47/15

Archives of Foundry, Ye ar 2005, Volume 5, № 15 Archiwum Odlewnictwa, Rok 2005, Rocznik 5, Nr 15 PAN – Katowice PL IS SN 1642-5308

OKREŚLENIE WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH ŻELIWA SFEROIDALNEGO METODĄ ATD

M. STAWARZ¹, J. SZAJNAR² Zakład Odlewnictwa, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska ul. Towarowa 7, 44 – 100 Gliwice

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono sposób oceny jakości żeliwa sferoidalnego gatunku ZsCu1.0 w oparciu o metodę ATD. Przedstawiono krzywe ATD, dla których wyznaczono punkty charakterystyczne i w oparciu o nie dokonano oceny jakości żeliwa.

Key words: ductile cast iron, thermal derivative analysis, nodular graphite, mechanical properties

1. WSTĘP

Żeliwo, dzięki swoim korzystnym właściwościom technologicznym i odlewniczym - grafit w żeliwie powoduje zmianę niektórych własności, a szczególnie:

- działa jako karb, stanowiąc nieciągłość osnowy metalowej,
- zmniejsza skurcz odlewniczy,
- polepsza skrawalność,
- zwiększa własności ślizgowe,
- sprzyja tłumieniu drgań,

pozostaje nadal najbardziej rozpowszechnionym tworzywem stosowanym do wytwarzania odlewów. W ostatnim dziesięcioleciu produkcja odlewów z żeliwa sferoidalnego wykazywała tendencje wzrostowe i całkowity wzrost produkcji odlewów z tego materiału wyniósł około 40%, przy jednoczesnym spadku produkcji odlewów z pozostałych stopów żelaza [1].

¹ dr inż., marcin.stawarz@polsl.pl

² dr hab. inż., prof. Pol. Śl., jan.szajnar@polsl.pl

Wraz ze wzrostem produkcji odlewów z żeliwa sferoidalnego powstał problem skutecznego i szybkiego sposobu oceny jakości tego żeliwa.

Cały problem oceny jakości żeliwa sprowadza się do oceny jakości metalu w kadzi przed zalaniem do form. Takie podejście do zagadnienia ma na celu zmniejszenie ilości odlewów wadliwych, przez wyeliminowanie przypadkowości z produkcji. Do oceny jakości żeliwa, a w szczególności kształtu wydzieleń grafitu, wielkości oraz ilości wydzieleń idealnie nadaje się metoda analizy - termiczno derywacyjnej (ATD). Pozwala ona na szybką i skuteczną ocenę jakości ciekłego metalu, a w powiązaniu z innymi danymi (np. skład chemiczny itp.) daje pełen obraz jakości żeliwa [2÷4].

Na każdym etapie produkcji stosowane są procedury zapewnienia jakości (dobór materiałów wsadowych, dobór sposobu topienia, sferoidyzacji i modyfikacji). Ponadto, bezpośrednio przed zalaniem form przeprowadzane są próby technologiczne (np. próba prętowa po zabiegu sferoidyzacji) oraz końcowa analiza składu chemicznego. Pomimo tak dokładnego i starannie zaplanowanego procesu technologicznego produkcji żeliwa sferoidalnego w praktyce przemysłowej zdarzają się braki, czyli odlewy wadliwe, w których uzyskane wydzielenia grafitu znacznie odbiegają od postaci kulistej, co dyskwalifikuje takie odlewy.

Z powodu, o którym jest mowa wyżej, zostały podjęte próby aplikacji metody analizy termiczno - derywacyjnej (ATD) do oceny jakości żeliwa.

2. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

Badania przeprowadzono dla żeliwa sferoidalnego gatunku ZsCu1.0. Wytopy realizowano w warunkach przemysłowych, a szczegółowy sposób przeprowadzenia eksperymentu został przedstawiony w pracach [2, 5÷6].

Zakres badań obejmował:

- rejestrację krzywych ATD,
- analizę składu chemicznego,
- badania własności mechanicznych,
- statystyczne opracowanie wyników pomiarów,

W tabelach 1 i 2 przedstawiono skład chemiczny oraz własności mechaniczne badanego żeliwa.

505

In	С	Mn	Si	Р	S	Cr	Cu	Mg	CE
ւր.	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1	2,96	0,51	2,89	0,043	0,006	0,05	0,82	0,058	3,92
2	3,14	0,44	2,62	0,035	0,005	0,03	0,8	0,064	4,01
3	3,26	0,51	2,77	0,055	0,005	0,05	0,83	0,07	4,18
4	3,31	0,6	2,75	0,049	0,005	0,03	0,86	0,065	4,22
5	3,37	0,53	2,62	0,054	0,01	0,07	1,20	0,05	4,27
6	3,45	0,36	2,48	0,036	0,005	0,03	0,82	0,09	4,28
7	3,39	0,4	2,66	0,055	0,008	0,05	1,02	0,044	4,29
8	3,35	0,62	2,8	0,06	0,009	0,22	1,03	0,039	4,29
9	3,38	0,41	2,7	0,055	0,007	0,05	0,98	0,04	4,3
10	3,43	0,45	2,68	0,036	0,005	0,26	0,92	0,093	4,31
11	3,4	0,062	2,9	0,056	0,005	0,2	1,02	0,036	4,38
12	3,5	0,57	2,57	0,06	0,009	0,07	1,16	0,026	4,38
13	3,46	0,53	2,73	0,049	0,005	0,07	1,20	0,066	4,39
14	3,56	0,34	2,49	0,035	0,006	0,03	0,81	0,09	4,39
15	3,53	0,53	2,71	0,049	0,006	0,07	1,20	0,063	4,45
16	3,69	0,45	2,65	0,036	0,004	0,28	0,89	0,09	4,55

Tabela 1. Skład chemiczny żeliwa sferoidalnego Table 1. Chemical composition of ductile cast iron

Tabela 2. Własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego Table 2. Mechanical properties of ductile cast iron

In	Rm	A_5	HB	
-тр.	МРа	%		
1	733	2,4	285	
2	733	2,4	285	
3	773	2,6	302	
4	799	3,1	302	
5	728	3,1	255	
6	799	2,7	285	
7	773	3,4	255	
8	741	2,1	285	
9	773	3,4	255	
10	728	2,6	285	
11	741	2,1	285	
12	728	3,1	255	
13	728	1,8	341	
14	799	2,7	285	
15	728	1,8	341	
16	728	2,6	285	



Na rysunku 1 przedstawiono schemat stanowiska pomiarowego, natomiast na rysunku 2 przedstawiono użyty w badaniach próbnik ATD – S.

Ciekłe żeliwo wlewano do części pomiarowej, w której umieszczona była termopara w osłonce kwarcowej (średnica zewnętrzna osłonki \varnothing 5 mm). Po wypełnieniu zbiornika pomiarowego następowało wypełnienie zbiornika przelewowego.



Przykładowa krzywa termiczna T = f(t) i krzywa derywacyjna T' = dT/dt = f'(t) zarejestrowane podczas krzepnięcia metalu w próbniku została poddana analizie wg schematu przedstawionego na rysunku $3\div4$. Analiza ta polegała na określeniu punktów charakterystycznych znajdujących się na krzywych i została przeprowadzona dla wszystkich wytopów. Dane opisujące punkty charakterystyczne (temperatura, czas, wartość pierwszej pochodnej po czasie, drugiej pochodnej po czasie) zostały umieszczone w macierzy danych.

Wytopy zostały podzielone na grupy ze względu na wartość eutektycznego równoważnika węgla CE. Dla żeliwa gatunku ZsCu1.0 otrzymano w wyniku podziału dwie podgrupy żeliwa: podeutektyczne (rysunek 3) i nadeutektyczne(rysunek 4).



Fig. 3. TDA curves of hypo-eutectic ductile cast iron

Na powyższej krzywej można zaobserwować następujące efekty cieplne:

- "AB" od krystalizacji austenitu,
- "BDEFGH" od krystalizacji eutektyki grafit + austenit,
- "IKM" od zmiany przewodnictwa cieplnego.



Rys. 4. Krzywe ATD żeliwa sferoidalnego nadeutekty cznego Fig. 4. TDA curves of hyper-eutectic ductile cast iron

Na powyższej krzywej można zaobserwować następujące efekty cieplne:

- "AB" od krystalizacji grafitu pierwotnego,
- "BDEFGH" od krystalizacji eutektyki grafit + austenit,
- "IKM" od zmiany przewodnictwa cieplnego.

3. ANALIZA STATYSTYCZNA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Poniżej przedstawiono równanie statystyczne dla gatunku żeliwa ZsCu1.0, opisujące zależność pomiędzy, własnościami mechanicznymi żeliwa sferoidalnego w funkcji punktów charakterystycznych, wyznaczonych na krzywej ATD.

$$\mathbf{R}_{\mathbf{m}} = 2342, 2+19, 16\mathbf{T}_{\mathbf{E}} - 20, 2\mathbf{T}_{\mathbf{F}} + 3, 43\mathbf{T}_{\mathbf{H}} - 4, 22\mathbf{T}_{\mathbf{K}} + 0, 41(\mathbf{t}_{\mathbf{H}} - \mathbf{t}_{\mathbf{A}})$$
(1)

gdzie:

T_E – temperatura odpowiadająca maksymalnemu efektowi cieplnemu krystalizacji eutektyki,

367

 T_F – temperatura solidus,

T_H - temperatura końca krystalizacji żeliwa,

 T_K – temperatura stygnięcia żeliwa w czasie t_H+60 s,

t_H - t_A - przedział czasowy krystalizacji żeliwa pomiędzy punktami H i A.

O parametrach statystycznych:

- wartość średnia $R_{m s} = 745,28Mpa$,
- odchylenie standardowe $R_m = 12,81Mpa$,
- współczynnik korelacji R = 0,9,
- test F = 7,32.

Jak widzimy w równaniu 1, na poprawę wartości R_m , ma wpływ wzrost temperatury w punkcie E, odpowiadającej na krzywej dT/dt maksymalnemu efektowi cieplnemu krystalizacji eutektyki grafitowej.

Poprawę wartości R_{m} uzyskujemy również przez wydłużenie czasu krystalizacji żeliwa ($t_H - t_A$), co nie jest zgodne z aktualnym stanem wiedzy, ponieważ wydłużając ten przedział czasowy, zwiększa się prawdopodobieństwo krystalizacji grafitu w zdegenerowanej postaci, co niewątpliwie obniża wartość R_m .

Na poprawę wartości R_m wpływa wzrost wartości temperatury końca krystalizacji żeliwa (T_H), a wzrost temperatury w stanie stałym (T_K), wyznaczonej po 60 sekundach od punktu H (końca krystalizacji żeliwa), obniża wartość R_{mb} co jest związane z efektem zmniejszenia przewodnictwa cieplnego żeliwa, w którym grafit krystalizuje w postaci kulkowej.

$$A_5 = -2,8 + 0,054 T_H - 0,053 T_K - 0,016(t_H - t_A)$$
(2)

gdzie:

T_H – temperatura końca krystalizacji żeliwa,

 T_K – temperatura stygnięcia żeliwa w czasie t_H+60 s,

t_H - t_A - przedział czasowy krystalizacji eutektyki pomiędzy punktami H i A,

O parametrach statystycznych:

- wartość średnia $A_{5 s} = 2,64\%$
- odchylenie standardowe $A_5 = 0,29\%$,
- współczynnik korelacji R = 0,83,
- test F = 7,85.

Spadek temperatury w punkcie K, jak również skrócenie czasu krystalizacji pomiędzy punktami H i A powoduje zwiększenie wartości wydłużenia A₅.

368

HB=865+0,64T_Z-1,61T_D+0,52T_M-0,62($t_{\rm H}$ - $t_{\rm A}$)

gdzie:

T_Z - maksymalna wartość temperatury zarejestrowana na krzywej ATD,

T_D – temperatura solidusu metastabilnego,

T_M-temperatura stygnięcia żeliwa w czasie t_H+90 s,

 $t_H - t_A - przedział czasowy krystalizacji żeliwa pomiędzy punktami H i A.$

O parametrach statystycznych:

- wartość średnia $HB_s = 277,07$,
- odchylenie standardowe HB = 5,55,
- współczynnik korelacji R = 0,95,
- test F = 22,91.

Wzrost wartości temperatury w punkcie Z oraz skrócenie czasów krystalizacji powoduje zwiększenie HB. Obniżenie temperatury w punkcie D, jak również wzrost wartości temperatury w punkcie M powoduje zwiększenie twardości badanego żeliwa.

369

4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane równania statystyczne odnoszą się do oceny jakości żeliwa na podstawie charakterystycznych punktów wyznaczonych na krzywych ATD. Uzyskane zależności statystyczne cechują się wysokimi parametrami statystycznymi.

Opracowana metoda wyznaczania własności mechanicznych w oparciu o analizę termiczno – derywacyjną umożliwia szybkie i skuteczne przeprowadzenie oceny w warunkach przemysłowych.

LITERATURA

- J. Tybulczuk, K. Martynowicz Lis: Ocena stanu polskiego odlewnictwa na tle rynku globalnego. Instytut Odlewnictwa, Kraków. Statystyczna prezentacja roczna stanu polskiego odlewnictwa na tle rynku globalnego, Kielce 2004.
- [2] M. Stawarz: Zastosowanie metody analizy termiczno derywacyjnej do oceny jakości żeliwa sferoidalnego. Praca doktorska, Gliwice 2004.
- [3] S. Pietrowski: Kontrola żeliwa metodą analizy termiczno derywacyjnej (ATD). Polska Metalurgia w latach 1998÷2002, tom 2, Wydawnictwo naukowe PAN, Kraków 2002 str. 64÷71.
- [4] Novacast[®] AB Sweden: PQ-CGI In Mold. Metals Minerals Nr 1, 2002, str. 18÷20
- [5] M. Stawarz: Ocena kształtu grafitu w żeliwie sferoidalnym gatunku ZsCu1.0 w oparciu o metodę ATD. DOKSEM 2003, Rajeckie Teplice, 11 –12 November 2003, 66-67.

(3)

[6] M. Stawarz, J. Szajnar, C. Wójtowicz: Metoda ATD jako sposób oceny jakości żeliwa sferoidalnego gatunku EN-GJS-400-15. Archiwum Odlewnictwa Rok 2004, Rocznik 4, Nr 14 PAN Katowice PL ISSN 1642-5308.

QUALIFICATION MECHANICAL PROPERTIES OF DUCTILE CAST IRON WITH ATD METHOD

SUMMARY

The paper presented equation of regression for evaluation of quality of ductile cast iron of sort ZsCu1.0. They were prepared with the use of characteristic points of TDA curves.

Recenzował Prof. Józef Gawroński