

Friction stir welding of AA 5083-H111 alloy

Sudarea prin frecare cu element activ rotitor a aliajului AA 5083-H111

R. Gabor¹, A. Roos², J. dos Santos², L. Bergmann²

¹„Politehnica” University of Timișoara, Faculty of Civil Engineering, Romania,

²GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, Germany

e-mail: ramona.gabor@ct.upt.ro

Keywords

Friction stir welding, process parameters, aluminium alloy, metallography, mechanical tests.

Cuvinte cheie

Sudare prin frecare cu element activ rotitor, parametri de sudare, metalografie, încercări mecanice, aliaj de aluminiu.

1. Introduction

Friction Stir Welding (FSW) is a solid-state welding process created and patented by The Welding Institute (TWI) in 1991. It is a relatively novel joining technology, which has caught the interest of many industrial sectors, including automotive, aeronautic and transportation due to its many advantages and clear industrial potential. A certification for the increase interest for this process is the important number of patents and publications in the technical field, world wide [1]. The process adds new possibilities within component design and allows more economical and environmentally efficient use of materials [2, 3]. The main advantage of FSW over traditional welding technologies is that joining is achieved below the melting temperature avoiding deterioration of the material microstructure and joint mechanical properties often seen in traditional welding, and adding new dimensions to design and component optimization. Another important consequence is that the problems related to the working environment when using traditional arc welding processes, namely air pollution and ultraviolet light are absent with FSW [3].

Many light weight materials and in particular aluminium alloys may be joined by this technique, including the aluminium alloys used in the civil engineering (5xxx and 6xxx series), which are difficult to join by traditional welding techniques.

Based on the good behaviour in contact with the extreme environmental conditions, the 5083-H111 is the subject of this paper.

2. Aluminium alloy 5083 – $AlMg_{4.5}Mn_{0.7}$

Alloy 5083 retains exceptional strength after welding. It has the highest strength of the non-heat treatable alloys but it is not recommended for use at temperatures in excess of 65°C. According to the Eurocode 9 the 5083 alloy belongs to the A stability class. The recommendations that are given in Eurocode 1999-1-3 do not apply for this alloy in all tempers from the temperature of 65°C, unless an efficient corrosion preventing coating is provided.

The main alloying elements of 5083 alloy are: silicon (0,4%), iron (0,4%), manganese (0,4-1,0%), magnesium (0,4-1,0%), zinc (0,25%), chromium (0,05-0,25%).

1. Introducere

Sudarea cu element activ rotitor (FSW) este un proces de sudare în stare solidă creat și patentat de Welding Institute (TWI) în 1991. Este o tehnologie de îmbinare relativ nouă, ce a stârnit interesul multor sectoare industriale, incluzând industria constructoare de automobile, industria aeronautică și industria mașinilor de transport datorită multitudinii de avantaje și a potențialului aplicării în industrie. O dovadă a interesului tot mai mare pentru acest procedeu o face numărul însemnat de brevete de invenție și numărul publicațiilor de specialitate existente la nivel mondial [1]. Procesul adaugă noi posibilități pentru proiectare și permite utilizarea eficientă a materialelor mai avantajoase economic și ecologice [2, 3]. Principalul avantaj al FSW în comparație cu procedeele tradiționale de sudare îl reprezintă realizarea îmbinării la o limită inferioară de temperatură față de temperatura de topire, evitând deteriorarea microstructurii și a caracteristicilor materialului din îmbinare, lucru des întâlnit la sudarea tradițională, dar și noi posibilități pentru ramura de proiectare și optimizarea elementelor componente. O altă consecință importantă face referire la mediul de lucru în care, la utilizarea sudurii clasice cu arc electric, apar poluarea aerului și razele ultraviolete – fenomene absente în cazul sudării FSW [3].

Multe dintre materialele ușoare și în special aliajele de aluminiu pot fi îmbinate utilizând această tehnologie, incluzând și aliajele de aluminiu utilizate în domeniul ingineriei civile (seriile 5xxx și 6xxx), aliaje dificil de îmbinat utilizând tehnici de sudare tradiționale.

Pornind de la comportamentul bun în contact cu un mediul înconjurător agresiv, 5083-H111 este subiectul acestei lucrări.

2. Aliajul de aluminiu 5083 – $AlMg_{4.5}Mn_{0.7}$

Aliajul 5083 prezintă o rezistență excepțională după sudare. Prezintă cea mai mare rezistență din clasa aliajelor netratate la cald, însă nu este indicat a fi utilizat în medii unde temperatura depășește 65°C. Conform normelor europene Eurocode 9 aliajul 5083 aparține clasei de stabilitate A. Recomandările date de Eurocode 1991-1-3 pentru toate stările de tratare la temperaturi de 65°C nu sunt aplicabile acestui aliaj, doar dacă nu se execută o protecție performantă anticorozivă.

This alloy is more used in the following tempers:

- 0 – Annealed wrought alloy
- H111 – Some work hardening imparted by shaping processes but less than required for a H11 temper.
- H32 – Work hardened and stabilised with a quarter hard temper.

Here 5083-H111 was selected based on the previous experimental works that reported a very good weldability with FSW of this temper.

3. Experimental program

The experimental program that represents the subject of this paper tries to establish a few proper parameters' sets for the welding of the subjected alloy. Figure 1 presents a short

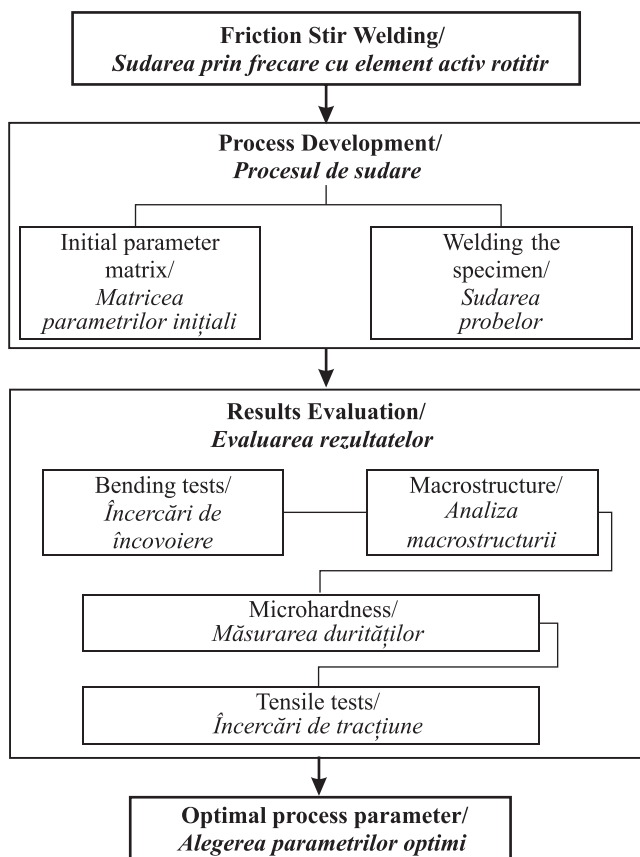


Figure 1. Experimental procedure flow chart/
Figura 1. Diagrama procedurii experimentale

abstract that describes the steps of the experimental procedure that will be done.

4. FSW process

Three main groups of factors play an important role for the qualitative welded seams with FSW. These factors are: the welding machine, the welding parameters and the welding tools.

The next sub-chapters will offer us the information about these factors.

4.1. Machines

TRICEPT 805 robot, specially equipped to perform FSW, is presented in Figure 2. Combined with superior stiffness the Tricept® 805 can apply forces up to 45.000N (vertical axis) and 10.000N in the horizontal axis (welding direction). Due to

Principalele elemente de aliere ale aliajului 5083 sunt: siliciul (0,4%), fierul (0,4%), manganul (0,4-1,0%), magneziul (0,4-1,0%), zincul (0,25%), cromul (0,05-0,25%).

Cele mai des utilizate stări de tratare sunt:

- 0 – aliaj în stare pură;
- H111 – aliajul a suferit unele procese de durizare;
- H32 – aliajul a fost puternic durizat.

Pentru acest proces experimental a fost ales aliajul 5083-H111 ca urmare a experiențelor anterioare ce prezintă un comportament foarte bun la sudarea FSW a aliajului, în această stare.

3. Programul experimental

Programul experimental ce face subiectul acestei lucrări are ca scop stabilirea unor seturi de parametrii adecvați pentru aliajul de aluminiu adus în discuție. Figura 1 prezintă pe scurt pașii acestui program experimental.

4. Procesul de sudare prin frecare cu element activ rotitor (FSW)

Trei mari grupe de factori joacă un rol definitoriu la realizarea unor suduri de calitate cu FSW. Acești factori sunt: mașina de sudare, parametrii utilizați în timpul procesului de sudare și tipul uneltelor de sudare.

Următoarele sub-paragrafe ne oferă informații referitoare la acești importanți factori.

4.1. Mașini de sudare

Robotul TRICEPT 805, special echipat pentru sudarea FSW este prezentat în figura 2. Combinat cu rigiditatea superioară, Tricept 805 poate introduce forțe de apăsare de până la 45.000 N (axa verticală) și 10.000 N în axa orizontală (pe direcția de sudare). Datorită acurateții sale, a vitezei mari, a rezistenței și



Figure 2. TRICEPT 805 Robot for FS welding/
Figura 2. Robotul TRICEPT 805 pentru sudare FSW

rigidității, acest sistem poate fi încadrat cu preponderență în categoria mașinilor de sudare cu viteză ridicată. Robotul Tricept 805 și derivatele sale au deschis o nouă eră în domeniul roboților pentru procedeul FSW. Forța și rigiditatea disponibile permit sudura în diferite poziții la aliajele de aluminiu de înaltă rezistență la elemente de grosimi ale pereților între 0,5 mm și 10 mm.

Unitatea de sudare FSW montată la robot are în alcătuire un arbore hidraulic de 45 kW. Sudurile pot fi realizate fie cu

its accuracy, high velocity, strength and rigidity this system is predominantly employed in the field of high-speed machining. The Tricept® 805 and its derivatives have opened new horizons for robotic FSW. The force and stiffness available allow positional welding of high strength Aluminium alloys in the thickness range between 0.5 mm and 10 mm.

The FSW unit assembled to the robot end-effectors is based on a 45kW hydraulic spindle. Welds can be produced under force or positional control associated to an on-line control of the rotational speed. State-of-the-art sensing and control systems are employed to produce on-line records of force, welding speed, rotational speed and torque.

4.2. Initial parameters matrix

The initial welding parameters are presented in Table 1.

These parameters have been used based on previous studies carried out on this alloy, but also there have been tested new parameters combinations, in order to cover a larger range of possibilities which may guide to a better knowledge of the welding process.

4.3. Tools

The welds from A to G were realised with a tool configured from a flat shoulder with machined spiral flute, 15 mm diameter (Figure 3a.) and a conical pin (Figure 3b.), 5 mm diameter, thread M8L at the socket. The pin was broken and for the next welds a new pin was used.

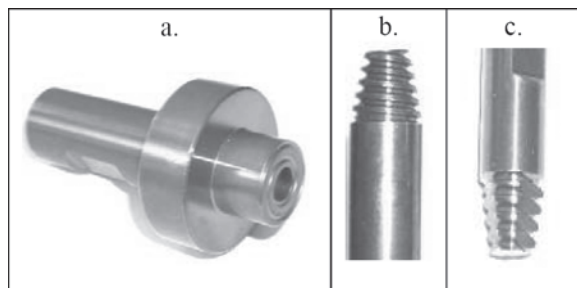


Figure 3. Welding tool shoulder and pins /
Figura 3. Umărul și pin-urile uneltelor de sudare

The welds from H to L were realised with a tool configured from the same shoulder and a threaded pin (Figure 3c.) with thread M6L, conical tapered with three milled flats, 5 mm diameter.

All the samples were welded on a vacuum table which assures stability of the clamping system.

During the weld process there were measured the forces in all 3 directions and also the temperature during the welding process, in the plates and in backing bar.

5. Results

From all welded plates there have been cut out specimens for bending tests, macro-analysis samples and samples for tensile tests.

To determine the quality of welds connections several testing methods have been used to study the mechanical features of the joints, such as bending, hardness and tensile tests.

In the following there will be presented only the mechanical characteristics of those samples that had good results to the bending tests – the first tests that were realised. These samples are presented in Table 2.

controlul poziției, fie cu controlul forței, asociat unui control on-line a vitezei de rotație. Analiza ansamblului soluțiilor tehnice și sistemele de control sunt utilizate pentru a efectua înregistrări on-line ale forței, vitezei de sudare, vitezei de rotație și momentului de torsione.

4.2. Matricea parametrilor inițiali de sudare

Parametrii inițiali de sudare sunt prezentați în tabelul 1.

Acești parametri au fost aleși pe baza unor studii anterioare asupra acestui aliaj, însă au fost experimentate și noi combinații de parametri, în vederea acoperirii unei game vaste de posibilități ce pot duce la o mai bună cunoaștere a procedurii de sudare.

Table 1. The parameters for 5083-H111 alloy/
Tabelul 1. Parametrii pentru aliajul 5083-H111

Probe Name/ Numele probei	ω [RPM]	v [mm/min]	ω/v	F [kN]
A	800	600	1.33	13
B	600	400	1.5	13
C, D	800	400	2	13
E	600	200	3	13
F	800	267	3	13
G*	1200	400	3	13
H, I, J	1200	300	4	13
K	600	150	4	13
L	1200	180	6.67	10

*The pin was broken/S-a rupt pinul

4.3. Unele de sudare

Sudurile de la A la G au fost realizate cu o unealtă de sudare compusă dintr-un umăr de sudare drept cu șanț spiralat, diametrul 15 mm (figura 3a.) și un pin conic (figura 3b.), filetat cu M8L pe toată lungimea, diametru 5 mm. Pinul a cedat în timpul sudării probei G, pentru următoarele suduri fiind utilizat un nou pin.

Sudurile de la H până la L au fost realizate cu o unealtă alcătuită din același umăr de sudare și un pin conic (figura 3c.), filetat cu M6L pe toată lungimea, diametru 5 mm, cu trei suprafețe plane.

Toate probele au fost sudate pe masa de fixare (prindere) cu vacuum pentru a asigura o cât mai bună rigiditate a elementelor în timpul procesului de sudare.

În timpul procesului de sudare au fost măsurate temperaturile în bara suport cât și în elementele componente ale probelor sudate (tablele sudate).

5. Rezultate

Pentru a determina calitatea îmbinării sudate au fost efectuate o serie de încercări și anume: încercări la încovoiere, măsurători de duritate, încercări de tracțiune dar și analiza macrografică. Acestea sunt prezentate amănunțit în cele ce urmează.

Pentru efectuarea încercărilor mai sus menționate, din toate probele sudate au fost extrase specimene, perpendicular pe cordonul de sudură, având dimensiunile prescrise de standardele internaționale pentru astfel de încercări.

În continuare vor fi prezentate doar caracteristicile probelor ce au prezentat o comportare favorabilă în timpul încercării de încovoiere – primele teste ce au fost efectuate. Parametrii

5.1. Bending tests

For bending tests have been assayed three samples of all welded plates (Bs1 and Bs3 – tested on the joint root, Bs2– tested on the joint surface, Figure 4). From these, two were used to examine the joint root because the welding process was not very stable (the robot could not build the input force of 13 kN). The bending tests have been realised according to the EN 910:1996 D. The removed specimens have been ground coplanar and have been milled at the edges.

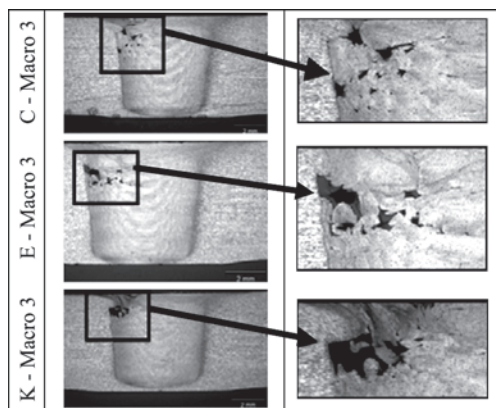


Figure 4. Macrograph analysis/
Figura 4. Analiza macrografică

The two specimens of the welded joint root ductility characterisation presented a bending angle of 80°; the third sample analyzed the ductility of the welded joint surface; in this case the bending angle was of 120°. The failure of the last mentioned samples took place at the limit between the contact area of the tool shoulder and the rest of material.

5.2. Macrostructures

After being friction stir welded, 3 specimens of each welded sample have been cut in order to perform macrostructure analysis which can provide information concerning the weld seam quality. These specimens have been cut from different places along the weld seam perpendicular to the welding direction.

Positions from where the specimens have been cut:

- weld start – named MACRO 1 – here must be mentioned that „weld start“ was considered the point where no surface defects were visible; most of welded samples present to weld real start some major defects, like plates separation;
- near thermocouples position – named MACRO 2 – to see if the holes for thermocouples have some influence on the weld quality;
- weld end – named MACRO 3 – very close of end hole of weld seam.

These specimens have been embedded in an epoxy resin (DEMOTEC 30), subjected to mechanical grinding and then polished according to ASTM E3. After that, the specimens were etched; qualitative analyses have been performed photographing the specimens in the vicinity of weld seams.

Figure 4 presents the macrostructure analysis of weld seams of AA 5083-H111 alloy. In these specimens assayed from the very close vicinity of end hole of weld seam, there are visible volumetric defects, situated close to the weld surfaces, on the retracting side.

cu care au fost realizate aceste elemente sunt prezentați în tabelul 2.

Table 2. Optimal welding parameters/
Tabelul 2. Parametrii de sudare optimi

Sample/ Proba	Parameters/Parametrii		
	ω [RPM]	v [mm/min]	F [kN]
C	800	267	13
E	600	200	13
K	600	150	13

Astfel, epruvetele prelevate din aceste trei elemente sudate au fost supuse unor analize și încercări, în vederea caracterizărilor mecanice și fizice ale îmbinării.

5.1. Încercări la încovoiere

Pentru încercările la încovoiere au fost prelevate trei epruvete din probele sudate (Bs1 și Bs3 pentru a verifica ductilitatea rădăcinii sudurii și Bs2 pentru a verifica ductilitatea suprafeței sudurii, figura 4). Au fost realizate două încercări de încovoiere pentru rădăcina cordonului de sudură deoarece în timpul procesului de sudare au apărut unele pierderi de stabilitate (robotul nu a putut atinge forța verticală introdusă de 13 kN). Încercările la încovoiere au fost realizate în conformitate cu EN 910: 1996 D. Epruvetele au fost frezate și șlefuite coplanar, la colțuri.

Astfel, cele două specimene pentru caracterizarea ductilității rădăcinii îmbinării sudate au prezentat un unghi de îndoire de cca 80°, iar cea de-a treia epruvetă folosită pentru caracterizarea suprafeței îmbinării sudate a prezentat un unghi de îndoire de cca 120°. Cedarea celor din urmă epruvete s-a produs în zona ce delimitează suprafața de contact a umărului uneltei de sudare și restul materialului.

5.2. Analiza macrostructurală

După sudare din fiecare probă au fost extrase trei specimene pentru analiza macrografică detaliată ce ne furnizează informații referitoare la calitatea cordonului de sudură. Aceste specimene au fost prelevate din diferite locuri, de-a lungul cordonului de sudură, perpendicular pe direcția de sudare.

Pozițiile prelevării probelor:

- începutul cordonului de sudură – denumit MACRO 1 – cu mențiunea că „începutul cordonului de sudură“ este considerat, în această situație, zona cea mai apropiată de începutul cordonului de sudură unde nu sunt vizibile defecte de suprafață; majoritatea probelor îmbinate au prezentat defecte la începutul real al cordonului, cum ar fi separarea tablelor îmbinate,
- în zona poziționării termocuplelor – denumit MACRO 2 – pentru a vedea dacă termocuplele influențează calitatea cordonului de sudură;
- sfârșitul cordonului de sudură – denumit MACRO 3 – în imediata apropiere a craterului cordonului de sudură.

Aceste specimene au fost înglobate în rășină epoxidică (DEMOTEC 30), supuse unei șlefui și polisări automate conform ASTM E3. După aceea aceste specimene, astfel pregătite, au fost atacate chimic pentru a evidenția zona îmbinată; analiza calitativă s-a făcut cu ajutorul fotografiilor realizate cu rezoluție mare, în zona cordonului de sudură.

Figura 4 prezintă analiza macrostructurală a cordonului de sudură la aliajul AA 5083-H111. La aceste specimene, prelevate

These defects may be related with the presence of some impurities on plate's surface or may be caused by some process factors.

These defects have not been observed to the other macro specimens assayed from the same sample, for the macrograph analysis.

5.3. Micro hardness test

The micro hardness profiles of all welds produced from non heat treated base material show values within the scatter band of the micro hardness values of the base material values (Figure 5).

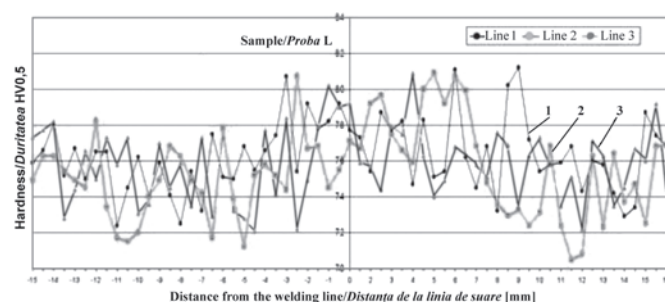


Figure 5. Micro hardness profile for E welded plate/
Figura 5. Profilul durității pentru proba sudată E

5.4. Tensile Test

There have been realised tensile tests for both base materials - to establish the base material resistance and welded plates. The base material tensile tests were necessary to identify if there are any differences between resistances of base material when the axial load is applied in the rolling direction and when the axial load is applied perpendicular to the rolling direction. From the welded plates, the tensile specimens have been cut perpendicular to the rolling direction – in this case the axial load during the tensile test is applied in the rolling direction. The specimens have been machined according to the ASTM E8.

Table 3 presents the resistances of base material, identified on direction of rolling specimens and the results of present tensile tests on specimens cut off perpendicular to direction of rolling.

As it can be seen in this table, the 5083-H111 base material yield strength $R_{p0.2}$ is influenced by the rolling direction; the value of $R_{p0.2}^{\perp}$ represents only 88% of the value $R_{p0.2}^{\parallel}$. Regarding the 5083-H111 base material ultimate strength it can be observed that the rolling direction does not influence negatively the R_m value.

There have been tested 4 specimens from each welded sample for tensile tests. In case of 5083-H111 alloy the results of tensile tests were very good; by the C specimens 2 specimens failed in base material and 2 specimens failed in the middle of weld seam; all E specimens failed in base material, the K specimens presented also a relative good behaviour – 2 specimens failed in the middle of weld seam and the other 2 failed in base material.

Figure 6 illustrated the resistance performances of the welded samples as well as for the base material.

Table 4 presents the mechanical properties for the base material and the weld seam.

din imediata apropiere craterului cordonului de sudură, sunt vizibile o serie de defecte volumetrice situate în apropierea suprafeței cordonului de sudură, în zona de retragere a uneltei.

Aceste defecte pot fi cauzate de prezența unor impurități la suprafața tablelor îmbinate sau pot fi cauzate de instabilități ale robotului apărute în timpul procesului de sudare.

Defectele întâlnite la Macro 3 nu au fost prezente și la celelalte specimene prelevate din aceeași probă sudată, pentru analiza macrografică.

5.3. Durități

Profilul durităților tuturor sudurilor realizate în materialul de bază netratat termic prezintă valori ce se situează în același interval de durități ca și materialul de bază (figura 5).

5.4. Încercări de tracțiune

Au fost efectuate încercări de tracțiune atât din materialul de bază cât și din îmbinările sudate – pentru a determina rezistența la tracțiune a materialului de bază și a îmbinării sudate. În cazul materialului de bază a fost necesară analiza influenței de laminare a tablelor, când forța axială a fost aplicată atât pe direcția de laminare, dar și perpendicular pe direcția de laminare. Din elementele sudate, speciamentele pentru încercări la tracțiune au fost prelevate în direcția perpendiculară pe direcția de laminare – în acest caz forța axială aplicată în timpul testelor de tracțiune a fost aplicată în direcția de laminare. Speciamentele au fost prelevate respectând indicațiile ASTM E8.

Tabelul 3 prezintă rezistența materialului de bază la încercări de tracțiune, încercări efectuate atât în direcția de laminare dar și perpendicular pe direcția de laminare.

Table 3. Base material resistance – AA 5083-H111 alloy/
Tabelul 3. Rezistența materialului de bază – aliajul
AA 5083-H111

	R_m [MPa]	$R_{p0.2}$ [MPa]	A [%]
BM $\parallel$ to rolling direction / MB $\parallel$ cu direcția de laminare	326	190.2	47.21
BM $\perp$ to rolling direction / ME $\perp$ pe direcția de laminare	328.1	166.9	46.63

Average of minimum 3 Specimens/ Media pe minim 3 specimene

După cum s-a putut observa din tabelul acesta, limita de curgere a materialului de bază 5083-H111 $R_{p0.2}$ este influențată de direcția de laminare; valoarea lui $R_{p0.2}^{\perp}$ reprezintă doar 88% din valoarea $R_{p0.2}^{\parallel}$. Referitor la rezistența de rupere a materialului de bază 5083-H111 se poate observa că direcția de laminare nu are influență negativă asupra valorii lui R_m .

Au fost testate câte 4 specimene din fiecare probă sudată pentru încercările de tracțiune, rezultatele încercărilor de tracțiune fiind foarte bune; pentru două dintre speciamentele prelevate din proba sudată C cedarea a avut loc în mijlocul cordonului de sudură, însă pentru celelalte două cedarea s-a produs în materialul de bază; în cazul probei E cedarea tuturor speciamentelor la încercarea de tracțiune s-a produs în materialul de bază; în cazul speciamentelor K putem vorbi de asemenea de o comportare relativ bună a cordonului de sudură la încercări de tracțiune – 2 specimene au cedat în cordonul de sudură, iar celelalte două au cedat în materialul de bază.

6. Discussions regarding FS welds of AA 5083-H111

The AA 5083-H111 aluminium alloy, in combination with FSW, is at this moment the most used alloy in the ship building industry starting to be also more present in the field of civil engineering. Because in the civil engineering field there is not so much information about Aluminium and FSW, it is

Table 4. Mechanical properties of – AA 5083-H111 alloy, FS welded/

Tabelul 4. Caracteristicile mecanice ale aliajului AA 5083-H111 sudat FSW

	Base Material/ Material de bază	Sample/Proba		
		C	E	K
R_m [MPa]	328.1	240.91	301.93	300.76
$R_{p0.2}$ [MPa]	166.9	139.1	135.08	131.30
A [%]	43.63	25.28	44.88	42.83

necessary to have a good understanding of the process in this direction. The welding speed, the tool rotational speed, the vertical pressure on the tool, the tilt angle of the tool and the tool design are the main independent variables that are used to control the FSW process [4]. So, a series of research programs are necessary to find some answers for the combination 5083-H111 + FSW in the field of civil engineering, starting with simple elements such as aluminium plates.

It is known that the formation of friction stir welded zone is affected by the material flow behaviour under the action of the rotating tool. On the other hand, the material flow behaviour is directly influenced by the material properties such as yield strength, ductility, hardness of the base material, tool design and FSW parameters.

Usually, the friction stir welded joints are defect free joints since no melting takes place during the welding process and the metals are joined in the solid state due to the heat generated by the friction between the tool shoulder and components surfaces and flow of metal by the stirring process. The generated heat has to be high enough to ensure a proper material flow in order to produce defect free joints. Therefore, the process parameters have to be in such manner combined to produce the proper heat amount for a good joint. Until now in the literature there are reported only the optimum combinations between travel speed and rotating speed that may assure a defect free weld seam. However these reports did not mention the downward force, also an important input parameter of this process.

It is well known that under a higher downward force (named as vertical force or as axial force, corresponding to the tool axe) a higher friction force between the tool shoulder and components surfaces takes place [5]. A higher friction force will provide an increased heat amount. Tool advancing action (inclined at a certain angle) is extremely similar to an extrusion process which requires optimal temperature conditions for the better quality of the material, in terms of microstructure [6]. To reach the necessary temperature (heat amount) to ensure adequate plasticization of the alloy during the welding

Figura 6 ilustrează rezistențele la tracțiune ale specimenelor aduse în discuție și comparația cu rezistențele materialului de bază.

Tabelul 4 prezintă valorile caracteristicilor mecanice ce caracterizează materialul de bază, respectiv sudura.

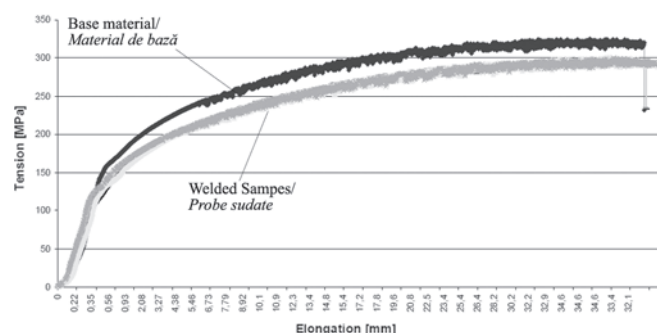


Figure 6. The tensile resistance of welded samples and base material samples/

Figura 6. Rezultatele încercărilor de tracțiune realizate pe specimene sudate și specimene din materialul de bază

6. Discuții despre îmbinările realizate prin frecare cu element activ rotitor

Aliajul de aluminiu AA 5083-H111, în combinație cu FSW, este în prezent cel mai des utilizat în domeniul construcțiilor navale, făcându-și tot mai des simțită prezența și în domeniul construcțiilor civile. Deoarece în domeniul construcțiilor civile există puține relatări referitoare la utilizarea FSW, este nevoie de o bună cunoaștere a comportării materialului în combinație cu acest procedeu. Viteza de avans, viteza de rotație a uneltei, apăsarea verticală a uneltei de sudare, unghiul de înclinare al uneltei și geometria uneltei de sudare sunt principalele variabile ce sunt folosite la controlul calității procesului FSW [4]. Pentru aceasta sunt necesare o serie de cercetări și aprofundări ale combinației 5083-H111 + FSW. Astfel au fost realizate o serie de îmbinări cu FSW, la elemente simple de tip tablă, pentru găsirea unor răspunsuri favorabile acestei combinații.

Se știe că structura cordonului de sudură realizat prin frecare cu element activ rotitor este afectată de comportamentul curgerii materialului sub acțiunea uneltei rotitoare. Pe de altă parte, curgerea materialului este direct influențată de proprietățile materialului cum ar fi limita de curgere, ductilitatea, duritatea materialului de bază, forma uneltei de sudare și parametrii de sudare.

În mod obișnuit îmbinările realizate cu FSW sunt îmbinări fără defecte o data ce procesul de îmbinare are loc fără aducerea materialului în stare topită, metalele fiind îmbinate printr-un proces de îmbinare în stare solidă datorită căldurii generate la frecarea dintre unealta de sudare și suprafața componentelor de îmbinat, căldură ce favorizează transportul materialului cu ajutorul uneltei de sudare. Căldura generată trebuie să fie suficient de ridicată pentru a permite transportul de material, astfel încât să se producă îmbinări fără defecte. Însă și parametrii de sudare trebuie combinați în așa măsură pentru a produce cantitatea suficientă de căldură pentru realizarea unor îmbinări fără defecte. Până în prezent, în literatură sunt menționate doar combinațiile optime de parametrii între viteza de rotație și viteza de avans a uneltei de sudare ce pot produce cordoane de sudură fără defecte. Este cunoscut faptul că utilizând o forță verticală (sau forță axială) mare apare o mai mare forță de frecare între

process, fine, stable microstructure of the processed zone, without any defects that may cause the failure of the weld seam, two different combinations may be used:

1. a high rotational speed and a low travel speed, taking into account 0.1 value for welding pitch (no mention about the downward force) [7];

2. a higher value for the welding pitch and a downward force high enough to produce the necessary temperature for a good weld seam (thru the increased friction force between tool shoulder and the surfaces).

In this experimental program, the welds have been realised taking into account the combination at point 2 presented above. The welding parameters used in this work were combined with a higher downward force, and also new sets of parameters were adopted (especially the travel speed was increased, to increase the productivity of the process, by using the TRICEPT 805 robot).

From the first visual inspection, defects could be observed, situated, at the weld seam start at most of samples. These defects have been, firstly, interpreted as a lack of clamping system (which permitted plates separations under tool action). But when the evaluation of forces was made during the welding process it was seen that the robot could not build the input forces (Figure 7).

This phenomenon may be explained thru a robot pressure loss or as instability during the welding process, caused by the instability of the Kistler table for force measurements combined with the high downward force.

In spite of these defects, the length of good weld seam (based on the visual inspection) was enough to cut bending specimens, macrostructure specimens and specimens for tensile test. In order to save time, the first tests realised were the bending tests. Specimens from all welded samples were investigated to bending tests, but only 3 samples proved good welding root. For good results to bending test in the root area it is essential a correct adjustment of the pin within a tolerance field. A too short pin length and therefore a too large distance of the pin toe to the backing plates leads to bonding defects in the root area. Under tensile and bending loads the root opens and in the worst case initiates the failure of the joint. This may be the explanation for the failure in the root area of some specimens' assayed from welded samples, welded with the same parameters as another sample with good root bending test results. The next tests have been carried out only on the specimens machined from the samples with good bending test results (welded samples C, E and K).

The macrographs of the specimens indicate the presence of some internal defects, which may be the explanation for the surfaces collapse to a reduced angle during the bending tests. The specific zones for FSW are visible and also the different granulations in these zones [8].

The hardness tests did not present big variations of the values, and only in the HAZ some lower values of material hardness can be seen.

Tensile resistance represents about 90% of the resistance of base material, much better than the values reported from the MIG or TIG welding [9].

7. Conclusions

To establish the optimal parameters are necessary to perform extensive research studies. This paper aims to find

umărul uneltei și suprafața elementelor de îmbinat [5]. O forță de frecare mai mare introduce o mai mare cantitate de căldură. Avansul uneltei (încălinată la un anumit unghi) este extrem de similar cu procesul de extrudare, proces ce necesită condiții optime de temperatură pentru o bună calitate a materialului, din punct de vedere al microstructurii [6]. Pentru a obține temperatura necesară asigurării unei plasticizări adecvate aliajului supus procesului de FSW, o microstructură fină și stabilă în zona procesată, fără defecte ce pot grăbi cedarea cordonului de sudură, pot fi folosite două combinații ale parametrilor de sudare:

1. viteză mare de rotație și viteză mică de avans, luând în considerare valoarea pasului de 0,1 (fără a fi menționată forța de apăsare verticală) [7];

2. o valoare mai mare a pasului de sudare și o forță verticală de apăsare suficient de mare pentru a produce temperatura necesară pentru o îmbinare sudată fără defecte (prin creșterea forței de frecare între elementele de îmbinat și umărul uneltei de sudare).

Acest program experimental a fost realizat ținând seama de al doilea punct mai sus prezentat. Parametrii acestui studiu au fost combinați cu o forță verticală de apăsare mai mare și au fost adoptate și alte seturi noi de parametrii (în mod special viteza de avans a uneltei a fost crescută pentru a mări productivitatea procesului, folosind robotul TRICEPT 805.

Încă de la o primă analiză vizuală au putut fi detectate defecte situate, la majoritatea probelor sudate, la debutul cordonului de sudură. Aceste defecte au fost, în primă instanță, interpretate ca un defect cauzat de o fixare defectuoasă pe masa de sudare („căscarea” tablelor sub acțiunea uneltei de sudare). Însă după ce s-a efectuat evaluarea forțelor din timpul procesului de sudare s-a observat că robotul nu a atins nici forța de apăsare introdusă ca parametru inițial al procesului de sudare (figura 7).

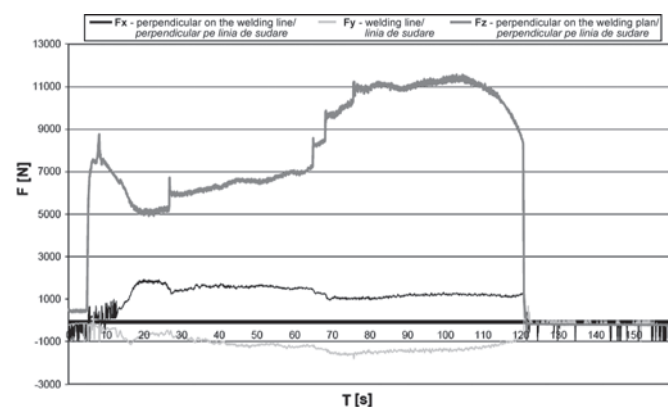


Figure 7. Forces measured during joining with butt joint the 6 mm thickness plates for C sample/

Figura 7. Forțele măsurate în timpul procesului de îmbinare a tablelor de 6 mm pentru proba C

Acest fenomen poate fi explicat de o pierdere de presiune a robotului sau o instabilitate a procesului de sudare cauzată de masa Kistler de măsurarea forțelor în timpul procesului de sudare, în combinație cu forța de apăsare mare.

Chiar și în prezența acestor defecte, lungimea cordonului de sudură fără imperfecțiuni (detectabile cu ochiul liber) a fost suficientă pentru a putea fi prelevate specimene pentru încercări la încovoare, pentru analiza macrografică și încercări la tracțiune. Pentru diminuarea timpului de realizare a încercărilor,

and establish some parameters combinations for the 5083-H111 aluminium alloy. Recapitulating it can be said that the pin and shoulder combination used for this material is suitable for welding the 6 mm plates. Regarding the welding parameters, the combination for E sample ($\omega = 200$ RPM, $v = 200$ mm/min, $F = 10$ kN) is most proper for the analyzed alloy.

References/Bibliografie

- [1] Boțilă, L., Cojocaru, R., Dehelean, D.: Research on friction stir welding processes reflected in the dynamics of publications and patent at world level, BID - Sudarea și Încercarea Materialelor/Welding and Material Testing, 3/2008
- [2] Thomas, W.M.: Friction Stir Welding and Related Friction Process Characteristics, Inalco 98, 7th International Conference, Joints in Aluminium, Cambridge, UK. April, 1998.
- [3] Zettler, R.: Konstruktion, Fertigung and Erprobung von innovativen Leichtbau Strukturen, GKSS-Forschungszentrum Intern Publication, 2004.
- [4] Nandan, R., DebRoy, T., Bhadeshia, H.K.D.H.: Recent Advances in Friction Stir Welding - Process, Weldment Structure and Properties, Material Science 53, 2008.
- [5] Mishra, R.S., Ma, Z.Y.: Friction stir welding and processing, Materials Science Engineering, R50, 2005, p. 1-78.
- [6] Buffa, G., Donati, L., Fratini, L., Tomesani, L.: Solid state bonding in extrusion and FSW: Process mechanics and analogies, Journal of Materials Processing Technology, 177, 2006, Issues 344-347.
- [7] Lombard, H. et al.: Optimising FSW process parameters to minimise defects and maximise fatigue life in 5083-H321 aluminium alloy, Eng Fract Mech, 2007.
- [8] Hirata, T. et al.: Influence of friction stir welding parameters on grain size and formability in 5083 aluminum alloy, Materials Science and Engineering A 456 (2007), p. 344-349.
- [9] Gabor, F.R.: Applications of Friction Stir Welding in Civil Engineering, PhD Thesis, Universitatea "Politehnica" din Timișoara, România, 2010.

s-a început cu încercările de încovoiere pentru epruvete prelevate din fiecare probă sudată, însă numai trei seturi de epruvete din aceste probe au indicat o bună rădăcină a îmbinării. Pentru a avea rezultate pozitive la încercările de încovoiere ale rădăcinii îmbinării este esențială calibrarea pinului în limitele toleranțelor acceptate. Un pin prea scurt conduce la defecte în zona rădăcinii îmbinării sudate. Sub acțiunea încărcărilor de tracțiune și a încărcărilor de încovoiere are loc deschiderea rădăcinii sudurii și, în cel mai rău caz, tot aici se inițiază și cedarea îmbinării. Așa se poate explica cedarea unor specimene în cordonul de sudură, chiar pe linia de mijloc a îmbinării.

Restul încercărilor au fost efectuate doar pe specimene extrase din probele sudate ce au prezentat rezultate favorabile în urma încercărilor de încovoiere (probe sudate C, E, K).

Rezultatele analizei macrografice indică prezența unor defecte interne, defecte ce explică cedarea suprafeței îmbinării sudate la încercarea de încovoiere. Sunt evidențiate zona îmbinării și granulațiile diferite din aceste zone [8].

Măsurătorile durtății nu prezintă variații importante în raport cu durtățile materialului de bază, doar în ZIT se pot observa valori mai scăzute ale durtății.

Rezistența la tracțiune reprezintă circa 90% din rezistența materialului de bază, valori mult mai bune față de cele raportate la îmbinările sudate cu MIG sau TIG [9].

7. Concluzii

Pentru a stabili combinații optime a acestor parametri sunt necesare efectuarea unor studii ample de cercetare. Această lucrare are ca scop tocmai stabilirea unor astfel de seturi de parametri, pentru aliajul 5083-H111. Așadar, se poate spune că unealta de sudare, realizată utilizând combinații de pin și umăr după cum au fost prezentate anterior, sunt indicate pentru sudarea tablelor în grosime de 6 mm. Referitor la parametri de sudare, combinația utilizată pentru proba E ($\omega = 600$ RPM, $v = 200$ mm/min, $F = 10$ kN) pare să fie cea mai indicată a fi folosită la îmbinarea aliajului analizat în această lucrare.



Certification of welding
and non-destructive
testing personnel

ISIM CERT END -
Notified Body at the
European Commission
according to
Directive 97/23/EC

Certificarea personalului
sudor și pentru examinări
nedistructive

ISIM CERT END - Organism
de certificare notificat la
Comisia Europeană
conform
Directivei 97/23/EC.

Reference documents/
Documente de referință

SR EN ISO/CEI 17024: 2004
SR EN 287-1: 2004/ A2: 2006
SR EN ISO 9606-2: 2005
SR EN ISO 9606-3: 2001
SR EN ISO 9606-4: 2001
SR EN ISO 9606-5: 2002
SR EN 1418
SR EN 473