

**LABORATORIA
APARATURA
BADANIA**

ISSN-1427-5619

LAB

6 / 2019

DWUMIESIĘCZNIK

Badanie klimatu

**Wolny cykl węglowy
i termostat węglowy**

Wybrane metody pomiaru magnetostrykcji materiałów wykazujących gigantyczną magnetostrykcję (GMM, ang. Giant Magnetostrictive Materials)

Anna Tomiczek¹, Ryszard Żuberek², Rafał Mech³

Zjawiska fizyczne występujące w materiałach magnetostrykcyjnych (rys. 1) oraz możliwość ich praktycznego wykorzystania powodują, że materiały te znajdują szerokie zastosowania w nowoczesnej technice. Najbardziej rozpoznawanymi zjawiskami w tej grupie jest oddziaływanie pomiędzy namagnesowaniem a odkształceniem materiału magnetostrykcyjnego oraz zjawisko do niego odwrotne, polegające na implikowaniu – na skutek oddziaływania magnetoelastycznego – zmiany wartości namagnesowania, które może być obserwowane między innymi jako zmiana indukcji magnetycznej B w materiale przy ustalonym natężeniu pola magnesującego H (tzw. efekt Villariego) [1-3].

Przetworniki magnetostrykcyjne są wykorzystywane w wysokiej klasy urządzeniach przemysłowych, motoryzacji, zastosowaniach biomedycznych oraz wykorzystywanych przez przemysł zbrojeniowy, do których zalicza się [1, 4-6]:

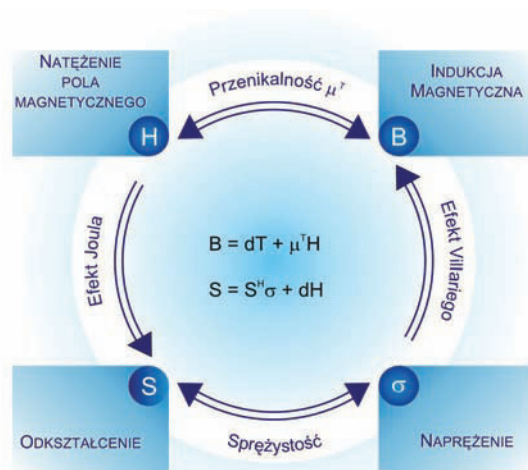
- aktywne sterowanie poziomem drgań i zakłóceń;
- mikropozycjonowanie w zakresie dużych sił;

- urządzenia do odgazowywania przy wulkanizacji gumy;
- generowanie ultradźwięków w zastosowaniach do narzędzi chirurgicznych lub urządzeń akustycznych.

Wysoka sprawność przetwarzania przez materiały magnetostrykcyjne energii magnetycznej w mechaniczną oraz zdolność do generowania odkształceń w szerokim zakresie częstotliwości stanowi o ich przewadze w stosunku do tradycyjnych materiałów wykorzystywanych w konstrukcji aktuatorów i sensorów. Do zalet materiałów o gigantycznej magnetostrykcji (ang. Giant Magnetostrictive Materials)

należy również zaliczyć możliwość bezkontaktowego dostarczania energii, krótki czas odpowiedzi na sygnał oraz wysoką wartość współczynnika sprzężenia magneto mechanicznego. Zakres zastosowań tych materiałów jest jednak ograniczony przez kilka czynników, do których należą wysokie koszty materiałowe, konieczność zadawania naprężenia wstępnego w celu uzyskania większej wartości magnetostrykcji, mała odporność na korozję, jak również generowanie prądów wirowych i ciepła w trakcie pracy w wysokich częstotliwościach pola magnetycznego [3-6].

Przy opracowywaniu składu magnetostrykcyjnych materiałów kompozytowych konieczne jest uwzględnienie wpływu naprężenia wstępnego na wartość magnetostrykcji. Naprężenie to można badać na stanowisku do badań własności magneto mechanicznych materiałów, skonstruowanym w Instytucie Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej. Pomiary wykonuje się w kierunku równoległym do osi próbki, w polu magnetycznym o maksymalnym natężeniu 175 kA/m, zgodnie z procedurą opisaną w [7,8]. Magnetostrykcję rejestruje się dla stanu nieobciążonego oraz dla naprężeń wstępnych wynoszących 1, 2 lub 3 MPa. Przed każdym z trzech cykli pomiarów, próbki poddaje się rozmagnesowaniu w zmiennym polu magnetycznym o malejącej amplitudzie. Główną część stanowiska pomiarowego stanowi cewka indukcyjna spełniająca rolę obwodu elektromagnetycznego. Płynący przez nią prąd elektryczny wytwarza wewnątrz pole magnetyczne, a zadaniem stalowej obudowy, w której jest umieszczona

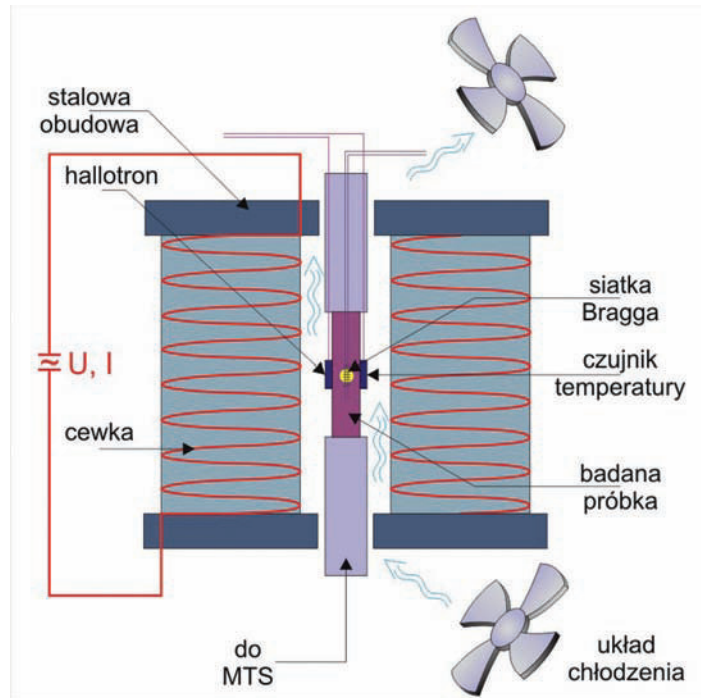


Rys. 1. Zależności między efektami fizycznymi w materiałach magnetostrykcyjnych [3]

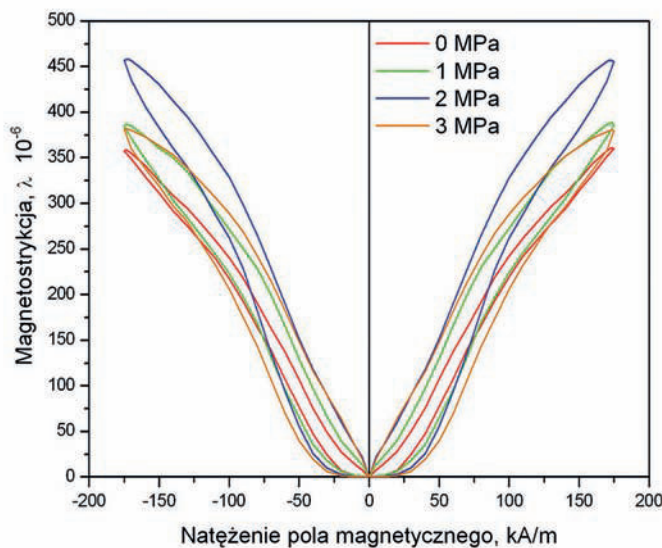


jest zmniejszanie rozproszenia strumienia magnetycznego na zewnątrz. Cewkę zasila się prądem elektrycznym o natężeniu od 1 do 9 A, a zmiany natężenia pola magnetycznego uzyskuje się przez zmianę natężenia prądu z zasilacza; rejestracja tych wielkości odbywa się przez umieszczony w szczelinie cewki czujnik pola magnetycznego. Próbkę wraz z naklejonym na zewnętrznej powierzchni światłowodowym czujnikiem z siatką Bragga FGB (ang. Fiber Bragg Grating) typu E 2000/HRL (rejestrującego wydłużenie próbki) oraz umieszczonym równolegle czujnikiem temperatury oraz natężenia pola magnetycznego (hallotronem) umieszcza się w cewce (rys. 2). Wymiar średnicy wewnętrznej cewki (tj. 13 mm) zapewnia maksymalny stopień oddziaływania pola magnetycznego na próbkę, a jednocześnie jest wystarczająco duży, aby możliwe było umieszczenie w nim próbki wraz z aparaturą pomiarową [8].

W przypadku pomiarów magnetostrykcji materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej, do końców trzpieni obciążających umieszczonych w szczękach maszyny wytrzymałościowej MTS 810 mocuje się dwa aluminiowe pręty o średnicy 8,8 mm i długości 20 mm w celu zredukowania współczynnika odmagnesowania oraz homogenizacji pola magnetycznego (wewnątrz próbki) wytworzonego przez cewkę indukcyjną, w której umieszcza się próbkę. W trakcie obciążania pręty te pozostają w bezpośrednim kontakcie z badaną próbką. Za pomocą



Rys. 2. Schemat pomiarowy stanowiska do pomiaru magnetostrykcji (MTS – maszyna wytrzymałościowa) [8]



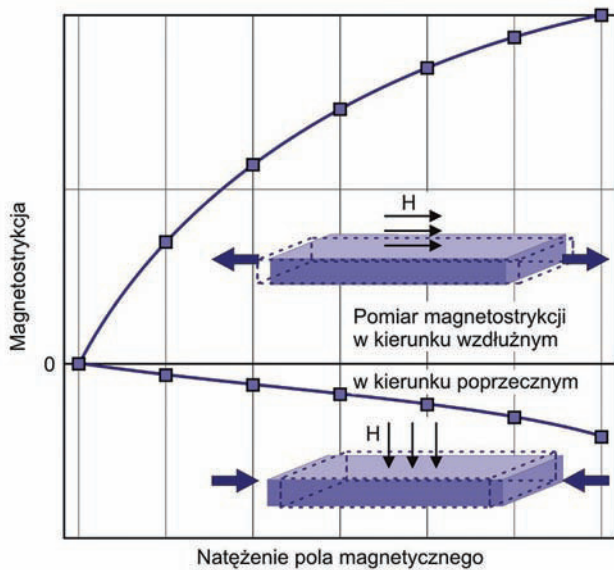
Rys. 3. Wykres zależności magnetostrykcji od natężenia pola magnetycznego dla materiału kompozytowego o osnowie polimerowej wzmacnianego proszkiem materiału wykazującego gigantyczną magnetostrykcję o udziale objętościowym 20% i przy różnych wartościach naprężeń wstępnych σ_0 [9]

programu komputerowego umożliwiającego zadawanie określonego zewnętrznego naprężenia wstępnego o wartościach 1, 2 lub 3 MPa steruje się maszyną wytrzymałościową,

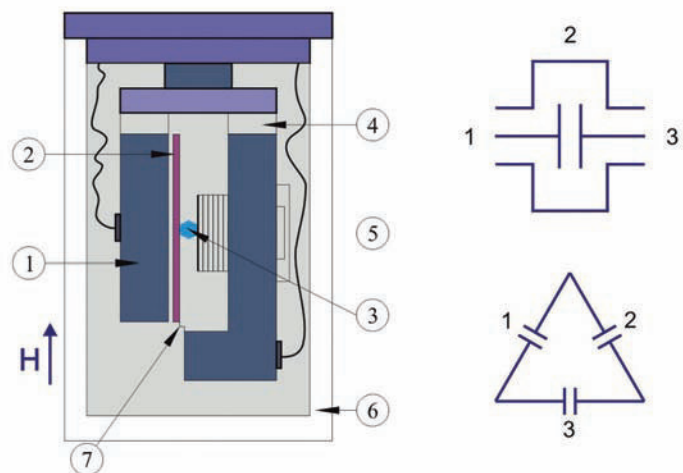
której zadaniem jest ponadto utrzymywanie stałego obciążenia badanej próbki, umożliwiając pomiar jej odkształcenia pod wpływem zmian pola magnetycznego (rys. 3). Dzięki

zastosowanemu systemowi odprowadzania ciepła (generowanego przez wzrastające w trakcie pomiarów natężenie prądu elektrycznego przepływającego przez cewkę) jest możliwe zapewnienie utrzymania względnie stałej temperatury w trakcie pomiarów [7-9]. Ponadto, w celu zminimalizowania wpływu ciepła na uzyskiwane wyniki, stosuje się kompensację temperaturową w postaci drugiej siatki Bragga.

Magnetostrykcję materiałów można również badać na stanowisku wykorzystującym metodę trójpojemnościowego dylatometru skonstruowanym w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Pomiar wykonuje się w kierunku wzdłużnym i poprzecznym do osi próbki (rys. 4), w polu magnetycznym o maksymalnym natężeniu 800 kA/m. W metodzie pojemnościowej odkształcenie próbki obserwowane jest jako zmiana pojemności kondensatora z ruchomą elektrodą w zewnętrznym polu magnetycznym wytworzonym przez magnes nadprzewodzący firmy CRYOGENIC. W wyniku deformacji magnetostrykcyjnej próbka naciska na ruchomą elektrodę, zmieniając tym samym pojemność kondensatora [9,10]. Na rys. 5 przedstawiono konstrukcję sondy pojemnościowej: kamera (o długości i średnicy odpowiednio 28 i 90 mm) składa się z nieruchomej (1) i ruchomej elektrody (2), która zamontowana jest na taśmie berylowo-miedzianej (7) i może się poruszać w dwóch kierunkach – w zależności od znaku magnetostrykcji



Rys. 4. Sposób orientacji próbki w stosunku do kierunku pola magnetycznego podczas pomiarów magnetostrykcji metodą pojemnościową



Rys. 5. Sonda pojemnościowa z odpowiednim schematem trójpojemnościowym: 1 - nieruchoma elektroda, 2 - ruchoma elektroda, 3 - próbka, 4 - politetrafluoroetylen, 5 - uchwyt próbki z mikrośrubą, 6 - cylinder ekranujący, 7 - taśma BeCu [10]

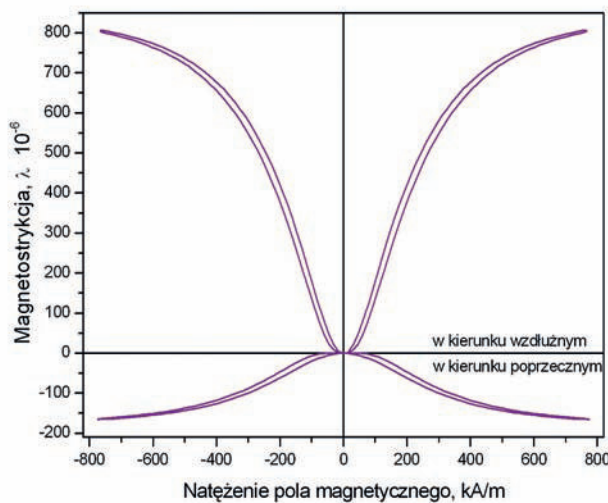
próbki (3) montowanej w miedzianym uchwycie z mikrośrubą (5). Obie elektrody są izolowane od kamery za pomocą politetrafluoroetylen (4), która ponadto ekranowana jest od reszty układu za pomocą miedzianego cylindra (6) zapewniającego dobrą stabilność cieplną. Pomiary magnetostrykcji w kierunku równoległym do osi próbki umożliwia kamera pojemnościowa.

Przykładową ilustrację zależności magnetostrykcji od natężenia pola magnetycznego w zakresie do 800 kA/m dla materiałów kompozytowych przedstawiono na rys. 6. Wykonane pomiary magnetostrykcji przy orientacji badanych próbek w kierunku poprzecznym lub wzdłużnym w stosunku do kierunku pola magnetycznego [9] potwierdziły jej wpływ na zarejestrowane pętle magnetostrykcji. W przypadku pomiarów magnetostrykcji przy aplikacji

pola magnetycznego w kierunku prostopadłym do osi próbki, maksymalna magnetostrykcja w każdym z przypadków osiąga wartości mniejsze niż dla pomiarów realizowanych równoległe do osi próbki. Stwierdzono, że naprężenia wstępne aplikowane materiałom kom-

pozytowym o osnowie polimerowej podczas pomiarów magnetostrykcji w polu magnetycznym o natężeniu do 175 kA/m korzystnie wpływają na magnetostrykcję tych materiałów. Wpływ tych naprężeń jest jednak mniejszy niż dla materiału monolitycznego.

Zwiększanie natężenia pola magnetycznego do wartości 175 kA/m powoduje, że wyższe naprężenie wstępne wytwarza większe odkształcenie, a tym samym zmniejsza się kąt nachylenia krzywych magnetostrykcji w funkcji natężenia pola magnetycznego. Ponadto, wraz ze zwiększaniem wartości naprężeń wstępnych aplikowanych poszczególnym materiałom kompozytowym, zwiększa się pole powierzchni pętli histerezy magnetostrykcji, świadczące o coraz większym tłumieniu magnetomechanicznym oraz występuje większa niestabilność pomiarów, wpływająca na wysokie wartości odchylenia standardowego.



Rys. 6. Wykres magnetostrykcji w zależności od natężenia pola magnetycznego dla materiału kompozytowego o osnowie polimerowej wzmacnianego proszkiem materiału wykazującego gigantyczną magnetostrykcję o udziale objętościowym 20% [9]

Literatura

[1] Zhao X., Lord D.G.: Application of the Villari effect to electric power harvesting, Journal of Applied Physics 99 (2006) 08M703-1 – 08M703-3.



[2] Bieńkowski A., Szewczyk R.: New possibility of utilizing amorphous ring cores as stress sensor, *Physica Status Solidi A* 189/3 (2002) 787-790.

[3] Olabi A.G., Grunwald A.: Design and application of magnetostrictive materials, *Elsevier, Materials and Design* 29 (2008) 469 – 483.

[4] Engdahl G.: *Handbook of Giant Magnetostrictive Materials*, Academic Press, San Diego 2000.

[5] Janocha H.: Application potential of magnetic field driven new actuators, *Sensors and Actuators A* 91 (2001) 126-132.

[6] Leonowicz M., *Materiały magnetostrykcyjne*, *Inżynieria Materiałowa* 2 (2004) 68-69.

[7] Małysa K.: Innowacyjne czujniki do pomiaru odkształceń, przemieszczeń, ciśnienia i temperatury, *Laboratorium* 9 (2009) 14-15.

[8] Mech R.: Badanie właściwości magnetomechanicznych kompozytów na bazie proszków z materiałów o gigantycznej magnetostrykcji,

Praca magisterska niepublikowana, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2008.

[9] Tomiczek A.: Magnetostrykcyjne materiały kompozytowe o osnowie polimerowej wzmacniane cząstkami Tb_{0,3}Dy_{0,7}Fe_{1,9}, Praca doktorska niepublikowana, Politechnika Śląska, Gliwice 2012.

[10] Kundys B., Bukhantsev Y., Vasiliev S., Kundys D., Berkowski M., Dyakonov V.P.: Three terminal capacitance technique for magnetostriction and thermal expansion measurements, *Review of Scientific Instruments* 75/6 (2004) 2192-2196.

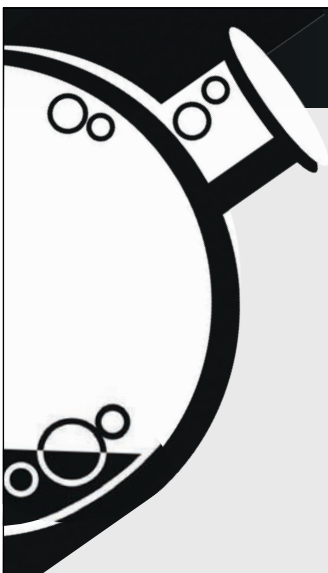
¹ *Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice*

² *Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Al. Lotników 32, 02-668 Warszawa*

³ *Katedra Mechaniki i Inżynierii Materiałowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, ul. Smoluchowskiego 25, 50-370 Wrocław*

LABORATORIA
APARATURA
BADANIA
ISSN-1427-5619
1/2020 KWARTALNIK

Od numeru **1/2020 LAB**
ukazywać się będzie
w cyklu kwartalnym



Kryształowa Kolba 2020

Redakcja LAB czeka na **zgłoszenia kandydatów** na laureatów Kryształowej Kolby 2020.

Więcej informacji: <http://lab.media.pl/krysztalowa-kolba>

Pisemną laudację sporządzoną przez współpracowników/kierownika osoby nominowanej należy wysłać na adres: redakcja@lab.media.pl do dnia **30 marca 2020 roku**.