

# Określenie możliwości zastosowania w procesach nagrzewania mikrofalowego oprzyrządowania odlewniczego z drewna

K. Granat, B. Opyd \*, D. Nowak, M. Stachowicz

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

\*Corresponding author. E-mail address: beata.opyd@pwr.wroc.pl

Received 28.04.2013; accepted in revised form 08.05.2013

## Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wstępnych nad możliwością zastosowania różnych gatunków drewna do budowy oprzyrządowania odlewniczego, przewidzianego przy procesie nagrzewania mikrofalowego mas formierskich i rdzeniowych. Badania podjęto w celu oceny tych materiałów z punktu widzenia kryterium transparentności dla promieniowania mikrofalowego. Pomiary przeprowadzono metodą perturbacyjną na stanowisku falowodowej wnęki rezonansowej, która umożliwia precyzyjne wyznaczenie tangensa kąta stratności oraz przenikalności dielektrycznej materiałów konstrukcyjnych. Wykazano, iż wszystkie wybrane gatunki drewna charakteryzują się zbliżonym współczynnikiem stratności, który determinuje możliwości ich zastosowania do budowy oprzyrządowania odlewniczego, przewidywanego do pracy w polu elektromagnetycznym.

**Słowa kluczowe:** Mikrofałe, Oprzyrządowanie odlewnicze, Przenikalność dielektryczna, Tangens kąta stratności

## 1. Wprowadzenie

Postęp techniczny we wszystkich gałęziach przemysłu przyczynia się do sukcesywnego zwiększania jakości produkcji przy jednoczesnym minimalizowaniu materiałochłonności oraz energochłonności. Podobnie, w przypadku odlewnictwa, trwają prace nad doskonaleniem efektywności metod usuwania wilgoci z materiałów formierskich i rdzeniowych lub ich utwardzania. Nacisk kładziony na szybkość i skuteczność procesów dehydratacji przyczynił się do wzrostu zainteresowania i poszerzenia możliwości jaki daje proces nagrzewania mikrofalowego. Ten sposób wykorzystania mikrofal w procesach suszenia i/lub utwardzania mas formierskich i rdzeniowych, dzięki swojej specyfice może stanowić nowoczesny, ekonomiczny segment w dziedzinie mechanizacji, automatyzacji

i modernizacji odlewni. Coraz powszechniejsze zatem staje się zastosowanie fal elektromagnetycznych w odlewnictwie, które stanowią w pewnym zakresie alternatywę dla energochłonnych metod wykorzystujących ogrzewanie konwencjonalne [1]. Mikrofałe oddziałują w taki sposób na materiały, że penetrując ich wnętrza wpływają na wzrost temperatury praktycznie w całej ich objętości w odróżnieniu od nagrzewania konwencjonalnego, w którym ciepło dostarczane jest z zewnątrz do materiału poprzez jego powierzchnię [2]. Objętościowy charakter nagrzewania mikrofalowego wnosi wiele korzyści, w szczególności poprawia efektywność procesu nagrzewania, jednocześnie minimalizując zużycie energii. Pozwala również na uzyskanie dobrej jakości wyrobów [1, 2].

Podstawowe wymagania funkcjonalne stawiane przed oprzyrządowaniem odlewniczym to: nadanie masie formierskiej wymaganego kształtu zewnętrznego odlewianego przedmiotu, lub

umożliwienie wykonania z masy rdzeniowej rdzeni, odwzorowujących kształt wewnętrzny odlewu [3]. Materiały stosowane do budowy oprzyrządowania odlewniczego powinny zapewniać wymaganą dokładność kształtową, stabilność wymiarową i charakteryzować się małą przyczepnością dla masy formierskiej oraz dużą odpornością na zużycie [4].

Typowe materiały stosowane w budowie oprzyrządowania odlewniczego, w ujęciu ogólnym, to: drewno, tworzywa sztuczne i metale. Ich dobór determinowany jest stopniem skomplikowania odlewu i wielkością przewidywanej produkcji. W produkcji jednostkowej i małoseryjnej do budowy modeli oraz rdzennic stosuje się różne rodzaje drewna, najczęściej pokrytego odpowiednim lakierem na powierzchni, która styka się z masą formierską. Wynika to z jego licznych zalet, takich jak: łatwość obróbki ręcznej i mechanicznej, mała gęstość, łatwość łączenia, dostateczna wytrzymałość na zginanie, ściskanie i rozciąganie wzdłuż włókien, dobra izolacja termiczna oraz niski koszt. Obok wymienionych zalet należy wyszczególnić również wady drewna, takie jak: niejednolita budowa powodująca anizotropię właściwości, zdolność do zmiany zawartości wilgoci, paczanie się, pękanie i psucie się, mała odporność na zużycie ściernie [5, 6].

Ponieważ o przydatności danego tworzywa, w procesach nagrzewania mikrofalowego, decyduje głównie transparentność dla promieniowania elektromagnetycznego, dlatego najlepszymi materiałami do wytwarzania oprzyrządowania odlewniczego są takie, które odznaczają się najlepszą zdolnością do przekazywania masy formierskiej lub rdzeniowej energii promieniowania mikrofalowego.

W materiałach wykazujących własności dielektryczne, zewnętrzne pole elektryczne powoduje ich polaryzację. Wówczas na powierzchni rzeczywistego dielektryka pojawiają się ładunki elektryczne, które wytwarzają pole elektryczne o przesunięciu fazowym  $\delta$  względem napięcia pola wywołującego polaryzację. Tangens kąta  $\delta$ , nazywany tangensem kąta stratności  $tg\delta$ , jest miarą stratności materiału. Im jest ona większa, tym większe wartości przyjmuje tangens kąta stratności [7, 8].

Makroskopowe własności dielektryków w zmiennym polu elektrycznym opisywane są poprzez względną zespoloną przenikalność elektryczną  $\epsilon_r$ , określoną wzorem (1):

(1)

gdzie:  $\epsilon'$  - składowa rzeczywista względnej zespolonej przenikalności elektrycznej,  $\epsilon''$  - składowa urojona względnej zespolonej przenikalności elektrycznej.

Składowa rzeczywista względnej zespolonej przenikalności elektrycznej wyraża zdolność do gromadzenia energii przez materiał, natomiast część urojona odpowiada za zdolność materiału dielektrycznego do generowania strat energii [8].

Przy doborze materiałów, które zminimalizują straty dielektryczne, można posłużyć się współczynnikiem stratności  $L$ , który opisany jest wzorem (2). Jego wartość jest wprost proporcjonalna do ilości energii rozpraszanej przez dielektryk w zmiennym polu elektrycznym [7]:

(2)

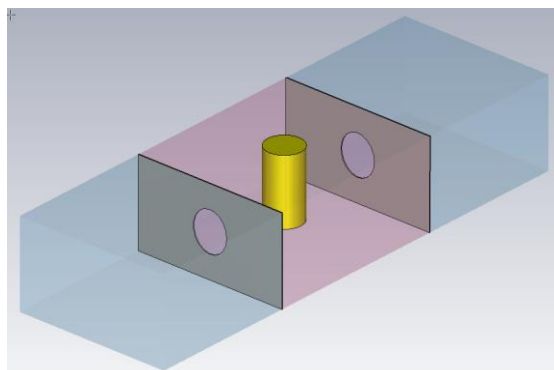
gdzie:  $\epsilon_r$  - względna zespolona przenikalność elektryczna,  $tg\delta$  - tangens kąta stratności.

Celem podjętych w pracy badań jest ocena, pod względem kryterium transparentności dla promieniowania mikrofalowego, przydatności wybranych gatunków drewna do budowy oprzyrządowania odlewniczego przewidzianego do zastosowania w technologii nagrzewania mikrofalowego mas formierskich i rdzeniowych.

## 2. Stanowisko pomiarowe

Przy doborze odpowiedniej metody wyznaczenia przenikalności dielektrycznej  $\epsilon_r$  i tangensa kąta stratności  $tg\delta$  należy kierować się przede wszystkim rodzajem badanych materiałów, w dalszej kolejności wielkością i kształtem badanych próbek, a także częstotliwością i szerokością pasma przewidywanych częstotliwości roboczych.

Uwzględniając wyżej wymienione zalecenia dotyczące doboru odpowiedniej metody pomiarowej przenikalności dielektrycznej  $\epsilon_r$  i współczynnika strat dielektrycznych  $tg\delta$  wybrano metodę perturbacyjną, stosowaną do badań dielektryków. Pozwala ona na pomiar parametrów próbek w szerokim zakresie temperatury i wilgotności oraz precyzyjne wyznaczenie zespolonej wartości stałej dielektrycznej i współczynnika strat dielektrycznych w zakresie częstotliwości mikrofalowych.



Rys. 1. Schemat falowodowego rezonatora prostokątnego z cylindryczną próbką badanego materiału

W metodzie perturbacyjnej kształt badanych próbek jest nieistotny, jeśli tylko ich objętość jest znacznie mniejsza od objętości wnęki rezonansowej. Podstawowym zjawiskiem wykorzystywanym w zastosowanej metodzie perturbacji są zmiany częstotliwości rezonansowej oraz dobroci wnęki rezonansowej  $Q$ , spowodowane wprowadzeniem do wnętrza rezonatora stratnych materiałów.

W pomiarach metodą perturbacji właściwości dielektrycznych, wybranych gatunków drewna, zastosowano stanowisko pomiarowe składające się ze źródła sygnału wielkiej częstotliwości (od 10 kHz do 2,7 GHz), rezonatora prostopadłościennego (rys. 1), detektora diodowego oraz oscyloskopu. Rezonator wykonany został w formie falowodowej wnęki rezonansowej, o wymiarach  $a = 86$  mm,  $b = 43$  mm,

$l = 100$  mm, z podstawowym rodzajem pola  $TE_{101}$ , włączonej transmisyjnie w tor falowodowy i sprzężonej poprzez okrągłe otwory o średnicy  $\varnothing 26$  mm, wykonane w ściankach rezonatora.

### 3. Pomiar przenikalności elektrycznej i tangensa kąta stratności

W przypadku pomiarów właściwości elektrycznych materiałów niemagnetycznych, małą próbkę badanego materiału umieszcza się we wnęce falowodu w miejscu, w którym natężenie pola elektrycznego osiąga maksimum [9]. Wówczas następuje zmiana częstotliwości rezonansowej  $f$  oraz dobroci wneki  $Q$ , ponieważ zmienia się pojemność elektryczna wneki rezonatora. Dobroć wneki rezonansowej określa się poprzez pomiar szerokości krzywej rezonansowej na podstawie zależności (3) [9].

(3)

gdzie:  $f$  – częstotliwość rezonansowa,  $\Delta f = f_g - f_d$  – różnica częstotliwości górnej  $f_g$  i dolnej  $f_d$  dla 3 dB szerokości pasma.

Składowe rzeczywista  $\varepsilon'$  oraz urojona  $\varepsilon''$  przenikalności elektrycznej  $\varepsilon_r$  można wyznaczyć z zależności (4) i (5), które umożliwiają, w dalszej kolejności, obliczenie tangensa kąta stratności  $tg\delta$  wyrażonego za pomocą równania (6) [9].

(4)

gdzie:  $f_s$  – częstotliwość rezonansowa wneki z próbką,  $f_0$  – częstotliwość rezonansowa wneki,  $V_c$  – objętość wneki rezonansowej,  $V_s$  – objętość próbki.

(5)

gdzie:  $Q_s$  – dobroć wneki z próbką,  $Q_c$  – dobroć wneki.

(6)

#### 3.1. Przygotowanie próbek do badań

Do badań wytypowano sześć rodzajów drewna, powszechnie stosowanego do produkcji oprzyrządowania odlewniczego. Badania przeprowadzono na cylindrycznych próbkach o średnicy  $\varnothing 20$  mm ( $\varnothing 19$  mm dla próbek drewna brzoazowego) oraz wysokości 10 mm. Sezonowane drewno suszono wstępnie, przez 60 minut, w temperaturze  $50$  °C w komorze suszarki z termoobiegiem, po czym schładzano do temperatury otoczenia.

Przenikalność elektryczna oraz współczynnik strat dielektrycznych materiałów zależą od temperatury, natężenia pola elektrycznego, wilgotności oraz częstotliwości [8]. Pomiar właściwości dielektrycznych wybranych materiałów pochodzenia

naturalnego prowadzono w temperaturze  $20$  °C przy stałej wilgotności powietrza wynoszącej 60%.

W tabeli 1 zestawiono typowe własności użytkowe poszczególnych rodzajów drewna stosowanego w odlewnictwie.

Tabela 1.  
Charakterystyka wybranych gatunków drewna [6]

Grupa twardości	Rodzaj drewna	Ogólna charakterystyka
Bardzo miękkie	<b>Sosna</b>	Dobra obrabialność, mała nasiąkliwość, odporność na odkształcenia, niejednorodność budowy, niski koszt.
	<b>Świerk</b>	Zła obrabialność, duża skłonność do paczenia się.
Miękkie	<b>Modrzew</b>	Utrudniona obrabialność, mała nasiąkliwość, dobra odporność przeciw paceniu się.
	<b>Brzoza</b>	Dobra obrabialność, jednorodność budowy, nieznaczne odkształcenie.
Średnio twarde	<b>Buk</b>	Zła obrabialność, znaczne odkształcenie, jednorodność budowy.
	<b>Dąb</b>	Zła obrabialność, dobra wytrzymałość, dobra odporność na wilgoć.

### 4. Wyniki badań

Wyniki pomiarów przenikalności elektrycznej oraz tangensa kąta stratności wybranych gatunków drewna, stosowanych do budowy oprzyrządowania odlewniczego, zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2.  
Wyniki pomiarów własności dielektrycznych wybranych gatunków drewna

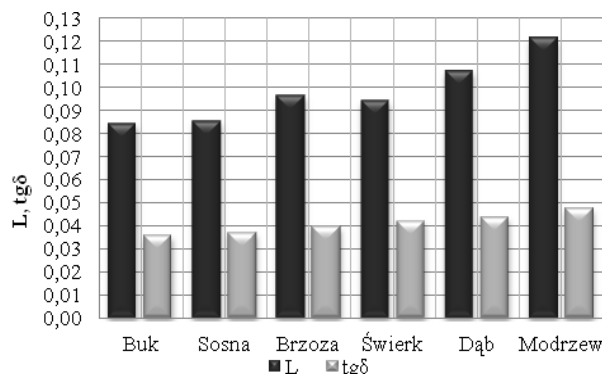
	$\varepsilon_r$	$tg\delta$	$L$
<b>Sosna</b>	2,299	0,0372	0,0857
<b>Buk</b>	2,350	0,0359	0,0845
<b>Brzoza</b>	2,438	0,0398	0,0969
<b>Świerk</b>	2,238	0,0422	0,0945
<b>Modrzew</b>	2,542	0,0478	0,1215
<b>Dąb</b>	2,446	0,0439	0,1074

Przedstawione w tabeli wyniki stanowią wartość średnią z trzech pomiarów wykonanych na cylindrycznych próbkach wykonanych z każdego rodzaju drewna.

Wybrane do badań gatunki drewna sezonowanego charakteryzują się zbliżonymi wartościami: tangensów kąta stratności oraz współczynników stratności. Na rysunku 2, w celach porównawczych, graficznie zestawiono otrzymane wartości mierzonych współczynników.

Najmniejszą stratnością  $L$  charakteryzuje się drewno bukowe, dla którego tangens kąta stratności oraz współczynnik stratności wynoszą odpowiednio 0,0359 i 0,0845. Obliczona

stratność  $L$  dla badanych materiałów rośnie według kolejności: sosna, świerk, brzoza dąb i modrzew. Największą stratność  $L$ , wynoszącą 0,1215 zmierzono dla drewna modrzewiowego, co może świadczyć o dużej skłonności do szybkiego nagrzewania się tego materiału w przypadku pracy w polu elektromagnetycznym.



Rys. 2. Wartości tangensa kąta stratności oraz współczynnika stratności wybranych gatunków drewna

## 5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Analizując wyniki pomiarów przenikalności dielektrycznej  $\epsilon_r$  i współczynnika strat dielektrycznych  $tg\delta$  różnych gatunków drewna, przeznaczonych do budowy oprzyrządowania odlewniczego przewidywanego do zastosowania w technologii nagrzewania mikrofalowego, można stwierdzić, że:

- zastosowanie stanowiska falowodowej wnęki rezonansowej umożliwi przeprowadzenie wstępnej oceny przydatności do pracy w polu mikrofalowym różnych materiałów, w tym pochodzenia naturalnego jak wybrane gatunki drewna,
- najmniejszą stratnością spośród wybranych gatunków drewna charakteryzuje się drewno bukowe i drewno sosnowe,
- największe straty energii mikrofal generowane będą przez drewno modrzewiowe i dębowe,
- zastosowanie drewna sezonowanego na konstrukcję oprzyrządowania odlewniczego, bez przeprowadzenia dodatkowych zabiegów (suszenia i odżywiania) wpływających na ograniczenie niekorzystnej stratności, może skutkować ograniczeniem skuteczności

i efektywności nagrzewania mas formierskich i rdzeniowych,

- zastosowany sposób przygotowania wybranych do badań gatunków drewna, polegający na krótkotrwałym suszeniu konwencjonalnym, ogranicza ich zastosowanie jako materiałów do budowy oprzyrządowania odlewniczego ze względu na wykazaną dużą stratność,
- dalsze poszukiwania odpowiednich materiałów do budowy oprzyrządowania odlewniczego powinny zostać rozszerzone o inne gatunki drewna oraz o materiały pochodzenia syntetycznego, takie jak tworzywa sztuczne,
- wyniki badań mogą być wykorzystane do innych niż odlewnicze zastosowania.

## Literatura

- [1] Granat, K. Stachowicz, M. & Nowak, D. (2010). Zastosowanie innowacyjnej metody utwardzania mikrofalowego w procesach wytwarzania odlewów stalowych dla przemysłu maszynowego. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* 30, 19-27.
- [2] Kowalski, S. J., Rajewska, K., Rybicki, A. (2005). *Fizyczne podstawy suszenia mikrofalowego*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- [3] Tabor, A., Rączka J.S. (1996). *Odlewnictwo*. Kraków: Fotobit.
- [4] Waszkiewicz, S., Kaczorowski, M., Jopkiewicz A., Perzyk M. (2000, 2004). *Odlewnictwo*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo – Techniczne.
- [5] Błaszowski, K., Dembczyński, R., Feld, M., Galinowski, J. (1981). *Zasady projektowania oprzyrządowania technologicznego*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- [6] Piwoński, T. (1977). *Poradnik modelarza, formierza i rdzeniarza*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [7] Ashby, M., Shercliff H., Cebon D. (2011). *Inżynieria materiałowa, Tom 2*. Łódź: Wydawnictwo Galaktyka.
- [8] Lisowski, M. (2004). *Pomiary rezystywności i przenikalności elektrycznej dielektryków stałych*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [9] Sheen, J. (2007). Amendment of cavity perturbation technique for loss tangent measurement at microwave frequencies. *Journal of Applied Physics* 102.

## Determination of possibility of using the wooden foundry tooling in microwave heating process

### Abstract:

The paper presents the results of preliminary studies on the possibility of using different types of wood to construct foundry tooling, designed for microwave heating process of moulding and core sands. The study was undertaken to evaluate these materials from viewpoint of transparency criterion for microwave radiation. The measurements were carried out in a waveguide resonant cavity that permits precise determination permittivity and loss tangent by perturbation technique. It was demonstrated that all of the selected wood species are characterized by a similar loss factor that determines the possibility of their use in the construction of foundry tooling, intended for use in the electromagnetic field.