

OPRACOWANIE MIKROFALOWEGO UTWARDZANIA RDZENI Z PIASKU KWARCOWEGO I ŻYWIC TERMOUTWARDZALNYCH

Opracowano i zbadano prototypową komorę mikrofalową wraz z rdzennicą umożliwiającą utwardzanie rdzeni z piasku kwarcowego i żywic termoutwardzalnych. Wykonano serię badań mających na celu ustalenie parametrów pracy urządzenia.

ELABORATION OF MICROWAVE COERS HARDENING FROM QUARZ SAND AND THERMOHARDENED RESINS

There was elaborated and constructed the prototype microwave chamber with core box making possible hardening of cores from the quartz sand and thermohardened resins. There were made investigations in order to determine the parameters of exploitation of this device.

1. WSTĘP

Mikrofałe jako promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwościach w paśmie 300 MHz-300 GHz znajdują szerokie zastosowanie w telekomunikacji, radiolokacji, medycynie, metrologii, badaniach naukowych, przemyśle itp. Zastosowania przemysłowe związane są przede wszystkim ze znanymi własnościami pochłaniania energii mikrofalowej przez substancje zbudowane z cząstek o charakterze polarnym. Dało to podstawę rozwoju grzejnictwa mikrofalowego na skalę przemysłową, np.: suszenie ceramiki, drewna, rozmrażanie produktów spożywczych, liofilizatory mikrofalowe, reaktory chemiczne itp. [1]. Istnieje potrzeba utwardzania rdzeni odlewniczych z piasku kwarcowego i żywic termoutwardzalnych z wykorzystaniem nowych czynników inicjujących i intensyfikujących proces utwardzania. W procesie utwardzania żywic mikrofalami obserwuje się dwa efekty wpływające na przyspieszenie procesu:

- efekt termiczny powodujący przyspieszenie reakcji chemicznej w wyniku wzrostu temperatury żywicy w całej jej objętości,
- efekt związany z oddziaływaniem pola elektromagnetycznego na drgające cząsteczki monomerów w trakcie tworzenia łańcuchów polimerowych.

Wprowadzenie do rdzenia energii mikrofalowej o odpowiedniej częstotliwości i gęstości mocy przyspieszy tempo polimeryzacji żywic bez konieczności nagrzewania żywic do wysokich temperatur (ok. 300°C).

Mikrofalowa struktura grzewcza powinna jednorodnie nagrzewać utwardzany rdzeń w rdzennicy ograniczając jednocześnie „wycieki” mikrofal na zewnątrz komory. Ich wartość nie powinna przekraczać dopuszczalnych wielkości ustalonych przez normy bezpieczeństwa.

2. PODSTAWY TEORII ODDZIAŁYWAŃ ENERGII MIKROFALOWEJ Z DIELEKTRYKAMI [1,2,3]

Fala elektromagnetyczna przenikająca tworzywo jest przez nie pochłaniana, a energia elektromagnetyczna zamieniana jest na ciepło zgodnie z zależnością

$$S_{\text{abs}} = 55.5 \times 10^{-12} \xi_r \text{tg} \delta f E^2 \quad [\text{W/m}^2] \quad (1)$$

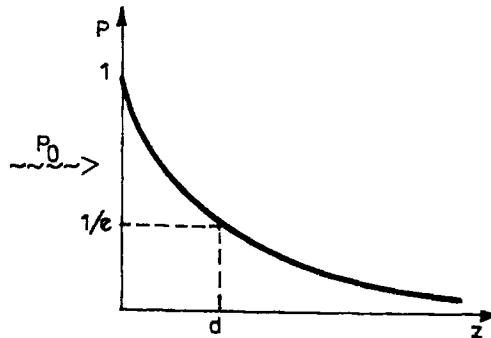
gdzie: ξ_r - względna przenikalność tworzywa,
 $\text{tg} \delta$ - tangens kąta stratności charakteryzujący dane tworzywo,
 f - częstotliwość,
 E - natężenie pola elektromagnetycznego.

Piasek kwarcowy jest materiałem nie pochłaniającym mikrofal ($\text{tg} \delta < 10^{-5}$) i dlatego też o intensywności procesu nagrzewania rdzeni energią mikrofal decyduje zawarta w mieszaninie żywica i woda. Mimo małej (2÷3%) zawartości silnie stratnej żywicy, jest to mieszanina o dużej zdolności pochłaniania energii mikrofal. Dzięki temu materiał ten nagrzewa się stosunkowo szybko w polu mikrofalowym.

Dla oceny efektu utwardzania wprowadza się parametr o nazwie „głębokość wnikania” - δ zdefiniowany jako dystans, na którym gęstość mocy mikrofal maleje e -razy ($e = 2,718$).

$$P_{(z)} = P_0 \cdot e^{-2\alpha z}; \quad 2\alpha\delta = 1 \quad (2)$$

gdzie: P_0 - jest mocą podającą,
 α - jest współczynnikiem tłumienia fali,
 d - jest odcinkiem, na którym moc fali elektromagnetycznej obniża się o e razy.



Rys. 1. Zależność mocy od głębokości wnikania mikrofal.

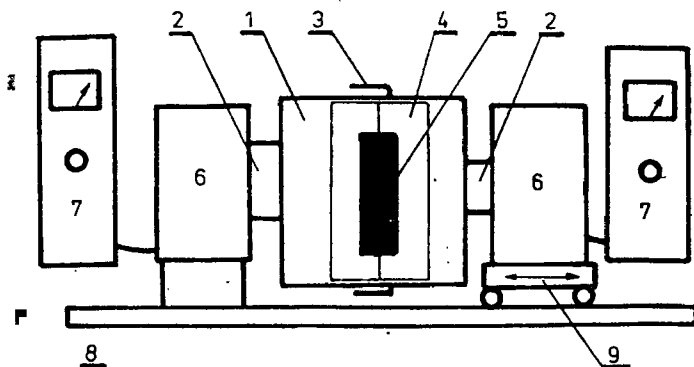
Zaś współczynnik tłumienia α określa się ze wzoru:

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \left[\frac{K'}{2} \left(\sqrt{1 + \text{tg}^2 \delta} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

Dla mieszaniny piasku z żywicą (2-3% żywicy) głębokość wnikania δ wynosi około 40-80 cm. Oznacza to, że wymiary liniowe rdzeni utwardzonych mikrofalami nie powinny być większe niż 80-120 cm.

3. STANOWISKO BADAWCZE

Koncepcję stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego:

1^a - komora mikrofalowa, 2 - układ sprzęgający generator z komorą, 3 - dławik mikrofalowy redukujący „wycieki” mikrofal z komory, 4 - rdzennica, 5 - rdzeń, 6 - generatory mikrofalowe, 7 - zasilacze generatorów, 8 - podstawa z przewodnikami, 9 - wózek.

Komorę mikrofalową 1 stanowi wielomodowy rezonator mikrofalowy sprzężony z generatorami poprzez specjalne układy sprzęgające 2. Komora składa się w dwóch oddzielnych części łączonych z sobą przed włączeniem mikrofal. Na zewnętrznych ściankach jednej połowy komory umieszczono specjalnej konstrukcji ówierćfalowy dławik mikrofalowy 3, którego zadaniem jest zapobieganie „wyciekowi” promieniowania mikrofal za zewnątrz. W celu zapewnienia wzajemnego sprzęgnięcia generatorów mikrofal 6, układy sprzęgające wykonane w postaci odcinków falowodów prostokątnych w standardzie R32 z umieszczonymi wewnątrz przesłonami obrócone są względem siebie o 90°. Generatory mikrofalowe 6 zasilane są ze sterowników 7 zapewniających płynną regulację mocy wyjściowej mikrofal w zakresie 0÷600 W.

Jeden z generatorów, połączony z częścią komory umieszczony jest na wózku 9. Pozwala to na otwarcie komory i łatwe umieszczanie w jej wnętrzu rdzennicy 4. Drugi generator zamocowany jest na sztywno do podstawy 8.

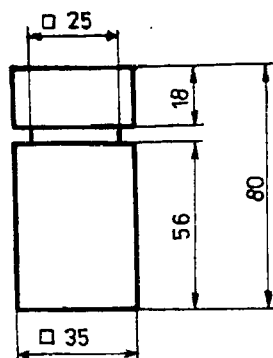
Proces utwardzania rdzeni składa się z następujących etapów:

- 1 - napełnienie rdzennicy piaskiem kwarcowym z żywicą,
- 2 - umieszczenie rdzennicy w komorze mikrofalowej,
- 3 - włączenie zasilaczy generatorów mikrofalowych,
- 4 - utwardzanie rdzenia o zadanej mocy przez określony czas,
- 5 - wyłączenie zasilaczy generatorów,
- 6 - otwarcie komory mikrofalowej i wyjęcie rdzennicy,
- 7 - wyjęcie rdzenia z rdzennicy.

4. BADANIA UTWARDZANIA RDZENIA

4.1. Komora mikrofalowa i rdzennica

Badania utwardzania rdzeni przeprowadzono dla kilku rodzajów żywic termoutwardzalnych produkowanych przez Zakłady Tworzyw Sztucznych ERG w Pustkowie. Osnowę stanowił piasek kwarcowy „Wiślak”. Masy do badań zostały przygotowane zgodnie z recepturą zalecaną przez producenta żywic [4]. Kształt i wymiary rdzenia przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Kształt i wymiary rdzenia

mikrofalową wewnątrz komory. Nie wymagane jest wtedy dokładne doleganie obu części komory (kontakt galwaniczny). Przeprowadzono pomiary promieniowania mikrofalowego na zewnątrz komory rdzennicy z użyciem miernika MES-1 produkcji Politechniki Wrocławskiej. Stwierdzono, że poziom promieniowania mikrofalowego zależy od dokładności złożenia obu części komory. Niedokładne złożenie komory powoduje znaczny wzrost promieniowania. Stwierdzono w takim przypadku, że strefa bezpieczna ($S < 0,5 \text{ W/m}^2$) znajduje się w odległości 1-1,5 m od komory.

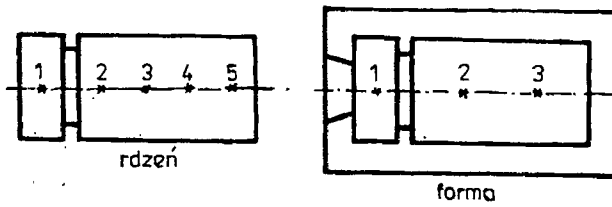
4.2. Wyniki badań utwardzania rdzenia

Przedstawiono jedną z przebadanych termoutwardzalnych mas formierskich o składzie:

piasek kwarcowy „Wiślak”	- 3000 g
żywica FF	- 36 g
utwardzacz PU-2	- 18 g
woda	- 6 g.

W czasie badań dobierano czas nagrzewania rdzeni od 4-2 minut oraz moc generatorów od 2x200W do 2x600W.

Po zakończeniu utwardzania otwierano komorę mikrofalową i wyjmowano rdzennicę. Po otwarciu rdzennicy mierzono temperaturę rdzenia oraz temperaturę formy w punktach pokazanych na rys. 4.



Rys. 4. Miejsca pomiaru temperatury w utwardzonym rdzeniu oraz w formie.

W tabeli 1 zestawiono wyniki prób utwardzania rdzeni w zależności od mocy i czasu nagrzewania z pomiarem temperatury rdzenia i formy.

Tab. 1. Tabela pomiarów utwardzania

Lp.	Moc [W]	Czas utwardzania [min]	Temperatura próbki [°C] (na powierzchni utwardzonego rdzenia)					Temperatura formy [°C]			Uwagi
			1	2	3	4	5	1	2	3	
1.	200	4,0	103	107	107	107	104	80	93	97	dobra jakość rdzenia
2.		3,5	94	108	111	109	100	79	82	89	dobra jakość rdzenia
3.		3,0	92	113	117	116	110	74	87	87	średnio utwardz. rdzeń
4.		2,5	87	109	110	109	103	75	82	80	źle utwardzony rdzeń
5.		2,0	90	106	108	109	106	74	81	80	bardzo źle utw. rdzeń
6.	300	4,0	112	134	138	136	132	100	105	104	dobra jakość rdzenia
7.		3,5	112	128	130	132	128	99	101	99	dobra jakość rdzenia
8.		3,0	107	114	115	114	110	105	114	115	średnio utwardz. rdzeń
9.	400	4,0	130	160	165	163	152	110	113	110	dobra jakość rdzenia
10.		3,5	129	152	154	155	149	112	113	110	dobra jakość rdzenia
11.		3,0	118	121	122	123	120	103	108	109	dobra jakość rdzenia
12.	500	3,5	126	154	158	160	153	110	115	112	dobra jakość rdzenia
13.		3,0	120	142	144	147	138	104	109	108	dobra jakość rdzenia
14.		2,5	112	125	128	130	121	98	102	100	dobra jakość rdzenia
15.	600	3,0	126	152	157	158	150	108	114	106	dobra jakość rdzenia
16.		2,5	132	160	162	163	156	106	108	110	dobra jakość rdzenia
17.		2,0	118	120	123	125	119	102	104	98	dobra jakość rdzenia

Pomiar temperatury wykonywano miernikiem działającym na zasadzie pomiaru promieniowania podczerwonego, firmy Linear Laboratories, model C-1600P. Zgodnie z oczekiwaniami, wraz ze wzrostem mocy mikrofalowej wprowadzanej do komory skróceniu ulegał czas niezbędny do dobrego utwardzenia rdzenia. Można określić optymalne czasy utwardzania w funkcji mocy mikrofalowej dla każdego rodzaju żywicy.

5. WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania potwierdzają możliwość utwardzania rdzeni z piasku kwarcowego i żywic termoutwardzalnych z wykorzystaniem mikrofal.
2. Istotnym jest staranny dobór warunków nagrzewania rdzeni w zależności od rodzaju stosowanych żywic (moc, czas nagrzewania).
3. Dla prawidłowego utwardzenia rdzenia należy zapewnić jednorodny rozkład pola elektromagnetycznego wewnątrz komory. Wymaga to doboru wymiarów komory tak, aby zapewnić możliwość wzbudzenia dużej ilości modów. Należy komorę zasilać z kilku generatorów mikrofalowych poprzez otwory na różnych ściankach komory mikrofalowej.
4. Zastosowany materiał na rdzennicę (teflon + 25% Al_2O_3) spełnił postawione mu wymagania.

LITERATURA

- [1] Litwin R., Suski M.: *Technika mikrofalowa*; Warszawa, 1972.
- [2] Thomas M.E.: *Techniki i urządzenia mikrofalowe. Poradnik*, WNT Warszawa, 1978.
- [3] *Microwave Processing and Engineering*; ed. by R.V. Decaveau and R.A. Peterson, Publ. Ellis Harwood Ltd. Chichester, England.
- [4] Pigiel M.: *Mikrofalowe utwardzanie rdzeni z piasku kwarcowego i żywic termoutwardzalnych*; Konferencja Naukowo-Techn. Automation '98, Warszawa 11-12 marca 1998, s. 295-301.