

Szczepan Tomczyński¹, Marian Mitko²

Politechnika Częstochowska, Katedra Odlewnictwa, al. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa

WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW AK7-SiC PO PONOWNYCH PRZETOPACH

Przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych, fizycznych i trybologicznych kompozytu metalowego poddanego wielokrotnemu przetopieniu. Kompozyt wyjściowy AK7-10%SiC, otrzymany metodą mieszania mechanicznego i odlewania do kokili, przetapiano ponownie, mieszano i odlewano do kokili. Dokonano pomiaru właściwości R_m , A i E podczas próby rozciągania statycznego, a także twardości HB, własności trybologicznych (Z_c , f) i fizycznych (ρ , c , λ). Badania przeprowadzono na kompozycie wyjściowym oraz otrzymanym po pierwszym, drugim, trzecim i czwartym przetopach. Odlewy kompozytowe uzyskane w pierwszych dwóch przetopach swoimi właściwościami zasadniczo nie odbiegają od odlewów wykonanych z kompozytów wyjściowych. Kompozyty uzyskane w następnych przetopach wykazują już znaczne obniżenie właściwości wytrzymałościowych i trybologicznych.

PROPERTIES OF AK7-SiC COMPOSITES AFTER MULTIPLE REMELTING

The basic AK7-SiC composite (10 vol. % of SiC particles of dimensions 63+100 μm) has been prepared by mechanical mixing and gravity casting [1]. Then it has been remelted, mixed and poured into metal molds. Static tensile test (R_m , A , E) have been performed, and measurements concerning hardness (HB), tribological properties (Z_c , f), and physical properties have been taken both for basic composite and for the material obtained after the first, the second, the third and the fourth remelting (Fig. 1). Remelting of composites deteriorate their mechanical and tribological properties. Though after the first remelting changes are small (about 5%), after the fourth remelting they should be already considered as large: tensile strength decreases by 50 MPa, and hardness by 10 HB as compared with the basic composite. Elongation (A) and the elastic modulus (E) changes insignificantly after remelting. The repeated melting causes an increase in abrasive wear and in the coefficient of friction of the examined composites. After two cycles of remelting the increase in abrasive wear Z_c and in the f coefficient is still insignificant. However, after the third and the fourth remelting abrasive wear increases by 30%, and the coefficient of friction by 50% as compared with the basic composite. Density (ρ) of composites after subsequent remelting cycles slightly decrease, but there have not been found changes in specific heat (c) or in the thermal conductivity (λ).

The performed examinations have shown that, in the case of the multiple remelting of AK7-SiC composite, the properties of castings obtained after the first and the second remelting cycle are do not differ much from the ones exhibited by castings obtained directly from basic composite. However, after the third and the fourth remelting composites reveal already significant decrease in strength and tribological properties. This is caused by introducing some impurities during each remelting cycle, and also by degradation of the particle-matrix bonding zone. Hard SiC particles which are not well-bonded with the matrix crumble out and act as abrasive particles at the frictional surface of a kinematic pair. Physical properties, as density, specific heat, and thermal conductivity remain almost unchanged after repeated melting of the composites under investigation. The performed examinations show that the composite waste can be successfully reused as charging material for producing composite castings.

WPROWADZENIE

Recykling, czyli powtórne, a nawet wielokrotne przetapianie odpadów z produkcji odlewów kompozytowych (układów wlewowych, wybrakowanych lub zużytych odlewów) staje się od pewnego czasu problemem w krajach stosujących szeroko odlewane materiały kompozytowe. Czynniki wpływającymi na jakość kompozytu po ponownym przetopieniu mogą być: czas i temperatura kolejnych przetopów, szybkość mieszania, stosowane zabiegi rafinacji, zgar pierwiastków, rozwój (lub hamowanie) ewentualnych reakcji na powierzchni kontaktu metal-ceramika, zmiana napięć powierzchniowych i międzyfazowych w połączeniach adhezyjnych, równomierny rozkład cząstek lub ich aglomeracja, sedymentacja lub wypływanie cząstek. W za-

leżności od występującego w kompozycie mechanizmu połączenia cząstek z osnową przedłużenie czasu kontaktu powierzchni cząstki z ciekłym stopem podczas kolejnych przetopów może prowadzić do rozrostu lub degradacji ewentualnej warstwy przejściowej. W przypadku połączenia typowo adhezyjnego może to wpływać na zwilżalność (pozytywnie lub negatywnie).

MATERIAŁ DO BADAŃ

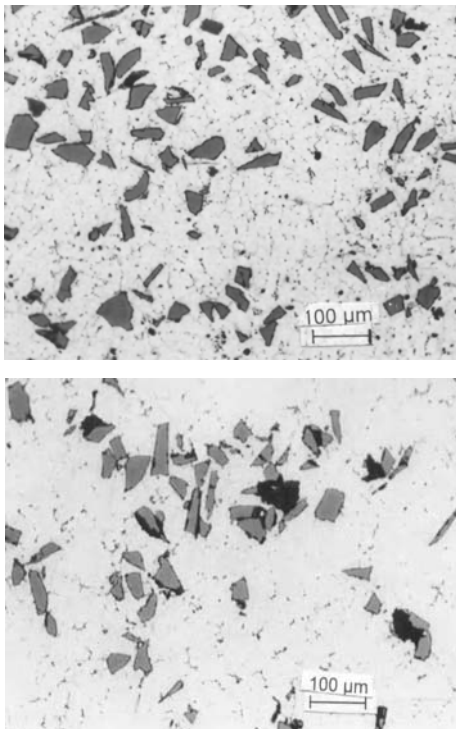
Wsadem do pierwszego przetopu był kompozyt AK7 zbrojony cząstkami SiC (10% obj.) o frakcji 63÷100 μm . Kompozyt wyjściowy [1], jak i po przetopach wy-

¹ dr inż., ² dr inż.

tworzono metodą mieszania i odlewania grawitacyjnego. Kompozyt topiono i przegrzewano do temperatury 750°C w piecu indukcyjnym firmy Leybold-Heraus w atmosferze ochronnej z argonu. Przegrzany metal przelewano do tygla pieca mieszalnika i mieszano mechanicznie przez 1 minutę z prędkością obrotową mieszadła do $\omega = 0,5 \text{ s}^{-1}$. Temperaturę w tyglu mieszalnika utrzymywano na poziomie 700÷710°C. Nad lustrem stopionego kompozytu utrzymywano atmosferę ochronną z argonu. Z tak wytworzonych kompozytów odlewano do kokili metalowej próbkę prętową $\varnothing 20 \times 200 \text{ mm}$, które następnie służyły do badań oraz były ponownie przetapiane. Otrzymano w ten sposób próbki kompozytów przetapianych jedno-, dwu-, trzy- i czterokrotnie.

METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Obserwacja mikroskopowa zglądów metalograficznych wskazuje, że cząstki zbrojące rozmieszczone są równomiernie w osnowie metalowej, jednak po trzech i czterech przetopach obserwuje się wykruszenia cząstek SiC oraz coraz częstsze gromadzenie się zanieczyszczeń na ich powierzchniach (rys. 1).



Rys. 1. Struktura kompozytu stop AK7-SiC (10% obj.), zglądy nietrawione: a) kompozyt po pierwszym przetopie, b) kompozyt po trzecim przetopie

Fig. 1. Structure of AK7-SiC (10 vol. %) composite, non-etched microsections: a) after first remelting, b) after third remelting

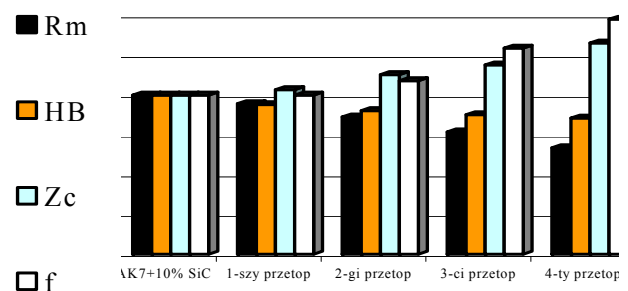
Próbkę rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy ZWICK 1488, stosując standardowe oprogramowanie. Z odlewów wycinano próbki

okrągłe pięciokrotne o średnicy pomiarowej $d_o = 12 \text{ mm}$. Podczas próby rozciągania dokonano pomiaru wytrzymałości na rozciąganie (R_m), wydłużenia względnego (A) oraz modułu sprężystości wzdłużnej (moduł Younga E). Wydłużenie mierzono ekstensometrem z dokładnością do 5 μm . Pomiar twardości przeprowadzono metodą Brinella przy zastosowaniu kulki o średnicy 10 mm obciążonej 2500 N przez 30 sekund. Badania zużycia ściernego kompozytów przeprowadzono na testerze trybologicznym T-05, stosując metodę ścierania prostopadłościenną próbki na rolce stalowej przy styku skoncentrowanym. Maszyna testowa została zmodyfikowana w stosunku do wersji handlowej o system bezpośredniego, dokładnego obciążania próbki. Tester został wyposażony w nowy, dokładniejszy mostek tensometryczny U2B o zakresie pomiarowym do 500 N oraz monitor układu sterowania i pomiarów o większej rozdzielczości. Przeciwną była rolka stalowa $\varnothing 35 \text{ mm}$ o twardości HRC 58÷63 [2]. Badania prowadzono przy następujących parametrach maszyny testowej: prędkość obrotowa przeciwnicy w ruchu ślizgowym - 300 obr/min, obciążenie próbki - 50 N, całkowita droga tarcia - 5000 m. Wyniki badań mechanicznych i trybologicznych dla stopu AK7 oraz kompozytu wyjściowego zestawiono w tabeli 1, a wpływ kolejnych zabiegów przetapiania kompozytu przedstawiono na rysunku 2.

TABELA 1. Własności mechaniczne i trybologiczne materiałów wyjściowych do przetapiania

TABLE 1. Mechanical and tribological properties of basic materials for remelting

Materiał		R_m	A	E	Twardość HB	Z_c	f
stop	cząstki	MPa	%	GPa		mg	[-]
AK7	-	165	2,4	72	58	23,8	0,33
AK7	10% SiC	119	0,7	54	75	11,6	0,44



Rys. 2. Wpływ przetapiania na własności mechaniczne i trybologiczne kompozytu AK7-SiC

Fig. 2. The influence of remelting on the mechanical and tribological properties of AK7-SiC composite

Zabiegi przetapiania kompozytów obniżają ich wytrzymałość na rozciąganie i twardość. Po pierwszym przetopie zmiany te są niewielkie (ok. 5%), jednak po

czwartym przetopie zmiany są znaczne. Wytrzymałość na rozciąganie obniża się o 50 MPa, a twardość o 10 HB w stosunku do kompozytu wyjściowego (przed przetopieniem). Wydłużenie (A) i moduł sprężystości (E) w wyniku przetapiania zmieniają się nieznacznie. Kolejne przetopy powodują wzrost zużycia ściernego oraz współczynnika tarcia badanych kompozytów. Po dwóch przetopach wzrosty zużycia ściernego (Z_c) i współczynnika tarcia suchego (f) są nieznaczne, natomiast po trzecim i czwartym przetopieniu zmiany są duże. Zużycie ściernie wzrasta o 30%, a współczynnika tarcia o 50% w stosunku do kompozytu wyjściowego.

Badania własności fizycznych obejmowały pomiar gęstości (ρ), ciepła właściwego (c) oraz współczynnika przewodzenia ciepła (λ). Gęstość oznaczano z prawa Archimedesesa, ważąc próbki o masie około 150 g z dokładnością 0,01 g w powietrzu oraz w alkoholu etylowym. Ciepło właściwe wyznaczano metodą kalorymetryczną w zakresie 20÷100°C. Współczynnik przewodzenia ciepła wyznaczono, wykorzystując rozwiązanie analityczne przy ustalonym jednokierunkowym przepływie ciepła przez ściankę cylindryczną [3] w zakresie 100÷300°C. Wyniki pomiarów własności fizycznych odlewów ze stopu AK7, kompozytu wyjściowego oraz po przetopach zestawiono w tabeli 2.

TABELA 2. Własności fizyczne materiałów wyjściowych i kompozytów po przetopie
TABLE 2. Physical properties of basic material and the composites after remelting

Badany materiał		Gęstość ρ	Ciepło właściwe c	Wsp. przewod. ciepła λ
przerób	oznaczenie	g/m ³	J/(kg · K)	W/(m · K)
odlew	AK7	2692	890	141
wyjściowy	AK7-10%SiC	2735	902	138
1 przetop	AK7-10%SiC	2719	899	141
2 przetop	AK7-10%SiC	2713	904	137
3 przetop	AK7-10%SiC	2702	893	133
4 przetop	AK7-10%SiC	2703	896	139

Gęstość kompozytów po kolejnych przetapianiach nieznacznie maleje, natomiast nie stwierdzono wpływu przetopów na zmianę ciepła właściwego oraz współczynnika przewodzenia ciepła. Zmiany w badanych własnościach fizycznych nie przekraczają błędu pomiaru.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku ponownych przetapiań kompozytu AK7-SiC odlewy uzyskane po pierwszych dwóch przetopach swoimi właściwościami zasadniczo nie odbiegają od odlewów wykonanych z kompozytów wyjściowych. Jedynie wytrzymałość na rozciąganie obniża się o około 15%, co jednak nie dyskwalifikuje tych odlewów, a jedynie może ograniczać zakres ich zastosowania. Odlewy kompozytowe uzyskane po następnych przetapianiach wykazują już znaczne obniżenie własności wytrzymałościowych i trybologicznych. W wyniku czterech kolejnych przetopów wytrzymałość zmniejsza się, a zużycie ściernie zwiększa o ok. 30%, zaś współczynnik tarcia zwiększa się o ok. 50%. Spowodowane jest to wprowadzaniem przy każdym przetopie pewnych ilości zanieczyszczeń oraz degradacją strefy połączenia cząstek z osnową. W kompozytach tych twarde cząstki SiC, niezwiązane z osnową, wykruszają się i działają jak cząstki ścierniwa w węzle tarcia. Własności fizyczne, takie jak gęstość, ciepło właściwe i przewodność cieplna, nie ulegają praktycznie zmianie w wyniku przetopów badanych kompozytów. Wyniki badań i ich analiza wykazują celowość ponownego wykorzystania zużytych materiałów kompozytowych jako materiału wsadowego do ponownego wytwarzania odlewów kompozytowych.

Praca finansowana z grantu KBN nr 7T08B 039 15.

LITERATURA

- [1] Mitko M., Tomczyński S., Struktura kompozytów AK7-SiC odlewanych grawitacyjnie, *Kompozyty (Composites)* 2, 2002 - w druku.
- [2] Mitko M., Tomczyński S., Tribological and mechanical properties of multi-layer castings of AlSi6Cu4 alloy surface-reinforced with SiC particles. *Medzinarodna vedecka konferencja FUNKCNE POVRCHY 2001*, Trencinska Univerzita v Trencinie, Trencin 2001, Zbornik prednasok, 133-136.
- [3] Braszczyński J., Mitko M., Tomczyński S., Otrzymywanie i własności odlewanych kompozytów Cu-Ti-Pb-C_{gr}, *Krzepnięcie Metali i Stopów*, t. 11, Ossolineum 1987, 47-61.

Recenzent
Edward Guzik