ARCHIWUM ODLEWNICTWA

Rok 2002, Rocznik 2, Nr 6 Archives of Foundry Year 2002, Volume 2, Book 6 PAN - Katowice PL ISSN 1642-5308

ROZKŁAD MIEDZI W KRYSZTAŁACH KOLUMNOWYCH W ODLEWACH WYKONYWANYCH W POLU MAGNETYCZNYM

J. SZAJNAR¹ Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7

STRESZCZENIE

Działanie pola magnetycznego wywołuje zmiany w warunkach oddawania ciepła przez odlew i w rozkładzie składników stopowych. W pracy określono zmiany w rozkładzie stężenia miedzi w strefie kryształów kolumnowych w odlewach z Al-Cu krystalizujących pod wpływem wymuszonej konwekcji wirującym polem magnetycznym (WPM). Stwierdzono, że zmiany w rozkładzie miedzi wywołane wymuszonym ruchem ciekłej fazy są powodem przemiany struktury kolumnowej w równoosiową oraz zmiany kierunku wzrostu tych kryształów.

Key words: molten metal flow, magnetic field, copper concentration

1. WPROWADZENIE

W wyniku oddziaływania wymuszonej przez pole magnetyczne konwekcji i w zależności od rodzaju krystalizacji odlewu mogą wystąpić dwa przypadki rozdziału dodatku stopowego.

Pierwszy – to ujednorodnienie składu chemicznego występujące przy krystalizacji objętościowej.

Drugi – to różnicowanie się stężenia dodatku stopowego na przekroju odlewu występujące przy krystalizacji kierunkowej kryształów kolumnowych.

Uzyskanie tych zmian wymaga jednak spełnienia dwóch podstawowych czynników [1-5]:

25/6

¹dr hab. inż., e-mail: sekrmt3@polsl.gliwice.pl

 stężenie składnika stopowego w stopie musi być powyżej pewnej minimalnej wartości,

 prędkość strumienia ciekłego metalu przed frontem krystalizacji powinna przekroczyć tzw. prędkość minimalną.

Zarówno zmiany wywołane wymuszoną konwekcją w warunkach oddawania ciepła przez odlew, jak i zmiany w rozkładzie składników stopowych są przyczyną przemiany struktury odlewu krzepnącego w polu magnetycznym.

Dotychczasowe badania wykazały [4], że zmiany w warunkach cieplnych krystalizacji wywołane wirującym polem magnetycznym, np. w odlewach z aluminium A199,7 i stopów Al-Cu, są niewystarczające do spowodowania przemiany struktury kolumnowej w równoosiową. Zatem istnieje jeszcze inna przyczyna przemiany struktury i może być nią zmiana warunków rozdziału składnika stopowego na froncie krystalizacji wywołana przepływem ciekłego metalu generowanym przez pole magnetyczne.

W niniejszej pracy podjęto próbę określenia zmian w rozkładzie stężenia składnika stopowego wywołanych działaniem wymuszonej konwekcji oraz wpływu tych zmian na strukturę odlewu i kształt kryształów kolumnowych.

2. BADANIA WŁASNE

Celem badań było określenie rozkładu stężenia miedzi wzdłuż przekroju poprzecznego wlewków walcowych odlanych ze stopów Al-Cu, a w szczególności w kryształach kolumnowych. Postawiono hipotezę, że położenie miejsca przemiany struktury kolumnowej w równoosiową znajduje się w ścisłej korelacji ze zmianami stężenia miedzi w kryształach kolumnowych, a różnicowanie się stężenia miedzi względem osi kryształu kolumnowego stanowi przyczynię do zmiany jego kierunku wzrostu.

Zakres badań obejmował wykonanie wlewków ze stopów AlCu0,2 o wymiarach ¢45 x 180 mm w wirującym polu magnetycznym (WPM) przy zmienianej na trzech poziomach wartości indukcji (0,015 T; 0,025 T; 0,035 T), co jest równoznaczne ze zmianami prędkości wirowania ciekłego metalu w formie odpowiednio: 0,55 m/s; 0,89 m/s i 1,15 m/s.

Wlewki odlewano w kokili grafitowej o grubości ścianki 7 mm. Temperatura zalewania wynosiła 973K. Czas oddziaływania pola magnetycznego wynosił 20s. Próbki do analizy chemicznej wycinano w odległości 70 mm od dna wlewka. Analizę wykonano na mikroanalizatorze rtg. Stężenie określano wzdłuż promienia wlewka w odległościach co 1mm na długości 2 mm (rys. 1a) oraz wzdłuż linii prostopadłej do głównej osi metalograficznej (rys. 2). Wyniki badań przedstawiono na rys. 1b i 2.

Przeprowadzono również symulację krzepnięcia odlewu z uwzględnieniem przepływu ciekłego metalu przed frontem krystalizacji. Model krystalizacji uwzględniający wzajemny wpływ zjawisk cieplnych i przepływowych oparto na równaniach przewodnictwa ciepła i równaniu Naviera-Stokesa. Równania rozwiązano metodą elementów skończonych, przyjmując w modelu komórkowy i paraboloidalny kształt frontu krysta-



lizacji. Wynikiem symulacji są wektory prędkości ciekłego metalu w pobliżu frontu krystalizacji (rys. 3). Szczegółowe rozwiązanie przedstawiono w pracach [4-6].

- Rys. 1. Miejsce pomiaru stężenia miedzi (a) oraz jego aproksymowany rozkład w odlewach z AlCu0,2 (b) - odlewy tradycyjne (A17bp) i odlewy wykonane pod działaniem WPM przy różnej prędkości ciekłego metalu w formie: A18 - V_{cm}max=0,55 m/s, A19 - V_{cm}max=0,89 m/s, A20 - V_{cm}max=1,15 m/s
- Fig. 1. Place of alloy addition concentration measurement (a), and (b) approximated distribution of copper concentration in AlCu0,2 castings. Traditional castings (17pb) and castings made under rotating magnetic field influence at various velocity of liquid metal in a mould: A18 - V_{cm}=0,55 m/s, A19 - V_{cm}=0,89 m/s, A20 - V_{cm}=1,15 m/s

3. ANALIZA WYNIKÓW

Wyniki badań wykazały, że zmiana stężenia miedzi w odlewach krzepnących bez wymuszonej konwekcji, niezależnie od wartości stężenia nominalnego znacznie różni się od rozkładu stężenia miedzi w odlewach wykonanych w wirującym polu magnetycznym.

W pierwszej części krzywej rozkładu (rys. 1b), obejmującej zmianę stężenia Cu w strefie kryształów kolumnowych, można zauważyć wyraźne zmniejszanie się stężenia miedzi mierzonego w kierunku od powierzchni zewnętrznej do osi odlewu. Taka zmiana w rozkładzie stężenia dodatku stopowego związana jest z oddziaływaniem wymuszonego przez pole magnetyczne strumienia ciekłego metalu na front krystalizacji. W wyniku działania wymuszonego ruchu ciekłego metalu występuje konwekcyjne "odrzucanie" składnika w związku z tym stężenie Cu w tej strefie jest średnio zawsze niższe niż zmierzone odpowiednio na tej samej długości w odlewach krzepnących tradycyjnie. Wymuszony ruch ciekłej fazy wywołuje też większe różnice w rozkładzie miedzi w strefie kryształów kolumnowych. Te różnice są tym większe, im większe jest nominalne stężenie miedzi w stopie i im większa jest prędkość ciekłej fazy przed frontem krystalizacji (rys. 1b). Największe różnice w rozkładzie stężenia wywołuje działanie pola magnetycznego o maksymalnej indukcji B=0,035 T, generujące największą prędkość ciekłego metalu V_{cm} =1,15 m/s (próba A20 na rys. 1b).





Rys. 2. Rozkład stężenia miedzi w kryształach kolumnowych w odlewach z AlCu0,2: tradycy j-nych (a) i wykonanych pod wpływem WPM o indukcji B=0,035 T (V_{cm}=1,15 m/s) (b)
Fig. 2. Copper concentration distribution in columnar crystals in AlCu0,2 castings: traditional (a), and solidifying at velocity of liquid metal in a mould V_{cm}=1,15 m/s (induction RMF B=0,035 T) (b)

Stwierdzono również, że najmniejsze stężenie miedzi występuje w odległości ok. 8 mm od powierzchni zewnętrznej (w strefie kryształów kolumnowych). Od tego miejsca gwałtownie zwiększa się stężenie dodatku stopowego, bowiem zanika konwekcyjne "odsyłanie" miedzi z frontu krystalizacji. Wiąże się to przede wszystkim ze znacznym, bo o około 50%, spadkiem prędkości ciekłego metalu V_{cm} wynikającym z ekranowania pola magnetycznego, polegającego na zmniejszeniu jego indukcji przez zakrzepniętą warstwę odlewu, a także zmniejszeniem prędkości krzepnięcia wynikającej z warunków

ARCHIWUM ODLEWNICTWA

cieplnych. Ponadto z obniżaniem się temperatury ciekłego metalu rośnie lepkość, a tym samym wzrasta szerokość strefy dyfuzyjnej tworząc warunki do mniej intensywnego konwekcyjnego "odsyłania" składnika z frontu krystalizacji. Z tego powodu rośnie stężenie bezpośrednio na froncie krystalizacji co potwierdzono wynikami obliczeń [4], ale też rośnie średnie stężenie w ciekłym metalu. Takie warunki krystalizacji wytworzone przez wirujące pole magnetyczne wiążą się z szybkim wzrostem przechłodzenia stężeniowego przed frontem krystalizacji oraz utratą jego trwałości i są przyczyną transformacji struktury kolumnowej w równoosiową.

Na podstawie wyników badań stwierdzono, że wzrost stężenia na krzywej rozkładu miedzi pokrywa się z miejscem wystąpienia w odlewie zmiany struktury kolumnowej w równoosiową. Obszar ten nazwano strefą zmiany struktury kolumnowej w równoosiową (rys. 1b). Po tym obszarze występuje strefa kryształów równoosiowych.



- Rys. 3. Wektory prędkości [m/s] w pobliżu frontu krystalizacji przy szerokości warstwy zakrzepłej l_s=r_o/4 (a); powiększony obszar w pobliżu frontu krzepnięcia (b); paraboloidalny front krystalizacji;a:b=4:1
- Fig. 3. Velocity vectors [m/s] near crystallisation front at solid phase width l_s=r_o/4 (a); paraboloidal crystallisation front; a:b=4:1, magnified area near solidification front (b)

Badania wykazały, że wymuszona konwekcja wywołana polem magnetycznym powoduje również różnicowanie się stężenia miedzi względem głównej osi krystalograficznej kryształu kolumnowego (rys. 2). Dzieje się tak dlatego, że strumień ciekłego metalu różnicuje szerokość warstwy dyfuzyjnej wokół kryształów tworzących powierzchnię rozdziału.

Wyraźnie większa prędkość ciekłego metalu od strony napływu cieczy (rys. 3) wywołuje zmniejszenie grubości warstwy dyfuzyjnej i z tej strony czoła kryształu występuje intensywniejsze konwekcyjne odsyłanie domieszki. Powoduje to zubożenie w składnik stopowy ciekłego metalu na czole komórki od strony napływu cieczy, a wzbogacenie warstwy dyfuzyjnej na czole komórki poprzedzającej po stronie przeciwnej napływu fazy ciekłej. Objawia się to mniejszym stężeniem miedzi w kryształach kolumnowych od strony napływu ciekłej fazy (rys. 2). Ta asymetria jest przyczyną wzrostu komórek z tendencją kierowania się w stronę przeciwną do makroskopowego kierunku wymuszenia ruchu fazy ciekłej.

4. WNIOSKI

- 1. Wzrost stężenia na krzywej rozkładu miedzi pokrywa się z miejscem wystąpienia w odlewie zmiany struktury kolumnowej w równoosiową.
- Zmianę kierunku wzrostu kryształów kolumnowych można uzasadnić mniejszym stężeniem miedzi na froncie krystalizacji wywołanym konwekcyjnym odsyłaniem tego składnika stopowego.

LITERATURA

- J. Szajnar, J. Gawroński, M. Cholewa, *Raport końcowy proj. bad. nr 7 T08B 030 17 KBN*, Politechnika Śl. 2001.
- [2] A. Buchholz, S. Engler, Comput. Materials Science, 1996, vol. 7, pp. 221.
- [3] S. Chang, D.M. Stefanescu, Metal. and Mat. Trans. A, 1996, vol. 27A, pp. 2708.
- [4] J. Szajnar, Transformacja struktury kolumnowej w równoosiową przy krzepnięciu odlewów z wymuszoną konwekcją wirującym polem magnetycznym. Praca hab., Pol. Śl., Gliwice 2001.
- [5] J. Szajnar, Archiwum Odlewnictwa, 2001, vol. 1, No. 1 (2/2), pp. 385.
- [6] J. Szajnar, Acta Metallurgica Slovaca, 2002, vol. 8, No. 2, pp. 168.

COPPER DISTRIBUTION IN COLUMNAR CRYSTALS OF CASTS EXECUTED IN MAGNETIC FIELD

SUMMARY

This work describes copper distribution changes in AlCu castings stirred by rotating magnetic field. It is claimed, that the changes in Cu distribution caused by forced movement of the liquid phase are the main reason of columnar to equiaxed transformation (CET). Movement of the liquid metal in front of CET interface is also a reason for different Cu content in columnar crystals.

Recenzował prof. dr hab. inż. Stanisław Pietrowski