

Vpliv silicija na izboljšanje korozijske odpornosti jeklenih legiranih litin

The Influence of Silicon on the Improvement of the Corrosion Resistance of Alloyed Cast Steels

L. Vehovar¹, IMT Ljubljana

B. Godec, Inštitut za metalne konstrukcije, Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-01-22

To delo obravnava vpliv različnega deleža silicija v maloogljiknih legiranih jeklenih litinah na njihovo korozijsko odpornost v močno oksidacijskih medijih z agresivnimi Cl^- ali Cr^{6+} ioni. Raziskave so pokazale, da dodatek silicija nima posebnega vpliva na korozijsko odpornost v oksidacijskih medijih nižjih koncentracij (10 ali 30% HNO_3 + 0.5M NaCl). Pri večji oksidacijski moči medijev (60% HNO_3 + 0.5M NaCl oziroma 65% HNO_3 + 5g Cr^{6+}/l) ne nastopi pasivacija, temveč korozija zaradi pomika potenciala v korozijsko agresivno transpasivno področje. V takšnih razmerah se najbolje obnese avstenitna $FeCr26Ni30Si4$ jeklena litina s 4% Si. Elektrokemične raziskave kažejo, da so korozijski procesi pod katodno kontrolo, za katero je značilna velika katodna aktivacijska prenapetost. V takšnih razmerah so procesi pasivacije nemogoči. Z dolgotrajnimi korozijskimi testi v vreli 55% HNO_3 je bilo možno potrditi našo predpostavko, da se na elektrodni površini tvori tanka mehanska bariera, izrazito obogatena s silicijem.

Ključne besede: maloogljikne legirane jeklene litine s silicijem, agresivni oksidacijski mediji, elektrokemične raziskave, aktivacijske energije, katodna aktivacijska prenapetost, mehanska Si-bariera, korozijski mehanizmi

This work deals with the influence of different amounts of silicon, in low-carbon alloyed cast steels, on the latter's corrosion resistance in strongly oxidizing media containing aggressive Cl^- or Cr^{6+} ions. The results of the investigations have shown that, in oxidizing media of low concentrations (10% or 30% HNO_3 + 0.5M NaCl), the addition of silicon has no significant effect on the corrosion resistance. In the case of media of higher oxidizing state (60% HNO_3 + 0.5M NaCl, or 65% HNO_3 + 5g Cr^{6+}/l), passivation does not occur, but instead corrosion occurs, due to a shift in the potential into the corrosionwise aggressive transpassive region. Under such conditions it was the austenitic cast steel $FeCr26Ni30Si4$ with 4% silicon which turns out to be the best. The results of electrochemical investigations have shown that these corrosion processes are under cathodic control, which is characterized by a high cathodic activation overpotential. Under such conditions the passivation processes cannot take place using long-period corrosion tests in boiling 55% HNO_3 , it was possible to prove the validity of the authors' assumption, that a thin mechanical barrier, heavily enriched by silicon, is formed on the electrode surfaces.

Key words: low-carbon alloyed cast steels with silicon, aggressive oxidizing corrosion media, electrochemical investigations, activation energies, cathodic activation overpotential, mechanical Si-barrier, corrosion mechanisms

1 Uvod

Poznano je ugodno delovanje silicija v visokoogljiknih legiranih železnih litinah, ki so izpostavljene visokotemperaturni koroziji^{1,2,3}. Mnogo manj je razpoložljivih podatkov o vlogi silicija v maloogljiknih legiranih jeklenih litinah, še posebej tistih, ki so namenjene za delo v močno oksidacijskih vodnih raztopinah, kjer delujejo drugačni mehanizmi korozije, kot pri visokotemperaturni oksidaciji v plinskih mešanicah.

Avstenitne in dupleksne nerjavne litine ali avstenitna nerjavna jekla z dodatki silicija, toda brez molibdena, imajo v topilno žarjenem stanju dobro korozijsko odpornost v manj agresivnih oksidacijskih medijih^{4,5,6}. Dodatek molibdena zmanjšuje korozijsko odpornost v oksidacijskih medijih, silicij pa jo zvišuje. Krupp VDM⁷ navaja za Nicrofer 2 509 Si7 s 6 - 8% Si izvrstno korozijsko odpornost v vreli HNO_3 . Zaradi boljše preoblikovalnosti ima ta Fe-zlitina 0.020% C, 22 - 25% Ni in le 8 - 11% Cr.

V tem raziskovalnem delu pa so predstavljene maloogljikne jeklene litine z še višjim deležem kroma in nik-

lja, pri katerih je količina silicija variirala od nič do 6%. S takšno kemično sestavo so tovrstni materiali primerni za litje in ne za kovanje. V članku so obdelani nekateri mehanizmi zaščite nerjavnih jeklenih litin s silicijem, vloga tega elementa pa je bila opredeljena bodisi s hitrimi elektrokemičnimi metodami in na tej osnovi izračunanimi aktivacijskimi prenapetostmi, bodisi z dolgotrajnimi testi v močno oksidacijskih vrelih medijih z agresivnimi Cl^- in Cr^{6+} ioni.

2 Materiali, priprava vzorcev ter metode preizkušanja

2.1 Materiali in priprava vzorcev

V raziskave smo vključili šest legiranih jeklenih litin s pretežno avstenitno mikrostrukturo, ki je bila dosežena že s 4% Si, pri 6% Si se pojavi dupleksna avstenitnoferitna, pri 10% Si pa povsem feritna. Ker je feritna litina z 10% Si dosegala trdoto 606 HV4, v takšnem stanju pa je zelo krhka in neuporabna za izdelavo različnih vzorcev za preiskave, smo jo izločili pri nadaljnjih raziskavah korozijske odpornosti.

Preiskane so bile naslednje litine:

¹ Prof.dr. Leopold VEHOVAR
Inštitut za kovinske materiale in tehnologije
1000 Ljubljana, Lepi pot 11

- Litina 1 (L 1/0): FeCr25Ni27 (avstenitna jeklena litina brez dodatka silicija)
 Litina 2 (L 2/1): FeCr26Ni30Si1 (avstenitna jeklena litina z 1% Si)
 Litina 3 (L 3/2): FeCr26Ni30Si2 (avstenitna jeklena litina z 2% Si)
 Litina 4 (L 4/4): FeCr26Ni30Si4 (avstenitna jeklena litina s 4% Si)
 Litina 5 (L 5/6): FeCr26Ni33Si6 (dupleksna avstenitna feritna jeklena litina s 6% Si)

Tabela 1: Kemična sestava jeklenih litin**Table 1:** The chemical composition of the cast steels

Litina	Kemična sestava (mas. %)					
	C	Si	Cr	Ni	Mn	S
L 1/0	0,035	0,13	24,7	27,3	0,50	9,008
L 2/1	0,009	1,01	26,6	29,3	0,29	0,005
L 3/2	0,011	1,95	26,7	30,3	0,31	0,007
L 4/4	0,015	4,16	26,7	29,4	0,22	0,006
L 5/6	0,080	6,19	26,0	32,8	0,57	0,005

V raziskave smo vključili še primerjalno avstenitno nerjavno jeklo AISI 316 L, ki ima naslednjo kemično sestavo:

% C	% Si	% Cr	% Ni	% Mo	% Mn	% S
0,034	0,39	17,1	10,4	2,3	1,23	0,021

Po litju litin v kokile dimenzije 55x60x450 mm so bili materiali 2 uri topilno žarjeni pri temperaturi 1050°C in gašeni v vodi. Mehanske lastnosti tako toplotno obdelanih litin so naslednje:

Tabela 2: Mehanske lastnosti jeklenih litin**Table 2:** Mechanical properties of the cast steels after heat treatment

Litina	Napetost tečenja Re (N/mm ²)	Trdnost Rm (N/mm ²)	Razteznost A5 (%)	Kontrakcija Z (%)	Trdota (HV4)
L 1/0	185	473	51	60	130
L 2/1	204	510	59	57	141
L 3/2	206	510	60	63	136
L 4/4	243	550	55	42	146
L 5/6	332	445	3	4	234

2.2 Aparature oz. metode preizkušanja

Elektrokemične korozijske preiskave so bile izdelane z EG in G-PAR potenciostatom 273 in programsko opremo "Softcorr 352". Potenciali so bili merjeni proti nasičeni kalomelovi elektrodi (SCE).

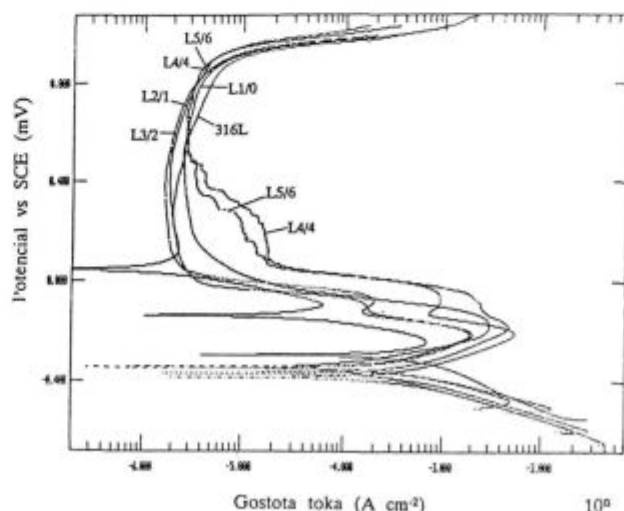
Dolgotrajna izpostava vzorcev v vreli HNO₃ visoke koncentracije je bila opravljena v specialnih steklenih korozijskih celicah, z možnostjo kondenzacije par.

3 Eksperimentalni rezultati in diskusija

3.1 Polarizacijska merjenja

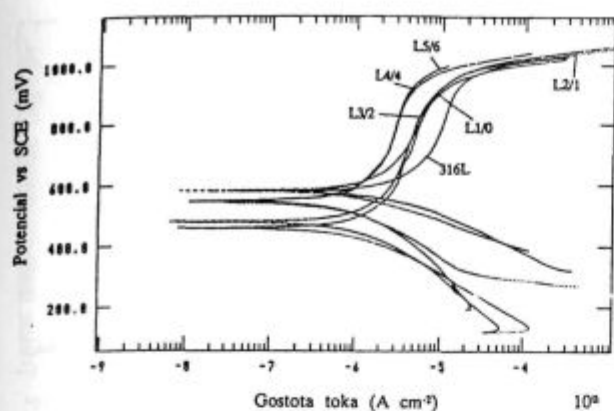
Vpliv oksidacijske stopnje korozivnega medija na korozijsko vedenje litin z različnim deležem silicija je bil preiskovan v štirih medijih z različno koncentracijo HNO₃ in dodatkom Cl⁻ ali Cr⁶⁺ ionov. Agresivni kloridni ioni preprečujejo nastajanje pasivnih tankih plasti ali pa se pri morebitni pasivaciji vgrajujejo v pasivno tanko plast, pri čemer pa je zmožnost litin, da v prisotnosti kloridnih ionov tvorijo korozijsko odporne pasivne tanke plasti, povezana s stopnjo legiranja in njihovo mikrostrukturo. Dodatek agresivnih Cr⁶⁺ ionov, ki raztopini še zvišujejo njeno oksidacijsko stopnjo, pa lahko delujejo kot močni aktivatorji korozije, ker omogočajo hiter prehod materiala iz stabilnega pasivnega področja v korozijsko aktivno transpasivno področje.

V odvisnosti od vrste korozivnega medija se preiskovani materiali pasivirajo ali aktivno korodirajo. Na **sliki 1** so prikazane anodne polarizacijske krivulje za preiskovane materiale v 10% HNO₃ + 0,5M NaCl, pri temperaturi preizkušanja 20°C. Ne glede na delež silicija se vse litine in tudi primerjalno AISI 316 L jeklo pasivirajo, nekateri pomembni parametri, kot sta porušitveni potencial (E_p) in gostota toka pasivacije (i_p), pa neznatno odstopajo. E_p je v mejah med 800 in 920 mV, i_p pa med 1,5 in 5,5 μA/cm². Z naraščanjem koncentracije HNO₃ pri konstantnem deležu Cl⁻ ionov, ali z dodatkom Cr⁶⁺ ionov, se stanje drastično spremeni. Pri 30% HNO₃ + 0,5M NaCl nastopi direktna pasivacija vseh materialov (**slika 2**), toda za 60% HNO₃ + 0,5M NaCl ali 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l (**tabela 3**) je karakteristična aktivna korozija. V takšnih primerih, ko stanje pasivnosti ni bilo doseženo, so bile določene korozijske hitrosti iz Tafelovega zapisa.



Slika 1: Anodne polarizacijske krivulje litin in primerjalnega AISI 316 L jekla v 10% HNO₃ + 0,5M NaCl, 20°C

Figure 1: Anodic polarization curves for the cast steels and the comparative AISI 316L stainless steel in 10% HNO₃ + 0.5M NaCl, at 20°C



Slika 2: Anodne polarizacijske krivulje litin in primerjalnega AISI 316 L jekla v 30% HNO₃ + 0,5M NaCl, 20°C

Figure 2: Anodic polarization curves for the comparative AISI 316 L stainless steel in 30 HNO₃ + 0.5M NaCl, at 20°C

Tabela 3: Korozijske hitrosti litin in AISI 316 L jekla v 60% HNO₃ + 0,5M NaCl in 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l, pri 20°C

Table 3: Corrosion rates for the cast steels and the AISI 316L stainless steel in 60% HNO₃ + 0.5M NaCl, and in 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l, at 20°C

Material	Medij	Korozijska hitrost (mm/leto)
L 1/0	60% HNO ₃ + 0,5M NaCl	0,126
L 2/1	60% HNO ₃ + 0,5M NaCl	0,161
L 3/2	60% HNO ₃ + 0,5M NaCl	0,095
L 4/4	60% HNO ₃ + 0,5M NaCl	0,063
L 5/6	60% HNO ₃ + 0,5M NaCl	0,038
AISI 316 L	60% HNO ₃ + 0,5M NaCl	0,263
L 1/0	55% HNO ₃ + 5g Cr ⁶⁺ /l	0,024
L 2/1	55% HNO ₃ + 5g Cr ⁶⁺ /l	0,010
L 3/2	55% HNO ₃ + 5g Cr ⁶⁺ /l	0,006
L 4/4	55% HNO ₃ + 5g Cr ⁶⁺ /l	0,004
L 5/6	55% HNO ₃ + 5g Cr ⁶⁺ /l	0,005
AISI 316 L	55% HNO ₃ + 5g Cr ⁶⁺ /l	0,022

Elektrokemične korozijske preiskave kažejo, da pri nižji oksidacijski stopnji medija silicij nima nobenega vpliva na obliko anodnega dela polarizacijskih krivulj in na določene pomembne parametre, ki so karakteristični za te krivulje. S povečanjem oksidacijske stopnje medijev je omogočen hiter prehod materiala v korozijsko zelo aktivno transpasivno področje, in sicer pri potencialih, ki so večji od 1000 mV. V tem področju pa je delovanje kloridnih ionov še bolj izrazito. V transpasivnem področju silicij pomembno kreira korozijsko hitrost. Pri deležu 4 do 6% Si so korozijske hitrosti najmanjše. Ker silicij ne vpliva na pasivnost, korozijski proces pa zavira, se poraja vprašanje, kakšni so mehanizmi njegovega delovanja.

3.2 Vpliv silicija na anodno in katodno aktivacijsko prenapetost

Aktivacijska prenapetost dejansko določa, kako težko je gnana anodna ali katodna reakcija, da bi se dosegel določen korozijski tok, ki predstavlja merilo za korozij

jsko hitrost. Ta hitrost pa je kontrolirana s kinetično najpočasnejšo reakcijo.

Reakcija raztapljanja kovine



je gnana z anodno aktivacijsko prenapetostjo (η^A_a), ki pa je odvisna od korozijskega potenciala (E_{kor}) in ravnotežnega potenciala anode (E_r)_a. To odvisnost lahko zapišemo:

$$\eta^A_a = E_{kor} - (E_r)_a \quad (2)$$

Katodna reakcija (redukcija - R oksidacijskega sredstva - O) pa je gnana s katodno aktivacijsko prenapetostjo (η^A_k), ki jo določa ravnotežni potencial katode (E_r)_k:

$$\eta^A_k = E_{kor} - (E_r)_k \quad (3)$$

Termodinamična gonilna sila za korozijski proces je enaka razliki med obema ravnotežnima potencialoma:

$$\Delta E_{term} = (E_r)_k - (E_r)_a \quad (4)$$

V sistemih, ki hitro korodirajo, je ΔE_{term} velika, povratni reakciji ($M^{n+} \rightarrow M$, $R \rightarrow O$) pa zanemarljivi. Z zmanjševanjem korozijske hitrosti se zmanjšuje tudi ΔE_{term} . Korozijska hitrost pa je lahko zmanjšana z nastajanjem pasivnih tankih plasti ali drugih plasti, ki nimajo pasivni karakter, temveč predstavljajo le večjo ali manjšo mehansko bariero, ki v odvisnosti od njene sestave in homogenosti bolj ali manj zavira korozijski proces.

Prepočasen prehod kovinskih ionov v elektrolit je določen z ustrezno energijo aktivacije anodnega procesa, katerega posledica je η^A_a , prepočasna asimilacija elektronov, sproščenih pri anodni reakciji, z različnimi katodnimi depolarizatorji pa je določena z energijo aktivacije katodnega procesa, katerega posledica je η^A_k . Korozijski proces bo torej kontroliran s kinetično najpočasnejšo reakcijo, pri kateri dobimo največji Tafelov koeficient (b_a ali b_k) in največjo aktivacijsko prenapetost (η^A_a ali η^A_k).

Taflovi koeficienti in aktivacijske prenapetosti so bile določene iz Tafelovih polarizacijskih zapisov. Kot korozijski medij je bila uporabljena raztopina 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l, pri temperaturah od 20 do 80°C. V takšni, močno oksidacijski raztopini pasivacija litin ni bila možna. Aktivacijske prenapetosti so bile določene pri gostoti toka 1 mA/cm². Rezultati preiskave so prikazani v **tabeli 4**, na **sliki 3** pa značilni videz Tafelovih zapisov za litino L 4/4 s pripadajočimi premicami za katodno reakcijo.

Iz rezultatov v **tabeli 4** lahko sklenemo, da je $\eta^A_k \gg \eta^A_a$. To pomeni, da je korozijski proces pod katodno kontrolo, katodna reakcija pa je močno polarizirana, kar pomeni, da jo je težko poganjati. Temperatura izrazito vpliva na različne korozijske parametre, ki ustvarjajo kinetiko korozijskih procesov. Z naraščanjem temperature so Tafelove premice za katodni proces vse bolj strme, to pa se izrazito manifestira na η^A_k , ki pri 80°C doseže največjo vrednost pri litini L 4/4 (4% Si) oziroma L 5/6 (6% Si). Dodatek silicija torej povečuje η^A_k . Ker nastajanje pasivnih tankih plasti povečuje η^A_a in ne η^A_k , v močno oksidacijskih medijih pa procesi pasivacije niso bili

Tabela 4: Anodne in katodne aktivacijske prenapetosti za litine v 55 % HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l**Table 4:** The anodic and cathodic activation overpotentials for cast steels in 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l

Material	T (°C)	η^A_a (mV) (i=1mA/cm ²)	η^A_k (mV) (i=1mA/cm ²)
L 1/0	20	243	346
	40	177	418
	60	51	904
	80	40	1114
L 2/1	20	494	437
	40	202	506
	60	88	867
	80	49	1062
L 3/2	20	417	297
	40	182	443
	60	77	928
	80	48	1322
L 4/4	20	464	475
	40	173	578
	60	99	1136
	80	45	2194
L 5/6	20	333	377
	40	218	592
	60	109	1011
	80	57	1714
AISI 316 L	20	557	571
	40	197	530
	60	86	786
	80	60	1079

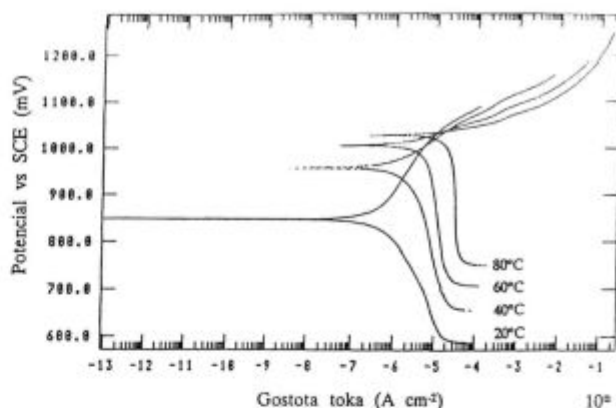
možni, potem je jasno, da se na elektrodni površini tvorijo drugačne plasti, ki ne dvigujejo potencial sistema v pozitivnejše področje. Nastajanje takšnih plasti ima vpliv na aktivacijsko energijo, potrebno za zagon korozijskega procesa.

3.3 Aktivacijske energije, potrebne za zagon korozijskega procesa

Korozijski proces se lahko sproži pri dovolj veliki aktivacijski energiji (Q^A). Ker so korozijski procesi litin s silicijem v močno oksidacijskem mediju pod katodno kontrolo, η^A_k pa ima direkten vpliv na gostoto korozijskega toka (i_{kor}), ki je merilo za hitrost raztapljanja kovine, smo kot izhodišče za izračun Q^A uporabili ta kinetični parameter. Na kinetiko korozijskih procesov ima izrazit vpliv temperatura, z njenim zvišanjem narašča tudi korozijski tok. Takšno odvisnost pa lahko zapišemo z Arrheniusovo enačbo, iz katere je možno izračunati Q^A :

$$i_{kor} = i_0 \exp\left(\frac{-Q^A}{RT}\right) \quad (5)$$

Korozijski preizkusi so bili izdelani v 55% HNO₃ + 5 g Cr⁶⁺/l pri temperaturi 20, 40, 60 in 80°C, iz Tafelovih zapisov pa so bile določene i_{kor} , potrebne za izračun Q^A po zgornji enačbi.

**Slika 3:** Tafelovi zapisi za litino L 4/4 s pripadajočimi Tafelovimi premicami. Medij: 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l pri različnih temperaturah**Figure 3:** Tafel plots for the cast steel C4/4, with corresponding Tafel lines. Medium: 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l, at various temperatures

Rezultati the preiskav so prikazani v tabeli 5.

Tabela 5: Aktivacijske energije, potrebne za zagon korozijskega procesa litin v 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l**Table 5:** The activation energies necessary for the initiation of the corrosion processes of cast steels in 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l

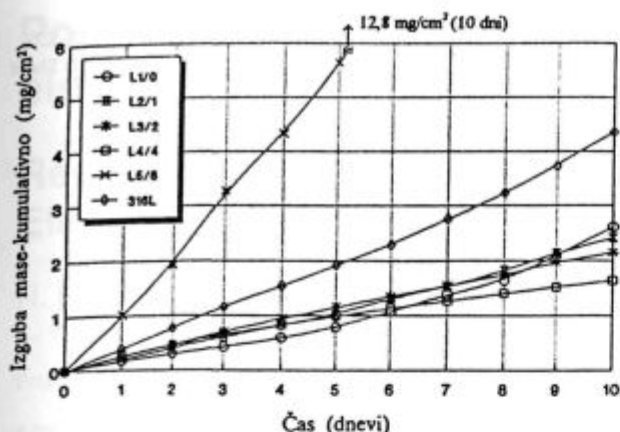
Material	Aktivacijska energija Q^A (kJ/mol)
L 1/0	38,8
L 2/1	48,8
L 3/2	54,6
L 4/4	61,8
L 5/6	57,5
AISI 316 L	35,9

Povsem jasno je, da za kovinske sisteme, ki niso sposobni tvoriti pasivne tanke plasti (kot je to primer v 55% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l), z naraščanjem Q^A , narašča tudi korozijska odpornost. Za zagon korozijskega procesa litine L 4/4, ki vsebuje 4% Si, je potrebna največja Q^A in najmanjša za litino L 1/0 oz. AISI 316 L jeklo, ki sta brez silicija.

3.4 Vpliv dolgotrajne izpostave na korozijsko usmerjenost litin s silicijem

Na osnovi hitrih elektrokemičnih preiskav korozijske odpornosti litin s silicijem v močno oksidacijskih medijih se je izkristalizirala domneva, da je korozijska hitrost močno upočasnjena zaradi tvorbe neke mehanske bariere na elektrodni površini. Ta plast nima pasivnega značaja, vendar pa povečuje η^A_k , kar pomeni, da je korozijski proces voden z najpočasnejšo katodno reakcijo. Ker takšna mehanska bariera ne nastaja hitro, kot je to primer pri tvorbi pasivne tanke plasti, je bilo možno pričakovati, da se bo z daljšo časovno izpostavo debelila in vedno bolj izpopolnjevala. V takšnem primeru rast plasti sledi parabolni zakonitosti.

Dolgotrajne korozijske raziskave so bile izvedene v 55% HNO₃ pri njenem vrelišču, ki je 115°C. Čas



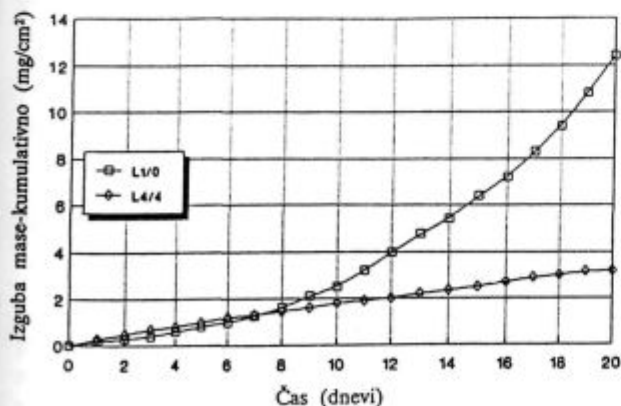
Slika 4: Kumulativna izguba mase različnih litin in primerjalnega AISI 316 L jekla v času 240 urne izpostave v vreli 55% HNO₃

Figure 4: The cumulative loss of mass of different cast steels and of the comparative AISI 316L stainless steel over an exposure period of 240 hours in boiling 55% HNO₃

izpostave je bil 240 ur, toda izpostava določenih materialov je bila kasneje še podaljšana. Potek korozijskega procesa je bil vsakodnevno kontroliran z merjenjem kumulativne izgube mase vzorcev dimenzije 50 x 25 x 2 mm. Rezultati preiskav so prikazani na **sliki 4**, na **sliki 5** pa še časovno podvojena korozijska izpostava najbolj zanimive litine L 4/4 v primerjavi z litino L 1/0, ki je brez silicija.

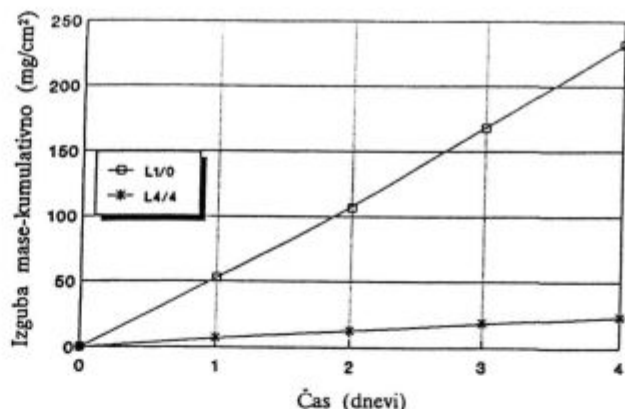
Iz oblike krivulj na **sliki 4 in 5** lahko sklenemo, da korozijski procesi ne sledijo parabolični zakonitosti. Pri vseh litinah in primerjalnem jeklu je stalna tendenca po korozijskem raztapljanju, vendar pa je korozija občutno manjša pri litinah s silicijem. Korozijsko najbolj odporna je avstenitna litina L 4/4 in nekoliko slabše duplexna avstenitno-feritna litina L 5/6, v kateri je še večji delež silicija. Očitno je, da poleg silicija vpliva na korozijsko odpornost tudi mikrostruktura.

Podobno odvisnost dobimo s testiranjem litine L 1/0 in L 4/4 v še agresivnejši vreli raztopini 65% HNO₃ + 5g



Slika 5: Kumulativna izguba mase litine L 1/0 in L 4/4 v času 480 urne izpostave v vreli 55% HNO₃

Figure 5: The cumulative loss of mass of the cast steels C 1/0 and C 4/4 over an exposure period of 480 hours in boiling 55% HNO₃



Slika 6: Kumulativna izguba mase litine L 1/0 in L 4/4 v vreli 65% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l

Figure 6: The cumulative loss of mass of the cast steels C1/0 and C4/4 in boiling 65% HNO₃ + 5g Cr⁶⁺/l

Cr⁶⁺/l, v kateri se manifestira dominantna vloga litine s silicijem (**slika 6**). Po 72 urah izpostave je bil test prekinjen zaradi močne korozije litine brez silicija, pri kateri se poleg interkristalne korozije pojavlja še korozijsko raztapljanje avstenitne matrice.

Glede na stalen prirastek izgube mase pri litini L 4/4, ki pa je v primerjavi z drugimi litinami oz. AISI 316 L jeklom zelo majhen, lahko sklepamo, da se je na površini sicer formirala neka bariera, toda ta očitno ni ne debela in ne povsem kompaktna, pa vendar takšna, da občutno zavira korozijski proces.

4 Zaključek

Različne raziskave vpliva silicija na korozijsko odpornost maloogljčnih legiranih jeklenih litin v močno oksidacijskih medijih kažejo, da silicij spreminja naravo elektrodnih površin. Pri optimalni količini 4% Si se spremembe na elektrodni površini manifestirajo tako, da se povečuje katodna aktivacijska prenapetost, kar pomeni, da je korozijski proces pod katodno kontrolo. Iz tega sledi, da je dobra korozijska odpornost takšnih litin posledica neke mehanske barriere, ki nima pasivnega značaja. Aktivacijske energije, potrebne za zagon korozijskega procesa, so v prisotnosti silicija mnogo višje, dolgotrajna izpostava v vrelih medijih z visoko oksidacijsko stopnjo pa kaže, da je ta mehanska bariera razmeroma tanka in ne povsem homogena. Vendar pa je njen učinek izrazit, saj so korozijske hitrosti zelo majhne v primerjavi z drugimi, močno legiranimi litinami ali nerjavnimi jekli, pri katerih silicij ni bil dodan.

5 Literatura

- ¹ P. Kofstad, High Temperature Corrosion of Metals and Alloys, *Proc. 3rd JIM Int. Symp.*, in *Trans. Jpn. Met.*, Suppl., 1981, 1
- ² D. R. Stickley, Corrosion of Cast Irons, *Metals Handbook 9th Ed.*, 13, Corrosion, 566

³ High Silicon Iron Alloys for Corrosion Services, Bulletin A12e, The Duriron Company, April 1972

⁴ H. Kajimura, K. Ogawa, H. Nagano, *ISIJ International*, 31, 1991, 2, 216

⁵ M. Kobayashi, *Nippon Stainless Tech. Rep.*, 17, 1982, 1

⁶ L. Vehovar, B. Godec: *Materials and Corrosion*, 46, 1995, 520-526

⁷ KRUPP VDM, Nicrofer 2509 Si7 - alloy 700 Si, Material Data Sheet No. 4040, Edition: June 1994