

Influența parametrilor de proces la sudarea hibridă laser-arc a aliajelor de aluminiu

Influence of process parameters on the laser-arc welding of aluminum alloys

CICALA E.^{1,2}, GREVEYD. ¹; ILIE M.^{2,3}

¹Institut Carnot de Bourgogne, Université de Bourgogne

²Facultatea de Mecanică, Universitatea "Politehnica" din Timișoara,

³Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudura și Încercări de Materiale - ISIM Timișoara

Cuvinte cheie

Sudare laser-arc, aliaje de aluminiu, experiment factorial

Keywords

Laser-arc welding, aluminum alloys, experimental design

1. Introducere

Optimizarea proceselor de sudare este un subiect actual, de interes major atât în practicile industriale cât și în domeniul cercetării, datorită evoluției extrem de dinamice înregistrate în acest domeniu și a necesității constante de eficientizare a acestor procese. Procesele tehnologice moderne, printre care și sudarea cu fascicul laser, sunt procese complexe, cu un comportament adesea stohastic determinat de numărul mare de factori de influență ce intervin precum și de interacțiunile dintre aceștia [2] [3]. Cu atât mai mult, fenomenologia specifică procedeelor hibride, cum e cazul sudării hibride laser-arc electric (figura 1), va fi una mult mai complexă ca urmare a asocierii celor doua surse termice și implică o creștere semnificativă a numărului factorilor de influență. În acest context, modelarea analitică a unui astfel de proces este dificilă și adeseori irezolvabilă la nivel global.

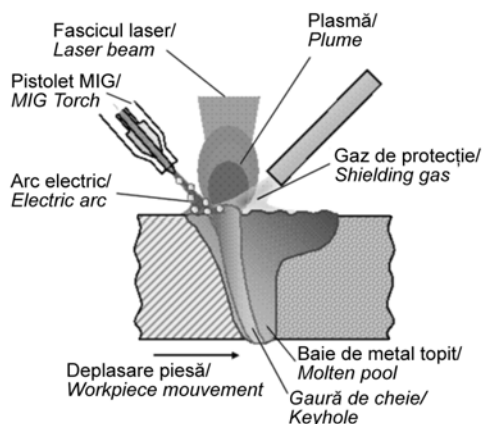


Figura 1. Reprezentarea schematică a sudării hibride laser-arc/
Figure 1. Schematic representation of the laser-arc welding technique

O metodă extrem de eficientă de optimizare a acestor procese complexe o constituie metoda experimentelor factoriale [1] [2] [4] ce se bazează pe abordarea procesului ca sistem cibernetic (figura 2) urmărind exclusiv stabilirea, pe principiile statisticii matematice și analizei regresionale, a legăturii dintre indicatorii de performanță (funcții de răspuns) și variabilele independente

1. Introduction

Process optimization is a major focus for the welding industry and its associated research community, requiring improved methods and technology, especially in welding of thick or dissimilar materials. Laser welding, like the most modern technological processes, is a very complex one, which sometimes behaves in a stochastic manner due to the considerable number of influencing factors and their interactions [2] [3]. The hybrid laser - arc welding presents a phenomenology even more complicated because the number of parameters and especially the interactions between them is increasing dramatically due to the «association» between the laser beam and the electric arc in the same heat source (fig. 1). In this context, the theoretical modeling needed to optimize the laser-arc welding process is sometimes long and complicated and often it does not respond in an effective way to the complexity of the problem, usually dealing with only one aspect of the overall problem to be solved.

An efficient way to optimize such a complex process can be offered, for example, by the method of *experimental design* [1] [2] [4]. It is a structured and organized method which permits to determine the relationship between the different *factors* affecting a process and *the output* of that process (fig. 2) using an appropriate strategy. In this way, the output can be controlled only by modifying the influencing factors and the complicated phenomenology of the system can be ignored.

The present article proposes an experimental approach for studying the influence of the operational factors on the performance of the welded joint (geometry, compactness and tensile strength) in hybrid welding (Nd: YAG laser + arc) of 2xxx class aluminum alloys used in aviation.

2. Experimental conditions

2.1. Experimental setup

For the experimental tests, a Nd:YAG laser with a maximal power of 3.5 kW, operating in continuous wave regime was used. A hybrid head combines the two elements for welding: the electric arc and the laser beam. The system allows a 3D adjustment of the hybrid head with respect to the working piece

ale sistemului (factorii de influență) într-o formă cât mai accesibilă aplicațiilor practice. Astfel, se poate obține un control eficient al procesului prin controlul mărimilor de intrare (factorii de influență), ignorând fenomenologia complexă a sistemului.

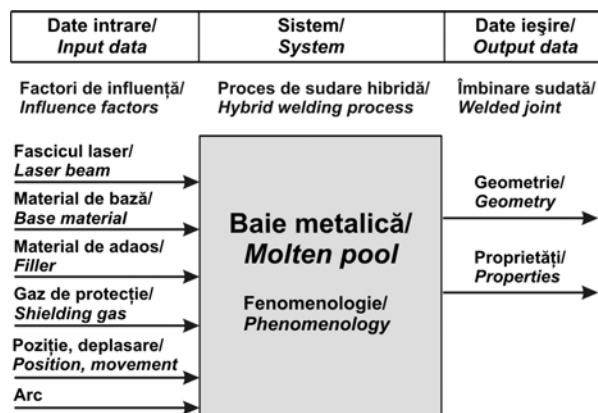


Figura 2. Reprezentarea schematică a procesului ca sistem cibernetic/

Figure 2. Schematic representation of the process as a "black box"

În cadrul lucrării, se prezintă o astfel de abordare experimentală a procesului de sudare hibridă laser-arc în studiul influenței parametrilor de proces asupra caracteristicilor îmbinării sudate (geometrie, compactitate) a tablelor din aliaje de aluminiu utilizate în industria aeronautică.

2. Condiții experimentale

2.1. Standul experimental

Pentru încercările experimentale s-a folosit un laser Nd:YAG având un regim de funcționare în undă continuă și o putere maximă de 3,5kW. Capul de sudare combină elementele necesare sudării hibride cu arc electric și fascicul laser având un sistem de poziționare ce permite deplasarea cu precizie a acestuia pe cele 3 axe. Stabilitatea arcului electric a fost asigurată de un jet coaxial de gaz de protecție (argon).

2.2. Parametrii de proces

Problema ce urmează a fi studiată are la bază următoarele ipoteze și condiții:

- *Material de bază*: table din aliaj de aluminiu 2024 cu o grosime de 4 mm și compoziția chimică prezentată în tabelul 1;
- *Fascicul laser*: Nd: YAG, regim de funcționare în continuu, distanță focală lentilă 200 mm, diametru spot laser 400 μm;

Table 1 Compoziția chimică a materialului de bază/ Table 1. Chemical composition of the base material

Aliaj/ Alloy	Elemente de aliere (% fracție masică procentuală)/ Alloying elements (% weight)							Stare/State
Al 2024	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	T4
	max. 0,5	max. 0,5	3,8-4,9	0,3-0,9	1,2-1,8	max. 0,1	max. 0,15	

Table 2. Compoziția chimică a sârmei electrod/ Table 2. Fillers chemical composition

Aliaj/ Alloy	Compoziție (% fracție masică procentuală)/ Composition (% weight)								
	Si	Cu	Mn	Fe	Mg	Zn	Zr	Ti	V
4047	11-13	0,3	0,15	0,8	0,1	0,2	-	-	-
2319	max. 0,2	5,8-6,8	0,2-0,4	max. 0,3	max. 0,02	max. 0,1	0,1-0,25	0,15	0,1

and also a precise positioning of the parts and the desired laser paths, which are CNC programmable. The arc stability was assured by a coaxial argon shielding gas.

2.2. The parametric conditions

The problem to be studied is defined by the following terms and conditions:

- *Materials to be welded*: 2024 aluminum alloy sheets with 4 mm thickness and the chemical composition specified in the table 1; clamping system by compression;
- *Laser beam*: Nd: YAG, continuous, 200 mm focal length, 400 μm laser spot;
- *Filler material*: AA 4047 and AA 2319 aluminum alloys in the form of wire with the chemical compositions specified in the table 2;
- *Shielding gas*: argon.

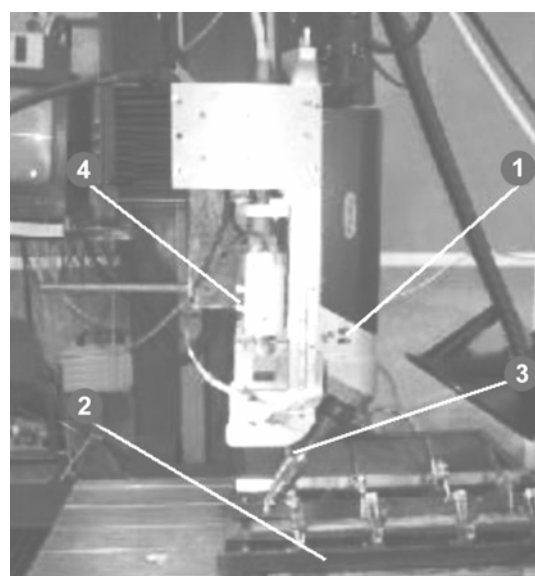


Figura 3. Standul experimental utilizat pentru sudarea laser -arc:

1 – cap de sudare hibrid; 2 – sistem de fixare;

3 – cap de sudare MIG/; 4 – cap de sudare laser/

Figure 3. Experimental setup for arc-laser welding:

1 – hybrid welding head ; 2 – clamping system;

3 – MIG torch; 4 – laser head

The general experimental strategy involved an analysis for the butt configuration welding. In order to utilize the existent experience accumulated in laser welding of aluminum alloys [5], [6] in approaching the hybrid process, laser welding has been considered as a special case limit of the later ($I = 0$ A).

– *Material de adaos (sârmă electrod)*: sârme din aliaje de aluminiu AA 4047 și AA 2319 cu un diametru d_w de 1mm și compoziția chimică specificată în tabelul 2;

– *Gaz de protecție*: argon.

În adoptarea strategiei experimentale pentru analiza procesului de sudare hibridă pentru o configurație de sudare cap la cap, s-a plecat de la rezultatele obținute anterior în cazul unui procedeu simplu de sudare cu fascicul laser a aliajelor de aluminiu [5], [6] și considerând că acesta este un caz limită al sudării hibride ($I = 0$ A).

3. Analiza experimentală

3.1. Structura experimentelor factoriale

Proiectarea programului experimental are la bază metoda experimentelor factoriale complete și fracționare [1] [2] [3]. Pe baza informațiilor apriorice menționate mai sus, s-au ales factorii de influență, punctele centrale ale experimentării și intervalele

Table 3. Sudare cap la cap – factori de influență și nivelul lor/
Table 3. Butt welding – influencing factors and their levels

Factori/ Factors	Nivel/ Level			
	1	2	3	4
A* - Tip electrod/ Filler [-]	2319	4047	-	-
B* - Poziție electrod-fascicul laser/ Filler-laser beam position [-]	înainte/ before	după/ after	-	-
C* - Debit gaz / Gas flow rate [l/min]	10	20	-	-
D* - Distanță electrod-fascicul laser/ Filler-laser beam distance [mm]	4	5	6	7
E* - Poziția planului focal/ Focal plane position [mm]	0	-1	-	-

* notații utilizate în reprezentările grafice/notations used for the graphical representations

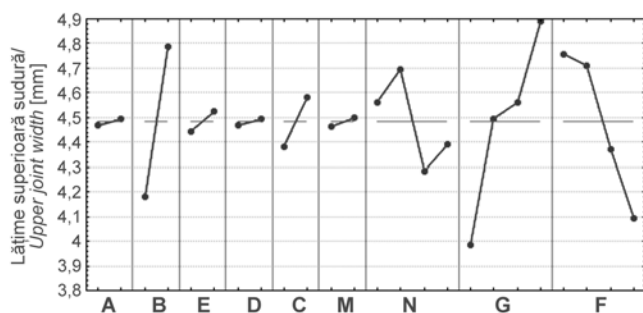


Figura 4. Efectul factorilor asupra lățimii superioare a sudurii (M - program de sudare ce permite variația curentului de sudare și a tensiunii arcului ; N - corecția arcului electric)/

Figure 4. Effect of influencing factors on the superior width of the welded joint (M - welding program combining the electric arc intensity and voltage; N - electric arc correction)

de variație ale factorilor, stabilindu-se pentru fiecare factor un anumit număr de nivele de variație. Pentru anumiți factori s-au folosit 2 sau 4 nivele de variație (tabelul 3), iar pentru ceilalți factori, care au mai mult de 4 nivele, domeniile de variație sunt

3. Experimental analysis for the butt welding configuration

3.1. The design of experiments

The factors of influence selected to perform the experimental design and their variation domains are concentrated in the tables 3 and 4. For some factors, only 2 or 4 variation levels were used (table 3). For the remaining factors, with more than 4 levels, the variation intervals are given in the table 4. Full and fractional designs of experiments were used [1] [2] [3]. The general configuration for butt welding is presented in fig. 3. For all the tests, the filler wire has a diameter d_w of 1mm, and the shielding gas is assured on the both sides of the working piece.

3.2. Results and discussion

Analysis of the results was conducted in a typical manner for the use of experimental design [4, 5]. It permitted to highlight the influence of operational factors on the welded joint

Table 4. Intervalele de variație pentru factorii de influență/
Table 4. Variation intervals for the influencing factors

Factor	Interval
F* - Viteza de sudare/ Welding speed [m/min]	[2,5; 3,5]
G* - Viteza de avans a sârmei electrod/ Filler feed rate [m/min]	[4; 10]
H* - I [A]	[72; 300]
K* - U [V]	[14,4; 26,4]
J* - Deschiderea rostului/ Parts fitup [mm]	[0; 1]

* notații utilizate în reprezentările grafice/notations used for the graphical representations

geometry and to represent the effects produced by each factor on the established response functions (fig. 4 and 5). It has been noted that the superior and inferior joint widths are influenced mainly by the contribution of the filler feed rate and the welding speed. Considering a synthesis parameter, D_w defined as the volume flow rate of the filler material for 1 mm of welded joint:

$$D_w = \frac{\pi d_w^2 v_w}{4v} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{mm}} \right] \quad (1)$$

where d_w - filler diameter [mm], v_w - filler feed rate [m/min], v = welding speed [m/min], it is obvious that its variation has a strong influence on the geometry of the welded joint (fig. 6 and 7). For all parametric combinations, the superior joint width increases with the volume flow rate D_w .

Comparing these results with the results obtained for the laser welding with filler wire [5], it is clear that the welding speed and filler feed rate are still operating parameters of prime importance to the joint geometry and properties. This allows to consider the laser-wire welding as the particular case ($I = 0$ A) of the hybrid arc-laser welding. The remaining factors don't reveal an important influence on the welded joint geometry in the explored domain. It should be noted that if the position of the filler relative to the laser beam is a factor of prime importance for the superior width of the joint, its influence on the inferior width is negligible. By contrast, the position of the focal plane

Influență parametri

specificate în tabelul 4. În toate încercările, gazul de protecție este suflat pe ambele părți ale îmbinării,

3.2. Rezultate

Analiza rezultatelor experimentale s-a realizat în maniera clasică a analizei factoriale, cunoscută în literatura de specialitate

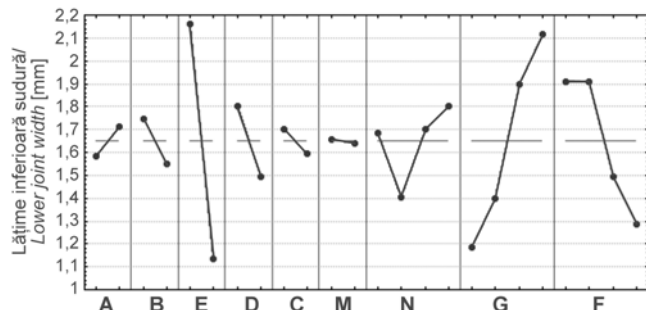


Figura 5. Efectul factorilor asupra lățimii inferioare a sudurii (M- program de sudare ce permite variația curentului de sudare și a tensiunii arcului ; N – corecția arcului electric)/

Figure 5. Effect of influencing factors on the inferior width of the welded joint (M- welding program combining the electric arc intensity and voltage; N – electric arc correction)

[4,5]. Această tehnică permite evidențierea și reprezentarea grafică a efectelor factorilor de influență asupra geometriei sudurii (figurile 4 și 5). S-a evidențiat faptul că lățimea superioară și inferioară a îmbinării este influențată în principal de viteza de sudare și viteza de avans a sârmei electrod. Definind un parametru global D_w pentru cele două mărimi sub forma unui raport între viteza de avans a sârmei electrod și viteza de sudare:

$$D_w = \frac{\pi d_w^2 v_w}{4v} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{mm}} \right] \quad (1)$$

unde d_w – diametru sârmei electrod [mm], v_w – viteza de avans a sârmei electrod [m/min], v – viteza de sudare [m/min], este evidentă influența pe care acest parametru o are asupra geometriei sudurii în domeniul investigat (figura 6 și 7).

Comparând aceste rezultate cu cele obținute în cazul sudării cu laser cu material de adaos [5], este evident că viteza de sudare precum și rata de depunere a materialului de adaos sunt parametri de proces de o importanță deosebită, cu o influență majoră asupra geometriei cordonului și a caracteristicilor îmbinării sudate. Ceilalți factori, pentru domeniul investigat, nu au o influență semnificativă asupra geometriei sudurii. Trebuie menționat că poziția sârmei electrod, relativ la fasciculul laser, influențează lățimea superioară a sudurii și este neglijabilă pentru lățimea inferioară. Un efect contrar se observă în cazul poziției planului focal, aceasta are o influență majoră asupra lățimii inferioare a sudurii și una neglijabilă asupra lățimii superioare (figura 5 și figura 6). Toate rezultatele experimentale indică o creștere a lățimii superioare a sudurii odată cu creșterea D_w debitului de material de adaos pe mm de sudură (fig. 8), dispersia datelor experimentale relativ la modelul de regresie fiind datorate în principal celorlalți factori de influență, cu excepția vitezei de sudare și a fluxului materialului de adaos.

Sinergia celor două surse, fasciculul laser-arc electric, determină obținerea unei geometrii adecvate a sudurii (figura 9c). În timp ce arcul electric se comportă ca o sursă termică de suprafață influențând partea superioară a sudurii (figura 9 a), fasciculul

has a strong influence on the inferior joint width and a small influence on the superior one (fig. 4 and 5). For all performed tests, it can be observed that the superior weld width increases with the volume flow rate of the filler D_w (fig. 8), the dispersion of results from the regression model is caused mainly by the other parameters than the filler feed rate and the welding speed.

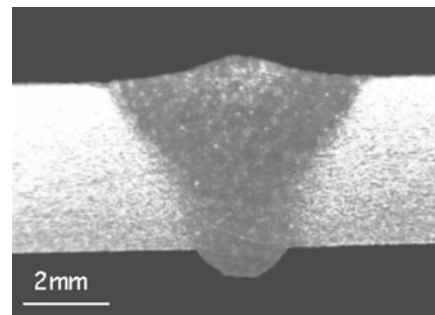


Figura 6. Secțiune transversală a sudurii pentru /
Figure 6. Cross section of the weld bed
($D_w=2,42\text{mm}^3/\text{mm}$, $I=245\text{A}$; $U=23,6\text{V}$; $P_{\text{laser}}=3,5\text{kW}$,
Material de adaos/Filer: 2319)

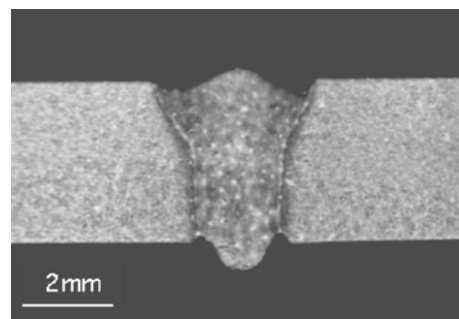


Figura 7. Secțiune transversală a sudurii pentru /
Figure 7. Cross section of the weld bed
($D_w=1,26\text{mm}^3/\text{mm}$, $I=128\text{A}$; $U=14,4\text{V}$; $P_{\text{laser}}=3,5\text{kW}$,
Material de adaos/Filer: 2319)

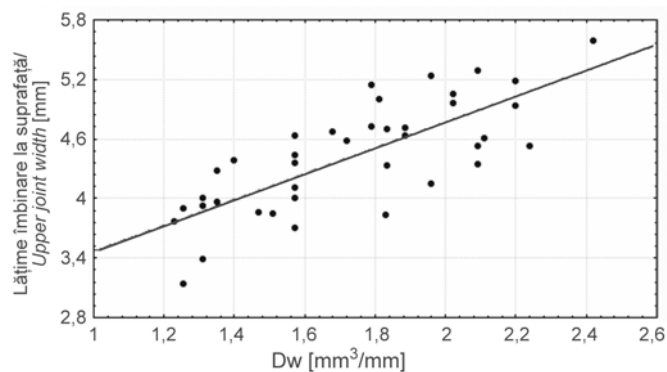


Figura 8. Influența D_w asupra lățimii superioare a sudurii /
Figure 8. Influence of the D_w on the superior weld width

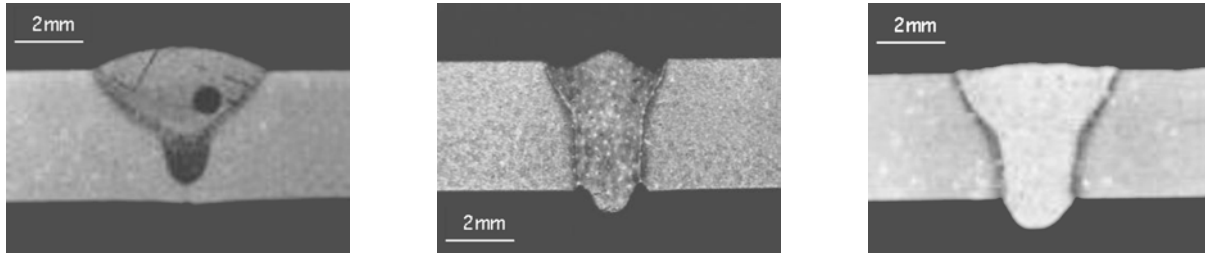
The synergy between the effect of the laser beam and the electric arc produces penetrated welded joints with a good geometry (fig. 9c). Taking into account the specificity of the two heat sources, the electric arc and the laser beam, the first one behaves rather as a surface source of energy influencing the upper part of the welded joint geometry (fig.10 a) and the laser beam, by its superior penetration into the material, affects mainly the lower geometry of the joint (fig. 10b).

A significant factor which determines the appearance of gutters in the joint is represented by the type of filler used: The

laser asigură un aport energetic volumic influențând cu preponderență geometria la partea inferioară a sudurii (figura 9b).

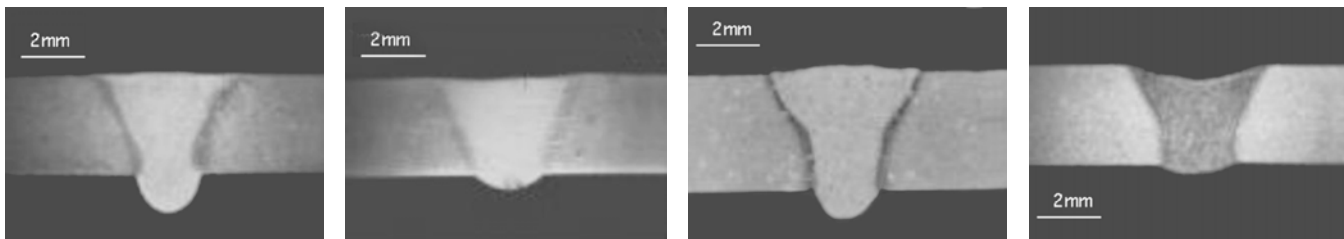
Apariția mușcăturilor în zonele adiacente joncțiunii sudură-material de bază este puternic influențată de tipul materialului de adaos folosit. Astfel, se observă că în cazul folosirii aliajului

use of 2319 determines a much heightened sensitivity to the appearance of gutters than the use of 4047 filler. From a total of 40 macro-images, the welded joints obtained using 2319 as a filler material and different parametric combinations, there were 17 joints with gutters, compared to only 5 guttered joints from 40 obtained in the case of 4047 filler.



(a) $E_{lin-beam} = 60 \text{ J/mm}$, $E_{lin-arc} = 79 \text{ J/mm}$ (b) $E_{lin-beam} = 84 \text{ J/mm}$, $E_{lin-arc} = 44 \text{ J/mm}$ (c) $E_{lin-beam} = 70 \text{ J/mm}$, $E_{lin-arc} = 52 \text{ J/mm}$

Figura 9. Secțiuni transversale ale sudurii pentru diferite energii liniare ale fascicului laser $E_{lin-beam}$ și arcului electric $E_{lin-arc}$ /
Figure 9. Cross sections of the weld bed for different linear energies of the laser beam $E_{lin-beam}$ and the electric arc $E_{lin-arc}$



(a) deschidere rost/
gap tolerance = 0,
 $D_w = 2,72 \text{ mm}^3/\text{mm}$

(b) deschidere rost/
gap tolerance = 0,8 mm,
 $D_w = 2,72 \text{ mm}^3/\text{mm}$

(c) deschidere rost/
gap tolerance = 0,
 $D_w = 2,09 \text{ mm}^3/\text{mm}$

(d) deschidere rost/
gap tolerance = 0,8 mm,
 $D_w = 2,09 \text{ mm}^3/\text{mm}$

Figura 10. Influența deschiderii rostului și aportului de material de adaos asupra geometriei sudurii/
Figure 10. Influence of the gap tolerance on the optimal volume flow rate

2319 este mult mai probabilă apariția acestor mușcăături decât în cazul aliajului 4047. Acest aspect a fost determinat pe baza analizei a unui număr de 40 de imagini ale sudurii, pentru fiecare tip de material de adaos, observându-se existența a unui număr de 17 îmbinări cu mușcăături obținute în cazul folosirii materialului de adaos 2319 și doar 5 îmbinări cu mușcăături în cazul materialului 4047.

When dealing with a square butt or I- joint, air gaps arise from poor fitup of parts or from roughness of cut plate edges. For laser welding, in order to avoid bead concavity and sagging, air gaps must be less than about 5% of the plate thickness [7]. In hybrid laser welding, the gap tolerance between the parts to be welded can have much larger values. This increased bridging capability is due to the arc process not only by the presence of the filler but as well by the widen process zone. However, it should be remembered that for a certain gap tolerance between the parts, corresponds an optimal volume flow rate of the filler (fig. 10). If there are variations of the gap tolerance along the welding path, the volume flow rate of the filler has to be modified in order to ensure an optimal geometry of the welded joint.

Another common defect of the welded joint encountered in arc-laser welding technique is represented by the presence of the porosities (fig. 11a and b). The analysis showed that by changing the operating parameters it is possible to improve the weld quality in terms of porosity.

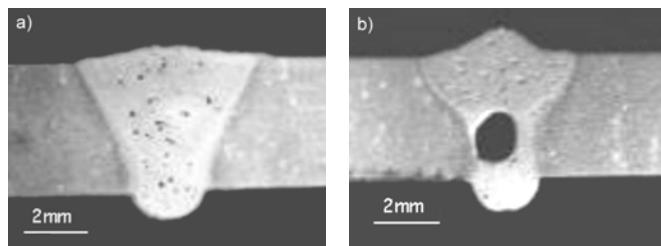


Figura 11. Pori de dimensiuni mici (a) sau mari (b) prezenți în sudură/
Figure 11. The presence of small (a) or large (b) porosities in the weld bed

Geometria sudurii depinde însă, în mare măsură, și de deschiderea rostului dintre cele două componente de asamblat. Ca și regulă generală, pentru evitarea obținerii unei suprafețe concave a sudurii, deschiderea rostului pentru o configurație de sudare cap la cap cu fascicul laser, nu trebuie să depășească 5% din grosimea componentelor [7]. La sudarea hibridă laser-arc, această valoare poate fi depășită atât ca urmare a prezenței materialului de adaos, cât și a prezenței arcului electric care este o sursă termică de acțiune mai extinsă decât fasciculul laser. Cu

5. Conclusions

Control of weld-bead shape is essential because the mechanical properties of welds are directly affected by it. Therefore, it is clear that precise selection of the process parameters is necessary. The study has identified the influences generated by a large number of operating parameters, which are considered as factors of influence, on the geometry and properties of 2024 aluminum alloy welded sheets with hybrid laser - arc welding technique. The method of design of experiments has been able to indicate, in an effective way, the adequate parametric condition for obtaining the optimum

toate acestea, trebuie reținut faptul că este necesară o corelare între rata de depunere a materialului de adaos și deschiderea rostului pentru obținerea unei suduri cu geometrie adecvată (figura 10) precum și necesitatea asigurării unei viteze de avans pentru sârma electrod variabilă, dacă această deschidere a rostului nu este constantă în lungul traiectoriei.

Unul din defectele cele mai întâlnite la sudarea hibridă laser-arc este reprezentat de prezența porilor în sudură (fig. 11a și b). Analiza realizată a arătat că prin modificarea parametrilor operatorii este posibilă ameliorarea compactității sudurii prin reducerea acestor porozități.

5. Concluzii

Controlul geometriei cordonului este un element esențial în obținerea unor performanțe mecanice superioare ale îmbinării sudate, ca urmare, este necesară o alegere corectă a parametrilor de sudare. Prin acest studiu s-au identificat efectele generate de un număr mare de parametri de proces ce influențează geometria și proprietățile îmbinării sudate, în cazul sudării tablelor din aliaje de aluminiu 2024 folosind tehnologia de sudare hibridă laser-arc. Printr-o abordare experimentală, bazată pe o analiză factorială a fost posibilă determinarea parametrilor de proces necesari obținerii unui optim în ceea ce privește geometria și proprietățile îmbinării. S-au evidențiat ca și factori cu o influență semnificativă: viteza de sudare și viteza de avans a materialului de adaos sintetizați într-un parametru global D_w . Pentru configurația de sudare studiată și factorii de proces considerați s-a evidențiat faptul că parametrii arcului electric influențează geometria superioară a cordonului, în timp ce caracteristicile fascicului laser influențează cu precădere geometria inferioară a cordonului.



geometry and properties of the weld. The analysis indicated the most important operating parameters for the process: the welding speed and the filler feed rate, which are synthesized in the volume flow rate of filler material per 1 mm welded joint, D_w . For the studied welding configuration, it has been shown that the electric arc parameters affect mainly the upper part of the weld geometry and the laser beam parameters influence especially its lower part. The volume flow rate of the filler has to be adapted to the joint geometry and the gap tolerance of the parts.

Bibliografie/Reference

- [1] Montgomery D.C.: *Design and analysis of experiments*, John Wiley & Sons, Singapore, 1991
- [2] Cicala E.F.: *Metode de prelucrare statistica a datelor experimentale*, Ed. Politehnica, Timisoara, 1999
- [3] Nichici A., Cicala E.: *A New Approach in the Gas Jet Assisted CO₂ Laser Cutting Off Line Optimization*, Proceedings of International Conference on LASER '97, New Orleans, p. 461-468, 1997
- [4] Alexis J.: *Pratique industrielle de la methode Taguchi. Les plans d'expériences*, AFNOR, 1995
- [5] Cicala, E., Duffet G., Andrzejewski H., Grevey D., Ignat S.: *Hot cracking in Al-Mg-Si alloy laser welding – operating parameters and their effects*, Materials Science and Engineering A, 2005, vol.395, nr. 1-2, p.1-9
- [6] Schubert E., Klassen M., Skupin J., Sepold G.: *Effect of Filler Wire on Process Stability in Laser Beam Welding of Aluminium-Alloys*, 6-ème Colloque International sur le Soudage et la Fusion par Faisceaux d'Electrons et Laser – CISFFEL'6, Toulon, 1998, p. 195-203
- [7] John I.: *Laser processing of engineering materials – Principles, procedure and industrial applications*, Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 30 Corporate Drive, Burlington, 2005

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



Vă oferă

Lucrările Conferinței Internaționale ISIM - Tehnologii inovative pentru îmbinarea materialelor avansate, Timișoara 7-8 iunie 2007	100 lei
Lucrările celei de a 5-a Conferințe Internaționale - Integritatea structurală a îmbinărilor sudate - ISCS07 – Încercarea și evaluarea riscului la realizarea materialelor avansate și a îmbinărilor, Timișoara 21-22 noiembrie 2007	100 lei
Lucrările Primului Congres IIW Sud - est european de sudare - Tehnologii de sudare și îmbinare pentru o dezvoltare durabilă și mediu, Timișoara 24-26 mai 2006, pe CD-ROM (limba engleză)	100 lei
Lucrările Conferinței Internaționale a ISIM, 2006 - Integritatea structurală a construcțiilor sudate, pe CD-ROM (limba română)	30 lei
Lucrările Conferinței Naționale a ISIM, 2005 - Tendințe în activitatea de cercetare-dezvoltare-inovare în domeniul sudării, pe CD-ROM	20 lei
Atlas metalografic	40 lei
ISIM-Rezumat - Îmbinarea materialelor plastice	20 lei
ISIM-Rezumat - Materiale avansate	15 lei
ISIM-Rezumat - Pulverizare termică	15 lei
Revista BID-ISIM, 2006 (abonament)	150 lei

În cazul în care sunteți interesați de oferta noastră vă rugăm să virăți în contul ISIM nr. RO15RNCB0249049272150001, BCR Timișoara sau direct la casieria ISIM, sumele corespunzătoare. Prețurile conțin TVA și cheltuielile de expediție. Informații suplimentare la telefonul 0256-200222.