

EFFECTUL RETOPIRII CU LASER ASUPRA MICROSTRUCTURII OTELURILOR PENTRU CENTRALE NUCLEARE

ANTON Daniela¹, BRASOVEANU Daria², POPESCU Valentin Andy³

Conducători științifici: Prof.dr.ing. Ionelia VOICULESCU, SL. Dr.ing. Ion Mihai VASILE

REZUMAT: Lucrarea prezintă aspecte metalografice obținute prin prelucrarea superficială cu laser la o marca experimentală de oțel pentru centrale nucleare de generație 4R. Prelucrarea cu laser s-a efectuat pentru a modifica morfologia grăunților la nivelul suprafeței oțelului, micșorarea rugozității și creșterea rezistenței la coroziune și abraziune la temperaturi ridicate.

În urma cercetărilor efectuate s-a constatat că anumite valori ale regimului de prelucrare cu laser permit obținerea unor microstructuri fine, fără imperfecțiuni superficiale, cu creșterea locală a durității și rezistenței la coroziune. Analiza metalografică a evidențiat formarea unui strat de protecție metalo-ceramic (oxid complex) generat de prelucrarea cu laser.

CUVINTE CHEIE: prelucrare superficială, laser, centrale nucleare, strat de oxid

INTRODUCERE (TIMES NEW ROMAN 11 PUNCTE, BOLD, JUSTIFICAT, MAJUSCULE, NUMEROTAT)

Lucrarea conține un studiu comparativ privind efectele prelucrării cu laser efectuat pe câteva tipuri de oțeluri experimentale utilizabile pentru realizarea cuvei reactorului din centrale nucleare de generație 4R. Au fost utilizate două tipuri de regimuri de prelucrare cu laser, cu valori diferite ale parametrilor de regim, apoi s-au efectuat analize metalografice în secțiune transversală a probelor prelucrate. Pentru estimarea efectelor suplimentare de durificare au fost efectuate și măsurări de micro-duritate pe stratul prelucrat.

STADIUL ACTUAL

În cadrul centralelor nucleare de generație 4R, mediul de răcire lichid pentru reactorul nuclear va fi realizat din metale cu punct de topire scăzut, precum Pb, Sn sau PbBi. Astfel de medii de răcire asigură un regim de răcire controlat și eficient, putând fi cu ușurință optimizat în funcție de valorile parametrilor operaționali ai reactorului. Obiectivele noilor tipuri de centrale nucleare (NGNP) vizează obținerea de sisteme performante și sigure fără prezenta în mediul de răcire al hidrogenului, care este cunoscut pentru efectele dezastruoase asupra fragilizării aliajelor metalice.

¹Specializarea Ingineria Transporturilor și a Traficului, Facultatea de Transporturi
E-mail: urban_andy18@yahoo.com

²Specializarea Ingineria Transporturilor și a Traficului, Facultatea de Transporturi;

³Specializarea Ingineria Transporturilor și a Traficului, Facultatea de Transporturi;

O provocare a centralelor nucleare 4R provine din faptul că în anumite zone trebuie să fie prezente

materiale care rezistă la temperaturi de lucru peste 800°C, pentru perioade de timp îndelungate. Așa numita „Generație IV” de reactoare nucleare prezintă 6 variante: reactorul supercritic răcit cu apă (Supercritical Water Reactor – SCWR); reactorul de înaltă temperatură (Very High Temperature Reactor – VHTR), Reactorul rapid răcit cu plumb (Lead-cooled Fast Reactor - LFR); Reactorul rapid răcit cu gaz (Gas - cooled Fast Reactor - GFR); Reactorul răcit rapid cu sodiu (Molten Salt Reactor – MSR). Durata de viață preconizată pentru reactoarele nucleare din generația IV este de 60 ani.

Proprietățile materialelor metalice pentru centralele nucleare sunt în pas cu generațiile de centrale nucleare. Astfel, centralele nucleare din generația 4R nu pot funcționa cu materiale (oțeluri) utilizate în generațiile anterioare, cu atât mai mult cele din generația I.

Materialele convenționale care sunt în prezent utilizate pentru diferite aplicații exploatate la temperaturi ridicate (peste 300°C) prezintă comportare diferită dacă sunt supuse suplimentar și iradierii. Totodată, efectele de fragilizare induse de prezenta hidrogenului în matricea materialului deja fragilizat prin crearea de goluri sau micro-defecte, devin mult mai importante în cazul centralelor nucleare.

Condițiile de funcționare ale reactoarelor din generația 4R sunt mult mai severe sub aspectul temperaturii de funcționare, deoarece domeniul uzual de temperatură este 300-1000°C, ceea ce impune pentru materialele utilizate cerințe mai mari privind stabilitatea structurală.

TITLU LUCRARE

În acest sens au fost proiectate și realizate oțeluri pentru structuri metalice care pot fi utilizate în condiții de temperatură ridicată (600 – 800°C), în medii agresive oxidative. Lucrarea prezintă comportarea la prelucrarea cu laser a unor oțeluri din clasa FeCrAl cu adăsurii de elemente rare (Y, Zr, Ti, Ta).

3. MATERIALE SI TEHNICI UTILIZATE

3.1. Oțeluri experimentale pentru centrale nucleare

Aliajele experimentale studiate în cadrul lucrării au compoziția chimică proiectată în funcție de următoarele elemente:

Valoarea conținutului de Al din aliaj a fost proiectată în intervalul 4 – 10 % Al, deoarece la conținuturi mai ridicate de aluminiu, capacitatea acestuia de a forma o suprafață texturată uniformă de oxid de aluminiu, care este favorabilă în aliajele FeCrAl, devine neregulată.

Valoarea conținutului de Cr din aliaj este cuprinsă în intervalul 12 – 18 % Cr, deoarece la creșterea conținutului de crom peste 23 % se poate forma faza sigma, cu efecte negative asupra fragilizării matricei metalice.

Adăusul de pământuri rare (ceriu), precum și de alte elemente cu afinitate mare pentru oxigen (ytriu, zirconiu, titan) conduce la formarea unor oxizi extrem de stabili pe suprafața aliajelor FeCrAl, cu aderență foarte mare la substrat.

Limita pentru conținuturile de carbon și azot din aliaj este: 0,03 % C și 0,02 % N, iar valorile cumulate ale conținuturilor de carbon și azot nu vor depăși 0,04 %.

Pentru omogenizarea și finisarea stratului de oxid format la suprafața aliajelor metalice s-au aplicat **tratamente de retopire superficială cu laser**.

Pentru obținerea aliajelor metalice din clasa Fe-Cr-Al au fost utilizate materiale de puritate avansată:

- oțel extra moale (marca MK3) având compoziția chimică: C = 0,02 %; Si = 0,04 %; Mn = 0,21 %; S = 0,02 %; P = 0,015 %; Ni = 0,2 %; Cr = 0,15 %; Mo = 0,07 %; Cu = 0,14 %; Al = 0,12 %; Fe = rest %;
- crom metalic cu puritate minimă de 99 % Cr;
- aluminiu electrolitic, cu puritate minimă de 98,5 % Al.

Aliajele metalice au fost obținute în laboratorul ERAMET al UPB-SIM, într-o instalație de retopire cu arc în vid (RAV), model MRF ABJ 900.

Compoziția chimică principală a aliajelor analizate este prezentată în tabelul 1.

Tabelul 1. Compoziția chimică a aliajelor analizate

Proba	Compoziția chimică, % masice			
	Cr	Al	Fe	Σ alte elemente
1	6,1	6,2	86,4	1,3
2	8,3	6,2	80,9	4,5
3	10,7	5,1	83	1,2
4	13,9	4,1	81,1	0,9
5	16,2	4,1	78,8	0,9
6	6,3	8,2	83,5	2
7	10,3	7,2	81,2	1,3
8	12,3	7,2	78,8	1,7
9	15,8	6,2	76,8	1,2

3.2. Prelucrarea cu laser

Prelucrarea cu laser a probelor din aliaje FeCrAl s-a realizat cu ajutorul unui ECHIPAMENT DE GRAVARE CU LASER Nd: YAG - TruMark STATION 1000, TRUMPF din dotarea firmei Optoelectronica (fig. 1).



Fig. 1. Instalația de prelucrare cu laser.

Pe porțiuni prelucrate mecanic au fost efectuate prelucrări superficiale cu laser pentru studierea efectelor retopirii cu laser asupra stratului de oxid bogat în aluminiu. Schema de principiu a procedurii este prezentată în fig. 2.

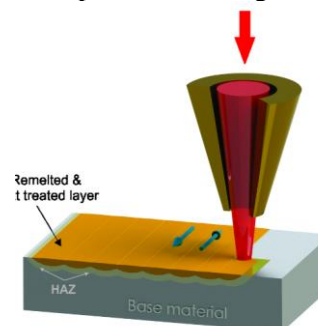


Fig. 2. Schema de principiu a prelucrării cu laser.

Probele au fost codificate și supuse prelucrării pe 2 suprafețe opuse (fig. 3) apoi s-au prelevat zone din porțiunea retopită cu laser pentru analiza metalografică. Parametrii regimului de prelucrare cu laser sunt prezentați în tabelul 2.



Fig. 3. Setul de probe analizate metalografic.

Tablelul 2. Parametrii de prelucrare cu laser

Regim	Putere, W	Viteza de deplasare, cm/min	Diametru Spot, mm	Debit de gaz(Ar), l/min	Distanța fata de piese, mm
1	500	80	1.1	6	6
2	320	80	1.1	7	6

4. ANALIZA METALOGRAFICA

Analizele microstructurale s-au efectuat prin microscopie optică și electronică. Eșantioanele prelevate din corpurile de probă au fost codificate NCMT1-9 apoi au fost tăiate cu disc abraziv pentru metalografie și lichid de răcire (masina IsoMet 4000). După taiere probele au fost înglobate la cald (175°C) în rășina fenolică (masina IPA 40) apoi au fost șlefuite și polizate cu hârtie abrazivă metalografică având granulații progresive (400, 600, 800, 1000, 2500) (Vector și Alpha Beta Polisher Buehler).

Pentru vizualizare prin microscopie optică s-a aplicat atac electrochimic cu reactiv acid oxalic 10%, cu o valoare a curentului electric de 0,06A și o tensiune de 3V, timp de 2 minute.

Microstructura aliajelor fecral conține predominant ferită înalt aliată, rezulta prin alierea cu Al și Cr (elemente feritizante). La valori ale conținutului de aluminiu peste 3%, domeniul fazei gama este foarte mult micșorat. microstructura în stare de turnare prezintă grăunți poliedrici grosolani de ferită înalt aliată. în zonele retopite cu laser, microstructura conține dendrite fine orientate pe direcția fluxului termic, fiind păstrate vechile limite de grăunte ale materialului de baza (fig. 4).

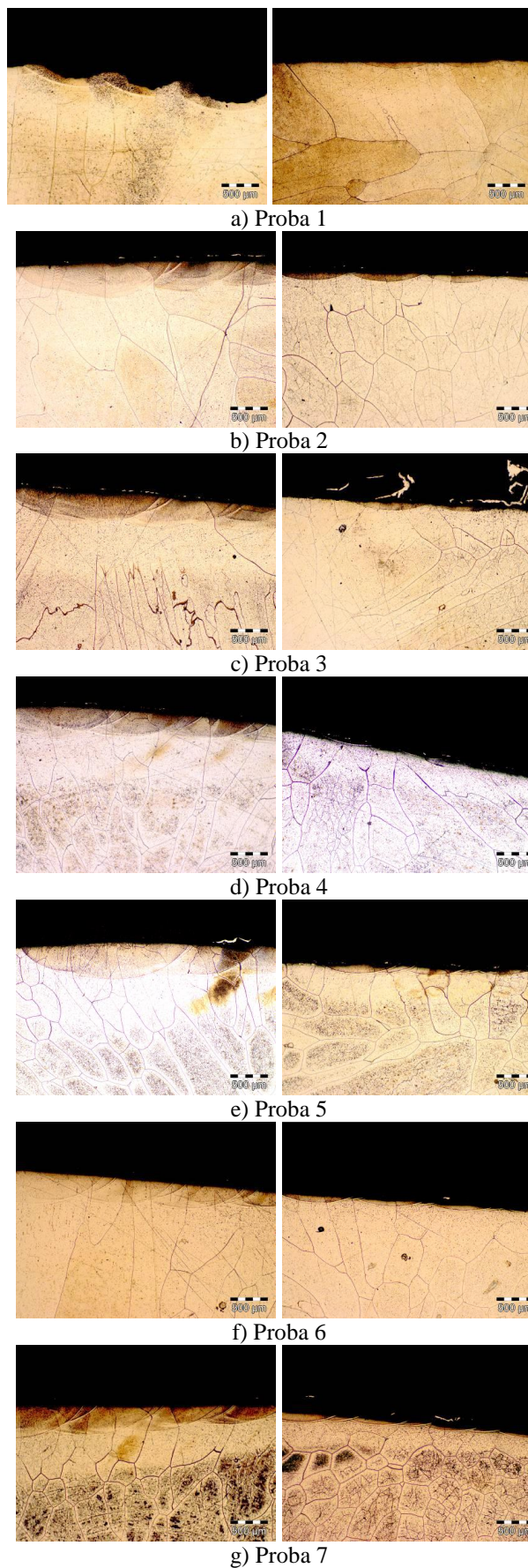


Fig. 4. Secțiuni prin probele tratate cu laser.

Din analiza rezultatelor in cazul celor 2 regimuri de prelucrare cu laser rezulta ca in cazul regimului 1 adâncimea de pătrundere a fost mai mare (370 – 458 μm) comparativ cu valorile obținute prin aplicarea regimului 2 (65-111 μm), in principal datorita puterii mai mari a fascicolului.

Se constata totodată ca la aliajul P1 efectul prelucrării nu a fost benefic asupra suprafeței, rezultând arderea superficiala si obținerea unei rugozități mari.

La toate celelalte aliaje se constata ca iradierea cu laser a determinat obținerea unei microstructuri fine, dendritice, cu păstrarea uneori a limitelor de grăunte ereditari.

Măsurările de duritate pe straturile retopite au fost efectuate cu Microdurimetrul Shimadzu HMV 2T iar rezultatele sunt prezentate in tabelul 3.

Tabelul 3. Valori de microduritate HV_{0,2}

Proba	Valori punctuale pe zonele de măsurare*					Valoarea medie HV _{0,2}
	1	2	3	4	5	
1	231	233	238	228	222	230
2	255	247	245	247	238	246
3	195	184	209	180	187	191
4	192	177	189	187	197	188
5	194	191	181	185	195	189
6	243	235	226	253	244	247
7	229	225	240	226	231	230

CONCLUZII

Aliajele din clasa FeCrAl utilizate la temperaturi ridicate in mediu oxidant au ca si caracteristica importanta formarea unui strat de oxid protector separat din substratul aflat în contact cu mediul de lucru.

Daca in microstructura aliajului Fe-Cr se adăuga Al, ferita înalt aliata se stabilizează la temperatura camerei, deoarece atât Cr cat si Al sunt elemente feritizante.

Adaosul de elemente de pământuri rare (ceriu), precum și de alte elemente cu afinitate mare pentru oxigen (ytriu, zirconiu, titan) conduce la formarea unor oxizi extrem de stabili pe suprafața aliajelor FeCrAl, cu aderență foarte mare la substrat.

Prin retopirea cu laser a suprafețelor aliajului se obține un strat de material bogat in oxizi rezistenți la temperaturi ridicate, compact si aderent

Retopirea determina finisarea granulației in stratul prelucrat cu laser si creșterea durezzații.

MULȚUMIRI

Autorii doresc sa mulțumească profesorilor coordonatori pentru sprijinul si timpul acordat la realizarea lucrării.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Jianu, A. Corrosion barriers for in-core components of nuclear reactors. Conference “Diaspora”, București, octombrie 2010.
- [2] Jianu, A., Weisenburger, A., Heinzl, A., Fetzer, R., Delgiacco, M., An, W., Mueller, G., Voiculescu, I., Geantă, V. Alumina scale formation on FeCrAl-alloys exposed to 400-600 °C in oxygen containing liquid lead (E11-P-1-12 (1961/1/1). European Congress on Advanced Materials and Process, EUROMAT 2011, 12-15 September 2011, Montpellier, France.
- [3] [Liu, C.A.](#), Humphries, M.J., [Krutentat, R.C.](#) Production of FeCrAlY and CoCrAlY coatings by laser surface fusion and their oxidation behavior. [Thin Solid Films, Volume 107, Issue 3](#), 23 September 1983, p. 269-275.
- [4] [Liu, C.A.](#), Humphries, M.J. Effects of Process Parameters on Laser Surface Modification. LIA (Laser Institute of America), Volume 38, 1984, p. 108-117.
- [5] [Kadolkar, P.](#), [Dahotre, N.B.](#) Variation of structure with input energy during laser surface engineering of ceramic coatings on aluminum alloys. [Applied Surface Science, Volume 199, Issues 1-4](#), 30 October 2002, p. 222-233.
- [6] Geantă, V., Voiculescu, I., Ștefănoiu, R., Jianu, A. Influence of chemical composition of FeCrAl alloys on the microhardness. *Metalurgia International*, vol. XVI (2011), no. 5, ISSN 1582-2214, p.153-156.
- [7] Voiculescu, I., Rontescu, C., Dondea, L. *Metalografia imbinarilor sudate*. Editura Sudura, Timisoara, 2010.
- [8] Voiculescu, I., Doțu, O., Geantă, V., Ganatsios, S. Effect of the Laser Beam Superficial Heat Treatment on the Gas Tungsten Arc Ti-6Al-V Welded Metal Microstructure. Conference on Industrial Laser Application (INDLAS 2007), May 23-25, Bran, Romania, ISSN 0277-786X, ISBN 978-0-8194-7217-5, Art. No. 70070M.