

Dorota Nagolska*, Maria Langiewicz

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

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

Otrzymano (Received) 06.02.2009

KONCEPCJA LINII DO RECYKLINGU METALOWYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH Z NASYCANYM ZBROJENIEM

Rosnące wymagania stawiane materiałom konstrukcyjnym są przyczyną coraz szerszego zastosowania różnego rodzaju materiałów kompozytowych, w tym również metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem. Opanowano już dość dobrze technologie ich wytwarzania, natomiast w mniejszym zakresie technologie ich recyklingu. Mimo iż znana jest metoda odzyskiwania metalu osnowy w kontrolowanych warunkach, brakuje opracowań dotyczących linii technologicznej. Opracowanie koncepcji takiej linii jest ważne ze względu na fakt, iż po procesie recyklingu oprócz metalu osnowy, którego czystość pozwala na niemal natychmiastowe wykorzystanie, pozostaje nam jeszcze zbrojenie z resztkami metalu, nasycone ośrodkiem. Ośrodek ten stanowią zazwyczaj sole, których składowanie wraz ze zbrojeniem może stanowić zagrożenie dla środowiska. Dlatego w pracy przedstawiono koncepcję linii technologicznej, której podstawowym elementem jest piec do oddzielania metalu ze zbrojenia kompozytowego. Kolejnymi elementami linii umożliwiającymi usunięcie soli pozostalej w zbrojeniu są: urządzenia mielące, płuczka, separatory, odwadniacze, osuszacze i krystalizator soli, umożliwiające jej ponowne wykorzystanie w procesie recyklingu.

W poniższym artykule przedstawiono również zasady doboru wybranych urządzeń. Określono zasady doboru pieca, a w szczególności jego pojemności i temperatury pracy na podstawie prostego bilansu cieplnego, oraz zasady doboru urządzeń do mielenia zbrojenia pozostalego po procesie oddzielania. Zmielenie pozostalego po procesie recyklingu zbrojenia jest ważnym etapem, w zasadniczy sposób przyspieszającym i ułatwiającym prowadzenie procesu rozdzielania zbrojenia, resztek metalu i ośrodka zawartego w zbrojeniu. Ze względu na zróżnicowany charakter składników (np. różna twardość) określenie wymagań dla urządzeń mielących jest bardzo trudne. W artykule zaproponowano, aby urządzenia do mielenia dobierać nie na podstawie twardości, ale na podstawie wytrzymałości na ściskanie mielonych elementów. Jeśli recykling będzie dotyczył jednego rodzaju kompozytów metalowych z nasycanym zbrojeniem, umożliwi to precyzyjny dobór urządzenia. Jeśli jednak recyklingowi będziemy poddawać bardziej zróżnicowane materiały, dobór urządzeń mielących może nastroić znacznie większe problemy.

Słowa kluczowe: metalowe odlewy kompozytowe, proces recyklingu

CONCEPTION OF LINE FOR RECYCLING THE METAL COMPOSITE MATERIALS WITH SATURATED REINFORCEMENT

Growing requirements imposed on structural materials are conducive to wider use of various composite materials, inclusive of metal composites with saturated reinforcement. Production technology of these materials is mastered relatively well, nevertheless, the level of technology of their recycling remains rather low. In spite of the fact that the method of matrix metal recovery under controlled conditions is known, the solutions of technological lines of the process are still missing. Development of an idea of such a line is an important task, taking into account that in result of the recycling are obtained the matrix metal, the purity of which enables its nearly direct reuse, and, moreover, the reinforcement with metals residues saturated with the medium. The medium usually includes salts that, when stored together with the reinforcement, may give rise to hazard for the environment. Therefore, the paper presents a concept of a technological line the basic part of which is a furnace for metal separating from the composite reinforcement. Another parts of the line that enable removing the salt remaining in the reinforcement are: a grinding device, a washer, separators, dehydrators, dryers, and salt crystallizer that allows for its reuse in the recycling process.

The paper also presents the principles of choosing the selected devices. Based on a simple heat balance the principles of choosing the furnace are determined, particularly concerning its capacity and working temperature, as well as the principles of determining parameters of the device for grinding the reinforcement remaining after the separation process. Grinding of the reinforcement separated in the recycling process is an important stage that significantly speeds up and improves separation of the reinforcement, metal and reinforcement medium residues. Differentiated character of the components (e.g. various hardness) causes significant difficulties in formulation of the requirements imposed on the grinding devices. The present paper formulates a proposal for choosing the grinding device based on the compressive strength instead of the hardness of the parts to be ground. Should only one type of the metal composite with saturated reinforcement be recycled, the device may be precisely chosen. On the other hand, in case of more differentiated materials the choice of the grinding devices may be much more problematic.

Keywords: metal composite casting, recycling process

WPROWADZENIE

Rozwój techniki w znaczny sposób uzależniony jest od materiałów zastosowanych do produkcji wyrobów. Zastosowanie coraz nowocześniejszych materiałów konieczne jest w związku z dynamicznym wzrostem wymagań stawianych obiektom technicznym.

Kompozyty stanowią nową grupą materiałów, będących odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie przemysłu na materiały o lepszych wskaźnikach konstrukcyjnych. Są one przedmiotem zainteresowania badaczy ze względu na możliwość projektowania ich właściwości. Do pracy w podwyższonych oraz wysokich temperaturach przy dużych obciążeniach mechanicznych wykorzystuje się często metalowe materiały kompozytowe [1]. Ich intensywny rozwój nastąpił na początku lat 90. w przemyśle lotniczym, samochodowym, a także technice kosmicznej [2, 3].

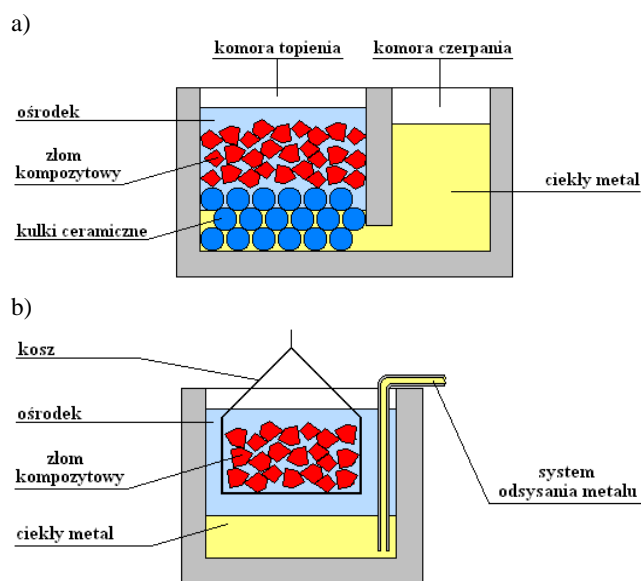
Obecnie dużo uwagi poświęca się opracowywaniu nowych metod wytwarzania kompozytów, natomiast niewiele badań prowadzonych jest nad sposobami recyklingu tychże materiałów, w szczególności kompozytów metalowych z nasycaniem zbrojeniem. W literaturze brak jest informacji na temat linii technologicznych do recyklingu wyżej wymienionych materiałów. Fakt ten zadecydował o podjęciu próby częściowego wypełnienia powstałej luki poprzez opracowanie koncepcji linii technologicznej do recyklingu kompozytów metalowych z nasycaniem zbrojeniem, a także określenia metod doboru poszczególnych urządzeń.

KONCEPCJA LINII TECHNOLOGICZNEJ

Ponieważ jedyną znaną metodą recyklingu kompozytów metalowych z nasycaniem zbrojeniem jest metoda rozdzielania składników [3, 4], koncepcja linii technologicznej opracowana została właśnie dla tej metody, dla grupy kompozytów zbrojonych różnymi zbrojeniami nasyconych stopem AlSi12(b) i rozdzielanych w ośrodku stopionych soli. Do prawidłowego przebiegu tego procesu oprócz kompozytu, będącego złomem (odpad poamortyzacyjny, produkcyjny), niezbędny jest ciekły ośrodek, w którym możliwe będzie rozdzielanie składników. Sam proces rozdzielania musi zatem przebiegać w piecu, w którym możliwe będzie stopienie zarówno ośrodka, jak i osnowy kompozytu. Przykładowe konstrukcje takich urządzeń przedstawiono na rysunku 1. Podstawowym elementem odróżniającym piec do recyklingu kompozytów od tradycyjnych urządzeń do topienia metali i stopów jest konieczność zamontowania w nich elementów (kosze, ruszty, kulki ceramiczne), umożliwiających oddzielenie wytopionego ciekłego metalu od złomu kompozytowego. Wynika to z faktu, iż aby możliwy był proces recyklingu, kompozyty powinny na jak największej powierzchni stykać się z ośrodkiem.

Po zakończeniu procesu rozdzielania składników otrzymujemy ciekły metal zazwyczaj dobrej jakości,

który po przeprowadzeniu podstawowych procesów rafinacyjnych może zostać ponownie wykorzystany np. do wytwarzania kolejnych kompozytów, oraz zbrojenie z resztkami metalu [4] nasycone ośrodkiem. Ponieważ materiał zbrojenia nie nadaje się do ponownego wykorzystania, a jego wartość jest niewielka, można by go po prostu wyrzucić. Niestety znajdująca się w zbrojeniu sól (ośrodek) jest szkodliwa dla środowiska, zatem składowanie takich odpadów wiązałoby się z problemami technicznymi oraz znacznymi kosztami. Dlatego zaproponowano rozwiązanie tego problemu poprzez zainstalowanie urządzeń, umożliwiających oddzielenie soli od materiału zbrojenia i resztek metalu (rys. 2).

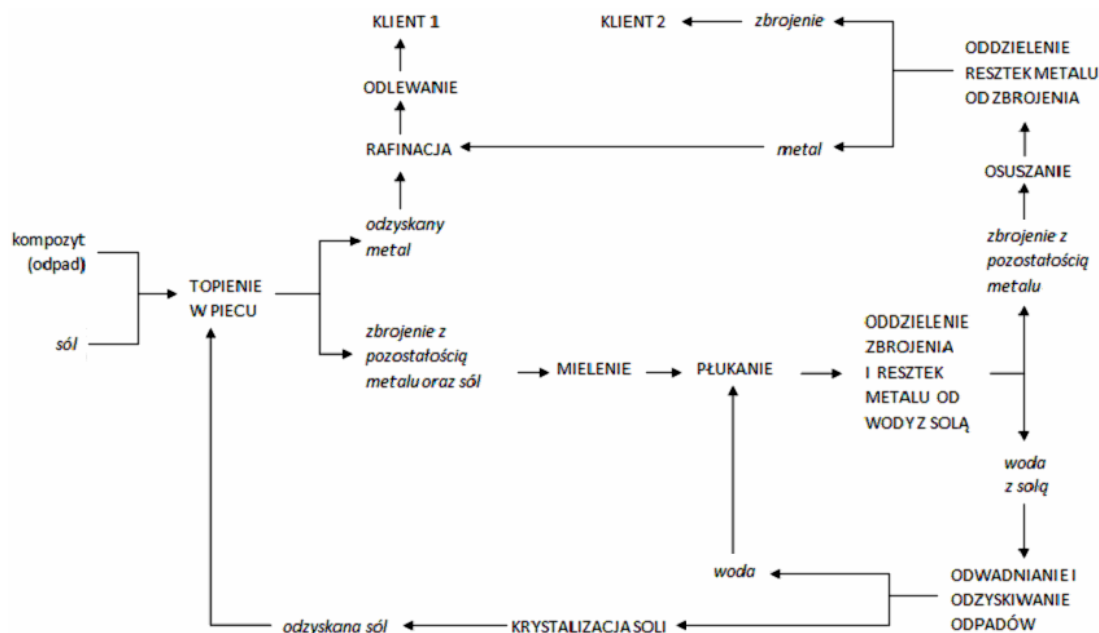


Rys. 1. Przykładowe konstrukcje pieców do recyklingu metalowych kompozytów z nasycaniem zbrojeniem [4]

Fig. 1. Example constructions of a furnace for recycling metal composites with saturated reinforcement [4]

Oddzielenie resztek metalu i soli pozostającej w zbrojeniu bez uprzedniego ich rozdrobnienia jest niemożliwe albo co najmniej bardzo utrudnione, dlatego po wyjęciu z pieca pozostałe po wytapianiu zbrojenia powinny zostać poddane mieleniu. Ze zmielonego materiału dużo łatwiej jest oddzielić ośrodek. Ponieważ dla rozpatrywanej grupy materiałów ośrodkiem są sole (NaCl, KCl, Pokal), które dość łatwo rozpuszczają się w wodzie [5], najprostszą metodą separacji jest wypłukanie ich w wodzie. Wypłukany, a następnie osuszony materiał ceramiczny zbrojenia może zostać następnie poddany:

- rozdzielaniu mechanicznemu (jeśli jest to możliwe),
- potraktowaniu jak kompozyt zawieszinowy i poddaniu procesowi ponownego rozdzielania odpowiedniemu dla tej grupy materiałów lub
- składowaniu na wysypisku, co, biorąc pod uwagę niewielką zawartość metalu osnowy, nie stanowi wielkiego zagrożenia dla środowiska i może być ekonomicznie uzasadnione.



Rys. 2. Linia technologiczna do przeprowadzania procesu recyklingu w ośrodku solnym kompozytów metalowych z nasycanym zbrojeniem
 Fig. 2. Technological line for recycling metal composites with saturated reinforcement in salt medium

Powstała w procesie solanka może natomiast zostać poddana odwadnianiu, a skryształizowana w procesie sól może po dokonaniu korekty jej składu chemicznego na powrót trafić do pieca do wytapiania osnowy kompozytowej.

ZASADY DOBORU WYBRANYCH URZĄDZEŃ

Dobór pieca

Dokonując wyboru pieca: jego rodzaju, pojemności i mocy, musimy wziąć pod uwagę:

- rodzaj kompozytów, które zostaną poddane recyklingowi, gdyż warunkuje on temperaturę procesu oraz rodzaj zastosowanego ośrodka, oraz
- masę materiału kompozytowego poddawanego recyklingowi, gdyż na tej podstawie możemy określić niezbędną ilość ośrodka, a następnie pojemność pieca gwarantującą efektywność procesu.

Wyliczenie niezbędnej ilości soli jest stosunkowo proste. Ponieważ proces wymaga roztopienia metalu i ośrodka, podstawowym warunkiem jest utrzymanie odpowiedniej temperatury po zanurzeniu złomu kompozytowego w kąpielii solnej. Przy czym graniczną temperaturę stanowi wyższa temperatura krzepnięcia metalu bądź ośrodka. Masę ośrodka można zatem oszacować na podstawie uproszczonego bilansu cieplnego

$$Q_Z + Q_M = Q_O \quad (1)$$

gdzie: Q_Z - ilość ciepła pobrana przez materiał zbrojenia podczas zanurzenia złomu w ośrodku, J, Q_M - ilość ciepła pobrana przez metal osnowy podczas zanurzenia złomu w ośrodku, J, Q_O - ilość ciepła oddana przez ośrodek podczas zanurzenia w nim złomu kompozytowego, J

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T, \text{ J} \quad (2)$$

gdzie: c - ciepło właściwe, J/kg · °C, m - masa, kg, ΔT - zmiana temperatury, °C.

Ponieważ przyrost temperatury zbrojenia Z i metalu M jest taki sam ($\Delta T_Z = \Delta T_M = \Delta T_W$), możemy wylczyć niezbędną masę ośrodka O z wzoru

$$m_O > \frac{(c_Z \cdot m_Z + c_M \cdot m_M) \cdot \Delta T_W}{c_O \cdot \Delta T}, \text{ kg} \quad (3)$$

Znając masę złomu kompozytów i obliczoną niezbędną masę ośrodka do jego recyklingu, łatwo obliczyć wymaganą pojemność i moc pieca.

Dobór urządzenia do mielenia

Na rynku dostępnych jest wiele urządzeń mielących różnego typu materiały. Dokonując ich wyboru, zazwyczaj określa się twardość mielonego materiału i jego objętość. Pierwszy z tych parametrów warunkuje rodzaj urządzenia i elementów rozdrabniających, drugi natomiast wielkość, a co za tym idzie - wymaganą wydajność urządzenia. W przypadku odpadów z procesu recyklingu metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem mamy jednak do czynienia z materiałem bardzo niejednorodnym. Odpad może bowiem zawierać:

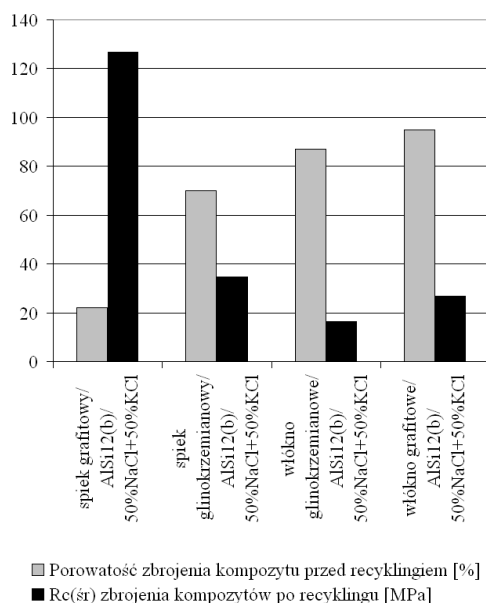
- zbrojenie o różnej twardości, np. bardzo twardey glinokrzemian czy miękki grafit,
- osnowę metalową oraz
- sól z ośrodka, w którym proces recyklingu był prowadzony.

Dla tego typu materiałów określenie twardości jest trudne, gdyż jest ona zmienna i dlatego lepszym parametrem będzie tu wytrzymałość na ściskanie R_c . W tabeli 1 przed-

stawiono wyniki statycznej próby ściskania dla kompozytów o osnowie ze stopu aluminium zbrojonego materiałem glinokrzemianowym i grafitem w różnej postaci. Analiza zamieszczonych w tabeli wyników wykazuje, iż duży wpływ na wytrzymałość ma nie tylko rodzaj, ale i postać zbrojenia, a w szczególności jego porowatość (rys. 3).

TABELA 1. Wyniki statycznej próby ściskania zbrojeń kompozytów poddanych recyklingowi
TABLE 1. Results of static compression test of the composite reinforcements subject to recycling

Zbrojenie	Osnowa	Ośrodek	R_c MPa	$R_{c(max)}$ MPa	$R_{c(śr)}$ MPa
Włókno glinokrzemianowe	AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	24,9	24,8	16,4
Włókno glinokrzemianowe	AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	8,9		
Włókno glinokrzemianowe	AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	15,3		
Włókno grafitowe	AlSi12(b)	POKAL	32,4	35,1	26,8
Włókno grafitowe	AlSi12(b)	POKAL	35,1		
Włókno grafitowe	AlSi12(b)	POKAL	12,8		
Spiek glinokrzemianowy	AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	28,7	37,7	34,6
Spiek glinokrzemianowy	AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	37,7		
Spiek glinokrzemianowy	AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	37,4		
Spiek grafitowy	AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	129	167,7	126,7
Spiek grafitowy	AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	83,4		
Spiek grafitowy	AlSi12(b)	50% NaCl +50% KCl	167,7		



Rys. 3. Zestawienie porowatości nienasyconych zbrojeń kompozytowych i ich wytrzymałości po recyklingu

Fig. 3. Specification of porosities of unsaturated composite reinforcements and their after recycling strength

Dobierając urządzenie mielące, należy rozważyć dwie opcje:

- wybrać urządzenie o ściśle określonych parametrach dla konkretnego rodzaju kompozytów albo
- uniwersalne umożliwiające mielenie materiałów o zróżnicowanych właściwości.

W pierwszym przypadku będziemy musieli bardzo skrupulatnie segregować odpady, co jest możliwe, jeśli np. nasza linia ma obsługiwać powstające w zakładzie odpady produkcyjne. W drugim będziemy się musieli liczyć z problemami w doborze parametrów procesu związanymi z dużą różnorodnością materiałów poddanych recyklingowi.

WNIOSKI

- 1) Podstawowym elementem linii technologicznej do recyklingu metalowych kompozytów z nasycanym zbrojeniem jest piec o odpowiedniej konstrukcji, umożliwiający prowadzenie procesu w optymalnych warunkach i zapewniający brak kontaktu między odzyskanym metalem osnowy i złomem kompozytowym.
- 2) Wybór pozostałych urządzeń jest uzależniony od rodzaju i ilości kompozytów poddawanych recyklingowi.
- 3) Prowadzenie recyklingu w ośrodku stopionych soli powoduje nasycenie pozostałego po recyklingu zbrojenia mieszkanką soli, która może stanowić zagrożenie dla środowiska i powinna zostać oddzielona.
- 4) Proces rozdzielania soli (jeśli są one łatwo rozpuszczalne) od zbrojenia i resztek metalu najlepiej prowadzić poprzez rozpuszczenie po uprzednim rozdrobnieniu.
- 5) Ze względu na zróżnicowany charakter materiałów pozostających po procesie wytapiania dobór urządzeń mielących powinien odbywać się na podstawie wyznaczonej wytrzymałości na ściskanie rozdrabnianych materiałów, a nie na podstawie twardości, która jest trudna do jednoznacznego określenia.

LITERATURA

- [1] Sobczak J., Kompozyty metalowe, Wydawnictwo Instytutu Odlewnictwa i Instytutu Transportu Samochodowego, Kraków-Warszawa 2001, s. 315.
- [2] Boczkowska A., Kapuściński J., Lindemann Z., Witemberg-Perzyk D., Wojciechowski S., Kompozyty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003, s. 217.
- [3] Nagolska D., Szweycer M., Recykling odlewów z kompozytów metalowych zbrojonych cząstkami i z nasycanym zbrojeniem, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji 2003, 23, 1, 115-125.
- [4] Sprawozdanie z grantu pt. „Recykling odlewów z kompozytów metalowych zawieszinowych i z nasycanym zbrojeniem”, Grant nr 3T08B 022-26, niepublikowana.
- [5] [http://www.chemorganiczna.com/content/view/19/6/\[21-06-2008\]](http://www.chemorganiczna.com/content/view/19/6/[21-06-2008])

