

Dorota Nagolska¹, Michał Szweycer²

Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów, ul. Piotrowo 5, 61-138 Poznań

ANALIZA MECHANIZMU RECYKLINGU METALOWYCH KOMPOZYTÓW NASYCANYCH

Podjęto próbę analizy procesu recyklingu metalowych kompozytów nasycanych z punktu widzenia zjawisk powierzchniowych. Wnioski wynikające z rozważań teoretycznych potwierdzają przeprowadzone badania. Rozważania mogą być podstawą do dalszych prac związanych z recyklingiem odlewów z tych materiałów.

ANALYSIS OF RECYCLING MECHANISM OF METALLIC SATURATED COMPOSITES

The paper presents analysis of recycling process of the castings made of metallic saturated composites, with special attention paid to surface phenomena. As the geometry of reinforcement (Fig. 1) is hard or even impossible to describe, the way of filling the reinforcement pore for purposes of theoretical consideration has been assumed according to Fig. 2. Geometrical elements of the pores are shown in Fig. 3. Capillary pressure in the elements may be defined by relationship (1), for the angle α varying from -180° to $+180^\circ$. The relationship (4) has been derived on the ground of Figures 3 and 4, assuming that $x \cdot d_{w1} = d_{w2}$. The coefficient x may be greater or less than 1. The relationship enables to calculate the pressure in the metal inside the reinforcement. The relationship (4) is shown in Fig. 5. Equating it to 0 enabled to determine critical value of the angle θ_{cr} , below which the capillary phenomena are conducive to flowing the metallic matrix out from the reinforcing capillaries. Table 1 shows the conditions and the results of composite recycling trials performed with the view to verifying the theoretical considerations. The research certifies the conclusions drawn from theoretical analysis of the recycling process of castings made of metallic saturated composites: low probability of flowing the liquid matrix out from ceramic reinforcement in air environment, as well as the fact that the better the reinforcement wetting angle with liquid matrix approximates 180° , the greater is the gain of metal derived in recycling process in an artificial e.g. slag environment.

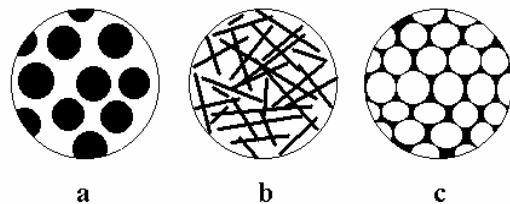
WSTĘP

W referacie przedstawionym w ubiegłym roku [1] został omówiony sposób rozdzielania metalu osnowy od zbrojenia metalowego kompozytu nasycanego. Inspiracją do zaproponowania wspomnianej wyżej metody były teoretyczne rozważania nad podstawami recyklingu odlewów z kompozytów metalowych [2]. Okazało się jednak, że nie są one wystarczające dla uzasadnienia zachowania się materiału podczas wspomnianych prób recyklingu. Zatem celem niniejszego artykułu jest dokonanie analizy procesu, szczególnie z punktu widzenia zjawisk powierzchniowych, która stanowiłaby podstawę do dalszych prac związanych z recyklingiem odlewów z metalowych kompozytów nasycanych.

MODEL STRUKTURY ZBROJENIA METALOWYCH KOMPOZYTÓW NASYCANYCH

Struktura metalowych kompozytów nasycanych wynika ze struktury ich zbrojenia. Trzy jego odmiany przedstawiono na rysunku 1. We wszystkich trzech przypadkach wypełnienie przestrzeni wewnątrz zbrojenia odbywa się stopniowo od pustek największych do najmniejszych. Wymiar wypełnianej pustki jest przy tym

odwrotnie proporcjonalny do ciśnienia nasycania (rys. 2).



Rys. 1. Typy struktury zbrojeń kompozytów nasycanych: a) kierunkowo ułożone włókna długie, b) krótkie włókno nieuporządkowane (np. prasowane), c) struktura komórkowa

Fig. 1. Structural types of saturated composite reinforcement: a) long fibres arranged in a determined direction, b) short fibres randomly arranged (e.g. pressed), c) cellular structure

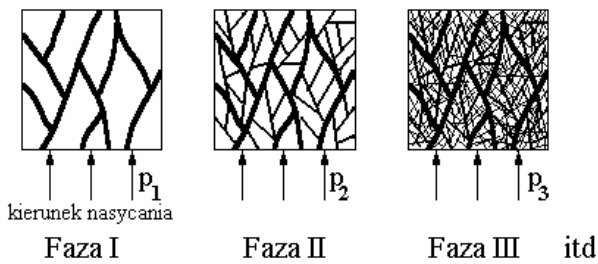
Geometria zbrojenia jest możliwa do opisanie tylko w przypadku przedstawianym na rysunku 1a. W pozostałych przypadkach jest to trudne lub wręcz niemożliwe. W związku z tym do rozważań dotyczących nasycania kompozytu można przyjąć model zbrojenia, w którym pory mają kształt stożka zaproponowany przez Grabiana [3]. W modelu tym wielkość niewypełnionej przestrzeni określić można za pomocą umownego

¹ mgr inż., ² prof. dr hab. inż.

wymiaru zależnego od ciśnienia nasycania zgodnie z równaniem Younga-Laplace'a

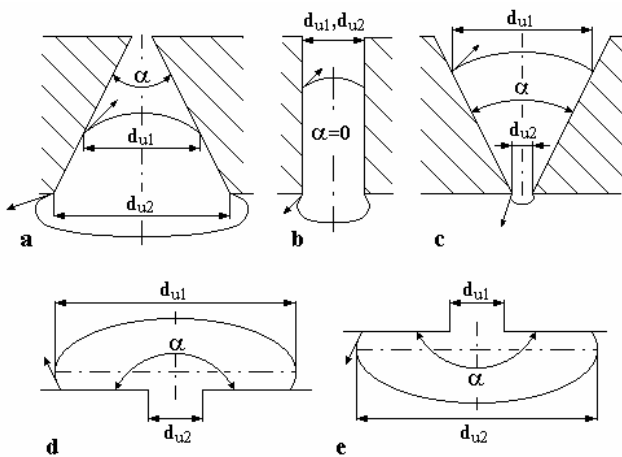
$$p_k = \frac{\sigma}{d_u} \cdot \left(\cos\theta - \frac{\alpha}{2} \right) \quad (1)$$

Model ten nie jest wystarczający do rozważań dotyczących wypływania metalu osnowy z porów zbrojenia, ponieważ, jak widać z rysunku 2, nie musi się ono dokonywać w kolejności od szczelin najmniejszych do największych, jak to ma miejsce podczas nasycania, zatem element struktury zbrojenia może mieć kształty przedstawione na rysunku 3.



Rys. 2. Stopniowe nasycenie zbrojenia

Fig. 2. Gradual saturation of the reinforcement



Rys. 3. Uproszczone kapilary pustek zbrojenia kompozytu nasycanego

Fig. 3. Simplified capillaries of the voids in saturated composite reinforcement

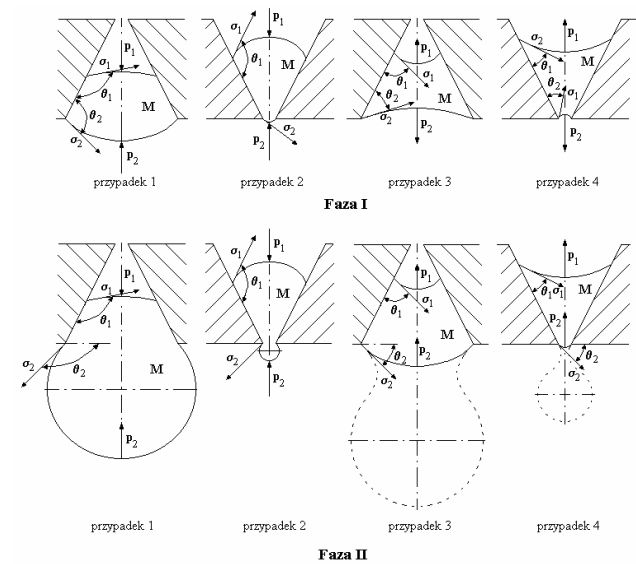
Wartość kąta α w zależności (1) określającej ciśnienie w stożkowej kapilarze [4] może wahać się w granicach od -180° do $+180^\circ$, a umowna średnica kapilary, przez którą wypływa metal, może być zarówno większa, jak i mniejsza od wartości średniej umownej kapilary, której odpowiada chwilowe położenie powierzchni metalu wewnątrz zbrojenia. Zatem nie jest możliwe określenie stosunku d_{u2}/d_{u1} od kąta α i długości kapilary. Do dalszych rozważań nad warunkami wypływania metalu osnowy ze zbrojenia należy więc przyjąć, że to ostatnie składa się ze stożkowych kapilar, w których $-180^\circ < \alpha < +180^\circ$, $d_{u2} = x d_{u1}$, przy czym wartość x może być zarówno większa, jak i mniejsza od 1. Kapilary zakończone są płaską powierzchnią.

WYPLYWANIE OSNOWY Z PRZESTRZENI WENĄTRZ ZBROJENIA

Przyjmując przedstawione powyżej założenia, mechanizm wypływania osnowy z przestrzeni zbrojenia można przedstawić jak na rysunku 4. Teoretycznie można przyjąć, że środowiska wewnątrz i na zewnątrz zbrojenia mogą być różne. Praktycznie byłoby to bardzo trudne do zrealizowania. Przyjmując zatem, że w obu przestrzeniach istnieje to samo środowisko można obliczyć ciśnienia:

$$p_1 = \frac{\sigma}{d_{u1}} \cos\left(\theta - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (2)$$

$$p_2 = \frac{\sigma}{d_{u2}} \sin\theta \quad (3)$$



Rys. 4. Wypływanie osnowy kompozytu z przestrzeni wewnątrz zbrojenia

Fig. 4. Flowing the composite matrix out from intrareinforcement space

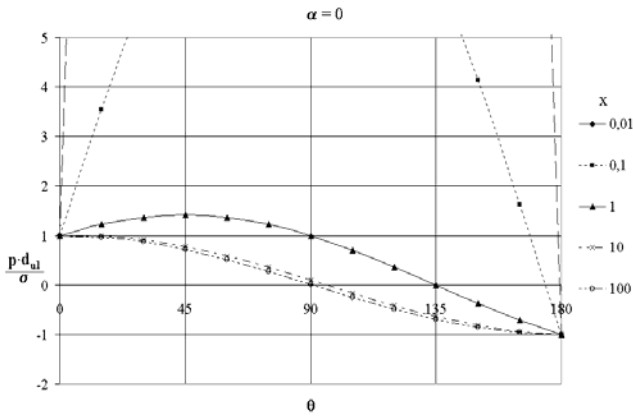
Pomijając ciśnienie słupa metalu, jako znikomo małe w stosunku do pozostałych, i przyjmując, że $d_{u2} = x d_{u1}$ można napisać, że

$$p = p_2 + p_1 = \frac{\sigma}{x \cdot d_{u1}} \sin\theta + \frac{\sigma}{d_{u1}} \cos\left(\theta - \frac{\alpha}{2}\right) \quad (4)$$

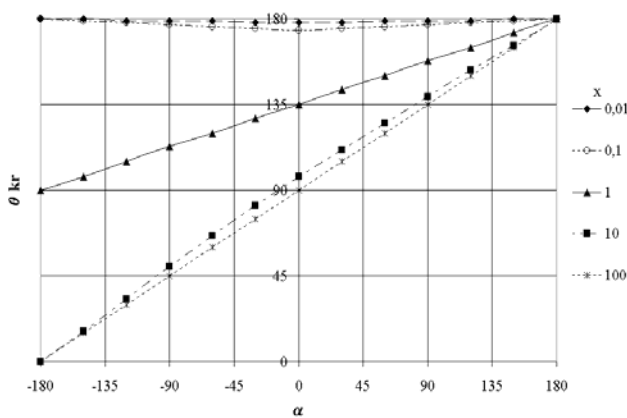
Na rysunku 5 przedstawiono zależność (4). Przez przyrównanie tej zależności do 0 można określić krytyczną wartość kąta zwilżania θ_{kr} , poniżej której zjawiska kapilarne sprzyjają wypływowi osnowy ze zbrojenia. Zależność tej wartości od α dla różnych wartości x przedstawiono na rysunku 6.

Podane zależności pozwalają na stwierdzenie, że zjawiska powierzchniowe będą sprzyjać wypływowi cieczy z przestrzeni wewnątrz zbrojenia, gdy będzie spełniony warunek

$$\theta > \theta_{kr} \quad (5)$$



Rys. 5. Zależność wartości równania (4) od wartości θ
 Fig. 5. Relationship between the value from equation (4) and θ



Rys. 6. Zależność wartości krytycznego kąta zwilżania od kąta α i wartości x
 Fig. 6. Dependence of critical wetting angle on the angle α and the value x

Dla niskich wartości x i dla α bliskiego zarówno -180° , jak i $+180^\circ$ wypłynięcie cieczy jest mało prawdopodobne. Stąd można przewidywać, że z pustek przedstawionych przykładowo na rysunku 3d, e, ciecz nie wypłynie całkowicie.

BADANIA WARUNKÓW WYPIŹYWANIA OSNOWY KOMPOZYTÓW W RÓŻNYCH WARUNKACH

Warunki, w jakich przeprowadzono próby recyklingu kompozytów, oraz ich wyniki przedstawiono w tabeli 1. Potwierdzają one wniosek wypływający z rozważań teoretycznych przedstawionych wcześniej. Otrzymany niższy od 100% uzysk metalu musi być wynikiem lokalnego niespełnienia kryterium $\theta > \theta_{kr}$, co, jak wynika z rysunku 3 i zależności (4), może występować w niewielkim stopniu.

TABELA 1. Warunki i wyniki prób recyklingu 2 kompozytów nasyconych
 TABLE 1. Conditions and results of recycling trials of 2 saturated composites

Lp.	Zbrojenie	Osnowa	Ośrodek	Napięcie powierzchniowe metalu, mN/m	Kąt zwilżania zbrojenia przez metal, $^\circ$	Wyniki prób określenia uzysku metalu, %
1	prasowane krótkie włókno glinokrzmianowe	TBC12	powietrze	465	132	0
2		TBC12	olej maszynowy	brak danych	brak danych	87,8
3		AlSi11	powietrze	840÷900	145	0
4		AlSi11	żużel	750÷810	pow. 170	94,5

WNIOSKI

1. Określenie krytycznej wartości kąta zwilżania zbrojenia ciekłym metalem osnowy, powyżej wartości którego zjawiska powierzchniowe będą sprzyjać procesowi rozdzielania składników kompozytu jest możliwe tylko w przypadku, gdy strukturę geometryczną można opisać.
2. W przeciwnym przypadku krytyczny kąt zwilżania zawarty jest pomiędzy wartościami 90° ÷ 180° .
3. W ośrodku powietrza zachodzi małe prawdopodobieństwo samoczynnego wypływania ciekłej osnowy z ceramicznego zbrojenia kompozytu.
4. Uzysk metalu w procesie recyklingu badanych kompozytów jest tym większy, im kąt zwilżania zbrojenia ciekłą osnową jest bliższy wartości 180° .

LITERATURA

[1] J. Jackowski, Nagolska D., Szweycer M., Recykling metalowych kompozytów nasyconych, IV Seminarium Kompozyty 2000 - teoria i praktyka, Ustroń-Jaszowiec 29-31.03.2000, 283-289.
 [2] Szweycer M., Theoretical basis of recycling of metal-matrix cast composites, Adv. Manufact. Sci. Technol. 2000, 24, 1, 113-122.
 [3] Grabian J., Sposób wyznaczania parametrów nasycania kompozytów metalowych, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji 2000, 20, 1, 45-54.
 [4] Szweycer M., Surface phenomena in metal matrix cast composites technology, Wyd. ITMat PP i CIATF, Poznań 1998.

Recenzent
 Henryk Leda