Dezvoltări ale procesului de micro-sudare hibridă laser – WIG

Laser – TIG hybrid micro-welding process developments

V. Bîrdeanu*, D. Dehelean*, S. Savu**
*National R&D Institute for Welding and Material Testing - ISIM Timisoara; **University of Craiova
e-mail: valentin@isim.ro

Cuvinte cheie:

Sudare cu fascicul laser, sudare hibridă LASER-WIG, senzor nanostructurat, dezvoltare proces de sudare

1. Introducere

Sudarea cu fascicul laser este una din direcțiile importante de CDI ale ISIM Timişoara. Pe lângă aplicațiile "clasice", adică tăierea şi sudarea, ce sunt focalizate pe microprocesarea şi prelucrarea materialelor nou dezvoltate (de ex. materiale compozite metalice nano şi microstructurate, microsudarea aliajelor cu memoria formei, sudarea cu fascicul laser a materialelor plastice), alte aplicații sunt studiate de asemenea – depunerea de filme subțiri prin procesare cu fascicul laser (PLD), dezvoltarea de microstraturi funcționalizate prin micro-aliere superficială cu fascicul laser şi depunere directă de pulberi cu fascicul laser. Pe lângă prelucrarea materialelor cu fascicul laser, o altă direcție de CDI importantă a ISIM Timişoara este reprezentată de dezvoltarea procesului de sudare hibrid laser – arc şi extinderea aplicabilității acestuia la sudarea materialelor noi.

Procedeul de sudare hibrid laser-arc nu este nou [1], dar se poate observa că, în ultima decadă, acest procedeu este caracterizat de o dezvoltare continuă şi accelerată cu progrese substanțiale în ceea ce priveşte caracterizarea şi controlul acestuia [2, 3], dar şi în ceea ce priveşte aplicarea în diferite domenii industriale [4, 5, 6, 7].

Deşi principalele aplicații industriale şi direcțiile de dezvoltare a procesului de sudare hibrid laser-arc sunt focalizate pe macro-procesare datorită eficienței ridicate şi productivității mărite a procedeului, utilizarea combinației fascicul laser – arc electric este de interes şi în domeniul microsudării, de ex. pentru sudarea tablelor subțiri [8] în principal datorită faptului ca procedeul permite utilizarea unor puteri laser reduse, dar cu utilizarea unor viteze de sudare mari.

Urmând aceste tendințe internaționale în ceea ce priveşte îmbunătățirea noilor procedee de sudare şi dezvoltarea procedeelor de sudare hibride, lucrarea de față prezintă realizări ale Institutului Naționale de Cercetare – Dezvoltare în Sudură şi Încercări de Materiale, ISIM, Timişoara în dezvoltarea sudării laser-WIG / microWIG.

2. Dezvoltarea procedeului de sudare hibrid LASER-WIG / micro WIG

2.1. Fondul de dezvoltare al noului procedeu de sudare hibrid

Procesul de sudare cu fascicul laser în regim pulsat este caracterizat de obținerea unei pătrunderi efective a cusăturii

Keywords

Laser beam welding, laser TIG hybrid welding, nano-structured sensor, welding process development

1. Introduction

Laser beam material processing is one of the important RTDI directions of ISIM Timisoara. Besides the "classical" applications, i.e. cutting and welding, which are focused on micro-processing and processing of newly developed materials (e.g. nano-structured / micro-structured metal matrix composites, micro-welding of memory shape alloys, laser beam welding of plastic materials), other applications are studied as well – thin film coating using pulsed laser deposition and developing of multi-functional micro-layers using laser beam micro-alloying and direct laser powder deposition. Besides laser beam process applications, another important RTDI direction in laser beam material processing is the development of the laser-arc hybrid process and to expanding its usability to the new materials.

Laser-arc hybrid welding process is not a new process [1] but one can observe that, it the latest decade, this process has been characterized by a continuous and accelerated development with substantial advancement in respect to the study of hybrid welding processes [2, 3] and towards application in various industrial domains [4, 5, 6, 7].

While the main industrial applications and development of the laser-arc welding process are focused onto macro-processing because of increased efficiency and higher productivity, the use of laser beam and arc combination for micro-welding is also of interest, e.g. for welding thin sheets [8], based on the fact that lower laser powers can be used while achieving high welding speeds.

Following these international trends which refer to the improvement of new welding processes and the development of the hybrid welding processes, the paper presents some of the achievements of the National Research-Development Institute for Welding and Material Testing, ISIM Timisoara (Romania) in the development of laser-TIG / microTIG welding process.

2. LASER-TIG / micro-TIG welding process development

2.1. Background for the new process development

One of the characteristics of pulsed laser welding is the seam effective penetration depth which is related to the

ce depinde în principal de gradul de suprapunere a pulsurilor laser utilizate pentru obținerea cusăturii (figura 1). De asemenea, experimentările de sudare cu fascicul laser în regim pulsat a materialelor compozite cu matrice metalică micro- şi nanostructurate au relevat faptul că preîncălzirea duce la îmbunătățirea stabilității procesului prin atenuarea gradienților de temperatură specifici sudării cu fascicul laser şi prin compensarea parțială a direcțiilor de solidificare arbitrare a băii de metal topit cauzate de anizotropia materialului [9].

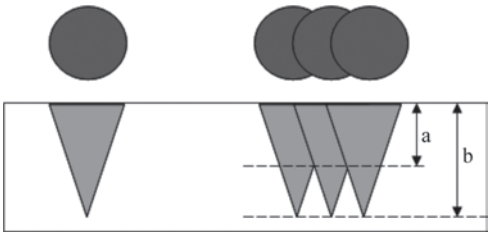

Figura 1. Schema sudării cu fascicul laser în regim pulsat/
(a. – pătrunderea efectivă a cusăturii b. – pătrunderea pulsului)
Figure 1. Schematic diagram of pulsed laser beam weld
(a. – seam effective penetration b. - pulse penetration)

Aceste două chestiuni au stat la baza propunerii unei noi variante a procedeului de sudare hibrid laser-arc ce utilizează combinarea sudării cu fascicul laser în regim pulsat cu

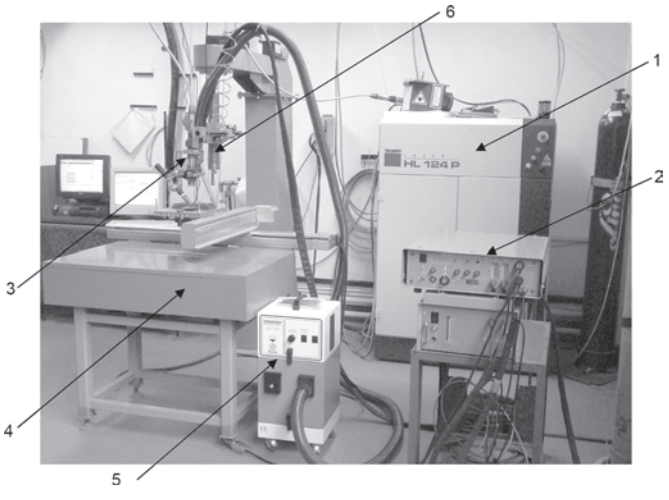

Figura 2. Sistemul experimental: 1 - laser Nd:YAG pulsat; 2 - sursă sudare WIG; 3 - cap de sudare laser; 4 - masă inerțială cu robot cartezian; 5 - exhaustor; 6 - sistem de poziționare/
Figure 2. Experimental system: 1 - Nd:YAG pulsed laser; 2 - TIG welding source; 3 - laser welding processing head; 4 - inertial table with xOy robot; 5 - exhauster; 6 - positioning system;

procedeul de sudare WIG pulsat pentru a atenua variația pătrunderii cusăturii (figura 1) prin controlul parametrilor de sudare WIG. De asemenea, efectele sinergice ale cuplării celor două procese pulsate ar trebui să ducă la îmbunătățirea stabilității procesului de sudare, în principal devierea arcului WIG pe durata curentului de bază. În ceea ce priveşte prelucrarea materialelor compozite cu matrice metalică micro- şi nanostructurate, procesul TIG poate fi folosit ca sursă locală de preîncălzire pentru reducerea gradienților de răcire la sudarea acestora.

Primii paşi în dezvoltarea procesului de sudare laser-WIG pulsat au necesitat: proiectarea şi realizarea unui sistem de

overlapping rate of the laser spots used for obtaining the seam weld (figure 1). Also, the experimental work done regarding the pulsed laser processing of nano- and micro-structured metal matrix composite materials revealed that pre-heating improves to a certain degree the process stability by attenuating the high cooling rate gradients specific to laser beam welding and by compensating the arbitrary solidification direction of the melted bath caused by the base material anisotropy [9].

These two issues have led to proposing a new variant of the laser-arc hybrid process which uses pulsed laser beam in combination with pulsed cc TIG arc in order to attenuate the penetration depth variation (Figure 1) specific to pulsed laser welding by controlling the TIG arc welding parameters. Also the synergistic effect of coupling the two welding sources should improve the process stability, i.e. the TIG pulsed arc deflections for the low current periods (base current). At the same time, the TIG arc can be used as a local preheat process for decreasing the cooling gradients in welding metal matrix composites materials.

The first steps in the development of the pulsed laser-TIG process involved the design and realization of an experimental system for the development of LASER –TIG hybrid process (Figure 2) and different laser-TIG hybrid assemblies (Figure 3), experimental work for process dynamics investigations and technological investigations as well as the development of sensors for controlling the process geometrical characteristics

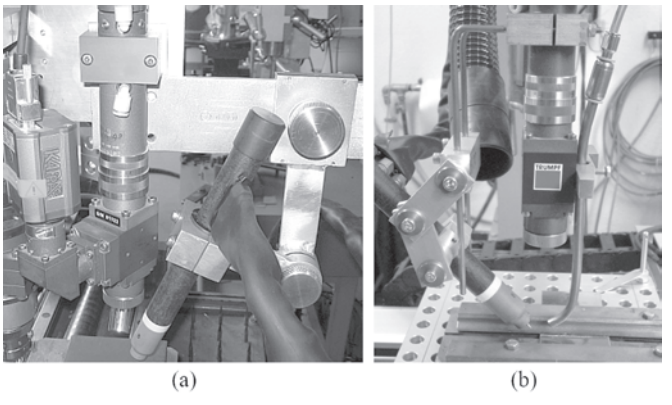

Figura 3. Ansamble hibride LASER–WIG
(a) - design #1; (b) - design #2
Posibilitățile de control: 0,60-9,0mm distanța dintre procese; 39–65^0 unghiul FL-WIG /
Figure 3. LASER–TIG hybrid welding assembly
(a) - design #1; (b) - design #2
Control possibility: 0.60-9.0mm distance between processes; 39–65^0 LB-TIG torch angle

(e.g. laser beam – torch angle).

2.2. LASER-TIG / micro-TIG technological investigations

The technological investigations started with using cc TIG process for determining the influence of welding parameters on the geometry of the weld. Figures 4 and 5, present the influence of the travel speed and the distance between processes as well as the leading process on penetration depth, respectively.

The main conclusions of the study are:

- penetration depth in case of laser TIG welding increases if TIG is the leading process but with impact on TIG laser stability for the start-up of the welding

experimentare (figura 2), proiectarea şi realizarea unor ansamble hibride laser-WIG (figura 3), experimentări pentru investigarea dinamicii procesului şi investigaţii tehnologice, dar şi dezvoltarea de senzori pentru controlul caracteristicilor geometrice ale procesului (de ex. unghiul fascicul laser – arzător WIG).

2.2. Investigaţii tehnologice ale procedeului de sudare hibrid LASER-WIG / micro-WIG

Investigaţiile tehnologice iniţiale au utilizat procesul de sudare WIG cc nepulsat pentru determinarea influenţei parametrilor de sudare asupra geometriei cusăturii. Figurile 4 şi 5 prezintă influenţa vitezei de sudare şi respectiv a distanţei între procese asupra pătrunderii cusăturii.

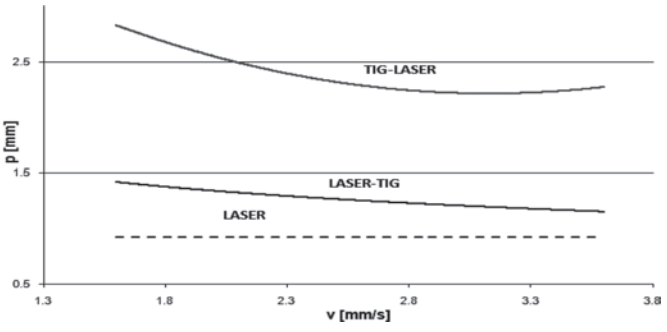

Figura 4. Influenţa vitezei de sudare asupra pătrunderii/
Figure 4. Influence of travel speed on the penetration depth

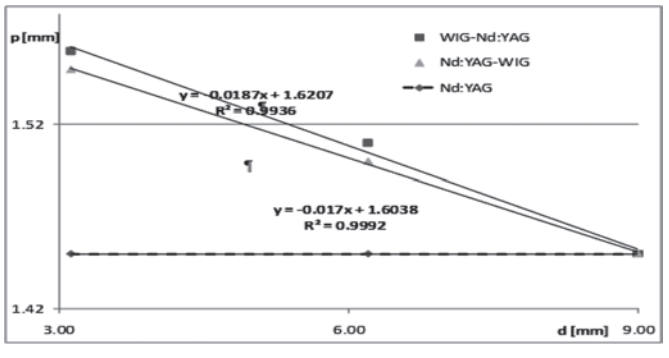

Figura 5. Influenţa distanţei între procese (”distanţa hibridă”) asupra pătrunderii/
Figure 5. Influence of the distance between processes on the penetration depth

Principalele concluzii ale investigaţiilor tehnologice efectuate cu această variantă au fost următoarele:

- pătrunderea are valori mai mari pentru situaţia în care procesul conducător este WIG, dar cu impact asupra stabilităţii iniţierii procesului de sudare
- eficienţa procesului de sudare hibrid este crescută la valori relativ reduse ale vitezei de sudare; la creşterea vitezei de sudare pătrunderea scade către valoarea pătrunderii determinată de fasciculul laser
- pentru domeniul de experimentare investigat, se poate aproxima o scădere liniară a pătrunderii cu distanţa hibridă
- distanţa hibridă are o valoare limită după care cele două procese nu mai sunt cuplate (procesul nu mai este hibrid), iar valoarea pătrunderii este determinată de pătrunderea laser
- pentru creşterea productivităţii, procesul WIG ar trebui să fie procesul conducător combinat cu o valoare redusă a distanţei hibride
- distanţa hibridă este limitată de caracteristicile geometrice
- the process efficiency is increased at lower travel speeds; at higher speeds the penetration depth decreases towards the laser penetration value
- for the investigated domain, one can approximate a linear decrease of the penetration depth with the value of the distance between laser spot and the TIG arc
- there is a limit distance for which the two processes are not coupled (the process is not hybrid) and the maximum penetration depth is determined by the pulsed laser process
- for higher productivity, TIG should be the leading process combined with a lower distance between the laser spot and the TIG arc (“hybrid distance”)
- the hybrid distance (the distance between the laser spot and the TIG process) is limited by geometrical characteristics of the TIG torch as well as by the laser beam interaction with the TIG molten pool to avoid spattering

While from Figure 5 one can observe a sensible increase of the penetration depth with the TIG-LASER variant, the transversal macroscopic analysis of the bead-on-plates revealed that using non-pulsed TIG arc leads to obtaining a weld shape which does not improve the seam effective penetration depth (Figure 6). This fact leads to the conclusion that, in respect to this matter, the main process parameters that will influence the effective seam penetration depth will be laser pulse repetition frequency – travel speed combination which determines the overlapping of the laser beam spots.

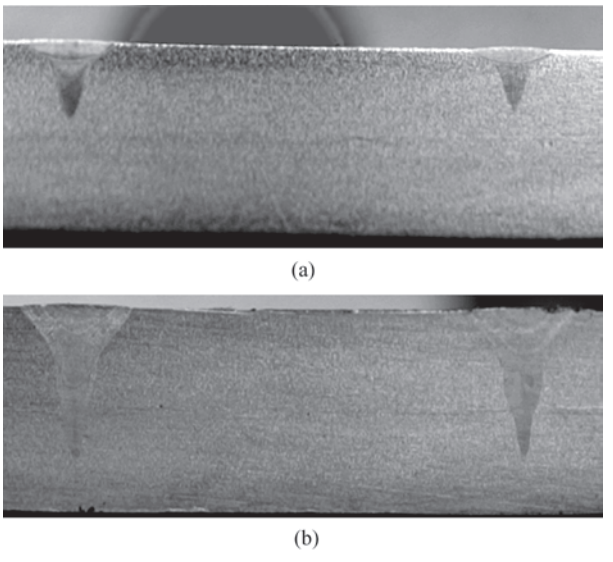

Figura 6. Secţiunea transversală a cusăturii laser pulsat – WIG cc nepulsat (a. - laser-WIG; b. - WIG-laser)/
Figure 6. Seam shape for pulsed laser – non-pulsed TIG hybrid process (a. - laser-TIG; b.- TIG-laser)

2.3. Development of pulsed LASER – TIG / microTIG hybrid welding process

The first steps in the development of this new laser-arc hybrid process required to investigate the hybrid process dynamics by doing bead-on-plate experimental work and using two video acquisition systems (one co-axial with the laser beam and one perpendicular to the welding direction) in combination with thermal imaging of the processed area (Figure 7).

The main phenomenon of the hybrid coupling of the laser beam and arc welding processes which leads to the well known synergetic effects is based on the interaction between the

ale arzătorului WIG precum şi de interacţiunea fasciculului laser cu baia de metal topită WIG pentru evitarea stropirilor

Deşi, după cum se poate observa din figura 5, varianta WIG-LASER prezintă o creştere sensibilă a pătrunderii, analizele macroscopice ale trecerilor realizate au arătat faptul că utilizarea procesului WIG nepulsat conduce la obţinerea unei secţiuni transversale a cusăturii ce nu îmbunătăţeşte pătrunderea efectivă a cusăturii (figura 6). Practic, în această situaţie principalul parametru de proces ce influenţează pătrunderea efectivă este gradul de suprapunere a pulsurilor laser – combinaţia frecvenţa de repetiţie a pulsurilor laser – dimensiunea spotului – viteza de sudare.

2.3. Dezvoltarea procesului de sudare hibrid LASER-WIG / microWIG pulsat

Primul pas în dezvoltarea noului proces de sudare hibrid laser-arc a urmărit investigarea dinamicii acestuia prin efectuarea de treceri sudate cu utilizarea a două sisteme de achiziţie video (unul coaxial cu fasciculul laser şi unul perpendicular pe direcţia de sudare) în combinaţia cu vizualizarea termografică a zonei procesate (figura 7).

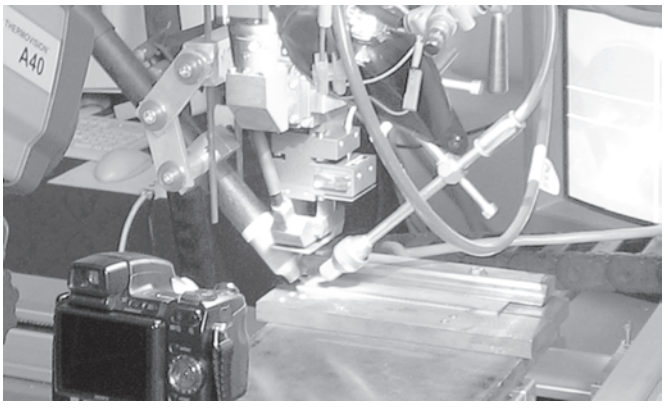

Figura 7. Sistemul experimental cu trei sisteme de achiziţie: camera CCD, camera video 25fps, camera termografică IR (50fps)/
Fig. 7. Experimental system with 3 video acquisition systems: CCD camera, 25fps video camera, IR thermographical camera (50fps)

Principalul fenomen la cuplarea hibridă a procesului de sudare cu fascicul laser şi cu arc electric ce conduce la apariţia fenomenelor sinergice are la bază interacţiunea dintre plasma generată laser şi descărcarea electrică din coloana arcului. Plasma generată laser este parţial preluată în descărcarea electric şi în combinaţie cu existenţa unei zone fierbinţi în zona arcului electric duce la devierea acestuia către spotul laser cu impact asupra stabilităţii arcului WIG.

Acest fenomen a fost de asemenea observat cu ajutorul sistemul de achiziţie şi în cazul acestei noi variante a procedeului de sudare hibrid laser-arc (figura 8) precum şi interacţiunea plasmă generată laser – arc electric, dar compartiv cu varianta ce utilizează WIG cc nepulsat, variaţia periodică a curentului de sudare produce modificări ale modului şi intensităţii cuplării celor două procese. Astfel pot fi distinse trei situaţii specifice:

- cuplarea fascicul laser – arc pe durata curentului de bază (figura 9a)
- cuplarea fascicul laser – arc pe durata curentului de vârf (figura 9b)

laser beam generated plasma and the electrical discharge. The laser generated plasma is undertaken partially into the electrical circuit and combined with the existence of a hot spot in the nearby region on the arc leads to its deviation towards the laser spot with impact on TIG arc stability.

The video acquisition system did permit to establish the main phenomena of the new variant of the laser-hybrid process, i.e. the deviation of the TIG arc towards the laser beam spot (Figure 8) and the interaction between the laser generated plasma and the arc was observed but compared to the non-pulsed TIG arc process, the periodical increase and decrease of the welding current leads to a modification of processes coupling. Three specific situations can be distinguished:

- laser – arc coupling during the base current (Figure 9a)
- laser – arc coupling during the peak current (Figure 9b)
- coupling during the transition from base current to peak current and from peak current to base current (Figure 9c) respectively.

The coupling phenomenon for the three specific situations depends both on the TIG arc characteristics (average current value, TIG current ratio, TIG frequency) and the hybrid process geometrical parameters (distance between processes and laser beam LB – TIG torch angle) with impact on the weld seam geometrical characteristics and macroscopic aspect.

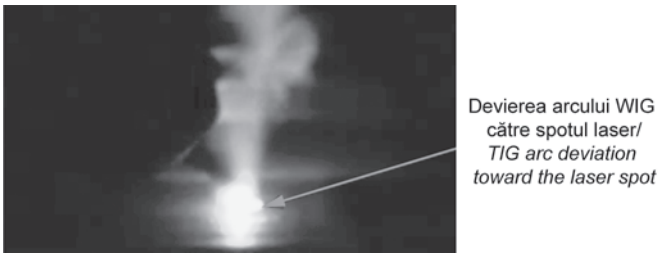

Figura 8. Plasma generată laser şi devierea arcului WIG către spotul laser/
Figure 8. LB (laser beam) generated plasma and TIG arc deviation toward the laser spot

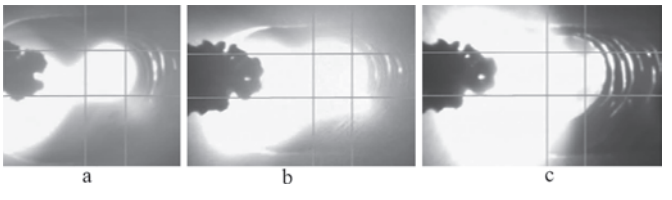

Figure 9. Devierea arcului WIG către spotul laser
a. curent de bază; b. curent de vârf; c. tranziţie curent vârf – curent de bază/
Figure 9. TIG arc deviation toward the laser spot
a. during the base current period; b. during the peak current period; c. during the transition from peak current to base current

Welding experiments were done in both TIG-LASER and LASER-TIG variant. The influence of the following process parameters on process dynamics was investigated:

- average welding current (I_{av})
- TIG pulse frequency domain - low [0.1…1.0Hz] , medium [3.0…25Hz] and high [25Hz…8kHz]): 1Hz, 15Hz, 150Hz
- TIG pulse ratio (percentage of the total length of the current cycle at peak current)
- "hybrid distance" (distance between laser spot – TIG electrode tip's projection onto the work piece)
- LB – TIG torch angle.

- cuplarea fascicul laser – arc pe durata tranzițiilor curent de bază – curent de vârf şi respectiv curent de vârf – curent de bază (figura 9c).

Fenomenul de cuplare pentru cele trei situații specifice depinde atât de caracteristicile procesului de sudare WIG (curent mediu de sudare, rata curentului, frecvența curentului), dar şi de caracteristicile geometrice ale procesului hibrid (distanța între procese şi unghiul FL – arzător WIG) cu impact asupra geometriei cusăturii şi aspectului macroscopic al acesteia.

Experimentele de sudare au fost efectuate atât cu varianta WIG-LASER cât şi LASER-WIG, fiind studiată influența următorilor parametri:

- curentul mediu de sudare (I_{av});
- cele 3 domenii de variație a frecvenței pulsurilor WIG - mici [0.1…1.0Hz] , medii [3.0…25Hz] şi înalte [25Hz…8kHz]): 1Hz, 15Hz, 150Hz;

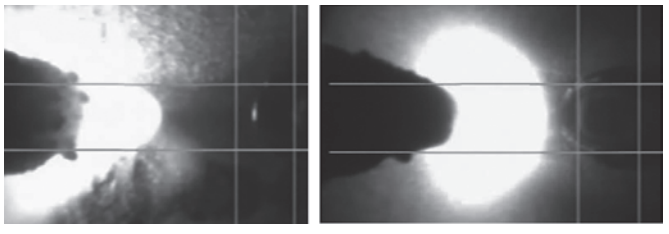

Figura10. Deviația arcului WIG la valori reduse ale curentului mediu de sudare (15A) modificată prin creşterea ratei curentului WIG (40% la 60%) şi recuplarea celor două procese/
Figure10. TIG arc deviation at low average welding current (15A) modified by increasing the TIG pulse ratio (40% to 60%) and re-coupling the two processes

- rata curentului WIG (procentul din lungimea totală a ciclului curentului la valoarea curentului de vârf);
- distanța hibridă;
- unghiul FL – arzător WIG.

Principalele concluzii cu privire la dinamica procesului hibrid WIG-LASER pulsat au fost următoarele:

- stabilitatea procesului scade la valori reduse ale curentului mediu de sudare şi în domeniul de frecvențe reduse; acest fenomen este accentuat de creşterea distanței dintre cele două procese până la decuplarea totală (proces nehibrid);
- odată cu scăderea cuplării hibride sunt formate două băi separate de sudare cu un impact puternic asupra stabilității arderii arcului WIG pulsat;
- cu scăderea cuplării hibride a celor două procese, corecția efectuată de fasciculul laser asupra mişcării arcului WIG, cauzate în principal de deflecția electromagnetică, scade, în special pe durata curentului de bază în domeniul de frecvențe reduse, fapt ce poate duce la stingerea arcului; acest fenomen este accentuat de gazul de protecție laser şi poate fi contracarat prin creşterea ratei curentului WIG (figura 10) şi respectiv frecvența curentului (figura 11) sau prin reducerea unghiului hibrid (unghiul dintre FL şi arzătorul WIG);
- la valori mici ale distanței hibride şi valori reduse ale curentului mediu combinate cu frecvență mică a curentului WIG a fost observat un fenomen de creştere şi reducere periodică a dimensiunii la suprafață a băii de metal topit comune pe durata curentului de vârf; acest fenomen poate fi evitat prin creşterea ratei curentului WIG sau creşterea frecvenței pulsurilor WIG (figura 12);

The main conclusions of the pulsed TIG-LASER hybrid process dynamics are:

- the process stability decreases when using low welding currents as well as low current frequency; this phenomenon is accentuated by the increase of the distance between the two processes and the breaking of the hybrid coupling;
- with the breaking of the hybrid coupling two separate weld pools can be observed with high impact onto the pulsed TIG process stability;
- with the decrease of the hybrid coupling, the correction of the TIG arc movements due to electro-magnetic influences loses its strength, especially on the base current region combined with low current frequency, which might lead to arc breakage; this phenomena is accentuated by the laser protection gas and can be countered by increasing the TIG pulse ratio (Figure 10) and current frequency (Figure 11) and also by reducing the angle between LB and the TIG torch;

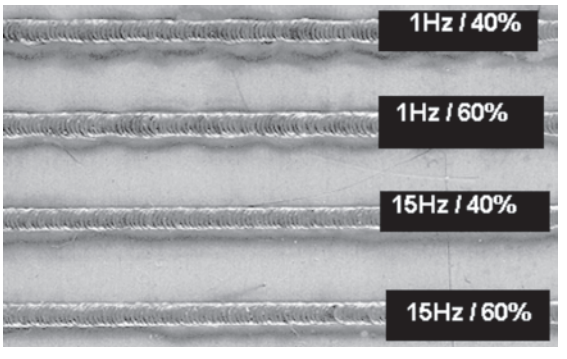

Figura 11. Creşterea stabilității procesului de sudare prin creşterea ratei curentului şi a frecvenței WIG la I_{av} = 20A (WIG_{rat}: 40% la 60%; frecvența curentului WIG: 1-15Hz)/
Figure 11. Increase of process stability by increasing pulsed current ratio and frequency at I_{av} = 20A (TIG pulse ratio: 40% to 60%; pulsed frequency: 1-15Hz)

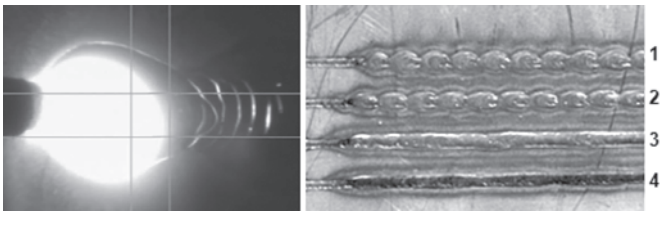

Figura 12. Creşterea dimensiunii băii de sudare pe durata curentului de vârf şi aspectul vizual al suprafeței cusăturii (atenuarea fenomenului prin creşterea ratei curentului şi a frecvenței WIG) (I_{av}=28A; 1 – 1Hz 40% WIGrat; 2 – 1Hz, 60% WIGrat; 3 – 15Hz, 40%; 4 – 15Hz, 60% WIGrat)
Figure 12. Weld pool dimension increase during peak current and the resulting bead-on-plate (the attenuation of the phenomena occurs with the increase of TIG pulse ratio and higher frequency) (I_{av}=28A; 1 – 1Hz 40% TIGrat; 2 – 1Hz, 60% TIGrat; 3 – 15Hz, 40% TIGrat; 4 – 15Hz, 60% TIGrat)WIGrat; 4 – 15Hz, 60% WIGrat)/

- at a reduced hybrid distance and low welding current combined with low frequency a periodical increase of the common weld pool phenomena during the peak welding current region was observed which can be avoided by using higher TIG ratio as well as higher frequency (Figure 12);
- the maximum temperature difference in the monitored area at the same hybrid coupling configuration depends on pulsed current frequency and the TIG pulse ratio: higher

- diferența maximă a temperaturii în zona monotorizată pentru acelaşi tip de cuplare hibridă depinde de frecvența pulsurilor WIG şi de rata curentului de sudare: valori mai mari pentru aceşti parametri de proces duc la variații mai mici ale temperaturii monitorizate în zona băii de sudare (figura 13);
- variația minimă a temperaturii în zona monitorizată a băii de sudare a fost obținută pentru valoarea de 45° între FL şi arzătorul WIG

Pentru varianta LASER-WIG pulsat, principalele observații asupra dinamicii procesului au fost următoarele:

- comparativ cu varianta WIG-LASER procesul a fost mai stabil chiar la valori reduse ale curentului de sudare mediu;
- variația periodică a băii de sudare a fost de asemenea observată, dar mai puțin prezentă comparativ cu varianta WIG-LASER pulsat (figura 14);
- utilizând fasciculul laser ca şi proces conducător duce la stabilizarea arcului WIG chiar şi pe durata curentului de bază (figura 15);

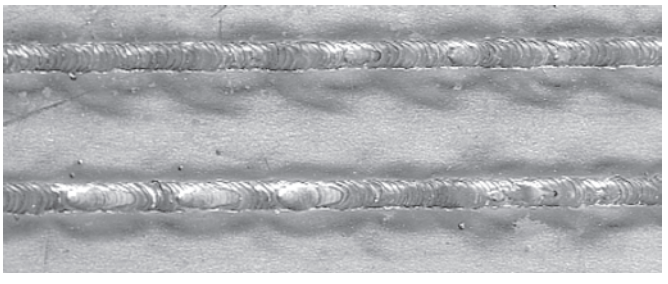

Figura 14. Variația periodică a dimensiunii băii de metal topit cu fasciculul laser conducător al procesului/
Figure 14. Weld pool dimension periodical variation with pulsed laser beam as leading process

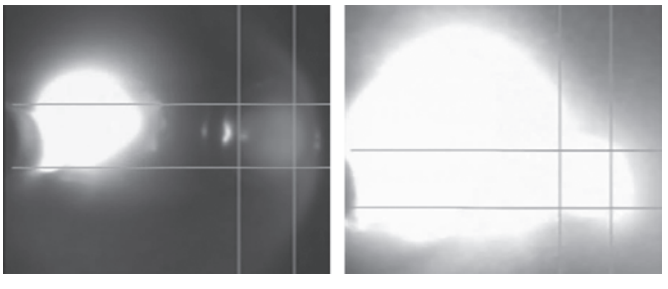

Figura 15. Influențe mai puternice asupra arcului WIG cu fasciculul laser ca proces conducător pe durata curentului de bază și de vârf (I_{av}=20A, WIGrat=40%, F_{TIG}=1Hz)/
Figure 15. Stronger influence on the pulsed TIG arc with pulsed laser beam as leading process both for base current and peak current regions (I_{av}= 20A, TIG rat= 40%, F_{TIG}= 1Hz)

- variația temperaturii în zona monitorizată este similară cu cea observată la varianta WIG-LASER pulsat, dar are loc la valori mai ridicate (temperatura suprafației băii de metal topit este mai ridicată);
- în acelaşi timp amplitudinea variației de temperatură în zona monitorizată a fost mai mare comparativ cu varianta WIG-LASER pulsat.

Principalele concluzii în urma studierii dinamicii procesului de sudare hibrid pulsat şi direcțiile viitoare pentru dezvoltarea procesului sunt următoarele:

- experimentările efectuate au permis stabilirea principalelor fenomene ce caracterizează noua variantă a procedeului de sudare hibrid laser-arc;

values of these process parameters lead to a smaller variation of the temperature monitored in the weld pool area (Figure 13);

- the minimum variation of the temperature monitored in the weld pool area was obtained at 45° between LB and the TIG torch.

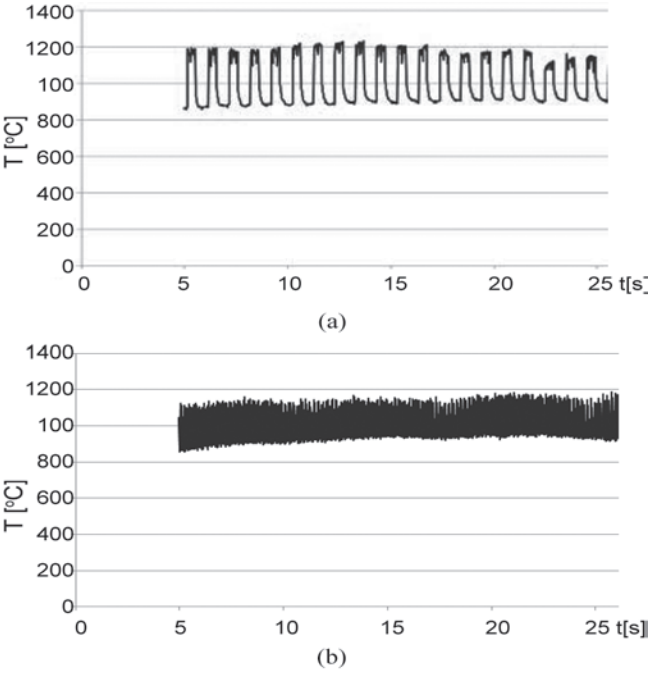

Figura 13. Variația temperaturii în zona monitorizată
a. 1Hz, 40%WIGrat; I_{av}=28A; diferența maximă: 373°C,
b. 15Hz, 40%TIGrat; I_{av}=28A; diferența maximă: 330°C/
Figure 13. Temperature variation of the monitored area
a. 1Hz, 40%TIGrat; I_{av}= 28A; maximum difference: 373°C,
b. 15Hz, 40%TIGrat; I_{av}= 28A; maximum difference: 330°C

In case of the pulsed LASER-TIG variant the main observations of the hybrid process dynamics are:

- compared with the pulsed TIG-LASER variant the process was more stable even using low average welding current;
- the periodical variation of the weld pool was also observed but less present compared to pulsed TIG-LASER (Figure 14);
- using the laser beam as leading process improves TIG arc stability even for the base current region (Figure 15);
- the variation of the temperature monitored in the processing area is similar to the pulsed TIG-LASER variant but it takes place at higher values (the weld pool surface temperature is higher);
- at the same time the amplitude of temperature variation in the monitored area was higher compared to pulsed TIG-LASER variant.

The main conclusions of the study of the process dynamics and the steps foreseen for further process development are:

- the experimental work done allowed to establish the main phenomena that characterize the new laser-arc hybrid process;
- the experimental work revealed the effects of coupling of the two pulsed processes onto the process dynamics and how the studied process parameters influence its future work and applicability;

- experimentările efectuate au permis stabilirea efectelor cuplării celor două procese pulsate asupra dinamicii procesului de sudare şi au permis determinarea modului în care parametrii de proces influenţează această dinamică;
- probele realizate în cadrul programului experimental vor fi analizate pentru determinarea unor relaţii între parametrii de proces investigaţi şi caracteristicile geometrice ale cusăturilor sudate;
- vor fi studiate posibilităţile de control ale procesului şi stabilite direcţii de optimizare;
- vor fi studiate posibilitatea creşterii pătrunderii efective a cusăturii prin modificarea parametrilor de sudare WIG;
- vor fi efectuate experimentări de sudare pe materiale compozite cu matrice metalică sinterizate.

2.4. Senzor gravitaţional nanostructurat pentru sudarea hibridă LASER-WIG

Deşi procedeele de sudare hibride laser – arc prezintă un număr important de avantaje comparativ cu procesul de sudare cu fascicul laser şi procesul de sudare cu arc electric, precum şi evitarea principalelor dezavantaje ale acestora, principalul dezavantaj la implementarea industrială este reprezentat de numărul ridicat de variabile de proces ce influenţează caracteristicile şi calitatea îmbinărilor sudate. Un efect important asupra stabilităţii procesului şi a caracteristicilor îmbinării sudate îl are şi configuraţia geometrică a componentelor ansamblului hibrid, adică poziţia relativă a capului de sudare laser şi a arzătorului WIG.

Pentru verificarea unghiului β între fasciculul laser şi arzătorul WIG şi respectiv α între fasciculul laser şi axa perpendiculară pe suprafaţa piesei de prelucrat (figura 16) a fost dezvoltat un nou senzor nanostructurat prin utilizarea lichidelor magnetice [4].

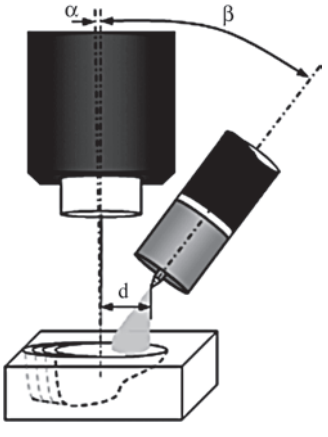

Figure 16. Definirea parametrilor geometrici α şi β/
Figure 16. Definition of the geometrical parameters α and β

Principiul de funcţionare al acestui senzor se bazează pe dependenţa inductanţei unei bobine la modificarea poziţiei miezului magnetic. Figura 17 prezintă designul senzorului nanostructurat gravitaţional.

Corpul senzorului este realizat din aliaj $AlMg_5$ şi are un canal intern umplut parţial cu fluid magnetic. Două bobine identice sunt fixate pe părţile laterale ale corpului senzorului, iar prin modificarea înclinării acestuia se modifică valoarea inductanţei. Astfel, valoarea măsurată a inductanţei bobinei poate fi utilizată pentru estimarea poziţiei senzorului.

- the specimens obtained during the experimental program will be analyzed in order to determine relations between the studied parameters and the weld geometrical characteristics;
- determine the process control limits and the directions of optimization;
- establish the possibility to use pulsed TIG process and determine the proper parameters in respect to the pulsed laser process parameter to attenuate the penetration depth variation;
- experimental work to investigate the applicability of this new process for welding metal matrix composite materials based on previous research done on pulsed laser welding which revealed a need of preheating.

2.4. Nano-structured gravitational sensor for hybrid laser –TIG welding

Although the laser-arc hybrid welding process presents a number of important advantages compared to the classic arc welding processes and laser beam welding process alone, the main disadvantage of the hybrid welding process is the increased number of the process parameters for controlling the weld characteristics and quality. Some of the important parameters are related to the geometrical characteristics of the hybrid processing head, i.e., the relative position of the hybrid welding head's components – the arc torch and the laser optical processing head is influencing the welding process stability and the geometry of the weld.

In order to control: the angle β between the laser beam and the TIG torch and the angle α between the laser beam and the axis perpendicular to the work piece surface (Figure 16) a new nano-structured sensor using magnetic fluids has been developed [4].

The sensor is based on the dependence of the inductance of a coil with the position of its magnetic core. Figure 17 shows the nano-structured gravitational sensor design.

The sensor body made of AlMg5 has an inner channel partially filled with magnetic fluid. Two identical coils are fixed on the lateral parts of the sensor body. By modifying the inclination of the sensor body the coil inductance is changing. Hence, the value of the coil inductance can be used as an estimator of the position of the sensor.

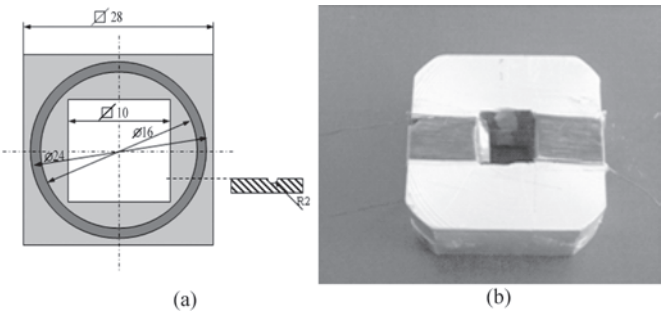

Figura 17. Senzor nanostructurat gravitaţional
a – detaliile designului; b – senzorul realizat/
Figure 17. Nanostructured gravitational inductive sensor
a. – design details; b – the built sensor

The dependence of the intensity of the output signal with the inclination of the sensor is linear. This is important from the point of view of the software acquisition and analysis systems for automation. The output signal depends also on the volume of the used fluid.

Dependența intensității semnalului de ieşire față de înclinația senzorului este liniară, fapt important din punctul de vedere al sistemelor de achiziție şi analiză pentru automatizare. De asemenea, valoarea semnalului de ieşire depinde de volumul de fluid utilizat. Pentru sesizarea unghiurilor α şi β sunt necesari doi senzori, încorporați pe capul de sudare WIG după cum se poate observa în figura 18.

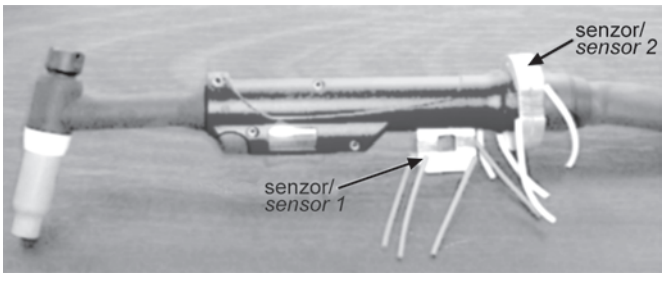

Figura 18. Sistemul cu doi senzori nanostructurați pentru sesizarea poziției relative a capului de sudare WIG față de fasciculul laser/
Figure 18. Two nano-structured sensor system for sensing the relative TIG torch position to the laser beam

Variația inductanței bobinei față de unghiurile α şi β este prezentată în figura 19. Se poate observa că această variație este liniară ceea ce permite o calibrare facilă a acestui sistem de senzori, precum şi implementarea acestuia pentru monitorizare şi control online a celor două unghiuri.

Principalele avantaje ale acestor senzori sunt:

- construcție simplă;
- răspuns precis ce poate fi achiziționat uşor şi procesat pentru automatizarea procesului;
- costuri reduse prin utilizarea unui design simplu şi materiale relativ ieftine.

De asemenea, acelaşi principiu funcțional poate fi utilizat pentru determinarea / monitorizarea altor parametri de sudare importanți, ca de ex. distanța dintre cele două procese şi/sau distanța cap de sudare laser – piesa de prelucrat pentru controlul poziției relative a focarului.

3. Concluzii

Direcțiile de CDI ale ISIM în domeniul proceselor de sudare hibride laser-arc sunt aliniate la tendințele internaționale de dezvoltare de noi procedee de sudare eficiente cu productivitate ridicată.

Paşii efectuați în direcția dezvoltării unei noi variante a procedeelor de sudare hibride laser-arc au urmărit atât înțelegerea fenomenelor de proces pentru controlul caracteristicilor îmbinării sudate, dar şi dezvoltarea unor instrumente care să asigure implementarea industrială.

Pentru o eficiență ridicată a procesului de sudare hibrid laser-WIG pulsat, procesul WIG trebuie utilizat ca proces conducător.

Prin combinarea celor două procese pulsate (laser şi WIG) controlul geometriei rostului de sudare poate fi efectuat la un nivel superior, precum şi creşterea pătrunderii efective specifice sudării cu fascicul laser în regim pulsat.

Noul procedeu de sudare are perspective bune în ceea ce priveşte implementarea industrială, mai ales în domeniul microsudării.

For sensing the angles α and β two sensors are needed. They are incorporated on the TIG torch as shown in Figure 18.

The variation of the coil inductance in respect to the angles α and β is presented in Figure 19. One can observe that the variation of the coil's inductance is linear which makes it easy to calibrate and to implement it in a system both for controlling but also to in-process correction of the two angles.

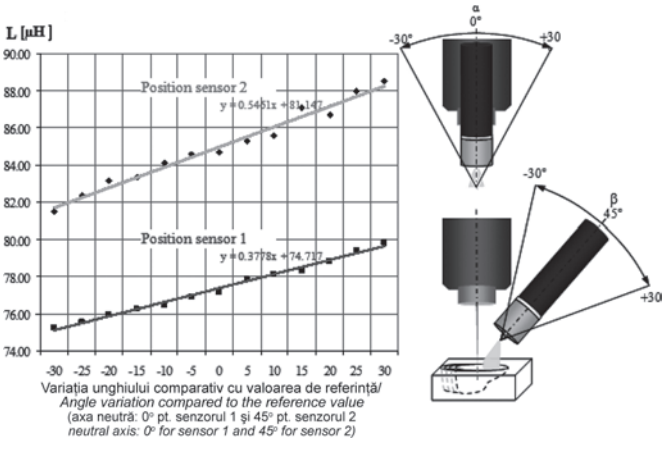

Figura 19. Variația inductanței față de cele două unghiuri/
Figure 19. The variation of inductance in respect to the angle

The main advantages of the new sensors are:

- simple design;
- accurate response which can be easily acquired to various devices and processed for process automation;
- low costs by using a simple design and relatively cheap materials.

Also, the same concept of sensing can be used to determine other important welding parameters for the laser-arc hybrid process, e.g. the distance between the laser beam spot and the arc process – the "hybrid distance" which is another important factor that influences the laser hybrid process or/ and laser optics working distance - for controlling the focal position relative to the work piece.

3. Conclusions

ISIM's RTDI in the field laser-arc hybrid process follows the international trends in respect to developing new joining processes with increased efficiency and productivity.

The steps done in developing a new variant of laser-arc hybrid welding processes are related to both understanding the process phenomena for controlling the weld characteristics and developing tools for easy industrial implementation.

For increased efficiency and productivity which are required by the industrial applications TIG should be used as a leading process.

The new pulsed laser-TIG hybrid welding process has good perspectives regarding future industrial micro-welding applications.

By combining the two pulsed processes (laser and TIG) it is possible to control to a higher degree the geometrical aspect of the welded seam and to increase the effective penetration depth.

The relative position of the two components of the hybrid welding head do influence the welded seam characteristics and in order to control this a nanostructured sensor was developed with characteristics that recommend it for industrial in-line process control.

Poziția relativă a celor două componente (capul de sudare laser şi arzătorul WIG) ale ansamblului de sudare hibrid influențează caracteristicile cusăturii sudate, iar pentru controlul acestora a fost proiectat şi realizat un senzor nanostructurat cu proprietăți ce îl recomandă pentru controlul industrial in-line al procesului.

Bibliografie/ References

[1] Steen, W.M., Eboo, M.: Arc Augmented Laser Welding. Met. Constr. 11 (1979), H. 7, 332-333, 335.

[2] Katayama S.: "Advances of hybrid laser-arc welding," Welding technology, Vol. 56, No. 2, 2008, pp 51-58.

[3] Dilthey, U.; Stein, L.: Welding And Joining – Key Technologies For The Future, "Welding and joining technologies for a sustainable development and environment" Conference, 2006

[4] Staufer, H.: Laser hybrid welding and laser brazing at Audi and VW, IIW, Doc. IV-847-03, 2003

[5] Asai, S.; Minami, K.; Shiihara, K.; Makino, Y.; Kanehara, T. Shibui, M.: YAG-TIG Hybrid Welding Process for Coil Cover Plate of Stainless Steel, IIW Doc No: XII-1855-05

[6] Thomy, C.; Seefeld, T.; Vollertsen, F.: Hybrid welding of line pipes, Industrial laser solutions, September 2003.

[7] Geoff B.: Recent Developments in Laser-arc Hybrid Welding for Ship Hull Fabrication and Pipelines, IIW Doc No: IV-880-05

[8] Krivtsun I. V., Khaskin V. Yu., Zatserkovny A. S. and Bernatsky A. V.: Application of Diode and CO_2 Lasers in Laser-Plasma Welding of Thin Sheet Aluminum Alloys, BID - ISIM Welding &Material Testing nr. 3/2009, ISSN 1453-0392, p. 47-51

[9] Birdeanu, V., Savu, S., Dehelean, D. Savu, D.: Statistical approach of Nd:YAG laser welding of aluminum matrix nanostructured composite material for MEMS technology, International Conference LASERAP'6, 2008.

[10] Savu, S., Dehelean, D., Birdeanu, V., Savu, D.: Development of a nanostructured sensor for the laser-arc welding process, IIW International Conference, Graz, 2008

ISIM News

Buletin informativ trimestrial editat de Centrul de Transfer Tehnologic CENTA al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură şi Încercări de Materiale - ISIM Timişoara.

În paginile ISIM News puteți găsi rubrici privind:

- realizările recente ale ISIM
- realizările instituțiilor partenere ISIM, din țară şi străinătate
- date despre sudarea în lume
- calendarul manifestări ştiințifice şi tehnice din lume
- programele ISIM de formare/certificare personal
- cele mai recente aparițiile editoriale

ISIM News se distribuie gratuit specialiştilor în variantă electronică sau tipărită.

Informații despre abonare la tel.: 0256 200222, e-mail: centa@isim.ro.

ISIM News *on line* www.centa.ro