

PRIMJENA INHIBITORA KOROZIJE KOD TEHNOLOGIJE OBRADJE ODVAJANJEM ČESTICA

APPLICATION OF CORROSION INHIBITORS IN METAL CUTTING TECHNOLOGY

Ivan JURAGA, Ivan STOJANOVIĆ, Vesna ALAR, Vinko ŠIMUNOVIĆ, Hrvoje BELOV¹⁾

Ključne riječi: strojna obrada, sredstva za hlađenje i podmazivanje, inhibitori korozije

Key words: metal cutting, cooling agents and lubricants, corrosion inhibitors

Sažetak: Strojna obrada danas treba zadovoljiti osim kvalitetne obrade i niz drugih uvjeta da bi se ispunili zahtjevi modernog tržišta. Sve veći trend u takvoj proizvodnji je i upotreba sredstava hlađenja, ispiranja i podmazivanja (SHIP) koja će učinkovito, osim navedenih svojstva, pružati i dobru biorazgradivost i antikorozivnu zaštitu. Naravno da se primarna svojstva hlađenja i podmazivanja podrazumijevaju. Antikorozivna zaštita mora se provoditi u tijeku obrade i nakon obrade kada dijelovi ili prelaze na slijedeće operacije na drugim strojevima, ili čekaju montažu u sklopove. Primjena sredstva za hlađenje i podmazivanje s inhibitorima korozije eliminira potrebu za dodatnom antikorozivnom zaštitom ili konzervacijom. U radu je obrađena metoda zaštite od korozije primjenom inhibitora s osvrtom na inhibitore korozije koji se dodaju sredstvima za hlađenje i podmazivanje kod obrade odvajanjem čestica. U eksperimentalnom dijelu rada, prikazani su rezultati korozijskih ispitivanja elektrokemijskim metodama, te ispitivanja u slanoj i vlažnoj komori, različitih inhibirajućih sredstva za podmazivanje i hlađenje koja su dostupna na tržištu.

Abstract: In order to respond to market demands, metal working has to meet, besides the cutting quality, a series of other requirements. An increasing trend in such a production is the application of lubricating and cooling agents which will, apart from the stated properties, provide good biodegradation and corrosion protection. It is understood that the primary lubrication and cooling properties are here implied. Corrosion protection is performed during the working process and after the working process when metal parts either proceed to other operations or wait to be assembled. Once the lubricating and cooling agents containing corrosion inhibitors are applied, there is no need for additional corrosion protection or conservation. This paper presents the corrosion inhibitor protection with special attention given to corrosion inhibitors which are added to lubricating and cooling agents during the metal cutting process. Results of the corrosion electrochemical testing of the lubricating and cooling agents available on the today's market and of the testing in salt and climatic chamber are shown in the experimental work.

¹⁾ Austrian Energy & Environment, Đuro Đaković Termoenergetska postrojenja d.o.o., Slavonski Brod



1. UVOD

Svi konstrukcijski materijali podložni su štetnim promjenama, tj. pojavama i procesima koji smanjuju njihovu uporabnu vrijednost. Najrašireniji je štetni proces ove vrste korozija koja kemijskim međudjelovanjem materijala i medija razara materijal pretvarajući ga u drugu tvar. Te promjene zahvaćaju konstrukcijske materijale od trenutka njihova dobivanja pa sve do otpreme na otpad ili na recikliranje, tj. u sirovu obliku, odnosno u obliku poluproizvoda, proizvoda tijekom prerade, obrade, skladištenja, montaže, primjene, zastoja i popravka. Takvo oštećivanje nastoji se spriječiti postupcima zaštite materijala [1]. Jedna od metoda zaštite je primjena inhibitora koji se rabe za kočenje korozije dodani u elektrolite i vlažne plinove.

U radu je obrađena djelotvornost međufazne zaštite od korozije obradaka za vrijeme i nakon strojne obrade primjenom sredstava za hlađenje i podmazivanje tj. SHIP-a koji sadržavaju inhibitore korozije.

2. SREDSTVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE

Jedan od glavnih zadataka u unapređenju obrade odvajanjem čestica je povećati proizvodnost svake operacije obrade, te povećati točnost i kvalitetu površine. Postizanje navedenih zahtjeva nije moguće bez upotrebe sredstava za hlađenje i podmazivanje koja su neophodna za obavljanje procesa obrade.

U zavisnosti od sastava, svojstava i načina izrade, SHIP kod svih operacija obrade metala odvajanjem čestica imaju sljedeće tehnološke funkcije [2]:

1. Podmazivanje površine alata na kojima se razvija trenje, olakšavanje procesa deformacije odrezanog sloja, poboljšavanje kvalitete obrađene površine.
2. Hlađenje alata i obradka odvođenjem dijela topline nastale od deformacije i trenja.
3. Evakuacija odvojene čestice, metalne prašine i drugih tvari iz zone obrade.
4. Smanjenje djelovanja sila rezanja.
5. Osiguravanje zaštite od korozije obradka i alata u toku i nakon obrade.

Funkcija SHIP-a u zaštiti obradaka nije glavna zaštita od korozije gotovog proizvoda, već je namijenjena zaštiti komada u proizvodnji, na skladištu rezervnih dijelova, zatim pri transportu, sve do ugradnje obradaka u neke veće sklopove u kojima su mjere zaštite od korozije provedene na neki drugi način. Ovaj oblik zaštite naziva se i međufazna zaštita.

Korozijsko djelovanje agresivnih komponenata u mediju u praksi se vrlo često smanjuje primjenom inhibitora korozije, koje današnja SHIP i sadrže. Inhibitori su tvari anorganskog ili organskog podrijetla koje dodane u korozivni okoliš smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti. Iz ekonomskih razloga je vrlo važno da inhibitori djeluju već u niskim koncentracijama, a optimalno područje koncentracije inhibitora ovisi o mnogim čimbenicima, među kojima treba spomenuti vrstu metala, sastav i koncentraciju elektrolita, njegovu pH-vrijednost i temperaturu kao i vrstu inhibitora. Vrlo je raširena primjena inhibitora smjesa dva i više inhibitora koji često djeluju sinergijski čime se povećava stupanj inhibicije (usporenja brzine korozije) i što npr. omogućuje primjenu SHIP-a za širi asortiman materijala [1, 3].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio rada sastoji se od tokarenja uzoraka konstrukcijskog čelika sa pet različitih vodorazrijedivih SHIP u koncentraciji od 5 %, i ispitivanja utjecaja pojedinih sredstava na korozijsku postojanost.

Priprema i tokarenje uzoraka je provedeno u tvrtci Sila d.o.o. iz Zagreba, a ispitivanja u Laboratoriju za zaštitu materijala Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Provedena su

ispitivanja u vlažnoj i slanoj komori, te elektrokemijska korozivna ispitivanja.

U eksperimentu je korišteno 40 uzoraka od konstrukcijskog čelika Č0361 promjera Ø 20 mm, koji su tokareni na Ø 18,5 mm (slika 1). Cilj eksperimentalnog dijela rada je korozivnim ispitivanjima dokazati djelotvornost SHIP-a u međufaznoj zaštiti od korozije dijelova koji se strojno obrađuju.



Obrada uzorka



Uzorci nakon obrade u držačima

Slika 1. Priprema uzoraka za ispitivanja

3.1. Primijenjena sredstva za strojnu obradu

Za ispitivanje je odabrano 5 različitih vodorazrjeđivih sredstva za hlađenje i podmazivanje u 5 %-tnoj koncentraciji, koja su se za rad razrijedila vodom. Sva sredstva sadržavaju inhibitore korozije i biocide za sprečavanje razvoja mikroorganizama. Karakteristike SHIP-a dane su u tablici 1.

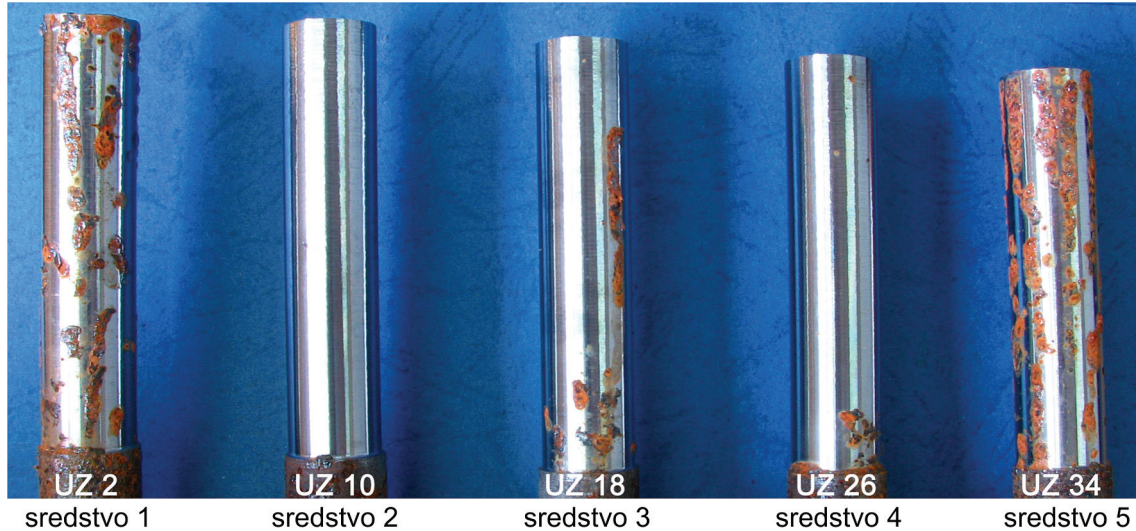
Tablica 1. Karakteristike primijenjenih sredstva za strojnu obradu

Sredstvo	Vrsta	Mineralna ulja	Biocidi	Nitridi	Inhibitori	Primjena
1	polusintetska tekućina	+	+	-	+	za obradu željeznih legura
2	biorazgradiva tekućina na bazi biljnih ulja	-	+	-	+	kod teških uvjeta glodanja, savijanja, bušenja, tokarenja
3	polusintetska tekućina na bazi esterskih ulja	-	+	-	+	za obradu aluminija i čelika
4	polisintetska tekućina	+	+	-	+	za obradu ljevanog željeza i niskolegiranog čelika
5	potpuno sintetska tekućina	-	+	-	+	za tešku obradu i obradu bušenjem, za rad sa visokim brzinama rezanja i velikim posmacima

3.2. Ispitivanja u vlažnoj komori

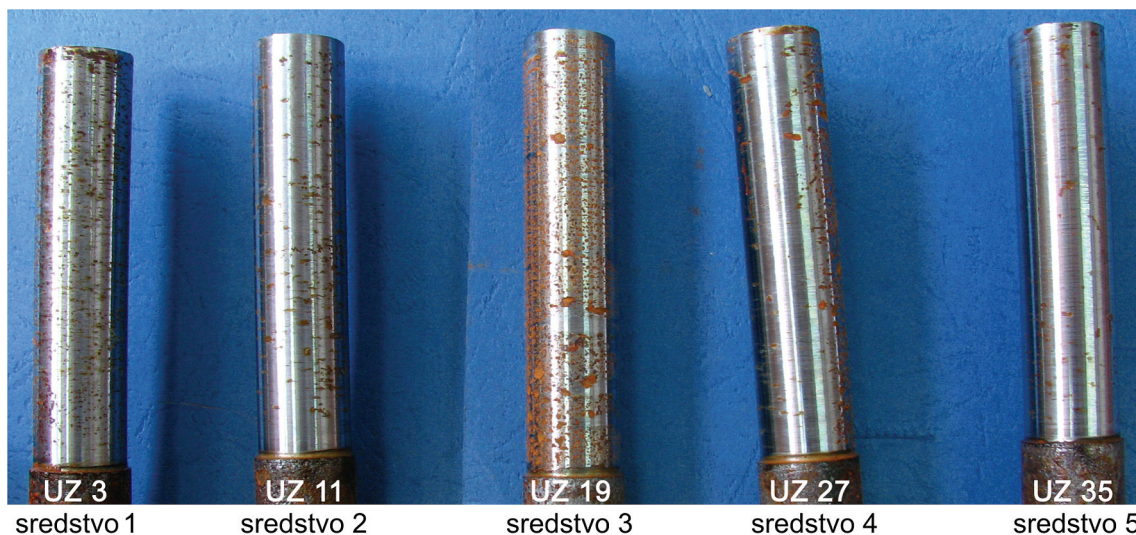
Ispitivanjima u vlažnoj komori simulira se ponašanje materijala u vlažnoj i toploj atmosferi uz kondenziranje vode. Atmosfera vodene pare se postiže zagrijavanjem vode u posudi koja je postavljena na dnu komore. Krovna stjenka komore je napravljena pod kutom kako kondenzirana vodena para ne bi kapala po uzorcima. Komora posjeduje termostat koji osigurava konstantnu temperaturu ispitivanja od $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vlaga u komori je 100 %. Ispitivanja su provedena sukladno normi DIN EN ISO 6270 – 2, u trajanju od 168 h (7 dana).

Slika 2 prikazuje uzorke nakon završetka ispitivanja.



Slika 2. Uzorci nakon 168 h ispitivanja u vlažnoj komori

Uzorak pod rednim brojem 10 (sredstvo 2) je pokazao odličnu otpornost prema koroziji u vlažnoj atmosferi, dok su ostali uzorci više zahvaćeni korozijom. Bitno je napomenuti da je materijal koji je korišten u ispitivanjima obični konstrukcijski čelik pod oznakom Č0361 ili St 37 prema DIN-u koji u uvjetima vlažne atmosfere jako korodira. Uzorci 2 i 34 su najviše zahvaćeni korozijom, iako i na njima je primijećeno da postoje veliki dijelovi površine koji su ostali zaštićeni. Na uzorcima 18 i 26 korozija je nastupila manjoj mjeri. Zaključak ovog ispitivanja je da je sredstvo pod rednom brojem 2 potpuno zadovoljilo u pogledu zaštite metala od korozije u vlažnim uvjetima. Ostala sredstva su pokazala da štite površinu metala u vlažnim uvjetima, ali ne u dovoljnoj mjeri.



Slika 3. Uzorci nakon 1.5 h ispitivanja u slanoj komori

3.3. Ispitivanja u slanoj komori

Ispitivanjima u slanoj komori simulira se izlaganje morskoj atmosferi, pri čemu se razrijeđena otopina NaCl-a raspršuje u vidu magle na ispitivane uzorke.

Ispitivanje u slanoj komori je provedeno sukladno normi HRN ISO 9227 u trajanju od 24 h, pri čemu se koristila 5 %-tna otopina NaCl, a temperatura ispitnog prostora je iznosila $35 \pm 0,1$ °C. Slana komora je proizvođača Ascott, model S450. Tijekom i po završetku ispitivanja uzorci su vizualno pregledani. Slika 3 prikazuje rezultate ispitivanja u slanoj komori nakon 1,5 h.

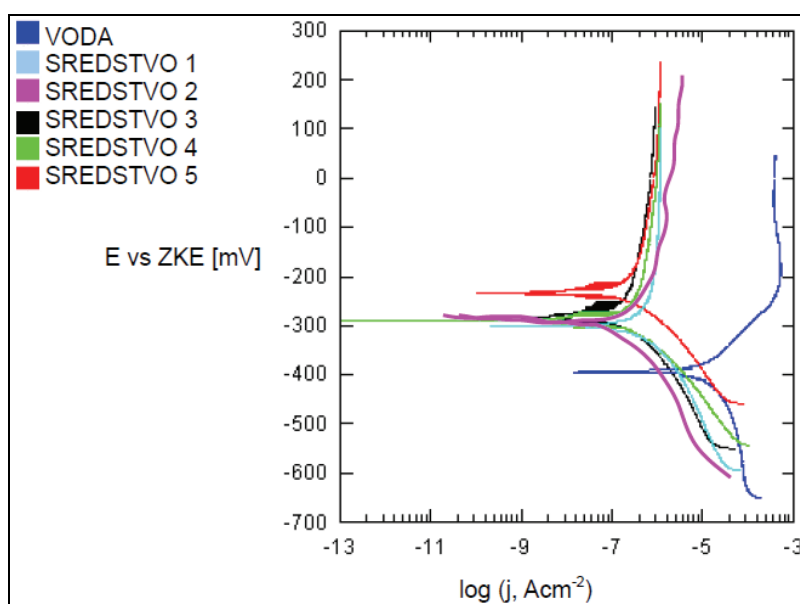
Na slici 3 se vidi da su svi uzorci zahvaćeni općom korozijom, pri čemu uzorak 35 (sredstvo 5) prikazuje najbolju zaštitu, dok uzorak 19 (sredstvo 3) najlošiju. Nakon završetka ispitivanja u trajanju od 24 h, svi uzorci su podjednako korodirali.

3.4. Snimanje Tafelovih krivulja

Elektrokemijska ispitivanja bitan su izvor informacija kada se radi o korozijskim ispitivanjima u vodenim medijima. Bez obzira na oblik pojave, korozija u vodenom okolišu se uvijek odvija prema mehanizmu elektrokemijske korozije. Galvanske veličine koje nam govore o korozijskom djelovanju su napon i gustoća struje, a iz kojih je moguće proračunati brzinu korozije. U eksperimentalnom radu za ispitivanja djelotvornosti zaštite SHIP-a korištena je Metoda potencioštatičke polarizacije i Tafelove ekstrapolacije.

Metoda potencioštatičke polarizacije provedena je snimanjem polarizacijskih krivulja u području potencijala od - 250 mV od korozijskog potencijala do + 450 mV, uz brzinu promjene potencijala $0,5 \text{ mVs}^{-1}$. Primjenom metode Tafelove ekstrapolacije određen je korozijski potencijal (E_{KOR}), gustoća korozijske struje (j_{KOR}), djelotvornost inhibitora (z), te faktor usporjenja korozije (f_u) [4].

Iz dijagrama 1 se vidi da sva sredstva za hlađenje i podmazivanje pomiču korozijski potencijal (E_{KOR}) u pozitivnom smjeru, tj. smanjuju korozijski afinitet u odnosu na rad u vodovodnoj vodi. Daljnja analiza se provodi upotrebom programskog paketa SoftCorr III. U tablici 2 su dani podaci koji su dobiveni analizom.

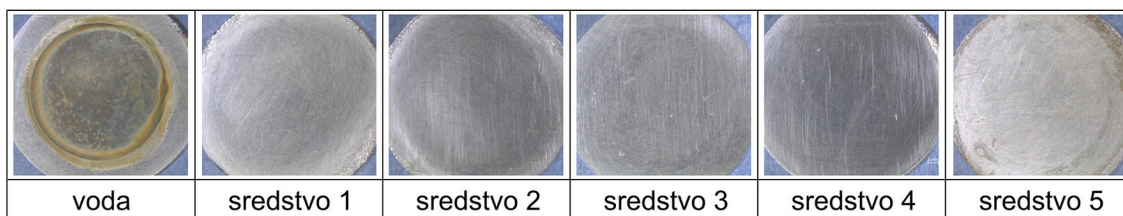


Dijagram 1. Tafelove krivulje SHIP-a i vode

Tablica 2. Rezultati dobiveni analizom Tafelovih krivulja

Ispitivano sredstvo	β_A [mV/dek]	β_K [mV/dek]	j_{KOR} [$\mu A\ cm^{-2}$]	v_{KOR} [mm god ⁻¹]	z [%]	f_u
voda	106,9	230,9	10,74	0,124	-	-
sredstvo 1	863	144	0,29	0,003	97,3	41,33
sredstvo 2	974	274	2,2	0,025	79,84	4,96
sredstvo 3	901	205	1,28	0,014	88,71	8,86
sredstvo 4	499	106	0,3	0,003	97,58	41,33
sredstvo 5	662	111	0,35	0,004	96,77	31

Na slici 4 su prikazani uzorci nakon snimanja Tafelovih krivulja u sredstvima za hlađenje i podmazivanje i u vodi. Na površinama uzoraka koji su bili uronjeni u SHIP nisu vidljivi korozijski produkti, dok se na površini uzorka koji je bio uronjen u vodu vide korozijski produkti. Ovim rezultatom dokazano je povoljno djelovanje inhibitora korozije u SHIP-u.



Slika 4. Prikaz uzoraka nakon elektrokemijskih ispitivanja u različitim medijima

3.5. Analiza rezultata dobivenih ispitivanjima

Analizom rezultata može se zaključiti slijedeće:

1. Sva sredstva za hlađenje i podmazivanje, svojim inhibirajućim djelovanjem na površinu obrađene površine, poboljšavaju otpornost materijala (konstrukcijski čelik) na koroziju.
2. Sva sredstva za hlađenje i podmazivanje smanjuju korozijski potencijal vode prema čeliku, tj. umanjuju njenu korozivnost.
3. Sredstva 1, 3, 4 i 5 su pokazala bolja svojstva prema površini metala dok su u kontaktu s njom (elektrokemijsko ispitivanje), no nakon sušenja površine antikorozijsko djelovanje je prisutno, ali je primjetno manje. Sredstvo 2 pokazuje vrlo dobra antikorozijska svojstva nakon sušenja površine (ispitivanja u vlažnoj, pa i slanoj atmosferi). Može se dakle zaključiti da sredstva za hlađenje i podmazivanje pod rednim brojem 1, 3, 4 i 5 svoje antikorozijsko djelovanje više usmjeravaju prema dijelovima alatnog stroja s kojim su u stalnom kontaktu, dok sredstvo 2 usmjerava svoje antikorozijsko djelovanje prema obradku.

4. ZAKLJUČAK

Sredstva za podmazivanje i hlađenje koja sadrže inhibitorne tvari pridonose korozijskoj postojanosti materijala. Prema analizi ispitivanja može se zaključiti da današnja sredstva za hlađenje i podmazivanje imaju dvije funkcije gledano sa stajališta zaštite od korozije (pri čemu je kod jednih primarna prva, a kod drugih sredstva druga funkcija):

1. Zaštita alatnog stroja – zaštita površine metala dok je u kontaktu sa sredstvom za hlađenje i podmazivanje.
2. Zaštita obradaka – zaštita površine metala nakon sušenja površine.

Alatni strojevi sa sustavom za dobavu sredstva za hlađenje i podmazivanje kroz centar alata posjeduju skupocjenu opremu (visokotlačne pumpe, filteri, posebna vretena stroja) koja je u stalnom kontaktu sa sredstvom za hlađenje i podmazivanje. Kod takvih strojeva preporučuje se odabiranje sredstava koja štite površinu metala dok je u kontaktu s sredstvom za hlađenje i podmazivanje.

Ako su vremena međuskladištenja, skladištenja, poluproizvoda ili proizvoda koji nemaju predviđenu drugu zaštitu od korozije velika, te ako je mjesto skladištenja na otvorenom preporučuje se korištenje sredstava za hlađenje i podmazivanje koja štite površinu metala nakon sušenja sredstva, tvorbom zaštitnog filma.

5. LITERATURA

- [1] I. Esih: Osnove površinske zaštite, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.
- [2] T. Mang, W. Dresel: Lubricants and Lubrication, Secon Edition, WILEY-VCH GmbH, Weinheim, 2007.
- [3] I. Esih: *Teorija zaštite od korozije i njena primjena s posebnim osvrtom na inhibitore*, Seminar: Primjena inhibitora korozije u zaštiti inženjerskih konstrukcija, HDZaMa, Zagreb, 2001.
- [4] J. R. Scully: Electrochemical tests, Corrosion tests and standards: application and interpretation, Editor: R. Baboian, ASTM, Philadelphia, 1995.