

# Procedeu hibrid de îmbinare electrică prin presiune și cu ultrasunete

## Hybrid process for joining - electrical by pressure and with ultrasounds

Octavian OANCĂ, Nicușor Alin SÎRBU  
ISIM Timișoara

### Cuvinte cheie

Îmbinare cu ultrasunete, îmbinare electrică prin presiune, efect rezistiv Joule-Lentz, procedeu hibrid

### Keywords

Ultrasonic welding, resistance welding, Joule – Lentz resistive effect, hybrid process.

### 1. Aspecte generale privind noi tehnici de îmbinare a materialelor metalice

Dezvoltarea într-un ritm spectaculos a industriei electronice (dispozitive și componente electronice, echipamente pentru industria electronică), medicinei, telecomunicațiilor, apariția noilor surse de energie, stocarea energiei, computere, a noilor tehnologii pentru mediu, etc., a condus la creșterea cererii de materiale noi, echipamente și tehnologii novatoare de îmbinare astfel încât, la ora actuală, realizarea acestora face obiectul preocupărilor științifice ale marilor centre de cercetare și laboratoare din întreaga lume.

Performanțele țărilor dezvoltate în cadrul competiției tehnologice și economice mondiale se datorează introducerii tehnologiilor neconvenționale de îmbinare cu grad ridicat de fiabilitate, conferite de tehnologii de asamblare robuste - între care și tehnologiile de îmbinare hibride.

Îmbinarea de materiale prin tehnologii neconvenționale implică studierea proceselor fizice de interfață la nivel micro-macrostructural precum și conceperea și realizarea de noi echipamente și tehnologii de asamblare. Acestea trebuie să asigure performanța procedeeleor, reproductibilitatea calității îmbinărilor sudate, posibilitățile de automatizare a fabricației, controlul și monitorizarea proceselor tehnologice, asigurarea calității totale a fabricației, precum și protecția mediului înconjurător.

Evaluarea statistică privind ponderea procedeeleor de sudare (în analiza a 150 de proiecte europene) în perioada 1998- 2001, comparativ cu perioada 2002 -2005 (în analiza a 105 proiecte europene), evidențiază două aspecte interesante și importante [1]:

1. Creșterea ponderii microtehnologiilor de îmbinare a materialelor în domenii specifice de utilizare de la 10% la 12 %, în perioada analizată.

2. Creșterea ponderii în utilizarea tehnologiilor hibride de microîmbinare a materialelor de la 8 % la 12 % în domenii specifice de utilizare.

Lucrarea reprezintă o punere în temă privind preocupările din cadrul ISIM Timișoara în dezvoltarea experimentală de tehnologii inovative de îmbinare a materialelor, scopul urmărit fiind acumularea de noi cunoștințe și alinierea la standardele europene în domeniu.

### 1. General aspects concerning new welding techniques of metal materials

The impressive development of electronic industry (electronic devices, components and equipments), of medicine, telecommunication, the discovery of new energy sources, energy storage, computers, new technologies for the environment, etc, increased the requirements for new materials, new welding equipments and technologies. Nowadays, their production is an object of scientific concern for large research centers and laboratories in the whole world.

For the assessment of the performances of the developed countries within the world technological and economic competition, an important factor is the introduction of highly reliable non-conventional welding technologies such as the resistance welding and the hybrid welding.

Joining of materials using non-conventional welding technologies requires the study and development of interface physical processes at micro and macro structural level as well as the science of devising and production of new welding equipments and technologies which should have better performance both as concerns reproducibility of welded joints quality and the production automation, the control and monitoring of technological processes assuring both the quality of total production and the environment protection.

Evaluating statistically the welding techniques between 1998- 2001 (when 150 European projects were analyzed) as compared to 2002- 2005 ( when 105 European projects were studied ), two significant aspects were revealed (1) :

1. The increasing use of material microwelding techniques in various specific fields from 10% to 12% in the period analyzed;

2. The increasing use of hybrid processes for material microwelding from 8% to 12% in certain specific fields.

This paper presents recent innovations in the experimental development of new technologies for material welding, done at ISIM- Timisoara, intending to adapt them to the European standards.

One of the main concerns of the specialized professional team in ISIM- Timisoara is the active use of both the resistance welding through resistive effect (RW) and the ultrasonic welding (USW) .

Combinarea activă a procedurii de sudare electric prin presiune prin efect rezistiv (SEP) cu procedeul de sudare cu ultrasunete (US) reprezintă o preocupare de actualitate a grupării profesionale cu activități specifice din cadrul ISIM Timișoara.

Sudarea electrică prin presiune prin efect rezistiv (SEP) se realizează prin energiile termică și mecanică introduse la locul îmbinării.

Energia termică este dezvoltată în piesele de sudat prin efectul Joule-Lentz determinat de rezistența electrică pe care piesele o opun la trecerea prin ele a curentului de sudare.

$$Q = 0,24 \times h \times R \times I^2 \times t$$

Cu această energie, la locul îmbinării se poate atinge temperatura de topire a metalului pieselor și astfel cele două piese se pot suda.

Energia mecanică este introdusă în piesele de sudat prin aplicarea asupra lor a unei forțe perpendiculare pe planul îmbinării. Forța aplicată la un moment corelată cu temperatura atinsă de piese, determină deformarea plastică a acestora în locul de îmbinare și realizarea unei rețele cristaline comune celor două piese, respectiv sudarea lor. Microvibrațiile ultrasonice exercitate în anumite momente ale procesului de sudare asupra nucleului materialului în stare plastifiată sau lichidă pot conferi structurii metalurgice a îmbinării proprietăți noi.

Sudarea cu ultrasunete a materialelor metalice (US) este determinată de efectele induse de acțiunea ultrasunetelor ce se desfășoară la interfața de contact dintre cele două repere prin mișcarea cu frecvență ultrasonoră (20...40 kHz) a unei suprafețe față de cealaltă suprafață.

Energia ultrasonică la sudare determinată prin interpretarea statistică a rezultatelor experimentale obținute la sudarea cu ultrasunete a diferitelor materiale și a reperelor de diferite grosimi, este dată de relația:

$$E_s = K \times H^{3/2} \times S^{3/2}$$

unde:

- E - energia electrică necesară la sudare [Ws];
- K - constantă (K=150 în cazul transductoarelor magnetostrictive);
- H - microduratea componentelor, în unități Vickers;
- S - grosimea reperului de sudat aflat în contact cu sonotroda, în inches (1 inch = 25,4 mm).

Cuplând cele două procedee prezentate schematizat în figura 1, se estimează realizarea unui procedeu de îmbinare HIBRID și obținerea unor îmbinări de calitate superioară procedurii de îmbinare SINGULAR prin efect rezistiv Joule-Lentz.

Sudarea cu ultrasunete se încadrează în categoria aplicațiilor active la care energia ultrasonică utilizată este suficient de mare pentru a produce modificări structurale și dimensionale asupra mediului în care se propagă.

Lucrarea prezintă preocupările colectivului de specialitate din cadrul ISIM Timișoara în realizarea unor tehnologii și echipamente de sudare performante neconvenționale hibride destinate realizării de îmbinări pentru materiale metalice și materiale noi, cu aplicații în industria electrotehnică, a aparatelor de măsură și control, electronică și microelectronică, automobile, aparatură medicală, etc.

The resistance welding through resistive effect is obtained by the thermal and mechanical energies introduced at the fusing contact.

The thermal energy is developed in the welding components through the Joule- Lentz effect determined by their electric resistance to the welding current passing through them.

$$Q = 0,24 \times h \times R \times I^2 \times t$$

With this energy the melting temperature of metal is obtained and the components can be welded.

The mechanical energy is introduced in the welding work pieces by applying a force perpendicular to the welding plane. The force applied at the moment when the temperature of the metal parts is attained determines their plastic deformation at the welding contact and the obtaining of crystalline networks common for the two components, that is their welding.

The microvibrations at ultrasonic level exerted at certain moments of the welding process on the material nucleus under plastified or liquid state may confer new properties to the metallurgical structure of the welded joint.

The ultrasonic welding (USW ) of metal materials is determined by the effects induced by ultrasounds at the contact interface of the two pieces by moving a surface to the other with ultrasound frequency (20...40 kHz).

The ultrasound energy at welding determined by the statistical interpretation of the experimental results obtained at ultrasonic welding of different materials and of pieces of different thicknesses is given by the relationship:

$$E_s = K \times H^{3/2} \times S^{3/2}$$

where:

- E - electric energy required for welding (Ws);
- K - constant (K= 150 in the case of magnetostrictive transducers;
- H - microhardness of components in Vickers units;
- S - thickness of welding work piece in contact with sonotrode in inches (1 inch= 25.4mm).

Coupling the two welding processes, as the flow chart in Fig.1 shows, a hybrid welding process can be achieved and also a high quality welding by the resistive Joule-Lentz effect.

Ultrasonic welding represents an active technological application of ultrasounds the ultrasonic energy used being high enough to produce structural changes of the environment.

This paper shows the interest of the specialized team of ISIM-Timișoara to obtain hybrid non-conventional welding technologies and equipments of better performance intended to join metals and new materials, with applications in electrotechnique industry, in measurement and control devices, electronics and microelectronics, automobiles, medical equipment, etc.

## 2. Hybrid specialized equipment of resistance and ultrasonic welding ERUSW-01

This equipment is intended to recent innovations such as hybrid resistance and ultrasonic welding of metal materials with many applications in electronics, electrotechnics, automobiles with the aim to adapt them to the European standards in the field of non-conventional techniques of material welding.

## 2. Echipament specializat de sudare hibrid electric prin presiune și cu ultrasunete ESEPUS-01

Echipamentul este destinat dezvoltării inovative de noi tehnologii HIBRIDE de îmbinare cu aplicații multiple în diverse domenii ale industriei: electronică, electrotehnică, automobile, scopul urmărit fiind alinierea la preocupările din laboratoare similare precum și la standardele și normele europene în domeniul tehnicilor neconvenționale de îmbinare a materialelor.

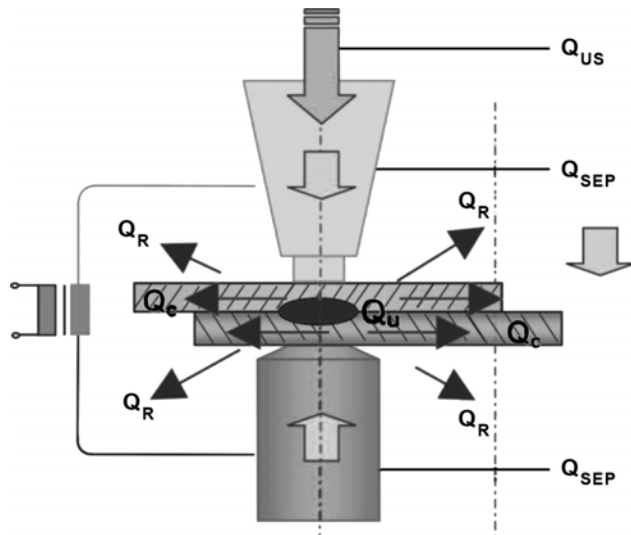


Figura 1. Schematizarea procedurii de sudare hibrid „electric prin presiune și cu ultrasunete”:  $Q_{US}$  – Energie la sudare prin ultrasunete;  $Q_{SEP}$  – Energie la sudare prin efect Joule-Lenz/  
*Figure 1. Flow chart of the hybrid welding process „electrical by pressure (RW) and with ultrasounds (USW)”:*  
 $Q_{US}$  – energy at ultrasonic welding;  $Q_{SEP}$  – energy at welding by Joule-Lenz effect

Sistemele de comandă și programare ale echipamentului ESUPUS – 01 (pentru sudare electrică prin presiune, sudare cu ultrasunete, comandă și control actuator electromecanic) sunt interfațate cu echipamente de sudare complexe în realizarea îmbinării de materiale metalice prin procedee hibride. Astfel se asigură parametrii tehnologici ai procesului de sudare, secvențierea ciclogramei de sudare, procesarea parametrilor cu afișaj LCD.

Echipamentul rezultat utilizează în tandem procedeele de sudare electric prin presiune și cu ultrasunete a materialelor metalice.

Structura echipamentului hibrid aduce în configurație elemente constitutive ale unui echipament de sudare electrică prin presiune SEP, în interfață cu elemente modulare funcționale destinate sudării cu ultrasunete.

Structura echipamentului de sudare ESUPUS-01 prezentat în imaginea din figura 2 are în configurație următoarele elemente constitutive ale unui echipament SEP electric prin presiune: transformator de sudare 32 KVA / 380 V / 50Hz, în componența instalației electrice de forță, poz. 1.

Secvențierea operației de sudare electrică prin presiune este realizată de componenta software a modulului de comandă și programare a echipamentului MCP-05ISP, (poz. 2), care realizează următoarele funcții:

- asigurarea dialogului cu utilizatorul prin intermediul tastaturii și afișajului;

The command and control systems of the equipment, specifically modulated for resistance welding, ultrasonic welding, command and actuator electromechanic control of the ERUSW-01 are intended to interface with complex welding equipments to obtain metal material welding by hybrid processes, assuring the technological parameters of the welding process, sequencing of the welding cyclogram, processing of parameters with LCD display.

The specialized welding equipment operates in tandem by the processes of resistance and ultrasonic welding of metal materials. The structure of hybrid equipment has got into configuration the constitutive elements of a resistance welding equipment (RW) and of an ultrasonic welding (USW) one.

The structure of the ERUSW-01 welding equipment, in Figure 2, has the following constitutive elements of RW equipment: welding transformer 32KVA/380V/50Hz in the electric power installation, position 1.

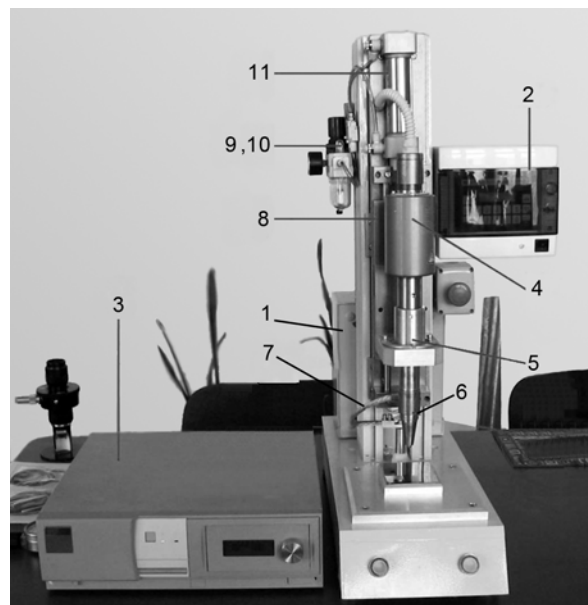


Figura 2. Echipament specializat de sudare hibrid „electric prin presiune și cu ultrasunete” - ESEPUS-01/  
*Figure 2. Specialized equipment for Hybrid welding “ electrical by pressure (RW) and with ultrasounds (USW)” - ERUSW-01.*

The sequencing of the resistance welding is given by the software component of the module of command and programming of the MCP-05 ISP equipment (position 2) which fulfills the following functions:

- communication with the user by keyboard and display;
- generation of PWM signals;
- display of system elements;
- generation of the welding cyclogram according to the diagram characteristic for resistance welding equipment (RW)

The ultrasonic generator of strong configuration with the programming module ultraacoustic system (position 3), acts on the ultraacoustic resonator assembly formed of a piezoceramic converter of 3000W/20kHz (position 4), booster with changing report 2:1 (position 5), and a specialized sonotrode, made of CuZn37 alloy (position 6), also with role of welding electrode by RW process.

The secondary circuit of the welding transformer is formed of the metallic mass of the equipment assembly and the elastic

- generarea semnalelor de PWM ;
- afișarea elementelor de sistem ;
- generarea ciclogramei de sudare conform diagramei caracteristice a mașinilor de sudat electric prin presiune [SEP].

Generatorul de ultrasunete, în configurație robustă cu modulul de programare ultraacustic (poz. 3), acționează asupra ansamblului rezonator ultraacustic. Acesta din urmă este format din convertor piezoceramic de 3000W/ 20kHz (poz. 4), booster cu raport de transformare 2 :1 (poz. 5) și sonotroda specializată, confecționată din aliaj CuZn37 (poz. 6), cu rol și de electrod de sudare prin procedeul SEP.

Circuitul secundar al transformatorului de sudare este format din masa metalică a ansamblului echipament și din legătura elastică (poz. 7) de pe sonotrodă. Ansamblul rezonator mecanic este izolat electric și amplasat pe axa pneumatică, (poz. 8). Acționarea echipamentului este realizată pneumatic, prin intermediul grupului de preparare aer comprimat și electroventil (poz. 9, 10) și cilindrul pneumatic (poz. 11).

În figura 3 se prezintă ciclograma de sudare prin procedeul hibrid „electric prin presiune și cu ultrasunete”.

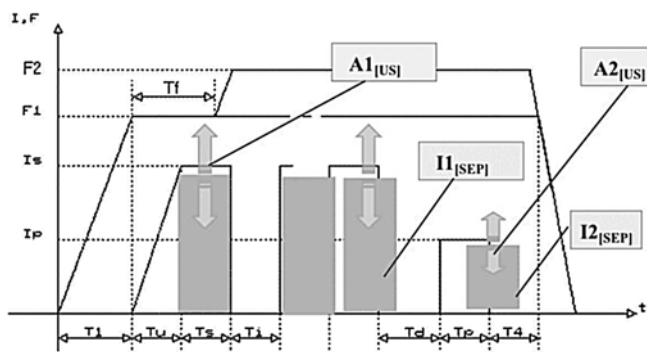


Figura 3. Diagrama de sudare „electric prin presiune și cu ultrasunete”: I1, I2[SEP] – Curent de sudare;

A1, A2 [US] – Amplitudine oscilații US/

Figure 3. – Welding diagram of the Hybrid process:

I1, I2[SEP] – Welding current;

A1, A2 [US] – Amplitude of US oscillation

Coborârea și ridicarea ansamblului BOOSTER la sudare se realizează cu o axa de translație tip actuator electropneumatic și ghidare cu coloane și bușe cu bile (poz. 8).

Modulul energetic (generatorul de ultrasunete, comandă și control) este alimentat la o linie de tensiune de 220/50 Hz, frecvența de lucru fiind de 20 kHz.

Echipamentul de sudare cu ultrasunete a materialelor metalice este dotat cu generator cu o putere de 2500 W. Generatorul convertește tensiunea convențională de 50-60 Hz în energie electrică de 20 kHz și este proiectat pentru funcționare la o durată de acționare  $DA_{max} = 50\%$ .

Batiul echipamentului este realizat din aliaj de aluminiu extrudat pentru a asigura o rigiditate mare, necesară pentru ca elementele pasive, fixate pe ele, să nu consume prin vibrații o parte din energia ultrasonică produsă de generatorul ultrasonic.

Funcționarea echipamentului specializat de sudare cu ultrasunete pentru materiale metalice este dată de componenta software a modulului de comandă și programare a echipamentului MEC - US, (poz.3) care realizează următoarele funcții :

- asigurarea dialogului cu utilizatorul prin intermediul tastaturii și afișajului;

connection (position 7), on a sonotrode. The mechanic resonator assembly is placed electrically insulated on the pneumatic axis (position 8).

Equipment driving is done pneumatically by the preparation group, compressed air and electrovent, (position 9, 10) and the pneumatic cylinder (position 11).

The welding cyclogram by the hybrid resistance and ultrasonic process is given in Figure 3.

The descent and the ascent of BOOSTER assembly at welding is done with a translation axis of actuator c type electropneumatic and guiding with columns and bead socket (position 8).

The energetic module, the ultrasonic generator- command and control- is supplied by power line of 220/50Hz, the working frequency being of 20kHz.

The ultrasonic welding equipment for metal material welding is provided with a generator of 2500W power. The generator converts the conventional voltage at 50-60Hz into power energy at 20kHz and it is designed for operating at an action time  $AT_{max} = 50\%$ .

The equipment frame is made of extruded aluminum alloy to assure a high rigidity necessary for the passive elements fixed on them not to consume by vibrations a part of the ultrasonic energy produced by the ultrasonic generator.

The operation of the ultrasonic welding equipment for metallic materials is given by the software component of the module of command and programming of the MEC-US welding equipment (position 3) which performs the following functions:

- provides the dialog with the user through the keyboard and display;
- generates PWN signals;
- displays the system elements;
- generates the welding cyclogram according to the diagram characteristic of ultrasonic welding machines.

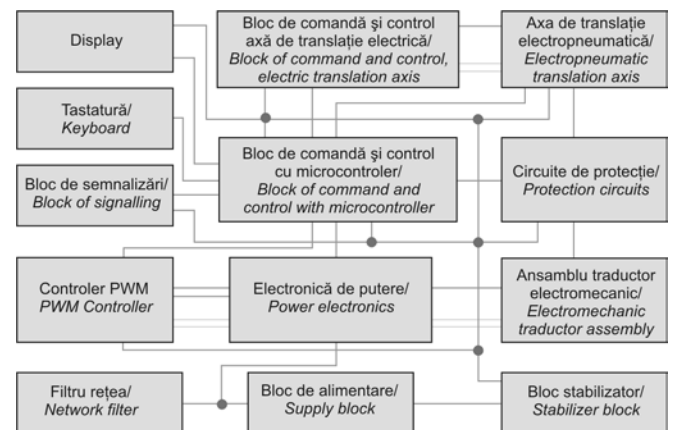


Figura 4. Schema bloc a modulului energetic și de comanda MEC-US/

Figure 4. Flow chart of energy and command of module ECM - US.

The flow chart of the energy and command module of the ECM - US welding equipment specific to ultrasonic welding equipments is presented in Figure 4. The plate with command and control unit includes the digital control made with a PIC16F877 microsystem on a printed cable on which are placed both the keyboard and the display and the part with PWM generator, respectively the command plate of optoinsulated drivers. All these components are assembled in a monolithic functional module.

- generarea semnalelor de PWM;
- afișarea elementelor de sistem;
- generarea ciclogramei de sudare conform diagramei caracteristice a mașinilor de sudat cu ultrasunete.

Schema bloc a modului energetic și de comandă a echipamentului de sudare MEC – US, specifică echipamentelor de sudare cu ultrasunete, este prezentată în figura 4. Placa cu unitatea de comandă și control cuprinde partea de reglare și control digital ce este realizată cu un microsistem cu PIC16F877 pe un cablaj imprimat. Tot pe acest cablaj mai este amplasată tastatura, afișajul și partea cu generatorul de PWM, respectiv placa de comandă a drivere-lor optoizolate. Toate aceste elemente componente sunt asamblate într-un modul funcțional monolitic.

Pornirea echipamentului de sudare cu ultrasunete se realizează de la butonul corespunzător, marcat vizibil pe panoul frontal, indicat și de iluminarea afișajului LCD a modului de comandă și programare (poz. 3).

### 3. Condiții privind realizarea experimentărilor tehnologice prin procedeul hibrid

Echipamentul specializat de sudare hibridă „electric prin presiune și cu ultrasunete” s-a verificat funcțional și s-a evaluat din punct de vedere al performanțelor tehnice și tehnologice. În imaginea din figura 5 este prezentat ansamblul standului de verificări funcționale și tehnologice, format din analizor de curent pentru sistemul SEP, (poz.1), generator de semnal HM 1830, (poz.2), osciloscop TDS 2012, (poz.3) și analizor LEM 3000, (poz.4), toate pentru sistemul ultraacustic.

Utilizând analizorul TECNA TE 1600, s-a realizat calibrarea echipamentului pe linia SEP, prin corelarea mărimilor procentuale ale curentului de sudare (programabil de la tastatura modului de comandă și programare CS 05) și mărimile reale ale curentului de sudare indicate de analizor.

În tabelul 1 sunt prezentate valorile de corelare între curentul de sudare programabil procentual de la tastatura modului CS05ISP și cele indicate de analizorul TECNA. Timpul de sudare setat a fost de 20 perioade pentru toate măsurătorile. Măsurătorile de calibrare s-au realizat cu circuitul secundar în scurtcircuit.

S-a realizat verificarea și calibrarea ultraacustică a convertorului piezoceramic. S-a utilizat un montaj format din generator de semnal HAMEG și osciloscop numeric TEKTRONIX TDS 2012.

Valoarea tensiunii aplicate la bornele convertorului piezoceramic este minimă la frecvența de rezonanță. Au fost determinate și alte mărimi caracteristice convertorului piezoceramic:

The starting of the ultrasonic welding equipment is done from a button, visibly placed on the frontal panel, indicated also by the LCD lighting of the command and programming module (position 3).

### 3. Conditions concerning the fulfillment of technological experiments by the hybrid welding process

The specialized equipment for hybrid resistance and ultrasonic welding was functionally controlled and it was assessed as concerns its technical and technological performances. Figure 5 shows the assembly stand of the functional and technological control formed of a current analyzer for the RW system, position 1, a signal generator HM1830, position 2, an oscilloscope TDS 2012, position 3 and an LEM 3000 analyser, position 4, all for the ultraacoustic system.



Figura 5. Ansamblul stand de verificări funcționale și tehnologice/  
Figure 5. Assembly stand for functional and technological control.

Using the TECNA TE 1600 analyzer, the equipment calibration on RW line was fulfilled, by correlating the percentual magnitudes of the welding current programmable from the keyboard of the control module and CS05 programming with the real magnitudes of the welding current indicated by the analyzer.

In Table 1 are presented the correlation values between the welding current programmable in percent from the keyboard of the CS05ISP module and those indicated by TECNA analyzer. The set welding time was of 20 periods for all measurements. The calibration measurements were obtained with the secondary circuit in short-circuit.

The control and ultraacoustic calibration of the piezoceramic converter was done, a set-up of a HAMEG signal generator and a TEKTRONIX TDS2012 numerical oscilloscope was used.

Tabelul 1/ Table 1

	Curent de sudare/ Welding current		Timp de sudare/ Welding time [perioade/ periods]
	CS05ISP [%]	analizor TECNA/ TECNA analyzer [kA]	
	2,5%	0,152	20
	10%	0,657	20
	30%	1,377	20
	40%	1,922	20
	50%	2,543	20
	80%	5,564	20
	90%	6,768	20

- rezistența ohmică 10 MW,
- inductanța de compensare 4,01 mH
- capacitatea traductorului 4,493nF.

Evaluarea parametrului „amplitudine de oscilație ultraacustică” la sonotroda conică s-a realizat prin programul de simulare specializat KREEL ENGINEERING, rulat pe sistemul de operare PENTIUM IV. Acesta permite cunoașterea parametrilor:

- starea de solicitare a sonotrodei,
- coeficientul de amplificare,
- amplasarea nodurilor și ventrelor,
- mărimea amplitudinii,
- curbele de variație ale pierderilor și a stărilor de solicitare internă a sonotrodei.

Sunt definite, de asemenea, forma și dimensiunile sistemului de interfațare cu elementele de cuplare – booster sau convertor piezoceramic.

În imaginea din figura 6 este prezentată forma și configurația sonotrodei (electrodului de sudare), rezultată din programul de simulare, precum și forma reală a sonotrodei utilizată în experiment. Imaginea prezintă și curba de variație a stării de solicitare internă a sonotrodei obținută la o amplitudine de 1mm, evidențiind un maxim de solicitare în zona de trecere de la secțiunea circulară cu diametrul de 26mm în zona de referință  $x=47,5\text{mm}$ .

Elementele de caracterizare ale sonotrodei, rezultat din programul de simulare sunt prezentate în tabelul 2.

Amplitudinea reală de oscilație la vârful sonotrodei corespunde cu amplitudinea teoretică rezultată din linia ansamblului rezonator mecanic, format din convertor piezoceramic, transformator de amplitudine și sonotrodă.

## 4. Experimentări tehnologice de realizare a microîmbinării

Programul experimental preliminar a avut drept scop realizarea de îmbinări prin procedeul de sudare pur rezistiv și prin procedeul HIBRID cu activare ultrasonică și compararea acestora din punct de vedere al aspectului îmbinărilor și forma configurației reperelor, după proba de încercare la tracțiune prin debutonare. Programul urmărit în esență comportarea echipamentului la procedeul electric prin presiune rezistiv și la cel cu ultrasunete.

Urmărind ciclograma de sudare HIBRIDĂ se observă că activarea ultrasonică s-a realizat în timpul imediat următor încetării trecerii curentului de sudare prin îmbinare, motivat de izolarea galvanică a celor două sisteme SEP și US.

Materialele utilizate în programele experimentale au caracteristicile precizate în tabelul 3.

Sistemul a fost testat în regim de sudare moale, timp de sudare lung  $T_s = 20$  perioade și curent de sudare mic  $I_s = 25\%$ . În aceste condiții nu s-au realizat îmbinări sudate.

Rezultate corespunzătoare s-au obținut începând de la o valoare a curentului de sudare  $I_s = 40\%$  și timp de sudare  $T_s = 14$  perioade.

Tabelul 2/ Table 2

Material	Vsunet/ Vsound	Lungime sonotrodă/ Sonatrod length	Frecvență rezonanță/ Resonance frequency	Factor amplificare/ Amplification factor	Solicitare maximă/ Maximum stress	Coordonata nod oscilație/ Node oscillation coordinate	Putere disipată/ Dissipated power
	[m/s]	[mm]	[kHz]		[Mpa/x]	[mm]	[Watt]
CuZn37	4063	97	2,51	2,75	0,94 /47,5	30,5	$1,9 \cdot 10^{-4}$

The value of the voltage applied at the clamps of the piezoceramic converter is minimum at the resonance frequency. Other characteristic magnitudes of the piezoceramic converter were also determined:

- ohmic resistance: 10 MOhm
- compensation inductance: 4.01mH
- traductor capacity: 4.493 nF

The assessment of the ultrasonic oscillation amplitude parameter at the conical sonotrode was made by the specialized simulation program KREEL ENGINEERING running on the PENTIUM IV computer.

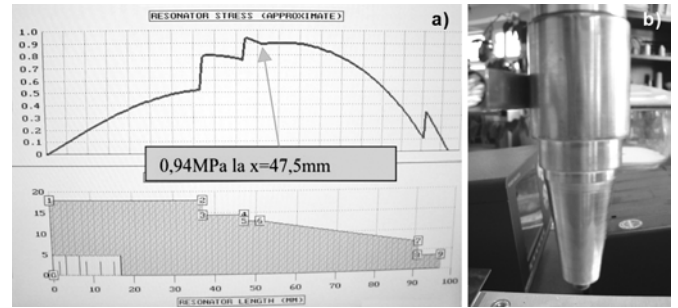


Figura 6. Curba de variație a stării de solicitare a sonotrodei - a; Sonotroda utilizată în experiment - b/ Figure 6. The variation curve of the sonotrode stress condition - a; Sonotrode used in the experiment - b

This allows to acquire knowledge about the parameters:

- sonotrode stress condition,
- amplification coefficient,
- location of nodes and vents
- amplitude size
- variation curves of losses and of the sonotrode inner stress condition.

There are also defined the form and dimensions of the system interfacing with the coupling elements- the booster or piezoceramic converter.

In Figure 6 are shown the form and configuration of the welding electrode sonotrode, resulted from the simulation program as well as the real form of sonotrode used in the experiment. The image also presents the variation curve of the sonotrode inner stress condition equivalent to an amplitude of 1mm, this showing a maximum in the area passing from the circular section with a diameter of 26mm to the reference area  $x = 47.5\text{mm}$ .

The elements characteristic for sonotrode, resulted from the simulation program, are presented in Table 2.

The oscillation amplitude at the sonotrode peak was corresponds to the theoretical amplitude resulted from the line of mechanical resonator assembly formed of a piezoceramic converter, an amplitude transformer and a sonotrode.

### Experimentul 1. Sudare fără activare cu ultrasunete

Parametrii tehnologici de sudare sunt prezentați în tabelul 4. Forma și configurația punctului sudat, precum și rezultatele corespunzătoare ale probei de tracțiune prin debutonare sunt prezentate în figura 7.

### Experimentul 2. Sudare oțel inoxidabil austenitic cu regim tehnologic cu activare ultrasunete.

Parametrii tehnologici de sudare sunt prezentați în tabelul 5. Forma și configurația punctului sudat, precum și rezultatele corespunzătoare ale probei de tracțiune prin debutonare, care sunt prezentate în figura 8.

Analiza celor două experimente evidențiază la o apreciere preliminară dezvoltarea unui nucleu sudat cu cca. 7% mai mare

Tabelul 3/ Table 3

Material/ Material	Grosime/Thickness [mm]	Rugozitate/ Rugosity	Starea suprafeței/ Surface condition	Poziție la sudare/ Welding position
Oțel inoxidabil/ Stainless steel W1.4541	0,4	0,4	Curățire prin abraziune/ Abrasive cleaning	În contact cu sonotroda/ In contact with sonatode În contact cu electrodul inferior/ In contact with the lower electrode

Tabelul 4/ Table 4

Parametrii tehnologici de sudare/ Welding technological parameters						
Is [%]	Ts	Tu	Ti	F [daN]	N	Is [kA]
50	14	3	-	100	1	2,543
50	14	3	-	100	1	2,581

T [perioade/ periods]

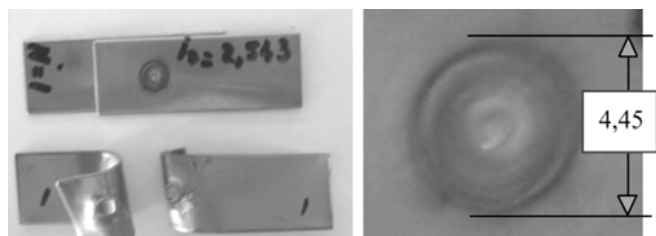


Figura 7. Forma și configurația punctului sudat/  
Figure 7. Form and configuration of the point of weld.

la procedeul cu activare ultrasonică în comparație cu procedeul rezistiv singular.

De asemenea, aspectul probelor de tracțiune prin debutonare, (figura 9) pune în evidență un aspect particular, și anume nucleul sudat este desprins din ambele repere care s-au sudat.

### Experimentul 3. Sudare a două puncte la distanță mai mare decât cea de șuntare

Parametrii tehnologici de sudare sunt prezentați în tabelul 6. Forma și configurația punctului sudat, precum și rezultatele corespunzătoare ale probei de tracțiune prin debutonare sunt prezentate în figura 10.

Au fost realizate două regimuri de sudare: proba N=3 în regim pulsant de două impulsuri de câte 5 perioade fără activare ultrasonică și al doilea regim de sudare, proba N=4, cu activare ultrasonică timp de 0,2 s și timp de sudare rezistiv 10 perioade.

Analiza experimentului evidențiază la o apreciere preliminară

## 4. Technological experiments for microwelding

The preliminary experimental program aimed at obtaining welded joints by the pure resistive welding process and by the hybrid ultrasonic welding comparing them as concerns the welding aspect and the form of workpieces configuration after the tensile test by button control. The program mainly intended to follow the equipment behavior to the resistance and ultrasonic welding. It is worth mentioning that the ultrasonic activation was achieved as time of the hybrid welding cyclogram immediately after stopping the welding current to pass through the joint, justified by the galvanic insulation of the two RW and USW systems.

The materials used in the experimental programs have the characteristics specified in Table 3.

Tabelul 5/ Table 5

Parametrii tehnologici de sudare/ Welding technological parameters						
Is [%]	Ts	Tu	Ti	F [daN]	N	Is [kA]
50	14	3	-	100	1	2,360
50	14	3	-	100	1	2,255

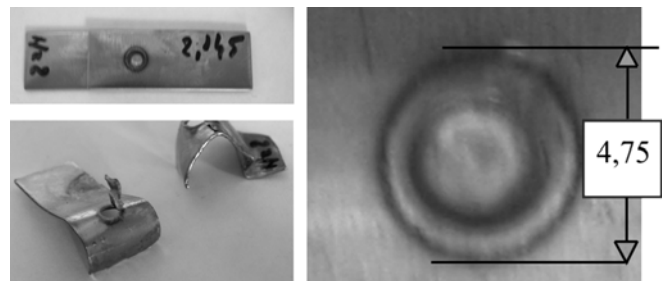
Timp de activare ultrasonică/ Ultrasonic activation time: 0,2s;  
T [perioade/ periods]

Figura 8. Forma și configurația punctului sudat/  
Figure 8. Form and configuration of the point of weld.

The system was tested under soft welding, long welding time  $T = 20$  periods and low welding current  $I_s = 25\%$ . Under these conditions no welded joints were obtained. Proper results were obtained from a welding current value  $I_s = 40\%$  and a welding time  $T_s = 14$  periods.

### Experiment 1. Welding without ultrasonic activation

The technological welding parameters are presented in Table 4. The form and configuration of the point of weld as well as the proper results of the tensile test by button control is presented in Figure 7.

### Experiment 2. Austenitic stainless steel welding with technological regime by ultrasonic activation

The welding technological parameters are presented in

dezvoltarea unui nucleu sudat cu cca. 7,8 % mai mare la procedeul cu activare ultrasonică în comparație cu procedeul rezistiv singular (figura 11).

Aspectul probelor de tracțiune prin debutonare (figura 12) este corespunzător, de o calitate foarte bună a îmbinărilor sudate. De asemenea, diminuarea diametrului celui de al doilea punct de sudare pune în evidență că fenomenul de șuntare este prezent și la distanța de 13 mm între punctele de sudare.

Tabelul 6/ Table 6

Parametrii tehnologici de sudare/ Welding technological parameters						
Is [%]	Ts	Tu	Ti	F [daN]	N	Is [kA]
50	5	3	1	100	2	2,380
50	14	3	-	100	1	2,570

Timp de activare ultrasonică/ Ultrasonic activation time: 0,2s;  
T [perioade/ periods]

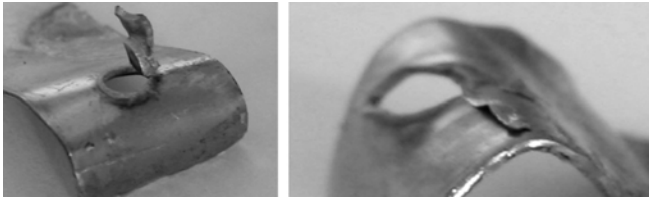
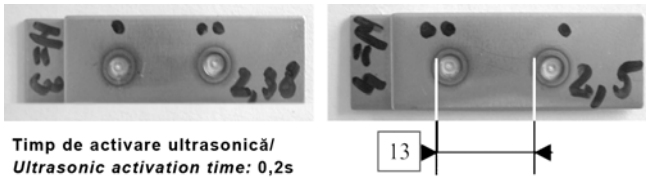


Figura 9. Aspectul probelor de tracțiune prin debutonare la sudarea cu activare ultrasonică/

Figure 9. Aspect of tensile test by button control at ultrasonic activation welding



Timp de activare ultrasonică/  
Ultrasonic activation time: 0,2s

Figura 10. Forma și configurația punctului sudat/  
Figure 10. Form and configuration of the welded point

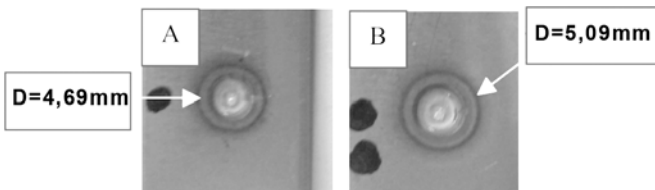


Figura 11. Puncte sudate: a -electric prin puncte rezistiv;  
b - cu activare ultrasonică/

Figure 11. Welded points: a - by resistance spot welding;  
b - by ultrasonic activation

În cadrul proiectului se au în vedere cercetarea interdisciplinară a fenomenologiei specifice activării cu energie suplimentară a proceselor de transformare a materialelor, în procesele de îmbinare hibride, care să fundamenteze implicațiile ingineriei la nivel microstructural cu focalizare asupra materialelor metalice și a materialelor noi, evaluarea modului în care se dezvoltă proprietățile structurale și funcționale în zonele afectate de procesul de îmbinare, respectiv a modului în care se pot realiza produse cu proprietăți îmbunătățite destinate unor aplicații industriale.

Table 5. The form and configuration of the point of weld as well as the proper results of the tensile test by button control are presented in Figure 8.

At a preliminary estimation, the analysis of the two experiments showed the occurrence of a welded nucleus ca. 7% bigger at the ultrasonic welding than at the resistive welding process. Also the aspect of the tensile test by button control, Figure 9, emphasizes a particular condition, the welded nucleus is unfastened from both workpieces welded.

### Experiment 3: Welding of two workpieces at a longer distance than the shunting one

The technological welding parameters are presented in Table 6. The form and configuration of the welded point and the results corresponding to the tensile test by button control are presented in Figure 10.

Two welding regimes were obtained, sample N= 3, under pulse regime of 2 pulses of 5 periods without ultrasonic activation and the second welding regime, sample N= 4, with ultrasonic activation time of 0.2 s and resistive welding time of 10 periods.

The analysis of the experiment underlines at a preliminary estimation the occurrence of a welded nucleus about 7.8% bigger in case of ultrasonic activation welding than in case of singular resistive welding process, Figure 11.

The aspect of tensile test by button control, Figure 12, is appropriate, with high quality welded joints and the diminishing of the diameter of the second welding point, which emphasizes that even at a distance of 13mm between the welding work pieces the shunting is present.

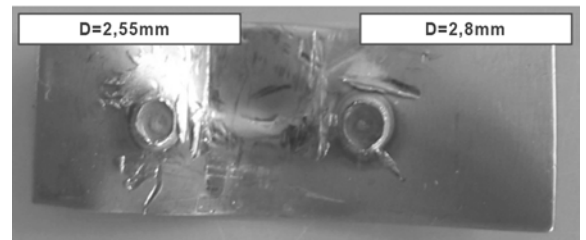
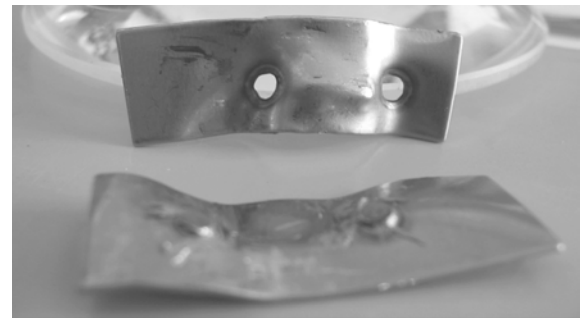


Figura 12. Proba de tracțiune prin debutonare a punctelor sudate rezistiv cu activare ultrasonică/

Figure 12. The tensile test by button control of resistive welded points with ultrasonic activation

The authors of this project have to consider the interdisciplinary research of the phenomenology specific to the activation with additional energy of the material changing processes, in the hybrid welding processes to lay the grounds of engineering implications at microstructural level focusing



## 5. Concluzii

5.1 Îmbinarea materialelor cu procedee hibride „electric prin presiune și prin ultrasunete” este un procedeu viabil.

5.2 Cercetarea interdisciplinară a fenomenologiei specifice activării cu energie suplimentară a proceselor de îmbinare este o activitate necesară a fi continuată în vederea cuantificării factorilor de influență majori.

5.3 Cercetarea proprietăților structurale și funcționale în zonele afectate de procesul de îmbinare este o activitate necesară a fi continuată în vederea identificării modului în care se pot realiza produse cu proprietăți îmbunătățite destinate unor aplicații industriale.

5.4 Dezvoltarea experimentală de tehnologii de îmbinare hibride la materialele ingineresti, cu memoria formei, biocompatibile, compozite etc., constituie o nouă etapă a programului de cercetare precompetitivă.

## Bibliografie / References

[1]. D. von Hoffe: Tendințe în dezvoltarea sudării, Conferință, ISIM Timișoara, 2007, 14 Februarie.

[2]. I. Șora I., Nicoară D., Muntean N., Bica A., Vekas L., Savii C.: Echipamente electroultraacustice pentru procesarea performanță în medii lichide, Editura Orizonturi Universitare Timișoara, 2002

[3]. xxx: Procedee avansate de sudare și tăiere a materialelor. Procedee neconventionale hibride de îmbinare a materialelor metalice cu aplicații industriale. Proiect nucleu ISIM Timișoara PN 102 / 2006-2007

[4]. xxx: Proiect PNCDI – 2001-2004, CEX-USISIM Timișoara.

on the metal and new materials. They also analyze how the structural and functional properties develop in the welding affected areas, respectively how products with improved properties, targeted to some industrial applications, can be achieved.

## 5. Conclusions

5.1 Material joining with hybrid processes “electrical by pressure and with ultrasounds” is a viable process.

5.2 The interdisciplinary research of the phenomena specific to activation with additional energy of the welding process is an activity which should be continued with the view to quantify the main influencing factors.

5.3 The investigation of structural and functional properties in the welding affected areas is an activity that should be continued with the view to identify how products with improved properties targeted to some industrial applications can be obtained.

5.4 The experimental development of hybrid welding technologies of engineering materials, with the form memory, biocompatible, composite, etc, represents a new stage of the pre-competitive research program.



vizitați

[www.isim.ro](http://www.isim.ro)

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



### Vă oferă

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

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