16/22

Archives of Foundry,
Year 2006, Volume 6, № 22
Archiwum Odlewnictwa,
Rok 2006, Rocznik 6, Nr 22
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

KONCEPCJA PROGNOZOWANIA WŁASNOŚCI ODLEWÓW ZA POMOCĄ WIELOPUNKTOWEGO POMIARU TEMPERATURY W UKŁADZIE ODLEW - FORMA

M. CHOLEWA[1]
Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Odlewnictwa,
Polska, 44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7

STRESZCZENIE

Przedstawiono założenia oraz wyniki badań sprawdzających metodę prognozowania własności odlewów za pomocą wielopunktowego pomiaru temperatury i analizy kinetyki ruchu ciepła w układzie odlew-forma za pomocą pochodnych z temperatury po czasie i kierunku. Wykazano istnienie zależności strukturalnej od lokalnych warunków krzepnięcia definiowanych za pomocą obu pochodnych. Metoda wykorzystując istniejącą wiedzę o wpływie struktury na własności mechaniczne daje w perspektywie możliwość prognozowania własności mechanicznych według przyjętej zależności opisującej wybraną wielkość strukturalną lub mechaniczną.

1. WPROWADZENIE

W obecnie stosowanych technikach diagnozowania stopów, a także kompozytów w stanie ciekłym, dominują techniki oparte na analizie termicznej i derywacyjnej. Są ona oparte na ocenie kinetyki procesu krzepnięcia (T, dT/dt) w odniesieniu do ustalonej objętości odlewu próbnego, o założonej geometrii, Próbniki wykonywane są z masy formierskiej o zadanych i ustalonych własnościach cieplnych i geometrycznych. Pomimo swych wielu zalet metody posiadają pewne ograniczenia technologiczne wynikające z koncepcji analizy. Jak wskazuje praktyka często zdarza się, że odlewy w swej objętości radykalnie różnią się strukturą. Przewidywanie struktury w obszarach odlewu o lokalnie zróżnicowanej kinetyce krzepnięcia wydaje się bardzo trudne na podstawie jednopunktowego pomiaru temperatury przy ustalonych, w założeniu

[1] *dr hab. inż., miroslaw.cholewa@polsl.pl*

uniwersalnych własnościach cieplnych. W praktyce częste są przypadki, kiedy struktura jest odmienna od oczekiwanej, co wynika z lokalnej, trudnej do przewidzenia kinetyki krzepnięcia.

W literaturze podawane są zależności opisujące związki parametrów krzepnięcia ze strukturą, a także z własnościami użytkowymi [1÷24]. W zakresie prognozowania struktury metody symulacyjne znacznie wyprzedzają doświadczalne metody szybkiego diagnozowania stopów. Metody symulacyjne wymagają dodatkowo doświadczalnej weryfikacji wyników. Obok doświadczalnie wyznaczanej pochodnej ***dT/dt***, drugim elementem opisującym kinetykę krzepnięcia jest pochodna ***dT/dl*** – gradient temperatury**,** wielkość najczęściej pomijana w praktyce przemysłowej.

Opracowanie dotyczy doświadczalnej metody pomiarowej, która opiera się na połączonej analizie obu wielkości: ***(dT/dt i dT/dl)***, która obejmuje fizyczny sens sformułowania „lokalne warunki krzepnięcia". Pomiar temperatury w kilku punktach pozwala na określenie – oszacowanie lub precyzyjne wyznaczenie obu pochodnych w zakresie typowych wielkości modułu krzepnięcia oraz w zakresie typowych szybkości krzepnięcia. Możliwość rejestracji, matematycznej obróbki danych a także archiwizacji stwarza warunki sprawnego sterowania jakością odlewów. Warunkiem poprawności i stosowalności metody jest uchwycenia maksymalnej rozpiętości warunków krzepnięcia przez zastosowanie próbnego odlewu i próbnika, w których wystąpią efekty typowe dla odlewania grawitacyjnego do form piaskowych. Podobnie należałoby postąpić w odniesieniu do odmiennie krzepnących odlewów kokilowych oraz ciśnieniowych.

W literaturze szeroko opisane są zależności struktury od kinetyki krzepnięcia a także związki własności strukturalnych z mechanicznymi. Ujmują je m.in. empiryczne związki: Halla–Petcha - wpływu kryształów fazy dominującej, Marckrotta dla dwóch faz, dla kilku faz Voigta i Reusa oraz dla współdziałania kryształów osnowy z pozostałymi fazami [..]. Wskazane zależności ujmują wpływ warunków tworzenia struktur pierwotnych w głównych grupach stopów i są one stosowane głównie w procedurach postprocesingowych programów symulacyjnych. Problem prognozowania własności strukturalnych, a w ślad za tym mechanicznych poprzez analizę struktury siluminów podeutektycznych przedstawiono w pracy [23]. W opracowaniu m.in. uwzględniono orientację dendrytów ze szczególnym zaznaczeniem wpływu gradientu temperatury. Aplikacyjnie praca odnosi się do analiz symulacyjnych oraz do analiz wykonywanych za pomocą sieci neuronowych.

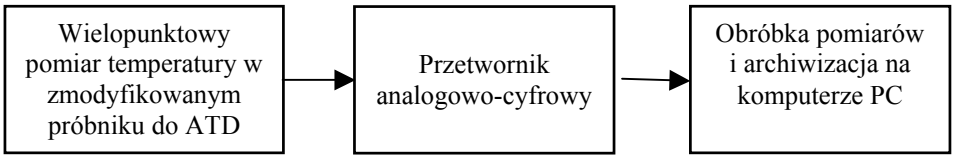
Natomiast doświadczalne wyznaczanie obu pochodnych umożliwiłoby określenie własności strukturalnej, czy też mechanicznej korzystając z dowolnej teorii i zależności opartej na obu wielkościach.

Koncepcja opracowania doświadczalnej metody pełniejszego diagnozowania stopów odlewniczych powstała na skutek badań krystalizacji i krzepnięcia dyspersyjnych kompozytów odlewanych [25]. Większość obecnie tworzonych kompozytów wykorzystuje wzmacniające materiały ceramiczne, których własności cieplne istotnie różnią się od klasycznych stopów. Krzepnięcie kompozytów cechuje radykalnie odmienna kinetyka ruchu ciepła w porównaniu do krzepnięciem stopów.

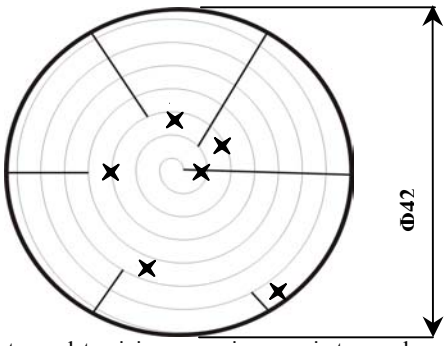
Opracowanie jest kontynuacją i konsekwencją badań doboru komponentów ze względu własności technologiczne i użytkowe kompozytów odlewanych. Rozwiniecie metody diagnozowania ciekłych stopów, ale także ciekłych kompozytów ma w założeniu poprawić jakość materiałów konstrukcyjnych wytwarzanych technikami odlewniczymi.

2. CHARAKTERYSTYKA WSTĘPNYCH BADAŃ WERYFIKUJĄCYCH METODĘ

Badania pomiaru temperatury dokonano przy użyciu tradycyjnego próbnika ATD wykonanego z masy skorupowej, w którym zostały umieszczone termoelementy Ni-CrNi. Schemat stanowiska do zbierania i obróbki danych pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny stanowiska badawczego.
Fig. 1. Functional diagram of the test stand.

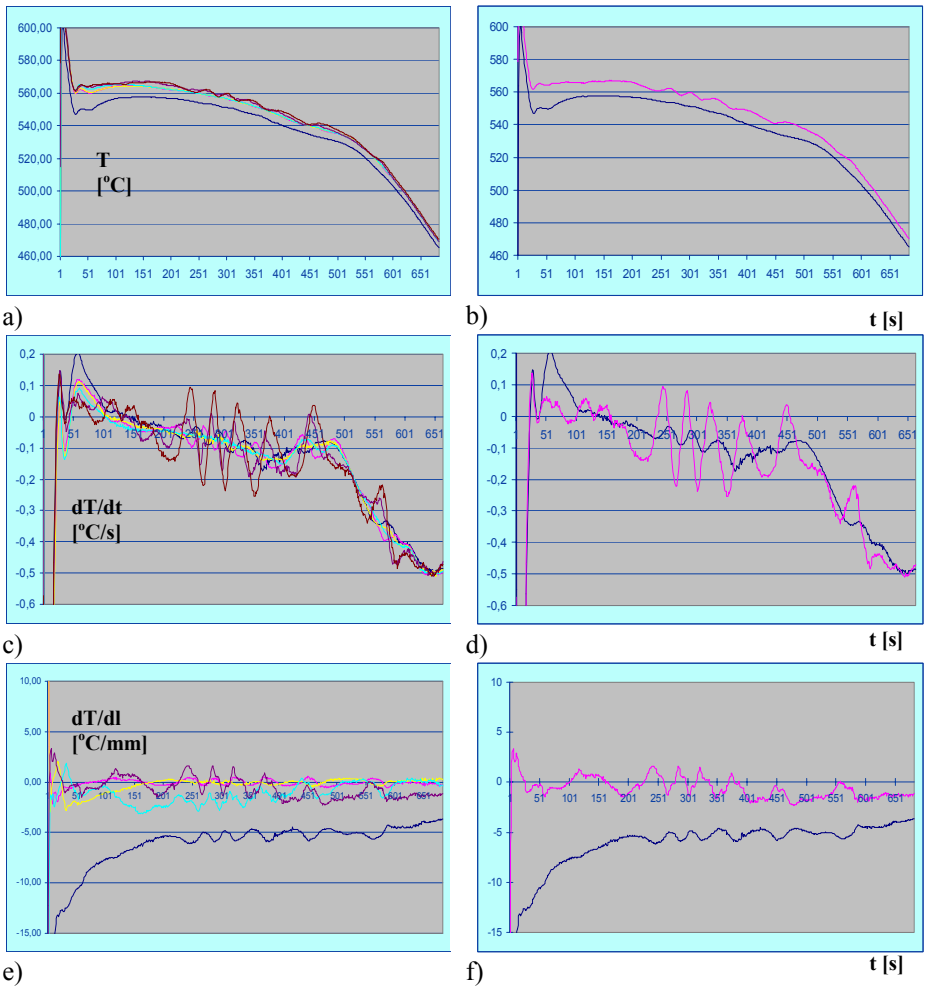


Rys. 2. Schemat przedstawiający rozmieszczenie termoelementów w próbniku.
Fig. 2. Distribution of the thermocouples on casting section.

W próbniku umieszczono spiralnie sześć termoelementów (rys.2.) rozłożonych na kierunku głównego strumienia cieplnego - w płaszczyźnie prostopadłej do osi próbnika zawierającej centrum cieplne odlewu.

W badaniach zastosowano stop AlSi11 odlewany z temperatury równej 720 °C. Na rys. 3 pokazano zależności T=f(t), dT/dt=f(t) oraz dT/dl=f(t) dla poszczególnych termoelementów (rys. a, c, e) a także w celu wskazania maksymalnych różnic pokazano odpowiednie zależności wyłącznie w osi odlewu próbnego i w pobliżu powierzchni wnęki formy (rys. b, d, f). występujące istotne różnice wymagają szczegółowego teoretycznego opracowania. Dalsze badania doświadczalne powinny dać odpowiedź na

pytanie czy podobne charakterystyki mogą posłużyć prognozowaniu struktur i własności mechanicznych w wybranych obszarach odlewów.



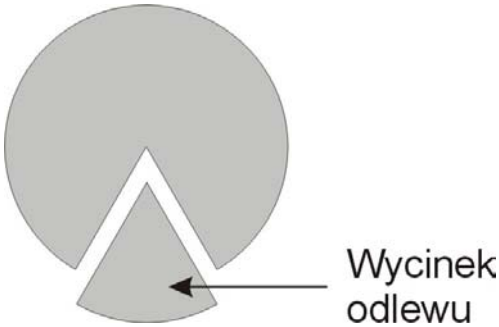
Rys. 3. Zależności T=f(t), dT/dt=f(t) oraz dT/dl=f(t) wyznaczone dla sześciu termoelementów umieszczonych wzdłuż promienia odlewu próbnego (rys. a, c, e) oraz w obszarach skrajnych t.j.: w osi odlewu próbnego i w pobliżu powierzchni wnęki formy (rys. b, d, f).

Fig. 3. Relations: T=f(t), dT/dt=f(t) and dT/dl=f(t) obtained for six thermocouples placed along the radius of sample casting (fig. a, c, e) and for extreme postions, that is in the center and near the surface of the mould (fig. b, d, f).

Na wszystkich wykresach widoczne są charakterystyczne oscylacje badanych wielkości w funkcji czasu. Podobne oscylacje zaobserwowano w wyniku prowadzonych

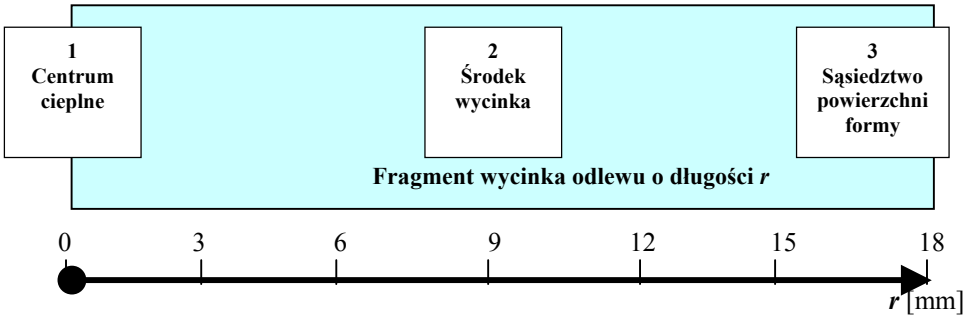
wcześniej badań doświadczalnych i symulacyjnych krzepnięcia kompozytów dyspersyjnych [25]. Określane czasem jako skutek występowania cieplnych strumieni „wstecznych" stanowią dodatkowy element zakresu badań procesu krzepnięcia w oparciu o połączone analizy termiczno-derywacyjną i gradientową.

Badania metalograficzne przeprowadzono na wycinku odlewu próbnego, którego miejsce pobrania pokazano schematycznie na rys. 4.



Rys. 4. Wycinek odlewu do badań metalograficznych.
Fig. 4. Specimen for metallographic investigation.

Schemat lokalizacji mikrografii do oceny struktury pokazano na rys. 5.

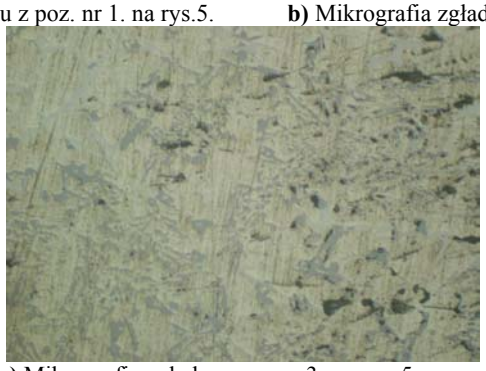


Rys. 5. Schemat lokalizacji obszarów badanych struktur.
Fig. 5. Localization of investigated structures.

Na mikrografiach z rys. 6.(a, b, c) widoczna jest niemodyfikowana eutektyka (α+Si) w roztworze krzemu w aluminium występują płytkowe kryształy krzemu. Na kolejnych mikrografiach widoczny jest wzrastający stopień dyspersji krzemu eutektycznego oraz roztworu α. Badano nietrawione zgłady przy pow. 200 x

a) Mikrografia zgładu z poz. nr 1. na rys.5.

b) Mikrografia zgładu z poz. nr 2. na rys. 5



c) Mikrografia zgładu z poz. nr 3. na rys. 5

Rys. 6. Mikrografie stopu AlSi11 przy powiększeniu 200 x wykonane na powierzchniach rozmieszczonych wzdłuż promienia, walcowego, pionowego odlewu próbnego. Widoczny rosnący stopień dyspersji składników strukturalnych eutektyki. a), b), c) odpowiednio: oś odlewu próbnego, środek odległości między centrum odlewu a jego brzegiem, brzeg odlewu.

Fig. 6. AlSi11 micrographs taken along the radius of horizontal section of the sample casting. As can be seen dispersion of the euthectic components grows from the center to the surface of the casting. a), casting center, b) half – distance to the surface, c) casting surface.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wykazano zróżnicowanie struktury na promieniu odlewu. Istnieje związek stopnia dyspersji struktury z kinetyką krzepnięcia opisaną funkcjami T=f(t), dT/dt=f(t) oraz dT/dl=f(t). Zależności wymagają merytorycznej analizy ilościowej i jakościowej. Celowe jest opracowanie metody badawczej pozwalającej na stosowanie w stosunku do materiałów o znacznym zróżnicowaniu własności cieplnych składników strukturalnych - także kompozytów ze wzmocnieniem dyspersyjnym.

LITERATURA

[1] Mollard F., Flemings M.: Trans. of the Metall. Sci. AIME, v. 239, (1967), s. 1526.
[2] Flemings M.: Solidification processing, Met. Trans., vol,5, (1974), s. 2121.
[3] Burden M.H., Hunt J.D., J. Cryst. Growth, Trans., vol. 22, (1974), s. 109.
[4] Toluoi B., Hellawell A.: Acta Metall., v. 24, (1976), s. 565.
[5] Kurtz W.,Fisher D. J.: Acta Metall., v. 28, (1980), s. 777.
[6] Kac A.,M.: Lit. Proizw., v. 7, Moskwa, (1980), s. 2.
[7] Fraś E.: Teoretyczne podstawy krystalizacji, cz. I, Metale i stopy jednofazowe, Wyd. AGH, Kraków, (1984).
[8] Miyata Y., Suzuki T., Uno J.: Metall. Trans. v. 16A, (1985), s. 1799.
[9] Braszczynski J.: Teoria procesów odlewniczych, PWN, Warszawa, (1989).
[10] Liu J., Zhan Y., Shang B.: Acta Metall. Mater., v. 38, (1990), s. 1625.
[11] Fraś E., Krzepnięcie metali i stopów, PWN, Warszawa, (1992).
[12] Jaquet J.C., Hotz W.: Cast Metals, v. 4, nr 4, (1992), s. 200.
[13] Khan S., Ourdjini A., Eliot R.: Mater. Sci. Technol. v. 8, (1992), s. 516.
[14] Khan S., Eliot R.: Acta Metall. Mater., v. 41, (1993), s. 2433.
[15] Schindelbacher G.: Gießerei - Praxis, v. 17, (1995), s. 309.
[16] Górny Z., Sobczak J.: Kompozyty odlewane, red. J. Suchy, Comission 8.1. Cast Composites, CIATF, Opole, (1995), s. 39.
[17] Braszczyński J. ,Zyska A.: Arch. Techn. Masz. i Autom., v.18 nr specj., Poznań, (1998), s. 98.
[18] Majchrzak E., Mochnacki B., Suchy J.S.: Int. J. Cast Metals Res., (1999), nr 12, s. 241.
[19] Majchrzak E., Mochnacki B., Suchy J.S.: 5 th World Conf. on the Comp. Modell. of Free end Mov. Bound. Probl. Moving Boundaries, Ljubljana, Slovenija, (1999), s. 37.
[20] Ares A.E., Schvezov C.E.: Metall. And Mater. Trans.v. 31A, (2000), s. 1611.
[21] Odorizzi S. i in.: Servizi Grafici Edytoriali, Padva, Italy, (2001).
[22] Brown S., Spittle J.A., JanesJ.D.: J.of Mater., (2002), s. 45.
[23] Hajkowski M.: Prognozowanie właściwości mechanicznych odlewów.., Wyd. Pol. Pozn., Rozprawy nr 376, Poznań, (2003).
[24] www.mse.mtu.edu.aluminium-silicon alloy castings, (2005).
[25] Cholewa M.: Kinetyka krzepnięcia kompozytów dyspersyjnych, Wyd. Pol. Śl., Zeszyty Naukowe nr 151, (2005).

CONCEPT OF CASTING PROPERTIES FORECASTING BASED ON MULTI – POINT TEMPERATURE MEASUREMENT IN CASTING – MOULD SYSTEM

SUMMARY

In this work assumptions and results were described for method of properties forecasting based on multi – point temperature observation and heat flow kinetics analysis during solidification.

Structural relation was indicated for local solidification conditions for temperature derivatives after time and direction. Described method gives possibilities of casting mechanical properties forecasting with implementation of existing knowledge.

Recenzował Prof. Józef Śleziona