

# SUPERSPRĘŻYSTE DRUTY NiTi DLA CHIRURGII MAŁOINWAZYJNEJ

Z.LEKSTON<sup>\*1</sup>, Z.NAWRAT<sup>2,3</sup>, W.DYBKA<sup>2</sup>, P.KOSTKA<sup>2</sup>, M.DYZIA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> UNIWERSYTET ŚLĄSKA, INSTYTUT NAUKI O MATERIAŁACH,  
UL.BANKOWA 12, 40-007 KATOWICE, POLSKA

<sup>2</sup> FUNDACJA ROZWOJU KARDIOCHIRURGII W ZABRZU,  
UL.WOLNOŚCI 345A, 41-800 ZABRZE, POLSKA

<sup>3</sup> ŚLĄSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY W KATOWICACH,  
KATEDRA KARDIOCHIRURGII I TRANSPLANTOLOGII,  
UL.SZPITALNA 2, 41-800 ZABRZE, POLSKA

<sup>4</sup> POLITECHNIKA ŚLĄSKA,

WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I METALURGII,  
UL. KRASIŃSKIEGO 8, 40-007 KATOWICE, POLSKA

\* E-MAIL: ZDZISLAW.LEKSTON@US.EDU.PL

## Abstract

*W pracy przedstawiono charakterystykę struktury i własności supersprężystych drutów NiTi przeznaczonych na elementy aktywacyjne i końcówki zminiaturyzowanych prototypowych narzędzi dla chirurgii małoinwazyjnej. Metodą rentgenograficzną (XRD) stwierdzono, że druty w stanie dostarczenia w temperaturze otoczenia miały strukturę fazy macierzystej B2. Metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC) stwierdzono, że podczas chłodzenia w badanych drutach przemiana zachodziła bezpośrednio z fazy macierzystej B2 do fazy martenzytycznej B19'. Przemiana odwrotna zachodziła z udziałem fazy romboedrycznej wg schematu B19'→R→B2. Badane druty w próbach rozciągania wykazywały bardzo dobre własności mechaniczne i supersprężystość. W próbach wyginania pod naprężeniem prostych odcinków drutów do kąta 90°, po usunięciu zewnętrznego naprężenia następował całkowity odzysk wyprostowanego kształtu. Krzywe zależności siły w funkcji strzałki ugięcia, zarejestrowane w próbach wielokrotnie powtarzanego, trójpunktowego zginania, potwierdziły bardzo dobre, stabilne własności supersprężyste badanych drutów. Supersprężyste elementy NiTi wykorzystano do przekazu napędu do końcówki roboczej prototypowego narzędzia mechatronicznego Robin Heart Uni 0.*

[Inżynieria Biomateriałów, 96-98, (2010), 25-29]

## Wstęp

Druty i implanty NiTi stosowane w chirurgii małoinwazyjnej muszą wykazywać zjawiska pamięci kształtu lub supersprężystość w temperaturach zbliżonych do temperatury ciała pacjenta [1,2]. Optymalizację struktury i własności drutów NiTi stosowanych na wyroby medyczne przedstawiono w pracach [3-5]. Implanty NiTi w postaci klamerek, spinek i szwów mechanicznych działających kompresyjnie mogą służyć do zespalania drobnych kości lub anastomozy tkanek [6,7], natomiast supersprężyste - wykorzystuje się jako łuki ortodontyczne, stenty, dystryktory tkanek, prowadniki oraz aktywatory i elementy robocze narzędzi endochirurgicznych [8-10]

W Pracowni Biocybernetyki Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze wykonano prototypowe urządzenie R iH Uni 0 – pierwsze narzędzie systemu Robin Heart Uni. Narzędzie posiada 2 stopnie swobody, układ napędowy i sterowania w elemencie, który stanowi prosty uchwyt.

# SUPERELASTIC NiTi WIRES FOR MINIMALLY INVASIVE SURGERY

Z.LEKSTON<sup>\*1</sup>, Z.NAWRAT<sup>2,3</sup>, W.DYBKA<sup>2</sup>, P.KOSTKA<sup>2</sup>, M.DYZIA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> UNIVERSITY OF SILESIA, INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE,  
12 BANKOWA STREET, 40-007 KATOWICE, POLAND

<sup>2</sup> FOUNDATION FOR THE DEVELOPMENT OF CARDIOSURGERY,  
345A WOLNOŚCI STREET, 41-800 ZABRZE, POLAND

<sup>3</sup> MEDICAL UNIVERSITY OF SILESIA,  
CARDIOSURGERY AND TRANSPLANTATION DEPARTMENT,  
2 SZPITALAN STREET, 41-800 ZABRZE, POLAND

<sup>4</sup> SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,

FACULTY OF MATERIALS SCIENCE AND METALLURGY,  
8 KRASIŃSKIEGO STREE, 40-007 KATOWICE, POLAND

\* E-MAIL: ZDZISLAW.LEKSTON@US.EDU.PL

## Abstract

*The study presents the structure and properties of superelastic NiTi wires which are aimed to be used for activation elements and tips for miniature prototype tools in minimal invasive surgery. With X-ray diffractometry (XRD) it was found out that the wires in their state of delivery at ambient temperature had the structure of B2 parent phase. Differential scanning calorimetry (DSC) showed that during cooling in the tested wires the phase transition was directly from B2 parent phase to B19' martensitic phase. The reverse transition was with the participation of rhombohedral R phase according to B19'→R→B2. During stretching the tested wires displayed very good mechanical properties and superelasticity. During bending, when straight parts of the wire were strained to 90°, when external strain was removed, complete recovery of the straightened shape was observed. The curves of the forces in the function of deflection, recorded during multiple three-point bending were the confirmation of very good, stable superelastic properties of the tested wires. Superelastic NiTi elements were used to transmit the drive to the operating tip of the Robin Heart Uni 0 prototype mechatronic tool.*

[Engineering of Biomaterials, 96-98, (2010), 25-29]

## Introduction

NiTi wires and implants used in minimally invasive surgery have to display shape memory or superelasticity in temperatures close to patients' body temperatures [1,2]. Optimization of the structure and properties of NiTi wires used for medical equipment are presented in the studies [3-5]. NiTi implants in the form of clips, staples and mechanical sutures operating in a compressive way can be used to join small bones or in tissue anastomosis [6,7]. However, superelastic ones are used as orthodontic bands, stents, tissue distractors, sliders or activators and operating elements of endo-surgical instruments [8-10].

A prototype R iH Uni 0 device – the first tool of the Robin Heart Uni system – has been manufactured in the Biocybernetics Laboratory of the Foundation for Cardiac Surgery Development in Zabrze. It is equipped with 2 levels of freedom, power transmission and steering system in the element which is a simple holder. It can be installed on a Robin Heart Vision robot's arm, specially prepared for it. The construction of the tool uses elements made of NiTi wires for drive transmission to the working tip.

Może być montowane na odpowiednio przystosowanym do tego ramieniu robota Robin Heart Vision. W konstrukcji narzędzia wykorzystano elementy z drutów NiTi do przekazu napędu do końcówki roboczej. Dzięki wykorzystaniu supersprężystych własności drutu NiTi o średnicy 0.63 mm uzyskano zgięcie w przegubie do 90 stopni. Opracowano oprogramowanie umożliwiające sterowanie funkcjami narzędzia z konsoli Robin Heart Shell wprowadzając rozwiązanie unifikujące sposób zadawania funkcji realizowanych przez narzędzie z zadajnika konsoli i z zadajnika ręcznego narzędzia [11].

Celem tej pracy było scharakteryzowanie struktury i własności drutów NiTi przeznaczonych do przygotowania elementów roboczych zminiaturyzowanego narzędzia dla chirurgii małoinwazyjnej działających w oparciu o efekt supersprężystości.

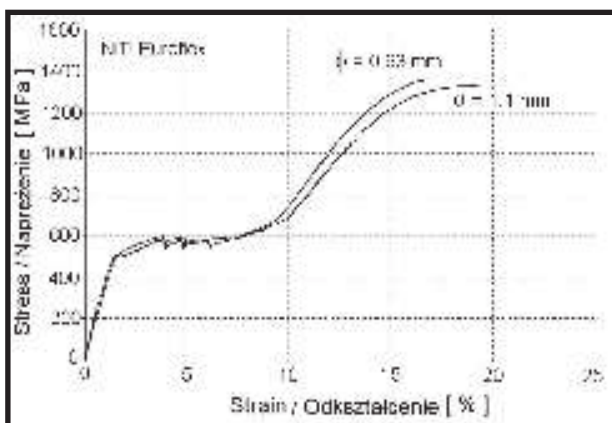
## Materiał i metody badań

W badaniach wykorzystano druty NiTi firmy Euroflex o średnicach 0.63 mm i 1.1 mm, z utlenioną gładką powierzchnią, które w stanie dostarczenia wykazywały dobre własności sprężyste. Skład fazowy drutów w stanie wyjściowym i po usunięciu warstwy tlenkowej określono na podstawie dyfraktogramów uzyskanych w zakresie kątowym  $2\theta$  ( $20 \div 140^\circ$ ) z pomiarów na dyfraktometrze Philips X'Pert z monochromatorem grafitowym przy wykorzystaniu promieniowania CuK $\alpha$ . Temperatury charakterystyczne przemian określono z krzywych DSC zarejestrowanych przy użyciu kalorymetru Perkin Elmer DSC-7 podczas chłodzenia i nagrzewania próbek z szybkością  $10^\circ/\text{minutę}$

w zakresie temperatur ( $-100 \div +60$ ) $^\circ\text{C}$ . Własności mechaniczne drutów badano w temperaturze otoczenia w próbach rozciągania na maszynie wytrzymałościowej Instron 4469. Supersprężystość drutów badano podczas trójpunktowego, cyklicznego zginania na stanowisku pomiarowym wyposażonym w tensometryczny przetwornik siły i transformatorowy czujnik przemieszczeń liniowych (LVDT) z elektronicznym rejestratorem sygnałów umożliwiającym transmisję danych do komputera.

## Wyniki badań i dyskusja

Próby rozciągania dostarczonych drutów NiTi, przeznaczonych na aktywatory narzędzi dla mikrochirurgii wykazały ich bardzo dobre własności mechaniczne (RYS. 1).



RYS. 1. Krzywe rozciągania drutów NiTi w stanie dostarczenia.  
FIG. 1. Stretching curves of NiTi wires as delivered.

Thanks to the use of superelastic properties of NiTi wires with the diameter of 0.63 mm, the bend in the joint to  $90^\circ$  could be achieved. The software for operating the functions of the tool was designed. It introduced the unifying method of control functions performed by the tool from the surgeon interface (haptic master arm) of the Robin Heart Shell console and from similar surgeon interface of the manually operated tool [11].

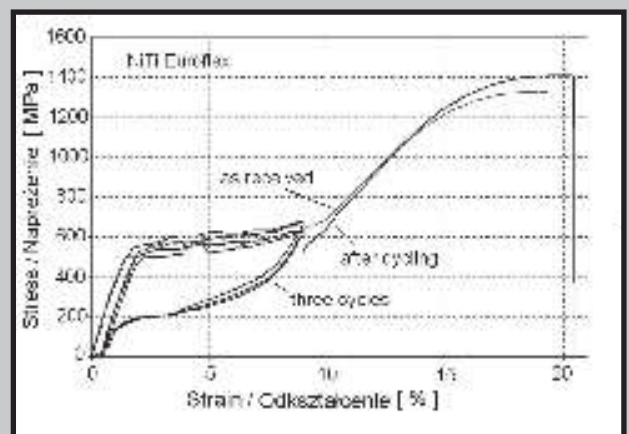
The aim of this study was to describe the structure and properties of NiTi wires used for the preparation of mechanical elements of the miniature tool for minimally invasive surgery, operating on the basis of superelasticity.

## Material and methods

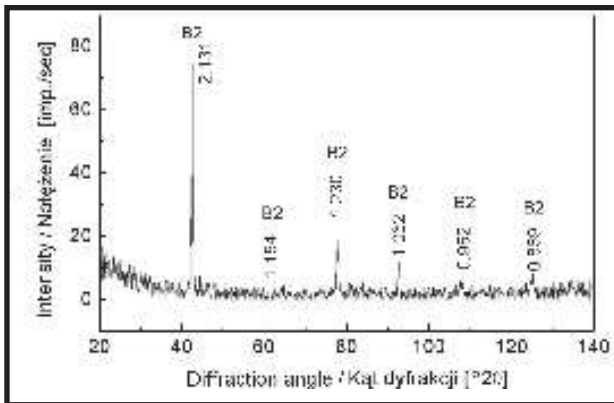
In the tests NiTi Euroflex wires with the diameter of 0.63 mm and 1.1 mm which had smooth oxidized surface, and which in the state of delivery displayed good elastic properties were used. Phase composition of the wires in their initial state and after the oxidized layer had been removed, was determined on the basis of X-ray patterns obtained in the angular range  $2\theta$  ( $20 \div 140^\circ$ ) from the Philips X'Pert diffractometer with graphite monochromator, with the use of CuK $\alpha$  radiation. Characteristic temperatures of the phase transitions were determined from DSC curves recorded with the use of the Perkin Elmer DSC-7 calorimeter during cooling and heating of the samples at the speed of  $10^\circ/\text{minute}$  in the temperature range of ( $-100 \div +60$ ) $^\circ\text{C}$ . Mechanical properties of the wires were tested in ambient temperature during stretching on the Instron 4469 testing machine. Superelasticity of the wires was tested during three-point cyclic bending at the measuring position equipped with an extensometer force converter and an LVDT sensor with an electronic signal recorder for transmitting data to a computer.

## Results and discussion

Stretching NiTi wires meant for tool activators in micro-surgery showed their very good mechanical properties (FIG. 1). Steep line in the figure means elastic strain in the state of B2 parent phase, horizontal part of the curve relates to martensitic transition induced by stress, and the next rectilinear part of the curve of a lesser slope represents elastic strain of B19' martensite induced by stress. During cyclic strain in the range up to about 8% of lengthening, typical hysteresis loops were recorded on the  $\sigma(\epsilon)$  curves, characteristic for alloys with superelastic properties (FIG. 2).



RYS. 2. Krzywe rozciągania i supersprężystość drutu NiTi o średnicy 1,1 mm.  
FIG. 2. Stretching curves and superelastic behavior of the NiTi wire with 1.1 diameter.



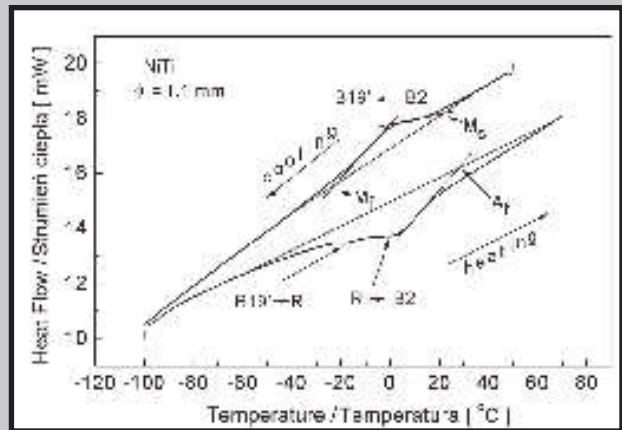
**RYS. 3.** Dyfraktogram rentgenowski drutu NiTi o średnicy 1,1 mm zarejestrowany w temperaturze pokojowej.

**FIG. 3.** X-ray diffraction pattern of NiTi wire with the diameter of 1.1 mm recorded at room temperature.

Na rysunku stromo nachylony odcinek wskazuje odkształcanie sprężyste w stanie fazy macierzystej B2, poziomy fragment krzywej związany jest z indukowaną naprężeniowo przemianą martenzytyczną a kolejny, prostoliniowy odcinek o mniejszym nachyleniu przedstawia sprężyste odkształcenie zaindukowane naprężeniami martenzytu B19'. Podczas cyklicznego odkształcania w zakresie do około 8% wydłużenia na krzywych  $\sigma(\epsilon)$  zarejestrowano typowe pętle histerezy, charakterystyczne dla stopów wykazujących własności supersprężyste (RYS. 2). Widać, że indukowana naprężeniowo przemiana martenzytyczna rozpoczyna się przy odkształceniu około 1,5% i kończy przy około 8%.

Na podstawie badań rentgenograficznych stwierdzono, że druty NiTi w stanie dostarczenia, w temperaturze pokojowej, miały strukturę fazy macierzystej B2 (RYS. 3).

Przebieg przemian fazowych podczas chłodzenia i nagrzewania próbki wyciętej z drutu o średnicy 1,1 mm pokazano na RYS. 4. Stwierdzono, że podczas chłodzenia przemiana zachodzi bezpośrednio z fazy macierzystej B2 do fazy martenzytycznej B19'. Natomiast przemiana odwrotna, podczas nagrzewania, zachodzi z udziałem fazy romboedrycznej R wg sekwencji B19'→R→B2 w zakresie temperatur poniżej 30°C, co jest istotne w przypadku wykorzystania tego drutu jako aktywatora supersprężystego.

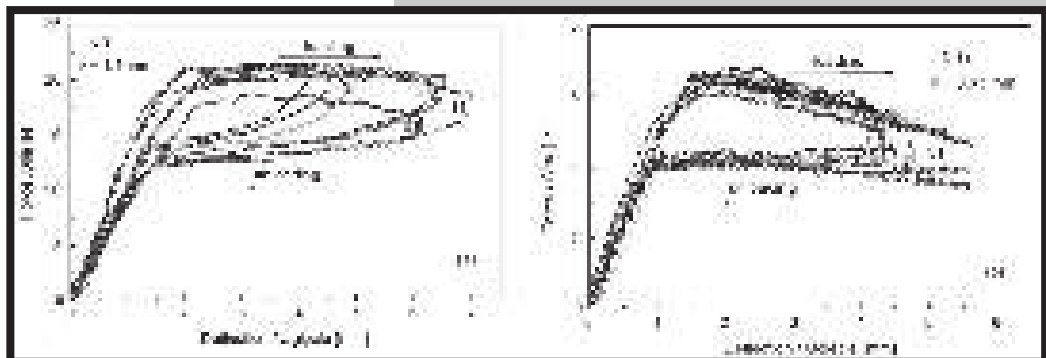


**RYS. 4.** Krzywe DSC zarejestrowane podczas chłodzenia i nagrzewania próbki wyciętej z drutu o średnicy 1,1 mm.

**FIG. 4.** DSC curves recorded during cooling and heating of the sample cut out of the wire with the diameter of 1.1 mm.

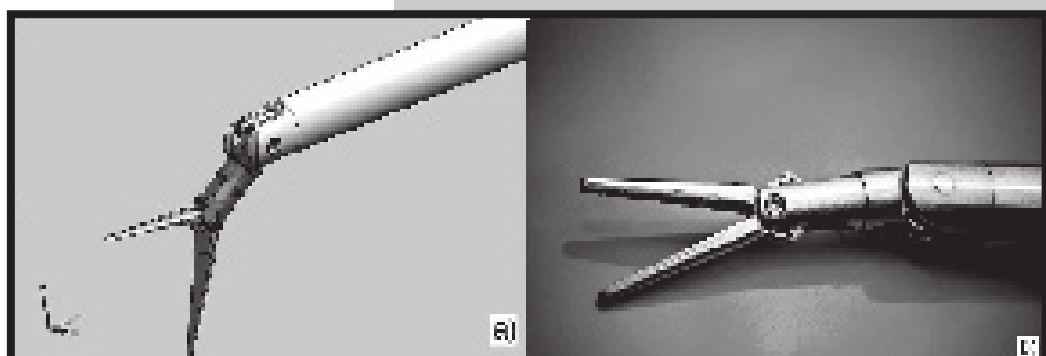
In FIG. 2 the stretching curve of the NiTi wire with 1.1 mm diameter in the state of delivery, superelastic behaviour during three cycles up to 8% of deformation and stretching curve after cycling are shown. It can be seen that stress-induced martensitic transformation starts at the strain of 1.5% and ceases at about 8%.

On the basis of X-ray diffraction tests it was found out that NiTi wires in the state of delivery, in room temperature, had the structure of the B2 parent phase (FIG. 3).



**RYS. 5.** Krzywe supersprężystości zarejestrowane podczas zginania drutów NiTi o średnicach 1,1 mm (a) i 0,63 mm (b).

**FIG. 5.** Superelastic curves recorded during bending of NiTi wires with diameters of 1.1 mm (a) and 0.63 mm (b).



**RYS. 6.** Model komputerowy (a) i fizyczny (b) narzędzia Robin Heart Uni 0, w którym zastosowano przeniesienie napędu do końcówki roboczej przy użyciu supersprężystych drutów NiTi.

**FIG. 6.** Computer (a) and physical (b) model of the Robin Heart Uni 0 tool, in which the transition of the drive has been shifted to the operating tip with the use of superelastic NiTi wires.



W drutach o średnicy 0,63 mm przemiany zachodziły odwracalnie B2→B19' w pożądanym zakresie temperaturowym -15÷25°C, bez udziału pośredniej fazy romboedrycznej R.

Na RYS. 5 przedstawiono krzywe zależności siły w funkcji strzałki ugięcia zarejestrowane podczas trójpunktowego zginania i odciążania drutów o średnicach 1,1 mm oraz 0,63 mm. Podczas obciążania, w pierwszej fazie odkształcania, do strzałki ugięcia około 1,5 mm widoczny jest stromo nachylony odcinek świadczący o sprężystym odkształcaniu w stanie fazy macierzystej B2. Po osiągnięciu krytycznego naprężenia następuje indukowanie przemiany martenzytycznej i łatwe zginanie w szerokim zakresie odkształceń do około 90° (górne plateau). Przy odciążaniu drut odzyskuje kształt wyprostowany w dwóch etapach: podczas gdy martenzyt ponownie ulega przemianie w fazę macierzystą (dolne plateau), a następnie w odzyskanym stanie fazy macierzystej wraca sprężystość do wyjściowego kształtu. W miarę wzrostu liczby cykli obciążania i odciążania przy wielokrotnym powtarzaniu zginania poprawiają się i stabilizują własności supersprężyste badanych drutów. Podczas 101 cyklu odkształcania zaobserwowano korzystne obniżenie poziomu górnego plateau sił przy naprężaniu z ponad 20 do około 17 N (RYS. 5a). Również bardzo dobre, stabilne własności supersprężyste podczas cyklicznego trójpunktowego zginania wykazywały druty o średnicy 0,63 mm (RYS. 5b). Zmniejszanie sił ze wzrostem ugięcia drutu widoczne na RYS. 5B od około 6,5 do około 5 N jest związane ze zmianą sztywności podczas przemiany martenzytycznej.

Podczas cyklicznego zginania drutów w tym zakresie odkształceń (prawie do kąta 90°) obserwowano całkowity wyprost po zwolnieniu naprężenia. Badane, supersprężyste druty użyto w próbach laboratoryjnych jako elementy przekazu napędu końcówki roboczej prototypowego narzędzia endochirurgicznego.

Po uzyskaniu zgody Komisji Etycznej wykonano badania funkcjonalne prototypu RiH Uni 0 podczas testów robotów z rodziny Robin Heart na zwierzętach. Narzędzie wykorzystywane do chwytania, podtrzymywania, przemieszczania tkanek miękkich podczas operacji przeszło pozytywnie testy zarówno jako narzędzie montowane na ramieniu robota jak i sterowane ręcznie. Przeprowadzono z powodzeniem zadania w zakresie operacji pęcherzyka żółciowego oraz operacji naprawczej zastawek serca. Uzyskane wyniki wykazały poprawność przyjętych założeń i wskazały na możliwość kontynuacji rozwoju koncepcji sterowania za pomocą przycisków i mikrozdójstyków oraz możliwość wykorzystania aktywatorów z supersprężystych drutów NiTi. Poniżej pokazano model komputerowy i fizyczny narzędzia Robin Heart Uni 0, w którym zastosowano przeniesienie napędu do końcówki roboczej przy użyciu supersprężystych drutów NiTi (RYS. 6).

## Wnioski

- Badane druty mają dobre własności mechaniczne i wykazują supersprężystość w pożądanym zakresie temperatur.
- W wyniku wielokrotnego powtarzania przemiany indukowanej naprężeniami podczas zginania poprawiają się i stabilizują własności supersprężyste badanych drutów.
- Siły oddziaływań badanych, supersprężystych drutów NiTi do zastosowań w małoinwazyjnej chirurgii nie przekraczają wielkości 20 N.
- Dzięki wykorzystaniu supersprężystych własności drutu NiTi uzyskano zadowalającą dla chirurgów zakres kątowny ruchu w przegubie modelu narzędzia mechatronicznego Robin Heart Uni 0.

Phase transitions during cooling and heating of the sample cut out of the wire with the diameter of 1.1 mm is shown in FIG. 4. It was found out that during cooling the change is directly from B2 parent phase to B19' martensitic phase. However, the reverse change, during heating, goes with the rhombohedral R phase according to B19'→R→B2 in the temperature range below 30°C, which is important in the case of using the wire as a superelastic activator. In the wires with diameter 0.63 mm the transitions courses reversible as B2→B19' at desired temperature range of about -15÷25°C, without the intermediate rhombohedral R phase.

FIG. 5 presents dependence curves of the force in the function of the deflection, recorded during three-point bending and unloading of the wire with the diameter of 1.1 mm. During loading, in the first stadium of deformation to deflection at about 1.5 mm, there is shown a steeply segment inclination, which testifies of elastic deformation in B2 parent phase state. Moreover, after achieving the critical stress, the martensite transition takes place, which causes easy bending in wide range of deformation to about 90° (upper plateau). Additionally, after unloading the wire recovers the straight shape in two stages: the first one, during the martensite transforms to parent phase again (lower plateau). Secondly, after that, in recovered parent phase it reverts elastically to previous shape. As the number of loading and unloading cycles increases with repeated bending, the superelastic properties of the tested wire improve and stabilize. During 101st strain cycle a favourable decrease in the level of the upper force plateau at stretching of over 20 to about 17 N was observed. Wires with the diameter of 0.63 mm also displayed very good superelastic properties during tree-point cyclic bending (FIG. 4). Decrease of forces when the deflection wire increases, which is seen in FIG. 5b from about 6.5 to about 5 N, is connected with the change of wire stiffness during the martensitic transformation.

Having obtained the consent from the Ethics Commission, functional tests of the RiH Uni O prototype were carried out during Robin Heart robots tests on animals. The tool for catching, holding and moving soft tissues during operation was positively tested both as a tool adjusted to the robot's arm and as operated manually. Successful operations were performed on the gallbladder and heart valves. The results showed that the assumptions were correct and pointed to the possibility of continuing the concept of operating with the use of buttons and micro joysticks, and the possibility to use activators made of NiTi superelastic wires. Below, a computer and physical models of the Robin Heart Uni 0 tool are presented, in which the transition of the drive has been shifted to the operating tip with the use of superelastic NiTi wires (FIG. 6).

## Conclusions

- The wires that were tested have good mechanical properties and display superelasticity in the desired range of temperatures.
- As a result of repeated changes induced by stress during bending, superelastic properties of the tested wires are improved and stabilized.
- Interaction forces of the tested superelastic NiTi wires to be used in minimally invasive surgery do not exceed 20 N.
- Thanks to the use of superelastic properties of NiTi wire, an angle range in the joint of the model Robin Heart Uni O mechatronic tool, satisfactory for the surgeons, was obtained.

## Piśmiennictwo

- [1] A. R. Pelton, J. DiCello, S. Miyazaki. Optimisation of processing and properties of medical grade Nitinol wire. *Min Invas Ther & Allied Technol.* 9 (1) (2000) 107-118.
- [2] K. W. K. Yeung, K. M. Cheung, W. W. Lu, C. Y. Chung. Optimization of thermal treatment parameters to alter austenitic phase transition temperature of NiTi alloy for medical implant. *Mat. Sci. Eng. A383* (2004) 213-218.
- [3] A. Pelton, D. Stöckel, T. Duerig. Medical Uses of Nitinol. *Materials Science Forum* 327 (2000) 63-70.
- [4] T. W. Duerig, A. R. Pelton, D. Stöckel. The utility of superelasticity in medicine. *Bio-Med. Mat. Eng.*, 6 (1996) 255-266.
- [5] D. Stöckel. Nitinol medical devices and implants. *Min Invas Ther & Allied Technol.* 9 (2) (2000) 81-88.
- [6] J. Drugacz, Z. Lekston, H. Morawiec, K. Januszewski. Use of TiNiCo Shape Memory Clamps in the Surgical Treatment of Mandibular Fractures. *J. Oral Max. Surg.* 53 (1995) 665-701.
- [7] D. Stöckel, A. Melzer. The use of Ni-Ti alloys for surgical instruments. *Materials in Clinical Applications*, ed. by P. Vincenzini. Techna Srl. (1995) 791- 798.

## References

- [8] T. G. Frank, W. Xu, A. Cuschieri. Shape memory applications in Minimal Access Surgery – The Dundee Experience. *Proc. of the Second Int. Conf. on Shape Memory and Superelastic Technologies.* Asilomar Conference Center, Pacific Grove, California, 1997, 509-514.
- [9] T. G. Frank, W. Xu, A. Cuschieri. Instruments based on shape-memory alloy properties for minimal access surgery, interventional radiology and flexible endoscopy. *Min Inv Ther & Allied Technol.* 9 (2) (2000) 89-98.
- [10] P. Wieneke, T. Lutze. Technologies for microendoscopes of the future: the MINOP project *Min Invas Ther & Allied Technol* 7 (3) (1998) 233-239.
- [11] Z. Nawrat. „Brakujące ogniwo pomiędzy robotami chirurgicznymi a narzędziami laparoskopowymi. Mechatroniczne narzędzia chirurgiczne Robin Heart Uni System”. *Napędy i sterowanie.* Miesięcznik Naukowo-Techniczny. Nr 3 (131), Rok XII (2010) 62-65.

## BADANIA POWIERZCHNI KLAMER NiTi UŻYTYCH W ZESPOLENIACH ZŁAMAŃ JARZMOWO-SZCZĘKOWO-OCZODOŁOWYCH

Z. LEKSTON<sup>1\*</sup>, B. ŁOSIEWICZ<sup>1</sup>, A. WINIARSKI<sup>2</sup>,  
M. JĘDRUSIK-PAWŁOWSKA<sup>3</sup>, M. KROMKA-SZYDEK<sup>4</sup>, K. MIERNIK<sup>5</sup>

<sup>1</sup> UNIWERSYTET ŚLĄSKI, INSTYTUT NAUKI O MATERIAŁACH,  
UL. BANKOWA 12, 40-007 KATOWICE, POLSKA

<sup>2</sup> UNIWERSYTET ŚLĄSKI, INSTYTUT FIZYKI,  
UL. UNIWERSYTECKA 4, 40-007 KATOWICE, POLSKA

<sup>3</sup> ŚLĄSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY, KLINIKA CHIRURGII CZASZKOWO-SZCZĘKOWO-TWARZOWEJ, UL. FRANCUSKA 20/2, 40-027 KATOWICE, POLSKA

<sup>4</sup> POLITECHNIKA KRAKOWSKA, INSTYTUT MECHANIKI STOSOWANEJ,  
UL. JANA PAWŁA II 37, 31-864 KRAKÓW, POLSKA

<sup>5</sup> POLITECHNIKA KRAKOWSKA, INSTYTUT INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ,  
UL. JANA PAWŁA II 37, 31-864 KRAKÓW, POLSKA

\* E-MAIL: ZDZISLAW.LEKSTON@US.EDU.PL

[*Inżynieria Biomateriałów, 96-98, (2010), 29-33*]

### Wprowadzenie

Wyroby medyczne ze stopów NiTi wykazujących zjawiska pamięci kształtu i supersprężystość są rozpowszechnione w wielu medycznych zastosowaniach, jako łuki ortodontyczne, klamry do osteosyntezy, stenty, narzędzia chirurgiczne i endodontyczne [1-3]. Implanty NiTi charakteryzują się dobrymi własnościami mechanicznymi, wysoką odpornością korozyjną i biokompatybilnością [4-5]. Efekty pamięci kształtu i supersprężystość są związane z odwracalną, termosprężystą przemianą martenzytyczną pomiędzy wysokotemperaturową fazą macierzystą B2 i niskotemperaturową fazą martenzytyczną B19' indukowaną termicznie lub naprężeniowo [6]. Klamry NiTi stosowane do wewnętrznego

## SURFACE STUDIES OF NiTi STAPLES USED IN ZYGOMATICOMAXILLO-ORBITAL OSTEO-SYNTHESIS

Z. LEKSTON<sup>1</sup>, B. ŁOSIEWICZ<sup>1</sup>, A. WINIARSKI<sup>2</sup>,  
M. JĘDRUSIK-PAWŁOWSKA<sup>3</sup>, M. KROMKA-SZYDEK<sup>4</sup>, K. MIERNIK<sup>5</sup>

<sup>1</sup> UNIVERSITY OF SILESIA, INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE,  
12 BANKOWA STREET, 40-007 KATOWICE, POLAND

<sup>2</sup> UNIVERSITY OF SILESIA, INSTITUTE OF PHYSICS,  
4 UNIWERSYTECKA STREET, 40-007 KATOWICE, POLAND

<sup>3</sup> SILESIAN MEDICAL UNIVERSITY,  
DEPARTMENT OF SKULL AND MAXILLOFACIAL SURGERY,  
20/2 FRANCUSKA STREET, 40-027 KATOWICE, POLAND

<sup>4</sup> CRACOW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING,  
37 JANA PAWŁA II STREET, 31-864 CRACOW, POLAND

<sup>5</sup> CRACOW UNIVERISTY OF TECHNOLOGY,  
INSTITUTE OF MATERIALS ENGINEERING,  
37 JANA PAWŁA II STREET, 31-864 CRACOW, POLAND

\* E-MAIL: ZDZISLAW.LEKSTON@US.EDU.PL

[*Engineering of Biomaterials, 96-98, (2010), 29-33*]

### Introduction

Medical products of NiTi alloys showing phenomena of shape memory and superelasticity are widespread in many medical applications as orthodontic archwires, staples for osteosynthesis, stents, endodontic and surgical instruments [1-3]. The NiTi implants are characterized by good mechanical properties, high corrosion resistance and biocompatibility [4-5]. The shape memory effects and superelasticity are connected with a reversible, thermoelastic, martensitic transformation between the B2 high-temperature parent phase and the B19' low-temperature martensite phase