40/2

Archives of Foundry, Year 2001, Volume 1, № 1 (2/2) Archiwum Odlewnictwa, Rok 2001, Rocznik 1, Nr 1 (2/2) PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

ZASTOSOWANIE METODY ATSD DO WYZNACZANIA EFEKTYWNEGO ZAKRESU KRYSTALIZACJI WYBRANYCH STOPÓW ALUMINIUM

G. PUCKA¹, A. GIEREK² Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, Politechnika Śląska, 40-019 KATOWICE, ul. Krasińskiego 8

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki zastosowania metody ATSD (równoczesnej rejestracji i analizy różniczkowej krzywych stygnięcia i swobodnego skurczu liniowego) dla stopów AK7, AK11 i AK17. Wyznaczono podstawowe parametry charakterystyczne stygnięcia (zakres krzepnięcia, efektywny zakres krystalizacji czasy ich trwania) i skurczu liniowego (skurczu całkowitego, rzeczywistego, rozszerzenie przedskurczowe). Podjęto próbę wyjaśnienia zaobserwowanych zjawisk.

Key words: ATSD method, solidification, crystallization, linear shrinkage, preshrinkage expansion

1. WPROWADZENIE

Jedną z najważniejszych właściwości technologicznych tworzyw odlewniczych jest skurcz odlewniczy. Skurcz odlewu jest właściwością fizyczną, technologicznie niekorzystną, lecz niestety nieuniknioną. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania wielu badaczy zjawiskiem skurczu odlewniczego, a w szczególności precyzją określania jego wartości końcowej oraz zmian mierzonych w sposób ciągły od temperatury początku zmian liniowych aż do temperatury otoczenia [1-6]. Z grupy tworzyw odlewniczych coraz większe zainteresowanie konstruktorów wzbudzają stopy aluminium z krzemem. O ile przebiegi procesu krzepnięcia tych stopów, w zróżnicowanych warunkach wymiany ciepła i przygotowania ciekłego metalu, są w

¹ dr inż., puckag@zeus.polsl.gliwice.pl

² prof. zw. dr hab. inż.,

literaturze dość bogato udokumentowane [7-10], o tyle stosunkowo mało miejsca poświęca się zagadnieniu skurczu tych stopów. Na ogół stwierdza się, że stopy te charakteryzują się stosunkowo małym skurczem liniowym – 1,1 do 1,6 % [7-9], przy czym trudno o liczbowe wartości uwzględniające wpływ składu chemicznego, warunków topienia, odlewania, grubości ścianek odlewu, jego konstrukcji i innych czynników wpływających na ten skurcz. W pracy przedstawiono badania nad przebiegiem stygnięcia i – równocześnie rejestrowanego w sposób ciągły – swobodnego skurczu liniowego stopów aluminium z krzemem, uwzględniając przy tym zjawisko rozszerzalności przedskurczowej i związanym z nim efektywnym zakresem krystalizacji. W badaniach wykorzystano metodę ATSD (Analysis Temperature and Shrinkage Derivative), to znaczy równoczesnej rejestracji i analizy różniczkowej krzywych stygnięcia i swobodnego skurczu liniowego.

2. STANOWISKO DO BADAŃ

Przebieg stygniecia i swobodnego skurczu liniowego stopów aluminium badano na urządzeniu SL-PG1 zaprojektowanym i wykonanym w KTSMiK Politechniki Śląskiej [4,5,6]. Stanowisko do badań umożliwia badanie odlewów o średnicy 20, 35 lub 50 mm i długości 170 mm. Zmiany liniowe próbek w czasie stygnięcia rejestrowane są za pomocą czujników tensometrycznych. Zastosowane przetworniki analogowo-cyfrowe ME8520 i MC201 umożliwiają równoczesną, ciągłą rejestrację zmian temperatury i długości próbki w pełnym zakresie czasowym próby. Czas próbkowania wynosi 0,5 s. Analizę danych pomiarowych i ich wizualizację umożliwia program komputerowy SKULIN. W prowadzonych badaniach do rejestracji zmian temperatury zastosowano termoelementy NiCr-NiAl. Parametry charakterystyczne stygnięcia i skurczu liniowego - w tym rozszerzalności przedskurczowej i efektywnego zakresu krystalizacji - wyznaczono z przebiegu pochodnych obydwu rejestrowanych wielkości. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 1.

W pracy przez rozszerzalność przedskurczową S_{rp} rozumie się ten zakres zmian liniowych próbki, w którym długość próbki jest większa od jej długości początkowej. Natomiast przez efektywny zakres krystalizacji ΔT_{EZK} rozumie się różnicę między temperaturą początku skurczu liniowego (maksymalnego rozszerzenia przedskurczowego) i temperaturą końca krzepnięcia (temperaturą solidus). Skurcz w tym zakresie oznaczono S_{EZK}.

3. MATERIAŁY DO BADAŃ

W pracy badaniom poddano 3 stopy aluminium z krzemem: podeutektyczny AK7, okołoeutektyczny AK11 i nadeutektyczny AK17 (AlSi17Cu2NiMg). Przed



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego; 1- forma próbna z wnęką walcową o średnicy 20, 35 i 50 mm, 2-stół, 3-płyta podstawowa, 4-czujniki tensometryczne, 5-końcówki grafitowe (zatopione w metalu), 6-układ wlewowy, 7-termoelementy, 8-śruba regulacyjna, 9-moduł A/C, 10-komputerowy zestaw do rejestracji, analizy i wizualizacji wyników.

Fig. 1. Test Stand Diagram: 1- test mould with a cylindrical recess of 20,35 and 50 mm diameters, 2- table, 3-base plate, 4- strain ganger, 5- graphite tips (sealed in metal), 6- filling system, 7- thermo-elements, 8- adjustment screw, 9-A/C module, 10- computer set for recording, analyzing and visualizing the results.

wlaniem do wnęki formy próbnej, wykonanej z kwarcowej, samoutwardzalnej masy fosforanowej, stopy poddano rafinacji (Rafglin2) i modyfikacji (Modal 1 i zaprawy Cu-P - stop AK17). Stopy topiono w tyglu alundowym w komorze elektrycznego pieca silitowego.

4. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Seria wcześniejszych badań pozwoliła na opracowanie ogólnego schematu wzajemnego położenia charakterystycznych parametrów stygnięcia i swobodnego skurczu liniowego, opracowanego na podstawie analizy przebiegu pierwszej pochodnej obydwu (temperatury i skurczu) mierzonych wielkości. Zależności te przedstawiono na rys. 2. W pracy przedstawiono wyniki badań zmian temperatury i zmian liniowych badanych stopów, przy czym zmiany te określono na próbkach o średnicy 50 mm. Wybrane parametry stygnięcia i swobodnego skurczu liniowego przedstawiono w tab. 1. Na rys. 3 natomiast przedstawiono przykładowo wykresy skopiowane wprost z ekranu monitora komputerowego dla próbki ze stopu AK11; na rys. 3a widoczne są krzywe stygnięcia i skurczu liniowego, natomiast na rys. 3b wzajemne położenie pochodnych temperatury i skurczu w tym właśnie zakresie. Okazało się bowiem, iż w każdym z badanych stopów temperatura końca krzepnięcia stopu dokładnie pokrywa się z punktem wyraźnej zmiany charakteru krzywej rozszerzalności



Rys. 2. Ogólny przebieg krzywych stygnięcia i swobodnego skurczu liniowego oraz ich pochodnych wraz z parametrami charakterystycznymi Fig.2. The general run of cool-down and free linear shrinkage, and their derivatives, including the characteristic parameters.

Fabela 1. Wybrane parametry	charakterystyczne	stygnięcia	i swobodnego	skurczu	liniowego
badanych stopów					

Table 1.	The choise characteristic cool-down and free linear shrinkage parameters for alloys
	under testing

Stopy odlewnicze	AK7, AK11 i AK 17						
	kwarcowa, samoutwardzalna masa fosforanowa,						
Forma odlewnicza	$b_2 = 1120 \text{ W.s}^{1/2}/\text{m}^2.\text{K}$						
piasek kwarcowy 1K-0,20/0,16/0,32 –J91 100 cz. wag.							
Skład masy	spoiwo Glifos-C 4,5 cz. wag.						
	utwardzacz UP-2	(),5 cz. wag.				
Próbka	średnica – 50 mm, długość pomiarowa – 170 mm						
		Stop odlewniczy					
Parametry stygnięcia		AK7	AK11	AK17			
Temperatura likwidus T _{lik} , ^o C		583,5	580,2	699,1			
Temperatura eutektyczna T_E^{OC}		575	572,4	570,2			
Temperatura solidus T_{sol} , ${}^{O}C$		554,4	557,0	547,8			
Czas krzepnięcia τ_3 , s		604	500,0	907			
Moduł odlewu M ₁ ; mm,		11,3	11,3	11,3			
Parametry swobodnego skurczu liniowego							
Całkowity skurcz linowy S _k , %		1,99	1,70	1,79			
Rzeczywisty skurcz liniowy S _{lrz} , %		1,49	1,24	1,32			
Rozszerzenie przedskurczowe S _{rp} , %		0,50	0,46	0,47			
Temperatura początku skurczu liniowego T _{psl} ^O C		571,5	572,4	565,6			
Efektywny zakres krystalizacji ΔT_{EZK} , ^O C		17,1	15,4	17,8			
Czas trwania efektywnego zakresu krystalizacji τ_{EZK} , s		77	61	172			
Skurcz w efektywnym zakresie krystalizacji S _{EZK} , %		0,024	0,031	0,049			
Temp. końca rozszerzenia przedskurczowego T _{krp.} ^O C		397	407,7	436,9			

przedskurczowej tych stopów; potwierdza to dodatkowo zgodność położenia minimum pochodnej temperatury z tym właśnie punktem. Natomiast zerowa wartość pochodnej skurczu liniowego oznacza maksymalną wartość rozszerzenia przedskurczowego, jednoznaczną z początkiem skurczu liniowego stopu. Jak widać z tab. 1, rzeczywisty skurcz liniowy badanych stopów zmienia się w granicach 1,24 – 1,49 %. Z tab. 1 widać jednak również, iż wszystkie badane stopy wykazały występowanie zjawiska rozszerzalności przedskurczowej. Tak więc całkowity skurcz liniowy tych stopów zmienia się w granicach 1,70 – 1,99 % W związku z ograniczoną objętością artykułu, trudno o zamieszczenie wszystkich wykresów potwierdzających zarejestrowane zależności. Na podstawie tych wykresów można jednak stwierdzić, iż dla wszystkich badanych stopów początek skurczu liniowego - maksymalne rozszerzenie przedskurczowe ma zawsze miejsce w zakresie krzepnięcia stopu. Dla przebadanych stopów wartość rozszerzenia przedskurczowego zmienia się w granicach 0,46 - 0,50%. Temperatura początku skurczu liniowego (maksymalnego rozszerzenia przedskurczowego) jest zawsze nieco wyższa od temperatury solidus, tak więc we



wszystkich stopach wyznaczyć można wartość efektywnego zakresu krystalizacji, który dla badanych stopów

Rys. 3. Krzywe stygnięcia i skurczu liniowego oraz ich pochodne dla stopu AK11. Fig. 3. The cool-down and free linear shrinkage curves and their derivatives for the AK11 alloy.

zmienia się w granicach 15,4 - 17,8 °C.; przyrost skurczu w tym zakresie nie jest wprawdzie wielki lecz wyraźny i dla przebadanych stopów zmienia się w granicach 0,024 – 0,049%. Łatwo przy tym zauważyć, że w temperaturze końca krzepnięcia próbki posiadają zawsze skurcz ujemny – mają długość większą niż długość początkowa. Jak widać z rysunku 3, prędkość skurczu w efektywnym zakresie krystalizacji jest największa, a największa wartość osiąga w temperaturze końca krzepnięcia; od tego momentu prędkość skurczu dla wszystkich stopów systematycznie zmniejsza się. Z analizy przebiegu skurczu liniowego badanych stopów ważne jest jeszcze jedno spostrzeżenie. Otóż temperatura końca rozszerzenia przedskurczowego, a więc momentu w którym próbka ponownie osiąga swoją długość początkową jest zawsze niższa od temperatury końca krzepnięcia. W przeprowadzonych badaniach temperatura ta mieściła się w granicach 397 – 437 °C. Tak więc dopiero od tej temperatury (do temperatury otoczenia) mamy do czynienia ze wzrostem wartości skurczu liniowego rzeczywistego. W pracy nie analizowano parametrów początku rozszerzalności przedskurczowej stopów, gdyż przy minimalnej bezwładności pomiarowej czujników tensometrycznych, pomiar temperatury termoelementem osłoniętym w rurce kwarcowej charakteryzuje się bezwładnościa uniemożliwiająca wzajemne kojarzenie zmian temperatury i długości próbki. W krótkim artykule trudno o dogłębne wyjaśnienie przyczyn zaobserwowanych zjawisk i zależności. Najogólniej można stwierdzić, iż w grupie czynników powodujących zarejestrowane przebiegi zmian liniowych próbek z badanych stopów znajdują się: budowa metalu w stanie ciekłym (upakowanie atomów wewnątrz klasterów i upakowanie klasterów względem siebie), procesy wydzieleniowe w czasie krzepnięcia (różnica we współczynnikach skurczu wydzielanych faz), zawartość gazów (w pracy nie była określana), ruch metalu w formie, ruch ścianek formy próbnej i inne.

4. ZAKOŃCZENIE

Przedstawiona w pracy metoda ATSD (analizy różniczkowej równocześnie rejestrowanych krzywych stygnięcia i swobodnego skurczu liniowego) może być pomocna w pogłębionej analizie skomplikowanych zjawisk zachodzących w stygnącym i krzepnącym stopie odlewniczym. Wykorzystując nowoopracowaną metodę ATSD graficznie udokumentowano relacje między parametrami charakterystycznymi stygnięcia stopu i jego zmianami liniowymi, w szczególności rozszerzalności przedskurczowej i efektywnego zakresu krystalizacji. Metoda ATSD może być z powodzeniem wykorzystana do stworzenia bazy danych materiałowych dla obecnie stosowanych i nowoopracowanych tworzyw odlewniczych. Uzyskane wyniki można twórczo powiązać z badaniami strukturalnymi w analizie mechanizmów krzepnięcia, powstawania pustek skurczowych, naprężeń i pęknięć, uściślając przy tym wpływ szeregu czynników materiałowych i technologicznych na te zjawiska.

LITERATURA

- [1] Cernov G.I., Cernova S.V.: Pribor dlja izucenija lineinoj usadki splavov, Liteinoe Proizvodstvo 1988, nr 8, s.25,
- [2] Nandori G., Jonas P.: Badanie cech procesu krzepnięcia niektórych stopów wg metody rozszerzonej analizy termicznej, 50 Międzynarodowy Kongres Odlewnictwa, referat nr 16, Kair 1983, tłumaczenie Przegląd Odlewnictwa, 1989, nr 4,
- [3] Studnicki A., Jura S., Kilarski J.: Badania żeliwa chromowego na dylatometrze odlewniczym DO-01/PSI., Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN O/Katowice,1998, z. 38, s.223-228,
- Pucka G.: Tensometryczne urządzenie do pomiaru swobodnego skurczu liniowego z komputerową analizą danych, III Konferencja "Metody komputerowe w odlewnictwie," Komisja Odlewnictwa PAN O/Katowice, Gliwice-Bytom, 1993,
- [5] Pucka G.: Wpływ intensywności stygnięcia na swobodny skurcz liniowy wybranych metali i stopów, Inżynieria Materiałowa, 1994, nr 3-4, s.90-92,
- [6] Pucka G., Śleziona J., Żak W.: Krzepnięcie i skurcz liniowy kompozytu na osnowie AK12 zbrojonego cząstkami Al₂O₃ i SiC, Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN, 2000, nr 44, s.311-316
- [7] Górny Z.: Odlewnicze stopy metali nieżelaznych, WNT, Warszawa, 1992.
- [8] Poniewierski Z.: Krystalizacja, struktura i właściwości siluminów, WNT, Warszawa, 1989
- [9] Perzyk M., Waszkiewicz S., Kaczorowski M., Jopkiewicz A.: Odlewnictwo, WNT, Warszawa, 2000,
- [10] Jura Z., Jura S.: Teoria metody ATD w badaniach stopów Al, Krzepnięcie metali i stopów, PAN-Katowice, 1996, nr 28,
- [11] Pucka G.: Samoutwardzalna masa fosforanowa ze spoiwem Glifos-C- właściwości i zastosowanie, "Nowe procesy i materiały stosowane w odlewnictwie – odlewnictwo XXI w.", Instytut Odlewnictwa, Kraków, 1996,
- [12] Braszczyński J.: Teoria procesów odlewniczych, PWN, Warszawa, 1989,

THE APPLICATION OF ATSD METHOD FOR DETERMINING AN EFFECTIVE CRYSTALLIZATION RANGE FOR CHOICE ALUMINUM ALLOYS

SUMMARY

Presented in this work are the results of application of the ATSD method (a derivative analysis of simultaneously recorded cool-down and free linear shrinkage curves) for the alloys of AK7, AK11 and AK17. Determined have been the basic characteristic cool-down parameters (solidification range, effective crystallization range, duration times) and the linear shrinkage (total and actual shrinkage, pre-shrinkage expansion). Undertaken has been an attempt to explain the phenomena observed.

Recenzował Prof. Przemysław Wasilewski