

# Evaluarea fenomenelor de coroziune în puncte la îmbinările sudate WIG și MIG în impulsuri, din oțelul duplex X2CrNiMoN22-5-3

## The evaluation of pitting corrosion phenomena in pulsed TIG and MIG welded joints made out of X2CrNiMoN22-5-3 duplex steel

Fiz. Andreea Bobic, Dr. Mihaela Pascu, Ing. Zoltan Demeter – ISIM Timișoara

### Introducere

Prin oțel inoxidabil duplex se înțelege un material bifazic, constituit din două faze microstructurale: ferită și austenită, care în stare de livrare are cca. 50% ferită și 50% austenită. Ferita asigură rezistența mecanică și rezistența la coroziune, în timp ce austenita asigură ductilitatea, iar cele două împreună duc la obținerea unui oțel cu granulație fină, microstructural bifazic, cu rezistență la coroziune. Oțelurile moderne duplex oferă caracteristici mecanice foarte bune în domeniul temperaturilor de la  $-50$  la  $+275^{\circ}\text{C}$ , având o rezistență ridicată la coroziune în puncte și coroziune fisurantă sub tensiune.

Elementele de aliere cele mai importante ale oțelurilor duplex sunt Cr, Ni, Mo și  $\text{N}_2$ . Elementele Cr și Mo duc la formarea feritei, în timp ce Ni și  $\text{N}_2$  stabilizează austenita. Elementele de aliere Cr, Mo și  $\text{N}_2$  conduc la creșterea rezistenței la coroziune, în mod deosebit a rezistenței la coroziune în puncte, în medii de ioni de Cl. Indicele de rezistență echivalentă la coroziune în puncte (PRE) se exprimă prin relația:

$$\text{PRE} = \text{Cr} + 3,3 \cdot \text{Mo} + 16 \cdot \text{N} \quad (1)$$

Rezistența la coroziune a îmbinărilor sudate este mai redusă decât cea a metalului de bază, datorită microstructurii specifice de turnare, neomogene.

Scopul lucrării este de a evalua fenomenele de coroziune în puncte la îmbinările sudate WIG și MIG în impulsuri, din oțelul duplex X2CrNiMoN22-5-3 (conform EN 10088-2:1995), prin măsurarea pierderilor de masă în urma încercării la coroziune prin metoda A din ASTM G48.

### Realizarea îmbinărilor sudate

Compoziția chimică a șarjei de oțel duplex marca X2CrNiMoN22-5-3 / W1.4462 utilizată în cadrul experimentărilor și valoarea indicelui de rezistență echivalentă la coroziune în puncte este prezentată în tabelul 1.

Tabelul 1/ Table 1

Marca oțelului/ Steel grade	Compoziția chimică/Chemical composition, [%]									PRE
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	N	
X2CrNiMoN22-5-3	0,013	1,846	0,027	0,0004	0,287	5,005	22,00	2,588	0,153	33,0

### Introduction

The duplex stainless steel is a biphasic material, made out of two microstructural phases: ferrite and austenite, having in the as delivered state about 50% ferrite and 50% austenite. The ferrite assures the mechanical characteristics and the corrosion resistance, while the austenite assures the toughness, and both of them lead to a biphasic fine-grained steel with good corrosion resistance. The modern duplex steels have very good mechanical characteristics in the temperature field between  $-50$  to  $+275^{\circ}\text{C}$ , having a high pitting and stress corrosion resistance.

The most important alloying elements of the duplex steels are Cr, Ni, Mo and  $\text{N}_2$ . The Cr and Mo elements result in building-up the ferrite, while Ni and  $\text{N}_2$  stabilize the austenite. The Cr, Mo and  $\text{N}_2$  alloying elements lead to the increase of the corrosion resistance, especially the pitting corrosion resistance in Cl ions medium. The Pitting Resistance Equivalent (PRE) is determined by the relation:

$$\text{PRE} = \text{Cr} + 3.3 \cdot \text{Mo} + 16 \cdot \text{N} \quad (1)$$

The corrosion resistance of the welded joints is lower than that of the base metal due to the heterogeneous, casting type microstructure.

The aim of the paper is to evaluate the pitting corrosion phenomena of the pulsed TIG and MIG welded joints, made out of X2CrNiMoN22-5-3 duplex steel (EN 10088-2:1995), by measuring the weight loss following the A method corrosion test according to ASTM G48

### Producing welded joints

The chemical composition of the charge used within the experiments X2CrNiMoN22-5-3 / W1.4462 duplex steel and the value of the pitting resistance equivalent are presented in table 1.

Caracteristicile mecanice ale acestui oțel, determinate prin încercarea la tracțiune, sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2/ Table 2

Marcaj epruvetă / Specimen	R <sub>p0,2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	A <sub>5</sub> [%]
T1	562	734	33
T2	564	740	34

Pentru lucrările experimentale s-au ales sârma marca LNM 4462, φ1,2 mm pentru sudarea MIG în impulsuri și

Tabelul 3/ Table 3

Marca sârmei/ Wire	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Cu [%]	N [%]
LNM 446251502913	0,02	0,48	1,5	0,02	0,005	22,7	8,1	3,0	0,1	0,16
LNT 446251502384	0,015	0,5	1,6	0,02	0,005	22,5	8,5	3,0	0,1	0,15

Tabelul 4/ Table 4

Marca sârmei/ Wire	R <sub>p0,2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	A5 [%]	KV mediu la/ Average KV at 20°C [J]
LNM 446251502913	626	811	28	113
LNM 446251502384	668	810	20	-

Tabelul 5/ Table 5

Procedeu/ Process	WIG în impulsuri/ pulsed TIG (R3)				MIG în impulsuri/ pulsed MIG (R4)		
	Intensitatea curentului, valoare medie/ Current intensity, average value, [A]	80	90	90	90	150	170
Curent vârf/ Peak current, [A]	115	129	129	129	-	-	-
Curent baza/ Base current, [A]	46	51	51	51	-	-	-
Tensiunea arcului/ Arc voltage, [V]	12-14	11-13	11-13	11-13	20,2	20,4	20,7
Tip curent/ polaritate/ Current type/ polarity	CC <sup>-</sup>	CC <sup>-</sup>	CC <sup>-</sup>	CC <sup>-</sup>	CC <sup>+</sup>	CC <sup>+</sup>	CC <sup>+</sup>
Viteza de sudare/ Welding speed, [cm/min]	6-7	8-9	10-11	9-10	24-25	26-27	23-24
Viteza avans sârma/ Wire feed speed, [m/min]	-	-	-	-	4,6	5,2	5,6
Energia liniara medie/ Average input energy, [kJ/cm]	9,6	7,6	6,1	6,8	7,42	9,19	9,51

vergelele marca LNT 4462, φ 2,4 mm pentru sudarea WIG în impulsuri, materiale care prin sudare depun un metal cu rezistență ridicată la coroziune generală, coroziune în puncte și în condiții de coroziune sub tensiune.

În tabelul 3 se prezintă compozițiile chimice ale sârmelor utilizate (LNM 4462, φ 1,2 mm, șarja nr. 51502913 și LNT 4462, φ 2,4 mm, șarja nr. 51502384), iar în tabelul 4 caracteristicile mecanice ale metalului depus prin sudare. Valorile prezentate au fost extrase din certificatele de calitate ale sârmei și respectiv vergelei.

Tablele din oțel duplex au fost sudate WIG și respectiv MIG în impulsuri, cu regimurile R3 și R4 prezentate în tabelul 5.

The mechanical characteristics of this steel, determined by the tensile testing are presented in table 2.

For the experiments there were selected: LNM 4462 wire, φ 1.2 mm for the pulsed MIG welding and LNT 4462 rods, φ 2.4 mm for the pulsed TIG welding. These materials deposit a weld metal with high general corrosion resistance, pitting and under stress corrosion.

Table 3 presents the chemical compositions of the used wires (LNM 4462, φ 1.2 mm, charge no. 51502913 and LNT 4462, φ 2.4 mm, charge no. 51502384), and table 4 the mechanical characteristics of the weld metal. The presented values have been extracted from the wire and rod quality certificates.

The duplex steel plates were pulsed TIG and MIG welded using the R3 and R4 regimes presented in table 5.

## The corrosion testing of welded joints made out of the X2CrNiMoN22-5-3 duplex steel

In order to evaluate the pitting corrosion phenomena of welded duplex steels, the A method was used for testing according to ASTM G48. A ferric chloride solution 6% (oxidant chlorine) was used as exposure environment.

The size of specimens before testing were 50 x 20 x 3 mm. All surfaces, mechanically worked, were flat, and the control

## Încercarea la coroziune a îmbinărilor sudate realizate din oțelul duplex X2CrNiMoN22-5-3

În vederea evaluării fenomenelor de coroziune în puncte a oțelurilor duplex sudate, s-a folosit metoda A de încercare din norma ASTM G48. În această metodă se utilizează ca mediu de expunere o soluție de clorură ferică 6% (clor oxidant).

Dimensiunile epruvetelor, înainte de încercare, au fost 50 x 20 x 3 mm. Toate suprafețele prelucrate mecanic au fost netede, iar suprafața de control de 50 x 20 mm a fost pregătită metalografic, prin șlefuire și lustruire fină, în vederea examinării prin analiză microscopică după finalizarea încercării la coroziune.

După pregătirea adecvată, epruvetele au fost imersate în soluție de clorură ferică, pe suporturi speciale din sticlă, plasate în instalația de coroziune combinată, conform normei ASTM G48. Temperaturile de încercare s-au menținut în domeniul  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  și  $50 \pm 2^\circ\text{C}$ , în regim de termostatare, pe durata expunerii continue de 72 ore.

Folosirea  $\text{FeCl}_3$  ca reactiv pentru testarea rapidă a sensibilității la coroziune a probelor sudate se bazează pe efectul cumulativ a două acțiuni corosiv-agresive:

- prezența unui ion puternic oxidant, care este  $\text{Fe}(\text{III})$  și care joacă rolul depolarizantului catodic;
- prezența unui activator consacrat al dizolvării anodice cum este anionul  $\text{Cl}^-$ , cu acțiune depasivantă și corosivă accentuată.

La sfârșitul perioadei de încercare, epruvetele s-au scos din instalație, s-au spălat sub jet de apă pentru a îndepărta produșii de coroziune și s-au uscat în aer cald.

Acțiunea corosivă se regăsește în pierderea de masă. Această pierdere este cu atât mai mare cu cât viteza procesului este mai mare. Cântărirea epruvetelor, înainte și după încercare, s-a efectuat cu o balanță analitică cu o precizie de  $\pm 0,001$  g.

### Rezultatele experimentale

Rezultatele experimentale obținute sunt prezentate sintetizat în tabelul 6.

Epruvetele din oțel duplex sudate folosind procedeul WIG în impulsuri, încercate la temperatura de  $22^\circ\text{C}$ , prezintă valori mai ridicate ale pierderilor de masă în raport cu valorile obținute, la aceeași temperatură de încercare, la epruvetele sudate cu procedeul MIG în impulsuri. De asemenea, se observă rezistența la coroziune în puncte foarte ridicată a metalului de bază încercat la această temperatură.

La temperatura de încercare de  $50^\circ\text{C}$ , pentru epruvetele sudate prin cele două procedee de sudare (WIG și MIG în impulsuri), nu există diferențe semnificative ale pierderilor de masă. Astfel, la procedeul de sudare WIG în impulsuri pierderea de masă este de maxim  $45,2256 \cdot 10^{-3} \%$ , iar la procedeul de sudare MIG în impulsuri pierderea de masă maximă este  $43,5436 \cdot 10^{-3} \%$ ; ambele valori sunt superioare celor obținute la încercarea la coroziune a metalului de bază, la care pierderea de masă maximă este  $33,2693 \cdot 10^{-3} \%$ , atestând o tendință ridicată de coroziune a îmbinărilor sudate în raport cu materialul de bază din care se compune îmbinarea.

În figura 1 se prezintă schematic pierderile de masă pentru metalul de bază și pentru îmbinările sudate prin cele două procedeele în funcție de temperatura de încercare.

surface 50 x 20 mm was metallographically prepared, by grinding and fine polishing in order to perform the microscopic analysis after finishing the corrosion testing.

Following the adequate preparation, specimens were immersed in ferric chloride solution, on special glass supports, placed in the combined corrosion installation, according to ASTM G48. The testing temperatures were in the range  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  and  $50 \pm 2^\circ\text{C}$  during the continuous exposure of 72 hours.

The use of  $\text{FeCl}_3$  as reactive for the rapid testing of the welded sample sensibility to corrosion is based on the cumulative effect of two corrosive aggressive actions:

- the presence of a strong oxidant ion which is  $\text{Fe}(\text{III})$  and which plays the cathode depolarizing role;
- the presence of a constant activator of the anode dissolution such as the  $\text{Cl}^-$  anion, having a strong depassivating and corrosion action.

At the end of the testing period, specimens were taken out of the installation, were under water jet washed to remove the corrosion products and dried in warm air.

The corrosive action is to be found again in the weight loss. This loss is bigger when the process speed is higher. Specimens were weighted before and after the testing, it was made with an analytical balance having the accuracy  $\pm 0.001$  g.

### Experimental results

The obtained experimental results are presented in table 6.

The duplex steel specimens welded by the pulsed TIG process tested at  $22^\circ\text{C}$ , present high values for the weight loss in comparison with the obtained values at the same testing temperature, for the pulsed MIG welded specimens. It must be noticed the very high pitting corrosion resistance of the base metal tested at this temperature.

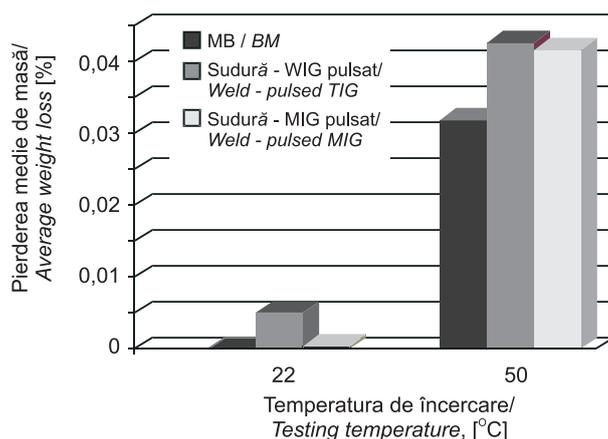


Figura 1. Pierderea de masă medie în funcție de temperatura de încercare

Figure 1. The average weight loss depending on the testing temperature

At the testing temperature of  $50^\circ\text{C}$ , for the duplex specimens welded by means of the two (pulsed TIG and MIG) welding processes, there are no significant differences in the weight loss. So, in case the pulsed TIG is used the weight loss is

Aspectele macroscopice ale suprafețelor de control corodate ale unor epruvete ce au fost supuse încercării la coroziune conform ASTM G48, sunt prezentate în figurile 2 ...7.

maximum  $45.2256 \cdot 10^{-3} \%$ . In case the pulsed MIG is used the maximum weight loss is  $43.5436 \cdot 10^{-3} \%$ . Both values are superior to those obtained in the base metal corrosion testing,

Tabelul 6/ Table 6

Tipul epruvetei/ Specimen type	Procedeu/regimul de sudare/ Welding process/regime	Marcaj epruvetă/ Specimen mark	Temperatura de încercare/ Testing temperature [°C]	Masa/ Weight [g]		Pierderi de masă/ Weight loss	
				inițială/ initial	finală/ final	[g]	[10 <sup>-3</sup> %]
îmbinare sudată/ welded joint	WIG în impulsuri/ pulsed TIG R3	9	22 ± 2	24,0040	23,9890	0,0150	0,6248
		10		24,1948	24,0996	0,0952	3,9347
		11		24,2210	23,9660	0,2550	10,5280
		12	50 ± 2	24,3490	23,2478	1,1012	45,2256
		13		24,6088	23,6840	0,9248	37,5800
		14		23,9102	22,8405	1,0697	44,7382
îmbinare sudată/ welded joint	MIG în impulsuri/ pulsed MIG R3	15	22 ± 2	24,5694	24,5666	0,0028	0,1139
		16		24,2866	24,2765	0,0101	0,4158
		17		24,0416	24,0314	0,0102	0,4242
		18	50 ± 2	24,8280	23,8650	0,9630	38,7868
		19		23,7348	22,7013	1,0335	43,5436
		20		24,7060	23,6593	1,0467	42,3662
material de bază/ base material	-	21	22 ± 2	24,9750	24,9750	0,0000	0,0000
		22		25,2252	25,2252	0,0000	0,0000
		23	50 ± 2	25,2184	24,3794	0,8390	33,2693
		24		25,6446	24,8644	0,7802	30,4937



Figura 2. Epruveta 10, R3 / 22°C  
Figure 2. Specimen 10, R3 / 22°C



Figura 3. Epruveta 12, R3 / 50°C  
Figure 3. Specimen 12, R3 / 50°C



Figura 4. Epruveta 17, R4 / 22°C  
Figure 4. Specimen 17, R4 / 22°C



Figura 5. Epruveta 20, R4 / 50°C  
Figure 5. Specimen 20, R4 / 50°C



Figura 6. Epruveta 21, MB / 22°C  
Figure 6. Specimen 21, BM / 22°C



Figura 7. Epruveta 23, MB / 50°C  
Figure 7. Specimen 23, BM / 50°C

## Analiza rezultatelor

Analizând suprafețele corodate ale epruvetelor încercate în mediu corosiv la temperatura de 22°C, se observă prezența degradărilor prin coroziune în sudură (epruvetele 10, 17), iar la temperatura de încercare de 50°C aceste degradări sunt mai puternic reliefate (epruvetele 12, 20).

Metalul de bază încercat la temperatura de 22°C nu prezintă degradări prin coroziune, dar la temperatura de 50°C apar

where the maximum weight loss was  $33.2693 \cdot 10^{-3} \%$ , attesting a high tendency for the corrosion of welded joints in comparison with the base metal the joint is made out off.

Figure 1 presents schematically the weight loss for the base metal and the TIG and MIG welded joints depending on the testing temperature.

The macroscopic aspects of the corroded surfaces of specimens subjected to corrosion testing according to ASTM G48, are presented in figures 2...7.

degradări locale dispuse lamelar (epruveta 23), prin apariția coloraturii de corodare cu formațiuni fine de puncte de coroziune.

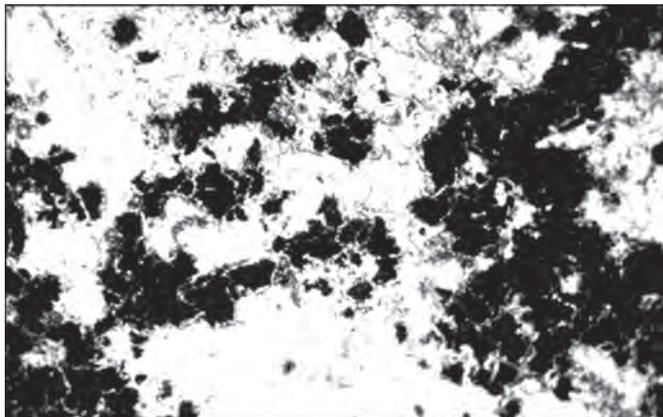


Figura 8. Epruveta 12, R3 / SUD [100x]  
Figure 8. Specimen 12, R3 / WELD [100x]

Examinările microscopice efectuate relevă prezența fenomenelor de degradare prin coroziune în puncte pe epruvetele prelevate din îmbinările realizate cu procedeele de sudare WIG, MIG în impulsuri (figurile 8 și 9).

## Concluzii

În urma analizei rezultatelor experimentale se pot concluziona următoarele:

- Rezistența la coroziune în puncte a îmbinărilor sudate, indiferent de procedeele de sudare utilizate, este mai scăzută decât cea a metalului de bază.
- Temperaturile de încercare reprezintă un factor determinant în producerea și accelerarea fenomenelor de coroziune; acestea sunt mult mai agresive la temperatura de +50°C față de +22°C.
- În condițiile specificate ale experimentărilor, rezistența la coroziune în puncte a îmbinărilor sudate cu procedeele WIG în impulsuri este mai redusă decât cea a îmbinărilor sudate cu procedeele MIG în impulsuri, diferență vizibilă mai ales la temperatura de încercare de 22°C.

## Bibliografie/Bibliography

- [1]. BURCĂ, M., NEGOIȚESCU, S. ș.a.: Considerații asupra parametrilor tehnologici la sudarea MIG/MAG în curent pulsant. A III-a sesiune de comunicări științifice "Creație și creativitate universitară în perioada de tranziție", Analele Universității, Seria A, nr. 2, 1995, Târgu Jiu, România
- [2]. RÜGE, J.: Tehnici moderne de sudare. Cercetări pentru practică. Schweißen&Schneiden, nr. 52, p. 172-174, 2000, Düsseldorf, Germania
- [3]. JONI, N. Calculul energiei introduse în îmbinările sudate în cazul sudării MIG/MAG în impulsuri. Sudura 2001, nr. 4, pag. 63-67, Timișoara, România
- [4]. \*\*\*: ASTM G 48. Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by the Use of Ferric Chloride Solution

## Results analysis

Analysing the corroded surfaces of the tested specimens at 22°C, the presence of degradation by corrosion can be seen in the weld (specimens 10, 17), and at the temperature of 50°C these degradations are strongly relieved (specimens 12, 20).

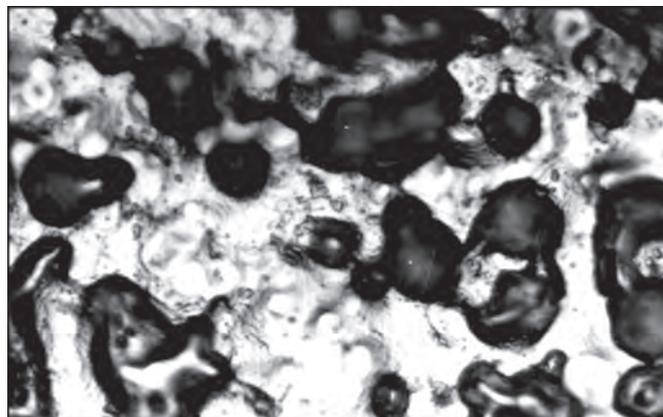


Figura 9. Epruveta 20, R4 / SUD [500x]  
Figure 9. Specimen 20, R4 / WELD [500x]

The base metal tested at 22°C present no degradation by corrosion, but at 50°C local lamellar degradations (specimen 23) appear revealed by the corrosion colour and fine corrosion points.

The microscopic examinations illustrate the presence of degradation phenomena by pitting corrosion on the samples welded by pulsed TIG and MIG processes (figures 8 and 9).

## Conclusions

Following the analysis of the experimental results the following conclusions are to be drawn:

- The pitting corrosion resistance of the welded joints, not depending on the welding process used, is lower than that of the base metal.
- The testing temperatures represent a determinant factor in the production and the acceleration of the corrosion phenomena; these are more aggressive at +50°C as against +22°C.
- In the specified experimental conditions, the pitting corrosion resistance of the pulsed TIG welded joints is lower than that of the pulsed MIG welded joints, the difference being obvious at the testing temperature of 22°C.



	<b>S.C. SOLUTII C.N.D. – S.R.L</b> Aleea Arubium nr. 61-63 Ro. 022944 Bucuresti 2 email: <a href="mailto:office@solutiicnd.ro">office@solutiicnd.ro</a>	Tel : 021 2412325 Fax: 021 2412320 <a href="http://www.solutiicnd.ro">www.solutiicnd.ro</a>
	Capital social 50.000.000. lei	<b>REPREZENTANT AUTORIZAT</b> Echipamente și materiale pentru CND
		<b>KARL DEUTSCH</b> CONTROL US CONTROL PM CONTROL LP
	Instalații de control cu curenți turbionari <b>PRÜFTECHNIK</b> cu bobine, sisteme rotative, sonde răcite	CONTROL profile CONTROL suduri CONTROL la cald