



**Wydział Metali Nieżelaznych  
Katedra Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych  
Prof. dr hab. inż. Józef Zasadziński – em.**

Kraków, dnia 22 lipca 2015 r.

### **Recenzja**

**pracy doktorskiej Mgr inż. Wojciecha Ścieżora na temat :  
„Eksperymentalna identyfikacja warunków krzepnięcia i odkształcenia  
aluminium oraz wybranych stopów aluminium serii 8xxx w kotlinie  
procesu Twin Roll Casting”.**

Współczesne technologie otrzymywania blach i taśm z aluminium i jego stopów coraz częściej bazują na odlewie ciągłym w tzw. Zintegrowanych procesach w których gotowe wyroby w postaci blach czy taśm uzyskuje się w jednym cyklu technologicznym, począwszy od ciekłego metalu, a skończywszy na gotowym wyrobie.

Proces Twin Roll Casting (TRC) jest jednym z tych procesów, który dobrze wpisuje się w konwencję zintegrowanego procesu produkcyjnego.

W porównaniu z innymi procesami ciągłego otrzymywania na drodze odlewania taśm wyróżnia się on tym, że w tym przypadku mamy do czynienia z równoczesnym odlewaniem i walcowaniem taśm. Takie równoczesne odlewanie i walcowanie sprzyja jakości otrzymywania taśm w porównaniu z taśmami uzyskiwanymi wyłącznie na drodze odlewania ciągłego.

Pomimo iż od szeregu lat proces TRC jest wykorzystywany w praktyce, to do dzisiaj nie dysponujemy możliwie kompleksowym modelem tego procesu, umożliwiającym analizę wpływu warunków prowadzenia procesu na określenie udziału strefy krzepnięcia i strefy odkształcenia plastycznego. Wniosek ten wysuwa Autor po krytycznej analizie bardzo obszernego przeglądu literaturowego. Konsekwencją rozważań literaturowych jest postawienie tezy pracy, która mówi że na podstawie znajomości określonych parametrów procesowych oraz określonych właściwości fizycznych i mechanicznych przetwarzanego materiału ( w tym przypadku Al i stopów serii 8xxx) możliwe jest określenie udziału strefy krzepnięcia oraz strefy odkształcenia plastycznego i jego wartość w kotlinie procesu TRC.

Analizując doniesienia literaturowe na temat procesu TRC Autor niniejszej pracy doktorskiej stwierdza, że najbardziej korzystną metodą rozpoznania wpływu



parametrów procesu na warunki równoczesnego krzepnięcia i odkształcenia plastycznego w kotlinie procesu TRC będzie metoda eksperymentalna. Uzyskane na tej drodze wyniki mogą być podstawą do budowy wiarygodnego modelu oraz jego weryfikacji. Warto także podkreślić, że dotychczasowe propozycje modeli procesu TRC oparte o metodę elementów skończonych (MES) głównie z racji trudności z doborem złożonych warunków brzegowych nie spełniły pokładanych nadziei.

Uwzględniając interdyscyplinarny charakter prac analityczno-doświadczalnych niezbędnych do udowodnienia przyjętej tezy pracy Autor zaproponował ciekawy bardzo obszerny zespół badań, którego koncepcję oraz program pokazano na Rys. 4.1 oraz w tabeli 6.2.

Aby zrealizować przyjęty program badań Autor wykorzystał oryginalne stanowisko badawcze w postaci odpowiednio oprzyrządowanej maszyny odlewniczo-walcowniczej TRC umożliwiającej wytwarzanie taśm z Al i stopów serii 8xxx o wymiarach poprzecznych 9 x 90 mm i długości wynikającej z ilości będącego do dyspozycji ciekłego metalu w danej próbie. Ponadto w programie badań korzystano z walcarki kwarto do walcowania na zimno oraz szeregu stanowisk badawczych, urządzeń, maszyn aparatów i mikroskopów niezbędnych do przeprowadzenia badań strukturalnych oraz różnorodnych badań własności fizycznych i mechanicznych analizowanych materiałów.

W tym miejscu chciałbym podkreślić determinację Autora i jego wysiłek włożony w długotrwałe i żmudne próby nad uruchomieniem i opanowaniem unikalnego stanowiska badawczego do połączonego odlewania i walcowania taśm w systemie TRC.

Zasadniczym celem pracy było opracowanie modelu kotliny procesu TRC. Aby uzyskać niezbędne dane do takiego modelu Autor przeprowadził szereg badań i analiz dotyczących ciągłego odlewania metalu między obracające się cylindrycznie krystalizatory oraz walcowania na gorąco skrzepniętego metalu.

Podstawowe badania weryfikujące model kotliny procesu TRC oparto o analizę 11 odlewów otrzymywania taśm z Al i stopów serii 8xxx z wykorzystaniem urządzenia TRC, stosując różne parametry procesowe. Ważnym obszarem badań w pracy Mgr inż. Wojciecha Ścieżora były analizy dotyczące przetwarzania taśm z linii TRC na zimnowalcowane blachy, dzięki którym możliwa była ocena przydatności tak wytworzonych wyrobów w porównaniu z blachami uzyskanymi w technologiach konwencjonalnych. Praca zawiera ogromny materiał doświadczalny z bardzo rzetelnie przeprowadzonych badań, które pozwoliły Autorowi na wiarygodne udokumentowanie i udowodnienie przyjętej tezy pracy.

Według mojej wiedzy jest to jedno z najpełniejszych opracowań procesu TRC, a jego zaletą jest to, że Autor potrafił z równą wagą rozpatrzyć interdyscyplinarne procesy krystalizacji i odkształcenia plastycznego w tym złożonym systemie, kładąc nacisk na weryfikację eksperymentalną. Pracę jako całość oceniam bardzo wysoko, doceniając zarówno jej walory poznawcze jak i aplikacyjne. Merytorycznie praca nie budzi zastrzeżeń. Autor wykazał się bardzo dobrym warsztatem naukowym.



Przechodząc do szczegółowej oceny pracy chciałbym przytoczyć moje uwagi, które mają charakter dyskusyjny.

Na wstępie proszę o ustosunkowanie się do wielkości opisujących odkształcenie. I tak przykładowo na str. 59 Rys. 2.59 i 2.60 na osi odciętych mamy odkształcenie w % ; Str. 147 Rys. 7.3 i 7.4 na osi odciętych mamy gniot względny w %, Str. 156 i 157 Rys. 7.9 do 7.12 na osi odciętych mamy odkształcenie w %.

Str. 161 Rys. 7.17. i 7.18 na osi odciętych mamy odkształcenie w % a w podpisie pod rysunkami odkształcenie umowne. Str. 162 Rys. 7.19 i 7.20 na osi odciętych mamy odkształcenie rzeczywiste. Jaka jest relacja pomiędzy tymi wielkościami odkształcenia?

Jak interpretować dane dotyczące walcowania na gorąco Str. 147 Rys. 7.3. Jeżeli mamy walcowanie na gorąco, to charakterystyczny jest brak umacniania i wtedy średni opór odkształcenia w funkcji gniotu winien być raczej stały. Realnie mamy wzrost o ok. 25 MPa do ok. 45 MPa?

Dlaczego Autor sugeruje Str. 158 Rys. 7.13 i 7.14, że dla wszystkich temperatur powyżej 550°C  $R_m$  i  $R_p 0,2$  ma tendencję rosnącą?

Str. 162 ostatnie zdanie – jak przeliczono prędkość odkształcenia na wartości rzeczywiste?

Str. 176 Czy rzeczywiście po 60 sek. Można uznać, że parametry procesu są stabilne? Chyba tylko na podstawie rys. 7.34.

Str. 180 Rys. 7.40 jak interpretować prawie stały moment walcowania ok. (800Nm) w zakresie prędkości odlewania 0,2 do 0,5 m/min i późniejszy spadek dla wyższych prędkości odlewania? Czy podana interpretacja jest słuszna, czy może trzeba odnieść się do innego ramienia przyłożenia siły związanego ze strefą krzepnięcia?

Str.241 i 242 Rys. 7.125 – 7.127 dlaczego dla przepustu 2.2 mm →1,5 mm siła jest największa? Spośród usterek chronologicznie przytaczam następujące:

Str. 11 Rys. 2.1 w opisie pod rysunkiem 4 – kokila, lepiej krystalizator.

Str. 13 Rys. 2.3 co to jest 2,4.

Str. 16 Tab. 2.1 nacisk w t/mm<sup>2</sup> czy na pewno?

Str. 154 Rys. 7.7. dlaczego ze wzrostem grubości pasm prędkość odkształcenia rośnie?

Str. 159 coś brakuje przed Rys. 7.15 i 7.16 (brak tekstu z odwołaniem do załączonych rysunków).

Str. 161 Rys. 7.18 jakiego materiału dotyczy ten rysunek? To samo dotyczy Rys. 7.19 i 7.20.

Str. 171<sup>3</sup> czy chodzi o prędkość odkształcenia czy wielkość odkształcenia?

Str. 172<sup>7</sup> zakres zmian C nie jest dużo większy od zmian n?

Str. 183 Rys. 7.44 czy dla małego wydatku cieczy chłodzącej proces odkształcenia zaczyna się wcześniej niż dla dużego wydatku cieczy chłodzącej? (ok. 15 mm i 17 mm). Jaka jest rola odkształcenia w stanie półciekłym dla stopów o zróżnicowanej temperaturze likwidus-solidus w ogólnym bilansie połączonego odlewania i walcowania.

Str. 203 Rys. 7.71 i 7.72 dla jakiej prędkości odlewania są te wykresy?



Dostrzegłem też w pracy drobne usterki w postaci „literówek”, które dotyczą stron 33, 68, 90, 113, 148, 189, 207, 209, 214.

Podsumowując moją ocenę pracy doktorskiej Mgr inż. Wojciecha Ścieżora stwierdzam, że jest to praca bardzo dobra, na wysokim poziomie merytorycznym, rozwiązująca problemy równoczesnego odlewania i odkształcenia aluminium i wybranych stopów aluminium serii 8xxx w procesie TRC.

Autor pracy postawił wartościową tezę pracy, zaproponował oryginalną koncepcję rozwiązania tematu, przeprowadził obszerne interdyscyplinarne badania na unikatowych stanowiskach badawczych. Udowodnił przyjętą tezę, wnosząc do wiedzy z obszaru metalurgii i inżynierii materiałowej oryginalny model kotliny procesu TRC. Oceniając sposób przeprowadzonych badań, ich ogrom i wartość merytoryczną, a także znaczenie poznawcze i aplikacyjne, uważam, że praca zasługuje na wyróżnienie.

### **Wniosek końcowy**

Przedłożona do recenzji praca doktorska Mgr inż. Wojciecha Ścieżora spełnia z nadmiarem wymogi stawiane pracom doktorskim i wnoszę do Rady Wydziału Metali Nieżelaznych AGH o dopuszczenie Mgr inż. Wojciecha Ścieżora do publicznej obrony swojej pracy doktorskiej.

