https://doi.org/10.62753/ctp.2004.09.9.9

Monika Rutecka[1], **Józef Śleziona**[2], **Jerzy Myalski**[3]
Politechnika Śląska, Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA RECYKLATU POLIESTROWO-SZKLANEGO W PRODUKCJI LAMINATÓW

Celem badań była ocena możliwości zastosowania odpadów kompozytów poliestrowo-szklanych w produkcji laminatów. Recyklat uzyskany po rozdrabnianiu stanowił mieszaninę cząstek usieciowanej żywicy poliestrowej oraz włókien szklanych (rys. 1). Wykonano laminaty warstwowe, w których rdzeniem było wypełnienie o zawartości 20, 35 i 50% recyklatu. Przedstawiono wyniki właściwości mechanicznych wykonanych laminatów (rys. rys. 2-5). Wyznaczono wartości wytrzymałości na rozciąganie, zginanie oraz udarność próbek o zawartości 20, 35 i 50% recyklatu oraz okładzinach z tkaniny szklanej lub maty szklanej (1 warstwa maty, tkaniny lub 2 warstwy maty) i porównano z analogicznymi wartościami wyznaczonymi dla próbek wzorcowych. Przeprowadzone badania wykazały, że wykorzystanie rozdrobnionych odpadów jako wypełniacza w laminatach spowodowało obniżenie wytrzymałości na rozciąganie oraz udarności, natomiast wytrzymałość na zginanie była porównywalna z wartością wytrzymałości na zginanie materiału o standardowym wypełnieniu (koremata). Najlepsze właściwości uzyskano dla laminatów posiadających jako okładziny dwie warstwy maty szklanej. Wykazano, że zawartość recyklatu ma niewielki wpływ na badane właściwości mechaniczne. Natomiast na wartości te wpływa postać zastosowanych okładzin (mata lub tkanina). Rozdrobnione odpady kompozytów polimerowych można wykorzystać jako wypełnienie laminatów, otrzymując materiał o właściwościach porównywalnych z typowymi laminatami warstwowymi, stanowiąc tym samym jeden ze sposobów utylizacji kompozytów o osnowie duroplastycznej.

Słowa kluczowe: recykling materiałowy, kompozyty z osnową polimerową, laminaty warstwowe, recyklat poliestrowo-szklany

ESTIMATION OF POSSIBILITY OF USING POLYESTER-GLASS FIBER RECYCLATE IN LAMINATES PRODUCTION

The purpose of this project was to estimate recycling application for finely ground composites, polyester-glass fiber in laminates production. Recyclate obtained after grinding was a mixture of cured polyester resin particles and glass fibers (Fig. 1). The stratified laminates with addition of 20, 35 and 50% wt. of recyclate were made. The results of the mechanical properties of the laminates with the recyclate has been presented (Figs. 2-5). The values of tensile strength, bending strength and impact for the laminates with addition of 20, 35 and 50% wt. of recyclate and facings made from glass fabric or glass mat (one layer of glass mat, glass fabric or two layers of glass mat) were evaluated and compared with analogical properties appointed for standard samples. The results of the investigation have shown that using of polymer composites wastes as a filler, leads to decreasing of the tensile strength and impact. However obtained material had bending strength comparable with standard material. The best properties were achieved for the laminates with two layers of glass mat as a facing. It has been shown that the content of the recyclate has small influence on studied mechanical properties. However the form of applied facings has some influence. The polymer composites waste can be used as a filler in laminates production, with properties comparable to typical stratified laminates, being also one of the way of duroplasts utilization.

Key words: material recycling, polymer composites, stratified laminates, polyester-glass fiber recyclate

WSTĘP

Kompozyty polimerowe wzmacniane włóknami są materiałami znajdującymi wciąż nowe zastosowanie. Jednak oprócz ogromnych korzyści, jakie niesie ze sobą zastosowanie kompozytów, pojawia się również negatywny skutek uboczny, jakim są pozostające odpady zużytych wyrobów. Odpady stanowią poważny problem ekologiczny. Obecnie opracowuje się wiele możliwości recyklingu włóknistych kompozytów polimerowych [1]. Można tu wymienić recykling termiczny, pirolizę w celu otrzymywania paliwa [2], odzyskiwanie włókien wzmacniających (włókna szklane, węglowe) bądź za pomocą złoża fluidalnego [3], rozkładu żywicy czy też niskotemperaturowej pirolizy katalitycznej.

Najbardziej rozpowszechnionym sposobem zagospodarowania odpadów jest nadal składowanie na wysypiskach, których zasadniczą wadą jest zajmowanie dużej powierzchni składowania odpadów kompozytów polimerowych. Drugim często stosowanym sposobem pozbywania się odpadów jest ich spalanie. Niestety spora część materiału nie uległa spaleniu w związku z dużą ilością włóknistego zbrojenia bądź mineralnych napełniaczy [2]. Ostatnio coraz częstszym rozwiązaniem staje się ponowne wykorzystanie odpadów kompozytowych o osnowie duroplastycznej [4], czyli tzw. recykling materiałowy, którego głównym celem jest przetwarzanie materiału odpadowego w produkt o wartości użytkowej.

[1] mgr inż., [2] prof. dr hab. inż., [3] dr inż.

Rozdrobnione odpady można z powodzeniem użyć jako wypełniacza polimerowej osnowy, zastępując w nich część napełniacza włóknistego lub proszkowego oraz poprawiając charakterystyki mechaniczne lub inne właściwości (np. odporność na zużycie) zastosowanej osnowy. Odpady przetworzone tym sposobem używane są eksperymentalnie w przemyśle meblarskim (do produkcji płyt kompozytowych), jako dodatek do asfaltu, betonu, tłoczyw poliestrowych, polimerobetonów oraz w wielu innych wyrobach, w których dodanie recyklatu nie powoduje obniżenia ich właściwości użytkowych.

Celem przeprowadzonych badań było określenie możliwości wykorzystania rozdrobnionych odpadów kompozytów poliestrowo-szklanych jako materiału wypełnia- jącego w produkcji konstrukcji laminatowych. Badania obejmowały ocenę jakości recyklatu wykorzystanego jako wypełniacz oraz jego wpływ na charakterystyki mechaniczne wykonanych laminatów. Zastosowanie odpadów jako wypełniacza pozwoliłoby na częściową utylizację odpadów kompozytów o osnowie duroplastycznej.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Przygotowanie recyklatu

Do badań użyto materiałów odpadowych powstałych w trakcie produkcji konstrukcji kompozytowych wytwarzanych przez firmę „WENTECH" w Imielinie. Wykorzystane odpady do badań to:

- odpady poprodukcyjne,
- wadliwe i uszkodzone wyroby,
- zużyte wyroby kompozytowe.

Osnową w tych kompozytach była żywica poliestrowa *Estromal 14.LM-01*, a zbrojeniem mata lub tkanina z włókna szklanego.

Pierwszym etapem było rozdrabnianie wstępne, przeprowadzone w celu zmniejszenia wielkości odpadów, aby możliwe było ich wprowadzenie do młyna (grubość podawanych odpadów nie przekraczała 40 mm). Po przeprowadzeniu rozdrabniania wstępnego odpady były poddane rozdrabnianiu właściwemu.

Metoda rozdrabniania powinna być tak dobrana, aby włókna były jak najmniej uszkodzone [5]. Dodatkowym atutem jest uzyskanie podłużnego kształtu cząstek oraz by włókna miały jak najbardziej odsłoniętą powierzchnię. Innym ważnym czynnikiem jest odpowiednia redukcja wielkości odpadów, aby w przypadku wykorzystania re-cyklatu jako wypełniacza łatwo było go wprowadzić do nowej osnowy.

Użytym urządzeniem do rozdrabniania był młyn *T-500* firmy „*Tamak-Pol*". Urządzenie to przeznaczone jest do rozdrabniania odpadów z tworzyw sztucznych. Odpady podawane były przez wlot o wymiarach 350x500 mm, w małych porcjach, aby nie dopuścić do zapchania mły-na. Rozdrabnianie przebiegało szybko, w komorze tnącej urządzenia. Pod wpływem siły odśrodkowej rozdrobniony recyklat był separowany na sicie o wielkości oczek 6 mm do odpowiedniego pojemnika.

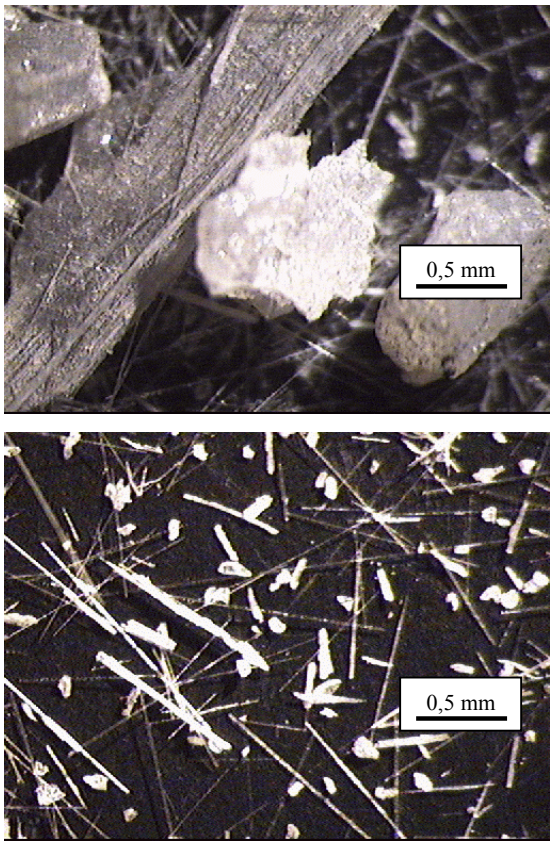
Uzyskany po rozdrobnieniu recyklat był materiałem niejednorodnym i stanowił mieszaninę pozlepianych żywicą wiązek włókien, cząstek żywicy poliestrowej oraz pojedynczych włókien szklanych. Analiza sitowa wykazała, że materiał ten tworzą głównie cząstki duże. Ponad 68% to cząstki powyżej 1,6 mm (rys.1a), stanowiące frakcję włóknistą, natomiast frakcje drobne stanowiły zaledwie 20% recyklatu (wielkość cząstek 0÷0,2 mm) (rys. 1b). Postać recyklatu była dla każdej frakcji taka sama bez względu na przedział wielkości cząstek.

W celu dokładniejszej analizy rozdrobnionych odpadów poliestrowo-szklanych przeprowadzono badania stereologiczne. Wykazały one, że recyklat tworzą dwie frakcje, różniące się wielkością i kształtem cząstek. Pierwszą była frakcja proszkowa (< 0,2 mm) o bardzo drobnych cząstkach, głównie osnowy, i kształcie zbliżonym do kulistego. Drugą frakcję stanowiły duże cząstki (> 0,5 mm), głównie włókna pokryte żywicą, o wydłużonym kształcie - frakcja włóknista.

Do wykonania laminatów wykorzystano recyklat składający się z obu frakcji (frakcja proszkowa i frakcja włóknista).

a)

b)



Rys. 1. Wygląd recyklatu (mikroskop stereoskopowy): a) przedział wielkości cząstek > 1,6 mm, b) przedział wielkości cząstek 0,063÷ ÷0,16 mm

Fig. 1. Photographs of the recyclate (stereoscopic microscope): a) particles size > 1.6 mm, b) particles size 0.063÷0.16 mm.

MATERIAŁ DO BADAŃ

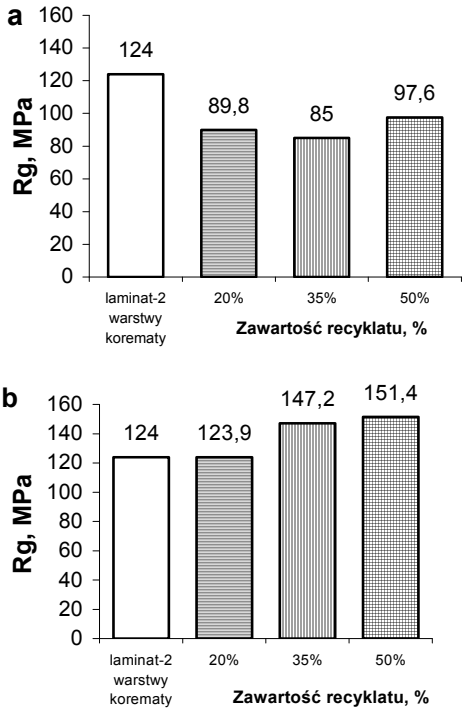
W celu określenia wpływu dodatku recyklatu na właściwości mechaniczne laminatów wykonano następujące próbki laminatów warstwowych:

A. Kompozyt żywica poliestrowa z dodatkiem 50% recyklatu.
B. Laminat przekładkowy z okładzinami w postaci jednej lub dwóch warstw maty szklanej (EM1002 o gramaturze 450 g/m^2) i rdzeniem o zawartości:
   B.1. 20% wag. rozdrobnionych odpadów,
   B.2. 35% wag. rozdrobnionych odpadów,
   B.3. 50% wag. rozdrobnionych odpadów.
C. Laminat przekładkowy z okładzinami w postaci tkaniny szklanej o gramaturze 220 g/m^2 i z rdzeniem o zawartości 50% recyklatu.

Jako materiał porównawczy wykonano laminat ze standardowym wypełnieniem w postaci dwóch warstw porowatej przekładki (korematy). Wszystkie laminaty wykonano, stosując żywicę *Estromal 14.LM-01*. Kompozyty wytworzone zostały metodą laminowania kontaktowego. Ze względu na duże wymiary cząstek odpadów materiał ten nie był łatwy do przesycania żywicą. W związku z tym w laminatach można było zaobserwować pustki, które w przypadku zastosowanej technologii wytwarzania, jakim było laminowanie kontaktowe, było trudne do wyeliminowania.

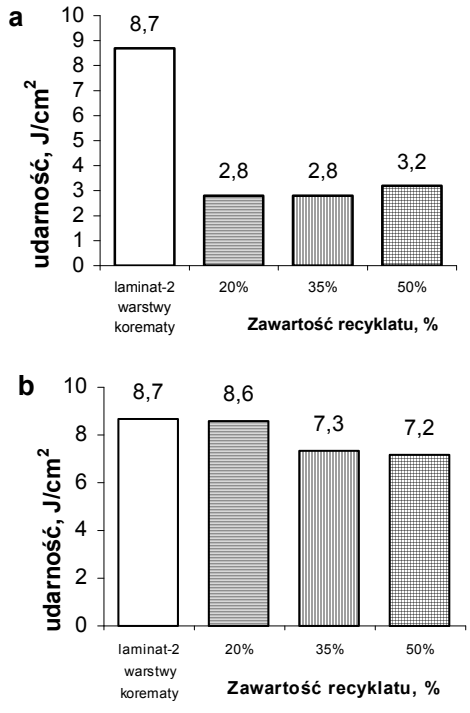
BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH

Podstawą do oceny jakości zastosowanych laminatów były przeprowadzone badania rozciągania, zginania oraz udarności. W każdym z przeprowadzonych badań próbki miały kształt belek o wymiarach zgodnych z PN. Próbę rozciągania i zginania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu INSTRON 4468, będącej w posiadaniu Politechniki Śląskiej w Katowicach. Natomiast udarność wykonano za pomocą młota wahadłowego (metoda Charpy'ego) o energii uderzenia 50 J.
Wyniki wytrzymałości na zginanie laminatów warstwowych z wypełnieniem w postaci recyklatu w porównaniu z laminatem wzorcowym przedstawia rysunek 2, wyniki udarności - rysunek 3, a wytrzymałości na rozciąganie - rysunek 4. Porównanie właściwości wytrzymałościowych laminatów z okładzinami w postaci maty i tkaniny zaprezentowano na rysunku 5.
Dodatek recyklatu spowodował obniżenie wytrzymałości na rozciąganie; podobnie jest w przypadku udarności. Praca potrzebna do złamania próbek z dodatkiem recyklatu jest znacznie niższa w porównaniu z pracą potrzebną do złamania materiałów wzorcowych. Natomiast podczas próby zginania wypełnienie z dodatkiem recyklatu osiągnęło wytrzymałość na poziomie wytrzymałości laminatu przekładkowego z typowym rdzeniem, jakim jest koremata.



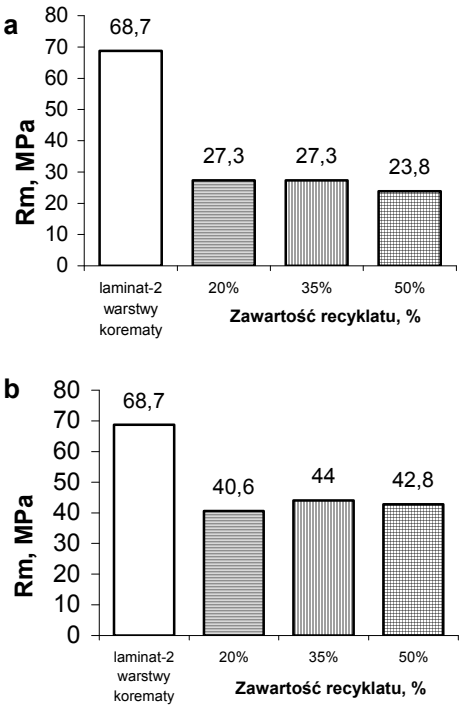
Rys. 2. Wyniki wytrzymałości na zginanie: a) laminat z okładzinami w postaci jednej warstwy maty szklanej, b) laminat z okładzinami w postaci dwóch warstw maty szklanej

Fig. 2. Results of bending strength: a) laminate with one mat as a facings, b) laminate with two mats as a facings



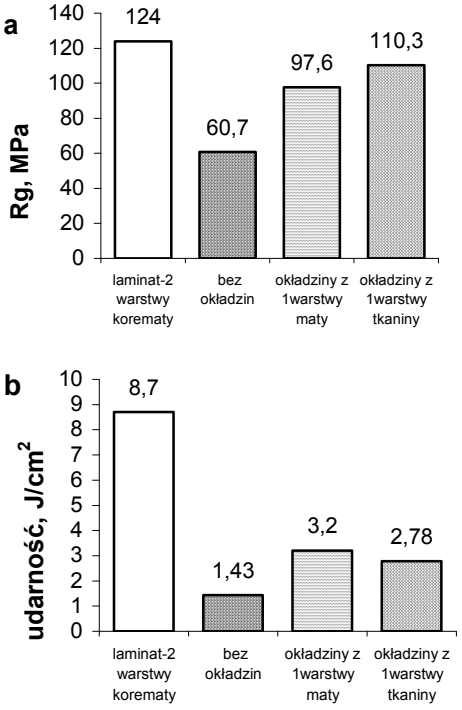
Rys. 3. Wyniki udarności: a) laminat z okładzinami w postaci jednej warstwy maty szklanej, b) laminat z okładzinami w postaci dwóch warstw maty szklanej

Fig. 3. Results of impact: a) laminate with one mat as a facings, b) laminate with two mats as a facings



Rys. 4. Wyniki wytrzymałości na rozciąganie: a) laminat z okładzinami w postaci jednej warstwy maty szklanej, b) laminat z okładzinami w postaci dwóch warstw maty szklanej

Fig. 4. Results of tensile strength: a) laminate with one mat as a facings, b) laminate with two mats as a facings



Rys. 5. Wyniki właściwości laminatów z dodatkiem 50% recyklatu: a) wyniki wytrzymałości na zginanie, b) wyniki udarności

Fig. 5. Results of mechanical properties for the laminate with 50% wt. of the recyclate: a) bending strength, b) results of impact

ANALIZA WYNIKÓW

Wyniki badań właściwości mechanicznych wykazały, że rozdrobnione odpady poliestrowo-szklane można stosować jako wypełnienie do laminatów.

W przypadku próby rozciągania oraz udarności następuje spadek badanej właściwości w porównaniu do materiału wzorcowego o ponad 60% dla laminatów o zbrojeniu w postaci jednej warstwy maty szklanej. Na uwagę zasługuje fakt, że zastosowanie dwóch warstw maty po każdej ze stron laminatu powoduje wzrost wytrzymałości na rozciąganie oraz udarności prawie o 50% w porównaniu z laminatem z okładzinami z jednej warstwy maty. Najlepsze wyniki osiągnął laminat z dodatkiem recyklatu i okładzinach z dwóch warstw maty szklanej. Materiał taki ma właściwości mechaniczne na poziomie laminatu z tradycyjnym rdzeniem w postaci korematy. Wprowadzenie rozdrobnionych odpadów poli- estrowo-szklanych spowodowało podwyższenie wytrzy-małości na zginanie o ok. 20%. Podwyższenie wartości naprężenia zginającego jest wynikiem użycia dodatkowej warstwy maty po każdej ze stron laminatu oraz obecności włókien szklanych w recyklacie, które, pomimo że są oklejone usieciowanym spoiwem poliestrowym, mogą spełniać rolę fazy wzmacniającej. Udarność wyżej wymienionego laminatu osiągnęła wartości porównywalne ze standardowym laminatem warstwowym. Jedynie wytrzymałość na rozciąganie obniżyła się o ok. 35%. Biorąc pod uwagę wyniki, zastosowanie podwójnych mat na okładziny daje duże możliwości wykorzystania powstałego laminatu.

Brak warstw zewnętrznych (maty bądź tkaniny) spowodował spadek właściwości, zarówno wytrzymałości na zginanie (o 51%), jak i udarności (o 83%). Materiał taki nie nadaje się do praktycznego zastosowania.

Różnicę badanych właściwości mechanicznych powoduje nie tylko ilość wykorzystanych warstw zewnętrz- nych, ale także zmiana ich postaci. Lepsze wyniki wytrzymałości na zginanie uzyskano przy użyciu tkaniny

z włókna szklanego. Jednak stosując tkaninę jako warstwy zewnętrzne, obniża się udarność w porównaniu ze zbrojeniem w postaci maty szklanej.

W przypadku przeprowadzonych badań można zauważyć niewielki wpływ udziału recyklatu (20, 35, 50%) na właściwości wytrzymałościowe. Uzyskane wartości, dla poszczególnych prób wytrzymałościowych, utrzymu-ją się na podobnym poziomie dla 20, 35 i 50%

zawartości recyklatu w rdzeniu badanych laminatów przekładkowych.

Spadek wytrzymałości laminatów z dodatkiem odpadów jest związany z jakością połączenia między komponentami. Jedną z przyczyn jest jakość uzyskanego recyklatu, który w dużej części składa się z dużych cząstek usieciowanej żywicy poliestrowej oraz rozdrobnionych wiązek włókien pokrytych żywicą, co w konsekwencji powoduje słabsze połączenie z nową osnową aniżeli w przypadku łączenia ze sobą żywic nieutwardzonych czy też włókien z żywicą. Być może jest to wynikiem słabego zwilżenia recyklatu przez osnowę.

Kolejnym problemem przy wykorzystaniu recyklatu do produkcji laminatów jest fakt, że wraz ze wzrostem udziału recyklatu zwiększa się zawartość pustych przestrzeni w rdzeniu. Jest to związane z dużą powierzchnią właściwą rozdrobnionych odpadów. W związku z tym ilość żywicy potrzebnej do przesycenia recyklatu musi być większa aniżeli w przypadku stosowania tradycyjnego zbrojenia (włókien szklanych). Można zatem zwiększyć udział objętościowy osnowy lub stosować mniejsze ilości recyklatu. Innym rozwiązaniem tego problemu może być obniżenie lepkości osnowy lub zastosowanie dodatkowego ciśnienia (np. laminowanie ciśnieniowe z użyciem worka). Dzięki temu możliwe byłoby dobre przesycenie recyklatu i uniknięcie powsta-nia porów, znacznie osłabiających kompozyt.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania były wstępną jakościową próbą pozwalającą na utylizację odpadów lub zużytych wyrobów kompozytowych. Zdecydowano, że najkorzystniejsze będzie zastosowanie jako metody utylizacji odpadów recyklingu materiałowego. Jest to najtańszy sposób pozbywania się zbędnych odpadów, wymaga jednak odpowiedniego doboru metody rozdrabniania zapewniającego odzyskanie zbrojenia. Najkorzystniejsze jest w tym przypadku wykorzystanie odpadów kompozytowych o jak największym udziale włóknistego zbrojenia.

Zastosowana metoda rozdrabniania dała wyniki zadowalające pod względem jakości recyklatu. Analiza sitowa i stereologiczna wykazała, że recyklat składał się z frakcji włóknistej (duże cząstki powyżej 0,5 mm) i frakcji proszkowej (drobne cząstki do 0,2 mm). Pierwszą z frakcji stanowiły głównie cząstki włókien pokrytych żywicą, natomiast frakcję proszkową tworzyły przede wszystkim cząstki żywicy.

Przeprowadzone badania wykazały, że rozdrobnione odpady kompozytowe można wykorzystać jako wypełniacz w produkcji konstrukcji laminatowych stosowanych na mniej odpowiedzialne elementy o nieskomplikowanych kształtach.

Osiągnięto obiecujące wyniki dla laminatów z rdzeniem z dodatkiem recyklatu przy zastosowaniu okładzin składających się z dwóch warstw maty szklanej. Laminaty takie cechują się porównywalnymi właściwościami z materiałem o standardowym wypełnieniu w postaci korematy. Jedynie w przypadku rozciągania wytrzymałość badanych próbek osiągnęła niskie wartości.

Uzyskane wyniki pozwalają również na stwierdzenie, że zawartość recyklatu w wypełnieniu nie ma znaczącego wpływu na właściwości mechaniczne. Jakkolwiek na właściwości te wpływa ilość zastosowanych warstw zewnętrznych oraz ich postać: tkanina lub mata szklana.

Aby w pełni wykorzystać korzystny wpływ dodatku recyklatu, należy równomiernie rozprowadzić go w osno-wie polimerowej oraz pozbyć się cząstek utwardzonej żywicy wchodzącej w skład recyklatu, zyskując tym samym większy udział włókien, stanowiących nie tylko składnik wypełniający, ale również fazę umacniającą. Usunięcie cząstek żywicy pozwoliłoby również osiąg-nąć lepsze połączenie między komponentami (recyklat-
-osnowa polimerowa).
Wprowadzenie rozdrobnionych odpadów działa nie tylko jako komponent wypełniający, ale może również wpływać na umocnienie laminatu. Można zatem uzyskiwać laminaty warstwowe, wprowadzając jako rdzeń recyklat poliestrowo-szklany, zapewniające własności wytrzymałościowe na poziomie laminatów o tradycyjnej postaci przekładek (koremata), przy niższych kosztach produkcji, umożliwiające jednocześnie utylizację odpadów kompozytów poliestrowo-szklanych.

LITERATURA

[1] Błędzki A.K., Gorący K., Polimery 1994, 9, 507-514.
[2] Błędzki A.K., Recykling materiałów polimerowych, WNT, Warszawa 1997.
[3] Pickering S.J., Kelly R.M., Kennerley J.R., Rudd C.D., Fenwick N.J., Composites Science and Technology 2000, 60, 509-523.
[4] Nowaczek W., Polimery 1999, 11/12, 758-763.
[5] Flizikowski J., Rozdrabnianie tworzyw sztucznych, Bydgoszcz 1998.

Recenzent
Zygmunt Nitkiewicz