

Wojciech Ścieżor

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.:

Eksperymentalna identyfikacja warunków krzepnięcia i odkształcenia aluminium oraz wybranych stopów aluminium serii 8XXX w kotlinie procesu Twin Roll Casting

Tematyka niniejszej pracy koncentruje się wokół nowoczesnej technologii ciągłego odlewania oraz walcowania – Twin Roll Casting (TRC). Jest to technika coraz częściej stosowana w procesach przetwórstwa aluminium oraz stopów aluminium do przeróbki plastycznej. Główną jej zaletą jest możliwość wydatnego skrócenia linii produkcyjnej poprzez poddanie otrzymanych taśm bezpośredniemu walcowaniu na zimno, z pominięciem walcowania na gorąco. Wiąże się to ze znacznym ograniczeniem kosztów produkcji oraz skróceniem okresu zwrotu inwestycji, poprzez obniżenie kosztów infrastruktury produkcyjnej o walcarkę gorącą. Dodatkowo technologia ta umożliwi częstą zmianę profilu produkcji lub asortymentu bez trudności organizacyjno-technicznych z nich wynikających (w porównaniu z technologią tradycyjną). W metodzie tej stosować można z powodzeniem materiały z recyklingu aluminium, co dodatkowo zmniejsza koszty produkcji. Dodatkowym jej atutem jest zapewnienie atrakcyjnych własności mechanicznych oraz strukturalnych materiału w przypadku zastosowania odpowiedniej ścieżki przetwórstwa taśm z linii TRC na blachy.

Pomimo, iż literatura zarówno naukowa jak i branżowa bogata jest w opracowania dotyczące metody ciągłego odlewania pomiędzy obracające się walce - krystalizatory, a pierwsze wzmianki na temat tego procesu datowane są na drugą połowę XIX wieku, jak dotychczas nie zostały dokładnie poznane i opisane zjawiska zachodzące w newralgicznym obszarze tego procesu, a więc w kotlinie procesu Twin Roll Casting. Fakt ten stał się inspiracją dla realizacji niniejszej pracy, w której dokonano analizy zjawisk zachodzących w kotlinie procesu, jej podziału na obszar krystalizacji oraz odkształcenia plastycznego jak i oszacowania gniotu jaki w omawianym procesie zostaje zadany. Dokonano również doświadczalnej weryfikacji możliwości poddania bezpośredniemu procesowi walcowania na zimno materiałów z linii TRC (a więc materiałów w stanie po odlewaniu).

Pracę rozpoczęto o szerokiej analizie aktualnego stanu wiedzy w zakresie ciągłego odlewania metodą TRC. Dokonano charakterystyki procesu TRC na tle technik ciągłego odlewania, opisano ewolucję badanej technologii począwszy od projektu Bessemera, poprzez urządzenia Hazeletta oraz Huntera, aż do przemysłowych linii stosowanych w XXI wieku. W ramach tej części dokładnie przeanalizowano istniejące modyfikacje linii TRC oraz ich głównych elementów, a mianowicie układu zalewowego oraz walców – krystalizatorów. Analiza ta obejmowała również szczegółową charakterystykę taśm z aluminium oraz jego wybranych stopów wytworzoną metodą TRC, zarówno pod kątem struktury powstającej w trakcie procesu, potencjalnych wad w niej występujących oraz wybranych aspektów przetwarzania taśm z linii TRC na blachy, obejmujących homogenizację, walcowanie na

zimno oraz procesy obróbki cieplnej, wraz z uwzględnieniem wpływu tych etapów na własności jak i strukturę otrzymanego wyrobu. W ramach tej części pracy dokonano również przeglądu pozycji literaturowych poruszających tematykę parametrów siłowych w procesie TRC, zagadnień krystalizacji oraz odkształcenia plastycznego oraz zjawisk zachodzących w kotlinie badanego procesu. Część dotyczącą przeglądu literaturowy została podsumowana w formie analizy krytycznej zagadnienia z uwzględnieniem aspektów procesu TRC, które nie doczekały się jak dotychczas kompleksowych badań, a są niezmiernie istotne z punktu widzenia dokładnego poznania procesu oraz zjawisk zachodzących w jego kotlinie.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury oraz krytycznej analizy stanu zagadnienia, postawiona została teza według której postuluje się, iż:

Na podstawie znajomości 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.

Określone zostały również cele oraz opisany zakres pracy. W kolejnym kroku szczegółowo opisano koncepcję rozwiązania tematu pracy oraz dowodzenia postawionej tezy.

W ramach niniejszej pracy doktorskiej przeprowadzono również autorską analizę teoretyczną procesu ciągłego odlewania metodą TRC. Opracowanie rozpoczęto od analizy krzepnięcia i stygnięcia odlewu w kotlinie procesu TRC przy zastosowaniu klasycznego bilansu cieplnego z uwzględnieniem zmiennych parametrów procesowych, takich jak prędkość odlewania oraz wydatek cieczy chłodzącej. Kolejny etap obejmował analizę obciążenia mechanicznego walców - krystalizatorów podczas ciągłego odlewania i walcowania metodą TRC oraz założeń do konstrukcji krystalizatorów w oparciu o połączenie skurczowe płaszcza walca oraz rdzenia walca, umożliwiające przeniesienie określonych wcześniej obciążeń. W dalszej części analizy opisano w sposób szczegółowy autorski algorytm umożliwiający określenie zmian prędkości odkształcenia oraz oporu plastycznego na długości kotliny TRC. Dzięki niemu możliwe było określenie nacisku jednostkowego metalu na walce w procesie oraz późniejsze ich zestawienie z wynikami pomiarów w warunkach laboratoryjnych, w celu określenia długości obszaru odkształcenia plastycznego w kotlinie procesu TRC. Obszar autorskiej analizy procesu TRC zakończono opisem modelu krzepnięcia płyty nieograniczonej wg. A.I. Wiejnika, który w dalszym etapie badań miał zostać zaadaptowany do obliczenia zasięgu występowania strefy krzepnięcia.

Kolejny etap pracy zawiera szczegółowy opis programu badań oraz stosowanej aparatury badawczej. Opis rozpoczęto od charakteryzacji materiału przeznaczonego do badań eksperymentalnych, poprzez opis szczegółowego planu badań skończywszy na opisie stanowisk i procedur badawczych, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystyki jedynej w Polsce laboratoryjnej linii do ciągłego odlewania aluminium oraz stopów aluminium pomiędzy obracające się cylindryczne krystalizatory, która była kluczowym elementem niniejszej pracy.

W celu dowodzenia tezy postawionej w niniejszej rozprawie doktorskiej przeprowadzono szereg szeroko zakrojonych badań eksperymentalnych, których wyniki zostały poddane szczegółowej analizie. Wspomnianą analizę rozpoczęto od wyników procesu walcowania na gorącą, których bezpośrednim celem było określenie parametrów siłowych, które w dalszych etapach badań wykorzystano między innymi podczas weryfikacji

zapropionowanego modelu szacowania nacisku metalu na walce – krystalizatory. Dodatkowo proces walcowania prowadzono w celu oszacowania współczynnika tarcia występującego w linii TRC oraz weryfikacji stosowalności hipotezy płaskich przekrojów. W kolejnym etapie prowadzonych badań eksperymentalnych przeprowadzono analizę własności mechanicznych badanego materiału w próbie jednoosiowego rozciągania (przy różnych prędkościach odkształcenia oraz temperaturze badania), których celem było opracowanie równania opisującego zmianę oporu plastycznego materiału w kotlinie procesu TRC. Przeprowadzona została również analiza parametrów procesowych zarejestrowanych podczas procesu TRC.

W następnej kolejności, na podstawie wyników badań procesu odlewania na laboratoryjnej linii TRC oraz autorskiego algorytmu, w sposób schematyczny opisany został obszar odkształcenia plastycznego występujący w kotlinie procesu TRC. Na podstawie otrzymanych wyników oraz modelu krzepnięcia płyty nieograniczonej wg. A.I. Wiejnika zaadaptowanego na potrzeby niniejszego procesu dokonano również opisu obszaru krystalizacji.

Końcowy etap pracy doktorskiej koncentruje się na charakterystyce taśm z linii TRC. Dokonano badania ich własności fizycznych, mechanicznych, elektrycznych oraz strukturalnych. Taśmy te poddano przetwórstwu na blachy na drodze procesu walcowania na zimno, a w dalszej części dokonano charakteryzacji ich własności oraz ich porównania z własnościami blach z tradycyjnej linii wytwarzania.

Zwieńczeniem pracy jest podsumowanie oraz syntetyczna analiza otrzymanych w niej rezultatów. Wyniki te stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy na temat technik ciągłego odlewania aluminium oraz jego stopów, w szczególności procesu Twin Roll Casting. Posiadają one również aspekt praktyczny, gdyż mogą służyć jako wytyczne do przemysłowej technologii wytwarzania i przetwarzania taśm i blach z aluminium oraz jego stopów.