

## RESEARCH REGARDING THE WELDING BEHAVIOR OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL AISI 304L

MĂRĂȘESCU Cristian

Facultatea:FIIR, Specializarea:IMPSC, Anul de studii: II, e-mail: marasescu.cristian20@yahoo.com

Conducător științific: Prof. Dr. Ing Ionelia Voiculescu

The paper presents the problems that occur when welding X5CrNi18-10 austenitic steel (304) using different welding processes. The welding processes used to perform the weldability tests were GTAW (WIG) and SMAW (SMEI). The choice of these welding processes was made considering the reduced thickness of the plates used in the study, of 5 mm. Welding problems were identified in all three welded samples. The main problems that occur when welding these types of steels are: intercrystalline corrosion; excessive deformation; hot cracking. After welding, the samples were subjected to non-destructive tests: visual examination, penetrating liquids (LP) and penetrating radiation (X-rays). Imperfections were identified due to the inadequate preparation of the joint, due to the melting method and lack of experience of the welder. Some of the imperfections could have been eliminated if technological shets were used at the ends of the welded plates, to start and stop the electric arc outside of the weld.

### Introducere

Oțelul 304 face parte din clasa aliajelor înalt aliate inoxidabile cu microstructură austenitică. Elementul de aliere principal este Cr care determină formarea, pe suprafața oțelului, a unui strat pasiv de oxid foarte subțire, aderent, dens și impermeabil, greu solubil, care împiedică pătrunderea ionilor cu acțiune corozivă (Cl, S, F) spre matricea metalică. Pentru formarea acestui strat protector este necesară prezența O<sub>2</sub> în mediul activ (sau altfel spus mediul trebuie să fie oxidant) astfel încât să fie asigurate condiții pentru refacerea permanentă a peliculei protectoare de oxid de crom. În mediile slab oxidante sau neoxidante, obținerea rezistenței la coroziune se asigură prin adăugare de Ni [1-4].

Oțelurile inoxidabile austenitice conțin în general mai puțin de 0,15%C, această cantitate fiind în întregime solubila în austenită când temperatura este mai mare de 1000°C. Rezistența la coroziune nu crește monoton în funcție de conținutul de Cr, ci prezintă un salt în jurul unei concentrații de aproximativ 12% Cr la care se adaugă și alte elemente (Ni, Cu, Mo, Mn, etc). De aceea oțelurile inoxidabile sunt considerate aliajele Fe-Cr-C ce conțin minim 12 – 12,5% Cr[5-8].

Oțelurile austenitice cu Cr-Ni curențe sunt relativ puțin rezistente la coroziunea sub tensiune și mai scumpe decât cele feritice aliate doar cu Cr, care însă se sudează dificil și au o plasticitate relativ scăzută. Caracteristicile speciale ale acestora, precum rezistența la coroziune, rezistența la temperaturi înalte și la oxidare, sunt obținute prin aliere cu mai mult de 13% Cr și adăugarea de elemente precum Ni, Mo, Mn, Si, N, Ti, Co. Marca uzuală este reprezentată de oțelul 18/8 care are în jur de 18%Cr și 8% Ni. Oțelurile inoxidabile refractare au rezistență mecanică bună la temperaturi în domeniul 500 ÷ 600°C. Oțelurile austenitice nu sunt durificabile prin călire, prezenta carbonului determinând formarea de carburi (în special carburi de crom) ce înrăutățesc rezistența la coroziune. Expunerea în domeniul de temperaturi 600 – 900°C mai mult de 60 de secunde determină demararea unui proces de precipitare a carburii M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>. [9-12]

Nichelul adăugat în procente de până la aprox. 30 % determină creșterea rezistenței la coroziune în medii cu acid sulfuric și sulfat diluat. Combinat cu Mo (0 - 6%), Ni exercită o influență favorabilă în medii clorurate și amestec de halogeni, în timp ce Mo crește în general rezistența în medii acide și clorhidrice diluate. În medii reducătoare, aliajele Ni – Mo fără fier sunt mult mai performante decât

oțelurile inoxidabile. Adăsurile suplimentare de Cu (aprox. 3%), determină ameliorarea rezistenței la coroziunea localizată în mediu cu ioni de S și N (aprox. 0,25%).

Principalele însușiri ale oțelurilor din această clasă se datorează microstructurii lor preponderent austenitice. În sistemul Fe-Cr o asemenea microstructură poate fi obținută prin aliere cu Ni sau în combinație cu alte elemente gamagene: Mn, C sau N<sub>2</sub>. Compoziția chimică clasică din care ulterior au apărut multe mărci diferite este cea cu 18% Cr și 8% Ni, având un conținut în carbon de 0,1%C (în prezent conținutul de carbon s-a redus foarte mult pentru creșterea rezistenței la coroziune, ajungând la 0,02%C) [13-14].

Lucrarea prezintă problemele care apar la sudarea oțelului austenitic X5CrNi18-10 (304) utilizând diferite procese de sudare. Procesele de sudare utilizate pentru efectuarea testelor de sudabilitate au fost GTAW (WIG) și SMAW (SMEI). Alegerea acestor procese de sudare a fost făcută luând în considerare grosimea redusă a plăcilor utilizate în studiu, de 5 mm. Problemele de sudare au fost identificate în toate cele trei probe sudate. Principalele probleme care apar la sudarea acestor tipuri de oțeluri sunt: coroziunea intercristalină; deformare excesivă; crăpături fierbinți.

După sudare, probele au fost supuse unor teste nedistructive: examinare vizuală, lichide penetrante (LP) și radiații penetrante (raze X). Imperfecțiunile au fost identificate datorită pregătirii inadecvate a articulației, datorită metodei de topire și lipsei de experiență a sudorului. Unele dintre imperfecțiuni ar fi putut fi eliminate dacă ar fi fost folosite plăci tehnologice la capetele plăcilor sudate, pentru a porni și opri arcul electric în afara sudurii.

## 1. Programul experimental

### 2.1. Debitarea probelor din oțel AISI 304

Pentru realizarea procedurii de debitare a probelor, cotele se introduc într-un program MAGICTOOL, ce este în strânsă legătură cu echipamentul de tăiere cu plasma CNC SOITAAB (fig. 1). Cotele dimensionale ale tablelor debitate au fost;

- **Grosimea** – 5mm;
- **Dimensiuni** – 100x150mm;

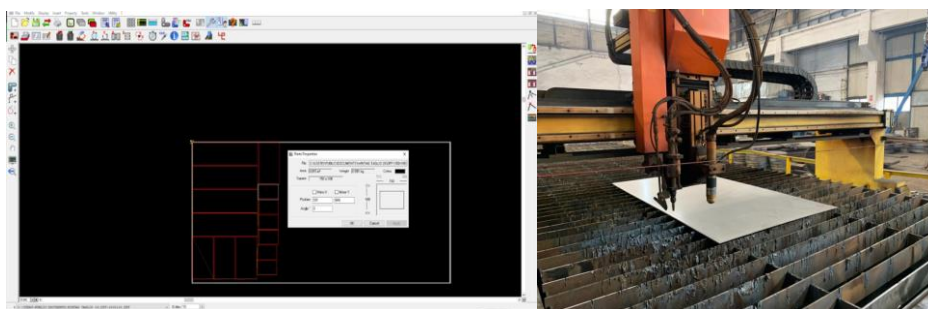


Fig. 1. Realizarea procesului de debitare a placilor pentru testarea sudabilitatii oțelului AISI 304

### 2.2. Curățarea suprafețelor

Curățarea suprafețelor probelor debitate s-a realizat cu un tampon din bumbac curat îmbibat cu soluție de etanol iar muchiile au fost polizate cu disc abraziv, apoi cu o perie cu sârma din oțel inoxidabil (fig. 2 și 3).



**Fig. 2. Plăcile din oțel 304 înainte de curățire.**



**Fig. 3. Suprafața plăcii după degresarea cu etanol.**

### **2.3. Pregătirea rostului**

Datorită grosimii destul de mici a pieselor, rostul s-a prelucrat în “V”. Prelucrarea s-a realizat cu disc abraziv. Pentru menținerea în poziția corectă la sudare, au fost atașate plăcuțe de capăt la ambele capete ale sudurii (fig. 4).



**Fig. 4. Prelucrarea rostului în “V”.**

### **2.4. Alegerea procedeeelor de sudare si materialelor de adaos**

Procedeele alese pentru sudarea celor 3 probe au fost:

- **GTAW (WIG);**
- **SMAW (SMEI);**

Pentru a putea observa mai bine și a distinge cât mai corect problemele la sudare, s-a stabilit ca probele să fie sudate în 3 moduri diferite (fig. 5 și 6):

- **Proba 1** – Rădăcina WIG și umplerea rostului WIG +SMEI
- **Proba 2** – Rădăcina WIG și umplerea rostului WIG
- **Proba 3** – Rădăcina WIG și umplerea rostului SMEI

Pentru umplerea rostului la sudare au fost alese următoarele materiale de adaos:

- – Bagheta **BOHLER ER316L ( EN ISO 14343 )** , cu dimensiunile  $\text{Ø } 2.4 \times 1000 \text{ mm}$  pentru procedeul **GTAW ( WIG )** ;
- Electrode **BOHLER ER 316L-17 ( EN ISO 14343; EN ISO 3281-A)**, cu dimensiuni  $\text{Ø} 3.2 \times 350 \text{ mm}$  pentru procedeul **SMAW ( SMEI )** ;;

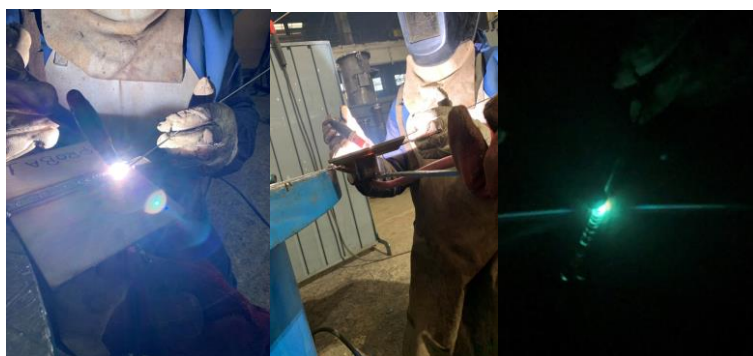


Fig. 5. Sudarea GTAW ( WIG ) cu protecție la rădăcină cu gaz inert.

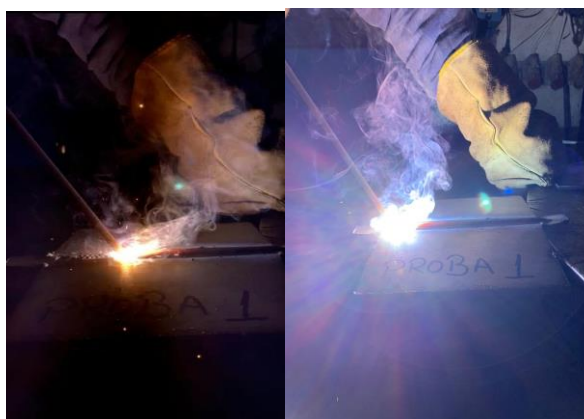


Fig. 6. Sudarea cu arc învelit SMAW (SMEI).

## 2.5. Controlul defectoscopic nedistructiv

Pentru evidențierea imperfecțiunilor apărute după sudare au fost utilizate trei metode de control defectoscopic nedistructiv:

- a) **Controlul optico-vizual**, care a vizat identificarea abaterilor de la forma geometrică, dezaxarea tablelor în rost, formarea de stropi, apariția craterelor la începutul și sfârșitul sudurii. Astfel de imperfecțiuni au fost identificate mai ales în cazul probei 1 (fig. 7). În acest caz s-a produs o decalare a tablelor deși au fost imobilizate cu plăcuțe tehnologice. Prinderea nu a fost suficient de fermă și regimul de sudare a fost prea intens, astfel că s-a produs o deformare unghiulară a plăcilor în zona de sudare.



Fig. 7. Aspectul sudurii și identificarea imperfecțiunilor pentru Proba 1

După sudare s-a realizat eliminarea stropilor de pe suprafețele tablelor sudate și curățarea acestora cu etanol, ocazie cu care s-au depistat imperfecțiuni cum au fost: polizarea excesivă, por superficial (2017), retasură de crater deschisă (2025), topire incompletă (401), nealiniere axială (507).

În cazul probei 2 (fig. 8), principalele imperfecțiuni identificate au fost: **507** - nealiniere axială, **401** – topire incompletă. Din vederea laterală se observă că deformațiile remanente au fost mai reduse în acest caz.



Fig. 8. Aspectul sudurii și identificarea imperfecțiunilor pentru Proba 2



Fig. 9. Aspectul sudurii și identificarea imperfecțiunilor pentru Proba 3

În cazul probei 3 (fig. 9) au fost identificate următoarele imperfecțiuni: **2017** – por superficial, **401** – topire incompletă, **ZIT** – mai extins, film de zgură, zone cu polizare excesivă  
Din vederea laterală se observă că deformarea pieselor a fost minimă în acest caz.

#### b) Controlul cu lichide penetrante (LP);

Prin aplicarea acestei metode de control pot fi puse în evidență defecte de suprafață, sau cu deschidere la suprafață. Pentru controlul nedistructiv cu lichide penetrante s-au folosit următoarele materiale consumabile:

- Degresant SKC-S; Pentrant P125, Developant R175

Valorile parametrilor de control LP au fost:

- Timp penetrare – 20 minute

- Timp dezvoltare 10 minute



Fig. 10. Lichidele utilizate pentru controlul cu lichide penetrante.

În urma controlului s-au depistat doar mici defecte apărute la capetele pieselor sudate (la piesele P1 și P2), respectiv mici cratera de început și sfârșit de sudură) (fig.11).

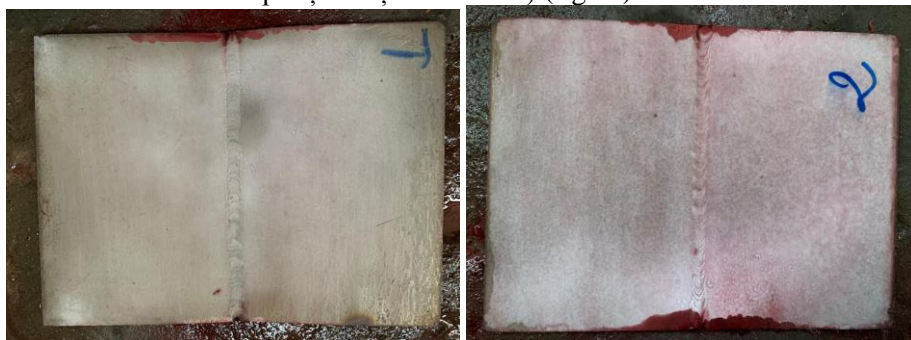


Fig. 11. Localizarea defectelor la capetele sudurilor în cazul probelor 1 și 2.

#### c) Controlul cu radiații penetrante

Controlul cu radiații penetrante vizează evidențierea defectelor interioare sau exterioare, cu sau fără deschiderea la suprafață. Această metodă a fost utilizată pentru că la grosimi atât de mici (5mm) alte metode, cum ar fi controlul cu ultrasunete sau controlul cu pulberi magnetice nu se pot aplica. Controlul cu pulberi magnetice nu se poate aplica la oțelurile austenitice, care nu prezintă magnetism propriu sau indus prin magnetizare, deci care nu permit acumularea pulberilor magnetizate în zonele cu defecte.

Controlul cu ultrasunete este limitat în acest caz din două motive principale. În primul rând, oțelurile austenitice prezintă grăunți maclați, cu alunecări dirijate de atomi în plane paralele, care pot să determine devierea semnalului ultrasonic cu indicație falsă de defect. În al doilea rând, la table subțiri, palpatoarele ultrasonice nu au suficientă acuratețe de măsurare, acestea având un domeniu de incertitudine de circa 3-4mm unde nu pot depista defectele superficiale. Acest

domeniu , numit *iarba sonică*, este aproape egal cu grosimea pieselor analizate în lucrare, fapt pentru care nu s-a utilizat această metodă în cadrul studiului din lucrare.

În fig. 12 și 13 se prezintă imaginile filmelor radiografice după expunere și dezvoltare.

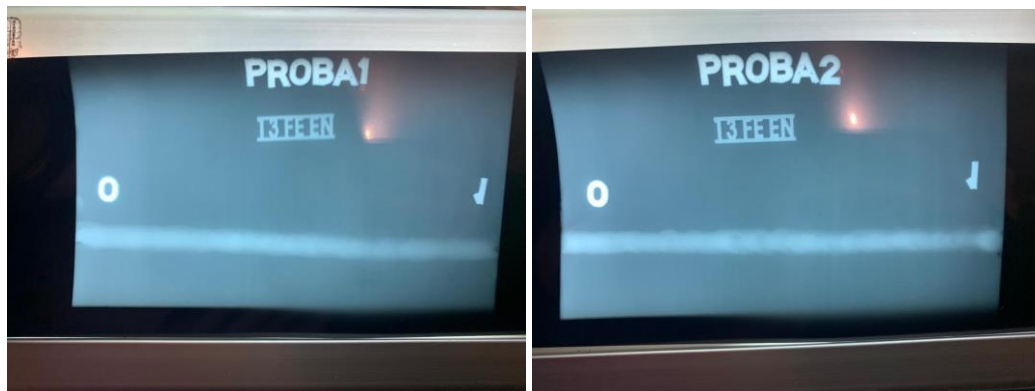


Fig. 12. Imagini ale filmelor radiografice la controlul cu Radiații penetrante pentru probele 1 și 2.

Se poate observa pe filmele radiografice că nu sunt imperfecțiuni majore care să descalifice probele 1 și 2.

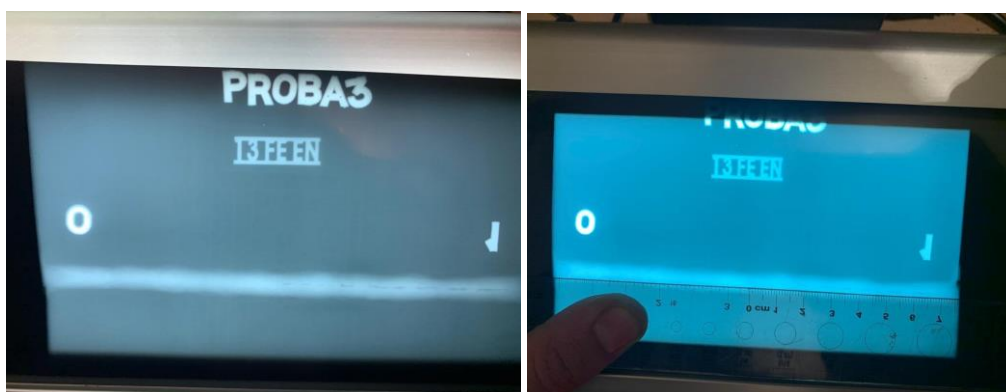


Fig. 13. Imagini ale filmelor radiografice la controlul cu Radiații penetrante pentru proba 3.

În cazul probei 3 lucrurile stau diferit, deoarece s-a identificat o lipsă de topire pe axa cusăturii, ceea ce a determinat descalificarea probei sudate P3.

### 3. Concluzii

1. Rezultatele controlului cu RX au descalificat proba 3, care fusese acceptată la controlul LP.
2. La probele 1 și 2 au apărut mici defecte, în special la capetele cordoanelor de sudură, identificate la controlul nedistructiv cu lichide penetrante.
3. Ca urmare a curățirii prin polizare, pe suprafețele adiacente rostului tot stratul de oxid de crom care asigură protecția oțelului la coroziune a fost distrus, imperfecțiunea fiind de polizare excesivă.
4. Dacă va fi supusă proba sudată la teste de coroziune, se va înregistra ruginirea pe toată suprafața polizată.
5. Procedeele de curățare corecte/adevrate sunt degresarea și decaparea, eventual, se poate utiliza o perie din oțel inoxidabil pentru îndepărtarea peliculelor aderente.
6. Eliminarea decalării pieselor și a defectelor de la capetele sudurilor se poate face prin prinderea mai rigidă a unor plăcuțe tehnologice mai mari, care să permită sudarea în afara zonei efective a sudurilor probelor.

#### 4. Bibliografie

- 1) PDF Cromul, profesor Dr. Ing. Ionelia Voiculescu.
  - 2) PDF Oteluri inoxidabile austenitice, profesor Dr. Ing. Ionelia Voiculescu.
  - 3) AFSS – I. Voiculescu, V. Geanta, I.M.Vasile, Ed. Printech, 2016.
  - 4) [http://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=100#1](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=100#1)
  - 1) <https://www.sudura.com/site2014/noutati-info/despre-procedeele-de-sudare-debitare/76-smeimma>
  - 4) <https://etalonmag.ro/electrozi-otel-inoxidabil/bohler/electrozi-otel-inoxidabil-bohler-aws-e308l-17-f25>
  - 5) <https://www.sudura.com/site2014/noutati-info/despre-procedeele-de-sudare-debitare/77-desprewigig>
  - 6) <http://magnum.engineering.upm.ro/~gabriela.strnad/CURS%20AVANSAT%20DE%20MATERIALE%20-%20curs%20masterat/2%20CURS/Oteluri%20inoxidabile.pdf>
  - 7) D. N. Wasnik et al., Resistance to sensitization and intergranular corrosion through extreme randomization of grain boundaries, Acta Materialia, 2002:50, p4587-4601.
  - 8) M. Shimada et al., Optimization of grain boundary character distribution for intergranular corrosion resistant 304 stainless steel by twin-induced grain boundary engineering, Acta Materialia, 2002:50, p2331-2341.
  - 9) T. Sourmail et al., Sensitisation and Evolution of Chromium-depleted Zones in Fe-Cr-Ni-C systems, ISIJ International, 2003:43, p1814-1820 .
  - 10) C. Too, MPhil thesis, University of Cambridge, 2002 .
  - 11) T. Sourmail, Review: Precipitation in Creep-Resistant Austenitic Stainless Steels, Mater. Sci. Techn. 2001:17, p1-14.
  - 12) T.Sourmail and H. K. D. H. Bhadeshia, Simultaneous precipitation reactions in austenitic stainless steels
  - 13) W. E. Mayo, Predicting IGSCC/IGA susceptibility of Ni-Cr-Fe alloys by modeling of grain boundary chromium depletion, Mater. Sci. Eng. A, 1997:232, p129-139
  - 14) T. G. Gooch et al., Weld decay in austenitic stainless steel, The Welding Institute, Cambridge, 1975
- STAINLESS STEELS IN ARCHITECTURE, BUILDING AND CONSTRUCTION: GUIDELINES FOR CORROSION PREVENTION (2001)