ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978
Seria: Mechanika z.65 Nr kol.569

Janina MARCINKOWSKA, Bogdan KUSZNIR

Instytut Odlewnictwa
Politechnika Śląska

TEORETYCZNE OPRACOWANIE WARUNKÓW POWSTAWANIA ZIARNOWYCH POWŁOK ODLEWNICZYCH

Streszczenie: Artykuł przedstawia próbę teoretycznego opracowania warunków powstawania ziarnowych powłok odlewniczych. Wynikiem przeprowadzonych rozważań jest przedstawiona matematyczna zależność wiążąca warunki termofizyczne powstawania powłok z własnościami materiałów użytych na odlewy.

1. Wstęp

Wraz z rozwojem techniki wzrasta zapotrzebowanie na odlewy o specjalnych własnościach. Często wyższe wymagania stawia się wyłącznie warstwie powierzchniowej elementów. W związku z tym opracowano szereg technologii pozwalających na uszlachetnianie powierzchni przez nakładanie powłok. Niewątpliwie najkorzystniejszą metodą nanoszenia powłok na części odlewane jest metoda odlewnicza, to jest metoda wytwarzania powłok bezpośrednio w procesie zalewania formy.

Idea wytwarzania powłok odlewniczych jest stosunkowo prosta, jednak bardzo trudne jest teoretyczne ujęcie zagadnienia. Trudności teoretycznego opracowania zagadnienia związane są z dużą ilością wzajemnie powiązanych zjawisk fizyczno-chemicznych zachodzących w procesie powstawania powłok.

Teoretyczne opracowanie procesu powstawania powłok

Prowadzone w Instytucie Odlewnictwa Politechniki Śląskiej [1] prace na temat wytwarzania metodą odlewniczą trudnościeralnych warstw stopowych na odlewach pozwoliły na dobór wyjściowych materiałów do tej technologii. Stwierdzono dużą przydatność w tym zakresie stopów FeCrC zawierających znaczną ilość węglików chromu jak też węglika wolframu WC. Taki dobór materiałów /FeCrC, WC/ na powłoki zdeterminował penetrację jako wiodące zjawisko w procesie powstawania powłok na odlewach żeliwnych. W celu analitycznego ujęcia zagadnienia doboru warunków technologicznych wytwarzania wspomnianych powłok posłużono się przytoczonym przez Longę [2] modelem Wiejnika.

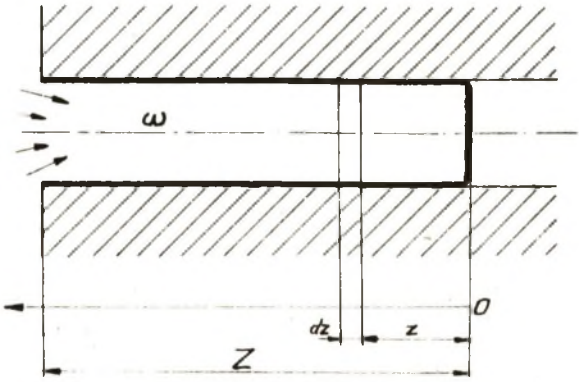
Model ten dotyczy ilościowego ujęcia procesu stygnięcia metalu w czasie zalewania formy. Rysunek 1 [2] przedstawia kanał formy piaskowej. Kanał ten zapełniony jest ciekłym metalem przy danych warunkach i następujących założeniach:

T_{ZAL} - temperatura metalu przy wejściu do kanału

T_{2p} - początkowa temperatura formy

ω - prędkość płynącego metalu

F - powierzchnia przekroju kanału



Rys. 1 Schemat do analitycznego ujęcia procesu stygnięcia metalu w czasie zalewania formy
a/ nieruchomy układ współrzędnych
b/ ruchomy układ współrzędnych

- metal płynie ze stałą prędkością
- kanał posiada stały przekrój na całej długości
- metal jest na tyle przegrzany, że w trakcie zalewania formy nie krzepnie
- ciepło przepływa tylko w kierunku prostopadłym do ścianki kanału zarówno w metalu i w formie.

Ponadto oznaczono przez:

T_1 - temperaturę wydzielonego w strudze ruchomego elementu o szerokości dz

Z - drogę całkowitą przebytą w czasie τ przez czoło metalu

z - odległość rozważanego przekroju strugi od czoła metalu.

Ilość ciepła dQ jaką oddaje w czasie d τ przez powierzchnię kontaktu z formą wydzielony w strudze element dz można zapisać:

$$dQ = \alpha_{odl} / T_1 - T_{2p} / dF_1 d\tau \qquad /1/$$

W celu uniezależnienia w trakcie obliczeń współczynnika wnikania ciepła α_{odl} od czasu założono, że z czołem metalu związany jest ruchomy układ współrzędnych.

Jednocześnie w czasie $d\tau$ ilość ciepła elementu dz zmniejszy się o wielkość

$$dQ = -dV_1 \rho'_1 C'_1 d\left[T_1 - T_{2p}\right] \qquad /2/$$

gdzie: dV_1 - objętość elementu

dF_1 - powierzchnia elementu

ρ'_1 - masa właściwa metalu w stanie ciekłym

C'_1 - ciepło właściwe elementu w stanie ciekłym

Porównując wyrażenie 1 i 2 otrzymuje się

$$\alpha_{odl}\left[T_1 - T_{2p}\right] dF_1\, d\tau = -dV_1 \rho'_1 C'_1 d\left[T_1 - T_{2p}\right] / : -dV_1 \rho'_1 C'_1$$

$$-\frac{\alpha_{odl}\, dF_1}{dV_1 \rho'_1 C'_1}\left[T_1 - T_{2p}\right] d\tau = d\left[T_1 - T_{2p}\right]$$

oznaczając

$$\frac{\alpha_{odl}\, dF_1}{dV_1 \rho'_1 c'_1} = A$$

$$T_1 - T_{2p} = \vartheta_1$$

otrzymuje się

$$\frac{d\vartheta_1}{\vartheta_1} = -A\, d\tau \qquad /3/$$

Po całkowaniu równania 3 otrzymuje się

$$\ln \vartheta_1 = -A\tau + C \qquad /4/$$

Stałą całkowania znajduje się z warunku początkowego. W chwili $\tau = \frac{Z/}{\omega}$ element znajduje się u wlotu do kanału i jego temperatura $T_1 = T_{2\,Al}$

stąd

$$C = \ln\left(T_{ZAL} - T_{2p}\right) + A\frac{z}{\omega}$$

oznaczając

$$T_{ZAL} - T_{2p} = \vartheta_{ZAL}$$

$$C = \ln \vartheta_{ZAL} + A\frac{z}{\omega}$$

Po podstawieniu stałej C do 4 uzyskuje się

$$\ln \vartheta_1 = \ln \vartheta_{ZAL} + A\frac{z}{\omega} - A\tau$$

$$\ln \vartheta_1 = \ln \vartheta_{ZAL} = A\left(\frac{z}{\omega} - \tau\right)$$

$$\ln \frac{\vartheta_1}{\vartheta_{ZAL}} = A\left(\frac{z}{\omega} - \tau\right)$$

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_{ZAL}} = e^{-A\left(\tau - \frac{z}{\omega}\right)} \qquad /5/$$

Ze wzoru 5 można obliczyć temperaturę w danym przekroju strugi po upływie czasu τ /np. czasu zalewania/.

Wzór 5 [2] posłużył za punkt wyjścia w próbie teoretycznego ujęcia zagadnienia doboru warunków technologicznych przy wytwarzaniu powłok odlewniczych z FeCrC i WC w szczególności, a w ogólności z materiałów z których powstają powłoki odlewnicze głównie w wyniku zjawiska penetracji. W tym celu poczyniono następujące założenia i przyjęto poniżej przedstawione oznaczenia:

- penetracja jest dominującym zjawiskiem w procesie powstawania powłok i jako taka ma decydujący wpływ na przebieg procesu technologicznego
- przegrzany metal penetruje wskroś warstwę materiału ziarnistego ze stałą prędkością $\omega = \omega_{śr}$
- przekrój por materiału porowatego jest stały
- pory /kapilary/ są prostoliniowe
- ciepło przepływa tylko w kierunku prostopadłym do ścianki kapilar /por/ zarówno w metalu penetrującym jak i w penetrowanym pokryciu formy

T_1' - temperatura elementu dz metalu penetrującego

T_{2p}' - temperatura początkowa penetrowanego pokrycia formy

T_{ZAL} temperatura metalu ciekłego przy wejściu do kanału kapilary

Przepenetrowanie całej grubości ziarnowego pokrycia wnęki formy wymaga zachowania przez strugę metalu ciekłego odpowiednich warunków cieplno-fizycznych. Interesującym jest zachowanie tych warunków w miejscu decydującym o penetracji, a więc w czole metalu penetrującego. W związku z tym zakłada się z = 0, a przyjęty do rozważań wzór 5 uprości się i przyjmie postać

$$\frac{T_1' - T_{2p}'}{T_{ZAL}' - T_{2p}'} = e^{-A\tau} \qquad /6/$$

Ze względu na jakość wytwarzanych powłok temperatura T_1' nie może być niższa od temperatury tzw. lejności zerowej tj. temperatury w której metal ciekły traci zdolność penetrowania [3].

Lejność zerowa wg Girszowicza [3] pojawia się z chwilą, gdy ciekły metal /stop/ krzepnący w zakresie $T_l - T_s$ odda 20 % ciepła krystalizacji. Natomiast metale czyste i stopy eutektyczne tracą swoją lejność po oddaniu około 80 % ciepła krystalizacji.

Temperatura T_{2p}' jako temperatura początkowa materiału ziarnistego a więc temperatura w momencie rozpoczęcia się procesu penetracji wg [6] nie może być mniejsza od około 0,8 T_s metalu ciekłego. Konieczny do równania 6 czas penetracji metalu ciekłego w materiał porowaty można wyliczyć z przedstawionego wzoru 8 [4].

Przedstawiony poniżej wzór 8 uwzględnia wielkość i kształt por poprzez efektywny promień kapilary r_{EF} oraz współczynnik zawiłości kapilary b. Wzór ten wiąże głównie charakteryzujące przepływy w materiałach porowatych, pomijając wogóle warunki termiczne i ściśle związane z nimi cechy materiałowe /poza μ i ρ / tworzyw których dotyczy zjawisko penetracji.

$$\tau = \frac{8\mu b^2}{r_{EF}\,\rho\, g}\left[\frac{P_W \pm P_{KAP}}{\rho\, g}\ln\frac{P_W \pm P_{KAP}}{P_W \pm P_{KAP} - \rho\, gh} - h\right] \qquad /8/$$

gdzie: b - współczynnik zawiłości por

r_{EF} - efektywny promień por

h - przepenetrowana grubość materiału ziarnowego

ρ - gęstość metalu ciekłego

g - przyspieszenie ziemskie

P_{KAP} - ciśnienie kapilarne

P_W - ciśnienie wypadkowe $P_W = P + P_M$

P - różnice ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia nad próbką [5],

P_M - ciśnienie metalostatyczne

Przedstawione równanie 6 sprzęga cechy materiałowe tworzyw stosowanych na odlewy z koniecznymi dla uzyskania ziarnistych powłok odlewniczych warunkami termofizycznymi.

Cechy materiałowe uwzględnione są przez czas penetracji τ oraz wielkość A.

Wymienione wielkości (τ, A) są określone w funkcji skrajnego kąta zwilżania materiału ziarnowego metalem penetrującym, napięcia powierzchniowego ciekłego metalu, porowatości materiału penetrowanego, współczynnika lepkości dynamicznej cieczy, rodzaju ośrodka porowatego, kształtu ziarna i jego średnicy, gęstości metalu ciekłego, ciepła właściwego metalu penetrującego, współczynnika wnikania ciepła. Te same parametry τ i A uwzględniają takie warunki fizyczne istotne dla procesu powstawania powłok jak warunki ciśnieniowe, głębokość wnikania materiału penetrującego /grubość warstwy penetrowanej/ ułożenie ziarn materiału porowatego, kształt i średnicę porów. Warunki termiczne określone są przez temperaturę zalewania, temperaturę początkową materiału ziarnowego konieczną dla przebiegu procesu penetracji oraz temperaturę lejności zerowej.

Równaniem 6 można również opisać niekorzystne w praktyce odlewniczej zjawiska penetracji ciekłego metalu w masę formierską.

LITERATURA

1. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej pt. "Opracowanie materiałów do procesu technologicznego wytwarzania powłok metodą odlewniczą" Instytut Odlewnictwa Politechniki Śląskiej 1976
2. LONGA W.: "Krzepnięcie odlewów w formach piaskowych" 1973
3. Praca zbiorowa pod redakcją JURY S.: "Technologia topienia i odlewania staliwa" /cz.I 1978 - przygotowana do druku/
4. SOŁOWIEW W.P. i inni: "O kinetykie proniknowienia metalliczieskich raspławow w kapilliarno - poristyje materiały". Izwiestia Wyższych Uczieb nych Zawiedeni - Czerna Metalurgia Nr 7 1969
5. ACHMIETOW G.Sz. i inni: "Issliedowanie proniknowienia metalliczieskich raspławow w kapilliarno - poristyje materiały" Izwiestia Wyższych Uczieb nych Zawiedieni - Czierna Metalurgia Nr 11 1968
6. SOŁOWIEW W.P. i inni: "Propitka czugunem i stalju Liegirujuszczich past" Litiejnoje Proizwodstwo Nr 2 1972.

THEORETICAL SELECTION OF CONDITIONS FOR PRODUCTION OF POWDER-TYPE COMPOSITE COATINGS ON CASTINGS

S u m m a r y

The paper presents an attempt at theoretical selection of conditions for formation of composite powder coatings on castings. A mathematical correlation was derived between thermophysical conditions of formation of the coatings and properties of the materials used for the castings.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ЗЕРНИСТЫХ ПОКРЫТИЙ

Р е з ю м е

В статье дается теоретическая попытка разработки условий образования зернистых литейных покрытий. Результатом является предложенная математическая зависимость, связывающая термофизические условия образования покрытий со свойствами материалов для отливок.