

Pochłanianie mikrofal przez zużyte masy formierskie i rdzeniowe

D. Nowak^a, M. Stachowicz^a, K. Granat^{a,*}, M. Pigiel^a

^a Zakład Odlewnictwa i Automatykacji, Politechnika Wrocławska, ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: kazimierz.granat@pwr.wroc.pl

Otrzymano 16.04.2012; zaakceptowano do druku 02.07.2012

Streszczenie

W pracy zaprezentowano wyniki badań pomiaru współczynnika fali stojącej dla oceny skuteczności pochłaniania mikrofal przez zużyte masy formierskie i rdzeniowe wytypowane do przeprowadzenia z ich udziałem procesu mikrofalowej utylizacji. Badania pochłaniania mikrofal zostały przeprowadzone z wykorzystaniem prototypowego stanowiska mikrofalowej linii szczelinowej. Badaniom poddano pięć zużytych mas formierskich i rdzeniowych. Wykazano, że uzyskane wyniki pochłaniania mikrofal mas formierskich i rdzeniowych dają podstawy do przeprowadzenia z ich udziałem procesu mikrofalowej utylizacji.

Słowa kluczowe: utylizacja, współczynnik fali stojącej, mikrofałe, materiały formierskie

1. Wprowadzenie

Mikrofałe znajdują szerokie zastosowanie w takich dziedzinach jak: telekomunikacja, rolnictwo, przemysł motoryzacyjny oraz budowlany, w meteorologii czy chemii. Energię mikrofalową można zastosować również między innymi w odlewnictwie np. w procesach utwardzania mas formierskich w tym mas za szkłem wodnym [1-5]. W niniejszej pracy mikrofałe o bardzo małej mocy zastosowano do oceny skuteczności ich pochłaniania przez zużyte masy formierskie i rdzeniowe poprzez pomiar tzw. współczynnika fali stojącej (WFS). Wykonane badania zostaną wykorzystane do doboru odpowiednich parametrów procesu mikrofalowej utylizacji formierskich odpadów odlewniczych [6-8], który będzie polegał na ich nagrzewaniu do zadanych temperatur.

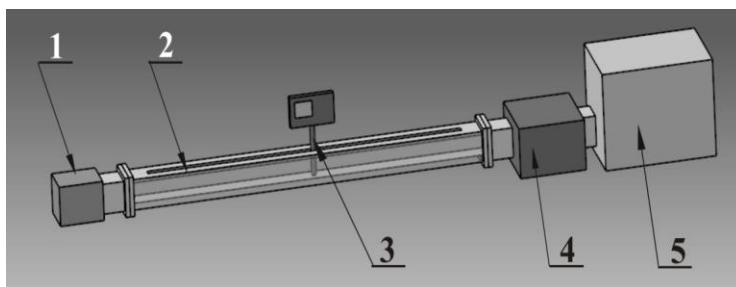
2. Stanowisko pomiarowe

Zjawisko występowania w falowodzie fali stojącej, będącej rezultatem superpozycji fali odbitej od danego ośrodka i fali

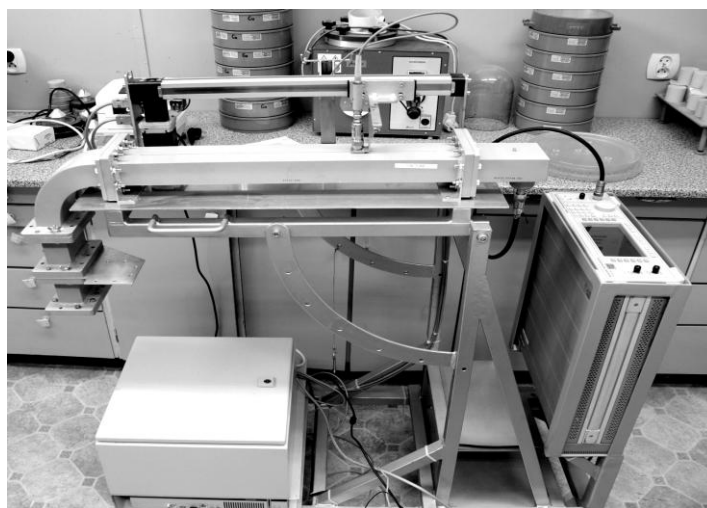
padającej na ten ośrodek, jest często wykorzystywane w miernictwie mikrofalowym. Za jego pomocą można wyznaczyć, odgrywającą bardzo istotną rolę w procesach nagrzewania, współczynnik fali stojącej (WFS) oraz tłumienie pochłaniania. Do pomiarów wykorzystuje się mikrofalowe linie szczelinowe [2, 6]. W badaniach WFS wybranych materiałów formierskich zastosowano stanowisko pomiarowe składające się ze źródła fali elektromagnetycznej, prostokątnego falowodu z ruchomą sondą oraz miernika WFS.

Falowód wykonano w taki sposób, aby możliwe było wprowadzenie do jego wnętrza, poprzez specjalnie wykonaną szczelinę, sondy pomiarowej połączonej z detektorem. Ruchoma sonda umożliwia pomiar rozkładu pola elektromagnetycznego wewnątrz falowodu. Na podstawie tego rozkładu można wyznaczyć współczynnik odbicia fali od impedancji obciążenia (substratu).

Na rysunku 1 przedstawiono schemat stanowiska badawczego. Jako źródło fali elektromagnetycznej wykorzystano urządzenie firmy MARCONI wyposażone w syntezer częstotliwości mikrofalowych.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1- komora obciążeniowa z wymiennymi substratami, 2 – pomiarowa linia falowodowa, 3 – sonda z detektorem, 4 – przejście falowodu w układ współosiowy w standardzie WR340, 5 – syntezer częstotliwości mikrofalowych



Rys. 2. Widok mikrofalowej linii szczelinowej oraz modułu odpowiedzialnego za regulację mocy wyjściowej magnetronu

Wygenerowany przez to urządzenie sygnał ma stałą moc, której wartość wynosiła w trakcie całego cyklu pomiarów 3,98 mW. Wartość modułu zmierzonego współczynnika fali stojącej WFS odczytywano na mierniku. Przed przystąpieniem do badań dokonano obliczenia długości fali w falowodzie λ_f dla częstotliwości pomiarowej 2,45 GHz. W tym celu zastosowano równanie (1), w którym λ_0 jest długością fali w próżni [6-8]:

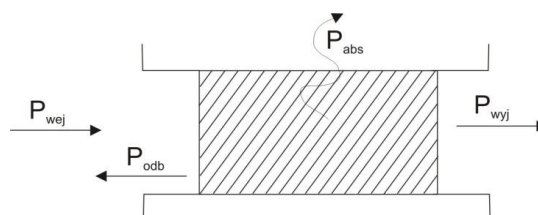
$$\lambda_f = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{gr}}\right)^2}} \quad (1)$$

Długość fali λ_{gr} , dla częstotliwości granicznej, równa 188 mm, obliczono na podstawie wymiarów falowodu i przyjętego rodzaju pola TE₁₀. Na podstawie równania (1) wyznaczono długość fali w falowodzie $\lambda_f = 174$ mm. Miejsca mierzonych minimum i maksimum sygnału będą się powtarzać co 0,5 długości fali w falowodzie, czyli dokładnie co 87 mm. Dodatkowo, aby możliwym było odczytanie pozycji przynajmniej jednego minimum i jednego maksimum, powinien być spełniony warunek minimalnej długości falowodu wynoszącej: $L \gg 0,5 \lambda_f$ [1].

3. Pomiar absorpcji mikrofal

Celem podjętych badań było precyzyjne określenie, jaka część mocy wejściowej mikrofal P_{wej} jest absorbowana przez badany materiał. Znajomość tego parametru pozwala, w omawianym przypadku, na określenie ilości lepszca w masie formierskiej.

Na rysunku 3 pokazano bilans mocy mikrofal działających na badaną próbkę, który przedstawia się następująco:



Rys. 3. Bilans mocy mikrofal działających na próbkę

$$P_{wej} = P_{odb} + P_{abs} + P_{wyj} \quad (2)$$

gdzie:

P_{wej} = moc wejściowa,
 P_{odb} = moc odbita,
 P_{abs} = moc absorbowana,
 P_{wyj} = moc wyjściowa.

Parametrem bezpośrednio związanym ze stratami, w wyniku pochłaniania mocy w badanym materiale, jest tłumienie pochłaniania A_d [6].

$$Ad = \frac{P_{wyj}}{(P_{wej} - P_{odb})} \quad Ad = 10 \cdot \log \left[\frac{1 - (|s_{11}|)^2}{(|s_{21}|)^2} \right] \quad (3)$$

gdzie:

s_{11}, s_{21} – współczynniki macierzy rozproszenia.

Aby właściwie wyznaczyć parametry rozproszenia s_{11} i s_{21} niezbędne jest dokonanie pomiarów współczynnika odbicia dla badanej próbki przy obciążeniu dopasowanym oraz przy zwarciu na końcu linii szczelinowej.

Wejściowy współczynnik odbicia dla symetrycznego dwuwrotnika obciążonego impedancją Z_L opisany jest zależnością:

$$\Gamma_{wej} = s_{11} + \frac{s_{21}^2 \cdot \Gamma_L}{1 - s_{11} \cdot \Gamma_L} \quad (4)$$

Parametr s_{11} wyznaczamy wprost z pomiaru współczynnika odbicia dla badanej próbki przy obciążeniu dopasowanym, dla którego $\Gamma_L=0$ stąd

$$\Gamma_{wej} = s_{11} \quad (5)$$

Γ_{wej} jest wielkością zespoloną, którą można zapisać w postaci

$$\Gamma_{wej} = |\Gamma_{wej}| \cdot e^{j\theta_{wej}} \quad (6)$$

gdzie:

$$\theta_{wej} = \pi + \frac{4\pi}{\lambda} \cdot dL \quad (7)$$

$$|\Gamma_{wej}| = \frac{wfs - 1}{wfs + 1} \quad (8)$$

oraz

$$wfs = \frac{U_{max}}{U_{min}} \quad (9)$$

gdzie: U_{max} – napięcie maksymalne, U_{min} – napięcie minimalne fali stojącej, dL – przesunięcie minimum fali stojącej, λ – długość fali.

Wielkości U_{max} , U_{min} oraz dL są wyznaczane w trakcie pomiarów na stanowisku (rys. 1).

Dla badanej próbki i zwartej na końcu linii ($\Gamma_L=-1$) z zależności (4) otrzymujemy wyrażenie na parametr s_{21} :

$$s_{21} = \sqrt{(s_{11} - \Gamma_{wej2})(1 + s_{11})} \quad (10)$$

gdzie Γ_{wej2} jest zmierzonym współczynnikiem odbicia, a s_{11} wyznaczono z (5).

$$\Gamma_{wej2} = \frac{wfs_2 - 1}{wfs_2 + 1} \quad (11)$$

$$wfs_2 = \frac{U_{max}}{U_{min}} \quad (12)$$

Zatem do wyznaczenia tłumienia pochłaniania A_d niezbędne jest uzyskanie wyników pomiarów napięcia maksymalnego i minimalnego fali stojącej (patrz wzór 9 i 12), długości fali oraz przesunięcia fali (patrz wzór 7) dla próbki z dopasowanym obciążeniem oraz przy zwarciu linii szczelinowej.

3.1. Przygotowanie próbek do badań

Badane próbki wprowadzano do zamontowanej na końcu falowodu komory o stałej objętości. Została ona wykonana z materiału o bardzo niskim współczynniku tłumienia mikrofal zapewniającym swobodne przejście przez jej ścianki fali oraz jej penetrację w głąb, znajdującej się w komorze, masy formierskiej. Próbki zagęszczano wstępnie za pomocą ubijaka laboratoryjnego typu LU. Do badań wykorzystano następujące zużyte masy formierskie i rdzeniowe:

- masa z żywicą fenolową Fenotec P439, masa nr 1,
- masa termoutwardzalna otaczaną żywicą fenolowo-formaldehydowej typu nowolak, masa nr 2,
- masa rdzeniowa z żywicą fenolową i pokryciem ochronnym Novanol 165, masa nr 3,
- masa ze szkłem wodnym R-145 utwardzana Flodurem, masa nr 4,
- masa z żywicą mocznikowo-furfurylową Kaltharz U404, masa nr 5.

Tabela 1. Wyniki pomiarów mas formierskich i rdzeniowych

	WFS ₁	WFS ₂	dL ₁ [mm]	dL ₂ [mm]	P _{abs} [%]	P _{odb} [%]	P _{wyj} [%]
Masa nr 1	2,59	20,48	9,30	20,03	33,11	19,67	47,20
Masa nr 2	1,83	1,00E+07	14,36	12,94	28,47	8,57	62,95
Masa nr 3	3,40	1,00E+07	6,94	23,55	14,82	29,71	55,46
Masa nr 4	3,31	13,54	6,94	27,19	14,40	28,70	56,88
Masa nr 5	3,91	1,00E+07	5,59	32,14	2,76	35,15	67,60

4. Wyniki badań

Wyniki badań pomiarów mas formierskich i rdzeniowych przedstawiono w tabeli 1.

Największy, wynoszący około 30% udział mocy absorbowanej stwierdzono w przypadku masy nr 1 oraz masy nr 2. Najmniejszą wartość uzyskano dla masy nr 5 i wyniosła ona około 3%. Można zatem stwierdzić, że masa nr 1 oraz masa nr 2 dobrze pochłaniają promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości 2,45 GHz. Wyniki pomiarów mocy absorbowanej przez masy nr 3 i nr 4 na poziomie ok. 14% oraz masy nr 5 na poziomie ok. 2% oznaczają, iż masy te będą wymagały zastosowania urządzeń o większej mocy wyjściowej mikrofal dla zwiększenia dynamiki procesu nagrzewania. Zauważono, że masy, w których udział mocy absorbowanej wynosi poniżej 15%, w większym stopniu odbijają mikrofałe, co może mieć wpływ na prawidłową pracę generatorów mikrofal. Koniecznym jest zatem stosowanie w konstrukcji urządzeń utylizacyjnych odpowiednich elementów neutralizujących odbitą falę elektromagnetyczną. W celu wyeliminowania ryzyka uszkodzenia urządzenia utylizującego oraz zwiększenia udziału mocy absorbowanej, a przez to poprawę sprawności procesu nagrzewania zużytych mas formierskich i rdzeniowych zalecanym jest stosowanie specjalnych materiałów intensyfikujących proces pochłaniania mikrofal.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Analizując wyniki badań absorpcji mikrofal przez zużyte i przeznaczone do utylizacji masy formierskie i rdzeniowe można stwierdzić, że:

- największy udział mocy absorbowanej zaobserwowano dla mas zawierających żywice syntetyczne: fenolową (masa nr 1) i fenolowo-formaldehydową typu nowolak (masa nr 2),
- najmniejszy udział mocy absorbowanej zaobserwowano dla masy nr 5 zawierającą żywicę mocznikowo-furfurylową,
- masy, w których udział mocy absorbowanej wynosi powyżej 30% spodziewa się, że będą ulegały szybkiemu nagrzewaniu mikrofalowemu,
- zastosowanie prototypowego stanowiska mikrofalowej linii szczelinowej umożliwia przeprowadzenie wstępnej oceny przydatności mas formierskich i rdzeniowych do prowadzenia procesu mikrofalowej utylizacji,
- mikrofalowa linia szczelinowa może służyć również do oceny pochłaniania mikrofal przez inne materiały, na przykład

przeznaczone do intensyfikacji procesu mikrofalowej utylizacji mas formierskich i rdzeniowych.

Podziękowania

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010 -2012 jako projekt badawczy.

Literatura

- [1] Pigiel, M., Granat, K., Bogdanowicz, J. (2000). Suszenie mas formierskich za pomocą mikrofal. III Międzynarodowa konferencja Nowoczesne technologie odlewnicze - ochrona środowiska, 7-9 września 2000 (pp. 161-166). Kraków, Polska: Wydział Odlewnictwa AGH.
- [2] Pigiel, M. (1998). Masy formierskie ze szkłem wodnym utwardzane z użyciem mikrofal. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*. 18, 249-254.
- [3] Zych, J. (2005). Rola zagęszczenia w technologii formy opartej na masach ze szkłem wodnym lub spoiwem chemicznym. *Przegląd Odlewnictwa*. 55(2), 88-97.
- [4] Jelinek, P. & Polzin, H. (2003). Strukturuntersuchungen und Festigkeits-eigenschaften von Natrium-Silikat-Bindern. *Giesserei-Praxis*. 2, 51-60.
- [5] Pigiel, M., K. Granat, K., Nowak, D. & Florczak, W. (2006). Wykorzystanie energii mikrofalowej w procesach odlewniczych. *Archiwum Odlewnictwa*. 6(21), 443-452.
- [6] Pigiel, M. (1999). Utwardzanie mikrofalami rdzeni z piasku kwarcowego i żywic termoutwardzalnych. *Acta Metallurgica Slovaca*. 5(2), 43-48.
- [7] Granat, K., Nowak, D. Pigiel, M., Stachowicz, M. & Wikiera, R. (2007). The influence of microwave curing time and water glass kind on the properties of molding sands. *Archives of Foundry Engineering*. 7(4), 79-82.
- [8] Granat, K., Nowak, D., Stachowicz, M. & Pigiel, M. (2011). Possibilities of utilizing used moulding and core sands by microwave treatment. *Archives of Foundry Engineering*. 11(1), 35-38.
- [9] Thomas, H. E. (1978). *Techniki i urządzenia mikrofalowe Poradnik*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo – Techniczne.
- [10] Galwas, B. (1985). *Miernictwo mikrofalowe*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- [11] Czarzyński, W. (2003). *Podstawy techniki mikrofalowej*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.

Microwave absorption by used moulding and core sands

Abstract

The paper presents measurement results of standing wave ratio to be used as an efficiency indicator of microwave absorption by used moulding and core sands chosen for the microwave utilization process. The absorption measurements were made using a prototype stand of microwave slot line. Examined were five used moulding and core sands. It was demonstrated that the microwave absorption measurements can make grounds for actual microwave utilization of moulding and core sands.