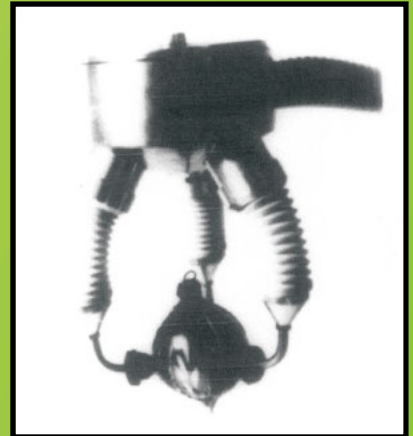
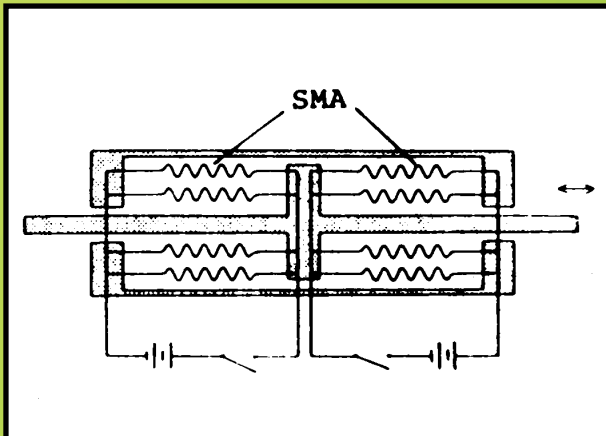


**Henryk Morawiec**

# **METALE Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU I ICH ZASTOSOWANIE**



WYDAWNICTWO  
UNIwersytetu ŚLĄSKIEGO  
KATOWICE 2014

# **METALE Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU I ICH ZASTOSOWANIE**

*Danucie*



NR 3117

**Henryk Morawiec**

**METALE Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU  
I ICH ZASTOSOWANIE**

Redaktor serii: Fizyka i Chemia Metali  
Piotr Kwapuliński

Recenzent  
Jan Dutkiewicz

Redaktor: Barbara Todos-Burny  
Projektant okładki: Małgorzata Pleśniar  
Redaktor techniczny: Barbara Arenhövel  
Korektor: Mirosława Żłobińska  
Łamanie: Edward Wilk

Copyright © 2014 by  
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego  
Wszelkie prawa zastrzeżone

**ISSN 0208-6336**  
**ISBN 978-83-226-2205-6**  
(wersja papierowa)  
**ISBN 978-83-8012-170-6**  
(wersja elektroniczna)

Wydawca  
**Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego**  
**ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice**  
[www.wydawnictwo.us.edu.pl](http://www.wydawnictwo.us.edu.pl)  
e-mail: [wydawus@us.edu.pl](mailto:wydawus@us.edu.pl)

---

Wydanie I. Ark. druk. 31.0. Ark. wyd. 37,00.  
Papier offset. kl. III, 90 g      Cena 54 zł (+ VAT)

---

Druk i oprawa: „TOTEM.COM.PL Sp. z o.o.” Sp.K.  
ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław

# SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA . . . . .	9
1. PRZEMIANA MARTENZYTYCZNA . . . . .	11
1.1. Ogólna charakterystyka przemiany . . . . .	11
1.1.1. Zarodkowanie i wzrost w termosprężystej przemianie martenzy- tycznej . . . . .	13
1.1.2. Heterogeniczne zarodkowanie martenzytu . . . . .	14
1.2. Krystalograficzno-fenomenologiczna teoria przemiany . . . . .	17
1.3. Termosprężysta przemiana martenzytyczna . . . . .	24
1.3.1. Interpretacja krzywych histerezy przemiany martenzytycznej . . . . .	27
1.4. Struktura i charakterystyka krystalograficzna martenzytu termospręży- stego . . . . .	31
1.4.1. Opis i znakowanie struktur martenzytu . . . . .	36
1.5. Mikrostruktura i morfologia grup płytek samoakomodujących odkształ- cenie . . . . .	38
1.5.1. Mikrostruktura i grupy samoakomodujące się stopów Cu-Al . . . . .	39
1.5.2. Samoakomodacja płytek fazy $R$ w stopach NiTi . . . . .	42
1.5.3. Samoakomodacja martenzytu $B19'$ . . . . .	44
1.6. Struktura granic rozdziału faz . . . . .	48
1.7. Miękki mod fononowy przemiany martenzytycznej . . . . .	51
1.8. Metody badań przemiany martenzytycznej . . . . .	54
1.9. Komputerowe modelowanie przemiany martenzytycznej . . . . .	58
Literatura . . . . .	63
2. ZJAWISKA PAMIĘCI KSZTAŁTU . . . . .	67
2.1. Jednokierunkowy efekt pamięci kształtu . . . . .	67
2.1.1. Wpływ tekstury na wielkość odzysku kształtu . . . . .	71
2.1.2. Jednokierunkowy efekt pamięci kształtu związany z przemianą $R \Rightarrow B2$ . . . . .	75
2.2. Efekt nadspężystości . . . . .	78
2.3. Dwukierunkowy efekt pamięci kształtu . . . . .	87

2.3.1. Indukowanie dwukierunkowego efektu pamięci kształtu w stopach NiTi . . . . .	92
Literatura . . . . .	96
3. STOPY NIKIEL-TYTAN . . . . .	99
3.1. Układ równowagi fazowej Ni-Ti . . . . .	99
3.2. Struktura faz w układzie Ni-Ti . . . . .	102
3.2.1. Faza macierzysta <i>B2</i> . . . . .	102
3.2.2. Faza <i>R</i> . . . . .	102
3.2.3. Struktura martenzytu <i>B19'</i> . . . . .	104
3.3. Zależność temperatur charakterystycznych przemiany martenzytycznej od składu chemicznego . . . . .	109
3.4. Kształtowanie struktury i właściwości stopów NiTi . . . . .	112
3.4.1. Proces deformacji i umocnienie stopów NiTi . . . . .	113
3.4.2. Obróbka cieplno-mechaniczna i przebieg przemiany martenzytycznej . . . . .	120
3.4.3. Wpływ obróbki cieplno-mechanicznej na odzysk kształtu . . . . .	124
3.4.4. Proces starzenia . . . . .	125
3.4.5. Cykliczne powtarzanie przemiany martenzytycznej . . . . .	135
3.5. Procesy wytwarzania stopów Ni-Ti . . . . .	138
3.6. Nanokrystaliczne stopy NiTi . . . . .	145
3.7. Porowate stopy Ni-Ti . . . . .	155
3.8. Stopy Ni-Ti-Pt o większym kontraście radiologicznym . . . . .	163
3.9. Biozgodność i odporność na korozję stopów NiTi . . . . .	165
3.9.1. Struktura powierzchni stopów Ni-Ti pasywowanych w autoklawie . . . . .	172
Literatura . . . . .	181
4. STOPY NA OSNOWIE MIEDZI . . . . .	191
4.1. Stopy Cu-Al . . . . .	191
4.1.1. Układ równowagi faz . . . . .	191
4.1.2. Struktura martenzytu . . . . .	192
4.1.3. Przemiany zachodzące podczas nagrzewania martenzytu . . . . .	194
4.1.4. Efekt pamięci kształtu . . . . .	197
4.1.5. Zastosowanie stopów na bazie Cu-Al . . . . .	199
4.2. Stopy Cu-Zn-Al . . . . .	201
4.2.1. Układ równowagi faz . . . . .	201
4.2.2. Uporządkowanie fazy macierzystej . . . . .	203
4.2.3. Efekty poprzedzające przemianę martenzytyczną . . . . .	205
4.2.4. Analiza przemiany martenzytycznej . . . . .	209
4.2.5. Struktura martenzytu . . . . .	210
4.2.6. Defekty struktury w stopach Cu-Zn-Al . . . . .	213
4.2.7. Wpływ hartowania na anomalny wzrost temperatur przemiany odwrotnej . . . . .	218
4.2.8. Modyfikacja stopów Cu-Zn-Al . . . . .	222
4.2.9. Wytwarzanie stopów Cu-Zn-Al . . . . .	231

4.3. Cu-Al-Ni . . . . .	235
4.3.1. Układ równowagi fazowej Cu-Al-Ni . . . . .	235
4.3.2. Uporządkowanie fazy $\beta$ . . . . .	237
4.3.3. Zróżnicowane procesy indukowania przemiany martenzytycznej w stopach Cu-Al-Ni . . . . .	239
4.3.4. Struktura granicy rozdziału faz $\beta_1/\gamma_1$ . . . . .	241
4.3.5. Defekty struktury w stopach Cu-Al-Ni . . . . .	244
4.3.6. Jedno- i dwukierunkowy efekt pamięci kształtu . . . . .	247
4.3.7. Stopniowy przebieg nadspężystości . . . . .	252
4.3.8. Modyfikacja stopów Cu-Al-Ni . . . . .	258
4.3.9. Procesy starzenia stopów Cu-Al-Ni-Ti-B oraz Cu-Al-Ni-Mn-Ti . . . . .	263
4.3.10. Stopy Cu-Al-Mn . . . . .	272
4.3.11. Procesy wytwarzania stopów Cu-Al-Ni . . . . .	275
Literatura . . . . .	292
 5. WYSOKOTEMPERATUROWE STOPY Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU . . . . .	 301
5.1. Stopy na osnwie ZrCu oraz Ni-Ti-X, X = Hf, Zr . . . . .	303
5.2. Stopy Ni-Ti-X, X = Pd, Pt . . . . .	312
5.3. Stopy Cu-Al-Nb-X, X = Ni, Co, Cr . . . . .	317
Literatura . . . . .	319
 6. STOPY Z MAGNETYCZNĄ PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU . . . . .	 321
6.1. Wprowadzenie do magnetycznej pamięci kształtu . . . . .	321
6.2. Kryteria doboru stopów na podstawie komputerowego modelowania i wyniki doświadczalne . . . . .	328
6.3. Stopy na osnwie fazy $\text{Ni}_2\text{MnGa}$ . . . . .	332
6.3.1. Struktura stopów Ni-Mn-Ga . . . . .	332
6.4. Przemiana martenzytyczna stopów Ni-Mn-Ga . . . . .	346
6.4.1. Przemiana przedmartenzytyczna . . . . .	346
6.4.2. Sterowanie przebiegiem przemiany martenzytycznej . . . . .	351
6.5. Mikrostruktura bliźniaków i domen magnetycznych oraz ich wzajemne oddziaływanie . . . . .	363
6.6. Indukowanie i modelowanie magnetycznej pamięci kształtu w stopach Ni-Mn-Ga . . . . .	374
6.7. Kształtowanie tekstury i anizotropii magnetycznej polikrystalicznych sto- pów Ni-Mn-Ga . . . . .	384
6.8. Zastosowanie stopów z magnetyczną pamięcią kształtu . . . . .	390
6.8.1. Siłowniki z magnetyczną pamięcią kształtu . . . . .	390
6.8.2. Mikrośiłownik do odchylania optycznego skanera . . . . .	394
6.8.3. Wykorzystanie efektu magnetokalorycznego stopów NiMnGa . . . . .	396
6.9. Inne stopy z magnetyczną pamięcią kształtu . . . . .	399
6.9.1. Stopy na osnwie fazy $\text{Co}_2\text{NiGa}$ . . . . .	399
6.9.2. Stopy na osnwie faz $\text{Ni}_2\text{MnX}$ (X = In, Sn, Sb) . . . . .	409
Literatura . . . . .	415



7. ZASTOSOWANIE STOPÓW Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU W TECHNICE .	425
7.1. Łączenie rur i obwodów elektrycznych . . . . .	426
7.2. Konstrukcja siłowników . . . . .	429
7.3. Termoregulatory i zabezpieczenia . . . . .	434
7.4. Uchwyt robota . . . . .	440
7.5. Silnik cieplny . . . . .	441
7.6. Tłumienie drgań . . . . .	442
7.7. Mikrośilowniki . . . . .	445
7.8. Konstrukcje antysejsmiczne . . . . .	448
7.9. Redukcja hałasu silników lotniczych . . . . .	450
Literatura . . . . .	452
8. ZASTOSOWANIE STOPÓW Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU W MEDYCYNIE	455
8.1. Zastosowanie klamer w chirurgii i ortopedii . . . . .	456
8.2. Implanty w chirurgicznym leczeniu kręgosłupa . . . . .	464
8.3. Zaciski do anastomozy jelit . . . . .	468
8.4. Stenty samorozprężalne . . . . .	471
8.5. Implanty zamykające ubytki międzyprzedsionkowe serca . . . . .	476
8.6. Dystrakcja w kranioplastyce . . . . .	479
8.7. Nadsprężyste łuki ortodontyczne . . . . .	483
8.8. Inne zastosowanie implantów . . . . .	485
8.9. Narzędzia małoinwazyjnej chirurgii . . . . .	486
8.9.1. Nadsprężyste narzędzia . . . . .	486
8.9.2. Narzędzia z pamięcią kształtu . . . . .	487
Literatura . . . . .	488
Summary . . . . .	493
Zusammenfassung . . . . .	495

# PRZEDMOWA

Stopy metali z pamięcią kształtu można zaliczyć do relatywnie nowej grupy materiałów funkcjonalnych. Ich szczególne właściwości, jakimi są efekty pamięci kształtu, ściśle wiążą się z odwracalną, termosprężystą przemianą martenzytyczną, polegającą na zmianie struktury, czyli rekonfiguracji atomów w wyniku działania pola temperatury, naprężeń lub pola magnetycznego.

Zjawisko pamięci kształtu odkrył w 1962 r. W.J. Buchler w Naval Ordnance Laboratory (USA) w stopach Ni-Ti o składzie zbliżonym do równoatomowego. Wykazał on, że efekt ten jest związany z odwracalną przemianą martenzytyczną. Wcześniej odwracalną przemianę martenzytyczną stwierdzono w stopach Au-Cd (1932), lecz dopiero w 1951 r. zaobserwowano zmiany kształtu towarzyszące tej przemianie, co jednak nie znalazło szerszego zastosowania. Po początkowej fascynacji zjawiskiem pamięci kształtu w metalach uznano je za „szukające problemu”, czyli zastosowania. Obecnie zjawisko pamięci kształtu jest przedmiotem zainteresowania pracowników wielu ośrodków naukowych świata.

Pamięć kształtu to zdolność do przyjmowania przez materiał dwóch różnych zaprogramowanych postaci w wyniku zachodzącej przemiany fazowej. Dwa różne kształty związane są ściśle ze zmianą struktury tych faz podczas nagrzewania i chłodzenia.

Niniejsza praca stanowi syntezę licznych publikacji i przedstawia ewolucyjny proces rozwoju wiedzy w tym obszarze nauki o materiałach. Stąd relatywnie duża liczba cytowanych prac, ilustrujących żmudną drogę dochodzenia do zrozumienia złożonych procesów i zjawisk zachodzących w stopach z pamięcią kształtu, a szczególnie w stopach z magnetyczną pamięcią kształtu. Monografia prezentuje także wyniki badań uzyskanych przez autora i zespół pracowników naukowych Instytutu Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego, od 30 lat prowadzących badania z tej dziedziny. Efektem wspomnianych badań są liczne publikacje, patenty i zastosowania kliniczne implantów. Wiele z tych publikacji cechuje wysoki indeks cytowań.

Niniejszą publikację wyróżnia również eksponowanie treści o charakterze praktycznym. Dotyczy to nie tylko informacji na temat technologii wytwarzania stopów, ale przede wszystkim opisu procedur i optymalnych parametrów obróbki termomechanicznej dla uzyskania najkorzystniejszych właściwości stopów z pamięcią kształtu.

Pierwsze dwa rozdziały monografii zawierają opis i próbę wyjaśnienia istoty termosprężystej — odwracalnej przemiany martenzytycznej i zjawisk pamięci kształtu. Następne dwa rozdziały obejmują opis klasycznych stopów z pamięcią kształtu na bazie nikiel-tytan oraz stopów na osnowie miedzi. Kolejny rozdział omawia grupy stopów „wysokotemperaturowych”, rokujących większe zastosowania na skalę przemysłową. Rozdział szósty dotyczy grupy najnowszych stopów z magnetyczną pamięcią kształtu. Charakteryzuje je także wysoka wartość entropii przemiany martenzytycznej, stwarzając potencjalną możliwość odgrywania roli medium chłodzącego w chłodziarkach. Dwa ostatnie rozdziały zawierają przykłady zastosowania klasycznych stopów w technice i medycynie.

Intencją autora niniejszej monografii, poza wyjaśnieniem istoty zjawisk pamięci kształtu w metalach, jest pobudzenie wyobraźni konstruktorów do zastosowania ich unikalnych właściwości oraz pozyskanie potencjalnych użytkowników urządzeń wykonanych z zastosowaniem tych materiałów.

Książka może być również pomocna w zakresie kształcenia doktorantów i studentów na kierunkach związanych z inżynierią i nauką o materiałach. Biorąc pod uwagę złożoność zjawisk pamięci kształtu, niektóre jej fragmenty napisano, uwzględniając jednocześnie wymogi dydaktycznej użyteczności.

Szczególne wyrazy uznania i podziękowania za wnikliwą oraz twórczą recenzję składam Panu prof. dr. hab. Janowi Dutkiewiczowi z Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN.

Monografia mogła się ukazać dzięki sfinansowaniu jej wydania przez Instytut Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego. Za okazaną życzliwość i pomoc pragnę wyrazić podziękowanie Dyrekcji Instytutu, a mianowicie Pani prof. dr. hab. Danucie Stróż, Panu prof. dr. hab. Józefowi Lełątce oraz Panu dr. hab. Tomaszowi Goryczce.

Dziękuję również Pani mgr Oliwii Starczewskiej za pomoc w pracach redakcyjnych książki.

Henryk Morawiec

## **Shape Memory Alloys and Their Application**

### **S u m m a r y**

Shape memory alloys can be ascribed to a relatively new group of functional materials. Shape memory effect of these alloys is closely related to the reversible, thermoelastic martensitic transformation, which means structural changes, i.e. reconfiguration of thermally activated atoms or by applied external stress, or else by magnetic field.

Shape memory is the material's capacity to take on two different programmed shapes as a result of phase change taking place. Two different shapes are tightly connected with the structure change of these phases when warming up and cooling down.

The book constitutes a synthesis of numerous publications, and presents an evolutionary process of knowledge development in this field of study. Hence, it provides a relatively big number of quoted sources illustrating a laborious way to understand complex processes and phenomena taking place in shape memory alloys, especially in those with a magnetic shape memory.

The book is also above average thanks to exposing practical information. It concerns not only information on the technology of making alloys, but above all a description of procedures and optimal parameters of a thermo-mechanic processing to reach the most beneficial qualities of shape memory alloys.

The first chapter of the book allows for obtaining knowledge within the scope of a martensitic transformation and martensite structure, understanding their nature, as well as the influence on the effects of shape memory accompanying a reversible martensitic change.

The second chapter presents the phenomenon of shape memory, putting emphasis on one- and two-way shape memory and superelasticity connected with the transformation induced by external stress. This chapter also discusses the possibility of strain increase in the one-way shape memory effect, with the use of specially privileged crystallographic grain orientation, i.e. the texture and anisotropy of the properties related to it.

The next chapter deals with NiTi alloys and begins with the discussion of the phase equilibrium system and the processes of alloy production and modification, with particular emphasis on the processes of structure and microstructure shaping through dislocation reconfiguration in the process of recovery and their annihilation, grain size control by way of annealing temperature, or the use of the aging process for the precipitation of  $\text{Ni}_4\text{Ti}_3$  particles which are coherent with the matrix in the alloys with increased nickel content, which give real possibilities of controlling the properties of alloys and implants. The chapter also presents the problem of bio-compatibility and resistance to pitting corrosion important for medical implants. It also characterizes the layers passivated in an autoclave, which have a characteristic amorphous structure, have a high breakthrough potential (1200 mV), are thin ( $\sim 4$  nm) and do not show cracks as the result of strain accompanying the shape memory effect.

The fourth chapter concerns alloys on the copper matrix characterised by a bigger complexity of structure and phase content, at the same time, creating big possibilities of controlling their qualities.

The issue of high-temperature alloys characterised by  $A_f > 120^\circ\text{C}$  is presented in chapter five. The very alloys promise greater application on an industrial scale in constructions of operators regulating motor work in cars and planes.

Chapter six covers ferromagnetic alloys in which the shape change is a result of imposing the field of pressures and a magnetic field on. The majority of alloys within this group bases on Heusler's phases while a classic example are alloys close to  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$ .

The last two chapters include the examples of using classical alloys in technology and medicine. When it comes to conventionalized applications in technology, the examples of separable pieces of hydraulic systems in planes, as well as robot holders, thermo-regulators, thermal engines and systems deadening vibrations were given. As regards the latest solutions, the applications of anti-seismic constructions of bridges, and the attempts to deaden the engines of gas turbines in planes were presented.

Futhermore, chapter eight discusses all the staples used to join broken bones and a surgery backbone treatment. Yet another group of implants in question constitutes self-expanded stents and Amplatz's implant used to seal the loss of the interatrial and interventricular septum.

The author's intention, apart from explaining the nature of the phenomena of shape memory in metals, was to stimulate constructors' imagination to use their unique properties, and encourage potential equipment producers to apply solutions based on these materials.

The book may also be useful in doctoral programs and student education at faculties connected with engineering and materials science. Taking into account the complexity of the phenomena of shape memory, some fragments of the book were written taking into consideration the requirements of a didactic usefulness at the same time.

Henryk Morawiec

## **Formgedächtnismetalle und deren Anwendung**

### **Zusammenfassung**

Die Formgedächtnislegierungen können zu der relativ neuen Gruppe der funktionellen Materialien gezählt werden. Ihre besonderen Eigenschaften, sich an frühere Formgebung zu erinnern, sind mit der reversiblen thermoelastischen martensitischen Umwandlung eng verbunden. Die martensitische Umwandlung beruht darauf, dass die Struktur der Metalle unter der Einwirkung von Temperatur, Spannungen oder magnetischem Feld geändert wird, es kommt also zur Rekonfiguration der Atome.

Das Formgedächtnis ist eine Fähigkeit des Materials, infolge einer Phasenumwandlung zwei verschiedene programmierte Formen anzunehmen. Diese Formen entstehen während der Hochtemperatur- und Niedertemperaturphase.

Die vorliegende Monografie beinhaltet einen Überblick über zahlreiche Publikationen, die einen mühsamen Weg zur Ergründung der in den Formgedächtnislegierungen und besonders in den Legierungen mit magnetischem Formgedächtniseffekt, verlaufenden vielschichtigen Prozesse veranschaulichen. Sie hebt auch praktische Informationen über die Technologie der Legierungsgewinnung hervor; es werden hier Prozeduren und Parameter der thermomechanischen Verarbeitung geschildert, die der Gewinnung von den besten Eigenschaften der Formgedächtnislegierungen dienen.

Das erste Kapitel des Buches betrifft den Kern von der martensitischen Umwandlung und der Martensitstruktur und deren Einfluss auf die mit der reversiblen martensitischen Umwandlung einhergehenden Formgedächtniseffekte.

Im zweiten Kapitel werden die Formgedächtnisphänomene geschildert: der Einweg- und der Zweiwegformgedächtniseffekt und die Superelastizität, die mit elastischer Verformung unter äußeren Spannungen verbunden sind.

Das nächste Kapitel betrifft die Nickel-Titan-Legierungen. Besprochen werden: das Phasengleichgewicht, die Herstellung und die Verarbeitung der Legierungen mit besonderer Rücksicht auf die Prozesse der Struktur- und Mikrostrukturverformung unter der Rekonfiguration der Dislokation im Heilungsprozess und deren Annihilation; die Steuerung der Korngröße und der Glühtemperatur oder die Ausnutzung des Alterungsprozesses bei Absonderung der mit der Kette kohärenten Teilchen  $\text{Ni}_4\text{Ti}_3$  in den Legierungen mit erhöhten Nickelgehalt, dank denen die Eigenschaften von Legierungen und Implantaten gesteuert und überprüft werden können.

Das vierte Kapitel handelt über Kupferlegierungen, die kompliziertere Struktur und Phasenzusammensetzung haben und deren Eigenschaften leichter beeinflusst werden können.

Die Hochtemperaturlegierungen mit  $A_f > 120^\circ\text{C}$  werden im fünften Kapitel geschildert. Diese Legierungen können mit Erfolg groß angelegt in den Stoßdämpfern zur Regulierung des Motorlaufes in den Wagen und Flugzeugen in Anwendung kommen.

Das sechste Kapitel umfasst ferromagnetische Legierungen, die eine magnetisch angeregte Formänderung zeigen. Die meisten von ihnen enthalten eine Heusler-Phase und ein Beispiel dafür sind die den  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  ähnlichen Legierungen.

Die zwei letzten Kapitel geben Beispiele der klassischen Legierungen, die ihre Anwendung bei Technik und Medizin gefunden haben. Als konventionelle Anwendung zeigt man: Klemmen der hydraulischen Werke in den Flugzeugen, Griffe von Robotern, Temperaturreglern, Wärmemotoren und Schwingdämpfungssystemen. Als ein Beispiel für neuere Anwendung dienen antiseismische Brückenkonstruktionen und die Versuche, die Motoren der Gasturbinen in den Flugzeugen zu dämpfen.

Im achten Kapitel werden vor allem die zur Verbindung von gebrochenen Knochen und zur chirurgischen Behandlung der Wirbelsäule dienenden Klammern charakterisiert. Weitere hier von dem Verfasser besprochene Implantate sind: selbstzentrierende Stents und Amplatzers Implantat zum Verschluss der Vorhofseptumdefekten und Atriumseptumdefekten.

Der Verfasser beabsichtigt auch, die Konstrukteure und die Hersteller von verschiedenerlei Geräten dazu anspornen, die einzigartigen Eigenschaften der Formgedächtnismetalle auszunutzen.

Das Buch kann auch im Ausbildungsprozess von Doktoranden und Studenten solcher Fachrichtungen wie Materialwissenschaft u. Werkstofftechnik und Werkstoffkunde verwendet werden. Da das Phänomen des Formgedächtnisses vielschichtig ist, wurden manche Abschnitte des Buches in Anbetracht der didaktischen Ziele behandelt.

Więcej o książce



CENA 54 ZŁ  
(+ VAT)

ISSN 0208-6336  
ISBN 978-83-8012-170-6