

Prof. dr hab. inż. Sebastian Mróz

Częstochowa, 02.09.2021 r.

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Tomasza Buckiego

pt.: „*Zastosowanie metody odlewniczej do łączenia stopów magnezu ze stopami aluminium z krzemem*” – wykonana na zlecenie dr hab. inż. Sławomira Błasiaka, prof. PŚk

Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki

Świętokrzyskiej z dnia 8 lipca 2021 r.

Wyroby ze stopów magnezu od kilkunastu lat cieszą się coraz większym zainteresowaniem w wielu branżach przemysłu. Związane jest to z niską masą właściwą i wysoką wytrzymałością stopów Mg, przy zachowaniu dobrych właściwości plastycznych. Dzięki czemu takie wyroby stanowią coraz większą konkurencję dla szeroko stosowanych wyrobów stalowych. Istotną przeszkodą w szerszym wykorzystaniu stopów magnezu w technice jest ich relatywnie słaba odporność na korozję. Stąd też, na wyroby ze stopów magnezu w wielu przypadkach nanoszone są powłoki zwiększające odporność korozyjną. Jednym ze sposobów ich zabezpieczenia jest nanoszenie warstw aluminiowych. Zastosowanie aluminiowych powłok lub warstw może być perspektywicznym rozwiązaniem zapewniającym wzrost odporności na korozję magnezowego rdzenia, jednocześnie nie powodując istotnego wzrostu ciężaru właściwego wyrobów gotowych. Zaletą zastosowania powłok z aluminium lub jego stopów jest ich doskonała odporność na korozję w mediach obojętnych jak również odporność na uszkodzenia mechaniczne. W literaturze technicznej można znaleźć wiele prac dotyczących wytwarzania takich warstw. Do najczęściej stosowanych można zaliczyć metodę łączenia dyfuzyjnego, prasowania na gorąco, wyciskania, walcowania, zgrzewania wybuchowego, kucia, a także metodę odlewania, która została wykorzystana przez Autora pracy. Jednakże wiele z wymienionych powyżej metod nie gwarantuje odpowiedniej jakości złącza. Spowodowane jest to powstawaniem twardej i kruchej faz międzymetalicznych na granicy złącza głównie w wyniku działania wysokiej temperatury podczas łączenia metali. Problem ten wymaga ciągłych badań pod kątem doboru parametrów procesowych ograniczających to zjawisko. Doktorant w swojej pracy badał

wytwarzanie połączeń pomiędzy stopami Mg a stopami Al z zastosowaniem metody odlewniczej pod kątem określenia wpływu parametrów procesowych oraz gatunków stopów Mg i Al na trwałość, budowę i właściwości złącza Mg-Al. Stąd też można stwierdzić, że podjęty przez Doktoranta temat badawczy stanowi wciąż trudny i nierozwiązany problem, zarówno pod względem naukowym, jak i aplikacyjnym. Podjęta tematyka jednoznacznie wpisuje się w zakres dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Recenzowana praca składa się ze streszczenia w języku polskim oraz angielskim, wprowadzenia, pięciu rozdziałów oraz spisu literatury zamieszczonych na 121 stronach. Przyjęta struktura pracy jest właściwa, a badania własne i ich analiza stanowią ponad 60% całej objętości pracy. Cytowana literatura (156 pozycji) jest bardzo aktualna, a sam dobór literatury jest jak najbardziej adekwatny do tematyki rozprawy. Znaczna liczba publikacji dotycząca analizowanych zagadnień potwierdza również aktualność tematyki badawczej podjętej przez Doktorantkę. Bibliografia w głównej mierze składa się z najnowszych pozycji światowej literatury, które zostały opublikowane w czasopismach charakteryzujących się wysokim IF w okresie ostatnich 10 lat. W cytowanej literaturze znalazły się również fundamentalne pozycje źródłowe dotyczące analizowanego problemu badawczego (publikacje Friedricha, Glazoffa, Kauffmana, Dziadonia, Suchonia i innych). W dziewięciu pozycjach Doktorant występuje jako współautor, głównie Archives of Foundry Engineering.

Przed postawieniem tezy pracy, w przeglądzie literatury, Autor bardzo szczegółowo omówił stopy magnezu oraz aluminium, które wykorzystał jako materiały wchodzące w skład wytwarzanych bimetałów Mg/Al. Następnie dokonał analizy metod łączenia stopów Mg z aluminium. Główna uwaga została poświęcona metodzie odlewania, jako tej, którą Autor wybrał do badań. Cenne jest krytyczne podejście Autora do omawianych metod. Natomiast w opisie metod pominięto procesy walcowania, które są jednymi z najbardziej wydajnych procesów, gwarantujących otrzymanie złącza o wysokiej wytrzymałości. Metoda walcowania została tylko wspomniana w podrozdziale 1.2.8 *Inne metody*. W dalszej części przeglądu literatury Doktorant dokonał również analizy układów równowagi fazowej dla materiałów stosowanych do badań. Dane zawarte w tym rozdziale są znane i dostępne w wielu podręcznikach. Jednakże zważywszy na tematykę pracy i zastosowaną metodę odlewania (charakter połączenia z udziałem fazy ciekłej) należy uznać przeprowadzoną analizę za wartościową i celową. Przegląd literatury zakończony jest wnioskami, w których to Doktorant jeszcze raz podsumowuje zalety i wady

poszczególnych metod, jednocześnie wskazując na konieczność prowadzenia dalszych badań zastosowania metody odlewania do produkcji materiałów dwuwarstwowych Mg/Al. Stwierdzam, że przegląd literatury został wykonany bardzo starannie wskazując trendy prowadzonych badań naukowych dotyczących metod łączenia stopów magnezu z aluminium.

Tezę pracy stanowi stwierdzenie, że „... *możliwe jest kontrolowane wytworzenie trwałego połączenia pomiędzy stopem magnezu a stopem aluminium metodą odlewniczą poprzez zalewanie stopem magnezu elementu wykonanego ze stopu magnezu.*”

Tak postawiona teza jest uzasadniona w kontekście zrealizowanych badań. Jednakże nasuwają się pytania. Co można rozumieć pod pojęciem *kontrolowane wytworzenie trwałego połączenia*? Jak Autor zamierza to kontrolować? Kolejne pytanie dotyczy określenia *trwałe złącze*. W całej pracy określenie to pojawia się wielokrotnie. Zdaniem recenzenta Doktorant powinien zdefiniować parametr (np. naprężenie ścinające), od wartości którego można uznać, że złącze jest trwałe.

Główny cel pracy zdefiniowano jako „... *ocena wpływu parametrów procesu (rodzaj stopów, temperatura zalewania, temperatura i grubość elementu ze stopu aluminium, zastosowanie dodatkowej obróbki powierzchniowej) na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne połączenia.*” wpisuje się w dyscyplinę inżynieria mechaniczna. Należy stwierdzić, że wykonane przez Autora badania jednoznacznie były ukierunkowane na zrealizowanie założonego celu pracy.

Dla osiągnięcia celu i udowodnienia tezy pracy Doktorant zrealizował szeroki zakres badań doświadczalnych polegający na obserwacjach mikroskopowych wytworzonych złącz, analiza składu chemicznego oraz pomiary mikrotwardości i właściwości mechanicznych.

Metodyka badań została zdefiniowana w rozdziale 4.2. Na uwagę zasługuje fakt, że Autor sam zaprojektował stanowisko do badań oraz przyrząd do badania wytrzymałości na ścinanie, co jest powiązane z dyscypliną inżynieria mechaniczna. Zakres badań doktorant zdefiniował w tablicy 8. W badaniach wykorzystano 4 gatunki stopów Mg oraz 4 gatunki stopów Al. Tak duża liczba wariantów oraz zmiennych parametrów procesowych wprowadza pewien chaos, co utrudnia analizę otrzymanych wyników. Stąd też nasuwają się pytania. Czy grubość warstwy Al wpłynęła na budowę złącza? Dla próbek Mg/Al zmiana temperatury o 10°C spowodowała wzrost warstwy faz międzymetalicznych o 100%. Jaka mogła być tego przyczyna? Dla wariantu AZ91/AlSi17 Autor zastosował szeroki zakres temperatury zalewania od 630 do

700°C. Jednakże brak jest analizy wpływu zmiany temperatury zalewania na budowę (wytrzymałość) złącza. Dla wariantu AZ31/AW-6060 oraz AZ31/Zn/AW-6060 Autor stosuje 2 temperatury zalewania oraz 3 temperatury formy odlewniczej, co również utrudnia analizę otrzymanych wyników.

Wyniki badań eksperymentalnych Doktorant zamieścił w rozdziale 4.4. Wyniki badań zamieszczone w tym rozdziale stanowią największe osiągnięcie Autora pracy. Dla wariantów zdefiniowanych w tablicy 8 dokonano szczegółowej analizy morfologii otrzymanych złączy oraz ich właściwości mechanicznych (stosowanie przez Autora pojęcie właściwości mechaniczne jest zbyt szerokie, w pracy badano tylko i to nie dla wszystkich wariantów wytrzymałość na ścinanie). Przedstawione wyniki badań i ich analiza pozwoliły określić wpływ zastosowanych parametrów procesowych oraz materiałów na morfologię i wytrzymałość złącza. Zestawienie otrzymanych wyników badań zamieszczono w tablicy 18. Z analizy danych wynika, że najlepsze właściwości wytrzymałościowe posiadały złącza wytworzone dla wariantu ZE41/AlSi12, wariant z rozdrobnioną strukturą oraz AZ31/AW-6060 – wariant z warstwą pośrednią Zn i podwyższoną temperaturą wkładki stalowej.

Praca zakończona jest podsumowaniem i wnioskami. W rozdziale tym w syntetyczny sposób mgr inż. Tomasz Bucki przedstawił i potwierdził nowość otrzymanych wyników badań i ich poznawczy charakter określający wpływ parametrów procesowych na budowę i właściwości złącza w bimetalach Mg/Al. Doktorant wyjaśnił mechanizm powstawania złączy oraz ich budowę. Otrzymane wyniki badań potwierdzają zrealizowanie celu oraz udowadniają postawioną tezę pracy i wpisują się w dyscyplinę inżynieria mechaniczna.

#### **Uwagi do pracy:**

Praca została przygotowana bardzo starannie, poprawnie pod względem redakcyjnym i językowym, jednakże Autor nie ustrzegł się pewnych nieścisłości, a niektóre zagadnienia nie zostały wyjaśnione w sposób wyczerpujący:

1) Str. 8, Autor stwierdza: „*Pierwiastek ten (Al) nie występuje w stanie wolnym w skorupie ziemskiej.*” Dwa zdania dalej można przeczytać: „*Aluminium występuje w skorupie ziemskiej w ilości 8,1% i jest najczęściej występującym metalem.*”

- 2) Str. 20, Autor stwierdza: „Podczas zgrzewania (wybuchowego) nie dochodzi do znacznego wzrostu temperatury w łączonych elementach.” Jest dokładnie odwrotnie, lokalnie następuje wręcz przetopienie łączonych metali.
- 3) Porównując wyniki dla wariantu AZ91/AlSi17 można zauważyć, że mikrotwardość stopu Al o strukturze nierozdrobnionej (rys. 41) jest większa niż dla tego stopu o strukturze rozdrobnionej (rys. 44). Czym Autor to wytłumaczy?
- 4) Tablica 18. Dlaczego Autor dla wielu wariantów zrezygnował z badania wytrzymałości na ścinanie? Również dla wielu wariantów brak jest badań mikrotwardości.
- 5) Dla tak szerokiego zakresu badań brakuje ogólnego zalecenia, które Autor wskazałby technologom projektującym proces odlewania wyrobów Mg/Al.

#### **Wnioski końcowe:**

Biorąc pod uwagę aktualność doboru tematu, który ma bardzo istotne znaczenie poznawcze i praktyczne, właściwą tezę rozprawy, która została w pełni udowodniona, a także umiejętności Doktoranta, który:

- wykazał bardzo dobre opanowanie warsztatu naukowego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna, m.in. poprzez budowę stanowiska badawczego, a także, co jest szczególnie istotne w dyscyplinach pokrewnych – inżynieria materiałowa,
- potrafił zastosować szeroki zakres metod badawczych, co umożliwiło poszerzenie wiedzy w zakresie wpływu parametrów odlewania na jakość i budowę złącza w materiałach Mg/Al,
- sformułował poprawne i wartościowe wnioski wynikające z wyników badań doświadczalnych, stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska pt.: „Zastosowanie metody odlewniczej do łączenia stopów magnezu ze stopami aluminium z krzemem” spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Tomasza Buckiego do publicznej obrony.



