

**Ewa Klugmann-Radziemska, Józef T. Haponiuk, Janusz Datta
Krzysztof Formela, Maciej Sienkiewicz, Marcin Włoch**

Nowoczesne technologie recyklingu materiałowego

Gdańsk 2017

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Janusz T. Cieśliński

REDAKTOR PUBLIKACJI NAUKOWYCH

Michał Szydłowski

RECENZENCI

Joanna Paciorek-Sadowska

Elżbieta Piesowicz

REDAKCJA JĘZYKOWA

Agnieszka Frankiewicz

SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI

Wioleta Lipska-Kamińska

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
<http://pg.edu.pl/wydawnictwo/katalog>
zamówienia prosimy kierować na adres wydaw@pg.edu.pl

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie
i w jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2017

ISBN 978-83-7348-704-8

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie I. Ark. wyd. 7,0, ark. druku 7,5, 182/969

Druk i oprawa: Volumina.pl Daniel Krzanowski
ul. Księcia Witolda 7-9, 71-063 Szczecin, tel. 91 812 09 08

Spis treści

Wprowadzenie	5
1. Termomechaniczna regeneracja odpadów gumowych – <i>Krzysztof Formela, Józef T. Haponiuk</i>	9
1.1. Wstęp	9
1.2. Procesy chemiczne zachodzące podczas regeneracji odpadów gumowych	9
1.3. Regeneracja metodą ciągłą przy użyciu wylączarek	14
1.3.1. Wylączarki jednoślismakowe	16
1.3.2. Wylączarki dwuślismakowe	17
1.4. Charakterystyka regeneracji ciągłej w funkcji wybranych parametrów	20
1.4.1. Temperatura cylindra	20
1.4.2. Prędkość obrotowa ślimaków	30
1.4.3. Konstrukcja układu uplastyczniającego	33
1.5. Perspektywy rozwoju termomechanicznej regeneracji odpadów gumowych	36
Literatura	38
2. Kompozytowe materiały poliuretanowo-gumowe – <i>Maciej Sienkiewicz</i>	45
2.1. Wstęp	45
2.2. Uzasadnienie przydatności poliuretanów w roli osnowy kompozytów poliuretanowo-gumowych	46
2.2.1. Kompozyty otrzymywane z elastomerów uretanowych i recyklatów gumowych	54
2.2.2. Spienione kompozyty poliuretanowo-gumowe	64
Literatura	70
3. Recykling poliuretanów oraz poli(tereftalanu etylenu) – <i>Janusz Datta, Marcin Włoch</i>	73
3.1. Wstęp	73
3.2. Recykling mechaniczny	73
3.2.1. Recykling mechaniczny poliuretanów	73
3.2.2. Recykling mechaniczny poli(tereftalanu etylenu)	74
3.3. Recykling chemiczny	76
3.3.1. Recykling chemiczny poliuretanów	76
3.3.2. Recykling chemiczny poli(tereftalanu etylenu)	82
Literatura	85

4. Ekoefektywne technologie materiałowe dla energetyki – <i>Ewa Klugmann-Radziemska</i>	89
4.1. Wstęp	89
4.2. Recykling materiałowy systemów fotowoltaicznych	89
4.3. Recykling materiałowy opon samochodowych	97
4.4. Materiały zmiennofazowe do akumulowania ciepła	101
Literatura	106
Podsumowanie	110

Wprowadzenie

Problem rosnącego zanieczyszczenia środowiska na skutek wzmożonej działalności przemysłowej jest przedmiotem uwagi na całym świecie. Możliwości odzysku i recyklingu odpadów w różnych sektorach gospodarki są wielorakie, a konkretne technologie są rozszerzane i udoskonalane. W niniejszej monografii przedstawiono wyniki prac badawczych i wdrożeniowych obejmujących nowoczesne technologie recyklingu materiałowego, prowadzonych na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej.

W rozdziale 1 omówiono badania termomechanicznej regeneracji/dewulkanizacji przy użyciu wycłaczarek jedno- i dwuślimakowych, prowadzone w Katedrze Technologii Polimerów. Zastosowanie regeneracji ciągłej odpadów gumowych umożliwia znaczne skrócenie czasu trwania procesu w porównaniu ze starszymi, okresowymi metodami dewulkanizacji. Dewulkanizacja ciągła przy użyciu wycłaczarki dwuślimakowej jest stosunkowo nową formą recyklingu materiałowego, która wymaga określenia zależności między parametrami przetwórstwa a właściwościami otrzymanych regeneratów gumowych.

W rozdziale 2 opisano kompozytowe materiały poliuretanowo-gumowe, mające dobre właściwości użytkowe, wynikające z wysokiej wytrzymałości na rozciąganie połączonej z dużą elastycznością i odpornością na ścieranie oraz na rozpuszczalniki, oleje i smary. Zaletę właściwości tej grupy polimerów stanowi przede wszystkim to, że mają one budowę segmentową i strukturę domenową. Scharakteryzowano dwie grupy opracowanych w Katedrze Technologii Polimerów poliuretanowo-gumowych materiałów wytwarzanych z prepolimerów uretanowych, zawierających wolne grupy izocyjanianowe, i recyklatów gumowych, zastosowanych w różnej ilości, zmienianej w zakresie 10–90% masowych. Pierwsza grupa opracowanych materiałów jest wytwarzana i przetwarzana przy użyciu specjalistycznych agregatów dozująco-mieszających i zasad technologii formowania polimeryzacyjnego oraz techniki reaktywnego odlewania lub wtrysku (RIM, RRIM), w których proces ich otrzymywania jest połączony z jednoczesnym formowaniem określonych artykułów technicznych i wyrobów powszechnego użycia. Proces wytwarzania drugiej grupy kompozytów jest prowadzony przy użyciu typowych reaktorów ze standardowym wyposażeniem. Otrzymywane materiały kompozytowe znajdują zastosowanie w produkcji gotowych wyrobów metodami prasowania, wtryskiwania lub wycłaczania.

Na właściwości tych układów dwufazowych wpływają przede wszystkim rodzaj zastosowanej osnowy poliuretanowej oraz zawartość recyklatu gumowego.

Rozdział 3 poświęcono recyklingowi poliuretanów oraz poli(tereftalanu etylenu). Poliuretany (PU) i poli(tereftalan etylenu) (PET) stanowią zaraz obok poliolefin główne źródła odpadów z tworzyw sztucznych. Zarówno PU, jak i PET można poddawać depolimeryzacji chemicznej z użyciem małowcząsteczkowych glikoli, amin oraz wody. Najważniejsze znaczenie w obu przypadkach ma proces glikolizy umożliwiający otrzymanie półproduktów, które mogą znaleźć zastosowanie przy ponownej syntezie tych polimerów. Aktualny stan technologii recyklingu PET pozwala na jego ponowne wykorzystanie (po dokładnym oczyszczeniu mechanicznym i biologicznym) do produkcji opakowań mających kontakt z żywnością i napojami (*food grade products*). Dalszy rozwój metod recyklingu chemicznego oraz mechanicznego zarówno PU, jak i PET pozwoli na ograniczenie ilości nieobjętych dla środowiska naturalnego odpadów polimerowych, powstających w dużych ilościach każdego roku. W rozdziale przedstawiono – na podstawie badań realizowanych w Katedrze Technologii Polimerów – praktyczne, a zarazem efektywne metody ich zagospodarowania: wskazano źródła odpadów z poliuretanów oraz poli(tereftalanu etylenu), omówiono recykling chemiczny poliuretanów, recykling chemiczny poli(tereftalanu etylenu), recykling mechaniczny poliuretanów, recykling mechaniczny poli(tereftalanu etylenu) oraz odzysk energetyczny.

W rozdziale 4 omówiono badania realizowane w Katedrze Aparatury i Maszynoznawstwa Chemicznego, dotyczące recyklingu materiałowego systemów fotowoltaicznych i odpadów gumowych. Wraz z rosnącym wykorzystaniem instalacji fotowoltaicznych do konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną coraz większego znaczenia nabiera problem zagospodarowania odpadów powstałych podczas produkcji, użytkowania i po zakończeniu użytkowania modułów. Recykling materiałowy, zgodny z obecnie obowiązującym prawem oraz dostosowany do technologii produkcji, umożliwi osiągnięcie zysku ekonomicznego i ekologicznego, pozwalając na znaczną oszczędność energii i cennych surowców w wyniku powtórnego wykorzystania materiałów. W rozdziale zaprezentowano stan wiedzy na temat dotychczas opracowanych technologii recyklingu modułów wykonanych z krystalicznego krzemu, modułów cienkowarstwowych oraz wyniki badań własnych. Przedstawiono również wyniki prac nad recyklingiem materiałowym opon samochodowych; omówiono metody zagospodarowania i utylizacji zużytych opon samochodowych: recykling materiałowy (rozdrabnianie, granulacja, wytwarzanie regeneratu, wtórne wykorzystanie opon w całości), energetyczny (spalanie) i chemiczny – surowcowy (piroliza, zgazowanie, karbonizacja, hydrokraking). W rozdziale poruszono także istotny z punktu widzenia efektywności energetycznej problem magazynowania ciepła, wskazując na możliwość wykorzystania materiałów zmiennofazowych. Materiały te mogą znaleźć wiele ciekawych i nowatorskich zastosowań w coraz bardziej rozwijającej się dziedzinie, jaką jest ochrona środowiska, poprzez poszanowanie i oszczędzanie energii, wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, zwłaszcza słonecznej, podnoszenie sprawności urządzeń i technologii w przemyśle, budownictwie, rolnictwie, transporcie i komunikacji. Nowe zastosowania, będące przedmiotem badań prowadzonych w Katedrze Aparatury i Maszynoznawstwa Chemicznego Politechniki Gdańskiej, obejmują: możliwość wykorzystania materiałów zmiennofazowych jako akumulatorów ciepła do stabilizacji temperatury nawierzchni dróg asfaltowych, poprawy komfortu cieplnego w budynkach, transportu zarówno zimnych, jak i gorących posiłków, modyfikacji tablic drogowych w celu ograniczenia rosenia oraz stabilizacji temperatury modułów fotowoltaicznych.

Monografia jest przeznaczona dla tych wszystkich, których interesują zagadnienia związane z recyklingiem, i może stanowić pomoc naukową dla studentów wydziałów chemicznych, kierunków: technologia chemiczna, ochrona środowiska, inżynieria materiałowa.

Ewa Klugmann-Radziemska, Józef T. Haponiuk, Janusz Datta
Krzysztof Formela, Maciej Sienkiewicz, Marcin Włoch