



**Dorota Nagolska**

Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, Poland

\* Corresponding author. E-mail: dorota.nagolska@put.poznan.pl

Otrzymano (Received) 05.02.2008

## RECYKLING ODLEWÓW KOMPOZYTOWYCH ZBROJONYCH SPIEKIEM GLINOKRZEMIANOWYM

Kompozyty metalowe z nasycanym zbrojeniem należą do grupy materiałów, która ze względu na swoje właściwości jest coraz szerzej stosowana zwłaszcza w przemyśle samochodowym. Podczas ich użytkowania następuje jednak degradacja składników kompozytu między innymi metalu osnowy. Uniemożliwia to powtórne jego wykorzystanie bez przeprowadzenia procesów ulepszenia (rafinacji), które można przeprowadzić jedynie po dokonaniu rozdzielania składników kompozytu. Badania recyklingu kompozytów metalowych powstałych poprzez nasycenie zbrojenia ze spieku grafitowego ciekłą osnową metalową wykazały, iż proces rozdzielania składników tego kompozytu jest wyjątkowo trudny. Wyniki badań uzasadniły pytanie, czy w przypadku zastosowania na zbrojenie kompozytów innych rodzajów spieków recykling materiałów kompozytowych będzie równie kłopotliwy. Ponieważ znajomość właściwości powierzchniowych ułatwia porównanie analizowanych układów, do badań wytypowano kompozyty zbrojone spiekami glinokrzemianowym i nasyczone, tak jak i badane wcześniej kompozyty zbrojone spiekami grafitowym, stopami aluminium EN AC- $AlSi12(b)$  oraz ołowiu OT7, ale różniące się porowatością nasycanych kształtek. Kompozyty te poddano recyklingowi w środowisku powietrza i stopionej mieszanki solnej. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, iż w przeciwieństwie do kompozytów zbrojonych spiekami grafitowym kompozyty zbrojone spiekami glinokrzemianowym po dobraniu odpowiednich warunków procesu wynikających z zależności (1) z powodzeniem mogą być poddawane recyklingowi metodą samoistnego wypływanego metalu z porów zbrojenia. Sugerują też, iż przy obecnym stanie wiedzy dla określenia optymalnych warunków recyklingu należy prowadzić badania osobno dla każdej grupy kompozytów oraz to, iż porowatość zbrojenia może być jednym z czynników decydujących o efektywności procesu recyklingu.

**Słowa kluczowe:** recykling, metalowe odlewy kompozytowe, struktura zbrojenia

## RECYCLING OF COMPOSITE CASTS REINFORCED WITH ALUMINOSILICATE SINTER

Metal composites with saturated reinforcement belong to the group of materials that, due to their properties, is more and more commonly used, particularly in the automotive industry. Nevertheless, during their usage the composite components, among others the matrix metal, are subject to degradation. This precludes their secondary use without additional improvement (refining) processes that may be carried out only upon separation of the composite components. The research of metal composites manufactured by saturation of a sintered graphite reinforcement with a liquid metal matrix has shown that the process of separation of the components is extremely difficult. Results of the research were conducive to the question whether the use of other sinters as composite reinforcement gives rise to the same troubles while recycling the composite material. Since the knowledge of surface properties simplifies comparison of the analyzed systems, as a subject of the research were chosen the composites reinforced with aluminosilicate sinter, aluminium EN AC- $AlSi12(b)$ , and lead OT7, but of various porosities of reinforced profiles. Afterwards, the composites were recycled in the environment of air and melted salt mixture. Results of the research have shown that for properly selected conditions of the process according to the relationship (1) the composites reinforced with aluminosilicate sinter (Fig. 4) may be readily recycled with the method of intrinsic metal outflow from the reinforcement pores, as opposed to ones with graphite sinter reinforcement. They also suggest that according to current knowledge separate studies should be carried out for each of the composite groups in order to determine optimal recycling conditions. Moreover, reinforcement porosity may be one of the factors decisive for the recycling process.

**Keywords:** recycling, metal composite casts, reinforcement structure

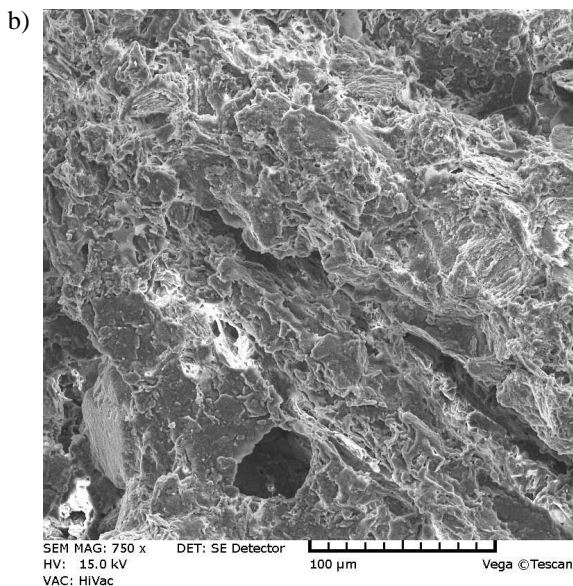
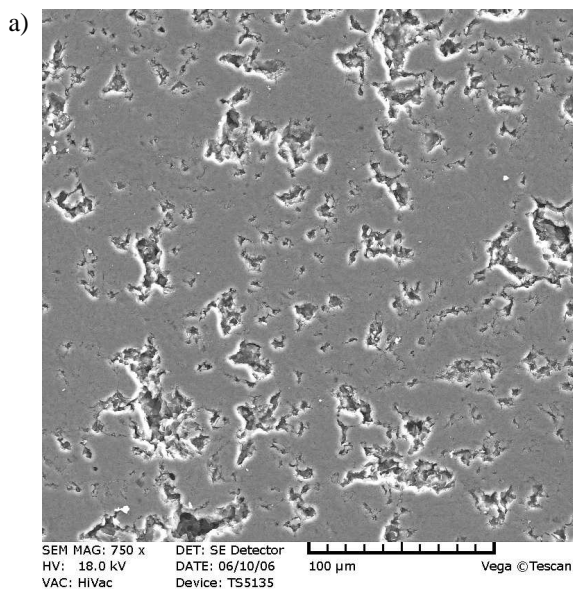
## WPROWADZENIE

Badania prowadzone w Zakładzie Odlewnictwa Politechniki Poznańskiej, dotyczące recyklingu kompozytów metalowych, powstałych poprzez nasycenie zbrojenia w postaci spieku grafitowego (rys. 1a) ciekłą osno-

wą metalową wykazały, iż kompozyty tego typu są wyjątkowo trudne do recyklingu. Powstało jednak pytanie, czy w przypadku zastosowania na zbrojenie kompozytów innych rodzajów spieków recykling metalo-

wych materiałów kompozytowych będzie nastęrczał również wielkich problemów.

Ze względu na dostępność materiałów oraz znajomość właściwości powierzchniowych układu kompozytowego [1] do badań wytypowano kompozyty zbrojone spiekami glinokrzemianowym (rys. 1b) i nasycone stopami aluminium EN AC-ALSi12(b) oraz ołowiu OT7.



Rys. 1. Struktura zbrojenia w postaci spieku: a) grafitowego; b) glinokrzemianowego

Fig. 1. Structure of the reinforcement in the of: a) graphite sinter; b) aluminosilicate sinter

### MOŻLIWOŚCI ROZDZIELENIA KOMPOZYTU

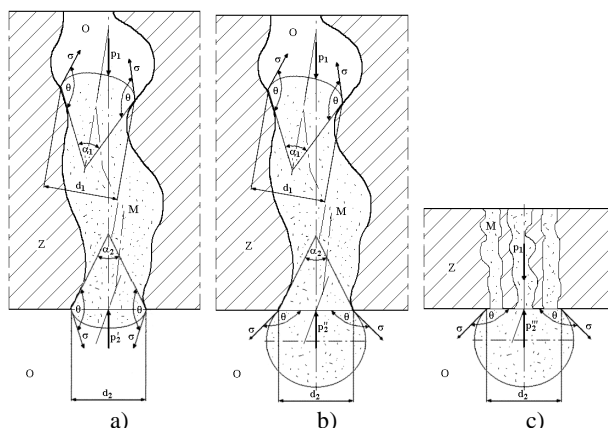
Ze względu na degradację między innymi metalu osnowy kompozyty z nasycanym zbrojeniem mogą być poddawane recyklingowi jedynie metodą rozdzielania składników. Rozdzielanie to może nastąpić dwoma drogami:

- poprzez stworzenie takich warunków, aby nastąpił samoistny proces wypływanienia ciekłej osnowy metalowej z porowatego zbrojenia lub
- poprzez doprowadzenie do rozdzielenia składników rozdrobnionego, a następnie stopionego wraz z solnym ośrodkiem materiału kompozytowego.

O ile uda się odpowiednio dobrać ośrodek, pierwsza z wymienionych metod jest zazwyczaj metodą tańszą, gdyż przeprowadzenie procesu recyklingu wymaga mniejszej liczby zabiegów. Dlatego, planując badania, postanowiono najpierw sprawdzić możliwość recyklingu badanych kompozytów tą właśnie metodą, a dopiero, jeśli nie przyniesie ona zadowalających efektów, podjąć próbę recyklingu drugą z przedstawionych metod.

Warunki umożliwiające samoistne wypływanie metalu z porów zbrojenia omawianych kompozytów zostały opisane w szeregu prac [2-4]. Wynika z nich, iż decydującym o przebiegu procesu jest stosunek ciśnień kapilarnych w drugim z etapów wypływanienia ciekłej osnowy (rys. 2), który wynosi

$$\frac{p_1}{p_2''} = \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{\cos\left(\theta_{Z-M} - \frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\theta_{Z-M}} < -1 \quad (1)$$



Rys. 2. Fazy wypływanienia ciekłego metalu z porów zbrojenia: a) inicjacja, b) wypływanienie z pojedynczego poru, c) łączenie się kropli [4]

Fig. 2. Stage of liquid metal outflow from the reinforcement pores: a) initiation, b) outflow from a single pore, c) joining of the drops [4]

Ponieważ wartości  $d_1$ ,  $d_2$  i  $\alpha$ , charakteryzujące geometryczną strukturę zbrojenia, są trudne do określenia, zależność (1) można przedstawić w postaci

$$n = \frac{p_1}{p_2''} = i \cdot \text{ctg}\theta_{Z-M} = i \cdot n_0 < -1 \quad (2)$$

gdzie:  $\text{ctg}\theta = n_0$  - stosunek ciśnień  $p_1 / p_2''$  dla cylindrycznej kapilary ( $d_2/d_1 = 1$ ;  $\alpha = 0$ ),  $i$  - współczynnik kształtu porów możliwy do wyznaczenia tylko drogą doświadczalną.

Zatem warunek samoczynnego wypływanego zbrojenia z porów osnowy będzie miał postać

$$i < i_{kr} \text{ lub } n_0 < \frac{-1}{n_{kr}} \quad (3)$$

gdzie

$$i = \frac{-1}{n_0} = \frac{-1}{\text{ctg } \theta_{Z-M/O}} = -\text{tg } \theta_{Z-M/O} \quad (4)$$

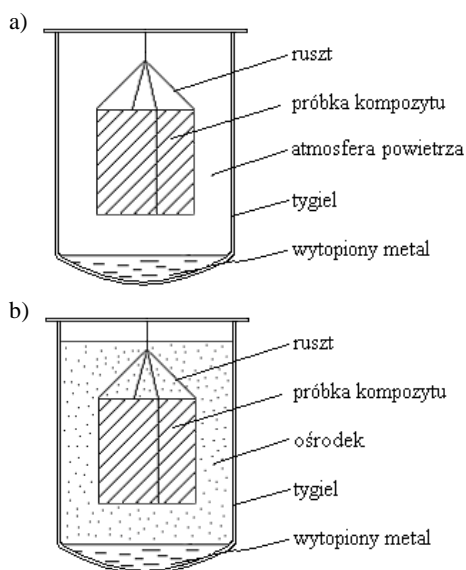
$$i_{kr} = \frac{-1}{n_{kr}} \quad (5)$$

$n_{kr}$  - wartość wyznaczana doświadczalnie.

### BADANIA EKSPERYMENTALNE

Podobnie jak w przypadku badań innych kompozytów z nasycaniem zbrojeniem [4], prezentowane badanie przeprowadzono, umieszczając próbki w rozgrzanym do odpowiedniej temperatury ośrodku:

- powietrza oraz
  - stopionej mieszanki solnej,
- zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat zawieszenia próbki w procesie recyklingu: a) w atmosferze powietrza, b) w stopionej mieszance solnej [4]

Fig. 3. Diagram of sample suspension in the recycling process: a) in the air atmosphere, b) in melted salt mixture [4]

Po upływie założonego czasu próbki wyjmowano i po ostudzeniu dokonywano analizy otrzymanych wyników. Jako miarę efektywności procesu recyklingu uznano stosunek masy wytopionego metalu do masy metalu pierwotnie zawartej w kompozycie

$$U = \frac{m_{pr}}{m_m} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (6)$$

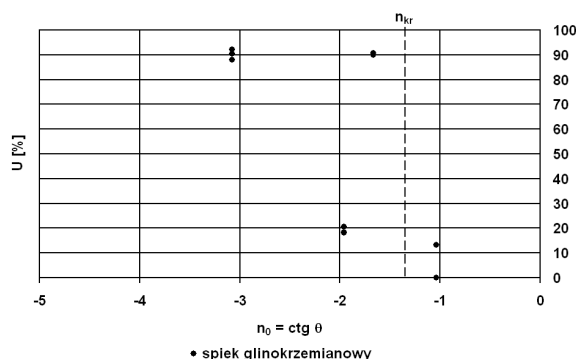
gdzie:  $m_{pr}$  - masa metalu uzyskana w czasie próby, g,  $m_m$  - masa metalu znajdująca się w próbce kompozytowej przed poddaniem jej procesowi wytapiania, g.

Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Wyniki prób recyklingu kompozytów z nasycaniem zbrojeniem w postaci spieku glinokrzemianowego  
TABLE 1. Results of composite recycling tests with saturated reinforcement in the form of aluminosilicate sinter

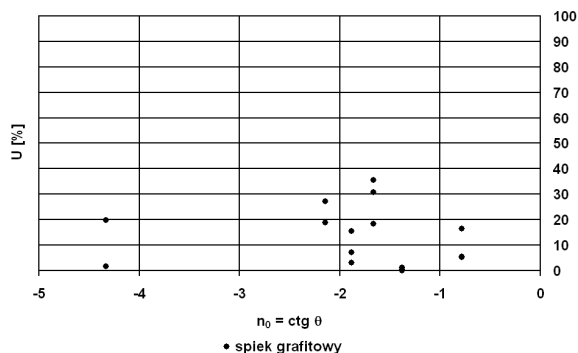
Zbrojenie	Osnowa	Ośrodek	$\theta_{Z-M/O}$	$n_0$	$U$ [%]
spiek glinokrzemianowy	stop EN AC- AlSi12(b)	powietrze	136	-1,036	0
spiek glinokrzemianowy	stop EN AC- AlSi12(b)	powietrze	136	-1,036	0
spiek glinokrzemianowy	stop EN AC- AlSi12(b)	powietrze	136	-1,036	13,13
spiek glinokrzemianowy	stop EN AC- AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	162	-3,078	90,43
spiek glinokrzemianowy	stop EN AC- AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	162	-3,078	87,93
spiek glinokrzemianowy	stop EN AC- AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	162	-3,078	92,20
spiek glinokrzemianowy	stop OT7	powietrze	153	-1,963	18,26
spiek glinokrzemianowy	stop OT7	powietrze	153	-1,963	20,60
spiek glinokrzemianowy	stop OT7	powietrze	153	-1,963	18,25
spiek glinokrzemianowy	stop OT7	50% NaCl +50% KCl	149	-1,664	90,57
spiek glinokrzemianowy	stop OT7	50% NaCl +50% KCl	149	-1,664	89,92
spiek glinokrzemianowy	stop OT7	50% NaCl +50% KCl	149	-1,664	90,00

Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono wykres zależności uzysku od wartości  $n_0 = \text{ctg } \theta_{Z-M/O}$  (rys. 4) analogiczny do wcześniej sporządzonego wykresu dla kompozytów zbrojonych spiekami grafitowym (rys. 5) [4].



Rys. 4. Uzysk metalu w czasie recyklingu kompozytów zbrojonych kształtkami ze spieku glinokrzemianowego w zależności od wartości  $n_0 = \text{ctg } \theta_{Z-M/O}$

Fig. 4. Metal yield during recycling of the composites reinforced with the profiles made of aluminosilicate sinter, with respect to the value of  $n_0 = \text{ctg } \theta_{Z-M/O}$



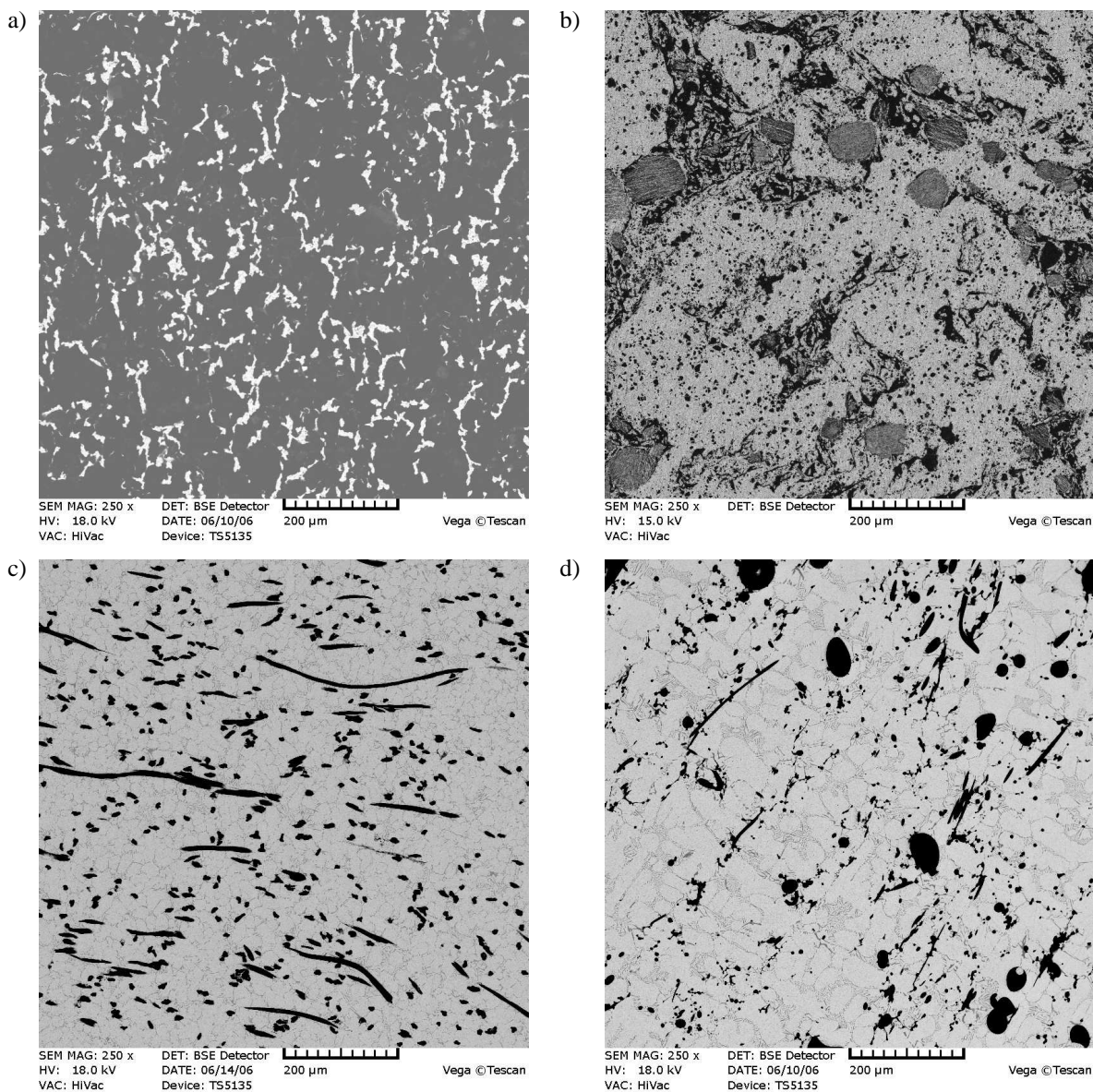
Rys. 5. Uzysk metalu w czasie recyklingu kompozytów zbrojonych kształtkami ze spieku grafitowego w zależności od wartości  $n_0 = \text{ctg } \theta_{Z-M/O}$  [4]

Fig. 5. Metal yield during recycling of the composites reinforced with the profiles made of graphite sinter, with respect to the value of  $n_0 = \text{ctg } \theta_{Z-M/O}$  [4]

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Z porównania zależności przedstawionych na rysunkach 4 i 5 wynika, iż badane kompozyty zbrojone spiekem glinokrzemianowym w przeciwieństwie do kompozytów zbrojonych spiekem grafitowym mogą być z powodzeniem poddawane recyklingowi drogą rozdzielania składników poprzez samoistne wypływanie ciekłego metalu z porów zbrojenia. Możliwe jest dla nich również wyznaczenie wartości  $n_{kr} = -1,350 \pm 0,314$ , co odpowiada kątowi  $\theta_{Z-M/O} = 142,5^\circ \pm 6,5^\circ$ , a także współczynnika kształtu  $i_{kr} = 0,741 \pm 0,224$ .

Wartości te są zbliżone do wartości wyznaczonych dla kompozytów zbrojonych krótkim włóknem prasowanym ( $n_{kr} = -1,546 \pm 0,118$ ,  $\theta_{Z-M/O} = 147^\circ \pm 2^\circ$ ,  $i_{kr} = 0,647 \pm 0,053$ ) [4], mimo iż struktury tych kompozytów znacznie się od siebie różnią (rys. 6).



Rys. 6. Porównanie struktur kompozytów o osnowie ze stopu OT7 zbrojonego: a) spiekem grafitowym; b) spiekem glinokrzemianowym; c) krótkim prasowanym włóknem grafitowym; d) krótkim prasowanym włóknem glinokrzemianowym

Fig. 6. Comparison of composite structures in the matrix made of OT7 alloy, reinforced with: a) graphite sinter; b) aluminosilicate sinter; c) short pressed graphite fiber; d) short pressed aluminosilicate fiber

Powstaje zatem pytanie, który z parametrów struktury: kąt rozwarcia kapilary  $\alpha$ , stosunek średnic kapilar  $d_2/d_1$  czy może porowatość zbrojenia ma decydujący wpływ na wartość współczynnika kształtu  $i_{kr}$ . Biorąc pod uwagę fakt, iż tym, co różni w znaczny sposób kompozyty zbrojone spiekami grafitowym, a przybliża kompozyty zbrojone krótkim prasowanym włókien do tych zbrojonych spiekami glinokrzemianowym jest porowatość, która wynosi:

- 22% dla spieku grafitowego [4],
- 70% dla spieku glinokrzemianowego [dane producenta],
- 95% dla prasowanego krótkiego włókna grafitowego [4],
- 87% dla prasowanego krótkiego włókna glinokrzemianowego [dane producenta],

należy przypuszczać, iż ten właśnie parametr będzie miał niemałą rolę w procesie recyklingu. Przeprowadzone badania nie pozwalają jednak na sformułowanie tak pochopnych wniosków, dlatego konieczny wydaje się przeprowadzenie szerszych badań w tym zakresie.

## WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania wykazały, iż badane kompozyty zbrojone spiekami glinokrzemianowym w przeciwieństwie do kompozytów zbrojonych spiekami grafitowym mogą być po dobraniu odpowiednich warunków procesu z powodzeniem poddawane recyklingowi metodą samoistnego wypływanego metalu z porów zbrojenia.
2. Nie można zatem automatycznie poprzez podobieństwo struktury wynikające z metody wytwarzania zbrojenia stwierdzić, iż dany rodzaj kompozytu nie będzie możliwy do recyklingu badaną metodą. Przy obecnym stanie wiedzy badania możliwości recyklingu należy prowadzić osobno dla każdej grupy kompozytów.
3. Wartości parametrów struktury kompozytów zbrojonych spiekami glinokrzemianowym i zbrojeniami wykonanymi z krótkich włókien prasowanych sugerują, iż jednym z decydujących parametrów może być porowatość zbrojenia, ale są to jedynie przypuszczenia i w celu ich potwierdzenia należałoby przeprowadzić bardziej szczegółowe badania.

## LITERATURA

- [1] Nagolska D., Szymański P., Pędzich Z., Rola parametrów struktury kształtki zbrojącej w procesie recyklingu metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*, vol. 26, 1, 77-86.
- [2] Nagolska D., *Recykling odlewów z metalowych kompozytów nasycanych*, Praca doktorska, W.B.M.iZ. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2002 (niepublikowana).
- [3] Nagolska D., Szweycer M., Jackowski J., Analysis of recycling mechanism of saturated metal composites, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*, 21, nr specjalny 1, 145-151.
- [4] Sprawozdanie z grantu pt. Recykling odlewów z kompozytów metalowych zawieszonych i z nasycanym zbrojeniem, Grant Nr 3T08B 022-26 (niepublikowana).