



MODEL WZROSTU DENDRYTU W STOPACH

P. Zak^{1a}, J. Lelito¹, W.K. Krajewski¹, J.S. Suchy¹, B. Gracz¹, M. Szucki¹

¹ Wydział Odlewnictwa, Akademia Górniczo-Hutnicza im St. Staszica w Krakowie,
Reymonta 23, 30-059 Kraków, Polska

^{1a}pawelzak@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: modelowanie, krystalizacja, wzrost dendrytu, model swobodnego wzrostu

Streszczenie

Celem pracy było opracowanie modelu wzrostu dendrytu ze szczególnym uwzględnieniem wpływu rozkładu stężeń pierwiastka stopowego wokół czoła dendrytu oraz jego wpływu na szybkość wzrostu dendrytu. Przygotowany model może zostać zastosowany do przewidywania szybkości wzrostu dendrytu w wieloskładnikowym stopie, który jest sprowadzony do stopu binarnego zgodnie z regułą addytywności [1, 2]. W obliczeniach rozpatrywany jest rozkład składnika stopowego na kierunku wyznaczonym przez środek dendrytu oraz jego wierzchołek. Podobnie jak w pracy Rappaza i Thevoza [3] założone zostało, że dendryt wzrastając ogranicza pewną objętość sferyczną o promieniu R, która składa się z jego ramion oraz cieczy zamkniętej między nimi.

Dotychczas powstała znaczna liczba prac, w których podejmowano próbę powiązania szybkości wzrostu dendrytu z parametrami fizykochemicznymi stopu oraz obserwowanym przechłodzeniem stężeniowym [4, 5]. W tej pracy został wybrany następujący model [2, 6]:

$$\frac{dR}{d\tau} = \frac{D_s \Delta S_v}{8\sigma_{sl} Q} (\Delta T_s)^2 \quad (1)$$

gdzie: R: promień sferycznej otoczki dendrytu, D_s : współczynnik dyfuzji składnika stopowego w cieczy, ΔS_v : zmiana entropii, σ_{sl} : napięcie powierzchniowe na granicy ciało stałe/ciecz, Q: współczynnik ograniczonego wzrostu, ΔT_s : jest przechłodzeniem stężeniowym.

Temperatura w cieczy wyznaczana jest przy pomocy uproszczonego równania Fouriera-Kirchhoffa:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = P + \frac{q}{c_p \rho}, \quad (2)$$

gdzie: T: jest temperaturą, c_p : ciepło właściwe, ρ : oznacza gęstość, q: jest ilością ciepła pojawiającego się w wyniku krystalizacji, P: jest szybkością odprowadzania ciepła, zostało założone, że $P = const$.

Rozkład składnika stopowego w cieczy oraz ziarnie opisany jest zależnością wynikającą z prawa Ficka [7]:

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial \tau} = D_s \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right) \\ C(r \rightarrow R) = \frac{\partial C}{\partial r} \\ C(r \rightarrow \infty) = C_0 \end{cases} \quad (3)$$

gdzie: C: jest stężeniem składnika stopowego wyrażonym w procentach wagowych, r: oznacza odległość od środka dendrytu.

W modelu założono, że R początkowe, R_0 , może zostać wyznaczone z zależności proponowanej przez A. L. Greera i innych [8]:

$$\Delta T_{fg} = \frac{2\sigma_{sl}}{\Delta S_v R_0} \quad (4)$$

gdzie: ΔT_{fg} : jest przechłodzeniem koniecznym do zaistnienia wzrostu ziarna.

Ponadto założono, że ziarno w momencie pojawienia się jest zupełnie pozbawione składnika stopowego.

Przedstawiony powyżej układ równań różniczkowych może zostać rozwiązany przy pomocy metod numerycznych, np. Metodą Kwadratur Różniczkowych Sterowanego Rzędu [9].

Opracowany model umożliwia określenie szybkości wzrostu dendrytu oraz rozkładu składnika stopowego w otaczającej go cieczy na kierunku wyznaczonym przez jego środek oraz wierzchołek.

Podziękowania: Praca zrealizowana w ramach projektu Marie Curie Transfer of Knowledge grant No. MTKD-CT-2006-042468 (AGH No. 27.27.170.304)

Bibliografia

1. Dahle A.K., Arnberg L.: On the assumption of an additive effect of solute elements in dendrite growth. *Materials Science and Engineering*. 1997, **A225**, s. 38-46.
2. Quested T.E., Greer A.L.: Grain refinement of Al alloys: Mechanisms determining as-cast grain size in directional solidification. *Acta Materialia*. 2005, **53**, s. 4643-4653.
3. Rappaz M., Thevoz P.H.: Solute diffusion model for equiaxed dendritic growth. *Acta Materialia*. 1987, **35**, s. 1487-1497.
4. Hunt J.D.: Steady state columnar and equiaxed growth of dendrites and eutectic. *Materials Science and Engineering*. 1984, **65**, s. 75-83.
5. Kurz W., Fisher D.J.: *Fundamentals of solidification*. Zurich : Trans Tech Publications, 1992.
6. Burden M.H., Hunt J.D.: Cellular and dendritic growth II. *Journal of Crystal Growth*. 1974, **22**, s. 109-116.
7. Fromm J.E.: An introduction to computer simulation in applied science. *Abraham FA and Tiller WA, eds.*, 1970, Tomy Palo Alto Scientific Center Report No.320-3269.
8. Greer A.L., Bunn A.M., Tronche A., Evans P.V., Bristow D.J.: Modelling of inoculation of metallic melts: Application to grain refinement of aluminium by Al-Ti-B . *Acta Materialia*. 2000, **48**, s. 2823-2835.
9. Żak P., Lelito J., Suchy J.S., Krajewski W.K.: Poprawa dokładności przybliżonego rozwiązania problemu transportu ciepła poprzez zastosowanie metody kwadratur różniczkowych sterowanego rzędu. *Monografia: "Polska metalurgia w latach 2006-2010"*. Komitet Metalurgii PAN, Kraków. 2010, s. 278-285.