

Prof. dr hab. inż. Ferdynand Romankiewicz
Zakład Materiałoznawstwa
i Technologii Materiałowych
Uniwersytetu Zielonogórskiego
ul. Licealna 9
65-417 Zielona Góra

Zielona Góra, 21.07.2015 r.

R E C E N Z J A

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Ściężora pt. " Eksperymentalna
identyfikacja warunków krzepnięcia i odkształcenia aluminium oraz
wybranych stopów aluminium serii 8XXX w kotlinie procesu Twin Roll
Casting ", opracowana na zlecenie Pani Dziekan Wydziału Metali
Nieżelaznych AGH w Krakowie prof. dr hab. inż. Marii Richert;
pismo z dnia 18.06.2015 r.**

Obserwowane w procesach produkcyjnych trendy dotyczące oszczędności energii oraz lepszego wykorzystania materiałów konstrukcyjnych i użytkowych wymuszają intensyfikację cyklu produkcyjnego. Dotyczy to w szczególności przetwarzania metali, których zastosowanie ulega ciągłemu rozszerzaniu w wielu ważnych sferach gospodarki. Do metali takich można zaliczyć aluminium którego zastosowanie w postaci czystej lub szerokiej rodziny stopów wzrasta dynamicznie w ważnych sferach techniki oraz urbanistyki i innych potrzebach gospodarczych.

Z powyższych względów uważam, iż problematyka i temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Ściężora zostały trafnie dobrane i zasługują na uznanie.

Recenzowana rozprawa obejmuje 273 strony, zawiera 8 obszernych rozdziałów, bardzo liczne rysunki i tabele, fotografie makro- i mikrostruktury oraz 148 pozycji aktualnej literatury. W pracy nie wyodrębniono streszczenia,

lecz rolę taką dobrze spełnia wprowadzenie, a w odniesieniu do wyników badań podsumowanie.

Literaturowo-teoretyczna część rozprawy (rozdz. 2), stanowiąca analizę stanu zagadnienia, zawiera bardzo obszerną i zarazem wnikliwą analizę problematyki związanej z tematem rozprawy. Autor dokonał przeglądu technik ciągłego odlewania w procesie TRC uwzględniając postęp w ich rozwoju. Szczególną uwagę skoncentrował na zagadnieniach dotyczących procesów krzepnięcia i odkształcenia wytwarzanych materiałów. Uwzględnił takie istotne czynniki procesu jak: rozkład temperatury i ciśnienia metalostatycznego w kotlinie oraz ukształtowanie frontu krystalizacji przy zmianie prędkości przepływu ciekłego stopu i zmianie prędkości odlewania taśm. Dokonał również analizy jakości wytwarzanych taśm z uwzględnieniem stanu ich powierzchni oraz tworzącej się struktury krystalicznej i towarzyszących temu zjawisk anizotropii i segregacji. Przedstawił również informacje o wpływie technologii wytwarzania na właściwości mechaniczne stopów serii 1XXX i 8XXX w zależności od stopnia odkształcenia analizowanych stopów. Rozdział ten podsumował Autor krytyczną analizą stanu zagadnienia która stanowi dobrą podstawę do sformułowania tezy oraz określenia celu i zakresu pracy.

Przyjęta przez Autora teza rozprawy (rozdz. 3) zakłada, że *" Na podstawie określonych parametrów procesowych oraz określonych właściwości fizycznych i mechanicznych przetwarzanego materiału (aluminium oraz wybranych stopów serii 8XXX) możliwe jest określenie udziału strefy krzepnięcia oraz strefy odkształcenia plastycznego i jego wartości w kotlinie procesu Twin Roll Casting "*. Sformułowane w tezie założenie jest właściwe i jednoznacznie określa istotę rozprawy.

Wskazany przez Autora cel pracy zawiera aspekty naukowe oraz aplikacyjne. Podstawowy cel pracy dotyczy poznania zjawisk zachodzących w kotlinie procesu TRC zgodnie z przyjętą tezą. Za równie istotny cel rozprawy uważa Autor określenie wpływu parametrów procesu odlewania w linii

laboratoryjnej TRC na własności mechaniczne, fizyczne oraz strukturalne otrzymywanych taśm, co może stanowić podstawę do aplikacyjnego wykorzystania wyników badań przy projektowaniu innowacyjnej technologii wytwarzania taśm i blach z aluminium oraz stopów aluminium serii 8XXX w warunkach przemysłowych. Autor określił szczegółowo i dobrze uzasadnił jakie badania wykona dla osiągnięcia celu i potwierdzenia przyjętej tezy rozprawy.

Koncepcję realizacji pracy (rozdz. 4) przedstawił Autor w formie opisowej oraz w formie schematu (rys. 4.1). Przedstawiony schemat zasługuje na duże uznanie, gdyż bardzo przejrzysto określa wszystkie ważne elementy pracy oraz ich współzależności, które są istotne dla określenia modelu procesu krzepnięcia i odkształcenia w kotlinie procesu TRC a także eksperymentalnej identyfikacji warunków krzepnięcia i odkształcenia aluminium oraz wybranych stopów aluminium serii 8XXX w kotlinie procesu TRC.

Następnie przeprowadził Autor wnikliwą teoretyczną analizę procesu ciągłego odlewania w procesie TRC (rozdz. 5), w której określił warunki stygnięcia metalu podczas ciągłego odlewania, obciążenia mechanicznego krystalizatorów i sił nacisku metalu. W oparciu o teorię A. I. Wiejnika opracował model krzepnięcia odlewu w postaci nieograniczonej płyty, który pozwolił na określenie zakresów obszarów krystalizacji oraz odkształcenia.

Program i metodykę badań eksperymentalnych przedstawił Autor w rozdziale 6. Zawiera ona uzasadnienie doboru materiałów, ujęty tabelarycznie program badań oraz opis stanowisk i metodyki badawczej. Program badań (podrozdz. 6.2) prezentuje dla poszczególnych etapów ich rezultaty oraz osiągnięte cele. Program badań jest właściwy i został przedstawiony bardzo przejrzysto.

Opis stanowisk badawczych i metodyki badań (podrozdz. 6.3) przedstawił Autor bardzo szczegółowo i z dużą starannością. Dobrze uzasadnił wybór

stosowanych stanowisk i aparatury badawczej oraz przyjętej metodyki badawczej z określeniem dokładności pomiarowej.

Najobszerniejszą część rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Ścieżora stanowi opis wyników badań oraz ich analiza (rozdz. 7). Pierwsza seria badań obejmuje określenie parametrów procesowych podczas walcowania na gorąco, które dotyczą parametrów siłowo-energetycznych oraz wartości współczynnika tarcia. Kolejna seria badań (podrozdz. 7.2) dotyczy określenia własności mechanicznych aluminium w podwyższonych temperaturach. W tym celu Autor wyznaczył potencjalne prędkości odkształcenia w kotlinie procesu TRC, a następnie zbadał właściwości mechaniczne próbek materiału wytworzonego przy różnych prędkościach odkształcenia (wytrzymałość na rozciąganie, granicę plastyczności i wydłużenie całkowite). Na podstawie krzywych rozciągania określił Autor opór plastyczny materiału w kotlinie procesu TRC w funkcji temperatury i prędkości odkształcenia. Określił również wartości oporu plastycznego dla stopów $\text{AlFe}_{0,4}$ oraz $\text{AlFe}_{0,73}$.

Bardzo ważny etap badań stanowi określenie i analiza parametrów procesowych otrzymanych podczas procesu ciągłego odlewania (podrozdz. 7.3). Autor zbadał przebieg zmian licznych parametrów procesowych, m. in.: temperatury metalu, pieca oraz układu zalewowego. Określił również wydatek przepływu i ciśnienie cieczy chłodzącej. Następnie określił temperaturę walców oraz siłę nacisku metalu na walce - krystalizatory. Uwzględnił też wpływ prędkości odlewania na siłę nacisku. Określił również długość obszaru odkształcenia plastycznego w zależności od prędkości odlewania, wydatku cieczy chłodzącej oraz składu chemicznego stopu.

Wykorzystując wyniki wcześniejszych badań opracował Autor uogólniony model procesu krzepnięcia i odkształcenia materiału w kotlinie walcowniczej procesu TRC (podrozdz. 7.4). Obejmuje on model obszaru krystalizacji oraz model obszaru odkształcenia. Wyznaczył długość obszaru krystalizacji i odkształcenia dla różnych prędkości odlewania. Wykazał, że obszar

kryształizacji wydłuża się wraz ze wzrostem prędkości odlewania. Przedstawił również pogląd na mechanizm powstawania wad powierzchniowych przy kształtowaniu taśmy.

Z kolei przedstawił i przeanalizował wyniki badań własności taśm uzyskanych metodą TRC (podrozdz. 7.5). Obejmują one badania makro- i mikrostruktury taśm, właściwości mechanicznych i fizycznych oraz jakości powierzchni. Wyniki badań zostały zaprezentowane w formie graficznej cechującej się bardzo dobrą jakością. Zarówno uzyskane wyniki badań, jak też forma ich prezentacji zasługują na duże uznanie i świadczą o niezwyklej staranności Autora rozprawy.

Kolejny cykl badań dotyczy przetwarzania taśm z linii TRC na blachy w procesie walcowania na zimno (podrozdz. 7.6). Obejmuje on badanie parametrów siłowo - energetycznych procesu walcowania stopów serii 1XXX oraz 8XXX, badania zmian struktury i właściwości mechanicznych, tłoczności i anizotropii właściwości blach.

Wszystkie zrealizowane w ramach rozprawy badania zostały przeprowadzone prawidłowo z zachowaniem dużej dokładności, natomiast wyniki badań zostały zaprezentowane nadzwyczaj starannie. Świadczy to o wyróżniającej się solidności Autora rozprawy.

Podsumowania końcowego pracy dokonał Autor w rozdziale 8. Jest ono obszerne i wnikliwe. Uwzględnia ważne wnioski z analizy literaturowej, rozważań teoretycznych i badań eksperymentalnych nad procesem TRC oraz taśmami otrzymanymi w linii TRC a także ich przetwórstwem na blachy. Autor przedstawił wnioski bardzo szczegółowo, co pozwala na dostrzeżenie poznawczych i aplikacyjnych osiągnięć rozprawy. Spośród wielu istotnych i wartościowych efektów zrealizowanych badań na podkreślenie zasługują następujące wnioski zawierające również aspekty aplikacyjne:

- Odlewaniu taśm w technologii TRC towarzyszy segregacja dodatku stopowego (Fe) głównie w osi taśmy.

- Umocnienie odkształceniowe czystego aluminium przy stosowanych prędkościach odkształcenia jest zauważane przy temperaturze poniżej 200°C.
- Kąt pochylenia ziarn kolumnowych w strukturze taśm zwiększa się ze zwiększeniem prędkości odlewania oraz wydatku cieczy chłodzącej.
- Obszar odkształcenia jest znacznie dłuższy od obszaru krystalizacji, na który ma wpływ skład stopu.
- Wydatek cieczy chłodzącej i prędkości odlewania nie wpływają w znaczny sposób na wytrzymałościowe i plastyczne właściwości taśm.
- Najważniejszym elementem konstrukcyjnym w liniach TRC jest układ zalewowy oraz walce - krystalizatory. Ich odpowiednie zaprojektowanie umożliwia zapewnienie wysokiej jakości wyrobu przy odpowiedniej wydajności procesu.

Pomimo bardzo starannego zredagowania rozprawy wystąpiły w niej nieliczne mało istotne niedopatrzenia:

- a) Brakuje opisu elementów składowych na rysunkach: 2.10; 2.11; 2.12; 2.13 i 2.15.
- b) W tekście brakuje odniesienia do rysunku 2.15.

Przedstawione uwagi nie obniżają bardzo dużej wartości rozprawy.

Uważam rozprawę doktorską mgr inż. Wojciecha Ścieżora za bardzo wartościową i oryginalną. Autor zredagował rozprawę z bardzo dużą starannością pod względem słownictwa merytorycznego i poprawności językowej.

Ocena przedstawionej do zaopiniowania rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Ścieżora upoważnia mnie do stwierdzenia, że Autor dokonał wnikliwej analizy stanu zagadnienia i na tej podstawie bardzo trafnie sformułował temat, tezy i cel rozprawy, co doprowadziło do rozwiązania bardzo

ważnych problemów badawczych, zarówno pod względem poznawczym, jak też aplikacyjnym.

Podsumowując moją opinię stwierdzam, że mgr inż. Wojciech Ścieżor wykazał się doskonałą znajomością przedmiotu badań i poprawnie oraz bardzo starannie zrealizował bardzo obszerną pracę badawczą. Wykazał się przy tym bardzo dobrym przygotowaniem teoretycznym, umiejętnością wykorzystania nowoczesnej aparatury i technik badawczych oraz zdolnością samodzielnego planowania i realizacji badań naukowych.

Sformułowana przez Autora teza rozprawy została w pełni udowodniona wynikami bardzo obszernych i wnikliwych badań, które istotnie wzbogacają stan wiedzy w zakresie teoretycznym i aplikacyjnym. Zamierzone cele rozprawy zostały również w pełni osiągnięte.

Rozprawę doktorską mgr inż. Wojciecha Ścieżora oceniam jako bardzo wartościową i zasługującą na wyróżnienie. Stanowi ona dobry przykład nowoczesnych badań ukierunkowanych na twórcze pogłębienie wiedzy teoretycznej i wykorzystanie najnowszych osiągnięć nauki w innowacyjnym doskonaleniu procesów wytwarzania.

Z przedstawionych powyżej względów wyrażam przekonanie, iż rozprawa mgr inż. Wojciecha Ścieżora pt. " Eksperymentalna identyfikacja warunków krzepnięcia i odkształcenia aluminium oraz wybranych stopów aluminium serii 8XXX w kotlinie procesu Twin Roll Casting ", zarówno pod względem ważności tematyki, jak też poziomu naukowego, bardzo dobrze spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14.03.2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595) z późniejszymi zmianami.

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Wojciecha Ścieżora do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.


prof. dr hab. inż. Ferdynand Romankiewicz