

BEZSTYKOWA METODA OCENY I SZYBKIEGO PRZEWIDYWANIA POSTACI GRAFITU W ŻELIWIE

Stanisław FUKSA*, Wojciech WIERZCHOWSKI**

* Dr inż., Katedra Automatyki, Wydział Elektroniki, Automatyki, Informatyki i Elektrotechniki Akademii Górniczo-Hutniczej, 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30,

** Dr inż., Instytut Odlewnictwa, 30-418 Kraków, ul. Zakopiańska 73.

1. Wstęp

Żeliwo jest materiałem wieloskładnikowym i wielofazowym, a jego właściwości istotne w temperaturze otoczenia podlegają zasadniczemu kształtowaniu podczas krzepnięcia w bardzo wysokiej temperaturze, która z natury rzeczy utrudnia badania bezpośrednio. Dlatego krystalizacja żeliwa kryje w sobie jeszcze wiele zagadek i jest przedmiotem badań i rozważań teoretycznych. Do takich nie do końca rozwiązanych zagadnień z punktu widzenia praktyki przemysłowej jest znalezienie optymalnego sposobu przewidywania struktury żeliwa w czasie umożliwiającym interwencję metalurga jeszcze przed rozlaniem metalu do formy odlewniczej.

Istnieją dwie następujące grupy metod oceny struktury wysoko topliwych stopów odlewniczych:

- Obserwacja zglądu metalograficznego lub pomiar wybranej właściwości w temperaturze otoczenia. Istotą tej grupy metod jest dokonywanie próby na materiale w stanie stałym, co siłą rzeczy utrudnia albo uniemożliwia szybką reakcję metalurga.
- Pomiar wybranej własności bezpośrednio w kąpeli metalowej lub w czasie krzepnięcia pobranej próbki metalu. Bariera czasową uzyskania informacji jest tylko czas niezbędny do wykonania pomiaru, lub czas krzepnięcia próbki. Ponadto ta grupa metod daje większe możliwości poznawcze (pomiar odbywa się w czasie krystalizacji).

Zrozumiałe jest zatem, że większość badań i prac konstruktorskich dotyczących omawianej dziedziny obejmuje metody zdefiniowane jako grupa druga. Spośród nich najważniejsze są następujące:

1. metody analizy termicznej [np. 3];
2. metoda przewodnictwa cieplnego [np. 4];
3. metoda dylatacyjna [np. 17];
4. metody przewodnictwa elektrycznego [np. 1, 3, 10, 11, 12];
5. metody fizykochemiczne [14].

Dotychczas jedynie metoda analizy termicznej została powszechnie wdrożona do przemysłu i jest stosowana jako narzędzie badawcze. Jest stale doskonalsza i posiada potencjalne możliwości poszerzenia zakresu pomiarowego.

Śród pozostałych metod stale nadzieje budzi metoda przewodnictwa elektrycznego, jednakże tylko pod warunkiem zastosowania odmiany bezstykowej, a więc poprzez oddziaływanie pola elektromagnetycznego na krzepnącą próbkę żeliwa. Poprzednie takie próby, oparte o zasadę transformatora z pierścieniową próbką stanowiącą krótkozwarty obwód wtórny otaczającą ramię rdzenia transformatora (od pierwszego badacza zwana metodą Stefanescu D.M.[10,11]), nie spełniły oczekiwań.

Bardzo interesujący jest pomiar aktywności tlenu jako podstawy do oceny zawartości Mg niezwiązanego – metoda ostatnio wdrażana przy produkcji żeliwa wermikularnego przez firmę ELECTRO-NITE [14]. Zaletą tego aparatu jest krótki czas pomiaru (10 s), jednakże wysoka cena przypadająca na 1 pomiar przy braku informacji o strukturze prawdopodobnie ograniczą jego zastosowanie.

2. Metoda pomiarowa

Przyjęta metoda oparta jest o założenie wykorzystania wpływu stanu krystalizującej struktury na przewodnictwo elektryczne i zasady pomiaru bezstykowego. Ostateczne rozwiązanie nazwane od inicjałów autorów aparatem i metodą F-W pozwala na określenie parametrów elektromagnetycznych próbki ciekłego metalu w czasie jej krzepnięcia. Dane te w postaci krzywych rezystywności właściwej i przenikalności magnetycznej jako funkcji czasu dostarczają informacji potrzebnych do określenia struktury powstających wydzieleni grafitu. Jako odniesienie i podstawę do analizy przyjęto krzywe termiczne uzyskane każdorazowo na tej samej próbce i w tym samym czasie, co krzywe elektromagnetyczne.

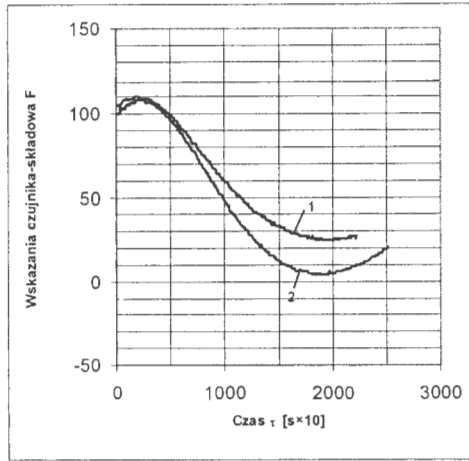
2.1. Pomiar wielkości elektromagnetycznych

Zastosowano tutaj bezstykową metodę indukowanych prądów wirowych. Badana próbka metalu (cylindryczna) znajduje się w odległości około 5 cm od cewki nadawczej, wytwarzającej pole elektromagnetyczne wymuszające w niej prądy wirowe. Cewka ta zasilana jest prądem sinusoidalnym o odpowiednio dobranej amplitudzie i zmiennej częstotliwości. Cewka odbiorcza o dobranej konfiguracji dostarcza informacje o charakterze prądów wirowych indukowanych przez cewkę nadawczą. Relacja między sygnałem napięciowym y z cewki odbiorczej a prądem i cewki nadawczej jest liniowa i opisuje się transmitancją zespoloną w sposób następujący:

$$y(j\omega) = j\omega \times Z \left(\frac{j\omega}{r} \right) \times i(j\omega) \quad (2.1)$$

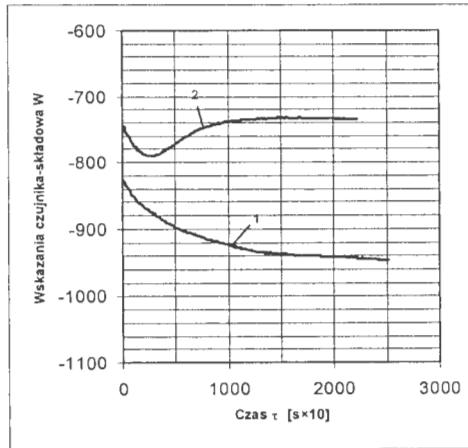
gdzie: ω – pulsacja prądu zasilającego,
 r – rezystywność próbki,

Z – transmitancja wynika z geometrii układu cewek i przenikalności magnetycznej próbki.



Rys. 1. Składowa F w funkcji czasu; 1 – żeliwo sferoidalne, 2 – żeliwo szare

Za produkt finalny pomiaru przyjęto parę (lub kilka par) krzywych reprezentujących odpowiednio część rzeczywistą i urojoną transmitancji Z jako funkcji czasu przy ustalonej jednej pulsacji ω (lub kilku wybranych pulsacji ω). Przykładowe przebiegi części urojonej F i części rzeczywistej W transmitancji przedstawione są odpowiednio na rys. 1 i rys. 2 (dla żeliwa sferoidalnego – krzywa 1 i dla żeliwa szarego – krzywa 2).



Rys. 2. Składowa W w funkcji czasu; 1 – żeliwo sferoidalne, 2 – żeliwo szare

2.2. Sposób oceny struktury wydzieliń grafitowych

Analiza całej przebadanej rodziny krzywych transmitancji F i W dalej zwanych odpowiednio krzywymi F i krzywymi W , doprowadziła do wniosku, że niewielka liczba parametrów pozwala sklasyfikować krzywe pod kątem struktury wydzieliń grafitowych.

Przykładowo prosty parametr ΔW określony jako:

$$\Delta W = W(t_p) - W(t_k) \quad (2.2)$$

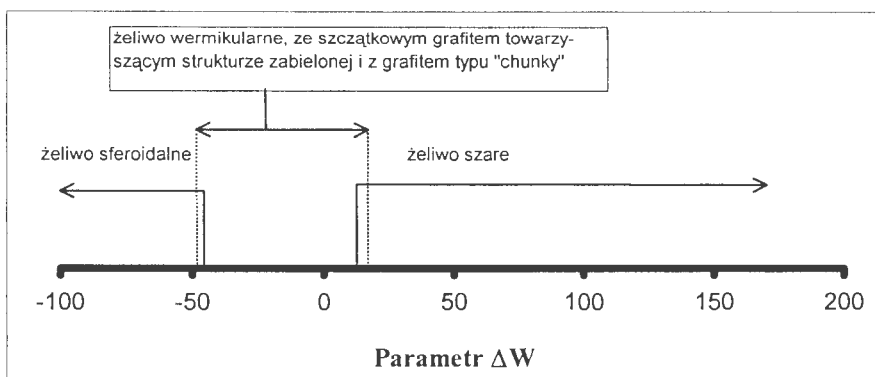
gdzie: $t_p = \operatorname{argmax}_t F(t)$ – czas pierwszego maksimum,

$t_k = \operatorname{argmin}_t F(t)$ – czas pierwszego minimum

okazuje się być wystarczającym wyznacznikiem struktury grafitu. Na rys. 3 przedstawiono relację między strukturą a parametrem ΔW określoną na podstawie zbioru obejmującego 40 wytopów żeliwa szarego, żeliwa sferoidalnego oraz żeliwa o wymuszonej odmiennej strukturze.

3. Opis urządzenia

Skonstruowany aparat, którego integralną częścią jest IBM PC umożliwia automatyczne przeprowadzenie cyklu pomiarowego, składowanie wyników, przeprowadzenie



Rys. 3. Zależność między parametrem ΔW a rodzajem żeliwa

analizy i prezentację graficzną rezultatów. Składa się z następujących bloków funkcjonalnych:

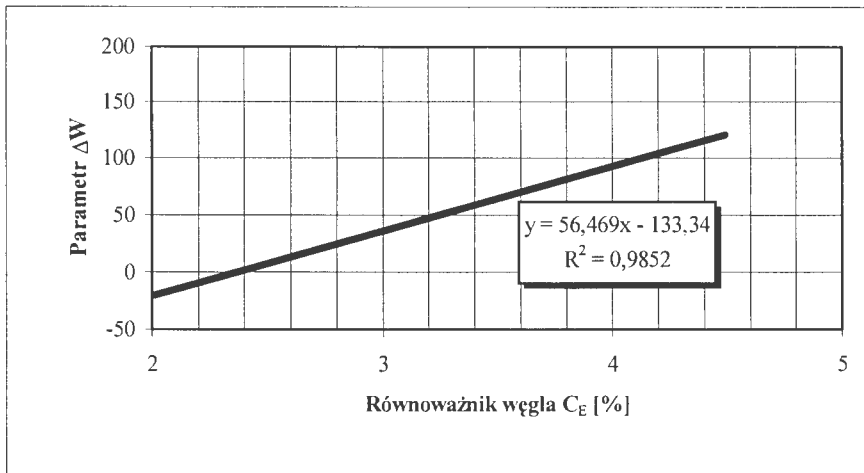
- generatora sinusoidalnego prądu cewki nadawczej z możliwością wyboru pulsacji i amplitudy;

- przetwornika AC umożliwiającego pomiar wielkości:
- prądu cewki nadawczej,
- części rzeczywistej i urojonej transmitancji Z ,
- ewentualnie także temperatury.
- modemu łączności szeregowej RS 232.

Fizycznie, aparat składa się z kolumny pomiarowej i komputera IBM PC, przy czym układ cewek nadawczych i odbiorczych (głowica pomiarowa) umiejscowiony jest w najwyższym rejonie górnej części kolumny zbudowanej z materiału niemagnetycznego. Zachowany jest stały dystans pomiędzy układem cewek, a próbką z metalem ciekłym. Wszystkie te elementy mają zapewnioną symetrię obrotową względem tej samej osi. Dolna część kolumny stanowi jej podstawę i równocześnie pełni funkcję pojemnika na układ zasilania i na układ pomiarowy. Możliwe są zasilanie z sieci, lub zasilanie niezależne (bateryjne) i połączenie pomiędzy kolumną a komputerem – przewodowe, lub bezprzewodowe.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Wyniki przedstawione na rys. 3, jak również charakter przebiegu parametru W (rys. 2) stanowią dowód, że metoda F-W spełniła zamierzenia autorów: możliwość badania krystalizującej struktury żeliwa bezpośrednio na metalu ciekłym.



Rys. 4. Korelacja między parametrem ΔW , a równoważnikiem węgla (żeliwo z grafitem płatkowym)

Przy obecnym stanie doświadczeń można uzyskiwać następujące informacje:

- 4.1. Przewidywanie rodzaju struktury grafitu: kulkowy, płatkowy, inny;
- 4.2. Zarejestrowanie przebiegu krzywych elektromagnetycznych: części urojonej (F) i części rzeczywistej (W).

Dla wydzielonej grupy żeliwa z grafitem płatkowym zbadano korelację pokazaną na rys. 4. Na jej podstawie można stwierdzić:

- 4.3. Metoda F-W pozwala na ocenę równoważnika węglowego w żeliwie z grafitem płatkowym z precyzją dorównującą metodom termicznym.

W związku z obserwacjami dokonanymi przy okazji prowadzonych prób i badań, stwierdzono ponadto:

- 4.4. W celu wykorzystania wszystkich możliwości metody F-W należy przeprowadzić badania w szerokim zakresie składu chemicznego i struktury żeliwa, a w szczególności należy dokładnie zbadać materiały odpowiadające wewnętrznemu polu pokazanemu na rys. 3.

Literatura

- [1] Fuksa St., Wierzchowski W.: Ocena struktury wydzieleni grafitowych w żeliwie w oparciu o zjawisko indukowanych prądów wirowych i analizę termiczną – Instytut Odlewnictwa / KBN 1995 Projekt Badawczy nr 7 S 201 005 04.
- [2] Fuksa St., Wierzchowski W.: Opracowanie technologii budowy przemysłowego aparatu do oceny żeliwa według metody Fuksy–Wierzchowskiego, Prace Nauk.-Bad. Instytutu Odl. Kraków 1997
- [3] Jura S. i in.: Zastosowanie metody ATD i obsługa programu V3 do oceny jakości żeliwa – Politechnika Gliwicka: Krzepnięcie metali i stopów, badania wdrożeniowe, Gliwice, 1988 s. 262.
- [4] Patent USA nr 3.670.558.
- [5] Fraś E.: Krystalizacja żeliwa, Skrypty ucz. AGH, Kraków, 1977.
- [6] Piaskowski J., Jankowski A.: Żeliwo sferoidalne, WNT, Warszawa, 1974 (wyd. II).
- [7] Podrzucki Cz.: Żeliwo, Wydawnictwo ZG STOP, Kraków, 1991.
- [8] Chalmers B., Quarrell A.G., The Physical Examination of Metals, Edward Arnold Ltd., 1960.
- [9] Gazda A., Zemlak E.: Urządzenie do rejestracji i pomiarów zmian wymiarowych krzepnących stopów odlewniczych, Prace Instytutu Odlewnictwa, T 33 (1983) Nr 2–3.
- [10] Stefanescu D.M. i in.: Einfluss des Graphits und den metalischen Grundmasse auf den spezifischen Widerstand von Gussisen mit Lamellen bzw. Kugelgraphit, Giesserei-Praxis (1971), Nr 14.
- [11] Shu Kuang-Chi i in.: Changes in electrical resistivity of cast irons during solidification, Indian Foundry Journal, T 28(1979), Nr 3.

- [12] Wierzchowski W., Fuksa St.: Wykonanie i sprawdzenie aparatu do szybkiej kontroli struktury stopów odlewniczych, Prace Nauk.-Bad. Instytutu Odł. Kraków 1991.
- [13] Zemanien A.: Teoria dystrybucji i analiza transformat, Bibl. Inż., PWN Warszawa 1970.
- [14] Oxygen Activity Measurement in Cast Iron, prospekt informacyjny (1997) firmy Heraeus Electro-Nite.

Recenzował: dr hab. inż. Edward Guzik, prof. nadzw.