

Proprietățile îmbinărilor din table subțiri brazate MIG

Properties of MIG brazed joints of thin sheet

D. IORDĂCHESCU¹, M. IORDĂCHESCU², L. QUINTINO³, R.M. MIRANDA⁴

¹ Centro LASER-Universidad Politecnica de Madrid-Spain;

² Dunarea de Jos University of Galati-Romania;

³ Instituto Superior Tecnico, Lisboa-Portugal

⁴ Universidad Nova de Lisboa-Portugal

Cuvinte cheie

Brazare MIG, table zincate, gaze de protecție, energie liniară, stabilitatea transferului de metal, proprietăți mecanice, rezistență la coroziune

Keywords

MIG brazing, zinc coated plates, shielding gases, heat input, metal transfer stability, mechanical properties, corrosion resistance

1. Introducere

De câțiva timp, industria de automobile căuta noi procese care să înlocuiască sudarea MIG pentru îmbinarea tablelor zincate subțiri [1, 2]. În ultimii zece ani, o atenție specială a fost acordată brazării MIG (BMIG), care a devenit o soluție optimă pentru această aplicație industrială [3-6]. BMIG s-a dovedit a fi cea mai convenabilă tehnică de îmbinare care să înlocuiască sudarea cu arc electric a tablelor zincate subțiri, datorită unor avantaje evidente, cum sunt reducerea arderii zincului în timpul brazării, cât și distorsiunile geometrice și tensiunile termice remanente mai reduse.

În ciuda temperaturii de topire mai scăzute a aliajului de adaos, efectul termic al arcului electric este dăunător, în special asupra integrității stratului de zinc și asupra proceselor fizico-chimice și metalurgice, care se produc în table și în materialul depus în timpul procesului BMIG.

După identificarea aplicației în industria de automobile (îmbinarea prin BMIG a tablelor zincate de 0,8÷1.00 mm folosind material de adaos pe bază de Cu), investigația prezentă a încercat să răspundă necesității asigurării unei calități cât mai ridicate prin controlul procesului de transfer al metalului prin arcul electric de brazare [1-3]. Astfel, este abordată influența parametrilor de BMIG asupra stabilității procesului, cât și proprietățile mecanice, metalurgice și de rezistență la coroziune a tablelor galvanizate de 0,8 mm pentru automobile, atunci când se utilizează diferite amestecuri de gaze de protecție.

Caracteristicile unei proceduri de BMIG optimizate constituie un subiect de dezbatere, deoarece criteriile de optimizare pot fi diferite, în funcție de fiecare aplicație tehnologică concretă [5]. O energie liniară (EL) mai mică poate defini o primă abordare, necesitând intensități reduse ale curentului mediu de sudare, ce conduc la transferul controlat cu scurt-circuit, împreună cu principalele dezavantaje ce decurg (stropi, umectare redusă și formă necorespunzătoare a cusăturii). Proprietăți de umectare mai bune și cordoane aspectuoase se pot obține pentru valori mai mari de curent, de EL și prin transfer comandat puls-picătură, dar cu mai mult zinc vaporizat, zone influențate termic (ZIT) mai extinse, stratul de zinc parțial distrus și mai multe defecte inacceptabile. O serie de aspecte fundamentale apar o dată cu abordarea unor astfel de proceduri practice. Transferul de metal prin arcul electric este de departe cel mai important dintre acestea,

1. Introduction

For several years, automotive industry is seeking for new processes to replace MIG welding in joining thin zinc coated plates [1, 2]. In the last ten years, special attention was paid to the MIG Brazing process (MIGB), which became an optimum solution for this industrial application [3-6]. MIGB was found to be the most affordable joining technique to replace arc welding of thin Zn coated plates, due to some obvious advantages, namely reduction of the Zn burn-off during brazing, lower residual stresses and geometrical distortions.

Despite the lower melting temperature of the filler alloys, the effects of the electric arc heat input of the MIGB process, especially on the zinc layer integrity and on the physical-chemical and metallurgical properties of the joint, have been found possible to be deleterious.

The present research was meant to respond to the needs of the controlled transfer of the molten metal through the electric arc directed to high quality requests / applications, after identifying MIGB for automotive applications, to join thin (0.8÷1.00 mm) Zn coated plates, with Cu based electrode wire [1-3]. This paper addresses the influence of MIGB parameters on process stability, as well as the mechanical, corrosion and metallurgical properties of 0.8 mm galvanized thin sheet joints for automotive industry when using different gas mixtures.

The features of an optimum MIGB procedure are still under debate, since the optimisation criteria may vary, according to the needs of each specific technological application [5]. Lower Heat Input (HI) requiring lower values for the intensity of the welding mean current and leading to the controlled short-circuit transfer mode, with the main disadvantages of less spatter, wetting and inappropriate seam shape, may define one type of approach. Good wetting properties, with good looking bead, but controlled pulsed arc obtained for higher values of current and HI, with more vaporised zinc, wider Heat Affected Zones (HAZ), partially destroyed zinc layer and with more unacceptable defects may describe another approach. Besides these practical targeted procedures, several fundamental aspects arouse. Due to its basic importance, but also to the practical implications, the metal transfer through the electric arc is by far the most relevant and permanently envisaged, on the approach

datorită importanței sale fundamentale, dar și datorită implicațiilor practice deosebite. Modul de transfer este avut în vedere în permanență pentru a putea defini limitele procedurilor experimentale caracterizate prin EL reduse [7, 8].

Datorită cererii actuale de utilizare pe scară mai largă a BMIG în diferite procese de fabricație, cercetarea desfășurată a dorit să contribuie la optimizarea procedurilor de BMIG, ținând în special minimizarea EL, în paralel cu asigurarea tuturor indicatorilor de calitate ai îmbinării.

2. Condițiile experimentale

Cercetarea s-a desfășurat în cadrul laboratorului de Tehnologii Mecanice - IST al Universității Tehnice din Lisabona, Portugalia. A fost utilizată o sursă de sudare, ce permite controlul pulsului, programată să lucreze în mod non-sinergic [7, 8], împreună cu un dispozitiv de alimentare cu sârmă electrod cu 4 role motoare pentru alimentarea cu sârma electrod CuSi3 (Cupru cu 3% Siliciu), cu diametrul de 1mm. Tablele ce urmau a fi sudate prin suprapunere, au avut 0.8 mm grosime, fiind acoperite cu un strat protector de 10±0.8 mm Zinc (table pentru caroserii auto). După cum se prezintă și în Tabelul 1, șase dintre cele mai utilizate gaze de protecție au fost selecționate pentru realizarea cercetării.

Pentru simularea condițiilor industriale, a fost aleasă varianta mecanizată a procesului BMIG ce presupune fixarea tablelor și deplasarea capului de sudare (printr-un dispozitiv clasic, ce permite reglarea continuă a vitezei), (Fig. 1).

Tabelul 1. Compoziția gazelor de protecție/
Table 1. Composition of the shielding gases

Simbol/ Symbol	Denumire Gaz/ Gas	Compoziție chimică/ Chemical composition
SG1	CRONIGON® S 1	Ar+1%O ₂
SG2	CRONIGON® 2	Ar+2.5%CO ₂
SG3	Argon	-
SG4	VARIGON® H 2	98%Ar+2%H ₂
SG5	VARIGON® N 2	98%Ar+2%N ₂
SG6	VARIGON® He 30	70%Ar+30%He

Înregistrarea parametrilor de proces în cazul BMIG s-a bazat pe utilizarea unui sistem integrat PC (ARCW), care permite nu numai înregistrarea și procesarea datelor referitoare la intensitatea și tensiunea curentului, ci și a vitezei de avans a sârmei electrod. Anterior demarării achiziției de date, a fost realizată calibrarea și verificarea suplimentară a parametrilor electrici ai sistemului de monitorizare.

Abordarea cercetării a implicat urmărirea câtorva pași succesivi [8]. Pentru stabilirea ariilor critice ale procesului BMIG au fost realizate teste preliminare pe table din oțel neacoperit cu zinc, cu grosimea de 0.8 mm, utilizând un singur tip de gaz de protecție. După realizarea unui proces stabil, pentru a obține reducerea energiei liniare, EI, au fost micșorați, unul câte unul, parametrii de proces BMIG. Au fost realizate astfel depuneri și îmbinări brazate/sudate prin suprapunere. Rezultatul l-a constituit o tehnologie extremă de brazare a tablelor subțiri (nezincate), valabilă însă doar pentru un singur tip de gaz de protecție.

Urmând procedura stabilită anterior, pentru același gaz de protecție, a fost testat procedeul de brazare și pe table zincate.

used to define the limits of experimental procedures characterised by lower heat inputs [7, 8].

Due to the actual demand of a wider use of MIGB in various manufacturing processes, the research undertaken aimed at contributing to optimise the MIGB procedures, targeting mainly the minimisation of the heat input, assuring all the quality indicators of the joint.

2. Experimental conditions

The research was performed in the welding laboratory of the Mechanical Technologies Group-IST, Lisbon, Portugal. A pulse controlled welding source, working in manual control (non-sinergic) mode was used [7, 8], together with a four-wheel driving smooth reels feeding device, necessary for the CuSi3 electrode wire (Copper with 3% Silicon), 1mm diameter. The steel plates were 0.8 mm thickness, with 10±0.8 mm Zinc coating (for automotive use), lap jointed. Six most frequently used shielding gases were selected, as presented in Table 1.

To better simulate the industrial conditions, the chosen mechanisation variant was with fixed plates and travelling torch (a classical device with continuous speed regulator was used) (Fig. 1).



Figura 1. Stand experimental sistemului de prindere și dispozitivul de deplasare al capului de sudare [7, 8]/

Figure 1. Experimental set up – the fixing jigs and the traveling speed device carrying the torch [7, 8]

The recording of the MIGB process parameters was achieved using an integrate PC based system (ARCW), allowing recording and processing of the data related to the current, voltage and wire feed speed. Calibration and additional checking of the process parameters were done by using supplementary gauges for electrical parameters, whilst special gas gauges were used for flow regulation check.

The approach of the research has involved several successive steps to be followed [8]. To establish the critical procedures' domains, tests on the 0.8 mm non-coated steel plates were firstly performed, using one gas. After reaching a stable procedure, the MIGB process parameters were lowered one by one, in order to lower the HI. Deposition (bead on plate) and lap joining were both performed. The result was an extreme procedure, valid for one gas and non-coated steel plates.

Tests on coated plates followed, using the same shielding gas to test lap joining starting from the critical procedure,

Au fost realizate teste de stabilitate și fiabilitate ale procesului, în condițiile în care s-a urmărit în paralel reducerea EI prin creșterea vitezei de brazare și descreșterea valorilor curentului de puls. Au fost stabilite valorile critice ale procesului pentru table zincate cu grosimea de 0.8mm, în condițiile utilizării unui singur gaz de protecție.

A urmat apoi testarea celorlalte 5 gaze de protecție, urmărind în final stabilirea caracteristicilor comune. După compararea rezultatelor, au fost selectate 4 proceduri critice ca fiind

previously determined. Stability and reliability tests were performed, in parallel with the same trend to decrease the HI, by decreasing the values of the current pulse and increasing the travel speed. The critical values of the procedure for one gas and 0.8mm zinc coated steel lap joints were established.

Preliminary tests on the rest of the five gases have followed, envisaging to establish the final common series of set ups. After comparing the results, four critical procedures were selected to be applied for all the six gases, corresponding to two travel

Tabelul 2. Programarea sursei de sudare, valorile de proces pentru MIGB și parametrii curentului de puls: U_0 – tensiunea de amorsare a arcului; Wfs – viteza de avans a sârmei electrod; I_p – curent de puls; T_p – timp de puls; I_b – curent de bază; $Freq$ – frecvența de puls; S – panta curentului de puls; k_a, k_i – coeficienți de reglare automată a tensiunii. /

Table 2. Set ups of the welding source, values of the MIGB process and current pulse parameters: U_0 – open arc voltage; Wfs – wire feed speed; I_p – peak current; T_p – peak time; I_b – background current; $Freq$ – pulse frequency; $Slope$ – slope of the current pulse; k_a, k_i – voltage automate regulating coefficients.

Programul Sursei de Sudare/ Welding Source Set up	U_0 (V)	Wfs (m/min)	I_p (A)	T_p (ms)	I_b (A)	$Freq$ (Hz)	S	k_a	k_i
SU1	27	3.6	208	2	20	60	1	40	0
SU2	25.5	3.6	208	2	20	60	1	40	0

aplicabile pentru toate tipurile de gaze de protecție analizate, în condițiile utilizării a 2 viteze de avans ale capului de sudare ($v_1 = 0.97$ cm/s, $v_2 = 1.2$ cm/s), prezentate în Tabelul 2. Cele 2 tipuri de programe stabilite pentru sursa de sudare sunt prezentate în Tabelul 3. În final, au fost testate cele 4 proceduri critice pentru brazarea prin suprapunere a tablelor zincate de 0.8mm, utilizând cele 6 gaze de protecție diferite.

Deasemenea, au fost realizate o serie de teste suplimentare pentru a stabili influența altor factori colaterali ai procesului de brazare asupra modului de realizare a transferului masic (stabilității procesului) cum sunt: dimensiunea pătrunderii, suflul magnetic al arcului, direcția de deplasare a capului de sudare în funcție de tipul contactului electric utilizat (DC^+/DC^-), curățirea tablelor (cu petrosin, acetonă sau alcool etilic).

În timpul brazării au fost înregistrate o serie de observații generale, referitoare mai ales la stabilitatea procesului. La finele acestuia a fost efectuat controlul vizual al sudurilor și s-au fotografiat părțile superioare și inferioare ale îmbinării, pentru a determina zona de ardere a zincului și mărimea ZIT.

3. Stabilitatea procesului, modul de transfer și energia liniară

Analiza EL s-a bazat pe înregistrările efectuate computerizat prin intermediul sistemului de achiziție date, cât și pe forma și dimensiunile ZIT-ului, vizibil pe partea posterioară a îmbinării. Prin procesarea valorilor instantanee ale tensiunii și intensității curentului de sudare s-au calculat valorile medii ale acestora în orice perioadă de timp și s-au determinat valorile EL.

Analizând rezultatele obținute prin aceeași procedură s-au constatat diferențe importante atunci când s-au comparat valorile EL în cazul utilizării diferitelor gaze de protecție, datorită comportării diferite a acestora. Principalele valori ale EL sunt prezentate în Fig. 2. Se observă ca cele mai mici valori ale EL au fost obținute pentru SG1 și SG5, când s-a utilizat P4.

Referitor la tipul de transfer masic, trebuie subliniat că numai procedeele ce asigură o valoare scăzută a EL, pentru toate

speeds ($v_1 = 0.97$ cm/s, $v_2 = 1.2$ cm/s) and two set ups of the welding source (see SU1 and SU2, Table 2). Thus, the same four critical procedures were finally tested using 0.8 mm steel zinc coated plates to achieve lap joints by using six different shielding gas mixtures (Table 3).

Extra tests were performed to clarify the influence of several additional – collateral influence factors on the metal transfer mode (process stability), as: gap dimensions; magnetic blow of the arc; travel direction, with respect to the electric contact location on the work piece (- pole); fine adjustment of the position of the torch; cleaning of the plates (petrol white spirit, acetone and ethyl alcohol were used).

Tabelul 3. Procedurile critice BMIG stabilite experimental/
Table 3. Codification of the extreme procedures

Proceduri (Program Sursă Sudare + Viteză de Brazare)/ Procedures (Welding Source Program + Brazing Speed)			
P1	P2	P3	P4
SU1+v ₁	SU2+v ₁	SU1+v ₂	SU2+v ₂

During brazing, general process observations were recorded, mainly addressing its stability. After brazing, a full visual control of the joint was made, including pictures of the bead and on the back of the plates, to assess the zinc burn off and the HAZ extension.

3. Process stability, transfer mode and heat input

HI analysis was based on the recordings made by PC-based data acquisition system and the appearance and dimensions of HAZ, especially on the back-side of the joint. Processing the instant values of the arc voltage and the current intensity, the mean values were computed for any particular period and used for the HI computation.

Analysing the same results of the procedure, important

tipurile de gaze de protecție utilizate, implică un transfer masic controlat în scurt-circuit, asigurat prin controlul manual al pulsului asigurat de sursa de sudare (figura 3), care confirmă tendința de utilizare pe scară largă a procesului MIG cu scurt-circuit controlat [9]. Evident, pentru fiecare caz în parte (procedura), după o serie întreagă de teste, cu scop industrial, se poate proiecta și realiza o linie de fabricație programată să lucreze în mod sinergic.

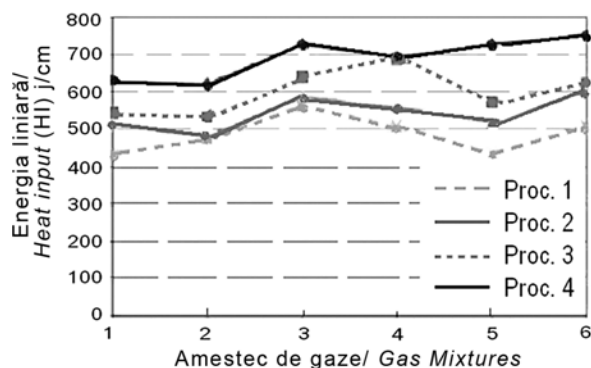


Figura 2. Valorile energiei liniare (EL) pentru diferite gaze de protecție și proceduri experimentale BMIG/
Figure 2. Heat Input values for different shielding gases and experimental procedures

Tabelul 4 prezintă influența gazelor de protecție asupra stabilității procesului BMIG. Atunci când s-a stabilit comportarea fiecărui gaz și influența sa asupra stabilității procesului BMIG, au fost analizați următorii factori: nivelul stropilor, fumului, zgomotul și luminozitatea radiației, forma băii de sudare (nivelul luciului metalic, culoarea, convexitatea, umectarea, uniformitatea), porozitatea suprafeței sudate. Pe parcursul experimentelor au fost efectuate observații, înregistrări foto și video. Un rol important în realizarea stabilității BMIG l-au jucat graficele tensiunii și intensității (similare cu cele prezentate în figura 3), înregistrate și procesate computerizat.

Tabelul 4. Influența gazelor de protecție analizate asupra stabilității procesului BMIG/
Table 4. Shielding gases influence on MIGB process stability

Tipul gazului / Comportare / Shielding Gas / Behaviour	SG1	SG2	SG3	SG4	SG5	SG6
Stabilitatea procesului, stropi / Process stability, spatters	2	2	2	1	2	1
Pori / Pores	3	3	1	1	1	1
Energie liniară / Heat Input	1	2	4	3	1	3
Forma băii de metal topit / Seam appearance	2	3	3	1	2	1
Umectare / Wetting	1	1	2	2	2	2

1- foarte bine; 2-bine; 3- satisfăcător; 4-adekvat; 5- nesatisfăcător /
1- very good; 2-good; 3- satisfactory; 4-adequate; 5- unsatisfactory

4. Influența BMIG asupra proprietăților mecanice și de coroziune ale îmbinării

4.1. Rezistența la tracțiune

Rezultatele încercărilor mecanice (efectuate în conformitate cu EN 10002-1) sunt prezentate în Fig. 4. Imaginea completă a testelor de rezistență la tracțiune indică faptul că toate

differences were noticed when comparing the HI values for different gas mixtures, obviously due to the basic different behaviour of each shielding gas. The main values of the HI are presented in Fig. 2. As it can be seen, the lowest HI values were obtained for the SG1 and SG5, when using P4.

Related to the metal transfer type, it was underscored that the only stable procedures assuring a lower HI value, for every gas used, are involving the *controlled short circuit transfer mode*, assured by controlling the welding source in the manual pulsed mode (Fig. 3), which confirms also the trend of using this new type of MIG process [9]. Obviously, a synergic line may be designed and set up for each case after the necessary tests, targeting the industrial use.

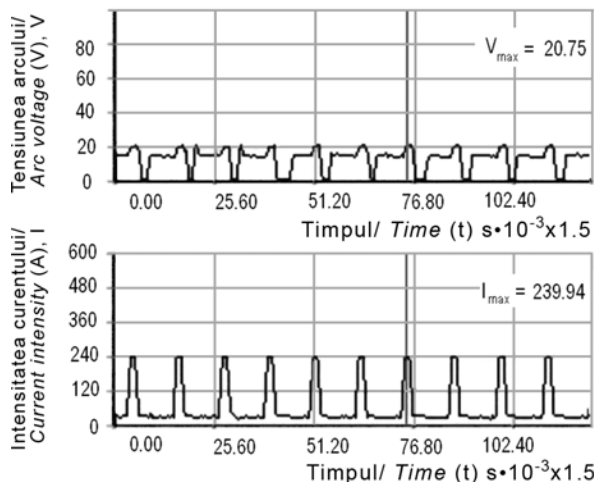


Figura 3. Regim de transfer în scurt-circuit controlat în cazul BMIG (înregistrări pentru P3, SG5)/
Figure 3. Controlled short circuit transfer mode in MIGB (recordings for P3, SG5)

Table 4 shows the shielding gases influence on MIGB process stability. When assessing the behaviour of each gas and its

influence on the stability of the MIGB process, relevant factors were analysed: level of spatter, fume, sound and light radiation, bead appearance (level of shining, colour, convexity, wetting, uniformity/smoothness), surface porosity. Notes were made during the experiments, as well as video and photo recordings. An important role in the assessment of the MIGB stability was played by the charts of the arc voltage, and current intensity (similar with the one in Fig. 3), PC-recorded and processed.

epruvetele s-au rupt în metalul de bază - MB. De altfel, pentru fiecare procedură de brazare analizată (6 SGs și 4 Ps), au fost considerate 4 teste la tracțiune. Valorile prezentate în figura 4 reprezintă valorile medii ale rezultatelor obținute prin aceste 4 teste. Procentul ruperii epruvetelor în ZIT a fost de 24%, restul de 76% reprezentând procentul ruperii înregistrate în MB, departe de zona îmbinării. În concluzie, deoarece ruperea a avut loc în MB, rezistența la tracțiune a îmbinărilor realizate prin brazare este evident superioară rezistenței la tracțiune a metalului de bază.

În concluzie, trebuie analizate valorile ruperii în ZIT comparativ cu celelalte și interpretate pe baza proceselor structurale și tehnologice. Totodată, trebuie subliniat faptul că ruperea în ZIT s-a produs mai ales în îmbinările brazate la care a fost folosit amestecul de gaz Ar-He (70%Ar+30%He), fapt explicat prin creșterea EL introduse în proces, ca urmare a protejării cu heliu a arcului electric. În celelalte cazuri în care ruperea a avut loc tot în ZIT, dar procesul de brazare a fost realizat la valori mici ale EL, acest fapt se poate explica prin apariția în ZIT a transformărilor de fază în stare solidă.

Principala concluzie rezultată ca urmare a efectuării încercărilor la tracțiune este aceea ca rezistența îmbinării nu este afectată de utilizarea în procesul de brazare a unor valori mici ale energiei liniare. Din Fig. 4 este evident faptul că nici un gaz de protecție nu asigură rezultate bune pentru toate procedurile analizate. De asemenea, trebuie spus că cele mai bune rezultate au fost obținute în cazul utilizării procedurilor P2 și P3.

4.2. Rezistența la coroziune

Rezistența la coroziune a stratului protector de zinc a fost determinată în conformitate cu prevederile standardului ISO 2808 (utilizând un echipament de măsurat grosimi de tip Elektro-Physic 4000 și o probă F400) pentru a obține o valoare medie de 10.3 mm. Conform procedurii ASTM B117, îmbinările realizate prin brazare au fost atacate cu un spray ce conținea o soluție neutră de sare. Durata totală a testului a fost de 500 de ore, la 50°C. Au fost făcute observații ale probelor după 24, 48, 72, 144, 216, 312, 384 și 500 de ore. După fiecare perioadă de timp, pentru îndepărtarea depunerilor de sare, probele au fost spălate cu jet de apă și uscate cu jet de aer cald.

După 48 de ore, pe epruvete s-a observat formarea în ZIT a unui strat roșu de oxid, datorat vaporizării, prin brazare, a zincului. Prezența și extinderea zonei corodate a fost notată, în fiecare caz, după o scară de la 1 la 5, astfel: 1- minim; 2- redus; 3- mediu; 4- mare; 5- foarte mare.

Rezultatele obținute după 72, 144 și 216 sunt prezentate în Tabelul 5, ce indică și numărul de referință al probei și valoarea EL caracteristică fiecărei proceduri de brazare utilizate. Faptul pentru care au fost alese aceste 3 perioade de timp se datorează relevanței acestora, respectiv a modificării aspectului probelor ca urmare a coroziunii. Pentru fiecare perioadă de timp a fost stabilită o notă totală, ce ilustrează nivelul rezistenței la coroziune pentru fiecare gaz de protecție utilizat ca și o valoare medie, care caracterizează rezistența la coroziune în cazul utilizării acestuia. Pe de altă parte, așa cum se prezintă în Tabelul 5, a fost calculată o valoare medie pentru fiecare procedură de brazare în parte.

Neașteptat a fost faptul că, la valori mici ale energiei liniare (P3 și în special P4 - care au avut cele mai mici valori ale energiei liniare), reducerea volatilizării stratului protector de zinc nu a îmbunătățit, ba mai mult, a produs rezistența la coroziune a îmbinărilor brazate.

4. Influence on the mechanical and corrosion properties

4.1. Tensile tests

The results of the mechanical tests (performed according to EN 10002-1) are presented in Figure 4. A complete picture of the tensile tests results may be obtained when underscoring that all samples failed in the parent metal. For each case (6 SGs and 4 Ps), four relevant tests were recorded. The values listed in Fig. 4 are averages of these four values. Failures in HAZ represented a rate of 24%, whilst the rest of failures occurred in the base metal, far from the joining area. As a general conclusion, since the failure occurred in the parent plates, the strength values of the brazed joint are definitely above the strength of the base material.

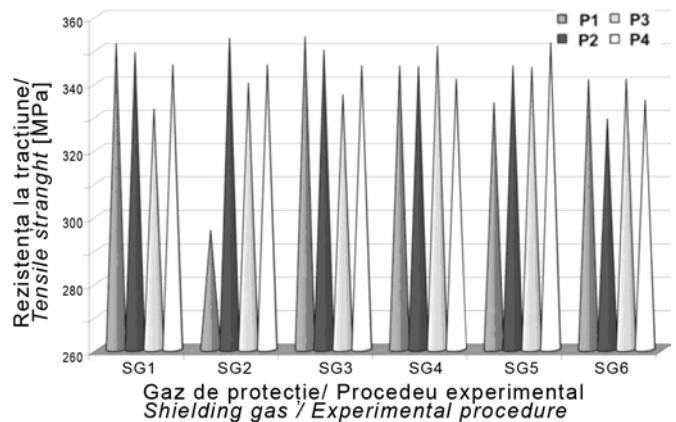


Figura 4. Rezultatele încercărilor la tracțiune: comparatie proceduri de brazare/gaze de protecție /
Figure 4. Tensile tests results: comparison of different procedures and shielding gases

Consequently, it remains just to analyse the failing values in HAZ vs. the others and to interpret them based on structural and technological (process) reasons. It is interesting to underscore that the failure in HAZ occurred mainly for the Ar-He mixture (70%Ar+30%He), as expected due to the well-known high energy, which encompasses the He shielded arc welding processes. The failure occurring in HAZ for the minimum HI values may be explained partially by the non-equilibrium solid state transformations observed in HAZ.

The main conclusion of the tensile tests is that the use of lowest heat input values is not affecting the strength of the joint. From Figure 4 seems evident that there is no gas that can give good results with all procedures. Procedures P3 and P2 seem to present the best results.

4.2. Corrosion tests

Corrosion resistance of the zinc protection layer was determined according to ISO 2808 standard (using a Elektro-Physic4000 thickness measuring device equipped with a F400 probe) to have a mean value of 10.3 mm. Brazed joints were submitted to a neutral salt spray testing, according to a standardized procedure ASTM B117. The test duration was 500h, at 50°C. Test coupons were observed at 24, 48, 72, 144, 216, 312, 384 and 500h. After each period of time, coupons were washed in current water for salt deposit removal and dried by blowing with hot air.

Dacă este relativ ușor de explicat de ce în cazul utilizării gazului SG1, care conține 1% O₂, coroziunea a fost rapidă și puternică este dificil de înțeles de ce în cazul SG2, care conține 2,5% CO₂, comportarea la coroziune nu a fost similară. Evident, explicațiile comportării diferite la coroziune se datorează

After 48 hours, some red oxide formation could be seen on the HAZ of the coupons, which is due to zinc vaporization during brazing. The presence and extension of the corroded areas were visually assessed in each case by using a 5-degree scale: 1- minimum; 2- low; 3- medium; 4- high; 5- higher.

Tabelul 5. Rezultatele testelor la coroziune (salt spray testing); analiza comparativă a gazelor de protecție și a procedurilor de brazare: a- după 72 ore; b- după 144 ore; c- după 216 ore/

Table 5. Results of corrosion tests (salt spray testing); comparison between gases and brazing procedures: a - after 72 hours; b - after 144 hours; c - after 216 hours

Procedura de brazare / Brazing procedure		P1			P2			P3			P4						
Gaz / Gas	Nota medie / Average	HI (j/cm)	Nota / Mark			HI (j/cm)	Nota / Mark			HI (j/cm)	Nota / Mark			HI (j/cm)	Nota / Mark		
			a	b	c		a	b	c		a	b	c		a	b	c
SG1	15.66	628	2	4	4	541	3	5	5	515	4	5	5	437	2	4	4
SG2	10.33	623	2	3	4	532	2	2	3	480	1	2	3	477	1	3	4
SG3	13.33	725	2	4	5	642	1	2	3	588	4	5	5	564	3	3	3
SG4	12.33	691	1	3	3	688	1	4	5	558	2	2	3	507	4	4	5
SG5	15.33	725	2	3	4	572	3	4	4	520	3	5	5	437	3	5	5
SG6	14.66	752	2	3	3	602	2	4	5	602	4	5	5	511	3	4	4
Total	-	-	11	20	23	-	12	21	25	-	19	24	26	-	16	23	25
Medie	-	-	18			-	19.33			-	23			-	21.33		

Notă:

- Note reprezentând nivelul rezistenței la coroziune: 1- minim; 2- redus; 3- mediu; 4- mare; 5- foarte mare;
- Interpretarea rezistenței la coroziune conform notei medii a fiecărui gaz de protecție: ≤ 12- foarte bună; 12-14: bună; ≥ 14: nesatisfăcătoare.

Note:

- Legend of individual marks describing the level of corrosion: 1- minimum; 2- low; 3- medium; 4- high; 5- higher;
- Interpretation of the corrosion resistance according with the average for each gas: ≤ 12- very good; 12-14: good; ≥ 14: poor.

caracteristicilor de ordin metalurgic ale îmbinărilor realizate prin diferitele proceduri de brazare în parte. În continuare, pentru câteva probe, au fost realizate o serie de observații

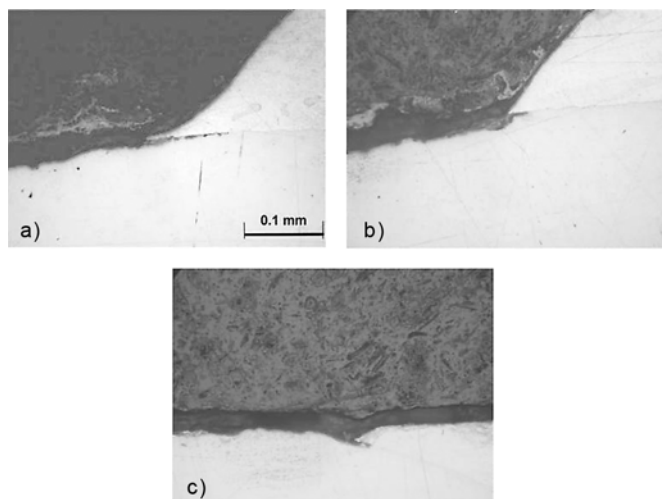


Figura 5. (a) Proba: SG1 (Ar+1% O₂)+P3; (b) Proba: SG3 (Argon)+P3; (c) Proba: SG5 (98%Ar+2%N₂)+P3/

Figure 5. (a) Probe: SG1 (Ar+1% O₂)+P3; (b) Probe: SG3 (Argon)+P3; (c) Probe: SG5 (98%Ar+2%N₂)+P3

microstructurale (SEM). Se observă că procesul de coroziune s-a manifestat cu precădere în oțelul tablelor procesate prin brazare, la limita depunerii de cupru (figura 5).

The results of the assessment after 72, 144 and 216 hours are included in Table 5, besides the reference number of the coupon and the value of the HI, which characterised the brazing procedure. These three durations were chosen due to their relevance in terms of modifications of the aspect due to corrosion. For each duration, a total mark illustrating the level of corrosion was established for each gas, as well as the average value, characterising the gas corrosion resistance. On the other hand, the total for each case and the average for each procedure were also computed and are shown in Table 5.

It was however unexpected that the procedures using the lower HI (P3 and especially P4-that has the lowest HI values), minimizing the volatilisation of the zinc of the protective layer, did not improve the corrosion, but in fact produced less corrosion resistant brazes.

Though it is easy to explain why SG1, which has 1% of O₂, favours a fast and great corrosion, it is hard to explain why SG2, which has a content of 2.5% CO₂, does not follow a similar behaviour. Obviously, the explanations could be found by looking for other metallurgical features, which may better characterise the behaviour of the joint brazed in each variant. Consequently, microscopic observations under SEM in some of the samples were performed. It can be observed that there is a preferential corrosion of the steel plate in an area adjacent to the copper limit (Fig. 5).

Microstructural characterization of the steel to copper interface revealed that a heterogeneity line could be found at this location, on the copper side, that could explain this

Caracterizarea din punct de vedere microstructural a interfeței oțelului cu cuprul evidențiază apariția unei linii eterogene, care poate explica corodarea preferențială în această zonă. Inițierea procesului de coroziune a fost cercetată prin metode metalografice optice și SEM, ce au indicat prezența fierului îmbogățit cu cupru la interfața cupru-oțel. În această regiune nu a fost identificată prezența zincului, despre care se presupune că s-a difuzat și/sau s-a dispersat în cupru sau fier sau că s-a vaporizat în timpul brazării. Coroziunea preferențială a stratului format la interfața cupru-oțel sugerează că potențialul electrochimic al acestuia este mai mare decât cel al fierului sau cuprului.

Totodată, coroziunea preferențială observată în ZIT și la limita cuprului trebuie corelată cu procesul de evaporare al zincului, datorat energiei liniare și geometriei îmbinării realizate prin brazare. Acest aspect este relevant, deoarece în unele probe, geometria stratului depus prin brazare favorizează, în timpul spray-erii cu soluție sărată, a acumulării clorurilor, contribuind la creșterea locală a agresivității mediului. De aceea, evaporarea stratului de zinc reduce rezistența la coroziune a probelor obținute prin brazare.

4.3. Tensiuni și deformații remanente

Câteva seturi de teste au fost destinate clarificării principalelor aspecte legate de starea de tensiuni și deformații remanente cât și legătura acestora cu procesul de BMIG, respectiv cu o serie de parametri tehnologici (în special distanța dintre table, respectiv lungimea liberă/distanța electrod piesă). Principalele concluzii rezultate sunt:

- Poziționarea dispozitivelor de strângere cât mai aproape de cusătura permite o mai bună convecție a căldurii, reducând supraîncălzirea suplimentară a metalului de bază (MB) și crescând viteza de răcire a îmbinării; așa cum s-a dovedit, acesta nu este periculos din punct de vedere structural. Toate testele privitoare la influența diferitelor amestecuri de gaze s-au realizat pentru aceeași poziție a bacurilor de fixare, cât mai aproape cu putință, optimizând și respectând condiționările dimensionale impuse de geometria capului de brazare, așa cum se prezintă în figura 6.

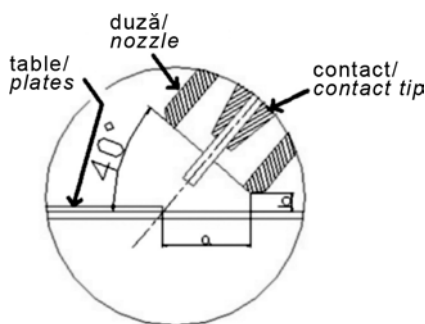


Figura 6. Detalii privind poziționarea capului de brazare/
Figure 6. Details of the torch positioning

- Când nivelul tensiunilor este ridicat, (datorită succesiunii cordoanelor brazate), principala tendință (în cea mai mare parte dintre cazuri) este ca distanța dintre table să crească rapid pe măsura ce se brazează. Chiar când se utilizează gaze ce asigură o bună umețcare, este imposibil să se umple golul (care poate crește în mai puțin de 1 s de la zero la mai mult de 1 mm); toate testele privind influența gazelor au fost efectuate cu aceeași succesiune a cordoanelor.

- În cazul în care au fost utilizate puncte de prindere provizorie realizate tot prin BMIG, cea mai mare parte dintre deformațiile

preferențială de coroziune. Procesul de inițiere a coroziunii a fost investigat prin metalografie optică și SEM, care a arătat o strată bogată în fier și cupru în regiunea interfațială a cuprului la oțel. Nu s-a găsit niciun zinc în această regiune, sugerând că acesta s-a difuzat și dispersat în cupru sau fier, și/sau s-a vaporizat în timpul brazării. Coroziunea preferențială a cuprului față de oțel la interfață sugerează că potențialul electrochimic al acestui strat este mai mare decât cel al fierului sau cuprului.

Coroziunea preferențială observată în HAZ și la limita cuprului este corelată cu evaporarea zincului datorită aportului de căldură și geometriei îmbinării. Acest aspect este foarte relevant, deoarece, în unele probe, geometria stratului depus prin brazare favorizează acumularea de cloruri în timpul testării cu spray sărat, contribuind la creșterea agresivității locale. Astfel, evaporarea zincului reduce rezistența la coroziune a probelor.

4.3. Residual stresses and distortions

Selecția unor teste pentru a clarifica aspectele principale legate de starea câmpului de tensiuni și relația acestora cu procesul de BMIG și parametrii geometrice (în special distanța și dimensiunile de stand-off), respectiv. Concluziile principale sunt:

- Poziționarea jigurilor cât mai aproape de cusătura permite o mai bună convecție a căldurii, reducând supraîncălzirea suplimentară a metalului de bază (MB) și crescând viteza de răcire a îmbinării; așa cum s-a dovedit, acesta nu este periculos din punct de vedere structural. Toate testele privitoare la influența diferitelor amestecuri de gaze s-au realizat pentru aceeași poziție a bacurilor de fixare, cât mai aproape cu putință, optimizând și respectând condiționările dimensionale impuse de geometria capului de brazare, așa cum se prezintă în figura 6.

- Când nivelul tensiunilor este ridicat, (datorită succesiunii cordoanelor brazate), principala tendință (în cea mai mare parte dintre cazuri) este ca distanța dintre table să crească rapid pe măsura ce se brazează. Chiar când se utilizează gaze ce asigură o bună umețcare, este imposibil să se umple golul (care poate crește în mai puțin de 1 s de la zero la mai mult de 1 mm); toate testele privind influența gazelor au fost efectuate cu aceeași succesiune a cordoanelor.

- În cazul în care au fost utilizate puncte de prindere provizorie realizate tot prin BMIG, cea mai mare parte dintre deformațiile preferențială de coroziune. Procesul de inițiere a coroziunii a fost investigat prin metalografie optică și SEM, care a arătat o strată bogată în fier și cupru în regiunea interfațială a cuprului la oțel. Nu s-a găsit niciun zinc în această regiune, sugerând că acesta s-a difuzat și dispersat în cupru sau fier, și/sau s-a vaporizat în timpul brazării. Coroziunea preferențială a cuprului față de oțel la interfață sugerează că potențialul electrochimic al acestui strat este mai mare decât cel al fierului sau cuprului.

- În cazul în care au fost utilizate puncte de prindere provizorie realizate tot prin BMIG, cea mai mare parte dintre deformațiile preferențială de coroziune. Procesul de inițiere a coroziunii a fost investigat prin metalografie optică și SEM, care a arătat o strată bogată în fier și cupru în regiunea interfațială a cuprului la oțel. Nu s-a găsit niciun zinc în această regiune, sugerând că acesta s-a difuzat și dispersat în cupru sau fier, și/sau s-a vaporizat în timpul brazării. Coroziunea preferențială a cuprului față de oțel la interfață sugerează că potențialul electrochimic al acestui strat este mai mare decât cel al fierului sau cuprului.

libere au fost împiedicate, ceea ce a determinat apariția unor tensiuni remanente de valori importante. În momentul în care s-a realizat îmbinarea propriu-zisă, aceste tensiuni s-au eliberat brusc, lărgind considerabil spațiul dintre table și compromițând calitatea îmbinării. Pe de altă parte, se știe că tensiunile remanente (ca și potențialul electric) accelerează viteza de coroziune până la de câteva mii de ori. Acesta este principalul motiv pentru care se încearcă prevenirea generării de tensiuni remanente de valori mari în construcțiile cu mare risc de coroziune (caroserii auto, conducte, corp de navă etc.). De aceea, fixarea prealabilă în puncte înainte de brazare nu este recomandată.

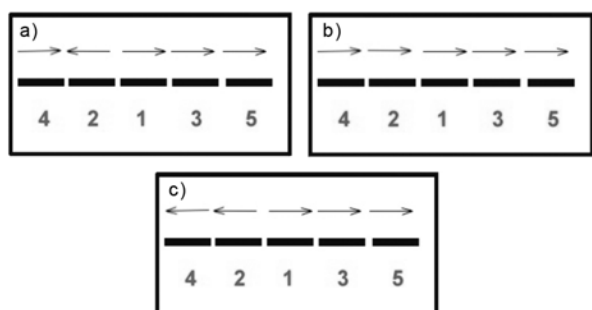


Figura 7. Schițele secvențelor și direcțiilor de realizare a brazării/
Figure 7. Sketches with the experimented beads sequences and direction of brazing

▪ Când s-a utilizat varianta prezentată în figura 7c, s-au obținut cele mai mari valori ale deformațiilor finale, dar fără a modifica distanța dintre table în timpul brazării. Pe de altă parte, aceste deformații adăugate au generat o deformare finală a tablelor sub formă de îndoire pură, care poate fi abordată corespunzător. Celelalte variante au generat mai puține deformații finale, pentru că tensiunile remanente au fost descărcate în timpul brazării, dar cu evidente mărimi ale distanței dintre table, care uneori au compromis îmbinarea.

Proiectanții tehnologici trebuie să acorde atenție ordinii cordoanelor, cât și direcției în care se brazează, dacă sunt necesare cordoane de lungimi mari (acest lucru este valabil deasemenea și pentru semifabricatele plane realizate prin îmbinarea de bucăți de table cu caracteristici diferite sau pentru a recupera materialul (tailored blanks). Toate testele privind influența gazelor au fost realizate cu aceeași secvență (succesiune și direcție), respectiv cea din figura 7c. Lungimea fiecărei cusături a fost de aprox. 80 mm, ceea ce este comparabil cu majoritatea aplicațiilor din domeniul caroseriilor auto, dar nu și cu tehnologia „tailored blanks”.

Deoarece există o zonă în care zincul acoperii, cuprul din metalul depus și fierul din metalul de bază coexistă, trebuie luat în considerare pericolul apariției unei surse voltaice. Așa cum s-a arătat deja, este binecunoscut că potențialul electric existent în table accelerează viteza de coroziune până la de câteva mii de ori. Astfel, un astfel de punct „triplu” devine un germene de coroziune posibilă să se dezvolte, așa cum deja a fost relevat microscopic. Această problemă necesită atenție în cercetările viitoare și o abordare specială, mai detaliată.

5. Concluzii

• Amestecurile de Argon cu H_2 (98%Ar+2% H_2) și Helium (70%Ar+30%He) asigură foarte bune condiții de umectare și un aspect corespunzător al cordonului. În același timp, sunt răspunzătoare de valorile maxime ale EL.

• Gazele care asigură cea mai mică valoare a EL și a arderilor de zinc au fost Ar cu O_2 (Ar+1% O_2) și Ar cu N_2 (98%Ar+2% N_2).

The technology designers must pay attention to the bead order and to the direction of brazing, if longer seams are required (this is also valid for the “blank” plates manufacturing from residual metal sheets, in order to recover the material). All assessment tests of the gases influences were performed with the same sequence (order and direction of brazing), as presented in Fig.7c. The length of each seam was about 80 mm, which is comparable with the major industrial application on car bodies, but not with blank plates technologies.

Since there is a point where the zinc of the coating, the copper of the additional metal and the parent steel are coexisting, the danger of an electric potential source may be taken into account. As stated above, it is well known that the electrical potential existing in a steel plate is accelerating the speed of corrosion, going by several thousand times. Thus, this point becomes a “grain” of corrosion, possible to “germinate”, as already revealed. This issue requests further attention and a detailed approach.

5. Conclusions

• Argon mixtures with H_2 (98%Ar+2% H_2) and Helium (70%Ar+30%He) assure very good wetting conditions and appearance of the weld bead. They are also responsible for the highest values of the heat input.

• The gases assuring lower heat inputs and lower zinc burn-off were seen to be Ar with O_2 (Ar+1% O_2) and Ar with N_2 (98%Ar+2% N_2). These gases assure also a good stability [7] and appearance of the bead and could represent an optimum solution, if the corrosion resistance is not mainly targeted.

• Ar with O_2 (Ar+1% O_2), Ar with N_2 (98%Ar+2% N_2) and Ar with He (70%Ar+30%He) lead to the poorest corrosion resistant joints.

• The overall optimum gas mixture is SG2, Ar+2.5% CO_2 , which assures good appearance, lower heat input, no failures in HAZ and the best corrosion resistance; according with the previous references [7], this gas assures also a good stability of the brazing process.

• The use of high heat inputs is neither affecting the strength of the joints, not the corrosion resistance. However, the existence of rapid cooling structures in the HAZ can be responsible for the collapse observed in this zone in brazed joints with very low HI. Consequently, the lower heat input should not be the main optimization criterion.

• The preferential corrosion observed on the HAZ and at the limit of the copper is correlated with the zinc evaporation and the geometry of the joint. A correlation between the heat input and the intermetallic Fe-Cu-Si layer must be further drawn, as this phase influences the corrosion properties of the braze.

• The free displacements of the plates must be assured as much as possible, without compromising the right trajectory of the torch or its position (including the standoff value). It is advised that the manufacturer’s designers must take this aspect very seriously, together with other demands for the fixing jigs (good heat convection, multi-polar electric contact).

Bibliografie/ References

[1]. Stauffer H.: Laserhybrid welding and laserbrazing: State of the art on technology and practice by the examples of the Audi A8 and VW-Phaeton, Fronius international GmbH, Austria, IIW Doc. XII-1777-03, Bucharest, 2003

Aceste gaze asigură o bună stabilitate a procesului [7] și aspect al cordonului, și pot reprezenta o soluție optimă, în cazul în care rezistența la coroziune nu se află pe primul loc al condițiilor impuse.

- Ar cu O₂ (Ar+1%O₂), Ar cu N₂ (98%Ar+2%N₂) și Ar cu He (70%Ar+30%He) conduc la cea mai scăzută rezistență la coroziune a îmbinării.

- Gazul care poate fi considerat ca optim ponderând toate criteriile este SG2, Ar+2,5%CO₂, care asigură un aspect corespunzător, cea mai mică EL, nu a înregistrat ruperi în ZIT la încercarea de tracțiune și a generat cea mai bună rezistență la coroziune. Așa cum se arată și în alte lucrări [7], acest gaz asigură deasemenea o bună stabilitate a procesului de brazare.

- Utilizare unor EL de valori ridicate nu influențează rezistența mecanică a îmbinărilor și nici pe cea la coroziune. Totuși, existența unor structuri de răcire rapidă în ZIT poate fi responsabilă pentru ruperea observată în această zonă a îmbinării brazate realizate cu valori reduse ale EL. În consecință, minimizarea EL ar putea să nu fie cel mai nimerit criteriu de optimizare.

- Coroziunea preferențială observată în ZIT și la limita cuprului este corelată cu evaporarea zincului și cu geometria îmbinării. O viitoare corelație între stratul intermetalic Fe-Cu-Si și EL va trebui să fie studiată în viitor, deoarece această fază influențează proprietățile de coroziune ale metalului depus prin brazare.

- Trebuie luate măsuri de a permite deformațiile libere ale tablelor, în cât mai mare măsură posibilă, fără a compromite traiectoria capului de sudare sau poziția relativă a acestuia față de piese, inclusiv dimensiunile lungimii libere. Se recomandă ca proiectanții tehnologici ai fabricantului să ia foarte în serios acest aspect, împreună cu recomandările făcute pentru dispozitivele de fixare a pieselor în vederea asamblării (ce trebuie să asigure o bună convecție a căldurii și contact electric multipolar).

[2]. Joseph A., Webb C., Haramia M., Yapp D.: Variable Polarity (AC) Arc Weld Brazing of Galvanized Sheets, IIW Doc. XII-1779-03, Bucharest, 2003

[3]. Dilthey U., Ulrich K.: GMA-Brazing of Galvanized and Alloyed Steels, IIW Doc. XII-1630-00, Welding Institute, Aachen University, Germany, 2000

[4]. Rohde H., Katic J., Paschold, R. (ESAB GmbH, Solingen): ESAB pulsed gas-shielded metal arc brazing of surface-coated sheets, Svetsaren, nr. 3, 2000, pp 20-23

[5]. Kersche A., Trube S. (Linde AG, Linde Gas Division, Hoellriegelskreuth): Shielding Gases for Gas-shielded Metal Arc Brazing, Lecture at "Thin Sheet Metal Conference", SLV Munich on 28th March 2000, Special edition, Nr. 50/02

[6]. Hedegard J.¹, Nerman P.¹, Anderson, J.¹, Tolf, E.¹, Ohman, E.² (¹SIMR Joining Technology Centre and KTH Brinell Centre; ²KTH; Sweden): High quality joining of galvanised steels, Proceedings of JOM 11 International Conference, Helsingor, Denmark, 2003

[7]. Iordachescu D., Quintino L., Duarte J.: Metal Transfer Modes in Automate MIG Brazing, Proc. of EWF International Conference EUROJOIN 5, Vienna, Austria, 13-15 May, 2004

[8]. Iordachescu D., Quintino L.: Extreme Procedures for MIG Brazing of 0.8mm Zinc Coated Automotive Plates, Proc. of 57th IIW International Conference, Osaka, Japan, 12-14 July, 2004, ISBN 4-906110 46-6, p. 300-307

[9]. Huismann G.: Direct control of the material transfer: The controlled short-circuiting (CSC) - MIG process, Proc. Gas Metal Arc Welding for 21st Century Conference (American Welding Society), 6-8 December 2000, Orlando, Florida, USA, p. 165-172



Calendarul manifestărilor științifice și tehnice internaționale și naționale

Calendar of international and national events

2007			
4-6 oct.	The 8 th International Conference "Modern Technologies in Manufacturing"	Cluj-Napoca, România	International Conference MTeM'2007 Technical University of Cluj-Napoca – Faculty of Machine Building, B-dul Muncii 1003-105, 400461 Cluj-Napoca, ROMANIA, Tel.: +40-264-401731; Fax: +40-264-415001; e-mail: mtem@conference.cutcluj.ro, http://www.mtem.utcluj.ro
16 - 19 oct.	Exhibition on Welding, Joining and Cutting Welding Week	Antwerp, Netherlands	Fairtec sa, Ternesselei 330-B-2160 Wommelgem Tel.: +32(0)3 354 08 80; Fax: +32(0)3 354 08 10 e-mail: info@welding.be, http://www.welding.be
25-27 oct.	International Simposium "The environment and industry"	București, România	INCD ECOIND, 90-92 Panduri Avenue, Bucharest, ROMANIA, Fax: 004.021.4100575, 4120042; e-mail: simpozion@incdecoind.ro; http://www.incdecoind.ro
21-22 nov.	2 nd International Conference "Fatigue design 2007"	Senlis, Franța	Dr. Henri-Paul LIEURADE, Conference Chairman, Tel.: +33 3 44 67 36 82; e-mail: henri-paul.lieurade@cetim.fr
20-21 nov.	Conferința Internațională "Integritatea structurală a construcțiilor sudate - ISCS07"	Timișoara, România	CENTA-ISIM, Bv. Mihai Viteazul 30 300222 Timișoara, ROMANIA; Tel.: +40 (0) 256 200222; 491835; Fax: +40 (0) 256 200222; 492797; e-mail: centa@isim.ro; http://www.isim.ro/iscs07