

Adam Baranowski, Zenon Ignaszak

OCENA WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH WYBRANYCH CERAMICZNYCH MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH

1. Wprowadzenie

Prowadzone badania mają na celu znalezienie materiałów ceramicznych o dobrych własnościach cieplnych do izolowania nadlewów stopów o dużym skurczu zasilania. Stąd badania tych materiałów prowadzono w zakresie temperatur od 500 do 1500K dwiema metodami, umożliwiającymi ocenę i wzajemne sprawdzenie otrzymanych wyników. Wyniki badań materiałów różnego pochodzenia o bardzo znacznym zróżnicowaniu wielkości ziarn, ich budowie i różnym składzie chemicznym mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w odlewnictwie.

Obecnie materiały izolujące są przeważnie przygotowywane i wytwarzane podobnie jak materiały ogniotrwale, tzn. formowane ze stanu plastycznego, suszone i wypalane w bryły o prostych kształtach, np. prostopadłościanów, tulei itp. Materiały te o znakomitych często własnościach cieplnych (dobre własności izolujące i wysoka ognioodporność) są jednak bardzo drogie i rzadko koszt ich stosowania jest niższy od oszczędności wynikłych z podniesienia uzysku ciekłego metalu. Konieczność ich stosowania może jednak wynikać ze względów technologicznych.

Zgodnie z założeniem badano więc materiały przygotowywane podobnie jak masy formierskie z zastosowaniem spoiwa lub bez spoiwa, w stanie sypkim.

2. Przepływ ciepła w ośrodkach porowatych a izolacyjność materiałów

Ośrodek porowaty o osnowie ceramicznej zawiera obok wieloskładnikowej fazy stałej i czasem ciekłej, fazę gazową, tj. powietrze lub gazy wydzielane w zakresie temperatur pracy materiału bezpośrednio z jednego lub kilku składników fazy stałej, szczególnie parę wodną, gdy materiał jest nawilżony lub zawiera substancje uwodnione a przekroczona zostanie temperatura ich rozkładu. Przekazywanie ciepła w takim ciele odbywa się zarówno poprzez składniki fazy stałej i ciekłej (przewodzenie i promieniowanie), jak i gazowej (promieniowanie i konwekcja) i jest traktowane umownie jako przewodzenie.

Część ciepła akumulowana jest w proporcji do pojemności cieplnej składników fazy stałej i ciekłej (pojemność fazy gazowej można traktować jako pomijalną) oraz jest zużywana na przemiany fazowe (alotropowe i stanu skupienia), co wiąże się zazwyczaj z jednoczesnym zjawiskiem ruchu masy. Ilościowy udział poszczególnych form przepływu i pochłaniania energii cieplnej przez ciała porowate zależy nie tylko od składu, ale również od stopnia rozdrobnienia osnowy oraz kształtu i wielkości por. Większość tych materiałów wykazuje poza tym zmienność swoich własności cieplnych z temperaturą, przy czym jeśli zostanie przekroczona np. temperatura przemiany fazowej, spiekalności, lub topienia jednego ze składników fazy stałej, co może się wiązać ze zmianą porowatości i gęstości, to wartości przewodnictwa cieplnego mogą wzrastać kilkakrotnie. Zwykle jednak poniżej temperatur trwałych przemian zarówno przewodnictwo, jak i pojemność cieplna wolno rosną z temperaturą.

Rozpatrując w świetle powyższego wymogi, które powinny spełniać materiały porowate, aby posiadać dużą izolacyjność, należy dążyć do minimalizacji:

- pojemności cieplnej, poprzez wprowadzenie osnów lekkich porowatych wewnątrz i rozdrobnionych o możliwie niskim ciepłem właściwym (zwłaszcza dla zastosowań w procesach dynamicznego przepływu ciepła).

- konwekcji gazów, poprzez stosowanie materiałów suchych i niegazotwórczych,

- przewodnictwa cieplnego poszczególnych składników, zwłaszcza występujących w roli osnowy, poprzez używanie np. ziarn porowatych wewnątrznie,

- promieniowania między ziarnami osnowy i przez ziarna, stosując materiały w małym współczynniku emisyjności oraz nieprzeźroczyste.

Trudności w uzyskaniu pełnych danych o ilościowym udziale powyższych zjawisk uniemożliwiają ściśle prognozowanie składu i sposobu przygotowania dobrych materiałów izolacyjnych. Umowne przewodnictwo cieplne, obejmując przewodnictwo, konwekcję i promieniowanie, oraz pojemność cieplną winny być więc oznaczone doświadczalnie na podstawie wytycznych jakościowych.

3. Wytypowanie materiałów do badań

Badaniami objęto materiały sypkie o niskiej gęstości pozornej w większości dostępne w kraju o niskim koszcie pozyskiwania lub produkcji, o uziarnieniu nawet do 20 mm. Niektóre z materiałów są stosowane w różnych dziedzinach przemysłu. Przy wyborze nie można oprzeć się na własnościach fizykocieplnych, gdyż dla wysokich temperatur są zbyt skąpe dane, szczególnie jeśli chodzi o nowe materiały wytwarzane z surowców odpadowych.

Materiały izolacyjne mogą być stosowane w postaci luźno usypanych zasypek, uformowanych bloków, cegieł lub kształtek o wymaganej wytrzymałości oraz mas i zapraw wykonanych na bazie materiałów sypkich z odpowiednim materiałem wiążącym. W związku z tym badano materiały w stanie niewiązanym (lekko zagęszczonym) bez stosowania spoiw, jak i w stanie powiązanym za pomocą szkła wodnego.

Należy podkreślić, że zastosowanie szkła wodnego pogorszy nieco własności izolacyjne mas. Stwierdzono np. podwyższenie wartości współczynnika akumulacji ciepła - b , o 4-5% masy keramzytowej (scharakteryzowanej poniżej) w stosunku do tej samej masy wiązanej z gliną.

Oceniano własności cieplne następujących materiałów:

- keramzytu, otrzymanego poprzez wypalanie łupków, ilów i glin charakteryzujących się zdolnością do termicznego pęcznienia,
 - diatomitu, otrzymanego ze skal osadowych pochodzenia organicznego składających się głównie z opalonych szczątków okrzemek,
 - mikrosfer, gralitu i popiołoporytu, otrzymywanych z popiołów i pyłów elektrownianych (mikrosfery - frakcje i elektrofiltrów, gralit - przez grudkowanie i wypalanie, popiołoporyt - przez spiekanie i kruszenie odpowiednich frakcji pyłów),
 - perlitu, otrzymywanego z surowców pochodzenia wulkanicznego,
 - tlenku glinu (uwodniony) otrzymanego metodą Bayera z boksytu.
- Podstawową charakterystykę tych materiałów podano w tabeli 1.

4. Metodyka badań

Przeprowadzono kilka serii badań, z których w grupie pierwszej oznaczono przewodnictwo cieplne i ciepło właściwe mas opartych na materiałach izolacyjnych, w grupie drugiej wykonywano próby porównawcze zdolności izolacyjnych poszczególnych materiałów i mas w ujęciu globalnym jako stosunki czasów krzepnięcia odlewów wykonywanych w formach z tych materiałów, na których podstawie określano wartości b.

Przewodnictwo cieplne oznaczono metodą laboratoryjną w sztucznie stworzonym ustalonym polu temperatur z propagacją ciepła poprzez powłokę walcową wykonaną z badanej masy. Szczegółowy opis przebiegu prób można znaleźć w pracach [5, 6].

Ciepło właściwe badano metodą kalorymetryczną za pomocą specjalnie opracowanego układu pomiarowego, co opisano szczegółowo w pracach [6].

Badania w warunkach rzeczywistych metal-forma przeprowadzono na próbnym odlewach kul żeliwnych $\phi 75 \cdot 10^{-3}$ m wykonywanych jednocześnie w dwóch formach litych z badanej masy, lub też w formach kombinowanych warstwowych, składających się z cienkich 2 mm kształtowych warstw osłonowych z masy kwarcowej, tworzących skorupową formę przestrzenną, do której zasypywano badany materiał. Szczegółowy sposób wykonywania tych badań jest opisany w pracach [6].

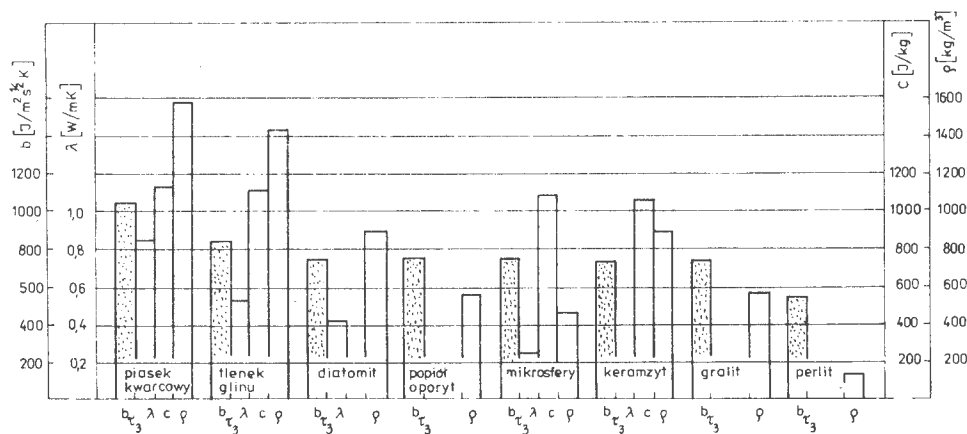
Tabela 1. Charakterystyka badanych materiałów i mas

Nazwa materiału	Charakterystyka materiału w stanie normalnego zagęszczenia					Charakterystyka masy w stanie suchym normalnie zagęszczonej			
	wielkość ziarna		porowatość całkowita [%]	gęstość pozorna [kg/m ³]	temperatura spiekania [K]	dodatki na 100 cz. cięż. mater. [cz. cięż.]	gęstość pozorna [kg/m ³]	R _c ^s [MPa]	p ^s [m ⁴ /Ns·10 ⁻⁸]
	zakres [m·10 ⁻³]	d _a [m·10 ⁻³]							
Keramzyt	0-5	1,92	64	850	1220	szkło w. 20 woda 4	890	2	3333
						szkło w. 20 p.kwarc. 15 woda 8	912	2	3333
Diatomit	1-5	2,85	61	846	1500	woda 5 szkło w. 15	873	0,68	3333
Mikro- sfery	0-0,5	0,20	77	420	1370	szkło w. 20 woda 2,5	469	0,58	87,5
Al ₂ O ₃	0-0,2	0,12	62,5	1352	2320 ^a	szkło w. 25 woda 6	1435	0,14	11,5
Perlit	0-1,6	0,65	85	132	1250				
Gralit	0,2-20	9,53	77	587					
Popioło- poryt	0,2-10	4,58	72	568					

^a Oznaczono temperaturę topnienia tlenku glinu.

5. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań własności cieplnych mas i materiałów: b, λ, c oraz ich gęstości pozorne przedstawiono na rys. 1, ustalając ich kolejność ze wzrastającymi własnościami izolacyjnymi, jeśli za kryterium oceny przyjąć współczynnik akumulacji ciepła b , określony z czasów krzepnięcia próbnych odlewów. W celu porównania podano również własności masy piaskowej [6].



Rys. 1. Zestawienie własności badanych mas i materiałów

Wartości przewodnictwa cieplnego dotyczą wartości średnich badanych mas w zakresie temperatur 273+1373K, wyliczanych z zależności $\lambda = f(t)$

$$\lambda \left| \begin{array}{l} T_2 \\ T_1 \end{array} \right. = \frac{\int_{T_1}^{T_2} f(T) dT}{T_2 - T_1},$$

natomiast wartości c są wartościami średnimi ciepła właściwych badanych mas w zakresie temperatur 273+1073K. Gęstości przebadanych materiałów dotyczą: dla piasku kwarcowego, tlenku glinu, diatomitu, mikrosfer i keramzytu - wykonanych z nich mas, natomiast dla popiołoporytu, gralitu i perlitu - określają ich gęstość w stanie sypkim (nie wiązane spoiwem).

Interesujące jest porównanie wartości współczynnika akumulacji ciepła b_{τ_3} uzyskanego z czasów krzepnięcia odlewów z wartościami b obliczonymi z zależności $b = \sqrt{\lambda c \rho}$, przy przyjęciu średnich wartości λ , c z przebadanego zakresu temperatur, który w zasadzie odpowiada wartościom temperatur w formie zalanej żeliwem bez przegrzania:

dla masy piaskowej	$b_{\tau_3} = 1040$	$b = 1062$
dla tlenku glinu	$b_{\tau_3} = 850$	$b = 895$
dla keramzytu	$b_{\tau_3} = 743$	$b = 614$
dla mikrosfer	$b_{\tau_3} = 745$	$b = 349$
	$b_{\tau_3}, b \left[\text{Ws}^{1/2} / \text{m}^2 \text{ K} \right]$	

Dla dwóch pierwszych mas uzyskano dość zbliżone wartości b_{τ_3} i b . Widoczne różnice pomiędzy b_{τ_3} a b są tym większe, im większe jest obniżenie przewodnictwa i pojemności cieplnej danej masy w stosunku do klasycznych mas kwarcowych. Przyjmując iż wartości ciepła właściwego przebadanych mas są praktycznie bardzo zbliżone, o różnicach tych decyduje wartość λ , a szczególnie gęstość pozorna ρ mas.

Ogólnie wiadomo, że nie można stosować wartości rzeczywistych współczynników cieplnych określonych metodą ustalonego przepływu ciepła w obliczeniach analitycznych procesu krzepnięcia i stygnięcia odlewów prezentowanych przez A.I. Wiejnika i W. Longę [4]. Jednak poszukiwania korelacji lub metod przeliczeniowych wartości rzeczywistych na średnie jest celowe. Ewentualna znajomość takiej metody pozwoliłaby na szersze korzystanie z wartości współczynników podawanych w literaturze a określonych w warunkach ustalonego przepływu ciepła. Stwierdzone zbliżone wartości współczynnika akumulacji ciepła określone dwiema metodami, otrzymane w badaniach masy piaskowej i masy z tlenku glinu, mogą wskazywać, że dla pewnych rodzajów materiałów obie grupy współczynników zarówno złożonych (b), jak i podstawowych (λ, c), wyznaczonych w odmiennych warunkach za pomocą zagadnień odwrotnych przepływu ciepła opartych na skrajnie odmiennych modelach, nie zależą od koniecznych w obu typach zagadnień założeń upraszczających.

Należy poza tym zaznaczyć, że w przeprowadzonych jednocześnie badaniach odlewania próbnymi odlewami żeliwnymi o kształcie płyty, wal-

ca i kuli o tych samych sprowadzonych grubościach ścianek do form z mas piaskowych w celu sprawdzenia możliwości uogólnienia wniosków na wszystkie podstawowe kształty odlewów, uzyskano podobne ich czasy krzepnięcia (maksymalne różnice w granicach 4÷5%). W tych samych badaniach odlewania stopów Al stwierdzono znaczne różnice, dochodzące do 20% w czasach krzepnięcia pomiędzy płytą i kulą, oraz prawidłowość w kolejności krzepnięcia: najszybciej - kula, następnie - walec, najwolniej - płyta.

Literatura

- [1] W. Kowalenko, J. Mojsiejko, W. Roszak: Sztuczne kruszywa lekkie, Arkady, Warszawa 1972.
- [2] A. Baranowski, K. Hess, J. Kilanowski: Porównanie mas egzotermicznych i ciepłoszczelnych, Biuletyn Techniczny Z.M. Pomet, Poznań nr 7/9, 1974.
- [3] J. Kuszewski: Własności termofizyczne materiałów form odlewniczych jako wskaźnik ich zdolności do odprowadzania ciepła z odlewu, Prace Instytutu Odlewnictwa Zeszyt Spec., nr 10, Kraków 1973.
- [4] W. Longa: Nadlewy dla odlewów krzepnących w formach piaskowych i metalowych, Śląsk, Katowice 1976.
- [5] K. Hess, Z. Ignaszak: Przewodnictwo cieplne mas formierskich w funkcji temperatury, Krzepnięcie metali i stopów, Zeszyt 3, Wydawnictwo PAN Oddział Katowice, Gliwice 1980.
- [6] Praca zbiorowa: Badanie własności technologicznych i termofizycznych mas o zróżnicowanych zdolnościach chłodzenia oraz izolowania odlewów, Międzyresortowy Problem Badań Podstawowych nr 20, Archiwum prac Zakładu Odlewnictwa Politechniki Poznańskiej, Poznań 1977, 1978, 1979, 1980 i 1981.