



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

CERCETĂRI PRIVIND CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE DIN OȚEL TERMOREZISTENT

Lenuța CÎNDEA, Cornelia Victoria ANGHEL DRUGĂRIN,
Iuliana Magdalena VIZITIU, Cristian Marius MIMIȘ

RESEARCH OF WELDED JOINTS HEAT-RESISTANT STEEL

Alloy and not alloy steels, with specified elevated temperature shall be prepared in accordance with SR EN 10216 - 2 + A2 - 2008 Standard. Structural examinations and mechanical tests performed on weld heat-resistant steels have shown the possibility of establishing, with some degree of certainty, the correlations between the type of microstructure and mechanical characteristics.

Solid solution hardening due to the presence of dislocations, the precipitating and foreign atoms from the network, represent a very important element to be taken into account in determining the structural and mechanical properties of heat-resistant alloy and not alloy steels weldable.

Keywords: heat resistant steel, welded joint quality, mechanical stress, creep, ductility

Cuvinte cheie: oțel termorezistent, calitatea îmbinării sudate, solicitări mecanice, fluaj, ductibilitate

1. Introducere

Oțelurile nealiate (carbon) și oțelurile aliate (slab aliate) având caracteristici specificate la temperaturi ridicate (termorezistente) sunt utilizate pe scară largă la realizarea elementelor de mare răspundere din centralele termoelectrice (rotoare de turbină, conducte pentru abur, buloane etc.). Aceste elemente sunt supuse în timpul exploatării la solicitări mecanice și termice ridicate (presiuni până la 140 at. și

temperaturi atingând 560 °C) pe durate îndelungate (până la 20 de ani de utilizare). Oțelurile termorezistente se caracterizează prin proprietăți largi de utilizare datorită diferitelor combinații ale elementelor de aliere, respectiv a posibilităților de elaborare și de tratamente termice care se pot aplica post - sudare.

Având în vedere domeniile de utilizare, aceste oțeluri trebuie să asigure caracteristici de rezistență la temperaturi ridicate (fluaj), respectiv ductilitate, în special alungire și gătuire, la valori ridicate, stabile pe perioada de utilizare a structurii metalice.

2. Materiale de bază și electrozi înveliți

În cadrul programului experimental privind sudarea electrică manuală cu electrozi înveliți a țevilor din oțel termorezistent nealiat marca P265GH, probele E1 și E1T, au fost utilizate următoarele materiale de bază și de adaos (electrozi înveliți):

a) țevi din oțel termorezistent marca P265GH, Φ 60,3 x 6,0 mm, în lungime de 75 mm, având compoziția chimică și caracteristicile mecanice cunoscute.

b) electrozi înveliți bazici marca Superbaz, Φ = 2,5 mm, având compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale metalului depus conform tabelelor 1 și 3. Înainte de utilizare, electrozii înveliți bazici marca Superbaz au fost uscați în cuptor timp de 2 ore la temperatura de 250...300 °C.

3. Sudarea probelor

Probele din țevă au fost strunjite la capetele de îmbinare la un unghi de 30 °, prin îmbinare rezultând un rost cu un unghi de 60 °.

Zonele adiacente rostului au fost polizate la luciu metalic. Alinierea țevilor în axă s-a realizat prin fixarea pe un suport cornier (figura 1). Probele au fost asamblate prin trei prinderi provizorii cu o deschidere a rostului egală cu grosimea materialului de adaos (vergele electrozi Φ = 2,5 mm).

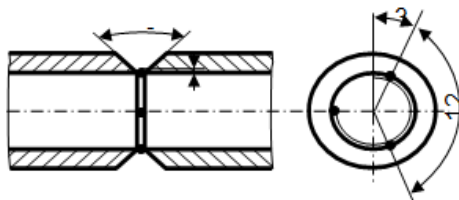


Fig. 1 Modul de prindere provizorie a țevilor în vederea sudării

Au fost executate trei prinderi provizorii echidistante conform figurii 2. Prinderile provizorii au fost controlate vizual și au fost incluse în stratul de rădăcină a îmbinării sudate. Pentru stabilirea parametrilor optimi ai regimurilor de sudare au fost efectuate probe preliminare, care au fost supuse apoi controlului vizual și dimensional. În urma experimentărilor preliminare ($I_s = 60...75$ A, $I_s = 70...75$ A și $I_s = 80...95$ A), au fost stabiliți parametrii optimi de sudare pentru procedeul de sudare electrică manuală cu electrozii înveliți bazici marca Superbaz, $d_e = 2,5$ mm și anume: curentul de sudare $I_s = (70...75)$ A; tensiunea arcului $U_a = (12...14$ V) și viteza de sudare $v_s = (8...10)$ cm/min.

După depunerea fiecărui cordon de sudură, acesta s-a curățat de zgură și stropi cu ajutorul ciocanului de zgură și a periei de sârmă.

După răcire, fiecare probă sudată cap la cap electric manual cu electrozi înveliți a fost examinată vizual (cu ochiul liber și cu lupa cu grosimet de 5X), îmbinările sudate fiind de o calitate corespunzătoare și fără defecte exterioare.

3.1 Realizarea tratamentului termic post - sudare

Proba sudată cap la cap din oțel termorezistent nealiat marca P265GH, $\Phi 60,3 \times 6,0$ mm (E1T) a fost supusă unui tratament de detensionare TD1 conform tabelului 1.

În figurile 2 și 3 sunt prezentate aspectele vizuale ale probelor sudate cap la cap electric manual cu electrozi înveliți E1 și E1T. Îmbinările nu au prezentat pe suprafețele exterioare defecte de sudare.



Fig. 2 Proba sudată cap la cap E1, netratată termic



Fig. 3 Proba sudată cap la cap E1T, tratată termic

4. Rezultatele încercărilor mecanice de laborator

a. *Rezultatele încercărilor la tracțiune pe epruvetele plate cu porțiunea calibrată nr. 1 și 2 prelevate din probele sudate cap la cap electric manual cu electrozi înveliți E1 și E1T sunt centralizate în tabelul 1.*

Tabelul 1

Nr. probă	Nr. epruv.	Dimens. epruv. (S ₀ x B ₀), mm	F _{max} , N	R _m , N/mm ²	Locul ruperii
E1	E1.1	5,9 x 12,2	34530	479	MB
	E1.2	6,0 x 12,0	29700	413	MB
E1T	E1.1T	5,8 x 12,3	33950	476	SUD
	E1.2T	5,8 x 12,3	33890	475	MB



Fig. 4 Epruvete rupte E1



Fig. 5 Epruvete rupte E1T

În figurile 4 și 5 sunt prezentate epruvetele după efectuarea încercărilor la tracțiune.

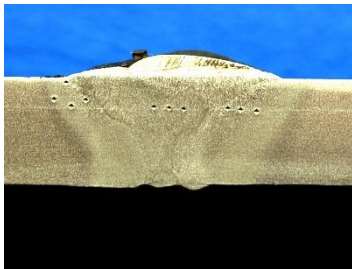


Fig. 6 Proba E1, atac Nital 10%

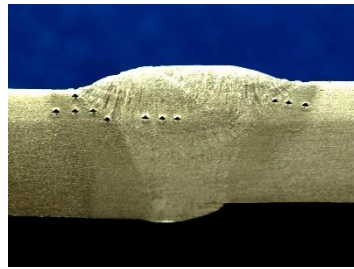


Fig. 7 Proba E1T, atac Nital 10%

b. Examinarea macroscopică a secțiunilor transversale a îmbinărilor sudate nu a reliefat macrofisuri (figurile 6 și 7) atât pe proba sudată fără tratament termic cât și pe proba sudată cu tratament termic (TD1). *Examinarea microscopică* efectuată relevă microstructurile specifice:

- în metalele de bază (MB_{dr} și MB_{st}), structuri granulare ferito-perlitice în șiruri, cu benzi de ferită și perlită alternante, a căror granulație este cuprinsă între punctajele 7-8, conform SR ISO 643:2003 (figurile 8 și 9);

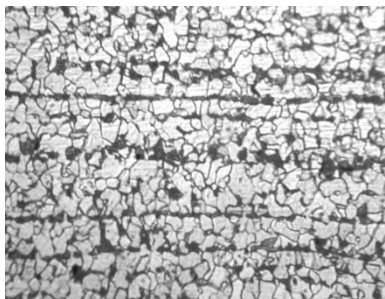


Fig. 8 Proba E1, MB,
atac Nital 2%, 100X

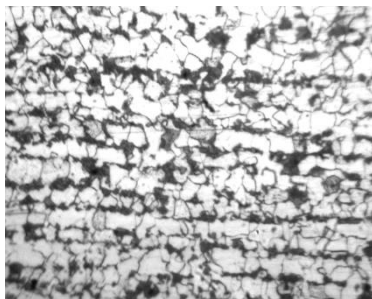


Fig. 9 Proba E1T, MB,
atac Nital 2%, 100X

- în sudură (SUD), structuri dendritice ferito-perlitice cu dendritele alungite pe direcția fluxului termic, conform SR ISO 643: 2003 (figurile 10 și 11);

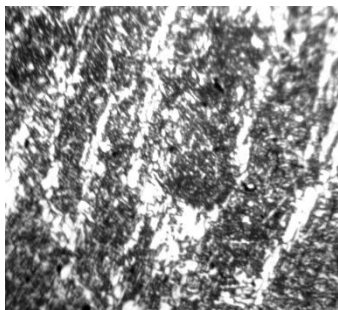


Fig. 10 Proba E1, SUD,
atac Nital 2%, 100X



Fig. 11 Proba E1T, SUD,
atac Nital 2%, 100X

- în zonele influențate termomecanic (ZIT_{dr} , ZIT_{st}), structuri grobe perlito-feritice cu zone de ferită aciculară, punctajul granulației nu depășește valoarea de 4, conform SR ISO 643:2003 (figurile 12 și 13).

Zonele examinate microscopic nu au prezentat microfisuri.

d. Rezultatele încercărilor mecanice de duritate Vickers HV10 pe epruvetele nr. 3, prelevate din probele sudate cap la cap electric manual cu electrozi înveliți E1 și E1T, s-au efectuat conform SR EN ISO 6507 - 1: 2006 și SR EN 1043 - 1: 1997 în zonele caracteristice îmbinărilor sudate (MB_{st} , MB_{dr} , ZIT_{st} , ZIT_{dr} , SUD), respectând modul de amplasare a amprentelor de duritate.

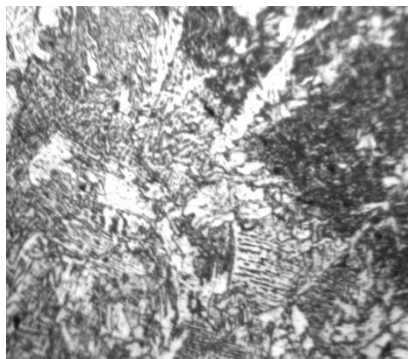


Fig. 12 Proba E1, ZIT, atac Nital 2%, 100X



Fig. 13 Proba E1T, ZIT, atac Nital 2%, 100X

Valorile de duritate Vickers HV10 determinate experimental sunt centralizate în tabelul 2.

Tabelul 2

Nr. amprentă	Zona încercată	Proba E1	Proba E1T
1	MB _{st}	142	129
2		138	148
3	MB _{dr}	143	156
4		154	157
5	ZIT _{st}	164	152
6		181	157
7		167	188
8	ZIT _{dr}	198	203
9		177	175
10		160	159
11	SUD	185	177
12		194	180

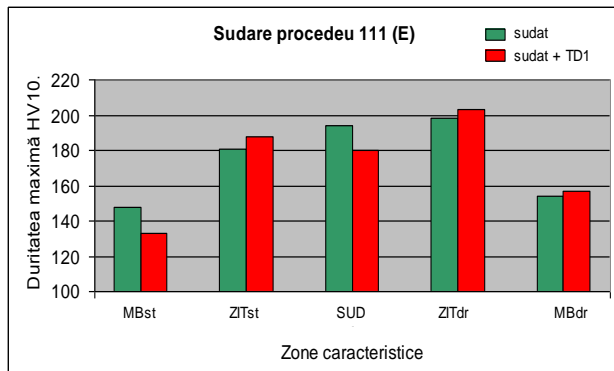
Tabelul 3

Marcajul probei sudate	Estimator de durificare locală $\Delta HV10$, %			
	SUD - ZIT _{st}	SUD - ZIT _{dr}	ZIT _{dr} - MB _{dr}	ZIT _{st} - MB _{st}
E1	20,62	17,52	27,28	21,54
E1T	15,55	11,67	23,15	31,38

În tabelul 3 - Valorile estimatorului $\Delta HV10$ calculate între zonele caracteristice îmbinărilor sudate realizate prin procedeul de sudare 111 s-au trecut valorile estimatorului $\Delta HV10$ calculate între

zonele caracteristice îmbinărilor sudate realizate prin procedeul de sudare 111.

Variațiile durităților Vickers HV10 maxime pe zonele caracteristice ale îmbinărilor sudate realizate din țevi de oțel termorezistent



nealiat marca P265GH sunt prezentate în figura 14.

Fig. 14

Variația $HV10_{max} = f(\text{zona caracteristică})$ la îmbinările sudate E1 și E1T realizate prin procedeul 111

5. Concluzii

În urma efectuării încercărilor la tracțiune la temperatura de 20 °C, a analizelor macroscopice și microscopice și a încercărilor de duritate Vickers HV10, pe epruvetele prelevate din probele sudate cap la cap E1 și E1T din oțel termorezistent nealiat marca P265GH se desprind următoarele concluzii:

- Analizând variația rezistențelor la tracțiune observăm că acestea sunt superioare valorii impuse de 410 N/mm² de norma EN 10216: 2 + A2 - 2007 pentru oțelul analizat. În plus, chiar dacă o epruvetă s-a rupt în sudură, rezistența la tracțiune determinată este peste limita inferioară a domeniului rezistenței la tracțiune impus (410...570 N/mm²) pentru oțelul nealiat termorezistent. Îmbinările nu au prezentat pe suprafețele exterioare defecte de sudare.

- Suprafețele de rupere ale epruvetelor de tracțiune au un aspect net ductil, specific metalelor de bază supuse tensiunilor de întindere și aspecte alungite specifice sudurilor tenace fără defecte decelate în zona de rupere.

- Duritățile Vickers HV10 maxime apar în sudurile îmbinărilor sudate (194 HV10 și 180 HV10), aplicarea detensionării termice în varianta TD1 nu reduce semnificativ vârfurile de duritate ale zonelor caracteristice, iar în sudura zonei detensionate se produce o scădere a durității Vickers HV10 cu 7,22 % față de sudura nedetensionată.

■ Analizând valorile estimatorului de durificare locală ΔHV_{10} calculat între zonele caracteristice îmbinărilor sudate, se observă că acesta are tendința de scădere la îmbinările detensionate termic, îndeosebi în MB și SUD.

■ Zonele examinate microscopic nu au prezentat microfisuri.

■ Procedeele termice aplicate pentru realizarea îmbinărilor sudate din oțeluri termorezistente trebuie să îndeplinească o serie de criterii tehnice privind uniformizarea temperaturii, asigurarea de gradientți termici prescriși, respectiv criterii economice și de siguranță în exploatare.

■ La baza proiectării unei instalații mobile de tratament termic de detensionare a țevilor sudate din oțeluri termorezistente au stat calculele pentru evaluarea caracteristicilor termice, energetice, dimensionale ale elementelor rezistive specifice proceselor de încălzire răcire dirijată și controlată.

BIBLIOGRAFIE

[1] Gross, V., Heuser, N., Jochum, C., *Schweisstechnische Herausforderung bei der Verarbeitung von CrMo(V) - Stählen für Hydrocracker*, Publication of Bohler Thyssen Schweisstechnik, Germany, 2007.

[2] Gross, V., *Improved Toughness in 2,25 %Cr - 1 %Mo (V) Weld Metals for Joining Heavy Walled Reactors*, Publication of Bohler Thyssen Schweisstechnik, Germany, 2006.

[3] Handel, V., Geert van Den, *Chroom - molybdeen staalsoorten*, Lastechniek, Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL), Nr. 5, May 2008, pag. 10 - 14.

[4] Micloși, V., *Tratamente termice conexe sudării prin topire a oțelurilor*, Vol. II, Editura Sudura, Timișoara, 2004.

[5] Mihăilescu, D., Zburlea, M., Marin, V. D., Mihăilescu, A., *WIG Manual Welding of Termoresistant Steel Pipes 13CrMo4-5TC2 Mark*, The Annals of Dunărea de Jos University of Galați, Fascicle XII, Welding Equipment and Technology, Year XX, 2009, ISSN 1221 - 4639, pag. 71 - 74.

[6] Vizitiu Iuliana Magdalena, *Calitatea îmbinărilor sudate la conductele realizate din oțeluri termorezistente*, Teză de doctorat. Universitatea "Dunărea de Jos", Galați, 2011.

Șef lucr.Dr.Ing. Lenuța CÎNDEA, e-mail: l.cindea@uem.ro

Șef lucr.Dr.Ing. Cornelia Victoria ANGHEL DRUGĂRIN,
membru în Consiliul Director AGIR, e-mail: c.anghel@uem.ro

Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița,

Dr.Ing Iuliana VIZITIU (ZBURLEA) , e-mail: i_zburlea@yahoo.ro

Responsabil Compartiment Tehnic Sudură, SC Nuclearmontaj Galați SA

Drd.Ing Cristian Marius MIMIȘ, e-mail: mimis_marius@yahoo.ro

Manager achiziții la Agrifirm Magyarország Zrt.,

membri AGIR