

## WYBRANE PROBLEMY PROCESU WYTŁACZANIA TWORZYW POLIMEROWYCH ■ CZ. 1.

# Układ uplastyczniający wytłaczarki

*Popularną metodą przetwórstwa tworzyw sztucznych jest wytłaczanie. Nie jest wbrew pozorom procesem prostym do przeprowadzenia w praktyce i może się wiązać z problemami związanymi z układem uplastyczniającym wytłaczarki lub z procesem formowania materiału polimerowego. Te pierwsze trudności związane są z mechanicznym zużyciem elementów maszyn przetwórczych, stabilnością całego procesu oraz jego optymalizacją, tzn. doбором odpowiednich parametrów procesu oraz parametrów geometrycznych elementów wytłaczarki.*

### ■ Wytłaczanie

Jest to ciągły proces otrzymywania wyrobów lub półwyrobów z tworzyw polimerowych, polegający na uplastycznieniu materiału w układzie uplastyczniającym wytłaczarki, a następnie jego uformowaniu poprzez wyciśnięcie przez głowicę zakończoną odpowiednio ukształtowanym ustnikiem.

Wytłaczanie ślimakowe jest jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod przetwórstwa tworzyw polimerowych, znajdującą zastosowanie przede wszystkim do produkcji różnego typu kształtowników, takich jak rury, płyty, taśmy, folie. Proces wykorzystuje się ponadto do produkcji różnego typu pojemników, butelek oraz do powlekania kabli elektrycznych.

Proces wytłaczania nie jest wbrew pozorom procesem prostym do przeprowadzenia w praktyce. Lepkosprężyste właściwości stopionych polimerów oraz często złożone lub duże gabarytowo kształty otrzymywanych profili sprawiają różnorodne problemy w procesie ich otrzymywania, szczególnie z punktu widzenia odwzorowania kształtu oraz sta-



bilności wymiarowej. Wytłaczarka jest obiektem trudnym do sterowania. Pojawiające się niestabilności są często wywołane czynnikami niezależnymi od przetwórcy, jak np. wahaniami napięcia zasilającego maszynę. Agresywne warunki panujące w maszynie, tj. wysoka temperatura, duże ciśnienie, znaczne naprężenia ścinające oraz często obecność różnych napełniaczy, jak włókna szklane, kaolin i inne powodują przyspieszone zużycie maszyn przetwórczych.

Producenci sprzętu do przetwórstwa tworzyw polimerowych oraz przetwórcy muszą, zatem zmagać się z różnego typu problemami, które podzielić można umownie na dwie grupy:

1. problemy związane z układem uplastyczniającym wytłaczarki, tj. jej zużyciem mechanicznym, stabilnością całego procesu oraz jego optymalizacją, tzn. doбором odpowiednich parametrów procesu oraz parametrów geometrycznych elementów wytłaczarki,
2. problemy związane z procesem formowania materiału polimerowego, tzn. konstrukcją głowicy oraz ustnika kształtującego wyrób (efekt pęcznienia strugi) oraz skurczem wytłaczarskim, jak również odpowiednią konstrukcją kalibratorów.

W niniejszym artykule omówiona zostanie pierwsza grupa

czynników, związanych z układem ślimak – cylinder wytłaczarki.

### ■ Zużycie mechaniczne układu uplastyczniającego wytłaczarki

Układ uplastyczniający wytłaczarki to jeden z jej najważniejszych układów, spełniający cztery podstawowe funkcje:

1. ogrzewanie tworzywa do stopienia i do wymaganej przez proces temperatury,
2. sprężanie tworzywa w celu usunięcia powietrza spomiędzy jego ziaren i wytworzenia w nim ciśnienia wystarczającego dla pokonania oporów przepływu przez głowicę,
3. mieszanie stopionego tworzywa w celu zapewnienia jednorodności jego składu i temperatury,
4. dostarczanie tworzywa do głowicy ze stałą prędkością.

W wytłaczarkach najczęściej stosuje się ślimakowe układy uplastyczniające, zbudowane z cylindra, ślimaka, leja zasypowego, układu grzewczego oraz chłodzącego. Spośród tych ele-

mentów największemu zużyciu ulegają ślimaki.

## Tarcia

Zużywanie się elementów układu uplastyczniającego wylączarki, głównie zużycie ściernie, stanowi istotne zagadnienie zarówno z punktu widzenia zapewnienia odpowiednich warunków technologicznych, jak również ekonomiki całego procesu. Podczas pracy układu uplastyczniającego, główną rolę odgrywa tarcie pomiędzy tworzywem a ślimakiem oraz cylindrem, występuje również tarcie pomiędzy ślimakiem a cylindrem.

Analizując proces tarcia pomiędzy tworzywem a elementami układu uplastyczniającego, należy rozróżnić tarcie w strefie transportu tworzywa stałego (zasilania) od tarcia w strefach uplastyczniania i dozowania, gdzie materiał występuje już w stanie plastycznopłynnym. Bardzo istotne jest również oddziaływanie napełniaczy oraz ewentualnych zanieczyszczeń występujących w tworzywie. Natomiast tarcie pomiędzy ślimakiem a cylindrem może wystąpić szczególnie w momencie rozruchu maszyny, jak również w przypadku tzw. wybożenia ślimaka, które mogło mieć miejsce np. w wyniku zamontowania w wylączarce głowicy o znacznym ciężarze bez jej podparcia lub też w wyniku nieodpowiedniego wykonania, czy też montażu poszczególnych elementów układu.

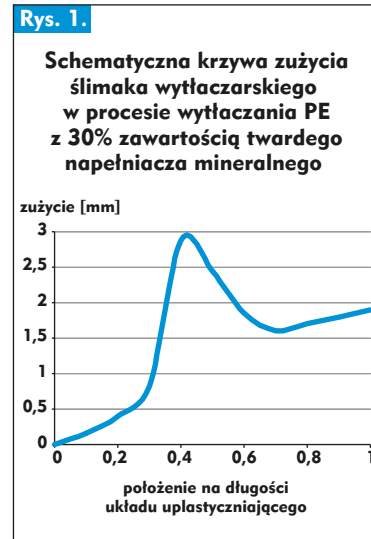
## Zużycie

Tworzywo podczas procesu przetwórstwa poddawane jest oddziaływaniom cieplnym i mechanicznym, których charakter na długości ślimaka ulega zmianie – materiał ulega stopieniu, zmienia się temperatura i ciśnienie materiału transportowanego w kanale ślimaka, może następować uwolnienie wody z materiału lub jego degradacja. W tak zmiennych

warunkach, ślimaki oraz cylindry ulegają różnym rodzajom zużycia, które ze względu na jego przyczyny podzielić można na:

- zużycie ściernie, spowodowane tarciami tworzywa w stanie stałym o ślimaki i cylinder; ma miejsce głównie w strefach zasilania (zawsze) i dozowania (przetwórstwo polimerów z napełniaczami stałymi),
- zużycie erozyjne, mające miejsce głównie w procesach wylączania polimerów z twardymi napełniaczami stałymi w warunkach dużych szybkości obrotowych ślimaka; występuje w strefach uplastyczniania i dozowania, a zużyciu podlegają głównie krawędzie boczne zwojów ślimaka,
- zużycie korozyjne, stanowiące wynik reakcji chemicznej pomiędzy metalem a uwalnianą z materiału parą wodną, produktami degradacji polimerów jak tlen czy chlorowódor czy wreszcie niektórymi dodatkami, jak plastyfikatory czy antypireny polimerowe; zaatakowane korozyjnie powierzchnie stali są szczególnie podatne na zrywanie ściernie, które powodują przede wszystkim napełniacze mineralne; zjawiska te obserwowane są głównie w strefie dozowania,
- zużycie zmęczeniowe, które może mieć miejsce w wyniku niewłaściwego wyboru materiału konstrukcyjnego lub nieodpowiednich warunków w procesie wytwarzania ślimaków; prawdopodobieństwo uszkodzeń wzrasta, gdy brak jest strefy przejściowej pomiędzy utwardzoną warstwą wierzchnią ślimaka a materiałem podłoża - wskutek wielokrotnego odkształcania warstwy wierzchniej w trakcie pracy tworzą się szczeliny podpowierzchniowe, co powoduje wykruszenie twardej, ale kruchej warstwy wierzchniej.

Typową krzywą zużycia ślimaka wylączarki jednoślismakowej na jego długości przedstawiono na rys. 1. Maksimum zużycia występujące mniej więcej pod koniec strefy zasilania wynika z wzrastającego ciśnienia materiału w tej strefie, a więc z wzrastającymi oddziaływaniami ściernymi pomiędzy stałymi cząstkami polimeru a materiałem ślimaka. W strefie uplastyczniania zaczyna tworzyć się materiał w stanie płynnym, który działając jak smar zmniejsza zużycie ślimaka. Ponowny wzrost zużycia pod koniec strefy dozowania tłumaczony jest wzrostem oddziaływań korozyjnych dla polimerów nienapełnianych oraz zużyciem ściernym dla tworzyw napełnionych, będących m.in. wynikiem wzrostu intensyfikacji warunków przepływu, jak również możliwym



tarciami swobodnego końca ślimaka o cylinder. Bardzo duży wpływ na stopień zużycia ma obecność i ilość materiału wtórnego w polimerze (obecność ściernych zanieczyszczeń), rodzaj i ilość napełniacza oraz rodzaj materiału powierzchniowego,

**GP General Plastics Sp. z o.o.**

**MASZYNY DO PRZETWÓRSTWA TWORZYW SZTUCZNYCH**

- WYLĄCZARKI – linie do folii
- WYLĄCZARKO-ROZDMUCHIWKI „butelczarki” pneumatyczne, elektryczne, do pojemników jedno- i wielowarstwowych
- WTRYSKARKO-ROZDMUCHIWKI
- Linie do RECYKLINGU

**PRODUKCJA  
SPRZEDAŻ  
SERWIS**

05-092 Łomianki, ul. Kolejowa 152  
tel. 022 7512345, e-mail: gp@generalplastics.pl

np. ślimaki azotowane mają kilkukrotnie większe zużycie od ślimaków napawanych odpowiednimi stopami odpornymi na ścieranie.

Zużycie zwojów ślimaka jest kilkakrotnie (3-6 razy) większe niż jego rdzenia. W układach uplastyczniających zużywają się również cylindry, choć ich zużycie jest 2-4-krotnie mniejsze niż ślimaków.

## ■ Problemy niestabilności procesu uplastyczniania tworzyw przy wytłaczaniu

Ocena efektywności procesu uplastyczniania może być dokonana na dwa podstawowe sposoby, tj. poprzez analizę tzw. wskaźników bezpośrednich oraz pośrednich.

Wskaźniki bezpośrednie dotyczą wielkości fizycznych, które charakteryzują proces uplastyczniania pod kątem całościowym oraz jego stabilności. Można dokonywać ich pomiaru bezpośrednio w procesie wytłaczania lub wymagają prostych przeliczeń innych mierzonych wielkości. Najważniejsze z nich to:

- wydajność procesu uplastyczniania (masowe lub objętościowe natężenie przepływu tworzywa opuszczającego układ uplastyczniający),
- jednostkowe zużycie energii (zużycie energii na jednostkę masy tworzywa opuszczającego układ uplastyczniający),
- profile ciśnienia i temperatury na długości kanału ślimaka,
- profil względnej szerokości złoza stałego (lub stopu) na długości kanału ślimaka.

Wskaźniki pośrednie mówią o wielkościach fizycznych opisujących proces uplastyczniania z punktu widzenia szczegółowego i niestabilności. Należą do nich przede wszystkim:

- fluktuacje temperatury materiału,

- pulsacje ciśnienia,
- homogenizacja termiczna tworzywa opuszczającego wytłaczarkę,
- homogenizacja materiałowa (mechaniczna) materiału opuszczającego układ.

## Fluktuacja temperatury

Jest to wahanie temperatury o danym okresie i amplitudzie. W przetwórstwie tworzyw występują zarówno fluktuacje krótkookresowe (o okresie ok. kilku sekund i amplitudzie do kilkunastu °C), jak również niezależne od nich fluktuacje długookresowe (o okresie od kilku do kilkudziesięciu minut i amplitudzie również do kilkunastu °C). Nie jest jeszcze do końca wyjaśnione powstawanie wahań temperatury. Fluktuacja krótkookresowa należy do podstawowych miar poprawności procesu uplastyczniania, dla danego tworzywa wzrasta ona wraz ze wzrostem wysokości kanału w strefie dozowania oraz natężenia przepływu materiału, maleje natomiast wraz ze wzrostem długości strefy dozowania.

## Pulsacja ciśnienia

Jest to wahanie ciśnienia materiału o amplitudzie do kilku MPa. Zależy głównie od właściwości tworzywa, średnicy ślimaka oraz jego prędkości obrotowej.

Na ogół dla danego materiału pulsacja rośnie, a następnie w strefie dozowania maleje osiągając niewielkie wartości na końcu tej strefy. Pulsacja ciśnienia zwykle wywołuje pulsację natężenia przepływu.

## Pulsacja natężenia przepływu

Jest jednym z najważniejszych wskaźników poprawności procesu wytłaczania. Pulsacja natężenia przepływu przekłada się w prosty sposób na pogorszenie stabilności wymiarowej wytło-

czy. Jeżeli profil temperatury stopu jest stały (brak pulsacji), wahania w ciśnieniu (i natężeniu przepływu) prawdopodobnie pochodzą od jednej albo więcej następujących przyczyn:

- wahania przy podawaniu materiału w leju zasypowym (zwykle do poprawienia przez transport wymuszony w zasobniku),
- wahania szybkości obrotowej ślimaka (łatwo dostrzegalne),
- wahania temperatury cylindra (wahania długotrwałe),
- nieprawidłowe zaprojektowanie ślimaka i / lub warunków przetwórstwa.

## Programy komputerowe

Oferowane są również różne programy komputerowe dla diagnozy i usuwania błędów w procesie wytłaczania. Jednym z nich jest Xtru-Xpert opracowany przez firmę Polydynamics we współpracy z Polyexpert. Użytkuje on dwa poziomy wiedzy: praktyczną wiedzę z zakładu produkcyjnego i szybkie obliczenia matematyczne realizowane przez równania algebraiczne i formuły przybliżeń.

Program ten analizuje problemy dotyczące zarówno układu uplastyczniającego wytłaczarki (niestabilności, zużycie mechaniczne i inne), jak również trudności związane z otrzymanym profilem (np. efekt „skóry rekina”, widoczne linie łączenia lub smugi płynięcia) oraz posiada dodatkowy moduł dla procesu współwytłaczania.

Wskazuje on przyczynę problemu poprzez szczegółowe zapytania, obliczenia lub symulację pakietem Extrucad.

## ■ Optymalizacja procesu wytłaczania

Jednym z głównych kierunków rozwoju przetwórstwa tworzyw sztucznych jest obecnie kompute-

rowe modelowanie procesów przetwórczych. Stanowi ono niedrogie oraz efektywne narzędzie projektowania i badań. Pakiety programowe służące do tego celu można najogólniej podzielić na dwie grupy: ogólnie zorientowane (o ogólnym przeznaczeniu, mające zastosowanie w zasadzie do dowolnego procesu przetwórczego) oraz zorientowane na określoną technikę przetwórczą (np. programy modelujące tylko proces wytłaczania jednoślimalikowego, wtryskiwania czy zapełniania formy wtryskowej).

Obecnie znanych jest kilka programów służących do modelowania procesu wytłaczania jednoślimalikowego:

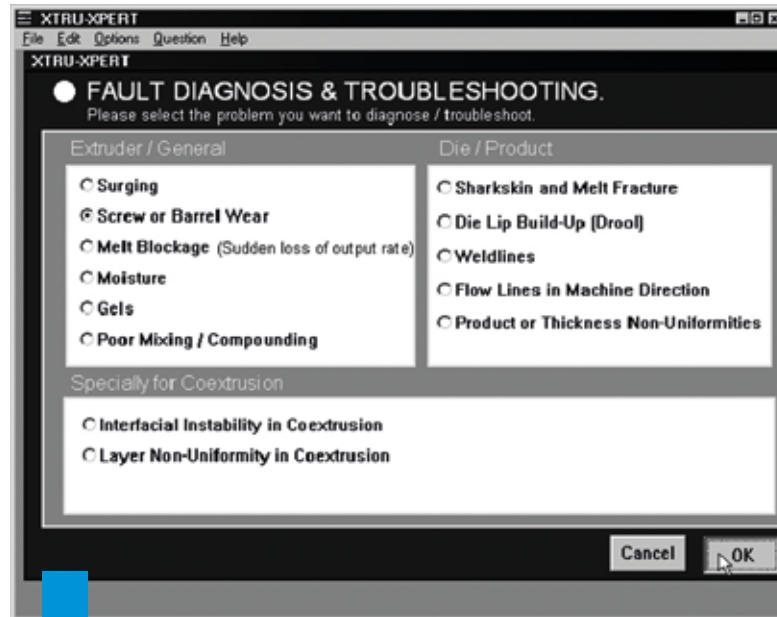
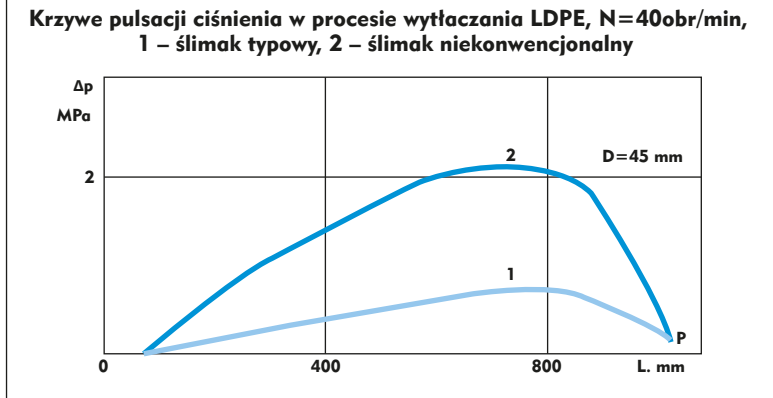
- Extrud (Scientific Process & Research Inc., NJ, USA)
- Extrucad (Mc Master University, Hamilton, Kanada)
- REX (Padeborn University, Niemcy)
- Cemextrud (Centre of Materials Processing, Sophia Antipolis, Francja)
- SSEM (Politechnika Warszawska)

Systemy te umożliwiają prognozowanie przebiegu procesu wytłaczania na podstawie danych warunków technologicznych tego procesu, geometrii układu uplastyczniającego i głowicy oraz właściwości przetwarzanego tworzywa. Jako rezultat otrzymuje się przede wszystkim wartość natężenia przepływu tworzywa, zużycie mocy oraz profile temperatury, ciśnienia i względnej szerokości złoza stałego na długości kanału ślimaka. Programy te nie rozwiązują jednak zadania odwrotnego, tj. nie umożliwiają przewidywania wartości wejściowych na podstawie zadanych wielkości wyjściowych, nie stwarzając możliwości optymalizacji procesu. W ostatnich latach podjęto jednak szereg prac, w tym również w literaturze polskoję-

zycznej, które umożliwiają rozwiązanie takiego zadania, tzn. problemu optymalnego doboru temperatur stref grzejnych cylindra, prędkości obrotowej ślimaka oraz wysokości kanału w strefie dozowania pod kątem maksymalnej wydajności wytłaczania, minimalnego zużycia mocy itp.

Generalnie ocena jakości procesu wytłaczania jest bardzo złożona. Jednym z głównych czynników odpowiedzialnych za cechy doraźne oraz odporność na starzenie wyrobu są warunki, w jakich tworzywo przebywało w wytłaczalce. Warunki te to przede wszystkim ciśnienie, temperatura oraz czas przebywania tworzywa w maszynie. Czas wytłaczania określony jest głównie poprzez konstrukcję oraz wymaganą wydajność wytłaczarki. Jedynym, zatem bezpośrednio regulowanym parametrem pozostaje temperatura. W tym celu niezbędna jest optymalizacja mocy, liczby, wymiarów oraz rozmieszczenia stref grzejnych wytłaczarki oraz układów nimi sterujących. W literaturze polskojęzycznej znaleźć można informacje o sposobach przeprowadzenia takich analiz, proponując zamiast konwencjonalnego układu regulacji temperatu-

Rys. 2.



Rys. 3. Przykładowe możliwości programu Xtru-Xpert

ry (termpary) - tzw. układu hierarchicznego regulacji temperatury, którego zastosowanie umożli-

wia stosunkowo łatwą optymalizację całego procesu pod kątem wspomnianych wyżej warunków.

## Podsumowanie

Wytłaczanie tworzyw sztucznych może wiązać się z różnymi problemami, w tym związanymi z układem uplastyczniającym wytłaczarki. Aktualnie badane są procesy symulacji m.in. procesów wytłaczania z rozdmuchiowaniem oraz wytłaczania dwuślimakowego. Wydaje się, że w przyszłości większy nacisk powinien zostać położony na rozwój nowych technologii projektowania maszyn i zgłębiania narzędzi sztucznej inteligencji.

Jacek Iwko

Politechnika Wroclawska

## Literatura:

1. E. Bociąga, Podstawowe problemy trybologiczne układów uplastyczniających maszyn przetwórczych, *Polimery*, 2001, 46, 107
2. M. Hebda, A. Wachal, *Trybologia*, WNT, Warszawa, 1980
3. Z. Lawrowski, *Tribologia. Tarcie, zużycie, smarowanie*, PWN, Warszawa, 1993
4. R. Sikora, *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*, Wyd. Edukacyjne Zofii Dobkowskiej, Warszawa, 1993
5. B. H. Maddock, Measurement and analysis of extruder stability, *SPE Journal*, 1964, 20, 1277
6. T. Sterzyński, Instabilities of the single-screw extrusion process, *Polimery*, 1999, 44, 558
7. Anderson J. i in., Trouble shooting extrusion problems, *ANTEC*, 1997, 1, 127
8. C. Rauwendael, *Polymer Extrusion*, Hanser Publ., Munich, 1990
9. K. Wilczyński, Reologia w przetwórstwie tworzyw sztucznych, WNT, Warszawa, 2001
10. K. Wilczyński i in., Optymalizacja procesu wytłaczania jednosiłmakowego tworzyw sztucznych. Metoda statystyczna, *Mechanik*, 2003, 10, 618
11. K. Wilczyński i in., Optymalizacja procesu wytłaczania jednosiłmakowego tworzyw sztucznych. Metoda sieci neuronowych, *Mechanik*, 2004, 7, 470
12. K. Wilczyński i in., Optymalizacja procesu wytłaczania jednosiłmakowego tworzyw sztucznych. Metoda algorytmów genetycznych, *Mechanik*, 2005, 7, 606
13. B. Broel-Plater, Optymalizacja sterowania procesem wytłaczania, *Polimery*, 1997, 42, 386
14. Xtru-Xpert, [www.polydynamics.com](http://www.polydynamics.com)
15. J. Vlachopoulos, Mat. Konf. ATV-Semapp Meeting, Odense, Dania, 1998

## SUROWCE I MASZyny DO PTS

### Nowe i używane maszyny i linie technologiczne:

- Butelczarki: wytłaczanie z rozdmuchem, wtrysk z rozdmuchem
- Linie wytłaczarek: do recyklingu, profili, rur, płyt
- Kruszarki, Młyny
- Układy plastyfikujące
- Głowice, przekładnie, cylindry
- Urządzenia peryferyjne

### Surowce:

- PVC - miękki (uszczelki, spody obuwnicze, węże, przewody) marki NAKAN produkcji ARKEMA - twardy (znicze, profile, rury)
- PET - krystaliczny i amorficzny
- HDPE, LDPE, PP - przemiały, aglomeraty.

PW WW EKOCEM BIURO I MAGAZYN:

BAZA SKR GŁOGOWO k. TORUNIA 87-123 DOBRZEJEWICE

tel: +48 56 6742005 fax: +48 56 6742007

e-mail: [biuro@wwekochem.com](mailto:biuro@wwekochem.com) [www.wwekochem.com](http://www.wwekochem.com)

