

Witold Sileikis, Bernard Neuman
Politechnika Śląska

ZASTOSOWANIE STOPÓW Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU W ROBOTYCE

Streszczenie. W pracy przedstawiono zjawisko pamięci kształtu w stopach oraz jego rodzaje. Zamieszczono przykłady wykorzystania zjawiska w robotyce.

1. Wstęp

Efekt pamięci kształtu został zauważony w 1932 roku przez Szweda Arne Ölandera w stopie Ag-Cd. W roku 1951 odkryto, że te szczególne właściwości niektórych stopów są związane z odwracalną przemianą martenzytyczną [9].

Zjawisko pamięci kształtu polega na tym, że przedmiot o określonym kształcie pierwotnym, odkształcony w temperaturze otoczenia, odzyskuje swój poprzedni kształt, po nagraniu do temperatury przemiany (charakterystycznej dla danego stopu), wyzwalając przy tym znaczną energię, która może wykonać pracę mechaniczną.

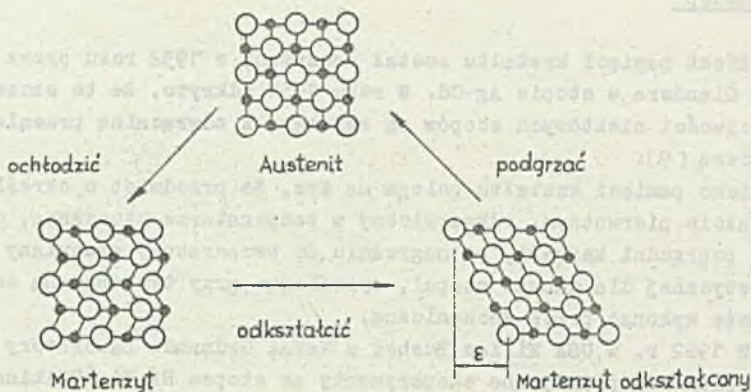
W 1962 r. w USA William Buehel z Naval Ordnance Laboratory przeprowadził pierwsze praktyczne eksperymenty ze stopem Ni-Ti ("Nitinol") [1]. Od początku lat siedemdziesiątych znaleziono ponad 1500 stopów, które wykazują efekt pamięci kształtu. Praktyczne zastosowanie w technice znalazły stopy Ni-Ti, Cu-Zn-Al oraz Cu-Al-Ni [2, 11].

Efekt występuje również w materiałach ceramicznych, tworzywach sztucznych i komórkach organizmów żywych [2].

2. Zjawisko pamięci kształtu

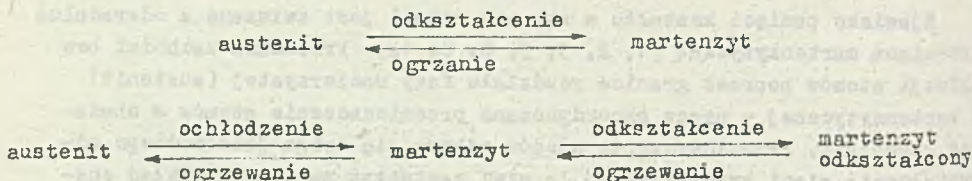
Zjawisko pamięci kształtu w stopach metali jest związane z odwracalną przemianą martenzytyczną [1, 2, 3, 5, 6, 8, 12]. Przemiana zachodzi bez dyfuzji atomów poprzez granice rozdziału fazy macierzystej (austenit) i martenzytycznej - przez skoordynowane przemieszczenie atomów w obszarze przemiany. Przemieszczenie atomów odbywa się drogą jednorodnego odkształcenia sieci krystalicznej, a więc martenzyt ma ten sam skład chemiczny, stopień atomowego uporządkowania i zdefektowania sieci krystalicz-

nej, co faza macierzysta. Martenzyt tworzy się i wzrasta w sposób ciągły w miarę obniżania temperatury i zanika ze wzrostem temperatury. Mechanizm efektu pamięci kształtu w stopach, jest schematycznie przedstawiony na rys. 1. Regularna, przestrzennie centrowana sieć krystaliczna fazy wysokotemperaturowej (austenit) przemienia się przez ochłodzenie w podatną na deformację strukturę martenzytyczną. Po odkształceniu powstaje tzw. martenzyt odkształcony. Jeżeli odkształcony martenzyt zostanie podgrzany, to po przekroczeniu temperatury przemiany pojawia się pierwotna orientacja sieci krystalicznej fazy wysokotemperaturowej, co pociąga za sobą powrót do pierwotnego kształtu.



Rys. 1. Schematyczna ilustracja efektu pamięci kształtu w stopach
Fig. 1. Schematic illustration of shape memory effect in alloys

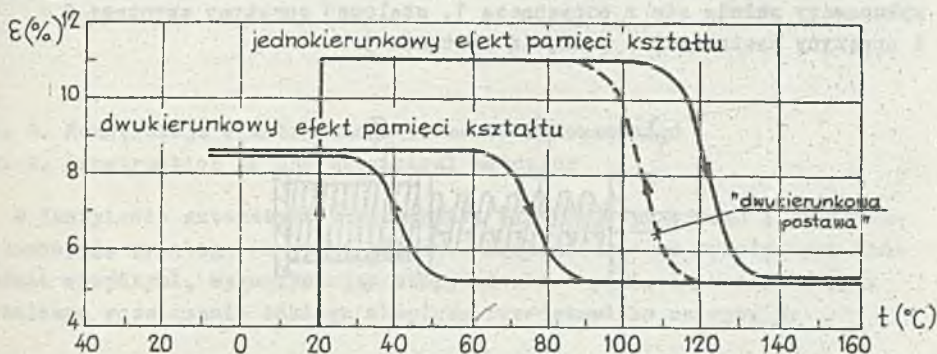
Rozróżnia się jedno- i dwukierunkowy efekt pamięci kształtu. Jednokierunkowy efekt pamięci opisują [1, 2] schematy:



Przemiana austenitu w martenzyt i przemiana odwrotna odbywa się przy różnych temperaturach, czyli przebiega z histerezą. Temperaturami charaktery-

stycznymi przemiany są: A_S - początek tworzenia się austenitu, A_F - zakończenie tworzenia się austenitu, M_S - początek tworzenia się martenzytu, M_F - zakończenie tworzenia się martenzytu.

Jednokierunkowy efekt pamięci kształtu (tzw. swobodna pamięć kształtu [9]) w postaci zależności odkształcenia ε od temperatury t przedstawia rys. 2. Na wykresie tym widać, że przedmiot odkształcony w temperaturze otoczenia wraca podczas nagrzewania w zakresie temperatur A_S - A_F do swego pierwotnego kształtu.



Rys. 2. Jedno- i dwukierunkowy efekt pamięci kształtu

Fig. 2. One - way and two - way shape memory effect

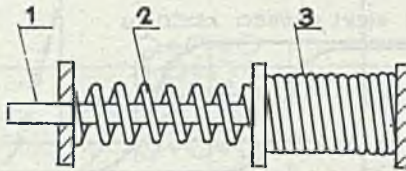
Stop "pamięta" zatem kształt swojej wysokotemperaturowej fazy macierzystej (austenit). W czasie chłodzenia nie występuje zmiana kształtu. Efekt jednokierunkowy może zostać dowolnie często powtórzony (bez szkody dla stabilności efektu [11]) przez przyłożenie zewnętrznej siły odkształcającej (np. sprężyna zwrotna). Jeżeli taka siła działa, to można osiągnąć "dwukierunkową postawę" [9] efektu jednokierunkowego (tzw. stłumiona pamięć kształtu). Rzeczywisty efekt dwukierunkowy jest tym odwracalnym procesem, przy którym nie jest wymagana siła przywracająca stan pierwotny. Stop "pamięta" wtedy zarówno kształt wysokotemperaturowej fazy macierzystej, jak i niskotemperaturowej martenzytycznej. Na rys. 2 przedstawiono dla porównania jedno- i dwukierunkowy efekt pamięci kształtu. Wartość (dzyskiwanego odkształcenia (rys. 2) w dwukierunkowym efekcie pamięci kształtu jest 5 - 10 razy mniejsza niż w jednokierunkowym i wynosi około 1 %.

Częściowo podobne w działaniu do dwukierunkowego efektu pamięci kształtu jest zjawisko odkryte w 1982 roku przez Nishida i Honma [8], które nazwali "all - round shape memory effect" (brak jednoznacznej polskiej nazwy).

3. Zastosowania w robotyce

Stopy metali z pamięcią kształtu są wykorzystywane głównie do budowy elementów wykonawczych układu napędowego w zespole ruchu jednostki kinematycznej maszyny manipulacyjnej.

Najprostsze rozwiązania takich elementów polegają na wykorzystaniu efektu stłumionej pamięci kształtu. Na rys. 3 przedstawiono konstrukcję termicznego elementu wykonawczego [10] sterowanego energią cieplną. Element wykonawczy składa się z popychacza 1, stalowej sprężyny zwrotnej 2 i sprężyny naciskowej z pamięcią kształtu 3.



Rys. 3. Konstrukcja termicznego elementu wykonawczego

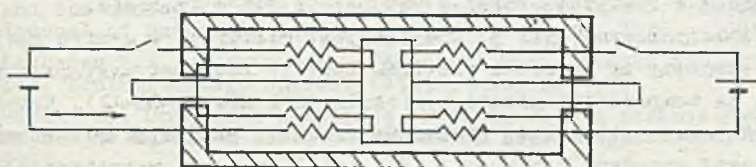
Fig. 3. Construction of the thermal actuator

Po ogrzaniu do temperatury przemiany sprężyna z pamięcią kształtu pokonuje opór sprężyny zwrotnej i wysuwa popychacz. Po spadku temperatury popychacz zostaje cofnięty siłą sprężyny zwrotnej.

Przykład elektrycznego elementu wykonawczego [4] przedstawia rys. 4. W urządzeniu tym sprężyny z pamięcią kształtu są mechanicznie połączone w sposób równoległy, natomiast elektrycznie szeregowo. Sprężyny działają w przeciwnych kierunkach, a ich ogrzewanie odbywa się naprzemiennie.

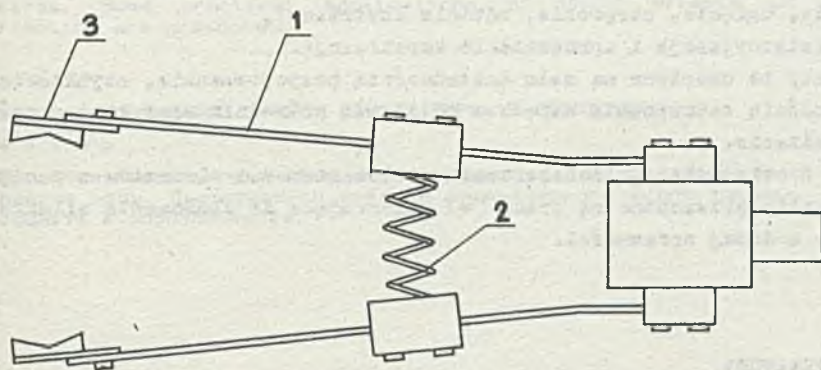
Ze względu na dużą rezystancję sprężyn (stop Ni-Ti) i sposób połączenia, układ jest zasilany wysokim napięciem i niskim prądem. Zastosowana technika sterowania została nazwana [8] "VEASE" (Via Electrically Actuated Shape memory Effect) - przez elektryczne uruchomienie efektu pamięci kształtu. Przez podobieństwo do dużej greckiej litery "ksi" konstrukcja ta została nazwana "układem ξ ".

Wiele miniaturowych elementów wykonawczych takiego typu opracowała japońska firma Miwa i Iguchi [8]. Hitachi Electrical Co stosując te elementy wykonała chwytak robota o kształcie i wymiarach ludzkiej ręki z 13 stopniami swobody, mogący mieć zastosowanie w laboratorium izotopowym.



Rys. 4. Konstrukcja elektrycznego elementu wykonawczego
 Rys. 4. Construction of the electrical actuator

W Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej opracowano i przebadano koncepcję prostego chwytaka siłowo - kształtowego ze sprężystymi końcówkami chwytynymi, wykorzystując stopy metali z pamięcią kształtu [7]. Techniczne rozwiązanie takiego chwytaka przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Chwytnak: 1-końcówki chwytne, 2-sprężyna naciskowa, 3-nakładki
 Rys. 5. The gripper device: 1-gripper pliers, 2-push spring, 3-gripper jaws

Podstawowymi elementami chwytaka są dwie końcówki, ze stopu Cu-Zn-Al z zaindukowanym jednokierunkowym efektem pamięci kształtu. Sprężyste

końcówki wykonano z płaskowników udostępnionych przez doc.dr han.inż. J. Dudkiewicza z Instytutu Podstaw Metalurgii PAN w Krakowie. W stanie spoczynkowym (rys. 5) chwytak jest rozarty (w wyniku nacisku stalowej sprężyny na końcówki chwytne). Zwarcie końcówek następuje po ich nagraniu do temperatury przemiany (około 40°C dla Cu-Zn-Al). Końcówki chwytne odzyskują wtedy swój pierwotny kształt, pokonując równocześnie opór stalowej sprężyny naciskowej. Ze względu na małą rezystancję stopu Cu-Zn-Al chwytak jest sterowany strumieniem ciepłego powietrza.

W Instytucie Automatyki opracowano [7] również inne koncepcje chwytaka, lecz ich nie przebadano ze względu na trudności w pozyskaniu elementów (płaskowniki, pręty, sprężyny) wykonanych ze stopu Ni-Ti z jedno- i dwukierunkowym efektem pamięci kształtu.

4. Zakończenie

Na rozpowszechnienie w budowie jednostek kinematycznych maszyn manipulacyjnych elementów wykonawczych wykorzystujących efekt pamięci kształtu mogą wpłynąć następujące zalety tych elementów:

- skokowy rozwój efektu pamięci w wąskim przedziale temperatur,
- możliwość wytworzenia różnego rodzaju odkształceń (skrócenie, wydłużenie, ugięcie, skręcenie, odbicie lustrzane),
- miniaturyzacja i uproszczenie konstrukcji.

Zalety te okupione są małą dokładnością pozycjonowania, szybkością, niemożnością zatrzymania napędu w położeniu pośrednim oraz koniecznością chłodzenia.

W celu dalszego rozszerzenia pola zastosowań elementów z pamięcią kształtu prowadzone są prace [4] zmierzające do zbudowania silnika ciepłego o dużej sprawności.

LITERATURA

- [1] Bojarski Z., Morawiec H.: Pamięć kształtu w metalach. *Archiwum Nauki o Materiałach*. 1980, vol. 1-2, s. 5-20.
- [2] Bojarski Z., Morawiec H.: *Metale z pamięcią kształtu*. PWN, Warszawa 1989.
- [3] Garretson C., Stöckel D.: Eigenschaften und Anwendung von Shape - Memory - Steckverbindern. *Metall*, 1987, vol. 1, s. 22-25.
- [4] Hirose S., Ikuta K., Tsukamoto K., Sato K., Umetani Y.: Several considerations on design of SMA actuator. *Proceedings of the International Conference on Martensitic Transformation*. Tokyo 1986, s. 1047-1052.

- [5] Krishnan R.V., Delaey L., Tas H.: Thermoplasticity, pseudoelasticity and the memory effects associated with martensitic transformations. *Journal of Materials Science*, 1974, vol. 9, s. 1536 - 1544.
- [6] Lichačev V.A., Kuźmin S.L., Kamenceva Z.P.: Effekt pamjati formy. Izd. Leningradskogo Universiteta, Leningrad 1987.
- [7] Neuman B.: Opracować koncepcję chwytaka robota przemysłowego wykorzystując metale z pamięcią kształtu. Praca magisterska. Gliwice 1989.
- [8] Otsuka K., Shimizu K.: Pseudoelasticity and shape memory effects in alloys. *International Metals Reviews*. 1986, vol. 31, s. 93-114.
- [9] Stöckel D.: Der Formgedächtnis - Effekt von Nickel - Titan - Legierungen. *Feinwerktechnik und Messtechnik*. 1987, vol. 5, s. 332-334.
- [10] Stöckel D.: Anwendungen von Ni-Ti-Legierungen mit Formgedächtnis - Effekt. *Feinwerktechnik und Messtechnik*. 1987, vol. 7, s. 198-204.
- [11] Tautzenberger P., Stöckel D.: Vergleich der Eigenschaften von Termobimetallen und Memory Elementen. *Metall*, 1987, vol. 25, s. 26-32.
- [12] Warlimont H.: Shape memory effects. *Materials Science and Engineering*, 1976, vol. 25, s. 139-144.

Recenzent: Prof. dr h.inż. A. Woźniak

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

APPLICATIONS OF SHAPE MEMORY EFFECT IN ROBOTICS

Summary

The paper presents shape memory effect in alloys and his forms. Some practical applications of those effects in robotics are presented.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Резюме

В работе представлен эффект памяти формы в сплавах а также его разные виды. Представлены примеры практического использования эффекта в робототехнике.