

Uloga legirajućih elementa i nekih organskih inhibitora na koroziju mesinga

U radu su prikazani uticaji legirajućih elemenata (arsen, aluminijum, kalaj, fosfor, olovo, antimon, bor), koji se dodaju u mesing u malim količinama, na koroziju te legure. Pored toga, uticaj nekih organskih jedinjenja, prvenstveno azola i peptida, na brzinu i mehanizam korozije mesinga je analizirano.

1. UVOD

Bakar i njegove legure imaju veliku primenu u savremenom društvu. Mesing je najčešće korišćena legura bakra zbog svojih dobrih korozionih karakteristika.

Bakar i mesing imaju veliku primenu zbog svoje velike otpornosti na koroziju, pa se često koriste u rashladnim sistemima [1-5]. Pored toga, mesing se mnogo koristi u brodogradnji, kao i za izradu razmenjivača toplote u petrohemiji [6-10].

Zbog svoje otpornosti na koroziju mesing se puno upotrebljava za rad u agresivnim sredinama. Pomno su ispitivana elektrohemijska svojstva mesinga u kiseloj, neutralnoj i alkalnoj sredini. Upravo zbog svoje velike upotrebe i zbog svog značaja koroziono ponašanje mesinga je pomno ispitivano. Naročito je proučavano rastvaranje cinka kao sastavne komponente legure [11], zatim praćena je i naponska korozija [12-14], a u poslednje vreme veliki značaj se pridaje ispitivanju piting korozije kao jednoj od najrazornijih vidova korozije [15-17]. I upravo zbog velike upotrebe mesinga u agresivnim sredinama ispitivan je veliki broj jedinjenja koja inhibiraju korozione procese na površini mesinga. Inhibitori korozije mesinga danas predstavljaju značajnu industrijsku i naučnoistraživačku temu [18].

Organska jedinjenja su često korišćena kao inhibitori korozije za mnoge metale i legure [4,19-23]. Ispitivana su organska jedinjenja iz grupa: azola [24-31], terdenta [32], peptida [33].

Takođe, ispitivani su i legirajući elementi: arsen [34-41], aluminijum [42], kalaj [42], fosfor [43], olovo [44], antimon [37], bor [45].

Adresa autora: Milan M. Antonijević i M. Radovanović, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet Bor, VJ 12, P. Fah 50, 19210 Bor, Srbija

Poslednjih godina interesovanje za mešovite inhibitore je poraslo zbog njihovih mnogobrojnih karakteristika koje im daju određene prednosti u odnosu na katodne ili anodne inhibitore [46,47].

Inhibitorsko delovanje je praćeno u različitim rastvorima. Najčešće je korišćen hloridni rastvor [11,24,25,27-29,31,32,44,48,49,86], jer je rano primećeno da hloridni joni imaju jak uticaj na mehanizam korozije bakra. Naravno, postoji i veliki broj radova u kojima je ispitivano inhibitorsko dejstvo jedinjenja i u drugim rastvorima kao što su: rastvor sumporne kiseline [30,50,51,88], rastvor azotne kiseline [33,52], rastvor natrijum nitrita [53], i u sintetički dobijenom rastvoru morske vode [26,54].

U svojim radovima istraživači su koristili različite metode kako bi što bolje i efikasnije ispitali strukturu nagrađenog zaštitnog filma, stabilnost i rastvorljivost zaštitnog filma, efikasnost inhibitora, elektrohemijske osobine filma formiranog na površini mesinga.

2. UTICAJ LEGIRAJUĆIH ELEMENTA NA KOROZIJU MESINGA

Jedan od najboljih načina za inhibiciju korozije mesinga u neutralnim i slabo kiselim rastvorima je uklanjanje rastvorenog kiseonika [55]. Najbolje je istovremeno inhibirati anodno rastvaranje bakra kao komponente legure i sprečiti oksidaciju bakra, što se može postići dodavanjem treće komponente leguri [55]. Poznato je da As sprečava decinkaciju mesinga. Dodatak arsena [34-41], antimona [37], bora [45], fosfora [43], kalaja [42] i aluminijuma [42] u malim količinama sprečava decinkaciju.

Kao legirajući element najbolje je dodati As, jer dodatak As povećava otpornost mesinga na koroziju u kiselim sredinama, inhibira koroziju mesinga i sprečava decinkaciju [56,57]. Decinkaciju sprečavaju male količine arsena od svega 0,04at%

[55], međutim arsen ima dva nedostatka. Prvo, ograničen je na α -mesing. Drugo je da veoma male količine gvožđa i mangana mogu formirati kompleks sa arsenom što za posledicu ima značajno umanjeње efikasnosti arsena kao inhibitora [35, 36, 39].

Pored sastava legure na brzinu korozije znatno utiče i sastav sredine što se može videti iz tabele 1. Iz tabele se može zaključiti da se decinkacija intenzivira u kiselim rastvorima. Teško rastvorna jedinjenja bakra redukuju i decinkaciju i brzinu korozije.

Tabela 1 - Brzina korozije i faktor decinkacije mesinga u 0,5N rastvorima na 20°C

Rastvori	Cu			α -B70			$(\alpha+\beta)$ -B62		$(\alpha+\beta)$ -B58		Literatura
	K*10 ³ [g/dm ² dan]	K*10 ³ [g/dm ² dan]	z	K*10 ³ [g/dm ² dan]	z	K*10 ³ [g/dm ² dan]	z	K*10 ³ [g/dm ² dan]	z		
NaCl	4,3	4,3	1,8	1,1	66,8	1,2	∞			I.K. Marshakov i drugi [55]	
KBr	3,0	2,2	1,0	1,3	58,2	1,7	∞				
KI	0,8	0,7	1,1	1,0	1,3	1,3	66,2				
HCl	530	500	1,8	22,0	∞	40	∞				
H ₂ SO ₄	37,6	42,5	1,9	38,2	28,2	42,6	∞				
Na ₂ SO ₄	2,8	3,6	5,1	1,1	14,6	1,2	13,0				
Na ₂ CO ₃	5,1	3,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,9				
(NH ₄) ₂ SO ₄	46,5	40,8	1,9	54,2	3,3	54,0	3,1				

Primećeno je da male količine aluminijuma i kalaja, svega 1 do 2% u mesingu poboljšavaju otpornost legure na koroziju u morskoj vodi [44]. I ovako male količine utiču na mikrostrukturu, na broj defekata i na osobine nagrađenog zaštitnog filma na površini mesinga. Legiranje sa Al i Sn sprečava decinkaciju [48]. Međutim, kalaj je bolje rezultate pokazivao zajedno sa niklom, dok nikl sam nije značajnije menjao korozionu otpornost ispitivanog mesinga Cu40Zn [48]. Takođe je primećeno da antimon i fosfor sprečavaju decinkaciju, a da olovo poboljšava osobine mesinga [44].

Rabab M. El-Sherif sa saradnicima [44] je zaključio da sa dodatkom Pb u intervalu od 1,0 do 3,4% dolazi do pada gustine struje. Pad gustine struje može biti pripisan precipitaciji PbCl₂ u radnom rastvoru koji sadrži hloridne jone [58]. Primećeno je da sa porastom sadržaja Pb u leguri dolazi do rasta otpornosti legure na piting koroziju [44].

Posebno je praćena efikasnost arsena i arsenovih anjona: AsO₂⁻ i HAsO₄²⁻ kao inhibitora korozije mesinga u rastvoru natrijum-nitrita [53].

M. J. Pryor i drugi [57] zaključili su da arsen u mesingu inhibira koroziju u hloridnim rastvorima oksidujući se do AsO₂⁻ i HAsO₄²⁻ u rastvoru, i da na površini mesinga dolazi do hemisorpcije nastalih oksida. Lucey sa saradnicima [40] smatra da arsen ima uticaja i na proces redepozicije bakra. Smatra se da dolazi do redukcije Cu²⁺ u Cu⁺ i da

takvi joni odlaze u rastvor sa arsenatnim jonima. Nakon toga dolazi do redukcije As i oksidacije Cu u leguri. Ova dva stupnja zadržavaju redukciju bakarnih jona u metalni bakar što efikasno blokira redepoziciju bakra [40].

I. K. Marshakov [55] je primetio da arsen postaje efikasan već u koncentraciji od 0,02at%, dok se optimalnim sadržajem smatra sadržaj od 0,04 do 0,05at%. Kod mesinga sa dodatkom arsena dolazi do inhibicije anodnog procesa. Istraživanja su pokazala da je mesing sa većim sadržajem arsena (0,028% i 0,09%) imao veću otpornost prema koroziji u odnosu na mesing sa sadržajem arsena manjim od 0,004% na potencijalima višim od 0mV [53].

X. Luo sa saradnicima [53] je došao do saznanja da legura sa sadržajem arsena od 0,003 do 0,01% ima primetan efekat na naponsku koroziju mesinga, korozioni potencijal, pa i na kontrolu potencijala većeg od 0mV u rastvoru natrijum-nitrita. Takođe, primećeno je da porast temperature redukuje otpornost legure prema koroziji i pospešuje decinkaciju.

Arsen ima uticaj i na srednju brzinu preloma. Ukoliko je sadržaj arsena u intervalu od 0,0004% do 0,09% dolazi do pada brzine preloma, pri čemu ima približne vrednosti pri sadržaju arsena od 0,028% i 0,09%. Porast brzine preloma je primetan sa daljim porastom sadržaja arsena u leguri do 0,45%. Najverovatnije je da dodatak arsena u količini od 0,45% izaziva krstost [53].

X. Luo i drugi [53] primetili su i da je inhibicija naponske korozije teža na višim potencijalima, jer osetljivost na naponsku koroziju raste sa porastom potencijala. Nesumnjivo je potvrđeno da u rastvorima dolazi i do rastvaranja arsena iz legure. U intervalu od -100mV do 100mV brzina rastvaranja arsena generalno je veća na višim potencijalima (tabela 2).

Tabela 2 - Uticaj potencijala na brzinu rastvaranja As (kao komponente legure) i uticaj koncentracije As iz rastvora (As u dodat u obliku NaAsO_2) na koeficijent decinkacije u 1N NaNO_2

Potencijal [mV _{zke}]	-100	0	100	/	X. Luo i drugi [53]
Br. rast. As [μg/h]	0,115	0,318	0,203	/	
Potencijal [mV _{zke}]	-50				
As [g/dm ³]	0	0,1	1	10	
z	38,0	7,6	12,6	8,5	

Takođe, uočeno je da arsen kao legirajući element može da spreči selektivno rastvaranje cinka iz mesinga. U sprečavanje rastvaranja cinka iz mesinga legirajućim elementima je teško poverovati jer se legirajući elementi nalaze u malom sadržaju, od svega 0,1% u rastvoru, i da ta mala količina sprečava rastvaranje cinka koji se nalazi u znatno većem sadržaju u leguri. Stepenn efikasnosti AsO_2^- i HAsO_4^{2-} raste sa porastom koncentracije arsena. Otpornost mesinga na koroziju raste sa porastom koncentracije arsena u intervalu od 1g/l do 10g/l. Na višim potencijalima stepenn efikasnosti opada. U daljem radu primećeno je da koncentracija arsena od 1g/l u obliku AsO_2^- efikasno inhibira naponsku koroziju na potencijalu od -100mV_{zke}. Međutim, na potencijalima pozitivnijim od -50mV_{zke} dolazi do promene stepena efikasnosti, pa je na potencijalima višim od -50mV_{zke} bolje inhibitorске osobine pokazao HAsO_4^{2-} jon.

X. Luo sa saradnicima [53] pratio je i uticaj arsena na decinkaciju mesinga i došao do saznanja da arsen sprečava decinkaciju što potvrđuje i vrednost faktora decinkacije z. Faktor decinkacije zavisi od koncentracije arsena i generalno opada sa porastom koncentracije. Najmanju vrednost ima pri sadržaju arsena od svega 0,1g/l u obliku AsO_2^- što je prikazano u tabeli 2. Isti autor je vršio i polarizaciona merenja i došao do zaključka da dolazi do

smanjenja gustine struje u rastvorima u kojima je arsen dodat u anjonskom obliku. Mala koncentracija arsena, bilo u obliku AsO_2^- bilo u obliku HAsO_4^{2-} značajno sprečava anodno rastvaranje mesinga. Ipak AsO_2^- ima veći efekat na smanjenje gustine struje.

AsO_2^- i HAsO_4^{2-} su veoma efikasni kao inhibitori korozije na svim posmatranim potencijalima. Oni se adsorbuju na površini mesinga pri čemu formiraju efikasan zaštitni sloj. Hemisorbovani zaštitni film inhibira rastvaranje bakra i cinka iz mesinga, ali je efikasniji kao inhibitor decinkacije. Veoma mala količina arsena je dovoljna za građenje zaštitnog filma na čitavoj površini metala.

Efikasnost hemisorbovanog filma uglavnom zavisi od:

- Osetljivosti na naponsku koroziju
- Stabilnosti i rastvorljivosti hemisorbovanog filma
- Ravnoteže između sloja na površini, dinamičke deformacije i brzine anodnog rastvaranja na površini metala koja je ogoljena [53].

3. ORGANSKA JEDINJENJA KAO INHIBITORI KOROZIJE MESINGA

Postoji veliki broj organskih jedinjenja koja su se pokazala kao dobri inhibitori korozije mesinga. Organska jedinjenja koja pokazuju inhibitorске osobine pripadaju najrazličitijim grupama, mada su jedinjenja iz grupe azola načešće ispitivana [24-26,28-31,52,72-74,95].

A. Asan sa saradnicima [32] je ispitivao uticaj terdentat liganada na elektrohemijsko ponašanje mesinga u 0,1M rastvoru NaCl. U radu su kao inhibitori korozije ispitivani: 2-[(E)-piridin-2-imino metil] fenol (L_1) i 2-[(piridin-2-amino)metil] fenol (L_2).

Y. Abed sa saradnicima [33] je pratio efekat Boc-Phe-Met-OCH₃ na elektrohemijsko ponašanje mesinga u 0,5M rastvoru HNO₃. Došao je do zaključka da efikasnost inhibitora zavisi od njegove prirode. Stabilnost helatne forme na površini legure utiče na efikasnost organskog inhibitora [62]. Generalno, jaka koordinativna veza uzrokuje veliku efikasnost inhibitora [63-67]. Ispitivano jedinjenje je pokazalo dobre inhibitorске karakteristike u ispitivanim uslovima. Dobra inhibitorска svojstva su i posledica postojanja dva polarna atoma u molekulu inhibitora: N i S. S atom obezbeđuje veliku gustinu elektrona što utiče na porast efikas-

nosti [26,33]. N atom je reakcioni centar koji dovođi do formiranja filma na metalnoj površini[33]. Sa porastom koncentracije inhibitora dolazi do pada gustine struje. Peptidi pretežno kontrolišu katodnu reakciju tj. ponašaju se kao katodni inhibitori. Dodatak peptida ne modifikuje mehanizam procesa na elektrodi.

A. Asan i drugi [32] su na osnovu svojih istraživanja i rezultata prikazanih u tabeli 3 došli do zaključka da sa porastom koncentracije inhibitora dolazi do pada gustine struje. Uočili su da ispitivani inhibitori formiraju tanak i otporan hemisorbovani film na površini mesinga. Adsorpcija inhibitora na površini legure jedan je od najbitnijih koraka u mehanizmu inhibicije. Zaštitni film na površini mesinga dodatno je modifikovan benzotriazolom, pri čemu je otpornost filma znatno poboljšana kao i pokrivenost površine legure. Prisustvo $-C=N-$ veze u molekulu inhibitora doprinosi njegovoj boljoj adsorpciji na površini legure i boljoj efikasnosti. Ispitivani ligandi su veoma podesni za formiranje koordinativnih kompleksa sa Zn^{2+} i Cu^{2+} jonima [68,69]. U kom stepenu su ispitivana jedinjenja imala uticaj na elektrohemijske parametre legure može se videti iz tabele 3.

Q.J. Xu i drugi [59] pratili su uticaj poliaspartic acid(PAA) na elektrohemijsko ponašanje mesinga u vodenom rastvoru i primetili su da PAA pokazuje inhibitorске karakteristike. Maksimalni inhibitorски efekat uočen je pri koncentraciji inhibitora od $15\text{mg}/\text{dm}^3$, ali je i tada stepen efikasnosti inhibitora relativno nizak i iznosi oko 60%.

T. Tüken i koautori[50] ispitivali su uticaj polipropila (PPy) na elektrohemijsko ponašanje mesinga u $0,1\text{M}$ rastvoru H_2SO_4 . Njihova istraživanja su pokazala da polipropil pruža značajnu zaštitu mesingu gde stepen efikasnosti inhibitora ide i do 88% nakon stajanja elektrode 170h u polipropilu.

G. Gao sa saradnicima[18] je ispitivao uticaj 1-dietilamino-propan-2-ol(EAP) i 1,3-bis-dietilamino-propan-2-ol(DEAP) na elektrohemijsko ponašanje mesinga u atmosferskoj vodi. Ispitivanja su pokazala da je DEAP jedinjenje sa boljim inhibitorским karakteristikama što se pre svega ogleda u stepenu efikasnosti. Verovatno DEAP pokazuje bolje inhibitorске osobine zbog slobodnog elektronskog para koji učestvuje u formiranju stabilnog zaštitnog filma na površini elektrode. Inhibitor može da inicira korozione aktivnosti na površini mesinga u početnom anodnom procesu, najverovatnije jer inhibitor uklanja hidratne slojeve na površini elektrode i tako dolazi do stvaranja pogodnih mes-

ta za formiranje stabilnog zaštitnog filma. DEAP ima linearnu strukturu, pa zahvaljujući tome reaktivna centri mogu lako i efikasno da reaguju sa metalnom površinom. To objašnjava jaču vezu između površine metala i inhibitora što rezultira većom efikasnošću DEAP u odnosu na EAP [18].

Ispitivan je i inhibitorски efekat sledećih jedinjenja: 1,1-(lauril amido) propil amonijum hlorida (LAPACl), natrijum dodecil benzen sulfonata (SDBS), dodecil fenol etoksilata (DPh(EO)₉), i nađeno je da inhibitorски efekat menja prema sledećem redosledu: DPh(EO)₉<LAPACl<SDBS [70]. M. M. Osman [70] smatra da je inhibitorски efekat SDBS najverovatnije posledica fizičke adsorpcije negativnog jona na pozitivno naelektrisanom površini mesinga, dok se u slučaju LAPACl hloridni jon iz jedinjenja hemisorbuje na mesinganoj površini na mestima sa takođe pozitivnim naelektrisanjem. Ta pojava uspešno usporava rastvaranje metala. Ukoliko je LAPACl prisutno u velikoj koncentraciji onda se pozitivni jon LAPA⁺ adsorbuje na površini mesinga tako da alkalni lanac bude orijentisan dalje od površine elektrode, što mu omogućuje da formira efikasan zaštitni film [71]. SDBS je efikasniji kao inhibitor jer se direktno adsorbuje na metalnu površinu. DPh(EO)₉ ima najmanju efikasnost kao inhibitor korozije mesinga zbog svoje strukture, što za posledicu ima teškoće pri adsorpciji na metalnoj površini [70]. Kako utiču koncentracija samog inhibitora kao i izbor sredine gde se ispitivanja vrše na elektrohemijske karakteristike ispitivane elektrode može se veoma dobro videti iz tabele 3. Generalno sa porastom koncentracije inhibitora dolazi do pada gustine struje. U rastvoru NaCl gustina struje je manja nego u rastvoru morske vode jer morska voda sadrži mnoge supstance koje utiču na elektrohemijske karakteristike ispitivane elektrode i na efikasnost inhibitora.

A. Nagiub i drugi [27] pratili su uticaj koncentracije natrijumove soli glukonske kiseline (GASS) na elektrohemijsko ponašanje mesinga u VNSS. Nađeno je da je optimalna koncentracija $0,01\text{mol}/\text{dm}^3$ i na ovoj koncentraciji efikasnost inhibitorskog delovanja bila je 95%.

Površina mesinga je bila neoštećena pri koncentraciji inhibitora od $0,01\text{mol}/\text{dm}^3$. Na drugim koncentracijama na površini mesinga pronađeni su produkti korozije. U rastvoru VNSS sa dodatkom GASS u koncentraciji od $0,1\text{mol}/\text{dm}^3$ dolazi do ubrzanja korozionog procesa [27].

Tabela 3 - Zavisnost gustine struje i stepena efikasnosti od koncentracije inhibitora u različitim sredinama

Sredina	Inhibitor	C_{inh}	$I_{corr}[\mu Acm^{-2}]$	IE[%]	Literatura
0,5M HNO ₃	Boc-Phe-Met-OCH ₃	10 ⁻⁵ M	30,1	40	Y. Abed i drugi[33]
		10 ⁻⁴ M	10,5	79	
		10 ⁻³ M	1,3	97	
0,1M NaCl	L ₁	20ppm	3,11	66	A. Asan i drugi [32]
		50ppm	2,42	73	
		100ppm	1,46	84	
		200ppm	1,13	88	
		Modifikovana	0,29	97	
	L ₂	20ppm	3,53	61	
		50ppm	2,65	71	
		100ppm	1,75	80	
		200ppm	1,30	86	
		Modifikovana	0,47	95	
3,5% NaCl	SDBS	200ppm	60,30	/	M. M. Osman i drugi [70]
		600ppm	26,15	/	
		1000ppm	13,60	/	
Morska Voda	SDBS	200ppm	115,33	/	
		600ppm	62,57	/	
		1000ppm	31,51	/	
3,5% NaCl	DPh(EO) ₉	200ppm	93,75	/	
		600ppm	40,50	/	
		1000ppm	28,60	/	
Morska Voda	DPh(EO) ₉	200ppm	200,00	/	
		600ppm	85,40	/	
		1000ppm	73,00	/	
3,5% NaCl	LAPACl	200ppm	75,12	/	
		600ppm	30,25	/	
		1000ppm	22,63	/	
Morska Voda	LAPACl	200ppm	140,50	/	
		600ppm	70,90	/	
		1000ppm	59,11	/	

3.1 Azoli kao inhibitori korozije mesinga

Benzotriazol (BTA) je jedan od najznačajnijih inhibitora korozije bakra i mesinga u kiselim, neu-

tralnim i alkalnim sredinama [72-74]. R. Walker [75] je pokazao da efikasnost BTA u kiselim sredinama raste sa porastom pH vrednosti. Naročito je

ispitivan u vodenim rastvorima sa dodatkom hloridnih jona [76-78]. Uticaj BTA se ogledao u formiranju $[Cu^+BTA^-]_n$ filma koji je nerastvoran i polimeran [79-81]. Prvi radovi su pokazali da je Cu_2O neophodan za formiranje Cu(I)BTA filma [82-84], i da prisustvo CuO na površini inicira hemisorpciju benzotriazola. Na potencijalu gde je stepen pokrivenosti najveći ima i najviše Cu_2O na površini legure [31]. Novija istraživanja se ne slažu sa ovim zaključcima i u njima se dolazi do tvrdnje da se Cu(I)BTA film može formirati i na površini na kojoj nije došlo do građenja oksida bakra [73,85].

Jedinjenja iz grupe azola su inhibirala korozivne procese na bakru i njegovim legurama, što je objašnjeno formiranjem Cu^{2+} azolkompleksnih jona i njihovom adsorpcijom na metalnoj površini [30,95]. Inhibitorsko dejstvo azola može biti objašnjeno hemisorpcijom, ali i fizičkom adsorpcijom na površini mesinga [26].

F. Zucchi i drugi [86] su pokazali da BTA i benzimidazol (BMD) efikasno inhibiraju decinkaciju mesinga u rastvoru koji sadrži hloridne jonove. U hloridnim rastvorima sa dodatkom BTA dolazi do inhibicije formiranja $CuCl_2$ na površini bakra i mesinga, kao i do inhibicije formiranja produkata bogatih cinkom. Na površini mesinga dolazi do formiranja polimernog filma koji sadrži BTA [87].

Benzomidazol i njegovi derivati, dokazano je, sprečavaju rastvaranje mesinga u rastvoru sumporne kiseline [88]. Jedinjenja na bazi azola koriste se kao inhibitori kako bi sprečili rastvaranje Cu u različitim sredinama [29].

Vishawanatham i drugi [89] su našli da je inhibitorski efekat izaženiji kada se u rastvoru nalazi više azola, nego kada je u rastvoru prisutno samo jedno jedinjenje sa inhibitorskim karakteristikama. Sinergički efekat potvrđen je sa jedinjenjima iz grupe azola. Upoređujući inhibitorski efekat i uticaj na elektrohemijsko ponašanje mesinga jedinjenja MBT, CTAB i kombinacije MBT+CTAB lako se uočava da se kombinacija MBT+CTAB pokazala kao najefikasniji inhibitor, beležeći značajan pad gustine struje [106]. R. Walker [90] je pokazao da male količine 1,2,3-benzotriazola i 1,2,4-triazola inhibiraju korozivne procese u različitim sredinama, pri čemu je BTA u količini od svega 300ppm. Ta količina inhibitora je dovoljna za formiranje stabilnog i nerastvornog Cu-BTA kompleksa u fluoridnim rastvorima [6,91]. S. M. Sayed sa saradnicima [92] proučavao je delovanje

BTA na α -mesing u nitritnim rastvorima i primetio da BTA sprečava rastvaranje mesinga formiranjem sloja bakar oksida na površini mesinga. E. A. Ashour i saradnici [94] izučavali su efikasnost BTA u prisustvu sulfidnih jona u rastvoru NaCl. H. S. Hegazy sa saradnicima [93] je otkrio da u slanoj vodi koja sadrži sulfidne jone sa porastom koncentracije BTA opada stepen pokrivenosti mesinga sulfidnim jonima, kao i brzina korozije. Dodatak sulfidnih jona rastvoru NaCl koji sadrži BTA dovodi do pada efikasnosti inhibitora, i do značajnog rasta brzine rastvaranja mesinga. To se objašnjava razgradnjom Cu(I)BTA filma i stvaranjem Cu_2S na površini legure [94].

Inhibitorska aktivnost jedinjenja koja sadrže N, S i O atome sastoji se u formiranju koordinativnog tipa veze između metala i usamljenog elektronskog para. Tendenciju ka formiranju koordinativne veze možemo menjati povećanjem efektivne gustine elektrona u funkcionalnoj grupi. Kompleksi koji nastaju su generalno polimeri i grade zaštitni film na površini metala. U aromatičnim i heterocikličnim jedinjenjima efektivna gustina elektrona kao funkcionalna grupa može biti menjana dodavanjem različitih supstituenata u prsten čime se postižu varijacije u molekularnoj strukturi [24,26]. Inhibitorska efikasnost BTA i njegovih derivata uslovljena je donorsko-akceptorskim interakcijama između π -elektrona iz inhibitora i slobodne d-orbitale sa površine metala, ili u interakciji inhibitora sa već adsorbovanim hloridnim jonima ukoliko u rastvoru egzistiraju hloridni joni [82,96].

R. Ravichandran sa saradnicima [24,25] je ispitivao uticaj: N-[benzotriazol-1-etil]anilina (BTEA) i N, N-dibenzotriazol-1-metilaminoetana (DBME) na elektrohemijsko ponašanje mesinga Cu35Zn u 3% rastvoru NaCl pomoću elektrohemijske impedansne spektroskopije i polarizacionih merenja. Efikasnost inhibitora raste sa porastom koncentracije pri čemu je maksimalan stepen inhibicije za oba inhibitora uočen pri koncentraciji od 150ppm, što predstavlja i optimalnu koncentraciju za ispitivane inhibitore. Bolju efikasnost ispoljio je DBME. Takođe, oba inhibitora utiču na decinkaciju, što se ogleda u opadanju faktora decinkacije u prisustvu inhibitora [24-26,30,53,55].

Ispitivan je i uticaj N-[1-benzotriazol-1-metil-anilina (BTMA) i 1-hidroksimetil benzotriazola (HBTA) na elektrohemijsko ponašanje mesinga u rastvoru sa dodatkom hlorida [25]. Koncentracija inhibitora od 150ppm može se smatrati optimal-

nom, zato što gustina struje i stepen efikasnost imaju optimalne vrednosti pri ovoj koncentraciji inhibitora. Upoređujući ispitivane inhibitore HBTA je pokazao najveću efikasnost pri optimalnoj koncentraciji (tabela 5). Analiza rastvora je pokazala da su ispitivani inhibitori u stanju da minimalizuju rastvaranje bakra i cinka [25].

V. Otieno-Alego sa saradnicima [30] je pratio efekte: 1-[N,N-bis-(hidroksietil) aminometil]benzotriazola (BTLY) i benzotriazola (BTA) na elektrohemijske osobine i decinkaciju mesinga u vodenom rastvoru sumporne kiseline i dobio je slične rezultate kao Gupta sa saradnicima [88]. Na koncentracijama većim od $5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ inhibitor formira rastvoran polimer [97]. Takođe, praćen je i uticaj pH vrednosti na rastvaranje i decinkaciju mesinga u prisustvu inhibitora i primeđeno je da efikasnost inhibitora raste sa porastom alkalnosti sredine [30] što je i prikazano u tabeli 4, što se slaže sa rezultatima koje je dao Walker [75].

Tabela 4 - Zavisnost stepena efikasnosti inhibitora i faktora decinkacije mesinga u $0,5M H_2SO_4$ na različitim pH vrednostima pri koncentraciji inhibitora od $10^{-3}M$

pH	Inhibitor	IE[%]	z	Literatura
0	/	/	1,57	V. Otieno-Alego i drugi [30]
	BTA	48,5	1,63	
	BTLY	53,0	1,64	
1	/		1,83	
	BTA	53,9	1,89	
	BTLY	66,8	2,07	
3	/		1,87	
	BTA	82,1	2,43	
	BTLY	84,2	2,45	
5	/		2,30	
	BTA	92,8	5,13	
	BTLY	87,6	3,91	
8	/		3,52	
	BTA	94,5	6,27	
	BTLY	90,6	5,08	

Faktor decinkacije raste sa porastom pH vrednosti pri čemu ima vrednost veću od 1 u čitavom ispitivanom opsegu pH, što znači da ispitivani inhibitori ne sprečavaju decinkaciju mesinga [30]. BTA i BTLY sprečavaju koroziju mesinga. Gupta i drugi došli su do sličnih rezultata [88].

Z. Mountassir sa saradnicima [29] je ispitivao inhibitorsko dejstvo 3-amino-1,2,4 triazola(ATA) u rastvoru NaCl bez i sa dodatkom S^{2-} jona u količini od 2ppm. Inhibitorski efekat ispitivanog jedinjenja bio je izraženiji u prisustvu S^{2-} jonova, što se vidi i iz tabele 5.

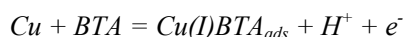
ATA pokazuje dobar stepen zaštite u rastvoru NaCl od čak 91%, ali je zaštitni efekat još izraženiji u rastvoru koji sadrži i S^{2-} jone i iznosi 98%. Smatra se da ATA modifikuje formiranje zaštitnog filma na površini elektrode. Na višim potencijalima dolazi do desorpcije zaštitnog sloja što dovodi do smanjenja inhibitorskog dejstva ispitivanog jedinjenja [98]. Sa porastom vremena izlaganja mesingane elektrode 3% rastvoru NaCl sa dodatkom ATA u koncentraciji od $5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ i sa dodatkom S^{2-} jona u količini od 2ppm dolazi do rasta gustine struje, dok efikasnost inhibitora beleži manji pad (tabela 6). Inhibitorski efekat ispitivanog jedinjenja verovatno pada jer na površini egzistiraju defekti, gde dolazi do interakcije između agresivnih anjona i površine elektrode [29]. ATA uspešno sprečava i decinkaciju mesinga u prisustvu S^{2-} jona [29].

Tabela 6 - Uticaj vremena držanja elektrode u $5 \cdot 10^{-3}M$ rastvoru ATA na gustinu struje i stepen efikasnosti inhibitora

Vreme izlaganja elektrode [h]	Sredina	I_{corr} [μAcm^{-2}]	IE[%]	Literatura
1	3% NaCl + 2ppm S^{2-}	1,0	98	Z. Mountassir i drugi [29]
4		4,8	92	
15		4,0	93	
24		4,7	92	

S. Mamaş sa saradnicima [28] pratio je ponašanje mesinga Cu30Zn u rastvoru NaCl sa dodatkom BTA. BTA pokazuje inhibitorsko delovanje u širokom opsegu potencijala. Rastvor BTA koncentracije $2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ štitio je leguru do potencijala od $0,6V_{zke}$. Na potencijalima iznad $0,6V_{zke}$ dolazi do pucanja zaštitnog filma, i on se ne može regenerisati na tim potencijalima. Zaštitni

film se formira u okolini potencijala od $-0,6V_{zke}$ [28]. Predložena reakcija formiranja zaštitnog filma je:



BTA doprinosi formiranju ZnO i/ili Zn-BTA filma, pa i ova jedinjenja doprinose pasivaciji mesinga [28].

Tabela 5 - Uticaj koncentracije inhibitora na gustinu struje i stepen efikasnosti u različitim sredinama

Sredina	Inhibitor	C_{inh}	$I_{corr}[\mu Acm^{-2}]$	IE[%]	Literatura
3% NaCl	/	/	8,61	/	R. Ravichandran i drugi [25]
	BTA	150ppm	1,95	89,78	
	BTMA	150ppm	1,11	90,31	
	HBTA	150ppm	0,57	95,29	
3% NaCl	/	/	32	/	Z. Mountassir i drugi [29]
	ATA	$5 \cdot 10^{-3}M$	3	91	
3% NaCl+S ⁻²	ATA	$5 \cdot 10^{-3}M$	1	98	
Sintetička morska voda	/	/	8,98	/	R. Ravichandran i drugi [26]
	DBMM	50ppm	3,33	62,92	
		100ppm	2,74	69,49	
		150ppm	1,07	88,08	
		200ppm	1,10	87,75	
	HPBT	50ppm	2,80	68,82	
		100ppm	2,14	76,17	
		150ppm	0,80	91,07	
200ppm		0,84	90,64		
0,1M HNO ₃	/	/	4,5	/	M. Mihit i drugi [52]
	TTZ	$10^{-3}M$	4,0	11,1	
	AT	$10^{-3}M$	0,31	93,1	
	PT	$10^{-3}M$	0,25	94,4	
	PMT	$10^{-3}M$	0,12	97,3	
	PMT	$10^{-7}M$	2,9	35,6	
		$5 \cdot 10^{-7}M$	2,3	48,9	
		$10^{-6}M$	0,5	88,9	
		$10^{-5}M$	0,2	95,6	
		$10^{-4}M$	0,15	96,7	

R. Ravichandran i drugi [26] pratili su elektrohemijsko ponašanje mesinga u sintetičkoj morskoj vodi uz dodatak: N,N-dibenzotriazol-1-metila-

minometana (DBMM) i 3-hidroksipropil benzotriazola (HPBT). Efikasnost inhibitora genralno raste sa porastom koncentracije inhibitora što se može

videti iz tabele 5. Takođe, iz tabele se vidi da je optimalna koncentracija inhibitora 150ppm. Na toj koncentraciji inhibitori beleže najveću efikasnost, dok sa daljim povećanjem koncentracije inhibitora dolazi do pada stepena efikasnosti. HPBT je pokazao bolje inhibitorske osobine u odnosu na DBMM. Ispitivani inhibitori kontrolišu i anodne i katodne procese [26]. Na površini mesinga verovatno dolazi do adsorpcije DBMM i HPBT. Dolazi do izmene molekula vode anjonima sintetičke morske vode i do adsorpcije organskih molekula na površini metala što dovodi do redukcije opsega gde se odvija reakcija rastvaranja metala [100]. Na površini legure dolazi do formiranja oksida cinka i bakra bez obzira na to da li u rastvoru ima ili nema inhibitora. U rastvorima sa dodatkom inhibitora pikovi koji ukazuju na građenje oksida nisu toliko izraženi kao pikovi u rastvorima bez inhibitora [26, 101].

B. Assouli sa saradnicima [99] je primetio da je 2-merkaptobenzimidazol (2-MBI) odličan inhibitor korozije mesinga i da njegova efikasnost raste sa porastom koncentracije kao i sa porastom temperature.

A. Nagiub sa saradnicima [27] je ispitivao elektrohemijsko ponašanje mesinga u sintetičkoj morskoj vodi i u 3% rastvoru NaCl, sa dodatkom benzotriazola. Efikasnost inhibitora raste sa porastom vremena izloženosti ispitivane elektrode u rastvoru inhibitora.

M. Mihit i koautori [52] istraživali su uticaj tetrazola na elektrohemijsko ponašanje mesinga u rastvoru HNO₃ koncentracije 0,1mol/dm³. Kao inhibitori korišćena su sledeća jedinjenja: 1-fenil - 5-merkaptio-1,2,3,4 – tetrazol (PMT), 1,2,3,4-tetrazol (TTZ), 5-amino-1,2,3,4-tetrazol(AT), 1-fenil-1,2,3,4- tetrazol(PT). Dodatak inhibitora dovodi do smanjenja gustine struje, dok stepen inhibicije raste prema redosledu TTZ<AT<PT<PMT (tabela 5). Dodatak ovih jedinjenja rastvoru HNO₃ ne menja mehanizam procesa, ali ga kontroliše. Rezultati dobijeni elektrohemijom impendansnom spektroskopijom potvrđuju da efikasnost inhibitora raste prema redosledu: TTZ<AT<PT<PMT.

Efikasnost zavisi od prirode substituenata i njihove pozicije u molekulu [52]. Pojedina istraživanja su pokazala da različiti substituenti u organskim molekulima polarizuju funkcionalne grupe na različite načine [102]. Prisustvo NH₂ grupe u AT, fenila u PT, SH₂ grupe i fenila u PMT mogu povećati mogućnost adsorpcije inhibitora na površini legure [52].

Rezultati su pokazali da PMT poseduje najbolje inhibitorske osobine od ispitivanih tetrazola i da zaslužuje detaljnije ispitivanje. Najpre je ispitivan uticaj koncentracije PMT na elektrohemijske karakteristike mesinga (tabela 5.). Vidljivo je da postoji uticaj koncentracije PMT na elektrohemijske osobine mesinga. Sa porastom koncentracije PMT došlo je do pada gustine struje, ali i do rasta stepena efikasnosti [52]. Dodatak inhibitora ne menja mehanizam redukcionog procesa. U prisustvu PMT kao inhibitora odvijanje anodnog procesa je moguće tek na potencijalima većim od 500mV_{zke}. Merenja su pokazala da je anodni proces kontrolisan procesom izmene naelektrisanja. Adsorpcija je ostvarena preko polarnih centara, kao što su atomi azota i sumpora [52]. PMT se adsorbira na površini mesinga prema Lengmirovoj izotermi, i dolazi do hemisorpcije PMT molekula na površini legure [52, 103].

Tabela 7 - Zavisnost gustine struje i stepena efikasnosti od temperature u 0,1M HNO₃ sa dodatkom PMT u koncentraciji od 10⁻³M

Inhibitor	T[°C]	I _{corr} [μAcm ⁻²]	IE[%]	Literatura
/	25	4,5	/	M. Mihit i drugi [52]
	30	5,1	/	
	40	14,1	/	
	50	20,6	/	
PMT	25	0,12	97,3	
	30	0,13	97,5	
	40	0,18	98,7	
	50	0,2	99,0	

M. Mihit sa saradnicima [52] je pratio i uticaj temperature na elektrohemijske osobine mesinga, kao i na stepen efikasnosti inhibitora. Sa porastom temperature raste gustina struje, ali raste i stepen efikasnosti delovanja inhibitora (tabela 7.) [52]. Vrednost aktivacione energije u rastvoru bez inhibitora je znatno veća u odnosu na rastvor sa dodatkom inhibitora. Pad vrednosti energije aktivacije pripisuje se procesu hemisorpcije inhibitora na površinu metala [104,105]. Na osnovu podataka iz tabele 7. može se reći da je PMT jedan od boljih inhibitora na višim temperaturama [52].

Antonijević sa saradnicima [31] je ispitivao elektrohemijsko ponašanje mesinga Cu37Zn u rastvoru boraksa sa dodatkom benzotriazola kao inhi-

bitora. Stepennost pokrivenosti raste sa porastom koncentracije inhibitora i dostiže vrednost od oko 85% (tabela 8). Na površini mesinga ne dolazi do formiranja oksida bakra, što je ujedno potvrda o inhibitorском delovanju benzotriazola [31].

Na potencijalima višim od $0,100V_{zke}$ dolazi do pada stepena pokrivenosti, jer Cu^+ prelazi u više oksidaciono stanje što ima uticaja na stabilnost Cu-BTA filma [31]. Sloj Cu_2O nagrađen na površini mesinga u rastvoru bez dodatka inhibitora ima snažnije inhibitorско dejstvo od niske koncentracije BTA kakva je $10^{-4}\%$. Niska koncentracija BTA je nedovoljna za formiranje zaštitnog filma, ali je dovoljna za sprečavanje formiranja oksida bakra Cu_2O , tako da površina mesinga ostaje bez ikakve zaštite [31]. Stepennost pokrivenosti raste sa porastom vremena izloženosti rastvoru BTA koncentracije 0,2%. Razlog je najverovatnije formiranje debljeg zaštitnog filma. Takođe, gustina struje zavisi od vremena izlaganja rastvoru BTA i sa porastom vremena opada [31].

4. ZAKLJUČAK

Legirajući elementi kao inhibitori korozije mesinga pokazali su se kao veoma uspešni. Najčešće ispitivani legirajući elementi su: As, B, P, Sn, Al, Pb. Najbolje rezultate je pokazao As, pa je shodno tome i najviše ispitivan kao inhibitor korozije mesinga. Dobre rezultate As je davao već u koncentraciji od 0,02at%, dok je optimalna koncentracija od 0,04at% do 0,05at%. Dobre rezultate dalo je i olovo i to u rastvoru sa hloridnim jonima. Pb, Al, Sn i As uspešno inhibiraju i decinkaciju, dok As otežava pojavu naponske korozije. Jedan od nedostataka As je da na višim potencijalima dolazi do rastvaranja arsena iz legure. Takođe, male količine Fe i Mn umanjuju efikasnost As kao inhibitora. Anjoni arsena su takođe pokazali dobre inhibitorске karakteristike u hloridnim rastvorima. Stepennost efikasnosti legirajućih elemenata, generalno raste sa porastom sadržaja u leguri i rastvoru. Anjoni arsena se hemisorbuju na površini mesinga. Generalno, efikasnost zavisi od stabilnosti i rastvorljivosti zaštitnog filma, kao i od njegove osetljivosti na koroziona delovanja.

Efikasnost organskih jedinjenja kao inhibitora zavisi od prirode samog jedinjenja, dok jaka koordinativna veza ima presudnu ulogu za efikasnost inhibitora. U kiselim sredinama dobri inhibitori su peptidna jedinjenja i polipropil sa stepenom efikasnosti od 97% i 88%. Na efikasnost inhibitora generalno utiču i slobodan elektronski par u molekulu

jedinjenja, kao i orijentacija lanca prilikom formiranja zaštitnog sloja na površini legure. Sredina znatno utiče na efikasnost delovanja inhibitora.

Jedinjenja iz grupe azola spadaju u najznačajnije inhibitorе korozije. Upravo zbog svog značaja, ova jedinjenja su pomno ispitivana. Dobre rezultate su davala u hloridnim rastvorima, u kiselim rastvorima, u neutralnim i alkalnim sredinama, pa i u rastvorima sa dodatkom sulfidnih jona. Izuzetno dobre karakteristike jedinjenja iz grupe azola su ispoljila u rastvorima sintetičke morske vode. Inhibicija korozionog procesa postiže se formiranjem azokompleksnih jona i njihovom adsorpcijom na površini mesinga. Azoli su ispoljili i jak sinergički efekat. Generalno, sa porastom koncentracije raste i stepennost efikasnosti, mada za svako jedinjenje postoji optimalna koncentracija kada je efikasnost najveća. Efikasnost umnogome zavisi od strukture azola i može da se poveća dodavanjem različitih substituenata. Jedinjenja iz grupe azola pokazuju inhibitorске osobine u širokom opsegu potencijala, čak i do $0,6V_{zke}$, pri čemu uspešno inhibiraju i proces decinkacije. Adsorpcija na površini metala odvija se prema Lengmirovoj adsorpcionoj izotermi u najvećem broju slučajeva.

LITERATURA

- [1] B.B. Moreton, Corros. Prev. Contr. 12 (1985) 122
- [2] P.T. Gilbert, Mater. Perform. 21 (1982) 47
- [3] S. S. Sawant, D. Khandarparker, A. Tulaskar, K. Venkat, A. Garg, Indian J. Chem. Technol. 2 (1995) 322
- [4] G. Petkova, E. Sokolova, S. Raicheva, P. Ivanov, Brit. Corros. J. 31 (1996) 55
- [5] R. Gasparac, C. R. Martin, E. Stupnisek-Lisac, Z. Mandic, J. Electrochem. Soc. 147 (2000) 991
- [6] H.C. Shih, R.J. Tzou, J. Electrochem. Soc. 138 (1991) 958
- [7] M.I. Abbas, Brit. Corros. J. 26 (1991) 273
- [8] G. Quartarone, G. Moretti, T. Bellami, Corrosion 54 (1998) 606
- [9] F. Mansfeld, T. Smith, Corrosion 29 (1973) 3
- [10] A. Weisstuh, K. R. Lange, Mater. Protect. Perform. 10 (1971) 29
- [11] M. Kabasakaloglu, T. Kiyak, O. Sendil, A. Asan, Appl. Surf. Sci. 193 (2002) 167
- [12] B. Miller, J. Electrochem. Soc. 116 (1969) 1675
- [13] L. M. Abrantes, L.M. Castillo, C. Norman, L.M. Peter, J. Electroanal. Chem. 163 (1984) 209
- [14] D.D. Macdonald, K.M. Ismail, E. Sikora, J. Electrochem. Soc. 145 (1998) 3141

- [15] A. G. Gad-Allah, M.M. Abou-Romia, M. W. Badawy, H. H. Rehan, *J. Appl. Electrochem.* 21 (1991) 829
- [16] Z. Szklarska-Smialowska, *Corrosion* 46 (1990) 85
- [17] J. Morales, P. Esparza, G.T. Fernandez, G. Gonzales, J.E. Garcia, J. Caceres, R. C. Salvarezza, A.J. Arvia, *Corros. Sci.* 37 (1995) 231
- [18] G. Gao, C. Liang, *Electrochimica Acta*, 52 (2007) 4554
- [19] G. Brunoro, F. Parmigiani, G. Perboni, G. Rocchini, G. TrabANELLI, *British Corros. J.* 27 (1992) 75
- [20] F. Mansfeld, T. Smith, E.P. Parry, *Corrosion-NACE* 27(1971) 289
- [21] A. Frignani, G. TrabANELLI, C. Wrubl, A. Mollica, *Corros.* 52 (1996) 177
- [22] M. A. Quarishi, M.A. Wajid Khan, M. Ajmal, *Bulletin of Electrochem.* 11 (1995) 274
- [23] S. Vishawatan, N. S. Rawat, *Indian J. of Techn.* 31 (1993) 796
- [24] R. Ravichandran, N. Rajendran, *Appl. Surf. Sci.* 239 (2005) 182
- [25] R. Ravichandran, S. Najnjundan, N. Rajendran, *Appl. Surf. Sci.* 236 (2004) 241
- [26] R. Ravichandran, N. Rajendran, *Appl. Surf. Sci.* 241 (2005) 449
- [27] A. Naguib, F. Mansfeld, *Corros. Sci.* 43 (2001) 2147
- [28] S. Mamaş, T. Kiyak, M. Kabasakaloğlu, A. Koç, *Mater. Chem. and Physics* 93 (2005) 41
- [29] Z. Mountassir, A. Srhiri, *Corros. Sci.* 49 (2007) 1350
- [30] V. Otieno-Alego, G.A. Hope, T. Notoya, D.P. Schweinsberg, *Corros. Sci.* 38 (1996) 213
- [31] M.M. Antonijevic, S.M. Milic, S.M. Serbula, G.D. Bogdanovic, *Electrochim. Acta* 50 (2005) 3693
- [32] A. Asan, M. Kabasakaloğlu, M.İşikan, Z. Kiliç, *Corros. Sci.* 47 (2005) 1534
- [33] Y. Abed, M. Kissi, B. Hammouti, M. Taleb, S. Kertit, *Progress in Organic Coatings* 50 (2004) 144
- [34] J.Y. Zou, D.H. W, W.C. Qiu, *Electrochim. Acta* 42 (1997) 1733
- [35] J.E. Bowers, P.W.R. Oseland, G.C. Davies, *Br. Corros. J.* 13 (1978) 177
- [36] I. Ogilvie, *Corros. Coatings South Africa* (1982) 9, Aug.
- [37] G.D. Bengough, R. May, *J. Instrum. Met.* 32 (1924) 81
- [38] E.E. Langenegger, F.P.A. Robinson, *Corrosion NACE* 25 (1969) 137
- [39] J.E. Bowers, *Metallurgia* (1982) 55, Feb.
- [40] V. F. Luceu, *Br. Corros. J.* 2 (1966) 53
- [41] R.C. Newman, T. Shahrabi, K. Sieradzki, *Corros. Sci.* 28 (1988) 873
- [42] A.M. Beccaria, G. Poggi, G. Capannelli, *Corros. Prev. Control* (1989) 169, Dec.
- [43] C. Fiaud, S. Bensarsa, I. Demesy, M. Tzinmann, *Br. Corros. J.* 22 (1987) 109
- [44] Rabab M. El-Sherif, K.M. Ismail, W.A. Badawy, *Electrochim. Acta* 49 (2004) 5139
- [45] R.O. Toivanen, J. Hirvonen, V.K. Lindroos, *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B7* (1985) 200
- [46] M. Singh and Singh, *Corrosion*, 43 (1987) 425
- [47] Sekine, Y. HIRAKAWA, *Corrosion*, 42 (1986) 272
- [48] S. Seungman, T. Kang, *J. of Alloys and Compounds*, 335 (2002) 281
- [49] V.V. Ekilik, M.N. Svyataya, A.G. Berezhnaya, *Protect. of Metals*, 40 (2004) 344
- [50] T. Tüken, B. Yazici, M. Erbil, *Progress in Org. Coat.* 51 (2004) 152
- [51] T.C. Chou, *J. of Materials Sci.* (1998) 3585
- [52] M. Mihit, S. El Issami, M. Bouklah, L. Bazzi, B. Hammouti, E. Ait Addi, R. Salghi, S. Kertit, *Appl. Surf. Sci.* (2005)
- [53] X. Luo, J. Yu, *Corros. Sci.* 38 (1996) 767
- [54] K. Habib, *Opt. and Lasers in Engin.* 33 (2000) 1
- [55] I.K. Marshakov, *Protection of Metals*, 41 (2005) 205
- [56] E.E. Langenegger, F.P.A. Robinson, *Corros.* 10 (1970) 197
- [57] M.J. Pryor, K. Giam, *J. Electrochem. Soc.* 129 (1982) 2157
- [58] W.A. Badawy, S.S. El-Egamy, A.S. El-Azab, *Corros. Sci.* 37 (1995) 1969
- [59] Q.J. Xu, G.D. Zhou, H.F. Wang, W.B. Cai, *Anti-Corros. Meth. and Materials* 53 (2006) 207
- [60] A.I. Muñoz, J.G. Antón, J.L. Guiñón, V.P. Herranz, *Corros.* 58 (2002) 560
- [61] C.M. Giordano, G.S. Duffó, J.R. Galvele, *Corros. Sci.* 39 (1997) 1915
- [62] B. Dus, Z.S. Smialowska, *Corros.* 28 (1972) 105
- [63] M. Aggal, A.S. Mideen, M.A. Qurasih, *Corros. Sci.* 36 (1994) 79
- [64] S. Kertit, B. Hammouti, *Appl. Surf. Sci.* 93 (1996) 59
- [65] M. Bouayed, H. Rabaa, A. Shiri, J.Y. Saillard, A. Ben Bachir, A. Le Beuze, *Corros. Sci.* 41 (1999) 501
- [66] X. L. Cheng, H.Y. Ma, S.H. Chen, R. Ye, X. Chen, Z.M. Yao, *Corros. Sci.* 41 (1999) 321
- [67] S.N. Raicheva, B.V. Aleksiev, E.I. Sokolova, *Corros. Sci.* 34 (1993) 343
- [68] T. Hökelek, Z. Kiliç, M. İşiklan, M. Toy, *J. Mol. Struct.* 523 (2000) 61

- [69] R. Srinivasan, I. Sougandi, R. Venkatesan, P. Sambasiva Rao, Proc. Indian Acad. Sci. (Chem. Sci.) 115 (2003) 91
- [70] M.M. Osman, Mater. Chem. and Phys. 71 (2001) 12
- [71] R.J. Meakins, M.G. Stevens, R.J. Hunter, J. Phys. Chem. 73 (1969) 112
- [72] T. Notoya, G.W. Poling, Corros. 32 (1976) 216
- [73] L. Ying, Y. Guan, K.N. Han, Corros. 51 (1995) 367
- [74] Y.C. Wu, P. Zhang, H.W. Pickering, J. Electrochem. Soc. 140 (1993) 2791
- [75] R. Walker, Corros. 32 (1976) 339
- [76] J. Qafsaoui, A. Roques, G. Srihiri, J. Mankowski, J. Appl. Electrochem. 31. (2001) 223
- [77] F. Ammelot, C. Fiaud, E.M.M. Sutter, Electrochim. Acta 42 (1997) 3565
- [78] C. W. Yan, H.C. Lin, C. N. Cao, Electrochim. Acta 45 (2000) 2815
- [79] G. Xue, J. Ding, Appl. Surf. Sci. 40 (1990) 327
- [80] F. El-Taib Heakel, S. Haruyama, Corros. Sci. 20 (1980) 887
- [81] W. Qafsaoui, Ch. Blanc, N. Pebere, J. Appl. Electrochem. 30 (2000) 959
- [82] G.P. Poling, Corros. Sci. 10 (1970) 359
- [83] D. Thierry, C. Leygraf, J. Electrochem. Soc. 132 (1985) 1009
- [84] M. Ito, M. Takahashi, Surf. Sci. 158 (1985) 609
- [85] M. M. El-Naggar, J. Mater. Sci. 35 (2000) 6189
- [86] F. Zucchi, G. Brunoro, G. Trabaneli, Mat. Ital. 69 (1977) 493
- [87] A. M. Fenelon, C. B. Breslin, J. Appl. Electrochem. 31 (2001) 509
- [88] P. Gupta, R. S. Chaudhury, T. K. G. Nambodhary, B. Prakash, Br. Corros. J. 17 (1982) 136
- [89] S. Viswanatham, N.S. Rawat, Indian J. of Technol. 28 (1990) 597
- [90] R. Walker, Corros. 56 (2000) 1211
- [91] H. C. Shih, R.J. Tzou, Corros. Sci. 35 (1993) 479
- [92] S. M. Sayed, E.A. Ashour, B.G. Ateya, Corros. Sci. 36 (1994) 221
- [93] H.S. Hegazy, E.A. Ashour, B.G. Ateya, J. Appl. Electrochem. 31 (2001) 1261
- [94] E. A. Ashour, H.S. Hegazy, B. G. Ateya, J. Electrochem. Soc. 147 (2000) 1767
- [95] A. Dafali, B. Hammouti, A. Aouniti, R. Mokhlisse, S. Kertit, K. El Kacemi, Ann. Chim. Sci. Mater. 22 (2000) 437
- [96] N. Hackerman, E. S. Snavely, J. S. Payne, J. Electrochem. Soc. 113 (1996) 677
- [97] K. Aramaki, T. Kiuchi, T. Sumiyoshi, H. Nishihara, Corros. Sci. 32 (1991) 593
- [98] S. Mnov, A.M. Lamazouère, L. Ariès, Corros. Sci. 42 (2000) 1235
- [99] B. Assouli, A. Srhiri, H. Idrissi, Corros. 60 (2004) 399
- [100] F. Bentiss, M. Traisnel, M. Lagrenee, Br. Corros. J. 35 (2000) 315
- [101] S.S. Abd. El-Rahim, F.H. Assaf, F. El-sayed, A.M. Zaky, Br. Corros. J. 30 (1995) 297
- [102] S. Kertit, K. Bekkouch, B. Hammouti, Rev. Metal. Paris 95 (1998) 251
- [103] B.A. Abo El-Khair, O.R. Khalifa, I.A. Abdelhamid, Corros. Prevent. Contr. 34 (1987) 1952
- [104] T. Szaur, A. Brandt, Electrochim. Acta 22 (1981) 1209
- [105] A. Popova, E. Sokolova, S. Raicheva, M. Christov, Corros. Sci. 45 (2003) 33
- [106] R. Karpagavalli, S. Rajeswari, Anti-Corros. Meth. and Mater. 45 (1998) 333

ABSTRACT

INFLUENCE OF ALLOY ELEMENTS AND SOME ORGANIC INHIBITORS ON BRASS CORROSION

In the review paper, influence of alloy elements (arsenic, aluminium, tin, phosphorus, lead, antimony, boron) on brass corrosion is presented. Influence of some organic compounds, primarily azoles and peptides, on brass corrosion rate and mechanism of dissolution of the alloy is presented, too.