

KORELACJE MIĘDZY CIEPLNO-GEOMETRYCZNYMI WŁAŚCIWOŚCIAMI ZBROJENIA W KOMPOZYTACH DYSPERSYJNYCH

M. CHOLEWA¹

Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska,

STRESZCZENIE

W opracowaniu zaprezentowano wybrane wyniki analizy ilościowej modelowych cząstkami zbrojącymi. Przedstawiono podstawowe związki geometryczne wskazując na proporcje w zewnętrznej powierzchni i objętości zbrojenia w funkcji wielkości cząstek zbrojących. Przeprowadzono analizę ilościową w teoretycznych cząstkowych elementach zbrojących oraz specjalnie dobranych rzeczywistych ceramicznych cząstkach. Przedstawiono ponadto wnioski z przebiegu symulowanego krzepnięcia modelowych mikroobszarów kompozytowych.

1. WPROWADZENIE

Proces krzepnięcia odlewu kompozytowego jest zależny od fizycznego i chemicznego oddziaływania zbrojenia. Rozważany poniżej cieplny wpływ zbrojenia w zakresie temperatur krzepnięcia cechuje, często nieliniowa zmienność, czynników termofizycznych. Kształtują one dynamikę procesu, są zatem odpowiedzialne za strukturę a zatem także za użytkowe właściwości kompozytu[1]. Wyznaczane metodami np. symulacji: prędkości przyrastania warstwy zakrzepłej czy też czasy krzepnięcia wybranego obszaru lub całego odlewu to wielkości opisujące skutek działania elementarnych i wypadkowych strumieni ciepła, o zmiennej gęstości wynikającej ze zróżnicowania stosowanego zbrojenia. Elementy zbrojące różnią się ciepłem właściwym, gęstością masy, współczynnikiem przewodzenia ciepła, wielkością udziału objętościowego oraz powierzchnią rozwinięcia. Stop osnowy krzepnie, zatem odmiennie niż w tradycyjnych warunkach. Należy przyjąć, iż w klasyczny bilans cieplny układu odlew - forma - otoczenie należy uzupełnić o wskazane właściwości

¹ Dr inż. e-mail: sekrmt3@zeus.polsl.gliwice.pl

cieplne i geometryczne zbrojenia i faz strefy przejścia. Jak stwierdzono na podstawie wcześniejszych badań, obecność zbrojenia w osnowie powoduje zawężenie przedziałów czasu krzepnięcia i rozszerzenie zakresów odpowiadających im temperatur. W klasycznych materiałach konstrukcyjnych izotropia strukturalna jest dominująca. W przypadku projektowania kompozytów izotropia wieloskładnikowej struktury i właściwości eksploatacyjnych bywa zachowywana w makroskali. W mikroskali oraz w wielu typowych rozwiązaniach odlewanych elementów kompozytowych przewodnictwo cieplne odpowiedzialne za lokalne strumienie ciepłe jest tensorem.

2. FIZYCZNY SENS MODUŁU MORFOLOGICZNEGO

W poniższej analizie przedstawiono związki między cechami geometrycznymi zbrojenia a wybranymi parametrami opisującymi dynamikę procesu krzepnięcia.

Dla wyeksponowania związku pojemności cieplnej ze zdolnością do przekazywania ciepła zaproponowano, przez analogię do “modułu krzepnięcia odlewu” wprowadzenie pojęcia modułu cieplnego zbrojenia, który jednak wskazuje na morfologiczne cechy zbrojenia. Zdefiniowany podobnie – jako iloraz powierzchni kontaktu zbrojenia z osnową do objętości (lub stosunku długości strefy granicznej komponentów, w odniesieniu do przekroju do pola powierzchni przekroju zbrojenia).

Moduł cieplny zbrojenia [2]:

$$M_z = \frac{F_z}{V_z} = \frac{O_z}{S_z} \left[\frac{1}{m} \right] \quad (1)$$

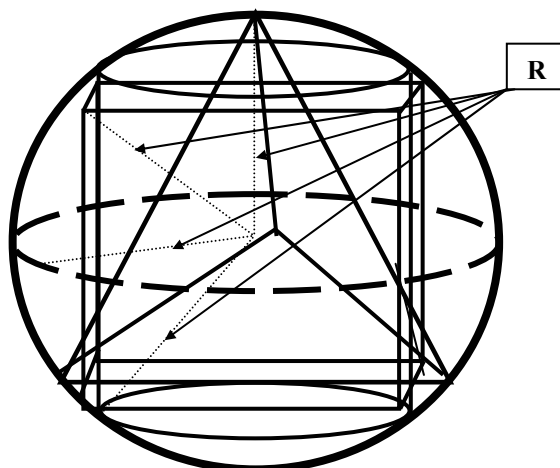
gdzie:

F, V, O, S – odpowiednio: powierzchnia zewnętrzna, objętość cząstek zbrojących, obwód i pole powierzchni przekroju zbrojenia,

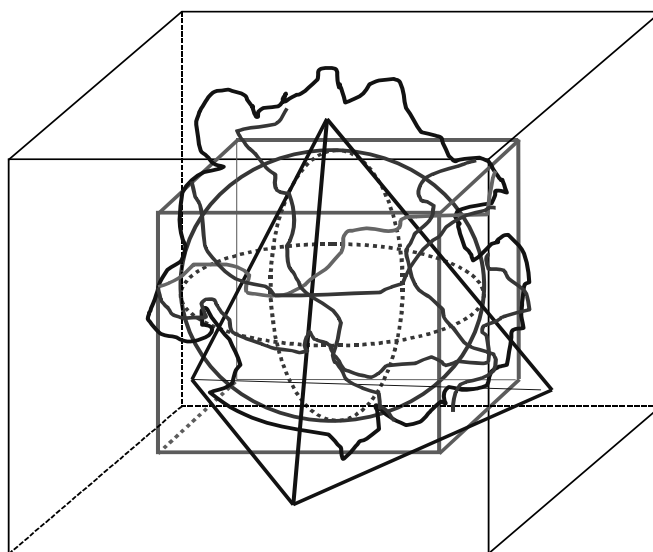
Indeks „z” odnosi się do zbrojenia

Istnieje możliwość przyjęcia dwojakich założeń przy analizie cieplnego oddziaływania elementów zbrojących w mikroobszarze kompozytowym:

1. cząstki posiadają ten sam wymiar gabarytowy wynikający z prześwietu oczek zestawu sit dzielącego sypki materiał zbrojący na wymagane frakcje. Obrazuje to rysunek 1, na którym bryła o największej objętości przy wspólnym gabarycie opisywanym umownie promieniem „R” jest kula. Dalej w kolejności znajduje się walec, sześcián i czworóścian. W następnej kolejności znajdują się typowe cząstki: SiC, Al₂O₃ i C_{gr} wytwarzane syntetycznie a powstające na skutek mielenia.
2. na rysunku 2 pokazano przypadek, w którym elementarna – sześcienna objętość osnowy zajmują cząstki o tym samym udziale objętościowym, lecz odmiennym wymiarze gabarytowym. Schematycznie zaznaczono także postać geometryczna rzeczywistej cząstki grafitu syntetycznego ELS-395 obrabianej cieplnie i chemicznie.



Rys.1. Schemat teoretycznych kształtów cząstek charakteryzujących się tym samym wymiarem gabarytowym „R”.
 Fig.1. Scheme of theoretical shapes of particles with the same overall dimension “R”

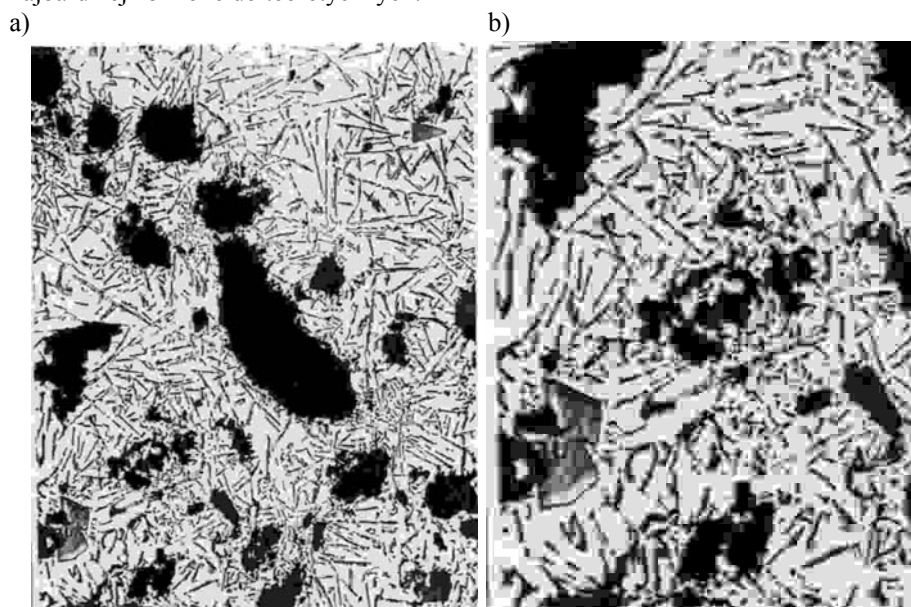


Rys.2. Schemat kształtów cząstek charakteryzujących się jednakową objętością
 Fig.2. Scheme of shapes of particles with the same volume

Na kolejnych rysunkach 3 a) i b) pokazano mikroskopowe obrazy cząstek badanego grafitu w osnowie około eutektycznego stopu Al-Si. W tabelicy 1. zestawiono wielkości modułu morfologicznego dla cząstek o idealnej, teoretycznej geometrii. Wiersze „w

funkcji R kuli” podają wielkość modułu brył wyrażony w funkcji ich wymiaru charakterystycznego „ R ”. w ostatnich dwóch wierszach te same wielkości odniesiono do stanu, w którym bryły posiadają równą objętość co wiąże się z ich znacznie zróżnicowanymi wymiarami

W dalszej kolejności poddano szczegółowym badaniom cząstki o zbliżonych wymiarach uzyskanych przez przesiewanie na znormalizowanym zestawie do analizy sitowej. Do badań wytypowano materiały, których cząstki posiadają kształty możliwie najbardziej zbliżone do teoretycznych.



Rys. 3. Mikrografia cząstek syntetycznego grafitu w osnowie okołoeutektycznego stopu Al-Si (pow. a – 120x, b – 350x)

Fig.3. The micrograph of synthetic graphite particles in matrix of circumeutectic alloy Al-Si (zoom a) 120x, b) 350x)

3. BADANIA ILOŚCIOWE ZBROJĄCYCH, MODELOWYCH MATERIAŁÓW CERAMICZNYCH

Materiałem, do którego dobrano pod względem wielkości pozostałe materiały zbrojące był wzorcowy piasek kwarcowy (SiO_2). Ziarna piasku posiadają prawie idealnie kulisty kształt i pomimo swych znacznych rozmiarów rzędu $150 \mu\text{m}$ doskonale nadają się do badań modelowych kompozytów. Analizie ilościowej poddano cząstki Al_2O_3 , SiC i SiO_2 . Zaprezentowano niektóre, wybrane wyniki analizy ilościowej pozwalające na określenie wielkości geometrycznych charakteryzujących cząstki.[3]

Tabela 1. Wielkości modułów morfologicznych w cząstkach o kształcie brył idealnych
 Table 1. Sizes of morphological modules in particles with ideal solid shape

	$M_m = F_z/V_z = O_z/S_z$ [1/ μm]			
	KULA	WALEC	SZEŚCIAN	CZWOROŚCIAN
Ogólnie	$3/R$	$2(h+r)/rh$	$6/a$	$12x(3/2)^{0,5}/a$
w funkcji „R” kuli	$3^1/R$	$3x2^{0,5}/R$	$3^{1,5}/R$	$3^3/R$
	$3/R$	$(4,2/R)$	$(5,2/R)$	$(27/R)$
dla stałej objętości lub ustalonego Udziału masowego	$3/R$	$3/(2/3)^{0,33}R$	$3x(6/\pi)^{0,33}/R$	$3^{1,5}x(2/\pi)^{0,33}/R$
	$(3/R)$	$(3,43/R)$	$(3,72/R)$	$4,47/R$

W tabelicy 2 zestawiono średnie reprezentatywne powierzchnie, obwody gabarytowe wymiary: umowną długość i szerokość. Podano także poniżej liczebność odpowiednich populacji cząstek. W ostatnim wierszu tabelicy zamieszczono ostateczny wynik jakim jest wartość modułu. Analiza ilościowa pozwoliła przybliżyć rzeczywiste cechy cząstek, uporządkować je i porównać do cech cząstek idealnych.

4. SYMULACJA KRZEPNIĘCIA MIKROOBSZARÓW KOMPOZYTOWYCH

Na podstawie uzyskanych wielkości przeprowadzono symulacje krzepnięcia mikroobszarów kompozytowych zawierających po jednej wybranej cząstce. Spośród cząstek rzeczywistych do obliczeń symulacyjnych wprowadzono cząstkę korundową - z uwagi na wyraźnie rozwiniętą jej powierzchnię zewnętrzną. Pozostałe mikroobszary utworzono z cząstkami o idealnej geometrii posiadających przekroje w kształcie koła, sześciangu, kwadratu i trójkąta. Przyjęto płaski układ badanego kwadratowego mikroobszaru złożonego z okołoeutektycznej osnowy zawierającej w centrum cząstkę. Dalej założono jednokierunkowy ruch ciepła przy początkowych warunkach temperaturowych zbrojenia i osnowy odpowiednio różnych 300 i 720 °C. Temperatury równowagowe - to jest jednakowej wartości dla osnowy i zbrojenia dla wszystkich rodzajów cząstek znajdują się w pobliżu wartości 690÷710°C i są około 100° powyżej temperatury likwidus osnowy. Po przeprowadzeniu obliczeń symulacyjnych porównano wielkości czasów krzepnięcia oraz gradientów temperatury różnych mikroobszarów kompozytowych. W tabelicy 3 zestawiono wyniki w postaci ilorazów odnosząc średnie ich wartości na kierunku oddawania ciepła do analogicznego mikroobszaru stopu Al-Si tj. osnowy nie zawierającej cząstek zbrojących.

Tabela 2. Zależności geometryczne w modelowych cząstkach ceramicznych
Table 2. Geometric relations in model ceramic particles

	Piasek kwarcowy		Węglik krzemu		Tlenek aluminium	
	Średnia	Odchyl. Stand.	Średnia	Odchyl. Stand.	Średnia	Odchyl. Stand.
Powierzchnia [μm^2]	31102	13401	20743	4788	16564	5959
Długość [μm]	236	74	221	40	203	50
Szerokość	185	52	146	23	127	33
Obwód [μm]	656	255	586	77	546	116
Liczba obiektów	49 w 12 polach		56 w 8 polach		50 w 7 polach	
M_m [$1/\mu\text{m}$]	0,021		0,028		0,033	

Tabela 3. Oddziaływanie kształtu zbrojenia na dynamikę ruchu ciepła w osnowie mikroobszaru kompozytu i wpływ na czasy krzepnięcia.
Table 3. Influence of reinforcement shape on thermal motion dynamics in matrix of micro-zone composite and its influence on solidification time.

Postać zbrojenia	Moduł morfologiczny $F_z/V_z=O_z/F_z$	Iloraz gradientów G_k/G_0	Iloraz czasów krzepnięcia t_k/t_0
Cząstka rzecz.	0,032	1,49	0,790
Trójkąt	0,027	1,61	0,799
Kwadrat	0,024	2,02	0,802
Sześciokąt	0,022	1,75	0,809
Koło	0,021	1,91	0,783

gdzie:

G_k/G_0 - iloraz uśrednionych w przestrzeni mikroobszaru gradientów temperatury w przedziale krzepnięcia -odpowiednio kompozytu do osnowy bez cząstek zbrojących,

t_k/t_0 - - iloraz uśrednionych w przestrzeni mikroobszaru czasów krzepnięcia -odpowiednio kompozytu do osnowy bez cząstek zbrojących

5. WNIOSKI I UWAGI

1. Pod względem morfologii cząstki rzeczywiste są statystycznie zbliżone do regularnych brył geometrycznych:
2. Cząstki badanego piasku (SiO_2) można za pomocą modułu morfologicznego bardzo dobrze przedstawiać i opisywać zastępując je idealnym kształtem kuli (w przekroju kołem)
3. Cząstki SiC pod względem wielkości modułu morfologicznego odpowiadają foremnym czworościanom (w przekroju trójkątom)
4. Cząstki o bardziej rozwiniętej powierzchni w stosunku do jednostkowej objętości np. korundu (Al_2O_3) a w szczególności podobnych do grafitu (C_{gr}) wymagają indywidualnego określenia modułu morfologicznego
5. Prawdopodobnie czynnikami wpływającymi na powtarzalność postaci morfologicznej cząstek w funkcji zmiennych ziarnistości jest czystość chemiczna i poprawność proporcji stechiometrycznych związków chemicznych
6. Wraz ze wzrostem modułu morfologicznego maleją gradienty temperatury, przy czym na powierzchniach prostopadłych do kierunku oddawania ciepła gradienty wznoszą
7. Obecność zbrojenia skraca czasy krzepnięcia i zależy prawdopodobnie od udziału objętościowego zbrojenia i jego właściwości termofizycznych..
8. Wielkość przedziału czasu krzepnięcia nie zależy od morfologii zbrojenia.

LITERATURA

- [1] Cholewa M., Gawroński J., Szmatoch P., Potempa A.: Krystalizacja kompozytów zbrojonych cząstkami ceramicznymi SiC i Al_2O_3 , III Konf.: "Zjawiska powierzchniowe w procesach odlewniczych" PAN Poznań, Pol. Poznańska, Kołobrzeg 10. 1996;
- [2] Cholewa M.: Opis krzepnięcia mikroobszaru kompozytowego zbrojonego elementami dyspersyjnymi za pomocą modułu morfologicznego, „Kompozyty 2000’ Teoria i Praktyka” PTMK Ustroń 2000r
- [3] Cholewa M., Gawroński J: Morfologia cząstek zbrojących SiC i Al_2O_3 w odlewanych kompozytach odpornych na zużycie. Międzyn. Konf. "Teoria i praktyka procesów odlewniczych" Kom. Odlewn. PAN Katowice, Pol. Łódzka, Bielsko - Biała 05. 1997r.

**THE CORRELATION BETWEEN THERMAL-GEOMETRIC
CHARACTERISTICS OF REINFORCEMENT IN DISPERSION COMPOSITES**

SUMMARY

In this study chosen results of quantitative analysis of model reinforcing particles were presented. There were presented basic geometric relations and pointed at proportions in outer surface and volume of reinforcement as a function of reinforcing particles size. There were carried out the quantitative analysis in theoretical reinforcing elements and especially well matched real ceramics particles. There were shown the conclusions of course of simulating solidification of model composite micro-zones.

Reviewed by prof. Stanisław Jura