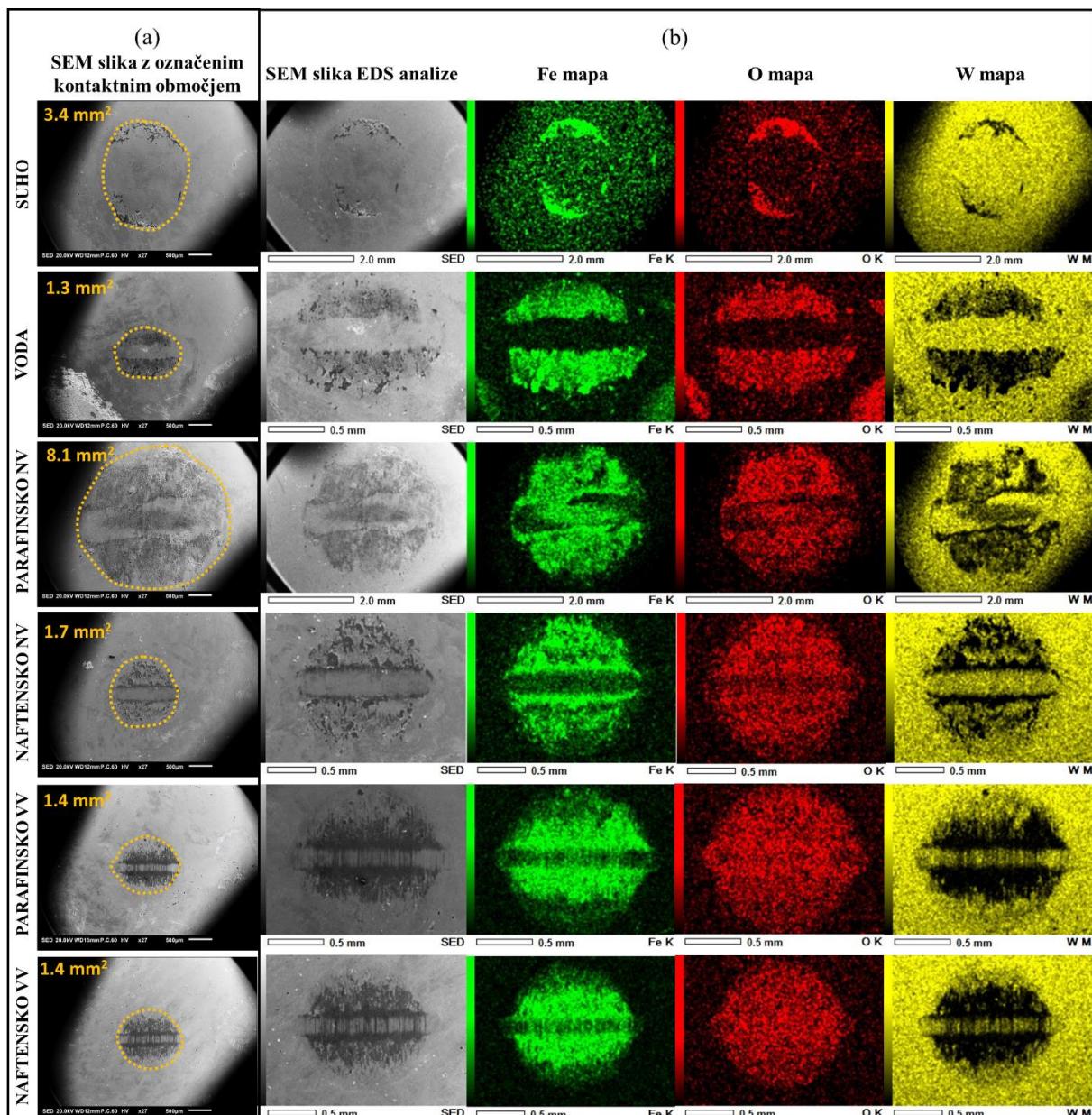


Slika 2: Ustaljeni koeficienti trenja za suh in mazan kontakt pločevina-WC-Co kroglica.



Slika 3: Koeficienti obrabe pločevine za suh in mazan kontakt.

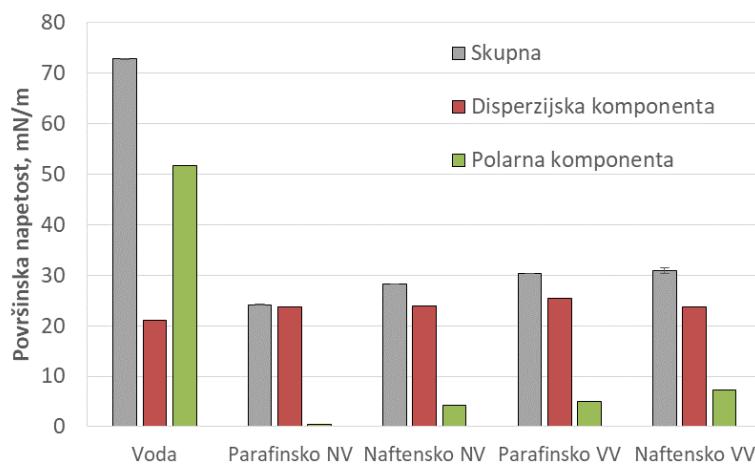
Analiza WC-Co kroglic (orodja) po opravljenih 10.000 ciklih je prikazana na sliki 4. Prenosni film iz pločevine na orodje je viden tako za suh kot vse mazane kontakte (Fe mapa), pri čemer je zaradi povišane v temperature v kontaktu na prenosnem filmu prisotna oksidacija (O mapa). Odsotnost W (W mapa), ki je osnovni element WC-Co kroglice (orodja) pa nakazuje na prisotnost debelejšega Fe prenosnega filma na WC-Co kroglici. Kontaktno območje na WC-Co kroglici z Fe prenosnim filmom je za vsa maziva bistveno manjše (od $1,3 \text{ mm}^2$ do $1,7 \text{ mm}^2$) kot za suh kontakt ($3,4 \text{ mm}^2$), slika 4a. Izjema je spet parafinsko NV olje, kjer je kontaktno območje z Fe prenosnim filmom daleč največje in znaša kar $8,1 \text{ mm}^2$. Slednje lahko tudi pojasni izvor visokega koeficiente trenja (slika 2) in koeficiente obrabe pločevine (slika 3) pri tem mazivu. Zaradi velike kontaktne površine WC-Co kroglice na kateri je prisoten Fe prenosni film imamo dejansko kontakt pločevina-Fe prenosni film, ki ima zaradi enakega materiala veliko adhezijo, ki prispeva v visokemu koeficientu trenja. Ta velika adhezija tudi pospešuje nadaljnje lepljenje pločevine na orodje, kar pomeni večjo obrabo same pločevine.



Slika 4: SEM slike z EDS analizo WC-Co kroglic po 10.000 ciklih.

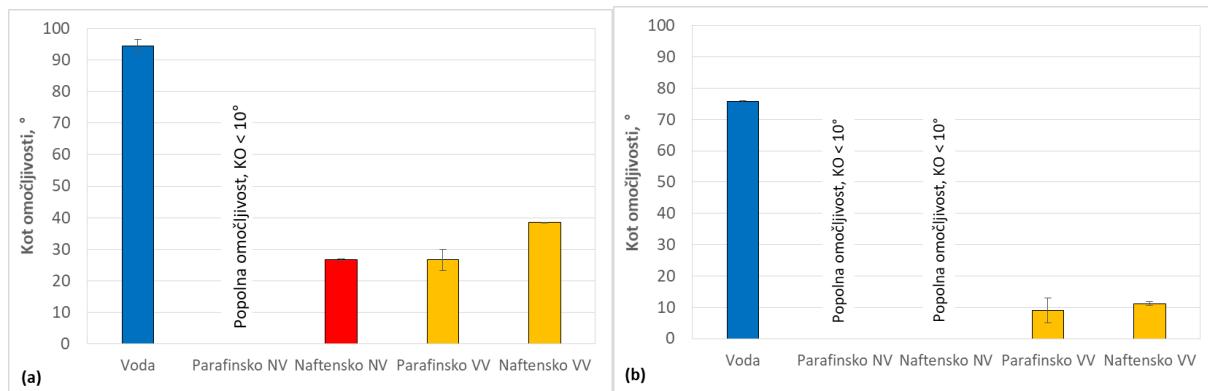
3.2. Površinska napetost maziv in omočljivost površin

Izmerjene površinske napetosti uporabljenih maziv so prikazane na sliki 5. Voda ima izmed vseh maziv najvišjo površinsko napetost in je edina prevladujoče polarne (polarna komponenta je višja od disperzijske). Vsa olja imajo bistveno nižjo površinsko napetost, pri čemer imata obe bolj viskozni olji (VV) višjo površinsko napetost od obeh nizko viskoznih (NV). Znotraj iste viskoznosti ima višjo površinsko napetost in polarno komponento vedno naftensko olje. Parafinsko NV olje, ki je izstopalo tako po visokem trenju (slika 2), visoki obrabi pločevine (slika 3) in velikem kontaktnem območju z Fe prenosnim filmom (slika 4) izstopa tudi po površinski napetosti, saj ima najnižjo površinsko napetost od vseh olj, kot tudi zanemarljivo polarno komponento. To oboje kaže na šibke medmolekulske vezi znotraj tega maziva.



Slika 5: Površinska napetost uporabljenih maziv.

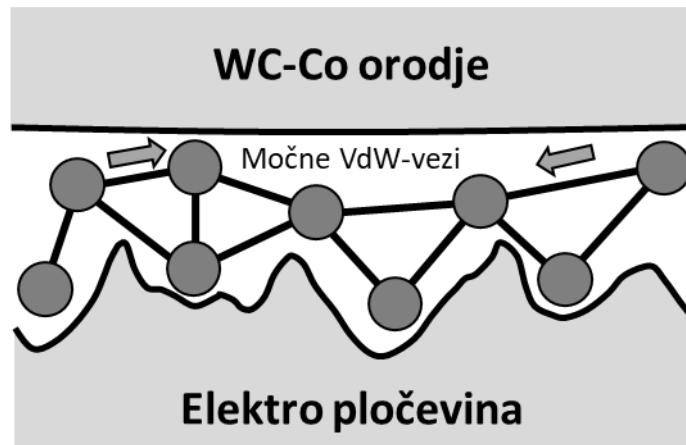
Rezultati stacionarnih kotov omočljivosti na pločevini in WC-Co orodju so prikazani na sliki 6. Največji kot omočljivosti na pločevini in orodju daje voda, kar je v skladu z njeno največjo izmerjeno površinsko napetostjo (slika 5). Maziva dajo vsa precej nižji kot omočljivosti, pri čemer je kot nižji na orodju (slika 6b) kot na pločevini (slika 6a), pri čemer obe nizko viskozni olji na WC-Co orodju izkazujeta popolno omočljivost. Po drugi strani pa na pločevini popolno omočljivost izkazuje samo parafinsko NV olje.



Slika 6: Kot omočljivosti uporabljenih maziv v stacionarnem stanju na: (a) pločevini in (b) WC-Co orodju.

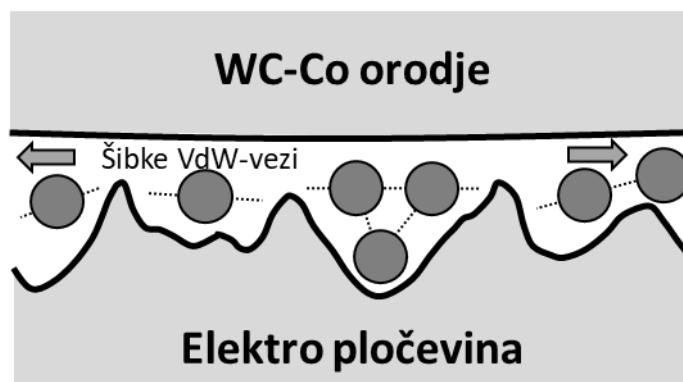
Na podlagi rezultatov omočljivosti lahko sedaj pojasnimo tudi glavne razlike v trenju in obrabi med različnimi mazivi. Obe visoko-viskozni (VV) mazivi imata izmed vseh olj največjo površinsko napetost in polarno komponento površinske napetosti (slika 5), kar pomeni, da se molekule maziva močneje držijo skupaj. Slednje sicer pomeni, da se maziva ne razširijo popolnoma po pločevini in orodju (slika 6), a hkrati tudi, da se mazivo zadrži znotraj kontakta med pločevino in WC-Co kroglico (slika 7) in s tem zagotavlja ustrezeno mazanje, kar se odraža na nizkem koeficientu trenja (slika 2), koeficientu obrabe pločevine (slika 3) in kontaktuem območju WC-Co kroglice s Fe prenosnim filmom (slika 4). Podoben mehanizem mazanja ima zaradi še vedno dovolj visoke površinske

napetosti in polarnosti (slika 5) tudi naftensko NV olje, a zaradi nižje viskoznosti ne more tako dobro zaščititi kontaktnih površin, kar se odraža na nekoliko višjem koeficientu trenja (slika 2), še bolj pa na koeficientu obrabe pločevine (slika 3) in kontaktnem območju z Fe filmom na kroglici (slika 4).



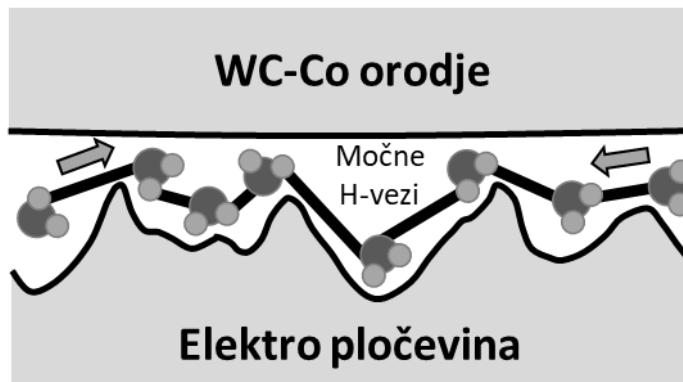
Slika 7: Mehanizem mazanja z VV olj.

Slabe mazalne sposobnosti parafinskega NV olja izhajajo iz nizke površinske napetosti in polarnosti (slika 5), ki pomenijo šibke med-molekulske van der Waalsove vezi. Mazivo se zato hitro razširi po površini, zaradi šibkih vezi pa se ne uspe zadržati znotraj kontakta med pločevino in orodjem (slika 8). Tako pride v tem primeru do nezadostnega mazanja, kar pomeni, da je mazivo povsem izrinjeno iz kontakta, to pa vodi v vedno več Fe prenosnega filma na orodje (slika 4), kar posledično pomeni visok koeficient obrabe pločevine (slika 3) in visok koeficient trenja (slika 2).



Slika 8: Mehanizem mazanja z parafinskim NV oljem.

Presenetljivo dobre rezultate daje voda, ki se glede na ostala maziva slabše izkaže le pri koeficientu trenja (slika 2), medtem ko je tako pri koeficientu obrabe pločevine (slika 3) in kontaktnem območju z Fe prenosnim filmom na kroglici (slika 4) boljša od obeh NV olj. Nekoliko višji koeficient trenja gre pripisati najnižji viskoznosti izmed vseh maziv. A ta nizka viskoznost pri obrabi pločevine in orodja ne igra tako pomembne vloge, saj do izraza pride visoka površinska napetost in polarnost vode (slika 5). Slednje pomeni močne med-molekulske (H-vezi) v vodi, ki omogočajo, da voda tvori sicer zelo nizko viskozen a stabilen mazalni film (slika 9) med pločevino in orodjem, kar preprečuje večjo obrabo tako pločevine kot povečevanje Fe prenosnega filma na WC-Co kroglico.

**Slika 9:** Mehanizem mazanja z vodo.

4. Zaključki

Izbira baznega maziva za štancanje bistveno vpliva na trenje med pločevino in orodjem in obrabo kontaktnih površin. Izkaže se, da olja z visoko viskoznostjo (VV) zagotavljajo najboljše mazalne lastnosti zaradi kombinacije višje viskoznosti, ustrezne površinske napetosti in polarnosti, ki zagotavljajo najnižje trenje, najnižjo obrabo pločevine in najmanjše kontaktno območje z Fe prenosnim filmom na orodju. Kot povsem neprimerno se izkaže parafinsko NV olje, ki zaradi nizke površinske napetosti in polarnosti ne more zagotoviti ustreznega mazalnega filma, kar se odraža na visokem trenju in obrabi. Prav nasprotno se navkljub najnižji viskoznosti kot dobro mazivo zaradi visoke površinske napetosti in polarnosti, ki zagotavlja ustrezen zelo tanek mazalni film izkaže voda.

Literatura

- [1] Landi, D., et al. Environmental and Economic Evaluation of the Sheet Metal Stamping Process Using Alternative Lubricants. in International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. 2019. American Society of Mechanical Engineers.
- [2] Buteri, A., et al. Tribological behavior of a new green industrial lubricant for stamping operations- Application to Stainless Steels. in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. IOP Publishing.
- [3] Schmid, S., et al., Developments in tribology of manufacturing processes. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2020. 142(11): p. 110803.
- [4] Nussbaumer, J., Alternatives for Chlorinated Paraffins in Metalworking Applications. Tribology & Lubrication Technology, 2012. 68(11): p. 48.
- [5] Wu S., Brzozowski K J. Surface free energy and polarity of organic pigments. Journal Colloid Interf Sci 37(4): 686-690 (1971)
- [6] Fowkes F M. Attractive forces at interfaces. Indust Eng Chem 56(12): 40-52 1964