

3. Geneza, teza i zakres pracy

3.1. Geneza pracy

Wzrost wymagań stawianych przez przemysł nowoczesnym materiałom konstrukcyjnym, narażonym na działanie szkodliwych czynników zewnętrznych powoduje, że nieustannie trwają prace nad nowymi rozwiązaniami projektowymi i technologicznymi umożliwiającymi sprostać postawionym założeniom. Bardzo często wytwarzane są warstwy powierzchniowe różnymi metodami inżynierii powierzchni, w tym między innymi obróbki cieplno-chemicznej [3-8], tradycyjnymi technikami próżniowymi PVD/CVD, a także napawaniem lub natryskiwaniem twardych warstw metodą metalizacji natryskowej, anodowaniem, technikami jarzeniowymi, metalizacji zanurzeniowej.

Wśród priorytetowych kierunków badawczych formułujących najważniejsze obszary badawcze i technologiczne dla Polski, określonych w dokumentach strategicznych publikowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (lub poprzednio MEiN oraz MNiI) podano m.in.: nowe materiały i technologie oraz nanotechnologie. W szczegółowych zakresach tych kierunków można wyodrębnić m.in. następujące zagadnienia: technologie laserowe, nowe materiały do zastosowań w rozwijanych konstrukcjach, które mogą sprostać rosnącym wymaganiom stawianym nowoczesnym układom mechanicznym i cieplnym oraz mikrosystemom, a także nanomateriały. Zakres niniejszej pracy mieści się zatem w priorytetowych dla kraju obszarach badawczych, przyczyniając się do poszerzenia wiedzy, mogącej w przyszłości zaowocować wymiernymi korzyściami ekonomicznymi, wpływając tym samym na poprawę jakości życia i konkurencyjność gospodarki. Oprócz wspomnianych technologii laserowych [53-58] poprawa własności warstw powierzchniowych możliwa jest także za pomocą stosowania metod PVD/CVD [144-148]. Mając na uwadze ogólne wytyczne dotyczące podanych obszarów badawczych, można stwierdzić, że wytworzone laserowo warstwy wierzchnie na stopach aluminium oraz wytworzone na powierzchni elementów powłoki metodami PVD/CVD sprawiają, że ten kierunek badawczy jest bardzo atrakcyjny w szczególności dla przemysłu motoryzacyjnego oraz lotniczego. Wymogi rynku wymuszające poszukiwanie materiałów lekkich o małej gęstości oraz wysokich własnościach warstwy wierzchniej skutkowały uczestnictwem autora rozprawy w pracach badawczych na temat zastosowania technik PVD/CVD do pokrywania metali lekkich, tj.: „Kształtowanie własności użytkowych elementów ze stopów metali lekkich poprzez nanoszenie hybrydowych powłok

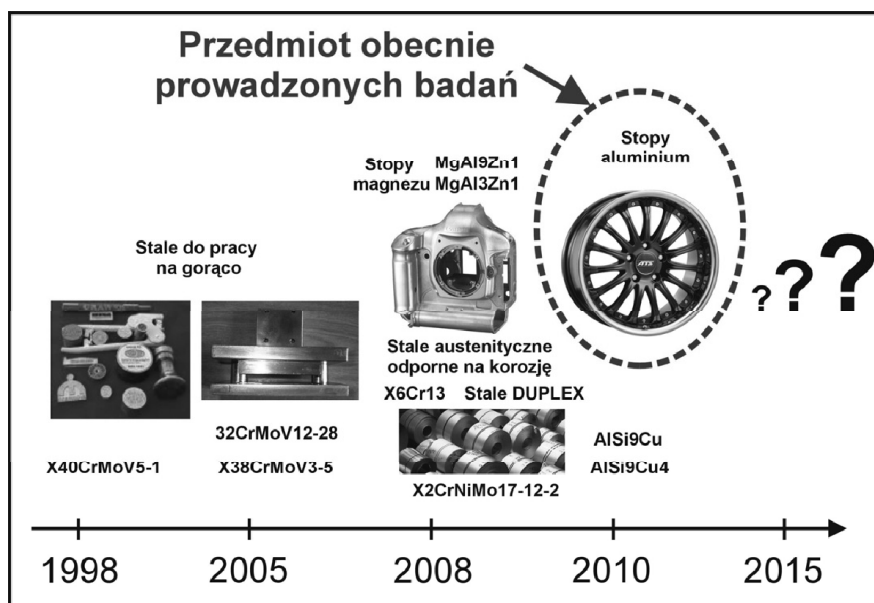
PVD złożonych z gradientowej warstwy przejściowej oraz wieloskładnikowej warstwy zewnętrznej”.

Tematyka pracy habilitacyjnej mieści się zatem w priorytetowych dla kraju obszarach badań naukowych, a znaczące szanse na wdrożenie przemysłowe w rozwijanych dziedzinach przemysłu czynią uzasadnionym podjęcie takiej tematyki naukowej, badawczej, rozwojowej i wdrożeniowej. Rozprawa ta wpisuje się także w prace badawcze, które od wielu lat są wykonywane w Instytucie Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w zakresie zastosowania technik laserowych do wytwarzania warstw wierzchnich [52-69] jak również w zakresie wytwarzania powłok w oparciu o metody PVD/CVD. Niniejsza praca jest więc kontynuacją wcześniejszych badań [141-153] nad wpływem laserowej obróbki powierzchni stopów magnezu, stali narzędziowych stopowych do pracy na gorąco, stali odpornych na korozję oraz polepszeniem własności powierzchni w oparciu o nowoczesne techniki PVD/CVD.

Prace te związane z technologiami modyfikacji warstwy wierzchniej materiałów, w tym stopów metali lekkich, z użyciem lasera diodowego dużej mocy są znaczącymi w skali światowej. Tempo rozwoju technologii oraz urządzeń laserowych w przemyśle światowym systematycznie wzrasta, dlatego niezmiernie ważne jest utrzymanie wysokiego tempa badań nad tą problematyką i wskazanie nowych obszarów badawczych (Rys. 3.1).

W szczególności realizacja opisywanej problematyki związana jest z obróbką laserową powierzchni produktów zamiarem opracowania quasi- kompozytowej warstwy wierzchniej odlewniczych stopów Al-Si-Cu przez wtapianie przy użyciu lasera dużej mocy HPDL w powierzchnię elementów aluminiowych drobnych cząstek oraz szybką mikro- i nanokrystalizację. Wtapianie laserowe może być jednak obarczone wieloma trudnościami, takimi jak występowanie szkliwienia – uzyskanie warstwy amorficznej przy bardzo dużych prędkościach chłodzenia. Pomimo wysokiej twardości i odporności na zużycie ściernie, słabą stroną laserowego wtapiania proszków ceramicznych w warstwę wierzchnią badanych stopów aluminium jest jej niska odporność korozyjna oraz nieregularność uzyskanej w ten sposób powierzchni.

W przypadku otrzymanych powłok metodami CAEPVD/PACVD największy nacisk położono właśnie na uzyskanie dobrej odporności korozyjnej osiągając jednocześnie wysoką odporność na ścieranie, twardość oraz niską chropowatość powierzchni obrabianego materiału, która w przypadku laserowo wytworzonych warstw wierzchnich jest niezadowalająca.



Rysunek 3.1. Oś czasu przedstawiająca „kamienie milowe” rozwoju laserowej obróbki powierzchniowej odnośnie stosowanych materiałów podłoża

Metody CAEPVD/PACVD zapewniają ponadto dobrą przyczepność wytworzonej powłoki do podłoża i nie wykazują występowania nieprzeżeń pomiędzy warstwą wierzchnią a podłożem, co jest często identyfikowanym ograniczeniem stosowania danej metody. Zastosowanie tych metod dla stopów lekkich było możliwe z uwagi na relatywnie niską temperaturę procesu nanoszenia powłok niższą od temperatury topnienia materiału podłoża, co było znacznym ograniczeniem w przypadku klasycznych metod PVD/CVD. Jednym z ograniczeniem wytwarzania powłok wielowarstwowych jest także występowanie naprężeń wewnętrznych pomiędzy poszczególnymi warstwami, zredukowanie tych ograniczeń upatruje się jednak w wytwarzaniu materiałów, charakteryzujących się strukturą gradientową.

Metody CAEPVD/PACVD umożliwiają uzyskanie warstw powierzchniowych o zróżnicowanej grubości ze strukturą zmieniającą się w objętości materiału, wraz ze zmianą składu chemicznego i/lub składu fazowego. Wpływają także znacząco na poprawę własności projektowanego materiału, umożliwiając korzystne połączenie bardzo dużej odporności powierzchni na zużycie ścierne z relatywnie wysoką ciągliwością rdzenia projektowanego materiału.

Przedstawione niniejszej pracy habilitacyjnej badania dotyczą polepszenia własności powierzchni odlewniczych stopów aluminium z krzemem i miedzią, oraz poznania struktury oraz mechanizmów strukturalnych towarzyszących tworzeniu warstw wierzchnich w ramach obróbki laserowej a także nanoszonych powłok PVD i CVD. Przedmiotem badań jest także

optymalizacja zastosowanych technologii pod kątem określenia parametrów obróbki, zapewniającej najwyższe możliwe własności mechaniczne i użytkowe, w tym odporność na ścieranie, odporność korozyjną oraz twardość warstw powierzchniowych. Proponowane technologie quasi RSP (ang. Rapid Solidification Processing), gradientowe oraz powierzchniowe wytwarzanie kompozytów MMCs zaliczone są również do najbardziej nowoczesnych technologii m.in. ze względu na możliwość wytwarzania materiałów lub ich stref jako nanostrukturalnych.

3.2. Teza i cele pracy

Powodem podjętych działań badawczych opisanych w przedstawionej pracy naukowej jest potrzeba podwyższenia trwałości produktów wytwarzanych ze stopów aluminium Al-Si-Cu poprzez nanoszenie na ich powierzchnię poprzez wtapianie laserowe, jak również techniką PVD i CVD. Dotychczas uzyskanie odpowiednich własności mechanicznych i użytkowych warstw powierzchniowych odlewniczych stopów aluminium zapewniane było poprzez zastosowanie tradycyjnych metod obróbki powierzchni najczęściej z zakresu szeroko rozumianej obróbki cieplnej, polegającej najczęściej na przesycaniu i starzeniu [22-24], tj. wykorzystując umocnienie wydzieleniowe zachodzące w stopie. Odpowiednie własności mechaniczne i użytkowe, odporność na zużycie ścierne i odporność korozyjna odlewniczych stopów aluminium Al-Si-Cu kształtowano więc tradycyjnie poprzez umocnienie roztworowe przy użyciu dodatków stopowych takich jak krzem, miedź rozpuszczonych w osnowie aluminium oraz wspomnianym powyżej utwardzaniem wydzieleniowym obejmującym przesycanie i starzenie w celu wystąpienia w całej objętości materiału przemian fazowych i procesów wydzieleniowych, których efektem jest obecność dyspersyjnych wydzieleni faz wzmacniających, działających głównie jako inhibitory przemieszczania się dyslokacji. Dostępność innowacyjnych technologii laserowej obróbki powierzchni jak również fizycznego i chemicznego osadzania z fazy gazowej CAEPVD i PACVD stwarza możliwości ich zastosowania w celu poprawy własności mechanicznych i użytkowych warstwy wierzchniej odlewniczych stopów aluminium Al-Si-Cu. Dlatego też przedstawione powyżej rozważania doprowadziły do sformułowania tezy pracy, która z uwagi na rozgraniczenie dwóch relatywnie odmiennych metod kształtowania własności warstw powierzchniowych ujęta została w następującej formie:

- 1. Zastosowanie powierzchniowej obróbki laserowej do odlewniczych stopów aluminium daje możliwość modyfikowania własności użytkowych poprzez wytworzenie warstwy wierzchniej charakteryzującej się lepszymi własnościami mechanicznymi i trybologicznymi niż materiał rdzenia.**
- 2. Zastosowanie technologii PVD/CVD do niskotemperaturowej obróbki wybranych odlewniczych stopów aluminium umożliwi naniesienie powłok mających na celu poprawę odporności korozyjnej, własności użytkowych i dekoracyjnych wybranych stopów.**

Zweryfikowanie tezy możliwe będzie na podstawie zrealizowania następujących celów pracy, obejmujących:

1. Wykonanie obróbek laserowych dla wybranych odlewniczych stopów aluminium.
2. Wykonanie serii powłok z zastosowaniem metod PVD/CVD na wybranych odlewniczych stopach aluminium.
3. Wykonanie badań strukturalnych, wytrzymałościowych i korozyjnych mających na celu określenie jakości wytworzonych warstw wierzchnich i osadzonych powłok, a także optymalizację i weryfikację wpływu proponowanych technologii na podane własności dla wybranych stopów aluminium.

3.3. Zakres pracy

Badania eksponowane w niniejszej pracy, w tym również technologie wytwarzania gradientowych warstw powierzchniowych, wykonane w zakresie odlewniczych stopów aluminium z krzemem, stawiają tą pracę w rzędzie bardzo zaawansowanych i unikatowych zarówno pod względem naukowym i użytecznym. Wśród deklarowanych przez Unię Europejską priorytetów rozwoju inżynierii materiałowej należy wymienić poprawę bilansu energetycznego poprzez stosowanie zaawansowanych materiałów inżynierskich, w szczególności poprzez wytwarzanie warstw powierzchniowych, które zapewnią wysoką trwałość wytworzonych elementów oraz spełnią wymagania także pod kątem ochrony środowiska.

Zgodnie z przyjętymi założeniami badawczymi wykonano w pełni planowane badania naukowe dotyczące:

- wytypowania i przygotowania materiału podłoża w postaci próbek przeznaczonych do badań struktury i własności proponowanych powłok,
- określenia parametrów wytwarzania warstw wierzchnich,
- doboru proszków ceramicznych użytych do wtapiania, spełniających narzucone wymagania,
- doboru technologii nanoszenia powłok o wybranym składzie chemicznym i optymalizacji warunków technologicznych PVD i CVD,
- przygotowania powierzchni pod powłoki metodami fizycznymi i chemicznymi,
- wstępnego określenia struktury opracowanych powłok w odniesieniu do zastosowanych parametrów technologicznych z wykorzystaniem metod mikroskopii elektronowej transmisyjnej i skaningowej z przystawkami EDS, analizy rentgenograficznej,
- wyznaczenia własności mechanicznych i użytkowych, w szczególności twardości, przyczepności i chropowatości,
- kompleksowego badania struktury opracowanych laserowych warstw wierzchnich oraz powłok PVD i CVD z wykorzystaniem metod mikroskopii świetlnej, mikroskopii elektronowej transmisyjnej i skaningowej, analizy rentgenograficznej oraz spektroskopii GDOS i EDS,
- badania strefy przejściowej i strefy połączenia między rdzeniem a wytworzoną laserowo warstwą wierzchnią oraz powłokami PVD i CVD z użyciem metod mikroskopii elektronowej transmisyjnej i skaningowej, spektroskopii GDOS i EDS oraz mikroanalizy rentgenowskiej,
- badania własności użytkowych i eksploatacyjnych, w szczególności odporności na zużycie trybologiczne oraz odporności na działanie korozji elektrochemicznej w trójelektrodowej komorze w wytypowanych ośrodkach korozyjnych, w odniesieniu do elektrody platynowej i kalomelowej,

W związku z rosnącymi wymaganiami stawianymi stopom metali lekkich, dotyczącymi ich własności mechanicznych, odporności na korozję, kosztów produkcji oraz wpływu na środowisko naturalne, opracowaną tematykę można uznać za aktualną nie tylko z punktu widzenia naukowego, ale również aplikacyjnego.