KSZTAŁTOWANIE SUPER-SPRĘŻYSTYCH SPRĘŻYN NiTi DO PLASTYKI CZASZKI

Zdzisław Lekston

Uniwersytet Śląski, Instytut Nauki o Materiałach,
ul. Bankowa 12, 40-007 Katowice, Polska
MAILTO: zdzislaw.lekston@us.edu.pl

Streszczenie

W pracy pokazano sposób przygotowania sprężyn NiTi w postaci prostych drutów, które po zamocowaniu w kształcie łuków na sklepieniu czaszki, w czasie leczenia kraniostenoz u dzieci działają ze stałą siłą w pożądanym zakresie odkształceń. Druty wykazujące supersprężystość uzyskano po przeciąganiu lub walcowaniu na zimno i wyżarzaniu w zakresie temperatur 400-500°C. Własności supersprężyste drutów sprawdzono w próbach rozciągania i trójpunktowego zginania. Z najlepszych drutów supersprężystych wykonano, prototypowe sprężynki do badań klinicznych i dobrano optymalne warunki kształtowania ich własności. Zarejestrowane w próbach trójpunktowego zginania krzywe zależności siły w funkcji ugięcia wykazują pożądane plateau podczas odciążania. Wykonane sprężyny podczas odciążania w pożądanym zakresie odkształceń 20-30 mm działają ze stałą siłą. Przygotowano typoszeregi sprężyn o różnych siłach oddziaływań w zakresie od kilku do około 10 N.

Słowa kluczowe: *druty NiTi, supersprężystość, obróbka termomechaniczna, plastyka czaszki*

[Inżynieria Biomateriałów, 116-117, (2012), 33-36]

Wprowadzenie

W leczeniu kraniostenoz u dzieci stosowaną od lat tzw. „pi plastykę" zmodyfikowano wprowadzając dynamiczną dystrakcję stalowymi sprężynkami w kształcie agrafek zakładanymi na sklepienie czaszki w odpowiednich miejscach, wspomagającymi dystrakcję w pożądanych kierunkach [1,2]. Zastosowane sprężynki do modelowania prawidłowego kształtu czaszki działały z siłą około 7-15N [3]. W ostatnich latach podjęto próby zastosowania w plastyce czaszki supersprężystych dystraktorów NiTi, które w odróżnieniu od sprężyn stalowych podczas rozprężania działają stałą siłą w wymaganym zakresie odkształceń [4,5]. Do korekcji łódkowatego kształtu czaszki opracowano sprężyny w kształcie spawanych laserowo pierścieni, których własności supersprężyste indukowane są w procesie starzenia pod naprężeniem [6-8]. W korekcji innych wad czaszki potrzebne są również sprężynki zakładane na czaszce w kształcie łuków.

W tej pracy przedstawiono sposób przygotowania sprężynek NiTi do dystrakcji czaszki oraz wybrane wyniki badań uzyskane podczas optymalizacji ich własności.

Materiały i metody

W badaniach wykorzystano druty NiTi firm Smatec i Euroflex ze stopów Ti-50,8 % at. Ni oraz druty własne ze stopów o tym samym składzie chemicznym o różnych średnicach w zakresie od 1 do 1,3 mm. Druty po przeciąganiu lub walcowaniu na zimno wyżarzano w zakresie temperatur 400, 450 i 500°C w czasie 30 minut.. Własności mechaniczne drutów

FORMING OF SUPERELASTIC NiTi SPRINGS FOR CRANIOPLASTY

Zdzisław Lekston

University of Silesia, Institute of Materials Science,
12 Bankowa Str., 40-007 Katowice, Poland
MAILTO: zdzislaw.lekston@us.edu.pl

Abstract

The study shows how to prepare the NiTi springs in the form of straight wires which when attached in the shape of arcs to the vault of the skull operate with a constant force in the desired range of deformations during treatment of craniostenosis in children. Wires with superelastic properties were obtained after drawing or cold rolling and annealing in the temperature range of 400-500°C. Superelastic properties of the wires were tested in the tensile and three-point bending tests. The best superelastic wire was used to manufacture the prototype springs for clinical tests. Optimal conditions for developing their properties were selected. Force curves as a function of deflection registered during three-point bending tests show the desired plateau during unloading. During unloading in the desired range of deformations, i.e. 20-30 mm, the manufactured springs operate with a constant force. Series of types of springs with different interaction forces ranging from several to about 10 N were prepared.

Key words: NiTi wires, superspręzystość, thermomechanical treatment, cranioplasty

[Engineering of Biomaterials, 116-117, (2012), 33-36]

Introduction

During years of treatment of craniostenosis in children the so called "pi plasty" was modified by the introduction of a dynamic distraction with steel springs in the shape of safety pins attached to the vault of the skull, where appropriate, to assist the distraction in the desired directions [1,2]. Springs that were used to model the correct shape of the skull operated with a force of about 7-15N [3]. In recent years attempts have been made to apply superelastic NiTi distractors in cranioplasty, which, unlike steel springs, during expansion operate with a constant force in the desired range of deformations [4,5]. To correct the boat-shaped skull the springs in the shape of laser-welded rings, the superelastic properties of which are induced in the process of stress aging, were developed [6-8]. To correct other defects of the skull what is also needed are arc springs which are fixed on the skull.

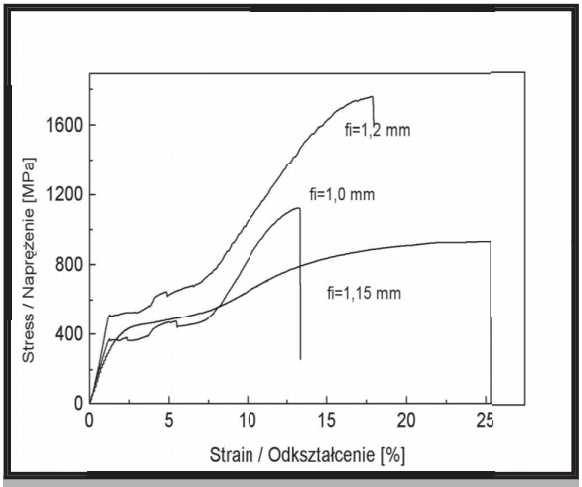
This paper presents the method for the preparation of NiTi springs for the cranial distraction and selected test results obtained during the optimization of their properties.

Materials and methods

The NiTi wires by Smatec and Euroflex made of Ti-50, 8% at. Ni alloy and our own wires made of the alloys with the same chemical composition and different diameters ranging from 1 to 1.3 mm in the tests were used . The wire after drawing or cold rolling was annealed at the temperatures of 400, 450 and 500° C for 30 minutes. Its mechanical properties were tested during tensile tests on the Instron 4469 test machine. Superelastic properties of the wire after cold deformation and annealing were recorded during three-point

badano w próbach rozciągania na maszynie wytrzymałościowej Instron 4469 . Własności supersprężyste drutów po deformacji na zimno i wyżarzaniu rejestrowano podczas trójpunktowego, cyklicznego zginania na mini maszynie wytrzymałościowej TM 2. Na tym samym stanowisku pomiarowym wyposażonym w odpowiednie uchwyty do mocowania próbek mierzono siły podczas cyklicznego uginania sprężynek dystrakcyjnych do kształtu łuków i ich wyprostowywania się podczas odciążania.

Wyniki i dyskusja



RYS. 1. Krzywe rozciągania drutów NiTi użytych do przygotowania dystraktorów.
FIG. 1. NiTi wire stress-strain curves used for the manufacture of distractors.

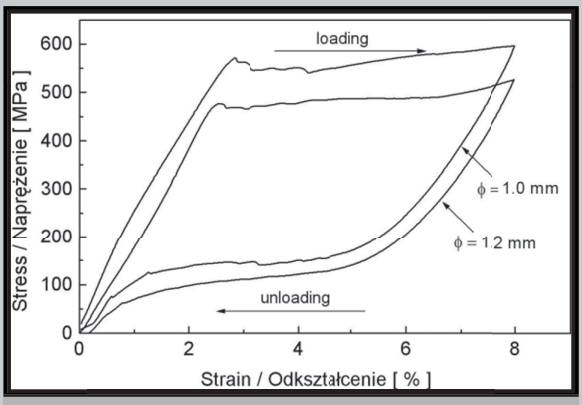
Badania własności mechanicznych drutów NiTi przeznaczonych na dystraktory czaszkowe przeprowadzono w próbach rozciągania. Przykładowe krzywe zrywania drutów pokazano na RYS. 1. Na krzywych zarejestrowanych w temperaturze pokojowej widoczny jest zakres sprężystego odkształcania w stanie fazy macierzystej B2, plateau podczas przemiany martenzytycznej zaindukowanej naprężeniami a następnie sprężyste i plastyczne odkształcanie w stanie martenzytycznym B19', aż do zerwania próbek. Krzywe „naprężenie-odkształcenie" drutów o średnicach 1,2 mm i 1,0 mm zarejestrowane podczas rozciągania do 8% i odciążania pokazano na RYSUNKU 2. Charakterystyczne pętle wskazują, że materiał ma własności supersprężyste.

Podobne krzywe wykazujące plateau przy naprężaniu i odciążaniu zarejestrowano podczas trójpunktowego zginania drutów na mini maszynie wytrzymałościowej TM 2. (RYS. 3). Obok pokazano porównanie krzywych zginania drutu Euroflex o średnicy 1,2 mm w stanie dostarczenia oraz drutu własnego po przeciąganiu na zimno i wyżarzaniu w temperaturze 500°C w czasie 30 minut. Obydwa druty wykazują bardzo dobre własności supersprężyste i pożądane plateau sił przy odciążaniu (RYS. 4).

Z prostych drutów o najlepszych własnościach supersprężystych wykonano sprężynki do korekcji kształtu czaszki zakończone oczkowymi podgięciami umożliwiającymi umocowanie ich na czaszce (RYS. 5). Dystraktory, przymocowane do kości czaszki w kształcie napiętych łuków, pokazano na fotografii wykonanej podczas operacji (RYS.6). Dystraktory zginano w specjalnych uchwytach mini maszyny wytrzymałościowej TM 2 (RYS. 7a,b). Wykonywano jeden lub kilka cykli odkształcania. Przykładowe krzywe zmian sił w zacyclic bending testing on the TM2 mini test machine. The same measuring stand equipped with suitable holders for fixing the samples was used to test the force during cyclic bending of the distraction springs to the shape of arcs and their straightening during unloading.

Resuls and discussion

Mechanical properties of NiTi wire intended for cranial distractors were checked during tensile tests. Sample curves of tensile tests of wires are shown in FIG.1. The curves recorded at room temperature show a range of elastic deformation in the B2 parent phase, plateau during martensitic transformation induced by stress and then elastic and plastic deformation in the B19' martensitic state, until the samples are breaked. Loading-unloading curves of the wires with different diameters up to the deformation of 8% are shown in FIG.2. The recorded curves shows that the wires have superelastic properties.



RYS. 2. Pętle supersprężystości zarejestrowane podczas cyklicznego rozciąganiadrutu NiTi.
FIG. 2. Superelastic loops recorded during loading-unloading of the NiTi wire.

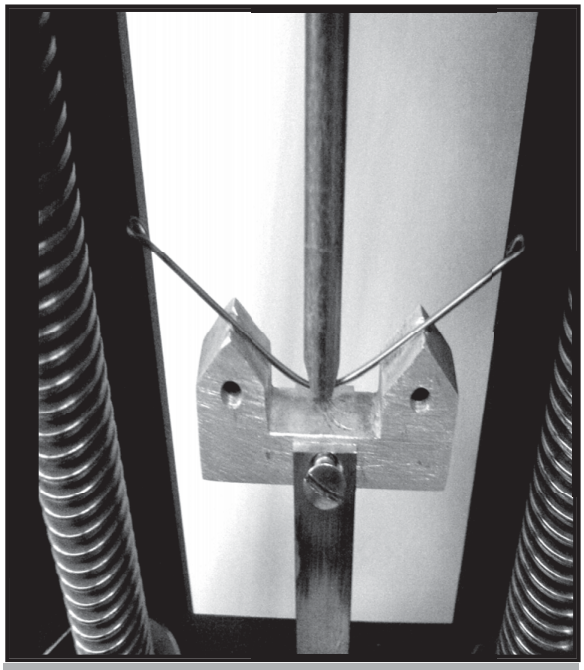
Similar curves showing plateau during loading and unloading were recorded during the three-point bending of the wire on the TM2 mini testing machine (FIG. 3). Next to it there is a comparison of the Euroflex wire bending curves with the diameter of 1.2 mm in the state of delivery and our own wire after cold drawing and annealing at the temperature of 500°vcC for 30 min. Both types of wire exhibit very good superelastic properties and the desired plateau of the forces during unloading (FIG.4).

Straight wire with the best superelastic properties was used to make springs for the correction of the shape of the skull. They have eye bends which facilitate their being fixed on the skull (FIG.5). Distractors, attached to the bones of the skull and in the shape of tight curves, are shown in the photograph taken during a surgery (FIG. 6).

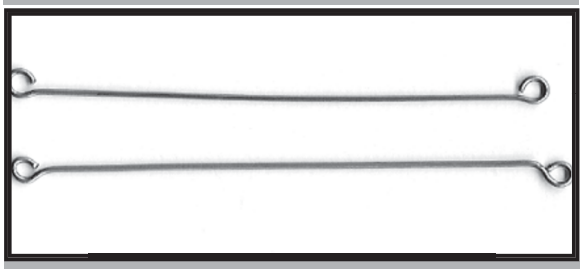
Distractors were deflected in special handgrips of the TM2 mini testing machine (FIG.7a, b). One or more cycles of deformation were performed. As for the distractor which is 70 mm in length and is made of wire with the diameter of 1.2 mm examples of the force change curves depending on the degree of deflection from the upright state to the shape of the letter U are shown in FIG.7b.

Summary

It was found that the distractors prepared in this way, i.e. in the shape of the letter U are fixed on the skull oper-



RYS. 3. Ugięty dystraktor NiTi podczas prób zginania na mini maszynie TM 2.
FIG. 3. Deflected NiTi distractor during bending tests on the TM2 mini test machine.

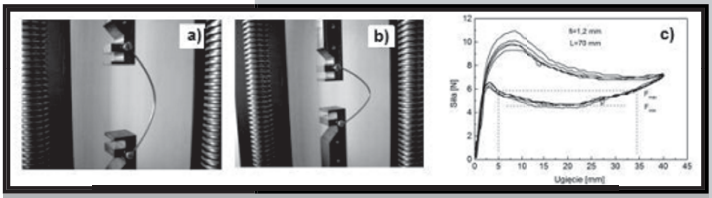


RYS. 5. Kształt dystraktorów NiTi przed implantacją.
FIG. 5. The shape of NiTi distractors before implantation.

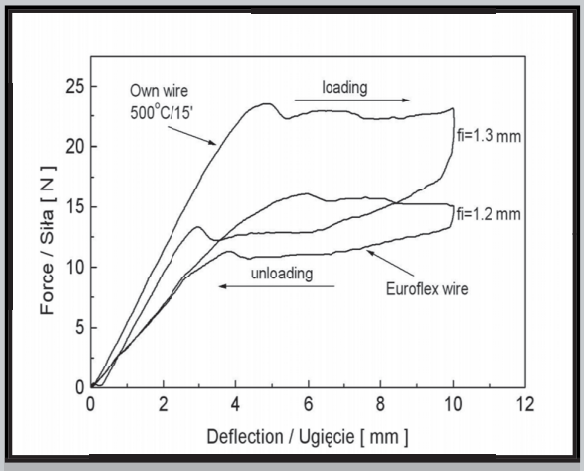
leżności od stopnia ugięcia, od stanu wyprostowanego do kształtu litery U, dla dystraktora o długości L = 70 mm wykonanego z drutu o średnicy 1,2 mm pokazano na RYS. 7c.

Podsumowanie

Stwierdzono, że tak przygotowane dystraktory po umocowaniu ich w kształcie litery U na czaszce działają stałą siłą podczas dystrakcji w pożądanym, szerokim zakresie odkształceń nawet do 30 mm. Siły działania dystraktorów zależą od ich średnicy i długości i mieszczą się w zakresie od kilku do 10 N. Badania kliniczne zastosowania opracowanych, supersprężystych dystraktorów NiTi w leczeniu wad czaszkowych u dzieci rozpoczęte w 2000 roku w Szpitalu Chirurgii Plastycznej w Polanicy są kontynuowane. Początkowo dystraktory łukowe przykręcano do kości czaszki wkrętami tytanowymi. W obawie przed osteolizą i obluzowaniem wkrętów



RYS. 7. Dystraktor NiTi zginany podczas pomiarów sił przy użyciu mini maszyny TM2 (a, b) i krzywe zmian sił zarejestrowane podczas cyklicznego naprężania i odciążania dystraktora (c).
FIG. 7. NiTi distractor deflected during the measurement of the force with the use of the TM2 mini testing machine (a, b) and force change curves recorded during cyclic stretching and unloading of the distractor (c).



RYS. 4. Zmiany sił zarejestrowane podczas trójpunktowego zginania drutów NiTi.
FIG. 4. Force changes recorded during three-point bending of the NiTi wire.

RYS. 6. Dystraktory NiTi wygięte do kształtu łuków i przymocowane do czaszki nicią chirurgiczną.
FIG. 6. NiTi distractors deflected to the shape of the arcs and fixed to the skull with surgical sutures.

ate with a constant force during distraction in the desired and wide range of distractions, even up to 30 mm. Forces of distractors depends on their diameter and length, and are in the range from several to 10 N. Clinical research into the application of the developed NiTi superelastic distractors for the treatment of cranial defects in children started in 2000 in the Hospital of Plastic Surgery in Polanica are being continued. Initially, arc distractors were screwed to the skull with titanium screws. In fear of osteolysis and loosening of the screws, surgical sutures were used in subsequent operations. When the interaction forces need to be increased, two or more distractors can be fixed in the places that require correction.

w następnych operacjach zastosowano mocowanie nicią chirurgiczną. W przypadku konieczności zwiększenia sił oddziaływań można założyć dwa lub więcej dystraktorów w odpowiednich miejscach wymagających korekcji.

Podziękowanie

Praca finansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu badawczego Nr N N507 296339

Piśmiennictwo

[1] C. Lauritzen, Y. Sugawara, O. Kocabalkan, R. Olsson., Scand. J. Plast. Reconstr. Hand Surg. 32 (1998) 331.
[2] C. Lauritzen, P. Tarnow., Scandinavian Journal of Surgery 92 (2003) 274.
[3] L. David, P. Proffer, W. Hurst, S. Glazier, L. Argenta., J. Craniofac. Surg. 15 (5) (2004) 810.
[4] Z. Lekston, H. Morawiec, J. Drugacz., Mater. Sci. Eng. A 378 (2004) 537.

Acknowledgement

This work was financially supported by the Polish Ministry of Science and Higher Education, project no N N507 296339.

References

[5] K.Kobus, M.Węgrzyn, Z.Lekston, H.Morawiec, J. Drugacz., J. Craniofacial Surgery 18 (3) (2007) 504.
[6] H. Morawiec, Z. Lekston, K. Kobus, M. Węgrzyn, J. Drugacz., J. Mater. Sci: Mater Med. 18 (2007) 1791.
[7] H. Morawiec, Z. Lekston, K. Kobus, M. Węgrzyn, J. Drugacz., J. Mater. Engineering and Performance 18 (2009) 818.
[8] H. Morawiec, Z. Lekston, K. Kobus, M. Węgrzyn, J. Drugacz., Patent RP Nr 211401 (2006).