



Prof. dr hab. inż. Tadeusz Pacyniak prof. zw.

tadeusz.pacyniak@p.lodz.pl

Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji

Wydział Mechaniczny

Politechnika Łódzka

RECENZJA
rozprawy doktorskiej

mgr inż. Zofii Kwak, zatytułowanej

***„Indeks jakości stopów aluminium układu Al-Zn-Mg-Cu
w zależności od parametrów obróbki cieplnej”***

wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Odlewnictwa
Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie

ŁÓDŹ, sierpień 2019

Prof. dr hab. inż. TADEUSZ PACYNIAK prof.zw.

Politechnika Łódzka

Katedra Technologii Materiałowych

i Systemów Produkcji

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Zofii Kwak**, zatytułowanej
**„Indeks jakości stopów aluminium układu Al-Zn-Mg-Cu
w zależności od parametrów obróbki cieplnej”**

wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Odlewnictwa

Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie

1. Charakterystyka ogólna pracy

Stopy aluminium przeznaczone dla przemysłu samochodowego czy lotniczego czy kosmicznego muszą spełniać coraz większe wymagania. Praca w warunkach specjalnych warunkuje zwiększoną wytrzymałość, ale także plastyczność stosowanych materiałów. Stopy aluminium serii 7XXX przeznaczone do przeróbki plastycznej, a w szczególności układu Al-Zn-Mg-Cu wykorzystywane są do wykonywania odpowiedzialnych odlewów. Związane jest to również z możliwością sterowania ich właściwościami na drodze doboru parametrów obróbki cieplnej. Duża wytrzymałość stopów Al-Zn-Mg-Cu wynika w głównej mierze z procesów umacniania roztworowego i wydzieleniowego zachodzących w wyniku obróbki cieplnej.

W poniższej pracy Autorka przedstawiła wyniki badań właściwości mechanicznych wybranych stopów aluminium układu Al-Zn-Mg-Cu, w zależności od mikrostruktury, ukształtowanej poprzez obróbkę cieplną. Korelację właściwości wytrzymałościowych i plastycznych przedstawiono w dysertacji za pomocą wskaźnika zwanego *indeksem jakości* (ang. *Quality Index*).

Recenzowana praca wpisuje się w światowe trendy nauki i nowoczesnego projektowania materiałowego zgodnego z wysoko stawianymi produktom

wymaganiami. Wskaźniki jakości materiałów mogą być powszechnie wykorzystywane do kompleksowej oceny trwałości eksploatacyjnej odlewniczych stopów aluminium i magnezu, co ma zastosowanie w przypadku elementów konstrukcyjnych pracujących w warunkach zmiennych obciążeń mechanicznych.

Praca ma zarówno charakter poznawczy jak i praktyczny, gdyż jej wyniki mogą być wykorzystane przy wyborze materiałów na elementy konstrukcyjne w branży motoryzacyjnej, lotniczej i innych.

Przedłożona do oceny praca mgr inż. Zofii Kwak pt. „Indeks jakości stopów aluminium układu Al-Zn-Mg-Cu w zależności od parametrów obróbki cieplnej” liczy 212 stron, zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim oraz bogatą bibliografię, obejmującą 96 pozycji. Dobór literatury, obejmującej zarówno pozycje książkowe, jak i artykuły naukowe w języku polskim i angielskim, dowodzi dobrej znajomości omawianej problematyki i aktualnych publikacji z tego zakresu. Konstrukcja pracy jest czytelna. Treści uzupełnione zostały 194 rysunkami i 41 tabelami.

2. Ocena części literaturowej

2. Ocena części teoretycznej

Obszerna część analizy literatury, obejmuje charakterystykę aluminium i stopów aluminium z dodatkami: Zn, Mg i Cu, w tym również wysokowytrzymałe stopy aluminium serii 7XXX. Dużą uwagę Autorka poświęciła analizie stopów Al pod kątem właściwości mechanicznych. Szczegółowo opisano proces przygotowania aluminium do odlewania wraz z technologią półciągnięgo odlewania stopów aluminium. Osobny rozdział poświęcono idei i zależnościom wyznaczającym *indeks jakości QI*.

Ta część pracy napisana w oparciu o liczne źródła literaturowe, również własne, stanowi wystarczającą podstawę teoretyczną do realizacji podjętego tematu.

Oceniając tę część pracy stwierdzam, że tak przedstawiona część literaturowa stanowi wystarczającą podstawę teoretyczną do realizacji podjętego tematu.

3. Teza i cel rozprawy

W rozdziale 8 zatytułowanym „Tezy pracy” Autorka określiła cztery tezy pracy.

1. Stopy układu Al-Zn-Mg-Cu, o składzie chemicznym przeznaczonym do przeróbki plastycznej, mogą być stosowane na odlewy, których właściwości mechaniczne wyniosą: wytrzymałość na rozciąganie $R_m \geq 350$ MPa, plastyczności A_5 powyżej 3% (sięgającej niekiedy nawet 15-18%).
2. Idea Wskaźnika Jakości QI ma zastosowanie w przypadku stopów aluminium układu Al-Zn-Mg-Cu.
3. Pomiędzy współczynnikiem jakości QI i pracą zniszczenia W_B w próbie (statycznego) rozciągania może występować liniowa lub nieliniowa korelacja.
4. Poprzez odpowiednią obróbkę cieplną, poprzedzoną dokładną analizą termiczną (DSC, ATD, TMA), możliwe jest zwiększenie wytrzymałości i w stopniu znaczącym plastyczności odlewanych stopów serii 7XXX, pierwotnie przeznaczonych do przeróbki plastycznej.

4. Ocena części merytorycznej rozprawy

Pracę realizowano: w Centrum Badawczo-Rozwojowym i Zakładzie Wlewków Grupy Kęty S.A, na Wydziale Odlewnictwa AGH, Instytucie Odlewnictwa, Wydziale Metali Nieżelaznych AGH oraz Centrum Technicznym firmy Aptiv Services Poland S. A. Materiał do badań pochodził z linii do

półciągniętego odlewnia w Zakładzie Wlewków Grupy Kęty S.A. Wlewki doświadczalne były wykonane ze stopów aluminium typu 7010 (AW-7010 AlZn6MgCu) oraz 7003 (EN AW-7003 Al Zn6Mg0,8Zr), zgodnie z normą europejską PN-EN 573-3:2014-02 (wersja angielska).

Założeniem przyjętym w pracy było sterowanie właściwościami mechanicznymi (wytrzymałościowym i plastycznymi), poprzez dobór sposobu i parametrów obróbki cieplnej wybranych stopów serii 7XXX. Otrzymane wyniki pomiarów właściwości mechanicznych (R_m ; $R_{p0.2}$ – parametry wytrzymałościowe i A jako charakterystykę plastyczności; HB – twardość; W – praca zniszczenia) pozwoliły na przeprowadzenie analizy ich wzajemnych powiązań z wykorzystaniem metod statystycznych.

W ramach prac wykonano: obróbkę cieplną, dla 12-tu różnych wariantów przesycań i starzenia stopu 7010, po trzy próbki na każdą adaptację; badania prowadzono na 36 próbkach obrobionych cieplnie oraz 3 próbkach w stanie po odlaniu, obróbkę cieplną, dla 8-miu różnych wariantów przesycań i starzenia stopu 7003, badania prowadzono na 18 próbkach obrobionych cieplnie oraz 6 próbkach w stanie po odlaniu, analizę składu chemicznego stopów, badanie twardości HB i statyczną próbę rozciągania. W oparciu o powyższe wyniki badań właściwości mechanicznych, dla wybranych wariantów obróbki cieplnej (dotyczących minimalnych, maksymalnych oraz pośrednich wartości) zrealizowano również: ocenę mikrostruktury, analizę SME-EDS z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego, analizę statystyczną i wykresy indeksu jakości QI .

Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych i obliczeniowych potwierdziły koncepcję rozprawy doktorskiej, opartej na tezie, iż odpowiedni dobór parametrów obróbki cieplnej stopów (na przykładzie stopów aluminium układu Al-Zn-Mg-Cu), pozwala na sterowanie w szerokich zakresach ich właściwościami mechanicznymi i zmianie wskaźnika QI – łączącego parametry wytrzymałościowe

i plastyczne. W pracy udowodniono, iż możliwe jest zastosowanie na odlewy stopów układu Al-Zn-Mg-Cu, pierwotnie przeznaczonych do przeróbki plastycznej, o wytrzymałości $R_m \geq 350$ MPa i plastyczności A_5 powyżej 3% (sięgającej niekiedy nawet 15-18%). Jest również możliwe zwiększenie wytrzymałości i plastyczności odlewanych stopów układu Al-Zn-Mg-Cu, pierwotnie przeznaczonych do przeróbki plastycznej, poprzez odpowiednią obróbkę cieplną, poprzedzoną analizę termiczną (DSC, ATD, TMA), dotyczącą sekwencji przemian fazowych podczas krystalizacji stopów. Wskazane jest wyznaczanie (obliczanie) oraz graficzna prezentacja wskaźnika jakości QI łączącego parametr wytrzymałości (R_m) oraz plastyczności (A_5) w przypadku stopów układu Al-Zn-Mg-Cu, w szczególności przez wzgląd zróżnicowane parametry otrzymane w zależności od zaproponowanej obróbki cieplnej. W pracy wykazano, iż pomiędzy współczynnikiem jakości QI i pracą zniszczenia W , w próbie (statycznego) rozciągania dla stopu 7003, istnieje znaczący stopień korelacji. Udokumentowano, iż właściwości mechaniczne stopów serii 7XXX, dla wybranego sposobu odlewania, w zależności od parametrów obróbki cieplnej wykazują znaczną poprawę.

Praca jest bardzo obszerna, co ze względu na istotę tematu ma swoje uzasadnienie, jednakże niektóre zagadnienia przedstawia zbyt szczegółowo np. opis i zdjęcia suszarek, w których prowadzono starzenie (rys. 113, 114, str. 127). Rozbudowany rozdział 5.3. Właściwości mechaniczne w próbie rozciągania mógłby zostać przedstawiony dopiero w metodyce badań. W pracy znalazło się także kilka mniej istotnych błędów.

5. Ocena końcowa

Przytoczone uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy zarówno pod względem zastosowanych metod badawczych, jak też uzyskanych wyników i ich interpretacji. Doktorantka zrealizowała zakres merytoryczny pracy, stosując szereg metod badawczych.

Wyniki badań wnikliwie przeanalizowała i przedstawiła w formie tabelarycznej i graficznej. Założone cele pracy zrealizowała, a też dowiodła. Wysunęła i udokumentowała logiczne i słuszne wnioski, czym dowiodła znajomości problematyki i dobrego opanowania warsztatu naukowego. Należy podkreślić, iż opracowanie map *indeksu jakości* obrazujących zależność *QI* od wydłużenia i wytrzymałości na rozciąganie w oparciu o własne kompleksowe badania mechaniczne prowadzone w obrębie dwóch stopów układu Al-Zn-Cu-Mg **jest ważnym osiągnięciem autorskim Doktorantki.**

Wniosek końcowy

Na podstawie powyższej opinii o rozprawie doktorskiej mgr inż. Zofii Kwak reprezentującej dyscyplinę metalurgia zatytułowanej „Indeks jakości stopów aluminium układu Al-Zn-Mg-Cu w zależności od parametrów obróbki cieplnej”, której promotorem jest dr hab. inż. Edward Czekaj, prof., Instytutu Odlewnictwa w Krakowie, uznaję, iż mgr inż. Zofia Kwak spełnia wymagania określone w Ustawie dla osób ubiegających się o uzyskanie stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie metalurgia. Przedkładam zatem Wysokiej Radzie Wydziału Odlewnictwa Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie wniosek o dopuszczenie mgr inż. Zofii Kwak do publicznej obrony.

Łódź, 07. 09. 2019 r.