

MORFOLOGIA CZĄSTEK WZMOCNIENIA W KOMPOZYTACH ODLEWANYCH

M. CHOLEWA¹

Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów
Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Odlewnictwa,
Polska, 44-100 Gliwice, ul. Towarowa 7

STRESZCZENIE

W opracowaniu wykazano znaczne zróżnicowanie powierzchni cząstek a w następstwie powierzchni kontaktu komponentów w zależności od rodzaju użytego komponentu wzmacniającego i wielkości cząstek. W analizie przyjęto cząstki w kształcie geometrycznych regularnych brył oraz cząstki rzeczywiste o kształtach zbliżonych do teoretycznych, z materiałów powszechnie stosowanych w technologiach wytwarzania kompozytów. Pominięto wpływ technologicznego modyfikowania powierzchni, które istotnie zwiększa powierzchnię rozwinięcia cząstek.

Key words: composites, reinforced, morphology

1. WPROWADZENIE

Postać geometryczna cząstek wzmacniających w kompozytach kształtuje proces zwilżania, wpływając tym samym na warunki tworzenia kompozytu w stanie ciekłym i stałym. Strefa kontaktu istotnie kształtuje własności użytkowe odlewów kompozytowych. Na etapie projektowania dobór komponentów pod względem ich korelacji fizycznej i chemicznej powinien być weryfikowany pod względem maksymalnego wykorzystania morfologii cząstek wzmacniających. Opracowanie jest

1 Dr hab. inż., adiunkt, Mirosław.Cholewa@polsl.pl

próbą odpowiedzi na pytanie jak dalece najczęściej stosowane cząstki, o różnej wielkości, różnią się morfologią.

2. MORFOLOGIA CZĄSTEK ZBROJENIA

Badania miały na celu określenie wielkości zakresu zmian powierzchni kontaktu osnowy i zbrojenia w zależności od postaci geometrycznej cząstek zbrojących. Analizowano kształt cząstek z pominięciem technologicznego rozwinięcia powierzchni. Takie założenie uznano za wystarczające dla uzasadnienia konieczności opisu geometrycznej postaci cząstek. Wyboru badanych materiałów dokonano kierując się wymaganiami stawianymi dla kompozytów odpornych na zużycie cierne

2.1. Analiza cech geometrycznych hipotetycznych cząstek w postaci geometrycznych brył regularnych

Rozpatrzono wprowadzenie do umownej objętości sześciennego mikroobszaru osnowy dodatkowej objętości materiału stanowiącego wzmocnienie. Objętość wzmocnienia przyjęto, w postaci sześciennego bryły przed jej przyszłym rozdrobieniem do frakcji właściwej stosowanym dyspersjom kompozytowym. W wyniku przeprowadzonej analizy porównano przyrosty powierzchni kontaktu przy pełnym zwilżeniu. Przyrost objętości odlewu spowoduje przyrost wymiaru z wartości a do x oraz powierzchni - do nowej wartości z indeksem nx :

$$S = 6a^2 \quad (1)$$

$$S_{nz} = 6x^2 \quad (2)$$

$$\frac{S_{nz}}{S} = \frac{6a^2(1+k)^{\frac{2}{3}}}{6a^2} = (1+k)^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

$$\Delta S_z = 6a^2 \left((1+k)^{\frac{2}{3}} - 1 \right) \quad (4)$$

gdzie: S_n - nowe zwiększone pole powierzchni odlewu, k - objętościowy udział zbrojenia przed rozdrobieniem w przedziale $k:(0:1)$.

Całkowitą powierzchnię kontaktu metalu z obcym składnikiem należy powiększyć o powierzchnię wprowadzonego, rozdrobnionego zbrojenia:

$$S_n = S_{nz} + S_w \quad (5)$$

$$S_w = 6(x-a)^2$$

$$S_n = 6a^2 \left((1+k)^{\frac{2}{3}} - 2(1+k)^{\frac{1}{3}} + 1 \right) \quad (6)$$

$$\frac{S_n}{S} = (1+k)^{\frac{2}{3}} - 2(1+k)^{\frac{1}{3}} + 1 \quad (7)$$

$$\Delta S = S_n - S$$

$$\Delta S = 6a^2 \left((1+k)^{\frac{2}{3}} - 2(1+k)^{\frac{1}{3}} \right) \quad (8)$$

gdzie: S_w - dodatkowa powierzchnia cząstek w kształcie sześcianu.

Fracjonowanie bryły sześcianu zbrojenia określa wartość n będąca wykładnikiem dyspersji: $d=10^n$. Jeśli przyjąć, że wprowadzono do ciekłego metalu pewną objętość zbrojenia, stanowiącą udział równy k , objętość odlewu wynoszącą $V=a^3$, stopień dyspersji n , to wówczas, przyjmując cząstki o kształcie sześciennym, spowoduje to przyrost powierzchni wobec pierwotnej objętości sześcienniej:

$$\frac{\sum_n S_n}{S} = 10^n$$

$$\Delta S = 6a^2 (10^n - 1) \quad (9)$$

Gdyby cząstki były kulami o promieniu r , o tej samej objętości co sześciany wówczas,

$$r = 10^{-n} \left(\frac{3}{4\pi} \right)^{\frac{1}{3}} a \quad (10)$$

a odpowiedni przyrost powierzchni wynosiłby:

$$\frac{\sum S_n}{S} = \frac{(6^2 \pi)^{\frac{1}{3}}}{6} 10^n \approx 0,81 \cdot 10^n$$

$$\Delta S = \left((6^2 \pi)^{\frac{1}{3}} 10^n - 6 \right) a^2 \approx (0,81 \cdot 10^n - 6) a^2 \quad (11)$$

Dla cząstek w kształcie czworościanów foremnych o krawędzi k :

$$k = 12^{\frac{1}{3}} 2^{\frac{-1}{6}} 10^{-n} a \quad (12)$$

odpowiedni przyrost powierzchni wyniesie:

$$\frac{\sum S_n}{S} = \frac{12^{\frac{2}{3}} 2^{\frac{-1}{3}} 3^{\frac{1}{2}}}{6} 10^n = 1,20 \cdot 10^n$$

$$\Delta S = \left(12^{\frac{2}{3}} 2^{\frac{-1}{3}} 3^{\frac{1}{2}} 10^n - 6 \right) a^2 \approx (1,20 \cdot 10^n - 6) a^2 \quad (13)$$

Przy zachowanym udziale objętościowym całkowita powierzchnia rozwinięcia cząstek kulistych jest o około 20 % mniejsza od powierzchni cząstek sześciennych. Analogicznie, cząstki czworościenne powodują przyrost powierzchni o 20 %. Różnice, aczkolwiek znaczne – sięgające 40%, nie są reprezentatywne dla rzeczywistych warunków tworzenia kompozytów. Technologiczny dobór frakcji wzmocnienia odbywa się, bowiem poprzez analizę sitową. Wówczas cząstki segregowane są na podstawie wymiarów gabarytowych, rozumianych w skrajnym przypadku jako promień kuli opisanej na cząstce w przybliżeniu równoosiowej. Zakładając skrajny przypadek, że cząstka sześcienna o boku a odpowiada dokładnie prześwitowi oczka w sicie,

to cząstki utworzone przy tym samym stopniu dyspersji i przy tym samym udziale objętościowym będą w porównaniu do sześcianu:

kulami o średnicy:

$$D=1,24 a \quad (14)$$

czworościanami o wymiarze kuli opisanej:

$$D_{cz}=1,84 a \quad (15)$$

gdzie: a - jest wymiarem krawędzi sześcianu.

Wprowadzając cząstki po analizie sitowej t.j. o porównywalnych skrajnych wymiarach w tym samym udziale wagowym lub objętościowym, wprowadza się w rzeczywistości cząstki różniące się wielokrotnie powierzchnią rozwinięcia. Ważny jest przy tym jednostkowy stosunek powierzchni do objętości, co obrazuje współczynnik oznaczony jako moduł morfologiczny M_m [1].

$$M_m = \frac{F}{V} \quad (16)$$

gdzie: F , V - odpowiednio powierzchnia zewnętrzna oraz objętość zbrojenia dyspersyjnego.

Moduł morfologiczny w kompozycie wskazuje na wielkość powierzchni wnikania ciepła (powierzchni rozwinięcia strefy między komponentami), przypadającą na jednostkową ilość ciepła zmagazynowaną w zbrojeniu (proporcjonalną do objętości), przy czym zależność wiąże również wielkość cząstek. Podanie ilości i ziarnistości dowolnego materiału wzmocnienia niewiele mówi o wielkości powierzchni rozdziału faz. Wielkość powierzchni kontaktu komponentów przypadająca na jednostkę objętości zbrojenia (M_m) może dawać pewne przybliżenie cieplnych zależności w procesach krystalizacji i krzepnięcia. Pełny obraz wpływu zbrojenia jest złożeniem cech morfologicznych samego zbrojenia z cechami morfologicznymi lokalnej nieciągłości osnowy, odpowiadającej wprowadzonej cząstce zbrojącej. Podobieństwo kształtu obu powierzchni, tworzących strefę przejścia, zależy od jakości zwilżenia. Przy doskonałym zwilżeniu obie powierzchnie można opisać tą samą funkcją powierzchniową, różniąc ją znakiem w zależności od rodzaju komponentu. W ślad za rosnącą poprawnością zwilżenia następuje wzrost oddziaływań adhezyjno - chemicznych, których skutkiem jest lokalna zmiana własności termofizycznych - w głównej mierze osnowy, ale także zbrojenia. Zmiany własności są następstwem procesów dyfuzyjnych, których intensywność jest zależna od stanu skupienia, temperatury, wielkości powierzchni kontaktu reagentów, czasu kontaktu i potencjałów termodynamicznych tworzenia nowych związków w strefie granicznej. W tabelicy 1 zestawiono wielkości modułu morfologicznego cząstek o kształtach brył foremnych w wielkościach, najczęściej stosowanych w technikach kompozytów *ex situ*. Zestawienie sporządzono zakładając maksymalny gabarytowy wymiar cząstek wynikający z analizy sitowej, zgodnie z wymaganiami technologicznymi. Z przedstawionych analiz wynika, że wraz ze zmniejszaniem wymiarów cząstki zróżnicowanie modułu morfologicznego wzrasta. Przykładem bryły o dużej powierzchni rozwinięcia jest czworościan. Czworościan stanowi morfologiczną granicę foremnych brył, za którymi nieforemne rzeczywiste cząstki tworzą przestrzeń znacznie różniących się postaci geometrycznych.

W porównaniu do rzeczywistych cząstek o spreparowanej powierzchni bryły idealne niewiele różnią się modulem. Wobec stwierdzonego znacznego zróżnicowania powierzchni zbrojenia w zależności od kształtu i wymiarów podjęto analizę potencjalnych materiałów zbrojących.

Tablica .1. Wielkości modułów morfologicznych w cząstkach o kształcie brył idealnych w zależności od wielkości cząstek, [μm^{-1}]

Table 1. Morphological modulus for particles with geometry of ideal solids in function of particle size [μm^{-1}]

Moduł morfologiczny [1/ μm]		Wymiar prześwitu oczka znormalizowanego sita [μm]						
		71	56	40	32	20	16	10
Kształt cząstki	KULA	0,085	0,107	0,150	0,188	0,300	0,375	0,600
	WALEC	0,120	0,152	0,212	0,265	0,424	0,530	0,849
	SZEŚCIAN	0,147	0,186	0,260	0,325	0,520	0,650	1,039
	CZWOROŚCIAN	0,761	0,964	1,35	1,688	2,700	3,375	5,400

2.2. Analiza cech geometrycznych rzeczywistych cząstek o modelowym kształcie i wielkości

Proponowana metoda, polega na badaniu potencjalnego dyspersyjnego dodatku i daje informacje potrzebne do projektowania kompozytu. Metoda opiera się wówczas na badaniu rzutów poszczególnych frakcji cząstek na płaszczyznę obserwacji mikroskopowej. Najczęściej analizy prowadzi się dla cząstek o wysokiej twardości, jak np. korund lub karborund. Przyjęty sposób analizy pozwala pominąć często bardzo kłopotliwą preparatykę próbek do badań opartych na ocenie powierzchni właściwej metodami fizycznymi.

Tablica 2, Zależności geometryczne w modelowych cząstkach ceramicznych [5]

Table 2. Geometrical relations in modeled ceramic particles [5]

Wielkość geometryczna	SiO ₂		SiC		Al ₂ O ₃	
	Średnia	Odchyl. stand.	Średnia	Odchyl. stand.	Średnia	Odchyl. stand.
Powierzchnia [μm^2]	31102	13401	20743	4788	16564	5959
Obwód [μm]	656	255	586	77	546	116
Liczba obiektów [1/1]	49 w 12 polach		56 w 8 polach		50 w 7 polach	
M_m [1/ μm]	0,021		0,028		0,033	

Badania przeprowadzono za pomocą zestawu do analizy ilościowej – „Magiscan 2” złożonego z komputera i sprzężonego z nim mikroskopu optycznego firmy „Joyce-Loebl” [1÷5]. W tabelicy 2 zamieszczono wartości modułu. Do badań wykorzystano materiały, których cząstki posiadają najczęściej spotykany kształt. Przyjęto, że w obszarze jednej frakcji cząstki posiadają statystycznie ten sam wymiar gabarytowy, wynikający z analizy sitowej.

3. WNIOSKI

- Moduł morfologiczny korundu i karborundu bardziej odpowiada zależnościom typowym dla czworościanów niż dla kul.
- Cząstki Al_2O_3 posiadają istotnie większą powierzchnię rozwinięcia od cząstek SiC.
- Wykazano znaczne zróżnicowanie postaci geometrycznej cząstek rzeczywistych materiałów wzmacniających jeszcze przed wykonaniem typowych zabiegów technologicznych zmierzających do modyfikacji zjawisk powierzchniowych.

LITERATURA

- [1] M. Cholewa, J. Gawroński: *Krzepn. Met. i St.*, v. 31, Bielsko-Biała, 1997, s. 23.
- [2] J. Gawroński, M. Cholewa, J. Szajnar: *A. Metall. Sl.*, v. 7, t. 1, Kosice 2001, s. 391.
- [3] M. Cholewa.: *Krzepn. Met. i St.*, v. 2, nr 44 Katowice, 2000, , s. 57.
- [4] M. Cholewa, J. Gawroński.: *M. Konf. Zvys. akosti v zliveren.*, Žylina, 1997, s. 87.
- [5] M. Cholewa, J. Gawroński.: *Krzepn. Met. i St.*, v. 2, nr 44, Katowice, 2000, s. 71

Praca finansowana w ramach PBZ-KBN-K122/T08/2005, zad. II.4.1

MORPHOLOGY OF REINFORCING PARTICLES IN CAST COMPOSITES

SUMMARY

This work indicates diversification of reinforcing particle surface and following diverse contact surface for different reinforcement and its size. In conducted analyses reinforcing particles of regular and real shape solids were taken with properties of commonly used reinforcing materials. Technological treatment of particles surface was neglected, although it strongly increases particle surface development.

Recenzował Prof. Jan Szajnar