



**POLYTECHNICA
STETINENSIS**

**HONORIS CAUSA
DOCTORIS**

**STEPHANUM MATHIAM
WOJCIECHOWSKI**

232 780

POLYTECHNICA STETINENSIS

Szanowni Państwo,

Dzisiejsze uroczyste poświęcenie Szkoły Politechniki Szczecińskiej poświęcone jest nade wszystko i godności doktora i jego roli w nauce i w sztuce, wybitności uczoności, organizatorowi badań naukowych i profesorowi katedry Politechniki Szczecińskiej Wojciechowskiemu.

Profesor wyrozumi dr hab. inż. Stefan Wojciechowski kierował szkołą w znanym Warszawskim Szkole Inżynierskiej im. Wyszyńskiego, w Warszawie.

HONORIS CAUSA DOCTORIS

Studia magistra w 1949 roku. Od 1950 roku związał się ze szkołą Politechniki Warszawskiej.

W roku 1956 uzyskał stopień doktora nauk technicznych na macierzystej uczelni.

STEPHANUM MATHIAM
WOJCIECHOWSKI

Po studiach uniwersyteckich w Niemczech, w szczególności w Instytucie Technicznym Politechniki Max Plancka w Monachium, uzyskał stopień doktora habilitowanego na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Warszawskiej, w roku 1973 tytuł profesora nadzwyczajnego, a w roku 1983 tytuł profesora zwyczajnego.

Profesor Stefan Wojciechowski jest autorem wielu prac z dziedziny teorii i praktyki konstrukcyjnej i technologicznej.

Współautor licznych podręczników i podręczników z dziedziny konstrukcji i technologii.

Współautor licznych podręczników i podręczników z dziedziny konstrukcji i technologii.

Współautor licznych podręczników i podręczników z dziedziny konstrukcji i technologii.

Współautor licznych podręczników i podręczników z dziedziny konstrukcji i technologii.

Współautor licznych podręczników i podręczników z dziedziny konstrukcji i technologii.

Współautor licznych podręczników i podręczników z dziedziny konstrukcji i technologii.

Stetinae 2004

20231 0000000 782



CZ. 65925

**Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
CZ. 65925**



001-065925-00-0

2004

2.023.14671D

Szanowni Państwo,

Dzisiejsze uroczyste posiedzenie Senatu Politechniki Szczecińskiej, poświęcone jest nadaniu tytułu i godności doktora honoris causa naszej Uczelni, wybitnemu uczonemu, organizatorowi badań naukowych i procesowi kształcenia Profesorowi Stefanowi Wojciechowskiemu.

Profesor zwyczajny dr hab. inż. Stefan Wojciechowski ukończył studia w znanej Warszawskiej Szkole Inżynierskiej im. Wawelberga i Rotwanda.

Studia magisterskie podjął na Politechnice Śląskiej w Gliwicach, które ukończył w 1949 roku. Od 1950 roku związał się na stałe z Politechniką Warszawską.

W roku 1956 uzyskał stopień doktora nauk technicznych na macierzystej uczelni. Po stażach naukowych w Harvard University u prof. Chalmersa w ramach stypendium Fulbrighta, Max Planck Institut w Stuttgardzie oraz Uniwersytecie Technicznym w Monachium, uzyskał stopień doktora habilitowanego na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Warszawskiej, w roku 1973 tytuł profesora nadzwyczajnego, a w roku 1988 tytuł profesora zwyczajnego.

Profesor Stefan Wojciechowski jest wybitnym specjalistą w dziedzinie inżynierii materiałowej i nauki o materiałach. Jest twórcą własnej szkoły naukowej, znanej w kraju oraz na arenie międzynarodowej. Profesor znakomicie łączy rolę naukowca i dydaktyka, organizatora nauki i procesu kształcenia, a także kreatora kadr naukowych.

Z całym przekonaniem pozwalam sobie na stwierdzenie, że Pan prof. Stefan Wojciechowski jest uznanym i niezaprzeczalnym autorytetem naukowym.

Dzięki swym zdolnościom i nieprzeciętnej pracowitości, umocnił w Polsce pozycję inżynierii materiałowej i nauki o materiałach, nadając im w pełni międzynarodowy wymiar. Otworzył tym samym drogę do atrakcyjnego obszaru badawczego całemu pokoleniu młodych pracowników nauki, ze wszystkich krajowych ośrodków naukowych.

W ciągu bez mała 50 lat pracy w Politechnice Warszawskiej, prof. Stefan Wojciechowski wywarł znaczący wpływ na rozwój tej czołowej uczelni, poprzez swą działalność naukową oraz pracę na różnych stanowiskach w kierowniczych gremiach Uczelni.

Jest dla nas wielkim zaszczyt^{em}, że nasza Uczelnia może wyrazić uznanie tak znakomitemu uczonemu, nadając mu tytuł i godność doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej.

Wniosek naszego senatu poparły senaty Politechniki Warszawskiej, Politechniki Śląskiej w Gliwicach i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Cieszymy się, że Pan prof. Stefan Wojciechowski, uznany autorytet naukowy, przyjaciel naszej Uczelni, został tym samym godnie uhonorowany.

Rektor

Politechniki Szczecińskiej

Prof. dr hab. inż. Mieczysław Wysiecki

Promotor prof. Mieczysław Wysiecki

Laudacja poświęcona Panu prof. zw. dr hab. Stefanowi Wojciechowskiemu

Wasze Magnificencje,

Wysoki Senacie,

Dostojny Doktorze Honorowy,

Szanowni Państwo,

Przypadł mi w udziale wielki zaszczyt, a zarazem wielka przyjemność przedstawienia Postaci oraz dokonań i zasług Profesora Stefana Wojciechowskiego, wieloletniego kierownika Katedry Metaloznawstwa, dyrektora Instytutu Inżynierii Materiałowej, Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Warszawskiej, Prorektora tej Uczelni, byłego członka Komitetu Nagród Państwowych Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej ds. Tytułów i Stopni Naukowych, członka Komitetów Metalurgii oraz Nauki o Materiałach PAN, członka komitetów redakcyjnych i programowych kilku renomowanych krajowych i zagranicznych czasopism naukowych.

Prof. Stefan Wojciechowski jest uczonym, którego osiągnięcia znane są w Polsce i w wielu krajach. Jego działalność naukowa ściśle związana jest z szeroko rozumianą dyscypliną inżynieria materiałowa oraz nauką o materiałach.

W początkowym okresie swej działalności naukowej zajmował się racjonalizacją składu chemicznego stali stopowych konstrukcyjnych w aspekcie ich hartowności oraz specjalnych zastosowań. Wytypy doświadczalne stali z dodatkiem boru w Hucie „Batory” w Chorzowie i wyniki badań nad tą problematyką, przyczyniły się do uruchomienia w kraju na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku produkcji stali z mikro-dodatkiem tego pierwiastka, najefektywniej podnoszącego hartowność.

Drugim ważnym kierunkiem badań prof. Stefana Wojciechowskiego były badania z zakresu krystalizacji pierwotnej i wtórnej, rozpoczęte w okresie przygotowywania rozprawy habilitacyjnej i kontynuowane w latach następnych. Dały one podstawę do powstania zespołu badawczego, który może poszczycić się osiągnięciami naukowymi w zakresie mechanizmu tworzenia się ziarn równoosiowych w centralnych strefach wlewków metalowych, kształtowania się struktury w rzeczywistych warunkach krzepnięcia metali i stopów oraz dynamicznego zdrowienia i rekrystalizacji metali.

Wyniki badań z tego zakresu opublikowane w Jego rozprawie habilitacyjnej były między innymi efektem współpracy z prof. B. Chalmersem, oraz specjalistami o światowej sławie, w tym z prof. D. Turnbullem, prof. M. Ashbym i prof. W.G. Pfannem w trakcie 14 miesięcznego stażu naukowego odbytego przez prof. Stefana Wojciechowskiego, jako stypendysty Fundacji Fulbrighta w Harvard University (USA).

Rezultaty tych badań zainspirowały kolejne dwa kierunki badań prof. Stefana Wojciechowskiego, a mianowicie nad kompozytami „in situ” oraz krystalizacją kolumnową, zwłaszcza stopów magnetycznych. Badania nad krystalizacją kierowaną stopów eutektycznych, skoncentrowano na stopie AgCu 28, wykazując jego korzystne zachowanie się w stykach elektrycznych. Poznawczym efektem badań było wykazanie zmniejszenia w wyniku kierunkowego krzepnięcia efektu tzw. erozji strukturalnej. Badania nad krystalizacją stopów typu Alnico, doprowadziły z kolei do wyjaśnienia szeregu zjawisk zachodzących w czasie wytapiania, krystalizacji i obróbki cieplnej w polu magnetycznym, stanowiących o prawidłowości procesu wytwarzania magnesów z tych stopów.

Osiągnięcia profesora w obszarze krystalizacji kierunkowej pozwoliły na utworzenie szkoły naukowej, która skupiła wokół Niego liczne grono pracowników nauki z wielu ośrodków akademickich, w tym Politechniki Warszawskiej, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Instytutu Badań Jądrowych w Warszawie, Instytutu Podstaw Metalurgii PAN w Krakowie, a w zakresie nowych materiałów i technologii także Politechniki Śląskiej i Politechniki Szczecińskiej.

Uzyskane wyniki badań legły u podstaw opracowania technologii wytwarzania nowoczesnych magnesów typu Alnico, odznaczających się wysokimi wskaźnikami siły koercji i maksymalnej energii magnetycznej. Intensywne badania doprowadziły do rozwiązania szeregu problemów decydujących o właściwościach stopów typu Alnico, takich jak mechanizm rozpadu spinoidalnego oraz podział pierwiastków stopowych między powstające fazy i ich morfologię. Efektem przeprowadzonych badań było wdrożenie do produkcji w Hucie Baildon czterech nowych gatunków magnesów trwałych o parametrach równorzędnych z parametrami handlowych magnesów renomowanych wytwórni zagranicznych.

Poza wymienionymi głównymi kierunkami badań prowadzonymi przez prof. Stefana Wojciechowskiego, na szczególną uwagę zasługują także wyniki badań zjawisk zachodzących w trakcie odkształcenia plastycznego, tworzenie dyfuzyjnych warstw wierzchnich i w trakcie łączenia materiałów oraz wiele innych.

Prof. Stefan Wojciechowski w swej działalności naukowo-badawczej dbał zawsze o utrzymanie właściwych proporcji między wiedzą teoretyczną i stosowaną, doceniając w pełni przenoszenie wyników o charakterze poznawczym do rozwiązań praktycznych. Niewątpliwie pomocna była w tym zakresie wieloletnia praca w zakładach przemysłowych i instytutach naukowo-badawczych, między innymi w Hucie Baildon w Katowicach, Hucie Warszawa, Instytucie Metalurgii Żelaza w Gliwicach oraz Instytucie Metaloznawstwa i Aparatury Naukowo – Laboratoryjnej w Warszawie, przekształconym później w Instytut Mechaniki Precyzyjnej.

Prof. Stefan Wojciechowski swoje dokonania naukowe przedstawił w podręcznikach akademickich, w około 70 oryginalnych publikacjach naukowych, głównie w czasopiśmie zagranicznych. Profesor był redaktorem naukowym trzech anglojęzycznych podręczników akademickich z zakresu materiałów inżynierskich i doboru materiałów w projektowaniu inżynierskim, autorstwa profesorów M.F. Ashbyego i D.R. Jonesa.

Imponujący jest także dorobek Pana prof. Stefana Wojciechowskiego w promowaniu i rozwoju młodych kadr naukowych. Wypromował 17 doktorów nauk technicznych z których dwóch uzyskało tytuł naukowy, a mianowicie: Panowie profesorowie: Tadeusz Wierzchoń i Andrzej Michalski.

Profesor był ponadto recenzentem około 40 rozpraw doktorskich, 25 rozpraw habilitacyjnych oraz wielokrotnie opiniował dorobek kandydatów do tytułu i stanowiska profesorów nadzwyczajnego i zwyczajnego.

Przedstawione w olbrzymim skrócie osiągnięcia naukowe prof. Stefana Wojciechowskiego, stanowią znaczny wkład w rozwój nauki w obszarze inżynierii materiałowej i nauce o materiałach. Jego prace z tego zakresu, są wielokrotnie cytowane w publikacjach krajowych i zagranicznych.

Działalność naukowa Profesora jest ściśle związana z Politechniką Warszawską. Do jego największych dokonań na rzecz macierzystej uczelni, należy zaliczyć rozwój nowoczesnych kierunków badań nad materiałami konstrukcyjnymi i funkcjonalnymi.

Doprowadziły one do przekształcenia Instytutu Materiałoznawstwa na Wydziale Mechanicznym Technologicznym i Instytucie Inżynierii Materiałowej na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa, w Instytut Inżynierii Materiałowej na prawach wydziału, który później uzyskał status wydziału, i jest obecnie najsilniejszym krajowym ośrodkiem inżynierii materiałowej o renomie międzynarodowej.

Osiągnięcia profesora Stefana Wojciechowskiego wykraczają daleko poza ramy krajowe, co zgodnie przyznają wszyscy trzej recenzenci przewodu. Profesor był nie tylko pionierem nowych technik badawczych i nowych technologii, ale także kreatorem i koordynatorem dużych programów badawczych realizowanych w kraju w latach 1976-1990.

Realizacja tych programów, pozwoliła na utworzenie i konsolidację zespołów badawczych, działających w zakresie polskiej inżynierii materiałowej w narzuconych przez Pana profesora kierunkach, zgodnych z najlepszymi standardami międzynarodowymi, znanymi mu z licznych staży zagranicznych w uznanych ośrodkach naukowych, głównie z Stanach Zjednoczonych i Niemczech.

Rolę profesora jako organizatora badań naukowych, ujmuje trafnie prof. Krzysztof Kurzydłowski, w swej recenzji, w której pisze m.in. „Kierując centralnymi projektami badawczo-rozwojowymi, prof. Wojciechowski narzucił swoim współpracownikom wysoki poziom profesjonalny, konieczność zaangażowania emocjonalnego oraz szczególne wymagania etyczne. Dzięki takiej postawie, obronił środowisko biorące udział w ich realizacji, przed pokusą swoistej korupcji oraz prowadzenia prac o podrzędnej wartości w imię wdrażania polskiej wersji technologii opracowanych wcześniej za granicą”.

Od wielu lat prof. Stefan Wojciechowski odgrywa ważną rolę w rozwoju i integracji środowiska naukowego, najpierw metaloznawczego, a później inżynierii materiałowej. I tak był między innymi:

- Członkiem Centralnej Komisji ds. Kadr Naukowych w latach 1984-1990;
- Członkiem Komitetu Nagród Państwowych (sekretarz Sekcji Metalurgii) w latach 1975-1983

W latach 1971 – 1990 był profesorem członkiem licznych Rad Naukowych m.in. Instytutu Podstaw Metalurgii Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, Instytutu Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie, Instytutu Lotnictwa w Warszawie, Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych w Warszawie i innych.

W latach 1972 – 1982 był członkiem Komitetu Metalurgii Polskiej Akademii Nauk, a od 1978 roku jest członkiem Komitetu Nauki o Materiałach Polskiej Akademii Nauk.

Profesor zasiadał lub zasiada w szeregu komitetach redakcyjnych i radach programowych czasopism naukowych w tym w latach 1974-1995 w „Materials Science and Engineering” w latach 1979 – 1992 „Archiwum Hutnictwa PAN” od 1980 roku w „Archiwum Nauki o Materiałach PAN”, od 1982 roku w „Inżynierii Materiałowej”, od 1996 roku w „Inżynierii Powierzchni”, a od 2001 roku w „Kompozytach”.

Nie sposób także nie wspomnieć o wielkiej pasji Profesora Wojciechowskiego, a mianowicie o organizacji i programach kształcenia w obszarze inżynierii materiałowej. Profesor m.in. zainspirował i brał czynny udział w opracowaniu ekspertyzy dla Polskiej Akademii Nauk nt. „Systemy kształcenia w szkołach wyższych w obszarze nauki o materiałach i inżynierii materiałowej”. Jest także autorem opracowania pt.: „Koncepcja modyfikacji zajęć dydaktycznych z inżynierii materiałowej na Wydziałach Mechanicznych”, wdrożonej w wielu krajowych uczelniach.

Jest autorem realizowanego aktualnie dwustopniowego programu specjalność Inżynieria Materiałowa w Politechnice Warszawskiej.

Profesor Stefan Wojciechowski jest twórcą podstaw nowoczesnych programów studiów w tym zakresie, a jego głos chociaż od 1995 roku przeszedł formalnie w stan spoczynku, jest ciągle słyszalny na licznych konferencjach, czy też w formie artykułów w czasopismach naukowych, stanowiąc twórczą inspirację dla całego krajowego środowiska inżynierii materiałowej.

Wiele do zawdzięczenia ma także profesorowi nasza Uczelnia. Początki współpracy z Politechniką Szczecińską dotyczą przede wszystkim kontaktów naukowych z niezapomnianym profesorem Stanisławem Prowansem, wieloletnim rektorem naszej Uczelni, dziekanem Wydziału Budowy Maszyn i twórcą Instytutu Inżynierii Materiałowej. Od wielu lat, współpracuje także z profesorem Wacławem Królikowskim z Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej.

Współpraca ta zacieśniła się szczególnie mocno, kiedy to zespoły badawcze naszego środowiska brały udział w kierowanym przez profesora Stefana Wojciechowskiego centralnym programie badawczo-rozwojowym CPBR 2.4 pod nazwą „Nowe materiały i ich technologie”.

Istotne zasługi ma także profesor w zakresie rozwoju kadry naukowej ówczesnego Wydziału Budowy Maszyn i Okrętów naszej Uczelni. Mianowicie pełniąc obowiązki dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Warszawskiej, sprzyjał promowaniu doktorów i doktorów habilitowanych na kierowanym przez siebie wydziale, a którzy dziś stanowią trzon kadry naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Szczecińskiej.

W uznaniu zasług Profesora Stefana Wojciechowskiego dla rozwoju nauk technicznych oraz szczególnych zasług jakie położył dla naszej Uczelni, Senat Akademicki Politechniki Szczecińskiej przy poparciu Senatów Akademickich Politechniki Warszawskiej, Politechniki Śląskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej, podjął 26 kwietnia 2004 roku uchwałę o nadaniu Mu godności i tytułu Doktora Honoris Causa.



W IMIENIU RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ
REKTOR I SENAT POLITECHNIKI SZCZECIŃSKIEJ
ORAZ PROMOTOR PRAWNIE USTANOWIONY
ZA WSPÓLNĄ ZGODĄ SENATÓW
AKADEMII GÓRNICZO HUTNICZEJ
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
ORAZ
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

NADALIŚMY

PROFESOROWI ZWYCZAJNEMU DOKTOROWI HABILITOWANEMU INŻYNIEROWI

STEFANOWI MACIEJOWI WOJCIECHOWSKIEMU

WYBITNEMU UCZONEMU W DZIEDZINIE NAUKI O MATERIAŁACH I INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ,
PIONIEROWI NOWYCH TECHNIK BADAWCZYCH ORAZ NOWYCH TECHNOLOGII MATERIAŁOWYCH,
KREATOROWI I KOORDYNATOROWI WAŻNYCH PROGRAMÓW BADAWCZYCH W POLSCE,
JEDNEMU Z GŁÓWNYCH ZAŁOŻYCIELI I WIELOLETNIEMU DYREKTOROWI
INSTYTUTU INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ,
CZŁONKOWI WIELU MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH ORGANIZACJI
ORAZ RAD NAUKOWYCH I TECHNICZNYCH,
WIELOKROTNIE NAGRADZANEMU NAJWYŻSZEJ RANGI WYRÓŻNIENIAMI I MEDALAMI
ZA GRANICĄ I W KRAJU

W UZNANIU

JEGO WYBITNYCH ZASŁUG DLA ROZWOJU NAUK TECHNICZNYCH, A W SZCZEGÓLNOŚCI W DZIEDZINIE
INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ JAK RÓWNIEŻ JEGO OGROMNEGO WKŁADU W KSZTAŁTOWANIE KADR
NAUKOWYCH I PRZEMYSŁOWYCH, A TAKŻE ZASŁUG DLA ROZWOJU SZKOLNICTWA WYŻSZEGO
I PRZEMYSŁU W POLSCE

ZASZCZYTNY TYTUŁ

DOKTORA HONORIS CAUSA

ORAZ PRAWA I PRZYWILEJE Z NIM ZWIĄZANE

I W DOWÓD WIARYGODNOŚCI TEGO WYDARZENIA NINIEJSZY DYPLÓM
OPATRZONY W PIECZĘĆ POLITECHNIKI SZCZECIŃSKIEJ WYSTAWILIŚMY

SZCZECIN, DNIA 10 MAJA 2004 ROKU

REKTOR

MIECZYSLAW WYSIECKI

DZIEKAN

PROMOTOR

STEFAN BERCZYŃSKI

MIECZYSLAW WYSIECKI



NOMINE REI PUBLICAE POLONORUM
RECTOR ET SENATUS POLYTECHNICAE STETINENSIS
ATQUE LEGIBUS CONSTITUTUS PROFESSOR, QUI DOCTOREM CREAT
AC RENUNTIAT
COMPROBANTIBUS SENATIBUS
ACADEMIAE REI METALLICAE ET INDUSTRIAE AERARIAE
POLYTECHNICAE SILESIAE
ET POLYTECHNICAE VARSOVIENSIS

PROFESSORI ORDINARIO DOCTORI HABILITATO INGENIARIO

STEPHANUM MATHIAM WOJCIECHOWSKI

ILLUSTREM VIRUM STUDIOSUM DISCIPLINAE MATERIARUM ET DISCIPLINAE INGENIARIAE MATERIARUM,
PRAECURSOREM NOVARUM ENUCLEANDI RATIONUM DISCIPLINARUMQUE ET NOVARUM
TECHNOLOGIARUM MATERIARUM, MAGNAE AUCTORITATIS CREATOREM ET DISPOSITOREM
PROGRAMMATUM INVESTIGANDI IN POLONIA, UNUM EX POTISSIMORUM CONDITORUM ET DIUTURNUM
DIRECTOREM INSTITUTI DISCIPLINAE INGENIARIAE MATERIARUM
POLYTECHNICAE VARSOVIENSIS,
SODALEM MULTARUM INTERNATIONALIUM ET DOMESTICARUM SOCIETATUM
ATQUE COSILIORUM AD DISCIPLINAM ET TECHNICAM PERTINENTIUM
PERSAEPE HONORIBUS PRIMI GRADUS ET NOMISMATIS HONORIFICIS PEREGRE DOMIQUE ORNATUM

AD AESTIMANDUM

EIUS EXCELLENTIA MERITA IN PROGRESSU DISCIPLINARUM TECHNICARUM, PRAECIPUE IN DISCIPLINA
INGENIARIAE MATERIARUM, ATQUE EIUS PERMAGNA MERITA IN INSTITUTIONE ET CONFORMATIONE
STUDIOSORUM DISCIPLINAE ET INDUSTRIAE IN POLONIA

INSIGNI DIGNITATE

DOCTORIS HONORIS CAUSA

ET PRIVILEGIIS AD ILLAM DIGNITATEM SPECTANTIBUS
ORNAVIMUS

AD ILLUD FACTUM DEMONSTRANDUM ID DIPLOMA SIGILLO POLYTECHNICAE STETINENSIS
CONSIGNATUM A NOBIS EDITUM EST

STETINI, DIE DECIMO MENSIS MAII, ANNO MMIV

RECTOR

MECISLAUS WYSIECKI

DECANUS

PROFESSOR, QUI DOCTOREM
CREAT AC RENUNTIAT

STEPHANUS BERCZYŃSKI

MECISLAUS WYSIECKI

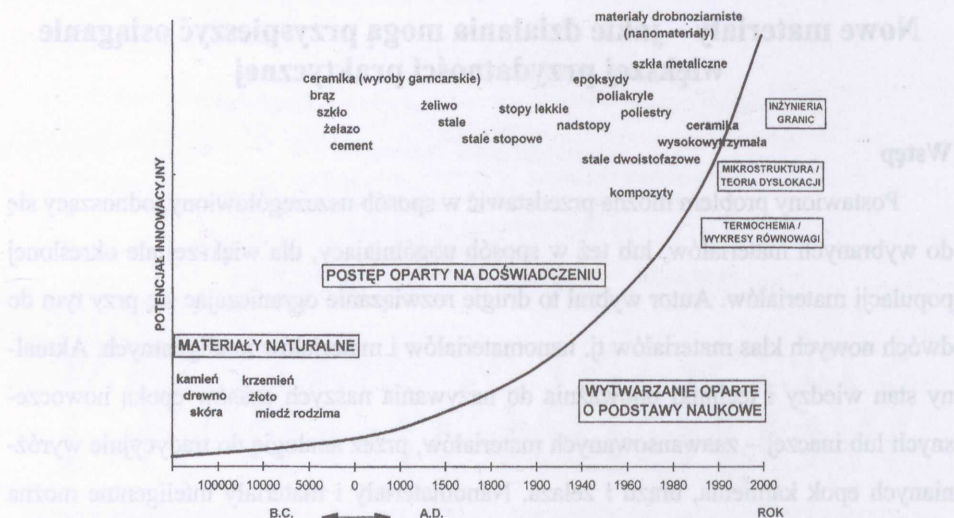
Nowe materiały – jakie działania mogą przyspieszyć osiągnięcie większej przydatności praktycznej

Wstęp

Postawiony problem można przedstawić w sposób uszczegółowiony, odnoszący się do wybranych materiałów, lub też w sposób uogólniający, dla większej ale określonej populacji materiałów. Autor wybrał to drugie rozwiązanie ograniczając się przy tym do dwóch nowych klas materiałów tj. nanomateriałów i materiałów inteligentnych. Aktualny stan wiedzy i techniki upoważnia do nazywania naszych czasów epoką nowoczesnych lub inaczej – zaawansowanych materiałów, przez analogię do tradycyjnie wyróżnianych epok kamienia, brązu i żelaza. Nanomateriały i materiały inteligentne można nazwać zarówno nowoczesnymi jak i zaawansowanymi.

W ciekawy sposób zilustrował E.D. Hondros zmianę asortymentu materiałów, którymi mógł dysponować człowiek od zamierzchłej przeszłości do około 2000 roku (rys. 1). Na wykresie tym nie są uwidocznione tradycyjne epoki, ale łatwo odczytać, że epoka kamienna dysponowała materiałami naturalnymi, a epoki brązu i żelaza cechowały się znakomitą wykorzystaniem wcześniej zdobytej wiedzy i doświadczenia praktycznego. Okres II Wojny Światowej stanowi początek epoki materiałów zaawansowanych, których wytwarzanie oparte jest o podstawy naukowe. Do tych podstaw Hondros zalicza inżynierię granic (interfaces), kształtowanie struktury (na poziomie uwzględniającym nanostrukturę), teorię defektów struktury krystalicznej, termochemię i teorię równowagi faz. Na osi pionowej wykresu mierzony jest potencjał innowacyjny, przy czym materiałom nowszym przypisany jest większy oczywiście udział w tworzeniu cywilizacji technicznej. Miejsce ulokowania nanomateriałów na wykresie świadczy, że już 10 lat temu przypisywano im bardzo dużą wartość potencjału innowacyjnego. Dokonując uogólnienia sensu rys. 1 i dopowiadając nieco można uznać, że w poprzednich epokach nowe rodzaje materiałów powstawały z dużym udziałem obserwacji zjawisk natomiast w epoce materiałów zaawansowanych sama obserwacja zjawisk nie wystarcza – konieczna jest znajomość mechanizmów wywołujących te zjawiska, oparta na

wiedzy podstawowej z kilku dyscyplin (chemii, fizyki, inżynierii materiałowej) lub też naukowe wyjaśnienie istotnych zależności.



Rys. 1. Ewolucja znaczenia innowacyjnego materiałów
(na podstawie Hondros E.D., Mater. Sci. Eng. A 166 (1993) 1)

Warto w tym miejscu posłużyć się dobrze znanym przykładem. Zjawisko umacniania wydzieleniowego w niektórych stopach aluminium zaobserwował Wilm w 1906 r., ale próby przedstawienia mechanizmu powstały dopiero w 1919 r. (Merica, Waltenberg i Scott) a strukturalna jego weryfikacja i teoretyczna koncepcja dopiero w 1938 r. (Guinier i Preston). Stało się to wówczas gdy dostępne już były nowoczesne metody badań (TEM, zaawansowana dyfrakcja rentgenowska). Umacnianie wydzieleniowe wykorzystywano w skali przemysłowej w latach trzydziestych XX w., ale teoretyczne wyjaśnienie jego mechanizmu nastąpiło później. Przykład ten dowodzi, że zaobserwowane zjawisko można wykorzystać praktycznie, ale później konieczne staje się stworzenie podstaw teoretycznych.

Przykładem wykorzystania wiedzy teoretycznej (znanego teoretycznie mechanizmu) jest zastąpienie w stopach metali do pracy w wysokich temperaturach mechanizmu umocnienia wydzieleniowego (niedostatecznie stabilnego) umocnieniem cząstkami o dużej stabilności cieplnej. W efekcie opracowano w latach siedemdziesiątych XX w. rodzinę stopów ODS (a przy okazji powstała metoda mechanicznej syntezy stopów MA).

Nanomateriały

Znaczenie nanotechnologii dla nowych rozwiązań praktycznych jest wyjątkowe: nie- sie ona rewolucyjne możliwości zmiany właściwości materiałów i wyrobów na nich opar- tych, uważana jest za jeden z trzech (obok zaawansowanych technik informatycznych i biotechnologii) filarów postępu technicznego w XXI w. Na potencjalne możliwości wy- nikające z kształtowania struktury materiałów na poziomie nanometrycznym zwrócił uwagę Richard Feynman w wizjonerskim wystąpieniu w American Physical Society w 1960 r. Mimo niepełnej wiedzy teoretycznej i braku doświadczenia w wytwarzaniu mate- rialów o takiej strukturze uzyskano w ciągu 40 lat a zwłaszcza w okresie ostatnich 10-15 lat wyniki doświadczone wskazujące na możliwość otrzymywania nowej jakości zarów- no w przypadku materiałów konstrukcyjnych (metalicznych, ceramicznych, organicz- nych) jak i funkcjonalnych (np. elektronicznych, magnetycznych, stosowanych w ogni- wach elektrycznych). Nowa jakość wynika z porównania właściwości materiałów poli- krystalicznych o strukturze mikrometrycznej i nanometrycznej o tym samym składzie chemicznym i może dotyczyć np. zwiększonej dyfuzyjności, lepszych wskaźników wła- ściwości magnetycznych, aktywności katalitycznej, szczególnie dużych wartości wskaź- ników wytrzymałości lub twardości, zwiększonej ciągliwości i wiązkości. Można także wymienić szereg potencjalnych i już istniejących zastosowań tych materiałów. Jednocze- śnie mimo znacznego postępu wiedzy podstawowej w zakresie relacji „struktura nanofaz – właściwości fizyczne lub chemiczne” istnieje brak dostatecznej wiedzy pozwalającej na projektowanie (i wytwarzanie) materiałów o strukturze nanometrycznej, wykazujących optymalny zestaw właściwości np. mechanicznych.

Literatura naukowa i popularna używa nazw: „nanostruktura”, „nanomateriały”, „nanotechnologia”. Nazwa nanostruktura dość dobrze kojarzy się z taką strukturą, której elementy mają wymiary nanometryczne. Nie można natomiast spotkać ogólnie akcep- towanej definicji nanomateriału, a niektórzy autorzy publikacji naukowych stwierdzają, że istniejące definicje są niejednoznaczne.

Niejednoznaczność wynika z dwóch powodów:

- brak jest określenia maksymalnego wymiaru elementów struktury,
- brak jest zdefiniowania jaki udział objętościowy elementów nanostruktury (w ca- łej objętości) pozwala uznać materiał za nanomateriał.

Maksymalny wymiar elementów nanostruktury podawany jest zwykle jako 100 nm, ale czasami jest dodawane „lepiej 50 nm” lub „przynajmniej w jednym kierunku”. Z aktualnej literatury wynika, że coraz większym zainteresowaniem cieszy się przedział „10 do 20 nm”. Każdy z tych wymiarów granicznych oparty jest na przesłankach teoretycznych lub wynikających z badań doświadczalnych. Wymiary te mogą być nieidentyczne, w zależności od rodzaju właściwości stanowiących podstawę oceny np. właściwości mechaniczne, właściwości magnetyczne.

Znakomita większość badań doświadczalnych przeprowadzana jest przy strukturze nanometrycznej w stu procentach. Jednocześnie pojawia się problem wytworzenia takiej struktury, oczekiwanej np. wówczas gdy właściwości mechaniczne nanomateriału miałyby być wykorzystywane w konstrukcjach technicznych. Stosunkowo łatwo można otrzymać proszki (cząstki), cienkie warstwy lub taśmy, ale wytworzenie z nich materiału masywnego (bulk) jest zwykle związane z rozrostem ziarna, co stanowi istotne ograniczenie (tabela 1).

Tabela 1. Przykłady metod wytwarzania nanomateriałów metalicznych

Technika	Postać produktu
- b. szybkiego krzepnięcia - intensywnego mielenia - elektrokryształizacji - osadzania z roztworu - intensywnego odkształcania - plastycznego obiektów masywnych	- cienkie taśmy, cząstki - cząstki - warstwy, niewielkie kształtki - warstwy - obiekty masywne

W przypadku kontrolowanego wyżarzania taśm amorficznych otrzymywanych techniką b. szybkiego krzepnięcia proces nanokryształizacji nie zawsze doprowadzany jest do końca i struktura składa się z nanokryształów i struktury amorficznej. Czy w tym przypadku otrzymuje się nanomateriał czy nanokompozyt?

Dla uniknięcia komplikacji ograniczmy się do materiałów metalicznych i niektórych metod ich wytwarzania. W przypadku otrzymywania cząstek lub cienkich taśm uzyskanie obiektu masywnego wymaga konsolidacji. Jednym ze stosowanych sposobów jest izostaticzne prasowanie na gorąco (HIP) przy ciśnieniach 200-300 MPa i temperaturach nie

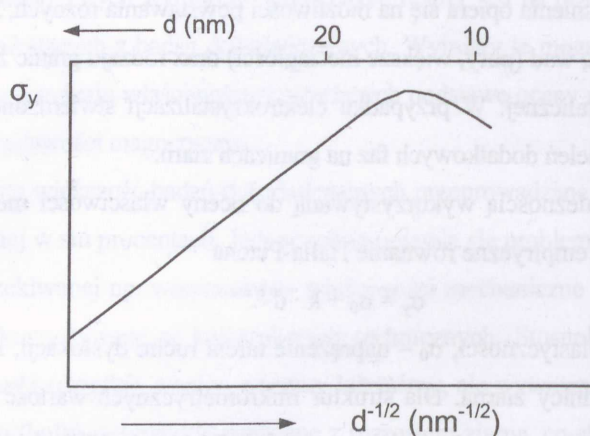
przekraczających 0,5-0,65 temp. topnienia. Ważnym spostrzeżeniem jest to, że metoda wytwarzania może, przy tym samym składzie chemicznym materiałów i tej samej wielkości elementów nanostruktury, mieć wpływ na plastyczność i odkształcenie w momencie pęknięcia. Próba wyjaśnienia opiera się na możliwości powstawania różnych, zależnych od metody wytwarzania, wad (pory, większe nieciągłości) oraz rodzaju granic ziarn i innych defektów sieci krystalicznej. W przypadku elektrokryształizacji stwierdzono możliwość pojawienia się wydzielen dodatkowych faz na granicach ziarn.

Podstawową zależnością wykorzystywaną do oceny właściwości mechanicznych nanomateriałów jest empiryczne równanie Halla-Petcha

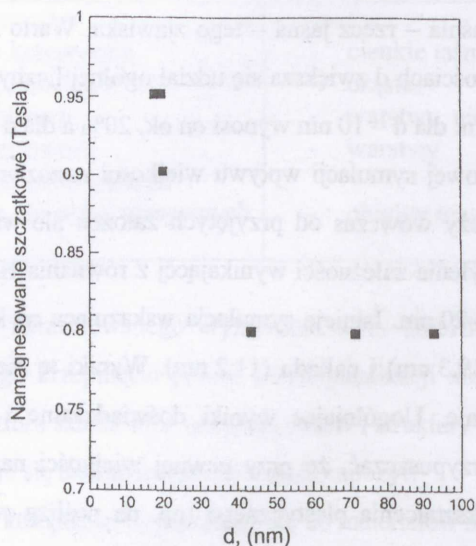
$$\sigma_y = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$$

gdzie σ_y – granica plastyczności, σ_0 – naprężenie tarcia ruchu dyslokacji, k – stała, d – średnia wartość średnicy ziarna. Dla struktur mikrometrycznych wartość granicy plastyczności wzrasta wówczas, gdy maleje wartość d . Równanie Halla-Petcha sprawdza się dla nanostruktur do wartości d równej około 20 nm (zależnej od rodzaju nanomateriału). Przy mniejszych od wymienionej wartości d wyliczona z wzoru Halla-Petcha wartość σ_y maleje. Inaczej – oznacza to, że wartość σ_y osiąga maksimum przy odpowiednio małej wartości d (rys. 2). Interpretacja równania Halla-Petcha według modelu Cottrella lub Li nie wyjaśnia – rzecz jasna – tego zjawiska. Warto zauważyć, że przy zmniejszających się wartościach d zwiększa się udział ogólnej liczby atomów znajdujących się w granicach ziarn: dla $d = 10$ nm wynosi on ok. 20% a dla $d = 5$ nm – ok. 50%. Podjęto próby komputerowej symulacji wpływu wielkości nanoziarna na właściwości mechaniczne. Wiele zależy wówczas od przyjętych założeń ale większość symulacji potwierdza zmianę nachylenia zależności wynikającej z równania Halla-Petcha dla nanoziarn o wymiarach 10-20 nm. Istnieje symulacja wskazująca na krytyczną wielkość nanoziarna dla miedzi (19,3 nm) i palladu (11,2 nm). Wyniki te nie zostały dotąd potwierdzone doświadczalnie. Uogólniając wyniki doświadczalne i wyniki symulacji komputerowej można przypuszczać, że przy pewnej wielkości nanoziarna następuje zmiana mechanizmu odkształcenia plastycznego (np. na poślizg w granicach ziarn). Analiza ograniczyła się do wpływu wielkości nanoziarna na właściwości mechaniczne materiałów metalicznych. Literatura przedstawia podobne zależności w innych przypadkach, przy czym niekoniecznie korzystne wymiary ziarna będą takie same. Rys. 3

przedstawia korzyści jakie można*uzyskać w materiale magnetycznie twardym, bez wskazania krytycznej w tym przypadku wielkości nanoziarna.



Rys. 2. Schemat doświadczalnego przebiegu zależności $\sigma_y = f(d)$, z uwidocznionym przebiegiem krzywej



Rys. 3. Wpływ wielkości nanoziarna d na wartość namagnesowania szcztakowego magnesu Nd-Fe-B (na podstawie A.Manaf i współaut., J.Magn.Magn.Mater. 101 (1991) 360)

Intencją niniejszego wykładu jest nie tyle przedstawienie stanu wiedzy i możliwości jej wykorzystania do otrzymywania praktycznie użytecznych nanomateriałów ale wskazanie obszarów koncentracji niezbędnych działań nauki o materiałach i inżynierii materiałowej dla dalszego postępu w obszarze uważanym za kluczowy dla rozwoju w XXI w.

Ostatnia dekada przyniosła szereg nowych osiągnięć ale jednocześnie wykazała obszary wymagające dalszych badań:

1. Fakty doświadczalne pozwalają na lepsze zrozumienie możliwości wykorzystania nanostruktury dla kształtowania właściwości materiałów. Jednocześnie jednak brak jest niejednokrotnie podstaw teoretycznych mogących stanowić podstawę bardziej świadomego a przez to skutecznego wytwarzania nanomateriałów.

2. Istnieje szereg metod pozwalających na otrzymywanie materiałów z ziarnem o wymiarach nanometrycznych, ale brak jest jeszcze skutecznych sposobów otrzymywania takiego ziarna w przedmiotach masywnych. Ponadto publikacje wskazują na zróżnicowane własności nanomateriałów otrzymywanych różnymi metodami przy tym samym podstawowym składzie chemicznym i wielkości ziarna.

3. Specyfika materiałów z ziarnem nanometrycznym wymaga nadal doskonalenia metod i metodyki ich charakteryzacji. Przykładem może być określenie średniej wielkości ziarna (zwykle w strukturze występuje mieszanina ziarna o różnych wymiarach, np. od 20 do 70 nm). Różnice wielkości średniego ziarna określanej różnymi metodami dyfrakcji rentgenowskiej (np. Scherrera lub Warrena i Averbacha) oraz w TEM są znaczne a jest to przecież podstawowy parametr charakteryzacji nanostruktury.

Materiały inteligentne

W latach osiemdziesiątych XX w. pojawiło się zainteresowanie materiałami, które zaczęto określać jako inteligentne. Warto zauważyć, że aczkolwiek niektóre grupy materiałów, które obecnie zaliczane są do materiałów inteligentnych (np. stopy z pamięcią kształtu, materiały ceramiczne o właściwościach piezoelektrycznych) były znane i stosowane wcześniej to jednak narastające oczekiwania projektantów nowatorskich rozwiązań technicznych spowodowały zainteresowanie się różnorodnymi materiałami umożliwiającymi realizację koncepcji zaawansowanej techniki. Zwykle trudno jest w przypadku nowych materiałów określić moment osiągnięcia ich dojrzałości do praktycznego wykorzy-

stania ale na przykład w Japonii uważa się, że koncepcja materiałów inteligentnych stała się wyraźniejsza w wyniku realizacji w latach 1987-1989 pionierskiego programu rządowego. Lata dziewięćdziesiąte XX w. to niezwykle duże zainteresowanie i burzliwy rozwój badań naukowych w obszarze materiałów inteligentnych. Pojawiły się bardzo liczne publikacje, m.in. w specjalistycznych czasopismach jak np. Journal of Intelligent Material Systems and Structures lub Smart Materials and Structures. Ostatnio ukazały się także pierwsze opracowania encyklopedyczne.

W literaturze światowej spotyka się zróżnicowane nazewnictwo: „intelligent materials”, „smart materials”, „adaptive materials”.

Nie ma aktualnie powszechnie akceptowanej definicji materiałów inteligentnych, brak jej także w wydanej ostatnio encyklopedii. Taką wprowadza rozróżnienie między „smart” i „intelligent materials”. Jego zdaniem materiał inteligentny to taki, który jest zdolny do reagowania na bodźce zewnętrzne przez istotną zmianę swych właściwości dla pożądanego i skutecznego odpowiedzenia na te bodźce. Stosując terminologię informatyki materiał inteligentny powinien spełniać funkcję czujnika (sensora), procesora i „urządzenia” uruchamiającego -aktuatora (przekazującego uzyskany efekt) a jednocześnie właściwości te powinny wykazywać cechy sprzężenia zwrotnego (feed back and feed forward). Występowanie tylko 2 lub 3 z wymienionych cech nie wystarcza do zaliczenia materiału do klasy materiałów inteligentnych. Taką uważa, że „smart” ogranicza się do uzyskania efektu zmiany właściwości pod wpływem działania bodźców zewnętrznych w sposób przewidywalny. Ważne jest uzyskiwanie efektu w czasie rzeczywistym lub w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

Z przeglądu dostępnej literatury (za okres od 1995 r.) można wnioskować, że większość autorów traktuje nazwy „smart” i „intelligent” jako synonimy.

Można wyróżnić najważniejsze grupy materiałów inteligentnych (tabele 2 i 3).

Tabela 2. Współczesne materiały inteligentne – przedmiot zaawansowanych badań i praktycznego wykorzystania

- stopy metali z pamięcią kształtu
- ceramiczne materiały piezoelektryczne
- polimerowe materiały piezoelektryczne
- materiały magnetostrykcyjne
- ciecze reologiczne (elektroreologiczne i magnetoreologiczne)

Tabela 3. Materiały inteligentne – przedmiot badań rozwojowych i prób praktycznego wykorzystania

- materiały elektrochromowe
- materiały chiralne
- dielektryki dostosowujące się do bodźców zewnętrznych
- materiały i kompozyty polimerowe (np. z pamięcią kształtu, polimery przewodzące, polimerowe ciecze jonowe, nanokompozyty)
- światłowody

W ciągu zaledwie kilkunastu lat pojawiła się nowa klasa materiałów, do której należą przedstawiciele wszystkich podstawowych rodzajów materiałów (metali, ceramiki, polimerów, kompozytów). Wyróżnikiem materiałów tej klasy jest reagowanie na bodźce zewnętrzne w sposób umożliwiający minimalizowanie skutków niepożądanych oddziaływań zewnętrznych lub odwrotnie – intensyfikowanie skutków pożądaných. Można zauważyć, że jest to reagowanie przystosowawcze (adaptacyjne) analogiczne do pojawiających się w biologii.

Materiały inteligentne są oparte na wiedzy z obszaru zarówno inżynierii materiałowej jak i nauk podstawowych (fizyka, chemia, matematyka) i wykorzystują efekty synergiczne. Rozwój materiałów inteligentnych podporządkowany jest tworzeniu możliwości realizacji określonych celów praktycznych. Uważa się, że materiały inteligentne są istotne dla rozwoju wielu dziedzin techniki - zarówno zaawansowanej jak i stosowanej w życiu codziennym.

Znaczenie materiałów inteligentnych dokumentuje niezwykle duże natężenie działalności badawczej i liczne już efekty innowacyjne, wynikające z tej działalności. Można

oczywiście posługiwać się istniejącymi przykładami zastosowań wskazującymi na to, że możliwości wykorzystania materiałów inteligentnych nie mogą być ignorowane. Można także wskazać, że ich badania finansowane są poważnymi środkami m.in. przez Departament Obrony USA za pośrednictwem Army Research Office (ARO).

Materiały inteligentne mogą być wykorzystane samodzielnie albo też jako komponenty „struktur” konstrukcyjnych lub funkcjonalnych.

Rzeczywisty rozwój materiałów inteligentnych obejmuje nie tylko doskonalenie wcześniej znanych i stosowanych rodzajów tych materiałów ale także poszukiwanie nowych rodzajów materiałów, w których można wykorzystać zachowanie inteligentne.

Stwierdzenie to można zilustrować kilkoma przykładami, ograniczając się do materiałów, które znalazły już większe zastosowanie praktyczne (tabela 2).

Stopy z pamięcią kształtu mają zdolność do zapamiętywania nadanego kształtu, tzn. po poddaniu ich odkształceniu plastycznemu mogą w odpowiednich warunkach powrócić do poprzedniego kształtu. Skład chemiczny stopów wykazujących pamięć kształtu musi być tak dobrany aby można było wykorzystać odwracalną przemianę martenzytyczną. Stopami takimi są np. określone stopy z układów Ni-Ti, Cu-Al-Ni lub Cu-Al-Nb. Odwracalna przemiana martenzytyczna realizowana jest tradycyjnie w cyklu zmian temperatury. Przy rzeczywistych wymiarach wyrobów czas nagrzewania lub chłodzenia powoduje, że częstotliwość zmian (częstotliwość pracy) określana jest na 10^2 Hz, co nie jest wystarczające w wielu przypadkach. Pewne nadzieje wiąże się ze zjawiskiem magnetycznej pamięci kształtu, tj. powstawania dużych odkształceń pojawiających się pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Mechanizm tego zjawiska związany jest z reorientacją martenzytu w wyniku ruchu granic bliźniaczych, aktywowanym polem magnetycznym. Istnieją odmienne wymagania odnośnie składu chemicznego stopu, a dotyczą one charakteru przemiany martenzytycznej i rodzaju fazy martenzytycznej. Oczekuje się zwiększenia częstotliwości zmian (w strukturze). Jest to istotny kierunek badań. Innym jest stosowanie niekonwencjonalnych technik wytwarzania (melt-spinning, mechaniczna synteza). Podejmowane są prace nad kompozytami, w których występuje obok stopów z pamięcią kształtu inne materiały inteligentne np. magnetyczne i piezoelektryczne.

Polimery z pamięcią kształtu są stosunkowo nowym rodzajem materiałów inteligentnych. Powrót polimeru do kształtu pierwotnego (po usunięciu obciążenia wywołującego zmianę kształtu) wymaga ogrzania do temperatury wyższej niż temperatura przemiany zeszklenia T_g . Siłą napędową zjawiska nie są zmiany mikrostruktury fazowej lecz ruchy Browna. Zjawisko to może być wykorzystywane w termoplastycznych poliuretanach a także w polimerach złożonych z dwóch faz. Polimery z pamięcią kształtu znalazły już zastosowanie np. w czujniku temperatury i na szwy chirurgiczne.

Ceramiczne materiały piezoelektryczne są drugim ważnym rodzajem materiałów inteligentnych. Zjawisko piezoelektryczności zostało odkryte w 1880 r. ale pierwsze urządzenia wykorzystujące właściwości ceramiki piezoelektrycznej pojawiły się dopiero po 80 latach. Wiadomo, że odkształcenie sprężyste piezoelektryka wywołuje w nim powstanie wewnętrznego pola elektrycznego, ujawniające się ładunkiem elektrycznym na powierzchni (efekt piezoelektryczny prosty) a umieszczenie w polu elektrycznym prowadzi do zmiany jego wymiarów (efekt piezoelektryczny odwrotny). Zastosowanie ceramiki piezoelektrycznej jest wielorakie, przede wszystkim w odbiornikach i nadajnikach dźwięku ale także w sensorach i aktuatorach w systemach inteligentnych (tabela 4).

Tabela 4. Typowe zastosowania ceramiki piezoelektrycznej
(na podstawie „Materiały ceramiczne dla elektroniki” R. Pampuch,
St. Błażewicz, G. Górny, Wyd. AGH, 1993)

Wykorzystywane zjawisko	Zakres zastosowań
Efekt piezoelektryczny prosty	Odbiorniki dźwięku, mikrofony, hydrofony, generatory energii elektrycznej, generatory iskry, sensory (ciśnienia akustycznego, drgań)
Efekt piezoelektryczny odwrotny	Nadajniki dźwięku, silniki piezoelektryczne, piezoelektryczne transformatory, serwomechanizmy, aktuary
Rezonans piezoelektryczny	Rezonansowe stabilizatory częstotliwości, rezonansowe sensory ciśnienia, wilgoci i temperatury, filtry piezoelektryczne
Elektrostrykcja	Filtry piezoelektryczne, wzmacniacze

Podstawowymi ceramicznymi materiałami piezoelektrycznymi są aktualnie tytanian baru (BaTiO_3) oraz cyrkonian-tytanian ołowiu, który jest roztworem stałym cyrkonianu ołowiu (PbZrO_3) i tytanianu ołowiu (PbTiO_3). Drugi z tych materiałów znany jest pod nazwą PZT.

Oba te materiały są stosowane w rozwiązaniach technicznych, ale intensywnie poszukuje się zamienników nie posiadających ich wad. Tytanian baru ma gorsze właściwości niż PZT (tabela 5), którego poważną wadą z kolei jest znaczna zawartość toksycznego ołowiu (ok. 60% wag. Pb). Badania nad znalezieniem nowych piezoelektryków ceramicznych są w toku. Największe nadzieje związane są z niobianami np. magnezu, ale problemem jest koszt wytwarzania (pozytywne wyniki uzyskano dotąd dla monokryształów).

Tabela 5. Wybrane właściwości materiałów piezoelektrycznych

Piezoelektryk	d_{31}^a [pm/V]	g_{31}^a [mV m/N]	Impedancja akustyczna (10^6) [kg/m ² /s]	Gęstość [g/cm ³]	Główne cechy
PVDF	28	240	2,7	1,78	Giętki, lekki, o małej akustycznej i mecha- nicznej impedancji
PZT	175	11	30	7,5	Kruchy, ciężki, toksyczny
BaTiO_3	78	5	30	5,7	Kruchy, ciężki

Wspólną wadą piezoelektryków ceramicznych jest ich kruchość i duża gęstość. Ta druga cecha może w niektórych rozwiązaniach sprawiać trudności nie tylko ze względu na masę wyrobu, w którym występują, ale także z dużą impedancją akustyczną pomiędzy przetwornikiem i środowiskiem rozchodzenia się fali dźwięku. Zadowalającym rozwiązaniem może być w tym przypadku stosowanie kompozytów ceramika-polimer.

Interesującą alternatywą w stosunku do piezoelektryków ceramicznych stają się **polimery piezoelektryczne**. Wykrycie słabych efektów piezoelektrycznych w ścięgnaх i kościach wielorybów stało się impulsem do odpowiednio ukierunkowanych badań nad syntetycznymi polimerami. Wykryto, że słaby efekt piezoelektryczny może być uzyskany w wielu polimerach produkowanych na skalę przemysłową, np.

w polipropylenie, polistyrenie, poli(metakrylanie metylu), semikrystalicznym poliamidzie (nylon 11) ale dostatecznie silny efekt piezoelektryczny stwierdzono dotąd jedynie w poli(fluorku)winylidenu (PVDF) i jego kopolimerach (tabela 5). Najczęściej PVDF jest produkowany w postaci folii o grubości od 9 do 800 μm , co pozwala na miniaturyzację sensorów i aktuatorów.

Materiały magnetostrykcyjne należą do grupy materiałów inteligentnych, które przekształcają energię magnetyczną w energię odkształcenia sprężystego. Zjawisko to ma charakter odwracalny i dlatego materiały magnetostrykcyjne wykorzystywane są jako sensory i aktuary. Materiały te mogą w niektórych zastosowaniach zastępować materiały piezoelektryczne. Zjawisko magnetostrykcji zaobserwowano dla żelaza już 160 lat temu, późniejsze badania wykazały jego występowanie także w niklu, kobaltie i ich stopach. Wykorzystanie pierwiastków ziem rzadkich (Tb i Dy) czterdzieści lat temu doprowadziło do powstania nowej grupy materiałów o gigantycznej magnetostrykcji (GMM). Przykładem GMM może być Terfenol-D. Niedogodnością w praktycznym stosowaniu materiałów magnetostrykcyjnych jest konieczność użycia cewki i obwodu magnetycznego, co zwiększa gabaryty urządzeń i tym samym ogranicza możliwości wykorzystania. Z wielu możliwych zastosowań wymienić można bardziej spektakularne, np. w inteligentnych skrzydłach samolotu, zdolnych zmieniać swój profil w zależności od szybkości lotu i przez to zmniejszających zużycie paliwa. Perspektywiczne zastosowania to tłumienie lub generowanie drgań, monitorowanie stanu urządzeń konstrukcji i urządzeń a także w szczególności monitorowanie stanu materiałów kompozytowych.

Niezależnie od zebranych już doświadczeń i praktycznych zastosowań pożądane są badania nad otrzymaniem nowych materiałów magnetostrykcyjnych i możliwością ich wytwarzania np. w postaci cienkich folii oraz doskonaleniem metod monitorowania stanu konstrukcji inżynierskich z ich udziałem.

Do materiałów inteligentnych zaliczane są **ciecze reologiczne**. Mianem tym określa się ciecze (płyiny) w których znajduje się zawiesina bardzo drobnych cząstek, najczęściej ceramicznych lub metalicznych. Ośrodkiem, w którym znajdują się cząstki jest zwykle olej mineralny lub nafta. Bez działania pola elektrycznego **ciecz elektoreologiczna** wykazuje płynięcie Newtonowskie (napężenie ścinające jest proporcjonalne do

szybkości ścinania), natomiast pod wpływem tego pola zmienia charakter na Binghamski tzn. ciecz poniżej pewnego naprężenia krytycznego zachowuje się jak ciało stałe. W czasie rzędu milisekund następuje zmiana modułu ścinania o kilka rzędów wielkości. Zmianę tę można więc zarejestrować w czasie rzeczywistym, a jednocześnie jest ona odwracalna gdy znika pole elektryczne. Dla uzyskania skutecznego pola elektrycznego konieczne są duże napięcia prądu – rzędu kilowoltów. Podobne zachowanie wykazują **ciecze magnetoreologiczne**, dla których wystarcza napięcie 12-24 V (akumulator samochodowy). Skuteczność zmiany właściwości jest nieco mniejsza niż w przypadku cieczy elektoreologicznej. Oczywiście zawiesina to cząstki ferromagnetyczne. Ciecze reologiczne znalazły już zastosowanie do tłumienia drgań np. konstrukcji lotniczych, w amortyzatorach zawieszenia i siedzeń w ciężkich samochodach oraz elementach pochłaniających energię uderzenia a także w urządzeniach medycznych. Stwarzają one możliwości aktywnej kontroli układów mechanicznych. Charakterystyki mechaniczne obecnie stosowanych cieczy reologicznych są wystarczające dla wielu zastosowań. Niemniej jednak badania powinny być ukierunkowane na nowe ich rodzaje (w tym o odpowiedniej zdolności odprowadzenia ciepła i odpowiednich własnościach tribologicznych).

Nawet w ramach krótkiej prezentacji stanu aktualnego wiedzy o materiałach inteligentnych i ich obszarach zastosowania praktycznego nie można pominąć faktu pojawiania się nowych grup tych materiałów. Tabela 3 przedstawia kilka takich nowych materiałów. Na szczególną uwagę zasługują tu **materiały i kompozyty polimerowe**, których udział w obszarze materiałów inteligentnych stał się w okresie ostatnich 20-30 lat bardzo znaczący. Do niedawna wiedza o istnieniu polimerów z pamięcią kształtu lub polimerów piezoelektrycznych była skromna. Informacje przedstawione w tym opracowaniu wskazują o dojrzałości tych materiałów do praktycznego wykorzystania. W rozwoju znajdują się polimery przewodzące (elektroaktywne), polimerowe żele jonowe, polimery mogące być wykorzystane w cieczach reologicznych (jako osnowa) a także kompozyty: ceramika-polimer lub przewodzące, magnetyczne. Ważnym obszarem wykorzystania materiałów inteligentnych staje się monitorowanie stanu wyrobów z materiałów i kompozytów polimerowych, monitorowanie procesu ich wytwarzania i możliwości samonaprawy kompozytów polimerowych.

Słowo końcowe

Oceniając ogólnie można stwierdzić, że nowe materiały (takie jak nanomateriały i materiały inteligentne) stwarzają wyjątkowe możliwości innowacyjne, które stanowią będą podstawę zasadniczych zmian w rozwiązaniach technicznych XXI w. Uzyskiwanie użytecznych właściwości materiałów opiera się w coraz większym stopniu na umiejętności wykorzystania podstawowych zjawisk fizycznych lub chemicznych. Rozwój wiedzy i metod badawczych sprzyja lepszemu rozpoznaniu mechanizmów odpowiedzialnych za kształtowanie właściwości materiałów. Różnorodność i mnogość problemów zmusza jednocześnie do wybrania strategicznych kierunków badań naukowych oraz dokonanie koncentracji wysiłku badawczego nie tylko dla postępu naukowego ale także uzyskania praktycznej przydatności wyników badań.

Warto zauważyć, że obszerne opracowanie powstałe w UE pt. „European White Book of Fundamental Research in Materials Science” (Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, 2001) podkreśla w podsumowaniu od wydawcy znaczenie badań podstawowych ukierunkowanych w obszarze nauki o materiałach, wymieniając przy tym rodzaje priorytetowe w następującej kolejności:

1. nanomateriały
2. materiały inteligentne
3. materiały biomimetyczne.

Dobrze się stało, że dla koncentracji badań w obszarze nanomateriałów zostały uruchomione programy badawcze KBN. Istnieje także prawdopodobieństwo uruchomienia takiego programu w obszarze materiałów inteligentnych.

Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
CZ . 65925



001-065925-00-0

CZYTELNIA BG ZUT

14.12

CZYTELNIA BG ZUT

CZYTELNIA BG ZUT