

## ZASTOSOWANIE TECHNIKI MIKROFALOWEJ W ODLEWNICTWIE

Ryszard PAROSA, Edward RESZKE  
Plazmatronika- Service s.c. Wrocław, ul. Osobowicka 70

### I. Wstęp

Zastosowania energii mikrofalowej są już bardzo powszechne, począwszy od popularnych kuchenek mikrofalowych poprzez różnego rodzaju suszarnie i podgrzewacze mikrofalowe a skończywszy na telefonach komórkowych. Ewidentne korzyści wynikające ze stosowania tej techniki, często unikalne własności urządzeń i technologii mikrofalowych oraz wygoda użytkowników decydują o popularności tych technik.

Autorzy niniejszego artykułu już od ponad 20 lat prowadzą prace badawczo-wdrożeniowe związane z zastosowaniami mikrofal w laboratoriach naukowych, w przemyśle i w budownictwie. Efektem tych prac jest szereg opracowań nowatorskich urządzeń i technologii, z których wymienić można między innymi:

- Mineralizatory mikrofalowe do roztwarzania próbek analitycznych szeroko stosowane w laboratoriach analitycznych.
- Mikrofalowe reaktory chemiczne do syntez i ekstrakcji.
- Technologię termoiniekcji mikrofalowej TIM umożliwiającą osuszanie budynków i wykonywanie skutecznych izolacji blokujących podciąganie wilgoci.
- Laboratoryjne grawisuszarki mikrofalowe, w tym przyrządy przeznaczone dla przemysłu odlewniczego.
- Mikrofalowe suszarnie do warzyw, owoców, ceramiki i suszarnie do rdzeni odlewniczych.
- Uniwersalne generatory mikrofalowe małej i dużej mocy, zarówno dla zastosowań laboratoryjnych jak i przemysłowych.

Przedmiotem niniejszego artykułu są opracowane technologie i urządzenia mające zastosowanie w odlewnictwie, w tym:

- oryginalna konstrukcja suszarni do rdzeni odlewniczych,
- grawisuszarka dla laboratoriów obsługujących procesy odlewnicze,
- rdzeniarka mikrofalowe.

## II. Suszenie rdzeni odlewniczych

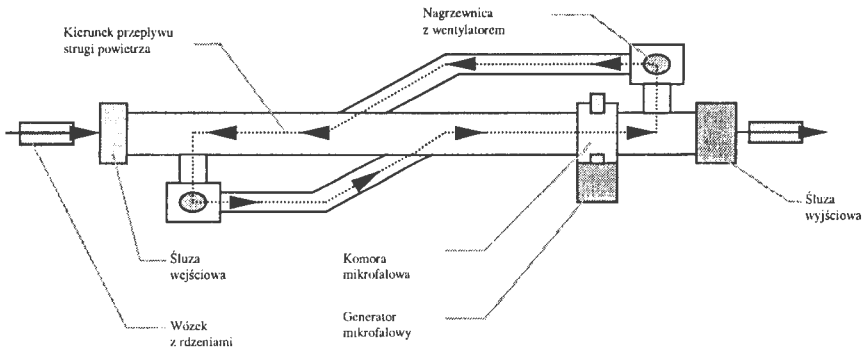
Nowym i jak się wydaje bardzo przydatnym zastosowaniem mikrofal w odlewnictwie mogą być suszarnie do rdzeni odlewniczych. Rdzenie odlewnicze wykonywane są z piasku formierskiego związanego zwykle żywicami i pokrywane zawieszoną wodną grafitu i tlenku cyrkonu. Przed użyciem takich rdzeni niezbędne jest ich dokładne osuszenie, aby zapobiec powstawaniu wad odlewniczych.

Konwencjonalne suszenie rdzeni gorącym powietrzem jest procesem związanym zwykle ze znacznymi stratami energii ponadto na skutek słabej przewodności cieplnej materiału proces jest powolny. Dlatego też zastosowanie mikrofal jest w tym przypadku szczególnie uzasadnione, bowiem cechą charakterystyczną suszenia mikrofalowego jest bezpośrednia transmisja energii mikrofalowej do wody zawartej w rdzeniach i tym samym szybkie nagrzewanie i odparowanie tej wody.

Istota procesu polega na bezpośrednim nagrzewaniu wody zawartej w rdzeniu przez mikrofały bez konieczności intensywnego nagrzewania całego rdzenia w strumieniu gorącego powietrza. Proces takiego bezpośredniego grzania wody zawartej w rdzeniu jest szczególnie ważny przy usuwaniu tak zwanej resztkowej zawartości wody trudnej do odparowania metodami konwencjonalnymi. Znane są konstrukcje suszarek wykorzystujących energię mikrofalową, które budowane są w postaci metalowych komór. Do komór tych z wielu generatorów mikrofalowych wprowadzana jest energia mikrofalowa oraz gorące powietrze. Mikrofały pochłaniane w wodzie zawartej w rdzeniach przyspieszają jej nagrzewanie i odparowanie czyniąc cały proces mniej energochłonnym i poprawiając jakość rdzeni poprzez ich dokładne dosuszenie. Wadą tak prostego systemu jest efekt nierównomiernego nagrzewania wkładu komory spowodowany niejednorodnym rozkładem pola elektromagnetycznego w komorze. Ponadto tak prowadzony proces ma charakter cykliczny. Polega on na wprowadzeniu wsadu z mokrymi rdzeniami do komory, starannym zamknięciu komory (aby zapobiec „wyciekom” mikrofal) i po zakończeniu suszenia cały wsad jest usuwany oraz rozpoczynany następny cykl suszenia nowego mokrego wsadu.

Inną opracowaną w PLAZMATRONICE koncepcję techniczną suszarni do rdzeni odlewniczych z członem mikrofalowym pokazano na rysunku 1 [1].

Mokre rdzenie układane są na półkach zamontowanych na wózkach i cyklicznie w odstępach czasu od 3 do 10 minut wprowadzane są przez służę wejściową do komory suszarni. Komora suszarnicza wykonana jest w postaci rury z izolowanymi termicznie ściankami, na ściankach wewnętrznych której znajdują się paski blachy uformowanej spiralnie i powodującej turbulentny przepływ gorącego powietrza. We wnętrzu cylindrycznej komory suszarniczej umieszczone są także szyny po których cyklicznie przesuwane są wózki z rdzeniami. Gorące powietrze o temperaturze od 105°C do 130°C tłoczony jest naprzemian z obu stron wózków z rdzeniami, w pierwszej części komory strumień powietrza owiewa wózki z rdzeniami od czoła, a w drugiej części komory od tyłu. Pozwala to szybko osuszyć rdzenie na wózkach niezależnie od sposobu ich ułożenia.



Rys. 1. Konstrukcja suszarni konwencjonalno-mikrofalowej (w uproszczeniu)  
 Fig. 1. Construction of the microwave-conventional dryer.

Mokre rdzenie układane są na półkach zamontowanych na wózkach i cyklicznie w odstępach czasu od 3 do 10 minut wprowadzane są przez śluzę wejściową do komory suszarniczej. Komora suszarnicza wykonana jest w postaci rury z izolowanymi termicznie ściankami, na ściankach wewnętrznych której znajdują się paski blachy uformowanej spiralnie i powodującej turbulentny przepływ gorącego powietrza. We wnętrzu cylindrycznej komory suszarniczej umieszczone są także szyny po których cyklicznie przesuwane są wózki z rdzeniami. Gorące powietrze o temperaturze od 105°C do 130°C tłoczone jest naprzemian z obu stron wózków z rdzeniami, w pierwszej części komory strumień powietrza owiewa wózki z rdzeniami od czoła, a w drugiej części komory od tyłu. Pozwala to szybko osuszyć rdzenie na wózkach niezależnie od sposobu ich ułożenia.

Celem redukcji strat ciepła w układzie wymuszany jest przepływ gorącego powietrza z prawie pełną recyrkulacją. Niewielkie ubytki gorącego powietrza poprzez śluzę uzupełniane są przez regulowane czerpnie umieszczone w kanałach przy wentylatorach. Stopień recyrkulacji jest ręcznie lub automatycznie regulowany zależnie od obciążenia komory (ilości odparowywanej wody).

W trakcie jednego cyklu trwającego od 3 do 10 minut półka z rdzeniami znajduje się wewnątrz segmentu suszarni, w którym przez otwory w komorze suszarni wprowadzana jest energia mikrofalowa o częstotliwości 2450 MHz z kilku generatorów. Co najmniej dwa promienniki mikrofalowe umieszczone w otworach w ściankach komory wprowadzają energię mikrofalową z różnych stron półki z rdzeniami. Pozwala to nagrzewać mikrofalami wodę pozostałą w dowolnie zlokalizowanych zagłębieniach w rdzeniach i dosuszyć całą rdzeń. Każda półka z suszonymi rdzeniami po przejściu przez wszystkie segmenty komory suszarniczej wyprowadzana jest przez śluzę wyjściową i przesuwana jest do strefy schładzania. Proces realizowany jest cyklicznie i w trakcie przesuwania wózków z rdzeniami, gdy otwierają się śluzę wejściowa i wyjściowa.

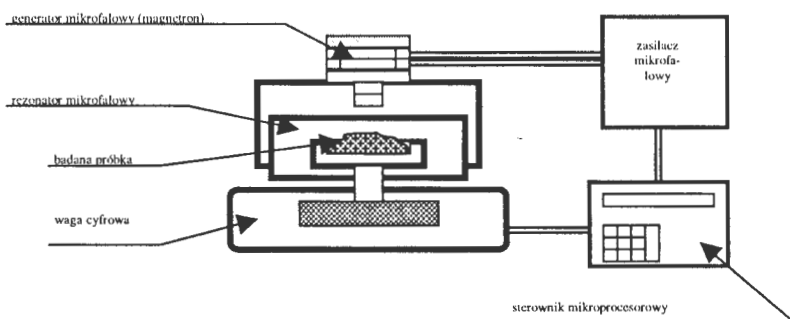
wa, automatycznie wyłączane są generatory mikrofal. Zapobiega to ewentualnym „wyciekom” energii mikrofalowej na zewnątrz instalacji suszarniczej.

Najważniejsze zalety opracowanych suszarni:

- Energooszczędność (energia mikrofalowa nagrzewa jedynie wodę zawartą w suszonych rdzeniach)
- Bardzo dobra jakość procesu suszenia (mikrofałe „docierają” do wody znajdującej się we wszystkich zagłębieniach i wnękach w rdzeniu)
- Małe gabaryty suszarni
- Bardzo krótki czas przygotowania suszarni do pracy (max. 15 min)
- Możliwość pełnej automatyzacji procesu suszenia
- Urządzenie spełnia wszystkie obowiązujące wymagania z zakresu bezpieczeństwa obsługi (poziom „wycieków” mikrofal na zewnątrz instalacji wielokrotnie mniejszy od dopuszczalnych limitów).

### III. Grawimetry mikrofalowe

W procesie przygotowanie rdzeni odlewniczych z mieszanin piasku kwarcowego i żywicy niezbędne jest możliwie szybkie określanie wilgotności względnej piasku. Tradycyjne metody wagowe (grawimetryczne) polegające na pomiarach masy próbki mokrej i masy próbki po starannym osuszeniu są czasochłonne, bowiem dla dokładnego osuszenia próbki do wilgotności względnej poniżej 0,1% metodą konwencjonalną niezbędny jest stosunkowo długi czas, zwykle powyżej 10 minut. W proponowanym rozwiązaniu grawimetru mikrofalowego proces suszenia próbki realizowany jest z wykorzystaniem zjawiska silnej absorpcji energii mikrofalowej przez wodę zawartą w próbce. Koncepcję tą ilustruje rysunek 2.



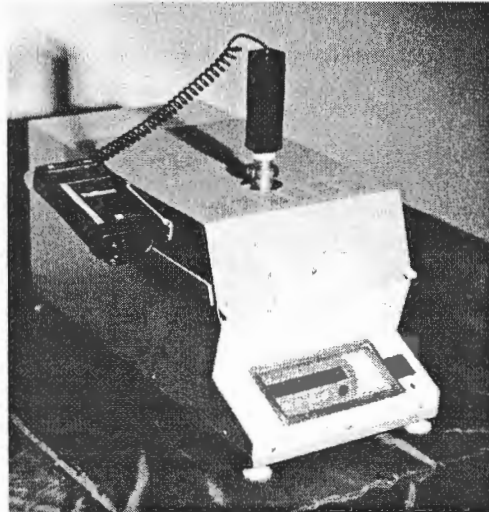
Rys. 2. Koncepcja techniczna układu grawimetru do pomiarów wilgotności próbek  
Fig. 2. Technical idea for the microwave gravimeter for measurements of sand samples

Odparowanie wody zachodzi wskutek objętościowego ogrzewania próbki umieszczonej na szalce dielektrycznej wewnątrz rezonatora mikrofalowego. Dzięki temu, że wydzielanie energii cieplnej występuje bezpośrednio w samej próbce oraz dzięki kon-

centracji pola elektromagnetycznego w obszarze próbki czasy suszenia mogą być zredukowane do pojedynczych minut (zwykle 3-4 minuty), przy czym próbka nie ulega przegrzewaniu na powierzchni jak to ma miejsce w grawimetrach z konwencjonalną grzałką promiennikową. Szalka pomiarowa jest mechanicznie sprzęgnięta z wagą cyfrową, która dostarcza informacji o ubytku masy bezpośrednio do mikrokomputera sterującego źródłem mocy mikrofalowej. Specjalnie oprogramowany mikroprocesor pozwala szybko wyliczać zmierzona wilgotność względną i automatyczny odczyt zmierzonej wilgotności względnej materiału próbki dokonywany jest z wyświetlacza cyfrowego lub może być wydrukowany.

Urządzenie dodatkowo może zostać wyposażenie w miernik temperatury próbki działający na zasadzie pomiaru promieniowania podczerwonego (IR). W tej wersji możliwe jest ograniczenie maksymalnej temperatury próbki do wartości ustawianej programowo ( $T_{\text{limit}}$ ), co pozwala użyć grawimetr między innymi do pomiarów wilgotnych próbek biologicznych, w których powyżej temperatury 50–60°C następuje odparowanie aromatycznych substancji lotnych.

Konstrukcję prototypowego grawimetru mikrofalowego do mierzenia wilgotności próbek materiałów sypkich pokazano na zdjęciu na rys. 3.



Rys. 3. Konstrukcja prototypowego grawimetru mikrofalowego  
Fig. 3. Prototype microwave gravimeter

Najważniejsze zalety grawimetru mikrofalowego:

- Krótki czas pomiaru wilgotności próbki (3–4 minuty).
- Duża dokładność pomiaru (zależna głównie od precyzji wagi).
- Prostota pomiaru.

- Możliwość automatyzacji pomiaru i transmisji wyników np. do stanowisk technologicznych.

- 

#### **IV. Rdzeniarki mikrofalowe**

Koncepcję techniczną i wyniki badań związanych z utwardzaniem rdzeni odlewniczych z piasku i żywicy szczegółowo opisano w artykule [2] prezentowanym na niniejszej konferencji. Warto tu jedynie podkreślić, że zastosowanie mikrofal do szybkiego utwardzania rdzeni odlewniczych stwarza możliwość wprowadzenia do praktyki odlewniczej nowej, energooszczędnej technologii, zbliżonej do powszechnie stosowanej technologii „hot box”, lecz charakteryzującej się wielokrotnie mniejszym zużyciem energii niezbędnej do utwardzenia rdzenia. Technologię tą dla odróżnienia nazywaną „warm box” można wdrożyć poprzez przebudowę standardowych rdzeniarek, w których zamiast grzejników elektrycznych lub palników gazowych grzejących metalową rdzennicę należy zastosować rdzennicę wykonaną z materiału dielektrycznego umieszczoną w metalowej komorze do której wprowadzana jest energia mikrofalowa. Kolejne czynności technologiczne związane z utwardzaniem rdzeni są takie same, jak w konwencjonalnej technologii „hot box”:

- zamknięcie rdzennicy,
- wstrzelenie do rdzennicy piasku kwarcowego z żywicą,
- włączenie generatorów mikrofalowych i nagrzanie samego rdzenia mikrofalami (w miejsce nagrzewania całej rdzennicy grzałkami elektrycznymi lub palnikami gazowymi),
- otwarcie rdzennicy i usunięcie utwardzonego rdzenia.

Wyniki badań opisanych w [2] pozwalają już obecnie zaprojektować taką rdzeniarkę i bezpośrednio zastosować ją w procesie produkcyjnym. Przewiduje się tutaj możliwość modernizacji istniejących rdzeniarek konwencjonalnych.

#### **V. Podsumowanie**

Opisane pokrótce przykłady zastosowań mikrofal w odlewnictwie wskazują na przydatność tej techniki i rosnące perspektywy jej praktycznych zastosowań. Szczególnie ważny wydaje się być aspekt oszczędności energii przy stosowaniu mikrofal do suszenia rdzeni odlewniczych oraz przy utwardzaniu rdzeni z piasku i żywicy.

Oszczędności energii wynikające z zastosowania suszarni mikrofalowej o konstrukcji opisanej wyżej oraz jakość osuszonych w niej rdzeni – to najważniejsze cechy tego rozwiązania. Równie ważna jest „elastyczność” instalacji pozwalająca uruchomić suszarnię w czasie do 15 minut i sprawną eksploatację w warunkach pełnego i częściowego obciążenia mokrymi rdzeniami. Te cechy wydają się być szczególnie istotne w warunkach rosnących kosztów energii.

Równie ważne w praktyce odlewniczej mogą być nowe rdzeniarki mikrofalowe. Testy rdzeni utwardzonych w mikrofalach wykonane w skali laboratoryjnej, badania jakości i ich bezpośrednie zastosowanie w procesie produkcyjnym w Odlewni w Lubli-

nie potwierdziły wysoką jakość tych rdzeni. Analiza nakładów energetycznych wskazała na możliwość redukcji zapotrzebowania energii na utwardzanie rdzeni metoda mikrofalową ponad 20-krotnie (!). Stanowi to istotny argument uzasadniający potrzebę podjęcia bezpośrednich prac wdrożeniowych wszędzie tam, gdzie niezbędne jest wytwarzanie krótkich serii rdzeni o małych i średnich gabarytach.

### **Literatura**

- [1] R. Parosa, E. Reszke, M. Szarycz, sposób i urządzenie do suszenia rdzeni odlewniczych, Zgłosz. Patentowe nr P-175150.
- [2] M.Pigiel, R.Parosa, E.Reszke, P.Grześkowiak., Utwardzanie rdzeni z odlewni „urusus” w Lublinie w mikrofalach, IV Międzynarodowa Konferencja Odlewnictwo 2000, Polanica Zdrój, 24–26 maja 2000.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Zdzisław Samsonowicz