

Streszczenie

Opracowana została matematyczna metoda przewidywania lokalizacji przemiany strukturalnej typu: ziarna kolumnowe / ziarna równoosiowe, *CET* (*Cellular / Equiaxed Transition*) na przykładzie statycznej krystalizacji wlewka stali. Metoda ta zaadaptowana została dla ustalonego procesu krystalizacji wlewka miedzi i jej stopów odlewanych metodą ciągłą. Analizie podlegało pole temperatury oraz pole gradientu temperatury uzyskane w wyniku numerycznej symulacji przepływu ciepła we wlewkach stali jak i mosiądzu.

W efekcie, wyznaczono przebieg funkcji, jakie można wygenerować zarówno z pola temperatury jak i z pola gradientu temperatury, w tym zmiany prędkości izotermy likwidus oraz zmiany gradientu temperatury na froncie krystalizacji podczas formowania się obydwu analizowanych rodzajów struktury.

Oceniano takie cechy funkcji jak występowanie ekstremum, punktu przegięcia, ostrza a także maksymalnego odchylenia od jej przebiegu liniowego. Zaproponowana matematyczna metoda przewidywania lokalizacji przemian strukturalnych jest nowatorskim, nie stosowanym dotąd sposobem oceny udziału badanych typów struktury: kolumnowej i równoosiowej w pasmach, wlewkach i prętach produkowanych w hutach miedzi.

Zarówno 15 tonowy wlewek stali jak i masywne wlewki miedzi i jej stopów o różnych średnicach zostały „zdytę” z linii produkcyjnej celem ujawnienia ich struktury. Badania metalograficzne pozwoliły na wykrycie nie tylko dwu zasadniczych rodzajów struktury tj. kolumnowej i równoosiowej, ale także zamrożonej równoosiowej we wlewkach stali oraz kolumnowej zamrożonej i kolumnowej drobnej we wlewkach miedzi i jej stopów. Dodatkowo, wykryto nieopisane w literaturze, zjawisko powstawania rdzenia monokrystalicznego we wlewkach miedzi i jej stopów.

Bardziej wnikliwa ocena metalograficzna doprowadziła do wykrycia *CET* typu progresywnego we wlewkach stali, a we wlewkach miedzi i jej stopów do wykrycia obydwu rodzajów *CET*, czyli *CET* o charakterze progresywnym oraz progowym.

Z punktu widzenia potrzeb przemysłu metalurgicznego istotną dla przeróbki plastycznej okazała się lokalizacja *CET* we wlewkach, gdyż na podstawie pomiaru figur biegunowych wykazano, iż struktura kolumnowa jest niekorzystna dla deformacji plastycznej, natomiast struktura równoosiowa wykazuje wiele systemów poślizgu, co sprzyja wspomnianej deformacji. Zaproponowano definicję wskaźnika proporcji udziału struktur kolumnowych do udziału struktury równoosiowej. Definicja ta wyznaczona została na podstawie przebiegu zmian prędkości izotermy likwidus w obszarze strefy stało-ciekłej (*mushy zone*).

Zauważono, że prędkość izotermy likwidus jest wrażliwa, głównie na takie parametry procesu technologicznego jak wysokość krystalizatora oraz grubość szczeliny powietrznej między wlewkiem a krystalizatorem wynikającej ze skurczu wlewka.

Oceniono, że istnienie progresywnej *CET* decyduje o złagodzeniu szokowego przejścia od deformacji struktury kolumnowej do deformacji plastycznej struktury równoosiowej. W odpowiedzi na wynik tej obserwacji, wykazano, że proponowana matematyczna metoda przewidywania przemian strukturalnych okazała się również pomocną w ocenie możliwości pojawienia się progresywnej *CET* na miejsce przemiany *CET* typu progowego.

Wdrożono matematyczną metodę sterowania strukturą w odniesieniu do prętów stopu Cu-Ag produkowanych w Hucie Miedzi „Cedynia”. Wykreowano rdzeń monokrystaliczny w prętach, co sprzyja przewodności elektrycznej, zaś duży udział struktury kolumnowej służy intensywnemu odprowadzaniu ciepła na zewnątrz przewodów trakcji elektrycznych.

Ponadto, wyprowadzono Prawo Wzrostu struktur kolumnowych w postaci wielomianu odniesionego do dużych *Liczb Pecleta*, które charakteryzują formowanie się tego typu struktury w miedzi i jej stopach. Prawo Wzrostu struktur kolumnowych posiada trzy wersje matematyczne wielomianu stosownie do trzech zakresów wielkości *Liczb Pecleta*.