

Pochłanianie mikrofal przez nieutwardzone masy formierskie ze szkłem wodnym

M. Stachowicz *, K. Granat,

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

*Corresponding author. E-mail address: mateusz.stachowicz@pwr.wroc.pl

Received 19.02.2013; accepted in revised form 06.05.2013

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wstępnych pochłaniania fal elektromagnetycznych o częstotliwości 2,45 GHz przez masy formierskie sporządzone z różnymi gatunkami szkła wodnego sodowego. Zakres badań obejmował określenie wartości strat energii mikrofal, na podstawie pomiarów tłumienności wykonanych w trakcie ich propagacji przez wypełniony masą falowód. Pomiaru strat mocy sygnału mikrofalowego prowadzono z zastosowaniem unikatowego stanowiska mikrofalowej linii szczelinowej. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że stanowisko to wspomaga, na podstawie zmierzonych wartości strat sygnału mikrofalowego, ocenę skuteczności pochłaniania mikrofal przez kwarcowe masy formierskie zawierające różną ilość wybranych gatunków spoiw stosowanych w masach SMS. Przeprowadzone badania wykazały, że straty sygnału mikrofalowego związane są z: modulem i ilością wprowadzonego do masy szkła wodnego.

Słowa kluczowe: Odlewnictwo, Mikrofałe, Szkło wodne, Pomiaru stratności, Sypkie masy samoutwardzalne

1. Wprowadzenie

We wstępnych badaniach nad wyjaśnieniem zjawiska pochłaniania mikrofal o częstotliwości 2,45 GHz przez wybrane materiały formierskie zastosowano urządzenie, za pomocą którego wykonywano pomiary tak zwanego współczynnika fali stojącej, w skrócie: wfs [1, 2, 3]. W trakcie badań źródło fali elektromagnetycznej – magnetron mikrofalowy generujący fale elektromagnetyczne o minimalnej mocy $P = 100$ W, w krótkim czasie od rozpoczęcia pomiarów wfs powodował nagrzewanie się substratu i odparowywanie zawartej w masie formierskiej wilgoci. Ciągła zmiana współczynnika fali stojącej była efektem narastającego, w miarę wzrastania temperatury masy, ubytku wody. W przypadku prób z masami SMS, zawierającymi spoiwa hydrofilowe, takie jak szkło wodne, obserwowano podczas pomiaru powolny proces utwardzania się badanych próbek.

Zaprezentowane w artykule badania są kontynuacją podejmowanych prób oceny wpływu składu mieszanin formierskich [4, 5] na proces pochłaniania mikrofal z zastosowaniem prototypowego stanowiska mikrofalowej linii szczelinowej, w którym zminimalizowano do minimum efekty nagrzewania mikrofalowego badanych, wilgotnych substratów.

Zasadniczy skutek działania mikrofal na materiał suszony dielektrycznie to efekt polaryzacyjny molekuł, w trakcie którego dochodzi do nagrzewania mikrofalowego na skutek intensywnych drgań obecnych w jego składzie dipoli, którymi zazwyczaj są cząsteczki wody. Aby skutecznie prowadzić nagrzewanie mikrofalowe najczęściej wybieraną częstotliwością z zakresu mikrofal jest $f = 2,45$ GHz. Ze względu na łatwość budowy urządzeń generujących mikrofałe o podanej częstotliwości zrezygnowano z bardziej skutecznych w nagrzewaniu wilgotnych materiałów, magnetronów pracujących z częstotliwością $f = 2,7$ GHz. Im wyższa częstotliwość, zbliżająca się do wartości 2,7 GHz, tym

szybciej dipole wody, pod wpływem ciągle zmieniającego się kierunku zewnętrznego pola elektrycznego, obracają się i ustawiają do niego równolegle. Efektem takiego zachowania się dipoli jest zmniejszenie się natężenia pola elektrycznego wewnątrz dielektryka ale i coraz silniejsze wzajemne tarcie związanych z nim cząsteczek H₂O [6, 7].

W przypadku zastosowania fal elektromagnetycznych z zakresu mikrofal do utwardzania mas formierskich i rdzeniowych, powinny zostać określone podstawowe parametry informujące o skuteczności tego procesu, takie jak: wartość strat związanych z padaniem i odbiciem mikrofal od powierzchni na drodze propagacji fal, straty związane z rozproszeniem mikrofal wewnątrz falowodu oraz straty transmisji związane z materiałami oprzyrządowania, w szczególności falowodów oraz komór mikrofalowych.

Zaproponowane stanowisko mikrofalowej linii szczelinowej umożliwia pomiar tych parametrów na podstawie rejestracji zmian maksimum amplitudy fali stojącej generowanej w prostokątnym, aluminiowym falowodzie w funkcji napięcia (mV). Rejestracja zmian odbywa się za pomocą czułego detektora diodowego. Część mocy wyjściowej mikrofal propagowanych w wypełnionym przez badany materiał falowodzie jest tracona. Ilość tych strat ujęta jest za pomocą trzech, poniżej opisanych równań od (1) do (3). Przedstawiają one parametry stratności, takie jak: *RL*, *IL* i *TL*, gdzie:

RL – (Return Loss) opisuje straty związane z odbiciem, czyli wielkość utraconą przez odbicia pierwotne od powierzchni znajdujących się na drodze propagacji stojącej fali mikrofalowej,

IL – (Insertion Loss) opisuje straty wtrącone, czyli energię mikrofal, która jest rozpraszana w linii transmisyjnej,

TL – (Transmission Loss) opisuje straty przesyłania mikrofal związane z ich propagacją w falowodzie.

Miarą tych strat jest tłumienność wyrażona w jednostkach [dB]. Z wymienionymi parametrami stratności związane są współczynniki macierzy rozproszenia: *s₁₁* i *s₂₁*.

$$RL = 20 \log |s_{11}| \quad [dB] \quad (1)$$

$$IL = 10 \log |s_{21}| \quad [dB] \quad (2)$$

$$TL = 10 \log \frac{|s_{21}|}{1 - |s_{11}|} \quad [dB] \quad (3)$$

Przyпуска się, że wszystkie opisane równaniami parametry stratności będą różniły się w zależności od składu badanych materiałów znajdujących się wewnątrz falowodu.

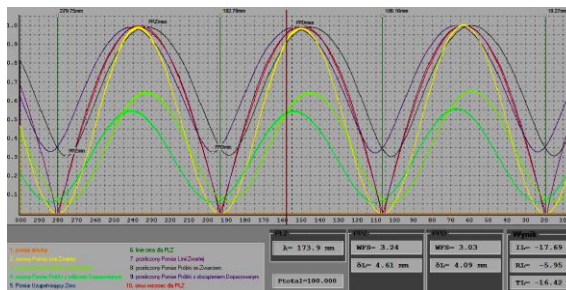
Należy również zauważyć, że w przypadku mas formierskich przyjmuje się, że głównym odbiorcą sygnału mikrofalowego będzie woda, dostarczona do układu osnowa – spoiwo, będąca składnikiem szkła wodnego oraz dodatkiem zwilżającym wstępnie ziarna osnowy w procesie przygotowania masy.

2. Stanowisko badawcze

Do określenia ilości mocy traconej w trakcie propagacji mikrofal w wypełnionym materiałem stratnym (zawierającym cząsteczki wody) falowodzie posłużyło prototypowe stanowisko badawcze, szczegółowo opisane w publikacjach [4, 5].

W pomiarach wykorzystano rejestrację maksimum amplitudy fali stojącej (wfs) w funkcji napięcia za pomocą detektora diodo-

wego, charakteryzującego się poziomem czułości nie mniejszym niż 0,4 mV. Detektor składowej napięciowej fali elektromagnetycznej poruszał się wzdłuż falowodu ze szczeliną. W skład stanowiska wchodzi również dodatkowe elementy, takie jak: komora pomiarowa falowodu, w której umieszczony jest badany substrat oraz odcinek falowodu z materiałem tłumiącym mikrofałę. Do akwizycji danych wykorzystano program komputerowy firmy „AMT” Zakład Elektroniczny Usługowo - Wdrożeniowy, obsługujący kartę pomiarową zainstalowaną w przystosowanym do stanowiska zestawie komputerowym. Wyniki wykonanych pomiarów stratności graficznie przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wyniki pomiarów stratności (tłumienności) mikrofal zarejestrowane w falowodzie ze szczeliną, w którym znajdował się badany materiał (masa formierska)

W badaniach wstępnych ustalono wartość mocy mikrofalowego sygnału sinusoidalnego umożliwiającego bardzo dokładne oznaczenie wfs na poziomie $\approx 3,98$ mW, ograniczając tym samym do minimum możliwości nagrzewania się badanego substratu. Tym samym, proces utwardzania mas sporządzonych z wybranymi gatunkami szkła wodnego sodowego, nie mógł być zainicjowany.

3. Cel badań

W celu określenia wartości strat mocy mikrofal przechodzących przez nieutwardzone masy formierskie sporządzonych z różnymi spoiwami nieorganicznymi wytypowano pięć dostępnych w handlu gatunków szkła wodnego sodowego o właściwościach podanych w tabeli 1.

Ze względu na różnice w składzie chemicznym spoiw przypuszcza się, że decydujące w pomiarach znaczenie może mieć zawartość suchych składników: krzemionki (SiO₂) i tlenku zasadowego (Na₂O).

Wybrane pięć gatunków spoiw (tabela 1) mieszano z osnową kwarcową grubą o frakcji 0,40/0,32/0,20, następnie zagęszczano w komorze pomiarowej falowodu i poddawano działaniu mikrofal o częstotliwości 2,45 GHz i mocy $\approx 3,98$ mW.

Dla uwypuklenia różnic występujących w pomiarach strat mocy mikrofal posłużono się masami składającymi się z osnowy, do której dodawano szkło wodne w ilości 1,5 %, 2,5 %, 3,5% oraz 5,0% wag.

Tabela 1.
Właściwości fizykochemiczne szkła wodnego stosowanego do sporządzania mas formierskich

Gatunek szkła wodnego:	137	140	145	149	150
Moduł molowy SiO ₂ /Na ₂ O	3.2÷3.4	2.9÷3.1	2.4÷2.6	2.8÷3.0	1.9÷2.1
Zaw. tlenków (SiO ₂ +Na ₂ O) %	35.0	36.0	39.0	42.5	40.0
Gęstość (20 °C) g/cm ³	1.37 ±1.40	1.40 ±1.43	1.45 ±1.48	1.49 ±1.51	1.50 ±1.53
Fe ₂ O ₃ % max.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
CaO % max.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Lepkość dynamiczna min. (P)	1	1	1	7	1

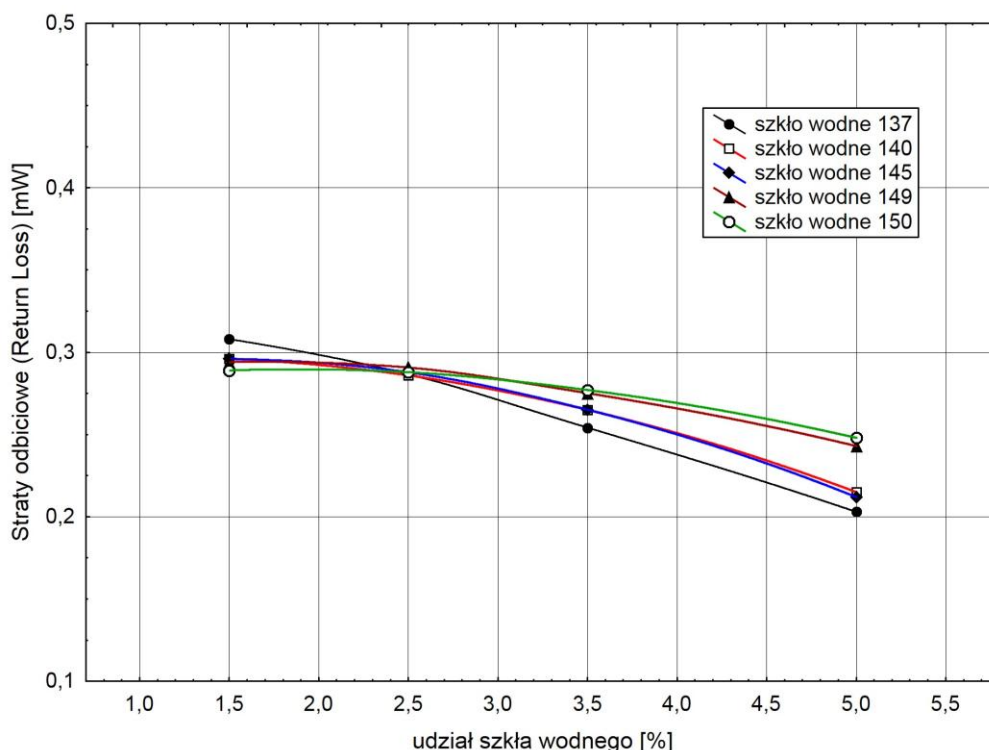
Wyniki przeprowadzonych badań strat mocy mikrofal posłużą w dalszych pracach prowadzonych w kierunku intensyfikacji mikrofalowego procesu utwardzania mas formierskich i rdzeniowych.

4. Wyniki badań

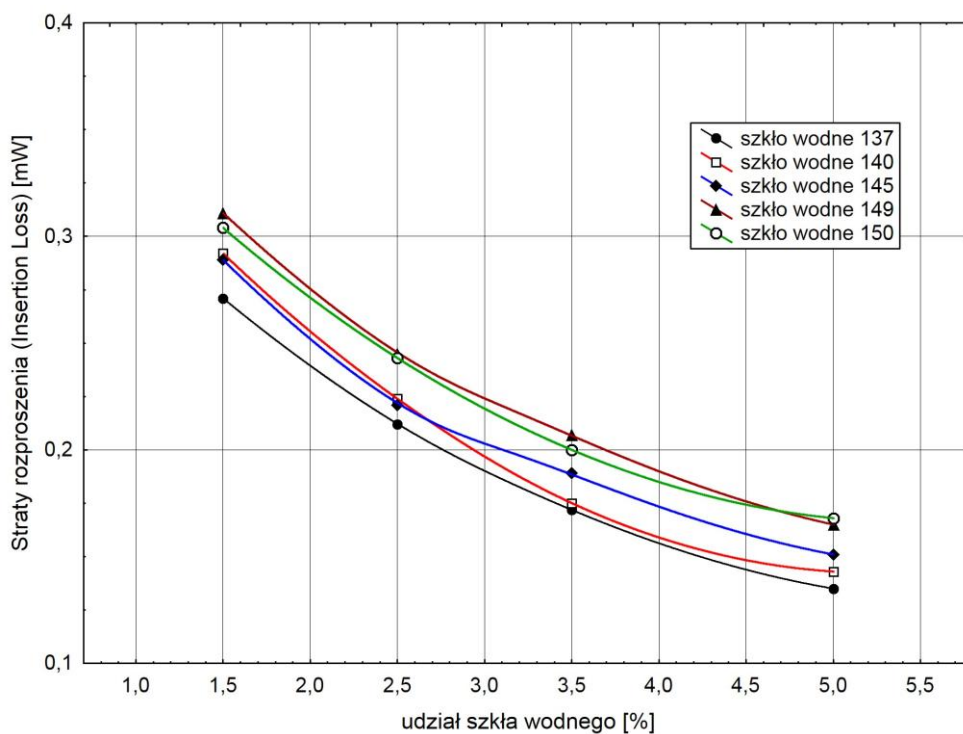
Wyniki pomiarów parametrów stratności: *RL*, *IL* i *TL*, zmierzonych za pomocą stanowiska mikrofalowej linii szczelinowej i wyrażonych w jednostkach tłumienności [dB], przeliczono na wartość mocy [mW] i zaprezentowano na rysunkach 2 – 4. Punkty pomiarowe aproksymowano krzywymi w celu wskazania trendów zmian zachodzących w wartościach poszczególnych współczynników stratności.

Analizując wyniki badań sygnału mikrofalowego rozchodzącego się w falowodzie wypełnionym, na odcinku 100 mm, nieutwardzoną masą formierską zaobserwowano charakterystyczny spadek wartości strat mocy postępujący wraz ze zwiększaniem zawartości spoiwa w masie. Zjawisko zmniejszania strat mocy mikrofal odnotowano we wszystkich mierzonych parametrach stratności: *RL* (rys. 2), *IL* (rys. 3) i *TL* (rys. 4). Analizując powyższe wykresy sporządzone na podstawie obliczonych strat mocy mikrofal o wartości znamionowej $\approx 3,98$ mW zauważono podobne, malejące przebiegi zmian badanych parametrów dla wszystkich mas sporządzonych z pięcioma użytymi w badaniach gatunkami szkła wodnego.

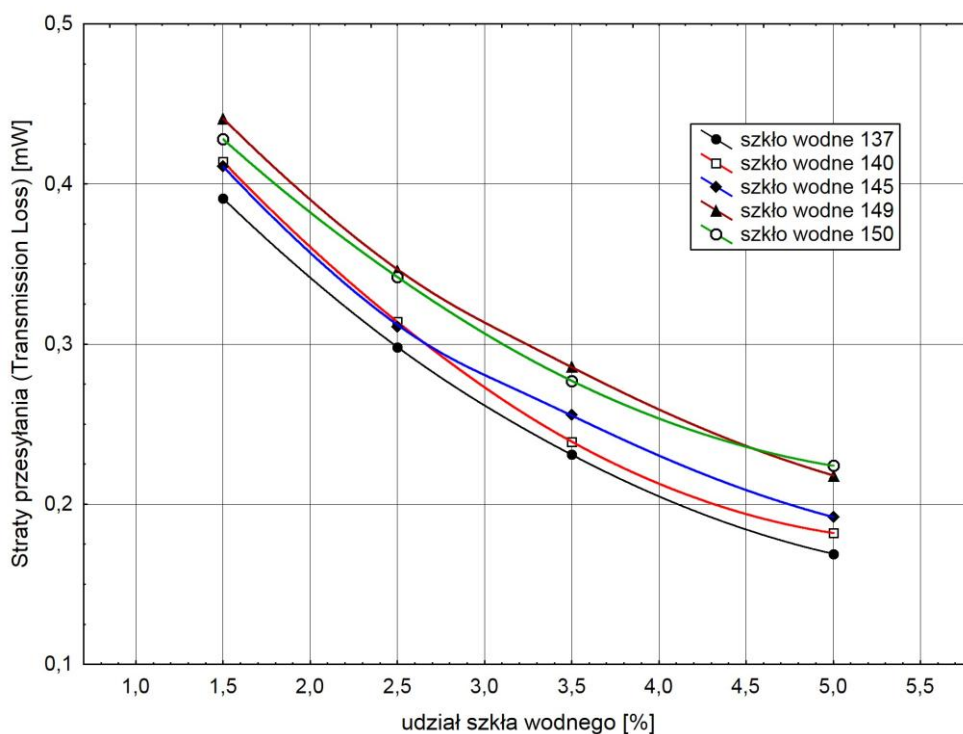
Szczególnie interesujący jest wykres (rys. 2), sporządzony dla strat opisujących wielkość utraconą przez odbicia pierwotne (*RL*) od powierzchni znajdujących się na drodze propagacji stojącej fali mikrofalowej. Zauważono, że przy zawartości spoiwa w masie na poziomie 2,5 %, straty mocy mikrofal są bardzo bliskie dla wszystkich pięciu badanych mas i wynoszą około 0,29 mW.



Rys. 2. Wykres strat mocy związanych z odbiciami mikrofal w falowodzie wypełnionym masami formierskimi sporządzonymi z pięcioma gatunkami szkła wodnego



Rys. 3. Wykres strat mocy związanych z rozproszeniem mikrofal w falowodzie wypełnionym masami formierskimi sporządzonymi z pięcioma gatunkami szkła wodnego



Rys. 4. Wykres strat mocy związanych z przesyłaniem mikrofal w falowodzie wypełnionym masami formierskimi sporządzonymi z pięcioma gatunkami szkła wodnego

Z obserwacji zmian strat mocy mikrofal wynika, że wraz ze wzrostającym udziałem wilgotnych składników masy tłumienność wyrażona parametrami: IL i TL maleje o zbliżoną wartość, układając aproksymowane przebiegi równoległe wobec siebie.

Zauważono, że najmniejsze straty mocy mikrofal wykazują masy sporządzone ze spoiwami o najmniejszej sumarycznej zawartości tlenków zasadowych (137, 140 i 145).

W miarę zwiększania udziału suchych składników (SiO_2 i Na_2O) w spoiwach: 149 i 150, a także malejącym modulem molowym, rosły straty związane z propagacją mikrofal w wypełnionym nieutwardzoną masą fałowodzie.

Wpływ na straty mocy sygnału mikrofalowego, oprócz składu chemicznego spoiw, miała również ich zawartość w masie. Wraz ze wzrostem udziału spoiwa od 1,5 % do 5,0 % zaobserwowano spadek strat sygnału, w szczególności dla strat związanych z rozproszeniem (rys. 3) średnio o wartość około 0,13 mW i przesylem (rys. 4) średnio o wartość około 0,2 mW.

Analizując wyniki przeprowadzonych pomiarów strat mocy mikrofal dla sygnału o wartości około 3,98 mW, propagowanego wewnątrz fałowodu, należy przypuszczać, że wraz ze wzrostem udziału wilgotnych składników masy sprawność procesu nagrzewania mikrofalowego będzie wzrastać. Potencjalnie lepszych efektów procesu nagrzewania mikrofalowego, prowadzonego z użyciem sygnałów o dużej mocy, można oczekiwać w przypadku mas ze spoiwami o najmniejszej zawartości tlenków zasadowych, charakterystycznych dla gatunków: 137, 140 i 145, natomiast gorsze dla gatunków 149 i 150.

5. Wnioski końcowe

Analizując wyniki badań przeprowadzonych na prototypowym stanowisku, mikrofalowej linii szczelinowej, służącym do wyznaczenia strat mocy mikrofal, na podstawie zmierzonych tłumienności, zależnych od składu mas formierskich i rdzeniowych ze spoiwami można stwierdzić, że:

- pomiary parametrów stratności RL , IL i TL sygnału mikrofalowego umożliwiają prognozowanie, na podstawie obliczonych strat mocy mikrofal, skuteczności procesu nagrzewania i/lub utwardzania mikrofalami, kwarcowych mas formierskich i rdzeniowych ze spoiwami hydrofilowymi, takimi jak szkło wodne,
- najkorzystniejszą sprawność procesu nagrzewania, związaną z małymi stratami mocy mikrofal można osiągnąć dla mas sporządzonych ze szkłem wodnym gatunku 137, zawierającym w sumie najmniej krzemionki (SiO_2) i tlenku zasadowego (Na_2O),
- malejąca sprawność procesu nagrzewania mikrofalowego, związana z rosnącymi stratami mocy propagowanego w fałowodzie pola elektromagnetycznego, związana jest ze składem użytych spoiw i rosnącym udziałem krzemionki (SiO_2) i tlenku zasadowego (Na_2O), kosztem udziału wody,
- wzrastający udział spoiwa w masach, odpowiadający zwiększaniu się zawartości wody, będzie wpływał na poprawę sprawności procesu, co potwierdzono na podstawie analizy zarejestrowanych parametrów stratności IL i TL ,

- najmniej czułym, na zmiany gatunku spoiwa oraz jego udziału w masie, parametrem jest wielkość opisująca straty odbiciowe RL ,
- badania stratności opisywanej przez parametry RL , IL i TL dostarczające informacji na temat skuteczności procesu nagrzewania mikrofalowego mas formierskich powinny zostać uzupełnione o kolejne, obejmujące inne rodzaje: osnowy oraz spoiw, w tym organicznych,
- badania skuteczności procesu nagrzewania mikrofalowego mas formierskich powinny zostać uzupełnione o kolejne, w których zostaną określone parametry RL , IL i TL mas o różnym stopniu zagęszczenia,
- przedstawione w pracy mobilne stanowisko badawcze – mikrofalowa linia szczelinowa – może posłużyć do prowadzenia dokładnych badań nad sposobami intensyfikacji procesu nagrzewania mas sporządzonych z różnymi osnowami oraz z wybranymi spoiwami organicznymi i nieorganicznymi.

Podziękowania

Praca powstała w ramach projektu badawczego promotorskiego Nr N N N508 584439 finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Granat, K., Pękalski, G., Nowak, D. & Stachowicz, M. (2009). Wyznaczenie współczynnika odbicia energii mikrofalowej materiałów formierskich. *Sbornik Vědeckých Prací Vysoké Školy Banské - Technické Univerzity Ostrava. Řada Hutnicka*. 52(2), 63-68.
- [2] Nowak, D., Granat, K., Stachowicz, M. & Jaworski, G. (2010). Research on possibility of microwave measurements application for determination of adhesive ingredient content in moulding sand. *Archives of Foundry Engineering*. 10(3), 129-132.
- [3] Nowak, D., Stachowicz, M. & Pigiel, M. (2010). Evaluation of electromagnetic absorbing capacity of materials in foundry industry. *Archives of Foundry Engineering*. 10 (spec. 1), 237-242.
- [4] Stachowicz, M., Nowak, D. & Granat, K. (2012). Stanowisko badawcze do oceny efektów utwardzania mas ze szkłem wodnym. *Archives of Foundry Engineering*. 12 (spec. 2), 53-58.
- [5] Nowak, D., Stachowicz, M. & Granat, K. (2013). Determination of the binder in sand molds with the use of microwaves. *Metalurgija*. 52(2), 207-210.
- [6] Chełkowski, A. (1993). *Fizyka dielektryków*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [7] Strumiłło, C. (1975) *Podstawy teorii i techniki suszenia*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo Techniczne.

Microwave Absorption by Unhardened Molding Sands with Water-Glass

Abstract

In the paper are presented results of the preliminary research of absorption of electromagnetic waves with a frequency of 2.45 GHz by molding sands prepared with different kinds of sodium water-glass binders. The scope of the research included assessment of the losses of microwave energy, which were based on the loss measurements during their propagation through the waveguide filled with the molding sand. Measurements of the losses of microwave signal power was carried out using the unique test stand, which was the microwave slot line. On the basis of the preliminary research it was found, that this test stand helps to evaluate the effectiveness of microwave absorption by quartz molding sands containing different number of selected kinds of binders used in SMS sandmixes, by the usage of measured values of the microwave signal losses. Research have shown, that the loss of the microwave signal are associated with: the module and the amount of water-glass binder added to the molding sand.

Keywords: foundry, microwaves, water-glass, loss factor measurement, self-hardening molding sands,