



**ĆWICZENIA LABORATORYJNE
DOTYCZĄCE
STOPÓW Mg-Al-Zn**

„Usus efficacissimus rerum omnium magister”*“Praktyka to najskuteczniejsza nauczycielka wszechrzeczy”**Gaius Plinius Secundus (Maior)(23-79)*

UZUPEŁNIAJĄCE MATERIAŁY DYDAKTYCZNE

Książkę uzupełniono o zbiór materiałów dydaktycznych, zawierających instrukcje do ćwiczeń, wraz z zestawem przykładowych obrazów struktur metalograficznych stopów Mg-Al-Zn i przykładowymi wynikami pomiarów wybranych własności tych stopów po różnych operacjach obróbki objętościowej i powierzchniowej, umożliwiającym studentom wykonanie samodzielnych eksperymentów, z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury laboratoryjnej, którą m.in. dysponują Laboratoria Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W poniższej tabelicy zestawiono tematy ćwiczeń możliwych do wykonania przez studentów.

1.	Badania metalograficzne stopów magnezu w stanie lanym
2.	Przebieg krystalizacji i procesów wydzieleniowych w stanie stałym podczas chłodzenia stopów magnezu
3.	Wpływ warunków obróbki cieplnej na strukturę stopów magnezu
4.	Powłoki fizycznie osadzone z fazy gazowej na stopach magnezu
5.	Powłoki chemicznie osadzone z fazy gazowej na stopach magnezu
6.	Struktura stopów magnezu po obróbce laserowej
7.	Badania procesów wydzieleniowych w stopach magnezu metodami transmisyjnej mikroskopii elektronowej
8.	Badania własności mechanicznych stopów magnezu po obróbce cieplnej i powierzchniowej
9.	Odporność na korozję stopów magnezu obrobionych cieplnie i powierzchniowo
10.	Aplikacje sztucznych sieci neuronowych do modelowania własności stopów magnezu po obróbce cieplnej i powierzchniowej

1.

BADANIA METALOGRAFICZNE STOPÓW MAGNEZU W STANIE LANYM

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- wykonanie preparatów z odlewniczych stopów Mg-Al-Zn w stanie lanym w postaci zglądów metalograficznych,
- dobór odpowiedniej metody i odczynników trawiących w celu prawidłowego ujawnienia struktury badanych materiałów,
- badania odlewniczych stopów Mg-Al-Zn w stanie lanym na mikroskopie świetlnym i w skaningowym mikroskopie elektronowym.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- komputerowy program doboru warunków przygotowywania preparatów, metalogram firmy Struers, tablice z odczynnikami i warunkami trawienia,
- przecinarkę ścierną Discotom-60 firmy Struers oraz tarcze do cięcia metali nieżelaznych,
- prasę do inkludowania na gorąco CitoPress-20 firmy Struers,
- żywicę MultiFast do prac rutynowych oraz żywicę PolyFast zalecaną do próbek badanych w skaningowym mikroskopie elektronowym,
- stanowisko do impregnacji próżniowej CitoVac firmy Struers,
- szlifierko-polerkę ręczną LaboPol-25 oraz półautomatyczną LaboPol-5 firmy Struers,
- szlifierko-polerkę Tegramin-5 firmy Struers,
- tarcze do szlifowania o gradacji odpowiedniej dla procesu przygotowania zglądów ze stopów magnezu, tj.: 220, 500, 800, 1200, 2400 firmy Struers,
- filcowe tarcze polerskie MDNap wraz z pastami diamentowymi o wielkości ziarna 9, 6, 3 i 1 μm wraz z płynem chłodzącym Blue firmy Struers,
- napylarkę próżniową Bal-Tec SCD 050,
- metalograficzny mikroskop świetlny Abrascope-3 firmy Carl Zeiss,
- elektronowy mikroskop skaningowy Supra 35 firmy Carl Zeiss,
- stanowisko laboratoryjne do elektrolitycznego polerowania oraz trawienia zglądów metalograficznych LectroPol-5 firmy Struers,
- próbki do badań metalograficznych pobrane z odlewniczych stopów magnezu MCMgAl12Zn1, MCMgAl9Zn1, MCMgAl6Zn1, MCMgAl3Zn1,

- zestaw odczynników do trawienia:

Lp.	Skład chemiczny odczynnika	Zastosowanie odczynnika
1.	2 g kwasu szczawowego $C_2H_2O_4$, 98 cm ³ wody destylowanej	trawienie chemiczne zgładów; ujawnia strukturę i granice ziarn w odlewach po analizie termiczno-derywacyjnej
2.	3 cm ³ kwasu azotowego HNO_3 (65%), 97 cm ³ etanolu C_2H_5OH (96%)	trawienie chemiczne zgładów; ujawnia strukturę i granice ziarn w odlewach oraz makrostrukturę napoin
3.	5 cm ³ kwasu fluorowodorowego HF (40%), 95 cm ³ wody destylowanej, MoO ₃ do nasycenia roztworu	trawienie chemiczne zgładów w stanie lanym; ujawnia wydzielenia oraz granice ziarn
4.	10 cm ³ kwasu chlorowodorowego HCl (36%), 1000 cm ³ metanolu CH_3OH (100%)	trawienie elektrochemiczne zgładów w stanie lanym; ujawnia wydzielenia oraz granice ziarn
5.	800 cm ³ etanolu C_2H_5OH (96%), 70 cm ³ wody destylowanej, 110 g tiocyjanianu sodu $NaSCN$, 80 cm ³ butoksyetanolu (eter monobutyłowy glikolu etylenowego) $C_4H_9OCH_2CH_2OH$	trawienie elektrochemiczne zgładów w stanie lanym; ujawnia wydzielenia oraz granice ziarn

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- pobranie próbek z badanych materiałów przez wycięcie oraz zainkludowanie ich techniką na zimno lub na gorąco,
- dobór warunków szlifowania i polerowania oraz wykonanie zgładów metalograficznych,
- wstępną obserwację struktury otrzymanego zgładu na mikroskopie metalograficznym w celu oceny poprawności wykonania,
- dobór odpowiedniego odczynnika trawiącego i czasu trawienia próbek w celu ujawnienia struktury obserwowanych materiałów, w tym również warunków napięciowo-prądowych niezbędnych do trawienia elektrochemicznego,
- wytrawienie próbek w różnych odczynnikach chemicznych oraz różnymi metodami (elektrochemiczna, zanurzeniowa) w celu określenia wpływu metody i ośrodka trawiącego na ujawnione szczegóły struktury (wydzielenia, granice ziarn, pasma poślizgu),
- obserwację przygotowanych zgładów metalograficznych na mikroskopie świetlnym z wykorzystaniem technik pola jasnego i ciemnego oraz światła spolaryzowanego, które umożliwiła badanie anizotropowości zgładów trawionych, gdzie utworzony relief na granicach ziarn i faz

daje charakterystyczne efekty optyczne zależne od ich usytuowania względem płaszczyzny polaryzacji oraz efekty cieni o różnej intensywności, zależnie od orientacji krystalograficznej ziarn,

- określenie zależności udziału wydzielań od zmiennego stężenia aluminium w stopach Mg-Al-Zn z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego wyposażonego w program do analizy obrazu, umożliwiający wykonanie binaryzacji obrazu, detekcji krawędzi, równoważenia lokalnego kolorów oraz różnych wariantów filtracji obrazu,
- obserwację przygotowanych złądów metalograficznych na mikroskopie świetlnym z wykorzystaniem kontrastu fazowego, w celu pełniejszej identyfikacji morfologii powstających wydzielań,
- w przypadku słabego przewodnictwa elektrycznego, przygotowanie próbek z wykorzystaniem inkludowania w żywicach przewodzących lub napylenie cienkiej warstwy ułatwiającej odprowadzenie ładunku elektrycznego z powierzchni próbki,
- wykonanie obserwacji w mikroskopie skaningowym w celu zdefiniowania charakterystyki uszkodzeń po badaniach korozyjnych oraz określenia morfologii faz międzymetalicznych i eutektyki w badanych stopach Mg-Al-Zn,
- wykonanie mikroanalizy rentgenowskiej w wybranych mikroobszarach próbki.

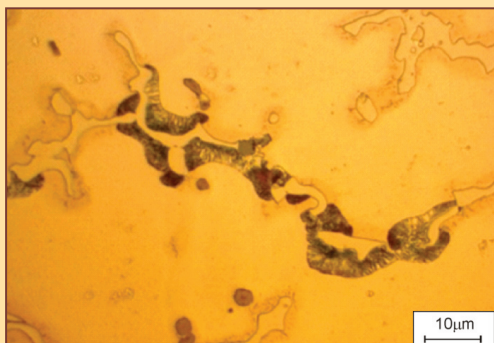
RAPORT OBEJMUJE:

- opis kolejnych etapów przygotowania próbek z odlewniczych stopów magnezu do badań metalograficznych, z uwzględnieniem różnych technik trawienia, oraz wskazanie różnic i możliwych błędów w metodyce przygotowania preparatów do badań na mikroskopie świetlnym i w skaningowym mikroskopie elektronowym,
- krótki opis charakteryzujący wykorzystane techniki obserwacji na mikroskopie świetlnym oraz w skaningowym mikroskopie elektronowym,
- wybrane zdjęcia wraz z krótkim opisem obserwowanej struktury odlewniczych stopów magnezu na mikroskopie świetlnym oraz w skaningowym mikroskopie elektronowym.

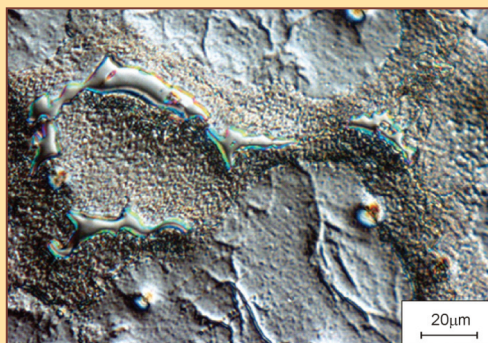
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- porównanie technik przygotowania preparatów ze stopów magnezu do obserwacji na mikroskopie świetlnym oraz w skaningowym mikroskopie elektronowym,
- porównanie możliwości badania preparatów ze stopów magnezu z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego.

ZESTAW RYSUNKÓW



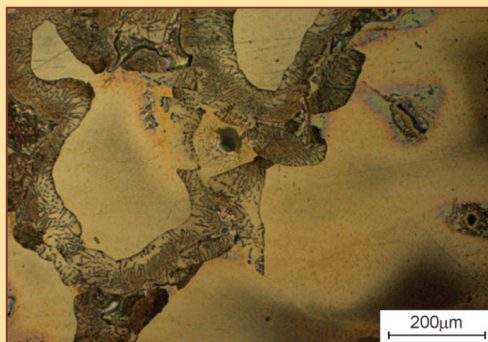
Rys. 1. Struktura stopu MCMgAl12Zn1 chłodzonego z szybkością 0,6°C/s



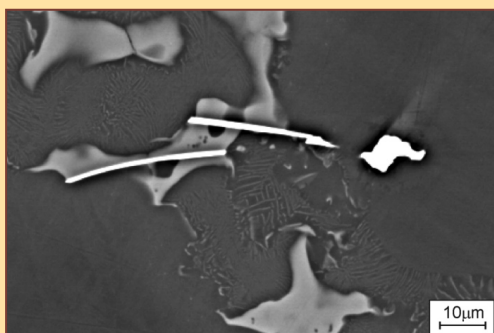
Rys. 2. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl19Zn1 w stanie litym; obserwacja techniką kontrastu fazowego



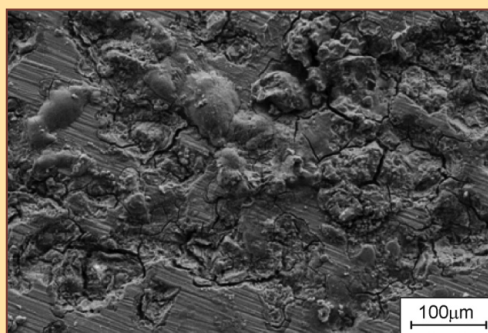
Rys. 3. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl19Zn1; obserwacja w świetle spolaryzowanym



Rys. 4. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl19Zn1 w stanie litym; obserwacja w polu jasnym



Rys. 5. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 w stanie litym



Rys. 6. Struktura powierzchni odlewniczego stopu magnezu MCMgAl19Zn1 w stanie litym oraz po teście korozyjnym

2.

Przebieg krystalizacji i procesów wydzieleniowych w stanie stałym podczas chłodzenia stopów magnezu

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- wykorzystanie analizy termiczno-derywacyjnej (ATD) oraz badań dylatometrycznych do określenia procesu krystalizacji wybranej grupy stopów magnezu z wykorzystaniem symulatora metalurgicznego UMSA oraz dylatometru z przystawką odkształceniową,
- określenie wpływu warunków chłodzenia wybranych stopów magnezu na wartości temperatury rejestrowane podczas krystalizacji na podstawie wyników ATD i procesów wydzieleniowych rejestrowane podczas badań dylatometrycznych,
- wyznaczenie ciepła krystalizacji badanych stopów magnezu.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną dotyczącą krystalizacji stopów metali oraz program do automatycznego egzaminowania,
- symulator metalurgiczny do analizy termiczno-derywacyjnej UMSA (ang.: *Universal Metallurgical Simulator and Analyser*) wraz z oprogramowaniem sterująco-obliczeniowym,
- dylatometr DIL 805 A firmy Baehr-Thermoanalyse z przystawką odkształceniową,
- zestaw termopar typu K i S, do pomiaru temperatury podczas nagrzewania i chłodzenia badanych próbek z wybranych stopów magnezu,
- folię stalową zabezpieczającą przed niepożądanym wypływaniem ciekłego metalu pomiędzy uzwojenia cewki,
- zawieszinę azotku boru zabezpieczającą powierzchnię termopary przed przywieraniem do krzepnącego metalu,
- materiałograficzny mikroskop świetlny MEF4A firmy Leica,
- atlas wykresów chłodzenia wybranych stopów magnezu z temperatury topnienia oraz wybranych układów równowagi fazowej, tj. Mg-Al, Mg-Si, Al-Mn, Al-Zn i Mg-Zn,
- zestaw próbek pełnych i wydrążonych do badań termicznych stopów magnezu.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- przygotowanie próbek z wybranych stopów magnezu do analizy termiczno-derywacyjnej oraz do badań dylatometrycznych,

- na podstawie układów równowagi fazowej Mg-Al ustawienie aplikacji sterującej urządzenia, tj. szybkości nagrzewania z uwzględnieniem mocy generatora, temperatury przetapiania, czasu wygrzewania, szybkości chłodzenia związanej z przepływem gazu ochronnego przez dysze chłodzące umieszczone w cewce indukcyjnej,
- wykonanie analizy termicznej wybranych stopów magnezu za pomocą urządzenia UMSA, stosując odpowiednią założoną szybkość chłodzenia,
- zapis temperatury w funkcji czasu z różną częstotliwością próbkowania i porównanie otrzymanych wyników badań wybranych stopów magnezu,
- wyznaczenie średniej szybkości chłodzenia CR w zakresie likwidus-solidus na podstawie otrzymanego wykresu $T=f(t)$ dla wybranych stopów magnezu,
- obliczenie pierwszej pochodnej temperatury po czasie w funkcji czasu, w celu określenia temperatury likwidus i solidus, maksymalnej temperatury krystalizacji oraz stopnia przechłodzenia cieczy dla wybranych stopów magnezu,
- wyznaczenie pierwszej pochodnej temperatury po czasie w funkcji temperatury, w celu określenia temperatury krystalizacji poszczególnych faz międzymetalicznych oraz eutektyki w wybranych stopach magnezu,
- zastosowanie filtra Savitzky-Golay o różnym parametrze wygładzania, w celu usunięcia zakłóceń oraz porównania otrzymanych wyników badań dla wybranych stopów magnezu,
- wyznaczenie krzywej bazowej, w celu określenia zakresu krystalizacji wybranych stopów magnezu oraz uzyskania wyników do obliczeń ukrytego ciepła krystalizacji stopu,
- na podstawie składu chemicznego określenie średniej pojemności cieplnej w stanie stałym oraz ciekłym i na ich podstawie wyznaczenie ukrytego ciepła krystalizacji wybranych stopów magnezu,
- badania dylatometryczne z założonymi wartościami szybkości nagrzewania i różnymi warunkami chłodzenia dla wybranych stopów magnezu,
- badania dylatometryczne o zmiennej sile, szybkości i liczbie deformacji badanych stopów magnezu,
- pomiar temperatury w funkcji odkształcenia analizowanych stopów magnezu i wyznaczenie temperatury początku i końca przemian fazowych zachodzących podczas założonych cykli badawczych,
- przygotowanie zglądów z przekroju poprzecznego próbek z wybranych stopów magnezu oraz wykonanie, z użyciem materiałograficznego mikroskopu świetlnego, badań wielkości ziarna metodą siecznych równoległych w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach na próbkach chłodzonych z różną szybkością w symulatorze metalurgicznym oraz dylatometrze.

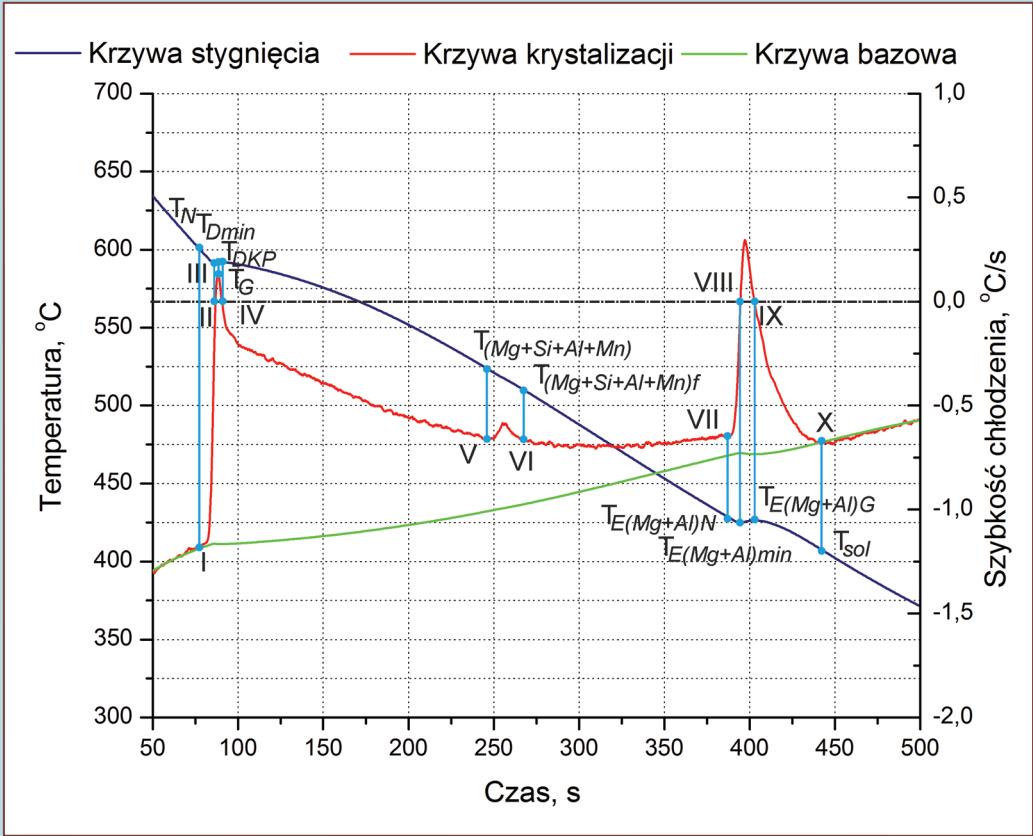
RAPORT OBEJMUJE:

- opis sposobu przygotowania próbek do badań ATD i dylatometrycznych,
- przedstawienie wykresów temperatury krzepnięcia w funkcji czasu z różną szybkością próbkowania pomiaru z wykorzystaniem filtra Savitzky-Golay,
- przedstawienie wykresów pierwszej pochodnej temperatury po czasie w funkcji czasu oraz pochodnej temperatury po czasie w funkcji temperatury dla różnych warunków chłodzenia dla wybranych stopów magnezu,
- wyznaczenie średniej szybkości chłodzenia CR w zakresie temperatury likwidus-solidus dla wybranych stopów magnezu,
- określenie charakterystycznych punktów na krzywych krystalizacji w wyniku wykonanej analizy termiczno-derywacyjnej dla wszystkich analizowanych stopów magnezu,
- charakterystykę wpływu zmian warunków chłodzenia na kinetykę krystalizacji wybranych stopów magnezu,
- wyznaczenie ukrytego ciepła krystalizacji dla badanych stopów magnezu,
- przedstawienie otrzymanych wyników w postaci wykresów wpływu warunków chłodzenia na temperaturę krystalizacji stopów magnezu oddzielnie dla każdej z metod,
- na podstawie badań dylatometrycznych utworzenie fragmentów wykresów CTP_c i CTP_i wybranych stopów magnezu,
- wyznaczenie na podstawie badań dylatometrycznych względnej i bezwzględnej zmiany długości, liniowego współczynnika rozszerzalności cieplnej, pierwszej oraz drugiej pochodnej temperatury po czasie w funkcji zmian długości wybranych stopów magnezu,
- prezentację otrzymanych wyników pomiaru wielkości ziarna w zależności od składu chemicznego, zastosowanej szybkości chłodzenia oraz wykorzystanej metody badawczej,
- określenie błędów pomiarowych na podstawie otrzymanych wyników badań wybranych stopów magnezu.

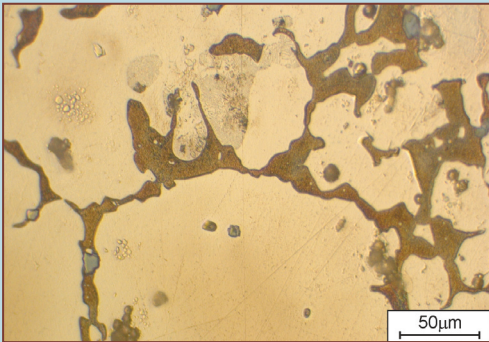
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- opis przebiegu krystalizacji stopów magnezu wraz z przedstawieniem temperatury poszczególnych reakcji endo- i egzotermicznych określonych metodą analizy termiczno-derywacyjnej i dylatometryczną,
- opis wpływu zastosowanych warunków chłodzenia na krystalizację wybranych odlewniczych stopów magnezu,
- porównanie zalet i wad wykorzystanych metod badawczych.

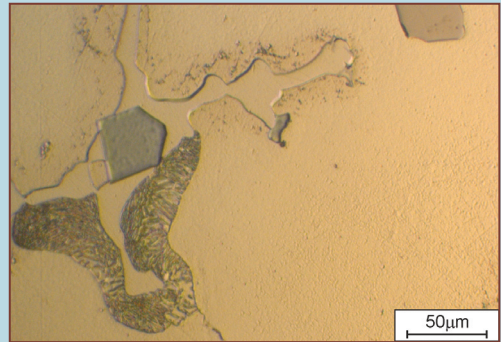
ZESTAW RYSUNKÓW



Rys. 1. Reprezentatywna krzywa chłodzenia, krystalizacji i bazowa odlewniczego stopu MCMgAl9Zn1 chłodzonego z szybkością 0,6°C/s



Rys. 2. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 po chłodzeniu z szybkością 0,6°C/s; trawienie – HF



Rys. 3. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 po chłodzeniu z szybkością 0,6°C/s; trawienie – kwas szczawiowy

3.

WPŁYW WARUNKÓW OBRÓBKİ CIEPLNEJ NA STRUKTURĘ STOPÓW MAGNEZU

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zapoznanie się z metodami kształtowania struktury i własności odlewniczych stopów Mg-Al-Zn w wyniku obróbki cieplnej oraz z mechanizmem strukturalnym utwardzania wydzieleniowego,
- dobór optymalnych warunków obróbki cieplnej odlewniczych stopów Mg-Al-Zn o różnym stężeniu pierwiastków stopowych na podstawie wyników prób twardości,
- określenie wpływu różnych warunków obróbki cieplnej oraz różnych ośrodków chłodzących na strukturę i własności obrabianych cieplnie odlewniczych stopów Mg-Al-Zn,
- wykonanie zglądów metalograficznych odlewniczych stopów Mg-Al-Zn w stanie po różnych etapach obróbki cieplnej oraz dobór odpowiedniej metody i odczynników trawiących w celu prawidłowego ujawnienia struktury badanych stopów,
- określenie struktury i własności odlewniczych stopów Mg-Al-Zn w stanie po zwykłej obróbce cieplnej, z wykorzystaniem rentgenowskiej analizy fazowej jakościowej i ilościowej, mikroskopii świetlnej, skaningowej i transmisyjnej mikroskopii elektronowej, metod pomiaru własności mechanicznych i użytkowych, w tym w szczególności twardości i wytrzymałości na rozciąganie oraz odporności na ścieranie i korozję elektrochemiczną,
- nabycie umiejętności dokonywania analizy fazowej badanych odlewniczych stopów Mg-Al-Zn metodami rentgenograficznymi i elektronograficznymi.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody badania i technologie kształtowania struktury odlewniczych stopów Mg-Al-Zn w wyniku zwykłej obróbki cieplnej (utwardzanie wydzieleniowe), program do automatycznego egzaminowania,
- uniwersalny dwukomorowy piec próżniowy typu CaseMaster Evolution D4 z wanną olejową firmy Seco/Warwick S.A.,
- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (spektrometry promieniowania X: dyspersji energii EDS i długości fali WDS, oraz system analizy dyfrakcji elektronów wstecznie rozproszonych EBSD) firmy EDAX,

- wysokorozdzielczy transmisyjny mikroskop elektronowy STEM TITAN 80-300 firmy FEI wyposażony w system skanowania STEM, spektrometr strat energii elektronów EELS i spektrometr dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego EDS oraz zestaw urządzeń do ścieniania mechanicznego Disc Grynder oraz do ścieniania jonowego firmy Gatan i FIB-SEM Cross Beam Workstation AURIGA firmy Carl Zeiss, służących do przygotowywania preparatów do badań w transmisyjnym mikroskopie elektronowym, opisany w ćwiczeniu 7,
- dyfraktometr rentgenowski X'Pert Pro firmy Panalytical,
- stanowisko do elektrochemicznych badań korozyjnych potencjostat-galwanostat ATLAS 0531 EU firmy Atlas-Sollich wraz z oprogramowaniem,
- analityczną wagę elektroniczną WAS 220/C/2 lub AS 310/X firmy Radwag,
- trybometr Tribometer firmy CSM Instruments,
- uniwersalną maszynę wytrzymałościową Zwick Z020 wraz z zestawem oprzyrządowania do próby ściskania i trójpunktowego zginania w temperaturze pokojowej, ekstensometrem do pomiaru wydłużenia próbek VideoXtense oraz zestawem szczęk zaciskowych maszyny do badań próbek o przekroju kołowym i płaskich,
- automatyczny twardościomierz Rockwella ZHR 4150 TK firmy Zwick/Roell,
- zestaw próbek odlewniczych stopów Mg-Al-Zn do wykonania obróbki cieplnej.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- wykonanie obróbki cieplnej próbek odlewniczych stopów Mg-Al-Zn w piecu dwukomorowym przy zmiennych warunkach obróbki cieplnej, tj. temperaturze i czasie wygrzewania podczas przesycania i starzenia oraz różnej szybkości chłodzenia po przesycaniu (woda, powietrze) i obróbce cieplnej z chłodzeniem z piecem,
- przygotowanie, zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w ćwiczeniu 1, zgładów metalograficznych stopów Mg-Al-Zn w stanie po różnych etapach obróbki cieplnej do badań na mikroskopie świetlnym oraz w skaningowym mikroskopie elektronowym, w celu ujawnienia struktury i morfologii wydzielen powstałych w wyniku obróbki cieplnej,
- przygotowanie próbek stopów Mg-Al-Zn do badań korozyjnych oraz pomiar masy próbek przed i po badaniu korozyjnym,
- badania struktury stopów Mg-Al-Zn obrobionych cieplnie, z wykorzystaniem mikroskopu metalograficznego świetlnego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego,
- identyfikacja mikro- i makroskopowych uszkodzeń korozyjnych oraz analiza uszkodzeń próbek stopów Mg-Al-Zn obrobionych cieplnie, wykonana w skaningowym mikroskopie elektronowym,

- wykonanie metodami spektroskopii promieniowania X: dyspersji energii EDS i długości fali WDS, analizy jakościowej i ilościowej składu chemicznego w wybranych mikroobszarach struktury odlewniczych stopów Mg-Al-Zn obrabionych cieplnie,
- wykonanie badań struktury cienkich folii w celu identyfikacji fazowej wydzielen występujących w strukturze odlewniczych stopów Mg-Al-Zn obrabionych cieplnie oraz określenie na podstawie projekcji stereograficznych wzajemnej orientacji krystalograficznej między fazą utwardzającą a osnową badanych stopów,
- analizę składu fazowego odlewniczych stopów Mg-Al-Zn obrabionych cieplnie, metodą dyfrakcji rentgenowskiej w układzie Bragg-Brentano,
- określenie metodą rentgenowskiej analizy fazowej ilościowej udziału fazy utwardzającej w odlewniczych stopach Mg-Al-Zn po różnych etapach obróbki cieplnej,
- wyznaczenie metodami komputerowej analizy obrazu współczynnika kształtu i wielkości wydzielen w odlewniczych stopach Mg-Al-Zn obrabionych cieplnie,
- zbadanie wpływu utwardzania wydzieleniowego na własności mechaniczne i użytkowe odlewniczych stopów Mg-Al-Zn.

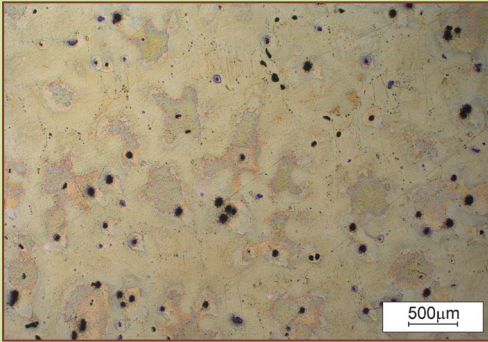
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie oraz porównanie obrazów struktury oraz uszkodzeń korozyjnych i zużyciowych odlewniczych stopów Mg-Al-Zn po różnych etapach obróbki cieplnej, wykonanych przy użyciu mikroskopu świetlnego oraz skaningowego i transmisyjnego mikroskopu elektronowego,
- przedstawienie wyników badań zmian składu chemicznego z wykorzystaniem analizy spektralnej, analizowanych odlewniczych stopów Mg-Al-Zn obrabionych cieplnie,
- zestawienie wyników badań własności mechanicznych i użytkowych badanych odlewniczych stopów magnezu po zwykłej obróbce cieplnej,
- zestawienie wyników pomiaru współczynnika kształtu i wielkości wydzielen wykonanych dla odlewniczych stopów Mg-Al-Zn obrabionych cieplnie.

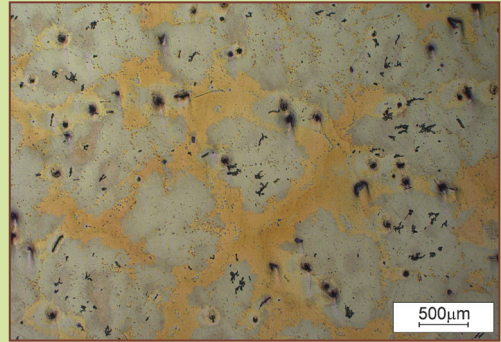
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- charakterystykę obróbki cieplnej odlewniczych stopów Mg-Al-Zn z podaniem temperatury i czasu,
- określenie wpływu warunków zwykłej obróbki cieplnej na strukturę odlewniczych stopów Mg-Al-Zn,
- charakterystykę procesów wydzieleniowych w odlewniczych stopach Mg-Al-Zn w zależności od warunków obróbki cieplnej.

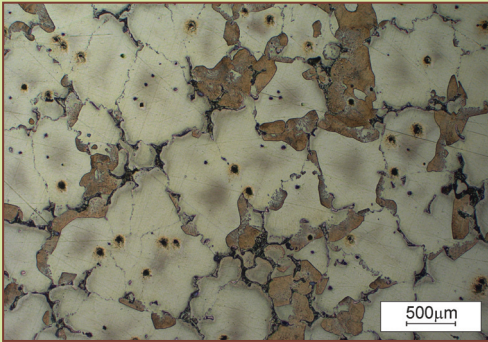
ZESTAW RYSUNKÓW



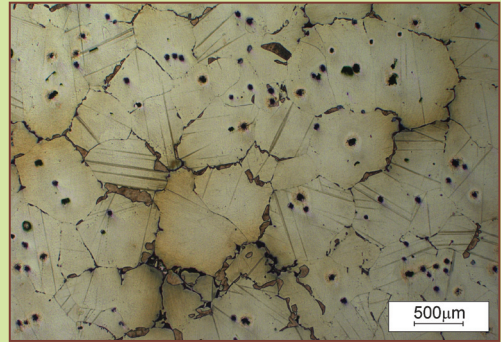
Rys. 1. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 w stanie przesyconym po ochłodzeniu w powietrzu



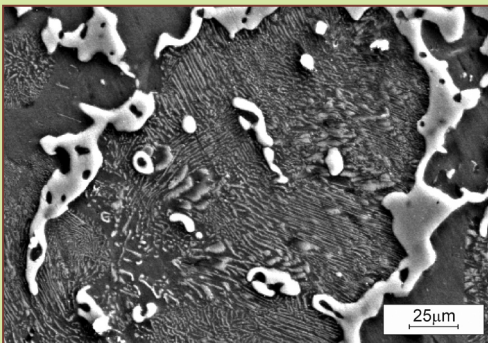
Rys. 2. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl6Zn1 w stanie przesyconym po ochłodzeniu w wodzie



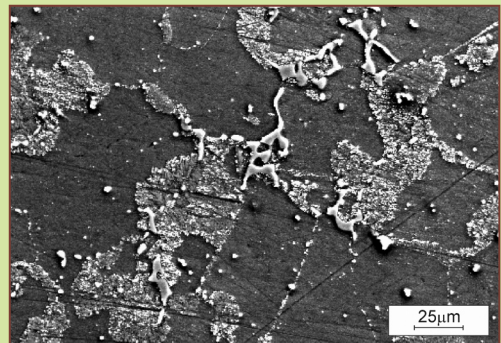
Rys. 3. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 po obróbce cieplnej z chłodzeniem z piecem



Rys. 4. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 w stanie po przesycaaniu i starzeniu w 190°C



Rys. 5. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl12Zn1 po obróbce cieplnej z chłodzeniem z piecem



Rys. 6. Struktura odlewniczego stopu magnezu MCMgAl12Zn1 w stanie po przesycaaniu i starzeniu w 190°C

4.

POWŁOKI FIZYCZNIE OSADZANE Z FAZY GAZOWEJ NA STOPACH MAGNEZU

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- określenie struktury i własności powłok naniesionych metodą fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD oraz porównanie własności mechanicznych i użytkowych elementów konstrukcyjnych z odlewniczych stopów magnezu pokrytych różnymi typami powłok jednowarstwowych, wielowarstwowych i gradientowych,
- zaznajomienie się metodami fizycznego osadzania powłok z fazy gazowej PVD, w tym w szczególności z techniką katodowego odparowania łukowego, oraz z obowiązującymi zasadami postępowania w przygotowaniu powierzchni elementów konstrukcyjnych z odlewniczych stopów magnezu przed nakładaniem powłok,
- zapoznanie się z różnymi technikami analizy spektralnej badanych powierzchni w zależności od rodzaju i składu chemicznego nanoszonych gradientowych powłok PVD,
- nabycie umiejętności określenia składu fazowego, wielkości ziarn, zakresu i charakteru naprężeń techniką $\sin^2\Psi$ i/lub $g\text{-}\sin^2\Psi$ oraz tekstury wytworzonych powłok naniesionych techniką fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD na podłożu z odlewniczych stopów magnezu, na podstawie wyników badań przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego,
- wykonanie badań własności mechanicznych i użytkowych powłok wielowarstwowych i gradientowych osadzonych na podłożu z odlewniczych stopów magnezu.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody nanoszenia powłok z fazy gazowej z wykorzystaniem różnych technik, wpływu poszczególnych warunków nanoszenia powłok na ich własności, a także typowe zastosowania elementów konstrukcyjnych ze stopów magnezu z naniesionymi na ich powierzchnię powłokami PVD, program do automatycznego egzaminowania,
- piec PVD Dreva ARC 400 firmy VTD Vakuumtechnik do fizycznego osadzania powłok z fazy gazowej metodą katodowego odparowania,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (EDS, WDS, EBSD) firmy EDAX,

- wysokorozdzielczy transmisyjny mikroskop elektronowy STEM TITAN 80-300 firmy FEI,
- mikroskop konfokalny LSM 5 Exciter firmy Carl Zeiss,
- mikroskop sił atomowych AFM XE-100 firmy Park Systems,
- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym,
- spektrometr optyczny GDS-850A firmy Leco Instruments,
- dyfraktometr rentgenowski X'Pert Pro firmy Panalytical,
- dynamiczny ultramikrotwardościomierz Vickersa DUH 202 firmy Shimadzu,
- profilometr Surtronic 25 firmy Taylor Hobson Precision,
- trybometr Tribometer firmy CSM Instruments,
- urządzenie do pomiaru grubości powłoki (kalotest) opracowane w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej,
- profilografometr Surtronic 3+ firmy Taylor Hobson Precision,
- urządzenie do badania przyczepności powłok Revetest firmy CSM Instruments,
- zestaw próbek podłoża z odlewniczych stopów magnezu do pokrycia powłokami wielowarstwowymi i gradientowymi metodą PVD.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- przygotowanie podłoża z odlewniczych stopów magnezu oraz nałożenie powłok metodą fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD,
- badania struktury oraz topografii powierzchni analizowanych powłok z wykorzystaniem transmisyjnej i skaningowej mikroskopii elektronowej,
- pomiar topografii powierzchni analizowanych powłok z wykorzystaniem mikroskopu sił atomowych metodą kontaktową, bezkontaktową i przerywaną oraz pomiar chropowatości analizowanych powłok,
- wykonanie analizy jakościowej i ilościowej składu chemicznego w wybranych mikroobszarach badanych powłok metodami EDS i WDS,
- pomiar zmian stężenia składników powłoki w kierunku prostopadłym do jej powierzchni oraz zmian stężenia pierwiastków w strefie przejściowej pomiędzy powłoką i podłożem z wykorzystaniem metody GDOES,
- analizę składu fazowego uzyskanych powłok metodą dyfrakcji rentgenowskiej w układzie Bragg-Brentano oraz z zastosowaniem techniki dyfrakcji pod stałym kątem padania wiązki pierwotnej,

- ocenę wielkości ziarna w badanych powłokach na podstawie dyfraktogramów z wykorzystaniem metody Scherrera,
- jakościowa i ilościowa (FRO) analiza tekstury powłok,
- określenie wielkości i charakteru naprężeń techniką $\sin^2\Psi$ i/lub $g\text{-}\sin^2\Psi$ występujących w wytwarzanych powłokach, wykonane z wykorzystaniem dyfraktometru rentgenowskiego,
- określenie grubości powłok wielowarstwowych oraz gradientowych metodą kalotest oraz przy użyciu mikroskopu elektronowego skaningowego,
- pomiar mikrotwardości analizowanych powłok naniesionych na podłożu z odlewniczych stopów magnezu,
- określenie odporności na zużycie ściernie analizowanych powłok na podstawie pomiaru współczynnika tarcia, wskaźnika zużycia powłoki K_c i przeciwpróbki K_b metodą pin-on-disc i pin-on-ball przy założonym obciążeniu, temperaturze badania i prędkości obrotowej oraz obserwacje metalograficzne profilu wytarcia,
- pomiar przyczepności powłok do podłoża z odlewniczych stopów magnezu metodą zarysowania.

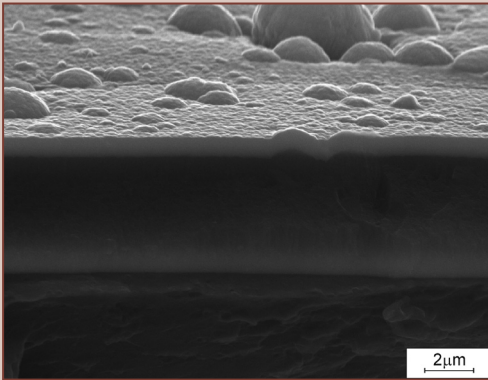
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie obrazów struktury oraz topografii powierzchni powłok, wykonanych w transmisyjnym i skaningowym mikroskopie elektronowym, mikroskopie konfokalnym oraz mikroskopie sił atomowych,
- przedstawienie wyników badań zmian składu chemicznego na przekrojach poprzecznych analizowanych stopów magnezu z naniesionymi powłokami, z wykorzystaniem analizy spektralnej,
- zestawienie wyników badań uzyskanych przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego,
- obrazy uszkodzeń powstałych w wyniku badania przyczepności analizowanych powłok oraz określania odporności na zużycie ściernie,
- zestawienie wyników badań własności mechanicznych, fizycznych i użytkowych wytworzonych powłok.

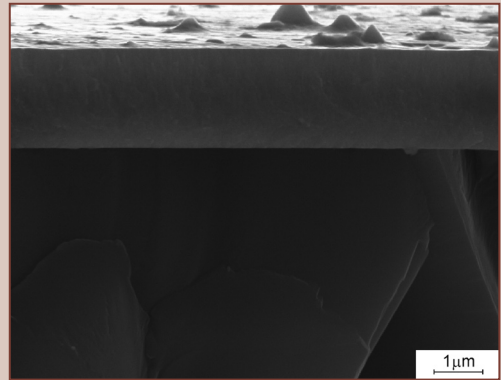
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- określenie wpływu warunków nanoszenia powłok na ich strukturę i własności,
- porównanie możliwości wykonywania badań struktury i własności powłok nanoszonych metodą fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD, przy użyciu różnych urządzeń i metod badawczych.

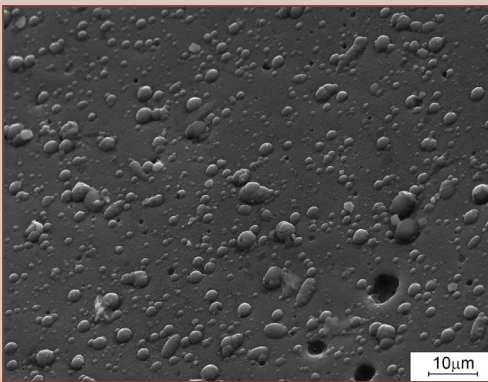
ZESTAW RYSUNKÓW



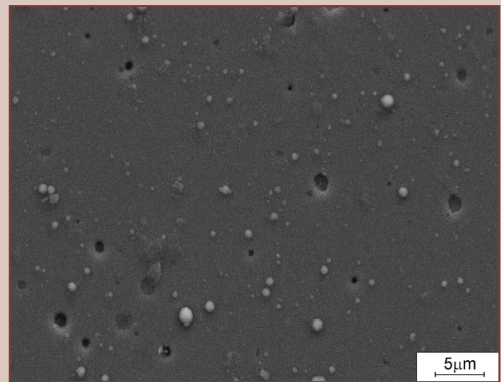
Rys. 1. Powierzchnia przelomu powłoki Ti/Ti(C,N)/CrN naniesionej na odlewniczy stop magnezu MCMgAl6Zn1



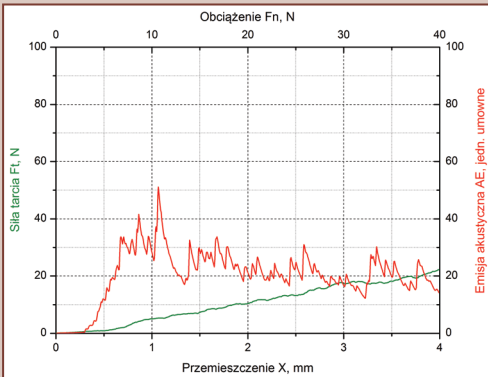
Rys. 2. Powierzchnia przelomu powłoki Cr/CrN/CrN naniesionej na odlewniczy stop magnezu MCMgAl12Zn1



Rys. 3. Topografia powierzchni powłoki Ti/Ti(C,N)/(Ti,Al)N naniesionej na odlewniczy stop magnezu MCMgAl6Zn1



Rys. 4. Topografia powierzchni powłoki Cr/CrN/TiN naniesionej na odlewniczy stop magnezu MCMgAl12Zn1



Rys. 5. Wykres zależności siły tarcia Ft i emisji akustycznej AE od wielkości normalnej siły obciążającej dla powłoki Ti/Ti(C,N)/CrN naniesionej na podłożu z odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1



Rys. 6. Ślad zarysowania powierzchni powłoki Ti/Ti(C,N)/CrN osadzonej na podłożu z odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 węglnikiem diamentowym w metodzie scratch test przy obciążeniu krytycznym L_{C2}

5.

POWŁOKI CHEMICZNIE OSADZANE Z FAZY GAZOWEJ NA STOPACH MAGNEZU

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- określenie struktury i własności powłok naniesionych metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej CVD oraz porównanie własności mechanicznych i użytkowych elementów konstrukcyjnych z odlewniczych stopów magnezu pokrytych różnymi typami powłok jedno- i wielowarstwowych,
- zaznajomienie się z metodami chemicznego osadzania powłok z fazy gazowej CVD oraz z obowiązującymi zasadami przygotowania powierzchni elementów konstrukcyjnych z odlewniczych stopów magnezu do pokrywania tymi metodami,
- zapoznanie się z różnymi technikami analizy spektralnej badanych powierzchni w zależności od rodzaju i składu chemicznego nanoszonych powłok CVD,
- nabycie umiejętności określenia: składu fazowego, wielkości ziarn, zakresu i charakteru naprężeń techniką $\sin^2\Psi$ i/lub $g\text{-}\sin^2\Psi$ przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego, powłok naniesionych metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej CVD na podłoże z odlewniczych stopów magnezu,
- wykonanie badań własności mechanicznych i użytkowych powłok osadzonych na podłożu z odlewniczych stopów magnezu.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody nanoszenia powłok z fazy gazowej z wykorzystaniem różnych technik, wpływu poszczególnych warunków nanoszenia powłok na ich własności, a także typowe zastosowania elementów konstrukcyjnych ze stopów magnezu z naniesionymi na ich powierzchnię powłokami CVD, program do automatycznego egzaminowania,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (EDS, WDS, EBSD) firmy EDAX,
- wysokorozdzielczy transmisyjny mikroskop elektronowy STEM TITAN 80-300 firmy FEI,
- mikroskop konfokalny LSM 5 Exciter firmy Carl Zeiss,
- mikroskop sił atomowych AFM XE-100 firmy Park Systems,

- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym,
- spektrometr optyczny GDS-850A firmy Leco Instruments,
- dyfraktometr rentgenowski X'Pert Pro firmy Panalytical,
- dynamiczny ultramikrotwardościomierz Vickersa DUH 202 firmy Shimadzu,
- profilometr Surtronic 25 firmy Taylor Hobson Precision,
- trybometr Tribometer firmy CSM Instruments,
- urządzenie do pomiaru grubości powłoki (kalotest) opracowane w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej,
- profilografometr Surtronic 3+ firmy Taylor Hobson Precision,
- urządzenie do badania przyczepności powłok Revetest firmy CSM Instruments,
- zestaw próbek z odlewniczych stopów magnezu pokrytych powłokami metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej CVD.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- badania struktury oraz topografii powierzchni analizowanych powłok z wykorzystaniem transmisyjnej i skaningowej mikroskopii elektronowej,
- pomiar topografii powierzchni analizowanych powłok z wykorzystaniem mikroskopu sił atomowych metodą kontaktową, bezkontaktową i przerywaną,
- wykonanie analizy jakościowej i ilościowej składu chemicznego w wybranych mikroobszarach badanych powłok metodami EDS i WDS,
- pomiar zmian stężenia składników powłoki w kierunku prostopadłym do jej powierzchni oraz zmian stężenia pierwiastków w strefie przejściowej pomiędzy powłoką i materiałem podłoża z wykorzystaniem metody GDOES,
- analizę składu fazowego uzyskanych powłok metodą dyfrakcji rentgenowskiej w układzie Bragg-Brentano oraz z zastosowaniem techniki dyfrakcji pod stałym kątem padania wiązki pierwotnej,
- ocenę wielkości ziarna w badanych powłokach na podstawie dyfraktogramów z wykorzystaniem metody Scherrera,
- określenie techniką $\sin^2\Psi$ i/lub $g\text{-}\sin^2\Psi$ z wykorzystaniem dyfraktometru rentgenowskiego wielkości i charakteru naprężeń w powłokach,
- określenie metodą kalotest oraz z wykorzystaniem mikroskopu elektronowego skaningowego grubości powłok naniesionych metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej CVD,

- pomiar mikrotwardości oraz chropowatości analizowanych powłok naniesionych na podłoże z odlewniczych stopów magnezu,
- pomiar przyczepności analizowanych powłok do podłoża z odlewniczych stopów magnezu,
- pomiar odporności na zużycie ściernie analizowanych powłok metodą pin-on-plate, pin-on-disc i ball-on-disc przy obciążeniu w zakresie od 0,5 do 70,5 N, temperatury badania w zakresie od pokojowej do 150°C oraz prędkości obrotowej do 1900 obr/min.

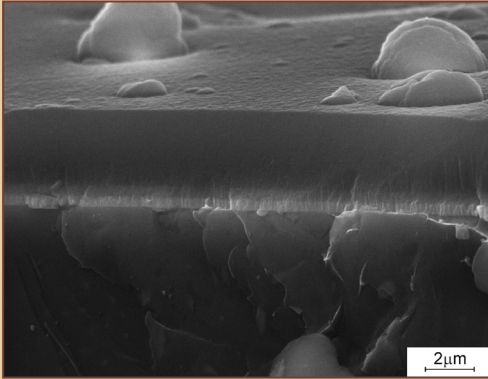
RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie obrazów struktury warstw wierzchnich oraz topografii powierzchni powłok, wykonanych na skaningowym mikroskopie elektronowym, mikroskopie świetlnym oraz mikroskopie sił atomowych,
- obrazy uszkodzeń badanych powłok powstałych w wyniku badania przyczepności oraz odporności na ścieranie,
- przedstawienie wyników badań zmian składu chemicznego na przekrojach poprzecznych analizowanych odlewniczych stopów magnezu,
- przedstawienie wyników badań zmian składu chemicznego na przekrojach poprzecznych analizowanych stopów magnezu z naniesionymi powłokami, z wykorzystaniem analizy spektralnej,
- zestawienie wyników badań uzyskanych przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego,
- zestawienie wartości pomiarów grubości analizowanych powłok uzyskanych na podłożu z odlewniczych stopów magnezu,
- zestawienie mikrotwardości analizowanych powłok w zależności od rodzaju naniesionej powłoki metodami CVD,
- zestawienie wyników pomiarów chropowatości powierzchni powłok naniesionych metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej CVD na podłoże z odlewniczych stopów magnezu,
- zestawienie wyników odporności na zużycie ściernie badanych powłok w zależności od zastosowanego obciążenia, temperatury badania oraz prędkości obrotowej,
- zestawienie wyników pomiaru współczynnika tarcia, siły tarcia oraz zmian rezystancji badanych powłok.

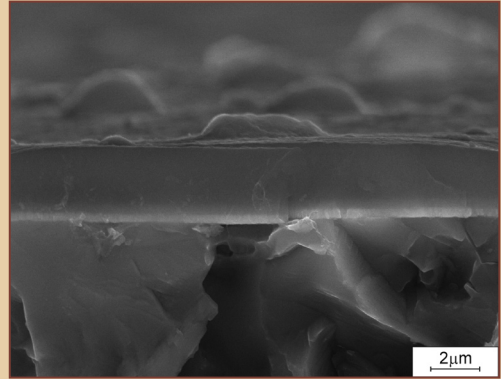
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- określenie wpływu warunków nanoszenia powłok na ich strukturę i własności,
- ocenę przydatności różnych metod i urządzeń do badania struktury i własności powłok nanoszonych metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej CVD na podłoża z wybranych stopów magnezu.

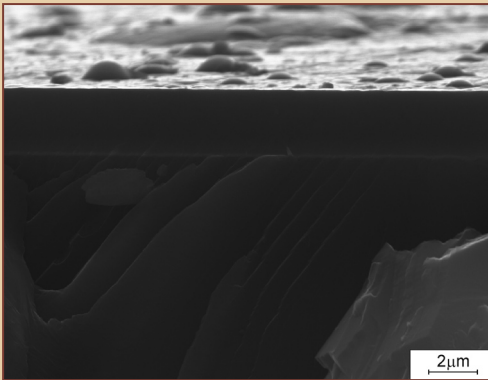
ZESTAW RYSUNKÓW



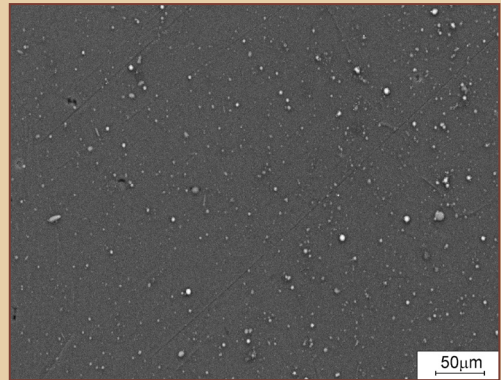
Rys. 1. Powierzchnia przelomu powłoki Ti/DLC/DLC naniesionej na odlewniczy stop magnezu MCMgAl6Zn1



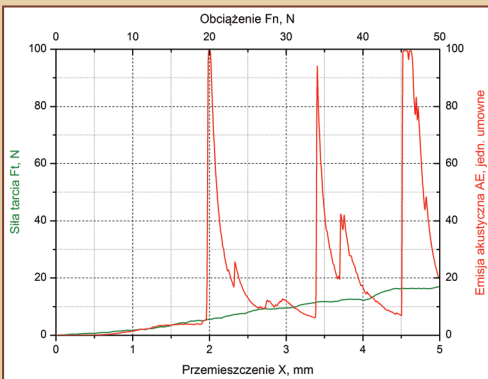
Rys. 2. Powierzchnia przelomu powłoki Ti/DLC/DLC naniesionej na odlewniczy stop magnezu MCMgAl9Zn1



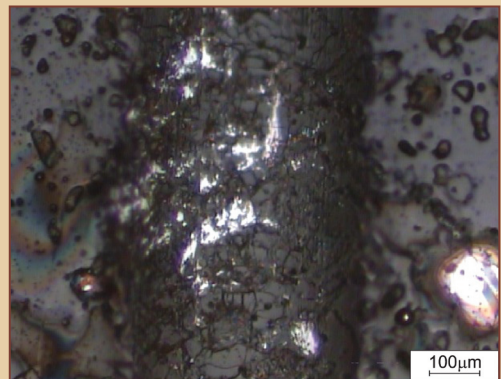
Rys. 3. Powierzchnia przelomu powłoki Ti/DLC/DLC naniesionej na odlewniczy stop magnezu MCMgAl12Zn1



Rys. 4. Topografia powierzchni powłoki Ti/DLC/DLC naniesionej na odlewniczy stop magnezu MCMgAl3Zn1



Rys. 5. Wykres zależności siły tarcia Ft i emisji akustycznej AE od wielkości normalnej siły obciążającej dla powłoki Ti/DLC/DLC osadzonej na podłożu z odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1



Rys. 6. Ślad zarysowania powierzchni powłoki Ti/DLC/DLC osadzonej na podłożu z odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 węglńnikiem diamentowym w metodzie scratch test przy obciążeniu krytycznym L_{C2}

6.

STRUKTURA STOPÓW MAGNEZU PO OBRÓBCE LASEROWEJ

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zapoznanie się z metodami kształtowania struktury i własności warstw wierzchnich stopów magnezu w wyniku laserowej obróbki powierzchniowej, w tym w szczególności przetapiania i wtapiania drobnych cząstek ceramicznych w warstwę powierzchniową odlewniczych stopów magnezu,
- porównanie struktury warstw wierzchnich i rdzenia stopów magnezu obrobionych w wyniku laserowej obróbki powierzchniowej, z wykorzystaniem rentgenowskiej analizy fazowej oraz metod makro- i mikroskopowych przy użyciu mikroskopu świetlnego oraz transmisyjnego i skaningowego mikroskopu elektronowego,
- zapoznanie się z różnymi technikami analizy spektralnej badanych warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą technologie kształtowania i metody badania struktury warstw wierzchnich po laserowej obróbce powierzchniowej, program do automatycznego egzaminowania,
- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym,
- mikroskop stereoskopowy Stereo V12 firmy Carl Zeiss,
- mikroskop konfokalny LSM 5 Exciter firmy Carl Zeiss,
- mikroskop sił atomowych AFM XE-100 firmy Park Systems,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss z przystawką TRIDENT XM4 (EDS, WDS, EBSD) firmy EDAX,
- wysokorozdzielczy transmisyjny mikroskop elektronowy STEM TITAN 80-300 firmy FEI,
- spektrometr optyczny GDS-850A firmy Leco Instruments,
- dyfraktometr rentgenowski X'Pert Pro firmy Panalytical,
- trybometr Tribometer firmy CSM Instruments,
- profilometr Surtronic 25 firmy Taylor Hobson Precision,
- profilografometr Surtronic 3+ firmy Taylor Hobson Precision,

- zestaw próbek i zglądów metalograficznych z odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo w wyniku przetapiania i wtapienia drobnych cząstek ceramicznych, w tym w szczególności węglików i tlenków.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- badania z wykorzystaniem mikroskopu metalograficznego świetlnego, mikroskopu stereoskopowego, mikroskopu konfokalnego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego, struktury analizowanych warstw wierzchnich i struktury rdzenia odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo,
- wykonanie metodami EDS i WDS analizy jakościowej i ilościowej składu chemicznego w wybranych mikroobszarach warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo,
- pomiar z wykorzystaniem metody GDOES zmian stężenia składników warstwy wierzchniej obrobionych laserowo stopów magnezu w kierunku prostopadłym do powierzchni oraz zmian stężenia pierwiastków w strefie przejściowej pomiędzy strefą przetopienia, strefą wpływu ciepła a materiałem rodzimym,
- obserwacje struktury cienkich folii warstwy wierzchniej odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo oraz badania dyfrakcyjne z wykorzystaniem transmisyjnego mikroskopu elektronowego,
- analizę składu fazowego metodą dyfrakcji rentgenowskiej w układzie Bragg-Brentano oraz z zastosowaniem techniki dyfrakcji pod stałym kątem padania wiązki pierwotnej, uzyskanych warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo,
- ocenę na podstawie dyfraktogramów z wykorzystaniem metody Scherrera wielkości ziarn w badanych warstwach wierzchnich odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo,
- określenie głębokości i szerokości strefy przetopienia oraz strefy wpływu ciepła analizowanych warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo w zależności od mocy lasera, szybkości wtapienia, rodzaju wykorzystanych cząstek ceramicznych oraz składu chemicznego podłoża,
- wyznaczenie metodami komputerowej analizy obrazu współczynnika kształtu i pomiar wielkości wtapianych cząstek ceramicznych oraz wyznaczenie ich udziału w warstwie wierzchniej odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo,
- badania topografii powierzchni z wykorzystaniem mikroskopu sił atomowych metodą kontaktową, bezkontaktową i przerywaną warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo,

- badania odporności na zużycie ściernie warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu obrobionych laserowo oraz obserwacje metalograficzne profilu wytarcia,
- pomiar chropowatości analizowanych warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu po laserowej obróbce powierzchniowej.

RAPORT OBEJMUJE:

- przedstawienie obrazów struktury oraz topografii powierzchni powłok, wykonanych przy użyciu transmisyjnego i skaningowego mikroskopu elektronowego, mikroskopu konfokalnego oraz mikroskopu sił atomowych,
- przedstawienie wyników badań zmian składu chemicznego na przekrojach poprzecznych analizowanych stopów magnezu po laserowej obróbce powierzchniowej, z wykorzystaniem analizy spektralnej,
- zestawienie wyników badań uzyskanych z wykorzystaniem dyfraktometru rentgenowskiego warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu po laserowej obróbce powierzchniowej,
- obrazy uszkodzeń warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu po laserowej obróbce powierzchniowej, powstałych w wyniku badania odporności na zużycie ściernie,
- zestawienie wyników pomiaru głębokości i szerokości strefy przetopienia oraz strefy wpływu ciepła analizowanych warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu po laserowej obróbce powierzchniowej w zależności od mocy lasera, szybkości wtapienia i rodzaju zastosowanych cząstek ceramicznych,
- zestawienie wyników pomiaru współczynnika kształtu, wielkości oraz udziału wtapianych cząstek ceramicznych w warstwę wierzchnią w wyniku laserowej obróbki powierzchniowej odlewniczych stopów magnezu,
- zestawienie wyników pomiaru chropowatości warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu po laserowej obróbce powierzchniowej, w zależności od mocy lasera i rodzaju wtapianych cząstek ceramicznych.

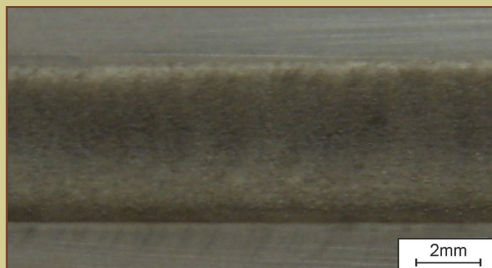
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- określenie wpływu warunków laserowej obróbki powierzchniowej na strukturę warstw wierzchnich i topografię powierzchni odlewniczych stopów magnezu,
- porównanie możliwości wykonywania badań struktury warstw wierzchnich odlewniczych stopów magnezu, przy użyciu różnych urządzeń i metod badawczych,
- zestawienie podstawowych warunków obróbki powierzchni odlewniczych stopów magnezu przy użyciu laserów dużej mocy.

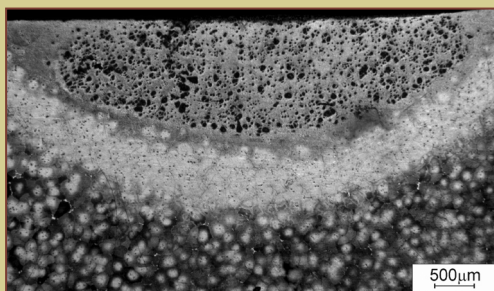
ZESTAW RYSUNKÓW



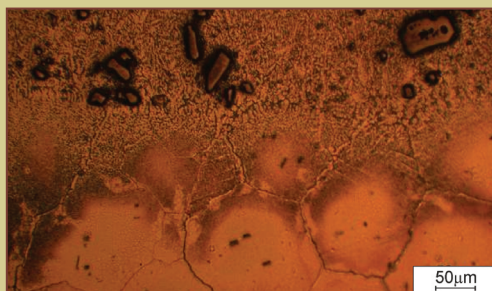
Rys. 1. Widok lica przetopienia warstwy wierzchniej odlewniczego stopu magnezu MCMgAl3Zn1 po wtapieniu proszku WC; moc lasera 1,2 kW, prędkość wtapienia 0,75 m/min



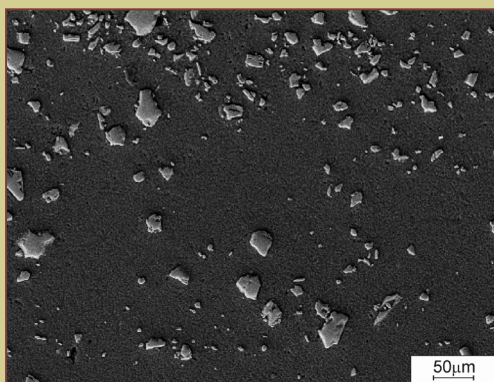
Rys. 2. Widok lica przetopienia warstwy wierzchniej odlewniczego stopu magnezu MCMgAl3Zn1 po wtapieniu proszku TiC; moc lasera 1,2 kW, prędkość wtapienia 0,75 m/min



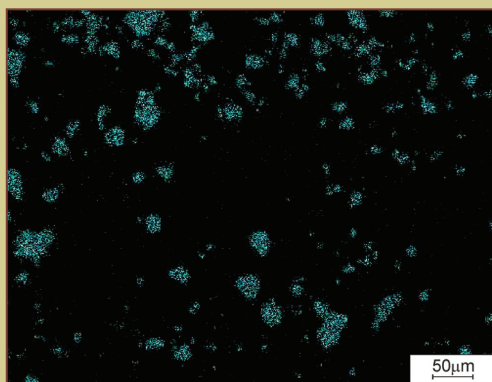
Rys. 3. Warstwa wierzchnia stopu magnezu MCMgAl9Zn1 po wtapieniu proszku WC; moc lasera 2.0 kW, prędkość wtapienia 0,75 m/min



Rys. 4. Granica przetopienia warstwy wierzchniej stopu magnezu MCMgAl6Zn1 po wtapieniu proszku TiC; moc lasera 1,6 kW, prędkość wtapienia 0,75 m/min



Rys. 5. Strefa centralna warstwy wierzchniej stopu magnezu MCMgAl6Zn1 po wtapieniu proszku TiC; moc lasera 1,6 kW, prędkość wtapienia 0,75 m/min



Rys. 6. Mikroanaliza rentgenowska rozkładu powierzchniowego tytanu (obszar analizy jak na rysunku 5)

7.

BADANIA PROCESÓW WYDZIELENIOWYCH W STOPACH MAGNEZU METODAMI TRANSMISYJNEJ MIKROSKOPII ELEKTRONOWEJ

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zapoznanie się z możliwościami wykorzystania transmisyjnego mikroskopu elektronowego do badania struktury i zjawisk strukturalnych w odlewniczych stopach magnezu oraz z budową i zasadą działania tego mikroskopu i z metodyką przygotowania preparatów ze stopów magnezu do badań w tym mikroskopie,
- poznanie podstawowych technik badawczych transmisyjnego mikroskopu elektronowego możliwych do wykorzystania do badania struktury i zjawisk strukturalnych w odlewniczych stopach magnezu, w tym: obrazowania struktury preparatów w polu jasnym i ciemnym, przy wiązce nieruchomej oraz skanującej obszar badany, kontrastu amplitudowego (dyfrakcyjnego), kontrastu fazowego (obrazowania wysokorozdzielczego), kontrastu Z , tomografii 3D; obrazów dyfrakcyjnych umożliwiających określenie struktury krystalicznej (składu fazowego) w mikro- i nanoobszarach, dyfrakcji wiązki równoległej, dyfrakcji wiązki zbieżnej; badań spektroskopowych umożliwiających określenie stężenia pierwiastków w mikroobszarach, w tym spektroskopii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego i spektroskopii strat energii elektronów.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą budowę, zasadę działania i zastosowanie transmisyjnego mikroskopu elektronowego, podstawowe rodzaje badań możliwych do wykonania w tym mikroskopie, metodykę przygotowania preparatów do badań w mikroskopie transmisyjnym oraz program do automatycznego egzaminowania,
- wysokorozdzielczy transmisyjny mikroskop elektronowy STEM TITAN 80-300 firmy FEI wyposażony w działo elektronowe o dużej jasności X-FEG (ang.: *Extreme Field Emission Gun*), system skanowania STEM (ang.: *Scanning Transmission Electron Microscopy*), detektory skaningowo-transmisyjne pola jasnego BF (ang.: *Bright Field*), pola ciemnego DF (ang.: *Dark Field*) i szerokokątowy pierścieniowy detektor pola ciemnego HAADF (ang.: *High Angle Annular Dark Field*), korektor aberracji sferycznej kondensora, filtr energii elektronów, spektrometr strat energii elektronów EELS (ang.: *Electron Energy Loss Spectrometer*), spektrometr dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego EDS (ang.: *Energy Dispersive X-ray Spectrometer*),

- zestaw urządzeń do przecinania elektroerozyjnego, przecinania mechanicznego tarczą ścierną, do ścieniania mechanicznego Disc Grynder oraz do ścieniania jonowego firmy Gatan i FIB-SEM (ang.: *Focused Ion Beam – Scanning Electron Microscope*) Cross Beam Workstation AURIGA firmy Carl Zeiss, służących do przygotowywania preparatów do celów transmisyjnej mikroskopii elektronowej,
- zestaw próbek z odlewniczych stopów Mg-Al-Zn o zmiennym stężeniu aluminium od 3 do 12%, poddanych zwykłej obróbce cieplnej, tj. utwardzaniu wydzieleniowemu, oraz umożliwiających zapoznanie się z kolejnymi etapami przygotowywania preparatów ze stopów magnezu, czyli próbek po odcięciu mechanicznym lub elektroerozyjnym, płytek o grubości ok. 0,2 mm po wstępnym ścienianiu mechanicznym, krążków o średnicy 3 mm i grubości ok. 0,08 mm oraz próbek (cienkich folii) po ścienianiu jonowym,
- zestaw zarejestrowanych elektronicznie wyników badań w transmisyjnym mikroskopie elektronowym kilku wybranych, najbardziej charakterystycznych próbek stopów magnezu w stanie obrobionym cieplnie, tj. w stanie przesyconym oraz przesyconym i starzonym w zakresie temperatury 150-190°C; obrazy struktury w polu jasnym i ciemnym, odpowiadające im obrazy dyfrakcyjne, widma energii promieniowania rentgenowskiego, widma strat energii elektronów oraz wyniki wykonanych na ich podstawie obliczeń stężenia pierwiastków.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- przygotowanie preparatu w postaci cienkiej folii z odlewniczego stopu magnezu w stanie przesyconym i starzonym,
- wykonanie na przygotowanej cienkiej folii z odlewniczego stopu magnezu obserwacji w polu jasnym i przy stopniowo wzrastającym powiększeniu obrazu, a po wybraniu mikroobszaru do dalszej analizy – wykonanie także obserwacji w polu ciemnym z wykorzystaniem wybranej wiązki ugiętej,
- obserwacje zmian kontrastu dyfrakcyjnego podczas przechylania cienkiej folii z odlewniczego stopu magnezu względem wiązki elektronów, zarejestrowanie wybranych obrazów struktury w polu jasnym i ciemnym,
- wykonanie badań dyfrakcyjnych z tego samego mikroobszaru odlewniczego stopu magnezu wybranego podczas obserwacji w polu jasnym, zarejestrowanie obrazów dyfrakcyjnych z osnowy oraz z rozmieszczonych w niej wydzieleni fazy międzymetalicznych,
- określenie struktury krystalicznej badanych mikroobszarów cienkiej folii z odlewniczego stopu magnezu na podstawie zarejestrowanych obrazów dyfrakcyjnych, zapoznanie się z metodą identyfikacji fazy w wyniku rozwiązywania dyfraktogramów elektronowych,
- wykonanie, przy pomocy spektrometru dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego EDS

oraz spektrometru strat energii elektronów EELS, badań składu chemicznego w wybranych mikroobszarach analizowanych próbek odlewniczego stopu magnezu,

- wykonanie badań struktury i składu chemicznego mikroobszarów cienkiej folii z wybranego obrobionego cieplnie odlewniczego stopu magnezu, z wykorzystaniem skaningowo-transmisyjnej mikroskopii elektronowej STEM, w tym z użyciem szerokokątowego detektora pola ciemnego HAADF.

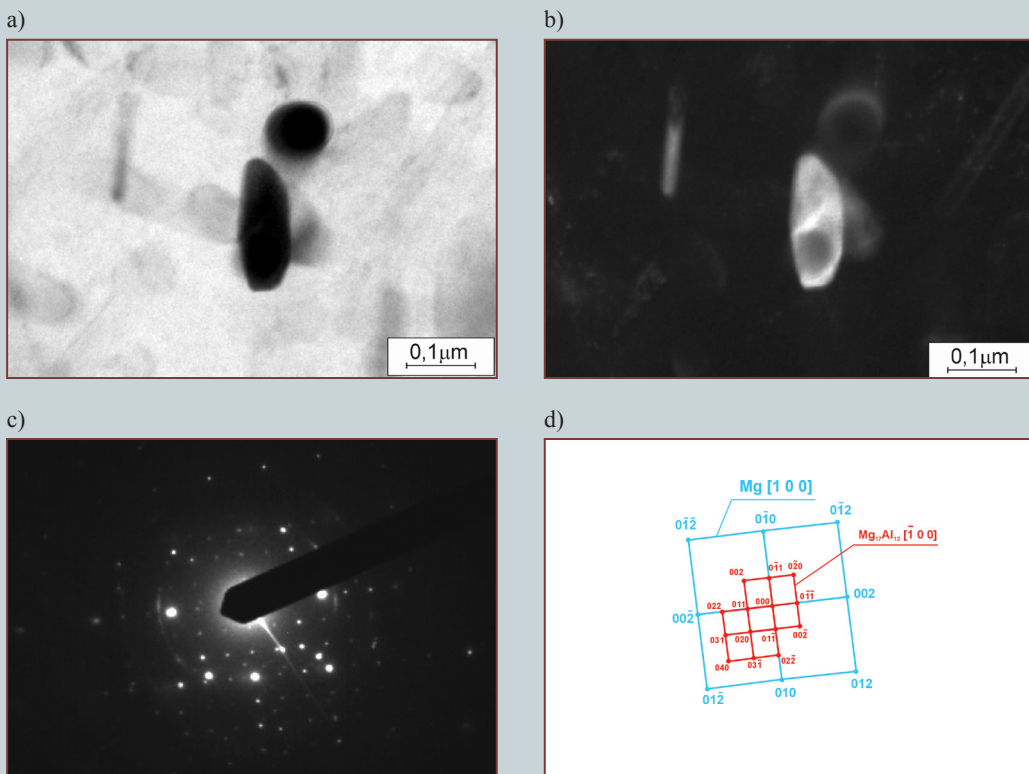
RAPORT OBEJMUJE:

- obrazy struktury cienkich folii z odlewniczych stopów magnezu obrobionych cieplnie, wykonane przy różnym powiększeniu oraz różnym nachyleniu powierzchni cienkiej folii względem wiązki elektronów,
- rozwiązanie dyfraktogramu z wybranego mikroobszaru cienkiej folii ze stopu magnezu poddanego przesycaniu i starzeniu,
- zestawienie wyników badań składu chemicznego w wybranych mikroobszarach cienkiej folii, np. osnowy i wydzielenia fazy międzymetalicznej, wykonanych z wykorzystaniem spektroskopii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego EDS i spektroskopii strat energii elektronów EELS,
- obrazy struktury wybranych mikroobszarów cienkiej folii z obrobionego cieplnie stopu magnezu, wykonane z wykorzystaniem skaningowo-transmisyjnej mikroskopii elektronowej STEM, także z użyciem szerokokątowego detektora pola ciemnego HAADF.

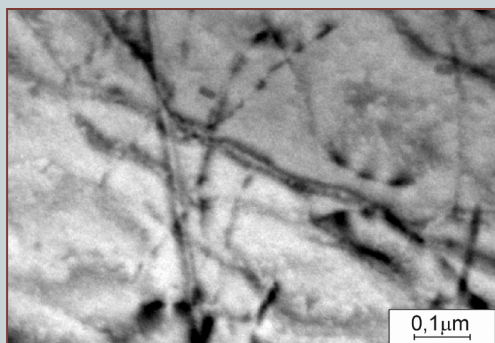
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- opis struktury wybranego odlewniczego stopu magnezu w stanie przesyconym oraz zmian struktury, składu chemicznego i fazowego w wyniku wydzielenia faz międzymetalicznych z przesyconego roztworu stałego podczas starzenia, wykonany na podstawie wyników badań własnych podczas ćwiczenia oraz zestawu zarejestrowanych elektronicznie wyników badań w transmisyjnym mikroskopie elektronowym, stanowiących wyposażenie stanowiska badawczego,
- opis zasady powstawania obrazu w transmisyjnym mikroskopie elektronowym oraz scharakteryzowanie stosowanych technik badawczych, umożliwiających kompleksowe zbadanie morfologii struktury, składu fazowego oraz składu chemicznego wybranego mikroobszaru cienkiej folii z odlewniczego stopu magnezu,
- przedstawienie metody przygotowywania preparatów do badań w transmisyjnym mikroskopie elektronowym z odlewniczych stopów magnezu, z komentarzem dotyczącym szczególnych wymagań podczas wykonywania cienkich folii z tych stopów.

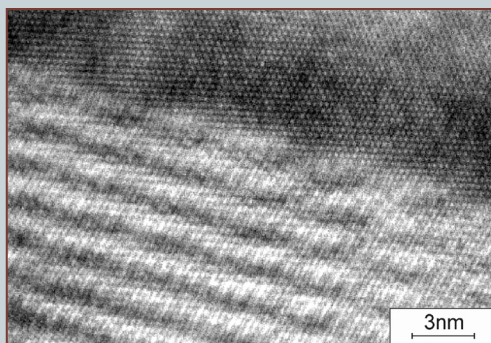
ZESTAW RYSUNKÓW



Rys. 1. Struktura cienkiej folii z odlewniczego stopu magnezu $MCMgAl9Zn1$ przesyconego w $430^{\circ}C$ i starzonego w $190^{\circ}C$ przez 15 godzin;
 a) obraz w polu jasnym, b) obraz w polu ciemnym z refleksu (040) fazy $Mg_{17}Al_{12}$,
 c) dyfraktogram z obszaru jak na rysunkach a) i b), d) rozwiązanie dyfraktogramu z rysunku c)



Rys. 2. Struktura cienkiej folii z odlewniczego stopu magnezu $MCMgAl9Zn1$ po przesycaaniu z $430^{\circ}C$ z chłodzeniem w wodzie; dyslokacje w roztworze stałym α -Mg



Rys. 3. Struktura cienkiej folii z odlewniczego stopu magnezu $MCMgAl9Zn1$ przesyconego i starzonego w $190^{\circ}C$; obraz wysokorozdzielczy obszaru granicy osnowy α -Mg i wydzielenia fazy $Mg_{17}Al_{12}$

8.

BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH STOPÓW MAGNEZU PO OBRÓBCE CIEPLNEJ I POWIERZCHNIOWEJ

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zapoznanie się z podstawowymi metodami badań własności mechanicznych stopów magnezu,
- nabycie umiejętności w obsłudze twardościomierza Rockwella, mikrotwardościomierza Vickersa, młota Charpy'ego oraz uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej podczas statycznej próby rozciągania, ściskania i zginania,
- obsługę oprogramowania pomiarowego mikrotwardościomierza Vickersa oraz oprogramowania sterująco-pomiarowego maszyny wytrzymałościowej,
- pomiary wytrzymałości na rozciąganie z wykorzystaniem ekstensometru,
- pomiary wytrzymałości na zginanie oraz umownej wartości strzałki ugięcia w temperaturze pokojowej w metodzie trójpunktowego zginania.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą metody badań własności mechanicznych stopów magnezu oraz program do automatycznego egzaminowania,
- zestawy próbek o przekroju kołowym i prostokątnym do statycznej próby rozciągania, ściskania i trójpunktowego zginania, próbek z karbem typu U i V do próby udarowości, próbek walcowych do pomiaru twardości oraz mikrotwardości, z odlewniczych stopów magnezu: w stanie po obróbce cieplnej, laserowej obróbce powierzchniowej w tym w szczególności przetapiania i wtapiania drobnych cząstek ceramicznych, analizie termiczno-derywacyjnej z zastosowaniem założonych szybkości chłodzenia oraz próbek z odlewniczych stopów magnezu z naniesionymi powłokami gradientowymi metodami PVD i CVD,
- uniwersalną maszynę wytrzymałościową Z020 firmy Zwick wraz z zestawem oprzyrządowania do próby ściskania i trójpunktowego zginania w temperaturze pokojowej, ekstensometrem video do pomiaru wydłużenia próbek VideoXtense oraz zestawem szczęk zaciskowych maszyny do badań próbek o przekroju kołowym i płaskich,
- suwmiarkę elektroniczną do pomiaru przewężenia i wydłużenia badanego materiału po statycznej próbie rozciągania,
- twardościomierz Vickersa FM-ARS 9000 firmy Future-Tech z automatycznym torem pomiarowym z wykorzystaniem analizy obrazu,

- automatyczny twardościomierz Rockwella ZHR 4150 TK firmy Zwick,
- dynamiczny ultramikrotwardościomierz Vickersa DUH 202 firmy Shimadzu,
- młot Charpy'ego HIT25P firmy Zwick/Roell,
- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym,
- skaningowy mikroskop elektronowy Supra 35 firmy Carl Zeiss,
- komplet norm PN-EN dotyczących statycznej próby rozciągania, próby udarności, trójpunktowego zginania oraz pomiarów twardości i mikrotwardości różnymi metodami.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- wykonanie statycznej próby rozciągania badanych odlewniczych stopów magnezu z i bez wykorzystania ekstensometru,
- wykonanie statycznej próby ściskania badanych odlewniczych stopów magnezu w temperaturze pokojowej,
- wykonanie statycznej próby zginania metodą trójpunktową badanych stopów magnezu w stanie lanym oraz po obróbce cieplnej,
- wyznaczenie wielkości: F_m , F_c , $F_{0,2}$ i F_u z wykresów zarejestrowanych w układzie współrzędnych: siła obciążenia F w funkcji wydłużenia próbki ΔL i wyznaczenie na ich podstawie granicy plastyczności, wytrzymałości na rozciąganie i ściskanie, wytrzymałości przy zerwaniu oraz wyznaczenie wydłużenia i przewężenia na podstawie pomiarów i długości oraz średnicy badanych próbek,
- pomiar umownej wartości strzałki ugięcia w zależności od rodzaju przekroju analizowanej próbki,
- wykonanie pomiarów twardości badanych stopów magnezu metodą Rockwella z wykorzystaniem węgelnika diamentowego oraz kulki stalowej,
- badania mikrotwardości powierzchni powłok PVD i CVD oraz mikrotwardości na przekroju próbek badanych stopów magnezu po wtapieniu laserowym w zależności od odległości od lica przetopienia,
- wykonanie badań udarnościowych w temperaturze obniżonej, pokojowej i podwyższonej próbek z karbem typu U i V z odlewniczych stopów magnezu po obróbce cieplnej,
- wykonanie obserwacji fraktograficznych z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego i określenie charakteru przełomów badanych stopów magnezu w stanie po obróbce cieplnej po próbach udarności i wytrzymałości na rozciąganie.

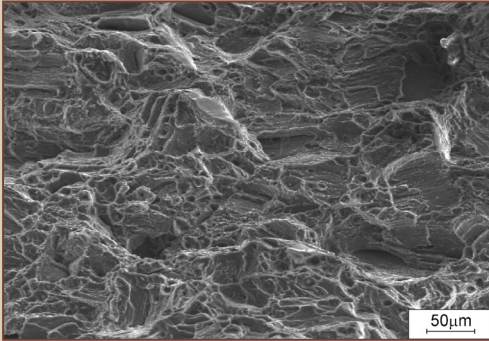
RAPORT OBEJMUJE:

- opis metod badań mechanicznych w temperaturze obniżonej, pokojowej i podwyższonej,
- opis różnic w pomiarze mikro- i makrotwardości,
- przedstawienie i opisanie wykresów zmian siły w funkcji wydłużenia podczas statycznej próby rozciągania oraz wyznaczenie naprężeń teoretycznych i rzeczywistych w badanych próbkach,
- przedstawienie i opisanie wykresów zmian siły w funkcji odkształcenia podczas statycznej próby ściskania i zginania,
- przedstawienie w postaci wykresów wpływu poszczególnych warunków obróbki cieplnej, założonych warunków chłodzenia oraz zmian składu chemicznego na wyniki statycznej próby rozciągania, ściskania i zginania analizowanych odlewniczych stopów magnezu,
- przedstawienie wpływu poszczególnych warunków obróbki cieplnej, w tym w szczególności temperatury i czasu przesycania i starzenia oraz zastosowanych ośrodków chłodzących, zmian składu chemicznego podłoża, laserowej obróbki powierzchniowej, oraz rodzaju powłoki naniesionej metodami PVD lub CVD, na twardość i mikrotwardość analizowanych odlewniczych stopów magnezu,
- przedstawienie wpływu warunków obróbki cieplnej i ośrodków chłodzących (woda, powietrze, piec), temperatury w której wykonano próby oraz zmian składu chemicznego na wyniki pomiaru energii łamania analizowanych stopów magnezu,
- wyniki obserwacji przelomów próbek ze stopów magnezu po statycznej próbie rozciągania i udarności oraz analizę charakteru przelomów,
- przedstawienie zmian rozkładu mikrotwardości warstwy wierzchniej na przekroju poprzecznym próbek badanych stopów magnezu po laserowej obróbce powierzchniowej.

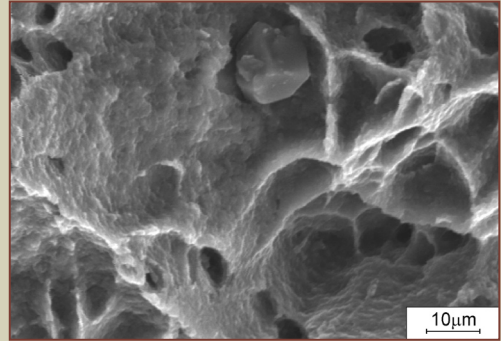
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- charakterystykę metod badania twardości z podziałem na metody statyczne i dynamiczne, oraz uzasadnienie dokonanego wyboru metody i skali pomiaru twardości stopów magnezu w stanie litym, obrobionym cieplnie oraz z warstwami powierzchniowymi,
- prezentację typowych schematów zależności naprężenie-odkształcenie uzyskanych po próbie wytrzymałości na rozciąganie z zastosowaną zmienną szybkością odkształcenia dla odlewniczych stopów magnezu po różnych operacjach obróbki cieplnej,
- przedstawienie najczęściej popełnianych błędów pomiarowych podczas badań własności mechanicznych stopów magnezu.

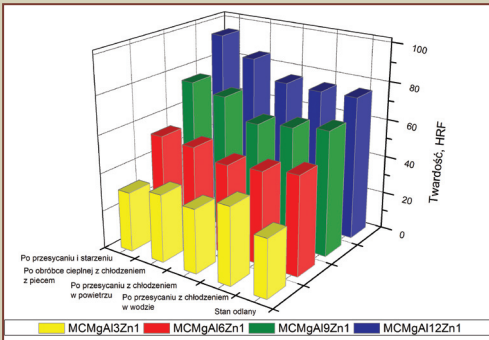
ZESTAW RYSUNKÓW



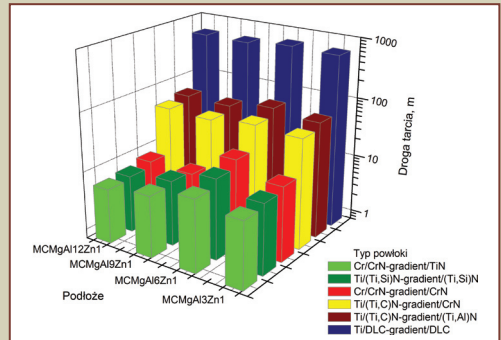
Rys. 1. Struktura przelomu mieszanego odlewniczego stopu magnezu MCMgAl9Zn1 przesyconego i starzonego



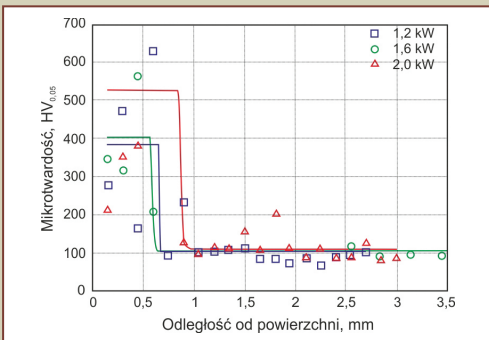
Rys. 2. Struktura przelomu ciągliwego odlewniczego stopu magnezu MCMgAl3Zn1 w stanie przesyconym z chłodzeniem w powietrzu



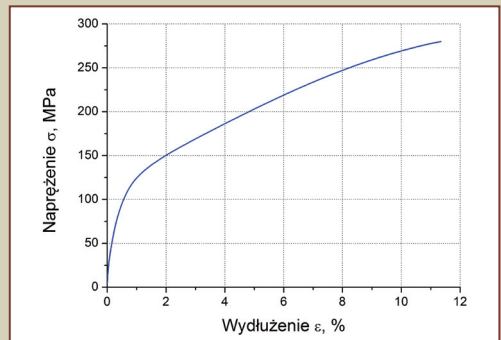
Rys. 3. Wyniki pomiaru twardości HRF odlewniczych stopów magnezu



Rys. 4. Wyniki pomiaru zużycia stopów magnezu; obciążenie 12 N



Rys. 5. Zmiana mikrotwardości warstwy wierzchniej odlewniczego stopu magnezu MCMgAl12Zn1 po wtapieniu SiC, prędkość wtapienia 0,75 m/min



Rys. 6. Wykres rozciągania dla próbki ze stopu MCMgAl9Zn1 po przesycaeniu w temperaturze 430°C przez 30 godzin z chłodzeniem w wodzie

9.

ODPORNOŚĆ NA KOROZJĘ STOPÓW MAGNEZU OBROBIONYCH CIEPLNIE I POWIERZCHNIOWO

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- zapoznanie się z terminologią i głównymi zagadnieniami dotyczącymi korozyjnego niszczenia stopów magnezu, a także poznanie podstawowych zjawisk i mechanizmów występujących na powierzchni oraz na przekroju wybranych stopów Mg-Al-Zn w efekcie oddziaływania różnych ośrodków korozyjnych,
- zapoznanie się ze sposobami zapobiegania korozji chemicznej i elektrochemicznej wybranych stopów Mg-Al-Zn w wytypowanych środowiskach agresywnych,
- wykonanie badań korozyjnych wybranych stopów Mg-Al-Zn z wykorzystaniem metody immersyjnej, potencjodynamicznej oraz w komorze cyklicznej,
- porównanie odporności korozyjnej wybranych stopów Mg-Al-Zn w zależności od składu chemicznego i zastosowanej obróbki cieplnej i powierzchniowej, w tym w szczególności przetapiania i wtapiania laserowego oraz pokrywania powłokami w procesach fizycznego i chemicznego osadzania z fazy gazowej PVD i CVD.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą mechanizmy korozji chemicznej i elektrochemicznej oraz program do automatycznego egzaminowania,
- komplet norm PN-EN dotyczących korozji metali i stopów w sztucznych atmosferach w kontrolowanych warunkach wilgotności i cyklicznego natrysku roztworem soli, rozpylonej solance oraz zawierających zanieczyszczenia gazowe o bardzo niskim stężeniu,
- stanowisko do elektrochemicznych badań korozyjnych potencjostat-galwanostat ATLAS 0531 EU firmy Atlas-Sollich wraz z oprogramowaniem,
- komorę korozyjną cykliczną Ascott Premium CC450IP firmy Ascott Analytical Equipment,
- analityczną wagę elektroniczną WAS 220/C/2 lub AS 310/X firmy Radwag,
- mikroskop metalograficzny MEF4A firmy Leica sprzężony z kamerą lub rzutnikiem multimedialnym,
- mikroskop stereoskopowy Stereo V12 firmy Carl Zeiss,
- skaningowy mikroskop elektronowy SUPRA 35 firmy Carl Zeiss,
- szlifierko-polerkę ręczną LaboPol-25 oraz półautomatyczną LaboPol-5 firmy Struers,

- tarcze do szlifowania oraz tarcze filcowe do polerowania firmy Struers,
- zestaw próbek do badań korozyjnych z wybranych odlewniczych stopów Mg-Al-Zn obrabianych cieplnie i powierzchniowo,
- zestaw odczynników do badań korozyjnych:

Lp.	Metoda badań korozyjnych	Odczynniki o różnym stężeniu do badań korozyjnych
1.	metoda potencjodynamiczna	NaCl, H ₂ SO ₄
2.	immersyjne badania korozyjne	H ₂ SO ₄
3.	badania w komorze klimatycznej	NaCl, SO ₂

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- przygotowanie próbek do badań korozyjnych oraz pomiar masy próbek przed i po badaniu korozyjnym,
- określenie na podstawie danych literaturowych masy atomowej, wartościowości oraz gęstości materiału próbek poddawanych badaniom korozji elektrochemicznej,
- wyznaczenie warunków procesu korozji elektrochemicznej – temperatury i czasu badania, szybkości zmiany potencjału, maksymalnej wartości gęstości prądu anodowego oraz wyznaczenie krzywej polaryzacji anodowej,
- wyznaczenie charakterystycznych dla krzywej polaryzacji anodowej wartości potencjału korozyjnego E_{kor} , potencjału przebicia E_b , gęstości prądu korozyjnego i_{kor} , oporu polaryzacyjnego R_p oraz na podstawie względnego ubytku masy szybkości korozji V_{kor} ,
- przygotowanie komory solnej do badań korozyjnych w trybie kondensacji wilgotności w zakresie od temperatury otoczenia do 60°C i zmiennej wilgotności w zakresie od 95 do 100% RH,
- przygotowanie komory solnej do badań korozyjnych w trybie mgły solnej w zakresie od temperatury otoczenia do 50°C i zmiennej szybkości podawania solanki w zakresie od 0,5 do 2,5 ml/80cm²/h,
- przygotowanie komory solnej do badań korozyjnych w trybie kontrolowanej wilgotności o zmiennej wilgotności względnej w zakresie od 15 do 95% RH,
- wykonanie badań o cyklicznej ekspozycji w fazie mokrej, w której badany obiekt wielokrotnie poddawany jest natryskowi wodnego roztworu soli, a następnie pozostawiony bez natrysku, podczas którego wilgoć pozostaje na badanym materiale oraz fazie o kontrolowanej cyklicznej

wilgotności, podczas której badany materiał jest na przemian poddawany działaniu środowisk wilgotnych i bardzo suchych,

- wykonanie badań w komorze klimatycznej z wykorzystaniem rozpylonej solanki w zakresie temperatury 45-52°C z próbkami odniesienia oraz pomiar ubytku masy,
- wykonanie badań korozyjnych metodą porównawczą i uproszczoną w sztucznej atmosferze zawierającej zanieczyszczenia gazowe o bardzo niskim stężeniu w postaci SO₂ w założonych warunkach, tj. temperaturze i wilgotności oraz czasie ekspozycji,
- wykonanie badań immersyjnych oraz pomiar względnego ubytku masy w zależności od czasu trwania eksperymentu,
- obserwacja mikro- i makroskopowych uszkodzeń korozyjnych wybranych próbek oraz analiza charakteru uszkodzeń powierzchni próbek ze stopów Mg-Al-Zn po różnych testach korozyjnych na mikroskopie świetlnym i stereoskopowym oraz w skaningowym mikroskopie elektronowym.

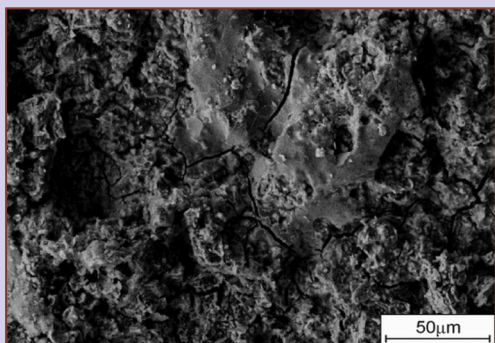
RAPORT OBEJMUJE:

- ocenę rodzaju zniszczeń korozyjnych na podstawie oględzin i obserwacji mikroskopowych oraz ustalenie mechanizmów korozji decydujących o uszkodzeniach badanych stopów Mg-Al-Zn,
- wyznaczenie i opisanie charakterystycznych punktów na krzywej polaryzacji anodowej z wykorzystaniem metody ekstrapolacji Sterna-Tafela,
- przedstawienie w tablicy oraz w postaci wykresów wyników badań odporności na korozję wżerową metodą potencjodynamiczną, wraz z wyznaczonym błędem pomiarowym,
- przedstawienie w tablicy, wyników pomiaru ubytku masy oraz klasy uszkodzenia próbek wg normy ISO 8407:1991, poddanych badaniom korozyjnym w komorze solnej oraz w naczyniu z odczynnikami w metodzie immersyjnej w zależności od stężenia ośrodka korozyjnego, czasu ekspozycji, składu chemicznego i zastosowanej obróbki badanych stopów Mg-Al-Zn obrobionych cieplnie i powierzchniowo,
- prezentację badanych stopów Mg-Al-Zn z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego oraz elektronowego mikroskopu skaningowego w celu określenia stanu powierzchni badanych materiałów po teście korozyjnym.

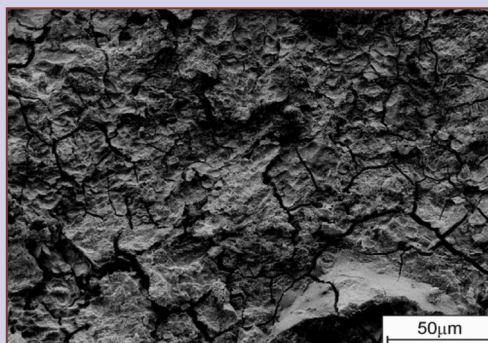
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- porównanie wykorzystanych metod badań odporności na korozję z wyszczególnieniem różnic,
- klasyfikację rodzajów zniszczeń korozyjnych badanych odlewniczych stopów Mg-Al-Zn i opis przyczyn korozji i metod jej zapobiegania, w tym w szczególności korozji wżerowej.

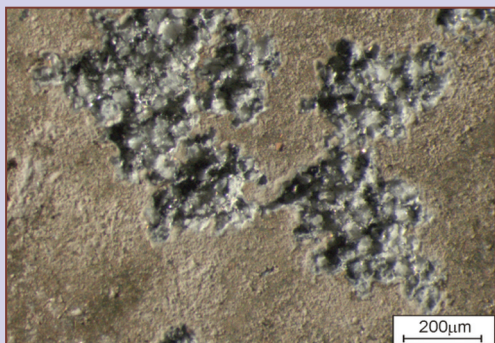
ZESTAW RYSUNKÓW



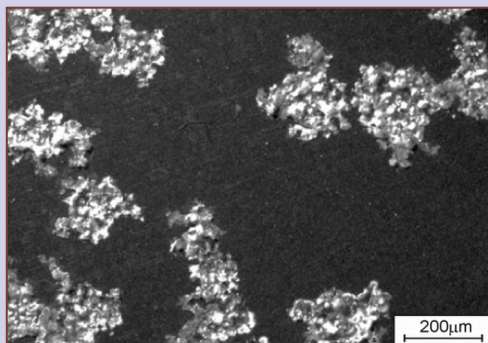
Rys. 1. Struktura powierzchni odlewniczego stopu magnezu $MCMgAl12Zn1$ w stanie odlanym oraz po teście korozyjnym



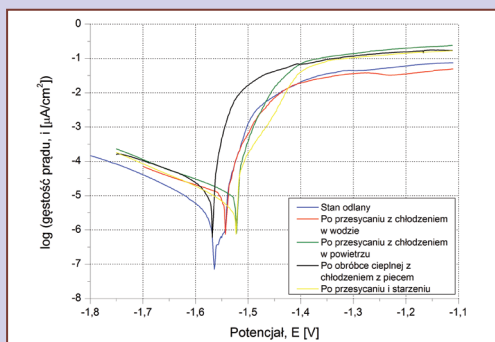
Rys. 2. Struktura powierzchni odlewniczego stopu magnezu $MCMgAl9Zn1$ w stanie przesyconym po ochłodzeniu w wodzie oraz po teście korozyjnym



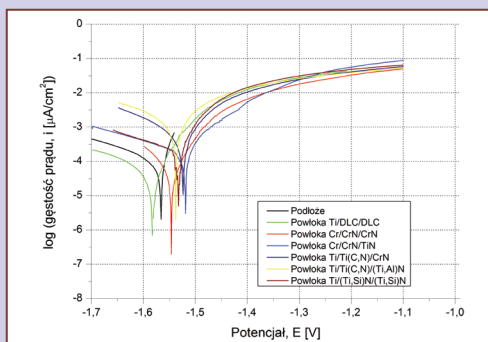
Rys. 3. Struktura powierzchni powłoki Cr/CrN/Ti naniesionej na odlewniczy stop magnezu $MCMgAl9Zn1$ oraz po teście korozyjnym



Rys. 4. Struktura powierzchni powłoki Cr/CrN/CrN naniesionej na odlewniczy stop magnezu $MCMgAl9Zn1$ oraz po teście korozyjnym



Rys. 5. Wykres polaryzacji anodowej odlewniczego stopu magnezu $MCMgAl9Zn1$



Rys. 6. Wykres polaryzacji anodowej badanych powłok naniesionych na odlewniczy stop magnezu $MCMgAl9Zn1$

10.

APLIKACJE SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH DO MODELOWANIA WŁASNOŚCI STOPÓW MAGNEZU PO OBRÓBCE CIEPLNEJ I POWIERZCHNIOWEJ

CEL ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- nabycie umiejętności wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do modelowania własności użytkowych stopów magnezu po obróbce cieplnej i powierzchniowej,
- poznanie automatycznego projektanta sieci oraz jego funkcji ułatwiających wybór właściwej architektury sieci,
- zapoznanie się z rodzajami i metodami uczenia sztucznych sieci neuronowych,
- wyznaczenie optymalnych warunków obróbki cieplnej badanych odlewniczych stopów Mg-Al-Zn oraz wpływu poszczególnych warunków obróbki powierzchniowej i składu chemicznego podłoża na własności analizowanych stopów.

STANOWISKO BADAWCZE OBEJMUJE:

- prezentację multimedialną przedstawiającą zastosowanie, wykorzystanie oraz metody modelowania własności użytkowych różnych grup materiałów inżynierskich z wykorzystaniem różnych metod uczenia sztucznych sieci neuronowych, program do automatycznego egzaminowania,
- komputer PC wraz z oprogramowaniem Statistica Neural Networks,
- zestawy wyników badań odlewniczych stopów magnezu do wykorzystania w procesie uczenia sztucznych sieci neuronowych.

ZAKRES ĆWICZENIA OBEJMUJE:

- opracowanie modelu zależności pomiędzy stężeniem aluminium, temperaturą i czasem przesycań, ośrodkiem chłodzącym a twardością stopów magnezu,
- opracowanie modelu zależności pomiędzy stężeniem aluminium, temperaturą i czasem przesycań, temperaturą i czasem starzenia a twardością stopów magnezu,
- opracowanie modelu zależności pomiędzy stężeniem aluminium, szybkością wtapienia, mocą lasera oraz rodzajem wtapianych cząstek a chropowatością i twardością warstwy wierzchniej,
- opracowanie modelu zależności pomiędzy stężeniem aluminium, rodzajem zastosowanej powłoki PVD lub CVD a chropowatością, ścieralnością oraz mikrotwardością uzyskanych powłok,
- przygotowanie zbioru danych oraz dokonanie jego podziału na trzy podzbiory: walidacyjny, testowy i uczący z różnym udziałem danych,

- wyznaczenie zakresu obowiązywania modelu,
- zastosowanie skalowania względem odchylenia od wartości minimum zgodnie z funkcją mini-max,
- dobór rodzaju sieci, liczby neuronów w warstwie(ach) ukrytej(ych), metody i warunków uczenia sieci na podstawie wyznaczonych charakterystyk regresyjnych,
- określenie funkcji błędu oraz funkcji aktywacji sieci,
- wyznaczenie charakterystyk regresyjnych służących ocenie sztucznej sieci neuronowej, tj. średniego błędu bezwzględnego, ilorazu odchyień standardowych oraz współczynnika korelacji Pearsona,
- analizę wrażliwości sieci neuronowej,
- określenie wpływu liczby neuronów w warstwie ukrytej na błąd uczenia sieci,
- określenie wpływu liczby epok treningowych na błąd uczenia sieci,
- symulację wpływu stężenia aluminium, temperatury i czasu przesycania, ośrodka chłodzącego na twardość stopów magnezu przy ustalonych wartościach pozostałych zmiennych wejściowych,
- symulację wpływu stężenia aluminium, temperatury i czasu przesycania, temperatury i czasu starzenia na twardość stopów magnezu przy ustalonych wartościach pozostałych zmiennych wejściowych,
- symulację wpływu stężenia aluminium, szybkości wtapienia, mocy lasera oraz rodzaju wtapianych cząstek na chropowatość i twardość warstw wierzchnich przy ustalonych wartościach pozostałych zmiennych wejściowych,
- symulację wpływu stężenia aluminium, rodzaju naniesionej powłoki PVD lub CVD na chropowatość, ścieralność oraz mikrotwardość naniesionych powłok przy ustalonych wartościach pozostałych zmiennych.

RAPORT OBEJMUJE:

- prezentację w postaci wykresów powierzchniowych symulacji wpływu temperatury i czasu przesycania na twardość odlewniczych stopów magnezu w zależności od temperatury i czasu starzenia,
- prezentację w postaci wykresów powierzchniowych symulacji wpływu temperatury i czasu starzenia na twardość odlewniczych stopów magnezu w zależności od temperatury i czasu przesycania,
- prezentację w postaci wykresów powierzchniowych symulacji wpływu stężenia aluminium

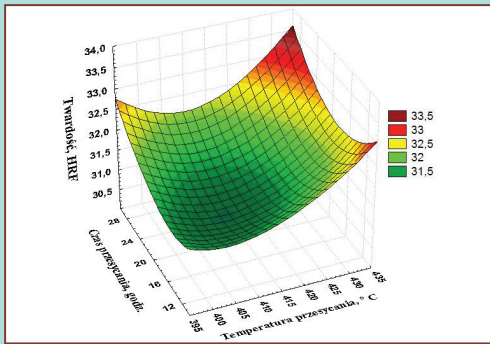
i mocy lasera na twardość i chropowatość odlewniczych stopów magnezu w zależności od rodzaju wtapianego proszku,

- prezentację w postaci wykresów powierzchniowych symulacji wpływu stężenia aluminium na chropowatość, ścieralność oraz mikrotwardość odlewniczych stopów magnezu z naniesionymi różnymi rodzajami powłok PVD i CVD,
- prezentację schematów sztucznych sieci neuronowych wykorzystanych w modelowaniu własności analizowanych materiałów,
- wykonanie wykresów obrazujących wpływ liczby neuronów w warstwie ukrytej na błąd uczenia sieci dla przyjętych modeli sieci neuronowych,
- analizę wartości średniej i odchylenia standardowego dla zmiennych niezależnych w poszczególnych zbiorach danych,
- analizę wpływu liczby neuronów w poszczególnych warstwach (dla perceptronu wielowarstwowego z jedną warstwą ukrytą) na minimalną liczbę danych w zbiorze uczącym,
- zestawienie tablicowe uzyskanych charakterystyk regresyjnych dla wszystkich otrzymanych modeli sieci neuronowych wykorzystanych do modelowania optymalnych warunków obróbki cieplnej badanych odlewniczych stopów Mg-Al-Zn oraz wpływu poszczególnych warunków obróbki powierzchniowej i składu chemicznego podłoża na własności analizowanych materiałów.

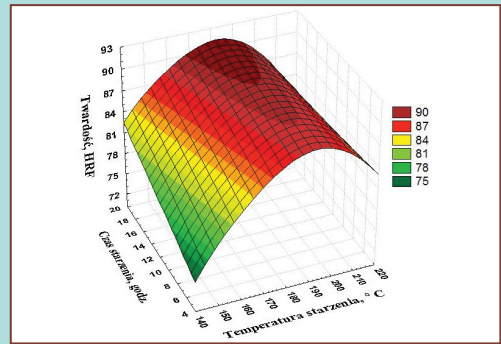
PODSUMOWANIE OBEJMUJE:

- analizę wpływu warunków technologicznych na własności rdzenia i warstwy powierzchniowej badanych stopów magnezu,
- wybrane wykresy powierzchniowe symulacji wpływu analizowanych czynników na wybrane własności odlewniczych stopów magnezu po różnej obróbce cieplnej i powierzchniowej,
- schematy sztucznych sieci neuronowych wykorzystanych w modelowaniu własności analizowanych stopów magnezu,
- omówienie roli zbiorów: uczącego, walidacyjnego i testowego w uczeniu sztucznych sieci neuronowych,
- opis algorytmów uczących sztuczne sieci neuronowe,
- opis możliwości kodowania odpowiedzi sieci neuronowych dla analizowanych przykładów dotyczących odlewniczych stopów magnezu po obróbce cieplnej i powierzchniowej.

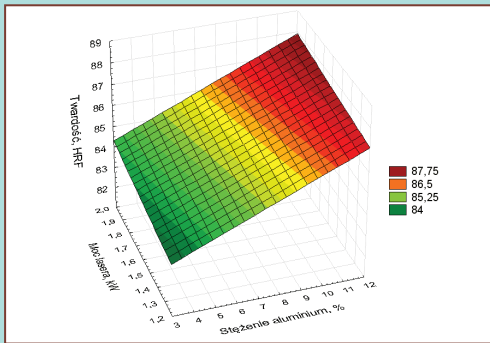
ZESTAW RYSUNKÓW



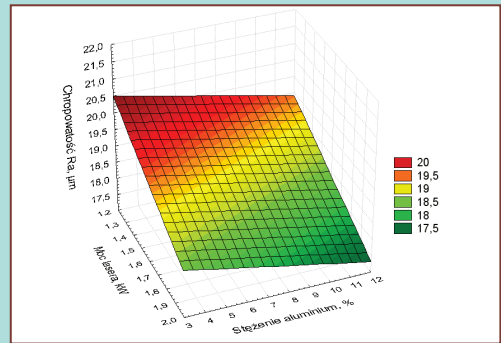
Rys. 1. Symulacja komputerowa wpływu temperatury i czasu przesycań na twardość odlewniczego stopu magnezu $MgAl_{12}Zn_1$ przesyconego i starzonego w temperaturze $190^{\circ}C$ przez 15 godzin



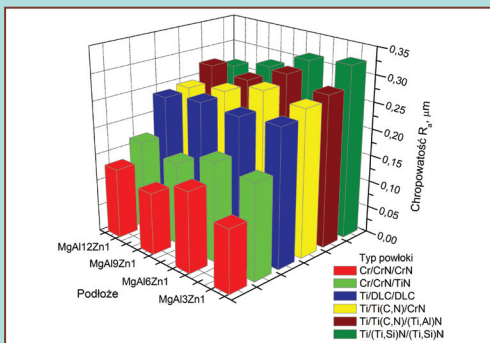
Rys. 2. Symulacja komputerowa wpływu temperatury i czasu starzenia na twardość odlewniczego stopu magnezu $MgAl_{11}Zn_1$ przesyconego w temperaturze $430^{\circ}C$ przez 10 godzin i chłodzonego w wodzie



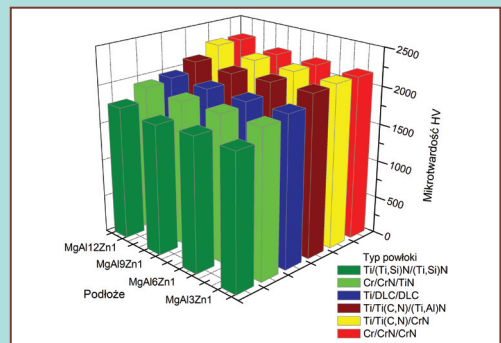
Rys. 3. Symulacja komputerowa wpływu stężenia aluminium i mocy lasera na twardość stopów magnezu po wtapieniu laserowym proszku VC z prędkością wtapienia $0,75$ m/min



Rys. 4. Symulacja komputerowa wpływu stężenia aluminium i mocy lasera na chropowatość stopów magnezu po wtapieniu laserowym proszku SiC z prędkością wtapienia $0,75$ m/min



Rys. 5. Wpływ rodzaju powłoki oraz podłoża na chropowatość powierzchni R_a



Rys. 6. Wpływ rodzaju powłoki oraz podłoża na mikrotwardość HV wytworzonych powłok