

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Procesy technologiczne odzysku i recyklingu kompozytów polimerowo-ceramicznych

Maciej Kalestyński¹, Piotr Zach²

¹Wastech recycling sp. z o.o.

²Institut Podstaw Budowy Maszyn Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych, Politechnika Warszawska
email: mkalestynski@wastech.pl, piotr.zach@pw.edu.pl

STRESZCZENIE: Szkło laminowane wytwarza się w procesie autoklawizacji szkła i polimerowej membrany poli(winylobutyralowej). W przypadku rozbicia szkła nie dochodzi do utraty ciągłości szyby, jak ma to miejsce w przypadku szkła hartowanego, z uwagi na występowanie adhezji pomiędzy polimerem a szkłem. Ten rodzaj szkła jest często określany jako szkło *VerbundSicherheitsGlas*, co oznacza szkło bezpieczne laminowane/warstwowe. Szkło tego typu powszechnie wykorzystywane jest w branży motoryzacyjnej do produkcji szyb samochodowych. Na rynku brak jest funkcjonującej w skali przemysłowej technologii pozwalającej efektywnie odzyskiwanie surowców z użytkowych kompozytów polimerowo-ceramicznych tj. szkła i polimeru. Realizowane procesy obejmują jedynie wydzielenie szkła w ilości do 80%. Wykonano prace badawcze i konstrukcyjno-projektowe, których rezultatem jest opracowanie nowej technologii zagospodarowania i przetworzenia szyb laminowanych zgodnie z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym (z ang. circular economy).

SŁOWA KLUCZOWE: kompozyty, struktury polimerowo-ceramiczne, technologia, recykling

1. Odzysk i recykling kompozytów polimerowo-ceramicznych

Szkło laminowane jest produktem mającym szerokie zastosowanie w przemyśle samochodowym oraz w budownictwie. Wykorzystywane jest do wytwarzania m. in. przednich i tylnych szyb pojazdów oraz ścianek działowych, podzespołów kabin prysznicowych, drzwi, blatów stołów czy kuchennych płyt ściennych. Proces laminacji pozwala na uzyskanie wyższych parametrów mechanicznych, a przypadku uszkodzenia zapobiega niebezpiecznej fragmentacji szyby [1].

Omówione w artykule działania są odpowiedzią na potrzeby rynku dotyczące recyklingu szkła laminowanego, w szczególności samochodowego. Aktualnie eksploatowane technologie umożliwiają odzysk do 80% szkła. Polimer nie jest odzyskiwany. Wiodące ośrodki naukowe i naukowo-badawcze realizują granty mające na celu przetwarzanie, odzysk i zagospodarowanie na skalę przemysłową szyb laminowanych. Aktualnie odzyskiwane jest tylko szkło, które można stosować jako materiał ścierny do piaskowania lub napełniacz. Pozostają niezagospodarowane odpady poprodukcyjne i z wyeksploatowanych pojazdów oraz infrastruktury budowlanej w postaci żywic PVB oraz frakcji polimerowej wymieszanej ze szkłem [2-3].

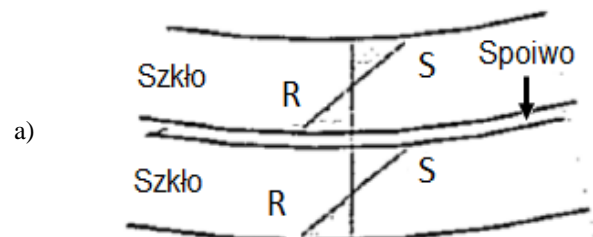
W pracy podjęto zagadnienia obejmujące min.: opracowanie modelowych zasad rozpuszczania folii PVB w celu dokonania wydzielenia stłuczki szklanej ze strumienia odpadu, opracowanie metod odzysku poliwinylbutyralu przy uwzględnieniu kryteriów minimalizacji energo i czasochłonności procesów. W ich następstwie opracowano założenia procesu technologicznego do przemysłowego przetwarzania szyb laminowanych.

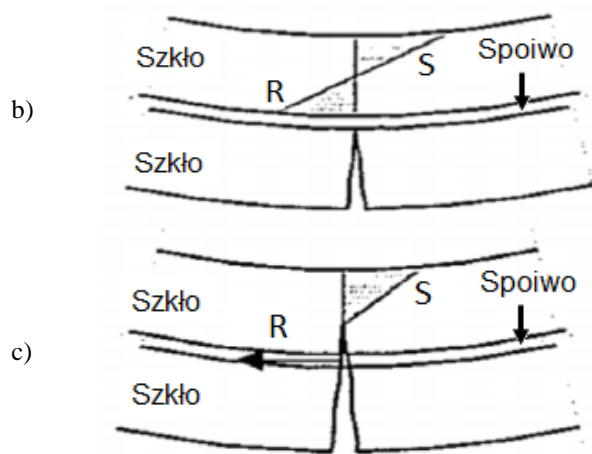
2. Obiekt badawczy

Szkło laminowane, czyli warstwowe, złożone jest z dwóch lub więcej tafli szklanych, połączonych ze sobą za pomocą syntetycznej warstwy spajającej. Laminat może być kombinacją różnych rodzajów i grubości szkła tj. float, hartowanego lub półhartowanego oraz membrany (folii) najczęściej wykonanej z żywicy polimerowych np. membrany poliwinylbutyralowej (PVB) [3].

Cechą charakterystyczną tego typu kompozytu jest wysoki poziom bezpieczeństwa spowodowany faktem, że w przypadku oddziaływania siły mechanicznej (np. podczas uderzenia) szkło nie pęka i rozpada się na wiele odłamów, tylko pozostaje w formie jednego, zwartego bloku ograniczając tym samym ryzyko zranienia. W zależności od potrzeb i zastosowania, grubość warstw oraz rodzaje zastosowanego szkła czy spoiwa mogą się różnić.

Podstawową cechą szyb laminowanych jest brak pęknięcia ze swobodnym i niekontrolowanym rozsypywaniem się na kawałki warstwami szkła. Powłoka spajająca polimeru gwarantuje zachowanie ciągłej struktury laminatu również po uszkodzeniu warstwy szkła [4]. Na rysunku 1 przedstawiono etapy obciążenia szyby laminowanej podczas próby zginania.





Rys. 1. Etapy obciążenia szyby laminowanej [5]
R – rozciąganie S – ściskanie

W nominalnych warunkach pracy (a), obie warstwy szkła przenoszą obciążenie i są zginane oraz rozciągane. Po przekroczeniu wartości naprężeń rozciągających w szkłe (b) następuje pęknięcie warstwy dolnej szkła. W następstwie całe obciążenie przenosi warstwa górna szkła. Poziom obciążen eksploatacyjnych przenoszonych przez warstwę spajającą z żywicy polimerowej, w porównaniu do szkła w (a) i (b) jest pomijalnie mały. Utrata nośności szkła, w wyniku np. zniszczenia górnej warstwy szkła powoduje, że polimerowa warstwa adhezyjna jest rozciągana i utrzymuje dwie warstwy szkła, podczas gdy górna warstwa jest poddawana już tylko działaniu ściskania. Przenoszenie obciążeń między szkłem i spoiwem następuje dzięki siłom adhezji.

3. Rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne

Wykonano badania frakcji odpadowej po mechanicznym przetwarzaniu szyb laminowanych samochodowych i budowlanych. Stwierdzono, że odpad stanowi mieszaninę różnych frakcji o składzie zależnym od dostępności odpadów szyb laminowanych samochodowych i budowlanych i szyb warstwowych na rynku [6]. Zwrócono szczególną uwagę na stopień zanieczyszczenia oraz rodzaj i charakter degradacji odpadowego surowca PVB. Dokonano oceny technologicznych, realizowanych przemysłowo procesów obróbki szyb laminowanych samochodowych/budowlanych i szyb warstwowych [7]. Zrealizowano badania doświadczalne obejmujące metody oczyszczania użytkowej, wydzielonej ze strumienia żywicy poliwinylbutyralowej. Prace prowadzono pod kątem poprawy efektywności rozdzielania szkła i PVB. Wykonane prace mające na celu opracowanie wydajnej metody usuwania pyłu szklanego. Przebadano metody gwarantujące przemysłową aplikację metody przy jednoczesnym dużym wydatku procesu. Zaprojektowano i wytworzono prototyp urządzenia do przemysłowego przetwarzania żywic PVB.

4. Podsumowanie

Prace doprowadziły do opracowania przemysłowej technologii odzysku i recyklingu do 99% surowców w postaci: żywicy PVB i szkła zespolonego z warstwowymi kompozytami polimerowo - ceramicznymi. Metoda separacji frakcji szklanej i wtrąceń innych tworzyw, wydzielenia i przetwarzania termoplastycznej żywicy PVB oraz i pyłu szklanego z odpadów powstających po procesie odzysku szyb samochodowych polegająca na roztwarzaniu termoplastycznej żywicy PVB pozwoliła na opracowanie kompleksowej technologii odzysku i przetwarzania surowców z kompozytów polimerowo-ceramicznych zgodnie z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym.

Praca została wykonana w ramach projektu realizowanego w ramach konkursu Ścieżka dla Mazowsza: MAZOWSZE/0124/19-00.

Literatura

- [1] J. Osiński, P. Żach, Technologie wytwarzania paliw i energii z surowców odpadowych pochodzących z rolnictwa, zużytych pojazdów, sprzętu AGD i innych, Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2015.
- [2] J. Osiński, P. Żach, Wybrane zagadnienia recyklingu samochodów, WKiŁ 2009.
- [3] J. Osiński, M. Kalestyński, "Metoda określenia podatności na recykling pojazdów wycofanych z eksploatacji na podstawie ich budowy", Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo, Kazimierz Dolny 2005.
- [4] P. Kosiński, P. Żach, Badania doświadczalne samochodowych szyb warstwowych, Materiały konferencyjne XXVII Sympozium PKM 2015.
- [5] P. Kosiński, P. Żach, sprzężone zespoły szyb w pojazdach, Autobusy bezpieczeństwo i ekologia 2107. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy R. 18 nr 12, s. 257-259 2017.
- [6] M. Kalestyński, Systemowe podejście do recyklingu pojazdów, Rynek Wtórnych Metali 2015.
- [7] Kosiński, P. Mańkowski, J. Żach, P., Experimental Research on Automotive Laminated Glass Machine Dynamics Research vol. 41, No. 4, 2017, p. 97-100.