

## WARUNKI FLUIDYZACYJNEGO POKRYWANIA ODLEWÓW MATERIAŁAMI POWŁOKOWYMI

Janusz GAJDA\*, Aleksander FEDORYSZYN\*\*

\*Wydział Inżynierii Materiałowej, Metalurgii i Transportu  
Politechniki Śląskiej, ul. Z. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

\*\*Wydział Odlewnictwa AGH, ul. W. Reymonta 23, 30-059 Kraków

### 1. Wstęp

Pokrywanie materiałami powłokowymi poprawia walory użytkowe wyrobów. Powłoki spełniają rolę izolacji, zabezpieczając przed adhezją, korozją i erozją. Nanosi się też powłoki w celach dekoracyjnych. Pokrywanie materiałami powłokowymi daje możliwość oszczędności tworzyw wyrobów i zwiększenia ich żywotności.

Wśród metod nanoszenia polimerów i emalii istotne znaczenie ma zanurzanie wyrobów do warstwy „upłynnionego” pokrycia.

### 2. Analiza porównawcza metod nanoszenia powłok polimerowych

Powłoki polimerowe nanosi się na wyroby metodą natryskiwania elektrostatycznego oraz przez zanurzenie do płynnej i "upłynnionej" warstwy [1, 2, 7, 8, 10].

Elektrostatyczne nanoszenie polega na wytworzeniu odpowiedniego pola elektrostatycznego pomiędzy ziarnami pokrycia a powierzchnią wyrobu metalowego. Proszek polimerowy uzyskuje ujemne naładowanie podczas przepływu przez dyszę (elektrodę jonizującą). Zaletami metody elektrostatycznej jest możliwość powlekania przedmiotów charakteryzujących się małą pojemnością cieplną oraz możliwość powlekania wybranych miejsc na powierzchni lub jednoczesnego nanoszenia powłok z różnych tworzyw [1,7]

Metody polegające na zanurzeniu nagranych wyrobów do płynnej lub "upłynnionej" warstwy materiału powłokowego, to przede wszystkim metoda fluidyzacyjna i wibrofluidyzacyjna [2÷6]. Stosowane technologie nanoszenia powłok polimerowych charakteryzują się wysoką efektywnością, czemu sprzyjają małe straty materiałowe oraz krótkie cykle technologiczne. Stopień wykorzystania polimerowych materiałów pokrywających wynosi 75÷98% w zależności od metody nanoszenia [7]. Najwyższe wartości (97÷98%) uzyskuje się przy elektrostatycznym i fluidyzacyjnym.

### 3. Zakres wartości parametrów fluidyzacji i wibrofluidyzacji

Do najczęściej stosowanych obecnie tworzyw powłokowych należą: zmiękczone polichlorek winylu, polietylen o małej i dużej gęstości, poliamidy, polimery fluorowęglowe, tworzywa epoksydowe i poliestrowe oraz ich kompozycje [7]. W tabeli 1 wymieniono tworzywa przeznaczone do powlekania metodami fluidyzacyjnymi.

Tabela 1  
Wykaz powłokowych tworzyw sztucznych stosowanych przy nanoszeniu fluidyzacyjnym

The list of plastics used as coating materials applied in fluidisation process.

Lp	Rodzaj polimeru	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Temperatura topienia °C	Prędkość po- wietrza u <sub>f</sub> , m/s
1	Polietylen	0,91÷0,96	100÷130	0,015÷0,20
2	Poliamid	1,02÷1,14	180÷210	0,015÷0,25
3	PCW zmiękczone: Pecefluid Grisolit Telcovin A	1,35	160	0,02÷0,30

Wartość prędkości powietrza inicjującej fluidyzację zależna jest od właściwości tworzywa i wyznacza się ją z zależności [9]:

$$Re = \frac{Ar \varepsilon^{4.75}}{18 + 0.6 \sqrt{Ar \varepsilon^{4.75}}} \quad (1)$$

gdzie: Ar – liczba Archimedes;  $Ar = \frac{gd^3(\rho_m - \rho_g)}{\nu^2 \rho_g}$ ,

Re – liczba Reynoldsa;  $Re_f = \frac{u_f d}{\nu}$ ,  $Re_z = \frac{u_z d}{\nu}$ ,

d – średnia wielkość ziaren tworzywa w m,

ε – porowatość warstwy fluidalnej;

ρ<sub>m</sub>, ρ<sub>g</sub> – gęstość, odpowiednio materiału i czynnika fluidyzującego w kg/m<sup>3</sup>,

ν – lepkość czynnika fluidyzującego w kg/m<sup>3</sup>.

Wartość minimalnej, dolnej, krytycznej prędkości wyznaczyć można z kryterialnej zależności  $Re_f = f(Ar)$ , podstawiając we wzorze (1) za porowatość wartość ε<sub>f</sub> dla inicjacji procesu (średnio ε<sub>f</sub> = 0,4). Wartość maksymalnej, górnej, krytycznej prędkości

wyznaczyć można również z zależności (1) zapisanej dla warunków unoszenia, tj.  $Re_z = f(Ar)$ , przy  $\varepsilon_z = 1$ ,

Podane w tabeli 1 wartości prędkości wyznaczono dla warunków normalnych, technicznych, tj.  $\rho_g = 1,16 \text{ kg/m}^3$  i  $\nu = 0,157 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Stopień rozwinięcia procesu fluidyzacji niewiele wpływa na wyniki formowania się powłoki. Wyraźny wpływ ma natomiast konfiguracja powlekanego przedmiotu [4].

W zależności od usytuowania powierzchni w złożu fluidalnym powstający film powietrzny utrudnia kontakt ziaren z nagrzana powierzchnią. Nie bez wpływu na tego rodzaju zjawisko pozostają pęcherze powietrzne, przepływające przez złożo.

Ilość i wielkość pęcherzy wzrastają wraz ze zwiększeniem prędkości czynnika fluidyzującego oraz wysokości warstwy. Niekorzystny wpływ wymienionych czynników nie uwidacznia się na powierzchniach leżących poza kierunkiem przepływu powietrza. Wpływ usytuowania powierzchni w stosunku do kierunku przepływu czynnika fluidyzującego przedstawiają wyniki badań z tego zakresu [4÷6].

Stan upłynnienia warstwy materiału ziarnistego uzyskać można poprzez wibrację gdy intensywność drgań  $a \times \omega^2 \geq g$  [2]. Łączne oddziaływanie drgań oraz strumienia czynnika fluidyzującego prowadzi natomiast do upłynnienia poprzez wibrofluidyzację.

Upłynnienie uzyskuje się przy niższych wartościach prędkości powietrza w porównaniu z  $u_f$ , jak również intensywność drgań może być niższa od wartości przyspieszenia ziemskiego  $g$ .

Wartość prędkości początku upłynnienia określa między innymi zależność [9]:

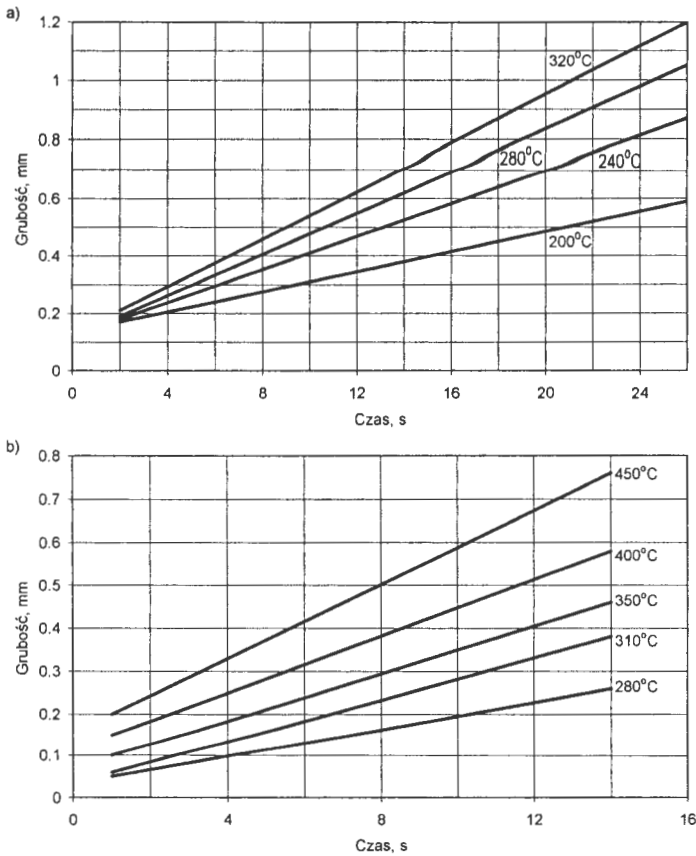
$$u_{wf} = 52.4 \left( \frac{\rho_m}{\rho_g} \right)^{0.63} \left( \frac{1}{\nu} \right)^{0.33} d^{0.88} \left[ 1 - \frac{a \omega^2}{g} \exp \left( 710^{-4} f^{1.28} \left( \frac{H}{d} \right)^{0.5} \right) \right] \quad (2)$$

w której  $a$  oznacza amplitudę drgań w m,  $\omega$  częstotliwość w rad/s,  $f$  częstość drgań w 1/s,  $H$  wysokość warstwy w m.

#### 4. Warunki nanoszenia materiałów powłokowych podczas fluidyzacji i wibrofluidyzacji

Upłynnienie warstwy proszku powłokowego poprzez jego fluidyzację jest podstawową realizacją powlekania przez zanurzenie. Umieszczenie nagrzanego przedmiotu w warstwie fluidalnej powoduje osiadanie na jego powierzchni ziaren, ich stopienie i połączenie. Grubość powłoki zależy od temperatury i czasu kontaktu (rys.1).

Parametry wytworzonej powłoki, jej grubość i stopień przylegania zależne są od rodzaju tworzywa materiału, temperatury i pojemności cieplnej, czasu zanurzenia, charakterystyki granulometrycznej materiału powłokowego, stanu powierzchni powlekanego wyrobu.



Rys. 1. Zależność grubości powłoki od temperatury podgrzanego przedmiotu oraz czasu zanurzenia w warstwie fluidalnej[7]: a) polietylen wysokociśnieniowy, b) polietylen niskociśnieniowy, c) poliamid

Fig. 1. Coating thickness versus temperature of the heated object and time of dipping in fluidised bed [7]: a) high-pressure polyethylene, b) low-pressure polyethylene, c) polyamide

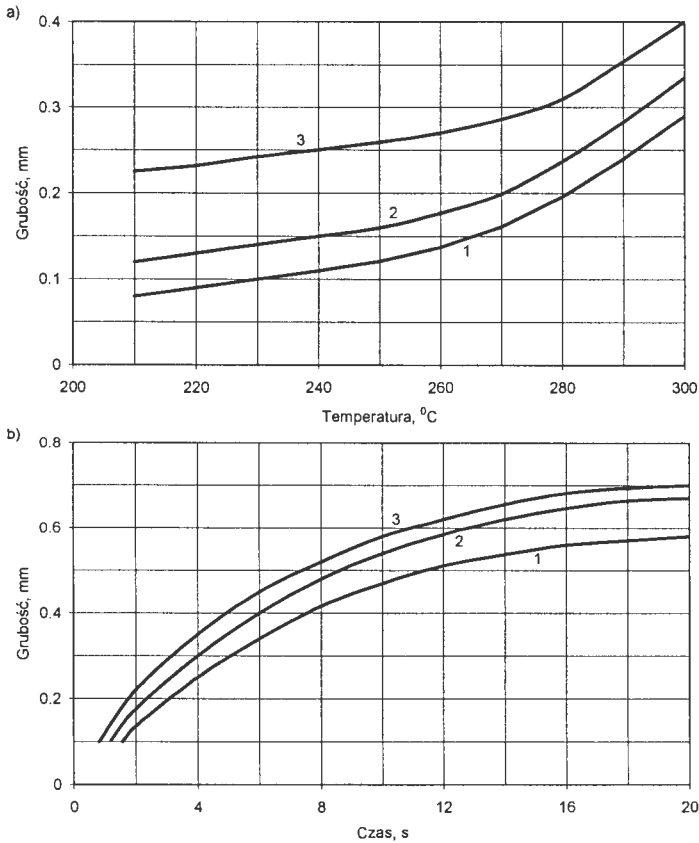
Doskonalenie metod powlekania z wykorzystaniem upłynnionej warstwy polegało na wymuszaniu przepływu materiału w obszarze warstwy oraz na wywoływaniu: stanu upłynnienia poprzez wibrację i wibrofluidyzację.

Pierwszy sposób realizowano poprzez wprowadzenie do komory fluidyzacyjnej przegród i elementów opływowych. Naturalna cyrkulacja ziaren warstwy fluidalnej wspomagana była ukierunkowanym przepływem ziaren w obrębie warstwy. Intensyfikacja ruchu ziaren oraz ich ukierunkowanie pozwalało na uzyskiwanie dobrych efektów powlekania niezależnie od konfiguracji przedmiotów i położenia ich powierzchni, w stosunku do kierunku przepływu czynnika.

Drugi sposób to wywoływanie upłynnienia poprzez wibrację oraz łączne oddziaływanie drgań i strumienia czynnika fluidyzującego [2,4].

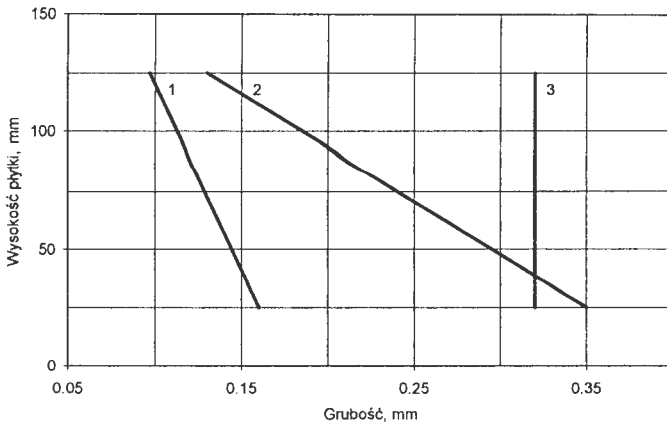
Sposoby te pozwalają wprowadzać w stan jednorodnego upłynnienia materiały powłokowe.

Upłynnienie poprzez wibrofluidyzację pozwala uzyskać grubszą warstwę pokrycia i o jednakowej grubości. Rezultaty powlekania wibrofluidyzacyjnego są korzystniejsze w porównaniu z efektami zanurzania do warstwy wibracyjnej i fluidalnej (rys. 2 i 3). Przedstawione wyniki dotyczą pokrywania polietylenem niskociśnieniowym stalowych płytek o wymiarach 150 x 150 x 50 mm podgrzanych do temperatury 280 °C.



Rys. 2. Wyniki powlekania płytek stalowych tworzywem powłokowym, w zależności od warunków procesu; warstwa upłynniana poprzez: 1 – fluidyzację, 2 – wibrację, 3 – wibrofluidyzację

Fig. 2. The results of the steel plates coating vs process conditions; the bed fluidised by :  
1 – fluidisation, 2 – vibration, 3 – vibrofluidisation



Rys. 3. Stopień równomierności pokrycia płytek stalowych zanurzanych do warstwy polietylenu [2]: 1 – fluidalnej, wibracyjnej, wibrofluidalnej  
 Fig. 3. The degree of coating uniformity on the steel plates dipped in a bed of polyethylene [2]: 1 – fluidisation, 2 – vibration, 3 – vibrofluidisation

Powlekanie odlewów ze stopów aluminium charakteryzowało się podobnymi wynikami. Najlepsze rezultaty uzyskiwano przy wprowadzaniu odlewów do warstwy materiału poddanego wibrofluidyzacji [5].

## 5. Podsumowanie

Właściwe wykorzystanie technologii powlekania tworzywami przedmiotów zanurzanych do warstw upłynnionych wymaga znajomości parametrów oraz właściwości procesów fluidyzacji i wibrofluidyzacji. Znajomość warunków procesów umożliwia doskonalenie metod oraz ich optymalizację.

Analiza porównawcza metod wywoływania upłynnienia ziarnistych tworzyw powłokowych wskazuje na przewagę tych, realizacja których ogranicza ilość czynnika fluidyzującego. Strumień czynnika fluidyzującego powoduje spadek temperatury oraz może być przyczyną zakłóceń, wynikających z przepływu pęcherzy. Z tego też względu upłynnienie poprzez wibrację i wibrofluidyzację jest korzystniejsze ze względu na eliminację zakłóceń spowodowanych przepływem powietrza.

Efekty powlekania zależą od stopnia jednorodności warstwy. Jednorodną warstwę uzyskuje się przede wszystkim wskutek oddziaływania wibracyjnego. Korzystne jest również wywoływanie stanu upłynnienia poprzez wibrofluidyzację. W tym przypadku przepływ czynnika daje dodatkowa możliwość wywoływania ukierunkowanego przemieszczania się ziaren wskutek zastosowania przegród w warstwie.

**Literatura**

1. Cywiński K.: Zagadnienia teoretyczne i konstrukcyjne elektrostatycznych urządzeń technologicznych. Politechnika Białostocka, Białystok, 1969.
2. Czlenow W.A., Michajłow N.W.: Wibrokipjaszczij słoj. Wyd. Nauka. Moskwa, 1972.
3. Fedoryszyn A., Gajda J.: Doskonalenie metod nanoszenia powłok na odlewy. Materiały II Konferencji „Tendencje Rozwojowe w Mechanizacji Procesów Odlewniczych. Wydział Odlewnictwa AGH. Kraków, 1999.
4. Fedoryszyn A.: Analiza fluidyzacyjnego sposobu wytwarzania form skorupowych. Prace Komisji Metalurgiczno-Odlewniczej, Metalurgia 41, PAN O/Kraków, 1991, s. 133.
5. Fedoryszyn A.: Zbadanie możliwości nanoszenia powłok emalierskich w złożu fluidalnym. Ekspertyza nr. 2061/88, Zespół Rzeczoznawstwa i Postępu Technicznego STOP. Kraków, 1988.
6. Gajda J., Fedoryszyn A.: Powlekanie odlewów ze stopów aluminium (materiały niepublikowane).
7. Hyla J.: Tworzywa sztuczne. Właściwości, Przetwórstwo, Zastosowanie. Wydawnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1999.
8. Kowalski Z.: Powłoki z tworzyw sztucznych. WNT, Warszawa, 1973.
9. Strumiłło C.: Podstawy teorii i techniki suszenia. WNT. Warszawa, 1983.
10. Wróbel G. i in.: Ćwiczenia laboratoryjne z przetwórstwa tworzyw sztucznych. Wydawnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1999.

Recenzował: prof. zw. dr hab. inż. Mirosław Gregoraszczyk