

SAŽETAK:

Aluminijske legure se danas sve više koriste zbog svojih dobrih mehaničkih svojstva i dobre korozije postojanosti. Poseban smjer u široj primjeni aluminijskih legura čini razvoj izrade proizvoda aditivnom proizvodnjom električnim lukom i žicom (engl. Wire Arc Additive Manufacturing). U radu su opisane karakteristike, ograničenja te zavarljivost aluminijskih legura. Prikazane su značajke aditivne proizvodnje, njihove prednosti, te je opisana WAAM tehnologija s aluminijskim legurama.

U eksperimentalnom istraživanju WAAM tehnologijom izrađeni su ispitni uzorci, od dvije aluminijske legure s pomoću dva postupka zavarivanja (MIG i MIG CMT). Ispitan je kemijski sastav izrađenih uzoraka te provedena makro i mikro analiza površina. Provedena su elektrokemijska ispitivanja, ispitivanje korozijske postojanosti uzoraka u slanoj komori te su analizirani i uspoređeni rezultati između različitih materijala, postupaka zavarivanja i stanja površine. Utvrđeno je da primjenom WAAM tehnologije izrade nisu narušena korozijska svojstva aluminijske legure.

ZAKLJUČAK:

Geometrija dobivenih uzoraka potvrđuje preciznost i kvalitetu izrade, kao i reduciranje čestih pojava prilikom zavarivanja kao što su pore, pukotine i uključci. Analizom mikro i makrostrukture, utvrđena je varijabilna širina zidova te manje nepravilnosti u vidu pora te pogrubljenja zrna, karakteristično za proces zavarivanja.

Brzina opće korozije je manja kod uzoraka izrađenih CMT tehnologijom, kao i sklonost lokalnoj koroziji što pokazuju grafovi cikličke polarizacije.

Izlaganjem slanoj komori u trajanju od 400 sati te izostanak izraženijih korozijskih oštećenja, može se potvrditi upotreba ove legure u morskim uvjetima.

Korozijska postojanost proizvoda izrađenih WAAM tehnologijom usko je povezana s parametrima prilikom navarivanja slojeva, odnosno unosom topline, koji je izuzetno povoljan korištenjem CMT postupka.

1. UVOD

Zahtjevi tržišta za proizvodima sve boljih karakteristika, dužeg vijeka trajanja te njihovu proizvodnju s minimalnim utjecajem na okoliš s niskim jediničnim cijenama, postavljaju pred industriju izazov pronaći cjenovno prihvatljivu tehnologiju, legure zadovoljavajućih svojstava te koncept razvoja proizvoda koji će biti prihvatljiviji od konkurencije. U tom kontekstu, aluminijske legure zauzimaju sve veći udio. Važan čimbenik u korištenju aluminija je njegova mala gustoća te korozijska postojanost u atmosferskim uvjetima. Usporedno sa sve širom upotrebom aluminija razvijale su se i unaprjeđivale tehnike spajanja i proizvodnje. Kao jedna od najnovijih ističe se robotizirana aditivna proizvodnja električnim lukom i žicom (WAAM).

2. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu rada provedeno je istraživanje korozijskih svojstva aluminijske legure dobivene postupkom aditivne proizvodnje električnim lukom i žicom (WAAM). Za WAAM uzorke korištene su legure AlMg5 i AlMg4,5Mn, čija su svojstva uspoređena s referentnim uzorkom odnosno osnovnim materijalom od legure 5083. Analiza kemijskog sastava provedena na svakom uzorku WAAM zida s obrađene i neobrađene strane, kao i na referentnom uzorku od legure 5083. Osim analize makro i mikrostrukture uzoraka, provedena su elektrokemijska ispitivanja gdje je određen potencijal otvorenog strujnog kruga, a pomoću Tafelove ekstrapolacije određene su vrijednosti gustoće korozijske struje i_{kor} , korozijskog potencijala E_{kor} te brzine korozije v_{kor} . Cikličkom polarizacijom prikazana je sklonost uzoraka rupičastoj i općoj koroziji. Kao referentna elektroda koristila se Ag/AgCl, a kao ispitni medij korištena je 3,5 % - tna otopina NaCl pri temperaturi od 20 °C, dok su protuelektrode bile od grafita. Uzorci su naposljetku ispitani u slanoj komori.

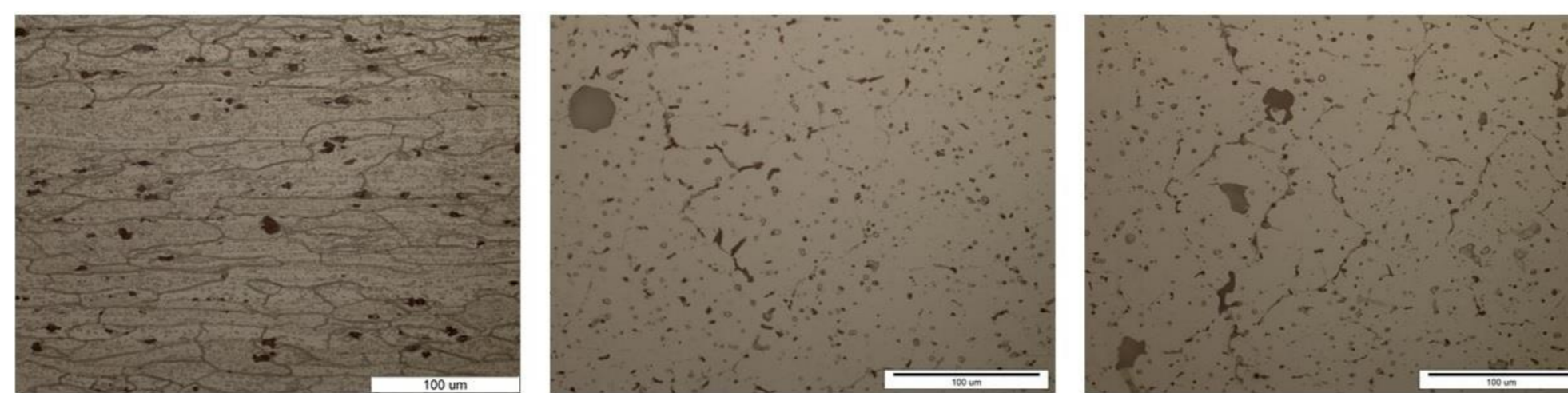
3. REZULTATI I RASPRAVA

U tablici 1 prikazani su rezultati ispitivanja Tafelovom ekstrapolacijom. Najmanju brzinu opće korozije imaju uzorci 5 i 6. Svi uzorci dobiveni WAAM postupkom imaju manju brzinu korozije u odnosu na osnovni materijal 5083. Također, uočljiva je manja brzina korozije kod uzoraka izrađenih MIG CMT postupkom (uzorci 5 i 6) u usporedbi s uzorcima izrađenim MIG postupkom (uzorci 2 i 4), što se može dovesti u korelaciju s manjim unosom topline.

Tablica 1. Rezultati Tafelove ekstrapolacije

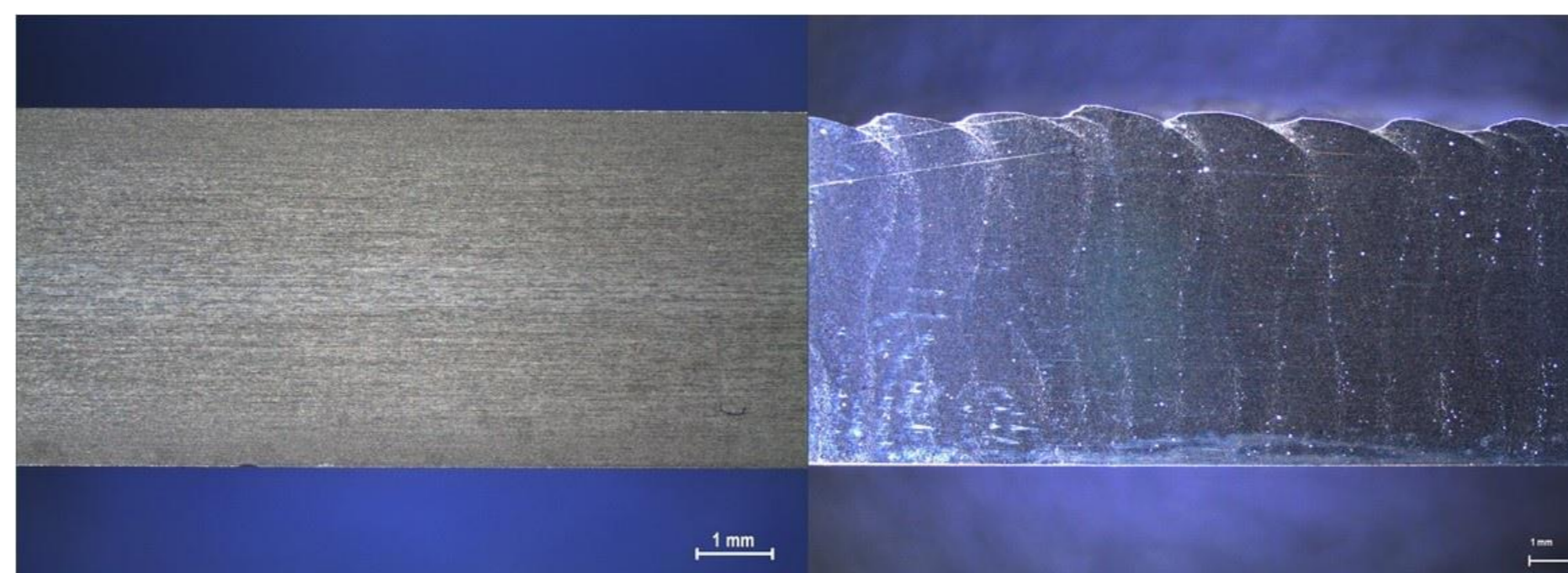
Tafelova ekstrapolacija					
Postupak	Broj uzorka	v_{kor} [mm/god]	I [nA]	β_A [V/dec]	β_K [V/dec]
-	Uzorak 1 (5083)	0,02	1839	0,015	0,87
MIG	Uzorak 2 (5356)	0,007	626	0,021	0,255
MIG	Uzorak 4 (5183)	0,012	1120	0,139	0,076
MIG CMT	Uzorak 5 (5183)	0,001	101	0,0086	0,087
MIG CMT	Uzorak 6 (5356)	0,004	371	0,032	0,068

➤ Analizom mikrostrukture, vidljivo je da je na uzorcima 2, 4, 5 i 6 koji su izrađeni WAAM tehnologijom došlo do pogrubljenja zrna u odnosu na uzorak 1, što je bilo i za očekivati zbog zavarivanja. Također, na slici 1 vidljive su i granice između nataloženih slojeva, kao i nepravilnosti koje se pojavljuju u tom prostoru, kao što su pore i mikropukotine koje su u većem broju i većih dimenzija na uzorcima 2 i 4 koji su izrađivani klasičnim MIG, nego kod uzoraka 5 i 6 kod kojih je korišten MIG CMT postupak zavarivanja.



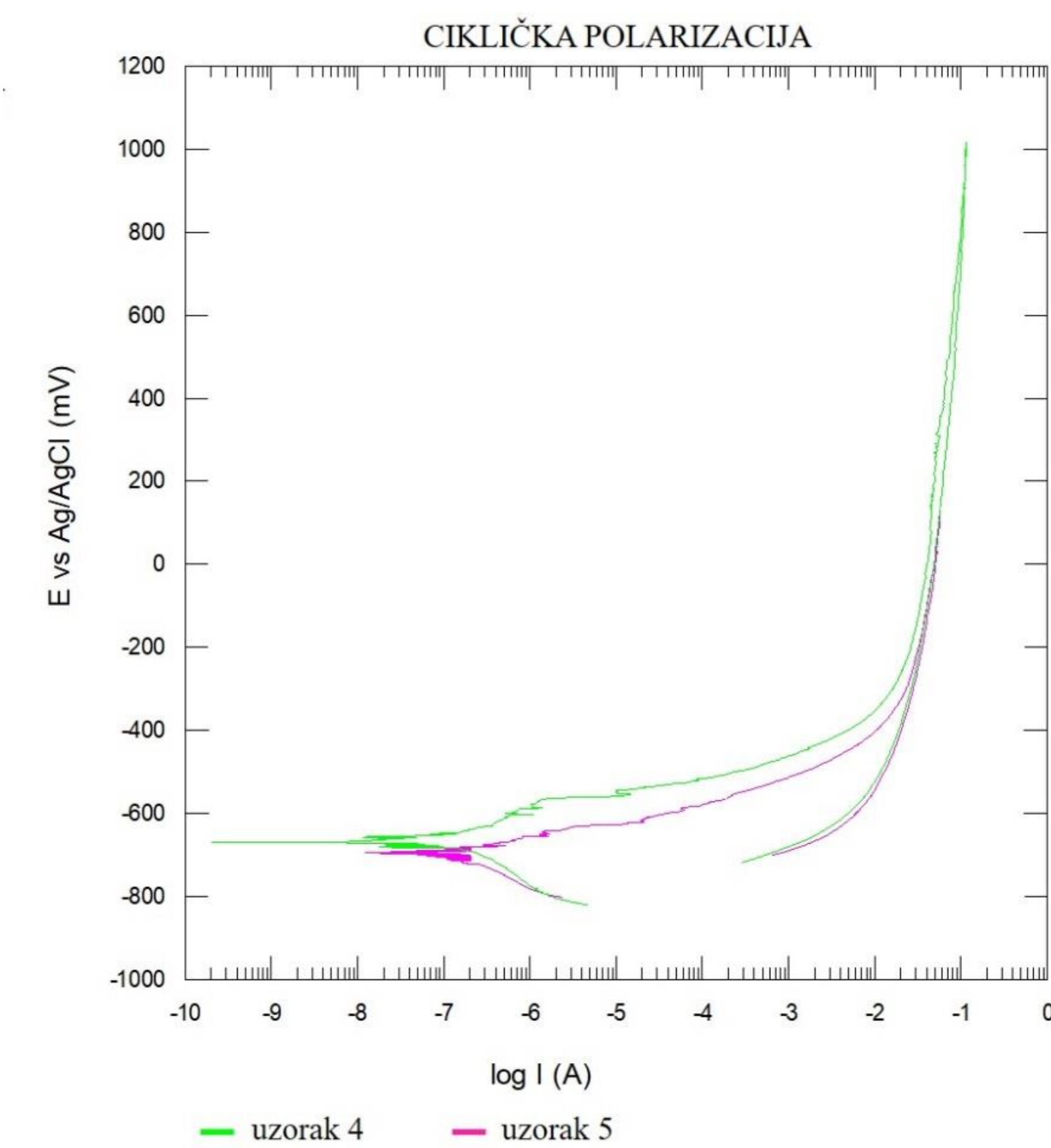
Slika 1. Mikrostruktura uzorka 1 (5083), uzorka 4 (5183) i uzorka 6 (5356)

➤ Makroanalizom nisu uočene nepravilnosti u izradi, već samo nesavršenosti WAAM tehnologije u vidu nejednolike širine slojeva, ali ne u znatnoj mjeri, što je prikazano na slici 2. Jasno su uočljive granice između slojeva navarivanja. Primjetno je da su slojevi pravilniji na uzorcima 5 i 6 koji su izrađivani MIG CMT postupkom. Na svim makroizbruscima mogu se primijetiti točkice koje predstavljaju nečistoće i uključke prilikom zavarivanja.



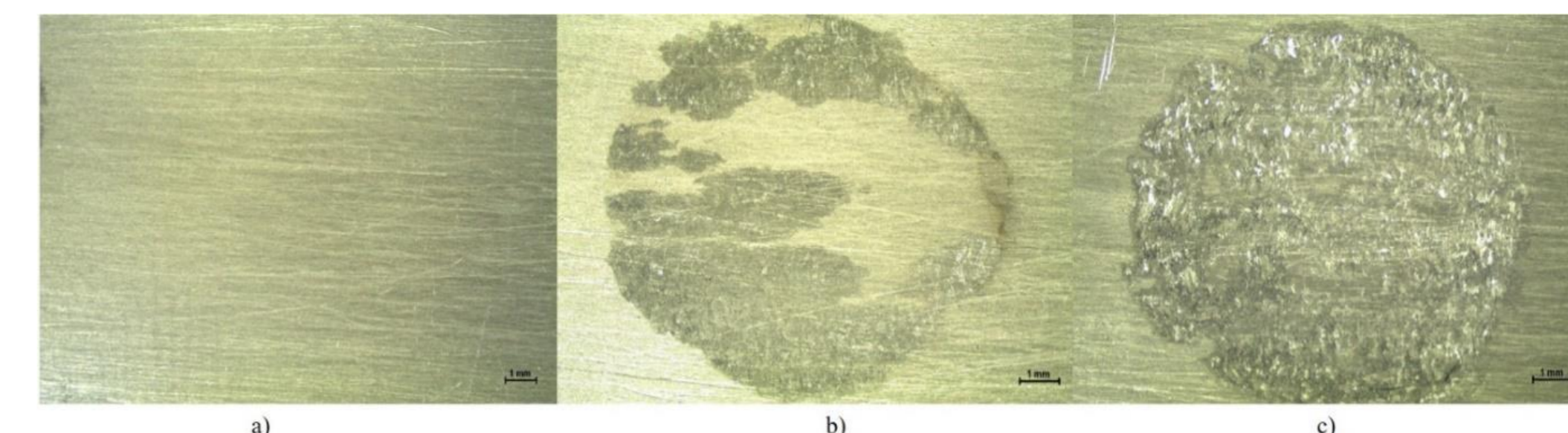
Slika 2. Usporedba makrostrukture uzorka 1 (lijevo) i 6 (desno)

➤ Krivulje cikličke polarizacije svih uzoraka zatvaraju se ispod korozijskog potencijala pa se može pretpostaviti, da uzorci imaju sklonost pojavi rupičaste korozije i korozije u procjepu. Slika 3 prikazuje graf cikličke polarizacije za uzorke 4 i 5. Površina ispod krivulje histereze za uzorak 4 je veća u odnosu na uzorak 5, što ukazuje na veću sklonost uzorka 4 prema rupičastoj koroziji.



Slika 3. Dijagram cikličke polarizacije uzoraka 4 i 5 (ER 5183)

➤ Svi uzorci su prije i nakon elektrokemijskih ispitivanja vizualno pregledani i snimljeni na stereomikroskopu. Na uzorku 1, 2 i 6 dolazi do jednolikog otapanja nakon Tafelove ekstrapolacije i cikličke polarizacije, što nije slučaj s uzorcima 4 i 5 gdje dolazi do mjestimičnog otapanja, što znači da imaju bolju otpornost prema općoj koroziji. Slikom 4 prikazana je površina uzorka 4 prije i poslije elektrokemijskih ispitivanja.



Slika 4. Prikaz površine uzorka 4 (ER 5183): a) prije ispitivanja, b) nakon Tafelove ekstrapolacije, c) nakon cikličke polarizacije

➤ Naposljetku je provedeno ispitivanje u slanoj komori pri temperaturi (35±2) °C u trajanju od 400 h. Nakon provedbe ispitivanja, na WAAM uzorcima nije uočeno značajno korozijsko oštećenje, već samo manje površinske promjene u vidu inicijalne opće korozije, ali nije došlo do probijanja oksidnog filma, što je vidljivo na slici 5.



Slika 5. Uzorci nakon 400 h ispitivanja u slanoj komori