

**Rozprawa doktorska mgr inż. Kacpra Fiedurka zatytułowana:
Opracowanie składu oraz technologii przetwórstwa niepalnych
polimerowych kompozytów biodegradowalnych, podatnych na skrawanie
do zastosowań użytkowych**

STRESZCZENIE

Przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej było opracowanie składu oraz podstaw technologii wytwarzania kompozytu na osnowie biodegradowalnego polilaktydu (PLA), charakteryzującego się zmniejszoną palnością i przydatnością do obróbki skrawaniem. Podjęcie badań wynikało z potrzeby rozszerzenia zastosowań technicznych PLA, ograniczanych przez jego palność, wrażliwość na warunki przetwórstwa oraz miejscowe uplastycznianie podczas obróbki. Poszukiwano rozwiązania umożliwiającego ograniczenie intensywności spalania przy zachowaniu właściwości istotnych dla wytwarzania i dalszego kształtowania elementów użytkowych.

Analiza literatury wskazała, że badania nad uniepalnianiem PLA koncentrują się przede wszystkim na doborze dodatków i ocenie parametrów spalania. W mniejszym stopniu rozpoznano powiązania między przygotowaniem surowców, warunkami wytłaczania, strukturą kompozytu i jego zachowaniem podczas skrawania. Luka badawcza dotyczyła zatem łącznego rozpatrzenia składu materiału i technologii jego przetwórstwa jako czynników decydujących o właściwościach użytkowych.

Teza rozprawy zakładała, że odpowiedni dobór składu i kontrola parametrów wytłaczania pozwalają otrzymać modyfikowany PLA o zmniejszonej palności i przydatności do obróbki skrawaniem. Celem poznawczym było określenie wpływu dodatków grafitowych i fosforowych, postaci surowca oraz nastaw procesu na strukturę i właściwości kompozytu. Cel użytkowy obejmował opracowanie podstaw jego wytwarzania oraz wskazanie warunków przetwórstwa zapewniających kompromis między właściwościami materiału a obciążeniem procesu.

W badaniach wstępnych porównano dodatki grafitowe i fosforowe, oceniono przydatność wytłaczania jednoślismakowego i dwuślismakowego oraz znaczenie rozdrobnienia PLA przed wymieszaniem składników. Obserwacje procesu oraz analiza obrazów skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) wykazały, że zastosowanie sproszkowanej osnowy ograniczało segregację mieszaniny i sprzyjało bardziej równomiernemu rozmieszczeniu

dotatków. Wyniki uzasadniły wybór wytłaczania dwuślimakowego współbieżnego. W oparciu o wyniki kalorymetrii stożkowej do badań zasadniczych wytypowano kompozyt zawierający 80% mas. PLA, 10% mas. grafitu ekspandowalnego E90 oraz 10% mas. organicznego środka fosforowego CP (AFLAMMIT PCO 962). Układ ten skuteczniej ograniczał wydzielanie ciepła niż wcześniej analizowana kompozycja z grafitem GrafGuard i polifosforanem amonu.

Badania zasadnicze przeprowadzono według trójczynnika planu Hartleya obejmującego 11 prób wytłaczania. Przy stałym składzie kompozytu zmieniano wydajność dozowania, prędkość obrotową ślimaków i temperaturę zadaną. Wykazano zależność obciążenia napędu, temperatury stopu, masowego wskaźnika szybkości płynięcia (MFR) oraz właściwości przy rozciąganiu i zginaniu od warunków otrzymywania materiału. MFR mieścił się w zakresie 28,35–65,43 g/10 min. W porównaniu z niemodyfikowanym PLA maksymalna szybkość wydzielania ciepła zmniejszyła się o około 63–72%, całkowite wydzielone ciepło o 13–47%, a szybkość ubytku masy o 59–68%. Ograniczeniu intensywności spalania towarzyszyły jednak wcześniejszy zapłon i większa ilość wydzielonego dymu.

Opracowano i porównano modele regresyjne opisujące wpływ nastaw wytłaczania na analizowane odpowiedzi, a ich zdolność przewidywania oceniono metodą pomijania jednej próby (LOO). Stwierdzono, że bardzo dobre dopasowanie pełnego modelu II stopnia nie zawsze zapewniało najmniejszy błąd przewidywania. Wielokryterialny dobór nastaw, oparty na funkcjach użyteczności jedenastu odpowiedzi, wykazał rozbieżność indywidualnych optimów. Przy jednakowych wagach kryteriów pełne modele wskazały na przyjętej siatce kompromis przy dozowaniu 3,5 kg/h, prędkości 175 obr/min i temperaturze zadanej 173°C. Wynik zależał od postaci modeli; wyznaczone nastawy wymagają doświadczalnego potwierdzenia.

Próby wiercenia i frezowania uzupełniły ocenę przydatności kompozytu do dalszego kształtowania. W zastosowanych warunkach próbki kompozytu wykazywały korzystniejsze oddzielanie materiału i mniej rozległe pozostałości przy krawędziach niż próbki niemodyfikowanego PLA. Podczas frezowania we wszystkich analizowanych wariantach odnotowano również niższe maksymalne wskazania termowizyjne dla kompozytu. Wyniki stanowią jakościową ocenę podatności na skrawanie, uwzględniającą odmienny sposób formowania i geometrię porównywanych próbek.

Uzyskane wyniki potwierdziły przyjętą tezę rozprawy. Opracowano kompozyt PLA/E90/CP o ograniczonej intensywności spalania i korzystniejszym zachowaniu podczas skrawania oraz określono zależności między przygotowaniem surowców, warunkami wytłaczania i właściwościami materiału. Stanowi to podstawę dalszego rozwoju technologii wytwarzania elementów na osnowie PLA wymagających obróbki po uformowaniu.