

Piśmiennictwo

- [1] Lam J.S., Volpe M.A., Kaplan S.A.: Use of Prostatic Stents for the Treatment of Bening Prostatic Hyperplasia in High-risk Patients, Current Science, Inc. 2001, 2, pp.277-284.
- [2] Fabian K.M.: Per intraprostatiche „Partielle Katheter“ (Urologische spirale). Ueologe 1980, 19, pp.236.
- [3] G.H. Madlani, S.M. Press, A. Defalco, J.E. Oesterling, A.D. Smith: Urolume endourethral prosthesis for the treatment of urethral stricture disease: Long-term results of the North American multicenter urolume trial. Urology, May 1995, Number 5, pp.846-856.
- [4] Barbalias G.A., Siablis D., Liatsikos E.N., Karnabaditis D., Yarmenitis S., Bouropoulos K., Dimapoulos J.: Matal stents a new treatment of malignant urateral obstruction. J.Urol. 1997, 158(1), pp.54-58.
- [5] Pauer W., Eckerstorfer G.M.: Use of self-expanding permanent endoluminal stents for benign ureteral strictures: mind-term results. J.Uro. 1999, 162(2), pp.319-322.
- [6] W.Kajzer, W.Chranowski, J. Marciniak: Corrosion resistance of Cr-Ni-Mo steel intended for urological stents. 11th International Scientific Conference on Contemporary Achievements in Mechanics, Manufacturing and Materials Science, Gliwice – Zakopane 2005.
- [7] Marciniak J., Chranowski W., Żak J.: Structure modification of surface layer of Ti6Al4V ELI. Proceedings of the 13th Scientific Conference „Biomaterials in medicine and veterinary“, Rytro, 2003, Biomaterial Engineering, nr 30-33, 2003, s.56-58. (in polish)

References

- [8] Chrzanowski W., Marciniak J., Szewczenko J., Nawrat G.: Electrochemical modification of Ti₆Al₄V ELI surface. Proceeding of the 12th International Scientific Conference „Achievements in Mechanical and Materials Engineering 2003“, Gliwice-Zakopane, 2003, s.157-160.
- [9] M. Kaczmarek, W. Simka, A. Baron, J. Szewczenko, J. Marciniak: Electrochemical behavior of Ni-Ti alloy after surface modification. Journal of Achievements in Material and Manufacturing Engineering, Vol 18, Issue 1-2, September October 2006, pp.111-114.
- [10] W. Kajzer, A. Krauze, W. Walke J. Marciniak: Corrosion resistance of Cr-Ni-Mo steel in simulated body fluids. Journal of Achievements in Material and Manufacturing Engineering, Vol 18, Issue 1-2, September October 2006, pp.115-118.
- [11] Standard: ASTM F-746-81:1999. Standard test metod for pitting or crevice corrosion of metallic surgical implant materiale.
- [12] Standard: ASTM G5-94:1999. Standard reference test method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurements.
- [13] M. Multanen, M. Talja, S. Hallanvu, A. Siitonen, T. Valimaa, T.L.J. Tammela, J. Seppala, P. Tormala: Bacterial adherence to ofloxacin- blended polylactone- coated self- reinforced – lactic acid polymer urological stents. BJU International, 86,2000, pp.966-969.
- [14] T. Valimaa, S. Laaksovirta: Degradation behaviour of self-reinforced 80L/20G PLGA devices in vitro. Biomaterials 25 (2004), pp.1225-1232.

MECHANICZNE WŁASNOŚCI SPAWANYCH DRUTÓW NITI UŻYTYCH W MODELOWANIU SKLEPIENIA CZASZKI

Z. LEKSTON*, H. MORAWIEC*, K. KOBUS**, M. WĘGRZYN**, J. DRUGACZ***

*INSTYTUT NAUKI O MATERIAŁACH, UNIWERSYTET ŚLĄSKI, 40-007 KATOWICE, BANKOWA 12

**SZPITAL CHIRURGII PLASTYCZNEJ, 57-320 POLANICA ZDRÓJ, JANA PAWŁA II/2

***KLINIKA CHIRURGII SZCZĘKOWO-TWARZOWEJ, ŚAM, 40-027 KATOWICE, FRANCUSKA 20/24

Streszczenie

W pracy przedstawiono badania mechaniczne spawanych, nadsprężystych drutów NiTi z których wykonano okrągłe sprężyny użyte w eksperymentalnym leczeniu ścieśnienia czaszki u dzieci. Druty w temperaturze pokojowej mają strukturę fazy macierzystej B2. Na krzywych DSC spoin laserowych i po zgrzewaniu oporowym pojawiły się dodatkowe efekty cieplne świadczące o zmianach struktury pod wpływem procesu spawania. W próbach rozciągania wykazano słabszą wytrzymałość na zerwanie drutów spawanych laserowo na zakładkę i drutów zgrzewanych doczołowo na zgrzewarce zwarciowej w porównaniu z drutami nie spawanymi. Wielokrotne uginanie do kształtu elipsy pierścieni spawanych laserowo nie powodowało wyraźnych zmian własności sprężystych i uszkodzeń spawów.

[Inżynieria Biomateriałów, 58-60,(2006),155-158]

MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED NITI WIRES USED IN CRANIAL VAULT RESHAPING

Z. LEKSTON*, H. MORAWIEC*, K. KOBUS**, M. WĘGRZYN**, J. DRUGACZ***

*INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE, UNIVERSITY OF SILESIA, 40-007 KATOWICE, BANKOWA 12

**CLINIC OF PLASTIC SURGERY, 57-320 POLANICA ZDRÓJ, JANA PAWŁA II/2

***CLINIC OF MAXILLOFACIAL SURGERY, SILESIA MEDICAL ACADEMY, 40-027 KATOWICE, FRANCUSKA 20/24

Abstract

The article presents mechanical experiments on superelastic NiTi welded wires out of which round springs used in experimental treatment of craniostenosis in children were made. XRD analysis proved that the wires in room temperature had the structure of B2 parent phase. On DSC curves of laser welds and after resistance welding additional thermal effects showing structural changes of the structure under the influence of the process of welding appeared. Tensile tests showed smaller tensile strength of laser overlap welded wires and butt welded wires on a short-circuit welder in comparison with samples of non-welded wires. Multiple bending of laser-welded rings to the shape of an ellipse did not result in the clear changes of elastic properties and damages of welds.

[Engineering of Biomaterials, 58-60,(2006),155-158]

Do obróbki powierzchniowej metali, cięcia lub spawania stosuje się techniki laserowe. W technologii wytwarzania wyrobów medycznych wykonanych zwłaszcza z tytanu lub jego stopów do precyzyjnego spawania wykorzystuje się laser neodymowo-yagowy. Technologie spawania tym laserem z powodzeniem wykorzystano do łączenia elementów ze stopów NiTi wykazujących pamięć kształtu lub nadsprężystość [1-3]. Przemiany fazowe i własności tych stopów silnie zależą od składu chemicznego, obróbki termomechanicznej oraz innych czynników technologicznych [4]. Również spawanie może wpływać na przemiany fazowe, zdefektowanie struktury i własności użytkowe.

W chirurgii remodelowania czaszki stosowane są metalowe sprężyny wspomagające [5-7]. W kraju w eksperymentalnym leczeniu kraniostoz zastosowano sprężyny ze stopów NiTi. Dla zmniejszenia inwazyjności zabiegów aktualnie stosuje się sprężyny w postaci spawanych laserowo pierścieni, które przymocowane podskórnio do czaszki odkształcone do kształtu elipsy zapewniają podczas rozprężania skuteczną korekcję deformacji czaszki [8]. Bardzo ważne jest wykonanie spawów o dobrej jakości, wytrzymałych na zginanie ponieważ ewentualne pęknięcie może spowodować komplikacje i konieczność wymiany dystraktora.

Celem tej pracy jest przedstawienie wpływu spawania na strukturę i własności mechaniczne nadsprężystych drutów NiTi oraz spawanych sprężyn przeznaczonych do plastyki czaszki.

Material i metody badań

W badaniach użyto nadsprężyste druty NiTi o średnicach 1,0 i 1,2 mm ze stopu o składzie chemicznym Ti-50,8% at. Ni. Sprężyny do korekcji sklepienia czaszki formowano z prostych drutów, które po wygięciu do kształtu okręgów spawano pulsacyjnie wiązką laserową na zakładkę, w atmosferze argonu, przy użyciu lasera Nd:Yag 2002 S. Badano również druty zgrzewane doczołowo na zgrzewarce zwarciowej ZDZ-06.

Skład fazowy drutów i spoin określono metodą rentgenograficzną. Dyfraktogramy rejestrowano na dyfraktometrze Philips X'Pert z monochromatorem grafitowym w promieniowaniu CuK_α . Przebieg przemian fazowych i temperatury charakterystyczne określono metodą DSC przy użyciu kalorymetru Perkin-Elmer podczas chłodzenia i nagrzewania próbek z szybkością $10^\circ\text{C}/\text{min}$. Własności nadsprężyste i wytrzymałość spawów badano w próbach rozciągania na maszynie wytrzymałościowej Instron oraz podczas cyklicznego zginania spawanych dystraktorów na specjalnie skonstruowanym stanowisku pomiarowym wyposażonym w tensometryczny przetwornik siły i transformatorowy różnicowy czujnik przemieszczeń liniowych. Skład chemiczny drutów spawanych laserowo określono przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego JSM 6480 wyposażonego w detektor EDS firmy IXRF stosując standardową metodę kalibracji.

Wyniki badań i dyskusja

Metodą rentgenograficzną stwierdzono, że w stanie dostarczenia druty miały strukturę fazy macierzystej B2. Na dyfraktogramach spoin laserowych i zgrzewanych oporowo występowały również tylko linie dyfrakcyjne fazy B2. Na krzywych DSC zarejestrowanych podczas chłodzenia i nagrzewania drutów w stanie dostarczenia (0) i próbek wyciętych ze spoin laserowych (1) i zgrzewanych oporowo (2) widoczne są zmiany w przebiegu przemian fazowych

Introduction

The laser-based techniques have been used in surface metalworking, cutting and welding. The technology applied in the production of medical goods made mainly of titan or its alloys uses the neodymium-yag laser. Those welding technologies have been successfully used in welding of the shape memory or superelastic NiTi elements [1-3]. Phase changes and mechanical properties of these alloys depend highly on the chemical composition, thermomechanical treatment and other technological factors [4]. Welding can also have influence on phase changes, structural failures and functional properties.

The surgery of skull remodeling makes use of metal aiding springs [5-7]. In Poland in the experimental treatment of craniostoses NiTi-alloy springs were used. To diminish the surgical invasiveness, presently the springs in the form of laser welded rings are used. They are subcutaneously fixed onto the skull while being squeezed to the shape of an ellipse and therefore in the process of expansion they provide successful correction of the cranial deformation [8]. It is crucial to perform welds of good quality and resistant to bending because a potential fracture might result in serious complications and make it necessary to provide a new distractor.

The aim of the study is to present the influence of welding on the structure and mechanical properties of superelastic NiTi wires and welded springs used in cranioplasty.

Materials and research methods

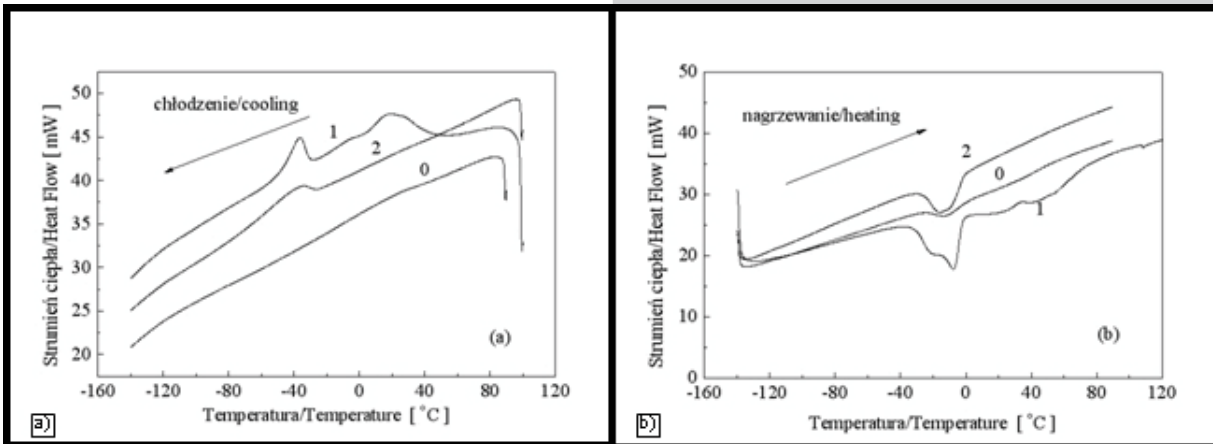
The superelastic NiTi welded wires with the diameters of 1,0 and 1,2 mm made of the Ti-50,8%at.Ni alloy were tested. The springs for the cranial vault correction were formed from straight wires which, after being shaped into circles, were treated with laser pulsating and overlap welding in the argon atmosphere with the use of Nd:Yag 2002 S laser. Wires butt welded on ZDZ-06 short-circuit welder were also tested.

Phase composition of wires and welds were determined with the use of an X-ray method. Diffraction patterns were registered on the Philips X-Pert with a graphite monochromator in CuK_α radiation. Phase changes were recorded by DSC method with the use of Perkin-Elmer calorimeter during cooling and heating of the samples at the rate of $10^\circ\text{C}/\text{min}$. Superelastic properties and the strength of welds were measured both by tensile tests on the Instron strength machine and during cyclic bend of welded distractors on a specially constructed measure station, equipped with an Hottinger force converter and a linear variable differential transformer. Chemical composition determination of laser welded wires was carried out using the energy dispersive spectrometer (EDS) IXRF attached to SEM (JSM 6480) applying the standard calibration method.

Test results and discussion

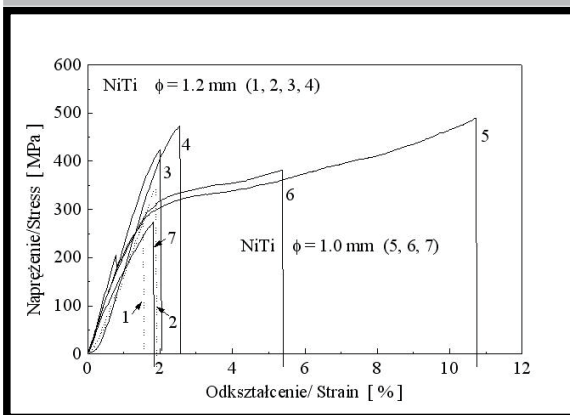
The X-ray method made it possible to determine that in the state of delivery the wires had the structure of a B2 parent phase. On the diffractograms of the laser and resistant-welded welds there were also only the diffraction lines of the B2 phase.

The DSC curves registered during cooling and heating of wires in the state of delivery (0) and samples cut out from laser (1) and resistant-welded (2) welds show changes in phase transformations caused by the process of welding (FIG.1). In the laser welds, both during cooling and heating, phase transformations occurs with the contribution of intermediate



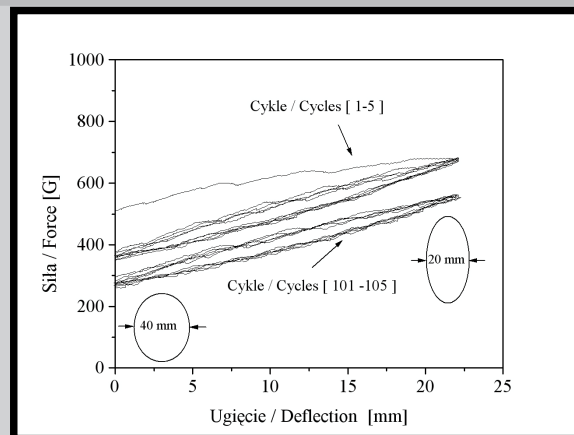
RYS.1. Krzywe DSC zarejestrowane podczas chłodzenia (a) i nagrzewania (b) próbek wyciętych z drutów poza strefą spawania i ze spoin laserowych i zgrzewanych doczołowo.

FIG.1. DSC curves recorded during cooling (a) and heating (b) of the samples cut out from wire outside welding zone and from laser and frontally welded welds.



RYS.2. Krzywe rozciągania drutów spawanych na zakładkę wiązką laserową (1,2) oraz zgrzewanych doczołowo (3,4,5,6,7).

FIG.2. Tensile tests of overlap laser-welded (1, 2) and electric butt welded wires (3,4, 5,6, 7).



RYS.3. Wielokrotne, cykliczne zginanie spawanego laserowo pierścienia NiTi.

FIG.3. Multiple cyclic bending of laser welded NiTi ring.

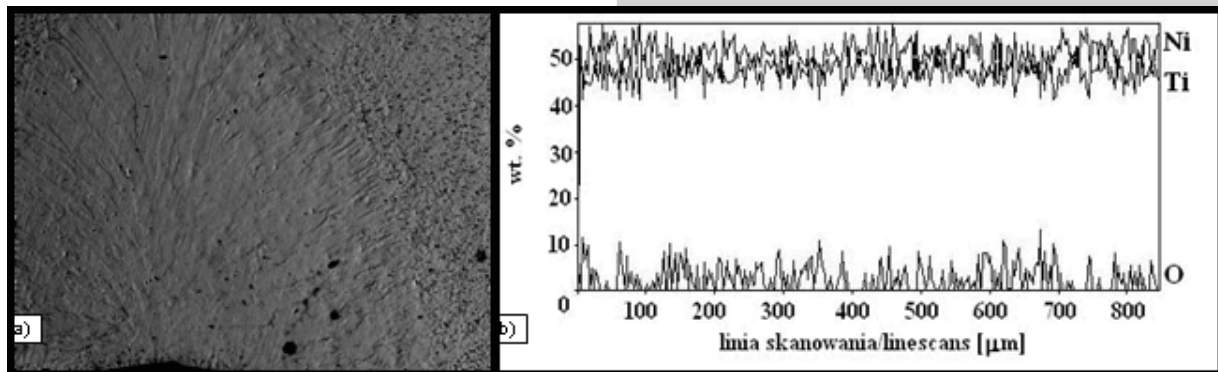
spowodowane procesem spawania (RYS.1). W spoinach po spawaniu laserowym zarówno podczas chłodzenia jak i nagrzewania przemiany zachodzą z udziałem pośredniej fazy romboedrycznej R. Zmiany sekwencji przemian są prawdopodobnie spowodowane zdefektowaniem struktury i niejednorodnym polem naprężeń w strefie spawu.

Podczas rozciągania drutów spawanych obydwo ma sposobami już przy niewielkich odkształceniach (około 2 %) następowało zrywanie drutów tuż przy spawie (RYS.2). W laboratoryjnych próbach wielokrotnego uginania okrągłych sprężyn spawanych laserowo przeznaczonych do płytki czaszki przy odkształcaniu siłą nie przekraczającą 10 N nie stwierdzono przypadków rozerwania spawów (RYS.3). Badania za pomocą mikroskopu skaningowego i liniową analizę składu chemicznego metodą EDX przeprowadzono na zglądach przekroju poprzecznego spawu. Wyniki tych badań przedstawiono na RYSUNKU 4. W obszarze jeziora spawalniczego widoczne są kryształy (ziarna) promieniowo zorientowane wzdłuż kierunku odprowadzenia ciepła. Poza tym obszarem widoczna jest strefa mikro-nieciągłości w postaci por, odpowiedzialna za obniżenie własności me-

R rhombohedral phase. The changes of transformation sequences are probably caused by structure deformations and non-homogeneous stress field in the welding zone.

During stretching of wires welded with the use of both methods the wires were broken at near welding zone (Fig. 2) even when small deformations (about 2%) occurred. In laboratory tests of multiple bending of circular laser-welded springs used in cranioplasty with the deformation force below 10N breaking of welds did not occur (Fig. 3).

Electron scanning microscope observation and linear chemical analysis by EDX was carried out on cross section of the weld. The results are shown in Fig. 4. The area of the welding puddle shows the radial orientation of the crystals in accordance to the heat transfer direction. Outside of this area a zone of micropores is seen. It is responsible for observed lowering mechanical properties. The chemical composition across the weld as seen in Fig. 4b doesn't shows any inhomogeneity of nickel, titanium or oxygen.



RYS.4. Mikrostruktura (a) i skład chemiczny wzdłuż linii w poprzek spawu laserowego (b).
 FIG.4. Microstructure (a) and linear chemical composition across the laser weld (b).

chanicznych. Pomiary składu chemicznego wzdłuż linii w poprzek spawu (RYS.4b) nie wykazały istotnych różnic analizowanej zawartości niklu, tytanu i tlenu.

Wnioski

- Druty wykorzystane do wykonania prototypowych dys-traktorów czaszkowych w temperaturze pokojowej mają strukturę fazy macierzystej B2 i wykazują dobre własności mechaniczne i pożądaną nadśprężystość.
- Druty spawane laserowo i zgrzewane oporowo wykazują niższą wytrzymałość na rozciąganie w porównaniu z materiałem w stanie dostarczenia spowodowaną mikro-porowością spoin.
- Zastosowanie spawania laserowego na zakładkę zapewnia wystarczającą wytrzymałość sprężyn przeznaczonych do modelowania sklepienia czaszki.

Conclusions

- The wire used for the production of the prototype skull distractors in room temperature have the B2 parent phase and display good mechanical properties and required super-elasticity.
- Laser and resistance welded wires show smaller tensile strength in comparison with the material at the moment of delivery caused by the microporosity of the welds.
- The use of overlap laser welding provides sufficient endurance of springs used for cranial vault modeling.

Piśmiennictwo

- [1] A. Schussler., Proc. Sec. Int. Conf. SMST., California (1997) 143
- [2] P. Schlossmacher, T. Haas, A. Schussler., J. Phys. IV France 7 (1997) C5-251
- [3] A. Tuissi, S. Besseghini, T. Ranucci, F. Squatrito, M. Pozzi., Mater. Sci. Eng. A 273-275 (1999) 813

References

- [5] C. Lauritzen, Y. Sugawara, O. Kocabalkan, R. Olsson., Scand. J. Plast. Reconstr. Hand Surg. 32 (1998) 331
- [6] J. Guimaraes_Ferreira, F. Gewalli, L. David, R. Olsson, H. Friede, C. K. C. Lauritzen., Scand. J. Plast. Reconstr. Hand Surg. 37 (2003) 208
- [7] L. David, P. Proffer, W. Hurst, S. Glazier, L. Argenta., J. Cranial Surg., 15 (5) (2004) 810
- [8] H. Morawiec, Z. Lekston, K. Kobus, M. Węgrzyn, J. Drugacz., J. Mat. Sci.: Med. Mat. – in press.