

**CERCETĂRI PRIVIND
SUDAREA PRIN FRECARĂ A
OȚELULUI CU ALIAJE DE ALUMINIU**

**RESEARCH ON FRICTION WELDING
OF STEEL WITH ALUMINUM ALLOYS**

Elena MACHEDON PISU

Universitatea "TRANSILVANIA" din Brașov, România

Person contact: elena.machedon@unitbv.ro

REZUMAT / ABSTRACT

Lucrarea prezintă aspecte tehnologice privind sudarea prin frecare a materialelor disimilare de tip oțel C45 cu aliaj de aluminiu A2024 prin utilizarea unui strat subțire intermediar sub formă de foaie subțire din Al nealiat (EN AW-A1050).

S-a făcut un studiu al calității îmbinării sudate prin: variația grosimii materialului de adaos, în funcție de timpul de frecare și în funcție de presiunea de frecare.

S-a obținut o rezistență la tracțiune a îmbinării sudate prin frecare cu material de adaos A1050 și A5056 pentru cele două materiale disimilare C45 cu A2024, $\sigma_{m1} = 270 \text{ N/mm}^2$ și $\sigma_{m2} = 375 \text{ N/mm}^2$.

The paper shows the friction welding technology issues dissimilar materials C45 steel type aluminum alloy A2024 by using an intermediate form a thin layer of thin sheet of Al alloyed (EN AW-A1050).

It was performed a study combining quality welded: thickness tucked filler material, depending on the time of friction and friction depending on the pressure.

It was obtained a tensile strength of friction welded joint A1050 and A5056 filler for the two dissimilar materials C45 with A2024, $\sigma_{m1} = 270 \text{ N/mm}^2$ and $\sigma_{m2} = 375 \text{ N/mm}^2$.

Key words: dissimilar materials, friction welding, intermediate thin layer

1. INTRODUCERE

La sudarea prin frecare a materialelor disimilare utilizate în domeniile de tranziție cum ar fi: sectoare calde sau industria frigului, s-a folosit un oțel carbon, C45, EN 10083-2 și un aliaj de aluminiu, EN AW-2024, aliat cu Cu și Mg. Sudarea acestor două materiale este dificilă deoarece în zona sudurii se formează un compus intermetalic fragil, $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$. Rezolvarea acestei probleme se poate face prin utilizarea unui strat subțire intermediar. [2]

În probe s-a utilizat o foaie subțire din Al nealiat (EN AW-A1050).

Pentru optimizarea tehnologiei de sudare cu material de adaos am studiat compatibilitatea materialului de adaos cu materialul de bază și influența grosimii acestui material de adaos asupra caracteristicilor îmbinărilor sudate.

Principiul procedurii este prezentat în **Figura 1**.

1. INTRODUCTION

The friction welding of dissimilar materials used in transitional areas such as industry sectors warm or cold, using a carbon steel C45, EN 10083-2 and aluminum alloy EN AW-2024 alloy Cu and Mg. Welding of the two materials is difficult because the weld area to form a fragile intermetallic compound, $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$. Solving this problem is through the use of an intermediate thin layer.

The samples we used a thin sheet of Al alloyed (EN AW-A1050). [2]

To optimize the welding technology we studied additional material compatibility with base material and thickness of the additional material influence on the characteristics of welded joints.

The principle of the process is shown in **Figure 1**.

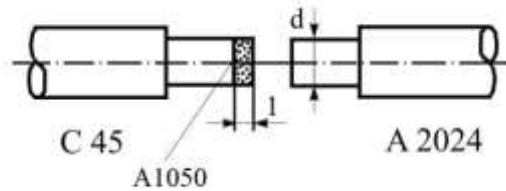


Fig. 1. Principiul procedurii cu material de adaos
Principle process with additional material

Pentru experimentări s-au utilizat materialele a căror compoziție chimică este prezentată în **Tabelul 1** și **Tabelul 2**, iar caracteristicile mecanice sunt prezentate în **Tabelul 3**.

*For the experiments there were used the materials with the chemical composition is shown in **Table 1** and **Table 2**, and the mechanical properties are presented in **Table 3**.*

Tabelul 1. Compoziția chimică a materialelor
Table 1. Chemical composition of the materials

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Al
A1050-H14	0.13	0.13	0.00	0.00	0.01	-	-	0.01	-	remainder
A2024-T3	0.20	0.31	4.58	0.50	1.30	0.1	0.25	0.12	0.02	remainder

Tabelul 2. Compoziția chimică a materialelor
Table 2. Chemical composition the materials

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Fe
C 45 (EN 10083-2)	0.43	0.26	0.78	0.019	0.017	0.02	0.059	0.088	remainder

Tabelul 3. Caracteristicile mecanice ale materialelor
Table 3. Mechanical properties of the materials

Material	Tensile Strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation (%)
A1050- H14	98	92	25
A2024-T3	395	275	22
C 45 (EN 10083-2)	727	422	23

2. PARAMETRI DE SUDARE

Calitatea îmbinării sudate a fost cercetată prin alegerea corespunzătoare a grosimii materialului de adaos și prin variația parametrilor de sudare: timpul de frecare, viteza de rotație și presiunea de frecare. [3]

2.1. Studiul calității sudurii prin variația grosimii materialului de adaos

Pentru experimentări au fost utilizate mașini de sudat prin frecare continuă.

În **Figura 1**, se prezintă sudarea unui oțel C45 pe care s-a aplicat un material de adaos A 1050, iar apoi a fost sudat cu un duralumin ENAW-A 2024.

Pentru sudarea probelor cu diametrul de 12 mm, grosimi ale materialului de adaos de 3, 5 și 10 mm s-au

2. WELDING PARAMETERS

The quality of the welded joint was assessed by the appropriate choice of the thickness of the material added by the variation of the welding parameters: time of friction, the speed of rotation and friction pressure. [3]

2.1. Study of weld quality by thickness variation of the filler material

For experiments were used continuous friction welding machines.

*In **Figure 1** is shown the welding of steel C45 which bear an additional material 1050, and then welded with a duralumin ENAW-A in 2024.*

For the welding tests with a diameter of 12 mm, thickness of the filler material 3, 5 and 10 mm were

folosit următorii parametri de sudare:

$$p_{\text{frecare}} = 20 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$p_{\text{refulare}} = 60 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$t_f = 1 \text{ (s)},$$

$$t_{\text{ref}} = 0,5 \text{ (s)},$$

$$n = 2600 \text{ (rot/min)}.$$

Rezultatele acestor experimentări sunt prezentate în **Tabelul 4** și **Figura 2**.

welded using the following parameters:

$$p_{\text{friction}} = 20 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$p_{\text{repression}} = 60 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$t_f = 1 \text{ (s)},$$

$$t_{\text{ref}} = 0.5 \text{ (s)},$$

$$n = 2600 \text{ (rev/min)}.$$

The results of these tests are presented in **Table 4** and **Figure 2**.

Tabelul 4. Rezultatele experimentărilor

Table 4. The results of tests

Nr. sample	Filler material thickness (mm)	Tensile strength after welding (N/mm ²)
1	3	174
2	5	192
3	10	106

S-a constatat că în cazul în care materialul de adaos a avut grosimea mai mare de 10 mm, sudurile au fost nesatisfăcătoare ruperea producându-se în materialul de adaos. Din acest motiv s-a făcut un studiu care a avut ca scop stabilirea unei grosimi optime a materialului de adaos.

În **Figura 2** este prezentată variația rezistenței la tracțiune în funcție de grosimea l a materialului de adaos. Din **Figura 2** se observă că la o grosime a materialului de adaos l = 5 mm se realizează o rezistență a îmbinării bună.

Aspectul macroscopic al îmbinărilor sudate este prezentat în **Figura 3**.

It was found that if the filler material has a thickness greater than 10 mm, the welding were poor breakage occurring in the filler material. For this reason, a study which aimed to establish an optimal thickness of filler material.

Figure 2 shows the variation in tensile strength depending on the thickness of the filler material. From **Figure 2** it is noted that the add-on material thickness l = 5 mm is achieved a good joint strength.

The macroscopic appearance of the welded joints is shown in **Figure 3**.

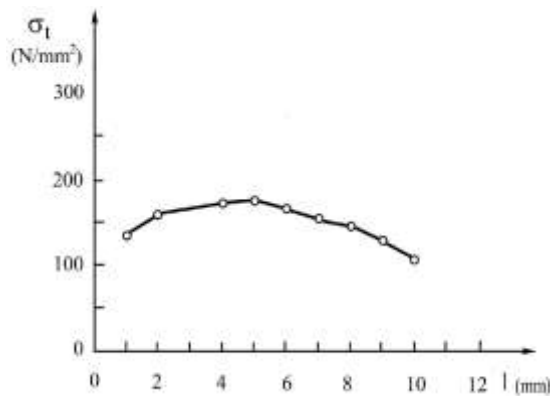


Fig. 2. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de grosimea materialului de adaos
Change in tensile strength depending on the thickness of the admixture

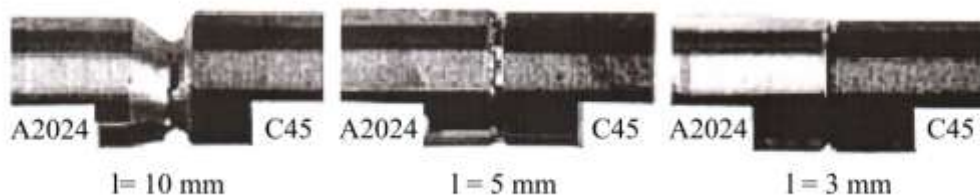


Fig. 3. Aspectul macroscopic
Macroscopic appearance

Când grosimea materialului de adaos este mare ($l = 10$ mm), ruperea se produce în acest strat. Când grosimea materialului de adaos este egală cu 3 mm se obține o sudură bună, apropiată ca atunci când $l = 5$ mm.

Aceste rezultate duc la concluzia că atunci când grosimea inițială a materialului de adaos este mare stratul remanent al materialului de adaos este gros, iar rezistența îmbinării este egală cu a materialului de adaos. Când grosimea materialului de adaos este mică, sudabilitatea este aceeași cu cea obținută prin sudare directă între oțelul C45 și A 2024 . [4]

Grosimea materialului de adaos este factorul decisiv a calității sudurii.

Alegând o grosime a materialului de adaos $l = 5$ mm s-au studiat și alți parametri de sudare, timpul de frecare, viteza de rotație și presiunea de frecare.

2.2. Studiul calității sudurii în funcție de timpul de frecare

Cercetările experimentale s-au făcut cu următorii parametri de sudare:

$$p_{\text{frecare}} = 20 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$p_{\text{refulare}} = 60 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$n = 2600 \text{ (rot/min)}.$$

Variația rezistenței la tracțiune a probelor sudate în funcție de timpul de frecare este prezentată în **Tabelul 5** și **Figura 4**, iar cercetarea microscopică în **Figura 5**.

When the thickness is greater filler material ($l = 10$ mm), breaking occurs in this layer. When the thickness of the mixture is equal to 3 mm to obtain a good weld, similar to that where $l = 5$ mm.

These results lead to the conclusion that when the initial thickness of filler material is high residual layer of filler material is thick and joint strength is equal filler material. When the thickness of the filler material is low, the weldability is the same as that obtained by the direct welding between C45 and A 2024. [4]

On material thickness of the weld quality is the decisive factor.

By choosing the thickness of the filler material $l = 5$ mm they were studied and other welding parameters, time of friction, the speed of rotation and friction pressure.

2.2. The study of the weld quality according to the time of friction

Experimental investigations were made ahead of the welding parameters as follows:

$$p_{\text{friction}} = 20 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$p_{\text{refulare}} = 60 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$n = 2600 \text{ (r/min)}.$$

The variation of tensile strength of the welded samples of friction versus time is shown in **Table 5** and **Figure 4** and **Figure 5** microscopic investigation.

Tabelul 5. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de timpul de frecare
Table 5. The variation of tensile strength of friction versus time

Nr. sample	Friction time (s)	Tensile strength after welding (N/mm ²)
1	0.5	120
2	2	230
3	4	150

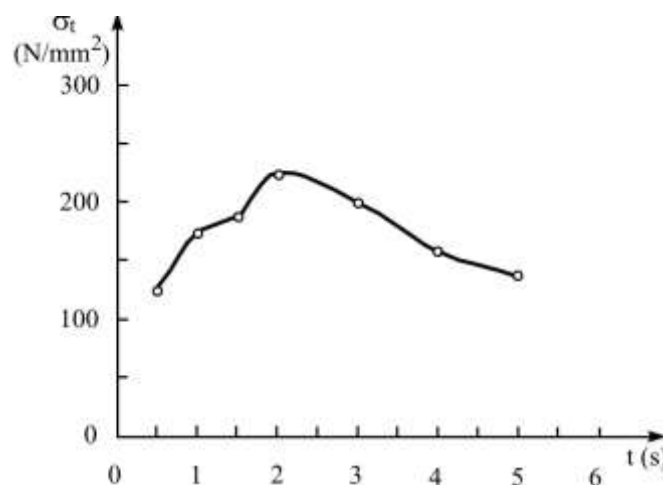


Fig. 4. Variația rezistenței la tracțiune a îmbinărilor sudate în funcție de timpul de frecare
The variation of tensile strength of welded joints versus friction time

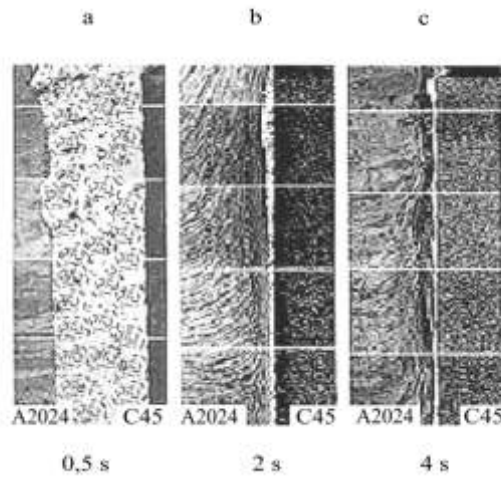


Fig. 5. Microstructura îmbinărilor sudate
Microstructure of welded joints

Se constată următoarele:

- dacă $t_f = 4$ s stratul remanent al materialului de adaos devine mai subțire cu cât timpul de frecare este mai mare, iar rezistența îmbinării este mai mică (**Figura 5c**),
- dacă $t_f = 0,5$ s stratul remanent al materialului de adaos este mare, nu este distribuit uniform, este amestecat numai cu A 2024, iar rezistența îmbinării este mică (**Figura 5a**),
- dacă $t_f = 2$ s stratul remanent al materialului de adaos este uniform distribuit pe întreaga suprafață a materialului de bază, iar rezistența îmbinării este mare (**Figura 5b**), acest strat remanent al materialului de adaos împiedică contactul direct dintre materialele de bază și se realizează o întrepătrundere datorită efortului tridimensional.

2.3. Studiul calității sudurii în funcție de viteza de rotație

Cercetările experimentale au fost făcute cu următorii parametri de sudare constanți:

$$p_{\text{frecare}} = 20 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$p_{\text{refulare}} = 60 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$t_f = 1,5 \text{ (s)},$$

$$t_{\text{ref}} = 0,5 \text{ (s)}.$$

Variația rezistenței la tracțiune a epruvetelor în funcție de viteza de rotație (n) sunt prezentate în **Tabelul 6** și **Figura 6**.

It finds that:

- *If $t_f = 4$ s the remaining layer of filler material becomes thinner with time as friction is higher and lower bond strength (**Figure 5c**),*
- *If $t_f = 0.5$ s the remaining layer of filler material is great, is not distributed evenly mixed only with A in 2024, and the joint strength is low (**Figure 5a**),*
- *If $t_f = 2$ s the remaining layer of filler material is uniformly distributed over the entire surface of the base material and joint strength is high (**Figure 5b**), this residual layer of filler material prevents direct contact between raw and effort is achieved through three - dimensional interpenetration.*

2.3. The study of the weld quality according to the speed of rotation.

Experiments have been made with the following welding parameters constant:

$$p_{\text{friction}} = 20 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$p_{\text{repression}} = 60 \text{ (N/mm}^2\text{)},$$

$$t_f = 1.5 \text{ (s)},$$

$$t_{\text{ree}} = 0.5 \text{ (s)}.$$

*Change in tensile strength of the test pieces according to the speed of rotation (n) are shown in **Table 6** and **Figure 6**.*

Tabelul 6. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de viteza de rotație
Table 6. The variation of tensile strength to the speed of rotation

Nr. sample	The rotational speed (rev/min)	Tensile strength after welding (N/mm ²)
1	1600	245
2	4000	270
3	5000	240

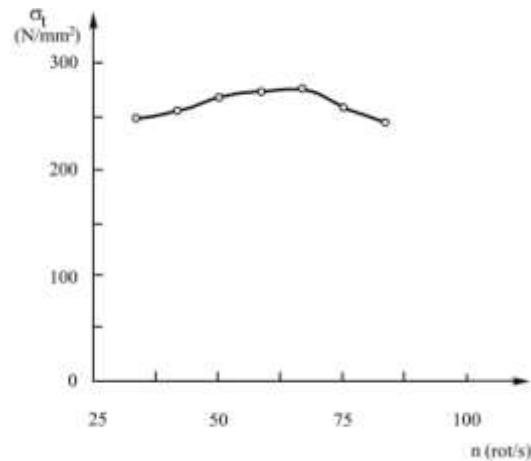


Fig. 6. Variația rezistenței la tracțiune a epruvetelor în funcție de viteza de rotație (rot/s)
Change in tensile strength of the test pieces according to the speed of rotation (rot/s)

Rezistența cea mai mare la tracțiune este de 270 N/mm² la o viteză de rotație de $n = 4000$ rot/min.

The higher the tensile strength is 270 N/mm² at a rotational speed of $n = 4000$ rev/min.

Probele sudate prin frecare cu acești parametri au fost cercetate microscopic, rezultatul acestei cercetări este prezentat în **Figura 7**.

*The samples welded by friction with these parameters were investigated microscope, the result of this study is shown in **Figure 7**.*

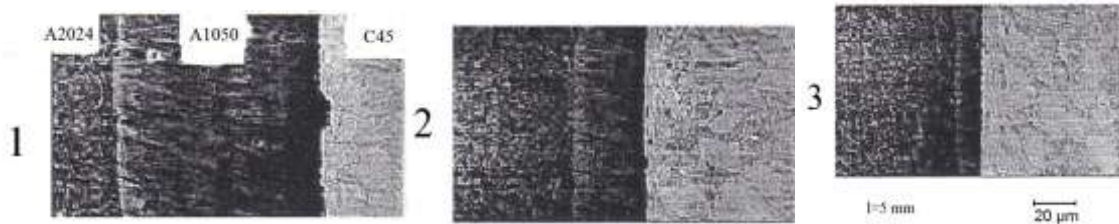


Fig. 7. Aspectul microscopic al stratului remanent al materialului de adaos
The appearance of microscopic residual layer of filler material

- 1) zona periferică / *peripheral area*,
- 2) zona mediană / *the median*,
- 3) zona centrală / *central zone*.

Grosimea stratului remanent al materialului de adaos (**Figura 7**), variază de la zona centrală până la zona periferică, de la 10 μm în zona centrală până la 60 μm în zona periferică.

*The thickness of the remaining layer of filler material (**Figure 7**) varies from the center to the peripheral area from 10 μm in the central area to the peripheral area 60 μm.*

Când s-a făcut o sudare prin frecare cu material de adaos cu grosimea $l = 5$ mm și parametri de sudare ca cei prezentați în **Figura 4** și **Figura 6**, s-a constatat că fața frontală dinspre oțelul C45 este acoperită cu un strat subțire de material de adaos care conduce la o îmbinare bună.

*When there was a friction welding filler material of a thickness $l = 5$ mm and the welding parameters as those shown in **Figure 4** and **Figure 6**, it was found that the steel C45 from the front face, is coated with a thin layer of filler that leads to a good joint.*

Un strat uniform și o grosime mică a materialului de adaos a fost observată în **Figura 5b**, când calitatea sudurii a fost evaluată printr-o rezistență mare la tracțiune.

*A uniform layer of a small thickness the filler material has been observed **Figure 5b**, the quality of the weld was evaluated by a high tensile strength.*

Studiindu-se rezistența la tracțiune a îmbinării în funcție de viteza de rotație cu parametri specificați în **Figura 6**, îmbinarea cu rezistența cea mai mare a fost de 270 N/mm².

*By studying the tensile strength of the joint according to the speed of rotation of the parameters specified in **Figure 6**, the combination with the highest resistance was 270 N/mm².*

2.4. Studiul calității sudurii în funcție de presiunea de frecare

Cercetările experimentale au fost făcute utilizând ca material de adaos un aliaj de aluminiu cu magneziu (A5754) a cărei grosimi a fost 5 mm și sudată prin frecare cu următorii parametri de sudare:

- viteza de rotație, $n = 3000$ rot/min,
- $p_{\text{refulare}} = 80$ (N/mm²),
- $t_f = 1,5$ (s),
- $t_{\text{ref}} = 0,5$ (s).

2.4. The study of welding quality of friction according to the pressure

Experimental research were done using a filler material with the magnesium aluminum alloy (A5754) whose thickness was 5 mm, and welded by friction welding with the following parameters:

- speed of rotation, $n = 3000$ rev/min,
- $p_{\text{repression}} = 80$ (N/mm²),
- $t_f = 1.5$ (s),
- $t_{\text{ref}} = 0.5$ (s).

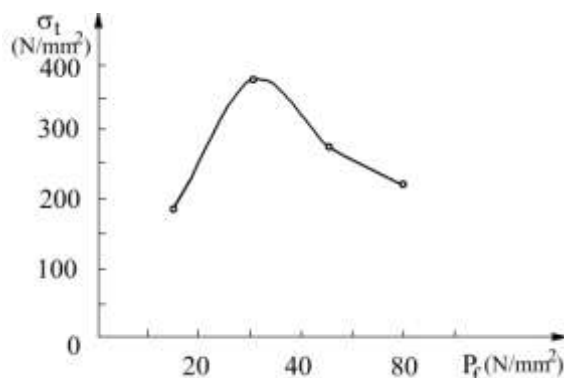


Fig. 8. Variația rezistenței la tracțiune în funcție de presiunea de frecare
Change in tensile strength depending on the pressure of friction

Aceste cercetări arată că rezistența la tracțiune a îmbinării sudate este de 375 N/mm², mai mare când se utilizează ca material de adaos un aliaj de aluminiu cu magneziu, în comparație cu utilizarea unui aluminiu A1050.

Grosimea stratului remanent al materialului de adaos din zona îmbinării sudate este aproximativ de 600 μm, aceasta explică rezistența la tracțiune mai bună.

3. CONCLUZII

După cercetările experimentale privind alegerea parametrilor optimi de sudare prin frecare continuă s-a obținut o rezistență la tracțiune a îmbinării sudate prin frecare cu material de adaos A1050 și A5056 pentru cele două materiale disimilare C45 cu A2024, $Rm_1 = 270$ N/mm² și $Rm_2 = 375$ N/mm².

Alegerea corespunzătoare a parametrilor de sudare prin frecare a contribuit la obținerea unei îmbinări calitativ superioare prin:

- stabilirea unei grosimi optime a materialului de adaos,
- alegerea unui timp de frecare optim pentru obținerea unui strat remanent al materialului de adaos uniform distribuit pe întreaga suprafață a materialului de bază, pentru a împiedica contactul direct dintre componentele de sudat și foarte subțire pentru ca ruperea să nu se producă în acesta,
- alegerea unei viteze optime de rotație pentru obținerea unui strat remanent al materialului de

This research shows that the tensile strength of the welded joint is 375 N/mm², larger when used as a filler of an alloy of aluminum, magnesium, in comparison with the use of an A1050 aluminum.

Remanent thickness of the filler material in the welded joint is approximately 600 μm, which explains the good resistance to traction.

3. CONCLUSIONS

After experimental research on choosing the optimal parameters of continuous friction welding obtained a tensile strength of friction welded joint A1050 and A5056 filler for the two dissimilar materials C45 with A2024, Tensile strength 1 = 270 N/mm² and Tensile strength 2 = 375 N/mm².

Choosing appropriate parameters friction welding joints have contributed to a higher quality by:

- *establishing optimum filler material thicknesses,*
- *for choosing an optimum friction to obtain a residual layer of filler material uniformly distributed over the entire surface of the base material to prevent direct contact between the components Welding very thin and because tearing does not occur therein,*
- *choosing optimal rotational speeds to obtain a residual layer of filler material whose thickness*

- | | |
|---|--|
| <p>adaos uniform și subțire a cărui grosime variază de la zona centrală până la zona periferică de la 10 μm la 60 μm,</p> <p>- alegerea ca material de adaos a unui aliaj de aluminiu cu magneziu care poate îmbunătăți proprietățile de rezistență la tracțiune.</p> | <p><i>uniform and thin ranges from central to 10 μm to 60 μm peripheral zone area,</i></p> <p>- <i>choice of a filler wire with the magnesium alloy can be improved tensile strength properties.</i></p> |
|---|--|

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- [1] **V. GEORGESCU** - *Tehnologii de sudare prin presiune*, Universitatea "Dunărea de Jos" Galați, 2005.
- [2] **Elena MACHEDON, T. MACHEDON PISU** - *Studies about the Friction Welding from the Nuclear Industries*, International Conference SAFETY AND RELIABILITY OF WELDED COMPONENTS IN ENERGY AND PROCESSING INDUSTRY on the occasion of the 61st IIW Annual Assembly, 2008, SCOPUS, pp. 661-664.
- [3] **D. V. ANANTHAPADMANABAN, R. A. SESHAGIRI, A. K. NIKHIL and Prasad** (2008), "A Study of Mechanical Properties of Friction Welded Mild Steel to Stainless Steel Joints", *Material and Design*, No. 30, pp. 2642-2646.
- [4] **Elena MACHEDON, T. MACHEDON PISU** - *Studies about the friction welding of some benchmarks from the automotive industry*, 60th Annual Assembly and Internationale Conference of The IIW, Dubrovnik, CROATIA, 05-06 Jul. 2007, *Welding in the World*, Baza de date SCOPUS, Volume 51, Issue SPEC. ISS., 15 July 2007, pp. 425-432.
- [5] **S. MUMIM** - *Evaluation of the Joint Interface Properties of Austenitic Stainless Steel Joined by Friction Welding*, *Materials and Design*, 2007, No. 28, pp. 2244-2250.
- [6] **Z. SUN, R. KARPPI** - *The application of electron beam welding for the joining of dissimilar metals: an overview*, *Journal of Materials Processing Technology*, 1996, Volume 99, Issue 1-3, pp. 257-267, ISSN: 0924-0136.