

TEHNIČKE MOGUĆNOSTI PRODULJENJA VIJEKA DIJELOVA ALATA IZLOŽENIH TRENJU I TROŠENJU

TECHNICAL POSSIBILITIES OF EXTENDING THE USEFUL LIFE OF TOOL PARTS EXPOSED TO FRICTION AND WEAR

Željko Rosandić¹, Filip Pepić¹, Ivan Alilović², Vlatko Marušić¹

¹ Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

² Veleučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

Ključne riječi: alati, navarivanje, tlačenje, trenje, trošenje, vijek

Key words: tools, cladding, pressing, friction, wear, life

Sažetak:

Analizirana je mogućnost produljenja vijeka dijelova alata izloženih trenju i trošenju. Aplikacija aluminijske bronce se zbog bitno reduciranih proizvodnih troškova nameće kao optimalan izbor pri izradi novih i reparaciji postojećih strojnih elemenata, posebice kod alata za oblikovanje deformiranjem nehrđajućih čelika. Nakon simulacije radnih uvjeta tlačenjem na hidrauličnoj opremi Amsler, objedinjeni su rezultati mikrostrukturne karakterizacije, rezultati površinskih tvrdoća izmjerenih metodom HRC i rezultati tvrdoća izmjerenih po poprečnom presjeku, metodom HV1. Došlo se do pretpostavki koje upućuju na to da svojstva navarenog sloja CuAl legure mogu povoljno utjecati na povećanje otpornosti trošenju uz značajno smanjenje troškova izrade alata.

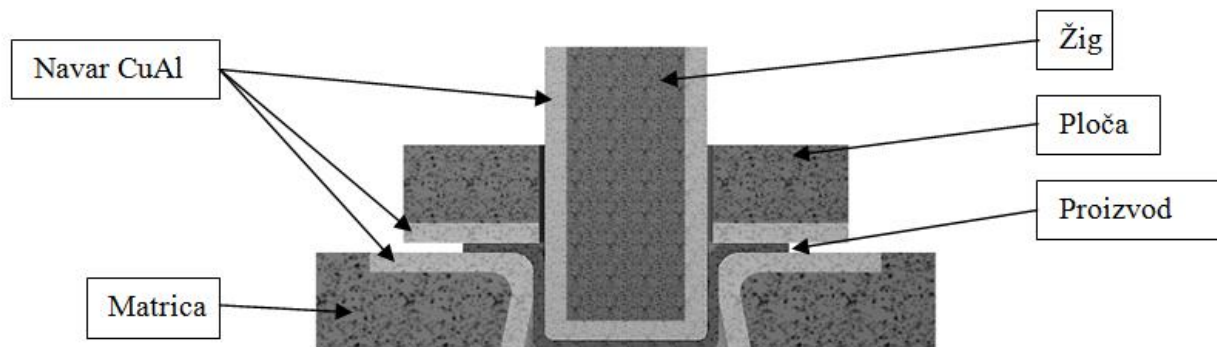
Abstract:

The possibility of extending the useful life of tool parts exposed to friction and wear was analysed. Aluminium bronze application is an optimal choice for the production of new and the reparation of existing machine elements, especially tools for metal forming of stainless steel, because of the significantly reduced production costs. After the simulation of work conditions by pressing on the hydraulic equipment Amsler, the results of microstructure characterization, the results of surface hardness measured by HRC method, and the results of hardness measured at the cross-section by HV1 method, were unified. This has led to an assumption which indicates that the properties of clad layer of CuAl alloy can have a positive effect on the increase of wear resistance with significant reduction of tools production costs.

1. UVOD

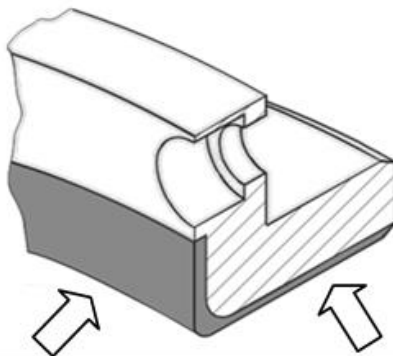
Trošenje strojnih elemenata, a pogotovo dijelova alata, neizbježna je pojava. Zbog činjenice da uz manje ili više učestalo gibanje postoji kontakt između dvije metalne površine, doći će do trenja i trošenja. Među mnogobrojnim primjerima, odabrana su dva karakteristična slučaja kod alata za duboko vučenje nehrđajućih proizvoda. Pokušat će se uočiti čimbenike koji bi mogli imati najznačajniji utjecaj na smanjenje trenja i trošenja, a sve to u cilju optimizacije intenziteta trošenja. Za odabrane primjere izradit će se laboratorijski uzorci na kojima će se pokušati simulirati realni radni uvjeti alata. Promatrat će se svojstva dijelova površine navarenih, aluminijskom broncom, izloženih izrazito intenzivnom radnom opterećenju adhezijskog tipa uz relativno malu komponentu proklizavanja. Po navarivanju aluminijske bronce na nosivu čeličnu osnovu izvršit će se priprema za laboratorijska ispitivanja. Primjer alata za duboko vučenje izrađenog navarivanjem površinskih

slojeva, prikazan je na slici 1. Ovakva izvedba prvenstveno je namijenjena proizvodnji dijelova od nehrđajućeg CrNi čelika. Ovdje je važno osigurati uvjete pri kojima finalni proizvod ni u kojem slučaju neće doći u kontakt sa česticama željeza i iz tog razloga alat se izrađuje strogo vodeći računa o pravilnom odabiru materijala. Površinska tvrdoća i niski faktor trenja aluminijske bronce, sprječavaju zaribavanje alata u radu, a njezin odgovarajući kemijski sastav umanjuje mogući nepovoljan utjecaj na finalni proizvod u smislu degradacije estetskih svojstava. Estetska svojstva su izrazito značajna kod proizvoda široke potrošnje kao što je bijela tehnika. Ovakve alate se ranije izrađivalo u cijelosti od aluminijske bronce jer nije postojalo ekonomski prihvatljivije rješenje. Kod novijih izvedbi, samo površinski dijelovi alata se izrađuju navarivanjem aluminijske bronce na značajno jeftiniju čeličnu osnovu.



Slika 1. Alat za duboko vučenje izrađen navarivanjem

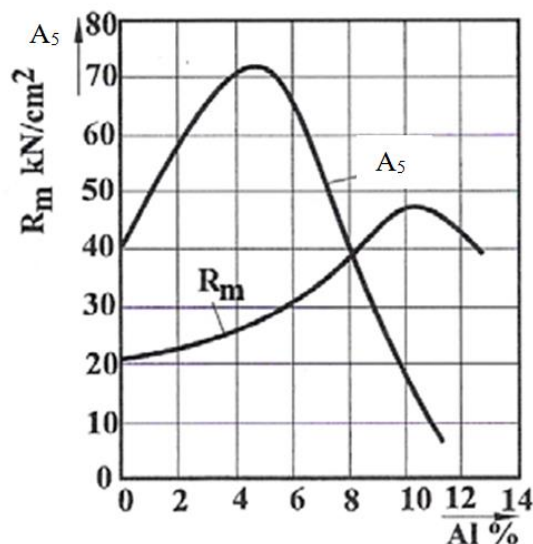
Na slici 2 prikazan je primjer još jednog dijela alata za duboko vučenje izrađenog navarivanjem. Ovakav dio prstenastog oblika, može biti promjera i do 500 mm. Njegova osnova izrađena je od čelika St 52-3 N, koji zadovoljava konstrukcijske zahtjeve. Puna proizvodna funkcija alata, ostvaruje se navarivanjem sloja aluminijske bronce. Nakon navarivanja strojno ga se obrađuje uz završno poliranje površine. Polirani navar aluminijske bronce na slici 2 obilježen je strelicama.



Slika 2. Segment alata izrađen navarivanjem

Aluminijske bronce se odlikuju dobrim kliznim svojstvima i čvrstoćom, koja se približava vrijednostima čvrstoće ugljičnih čelika. Aluminijske bronce namijenjene za gnječenje, koriste se u kemijskoj i prehrambenoj industriji radi visoke čvrstoće pri povišenim temperaturama, radi visoke dinamičke čvrstoće te radi visoke otpornosti i postojanosti prema koroziji i eroziji. Radi poboljšanja svojstava toplinski ih se obrađuje putem rekristalizacijskog žarenja, kaljenja i popuštanja te žarenja radi otklanjanja unutrašnjih napetosti. Rekristalizacijsko žarenje izvodi se zagrijavanjem na temperaturi 650 °C sa ciljem, izmjene mehaničkih svojstava i omogućavanja daljnje mehaničke obrade. Kaljenje i popuštanje aluminijskih bronci koristi se kod tipova bronci koje u svom sastavu imaju iznad 9,5 % Al. Postupak kaljenja sastoji se iz zagrijavanja na temperaturu 850÷900 °C i

naglog hlađenja u vodi. Zagrijavanjem iznad temperature 850 °C u strukturi se javlja samo β faza, koja se pri hlađenju nekom brzinom većom od kritične brzine hlađenja transformira putem bezdifuzijskog procesa, kao i kod kaljenja čelika, u igličastu strukturu koja se odlikuje znatno većom tvrdoćom. Poslije kaljenja aluminijskih bronci u vodi, vrši se popuštanje na temperaturama 300÷565 °C. Tako npr. popuštanje na temperaturi 300 °C daje tvrdoću 185 HB, a na temperaturi od 450 °C daje tvrdoću 160 HB. Povećanjem sadržaja aluminija u leguri sistema Cu-Al raste vlačna čvrstoća, a pri sadržaju oko 10,5 % postiže svoj maksimum. Sposobnost deformacije sa povećanjem sadržaja aluminija opada do 2 % Al, a zatim raste i postiže svoj maksimum pri 8% Al, slika 3 [1].

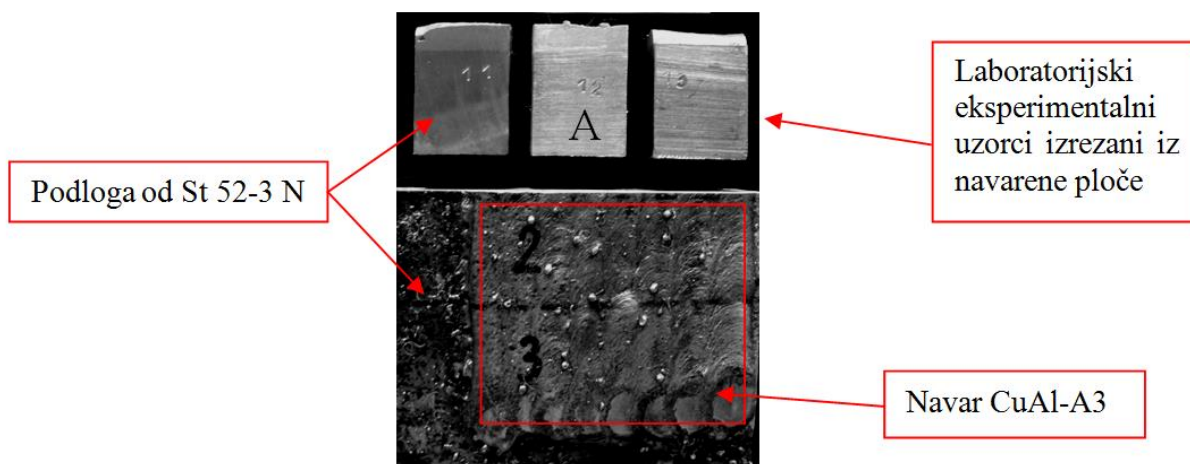


Slika 3. Ovisnost vlačne čvrstoće i izduženja aluminijske bronce o udjelu aluminija

U praksi se u legure bakra i aluminija dodaje željezo koje utječe na sitnozrnost strukture koja potom povećava čvrstoću, tvrdoću i otpornosti na habanje. Iako je tvrdoća nesumnjivo važan čimbenik u ponašanju trošenja, njezina uloga je složenija nego se nekada misli i usko je vezana uz strukturu materijala [2]. Kombinacija jednog tvrdog i jednog manje tvrdog materijala važno je obilježje uspješno usklađenog tribo para. Tvrdi podloga kontrolira interakciju, a manje tvrda odgovara. Mekši materijal je u stanju ugnijezditi tvrde abrazivne čestice i na taj način smanjiti oštećenja površine. On može biti ugrađen u konstrukciju na takav način da se od njega izradi jeftinija i lakše zamjenjiva komponenta [3].

2. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

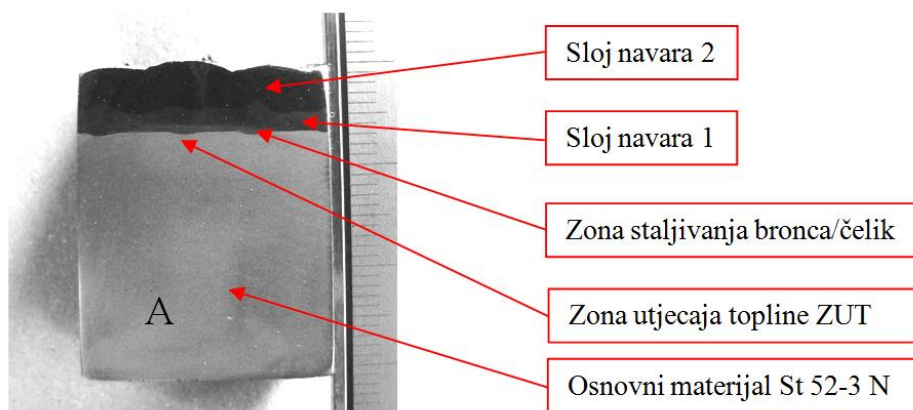
Ispitni uzorci izrađeni su navarivanjem aluminijske bronce na čeličnu osnovu, primjenom preporučenih proizvodnih parametara, u realnim industrijskim uvjetima. Nastojalo se u realnom okruženju stvoriti laboratorijske uzorke koji će omogućiti prikupljanje kvalitetnih rezultata ispitivanja. Na osnovni materijal St 52-3 N, definiran prema DIN 17100 [4], MIG postupkom je u dva sloja navarivana aluminijska bronca oznake prema AWS A5.7 klasa ER CuAl-A3 [5]. Uvidom u tehničku dokumentaciju isporučenu uz dodatni materijal uočava se da je udjel aluminija kod primijenjene aluminijske bronce između 10,0 i 11,50 %, dok je udjel željeza u rasponu između 2,0 i 4,5%. Toplinska obrada i pripreme za metalografska ispitivanja, kao i mjerenja tvrdoća na laboratorijskim uzorcima, provedene su u laboratorijskim uvjetima na Strojarskom fakultetu u Slavonskom Brodu. Uzorci su držani na temperaturi od 600 °C u trajanju od 2 sata, a hlađenje je provedeno na zraku. Mikrostrukturna analiza provedena je optičkim mikroskopom. Radni uvjeti uzoraka simulirani su tlačnjima pomoću hidrauličke opreme Amsler, u okviru raspoloživih tehničkih mogućnosti. Čeličnu ploču s navarenim slojem aluminijske bronce, iz koje su uzeti eksperimentalni uzorci za predviđena ispitivanja, prikazuje slika 4.



Slika 4. Navar aluminijske bronce i laboratorijskih eksperimentalnih uzoraka

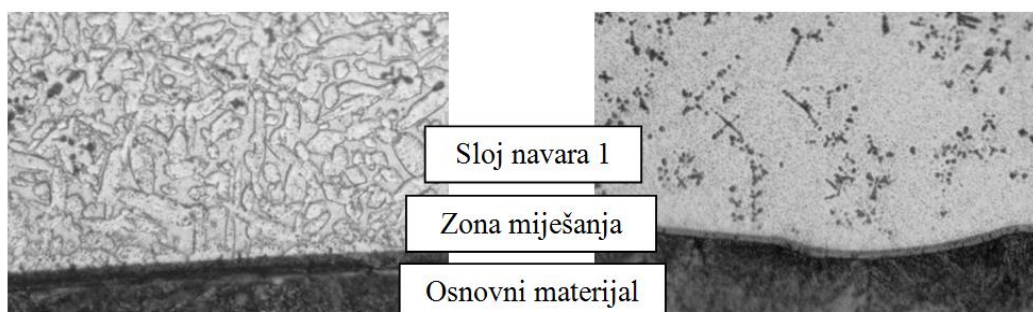
2.1. Metalografska analiza nakon navarivanja i toplinske obrade

Makrosnimak poprečnog presjeka uzorka na slici 5 prikazuje osnovni materijal i materijal navara nanesen u dva sloja.



Slika 5. Makrosnimak poprečnog presjeka navara CuAl-A3 na St 52-3 N

Područje spoja osnovnog materijala i materijala navara prikazano je na slici 6 i sastoji se od tri zone. Prvu zonu čini čelik kao osnovni materijal, drugu zonu dodatnog materijala čini bronca sa slojevima navara 1 i 2, dok treću zonu čini područje staljivanja i miješanja bronca/čelik.

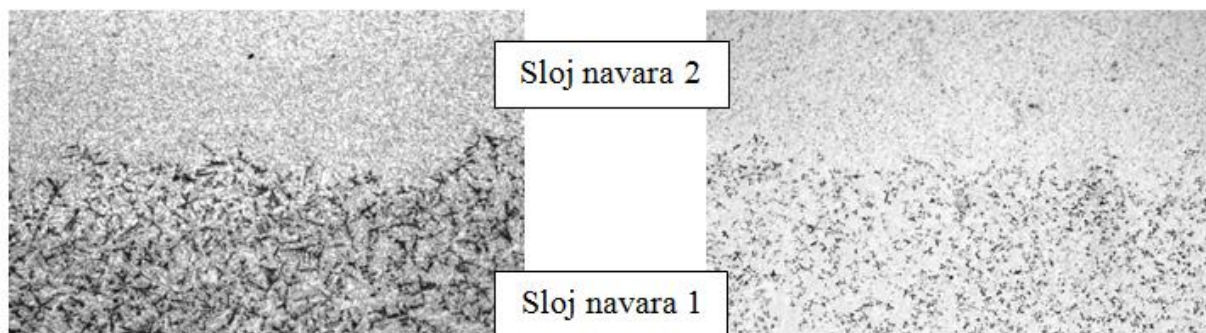


a) Prije toplinske obrade, nagriženo CrS kiselinom, 500x

b) Nakon toplinske obrade, nagriženo CrS kiselinom, 500x

Slika 6. Mikrostrukture zone miješanja po poprečnom presjeku laboratorijskih uzorka

U materijalu navara neposredno uz zonu miješanja, sloj 1, slika 6, uočena je značajna prisutnost čestica osnovnog materijala koje su poprimile dendritičan oblik. One su relativno jednoliko raspoređene po cijelom presjeku toga sloja. U sloju navara 2, prisutnost čestica osnovnog materijala je zanemariva, slika 7.



a) *Prije toplinske obrade, nagriženo
CrS kiselinom, 200x*

b) *Nakon toplinske obrade, nagriženo CrS
kiselinom, 100x*

Slika 7. Mikrostrukture navarenih slojeva po poprečnom presjeku laboratorijskih uzorka

2.2. Kontrola tvrdoća

Mjerenje tvrdoća navarenog sloja, nakon toplinske obrade, izvršeno je metodom HRC, izravno na makroskopskom uzorku, slika 8 a, i to po završetku svakog pojedinog, od ukupno tri, ciklusa opterećivanja. Izmjerene vrijednosti tvrdoća prikazane su tablicom 1.

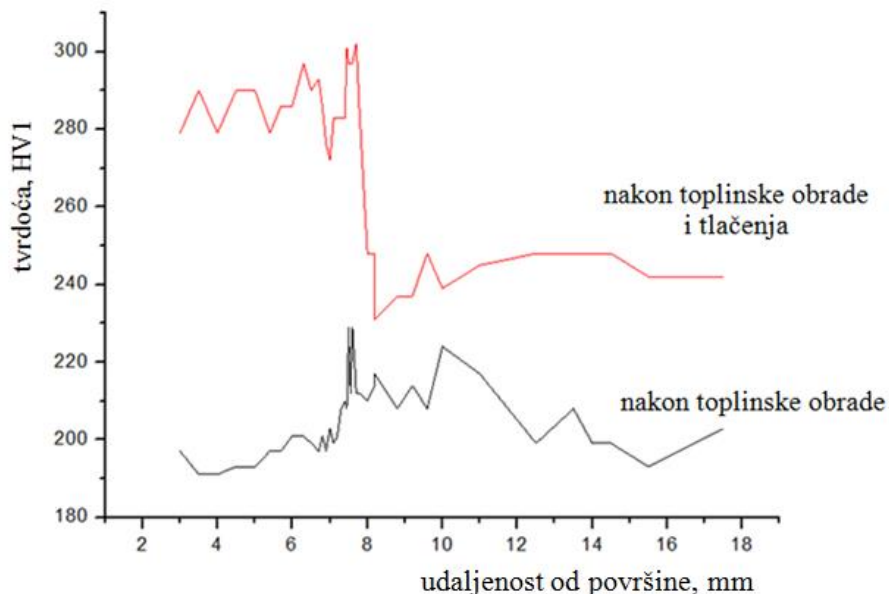


Slika 8. Makro izgled eksperimentalnog uzorka nakon tlačenja i toplinske obrade

Tablica 1: Rezultati mjerenja tvrdoća površine navara nakon opterećivanja

Ciklus tlačenja	0	I	II	III
Sila tlačenja	0	0-150	0-250	0-350
HRC	15	24	28	32

Slika 9 prikazuje tijek tvrdoća mjerenih po poprečnom presjeku eksperimentalnih uzoraka mjerenih metodom HV1. Zanimljivo je uočiti izrazito visoke razlike razina tvrdoća prije i nakon provedenog postupka tlačenja, koje su najizraženije u području navara do dubine od približno 8 mm.



Slika 9. Tijek tvrdoća po poprečnom presjeku navarenih eksperimentalnih uzoraka

3. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Za ilustraciju mogućnosti produljenja vijeka dijelova alata izloženih trenju i trošenju, odabrana je, u primjeni sve prihvaćenija legura komercijalnog naziva aluminijska bronca. Njezina je aplikacija s napretkom tehnike navarivanja sve jednostavnija te se nameće kao optimalan izbor pri izradi i reparaciji strojnih elemenata i alata. S ciljem analize njezinih svojstava pri navarivanju na osnovni materijal St 52-3 N te uočavanja bitnih svojstava alata proizvedenog navarivanjem, provedena su metalografska ispitivanja te je izmjerena površinska tvrdoća navara kao i tvrdoće po poprečnom presjeku uzoraka. Eksperimentalni uzorci predstavljaju dio navarenog alata, prikazanog na slikama 1 i 2, a izrađeni su u industrijskim uvjetima primjenom realne proizvodne procedure, tako da je moguće promatrati kako površinu uzorka tako i površinu okomitu na smjer navarivanja. Objedinjavanjem rezultata mikrostrukturne karakterizacije, te rezultata površinskih tvrdoća, izmjerenih metodom HRC i rezultata tvrdoća izmjerenih po poprečnom presjeku, metodom HV1, došlo se do saznanja o svojstvima alata izrađenog navarivanjem sloja CuAl legure.

Vrijednosti površinskih tvrdoća kreću se između 14 HRC za početno, neopterećivano stanje pa sve do 19 HRC, za stanje nakon završnog opterećivanja silama do 400 kN, što upućuje na postojanje trenda porasta razine površinske tvrdoće uzrokovanog periodičkim stlačivanjem površinskog navarenog sloja uzoraka. Uočeni trend porasta razina površinskih tvrdoća navara uočen je i na poprečnom presjeku promatranih eksperimentalnih uzoraka i u značajnoj mjeri povećava mogućnost pozitivnog utjecaja na produljenje vijeka dijelova alata izloženih trenju i trošenju adhezijskog tipa.

Mikrostrukturna analiza pokazala je visok stupanj homogenosti zone miješanja CuAl i osnovnog materijala. Pored CuAl osnove, u zoni taljenja mjestimično su prisutne i čestice željeza iz materijala podloge, nastale tijekom procesa navarivanja. Udjel čestica željeza iz osnovnog materijala u sloju 2 je zanemariv, slika 7. Primjenom dvoslojnog navarivanja osiguran je nužan uvjet izostanka čestica željeza u površinskom sloju materijala alata koji je u izravnom kontaktu sa obratkom.

Prikupljeni rezultati predstavljaju kvalitetnu polaznu osnovu za nastavak započetih istraživanja. Osmišljen je način izrade uzoraka navarene CuAl legure u obliku diskova prikladnih za ispitivanja otpornosti trošenju na uređaju SMT-1 2070. Ovaj uređaj omogućava simulaciju uvjeta najslabijih realnim, radnim uvjetima alata. Praćenjem intenziteta trošenja adhezijskog tipa sa

komponentom proklizavanja, dobit će se mogućnost kvalitetnijeg usklađivanja površinskih svojstava tribopara alat/obradak.

4. REFERENCES

- [1] Filetin, T., Kovačiček, F., Indof, J., „Svojstva i primjena materijala“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009, 5, str. 1-11.
- [2] Marušić, V., „Tribologija u teoriji i praksi“ Strojarski Fakultet u Slavonskom Brodu, pp. 135.
- [3] Reid, J. V., Schey, J. A., "The Effect of Surface Hardness on Friction" - Wear 118 (1987) 113.
- [4] DIN 17100 Steels for general structural purposes .
- [5] AWS A5.7 class ER CuAl-A3.
- [6] Weill-Couly, P., „Welding Aluminium Bronze Castings“, Proc Int Conf on Welding of Castings, Welding Institute, Cambridge 1, pp 253-266.