

Jacek Jackowski, Paweł Szymański*

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

** Corresponding author. e-mail: pawel.szymanski@put.poznan.pl*

Otrzymano (Received) 30.01.2008

WARUNKI EMULGOWANIA ZAWIESIN KOMPOZYTOWYCH W PROCESIE RECYKLINGU

Specyficzna struktura, sposób jej kształtowania oraz właściwości sprawiają, że recykling metalowych materiałów kompozytowych odbiega od sposobów praktykowanych w przypadku tradycyjnych stopów. Ponadto jest technologicznie zróżnicowany ze względu na charakter recyklowanego tworzywa. Znaczną grupą stosowanych materiałów kompozytowych są tzw. kompozyty zawiesinowe, uzyskiwane poprzez wytworzenie zawiesiny cząstek fazy zbrojącej w ciekłym metalu lub stopie osnowy. Gdy przetopienie złomu i ponowne odlanie zawiesiny nie jest możliwe, sposobem na recyklowanie materiału jest rozdzielanie składników zawiesiny. Dotychczasowe badania dowiodły, że proces ten może być skuteczny w przypadku prowadzenia go w specjalnie dobranym ciekłym ośrodku, ale pod warunkiem zemulgowania recyklowanej zawiesiny kompozytowej z tymże ośrodkiem. Ponieważ emulgowanie cieczy wymaga stosowania mieszalników, ważnym zagadnieniem staje się określenie warunków, jakie muszą być zachowane, aby proces był skuteczny. Na podstawie zależności (1) obliczono wartości wymiarów kropeł dyspergowanej zawiesiny kompozytowej (stałe cząstki fazy zbrojącej-ciekły stop aluminium), tworzących się w mieszalniku posiadającym żądane wymiary mieszadła i liczby jego obrotów, przy równie wybranych parametrach charakteryzujących układ recyklingowy. Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci graficznej, a ich analiza pozwoliła na określenie zaprezentowanych wniosków. Wynika z nich, że proces emulgowania recyklowanych zawiesin kompozytowych nie wymaga stosowania trudnych do spełnienia warunków o charakterze technologicznym i konstrukcyjnym. Praktyczna weryfikacja wyników obliczeń jest konieczna, szczególnie w celu określenia roli czasu w procesie formowania się emulsji o zadanym stopniu dyspersji.

Słowa kluczowe: kompozyty zawiesinowe, recykling, emulgowanie

CONDITIONS OF COMPOSITE SUSPENSION EMULATION DURING THE RECYCLING PROCESS

Specific structure, the way of its forming, and properties of metal composite materials cause that their recycling is unlike the one used in case of traditional alloys. Moreover, the process is technologically differentiated according to the kind of the recycled material. Important group of the composite materials make so-called suspension composites, obtained by formation of a suspension of reinforcing phase particles in matrix liquid metal or alloy. In case the scrap can not be remelted and casted again, the material may be recycled by separation of the suspension components. The research results available up to now have shown that the process may be effective when carried out in an especially chosen liquid medium provided that the composite suspension being recycled is emulsified with the medium. Since in order to emulsify a liquid special mixers are required, an important problem arises consisting in defining the conditions to be met to ensure effectiveness of the process. Based on the relationship (1) the dimensions of the drops of dispersed composite suspension (solid particles of the reinforcing phase - liquid aluminum alloy) are calculated according to required mixer size and rotational speed, for selected parameters characterizing the recycling system. Results of the calculation are graphically shown. Their analysis enabled drawing the presented conclusions. They say that the emulsification process of the recycled composite suspension imposes no difficult technological and/or constructional conditions. Nevertheless, the calculation results should be practically verified, particularly in order to assess the meaning of duration of formation of the emulsion of a required dispersion degree.

Keywords: suspension composites, recycling, emulsification

WPROWADZENIE

Jednym ze sposobów recyklingu odlewanych materiałów kompozytowych [1, 2] jest rozdzielanie składników tworzywa kompozytowego [3]. W przypadku tworzyw uzyskanych przez sporządzenie zawiesin stałych cząstek zbrojenia w ciekłej osnowie kompozytowej,

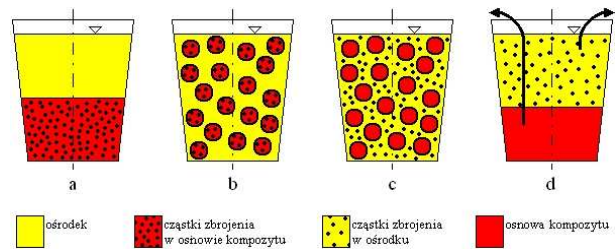
czyli tzw. kompozytów zawiesinowych, ich recykling drogą rozdzielania składników jest procesem dokładnie odwrotnym względem procesu wytwarzania [4]. Stabilność zawiesin kompozytowych [5] sprzyja stosowaniu krótszej pętli recyklingu materiału kompozytowego [6],

polegającej np. na przetapianiu kompozytowego złomu obiegowego w odlewni i wykonywaniu kolejnych odlewów. Z kolei wrażliwość zawiesin kompozytowych przeznaczonych do odlewania na niekorzystne zmiany struktury, spowodowane np. próbami rafinacji poprzedzającej odlewanie, wykluczą lub mocno ograniczą te działania [7]. Oznacza to, że praktyka recyklingu zawieszinowych materiałów kompozytowych, a szczególnie o postaci silnie rozdrobnionego lub zanieczyszczonego wsadu, ogranicza się do konieczności stosowania dłuższej pętli recyklingu, czyli polegającej na rozdzielaniu składników.

Celem artykułu jest przedstawienie mechanizmu rozdzielania składników zawiesiny kompozytowej oraz wyników obliczeń pozwalających określić warunki emulgowania recyklowanej zawiesiny z ośrodkiem recyklingowym, będące istotą skutecznego procesu.

MECHANIZM ROZDZIELANIA SKŁADNIKÓW ZAWIESIN KOMPOZYTOWYCH

Doświadczenia związane z rozdzielaniem składników zawiesin kompozytowych wykonane z użyciem zróżnicowanych układów kompozytowych (cząstki zbrojenia - osnowa) oraz postać materiałów wyjściowych (odlewy, rozpryski, wióry) wykazały, że przebieg procesu recyklingu odpowiada schematowi przedstawionemu na rysunku 1 [8]. Pierwszym warunkiem skutecznego przebiegu procesu jest dobór odpowiedniego ośrodka [9, 10]. Oznacza to, że układ recyklingowy musi składać się z trzech faz: stałej fazy zbrojącej (cząstek zbrojenia), ciekłej fazy osnowy (metal lub stop) oraz ciekłej fazy ośrodka, którym jest stopiona mieszanka soli. Obie fazy ciekłe (osnowa i ośrodek) nie reagują ze sobą, nie rozpuszczają się wzajemnie i posiadają zróżnicowaną gęstość. Drugim warunkiem rozdzielania składników zawiesiny kompozytowej uzyskanej z roztopienia złomu kompozytowego jest trwałe przeprowadzenie cząstek fazy zbrojącej z osnowy kompozytowej do ciekłego ośrodka. Znane są warunki, jakie muszą spełniać relacje między właściwościami powierzchniowymi składników układu recyklingowego, konieczne dla samorzutnego przechodzenia cząstek fazy zbrojącej z osnowy do sąsiadującego z nią ośrodka [10], jednak niezbędne jest dotarcie cząstek do granicy międzyfazowej obu faz ciekłych. W warunkach stacjonarnych (rys. 1a) na skutek sedimentacji cząstki fazy zbrojącej oddalają się od granicy międzyfazowej. Stąd konieczność wytworzenia emulsji ciekłej zawiesiny kompozytowej i ciekłego ośrodka (rys. 1b), aby możliwe było przechodzenie cząstek fazy zbrojącej z kropelek zawiesiny do ciekłego ośrodka recyklingowego (rys. 1c). Trwałe przejście fazy stałej do ośrodka, po koagulacji kropelek osnowy kompozytowej i sedimentacji układu, pozwala na rozdzielanie składników (rys. 1d).



Rys. 1. Schemat przebiegu procesu rozdzielania składników zawiesiny kompozytowej [8]: a) roztopienie zawiesiny kompozytowej i ośrodka; b) wytworzenie emulsji zawiesiny w ośrodku; c) przejście cząstek zbrojenia z osnowy kompozytu do ośrodka; d) rozdzielanie emulsji

Fig. 1. Schematic of the separation process of the suspension composite components [8]: a) melting the composite suspension and the medium; b) formation of the emulsion suspension in the medium; c) transition of the reinforcing particles from the composite matrix to the medium; d) separation of the emulsion

EMULGOWANIE ZAWIESINY KOMPOZYTOWEJ W OŚRODKU

Z przedstawionego opisu wynika, że proces emulgowania recyklowanej zawiesiny kompozytowej powinien zapewniać odpowiedni stopień zdyspergowania tejże zawiesiny w dobranym i ciekłym ośrodku. Im drobniejsze będą krople zdyspergowanej zawiesiny, tym krótszy będzie czas wędrówki pojedynczych cząstek fazy stałej na ich drodze z wnętrza kropli do granicy międzyfazowej: osnowa kompozytowa-ośrodek recyklingowy, a czas ich kontaktu z granicą międzyfazową ośrodka w zemulgowanej zawieszynie kompozytowej będzie dłuższy.

Zagadnienia związane z mieszaniem materiałów, wytwarzaniem zawiesin, emulsji itp. stanowią domenę inżynierii chemicznej. Do projektowania procesu recyklingu zawiesin kompozytowych wykorzystano zatem doświadczenia specjalistów z tej dziedziny [11].

Średnica d_r kropelek emulsji wytwarzanej w mieszalnikach według różnych autorów, wyraża się zależnością [11]

$$d_r = d \cdot c \left(\frac{\sigma}{n^2 \cdot d^3 \cdot \rho_c} \right)^{0,6} (1 + k \cdot \phi_r) \quad [\text{m}] \quad (1)$$

w której:

d - średnica mieszadła, m,

c - stała charakteryzująca typ mieszadła (0,04÷0,08), najczęściej $c = 0,05$,

σ - napięcie powierzchniowe emulgowanej cieczy, N/m,

n - liczba obrotów mieszadła, 1/s,

ρ_c - gęstość emulgowanej cieczy, kg/m³,

k - stała o wartości 2,5÷5,2 zależna od typu mieszadła,

ϕ_r - udział objętościowy fazy rozproszonej (kropli zawiesiny w ośrodku), m³/m³.

Wartości średnic emulgowanej zawiesiny kompozytowej wyliczono wg zależności (1), przyjmując niżej podane wartości parametrów. Z zaleceń [11] przyjęto wartości $c = 0,05$ oraz $k = 5$. Dla emulgowanej zawiesiny kompozytowej na osnowie stopu aluminium przyjęto $\rho_c = 2500 \text{ kg/m}^3$. Na podstawie badań własnych dla różnych ośrodków uzyskanych z roztopionych mieszanin solnych [12] przyjęto wartości napięć międzyfazowych na granicy osnowy metalowej i ośrodków: $\sigma = 0,577 \text{ N/m}$ oraz $\sigma = 0,340 \text{ N/m}$. Założono, że średnice mieszadeł w mieszalnikach do emulgowania zawiesiny kompozytowej wynosić będą kolejno: 0,02; 0,04; 0,06 oraz 0,08 m, a liczba obrotów mieszadła: 5, 10 i 15 1/s (300, 600 i 900 obr/min). Ponadto, przyjęto do obliczeń zmienną wartość koncentracji recyklowanej zawiesiny kompozytowej w układzie recyklingowym, wynoszącą kolejno: 0,05; 0,10; 0,20; 0,40 i 0,80. Wyniki dokonanych obliczeń przedstawiono na rysunku 2.

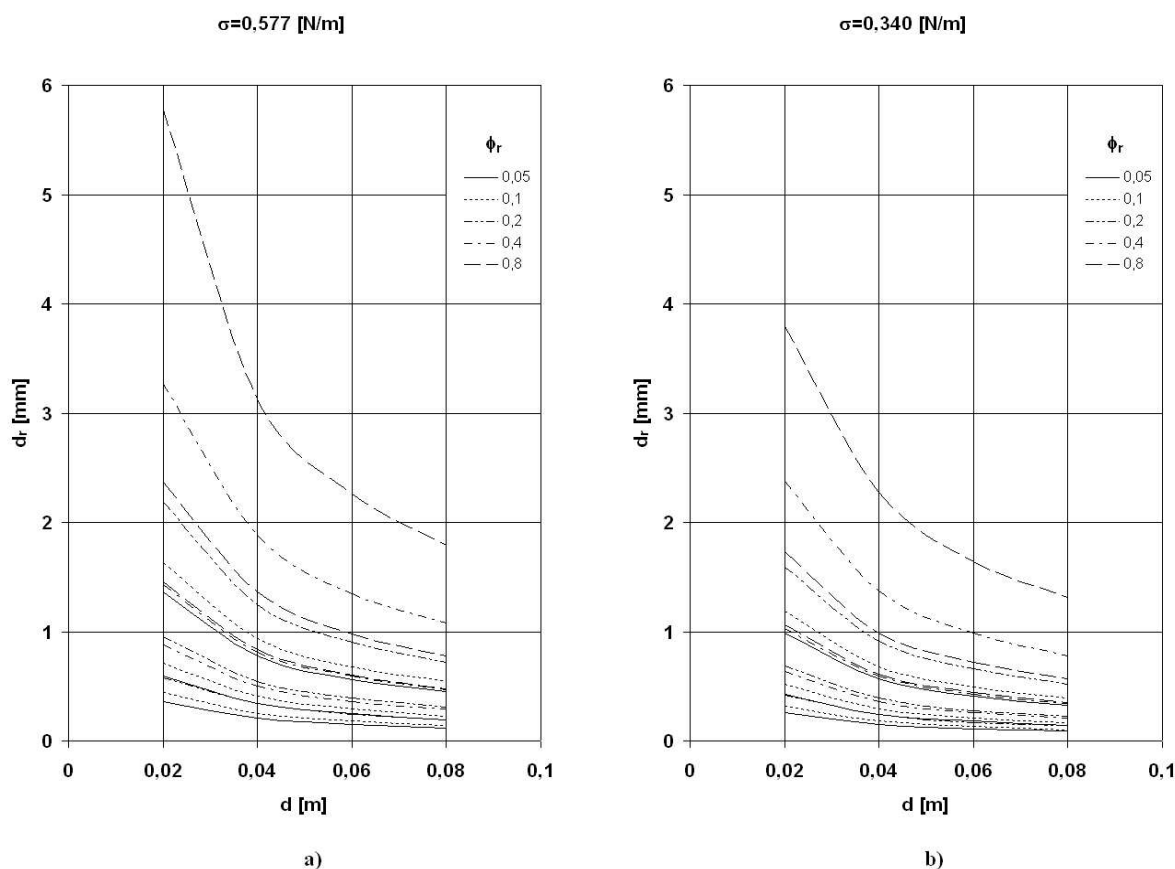
Na wykresach pokazano zmiany wielkości średnic d_r , tworzących się kropli emulgowanej cieczy (zawiesiny) w mieszalniku w zależności od średnicy d mieszadła oraz jej udziału objętościowego w mieszalniku i intensywności mieszania. Zmienne wartości koncentracji fazy emulgowanej ($\phi_r = 0,05; 0,10; 0,20; 0,40$ i $0,80$) oznaczono podaną na rysunku manierą,

natomiast zmienne intensywności mieszania określone liczbą obrotów mieszadła ($n = 5; 10$ i 15 1/s) ilustrują krzywe dla określonej wartości ϕ_r , które w podanej kolejności leżą coraz bliżej osi odciętych.

Wykresy uwzględniają także różne wartości napięcia międzyfazowego na granicy cieczy, przyjęte do obliczeń: a) $\sigma = 0,577 \text{ N/m}$; b) $\sigma = 0,340 \text{ N/m}$.

Przedstawione wyniki wskazują, że największy wpływ na rozdrobnienie kropli emulgowanej zawiesiny kompozytowej wywiera jej koncentracja w ośrodku recyklingowym oraz intensywność mieszania. Mniej istotny wpływ wywierają wymiary (średnica) stosowanego mieszadła oraz wartość napięcia międzyfazowego na granicy cieśla osnowa kompozytowa-ciekły ośrodek recyklingowy.

Stwierdzenia te są ważne, gdyż dobór relacji ilościowych (objętościowych) między recyklowanym materiałem kompozytowym a ośrodkiem, w którym prowadzony jest proces recyklingu, należy do czynników technologicznych, podobnie jak konstrukcja mieszalnika gwarantująca optymalną skuteczność jego działania. Możliwość regulowania wartości napięcia międzyfazowego na granicy ciekłej osnowy kompozytowej i ośrodka są ograniczone, a zmiana średnicy mieszadła nie jest istotna.



Rys. 2. Zmiany wartości średnic kropli emulgowanej zawiesiny kompozytowej wg zależności (1) przy założonych i podanych w tekście parametrach

Fig. 2. Variation of drops diameters of the emulsified composite suspension according to the relationship (1) under the assumed parameters

Koniecznym działaniem jest weryfikacja stwierdzeń wynikających z przeprowadzonych obliczeń. Wstępne badania wykonane w warunkach laboratoryjnych wskazują, że przedstawiona zależność (1) jest przydatna dla doboru warunków emulgowania recyklowanych zawieszin kompozytowych. Przedstawione wykresy obrazują relacje między parametrami ujętymi w zależności (1) i wskazują na kierunek działań zmierzających do skutecznego procesu recyklingu zawieszin kompozytowych poprzez rozdzielanie ich składników. Ważnym, a nieujęty w zależności (1) parametrem jest czas konieczny do zemulgowania zawiesziny do stopnia zapewniającego wymaganą dyspersję fazy emulgowanej. Określenie tego parametru wymaga zbadania.

Emulsja wytworzona według schematu (rys. 1b) nie powinna być trwała w celu umożliwienia jej rozdzielania zgodnie z rysunkiem 1d. Musi zatem być spełniony warunek podany w literaturze dotyczącej efektywności stosowania żużli [13].

WNIOSKI

Wykonane obliczenia wartości średnic kropli emulgowanej zawiesziny kompozytowej poddawanej procesowi recyklingu drogą rozdzielania jej składników dotyczą wybranego tworzywa kompozytowego o osnowie ze stopów aluminium oraz sprawdzonych w doświadczeniach ośrodków recyklingowych. Założone wartości średnic mieszadła i liczb jego obrotów pozwalają odnieść wyniki obliczeń do laboratoryjnych warunków doświadczeń. Rezultaty obliczeń pozwalają na sformułowanie kilku wniosków.

1. Dla uzyskania emulsji zawiesziny kompozytowej o wielkości kropli o średnicy ok. 1 ± 2 mm konieczne jest stosowanie mieszadła o średnicy nie mniejszej niż 0,04 m oraz liczby obrotów ok. 10 1/s (600 obr/min).
2. Objętość zawiesziny kompozytowej nie powinna przekraczać objętości ośrodka, a wzrost udziału zawiesziny kompozytowej utrudnia rozdrobnienie jej kropli w układzie. W przypadku zawieszin kompozytowych na osnowie stopów aluminium oraz ośrodków recyklingowych wytworzonych z roztopionych mieszanin soli udział wagowy materiału kompozytowego i ośrodka (50% + 50%) odpowiada udziałowi objętościowemu (ok. 40% + 60%).
3. Obniżenie wartości napięcia międzyfazowego na granicy między cieczami tworzącymi emulsję obniża wartości średnic emulgowanych kropli, ale wpływ ten nie jest znaczny, a możliwości jego zwiększenia w przypadku realnych układów recyklingowych są małe.

4. Konieczne są badania weryfikujące przedstawione wyżej wnioski, uzupełnione określeniem wpływu czasu mieszania układu na uzyskanie zadanej dyspersji fazy emulgowanej.

Podziękowania

Praca przedstawia wyniki fragmentów badań wykonanych w związku z realizacją zadania II5.6 w ramach PBZ-KBN-114/T08/2004.

LITERATURA

- [1] Schuster D.M., Skibo D.M., Bruski R.S., Provencher R., Riverin G., The recycling and reclamation of metal-matrix composites, JOM 1993, May, 26-30.
- [2] Nishida Y., Izawa N., Kuramasu Y., Recycling of aluminium matrix composites, Metallurgical and Materials Transaction 1999, 30A, March, 839-844.
- [3] Recykling odlewów kompozytowych zawieszinowych i z nasycanym zbrojeniem, Praca zbiorowa, Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr 3 T08B 022 26, Poznań 2006.
- [4] Ray S., Synthesis of cast metal matrix particulate composites, Journal of Metal Science 1993, 28, 5397-5413.
- [5] Jackowski J., Nagolska D., Szweycer M., Zjawiska sedimentacji w technologii kompozytów zawieszinowych, Krzepnięcie Metali i Stopów 2000, 43, 281-290.
- [6] Jackowski J., Nagolska D., Szweycer M., Szymański P., Możliwość recyklingu metalowych odlewów kompozytowych, Kompozyty (Composites) 2007, 1, 37-40.
- [7] Szweycer M., Jackowski J., Warunki topienia i odlewania kompozytów zawieszinowych o osnowie aluminiowej, Mat. VIII Konf. Metale nieżelazne w przemyśle okrętowym, Szczecin 1996, 185-192.
- [8] Określenie warunków recyklingu odlewów i odpadów kompozytowych, Praca zbiorowa, Mat. II Sympozjum Naukowego Innowacje w Odlewnictwie, Wysowa, październik 2007.
- [9] Kamavaram V., Manthg D., Reddy R.G., Recycling of aluminium metal matrix composite using ionic liquids. Effect of process variable on current efficiency and deposit characteristics, Electrochimica Acta 2005, 50, 3286-3295.
- [10] Jackowski J., Nagolska D., Szweycer M., Warunki recyklingu rozdrobnionych kompozytów metalowych zbrojonych dyspersyjnie i z nasycanym zbrojeniem, Rozdział nr II. 18 w monografii Innowacje w odlewnictwie, cz. I, Instytut Odlewnictwa, Kraków 2007, 259-266.
- [11] Stręk F., Mieszanie i mieszalniki, WNT, Warszawa 1981.
- [12] Jackowski J., Szweycer M., Szymański P., Ocena właściwości powierzchniowych ciekłych metali i stopów w ośrodkach ciekłych, Kompozyty (Composites) 2006, 2, 60-64.
- [13] Postołek H., Adamski C., Wpływ napięć międzyfazowych na rafinujące oddziaływanie żużli, Archiwum Hutnictwa 1981, 26, 4.