

**„Nic nie jest trwale, z wyjątkiem zmian”**

*Heraklit z Efezu (535-475 p.n.e.)*

## Uwagi końcowe

Podsumowując informacje zawarte w niniejszej książce naukowej, którą właśnie oddaliśmy do rąk PT Czytelników, trudno nie podzielić się refleksjami ogólniejszej natury, które nasuwają się po jej opracowaniu i mamy głęboką nadzieję, że także po jej przestudiowaniu przez PT Czytelników. Sięgamy do myśli, która ma ponad 2,5 tysiąca lat, gdyż zmiany obserwujemy ciągle wokół nas. Dotyczą one również w znacznej mierze rzeczywistości technicznej i gospodarczej.

Oswojenie się ze zmianami, a nawet zarządzanie nimi, jest współcześnie ważnym wyzwaniem, z którym musi się zmierzać niemal stale, każdy człowiek. Trzeba nauczyć się te zmiany przewidywać i wykorzystywać w aktywności technicznej i gospodarczej. Stąd, część niniejszej książki poświęciliśmy aplikacji nowoczesnej metodologii naukowej e-foresightu technologicznego, jako metody naukowego przewidywania przyszłościowego rozwoju materiałów i technologii procesów materiałowych, a równocześnie racjonalnego sposobu oddziaływania środowiska naukowego na kreowanie pożądanego scenariusza kształtowania tegoż rozwoju. Dlatego też sporo uwagi zwróciliśmy w tej książce na zagadnienia predykcji struktury i własności analizowanej grupy materiałów inżynierskich z wykorzystaniem rozwijanej m.in. przez nas metodologii komputerowej nauki o materiałach, w tym głównie z wykorzystaniem narzędzi inteligencji obliczeniowej, często nazywanej także sztuczną inteligencją, służącej w razie rozwiązania zadania odwrotnego wprost do zaplanowania zmian składu chemicznego i warunków procesów technologicznych, dla uzyskania najkorzystniejszych własności użytkowych produktów wytwarzanych z analizowanych stopów Mg-Al-Zn.

Niewątpliwie żyjemy w epoce stopów metali, mogłoby się wydawać stali. Jakże to oceniać inaczej, skoro 1-litrowa butelka wody mineralnej, tak niezbędnej do życia, w co nie wątpi nikt, bywa znacznie droższa od 1 kg stali. Nasze życie, choć z innych powodów, niż w przypadku wody, nie jest dziś do wyobrażenia bez stali i innych stopów metali. Według informacji przekazanych przez World Steel Association, światowa produkcja stali wyniosła w 2011 roku 1527 mln ton, co jest rekordem historycznym. Światowa produkcja stali wzrosła w 2011 roku

o 6,8% w stosunku do roku poprzedniego. Nadal liderem pozostają Chiny, z produkcją roczną 695,5 mln ton w 2011 roku i ze wzrostem o 8,9 proc. w stosunku do roku 2010. Równocześnie udział Chin w produkcji światowej stali wzrósł w okresie tego roku z 44,7 do 45,5%.

Pomimo tak wielkiej dominacji stali, jako materiału konstrukcyjnego, nade wszystko ze względu na znaczną gęstość tego materiału, intensywnie rozwija się rynek materiałów inżynierskich alternatywnych. Stopy metali lekkich, a wśród nich magnezu, odgrywają tu pierwszoplanową rolę. Magnez czterokrotnie lżejszy od stali i o około 30% lżejszy od aluminium, nazywany jest często, zwłaszcza przez dziennikarzy, „metalem przyszłości”. Jest powszechnie występującym pierwiastkiem o praktycznie nieograniczonych zasobach, jako jeden z najczęściej występujących pierwiastków w skorupie ziemskiej w udziale ok. 2,5% m.in. w minerałach, takich jak dolomity i magnezyty, a także występującym w wodzie morskiej. Przykładowo w 1 km<sup>3</sup> wody morskiej występuje ok. 1,5 mln ton tego pierwiastka, co odpowiada kilkuletniemu zapotrzebowaniu przemysłu światowego. Stopy magnezu wykorzystuje się powszechnie w przemyśle motoryzacyjnym (obecnie w seryjnie produkowanych samochodach masa elementów ze stopów magnezu wynosi 7 do 21 kg), elektronice (m.in. obudowy laptopów, PDA, telefonów komórkowych, GPS, kamer termowizyjnych, modemów przemysłowych pokrywy ekranów LCD, obramowania cyfrowych ramek foto), w przemyśle lotniczym, elektrotechnice oraz na elementy budowlane, a także w przemyśle zbrojeniowym, optycznym, sportowym i innych. Według United States Geological Survey (USGS) Minerals Resources Program, światowa roczna produkcja pierwotnego magnezu, którego podstawowym źródłem są rudy dolomitowe, według stanu na 31 grudnia 2010 roku, wyniosła 757 tys. ton, wzrastając w ciągu 5 lat o ponad 12%, gdy natomiast jeszcze w roku 2002 wynosiła tylko 448 tys. ton. Podobnie, jak w przypadku stali, światowym liderem są Chiny z roczną produkcją magnezu pierwotnego 654 tys. ton na koniec roku 2010 i z blisko 85% udziałem w światowej produkcji. Jak podaje w połowie listopada 2011 roku China Non-Ferrous Metals Industry Association, w pierwszych 3 kwartałach 2011 roku nastąpił dalszy 3% wzrost produkcji magnezu pierwotnego do ponad 503,7 tys. ton w okresie od 1 stycznia do 30 września 2011 roku.

Nic dziwnego, że stopy magnezu są od co najmniej kilku lat obiektem intensywnych badań naukowych, w tym również wykonywanych przez Zespół Pracowników Zakładu Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach, których wyniki w dużej mierze stanowią treść niniejszej książki naukowej. Całość opracowania

podzielono na 8 głównych rozdziałów. W pierwszej części opracowania zaprezentowano ogólną charakterystykę stopów magnezu i ich dodatków stopowych oraz stosowane obecnie metody ich odlewania. Druga część studium, powiązana z indywidualnymi wynikami badań wykonanych przez Autorów pracy dotyczących stopów Mg-Al-Zn, opisuje liczne wyniki badań własnych, dotyczących wpływu szybkości chłodzenia oraz stężenia masowego aluminium na kinetykę krystalizacji stopów, a więc temperaturę przemian fazowych oraz ciepło krystalizacji stopu, jak i poszczególnych faz. Wpływ warunków obróbki cieplnej oraz różnych ośrodków chłodzących na strukturę i własności stopów stanowi kolejne opisane zagadnienie. Do bardzo nowoczesnych metod poprawy własności użytkowych wielu materiałów inżynierskich należy obróbka powierzchniowa. Nie inaczej jest w przypadku stopów Mg-Al-Zn. W niniejszej książce zaprezentowano wyniki badań własnych dotyczących nanoszenia warstw powierzchniowych metodą chemicznego i fizycznego osadzania z fazy gazowej CVD i PVD. Przedstawiono również wyniki badań dotyczących laserowej obróbki powierzchniowej stopów Mg-Al-Zn. Analiza wpływu obróbki powierzchni przeprowadzonej poprzez szybkie nagrzewanie, a następnie szybką krystalizację, w procesie wtapienia laserowego węglików tytanu, wolframu, wanadu, niobu, krzemu, tantalu i tlenku aluminium przy zastosowaniu laserów diodowych dużej mocy (HPDL) na strukturę i własności badanych materiałów, zawarta jest w kolejnej części opracowania. Supernowoczesny i bezdotykowy sposób transferu energii z wykorzystaniem promieniowania laserowego należy do najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów technologicznych i dlatego oryginalne wyniki badań w tym zakresie prezentowane w niniejszej książce, zasługują na szczególną uwagę PT Czytelników. Jak wykazały interdyscyplinarne badania metodami foresightu technologicznego, obejmujące eksperymenty materiałoznawcze, w szczególności: mikroskopię świetlną i skaningową, rentgenowską analizę fazową jakościową i analizę rozkładu powierzchniowego pierwiastków oraz badania własności mechanicznych (twardości, mikrotwardości) i chropowatości, a także badania eksperckie, pozwalające na określenie długoterminowych perspektyw rozwoju odlewniczych stopów magnezu poddanych obróbce laserowej, ta właśnie ta technologia należy do grupy technologii krytycznych, od których zdaniem ponad 80% ekspertów, zależy wystąpienie pozytywnego scenariusza rozwoju Kraju i Kontynentu w najbliższym 20-leciu. Rozdział obejmujący wyniki badań materiałoznawczo-heurystycznych w odniesieniu do stopów Mg-Al-Zn, wykonanych w oparciu o autorską oryginalną metodologię badawczą e-foresightu, stanowi niezwykle wartościową część niniejszej książki, decydując m.in. o jej oryginalności

naukowej i wkładzie do rozwoju inżynierii materiałowej i nauki o materiałach. Ostatni z obszernych rozdziałów opracowania zawiera analizę komputerową, umożliwiającą wyznaczenie i/lub predykcję zjawisk zachodzących w materiałach, w tym w odlewniczych stopach magnezu Mg-Al-Zn, przy wykorzystaniu sieci neuronowych, w zakresie optymalizacji warunków obróbki cieplnej, modelowania struktury i własności mechanicznych na podstawie temperatury przemian fazowych oraz szybkości chłodzenia, jak również modelowania własności mechanicznych powierzchni stopów magnezu przetapianych i modyfikowanych powierzchniowo poprzez wtapianie laserowe. Należy zwrócić uwagę, że nadal awangardowa metodologia komputerowej nauki o materiałach, rozwijana przez Autorów opracowania w ramach prac własnych, stanowi atrakcyjny i nowoczesny aparat projektowania materiałów inżynierskich i technologii procesów materiałowych, a aplikacje przedstawione w niniejszym opracowaniu stanowią jedynie przykład wykorzystania dostępnego i rozwijanego aparatu metodycznego, do rozwiązywania zagadnień inżynierskich. Stanowi to również o oryginalności podejścia i wkładzie Autorów w rozwój metodologii badań w zakresie inżynierii materiałowej i nauki o materiałach. Całość opracowania merytorycznego tej książki zostaje zamknięta niniejszymi ogólnymi uwagami, dotyczącymi perspektyw rozwojowych analizowanych stopów lekkich i dotyczących ich badań materiałoznawczych.

Zważywszy, że książka jest przeznaczona dla studentów, jak i doktorantów oraz pracowników naukowych uczestniczących w Projekcie INFONANO pt. „Otwarcie i rozwój studiów inżynierskich i doktoranckich w zakresie nanotechnologii i nauki o materiałach” od kilku lat realizowanym w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki przez Zespół Pracowników Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach, uzupełniono ją o zbiór materiałów dydaktycznych, zawierających m.in. instrukcje do ćwiczeń.

Książkę przekazujemy do rąk PT Czytelników, w przeświadczeniu że pozytywnie przyczyni się do rozszerzenia wiedzy o stopach Mg-Al-Zn, jako niezwykle atrakcyjnej i perspektywicznej grupy materiałów inżynierskich, w tym także do rąk Uczestników Projektu INFONANO, z nadzieją na zainteresowanie Studentów tym atrakcyjnym materiałem inżynierskim i z uzasadnionym oczekiwaniem lepszej adaptacji Absolwentów Uczelni do potrzeb rozwijającego się rynku pracy oraz konkurencyjnych i innowacyjnych przedsiębiorstw.