

Jerzy Myalski¹, Monika Rutecka²

Politechnika Śląska, Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

WPLYW WIELKOŚCI FRAKCJI RECYKLATU POLIESTROWO-SZKLANEGO NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE LAMINATÓW PRZEKŁADKOWYCH

Celem badań była ocena możliwości zastosowania odpadów kompozytów poliestrowo-szklanych w produkcji laminatów. Recyklat uzyskany po rozdrobnieniu stanowił mieszaninę cząstek żywicy poliestrowej, włókien szklanych oraz aglomeratów cząstek kompozytu. Recyklat został rozdzielony na sitach na poszczególne frakcje. Wykonano laminaty przekładkowe z dodatkiem frakcji o wielkości cząstek: > 1,6 mm (niesegregowany), 1,6+1, 1+0,315, 0,315+0,063 mm oraz < 0,063 mm (rys. 1). Udział recyklatu w rdzeniu dla każdej z pięciu frakcji wynosił 25, 35, 45 lub 55% wag. Wyznaczono wartości wytrzymałości na rozciąganie, zginanie oraz udarność próbek laminatów o zawartości 25, 35, 45 lub 55% wag. recyklatu oraz okładzinach z dwóch warstw tkaniny szklanej lub maty szklanej. Wynik badania mechanicznie wykonanych laminatów przedstawiono na rysunkach 2-4. Przeprowadzone badania wykazały, że wielkość cząstek rozdrobnionych odpadów ma wpływ na właściwości mechaniczne laminatów przekładkowych z dodatkiem recyklatu. Optymalne wyniki osiągnięto dla laminatów z rdzeniem z dodatkiem recyklatu niesegregowanego. Zatem proces rozdzielania recyklatu na frakcje może być pominięty. Dobrymi właściwościami mechanicznymi charakteryzują się również laminaty z dodatkiem frakcji składających się z dużej ilości drobnych włókien (< 0,315 mm) i aglomeratów cząstek kompozytu. Ponadto badania wykazały, że na właściwości mechaniczne oprócz rodzaju zastosowanych frakcji duży wpływ ma również ich zawartość w rdzeniu laminatów przekładkowych. Można zauważyć, iż zmiany właściwości są praktycznie proporcjonalne do udziału recyklatu. Zwiększenie zawartości recyklatu powoduje pogorszenie właściwości wytrzymałościowych. Na podstawie badań można również wnioskować, że obok rodzaju frakcji i udziału recyklatu istotnym czynnikiem decydującym o poziomie właściwości mechanicznych jest rodzaj zastosowanych okładzin. 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

INFLUENCE OF FRACTION SIZE OF POLYESTER-GLASS FIBER RECYCLATE ON MECHANICAL PROPERTIES OF CORE LAMINATES

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 polyester resin particles, glass fibers and agglomerates of composites particles. The recyclate was separated by means of sieves to obtain several fractions. The stratified laminates with addition of recyclate fraction of size: > 1.6 mm (not segregated), 1.6+1, 1+0.315, 0.315+0.063 mm and < 0.063 mm were made (Fig. 1). The mass fraction was 25, 35, 45 or 55%wt. for all recyclate fractions. The results of the mechanical properties of the laminates with the recyclate has been presented (Figs. 2-4). The values of tensile strength, bending strength and impact for the laminates with addition of 25, 35, 45 or 55%wt. of recyclate and facings made from two layers of glass fabric or glass mat were evaluated. The results of the investigation have shown that size of the recyclate particles has significant influence on studied mechanical properties. Optimal properties were achieved for the laminates with addition of unfractionated recyclate. Therefore separation process can be disregard. Good mechanical properties were also achieved for the laminates with addition of fractions inclusive great amount of glass fibers and agglomerates of composites particles. It has been shown that content of the recyclate has also influence on studied mechanical properties. In addition, the tests have proved the dependence between content of the recyclate in laminates and values of bending strength, flexural modulus and impact strength, the more recyclate was added to the laminates the lower values of mechanical properties were achieved. Besides size and content of recyclate important factor, which decide of mechanical properties level was the form of applied facings. 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.

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

WSTĘP

Włókniste kompozyty polimerowe znajdują coraz szersze zastosowanie ze względu na swoje liczne zalety, z powodzeniem zastępując tradycyjne materiały. Jednak coraz większe wykorzystanie kompozytów polimerowych to również coraz większa ilość powstających

odpadów zarówno produkcyjnych, jak i poużytkowych. Odpady stanowią poważny problem ekologiczny. Obecnie opracowuje się wiele możliwości recyklingu włóknistych kompozytów polimerowych [1, 2]. Można

¹ dr inż., ² mgr inż.

tu wymienić recykling termiczny, pirolizę w celu otrzymywania paliwa [3], odzyskiwanie włókien wzmacniających (włókna szklane, węglowe) bądź recykling za pomocą złoża fluidalnego czy rozkładu żywicy [4, 5].

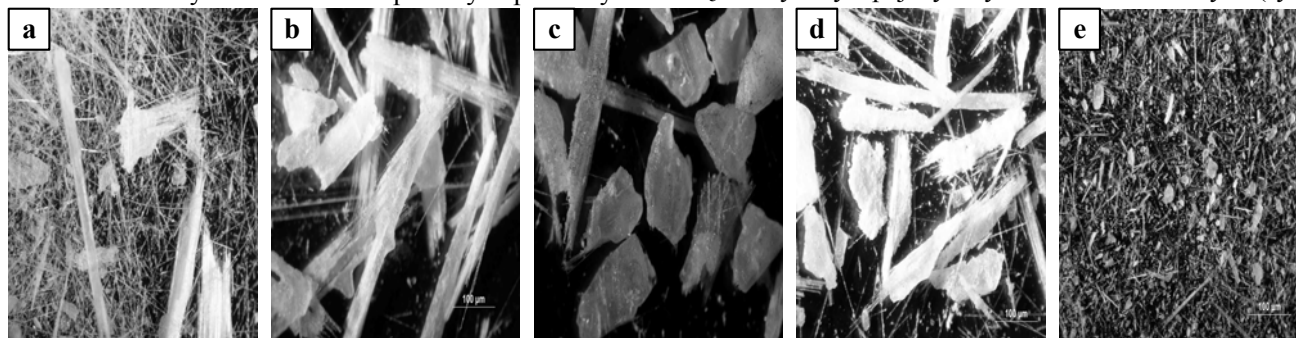
Najbardziej rozpowszechnionymi sposobami zagospodarowania odpadów jest składowanie na wysypiskach lub spalanie. Jednak w przypadku kompozytów polimerowych o osnowie duroplastycznej metody te traktowane są obecnie jako ostateczne rozwiązanie. Taka decyzja związana jest z podstawowymi wadami, jakimi są zajmowanie dużej powierzchni składowania odpadów oraz duża ilość włóknistego zbrojenia bądź mineralnych wypełniaczy [3]. Najkorzystniejszym rozwiązaniem wydaje się być recykling materiałowy [5], którego głównym celem jest przetwarzanie materiału odpadowego w produkt o wartości użytkowej. Rozdrobnionych odpadów można z powodzeniem użyć jako wypełniacza polimerowej osnowy, zastępując w nich część wypełniacza 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. Jednym z podstawowych warunków stosowania recyklatów jest jego przygotowanie do postaci przydatnej w metodach recyklingu [7, 8].

Celem przeprowadzonych badań było określenie możliwości wykorzystania rozdrobnionych odpadów kompozytów poliestrowo-szklanych jako materiału wypełniającego w produkcji konstrukcji laminatowych. Badania obejmowały ocenę jakościową recyklatu wykorzystanego jako wypełniacz oraz wpływ rozdrobnionych odpadów o różnej granulacji na charakterystyki mechaniczne wykonanych laminatów. Wykorzystanie odpadów jako wypełniacza może stanowić jeden ze sposobów utylizacji odpadów kompozytów o osnowie duroplastycznej.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiał do badań

Do badań użyto materiałów odpadowych powstałych



Rys. 1. Recyklat poliestrowo-szklany o wielkości cząstek: a) $> 1,6$ mm, b) $1,6\pm 1$ mm, c) $1\pm 0,315$ mm, d) $0,315\pm 0,063$ mm, e) $< 0,063$ mm, pow. 32x

Fig. 1. Polyester-glass fiber recycklate of particles size: a) > 1.6 mm, b) 1.6 ± 1 mm, c) 1 ± 0.315 mm, d) 0.315 ± 0.063 mm, e) < 0.063 mm, mag. 32x

w trakcie produkcji konstrukcji kompozytowych wytwarzanych przez firmę „WENTECH” w Imielinie. Wykorzystane odpady do badań to odpady poprodukcyjne, w których osnową była żywica poliestrowa Estromal 14.LM-01, a zbrojeniem mata lub tkanina z włókna szklanego. Udział objętościowy zbrojenia wynosił ok. 30%.

Pierwszym etapem uzyskania recyklatu było rozdrabnianie wstępne, przeprowadzone w celu zmniejszenia wielkości odpadów, aby możliwe było ich wprowadzenie do młyna. Następnie przeprowadzono rozdrabnianie właściwe, do którego wykorzystano młyn *T-500* firmy „Tamak-Pol”, służący do rozdrabniania tworzyw sztucznych. 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 cząstek żywicy poliestrowej, pojedynczych włókien szklanych oraz aglomeratów cząstek kompozytu. Rozdrobnione odpady kompozytowe zostały rozdzielone na sitach na poszczególne frakcje. Użyte do rozdzielania sita miały następujące wielkości oczek: 1,6, 1, 0,315 mm oraz 0,063 mm. Do badań wykorzystano uzyskane frakcje oraz recyklat niesegregowany (wielkość frakcji $> 1,6$ mm).

W celu określenia wpływu dodatku recyklatu na właściwości mechaniczne laminatów wykonano próbki laminatów przekładkowych, w których rdzeń stanowił mieszaninę recyklatu oraz żywicy poliestrowej Estromal 14.LM-01. Próbkę laminatów wykonano z dodatkiem frakcji o wielkości cząstek: $> 1,6$ mm (frakcja niesegregowana), $1,6\pm 1$, $1\pm 0,315$, $0,315\pm 0,063$ mm oraz $< 0,063$ mm. Udział recyklatu każdej z pięciu frakcji wynosił 25, 35, 45 lub 55% wag. Frakcja niesegregowana ($> 1,6$ mm) stanowiła recyklat bezpośrednio po rozdrobnieniu, nie podlegała rozdzielaniu (rys. 1a). Frakcja o wielkości cząstek z przedziału $1,6\pm 1$ mm to głównie włókna szklane i aglomeraty cząstek kompozytu (rys. 1b), z kolei frakcja $1\pm 0,315$ mm to głównie cząstki żywicy i niewielka ilość aglomeratów cząstek kompozytu (rys. 1c). Frakcja o wielkości cząstek $0,315\pm 0,063$ mm składała się, podobnie jak cząstki z przedziału $1,6\pm 1$ mm, z aglomeratów cząstek kompozytu, drobnych cząstek żywicy i pojedynczych włókien szklanych (rys.

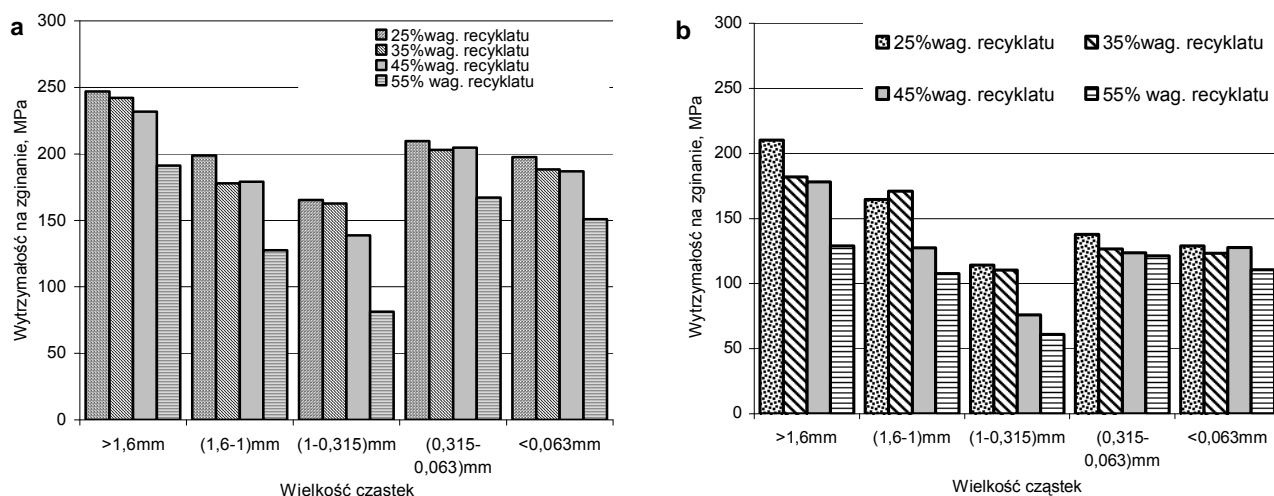
1d). Najdrobniejsza frakcja, o wielkości cząstek poniżej 0,063 mm, to bardzo drobne włókna szklane i niewielka ilość bardzo drobnych cząstek żywicy (rys. 1e).

Jako okładziny laminatów przekładkowych wykorzystano dwie warstwy maty szklanej EM 1002 o gramaturze 450 g/m² lub tkaniny szklanej o gramaturze 360 g/m². Kompozyty zostały wytworzone metodą laminowania kontaktowego.

Badania właściwości mechanicznych

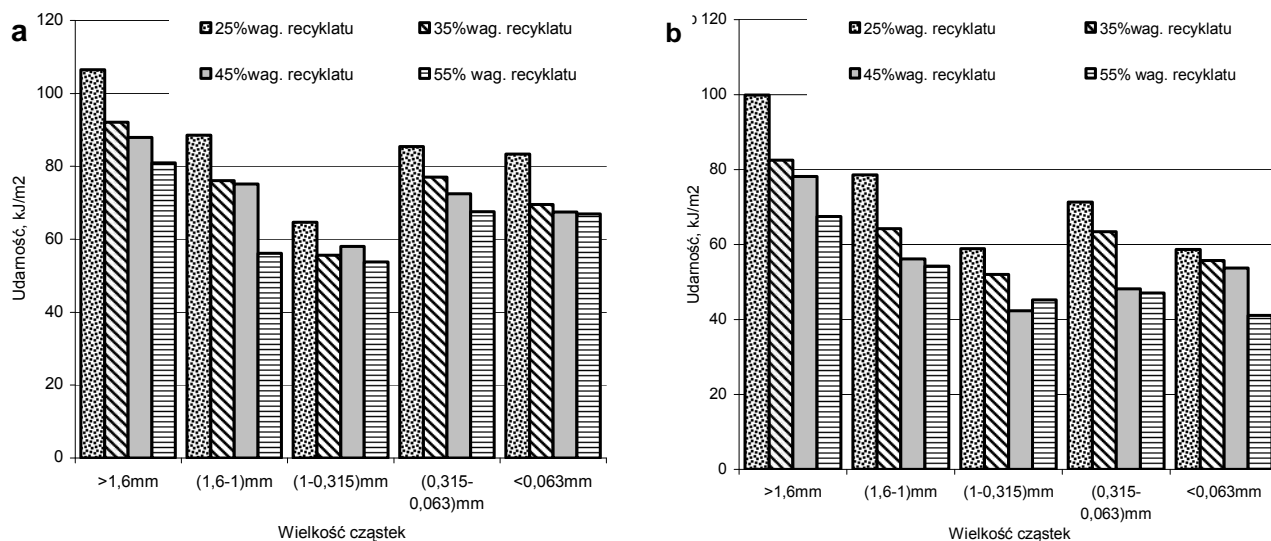
Podstawą do oceny jakości zastosowanych laminatów były przeprowadzone badania wytrzymałościowe,

rozciąganie, zginanie oraz udarności. W każdym z przeprowadzonych badań próbki miały kształt belek o wymiarach zgodnych z zaleceniami odnośnych norm. Próby rozciągania i zginania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu INSTRON 4468. Natomiast udarność wykonano za pomocą młota wahadłowego (metoda Charpy'ego), o energii uderzenia 15 J. Wyniki wytrzymałości na zginanie w zależności od rodzaju i udziału frakcji dla okładzin w postaci maty i tkaniny przedstawiono na rysunku 2, wyniki udarności na rysunku 3, natomiast wyniki wytrzymałości na rozciąganie przedstawia rysunek 4.



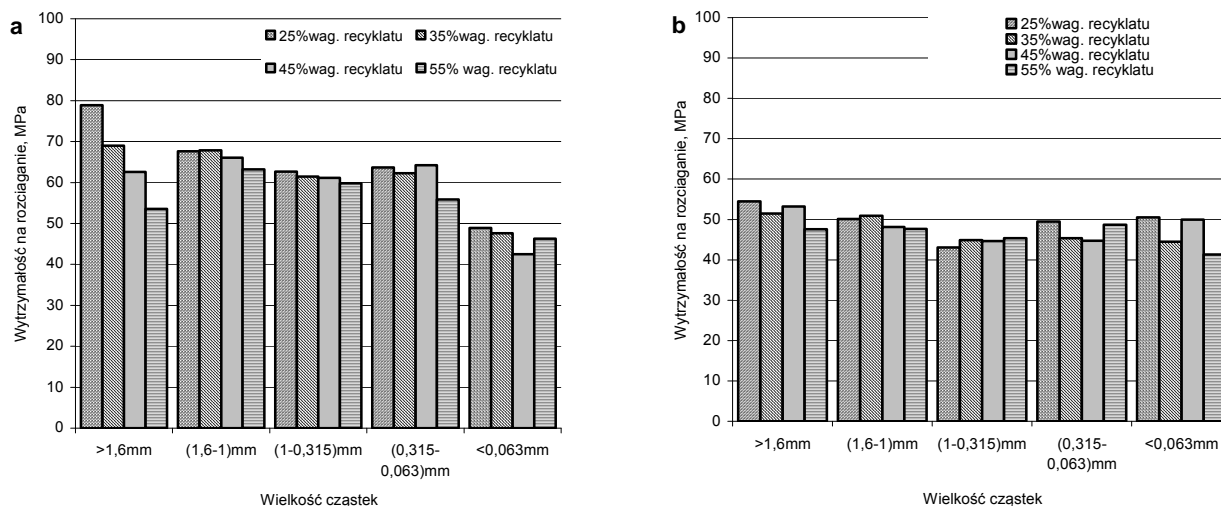
Rys. 2. Zależność wytrzymałości na zginanie od wielkości i udziału frakcji laminatów o okładzinach w postaci: a) tkaniny, b) maty

Fig. 2. Effect of size and content of recyclate on bending strength of laminates with facings of: a) fabric, b) chopped mat



Rys. 3. Zależność udarności od wielkości i udziału frakcji laminatów o okładzinach w postaci: a) tkaniny, b) maty

Fig. 3. Effect of size and content of recyclate on impact strength of laminates with facings of: a) fabric, b) chopped mat



Rys. 4. Zależność wytrzymałości na rozciąganie od wielkości i udziału frakcji laminatów o okładzinach w postaci: a) tkaniny, b) maty

Fig. 4. Effect of size and content of recycilate on tensile strength of laminates with facings of: a) fabric, b) chopped mat

ANALIZA WYNIKÓW

Analizując wyniki badanych właściwości wytrzymałościowych, widać wyraźnie wpływ składu frakcji. Najkorzystniejsze z punktu widzenia uzyskania wysokich właściwości wytrzymałościowych (wytrzymałość na zginanie i udarność) wydaje się być dodawanie recyklatu niesegregowanego, gdyż laminaty z tego rodzaju wypełniaczem posiadają najwyższą wytrzymałość, zarówno gdy jako okładziny zastosowano tkaninę szklaną, jak i matę szklaną. Ponadto możliwość wykorzystania recyklatu niewymagającego rozdzielania na frakcje jest dodatkową zaletą, ponieważ proces rozdzielania może być pominięty, co znacznie skraca czas przygotowania recyklatu. Badania wytrzymałości na rozciąganie również wykazały korzystne oddziaływanie recyklatu niesegregowanego.

Dobre właściwości wytrzymałościowe osiągnęły laminaty z frakcją niesegregowaną z dodatkiem recyklatu o dużej zawartości włókien szklanych oraz aglomeratów cząstek kompozytu, a więc laminaty z frakcjami o wielkości cząstek, mieszczące się w przedziale $1,6 \div 1$ mm oraz $0,315 \div 0,063$ mm. Wysoki poziom właściwości mechanicznych związany jest z procesem umocnienia materiału tego rodzaju cząstkami, które ze względu na swoją budowę hamowały rozwój pęknięcia. Na podstawie badań można wnioskować, że najmniej korzystnie wpływa recyklat o wielkości cząstek zawierających się w przedziale $1 \div 0,315$ mm. Przyczyną niskich właściwości wytrzymałościowych było najprawdopodobniej to, że frakcja ta składała się głównie z cząstek żywicy i niewielkiej ilości włóknistych cząstek recyklatu. Według badań [3, 4], występowanie cząstek żywicy w recyklocie, jak i na powierzchni włókien jest powodem spadku właściwości mechanicznych po dodaniu recyklatu do kompozytu. Być może jest to wynikiem złej

jakości połączenia między komponentami czy niewłaściwego zwilżenia recyklatu przez osnowę.

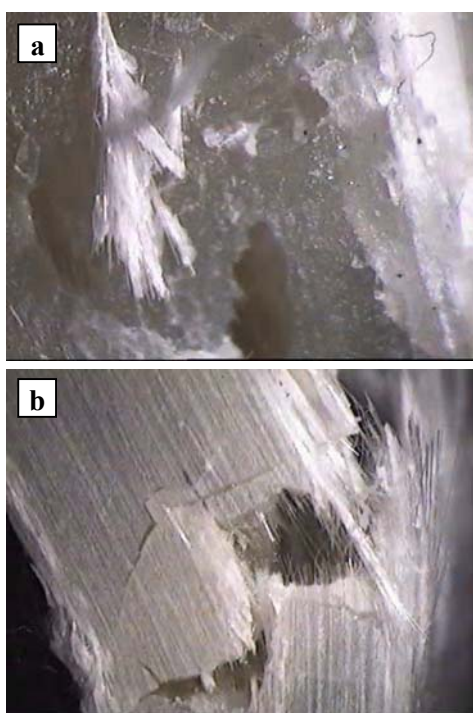
Analizując zależność wytrzymałości na zginanie i udarność od wielkości cząstek rozdrobnionych odpadów, widać, że w miarę zmniejszania się wielkości cząstek następuje spadek właściwości mechanicznych, osiągając minimum dla frakcji składającej się głównie z cząstek żywicy lub ziarnistych cząstek kompozytu. Wartości właściwości mechanicznych dla frakcji $0,315 \div 0,063$ mm są na podobnym poziomie co dla frakcji o wielkości cząstek mieszczących się w przedziale $1,6 \div 1$ mm. Jest to związane z postacią recyklatu, która dla obu wielkości cząstek jest taka sama. Frakcje te składają się głównie z włókien szklanych i aglomeratów cząstek kompozytu, różniąc się wielkością, spełniając nie tylko rolę wypełnienia, ale również pewnego rodzaju zbrojenia. Tymczasem pomimo że najdrobniejszy recyklat $< 0,063$ mm charakteryzuje się podobnym składem co poprzednia frakcja, to jednak bardzo mała wielkość cząstek powoduje obniżenie wytrzymałości rdzenia laminatu. Spadek tych właściwości nie jest tak duży jak w przypadku frakcji $1 \div 0,315$ mm.

Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie wskazują, że w przypadku obciążeń normalnych wielkość recyklatu oraz jego udział nie mają tak dużego znaczenia jak w przypadku zginania i udarność. Przebieg zmian wytrzymałości od rodzaju frakcji ma podobny charakter jak w poprzednich badaniach, jednak różnice pomiędzy poszczególnymi laminatami są niewielkie i można stwierdzić, że wytrzymałość ta utrzymuje się na podobnym poziomie dla wszystkich laminatów zarówno o okładzinach w postaci tkaniny, jak i maty.

Na badane właściwości wpływa nie tylko rodzaj i wielkość zastosowanego recyklatu, ale również postać zastosowanych okładzin. Wykorzystanie jako okładzin dwóch warstw tkaniny jest korzystniejsze, gdyż laminaty

osiągają ogólnie nieco wyższy poziom właściwości wytrzymałościowych, jak wytrzymałości na zginanie, rozciąganie, jak i udarności, w porównaniu do laminatów, w których jako okładziny zastosowano matę szklaną.

Na rysunku 5 przedstawiono sposób zniszczenia próbek po przeprowadzeniu próby udarności. Zniszczenie próbek polegało przede wszystkim na pękaniu rdzenia laminatów oraz na odwarstwieniu zastosowanych okładzin. W materiale rdzenia pęknięcia tworzą się najczęściej w obszarach na granicy rozdziału cząstka recyklatu-osnowa (rys. 5a), chociaż, jak widać na rysunku 5b, przy dobrym połączeniu recyklatu z osnową następuje rozciąganie i zniszczenie włókien w samej cząstce kompozytowego recyklatu.



Rys. 5. Widok próbek laminatów przekładkowych z dodatkiem 55% recyklatu niesegregowanego o okładzinach w postaci maty szklanej po próbie udarności: a) zniszczenie rdzenia, b) przełom próbki

Fig. 5. View of the laminate's specimen with addition of 55%wt. of recycle and chopped mat as facings after impact test: a) failure of core, b) fracture of specimen

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że właściwości mechaniczne laminatów z wypełnieniem w postaci recyklatu poliestrowo-szklanego zależą nie tylko od wielkości frakcji recyklatu, ale również od jego zawartości w rdzeniu laminatów. Można zauważyć praktycznie proporcjonalną zależność właściwości wytrzymałościowych od udziału rozdrobnionych odpadów, im więcej recyklatu, tym ich niższe wartości. Najkorzystniejsze właściwości wytrzymałościowe uzyskano dla laminatów z dodatkiem 25% wag. recyklatu poliestrowo-szklanego dla wszystkich badanych frakcji. Z kolei najniższymi właściwościami charakteryzują

się laminaty z największą ilością odpadów, czyli 55% wag. Pośrednie wartości osiągnęły laminaty z dodatkiem 35 i 45% wag. recyklatu, dla których wyniki były na porównywalnym poziomie.

Problemem przy wykorzystaniu recyklatu do produkcji laminatów jest to, że wraz ze wzrostem udziału recyklatu zwiększa się zawartość pustych przestrzeni w rdzeniu. Pory wpływają na osłabienie materiału poprzez obniżenie rzeczywistego przekroju. Zarówno ilość, jak i wielkość porów jest ściśle zależna od zawartości recyklatu w kompozycji. To z kolei jest związane z kolejnym problemem wykorzystania rozdrobnionych odpadów kompozytowych, jakim jest konieczność stosowania większej ilości żywicy do przesylenia recyklatu. Dzieje się tak, gdyż materiał odpadów ma większą powierzchnię właściwą. W związku z tym ilość żywicy potrzebnej do przesylenia recyklatu musi być większa aniżeli w przypadku stosowania standardowego zbrojenia np. w postaci krótkich włókien szklanych. Drugim powodem występowania porów jest zastosowana technologia wytwarzania kompozytu, czyli laminowanie kontaktowe. Aby wyeliminować wady laminowania ręcznego, można 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 przesylenie recyklatu i uniknięcie powstania porów, znacznie osłabiających kompozyt. Sposób formowania wypełnienia przyczyniał się do występowania kolejnego niekorzystnego zjawiska, nierównomiernego rozłożenia recyklatu w osnowie. W materiale zauważalne były miejsca z dużą zawartością odpadów, jak i przestrzenie o zubożonej ilości recyklatu. W zdecydowanej większości próbki łamały się i rozrywały w miejscach bogatszych w recyklat.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania miały na celu ocenę możliwości wykorzystania rozdrobnionych odpadów kompozytowych jako wypełniacza laminatów przekładkowych. Zdecydowano, że najkorzystniejszą metodą utylizacji jest recykling materiałowy, będący najtańszym sposobem pozbywania się zbędnych odpadów, wymaga to jednak odpowiedniego doboru metody rozdrabniania zapewniającego odzyskanie zbrojenia. W związku z tym najkorzystniejsze jest wykorzystanie odpadów kompozytowych o jak największym udziale włóknistego zbrojenia.

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

Zastosowana metoda rozdrabniania dała wyniki zadowalające pod względem jakości recyklatu, nie uszkadzając włókien i powodując rozdzielanie włókien lub tworzenie konglomeratów recyklatu w postaci włóknistej. Analiza sitowa pozwoliła wyodrębnić frakcje włóknistą ($> 0,063$ mm) i proszkową ($< 0,063$ mm). Obserwacje poszczególnych odsiewów wykazały, że recyklat składał się z włókien szklanych, cząstek żywicy oraz aglomeratów cząstek kompozytu w różnych proporcjach w zależności od frakcji.

Osiągnięto obiecujące wyniki dla laminatów z rdzeniem z dodatkiem recyklatu niesegregowanego. Zatem w celu uzyskania laminatów z dodatkiem recyklatu zadowalających pod względem właściwości wytrzymałościowych proces rozdzielania na frakcje może być pominięty, co znacznie skraca czas przygotowania odpadów kompozytowych. Poza tym dobrymi właściwościami mechanicznymi charakteryzują się również laminaty z dodatkiem frakcji składających się z dużej ilości włókien i aglomeratów cząstek kompozytu. Ponadto badania wykazały, że na analizowane właściwości mechaniczne oprócz rodzaju zastosowanych frakcji duży wpływ ma również ich zawartość w rdzeniu laminatów przekładkowych. Można zauważyć, iż zmiany właściwości są praktycznie proporcjonalne do udziału recyklatu. Wzrost zawartości recyklatu powoduje spadek właściwości wytrzymałościowych. Jednak przy wielkości cząstek $< 0,315$ mm można stosować tak przygotowany recyklat nawet w dużych ilościach wagowych w rdzeniu, gdyż wzrost udziału cząstek recyklatu o dużym stopniu rozdrobnienia w niewielkim stopniu obniża właściwości wytrzymałościowe.

Na podstawie badań można również wnioskować, że obok rodzaju frakcji i udziału recyklatu istotnym czynnikiem decydującym o poziomie właściwości mechanicznych jest rodzaj zastosowanych okładzin. W przypadku stosowania maty szklanej jako okładzin wartości wytrzymałości na zginanie, rozciąganie i udarność są ogólnie niższe.

Bardzo ważnym elementem wpływającym na jakość laminatów z dodatkiem recyklatu jako wypełniacza jest ich technologia wytwarzania. Aby w pełni wykorzystać wpływ dodatku recyklatu, należy równomiernie rozprowadzić go w osnowie polimerowej, co jest jednak trudne do osiągnięcia. Dodatkowo lepszą jakość produktu można uzyskać, stosując zewnętrzne ciśnienie, dzięki czemu możliwe byłoby zmniejszenie ilości porów i pustek w laminatach.

Wprowadzenie rozdrobnionych odpadów działa nie tylko jako komponent wypełniający, ale może również wpływać na umocnienie laminatu. Można zatem uzyskiwać laminaty przekładkowe, wprowadzając jako dodatek recyklat poliestrowo-szklany, przy niższych kosztach produkcji, umożliwiając jednocześnie utylizację odpadów kompozytów poliestrowo-szklanych.

Badania przeprowadzone w ramach projektu badawczego KBN nr 3T08E03426.

LITERATURA

- [1] Błędzki A.K., Gorący K., Recykling tworzyw termoutwardzalnych, *Polimery* 1994, 9, 507-514.
- [2] Anonim: REINFORCED plastics, May, 1998, 40-45
- [3] Błędzki A.K., Recykling materiałów polimerowych, WNT, Warszawa 1997.
- [4] Pickering S.J., Kelly R.M., Kennerley J.R., Rudd C.D., Fenwick N.J., *Composites Science and Technology* 2000, 60, 509-523.
- [5] Kennerley J.R., Pickering S.J., Kelly R.M., Rudd C.D., Fenwick N.J., *Composites Part A* 1998, 29A, 829-845.
- [6] Nowaczek W., *Polimery* 1999, 11/12, 758-763.
- [7] Flizikowski J., *Rozdrabnianie tworzyw sztucznych*, Bydgoszcz 1998.
- [8] Lehr K., Melchiorre M., *International Journal of Mineral Processing* 1996, 44-45, 143-153.

Recenzent
Ludomir Ślusarski