

Stefanović, M., Aleksandrović, S., Stanojević, M.Đ., Adamović, D.

EKOLOŠKI PRIHVATLJIVE TEHNOLOGIJE OBRADE METALA DEFORMISANJEM

Rezime: Poznato je da se u poslednjoj deceniji zaoštravaju pitanja zaštite i očuvanja životne sredine sa više aspekata, od kojih je, svakako značajno i pitanje uvođenja novih, tzv. "zelenih" tehnologija u obradi metala deformisanjem. Ovakve tehnologije podrazumevaju drugačiji pristup u rešavanju triboloških problema pri oblikovanju (efikasna obrada, visok kvalitet površine komada, produženje veka alata i sl.). U tom smislu, pored razvoja postupaka za nanošenje prevlaka, korišćenje suvih mazivih filmova i sl., posebna pažnja se posvećuje razvoju novih maziva, koja pri uklanjanju ne zagađuju okolinu, a po efikasnosti ne zaostaju za tradicionalnim sredstvima za podmazivanje. U radu se daje pregled istraživanja u ovoj oblasti sa preporukama za korišćenje ekoloških maziva ("Friendly lubricants") u pojedini postupcima obrade deformisanjem.

Cljučne reči: Plastično oblikovanje, obradivost, ekologija, podmazivanje

ECOLOGICALLY ACCEPTABLE TECHNOLOGIES OF METAL FORMING

Abstract: It is well known that in the last decade the issue of environmental protection and preservation has gained extreme importance in many aspects; one of them, which is definitely important, is the introduction of the new, so called, "green" technologies in metal forming. Such technologies imply a different approach in solving tribological problems in forming (effective forming, high quality of piece surface, tool life prolongation etc.). To that purpose, in addition to the development of procedures for applying coatings, dry lubricate films and similar, particular attention is given to the development of new lubricants, which do not contaminate the environment when they are removed, and are as efficient as traditional lubricants. The paper presents the summary of researches in this area with recommendations for application of ecological lubricants ("Friendly lubricants") in particular procedures of metal forming.

Key words: Plastic forming, formability, ecology, lubrication

1. UVOD

Sa industrijskog aspekta, dvadeseti vek se može okarakterisati kao period masovne proizvodnje i visoke potrošnje. Prirodni resursi, formirani stotinama miliona godina ubrzano se troše. Posledice su poznate - uništenje ozonskog omotača, globalno zagrevanje i poremećaji u eko sistemima na različitim nivoima. Smatra se da se ovaj novi vek mora učiniti vekom zaštite okoline.

Proizvodne tehnologije, a posebno postupci plastičnog oblikovanja metala (TPO), poslednjih decenija doživljavaju buran razvoj. Osnovne karakteristike TPO su: razvoj postupaka numeričko-fizičkog modeliranja procesa oblikovanja-tečenja metala, definisanje naponsko-deformacionih polja i sl., u cilju optimizacije parametara obrade, primena sistema CAD/CAM za projektovanje i izradu alata, razvoj i primena veštačke inteligencije i ekspertnih sistema u osvajanju procesa obrade i konstrukcije alata, razvoj različitih postupaka, alata i mašina za delove koji se ne obrađuju naknadno ("Net Shape Forming" - NSF obrada) itd.

Sa ekološkog stanovišta, kao i u drugim tehnologijama, ključna pitanja u oblasti TPO su:

- zaštita raspoloživih resursa i
- smanjenje uticaja na životnu sredinu.

Ova dva glavna pitanja se mogu dalje razložiti na više složenih aktivnosti [2], koje je neophodno sistemski ugraditi u pojedine elemente industrijskih sistema :

- očuvanje bazičnih resursa i materijala,
- optimalna konstrukcija proizvoda,
- optimalna proizvodnja,
- smanjenje potrošnje energije,
- zaštita čovekove okoline.

Preporuke za optimalnu konstrukciju odnose se na korišćenje obnovljivih i materijala koji se recikliraju,

tribološki prihvatljive konstrukcije i materijale; optimalna proizvodnja podrazumeva automatsko upravljanje, visoku efikasnost i smanjenje potrošnje maziva. Najbolji načini za ostvarivanje zaštite okoline su: korišćenje ekološki prihvatljivih materijala (recikliraju se, lako se odlažu, ne utiču na okolinu ukoliko se ne recikliraju, pri njihovoj proizvodnji se ne generišu štetni otpaci), korišćenje maziva koja manje štetno utiču na okolinu (sprečavanje isticanja, produžavanje veka upotrebe maziva, upotreba-recikliranje-odlaganje, upotreba ekološki prihvatljivih maziva).

2. EKOLOŠKI ASPEKTI U OBLASTI TPO

Pojedine faze u osvajanju i eksploataciji novih proizvoda, kao što su konstruisanje, proizvodnja, servisiranje, održavanje i reciklaža se neprekidno ispituju i usavršavaju. Pri masovnoj produkciji, mora se preispitivati svaki detalj sa aspekta zaštite okoline. Na primer, prelaz sa toplog na hladno kovanje značajno štedi energiju. Net shape obrada smanjuje gubitke u materijalu.

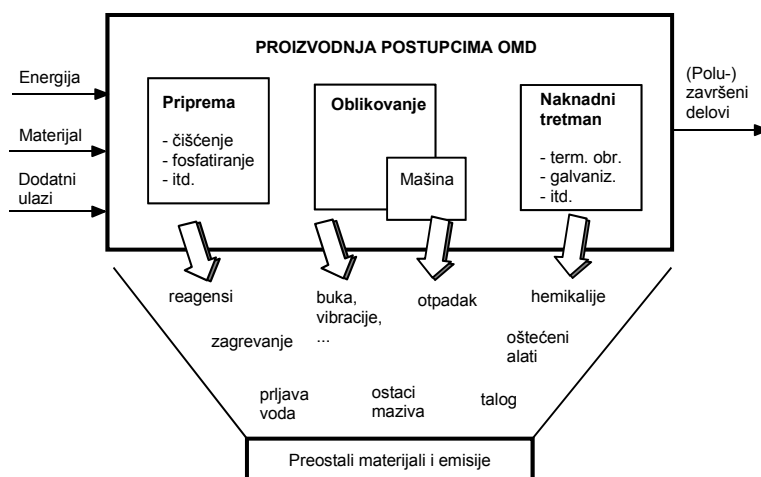
Tribološki pristup odnosi se na smanjenje zagađenja otpadnih voda i maziva, obezbeđenje prihvatljivog koeficijenta trenja, kako bi se dobila kvalitetna površina komada i umanjilo trošenje alata.

Ne ulazeći u sve detalje kompleksne eko-tribologije [1], na slici 1 pokazani su mogući izvori uticaja na okolinu pri proizvodnji postupcima TPO [2]. Posebne strategije i često visoka ulaganja su neophodna za rešavanje problema otpadnih materija i štetnih emisija, u oblasti odlaganja, recikliranja, zamene ili potpune eliminacije. Očigledna je složena priroda nastajanja i rešavanja iznetih problema, u cilju stvaranja tzv. „čistih“ TPO. U prvom koraku, po pravilu se razrešavaju poteškoće koje nastaju pri korišćenju i uklanjanju maziva, bez kojih je najčešće i nemoguće

relizovati proizvodnju.

Poznato je da se tribo-uslovi u kontaktu opisuju preko kontaktnog pritiska, relativne brzine klizanja u kontaktu i

temperature površine. U tabeli 1 pokazani su rangovi značajnih obradnih uslova pri različitim TPO.



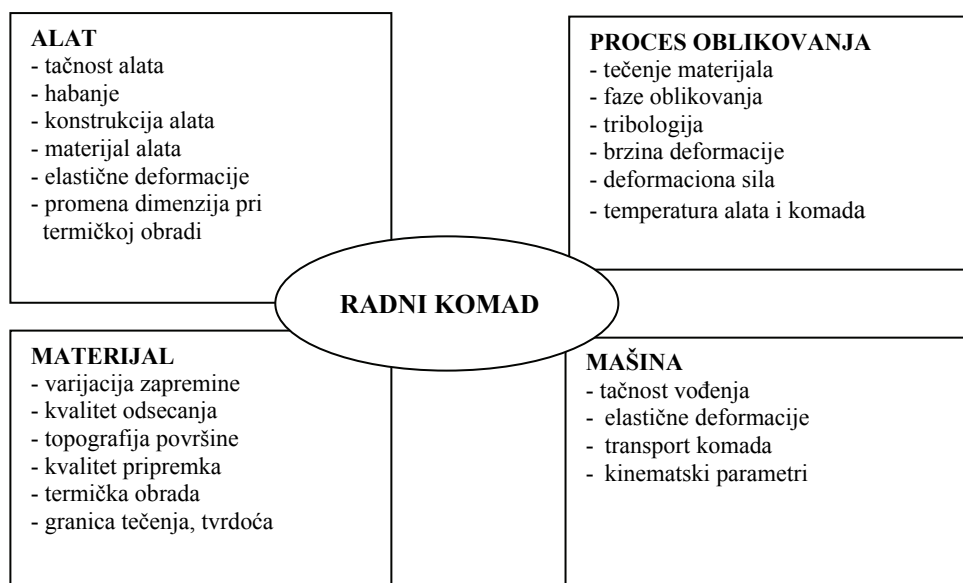
Slika1. Uticaji na okolinu u postupcima TPO [2]

PROCES → USLOVI ↓	Obrada lima	Vučenje, izvlačenje sa stanjenjem	Valjanje, orbitalna obrada	Kovanje, istiskivanje
Faktor pritiska, p/Rp	0,1-1	1-3	1-3	2-5
Kontaktni pritisak, p, MPa	1-100	100-1000	100-1000	100-3000
Brzina deformacije, ms ⁻¹	10 ⁻³ do 10 ⁻¹	10 ⁻² do 10 ²	10 ⁻² do 10 ²	10 ⁻³ do 10 ⁻¹
Relativna brzina klizanja	0 do 10 ⁻²	10 ⁻² do 10 ²	10 ⁻² do 0	0 do 10 ⁻¹
Temperatura kont. površine, °C	Sobna do 150	Sobna do 300	Sobna do 150 ili topla obrada	Sobna do 400 ili topla obrada
Promena površine	0,5-1,5	1-2	1-2	1-100

Tabela 1. Uslovi obrade u različitim postupcima TPO

U skladu sa obradnim uslovima, odnosno definisanim zahtevima, razvijena su i vrlo različita maziva za pojedine vrste tehnologija PO. Generalno, od maziva se zahtevaju sledeće funkcionalne karakteristike: smanjenje površine kontakta metala po metalu, posebno u zonama visokog pritiska, smanjenje habanja alata putem intenzivnog odvođenja toplote, kao i uklanjanje nečistoća, komadića metala i dr., obezbeđenje željenih otpora trenja, odnosno upravljanje tečenjem metala pri obradi, dobijanje željenog kvaliteta površine komada.

Razvoj metoda NSF može se reći, predstavlja pravi tehnološki pokret u okviru tehnologija plastičnog oblikovanja metala, pri čemu je za uspešnu realizaciju NSF neophodna integracija znanja iz oblasti novih materijala i proizvodnih tehnologija. Zbog potrebe za izradom delova visoke tačnosti, redovno u otežanim tribo-uslovima, potrebno je strogo kontrolisati faktore koji utiču na proces habanja alata. Na slici 2 su pokazani osnovni uticajni faktori na tačnost pri obradi postupcima NSF [3].



Slika 2. Uticajni parametri na tačnost pri NSF [3]

Pri hladnoj zapreminskoj obradi, npr. pri istiskivanju, lokalni pritisci dostižu vrednosti i do 3000 MPa, te se u ovakvim slučajevima na kontaktnoj površini komada mora formirati tzv. nosač maziva; kod čeličnih materijala je to često fosfat cinka. Formiranje ovakvog sloja, i naknadno odmašćivanje površina komada je dobro poznat problem, koji se i upotrebom novih generacija maziva ne može u potpunosti prevazići.

3. SAVREMENI PRINCIPI PRIHVATLJIVOG PODMAZIVANJA

Zahtev eko-okruženja je ultimativno korišćenje suvih tehnologija ili korišćenje maziva koja postoje u prirodi, ne menjaju se u procesu obrade i ne treba ih posebno uklanjati kasnije. Na primer, voda je vrlo prihvatljivo mazivo.

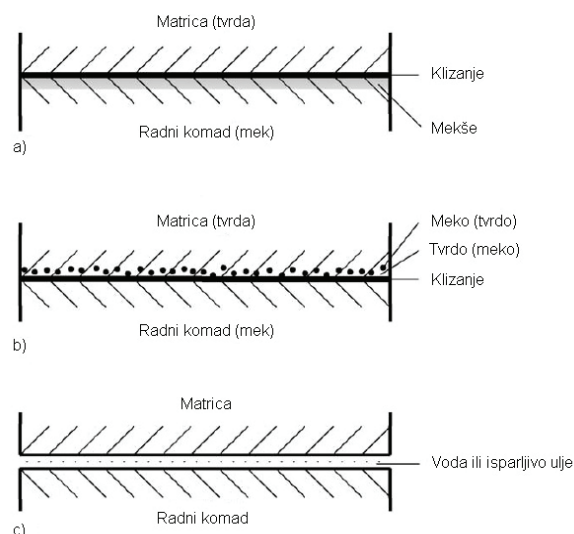
Međutim, u pojedinim postupcima TPO u uslovima visokih kontaktnih pritiska, režimi trenja su veoma nepovoljni, te ekološke TPO ne mogu imati za osnovu realizaciju suvog trenja. U prvom pristupu rešavanja ovih problema, mora se umanjiti trenje i zagađenje otpadnih tečnosti. Da bi se smanjilo trenje, mora se ostvariti granični film, odnosno meka prevlaka između kontaktnih površina. Ovaj film se kod klasičnih tehnologija može obezbediti uljem ili tzv. nosivim slojem (npr. cink fosfatom), ali je proces stvaranja i uklanjanja ovakvog filma redovno štetan za okruženje.

Na slici 3 su pokazana tri pristupa u realizaciji osnovnih principa „zelenog oblikovanja“ [4].

- na komadu je meka prevlaka koja igra ulogu maziva,
- na alatu je meka prevlaka,
- podmazivanje vodom ili isparljivim uljem

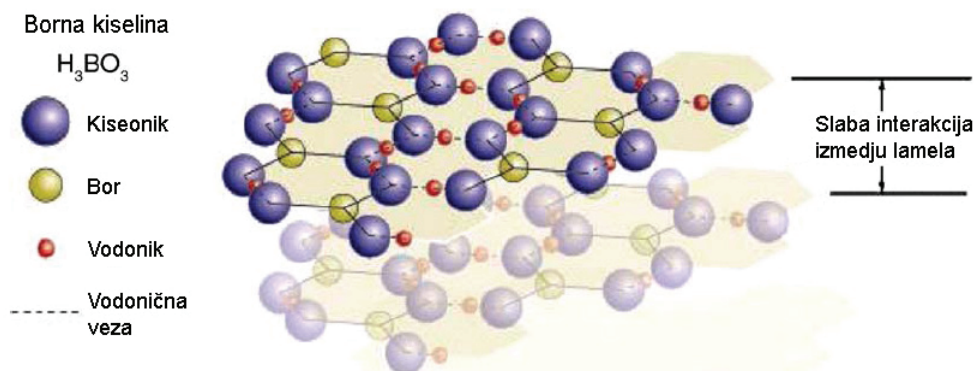
U oblasti prerade tankih limova, obrada dubokim izvlačenjem zauzima posebno mesto sa aspekta podmazivanja. U uslovima visokoserijske proizvodnje, kakva je automobilska industrija, pri korišćenju maziva postoje određene poteškoće. Za vreme obrade, mazivo se aplicira u zoni kontakta lima i alata, kako bi se povećala obradivost lima. Klasična maziva, koja obezbeđuju granični režim

podmazivanja pri obradi, najčešće su mineralnog porekla s dodatkom EP aditiva. Metalni sapuni koji se formiraju na površini lima omogućavaju dobro podmazivanje uz otežano uklanjanje i zagađenje vode pri odmašćivanju i čišćenju pre bojenja.



Slika 3. Principi prihvatljivog podmazivanja [4]

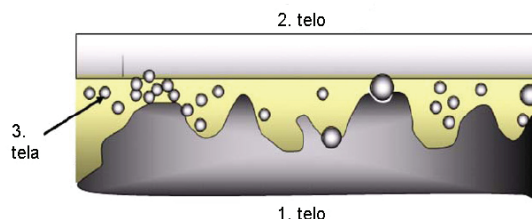
Mazivo koje se sve više koristi pri obradi limova i zadovoljava savremene ekološke zahteve ima u osnovi bornu kiselinu (H_3BO_3). To je čvrsto mazivo i ima dobre mazive karakteristike i ne zahteva posebne troškove odlaganja. Razvoj i upotreba u TPO traje dvadesetak godina. Borna kiselina je uobičajeni termin za ortobornu kiselinu, koja je hidrat oksida bora B_2O_3 . Na atmosferskom pritisku, borna kiselina dehidrira na temperaturi od $170^{\circ}C$ i vraća se u vrlo slabo podmazujuću supstancu-oksidi bora. Za obradu limova na uobičajenoj, sobnoj temperaturi, mazivo zadržava dobre mazive karakteristike.



Slika 4. Lamelarna struktura borne kiseline [5]

Na slici 4 je pokazana lamelarna molekularna struktura borne kiseline na temperaturi ispod tačke dehidriranja. Kada kristališe, kod borne kiseline postoje jake vodonične veze unutar samih slojeva. To omogućava lako klizanje po slojevima, uz visoki kapacitet nošenja opterećenja u kontaktu.

Borna kiselina ima formu belog praha, rastvara se u zagrejanju vodi, stabilna je i lako se rukuje sa njom. Cena je oko 4,5 \$/kg. Najčešće se koristi u kombinaciji sa repičinim uljem, 5% težinski, sa česticama oko $100 \mu m$. Pri podmazivanju, čestice borne kiseline u biljnom ulju igraju ulogu trećeg tela, koje razdvaja površine alata i materijala i omogućava mešovito podmazivanje, slika 5 [5].



Slika 5. Borna kiselina – treće telo pri podmazivanju [5]

4. ZAKLJUČAK

Razvoj tehnologije plastičnog oblikovanja metala podrazumeva i usaglašavanje sa savremenim zahtevima za uvođenje tzv. „čistih“ proizvodnih postupaka, koji se temelje na: očuvanju bazičnih resursa i materijala, optimalnoj konstrukciji proizvoda i proizvodnji, smanjenju potrošnje energije i zaštiti čovekove okoline, čime se i bavi eko-tribologija. Korišćenje ekološki prihvatljivih maziva je samo jedan od aspekata globalnog pristupa u oblasti TPO.

Napredne TPO, usaglašene sa postupcima NSF, omogućavaju značajnu uštedu u materijalu i ekološki su prihvatljive. Međutim, zbog obrade u uslovima visokih kontaktnih pritiska, neophodno je koristiti kvalitetna maziva, najčešće sa tzv. nosećom prevlakom, čije nanošenje i uklanjanje zahteva upotrebu rizičnih supstanci sa aspekta očuvanja životne sredine. U ovakvim slučajevima, reinžinjerinng procesa obrade se mora uskladiti i sa zahtevima ekološke prirode.

U pojedinim tehnološkim procesima, moguće je koristiti maziva na bazi biljnih ulja sa dodacima prirodnih materijala, koji ne zagađuju okolinu. Korišćenje ovakvih maziva zahteva i prilagođavanje proizvodne opreme i pratećih struktura. Npr. pri dubokom izvlačenju čeličnih i Al-limova, veoma uspešno se mineralna ulja sa EP-aditivima mogu zameniti mazivima na bazi biljnih ulja sa bornom kiselinom. Ovakva maziva su netoksična i bio-razgrađiva.

5. LITERATURA

- [1] W. J. Bartz, *Ecotribology: Environmentally acceptable tribological practices*, Tribology International, Volume 39, Issue 8, August 2006, Pages 728-733.
- [2] M. Geiger, *Towards Clean Forming Techniques*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 44, Issue 2, 1995, Pages 581-588.
- [3] M. Stefanović, S. Aleksandrović, V. Mandić, *Aktuelni trendovi razvoja tehnologije plastičnog oblikovanja metala*, 30. Savetovanje Proizvodnog Mašinstva Srbije i Crne Gore sa međ. učešćem, Vrnjačka Banja, 2005, Zbornik radova po pozivu (uvodni referati) 57-82.
- [4] Z. G. Wang, *Tribological approaches for green metal forming*, Journal of Materials Processing Technology, Volume 151, Issues 1-3, 1 September 2004, Pages 223-227
- [5] M. Lovell, C.F. Higgs, P. Deshmukh, A. Mobley, *Increasing formability in sheet metal stamping operations using environmentally friendly lubricants*, Journal of Materials Processing Technology, Volume 177, Issues 1-3, 3 July 2006, Pages 87-90.

Autori: Prof. dr Milentije Stefanović¹, prof. dr Srbslav Aleksandrović¹, Spec.hem Mica Đorović-Stanojević², prof. dr Dragan Adamović¹,

¹ - Mašinski fakultet u Kragujevcu, S.Janjić 6, 34000 Kragujevac, tel.: +381 034 336 001,

E.mail: stefan@kg.ac.rs, srba@kg.ac.rs, adam@kg.ac.rs

² - Prva Kragujevačka Gimnazija, Daničićeva 1, 34000

Kragujevac, +381 034 335 506

E.mail: majaslav@ptt.rs