

Sudarea cu ultrasunete a materialelor avansate biocompatibile și cu memorie a formei

Ultrasonic welding of advanced biocompatible and shape memory alloys

D. Dehelean¹, O. Oancă¹, V. Budău², V. Șerban², C. Codrean², M. Crăciunescu²

¹ ISIM Timișoara, ² Universitatea "Politehnica" Timișoara

Cuvinte cheie

Sudare cu ultrasunete, aliaje cu memorie, materiale biocompatibile, caracteristici structuri sudate, microfabricare.

1. Introducere

Materialele funcționale și multifuncționale sunt luate în considerare în prezent pentru dezvoltarea de noi aplicații. Dintre aceste materiale, cele cu memorie a formei sunt considerate printre cele mai importante deoarece pot oferi o gamă largă de funcții, cum ar fi: efectul de memorie simplu sau dublu, superelasticitate, amortizare, magnetostricțiune și biocompatibilitate. Proprietățile de memorie a formei a aliajelor sunt asociate cu transformarea martensitică care poate avea loc între o fază ordonată de temperatură înaltă – austenita (care este dură) și o fază de temperatură joasă – martensita. În funcție de familia aliajului, tranziția dintr-o fază în alta poate fi controlată termic și/sau magnetic.

Tranziția martensitei într-un aliaj cu memorie a formei apare, de obicei, ca rezultat al unor tratamente termice sau termomecanice orientate spre a induce o tranziție de fază termoelastică reversibilă între austenită și martensită. Ciclul termic într-o gamă de temperaturi joase (de la -100 la +150 °C) este necesar pentru a observa schimbarea formei pentru majoritatea aliajelor, iar încălzirea cu mult peste aceste temperaturi poate afecta semnificativ proprietățile.

Până în prezent au fost descoperite mai multe familii de aliaje cu memorie a formei, fiecare dintre ele având avantaje și dezavantaje, dar până acum, cele mai multe aplicații sunt dezvoltate pe aliajele Ni-Ti și pe bază de cupru. Aliajele Ni-Ti sunt foarte importante deoarece sunt și biocompatibile, în timp ce aliajele pe bază de cupru sunt mai ieftine. Încălzirea la temperaturi foarte înalte și topirea pot distruge proprietățile acestor aliaje, ca urmare a încorporării de oxigen sau a precipitării de faze nedorite. Din acest motiv îmbinarea acestor materialelor cu memorie poate fi o problemă sensibilă, care este cercetată în continuare. Această problemă devine și mai sensibilă atunci când aliajele cu memorie a formei sunt foarte subțiri, cum este cazul filmelor subțiri și a benzilor solidificate ultrarapid. Aceste tehnici de producere a aliajelor cu memorie a formei s-au dovedit importante în zilele noastre [1], în special în dezvoltarea micro-aplicațiilor.

Sudarea aliajelor cu memorie a formei, în special a celor din familia Ni-Ti, este importantă și este în prezent analizată. Aliajul Ni-Ti este un material dificil de sudat și pierderea proprietăților funcționale este o preocupare majoră. Majoritatea tehnicilor de sudare implică încălzirea la temperaturi înalte, care afectează nu

Keywords

Ultrasonic welding, shape memory alloys, biocompatible materials, welded structures characteristics, microfabrication.

1. Introduction

Functional and multifunctional materials are currently under investigation for the development of new applications. Among these materials, shape memory alloys are considered of higher importance because they can provide a large range of functions, such as: one way and two way shape memory effect, superelasticity, damping, magnetostriction and biocompatibility. Shape memory alloy properties are associated with the martensitic transformation that usually occurs between an ordered high temperature phase – austenite that is hard and a softer low temperature phase – martensite. Depending on the alloy family, the transition from one phase to another can be thermally and or magnetically controlled.

The martensitic transition in a shape memory alloy is usually achieved as result of thermal or thermomechanical treatments aiming to induce a thermoelastic reversible phase transition between austenite and martensite. Thermal cycling in a low temperature range (from -100 to +150 °C) is needed in order to observe the shape change for most of the alloys and heating much above these temperatures can significantly affect the properties.

Several shape memory alloy families have been discovered so far, each of them with advantages and disadvantages, but until now most of the applications are made using Ni-Ti and copper based alloys. Ni-Ti alloys are extremely important because they are also biocompatible, while copper based alloys are less expensive. Heating at very high temperatures and melting can destroy these alloys properties due to the oxygen intake or the precipitation of unwanted phases. For this reason joining of such materials is a sensitive problem that is currently under investigation. The issue becomes even more critical when the shape memory alloys are very thin, as is the case in thin films and rapidly solidified ribbons. These techniques to manufacture shape memory alloys have proven especially important nowadays [1] when micro-applications are developed.

The welding of shape memory alloys, especially those made out of Ni-Ti is important and has received a lot of attention these days. Ni-Ti is a difficult material to weld and the loss of functional properties is a major concern. Most of the welding techniques involve heating at high temperature that affects not only the welded region but also the rest of the alloy and the issue becomes extremely sensitive when thin films of ribbons

numai zona sudată ci și restul aliajului astfel încât problema devine foarte sensibilă când sunt implicate filme și benzi subțiri. Schimbarea proprietăților poate afecta nu numai funcțiile de memorie a formei dar și biocompatibilitatea, iar ca urmare se limitează utilizarea în aplicațiile medicale.

Până în prezent, au fost considerate mai multe tehnici combinate pentru îmbinarea aliajelor masive, cum ar fi sudarea prin rezistență electrică, prin frecare, TIG, cu laser, etc. [2-8], toate implicând încălzirea extensivă a aliajelor cu memorie a formei, cu consecințe asupra proprietăților funcționale. Nishikawa și colaboratorii (1982) a încercat să asambleze Ni-Ti prin sudare prin rezistență electrică și a descoperit o scădere a rezistenței la tracțiune. Experimentările ulterioare au relevat precipitări de Ti_2Ni care pot afecta proprietățile de memorie a formei; Hirose și colaboratorii au încercat să folosească tehnici de sudare cu laser și au descoperit precipitații de oxizi în metalul sudat.

Sudarea ultrasonică reprezintă o bună metodă de asamblare a aliajelor cu memorie a formei, ca urmare a faptului că implică temperaturi mai scăzute, localizate în jurul punctelor de sudură. Ca urmare a încălzirii, nu este de așteptat să apară schimbări majore în vecinătatea îmbinării. În plus, tehnica poate fi ușor adaptată la procese de micro sudare deoarece este simplă, poate fi ușor controlată și nu necesită materiale suplimentare care pot afecta calitatea sudurii.

Această lucrare analizează particularitățile procesului de sudare ultrasonică pentru îmbinarea aliajelor cu memorie a formei - masive și solidificate ultrarapid, cu materiale similare sau disimilare. Se descrie modul în care procesul poate conduce la avantaje semnificative legate de păstrarea proprietăților funcționale în aliajele cu memorie, inclusiv ale aliajelor subțiri situate în gama de grosime a zecilor de micrometri. S-a concluzionat că această tehnică poate fi eficientă pentru asamblarea aliajelor cu memorie a formei necesare pentru micro-aplicații.

2. Detalii experimentale

Aliajele cu memorie a formei aparținând familiilor Cu-Zn-Al și Cu-Al-Ni cu compozițiile chimice detaliate în tabelul 1 au fost

Tabelul 1. Compoziția chimică a aliajelor pe bază de cupru /
Table 1. Chemical compositions of copper based alloys

Cu-Zn-Al	Cu [masa / weight %]	Zn [masa / weight %]	Al [masa / weight %]
cod / code 1	71,34	23,4	5,26
cod / code 2	71,7	22,1	6,2
cod / code 3	69,5	26,5	4

Cu-Al-Ni	Cu [masa / weight %]	Al [masa / weight %]	Ni [masa / weight %]
cod / code 1	83,04	13,1	3,86
cod / code 2	83,42	13,25	3,33

realizate sub formă masivă, utilizând tehnici convenționale de turnare. Ele au fost ulterior omogenizate și tratate termic prin călire de punere în soluție, cu răcire în apă cu gheață. Ca rezultat al acestui tratament aliajele au prezentat efectul simplu de memorie a formei și după câteva cicluri de deformare – încălzire a fost observat efectul dublu de memorie a formei.

Aliajele masive au fost utilizate la realizarea benzilor din aliaj

are implicate deoarece. Schimbarea în proprietățile poate afecta nu numai funcțiile de memorie a formei dar și biocompatibilitatea, renderând jointul inutil pentru aplicații medicale.

Several joining techniques have been considered so far for joining bulk alloys such as electric resistance, friction, TIG, laser, etc. [2-8], all of them involving extensive heating of the shape memory alloy with consequences on functional properties. Nishikawa et al (1982) tried to assemble Ni-Ti by resistance welding and found a decrease in the tensile strength; further experiments revealed the precipitation of Ti_2Ni that can affect the shape memory properties, Hirose et al. tried to use laser welding techniques and found the precipitation of oxides in the welded metal.

Ultrasonic welding can be a good opportunity to assemble shape memory alloys due to the fact that it involves lower temperatures that are mostly localized around the welded spots [9]. Therefore, major changes as a result of heating are not expected in the vicinity of the joint. In addition the process can be easily adapted to micro welding processes because it is simple, can be easily controlled and does not need additional materials that can affect the quality of the weld.

This paper reports on the use of the ultrasonic welding process to join bulk and rapidly solidified shape memory alloys to similar or dissimilar materials. It will be shown how the process can lead to significant advantages and how it can preserve functional properties in the alloys, including thin ones situated in the range of tens of micrometers thickness. It is concluded that this technique can be efficient for assembling shape memory alloys needed for micro-applications.

2. Experimental details

Shape memory alloys belonging to the Cu-Zn-Al and Cu-Al-Ni families with the chemical composition shown in table 1 have been manufactured as bulk materials, using conventional casting techniques. They have been subsequently homogenized and heat treated by solution annealing followed by ice-water quenching. As a result of this treatment the alloys showed a

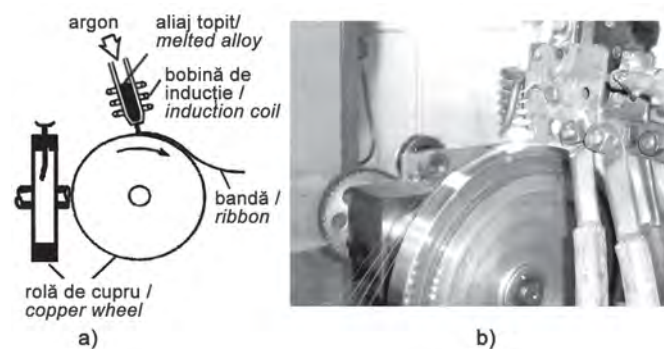


Figura 1. Tehnica “melt-spinning”
(a. principiu de bază și b. experimentul real)
Figure 1. The melt-spinning technique
(a. basic principle and b. actual experiment)

one way shape memory effect and after several deformation – heating cycles the two way shape memory effect was observed.

The bulk alloys have also been used to manufacture shape memory alloys ribbons via the melt-spinning technique described in fig. 1a, b.

cu memorie folosind tehnica “melt-spinning”, descrisă în figura 1a, b.

Aliajul topit a fost ejectat pe periferia roții de cupru antrenată în mișcare de rotație. A fost utilizat un creuzet de cuarț cu orificiu dreptunghiular cu dimensiunile 6x0,7 mm. Parametrii utilizați în timpul procesului de realizare a benzilor au fost: viteza 2500 rot/min, presiunea de ejectare 250 mbar, distanța dintre creuzet și disc 1,5 mm. Ca urmare a acestui proces, au fost realizate benzi de 20-40 mm grosime și 4 mm lățime. Efectul simplu de memorie a formei a fost observat la aceste benzi prin încălzirea în gama de temperaturi 60-125 °C, în funcție de compoziție.

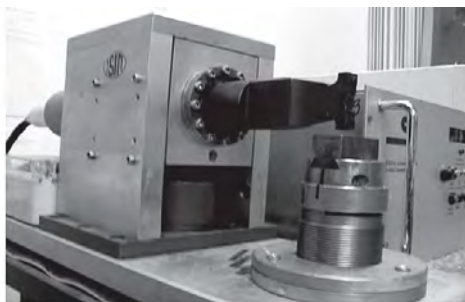


Figura 2. Echipamentul de sudare cu ultrasunete controlat de calculator, realizat pentru programele experimentale de sudare /

Figure 2. Ultrasonic computer controlled welding equipment developed for experimental welding programmes

Programul experimental de sudare a fost realizat pe un echipament special (figura 2), cu următoarele caracteristici: frecvența 20 kHz, puterea 2500 W, convertor piezoceramic 3000 W. Pentru experimente s-a utilizat o sonotrodă cu două suprafețe active, cu control computerizat astfel încât să furnizeze parametrii experimentali optimi. Pentru protejarea materialelor sudate în timpul procesului de sudare a fost utilizat argonul.

O parte din aliajele masive au fost sudate utilizând tehnicile ultrasonice, pe plăci de cupru și alamă, realizându-se experimente similare pe benzi obținute din aliaje masive pe bază de cupru și pe aliaje superelastice Ni-Ti, respectiv pe benzi de Ni-Ti-Cu care au fost produse ca parte a unei colaborări internaționale. O parte din parametrii utilizați pentru sudare sunt exemplificați în tabelul 2.

În prezent sunt în curs de desfășurare și alte experimente, asupra și altor familii de aliaje cu memorie, inclusiv din categoria celor feromagnetice.

3. Rezultate și discuții

Examinarea microscopică a aliajelor Cu-Zn-Al și Cu-Al-Ni masive a arătat prezența structurilor martensitice (figura 3) pentru probele călite și a fost observată transformarea martensitică atât prin microscopie optică, cât și prin calorimetrie diferențială (DSC). Examinările microstructurale ale benzilor solidificate rapid

The melted alloy was ejected on the outer surface of a rotating copper wheel. A quartz crucible was used with a rectangular 6 x 0.7 mm perforation. The parameters used during the melt-spinning process were: speed 2500 rot/min, 250 mbar ejecting pressure and 1.5 mm distance between the crucible and the rotating wheel. As a result of this process we were able to manufacture 20-40 mm thick ribbons with 4 mm width. The one way shape memory effect was observed on these ribbons by heating in the 60-125 °C temperature range, depending on the composition.

The experimental welding programme was made on a specialized equipment (shown in fig. 2), with the following characteristics: 20kHz frequency, 2500 W power, 3000 W piezoceramic convertor. For the experiments one sonotrode with two active surfaces has been used, computer controlled in such a way to provide optimal experimental parameters. Argon gas was used to protect the welded materials during processing.

Part of the bulk alloys have been welded using ultrasonic techniques on copper and brass plates and similar experiments have been made on ribbons that have been obtained out of the bulk copper based alloys and on equiatomic Ni-Ti commercially available superelastic alloys and on Ni-Ti-Cu ribbons that have been produced as part of an international collaboration. Part of the parameters used for welding are exemplified in table 2.

Further investigations are under way to experiment the result on other shape memory alloy families, including ferromagnetic ones.

3. Results and discussions

Microscopic examination of the bulk Cu-Zn-Al and Cu-Al-Ni showed the presence of the martensitic structure (fig. 3) for the quenched samples and the martensitic transformation was observed by both optical microscopy and differential scanning calorimetry (DSC). Microstructural examinations of the rapidly



Figura 3. Microstructurile aliajului cu memorie a formei Cu-Zn-Al, arătând structura martensitică a aliajului masiv (a), creșterea columnară în bandă (b) și detaliu cu structura martensitică înăuntrul grăuntelui din bandă (c) /

Figure 3. Microstructures of the Cu-Zn-Al shape memory alloys emphasizing the martensitic structure of the bulk alloys (a), the columnar growth in ribbons (b) and details of the martensitic structure inside a grain of the ribbon (c)

solidifies ribbons showed a columnar structure with the growth direction oriented over the thickness of the ribbon.

The preliminary experiments on welding bulk shape memory alloys materials did not raise major problems, especially due to the fact that the process involves more or less common materials. However on what concerns the ribbons, special precautions have been taken. Fig. 4 shows the striations of the active surface of the sonotrode and the experimental results on Cu-Zn-Al ribbons welded on copper plates.

Similar experiments, using a sonotrode with the same characteristics have been performed on Ni-Ti-Cu ribbons welded

Sudare cu ultrasunete

arată o structură columnară cu direcția de creștere orientată transversal, față de grosimea benzii.

Experimentele prealabile pe aliajele masive cu memorie a formei sudate nu au ridicat probleme majore, în special ca urmare a faptului că procesul implică mai mult sau mai puțin materiale care se sudează în mod obișnuit. În ceea ce privește benzile, au

on a bulk Ni6Ti4V biocompatible alloy and the results are shown in fig. 5.

We have observed a good behavior of the ribbon during the interaction with the sonotrode. Taking into consideration the thickness of the ribbon (in the range of 20 μ m) and due to the fact that the sonotrode was not especially designed for this

Tabelul 2. Parametrii de sudare folosiți la experimentări / Table 2. Welding parameters used in experiments

Cu 99,98 + CuZnAl				
Material	Grosimea / Thickness [mm]	Rugozitatea / Rugosity	Calitatea suprafeței / Surface quality	Poziția de sudare / Welding position
Cu99,98	0,7	0,4	Șlefuit / Polished	În contact cu nicovale / In contact with anvil
Cu-Zn-Al (placă / bulk)	1,5	0,4	Prelucrat mecanic / Machined	În contact cu sonotrode / In contact with sonotrode
Timpul de sudare / Welding time [ms]	Energia de sudare / Welding energy [%]	Fs / Pn [N / bar]	Suprafața activă / Active surface [mm ²]	Forța specifică / Specific force [N / mm ²]
90	75	188 / 1,5	14	13
Cu 99,98 + CuZnAl				
Material	Grosimea / Thickness [mm]	Rugozitatea / Rugosity	Calitatea suprafeței / Surface quality	Poziția de sudare / Welding position
Cu99,98	1,6	0,4	Șlefuit / Polished	În contact cu nicovale / In contact with anvil
Cu-Zn-Al (placă / bulk)	1,5	0,4	Prelucrat mecanic / Machined	În contact cu sonotrode / In contact with sonotrode
Timpul de sudare / Welding time [ms]	Energia de sudare / Welding energy [%]	Fs / Pn [N / bar]	Suprafața activă / Active surface [mm ²]	Forța specifică / Specific force [N / mm ²]
130	65	200 / 1,6	14	14,5
Cu 99,98 + CuZnAl				
Material	Grosimea / Thickness [mm]	Rugozitatea / Rugosity	Calitatea suprafeței / Surface quality	Poziția de sudare / Welding position
Cu99,98	2,6	0,4	Șlefuit / Polished	În contact cu nicovale / In contact with anvil
CuZnAl (placă / bulk)	1,5	0,4	Prelucrat mecanic / Machined	În contact cu sonotrode / In contact with sonotrode
Timpul de sudare / Welding time [ms]	Energia de sudare / Welding energy [%]	Fs / Pn [N / bar]	Suprafața activă / Active surface [mm ²]	Forța specifică / Specific force [N / mm ²]
180	75	218 / 1,75	14	15,6
Cu Zn37 + CuZnAl				
Material	Grosimea / Thickness [mm]	Rugozitatea / Rugosity	Calitatea suprafeței / Surface quality	Poziția de sudare / Welding position
CuZn37	0,8	0,4	Șlefuit / Polished	În contact cu nicovale / In contact with anvil
CuZnAl (placă / bulk)	1,5	0,4	Prelucrat mecanic / Machined	În contact cu sonotrode / In contact with sonotrode
Timpul de sudare / Welding time [ms]	Energia de sudare / Welding energy [%]	Fs / Pn [N / bar]	Suprafața activă / Active surface [mm ²]	Forța specifică / Specific force [N / mm ²]
100	75	188 / 1,5	14	13
Cu Cr Be + CuZnAl				
Material	Grosimea / Thickness [mm]	Rugozitatea / Rugosity	Calitatea suprafeței / Surface quality	Poziția de sudare / Welding position
CuCrBe	1,5	0,4	Șlefuit / Polished	În contact cu nicovale / In contact with anvil
CuZnAl (placă / bulk)	1,5	0,4	Prelucrat mecanic / Machined	În contact cu sonotrode / In contact with sonotrode
Timpul de sudare / Welding time [ms]	Energia de sudare / Welding energy [%]	Fs / Pn [N / bar]	Suprafața activă / Active surface [mm ²]	Forța specifică / Specific force [N / mm ²]
195	75	218 / 1,75	14	15,6
Cu 99,95 + CuZnAl				
Material	Grosimea / Thickness [mm]	Rugozitatea / Rugosity	Calitatea suprafeței / Surface quality	Poziția de sudare / Welding position
Cu99,95	0,8	0,4	Șlefuit / Polished	În contact cu nicovale / In contact with anvil
Cu-Zn-Al (bandă / ribbon)	0,015	0,4	Neprelucrat / As cast	În contact cu sonotrode / In contact with sonotrode
Timpul de sudare / Welding time [ms]	Energia de sudare / Welding energy [%]	Fs / Pn [N / bar]	Suprafața activă / Active surface [mm ²]	Forța specifică / Specific force [N / mm ²]
70	75	188 / 1,5	36	13

fost luate precauții speciale. Figura 4 arată striațiile suprafeței active a sonotrodei și rezultatele experimentale pe benzi din aliaj Cu-Zn-Al sudate pe plăci de cupru.

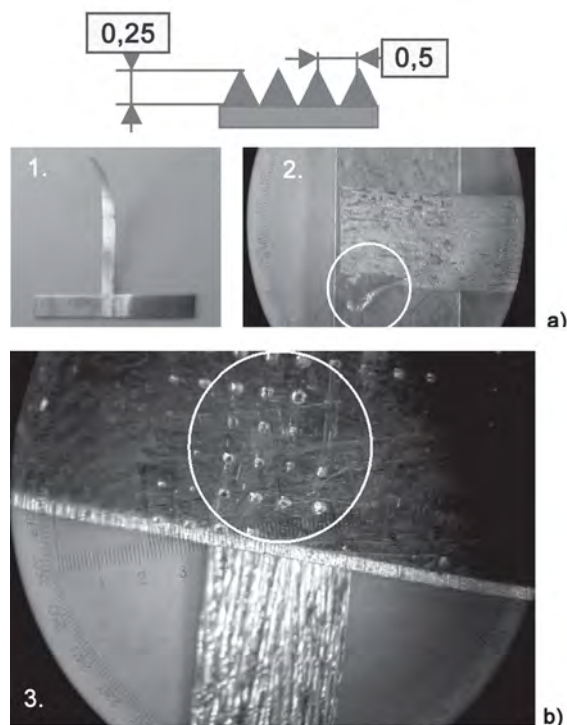


Figura 4. Rezultatele experimentale ale sudării cu ultrasunete a benzilor din aliaj Cu-Zn-Al cu memorie a formei pe plăci de cupru: a) striațiile de pe suprafața activă, (b) rezultate experimentale arătând structura sudurii (1) delaminarea benzii slabe ca rezultat al procesului de sudare (2) și imprimarea striatiunilor pe placa de cupru (3) /
 Figure 4. Results on ultrasonic welding of Cu-Zn-Al shape memory alloy ribbons on copper plates: a) active surface striations, b) experimental results showing the welded structure (1) delaminations of weaker ribbons as result of the welding process (2) and the imprint of the striation on the copper plate (3)

Experimente similare, utilizând o sonotrodă cu aceleași caracteristici au fost realizate pe benzi de Ni-Ti-Cu sudate pe aliaj de Ni6Ti4V masiv, biocompatibil, iar rezultatele sunt prezentate în figura 5.

A fost observat un bun comportament al benzilor în timpul interacțiunii cu sonotroda. Luând în considerare grosimea benzilor (în gama de 20 μ m) și ca urmare a faptului ca sonotroda nu a fost special concepută pentru acest proces, se pot observa zone în care sonotroda acționează cu o mai mare energie de cuplare (marcat cu I. în figura 5a), pe când în zonele unde contactul cu banda este limitat se poate observa o deteriorare a benzii (marcat cu II. în figura 5a). Imaginea reversului structurii sudate indică un contact relativ bun între partea activă a dispozitivului de sudură și câteva mici urme de alunecare (figura 5a2).

În scopul de a extinde mai departe limitele cercetării experimentale a fost analizată sudarea benzilor de Ni-Ti-Cu. Figura 6a arată cazul a două benzi îmbinate prin sudare, în timp ce figura 6b reprezintă o imagine macroscopică a insertului din figura 6a. Un bun comportament al sudurii a fost observat, fără

process one can observe areas where the sonotrode acts with larger energy coupling (marked with I. in fig. 5a), whereas in areas where the contact with the ribbon is limited a deterioration of the ribbon can be observed (marked with II. in fig. 5a). The back image of the welded structure shows a relatively good contact between the active part of the welding device with some small slip marks (fig. 5a2). The results have been expanded to ribbons welded in sandwich architectures between to plates of biocompatible alloy plates proving once more the good behavior of the shape memory alloy ribbons (fig. 5 b).

In order to further expand the limits of the experimental research the welding of Ni-Ti-Cu ribbons between them has been attempted. Figure 6a shows the case of two ribbons welded together while fig. 6b is a macroscopic image of the expanded insert in fig. 6a. A good welding behavior has been observed, without major deteriorations around the spot and with a good connection between the two ribbons.

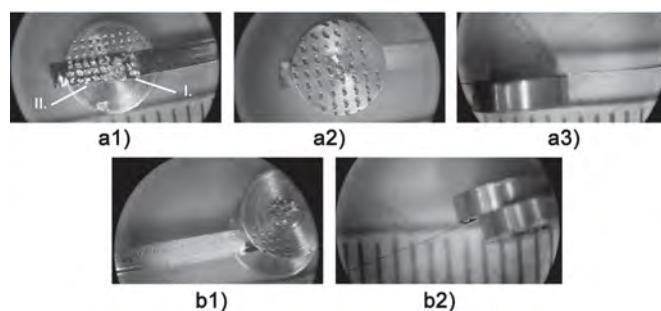


Figura 5. Rezultatele sudării cu ultrasunete a benzii din aliaj cu memorie a formei Ni-Ti-Cu pe plăci din Ni6Ti4V: (a.) bandă îmbinată cu o placă (a1. imagine frontală, a2. imagine din spate, a3. imagine din lateral) și (b.) bandă îmbinată cu două plăci /
 Figure 5. Results on ultrasonic welding of Ni-Ti-Cu shape memory alloy ribbons on Ni6Ti4V plates: (a.) ribbon attached to one plate (a1. front image, a2. back image, a3. lateral image) and (b.) ribbon attached to two plates

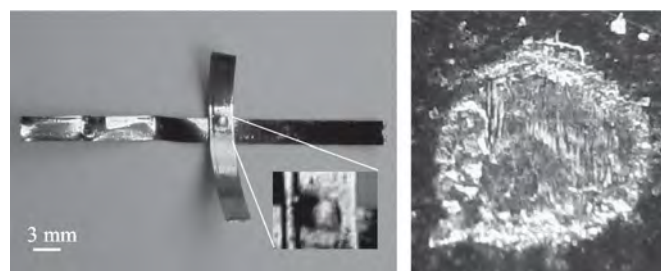


Figura 6. Rezultatele sudării cu ultrasunete a două benzi de aliaj Ni-Ti-Cu cu memorie a formei: a. structura sudurii cu benzile îmbinate între ele; b. imaginea macroscopică a punctului sudat /
 Figure 6. Results on ultrasonic welding of two Ni-Ti-Cu shape memory alloy ribbons: a. welded structure with the ribbons attached between them; b. macroscopic image of the welded spot.

The particularities of ultrasonic welding process that do not require heating temperatures that could affect the behavior of the shape memory alloy are considered convenient for joining applications. Except for the vicinity of the joint spots, where shape memory properties are not usually required, the rest of the material is expected to maintain its properties. Aging

deteriorări majore în jurul punctului de sudură și cu o bună legătură între doua benzi.

Particularitățile procesului de sudare ultrasonică, ce nu necesită temperaturi de încălzire care ar putea afecta comportamentul aliajelor cu memorie a formei, sunt considerate convenabile pentru aplicațiile de asamblare. Cu excepția vecinătății punctelor de îmbinare, unde proprietățile de memorie a formei nu sunt, în restul materialului nu au fost observate modificări funcționale sau structurale. Fenomenul de îmbătrânire asociat cu procesele de încălzire din aliajele pe bază de cupru nu este favorizat de acest tip de sudură, în timp ce absorbția de oxigen în timpul sudării la rece nu este de așteptat să apară.

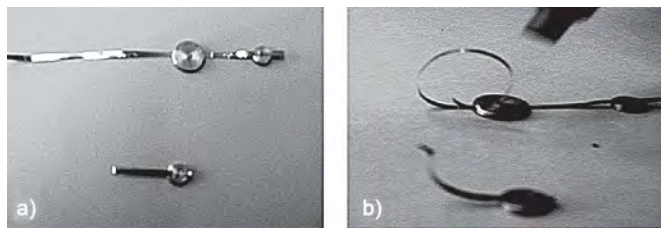


Figura 7. Dovada efectului de memorie a formei în structurile sudate între benzi de Ni-Ti-Cu și plăci din materiale biocompatibile (a. la temperatura camerei; b. formă schimbată prin încălzire la 60°C)/

Figure 7. Proof of the shape memory effect in welded structures with Ni-Ti-Cu ribbons attached to biocompatible plates (a. room temperature; b. shape change by heating at 60°C)

Caracteristicile funcționale ale îmbinării au fost examinate pe benzi pe bază de cupru și Ni-Ti. Ambele benzi au evidențiat proprietăți de memorie a formei, ca urmare a încălzirii în gama corespunzătoare de temperaturi de transformare. Figura 7 demonstrează faptul că banda de Ni-Ti-Cu își poate schimba forma când este încălzită peste 60 °C, sugerând că proprietățile nu au fost afectate. Se au în vedere viitoare investigații privind caracterizarea schimbărilor structurale din imediata vecinătate a punctelor de sudură și a zonelor înconjurătoare și investigații asupra biocompatibilității, care se așteaptă să arate că această tehnică de îmbinare poate fi utilizată pentru aplicații medicale.

Aceste experimente preliminare au fost realizate cu echipamente și dispozitive care nu au fost special proiectate pentru sudarea benzilor. Vor fi realizate cercetări suplimentare, cu sonotrode speciale și cu control adecvat al parametrilor de sudare.

4. Concluzii

Aliajele cu memoria formei sunt materiale funcționale cu un comportament care este influențat în mare măsură de factorii termici. În consecință, sunt necesare precauții importante în timpul sudării acestor materiale, în special în cazul aliajelor pe baza de Ni-Ti, unde oxigenul încorporat duce la schimbări majore în proprietățile funcționale.

Sudarea ultrasonică poate fi un instrument important pentru îmbinarea aliajelor cu memorie a formei cu materiale similare sau nesimilare, ca urmare a faptului că nu conduce la încălzirea semnificativă a aliajului, în timpul procesului de sudare. Procesul poate fi chiar mai important la îmbinarea plăcilor subțiri, filmelor și benzilor și poate fi în esență pentru îmbinarea aliajelor cu memorie a formei biocompatibile cu alte materiale biocompatibile.

phenomena associated with heating processes in copper based alloys are not favored by this type of welding, while oxygen absorption during this type of cold welding technique is not expected to occur.

The functional characteristics of the joint have been further examined for copper and Ni-Ti based ribbons. Both ribbons showed shape memory properties when heated in their particular temperature range. Figure 7 demonstrates the fact that Ni-Ti-Cu ribbon can change the shape when it is heated above 60 °C, suggesting that the properties have not been affected. Further investigations are currently in focus for the characterization of structural changes in the immediate vicinity of the welded spots and the surrounding areas and investigations on the biocompatibility are expected to show that this joining technique can be used for medical applications.

These preliminary experiments have been made on equipments and devices that were not especially design for the welding of ribbons. Further efforts will be made with special sonotrodes and with an adequate control of the welding parameters.

4. Conclusions

Shape memory alloys are functional materials with a behavior that is greatly affected by thermal factors. Consequently, significant precautions have to be considered during welding of such materials, especially in the case of Ni-Ti based alloys, where the oxygen incorporation leads to major changes in the functional properties.

Ultrasonic welding can be an important tool to join shape memory alloys to similar or dissimilar materials due to the fact that it does not lead to significant heating of the shape memory alloy. The process can be even more important for joining thin plates, films or ribbons and can be especially important for joining biocompatible shape memory alloys to other biocompatible materials.

Experiments have shown that the ultrasonic welding can be used to attach bulk as well as ribbons made out of copper based and Ni-Ti bulk alloys and rapidly solidified ribbons. While the joining process of bulk materials did not lead to major issues, the joining of ribbons is affected in a more significant manner by the particularities of the tools used for joining and the process parameters. Porous ribbons can be dismantled during the process and further experiments need to be carried out in order to find the most appropriate technology.

The experiments on Ni-Ti based ribbons have shown the possibility to attach the ribbons to biocompatible plates as well as to other ribbons and it has been demonstrated that the functional properties of ribbons attached by ultrasonic welding are not affected beyond the welding area.

In conclusion, it can be stated that ultrasonic welding could be a good technique to assemble shape memory alloys, including thin ones and the fact that it does not require extensive heating, nor additional materials can make this technique important for biocompatible applications.

Acknowledgements

The work presented in this paper has been supported by Romanian National Research Grants MATNANTECH nr. 255(408)/2004 "Microsenzori si actuatori pentru sisteme micro-opto-electro-mecanice obtinuti prin nanoingineria aliajelor cu

Experimentele au arătat că sudarea ultrasonică poate fi folosită la asamblarea aliajelor masive cu benzi din aliaje pe bază de cupru și aliajele masive de Ni-Ti și benzile solidificate rapid. În timp ce procesul de îmbinare a materialelor masive nu conduce la probleme majore, îmbinarea benzilor este afectată într-o măsură mai mare de particularitățile dispozitivelor utilizate pentru îmbinare și de parametrii procesului. Benzile poroase pot fi distruse în timpul procesului, iar experimentele ulterioare trebuie să conducă la găsirea celei mai adecvate tehnologii.

Experimentele pe benzi de Ni-Ti au arătat posibilitatea de a asambla benzile cu materiale biocompatibile cât și cu alte benzi, și s-a demonstrat că proprietățile funcționale ale benzilor îmbinate prin sudare cu ultrasunete nu sunt afectate în afara zonei de îmbinare.

În concluzie, se poate afirma că sudarea cu ultrasunete poate fi o metodă bună de asamblare a aliajelor cu memorie a formei, inclusiv a celor subțiri, iar faptul că nu necesită încălziri excesive, nici materiale suplimentare, poate face această tehnică importantă pentru aplicații biocompatibile.

Mulțumiri

Această lucrare a fost realizată cu sprijinul ganturilor finanțate de Ministerul Educației și Cercetării din România MATNANTECH nr. 255(408)/2004 “Microsenzori și actuatori pentru sisteme micro-opto-electro-mecanice obținuți prin nanoingineria aliajelor cu memorie a formei” și CEEEX nr. 7/2005 “Nanocontrol și multifuncționalitate în materiale, microstraturi și arhitecturi cu memorie a formei”. Experimentele de sudare au fost realizate în “Centrul de Excelență în Sudarea cu Ultrasunete” la ISIM Timișoara.

Lucrare prezentat la “Primul Congres IIW sud-est european de sudare”, Timișoara, mai 2006



memorie a formei” and CEEEX nr. 7/2005 “Nanocontrol și Multifuncționalitate în Materiale, Microstraturi și Arhitecturi cu Memorie a Formei”. The welding experiments have been made in the “Center of Excellence in Ultrasonic Welding” at ISIM Timișoara. The authors gratefully acknowledge this support.

Bibliografie / References

- [1] C.M. Crăciunescu: Micro și nanoingineria aliajelor cu memorie a formei, Ed. Politehnica, Timișoara, 2005
- [2] T. Araki, A. Hirose: Characteristics and fracture morphology of Ti-Ni type shape memory alloy and its laser welded joint. *Metals* 1989; 38(428): 478-483.
- [3] T. Shinoda et al.: Functional characteristics of friction welded near-equiatomic TiNi shape memory alloy. *Transactions of the Japan Welding Society* 1991; 22(2): 30-36.
- [4] T. Shinoda, T. Tsuchiya, H. Takahashi: Friction welding of shape memory alloy. *Welding International* 1992; 6(1): 20.
- [5] A. Ikai, K. Kimura, H. Tobush: TIG welding and shape memory effect of TiNi shape memory alloy. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* 1996; 7(6): 646-654.
- [6] A. Tuissi et al.: Effect of Nd-YAG laser welding on the functional properties of the Ni-49.6at%Ti. *Mater Sci Eng A* 1999; 273-275: 813-817.
- [7] T. Shinda, T. Owa, V. Maguula: Microstructural analysis of friction welded joints in TiNi alloys. *Welding International* 1999; 13(3): 24-29.
- [8] Y.H. Hsu et al.: Effect of CO₂ laser welding on the shape memory and corrosion characteristics of TiNi alloy. *Met Mater Trans*, 2001; 32A: 569-576.
- [9] xxx: Excellence Centre in Ultrasonic Welding, ISIM Timișoara - PNCDI Programm, 2001-2005

Paper presented at The 1st IIW South-East European Welding Congress, Timișoara, May 2006

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



Vă oferă

Lucrările Primului Congres IIW Sud-est european de sudare - Tehnologii de sudare și îmbinare pentru o dezvoltare durabilă în mediu, Timișoara 24-26 mai 2006, pe CD-ROM (limba engleză)	100 lei
Lucrările Conferinței Internaționale a ISIM, 2005 - Integritatea structurală a construcțiilor sudate, pe CD-ROM (limba română)	20 lei
Lucrările Conferinței Naționale a ISIM, 2005 - Tendințele în activitatea de cercetare-dezvoltare-inovare în domeniul sudurii, 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, 2004 (4 numere)	60 lei
Revista BID-ISIM, 2005 (4 numere)	100 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. RO35RNCB0249049272150029, BCR Timișoara sau RO94TREZ6215069XXX002498 Trezoreria Timișoara sau direct la casieria ISIM, sumele corespunzătoare. Prețurile conțin TVA și cheltuielile de expediție. Informații suplimentare la telefonul 0256-200222.