

OUTLINING THE MICROWAVE ENERGY REFLECTING RATE OF THE MOULDING MATERIALS

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA ODBICIA ENERGII MIKROFALOWEJ MATERIAŁÓW FORMIERSKICH

K.GRANAT¹, G.PEKALSKI², D.NOWAK³, M.STACHOWICZ⁴

ABSTRACT: Problems presented in the article are bound with the possibility of applying microwave heating in casting processes. Introduced results of the research on the influence of the energy of microwaves stayed in it for 2,45GHz frequency on some materials applied in the casting industry. Among others an influence of microwaves demonstrating heating properties was examined on: silica sand, chrome sand, water glass and water. An attempt of the assessment of the effect of microwave heating prepared moulding mass with the water glass was also taken. As an observation demonstrated, moulding materials are absorbing the majority of the energy of microwaves containing water molecules, such as: water glass, or containing this binder moulding mass. With the use of the microwave slotted section is possible to define the usefulness of moulding materials, for example in the innovative process of microwave manufacturing casting molds and cores, also to the identification of elements of moulding masses and examining the process of their hardening.

STRESZCZENIE: Prezentowane w artykule zagadnienia związane są z możliwością zastosowania nagrzewania mikrofalowego w procesach odlewniczych. Zostały w nim przedstawione rezultaty badań wpływu energii mikrofal o częstotliwości 2,45GHz na niektóre, stosowane w przemyśle odlewniczym materiały formierskie. Zbadano między innymi wpływ mikrofal wykazujących właściwości grzejne na: piasek kwarcowy, piasek chromitowy, szkło wodne i wodę. Podjęto również próbę oceny efektu nagrzewania mikrofalowego przygotowanej masy formierskiej ze szkłem wodnym. Jak wykazały obserwacje, największą część energii mikrofal pochłaniają materiały formierskie zawierające cząsteczki wody, takie jak: szkło wodne, lub zawierająca te spoiwo masa formierska. Za pomocą mikrofalowej linii szczelinowej można określać przydatność materiałów formierskich, na przykład w innowacyjnym procesie mikrofalowego wytwarzania form i rdzeni odlewniczych, jak również do identyfikacji składników mas i badania procesu ich utwardzania.

KEY WORDS: water glass, moulding sands, microwaves, microwave slotted section.

SŁOWA KLUCZOWE: szkło wodne, masy formierskie, mikrofałe, mikrofalowa linia szczelinowa.

1 WSTĘP

Energia mikrofalowa znajduje główne zastosowanie w telekomunikacji, ale z powodzeniem wykorzystuje się ją w suszarnictwie. Decydujące znaczenie ma bardzo dobra absorpcja mikrofal

¹ dr hab. inż. Kazimierz Granat – Zakład Odlewnictwa i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej

² dr inż. Grzegorz Pękalski – Zakład Materiałoznawstwa Politechniki Wrocławskiej

³ dr inż. Daniel Nowak – Zakład Odlewnictwa i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej

⁴ mgr inż. Mateusz Stachowicz – Zakład Odlewnictwa i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej

przez cząsteczki wody. W dziedzinie przemysłu jakim jest odlewnictwo woda jest powszechnie stosowana jako składnik mas formierskich i rdzeniowych, jak również jako składnik substancji stosowanych na pokrycia ochronne. Dlatego istnieje możliwość wykorzystania tej energii w procesach wytwarzania form i rdzeni odlewniczych. Proponowaną technologię nagrzewania mikrofalowego można zastosować między innymi w procesach utwardzania mas formierskich, w tym mas za szkłem wodnym [1-6]. Artykuł jest kontynuacją zagadnień poruszonych w publikacji [6].

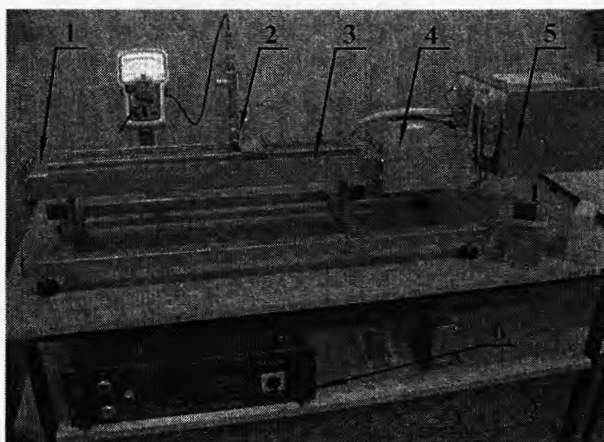
2 POMIAR WSPÓŁCZYNNIKA ODBICIA ENERGII MIKROFAL

Do pomiaru skuteczności pochłaniania mikrofal przez materiały formierskie na przykład w procesach mikrofalowego wytwarzania form i rdzeni odlewniczych zastosowano pomiar współczynnika fali stojącej, w skrócie: wfs. W miernictwie mikrofalowym do pomiaru wfs oraz wyznaczania za jego pomocą współczynnika odbicia Γ wykorzystuje się mikrofalowe linie szczelinowe [7]. Rysunek 1 przedstawia stanowisko, na którym dokonywane są pomiary rozkładu napięcia wzdłuż kierunku propagacji fali.

Na dłuższym z boków prostokątnego, poprzecznego przekroju falowodu została specjalnie wykonana do tego celu szczelina. Długość szczeliny powinna być kilkakrotnie większa od długości fali, ponieważ w ten sposób wykonany podłużny otwór w nieznacznym stopniu zaburza propagację fali elektromagnetycznej [8]. Umożliwia ona wprowadzenie do wnętrza falowodu sondy z detektorem. Tak zanurzona sonda w obszarze, w którym istnieje pole elektromagnetyczne rozchodzących się w przewodnicy fal, jest sprzężona z polem elektrycznym. Detektor napięć służy do pomiarów zespolonych wartości fali dobiegającej U_{pad} i odbitej U_{odb} od impedancji obciążającej. Swobodny ruch tego elementu pomiarowego wzdłuż szczeliny falowodu oraz jego pozycjonowanie zapewnia specjalna prowadnica z liniałem.

Do pomiarów wykorzystano generator mikrofal z płynnie regulowaną mocą wyjściową w zakresie od 0 do 1500 W. Dodatkowo układ generujący falę elektromagnetyczną został wyposażony w moduł chłodzony cieczą. Celem takiego rozwiązania było zapewnienie bezpieczeństwa pracy urządzenia w całym zakresie pracy magnetronu. Między falowodem, a generatorem mikrofal, został zainstalowany dodatkowy element tłumiący falę odbitą, powracającą od obciążenia. Wyposażenie mikrofalowej linii szczelinowej w ten dodatkowy moduł wyklucza ewentualne uszkodzenie magnetronu na skutek działania fali odbitej.

Próbki badanych materiałów formierskich umieszczano w wymiennych ładownicach na końcu linii szczelinowej w obciążeniowej komorze pomiarowej.



Rys.1. Widok mikrofalowej linii szczelinowej oraz modułu odpowiedzialnego za regulację mocy wyjściowej magnetronu: 1 – komora obciążeniowa z wymiennymi ładownicami, 2 – sonda z detektorem, 3 – pomiarowa linia falowodowa, 4 – chłodzony cieczą tłumik fali odbitej, 5 – chłodzony cieczą generator mikrofalowy, 6 – sterownik magnetronu

Poprzez zmianę amplitudy fali stojącej w falowodzie mikrofalowej linii szczelinowej można wyznaczyć, czy badana substancja/materiał pochłania energię mikrofal. Zjawisko te można również zaobserwować dla materiałów nie zawierających cząsteczek H₂O.

Pomiar wfs polega na wyznaczeniu na długości falowodu miejsc występowania dwóch minimum oraz maksimum amplitudy znajdującej się w połowie odległości między nimi. Minima, tak samo jak maksima amplitudy napięciowej występują w odległościach równych połowie długości fali. Aby można było odczytać parametry minimum i maksimum musi być spełniony warunek, długość falowodu $L \gg 0,5 \lambda$ [9]. Schemat nakładających się fal padającej i odbitej przedstawiono na rysunku 2. Do obliczeń wykorzystuje się zmierzone detektorem napięcia wartości U_{\min} i U_{\max} zespolonej fali stojącej według wzorów [8-10]:

$$U_{\min} = U_{pad} - U_{odb} \quad (1)$$

$$U_{\max} = U_{pad} + U_{odb} \quad (2)$$

Znając wartości U_{\min} i U_{\max} można za ich pomocą obliczyć współczynnik fali stojącej:

$$wfs = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} \quad (3)$$

Wfs można również wyznaczyć posługując się wzorem:

$$wfs = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (4)$$

Po podstawieniu do wzoru (3) i przekształceniu wzoru (4) możliwym jest wyznaczenie współczynnika odbicia mierzonego obciążenia $|\Gamma|$ ze wzoru (5):

$$|\Gamma| = \frac{wfs - 1}{wfs + 1} \quad (5)$$

Kwadrat modułu współczynnika odbicia jest stosunkiem mocy fali odbitej i padającej:

$$|\Gamma|^2 = \frac{P_{odb}}{P_{pad}} \quad (6)$$

P_{odb} – moc odbita

P_{pad} – moc padająca

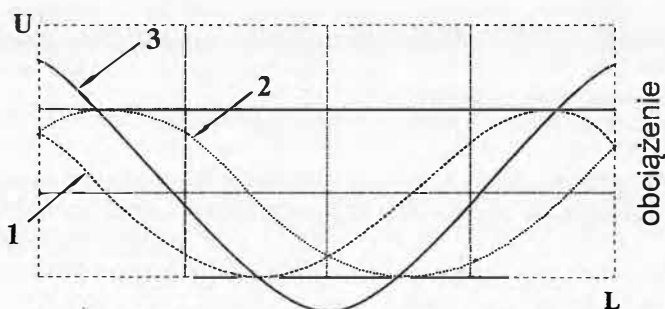
Natomiast moc absorbowana przez obciążenie równa jest różnicy mocy podającej i odbitej:

$$P_{abs} = P_{pad} - P_{odb} \quad (7)$$

Przed rozpoczęciem pomiarów z obciążeniem została przeprowadzona kalibracja urządzenia. Polegała ona na zwarcie końca falowodu i wyznaczeniu minimalnych oraz maksymalnych napięć przy zadanej mocy wyjściowej mikrofal wynoszącej 100W. W zwartej w ten sposób linii odbicia fali są największe z możliwych, a stosunek napięć maksymalnych i minimalnych osiąga odpowiednio duże wartości [9,10]. Zakładając, że zbudowany falowód jest bezstratny, a generator mikrofal jest dopasowany tak, że dostarcza on do obciążenia całą moc P , możliwe jest pełne odbicie, gdzie: $P_{odb} \approx P_{pad}$.

Dokładność prowadzonych pomiarów zależy przede wszystkim od jakości urządzeń pomiarowych (detektorów), konstrukcji falowodu ze szczeliną, materiału ładownicy pomiarowej oraz od prawidłowego odczytu wskazań U_{\max} i U_{\min} . Na dokładność pomiarów ma

również zasadniczy wpływ sposób, w jaki określane jest położenie sondy pomiarowej w szczelinie linii falowodowej [9]. Z uwagi na pewne niedoskonałości urządzeń pomiarowych, związanych między innymi z poborem mocy przez sondę, wykres $U = f(L)$ różni się od teoretycznego, pokazanego na rysunku 2 przebiegu tej funkcji. Przeprowadzono również pomiary stratności pustej ładownicy (tab. 1.) w celu wyznaczenia absorpcji energii przez materiał, z którego została wykonana.



Rys.2. Propagacja fali napięcia [9]: 1 – fala odbita od obciążenia, 2 – fala padająca na obciążenie, 3 – suma napięć fali padającej i odbitej

W trakcie eksperymentu do komory pomiarowej wkładano równe porcje badanych substratów. Odczytu wskazań dokonywano zaraz po włączeniu magnetronu. Zmiany, jakie zaszły w kształcie fali wewnątrz falowodu zaobserwowane po wprowadzeniu do komory pomiarowej badanych materiałów porównywano ze stanem pełnego zwarcia mikrofalowej linii szczelinowej (tab.1). Do badań wykorzystano dwa gatunki suszonego piasku kwarcowego: piasek drobny 1K o frakcji 0,10/0,16/0,20 oraz piasek średni 1K o frakcji 0,20/0,32/0,16. Przeprowadzono również badania nad możliwością wykorzystania w procesach mikrofalowego wytwarzania rdzeni odlewniczych piasku chromitowego pochodzącego z Zakładów Magnezytowych "Ropczyce" S.A.. Zbadano możliwość nagrzewania piasku chromitowego występującego w dwóch gatunkach: PCG/P o frakcji 0,2/0,32/0,16 i PCG/G o frakcji 0,2/0,32/0,4.

W przypadku dwóch gatunków suszonego piasku kwarcowego zaobserwowano, że praktycznie cała moc mikrofal P_{pad} została odbita i powróciła do tłumika fali. Dla zadanej mocy wyjściowej mikrofal wynoszącej 100W zaabsorbowana moc P_{abs} przez te materiały była zbliżona wartością do strat zmierzonych w przypadku zwarcia linii. Podobnie jak piasek kwarcowy, piasek chromitowy nie wykazał widocznych zdolności do pochłaniania mikrofal. Nie zaobserwowano również zmiany temperatury substratu, ani innych, negatywnych skutków działania mikrofal, takich jak na przykład iskrzenie. Stwierdzono, że w przypadku pomiaru stratności wszystkich gatunków suszonego piasku kwarcowego, a także chromitowego doszło do zmian w przebiegu napięciowej fali stojącej.

Kolejną grupą materiałów, dla których wyznaczono wfs były substancje zawierające cząsteczki H_2O . Między innymi dokonano pomiarów: wody o temperaturze $10^{\circ}C$ oraz dwóch gatunków popularnie wykorzystywanego do produkcji form i rdzeni odlewniczych szkła wodnego sodowego (gatunek 145 i 149). Dla małych współczynników odbicia materiałów formierskich z przedziału od $0 < |\Gamma| < 1$, wartości mocy P_{abs} były największe spośród zmierzonych. Niewątpliwie świadczy to o bardzo dobrej absorpcji mikrofal przez te substancje, szczególnie w przypadku uwodnionego krzemianu sodu.

W eksperymencie podjęto również próbę zbadania zmian w pochłanianiu mikrofal o częstotliwości 2,45GHz w trakcie procesu utwardzania masy formierskiej. Sporządzono chromitową masę formierską o podanym składzie: piasek chromitowy, szkło wodne 2,5 %, woda 0,5%. Składniki masy mieszano przez 4 minuty dozując je w odpowiedniej kolejności.

Pierwszy pomiar dokonano natychmiast po włączeniu magnetronu, kolejny po upływie 150 sekund. Ostatni pomiar wykonano po czasie 300 sekund. Był to również momentem zakończenia procesu utwardzania zastosowanego spoiwa.

Tab. 1 – Zestawienie parametrów wyznaczonych na podstawie pomiarów wykonanych na mikrofalowej linii szczelinowej.

Badany materiał:	Parametry fali stojącej w falowodzie					
	U_{max}	wfs	$ \Gamma $	$ \Gamma ^2$	P_{odb} [W]	P_{abs} [W]
Pełne zwarcie linii szczelinowej	220	∞	≈ 1	≈ 1	≈ 100	≈ 0
Pusta ładownica komory pomiarowej	220	∞	≈ 1	≈ 1	≈ 100	≈ 0
Suszony piasek kwarcowy średni	170	∞	≈ 1	≈ 1	≈ 100	≈ 0
Suszony piasek kwarcowy drobny	170	∞	≈ 1	≈ 1	≈ 100	≈ 0
Suszony piasek chromitowy PCG/G	180	∞	≈ 1	≈ 1	≈ 100	≈ 0
Suszony pasek chromitowy PCG/P	180	∞	≈ 1	≈ 1	≈ 100	≈ 0
Woda o temperaturze 10°C	135	9	0,8	0,64	64,00	36,00
Szkoło wodne sodowe gatunek 145	125	8,33	0,79	0,62	61,73	38,27
Szkoło wodne sodowe gatunek 149	140	14	0,87	0,75	75,11	24,89
Chromitowa masa formierska, t = 0 s	185	37	0,95	0,90	89,75	10,25
Chromitowa masa formierska, t = 150 s	160	32	0,94	0,88	88,25	11,75
Chromitowa masa formierska, t = 300 s	180	∞	≈ 1	≈ 1	≈ 100	≈ 0

Jak przypuszczano, współczynnik odbicia dla chromitowej masy formierskiej $|\Gamma|$ zmienił swoją wartość przez cały czas trwania emisji mikrofal, zbliżając się do wartości bliskiej 1. Ujawniono tym samym, że decydujący wpływ na własności materiału – chromitu, w strefie działania mikrofal, może mieć dodatek substancji zawierających cząsteczki wody.

3 WNIOSKI

Analizując wyniki badań absorpcji mikrofal przez podstawowe składniki syntetycznych mas formierskich można stwierdzić, że:

- użyte do badań odlewnicze piaski kwarcowe i chromitowe wykazały minimalną zdolność do pochłaniania mikrofal,
- piasek chromitowy może być wykorzystywany na osnowę mas w innowacyjnym procesie mikrofalowego wykonywania form i rdzeni odlewniczych,

- istotny wpływ na intensyfikację procesu pochłaniania mikrofal ma zawartość wody będąca składnikiem syntetycznych mas formierskich,
- wykorzystane do badań gatunki szkła wodnego oraz woda charakteryzowały się podobnymi, co do wartości współczynnikami odbicia mikrofal,
- zaobserwowano zmieniające się wartości P_{abs} w funkcji czasu, a także zmianę położenia parametrów U_{min} i U_{max} w zależności od badanego substratu,
- zastosowanie tego typu urządzenia pomiarowego może umożliwić precyzyjne wyznaczenie cech charakterystycznych takich jak współczynnik odbicia mikrofal różnych materiałów odlewniczych oraz określić ich przydatność w procesach mikrofalowego wytwarzania form i rdzeni odlewniczych,
- szczelinowa linia mikrofalowa może służyć jako urządzenie do precyzyjnego wyznaczania zawartości wody jak również innych składników mas, a także do identyfikacji ich za pomocą charakterystycznych dlań parametrów, na przykład [1].

4 REFERENCES

- [1] PIGIEL, M., GRANAT, K., BOGDANOWICZ, J., Suszenie mas formierskich za pomocą mikrofal, III Międzynarodowa konferencja "Nowoczesne technologie odlewnicze - ochrona środowiska", Kraków, 2000.
- [2] GRANAT, K., NOWAK, D., PIGIEL, M., STACHOWICZ, M., WIKIERA, R., Microwaves energy in curing process of water glass molding sands, Archives of Foundry Engineering, vol. 7, iss. 1, 2007.
- [3] JELINEK, P., POLZIN, H., Strukturuntersuchungen und Festigkeits-eigenschaften von Natrium-Silikat-Bindern, Giesserei-Praxis, 2/2003.
- [4] PIGIEL, M., GRANAT, K., NOWAK, D., FLORCZAK, W., Wykorzystanie energii mikrofalowej w procesach odlewniczych, Archiwum Odlewnictwa, R. 6, nr 21, 2006.
- [5] PIGIEL, M., Masy formierskie ze szkłem wodnym utwardzane z użyciem mikrofal, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji; vol. 18, nr spec, 1998.
- [6] GRANAT, K., NOWAK, D., PIGIEL, M., STACHOWICZ, M., WIKIERA, R., Pomiar współczynnika fali stojącej dla oceny skuteczności pochłaniania mikrofal przez materiały formierskie, Archives of Foundry Engineering, Vol. 8, Special Issue 3/2008.
- [7] LITWIN, R., SUSKI, M., Technika mikrofalowa, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1972.
- [8] GALWAS, B., Miernictwo mikrofalowe, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1985.
- [9] THOMAS, H., E., Techniki i urządzenia mikrofalowe Poradnik, Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa 1978.
- [10] CZARCZYŃSKI, W., Podstawy techniki mikrofalowej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

Publikacja współfinansowana przez
Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

