

# Ocena skuteczności pochłaniania mikrofal przez różne osnowy mas formierskich

J. Mażulis, M. Stachowicz \*, K. Granat

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

\*Kontakt korespondencyjny. E-mail: mateusz.stachowicz@pwr.wroc.pl

Otrzymano 18.07.2013; zaakceptowano do druku 09.09.2013

## Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań nad możliwością zastosowania mikrofal do wspomaganie procesu suszenia mas formierskich i rdzeniowych sporządzonych z różnymi gatunkami osnowy. Zawartość wody w masach formierskich, podobnie jak rodzaj zastosowanej osnowy, ma istotny wpływ na jakość wytwarzanych odlewów. W badaniach zastosowano unikatowe stanowisko mikrofalowej linii szczelinowej, umożliwiające ocenę, na podstawie pomiaru parametrów dielektrycznych, wielkości strat mocy emitowanego sygnału mikrofalowego penetrującego próbki stosowanych w odlewnictwie gatunków osnowy: chromitowej, cyrkonowej i kwarcowej. Dzięki zastosowaniu unikatowego, prototypowego stanowiska badawczego możliwym było usystematyzowanie wiedzy na temat wpływu parametrów dielektrycznych zastosowanych w badaniach gatunków piasku na skuteczność pochłaniania mikrofal przez sporządzone z nimi masy formierskie, a zatem na efektywność mikrofalowych procesów dosuszenia, suszenia i utwardzania przez dehydratację tych mas. Wyniki badań wykazały jednoznacznie wpływ składu chemicznego (mineralogicznego) zastosowanych gatunków osnowy na proces pochłaniania mikrofal oraz wyznaczyły nowe obszary zastosowania mikrofal do wspomaganie procesów odlewniczych.

**Słowa kluczowe:** Masy formierskie, Mikrofałe, Suszenie, Piasek chromitowy, Piasek cyrkonowy, Piasek kwarcowy

## 1. Wprowadzenie

Zastosowanie nagrzewania mikrofalowego do wspomaganie procesów utwardzania [1 – 4] i/lub dehydratacji mas formierskich i rdzeniowych jest, rozwiązaniem konkurencyjnym, szczególnie z ekonomicznego punktu widzenia, dla tradycyjnych technologii suszenia, co wykazano między innymi w publikacji [5]. Rosnące zainteresowanie tą metodą tłumaczy jej duża efektywność wykazana dla mas ze spoiwami hydrofilowymi, takimi jak szkło wodne [6] lub hydrofobowymi jak spoiwa olejowe [7]. Proces nagrzewania mikrofalowego ma pozytywny wpływ, w przypadku wybranych technologii suszenia i/lub utwardzania mas formierskich [8, 9], między innymi na ich wytrzymałość, co pozwala np. na zmniejszenie ilości stosowanego spoiwa [5].

Istotą procesu nagrzewania mikrofalowego jest wykorzystanie zjawiska absorpcji mikrofal przez materiały dielektryczne.

W dielektrykach polarnych, wśród których najważniejszym z absorberów mikrofal o częstotliwości wynoszącej 2,45 GHz jest woda, cząsteczki mają trwale momenty dipolowe dążące, w zewnętrznym polu elektrycznym, do ustawienia zgodnego z jego kierunkiem i zwrotem. W polu elektromagnetycznym wektor pola elektrycznego zmienia co pół okresu swój zwrot, powodując, że dipole również zmieniają swoje ustawienie. W wyniku działania sił elektrodynamicznych cząsteczki dielektryka zaczynają zatem rotować i zderzać się między sobą, przekazując w wyniku tarcia nabytą energię zmieniając ją w ciepło. W związku z powyższym, w materiałach lub mieszaninach zawierających wodę, nagrzewanych mikrofalami, proces suszenia zachodzi równocześnie w całej ich objętości.

W dotychczasowych pracach nad procesem nagrzewania mikrofalowego badaniom poddawano masy formierskie, których osnowę stanowiły piaski kwarcowe [1 - 9], najbardziej popularne w zastosowaniach praktycznych w odlewniach głównie ze

względów ekonomicznych. Do sporządzania mas formierskich i rdzeniowych stosowane są również inne gatunki osnowy, najczęściej znacznie droższe od kwarcowych. Wybór do sporządzania mas formierskich droższych gatunków osnowy, o korzystniejszych, w porównaniu z piaskiem kwarcowym, właściwościach fizykochemicznych, związany jest z koniecznością zapewnienia: większej ognioodporności formie odlewniczej dla osiągnięcia lepszej jakości powierzchni oraz większej stabilizacji wymiarowej odlewów [11].

Podjęto zatem badania nad możliwością zastosowania innowacyjnego nagrzewania mikrofalowego mas formierskich sporządzonych z innymi niż kwarcowe gatunkami osnowy. Głównym celem planowanych badań było zatem określenie różnicy w pochłanianiu promieniowania elektromagnetycznego pomiędzy kwarcowymi, chromitowymi i cyrkonowymi piaskami, a dla precyzyjniejszego wyeksponowania tych różnic, badania przeprowadzono z dodatkiem wody. Efektem przeprowadzonych prób było wyznaczenie wartości parametrów dielektrycznych poszczególnych materiałów i obliczenie, na ich podstawie, strat mocy mikrofal.

## 2. Stanowisko badawcze

W badaniach pochłaniania mikrofal wykorzystano prototypowe stanowisko badawcze opisane między innymi w publikacjach [12, 13]. Zastosowany generator sygnałów mikrofalowych model M 2031 umożliwia propagację, wewnątrz falowodu prostokątnego wykonanego zgodnie z normą WR 340, fali elektromagnetycznej o określonych parametrach.

W pomiarach rejestrowano maksima amplitudy fali stojącej (wfs) w funkcji napięcia mierzzonego detektorem diodowym model 423A, charakteryzującym się poziomem czułości nie mniejszym niż 0,4 mV.

W zaproponowanym do badań stanowisku mikrofalowej linii szczelinowej część mocy wyjściowej mikrofal, propagowanych w wypełnionym przez badany materiał falowodzie, jest tracona. Wielkość tych strat opisana jest za pomocą równań (1 - 3). Przedstawiają one parametry stratności, takie jak:  $RL$ ,  $IL$  i  $TL$ . Parametr  $RL$  opisuje stratę związaną z odbiciem fali od powierzchni znajdujących się na drodze propagacji fali stojącej. Parametr  $IL$  przedstawia straty wtrącone, czyli energię mikrofal, która jest rozproszona w linii transmisyjnej. Natomiast parametr  $TL$  informuje o stratach przesyłania mikrofal związanych z ich propagacją w falowodzie.

Miarą tych strat jest tłumienność wyrażona w jednostkach [dB]. Z wymienionymi parametrami stratności związane są współczynniki macierzy rozproszenia:  $s_{11}$  i  $s_{21}$ .

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

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

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

## 3. Cel badań

Celem przeprowadzonych badań było określenia wartości strat mocy mikrofal przechodzących przez zwilżone próbki materiałów stosowanych na osnowę mas formierskich. Dzięki tym badaniom możliwe będzie usystematyzowanie wiedzy na temat przydatności tych surowców w szybkich, mikrofalowych procesach: utwardzania, suszenia i dosuszania form i rdzeni odlewniczych. Dla wybranych piasków przeprowadzono analizę ziarnową, badania składu chemicznego oraz obserwacje powierzchni ziaren.

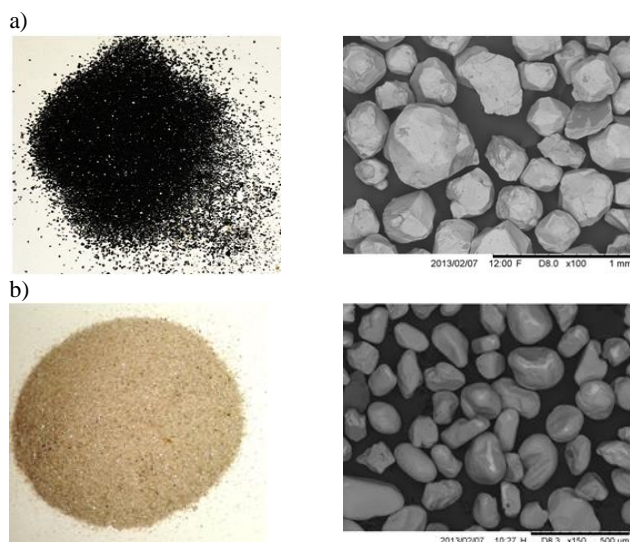
## 4. Wyniki badań

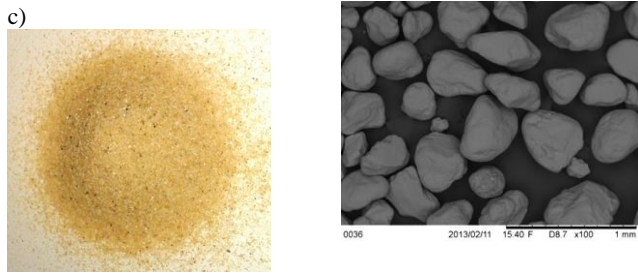
Do badań pochłaniania mikrofal wybrano trzy gatunki piasków: chromitowy, cyrkonowy oraz kwarcowy. W celu określenia ich składu chemicznego oraz kształtu ziaren przeprowadzono analizy i obserwacje za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego Hitachi TM-3000 typu „table – top”. W tabeli 1 zestawiono uśrednione wyniki analiz składu chemicznego.

Tabela 1.  
Analiza EDS składu chemicznego piasków

Gatunek piasku:	O	Zr	Si %.wag.:	Cr	Fe	Pozostałe
Chromitowy	24,79	-	0,50	43,28	24,36	7,07
Cyrkonowy	51,82	36,17	11,49	-	-	0,52
Kwarcowy	59,17	-	29,02	-	-	11,81

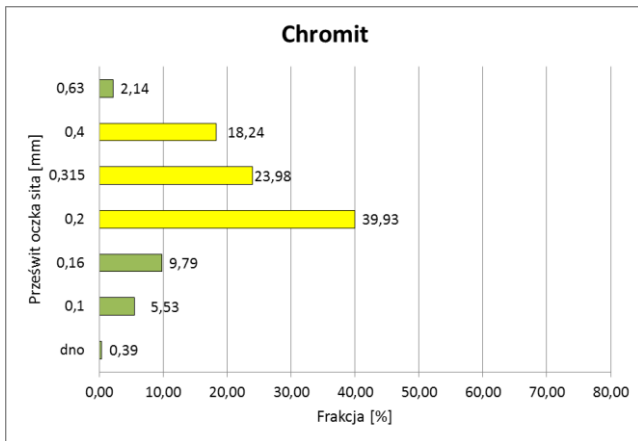
Zdjęcia powierzchni ziaren poszczególnych gatunków osnowy zamieszczono na rysunku 1.



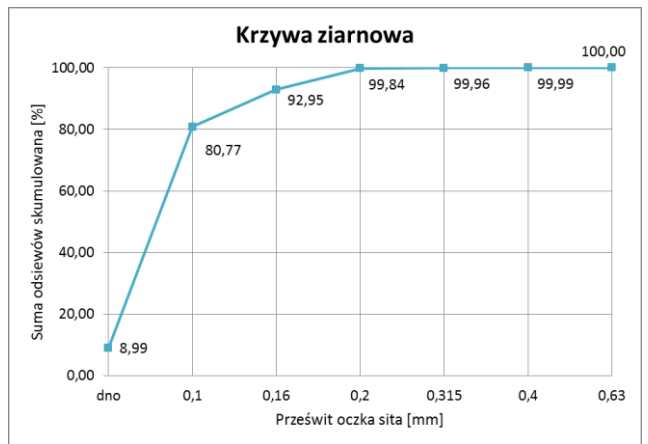
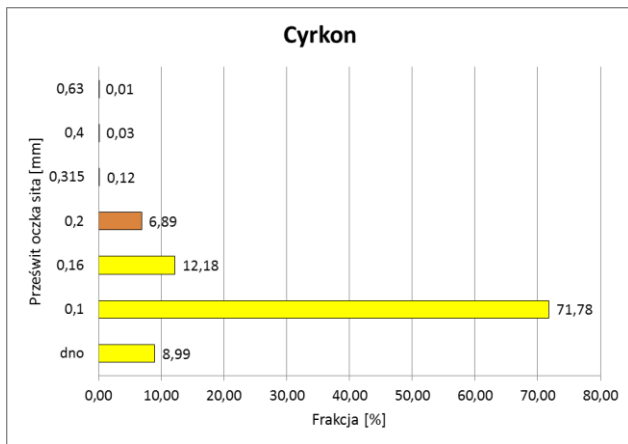


Rys. 1. Badane osnowy. a) chromitowa, b) cyrkonowa, c) kwarcowa

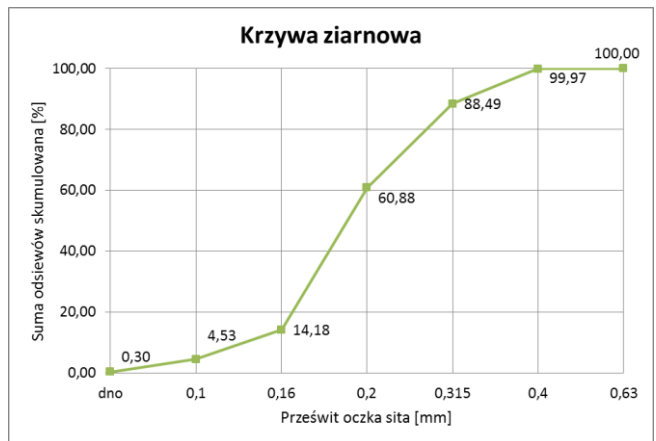
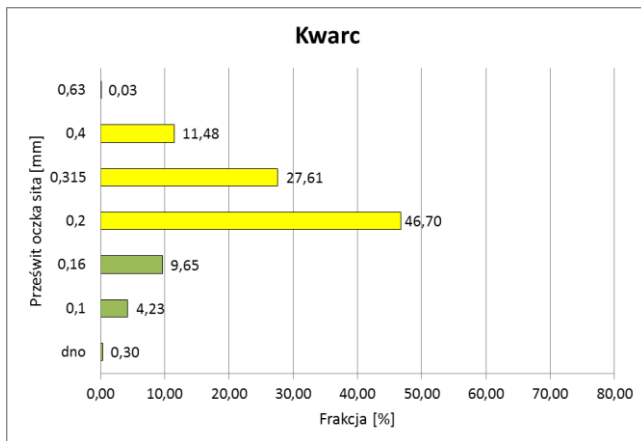
Na podstawie obserwacji SEM stwierdzono, że wszystkie osnowy charakteryzowały się jednorodnością. Piasek chromitowy i kwarcowy miały zbliżone wielkości ziaren. Piasek cyrkonowy miał wyraźnie większy udział drobniejszych frakcji od pozostałych. W przypadku piasków: kwarcowego i cyrkonowego obserwuje się zaokrąglone krawędzie i obły kształt ziaren. Kształt ostrokrawędziowych ziaren piasku chromitowego związany jest z procesem wydobywczym prowadzonym wraz z rozdrabnianiem surowca. Na podstawie wyników analizy sitowej określono frakcję główną badanych piasków i wykonano krzywe ziarnowe, które przedstawiono na rys. 2 - 4.



Rys. 2. Analiza sitowa i krzywa ziarnowe dla piasku chromitowego. Jaśniejszym kolorem znaczone frakcję główną



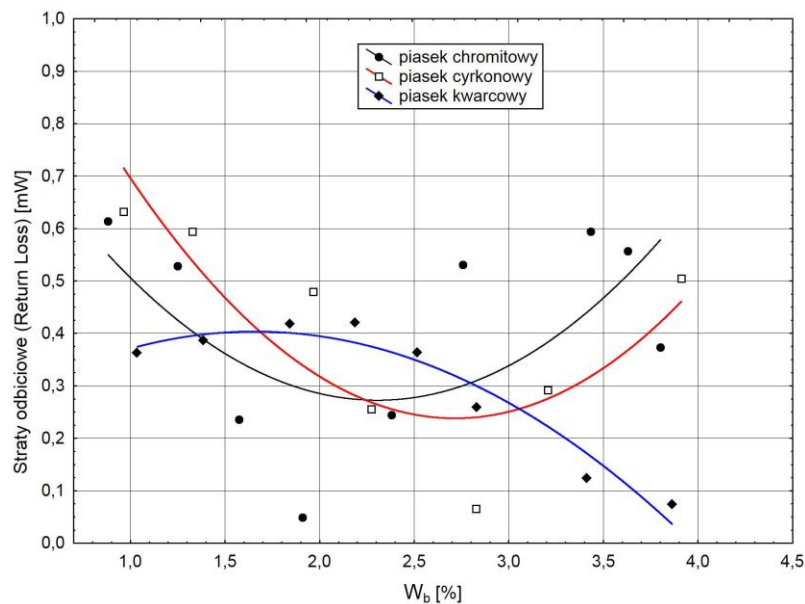
Rys. 3. Analiza sitowa i krzywa ziarnowe dla piasku cyrkonowego. Jaśniejszym kolorem znaczone frakcję główną



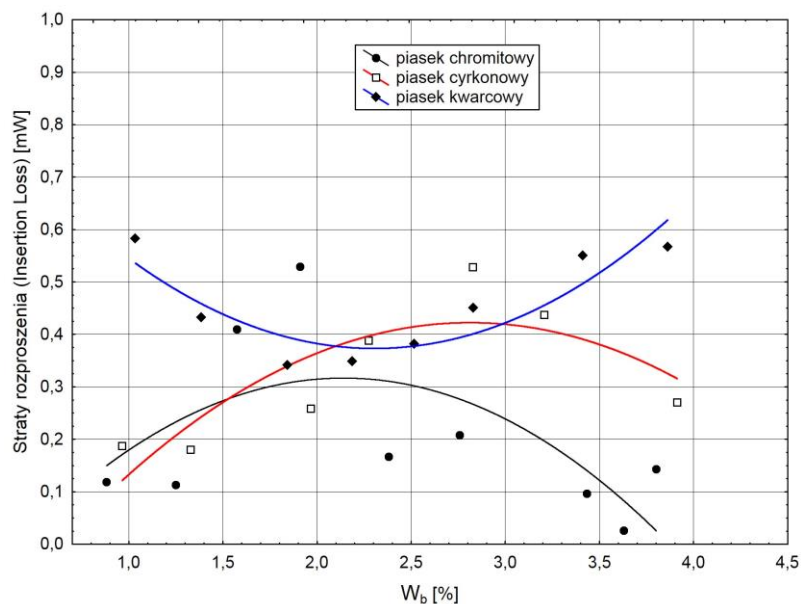
Rys. 4. Analiza sitowa i krzywa ziarnowa dla piasku kwarcowego. Jaśniejszym kolorem znaczone frakcję główną

Wyniki pomiarów parametrów stratności:  $RL$ ,  $IL$  i  $TL$ , zmierzonych na stanowisku mikrofalowej linii szczelinowej i wyrażonych w jednostkach tłumienności [dB], przeliczono na wartość mocy [mW] i zaprezentowano na wykresach (rys. 5 – 7).

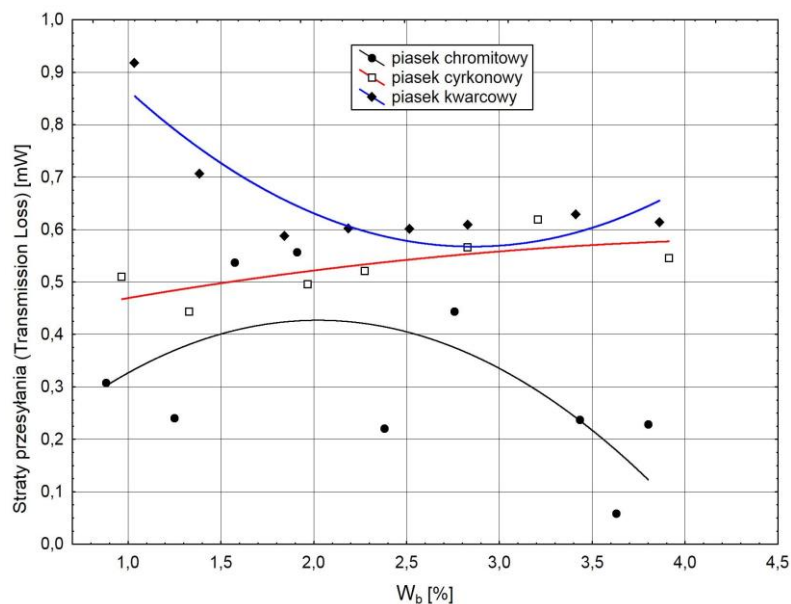
Dla uwidocznienia przebiegu zaobserwowanych zmian, punkty pomiarowe połączone krzywą wielomianową.



Rys. 5. Wykres strat odbicia ( $RL$ ) badanych piasków w zależności od ilości wprowadzonej wody



Rys. 6. Wykres straty rozproszenia ( $IL$ ) badanych piasków w zależności od ilości wprowadzonej wody



Rys. 7. Wykres straty przesyłania ( $TL$ ) badanych piasków w zależności od ilości wprowadzonej wody

W zakresie wilgotności bezwzględnej od około 0,5% do 4% zauważono, że skład chemiczny badanych piasków ma wpływ na straty mocy sygnału mikrofalowego wyrażonych za pomocą parametrów  $IL$ ,  $RL$ ,  $TL$ . Na podstawie zmierzonych parametrów dielektrycznych (rys. 5 - 7) wyznaczone na ich podstawie tendencje zmian stratności wyraźnie rozdzielają osnowę kwarcową od dwóch pozostałych: chromitowej i cyrkonowej. We wszystkich badanych parametrach stratności przebiegi krzywych  $IL$ ,  $RL$ ,  $TL$  wyznaczonych dla piasku kwarcowego mają zawsze odwróconą tendencję od pozostałych. Wyjaśnieniem tego

zjawiska dla piasku kwarcowego może być niewielki udział w tworzących związki chemiczne pierwiastków metalicznych, takich jak: Zr, Cr i Fe (tab. 1). Pierwiastki te obecne są w dużych ilościach w piasku chromitowym i cyrkonowym. W badanym przedziale wilgotności wykazano dla nich podobne zmiany strat sygnału mikrofalowego, różniące się jedynie wartościami strat sygnału wyrażonymi w mW. Wykazane różnice mogą również wskazywać na inny niż w przypadku piasku kwarcowego przebieg procesu nagrzewania, to znaczy na intensywniejsze pochłanianie mikrofal przez osnowę, a przez to skrócenie czasu

do osiągnięcia zadanej temperatury suszenia/utwardzania dla określonej, stałej mocy mikrofal. Szybkość procesu nagrzewania mikrofalowego, jak wykazano w publikacji [5], ma duże znaczenie ekonomiczne i procesowe.

Ponadto zaobserwowano, że piasek chromitowy odznacza się najmniejszą wielkością strat rozproszenia  $IL$  (rys. 6) i strat przesyłu  $TL$  (rys. 7). Największe wartości strat rozproszenia  $IL$  (rys. 6) i strat przesyłu  $TL$  (rys. 7) zmierzono dla piasku kwarcowego. Dla tych dwóch skrajnych stratności, zmierzonych dla piasków: chromitowego i kwarcowego, wykazano jak duże znaczenie ma skład chemiczny, które zostało potwierdzone podczas analizy sitowej (rys. 2 i 4), na podstawie której piaski te charakteryzowały się znacznym podobieństwem w przebiegu krzywych ziarnowych.

W badaniach ujawniono ponadto wpływ wilgotności na wartość strat sygnału mikrofalowego, w szczególności w przedziale między 2 a 3%  $W_b$ , w którym obserwuje się, w zależności od gatunku badanego piasku, odwrócenie tendencji spadkowych we wzrostowe i odwrotnie.

## 5. Wnioski końcowe

Analizując wyniki badań przeprowadzonych na prototypowym stanowisku mikrofalowej linii szczelinowej służącym do oceny przydatności poszczególnych, wykorzystywanych do wytwarzania mas formierskich i rdzeniowych gatunków osnowy stwierdzono, że:

- pomiary parametrów odbicia  $RL$ , rozproszenia  $IL$  i przesyłu  $TL$  sygnału mikrofalowego w falowodzie wypełnionym badanym, wilgotnym substratem umożliwiają określenie strat mocy, jakie wystąpią w procesie mikrofalowego nagrzewania materiału, proporcjonalnych do zastosowanej w celu suszenia/ dosuszania/ utwardzania mocy mikrofal,
- największy wpływ na skuteczność pochłaniania mikrofal, oprócz zawartości wody, ma określony na podstawie pomiaru stratności, skład chemiczny surowców, a w szczególności zawartość takich pierwiastków jak: Zr, Cr i Fe,
- najkorzystniejszą osnową mas formierskich, z punktu widzenia skuteczności nagrzewania mikrofalowego, jest piasek chromitowy,
- najwolniej natomiast będzie przebiegał proces nagrzewania mas z piaskiem kwarcowym cechującym się największymi stratami rozproszenia  $IL$  i stratami przesyłu  $TL$ ,
- ze względów ekonomicznych piasek kwarcowy, pomimo najmniej korzystnych parametrów dielektrycznych, może, ze względu na jego koszt, stanowić składnik taniej masy formierskiej przewidzianej do nagrzewania mikrofalowego,
- w dalszych badaniach konieczne jest wyznaczenie, na podstawie zmierzonych parametrów stratności, wartości mocy zaabsorbowanej  $P_{abs}$  w celu opisanego kinetyki procesu nagrzewania mikrofalowego,
- przedstawione w pracy prototypowe, mobilne stanowisko badawcze – mikrofalowa linia szczelinowa – może posłużyć do prowadzenia dokładnych badań mas formierskich oraz badań polowych ich składników z punktu widzenia

skuteczności i efektywności procesów suszenia/ dosuszania/ utwardzania mikrofalowego.

## Literatura

- [1] Polzin, H., Tilch, W. & Kooyers, T. (2006). Fortschritte in der Entwicklung des Wasserglasformverfahren. *Giesserei-Praxis*. 2, 169-174.
- [2] Jelinek, P. (2005). Rozwój spoiw nieorganicznych do dehydracyjnego utwardzania mikrofalowego. VIII Konferencja Odlewnicza Technical 2005.
- [3] Grabowska, B. (2009). Microwave crosslinking of polyacrylic compositions containing dextrin and their applications as molding sands binders. *Polimery*. 54(7/8), 507-513.
- [4] Wang, H.-F., Fan, Z.-T., Liu, F.-C. & Li, X.-J. (2012). Preliminary study on humidity resistance of sodium silicate sand hardened by microwave heating coated with eutectic lithium salts. *China Foundry*. 61(4), 382-385.
- [5] Małachowska, A., Stachowicz, M. & Granat, K. (2012). Innovative microwave hardening of water-glass containing sandmixes in technical-economic approach. *Archives of Foundry Engineering*. 12(1), 75-80.
- [6] Stachowicz, M., Granat, K. & Nowak, D. (2010). Studies on the possibility of more effective use of water glass thanks to application of selected methods of hardening. *Archives of Foundry Engineering*. 10(2), 135-140.
- [7] Stachowicz, M., Granat, K. & Pigiel, M. (2008). Application of microwave energy for curing of molding sands containing oil binders. *Archives of Foundry Engineering*. 8(2), 129-132.
- [8] Granat, K., Nowak, D., Pigiel, M., Stachowicz, M. & Wikiera, R. (2009). Determination of application possibilities of microwave heating in the curing process of water glass molding sands with fluid esters. Part 1. *Archives of Foundry Engineering*. 9(1), 45-50.
- [9] Granat, K., Nowak, D., Pigiel, M., Stachowicz, M. & Wikiera, R. (2009). Determination of application possibilities of microwave heating in the curing process of water glass molding sands with fluid esters. Part 2. *Archives of Foundry Engineering*. 9(1), 51-56.
- [10] Stachowicz, M., Granat, K. & Nowak, D. (2013). Dielectric hardening method of sandmixes containing hydrated sodium silicate. *Metalurgija*. 52(2), 169-172.
- [11] Lewandowski, J. L. (1997). *Tworzywa na formy odlewnicze*. Kraków: Akapit.
- [12] 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.
- [13] Stachowicz, M. & Granat, K. (2013). Pochłanianie mikrofal przez nieutwardzone masy formierskie ze szkłem wodnym. *Archives of Foundry Engineering*. 13(spec. 1), 169-174.

# **Evaluation of the Microwaves Absorption Effectiveness by Various Moulding Sand Matrixes**

## **Abstract**

This paper presents the results of studies on the possibility of applying microwaves to support the drying process of molding and core sands made of different types of matrix. The water content in sand molds as well as the type of used matrix has a significant impact on the quality of produced castings. In the research a unique microwave slot line measuring stand was used. Being based on the dielectric parameter measurement it enabled the evaluation of power losses of microwave penetrating molding and core sands samples such as: chromite, zircon and quartz. The knowledge about the influence of dielectric parameters on microwave absorption effectiveness depending on used in the research sand types was systematized. Thus it was possible to specify the efficiency of microwave drying, re drying and hardening of particular molding sands as a result of dehydration. The results of the survey pointed out the impact of the chemical (mineralogical) composition of used matrix types on the microwave absorption process as also determined new fields of microwaves application as a support of foundry processes.