

Dariusz SYKUTERA¹, Sławomir BLOMBERG²

e-mail: sykutera@utp.edu.pl

¹ Instytut Techniki Wytwarzania, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz² HUBER+SUHNER Sp. z o.o., Tczew

Podajnik do precyzyjnego dozowania materiałów w badaniach procesu cięcia tworzyw polimerowych

Wprowadzenie

Proces cięcia w przypadku tworzyw polimerowych jest podstawowym sposobem ich dezintegracji [Bauer i Wüstenberg, 2002; Flizikowski, 1998; Sykutera, 2005]. Redukowanie w ten sposób objętości zużytych wytworów termoplastycznych wynika z możliwości ich ponownego wykorzystania. Zwłaszcza w przypadku odpadów technologicznych rozdrobnienie do postaci recyklatów i kolejne przetworzenie ma istotne uzasadnienie ekonomiczne.

Z uwagi na różnice we właściwościach wytworów, ich dezintegracja w taki sam sposób jest nieefektywna (np. rozdrabnianie uszczelek gumowych i sztywnych płyt z polichlorku winylu czy poliwęglanu).

Dotychczas zrealizowane badania wskazują, że przebieg cięcia i wartość maksymalnej siły tnącej zależą od wielu czynników, przede wszystkim od rodzaju tworzywa, struktury i postaci geometrycznej wytworu, a także od cech konstrukcyjno-technologicznych urządzenia do rozdrabniania [Flizikowski, 1998; Sykutera, 2005; Sykutera, 2010a; Sykutera, 2011].

Wydaje się zatem, że badania procesu cięcia mają kluczowe znaczenie dla efektywności procesów rozdrabniania [Sykutera, 2011]. Z tych powodów zaprojektowano i wykonano mechatroniczny podajnik, pozwalający na precyzyjne i powtarzalne sterowanie fazą podawania materiału w trakcie badań procesu cięcia, realizowanych w młynie nożowym opisanym we wcześniejszych publikacjach [Sykutera, 2010a; Sykutera, 2010b]. Wyposażenie stanowiska do badania procesów cięcia i rozdrabniania w precyzyjny układ podawania próbek z tworzyw polimerowych przyczyni się do podniesienia jakości prowadzonych prób w obszarze wprowadzania materiału do komory roboczej urządzenia.

Założenia konstrukcyjne podajnika

Zadaniem układu podającego jest transport materiału do przestrzeni roboczej młyna nożowego, w bezpośredni obszar oddziaływania na próbkę noży tnących.

Podstawowym założeniem podjętych prac było dostosowanie podajnika do wymiarów próbek, najczęściej wykorzystywanych w modelowych badaniach cięcia. Z uwagi na szereg czynników wpływających na poziom wartości siły i pracy pojedynczego przecięcia, w próbach eksperymentalnych powinno stosować się próbki wytworzone w kontrolowanych i powtarzalnych warunkach przetwórczych. Zwykle są wypraski wtryskowe o wymiarach zgodnych z normą PN EN ISO 527-2 oraz wytłoczyny o znanym przekroju.

Ponieważ cięcie odbywa się w szczelinie pomiędzy krawędziami tnącymi noży, kolejnym założeniem projektu było precyzyjne pozycjonowanie próbki z dokładnością $\pm 0,1$ mm, w stosunku do krawędzi tnącej nieruchomego noża tnącego. Ze względu na fakt, że stanowisko badawcze umożliwia pomiar siły na nożu ruchomym i nieruchomym oraz momentu obrotowego od siły tnącej, przemieszczenie próbki względem krawędzi tnących może powodować zmianę warunków cięcia, co w konsekwencji wprowadza niepożądane zakłócenie w prowadzonym eksperymencie.

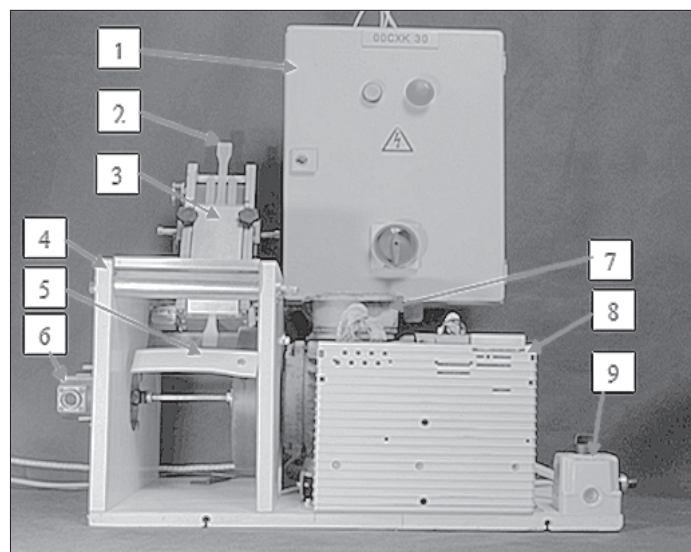
Przed rozpoczęciem realizacji fazy projektowo-wykonawczej dokonano wielokryterialnej oceny doboru określonego rozwiązania podajnika najlepiej spełniającego założenia projektu. Przyjęto cztery kryteria

wyboru koncepcji układu podającego, a każde kryterium otrzymało swoją wagę. Ocenę punktową zrealizowano w skali od 1 do 10. Wielokryterialną analizę przedstawiono w tab. 1. Zgodnie z zamieszczonymi wynikami najwyższą notę uzyskało rozwiązanie 3, wykorzystujące taśmę, jako element przenoszący próbkę do komory cięcia. To rozwiązanie wydaje się najbardziej funkcjonalne, biorąc pod uwagę kształt próbek badawczych, jednocześnie jest proste konstrukcyjnie i korzystne z punktu widzenia wykorzystania silników krokowych do napędu podajnika. Po wyborze koncepcji wykonano stosowne obliczenia wytrzymałościowe z wykorzystaniem programu *Inventor Mechanical*.

Tab. 1. Wybór koncepcji podajnika materiału do cięcia

Nazwa	Funkcjonalność	Bezpieczeństwo	Prostota wykonania	Koszty	Suma punktów
Waga kryterium (od 0,1 do 1)	0,9	0,9	0,8	0,7	
Ręczny układ podawania (manualne podawanie próbki)	3	2	5	3	10,6
Układ podawania – dozownik rolkowy	6	6	8	8	22,8
Układ podawania – dozownik taśmowy	9	9	8	8	28,2

Trójwymiarowy model rozwiązania układu podającego był kilka razy modyfikowany na etapie analiz numerycznych. Na podstawie tych danych wykonano stanowisko modelowe, wyposażone w podajnik i układ sterowania, co pozwoliło na ostateczną weryfikację przyjętych założeń konstrukcyjnych i umożliwiło testowanie zastosowanych elementów sterujących (Rys. 1). Założono, że docelowo podajnik powinien być zintegrowany z młynem nożowym, będącym elementem składowym stanowiska do cięcia i rozdrabniania [Sykutera, 2010a].

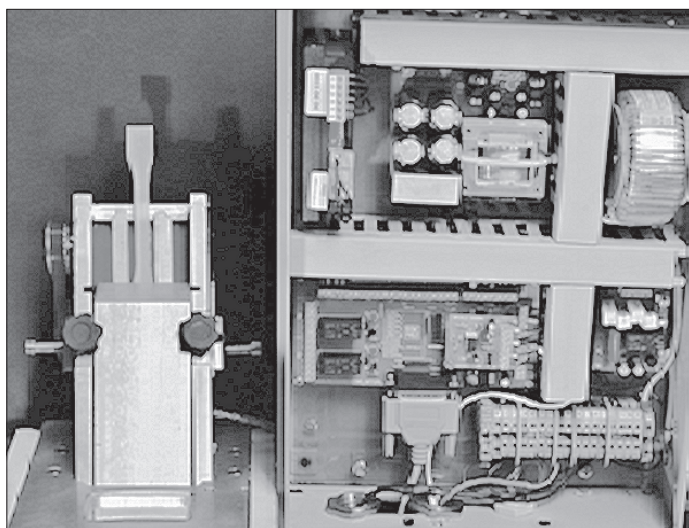


Rys. 1. Stanowisko modelowe cięcia, wyposażone w podajnik wraz ze sterowaniem: 1 – skrzynka sterowniczo-elektryczna, 2 – próbka badawcza, 3 – podajnik taśmowy, 4 – obudowa komory roboczej, 5 – nóż tnący, 6 – enkoder, 7 – napęd elektryczny, 8 – falownik, 9 – włącznik

Sterowanie pracą podajnika

Automatyzacja układu podawania wymagała zastosowania zaawansowanych rozwiązań w obszarze sterowania. Dotyczyło to doboru płyty głównej, układu sterowania pracą silnika krokowego oraz układu tzw. miękkiego startu. Ponadto dokonano wyboru programu sterującego pracą podajnika z poziomu komputera PC.

Jednym z głównych elementów wykorzystanych przy sterowaniu podajnika była płyta główna SSK-MB02, która zapewniła podłączenie sterowników silnika krokowego do komputera PC (Rys. 2). Następnym ważnym elementem układu sterowania był sterownik silnika krokowego. Zastosowano sterownik o symbolu SSK-B03, który pozwala na nadzorowanie pracą hybrydowych silników krokowych oraz sterowanie 2-fazowymi i 4-fazowymi silnikami.



Rys. 2. Podajnik z widocznymi przewodnikami i elementy układu sterowania

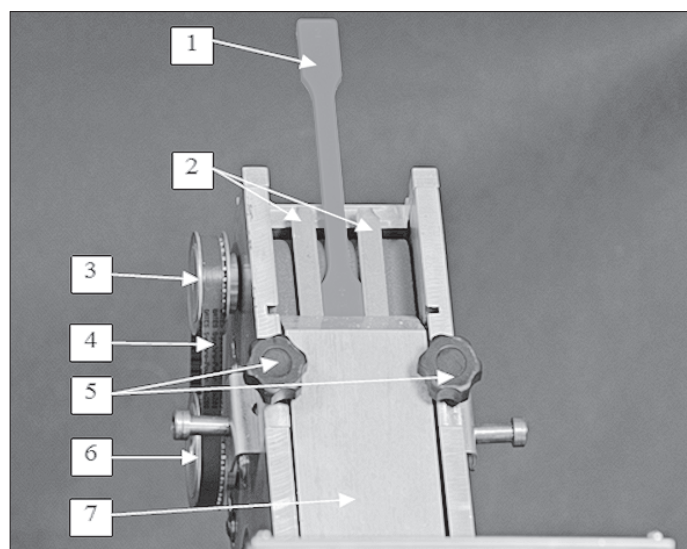
Kolejnym elementem zastosowanym w sterowaniu pracą podajnika był moduł regulacji prędkości obrotowej silnika, współpracujący z falownikiem. Zaprojektowany został z myślą o współdziałaniu z programem sterującym. Współpraca tych dwóch elementów daje możliwość regulacji prędkości obrotowej silnika w bardzo szerokim zakresie.

Ponadto mikroprocesorowe sterowanie pozwoliło na realizację prób w wariantach pojedynczego lub seryjnego przecięcia. Dokładne pozycjonowanie próbki było możliwe dzięki zastosowaniu czujnika ruchu i enkodera, co pozwoliło na precyzyjne wprowadzenie materiału za pomocą podajnika taśmowego na wybraną programowo głębokość przecięcia. Sprzężenie i kontrolowanie z poziomu komputera prędkości obwodowej noża ruchomego i prędkości przemieszczania się próbki na taśmie spowodowało precyzyjny i powtarzalny transport próbki w przestrzeni pomiędzy krawędziami tnącymi noży.

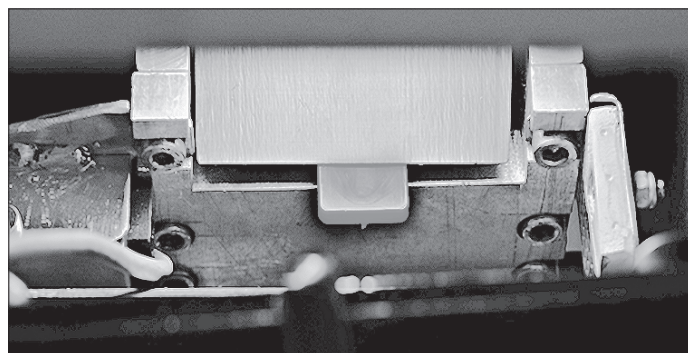
Budowa i zasada działania podajnika

Po ułożeniu próbki na bieżni podajnika następuje jej pozycjonowanie przed wprowadzeniem do komory roboczej młyna za pomocą aluminiowych prowadnic, które dodatkowo zapobiegają zakleszczaniu się materiału w trakcie realizacji procesu cięcia (Rys. 3).

Następnie próbka jest pozycjonowana względem krawędzi noża nieruchomego. Czynność ta odbywa się z panelu numerycznego. Próbka przemieszcza się w kierunku komory tnącej do momentu zauważenia jej przez czujnik optyczny firmy *Bernstein Optronic* typu OR 05PS. Następnie sygnał z czujnika zostaje przekazany do układu sterującego i następuje wycofanie próbki do pozycji startowej (Rys. 4). W ten sposób można bardzo precyzyjnie określić pozycję początkową materiału przeznaczonego do przecięcia, co jest szczególnie istotne w przypadku dezintegracji próbek o różnym przekroju,



Rys. 3. Budowa podajnika: 1 – próbka badawcza, 2 – prowadnice, 3 – koło zębate, 4 – pasek zębaty, 5 – regulacja prowadnicy, 6 – koło napędowe, 7 – płyta dociskowa



Rys. 4. Pozycja startowa próbki przeznaczonej do przecięcia

a także w sytuacji przecinania materiału o co najmniej dwufazowej strukturze np. termoplasty porowate. Przed rozpoczęciem próby ustala się także prędkość przesunięcia tworzywa wsadowego (w przypadku seryjnego przecinania), dostosowując ją do prędkości obwodowej noży ruchomych.

Z poziomu komputera uruchamiany jest także wirnik młyna nożowego, który za pośrednictwem przekładni pasowej połączony jest z silnikiem elektrycznym. W ten sam sposób można także sterować prędkością obrotową wirnika. Przed przystąpieniem do realizacji próby należy wprowadzić wartość przesunięcia próbki, w odniesieniu do poziomu bazowego, wprowadzonego przez operatora stanowiska. Po przyjęciu wartości wszystkich parametrów związanych z procesem cięcia można przystąpić do podawania materiału do komory młyna.

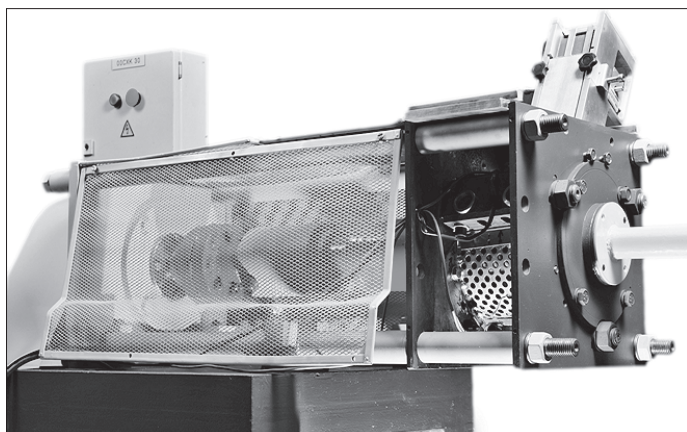
Próby testowe

Próby testowe przeprowadzono na stanowisku do badań cięcia i rozdrabniania, wykorzystując do dezintegracji próbki wtryskowe z polietylenu małej gęstości, *Riblene MR 10* (Rys. 5).

Cięcie odbywało się zawsze równoległe do boku próbki o szerokości $20 \cdot 10^{-3}$ m i grubości $4,1 \cdot 10^{-3}$ m i zawsze w tej samej odległości od jego końca, wynoszącej $7 \cdot 10^{-3}$ m.

Prędkość układu podającego dostosowano do prędkości obwodowej noży tnących, która wynosiła $0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Wartość średniej siły, zarejestrowanej na nożu stałym wyniosła $401,1 \pm 3,5$ N, natomiast dla noża ruchomego $416,7 \pm 7,3$ N.



Rys. 5. Stanowisko do badań cięcia i rozdrabniania z założonym podajnikiem i szafą sterującą

Podsumowanie i wnioski

Podsumowując można stwierdzić, że zbudowano automatyczny podajnik spełniający kryterium powtarzalności warunków dozowania materiału, który jest dostosowany do cech geometrycznych badanych próbek, zwłaszcza ich przekrojów.

Uzyskane wyniki wskazują na zasadność zastosowania mechatronicznego podajnika w procesach cięcia. Świadczą o tym małe wartości odchylenia standardowego od średniej pomiarowej dające współczynnik zmienności na poziomie poniżej 2%.

LITERATURA

- Bauer W., Wüstenberg D., 2002. Fracture behavior of polypropylene under dynamic cutting and shearing action in granulators. *Chem. Eng. & Technol.* 25, nr 11, 1047-1051. DOI: 10.1002/1521-4125(20021105)25:11<1031::AID-CEAT1031>3.0.CO;2-7
- Flizikowski J., 1998: Rozdrabnianie tworzyw sztucznych. Wyd. ATR, Bydgoszcz
- Sykutera D., 2005. Badanie cięcia próbek tworzyw porowatych. *Inż. Ap. Chem.* 44, nr 3s, 78-79
- Sykutera D., 2010a. Stanowisko do cięcia i rozdrabniania porowatych tworzyw termoplastycznych. *Zesz. Nauk. Pol. Poznańskiej. Budowa Maszyn i Zarządzanie Produkcją* nr 12, 331-336
- Sykutera D., 2010b. Stanowisko badawcze i wstępne wyniki badań cięcia termoplastycznych tworzyw porowatych. *Przetwórstwo Tworzyw* 16, nr 4, 214-217
- Sykutera D., 2011. Recykling mechaniczny porowatego polietylenu małej gęstości. *Przetwórstwo Tworzyw* 17, nr 5, 409-412

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2012 jako projekt badawczy Nr N508 442236.

Zasady recenzowania artykułów przeznaczonych do publikacji w czasopiśmie „Inżynieria i Aparatura Chemiczna”

(zgodne z wytycznymi zamieszczonymi na stronach portalu *Polska Bibliografia Naukowa*,
który jest częścią Systemu Informacji o Szkolnictwie Wyższym:
https://pbn.nauka.gov.pl/static/doc/wytyczne_dotyczace_procedury_recenzowania.pdf)

- Do oceny każdej publikacji powołuje się co najmniej dwóch niezależnych recenzentów spoza jednostki.
- Recenzent podpisuje oświadczenie o niewystępowaniu konfliktu interesów, przy czym za konflikt interesów uznaje się zachodzące między recenzentem a autorem:
 - a) bezpośrednie relacje osobiste (pokrewieństwo, związki prawne, konflikt),
 - b) relacje podległości zawodowej,
 - c) bezpośrednia współpraca naukowa w ciągu ostatnich dwóch lat poprzedzających przygotowanie recenzji.
- Recenzja ma formę pisemną i kończy się jednoznacznym wnioskiem co do dopuszczenia artykułu do publikacji lub jego odrzucenia.
- Zasady kwalifikowania lub odrzucenia publikacji oraz formularz recenzencki są podawane do publicznej wiadomości w numerach czasopisma oraz na stronie internetowej czasopisma pod adresem: http://inzynieria-aparatura-chemiczna.pl/pdf/Formularz_recenzji.pdf
- Nazwiska recenzentów poszczególnych publikacji/numerów nie są ujawniane. Redakcja raz w roku podaje do publicznej wiadomości listę współpracujących recenzentów. Lista drukowana jest w ostatnim numerze w danym roku kalendarzowym oraz dostępna jest na stronie internetowej czasopisma pod adresem: <http://inzynieria-aparatura-chemiczna.pl/kolegium-redakcyjne/>