

INHIBICIJA KOROZIJSKIH PROCESOV

Tadeja Kosec, Ingrid Milošev

Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana

POVZETEK

Mnogi materiali, posebno kovine in zlitine, so v naravnem okolju izpostavljeni propadanju. To je naraven termodinamski proces, ki ga lahko z dodajanjem različnih inhibitorjev v sistem upočasnimo. Predstavljene so različne vrste inhibitorjev, načini izbire in predvsem njihova funkcija. Podan je tudi primer laboratorijskega preizkušanja učinkovitosti inhibitorja benzotriazola z različnimi elektrokemijskimi tehnikami.

Inhibition of a corrosion process

ABSTRACT

Many materials, especially metals and its alloys, are prone to deteriorate in its natural environment. Thermodynamics of such process can be slowed down with the addition of inhibitors. Different inhibitors, its choice and action is discussed. Laboratory electrochemical testing of inhibition of copper by benzotriazole is studied and shown.

1 UVOD

Inhibitorji so kemijske spojine, ki reagirajo s površino kovine, ali pa so kemijsko okolje, kateremu je izpostavljena površina materiala, ki mu dajemo določeno vrsto zaščite.⁽¹⁾ Inhibitorji se na površino lahko adsorbirajo in jo s tvorbo plasti zaščitijo. Inhibitor se na površino veže iz raztopine, disperzije ali pa je vključen v zaščitno plast. Korozijski proces upočasnimo:

- s spremembo anodnih ali katodnih polarizacijskih lastnosti (iz Taflovih krivulj);
- z zmanjšanjem gibanja ionov k površini kovine;
- s povečanjem električne upornosti površine kovine.

Pri izbiri inhibitorja igra veliko vlogo cena, toksičnost, dostopnost in njegova okoljska neoporečnost. Različni avtorji na različne načine klasificirajo inhibitorje⁽¹⁾. Tako nekateri ločijo inhibitorje po njihovem učinkovanju. Ločimo jih lahko po kemijski sestavi. Do sedaj je najbolj obveljalo njihovo deljenje po funkcionalnosti. Tako ločimo:

- pasivirajoče inhibitorje
- katodne inhibitorje
- organske inhibitorje
- obarjajoče inhibitorje
- hlapne korozijske inhibitorje

2 VRSTE INHIBITORJEV

2.1 Pasivirajoči inhibitorji

Pasivirajoči inhibitorji povzročijo velik anodni premik korozijskega potenciala, kar povzroči pasivno

stanje na kovinski površini. Poznamo dve vrsti pasivirajočih inhibitorjev: oksidirajoče anione, kot so kromatni, nitritni in nitrani ioni, ki pasivirajo kovino brez kisika, in neoksidirajoče ione, kot so fosfati, volframati, molibdati, ki potrebujejo kisik za oksidacijo jekla.

Tovrstni inhibitorji so učinkoviti in zato tudi splošno uporabljani. Cenovno so ugodni in do nedavnega so jih uporabljali v sistemih, kot so motorji z notranjim izgorevanjem, hladilne naprave in hladilni stolpi. Največkrat se dodaja natrijev kromat v koncentraciji 0,04–0,1 %. Je obvezen dodatek pri višjih temperaturah in svežih vodah s kloridom v koncentraciji 10 µg/g ali več. Če je potrebno, se uravnava pH z natrijevim hidroksidom, da se obdrži območje 7,5–9,5. Če se koncentracija kromata zmanjša na vrednost, nižjo od 0,016 %, se korozija pospeši, zato je bistveno pomembno nadzorovati in spremljati koncentracijo inhibitorja.

2.2 Katodni inhibitorji

Katodni inhibitorji upočasnijo katodno reakcijo ali pa se selektivno oborijo na katodnih delih površine in s tem povečajo impedanco površine, s čimer omejimo difuzijo reducirajočih zvrsti k površini. Katodni inhibitorji zmanjšujejo hitrost korozijske reakcije na tri različne načine: s katodno zastrupitvijo, s katodnim obarjanjem in s kisikovim čistilom. Nekateri katodni inhibitorji, kot sta arzen in antimon, z rekombinacijo zaustavita izločanje vodika. Kalcij, cink in magnezij pa se lahko oborijo kot karbonati in s tem tvorijo zaščitno plast na kovini. Kisikovo čistilo zaustavi korozijski proces tako, da prepreči katodno depolarizacijo zaradi prisotnosti kisika. Pri sobnih temperaturah se kot kisikovo čistilo uporablja natrijev sulfit (Na_2SO_3). Iz raztopin odstranja kisik. Poteče redoks-reakcija, ki kot katalizator potrebuje nikljev ali kobaltov katalizator.

Pri katodnem zastrupljanju je katodni redukcijski proces protiutež anodni reakciji. Katodno zastrupljanje pa lahko tudi povzroči povečano dovzetnost za pokanje materiala zaradi vodika. V območju nizkega pH reducirani vodik ne tvori molekul plina, marveč kot atomski vodik difundira v kovino. Kovinski ioni, kot so arzen, antimon, žveplo, selen, telur in cianidni ioni, preprečujejo tvorbo molekul vodika in jih zato imenujemo katodni strupi.

2.3 Organski inhibitorji

Ob prisotnosti organskih inhibitorjev mnogokrat opazamo tako anodne kot katodne učinke. Praviloma

pa organski inhibitor v primerni koncentraciji deluje na celotno površino kovine tako, da tvori zaščitno plast na kovini. Ta je po svoji naravi hidrofobna. Učinkovitost inhibitorja je odvisna od kemijske sestave, molekularne strukture in od njegove afinitete do kovinske površine. Ker je tvorba plasti na kovini največkrat adsorpcijski proces, igrata temperatura in pritisk pomembno vlogo.

Organski inhibitor se adsorbira glede na naboj inhibitorja ter površino kovine. Kationski inhibitorji, kot so amini, ali pa anionski, kot so sulfonati, se bodo preferenčno adsorbirali glede na nabitost kovinske površine. Moč adsorpcijskih vezi je prevladujoč faktor topnih organskih inhibitorjev.

Za vsak inhibitor v danem mediju obstaja neka optimalna koncentracija. Koncentracija 0,05 % natrijevega benzoata ali 0,2 % natrijevega cinemata je dobra zaščita v vodi s pH 7,5, ki vsebuje ali 17 µg/g NaCl ali 0,5 % etilnega oktanol. Tako korozijo, ki jo povzroča etilenglikol v hladilnih sistemih, kontroliramo s spremljanjem koncentracije etanolamina kot inhibitorja.

2.4 Obarjajoči inhibitorji

Obarjajoči inhibitorji so tisti, ki tvorijo plast po celi površini kovine in s tem posredno zavro tako katodna kot anodna mesta. Trda voda, ki vsebuje veliko kalcija in magnezija, je manj korozivna kot mehka, saj se soli v trdi vodi obarjajo na površini in s tem tvorijo zaščitno plast. Najbolj navadni tovrstni inhibitorji so silikati in fosfati. Natrijev silikat je široko uporabljen mehčalec vode v gospodinjstvih, prav tako pa se uporablja v zračenih toplovodnih sistemih, kjer ščiti tako jeklo kot baker in medenino. Zaščita z inhibitorjem je močno odvisna od pH-vrednosti. Silikati in fosfati se uporabljajo tam, kjer se izogibamo toksičnim dodatkom.

3 UČINKOVITOST, OCENA IN DELOVANJE INHIBITORJA

Po definiciji je⁽¹⁾ korozijski inhibitor kemijska spojina, ki v majhnih koncentracijah znatno zmanjša hitrost korozijske reakcije. Učinkovitost inhibitorja izražamo z ugotavljanjem izboljšanja:

Učinkovitost inhibitorja

$$UI / \% = 100 \cdot \frac{(CR_{\text{neinhibiran}} - CR_{\text{inhibiran}})}{CR_{\text{neinhibiran}}} \quad (1)$$

kjer je $CR_{\text{neinhibiran}}$ hitrost korozijske reakcije sistema brez inhibitorja in $CR_{\text{inhibiran}}$ hitrost korozijske reakcije sistema z inhibitorjem.

Praviloma se učinkovitost inhibitorja zvečuje z večanjem koncentracije inhibitorja. Tako dober inhibi-

tor pri koncentraciji 0,008 % daje 95-odstotno učinkovitost, pri koncentraciji 0,004 % pa 90-odstotno.

Razvite so bile številne metode za preizkušanje učinkovitosti inhibitorjev. Mnogi novi in boljši inhibitorji so bili razviti v preizkusnih laboratorijih, ki pa žal niso našli aplikacije. Mnogim raziskovalcem to pomeni velik izziv.

3.1 Izbira inhibitorja

Pravila, enačbe in teorija za razvoj inhibitorja so zelo omejeni. Med različnimi inhibitorji lahko opazimo sinergistične učinke, sodelovanje, mnogokrat so tudi izbrane kombinacije inhibitorjev za določeno vrsto zaščite.

V tabeli 1 so prikazani nekateri korozijski sistemi in izbira inhibitorjev⁽²⁾.

3.2 Ocena korozijskega inhibitorja

Pri prvi oceni primernosti inhibitorja moramo izdelati preprost preizkus, da izločimo neprimerne inhibitorje. Izbiri inhibitorja začnemo z izbiro primernih fizikalnih lastnosti. V kakšnem agregatnem stanju se mora nahajati inhibitor? Ali igrata tališče in vrelišče pomembno vlogo pri izbiri? Ali je pomembno, kako hitro inhibitor propada, in ali je to povezano s temperaturo? Ali mora biti inhibitor kompatibilen z drugimi aditivi v sistemu? Ali so pomembne topnostne značilnosti? Spisek želenih lastnosti je lahko dolg, vendar nam lahko pomaga izbrati ustrezen inhibitor.

Pri izbiri eksperimentov za oceno primernosti inhibitorja moramo izbrati tiste, ki čim bolj posnemajo razmere v naravnem okolju. Upoštevati moramo temperaturo, pritisk, hitrost, kot tudi lastnosti materiala in korozijske lastnosti v danih razmerah.

Mnogokrat nastane korozija na majhnih mestih, zato moramo včasih uporabiti ekstremne razmere, da se približamo takim situacijam – iskati moramo primerne mikrorazmere. Primeri mikrorazmer so vroče točke v toplotnih izmenjevalcih ter visokoturbulentni tok pri različnih spojih.

Preizkusni vzorci naj bi bili enaki materiali, kot tisti, ki jih poskušamo zaščititi, saj majhne razlike v materialu lahko kažejo popolnoma drugačno delovanje inhibitorja. Pri različnih materialih lahko pričakujemo drugačne lastnosti inhibitorja, če pa drugačne lastnosti v delovanju inhibitorja opazimo pri enakem materialu, pa imamo bolj težavne razmere. Te nanokemijske razlike so odvisne od velikosti delcev in njihove orientacije ter stanja površine. Tudi površinska priprava vzorca naj čim bolj posnema razmere v danem korozijskem okolju. Metode za pripravo vzorcev so določene v standardih, kot je ASTM G 1⁽³⁾. Korozijske inhibitorje v splošnem opišemo kot hidrofobne, hidrofilne, hidrofobne z disperzivnimi lastnost-

Tabela 1: Prikaz uporabe različnih vrst inhibitorjev v različnih sistemih

Sistem	Inhibitor	Kovina	Koncentracija
Kislina			
HCl	etilnilin	Fe	0,5 %
	merkaptobenzotiazol	..	1 %
	piridin + fenilhidrazin	..	0,5 % + 0,5 %
	rosin amin + etilen oksid	..	0,2 %
žveplova (IV)	fenilakridin	..	0,5 %
fosforna	natrijev jodid	..	200 µg/g
druge	tiosečina	..	1 %
	sulfonirano ricinusovo olje	..	0,5-1,0 %
	arzenov oksid	..	0,5 %
	natrijev arzenat	..	0,5 %
Voda			
pitna	kalcijev bikarbonat	jeklo, železo	10 µg/g
	polifosfat	Fe, Zn, Cu, Al	5-10 µg/g
	kalcijev hidroksid	Fe, Zn, Cu	10 µg/g
	natrijev silikat	..	10-20 µg/g
hladilne	kalcijev bikarbonat	jeklo, lito železo	10 µg/g
	natrijev kromat	Fe, Zn, Cu	0,1 %
	natrijev nitrit	Fe	0,05 %
	natrijev fosfat	..	1 %
	morfolin	..	0,2 %
voda v grelcih	natrijev fosfat	Fe, Zn, Cu	10 µg/g
	polifosfat	..	10 µg/g
	morfolin	Fe	različno
	hidrazin	..	O ₂ - čistilo
	amonijak	..	nevtralizator
	oktadecilamin	..	različno
hladilne tekočine v motorjih	natrijev kromat	Fe, Pb, Cu, Zn	0,1-1 %
	natrijev nitrit	Fe	0,1-1 %
	boraks	..	1 %
glikol/voda	boraks + MBT	vsi	1 % + 0,1 %
slane oljne kopeli	natrijev silikat	Fe	0,01 %
	imidazolin	..	10-25 µg/g
morska voda	natrijev silikat	Zn	10 µg/g
	natrijev nitrit	Fe	0,5 %
	kalcijev bikarbonat	vsi	odvisno od pH
	natrijev fosfat + natrijev nitrit	Fe	10 µg/g + 0,5 %

mi v vodi ipd. Takšen opis je splošen in nedefiniran, kakršnega bi potrebovali. Mnogi komercialno dostopni inhibitorji so mešanica različnih kemijskih spojin, vsak s svojimi porazdelitvenimi koeficienti. Tako lahko od vsakega komercialno uporabljenega inhibitorja pričakujemo drugačne lastnosti.

3.3 Preizkusi korozijske zaščite

Po navadi opišemo učinkovitost inhibicije kot odstotek zaščite. Tak način nam omogoča primerjavo inhibitorjev med sabo, nič pa ne vemo, kako se je spremenila hitrost korozijskega procesa. Preizkusi za ugotavljanje odpornosti plasti so zelo zapleteni. Preizkušeni vzorec izpostavimo preizkusni raztopini z dodanim inhibitorjem za določen čas. Določimo hitrost korozijske reakcije za sistem z inhibitorjem in brez njega. Spremenljivke so koncentracija inhibitorja v začetni raztopini, kjer se tvori zaščitna plast, ter število spiranj. Pri tipičnem eksperimentu se tako lahko tvori zaščitna plast eno uro pri koncentraciji inhibitorja 1000 µg/g, nato se spere in se v tretji raztopini izmeri hitrost korozijske reakcije. Raztopina za izpiranje ter preizkusna raztopina ne vsebujeta inhibitorja.

3.4 Vpliv inhibitorja na korozijski proces

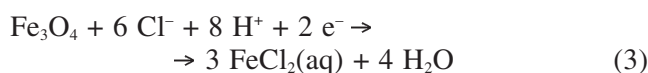
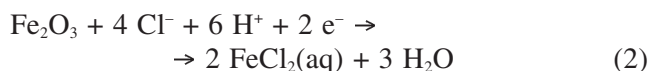
V kisli raztopini anodno reakcijo povzroči migracija kovinskih ionov s površine neoksidirane kovine v raztopino, pri čemer je katodni proces redukcija H⁺-ionov do tvorbe vodika. V kislih raztopinah, nasičenih z zrakom, lahko nastane tudi katodna redukcija raztopljenega kisika. Inhibitor lahko zmanjša hitrost anodnega ali katodnega procesa, lahko pa tudi oba.

Tistim, ki vplivajo na obe reakciji, pravimo inhibitorji mešanega tipa.

Korozijski potencial se pri upočasneni reakciji v sistemih z dodanim inhibitorjem pomakne k bolj pozitivnim vrednostim. Če se to zgodi, je bila inhibirana anodna reakcija, če pa se pomakne k bolj negativnim vrednostim, pa je bila inhibirana katodna reakcija. Le majhna sprememba v korozijskem potencialu govori o inhibitorju mešanega tipa.

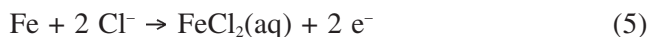
Proces kislega čiščenja industrijske opreme zahteva uporabo katodnega in anodnega inhibitorja. Rezultat sočasnega procesa rasti plasti in nalaganja iz raztopine je rjavenje, ki ga moramo odstraniti, da bi ohranili učinkovitost toplotnih izmenjevalcev, grelcev in parnih generatorjev.

Iz Pourbaixovega diagrama je razvidno, da se oksidi Fe₃O₄ in Fe₂O₃, ki so se nabrali na cevih iz zlitin na osnovi železa, lahko raztapljajo tako v kislem kot v alkalnem območju.⁽⁴⁾ V praksi se je za najbolj učinkovito izkazala raztopina klorovodikove kisline z dodatkom inhibitorja. Spodnje štiri enačbe opisujejo kemijo odstranjevanja železovih oksidov v kislih razmerah. Tri od štirih reakcij opisujejo katodni proces:





enačba za anodno raztapljanje železa pa je:



Te enačbe nam povedo, da ima samo železo funkcijo reducenta, ki pospešuje raztapljanje železovih oksidov. Ker je težko nadzorovati končanje procesa raztapljanja oksidov, takemu sistemu dodajajo korozijski inhibitor iz varnostnih razlogov. Uporabljamo tako anodni kot katodni inhibitor, ki upočasnijo korozijo osnovnega materiala pri procesu čiščenja nastalih oksidov z raztapljanjem v kislini. Po drugi strani pa uporaba katodnega inhibitorja povzroči redukcijo protonov do vodika ter raztapljanje osnovnega materiala, pri čemer se redukcija železovih oksidov še ne prične. E-pH-diagrami prav tako prikazujejo, da je raztapljanje oksidov možno v alkalni raztopini. Ker pa je kinetika katodnih in anodnih reakcij pri visokih pH-vredostih počasnejša od kinetike v kislinskih raztopinah, se tovrstne razmere uporabljajo manj pogosto kot raztapljanje v kislinskih raztopinah.

3.5 Metode preizkušanja

3.5.1 Metoda izgube materiala (angl. Metal Loss Methods)

Izgubo materiala lahko ugotovljamo gravimetrično, volumetrično ali radiometrično. Vse metode so neposredno merjenje korozije določenega materiala.

Od teh metod je gravimetrična oziroma merjenje izgube materiala pri preizkušanju učinkovitosti inhibitorjev najbolj pogosto uporabljena.

3.5.2 Elektrokemijske metode

Prednost elektrokemijskih metod je hitro pridobljena informacija o lastnostih materiala ter o mehanizmu procesa. Najpreprostejši korozijski preizkusi lahko trajajo le nekaj minut, medtem ko so pri metodi izgubljanja mase potrebni dnevi in meseci.

Sledi opis elektrokemijskih tehnik za ugotavljanje delovanja benzotriazola na baker v kloridni raztopini.

3.5.3 Elektrokemijske metode za ugotavljanje korozijskega procesa

Za ponazoritev uporabe elektrokemijskih metod pri preučevanju delovanja organskih korozijskih inhibitorjev smo izbrali benzotriazol, ki je že vrsto let poznan kot zelo učinkovit inhibitor za baker in njegove zlitine⁽⁵⁾. Iz bakrene kovinske folije (95,95-odstotna čistost, Goodfellow, Velika Britanija) smo izrezali diske s premerom 15 mm in jih vstavili v teflonsko ohišje. Tako smo pripravili delovno elektrodo. Za elektrokemijsko korozijsko celico je rabila trielektrodna celica s prostornino 300 mL, proizvajalec Autolab. Za števno elektrodo smo izbrali dve palici iz

nerjavečega jekla, za referenčno elektrodo pa je rabila elektroda Ag/AgCl.

Delovanje benzotriazola smo študirali v raztopini NaCl 0,5 M, ki smo ji dodajali različne koncentracije benzotriazola. Tako pripravljena raztopina je imela pH 6,5. Raztopina je bila nasičena z zrakom.

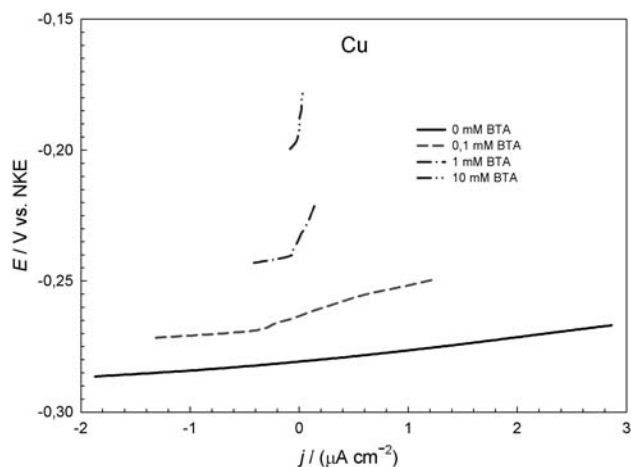
Pred meritvami linearne polarizacije, Taflovih krivulj in potenciodinamskih meritev smo elektrodo eno uro vzdrževali pri potencialu odprtega kroga. Elektrokemijske meritve smo izvajali s programoma GPES in FRA, ki sta bila kontrolirana s potenciostatom/galvanostatom Autolab PGstat12. Meritve linearne polarizacije so potekale v območju ± 10 mV od korozijskega potenciala, meritve Taflovih krivulj pa v območju ± 250 mV z majhno hitrostjo preleta, ν , 0,1 mV/s. Potenciodinamske meritve so bile izvedene v območju -250 mV od korozijskega potenciala do 1,1 V s hitrostjo preleta 1 mV/s. Meritve elektrokemijske impedančne spektroskopije so potekale pri potencialu odprtega kroga v frekvenčnem območju od 65 kHz do 5 mHz, sinusni interval 10 mV. Vse meritve so potekale proti nasičeni kalomelovi elektrodi, NKE.

Na sliki 1 so prikazane meritve linearne polarizacije. Iz R_p -vrednosti, ki jih določimo iz naklona premice potencial proti toku, je razvidno, da je polarizacijska upornost za baker v NaCl 0,5 M manjša kot pri dodatku različnih koncentracij benzotriazola. Nastala plast na elektrodi je v prisotnosti benzotriazola bolj zaščitna kot v sami kloridni raztopini.

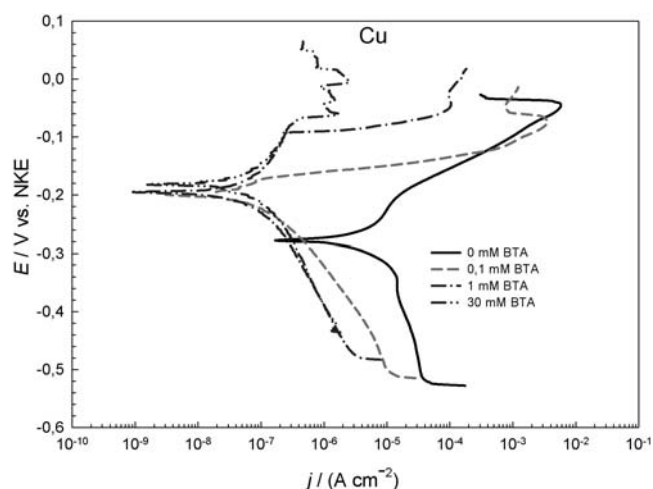
Slika 2 prikazuje Taflove krivulje s primerom določevanja korozijskih parametrov, kot so korozijski tok, korozijski potencial ter polarizacijska upornost.

Polarizacijske krivulje na sliki 3 nam prikazujejo vpliv na anodno vedenje bakra brez benzotriazola v kloridni raztopini in z njim.

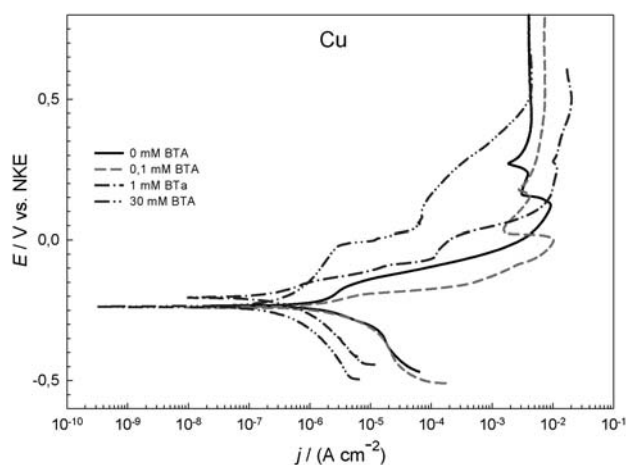
Polna krivulja nam prikazuje anodno raztapljanje bakra v kloridni raztopini.⁽⁶⁾ Že najmanjši dodatek inhibitorja premakne korozijski potencial k bolj pozitivnim vrednostim, korozijski tok se zmanjša, polari-



Slika 1: Polarizacijska upornost bakra v NaCl 0,5 M z dodatkom benzotriazola in brez njega; $\nu = 0,1$ mV/s

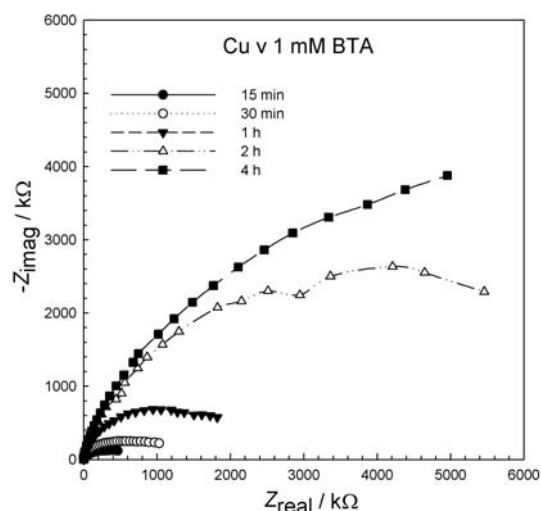


Slika 2: Tafelove krivulje za baker v NaCl 0,5 M z dodatkom benzo-triazola in brez njega; $\nu = 0,1$ mV/s



Slika 3: Potenciodinamske krivulje za baker v NaCl 0,5 M z dodatkom benzo-triazola in brez njega; $\nu = 1$ mV/s

zacijska upornost, ki smo jo določili s programskim orodjem, pa je povečana, tabela 2. Pri koncentracijah benzo-triazola 1 mM ter 30 mM se vzpostavi kvazi-



Slika 4: Nyquistov diagram za baker v NaCl 0,5 M in v prisotnosti 1 mM benzo-triazola, 65 kHz–5 mHz

pasivno področje, kjer so tokovi v celotnem potencialnem območju manjši glede na elektrokemijsko vedenje v kloridni raztopini. Z upoštevanjem korozijskih tokov pri različnih koncentracijah benzo-triazola lahko določimo prekritost površine elektrode po modificirani enačbi (1):

$$UI / \% = \frac{j_{\text{neinh}} - j_{\text{inh}}}{j_{\text{neinh}}}$$

Tabela 2: Vrednost korozijskih parametrov, določenih iz Taflovih krivulj, ter prekritost površine za baker v NaCl 0,5 M v prisotnosti benzo-triazola

$c_{\text{BTAH}}/$ mM	E_{kor}/V	$I_{\text{kor}}/(10^{-6}$ $A/cm^2)$	$\beta_a /$ (V/dek)	$\beta_k /$ (V/dek)	R_p / Ω	UI/%
0	-0,234	1,11	0,066	0,127	$3,25 \cdot 10^3$	
0,1	-0,204	0,0935	0,014	0,129	$1,03 \cdot 10^4$	0,915
1	-0,195	0,0411	0,073	0,128	$1,04 \cdot 10^5$	0,963
30	-0,182	0,0443	0,072	0,134	$9,48 \cdot 10^4$	0,960

Iz podatkov o učinkovitosti inhibicije lahko izračunamo prosto adsorpcijsko energijo, iz katere sklepamo, kakšen adsorpcijski mehanizem je potekal. Če je prosta adsorpcijska energija v območju -20 do -30 kJ/mol, sklepamo na fizisorpcijo.⁽⁷⁾ Če pa se te vrednosti gibljejo okoli -40 kJ/mol, pa govorimo o kemisorpciji. To pomeni, da je površinska zaščitna plast nastala s tvorbo kemijskih vezi na površini bakra.

Med elektrokemijskimi tehnikami, ki so zelo učinkovite pri karakterizaciji površin in procesov, je tudi elektrokemijska impedančna spektroskopija. Na sliki 4 je prikazan Nyquistov diagram za baker v NaCl 0,5 M v prisotnosti 1 mM benzo-triazola. Opazimo lahko, da se površinska zaščita s časom vstavitve elektrode pri potencialu odprtega kroga povečuje. Vrednost R_p je ocenjena iz presečišča polkroga z x -osjo. Z večanjem časa izpostave elektrode raztopini z inhibitorjem se povečuje upornost zaščitne plasti na kovini.

4 SKLEP

Kovine so v agresivnih razmerah izpostavljene korozijskemu napadu. Poznanje procesov delovanja različnih vrst inhibitorjev nam omogoča zaščitni kovinske materiale pred hitrim propadanjem.

5 LITERATURA

- ¹R. Winston Revie, Uhlig's Corrosion Handbook, 2. izdaja, Wiley Interscience, John Wiley&Sons, New York 2000
- ²Pierre R. Roberge, Handbook of Corrosion Engineering McGraw-Hill; New York 2000
- ³ASTM G 1, Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens
- ⁴M. Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous solutions, NACE, Cebelcor, Houston, Brussels (1974)
- ⁵J. B. Cotton, I. R. Choles, *Brit. Corros. J.* **2** (1967)
- ⁶H. P. Lee, K. Nobe, *J. Electrochem. Soc.* **133** (1986), 2035–2043
- ⁷M. Scendo, *Corros. Sci.* **47** (2005), 2778–2791