



A XVIII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
CLUJ NAPOCA, 2018

MODELAREA MATEMATICĂ A REZISTENȚELOR MEDII DE RUPERE LA TRACȚIUNE A ÎMBINĂRILOR SUDATE DIN OȚELURI SLAB ALIATE ÎN FUNCȚIE DE REZISTENȚELE DE RUPERE LA TRACȚIUNE A MATERIALELOR DE BAZĂ

Lenuța CÎNDEA

MATHEMATICAL MODELLING MEAN RESISTANCES TENSILE STEEL WELDED JOINTS BY RESISTANCE LOW ALLOY TENSILE BASIC MATERIALS

In the paper are elaborated the mathematical models of two types of low alloy steels used for the construction of fluids for the transport of fluids. The experimental study was conducted on two types of low alloyed steels: steel 13CrMo4-5 and 16Mo3. The correlation between the average tensile breaking strengths of the welded joints (untreated or heat treated by stress) by means of the processes 111, 141 and 511, as well as the breaking strength of the base materials (13CrMo4-5 and 16Mo3) according to the linear energy used for welding.

Keywords: low alloy steels, model, the average tensile breaking strengths

Cuvinte cheie: oțeluri slab aliate, model, rezistențe medii de rupere la tracțiune

1. Introducere

La sudarea cu arcul electric, parametrii tehnologici primari (I_s curentul de sudare, U_a și v_s) sunt variabile decizionale [5]. Sudorul

poate da orice valori acestor parametri și, chiar în timpul sudării le poate modifica valorile [1].

Diametrul electrozilor este o mărime legată. La un curent de sudare I_s dat, diametrul electrozilor are o valoare determinată prin corelațiile existente între cele două mărimi. În plus, sudorul nu îl poate modifica în timp ce sudează. Starea de oboseală a sudorului în cele opt ore de lucru, este o variabilă aleatoare, fiindcă nu cunoaștem acțiunea ei. Totodată, efectele ei, variază de la un sudor la altul [6].

Optimizarea funcționării sistemului se face optimizat, funcția obiectiv având un maxim sau un minim, depinzând de caz [2], [4].

2. Rezultatele planului experimental

Rezultatele experimentale obținute sunt centralizate în tabelul 1 (Rezistențele de rupere la tracțiune a materialelor de bază și a îmbinărilor sudate).

Tabelul 1

Nr. crt.	Materialul de bază (Proba sudată)	Energia liniară, E_l , KJ/cm		Rezistența de rupere la tracțiune, R_m , N/mm ²	
		E_{l2}	0	R_{m1}	507
1	13CrMo4-5	E_{l2}	0	R_{m1}	507
2	E1 (111)	E_{lE}	18,9	R_{mE1}	513,5
3	W1 (141)	E_{lW}	30,8	R_{mW1}	578,5
4	F2 (511)	E_{lF}	2,52	R_{mF1}	527,5
5	E1T (111)	E_{lE}	18,9	R_{mE1T}	516,5
6	W1T (141)	E_{lW}	30,8	R_{mW1T}	571,5
7	F1T (511)	E_{lF}	2,52	R_{mF1T}	489,5
8	16Mo3	E_{l3}	0	R_{m2}	607
9	E2 (111)	E_{lE}	18,9	R_{mE2}	553
10	W2 (141)	E_{lW}	30,8	R_{mW2}	544
11	F2 (511)	E_{lF}	2,52	R_{mF2}	550
12	E2T (111)	E_{lE}	18,9	R_{mE2T}	551
13	W2T (141)	E_{lW}	30,8	R_{mW2T}	569
14	F2T (511)	E_{lF}	2,52	R_{mF2T}	571,5

În tabelul 1 s-au făcut următoarele notații:

✚ R_{m1} - rezistența de rupere la tracțiune a materialului de bază 2 (13CrMo4-5);

✚ R_{mE1} - rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din proba sudată E2 fără tratament termic;

✚ R_{mW1} - rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din proba sudată W2 fără tratament termic;

✚ R_{mF1} - rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din proba sudată F2 fără tratament termic;

✚ R_{mE1T} - rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din proba sudată E2T cu tratament termic de detensionare TD2;

✚ R_{mW1T} - rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din proba sudată W2T cu tratament termic de detensionare TD2;

✚ R_{mF1T} - rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din proba sudată F2T cu tratament termic de detensionare TD2;

Aceleași notații cu indicele 2 sunt făcute pentru materialul al doilea din oțel 16Mo3.

Se consideră că rezistențele de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate prin cele trei procedee, cu și fără tratament termic de detensionare, variază cu energiile liniare folosite la sudare, în funcție de rezistențele de rupere la tracțiune a materialelor de bază, după o relație de forma (1):

$$R_{mPS}(E_l) = R_{MB} \cdot f(E_l) \quad (1)$$

în care: R_{mPS} este rezistența medie de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din proba sudată;

R_{mMB} - rezistența de rupere la tracțiune a materialului de bază
 E_l - energia liniară.

S-a urmărit astfel, determinarea funcțiilor $f(E_l)$ pentru cele două materiale de bază (13CrMo4-5 și 16Mo3), trei procedee de sudare (111, 141 și 511), cu și fără tratament termic de detensionare (TD1, TD2) [3].

3. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic și a oțelului de bază aliat marca 13CrMo4-5 în funcție de energia liniară folosită la sudare

$$f_0 = 1.0128205128205128205128205128205$$

$$f_1 = 1.1410256410256410256410256410256$$

$$f_2 = 1.0404339250493096646942800788955$$

$$E_{IE} = 18.9$$

$$E_{IW} = 30.8$$

$$E_{IF} = 2.52$$

După derivare și simplificare, s-a obținut un sistem de 3 ecuații cu 3 necunoscute. Pentru determinarea celor 3 necunoscute s-a folosit regula lui Cramer.

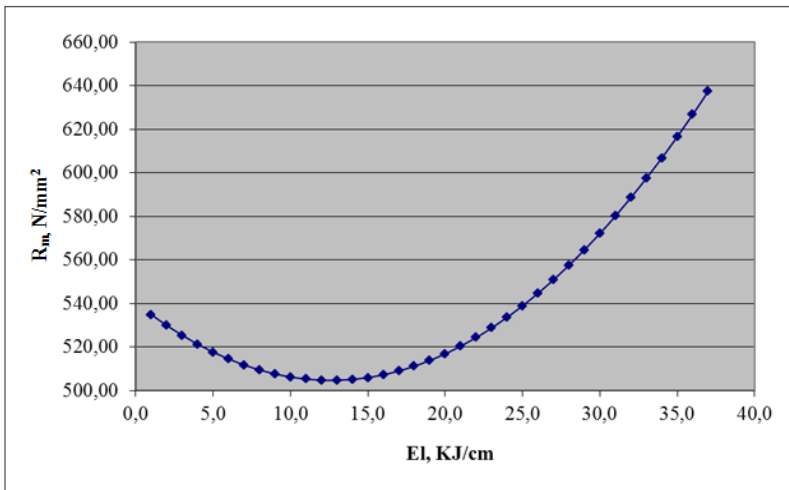


Fig. 1 Distribuția rezistențelor de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic și a oțelului aliat marca 13CrMo4-5 în funcție de energia liniară folosită la sudare

Determinantul lui $z = -2.5905470258659363E8$

Determinantul lui $y = 2703869.042113781$

Determinantul lui $x = -107099.18625968322$

Determinantul sistemului = $-2.4309191500161743E8$

Rezultă soluțiile:

$$z = 1.0656656$$

$$y = -0.011122826$$

$$x = 4.4057076E-4$$

În figura 1 este prezentată distribuția rezistențelor de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic și a oțelului aliat marca 13CrMo4-5 în funcție de energia liniară folosită la sudare.

Deci, rezistența medie la rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate și a materialului de bază în funcție de energia liniară folosită la sudare variază după relația:

$$R_m PS(E_l) = R_m MB \cdot (4.4057076E - 4E_l^2 - 0.011122826E_l + 1.0656656)$$

4. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic și a oțelului de bază aliat marca 16Mo3 în funcție de energia liniară folosită la sudare

$$f_0 = 0.91103789126853377265238879736409$$

$$f_1 = 0.89621087314662273476112026359143$$

$$f_2 = 0.90609555189456342668863261943987$$

$$E_{IE} = 18.9$$

$$E_{IW} = 30.8$$

$$E_{IF} = 2.52$$

După aceeași metodă menționată anterior, s-a obținut un sistem de 3 ecuații cu 3 necunoscute. Pentru determinarea celor 3 necunoscute ne folosim de regula lui Cramer.

$$\text{Determinantul lui } z = -2.194460297717247E8$$

$$\text{Determinantul lui } y = -358316.6197605133$$

$$\text{Determinantul lui } x = 13303.849997770041$$

$$\text{Determinantul sistemului} = -2.4309191500161743E8$$

Rezultă soluțiile:

$$z = 0.9027286$$

$$y = 0.0014739964$$

$$x = -5.4727654E-5$$

Deci, rezistența medie de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate și a materialului de bază în funcție de energia liniară folosită la sudare variază după relația:

$$R_m PS(E_l) = R_m MB \cdot (-5.4727654E - 5E_l^2 - 0.0014739964E_l + 0.9027286)$$

În figura 2 este prezentată distribuția rezistențelor de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic și a oțelului aliat marca 10CrMo9-10 în funcție de energia liniară folosită la sudare.

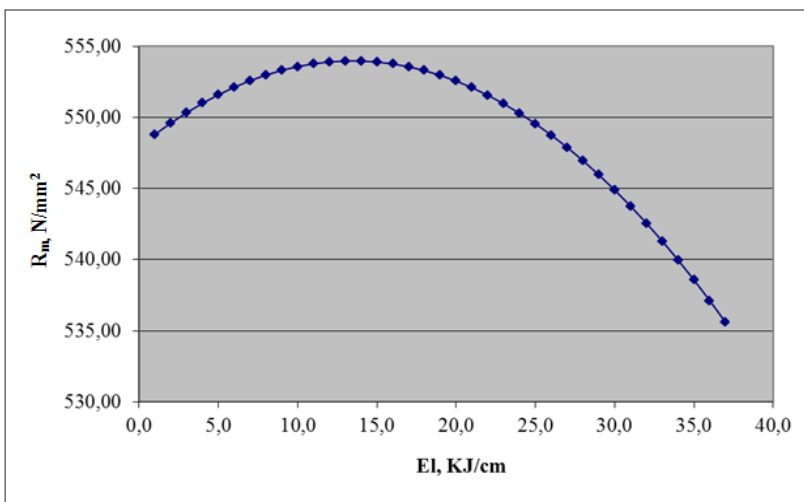


Fig. 2 Distribuția rezistențelor de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate netratate termic și a oțelului aliat marca 16Mo3 în funcție de energia liniară folosită la sudare

5. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic și a oțelului de bază aliat marca 13CrMo4-5 în funcție de energia liniară folosită la sudare

$$\begin{aligned}
 f_0 &= 1.0187376725838264299802761341223 \\
 f_1 &= 1.1272189349112426035502958579882 \\
 f_2 &= 0.96548323471400394477317554240631 \\
 E_{IE} &= 18.9 \\
 E_{IW} &= 30.8 \\
 E_{IF} &= 2.52
 \end{aligned}$$

Sistemul de 3 ecuații cu 3 necunoscute se rezolvă folosind regula lui Cramer.

$$\begin{aligned}
 \text{Determinantul lui } z &= -2.351106339829216E8 \\
 \text{Determinantul lui } y &= 289529.46814608574 \\
 \text{Determinantul lui } x &= -50413.943276293576
 \end{aligned}$$

Determinantul sistemului = -2.4309191500161743E8

Rezultă soluțiile : $z = 0.9671676$

$y = -0.0011910287$

$x = 2.0738634E-4$

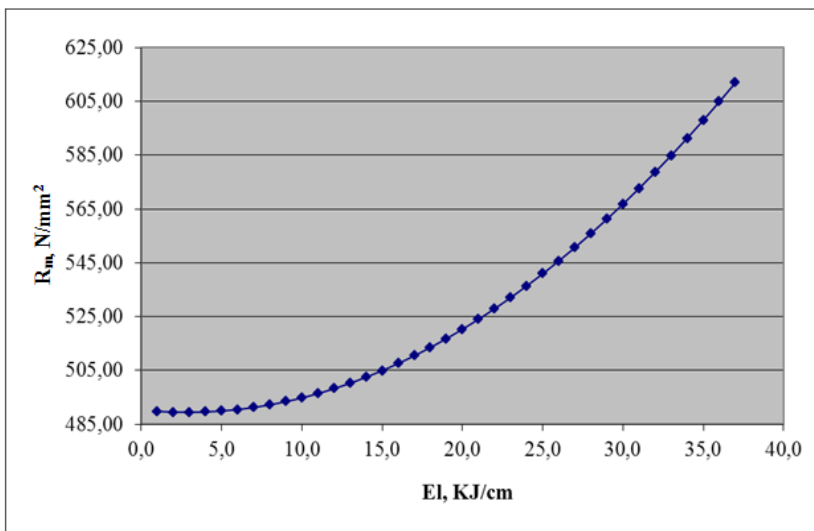


Fig. 3 Distribuția rezistențelor de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic și a oțelului aliat marca 13CrMo4-5 în funcție de energia liniară folosită la sudare

Deci, rezistența medie de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate și a materialului de bază în funcție de energia liniară folosită la sudare variază după relația:

$$R_{mPS}(E_l) = R_{mMB} \cdot (2.0738634E - 4E_l^2 - 0.0011910287E_l + 0.9671676)$$

În figura 3 este prezentată distribuția rezistențelor de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic și a oțelului aliat marca 13CrMo4-5 în funcție de energia liniară folosită la sudare.

6. Modelarea matematică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic și a oțelului de bază aliat marca 16Mo3 în funcție de energia liniară folosită la sudare

$f_0 = 0.90774299835255354200988467874794$

$f_1 = 0.93739703459637561779242174629325$
 $f_2 = 0.94151565074135090609555189456343$
 $E_{IE} = 18.9$
 $E_{IW} = 30.8$
 $E_{IF} = 2.52$

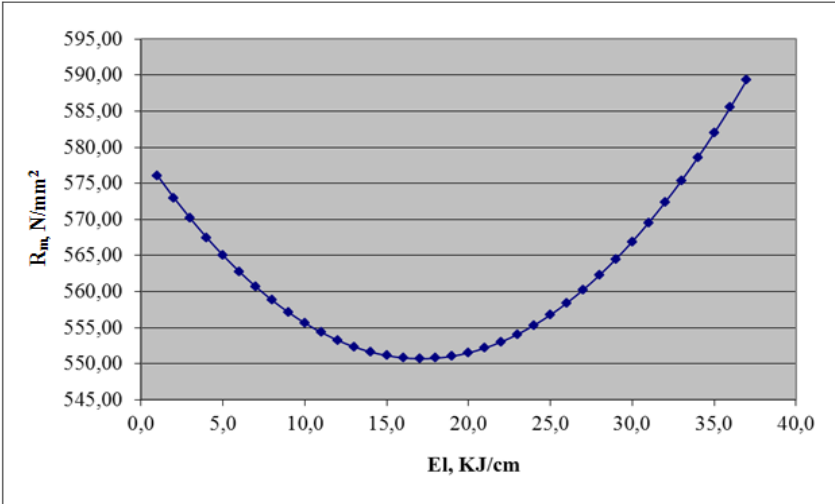


Fig. 4 Distribuția rezistențelor de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic și a oțelului aliat marca 16Mo3 în funcție de energia liniară folosită la sudare

Pentru determinarea celor 3 necunoscute folosim de regula lui Cramer.

Determinantul lui $z = -2.320022304955101E8$
 Determinantul lui $y = 1339668.9104497433$
 Determinantul lui $x = -39143.6289880164$
 Determinantul sistemului = $-2.4309191500161743E8$
 Rezultă soluțiile :
 $z = 0.9543807$
 $y = -0.005510956$
 $x = 1.6102399E-4$

Deci, rezistența medie de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate și a materialului de bază în funcție de energia liniară folosită la sudare variază după relația:

$$R_m PS(E_l) = R_m MB \cdot (1.6102399E - 4E_l^2 - 0.005510956E_l + 0.9543807)$$

În figura 4 este prezentată distribuția rezistențelor de rupere la tracțiune a îmbinărilor sudate tratate termic și a oțelului aliat marca 16Mo3 în funcție de energia liniară folosită la sudare.

7. Concluzii

■ Între rezistențele de rupere la tracțiune a materialelor de bază și energiile liniare folosite la sudare există o dependență funcțională, aceasta fiind aproximată de o funcție cu variație parabolică.

■ Folosind una dintre cele mai des utilizate metode pentru modelarea matematică a datelor experimentale, s-au obținut relații pentru aproximarea analitică a rezistențelor medii de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate din oțeluri termorezistente, în funcție de energia liniară folosită la sudare, prin cele trei procedee de sudare cu și fără tratament termic de detensionare.

■ Pentru oricare din calitățile și tipodimensiunile de țevă din oțel termorezistent, pentru care cunoaștem rezistența de rupere la tracțiune a materialului de bază, și oricare din cele trei procedee de sudare, modificarea energiei liniare totale introdusă în proba sudată cap la cap, face posibilă estimarea rezistențelor medii de rupere la tracțiune a epruvetelor prelevate din probele sudate (netratate sau tratate termic prin detensionare).

■ Cu cât rezultatele experimentale sunt mai exacte, cu atât modelul matematic descrie cât mai fidel procesul studiat.

BIBLIOGRAFIE

- [1] L. Cîndea, C. Hațiegan, N. Pop, R. Negrea, E. Răduca, G-R Gillich, Moșteanu D, M-D Nedeloni, *The influence of thermal field in the electric arc welding of X60 carbon steel components in the CO₂ environment*, Applied Thermal Engineering, Vol. 103., 1164-1175, 2016
- [2] C. Marta, I. Tătucu, L. Suciuc, V. Bizău, s.a., *Determining the Temperature Variation of the on the Wall of the Casting Mould during the casting of the Hadfield Steel*, Annals of DAAAM for 2009&Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium, pag.141-150Vienna, Austria, 2011
- [3] L. Cîndea, M-D Nedeloni, C-I Lupinca, C. Fănică, M. Jurcu, M-V Stan, *Cavitation Erosion Research on C45 Carbon Steel. PART II: EXTENDED DURATION FOR 900 MINUTES*. Analele Universității „Constantin Brâncuși”, Tg. Jiu, 2015.

- [4] Hatiegan Cornel, Gilbert-Rainer Gillich, Eugen Răduca, Marian-Dumitru Nedeloni, Lenuta Cîndea, *Equation of Motion and Determining the Vibration Mode Shapes of a Rectangular Thin Plate Simply Supported on Contour Using MATLAB*, Annals of the University „Eftimie Murgu” Resita, year XX, nr. 1, pag.127-138.
- [5] Constantin Marta, Ioan Doroftei, Lenuța Suciu, Iancu Tatucu, Prisacaru Gheorghe, Hamat Codruta, *Influence of thermal field in the GMAW Process: Modelling and Comparison with Experimental Results*, Annals of DAAAM for 2008& Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium, Viena-Austria, , ISBN 978-3-901509-68-1, ISSN 1726-9679, pp. 817-819.
- [6] C Hațiegan, N Gillich, C Popescu, E Răduca, L Cîndea, M F Predus, and I M Terfăloagă., *Study regarding the influence of environmental temperature and irradiation conditions on the performance of a photovoltaic solar module*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 294, pp. 012-075.

Șef lucr. Dr.Ing. Lenuța CÎNDEA
Universitatea Eftimie Murgu Reșița
Facultatea de Inginerie și Management
Departamentul de Inginerie Mecanică și Management
membru AGIR

e-mail: l.cindea@uem.ro