

WPLYW WŁAŚCIWOŚCI TERMOFIZYCZNYCH TWORZYWA NADSTAWKI NADLEWU NA GEOMETRIĘ JAMY SKURCZOWEJ

A. SMOLIŃSKI¹

Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, Politechnika Śląska
ul. Z. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

STRESZCZENIE

Stopy odlewnicze podczas krystalizacji zmieniają objętość, efektem czego jest powstanie jamy skurczowej rzadzisz i porowatości. Są to efekty makrostrukturalne, obniżające jakość odlewu. Z tego też względu poznanie kinetyki tworzenia jamy skurczowej i porowatości odlewu ma bardzo duże znaczenie poznawcze i użytkowe.

W pracy przedstawiano wyniki matematycznego modelowania zjawisk zachodzących podczas odlewania i krystalizacji wlewką. Opracowano zależności, które po uwzględnieniu własności termofizycznych nadstawki nadlewu, tworzywa wlewnicy oraz odlewanej stopu modelują kształt i lokalizację jamy skurczowej na określonej wysokości w nadlewie bądź w odlewie. Wyniki tych badań poparte zostały badaniami eksperymentalnymi przeprowadzonymi przy użyciu modelowego stopu aluminium.

Key words: thermophysical properties, contraction cavity

1. WPROWADZENIE

Kinetykę tworzenia jamy skurczowej podczas krystalizacji stopów oraz wpływu parametrów termofizycznych nadstawki ocieplającej na głębokość i formę jamy skurczowej można z powodzeniem określić za pomocą modelowania matematycznego. Dla tych obliczeń konieczna jest znajomość pola temperatury i grubości warstwy metalu, która krystalizuje na ściankach kokili bezpośrednio po zakończeniu zalewania formy. Proces ten rozpoczyna się od początku odlewania ciekłego metalu do formy i związany jest z kontaktem ciekłego metalu z powietrzem,

¹dr inż., alsmol@polsl.katowice.pl

a następnie ściankami formy. Zakłócenia ustalonego przepływu ciepła pomiędzy powierzchnią metalu, a ściankami formy może być powodem zróżnicowanej temperatury na jej powierzchniach. Prowadzić to może do pęknięcia tej powierzchni, a w rezultacie do powstawania wad odlewniczych. W początkowej fazie procesu duże znaczenie mają warunki hydrodynamiczne, które zależą od samego metalu lepkości odlewanej tworzywa oraz warunków przepływu w kanałach formy odlewniczej. W tym okresie w objętości odlewu i formy generuje się chwilowe (początkowe) pole temperatury, które ma istotne znaczenie dla wypełnienia wnęki formy (możliwość powstawania porowatości rozsianej) i dalszego stygnięcia odlewu. Etapem decydującym o wielkości i lokalizacji jamy skurczowej jest okres stygnięcia od T_{odl} do T_{liq} (skurcz w stanie ciekłym) i T_{liq} do T_{sol} (skurcz w czasie krzepnięcia).

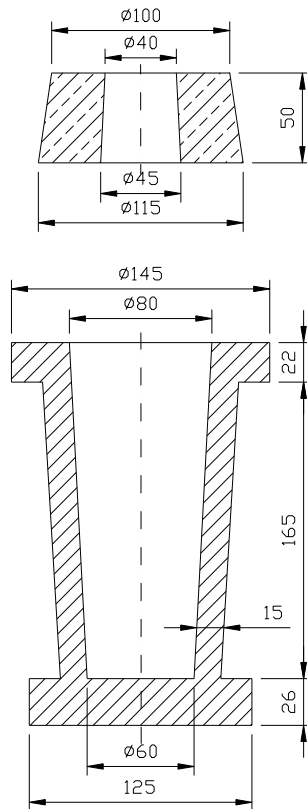
2. METODYKA BADAŃ

Układ badawczy wlewnica- stop dobrano w oparciu o zasady analizy wymiarowej, której wyniki autor przedstawił w pracy [1]. W oparciu o wyznaczone kryteria podobieństwa obiektu rzeczywistego i modelowego dokonano doboru tworzywa wlewnicy (staliwo węglowe), obliczono jej wymiary oraz dobrano stop odlewniczy w postaci technicznego aluminium. Układ modelowy wraz z nadstawką został przedstawiony na rys. 1. Rodzaj tworzywa nadstawki oraz ich właściwości termofizyczne przedstawiono w tablicy 1.

Tabela. 1. Własności termofizyczne zastosowanych nadstawek.
Table 1. Thermophysical properties of the head riser adjuster materials

Nr	Rodzaj nadstawki	λ W/m. K	ρ kg/m ³	C J/kgK
1	tradycyjna masa formierska + 8% H ₂ O	1,37	1640	284
2	samoekspandująca masa izolacyjna (1)	0,34	410	546
3	samoekspandująca masa izolacyjna(2)	0,47	540	1248
4	mikrosfery + szkło wodne	0,21	410	1450
5	Grafit	98	1780	1600

Tworzywa nr 2, 3 i 4 wykazują bardzo dobre właściwości izolacyjne (niskie wartości współczynnika λ). Grafit wykorzystano świadomie, w celu potwierdzenia niekorzystnego oddziaływania tworzywa o wysokiej wartości współczynnika λ na lokalizację jamy skurczowej wewnątrz odlewu.



Rys. 1. Modelowy układ badawczy wlewnica- nadstawka.
 Fig.1. The research simulation system of the hot- topped mould.

Opracowany i opisany przez autora algorytm programu komputerowego [2] rozpatrywano w dwóch etapach:

- zalewanie formy,
- krzepnięcie odlewu z kształtowaniem się jamy skurczowej.

Najważniejszymi elementami algorytmu zalewania formy to:

- przyjęcie stałych wartości parametrów termofizycznych w układzie stop-wlewnica,
- wyznaczenie pola temperatury,
- wyznaczenie grubości warstwy zakrzepłej pod koniec zalewania, tzn. naskórka odlewniczego.

Głównymi elementami rozwiązania zagadnienia krzepnięcia stopu we wlewnicy oraz kształtowania jamy skurczowej były:

- analiza obliczeń etapu zalewania,
- koordynacja wyznaczonego wcześniej pola temperatury,
- ostateczne określenie lokalizacji i wielkości jamy skurczowej.

Przytoczone wyżej algorytmy realizowano za pomocą programu Turbo Pascal. Przewidziano możliwość kontynuacji obliczeń po zatrzymaniu programu, tj. po obliczeniu zalewania lub skurczu każdej ostatniej warstwy metalu przewidziano zapis wszystkich koniecznych obliczeń i informacji.

Główne parametry geometryczne wlewnicy modelowej to: promień $r = 0,072$ m oraz wysokość $h = 0,263$ m. Wymagane do obliczeń właściwości termofizyczne technicznego aluminium oraz tworzywa nadstawki przedstawiono w tablicy 2.

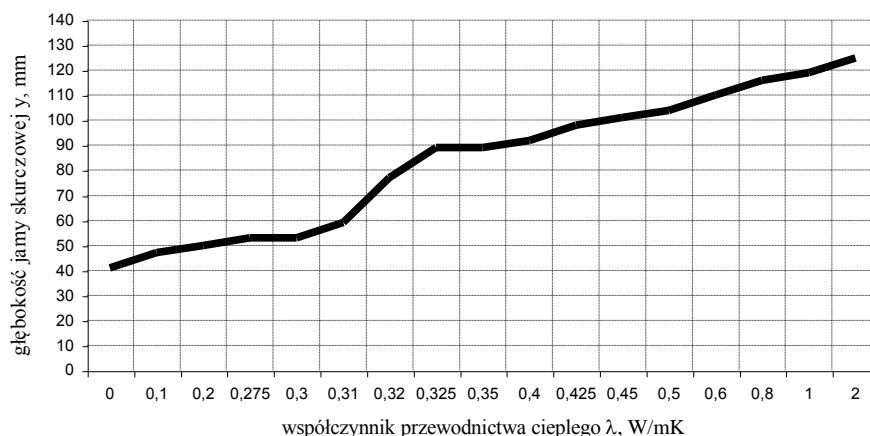
Tabela 2. Właściwości termofizyczne technicznego aluminium oraz tworzywa nadstawki.
Table 2. Thermophysical properties of the aluminium and head riser adjuster material.

Parametr	Oznaczenie	Wartość
Temperatura odlewania	T_p	750°C
temperatura otoczenia	T_{cp}	20°C
temperatura likwidus	T_L	665°C
temperatura solidus	T_S	660°C
gęstość ciekłego aluminium	ρ_L	2380 kg/m ³
gęstość stałego aluminium	ρ_S	2700 kg/m ³
przewodność cieplna ciekłego Al.	λ_L	104 W/mK
przewodność cieplna stałego Al.	λ_S	240 W/mK
ciepło właściwe Al., $>T_{kr}$	c_L	1295 J/kgK
ciepło właściwe Al. w T_{kr}	c_S	1090 J/kgK
ciepło krzepnięcia Al	L_1	390 kJ/kg
współczynnik przejmowania ciepła	α_T	17 W/m ² K
gęstość nadstawki nr 3	ρ_{SH}	550 kg/m ³
przewodność cieplna] nadstawki nr 3	λ_{SH}	0,47 W/mK
ciepło właściwe nadstawki nr 3	c_{SH}	1250 J/kgK

3. WYNIKI BADAŃ

Obliczenia prowadzono dwukierunkowo: dla sprawdzenia poprawności działania programu komputerowego głównie pod kątem fizycznego sensu i wartości podstawowych parametrów termofizycznych oraz dla wyznaczenia głębokości jamy skurczowej w przypadku stosowania nastawek termoizolacyjnych i porównania jej z wartościami otrzymanymi w trakcie badań eksperymentalnych.

Na rys.2 przedstawiono wyniki obliczeń głębokości zalegania jamy skurczowej w funkcji współczynnika przewodności cieplnej λ . Do obliczeń przyjęto zakres wartości współczynnika od 0 do 2,0 W/mK.

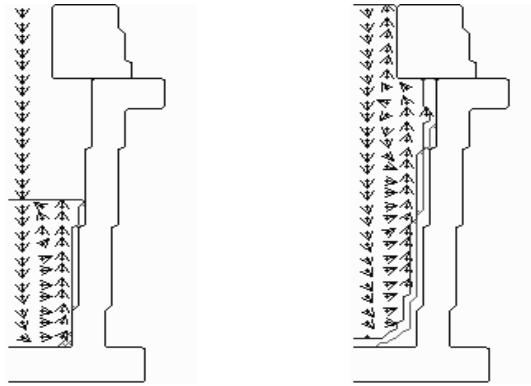


Rys. 2. Zależność głębokości jamy skurczowej y od współczynnika przewodnictwa cieplnego λ .
Fig.2. The relationship of contraction cavity depth „ y ” and thermal conductivity.

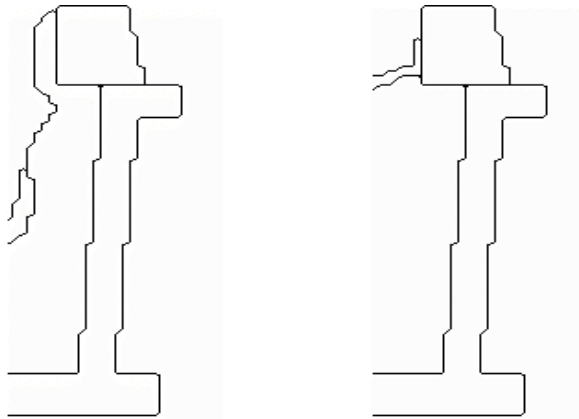
Dla dużych wartości współczynnika $\lambda > 2,0$ głębokość zalegania jamy skurczowej nie zmienia się już w sposób istotny, zmierzając do pewnej wartości maksymalnej. I tak dla $\lambda=54$ W/mK, głębokość zalegania jamy wynosi 140mm.

Rezultaty obliczeń jednego z przejściowych i zakończonego etapu zapełniania formy metalem przedstawiono na rys.3, gdzie strzałki pokazują kierunki szybkości metalu, a krzywe – granice ciekłej i przejściową strefę krystalizacji. Na rys.4. przedstawiono rezultaty obliczeń jamy skurczowej dla praktycznie stosowanego i udoskonalanego (z uwzględnieniem parametrów termofizycznych) układu z zastosowaniem nadstawki ocieplającej.

Wyniki obliczeń przeprowadzonych za pomocą programu komputerowego porównano z wynikami rzeczywistymi zmierzonymi na przekrojach wlewków aluminiowych, co przedstawia tablica 3.



Rys.3. Jeden z przejściowych i zakończonych etapów zapełniania formy metalem.
 Fig.3. The one of the transitional and ended stage to filling a form metal by liquid metal.

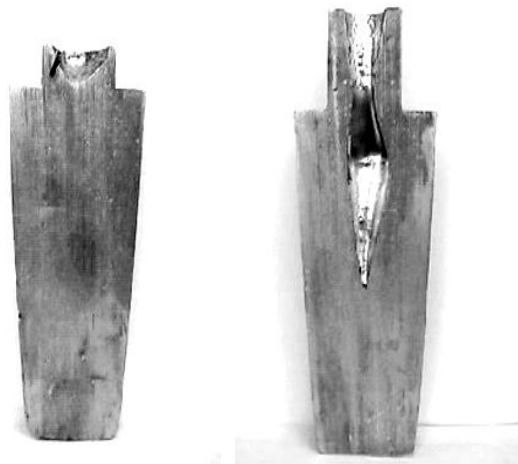


Rys. 4. Jeden z rezultatów obliczeń jamy skurczowej dokonanego przez program.
 Fig.4.The one of the cavity counting contraction to make over the program.

Tabela 3. Porównanie głębokości jamy skurczowej obliczonej i rzeczywistej w odlewie.
 Table 3. Comparative of contraction cavity depth the calculate and reality in the cast.

	Głębokość jamy skurczowej dla nadstawki nr, mm				
	1	2	3	4	5
wsp. przew. ciepl. λ , W/mk	1,37	0,34	0,47	0,21	98
odlew	121	80	98	48	145
program komputerowy	128	89	101	50	145

Na rys 5 przedstawiono przekroje wlewków aluminiowych odlanych do kokili z nadstawką z tworzywa 4 (a) i nadstawką grafitową (b).



a) $y = 48 \text{ mm}$

b) $y = 138 \text{ mm}$

Rys 5. Porównanie kształtu i głębokości jamy skurczowej na przekroju wlewków

a)- nadstawka z masy termoizolacyjnej nr 4,

b)- nadstawka grafitowa.

Fig.5. Comparative shape and of the contraction cavity depth on the ingots section

a)- the head riser adjuster with heat isolation masses

b)- the graphite head riser adjuster

Jak wynika z tablicy 3 wyniki obliczeń głębokości jamy skurczowej uzyskane za pomocą programu komputerowego są wyższe od rzeczywistych zmierzonych na przekrojach próbnych wlewków. Różnice te (zwłaszcza dla dużych wartości λ) mogą być spowodowane zmianą właściwości termofizycznych tworzywa kokili i nadstawki ze zmianą temperatury, czego aktualnie opracowany program komputerowy nie uwzględnia. Efekt „ocieplającego” działania nadstawki izolacyjnej z tworzywa nr 4 jest dobrze widoczny na rys 6a. Poziom metalu w nadlewie w początkowym okresie obniżył się, co jest wynikiem skurczu w stanie ciekłym. Natomiast w przypadku zastosowania nadstawki grafitowej krystalizacja rozpoczyna się od górnego jej poziomu, natychmiast po całkowitym wypełnieniu wlewnicy.

4. PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki badań pozwalają wnioskować, że zaprezentowany program symulacyjny dość dobrze odzwierciedla parametry geometryczne jamy skurczowej. Oczywiście, dla prawidłowości oceny obliczeń modelowych przyjęcie jako kryterium jedynie głębokości zalegania jamy skurczowej wydaje się być nieprecyzyjne. Jednak z punktu widzenia obliczeń numerycznych zagadnienie jest skomplikowane. Autor rozważa możliwość wprowadzenia odpowiedniego wskaźnika geometrycznego położenia jamy skurczowej. Z punktu widzenia zachodzących zjawisk fizycznych

zadanie zmierzające do opracowania omawianego programu było skomplikowane, gdyż jak potwierdziły równoległe prowadzone próby należało ustalić, w którym momencie zaczyna się proces krystalizacji. Pewne wątpliwości zostały wykluczone po przeprowadzeniu prób metodą wylewania. Wątpliwości te przesądziły o przyjęciu wymiarów modelu kokili, a tym samym jej pojemności cieplnej. W ten sposób proces wymiany ciepła zachodził głównie poprzez ścianki kokili, a w mniejszym stopniu na jego kinetykę miał wpływ materiał nadstawki. Proponowany model i opracowany program komputerowy stanowią podstawę opracowania zadania odwrotnego tj. możliwości wyznaczenia właściwości termofizycznych tworzyw na podstawie cech geometrycznych i głębokości zalegania jamy skurczowej w odlewie badawczym.

LITERATURA

- [1] Smoliński A., Binczyk F.: *Zastosowanie analizy wymiarowej do określenia geometrii wlewnicy modelowej*, Acta Metallurgica Slovaca, Kosice,3/2001.
- [2] Ogurcow A.P., Samochwałow C.E., Smoliński A. *Matematyczne modelowanie dynamiki formowania jamy skurczowej w odlewie aluminiowym* Modelowanie matematyczne nr 1(4), 2000, wyd. D.D.T.Y. Dnieprodzierżyńsk, Ukraina.3
- [3] Schulze G. E.:Metallphysic Akademie – Verlag, Berlin, 1987 Samsonow G. W.: *Swojstwa elementow*, cz. 5 Moskwa, 1976, Mietałurgia
- [4] Smoliński A., Gierek A., Binczyk F.: *Physical-chemical phenomena during the formation of the „in situ” expending heat-insulating composite masses*. EUROMAT’97 Maastricht-NL 1997.

AN INFLUENCE OF THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF THE HEAD RISER ADJUSTER MATERIAL ON GEOMETRY OF THE CONTRACTION CAVITY

SUMMARY

Results of the mathematical simulation of the phenomena taking place during casting and crystallization of an ingot are presented in the work. Relationships were developed, which after considering the thermophysical properties of the head riser adjuster, the ingot mould material and alloy cast model a shape and the contraction cavity location on the determined height in the head riser or cast. Results of those investigations have been confirmed by the experimental tests conducted by a model aluminum alloy.

Recenzowali Prof. Franciszek Binczyk i Prof. Józef Gawroński