

SUDAREA PRIN PRESIUNE ÎN PUNCTE A MATERIALELOR COMPOZITE METALICE MCM SiI3-S235JR CUPRAT



Conf. dr. ing. Mihaela POPESCU,
Universitatea „Politehnica” din
Timișoara

Absolventă a Institutului Politehnic din
Timișoara (1978) și doctor în științe
tehnice din 1998. A efectuat stagiatura la

UCM Reșița și IURT Lugoj, iar în perioada 1981 – 2001 a
lucrat în cercetare la ISIM Timișoara, ajungând CP II. Din anul
2001 este cadru didactic la UP Timișoara, colectivul UTS.
Autoare a 17 cărți publicate în edituri recunoscute CNCIS și
150 lucrări susținute și publicate, responsabil la peste 80
contracte de cercetare, este membră AGIR, ASR și ACM-V.
Domeniile de competență: Îmbinarea materialelor avansate;
Acoperiri termice și recondiționare prin sudare; Tehnologii de
sudare prin topire; Documentare în domeniul tehnologic de
sudare și control; Terminologie.

REZUMAT. Sunt prezentate rezultatele sudării prin presiune în puncte, cu ajutorul echipamentului TECNA, din dotarea Catedrei SMS a Facultății de Mecanică din Timișoara, a tablelor din material compozit MCM SiI3-S235 JR cuprat, elaborat în șarjă experimentală. Sunt dați parametri de sudare, dar și rezultatele analizelor micro-macroscopice, respectiv de măsurare a durității pe 6 probe.

Cuvinte cheie: material compozit metalic, sudare prin presiune, sudare în puncte, echipament de sudare, parametrii de sudare, micro-macro-structura, firma TECNA.

ABSTRACT. It presents the results of resistance spot welding by means of TECNA equipment within the SMS department of the Faculty of Mechanics from Timișoara, of the metallic composite material coppered MCM SiI3-S235 JR plates, elaborated in the experimental batch. The welding parameters are given, but also the results of micro-macroscopic analyses, hardness measurement on 6 probes, respectively.

Keywords: metallic composite material, pressure welding, points welding, welding equipment, welding parameters, micro-macro-structure, TECNA Company.

1. ASPECTE GENERALE

Sudarea MCM prin procedeul de sudare prin presiune în puncte, a condus, urmare unui program experimental, la rezultate corespunzătoare.

2. ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE

Stabilirea tehnologiei de sudare prin presiune în puncte a tablelor din MCM SiI3-S235JR cuprat, de diferite grosimi, s-a făcut utilizând echipamentul TECNA

cu braț oscilant cu pedală și pneumatic de 16-25 kVA (fig. 1) [4, 5].

Instalația poate realiza îmbinări pe grosimi de table între 0,12 și 4 mm, având lungimea în intervalul 230-700 mm. Performanțele echipamentului sunt prezentate în tabelul 1, în funcție de varianta de putere instalată [5].

Sudarea se execută în conformitate cu ciclograma din figura 2 și parametrii tehnologici de sudare pentru toate îmbinările realizate prin sudare prin presiune în puncte, sunt prezentați în tabelul 2. Reprezentarea grafică a caracteristicilor sursei în timpul sudării (fig. 3) prezintă pentru cele 7 studii de caz aspecte similare.

Ș.I. dr. ing. Stelian NEGOIȚESCU

Dr. ing. Remus BELU-NICA

Prep. dr. ing. Camelia DEMIAN

Conf. dr. ing. Aurel RĂDUȚĂ

Fiz. drd. Cosmin LOCOVEI

Universitatea „Politehnica” din Timișoara

Ing. Marta CONSTANTIN

Sing. Angela CÂNEPARU

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în
Sudură și Încercări de Materiale – ISIM, Timișoara

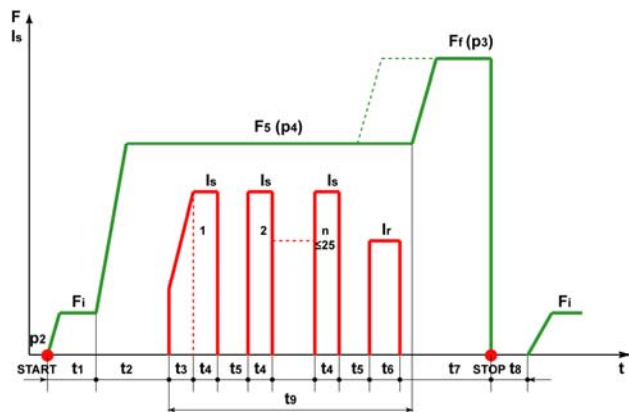
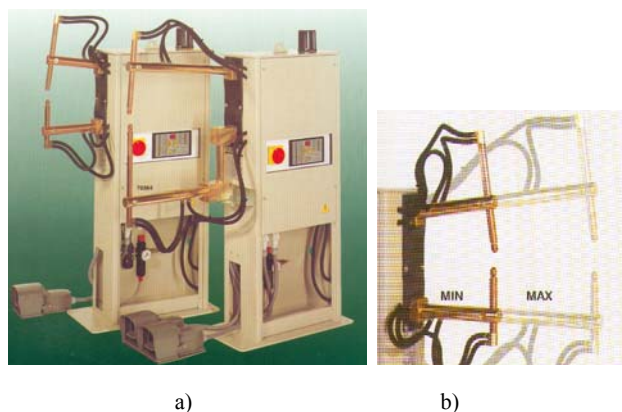


Fig. 1. Echipamentul TECNA de sudare prin presiune în puncte utilizat pentru îmbinările MCM Si13-S235JR cuprat a) instalația de sudare b) brațul reglabil [1]

Fig. 2. Ciclograma de funcționare a echipamentului TECNA de sudare prin presiune în puncte utilizat pentru îmbinările MCM Si13-S235JR cuprat [1]

Tabelul 1. Performanțe ale echipamentului de sudare prin presiune în puncte TECNA

Grosime table [mm]	Lungime brațe [mm]	Diametru electrod [mm]	Timp de sudare [s]	Număr de puncte
Tip 16 kVA				
0,8+0,8	230	5	6	4000
1,5+1,5	230	5,5	14	2800
2,5+2,5	230	7,5	60	600
2+2	550	7	55	1000
1,5+1,5	700	6	50	1000
Tip 20 kVA				
0,8+0,8	230	4,5	5	4000
1,5+1,5	230	5,5	12	3400
3+3	230	8	55	400
1+1	550	5	5	4000
2+2	550	7	40	1200
2+2	700	7	50	1100
Tip 25 kVA				
0,8+0,8	230	4,5	5	4000
1,5+1,5	230	5,5	12	3400
3+3	230	8	55	400
1+1	550	5	5	4000
2+2	550	7	40	1200
2+2	700	7	50	1100
4+4	230	11	80	220
0,6+0,6	550	16	15	4000
0,8+0,8	230	16	20	1600
0,12+0,12	230	16	40	500

Tabelul 2. Parametrii tehnologici de sudare în conformitate cu ciclograma mașinii [1, 4]

Nr.	Grosime s [mm]	Timp de strângere t_1 (0-99)p	Timp de creștere a curent t_3 (0-50)p	Timp de sudare t_4 (1-99)p	Timp de forjare t_9 (0-99)p	Forța de strângere F_s [daN]	Forța de refulare F_f [daN]	Faza	Curent măsurat I_s [kA]	Tensiunea de alimentare U_{Ir} [V]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2,5+2,5	70	3	6	9	400	630	1	39,9	367,3
								2	40,5	354,6
								3	41,1	348,3
								4	41,1	348,3
								5	41,1	348,3
								6	41,1	348,3

Tabelul 2 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	3,0+3,0	70	3	8	11	400	630	1	43,4	360,9
								2	44,0	348,3
								3	44,6	348,3
								4	44,6	348,3
								5	44,6	348,3
								6	44,6	348,3
								7	45,2	348,3
								8	46,0	348,3
3	3,0+3,0	70	3	8	11	400	630	1	43,4	354,6
								2	44,0	348,3
								3	44,6	342,0
								4	45,2	342,0
								5	46,0	342,0
								6	46,0	342,0
								7	46,0	342,0
								8	46,3	342,0
4	3,0+3,0	70	3	7	10	400	630	1	37,5	367,3
								2	38,7	342,0
								3	39,9	348,3
								4	40,5	348,3
								5	41,1	348,3
								6	41,1	348,3
								7	41,6	348,3
								8	42,2	348,3
5	2,5+2,5	70	3	7	10	500	630	1	35,1	367,3
								2	36,3	354,6
								3	37,5	354,6
								4	38,0	354,6
								5	38,0	354,6
								6	38,7	354,6
								7	38,7	354,6
6	2,5+3,0	70	3	7	10	500	615	1	32,8	367,3
								2	34,0	360,9
								3	35,2	354,6
								4	36,0	354,6
								5	36,0	354,6
								6	36,0	354,6
								7	36,4	354,6
7	1,0+0,5	70	1	3	4	220	330	1	25,2	380,0
								2	26,4	367,3
								3	27,0	367,3
Pentru toate probele:			Timp de strângere: $t_1(0-99)p = 70$			Timp post sudare: $t_6(0-99)p = 0$				
			Timp de răcire: $t_5(0-99)p = 0$			Timp de menținere + forjare: $t_7(1-99)p = 40$				

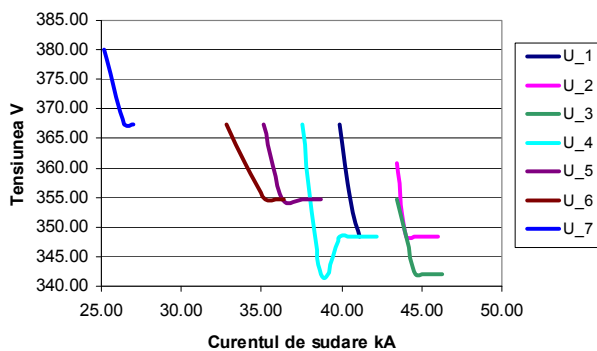


Fig. 3. Caracteristicile sursei de alimentare în timpul sudării.

În primele faze (secunde) ale procesului de sudare, tensiunea scade brusc, menținându-se apoi constantă pe toată durata realizării îmbinării. Pentru probele sudate 2 și 3 (table de grosime 3 mm) caracteristicile sunt practic identice, dar la proba 2 curba corespunzătoare apare de-calată, spre zona unor tensiuni de valoare mai ridicată. Cu toate acestea, puterea aparentă în timpul procesului este în ambele cazuri practic aceeași (fig. 4), ceea ce se explică prin parametrii identici ai regimului de sudare (tabelul 2).

Din motive similare sunt practic grupate regimurile la probele 1 și 4, respectiv 5 cu 6, atât în ceea ce pri-

vește caracteristicile tensiune-curent, cât și variația puterii aparente a sursei de sudare. În mod normal, aceste observații trebuie regăsite în aspectele microstructurale ale îmbinărilor realizate în aceste regimuri.

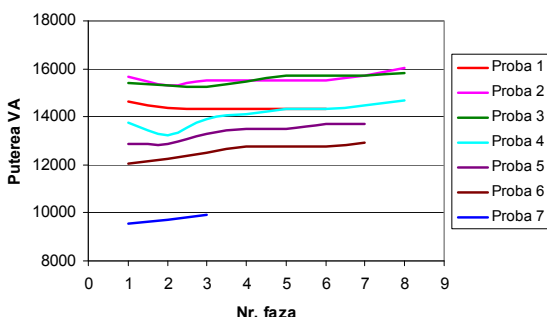


Fig. 4. Puterea aparentă a sursei în timpul sudării.

Analiza macro și microstructurală. La fiecare probă atacul metalografic pentru matricea de aliaj de aluminiu s-a realizat cu reactivul specific: 1 ml HF + 5 ml H₂O₂ timp de 3 min. la o temperatură de 35°C. Pentru sârma de oțel S235 JR atacul s-a realizat cu reactivul nital 3% (100 ml alcool tehnic 97° +3 ml HNO₃ cu concentrație de 37%), timp de 30 s. la o temperatură de 20°C [1, 2, 3].

• **Proba 1.** Aspectul macrostructural al îmbinării este prezentat în figura 5, inserțiile fiind situate aproximativ în zona centrală. Se observă o serie de goluri în îmbinare ca urmare a curentului de sudare relativ redus pentru grosimea respectivă de tablă.

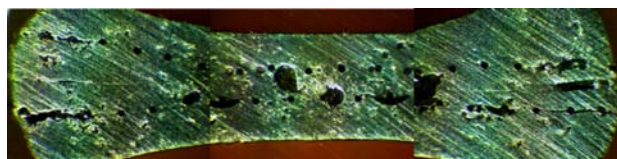


Fig. 5. Aspectul macroscopic al probei 1, MO 15x.

Structura matricei este eutectică (Al-Si), grosieră în metalul de bază și fină în zona influențată termic (fig. 6, a) cu o proporție relativ mare de pori, iar în jurul firelor există porțiuni cu contact corespunzător, dar și pori (fig. 6, b).

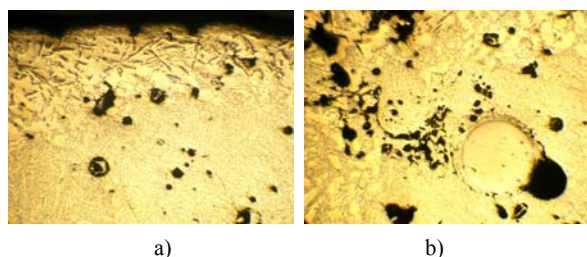


Fig. 6. Aspectul microscopic al probei 1, MO 100x neatat.

Structura metalului matricei și a zonei influențate termic, după atacul metalografic, se prezintă în figurile 7 a și b.

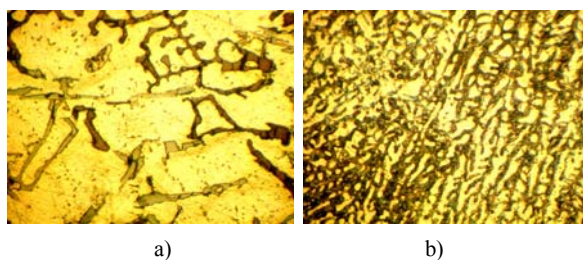


Fig. 7. Aspectul microscopic al probei 1, MO 500x.

În figura 8 se prezintă structura zonei de contact dintre sârma de oțel acoperită cu un strat de cupru și matrice. Există zone cu contact corespunzător (a) și zone cu desprinderi ale inserției față de matrice (b).

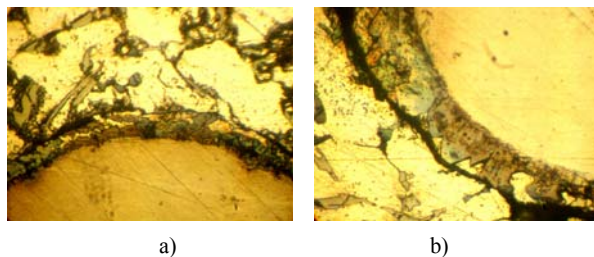


Fig. 8. Aspectul microstructural al zonei de contact matrice – sârma de oțel, MO 500x.

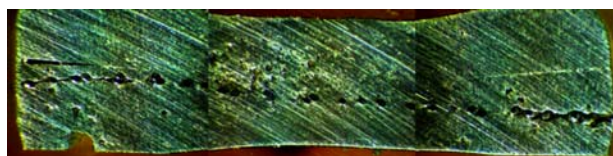


Fig. 9. Aspectul macroscopic al probei 2, MO 15x.

• **Proba 2.** Este asemănătoare din punct de vedere macroscopic probei 1, dar are mult mai puțini pori, ceea ce se corelează cu parametrii tehnologici utilizați la realizarea îmbinării.

Structura matricei este formată din eutectic grosier Al-Si în zona metalului de bază și eutectic fin în zona influențată termic (fig. 10, a). Sârma de oțel este, în general, în contact cu matricea, dar există și zone de discontinuități (figurile 10, b și c) [1, 2, 3].

Structura metalului matricei și a zonei influențate termic, după atacul metalografic, se prezintă în figurile 11, a și b.

Structura zonei de contact dintre sârma de oțel acoperită cu un strat de cupru și matrice este asemănătoare celei obținute pentru proba 1.

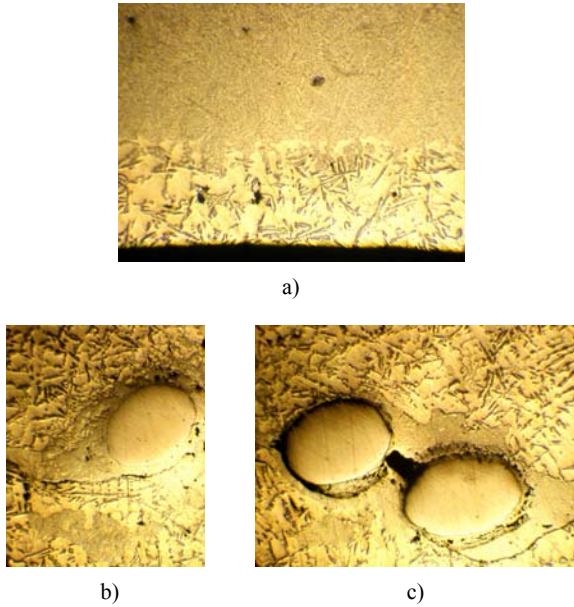


Fig. 10. Aspectul microscopic al probei 2, MO 100x neatacat.

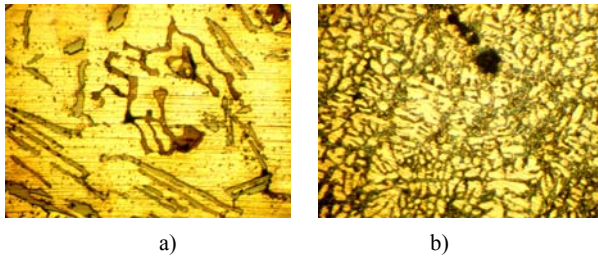


Fig. 11. Aspectul microscopic al probei 2, MO 500x

• **Proba 3.** Prezintă un aspect macrostructural corespunzător, dar inserția de oțel se află practic în afara zonei îmbinării.

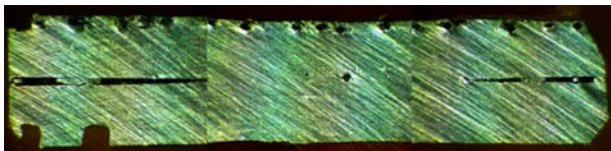


Fig. 12. Aspectul macroscopic al probei 3, MO 15x

Proba 3 are matricea formată dintr-un aliaj de aluminiu hipoeutectic cu grăunți de dimensiuni mai mari în zona metalului de bază și o structură fină în zona influențată termic (fig. 13,a). Se constată că legătura dintre inserție și matrice este bună (fig. 13,b).

Structura metalului de bază și a zonei de trecere dintre materialul de bază și zona influențată termic, după atacul metalografic, se prezintă în figurile 14, a și b.

Structura zonei de contact dintre sârma de oțel acoperită cu un strat de cupru și matrice este prezentată

în figura 15 și indică și existența unor zone unde contactul este imperfect.

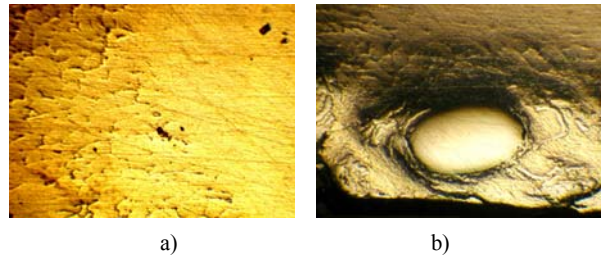


Fig. 13. Aspectul microscopic al probei 3, MO 100x neatacat.

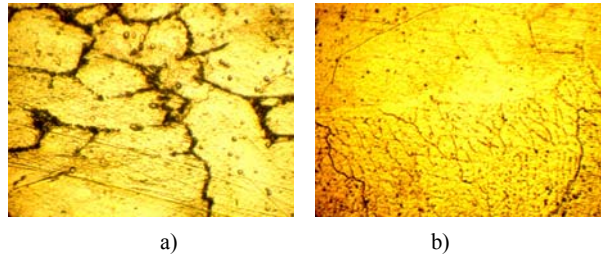


Fig. 14. Aspectul microscopic al probei 3, MO 500x.

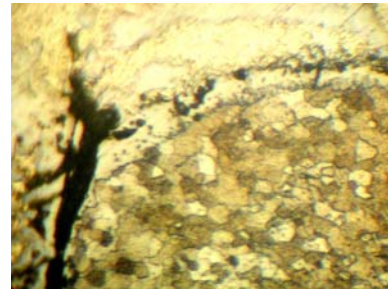


Fig. 15. Microstructura zonei de contact matrice – sârma de oțel, MO 500x.

• **Proba 4.** Aspectul macrostructural al îmbinării este prezentat în figura 16, inserțiile fiind situate aproximativ în zona superficială a îmbinării. Se observă însă o aglomerare neregulată de inserții în zona centrală.

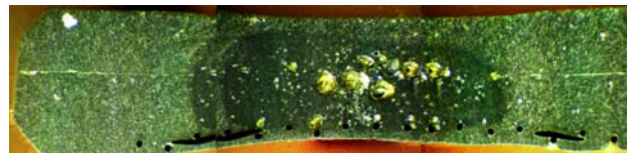


Fig. 16. Aspectul macroscopic al probei 4, MO 15x.

Structura matricei este eutectică fină în zona influențată termic și grosieră în zona metalului de bază (fig. 17,a) iar legătura dintre inserție și matrice este corespunzătoare (fig. 17, b).

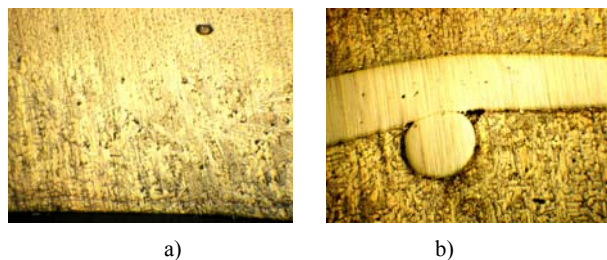


Fig. 17. Aspectul microscopic al probei 4, MO 100x neatat.

În figura 18 se prezintă, după atacul metalografic, structura matricei formată din eutectic, remarcându-se aceeași legătura bună cu firul de inserție.

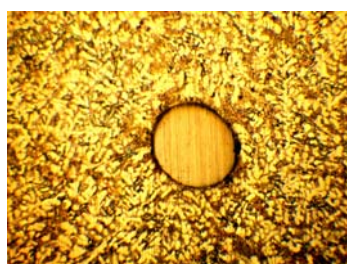


Fig. 18. Aspectul microscopic al probei 4, MO 100x.

• **Proba 5.** Aspectul macrostructural al îmbinării este prezentat în figura 19, inserțiile fiind situate aproximativ în zona centrală.

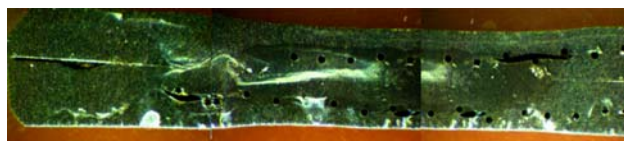


Fig. 19. Aspectul macroscopic al probei 5, MO 15x.

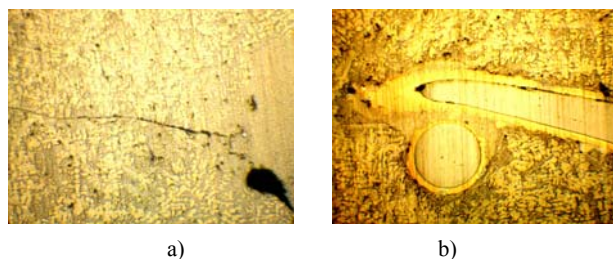


Fig. 20. Aspectul microscopic al probei 5, MO 100x neatat.

Matricea prezintă o structură similară cu proba 4 (fig. 20,a), iar legătura dintre fire și matrice este bună, observându-se stratul de cupru deșus pe fire (fig. 20,b).

În figura 21 se prezintă, după atacul metalografic, structura matricei formată din eutectic fin și se remarcă stratul de cupru deșus pe fir.

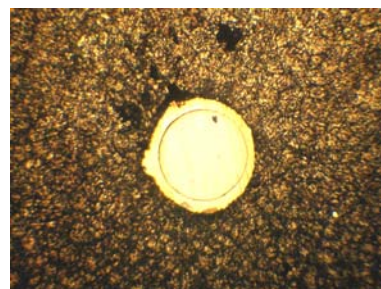


Fig. 21. Aspectul microscopic al probei 5, MO 100x.

• **Proba 6.** Aspectul macrostructural al îmbinării este prezentat în figura 22, inserțiile fiind plasate pentru o tablă în zona centrală și pentru cealaltă la suprafața acesteia. Una din table are matricea din aliaj de Al hipoeutectic, iar cealaltă din aliajul Si13.

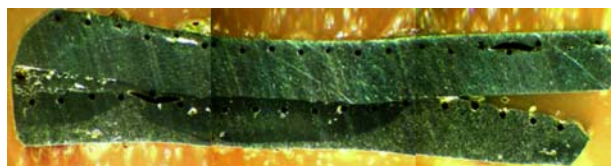


Fig. 22. Aspectul macroscopic al probei 6, MO 15x.

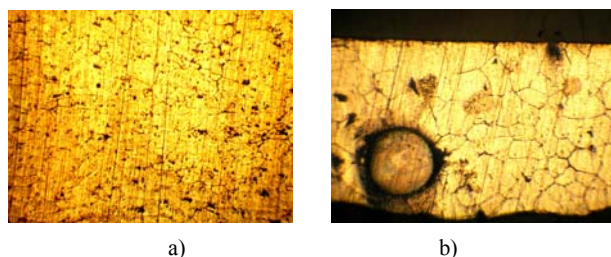


Fig. 23. Aspectul microscopic al probei 6, MO 100x.

După atacul metalografic se constată că matricea prezintă o structură similară cu probele 4 și 5 (fig. 23,a), iar legătura dintre fire și matrice este bună (fig. 23,b). Se observă în această figură, structura matricei formată din aliaj hipoeutectic.

• **Proba 7.** Aspectul macrostructural al îmbinării este prezentat în figura 24, tablele fiind de grosime mai mică decât la celelalte îmbinări și, la fel ca proba 6, îmbinarea este disimilară.



Fig. 24. Aspectul macroscopic al probei 7, MO 15x.

Calitatea îmbinării este necorespunzătoare, tablele fiind unite doar în zona punctului sudat.

Structura este similară cu cea a probei 6, în matrice se disting dendrite de α și eutectic, iar în zona influențată termic, eutectic și structura fină de α [1, 2].

Încercări de microduritate. S-au efectuat încercări de microduritate Vickers pe toate probele, cu ajutorul aparatului PMT 3, cu sarcina de 100 g . Aspectul amprentelor de duritate se prezintă în figurile 25-33, iar valorile măsurate sunt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3. Valorile medii ale durităților în materialul matricei și în ZIT

Nr. probă	Valoare duritate în matrice, HV0,1	Valoare duritate în ZIT, HV0,1
1.	61,10	104,00
2.	57,90	88,25
3.	28,00	40,00
4.	117,00	147,00
5.	137,00	159,00
6.	123,00	168,00
7.	24,80	20,90

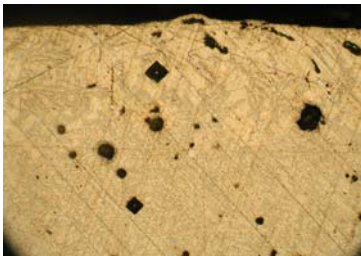


Fig. 25. Aspectul amprentelor de duritate pentru proba 1, MO 100x.



Fig. 26. Aspectul amprentelor de duritate pentru proba 2, MO 100x.

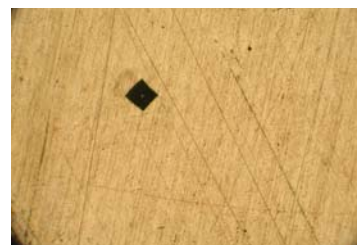


Fig. 27. Aspectul amprentelor de duritate pentru proba 3 în materialul matricei, MO 100x.

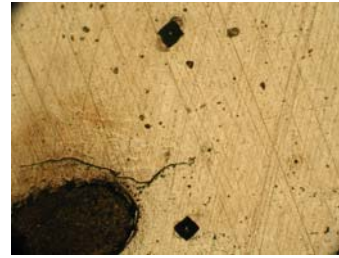


Fig. 28. Aspectul amprentelor de duritate pentru proba 3 în zona influențată termic, MO 100x.

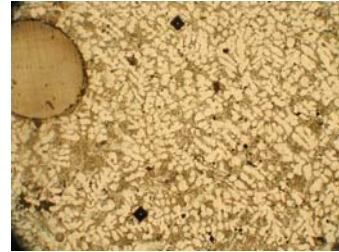


Fig. 29. Aspectul amprentelor de duritate pentru proba 4 în materialul matricei, MO 100x.

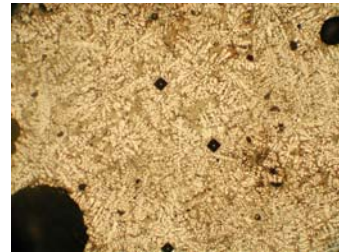


Fig. 30. Aspectul amprentelor de duritate pentru proba 4 în zona influențată termic, MO 100x.

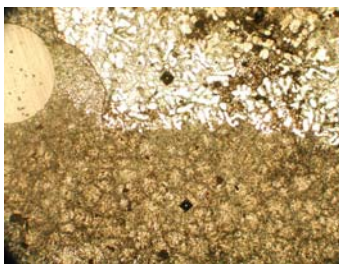


Fig. 31. Aspectul amprentelor de duritate pentru proba 5 atât în materialul matricei cât și în zona influențată termic, MO 100x.

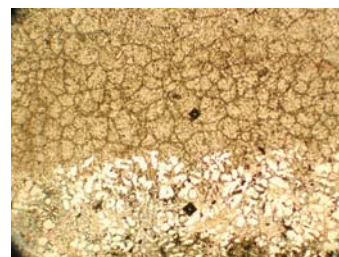


Fig. 32. Aspectul amprentelor de duritate pentru proba 6 atât în materialul hipoeutectic cât și în zona influențată termic, MO 100x.

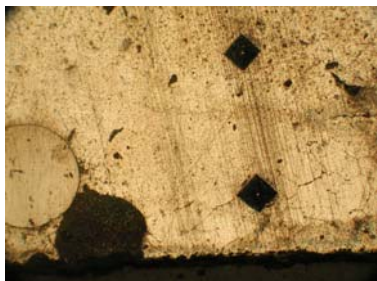


Fig. 33. Aspectul amprentelor de duritate pentru proba 7 atât în materialul hipoeutectic cât și în zona influențată termic, MO 100x.

Rezultatele măsurătorilor de microduritate indică faptul că, după sudare, materialul compozit se durifică. De asemenea, există o corespondență între valorile parametrilor de sudare, ceea ce s-a evidențiat și la analiza regimurilor de îmbinare. Astfel probele corespunzătoare studiilor de caz 4, 5 și 6 au practic parametrii comparabili, pe când celelalte patru sunt mult diferite (figurile 3 și 4).

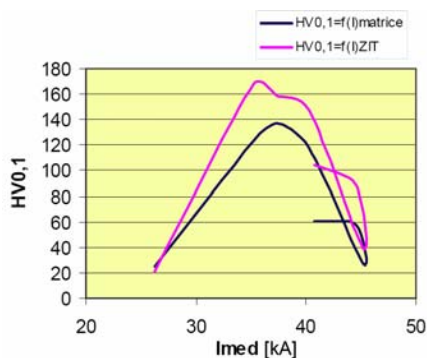


Fig. 34. Variația microdurității în funcție de curentul mediu de sudare

Dacă se reprezintă grafic valorile măsurate ale durităților în matrice și ZIT pentru probe realizate prin sudare prin puncte (figurile 34 și 35) în funcție de parametrii tehnologici de sudare (I_{med} și U_{med}) se constată în ambele situații valori mai mari în zona influențată termic decât în materialul matricei, curbele având aspecte similare, ceea ce corespunde realității la aceste tipuri de îmbinări.

Valorile maxime ale durității se obțin în matrice la un curent mediu de cca. 38 kA și la o tensiune medie

de cca. 355 V, iar în zona influențată termic la un curent mediu de cca. 37 kA și la o tensiune medie de cca. 360 V.

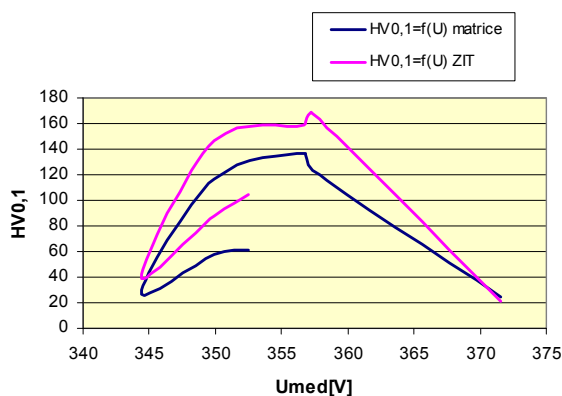


Fig. 35. Variația microdurității în funcție de tensiunea medie de sudare

CONCLUZII

- Se prezintă procedeul de sudare prin presiune, cu insistare asupra instalației TECNA, din dotarea catedrei SMS, utilizată la sudarea MCM creat.
- Sunt făcute 7 probe de MCM, evidențiindu-se rezultatele bune obținute la proba 6.
- Rezultatele obținute în urma examinărilor micro-macrostructurale și de măsurare a durității, justifică extinderea utilizării acestor materiale, pe repere distincte.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Belu-Nica R.:** *Contribuții asupra producerii și îmbinării prin sudare a unor table subțiri din materiale compozite metalice, cu matrice din aliaj de aluminiu*, Teză de doctorat UPT, 2007, Editura Politehnica Timișoara, ISBN 978-973-625-513-7
- [2] **Drăgulescu D., Popescu M.:** *Enciclopedia materialelor compozite*, Editura Politehnica Timișoara, 2006, ISBN 973-625-272-8
- [3] **Popescu M.:** *Îmbinarea materialelor avansate ••• Materiale compozite*, Editura Eurostampa Timișoara, 2006, ISBN 973-625-272-8
- [4] **Negoșescu S., Berger E., Belu-Nica R.:** *Resistance spot welding of metallic composite materials with stainless steel fibres reinforced aluminium alloy matrix*, Annals of the Oradea University, vol. IV (XIV), 2005
- [5] xxx: Prospecte TECNA