

ELŻBIETA BOCIĄGA

Politechnika Częstochowska

Katedra Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Zarządzania Produkcją

Al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa

Podstawowe problemy trybologiczne układów uplastyczniających maszyn przetwórczych^{*)}

BASIC TRIBOLOGICAL PROBLEMS OF PLASTICIZING SYSTEMS IN PROCESSING MACHINES

Summary — A plasticizing unit is one of basic units of extruders and injection-moulding machines. In the most commonly used screw plasticizing units the screws and barrels undergo the biggest wear. During these units' work, when a polymer moves in a screw channel, friction between the screw and the barrel and between the polymer and elements of the plasticizing unit is of the main part. Screws and barrels undergo different kinds of wear, which can be divided, according to the reason of its generation, on: abrasive, fatigue, erosive, corrosive and cavitational (Figs. 1—3). These kinds of wear occur with different intensity in particular sections of the plasticizing unit. Wear of screws is several times bigger than barrels, so during plasticizing units' work it should be taken into account that for one barrel using three or four screws are needed. The differences in plasticizing units' wear for single-screw extruders and twin-screw extruders have been noticed. (Figs. 4—7). Wear of elements of plasticizing units depends on a lot of factors, mainly on: type of processed polymer (Figs. 8, 9) processing conditions (mainly temperature) design and quality of work of the plasticizing unit and screw deformation under load.

The capacity decrease, the increase of the number of defective products, the increase of operating breaks and repair costs are the results of plasticizing units' wear. Their making and operating is connected with high costs so it is important to recognise reasons and effects of these units' wear and to work out methods for wear prevention or at least its decreasing.

Key words: plasticizing system, plastic processing, friction wear, single-screw extruders, twin-screw extruders.

Układ uplastyczniający jest jednym z podstawowych układów maszyn do przetwórstwa tworzyw metodami wytłaczania i wtryskiwania, tj. wytłaczarek i wtryskarek. W układzie tym następuje przemiana tworzywa wejściowego — pod wpływem ciepła i działających sił — ze stanu stałego w stan plastyczny lub ciekły [1—6].

Układ uplastyczniający spełnia następujące podstawowe funkcje [1]:

- nagrzewanie, prowadzące do zmiany stanu skupienia przetwarzanego tworzywa;
- sprężanie w celu uzyskania w tworzywie określonego wzrostu ciśnienia;

— mieszanie, mające na celu ujednorodnienie (homogenizację) składu, właściwości i struktury tworzywa;

— transportowanie tworzywa w układzie, z uzyskaniem zadanych końcowych wartości prędkości i natężenia wypływu.

Istnieje wiele konstrukcyjnych rozwiązań układów uplastyczniających, mianowicie:

- ślimakowe (jedno- lub wieloślimakowe);
- bezślimakowe, np. tłokowe, tarczowe, pierścieniowe, wirnikowe, planetarne;
- mieszane, np. ślimakowo-tłokowe, ślimakowo-tarczowe.

W wytłaczarkach i wtryskarkach najczęściej stosuje się ślimakowe układy uplastyczniające, zbudowane z cylindra, ślimaka, dyszy, układu nagrzewająco-ochładzającego, urządzeń sterujących i regulujących

^{*)} Wykład wygłoszony w ramach V Profesorskich Warsztatów Naukowych "Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych", Toruń, 6—9 czerwca 2000 r.

oraz urządzeń pomocniczych, np. zaworów odgazowujących. Spośród wymienionych elementów układu uplastyczniającego największemu zużyciu ulegają ślimak i cylinder, przy czym intensywność zużycia ślimaków jest większa niż cylindrów [2].

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PROCESU ZUŻYWANIA SIĘ ELEMENTÓW UKŁADU UPŁASTYCZNIĄCEGO

Zużywanie się elementów układów uplastyczniających wtryskarek i wytłaczarek stanowi bardzo istotne zagadnienie zarówno z punktu widzenia zapewnienia odpowiednich warunków technologicznych procesu przetwórstwa, jak i jego ekonomiczności.

Podczas działania układów uplastyczniających, czyli w toku przemieszczania się tworzywa w kanale ślimaka, główną rolę odgrywa tarcie pomiędzy ślimakiem i cylindrem oraz między tworzywem przetwarzanym i elementami układu uplastyczniającego [2, 6, 7, 8]. Tarcie pomiędzy cylindrem a ślimakiem, a tym samym ich zużywanie, może występować przede wszystkim podczas rozruchu maszyny. W przypadku wtryskarek przyczyną zużycia może być również wyboczenie ślimaka pod wpływem wysokiego ciśnienia wtryskiwania lub działanie w zbyt niskiej temperaturze cylindra. W wytłaczarkach wyboczenie ślimaka może wystąpić w razie stosowania głowicy wytłaczarskiej o dużej masie, bez podparcia. Na zużywanie się układów uplastyczniających może także wpływać dokładność wykonania i montażu poszczególnych elementów układu.

Rozpatrując tarcie przetwarzanego tworzywa o powierzchnię ślimaka i cylindra należy rozróżnić oddziaływanie w strefie zasypu, gdzie tworzywo występuje w stanie stałym, od tarcia w strefach przemiany i dozowania, w których tworzywo jest w stanie plastycznym i/lub ciekłym. Ponadto należy także uwzględnić oddziaływanie napelnaczy (np. włókien szklanych, węglowych i in.) oraz ewentualnych zanieczyszczeń obecnych w tworzywie.

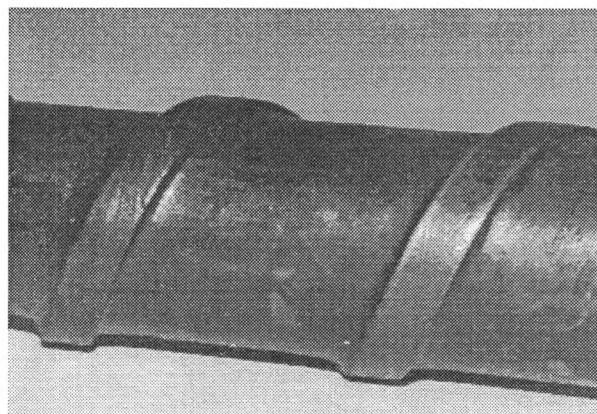
Wartość i rozkład obwodowych sił tarcia, na granicy styku tworzywa z cylindrem i ślimakiem, wpływają na konstrukcję ślimaka, ciśnienie tworzywa i temperaturę jego przetwórstwa, wydajność procesu oraz straty mocy.

RODZAJE ZUŻYCIA

Tworzywo podczas przetwórstwa jest poddawane ze strony elementów roboczych układu uplastyczniającego oddziaływaniom cieplnym i mechanicznym, których charakter ulega zmianie w miarę przepływu tworzywa wzdłuż cylindra. Jak już stwierdziliśmy, tworzywo zmienia swój stan skupienia, co wywiera wpływ na proces zużycia elementów układu uplastyczniającego. W tych różnorodnych warunkach działania, ślimaki i cylindry ulegają różnym rodzajom zużycia, które

można podzielić według kryterium jego przyczyny na ścierne, zmęczeniowe, erozyjne, korozyjne i kawitacyjne [2, 7, 8, 9].

Zużycie ścierne występuje wyjątkowo intensywnie w strefach zasilania i dozowania (rys. 1). W pierwszej z nich, w której tworzywo jest w stanie stałym, panują warunki zbliżone do występujących podczas tarcia su-

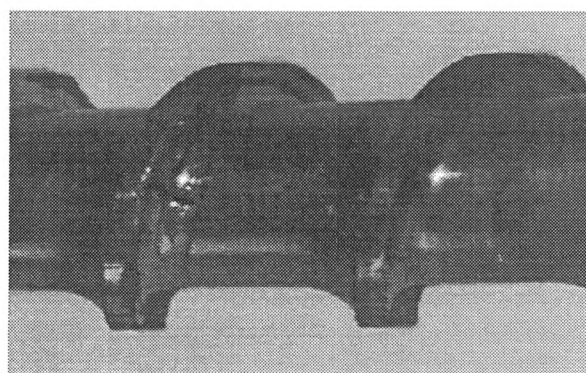


Rys. 1. Ślimak stosowany w przetwórstwie SAN, ze śladami zużycia ściernego w strefie dozowania

Fig. 1. Screw used for SAN injection moulding with abrasive wear marks occurring in metering section

cho, w drugiej zaś zużywanie w wyniku ścierania ma taki sam charakter jak w przypadku stosowania smaru, przy czym rolę smaru pełni tu tworzywo w stanie plastycznym lub ciekłym, a rolę cząstek ścierniwa — cząstki napelnaczy.

Zużycie zmęczeniowe może pojawiać się w następstwie niewłaściwego wyboru materiału konstrukcyjnego bądź też niedostatecznego przestrzegania warunków technologicznych podczas wytwarzania ślimaków lub cylindrów. Prawdopodobieństwo uszkodzenia wskutek zużycia zmęczeniowego wzrasta, gdy między utwar-

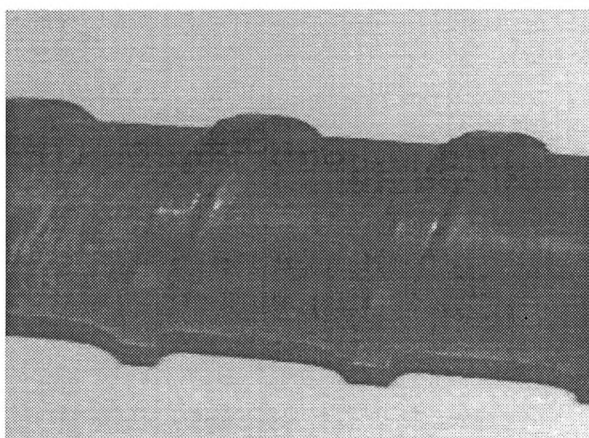


Rys. 2. Ślimak stosowany w przetwórstwie SAN oraz PP, ze śladami zużycia zmęczeniowego (wykruszenia) w strefie przemiany

Fig. 2. Screw used for SAN and PP injection moulding with fatigue wear marks in transition section

dzoną warstwą powierzchniową ślimaka lub cylindra i metalem podłoża brakuje strefy przejściowej, a metal nie ma dostatecznej wytrzymałości. Wskutek wielokrotnego odkształcania tej warstwy pod wpływem zmiennych obciążeń mechanicznych lub cieplnych pojawiają się w niej szczeliny przypowierzchniowe i w następstwie ulega wykruszeniu twarda, lecz krucha warstwa powierzchniowa (rys. 2).

Zużycie erozyjne występuje głównie podczas przetwórstwa tworzyw zawierających napelnicze, zwłaszcza twarde. Powstaje ono wskutek oddziaływania cząstek napelniczy na powierzchnie robocze układu uplastyczniającego. Ta postać zużycia występuje w strefie przemiany i dozowania, gdzie tworzywo jest już w stanie plastycznym i/lub ciekłym. Zuzywaniu ulegają przede wszystkim krawędzie zwojów ślimaka, co obserwuje się zwłaszcza w warunkach dużej prędkości przepływu strumienia tworzywa.



Rys. 3. Ślimak stosowany w przetwórstwie ABS, ze śladami korozji

Fig. 3. Screw used for ABS injection moulding with corrosive wear marks

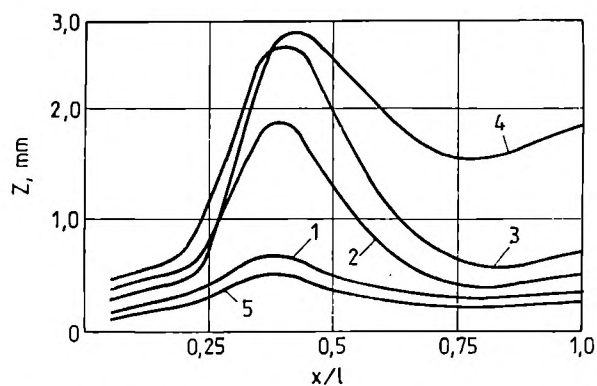
Zużycie korozyjne (rys. 3) stanowi skutek reakcji między metalem a chemicznie aktywnymi produktami rozkładu przetwarzanego tworzywa, np. tlenem, chlorem, chlorowodorem itp. Zużycie korozyjne może też być intensyfikowane obecnością w tworzywie składników dodatkowych, np. opóźniaczy palenia, które działają agresywnie na metal. Zaatakowane korozyjnie powierzchnie (przeważnie ślimaków) są szczególnie podatne na ścieranie. Zrywanie warstwy korozyjnej powodują głównie twarde napelnicze mineralne lub materiały wzmacniające. Zużycie to pojawia się w tej części strefy przemiany, w której rozpoczyna się intensywny przepływ tworzywa, ale jego skutki są najbardziej widoczne w strefie dozowania. Spośród termoplastów wzmocnionych, wyraźną korozję wywołują poliamidy podczas rozkładu cieplnego [9, 10]. Głównym produktem rozkładu towarzyszącemu wtryskiwaniu poliamidów jest dwutlenek węgla; poza tym powstaje też woda, która jest czynnikiem przyspieszającym korozję.

Zużycie kawitacyjne obserwuje się zwłaszcza na powierzchniach bocznych zwojów ślimaka, powierzchni cylindra oraz na końcówkach ślimaka. Jest ono spowodowane obecnością wody, albowiem podczas przetwórstwa pęcherzyki pary wodnej zawarte w ciekłym tworzywie ulegają kondensacji na powierzchni elementu roboczego, a wówczas, w przypadku natrafienia na mikrodefekt materiału, powstają kawitacje ułatwiające zużycie elektrochemiczne.

CHARAKTERYSTYKA ZUŻYCIA UKŁADÓW UPLASTYCZNIAJĄCYCH WYTŁACZAREK JEDNOŚLIMAKOWYCH

W przypadku układów uplastyczniających wytłaczarek jednoślیمakowych największemu zużyciu ulegają ślimaki oraz cylindry. Rysunek 4 pokazuje przebieg zużycia Z ślimaków w funkcji długości względnej układu uplastyczniającego x/l podczas przetwórstwa polietylenu (l — długość układu uplastyczniającego, x — bieżąca współrzędna długości).

Zużycie ślimaków w strefie zasilania jest najmniejsze i nieznacznie zwiększa się wzdłuż tej strefy. W obszarze wartości $x/l = 0,25$ następuje gwałtowny wzrost zużycia, które osiąga maksimum odpowiadające wartości x/l ok. 0,4, czyli w strefie przemiany. Następnie, gdy



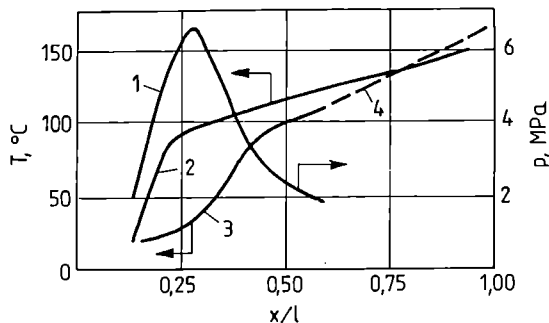
Rys. 4. Krzywe zużycia Z ślimaków wytłaczarek jednoślیمakowych w funkcji długości względnej układu uplastyczniającego x/l w toku przetwórstwa: 1 — polietylenu pierwotnego, 2 — PE + 10% tworzywa wtórnego, 3 i 5 — PE + 30% tworzywa wtórnego, 4 — PE + 30% kaolinu; krzywe 1—4 — ślimaki azotowane, krzywa 5 — ślimaki napażwane stopem typu 10P6M5 odpornym na ścieranie i korozję (l — długość układu uplastyczniającego, x — bieżąca współrzędna długości) [6]

Fig. 4. Wear curves (Z) of screws used in single-screw extruders in relation to the relative length of plasticizing unit (x/l) obtained during processing of: 1 — original polyethylene, 2 — PE + 10% recycled plastic, 3 and 5 — PE + 30% recycled plastic, 4 — PE + 30% kaolin; 1—4 curves — nitrided screws, 5 — screws padded with abrasive and corrosive resistant alloy, type 10P6M5, 1 — length of plasticizing unit, x — actual length co-ordinate [6]

tworzywo przechodzi w stan ciekły, zużycie zmniejsza się. Krzywe osiągają minimum, gdy długość względna x/l wynosi 0,75, po czym ponownie nieznacznie wzrastają na końcu strefy dozowania [6].

Intensywność zużycia w strefie przemiany ślimaków azotowanych podczas przetwórstwa polietylenu z dodatkiem 10 i 30% tworzywa wtórnego (rys. 4, odpowiednio krzywe 2 i 3) jest większa niż w przypadku polietylenu pierwotnego (krzywa 1), co można tłumaczyć obecnością ściernych zanieczyszczeń w tworzywie wtórnym. W przypadku przetwórstwa polietylenu napełnionego kaolinem intensywność zużycia jest jeszcze większa (krzywa 4). Ślimaki napawane stopem typu 10 P6M5 odpornym na ścieranie i korozję (krzywa 5) charakteryzują się najmniejszym zużyciem [6].

Duży wzrost wartości zużycia w początkowych strefach ślimaka można wyjaśnić, rozpatrując to zjawisko w połączeniu ze zmianami ciśnienia i temperatury tworzywa, zachodzącymi w układzie uplastyczniającym (rys. 5). W miarę przemieszczania się tworzywa wzdłuż



Rys. 5. Zmiana nacisku (p) granulek na powierzchnię ślimaka i cylindra (1), temperatury (T) cylindra (2), granulek (3) i tworzywa ciekłego (4) w funkcji długości względnej układu uplastyczniającego x/l wylączarki jednoślindakowej (średnica ślimaka 63 mm) podczas przetwórstwa polietylenu [6]

Fig. 5. The change of granules' pressure (p) on screw and barrel surface (1), barrel temperature (2), granules' temperature (3) and melt temperature (4) in relation to the relative length of plasticizing unit (x/l) of a single-screw extruder (screw diameter 63 mm), during polyethylene processing [6]

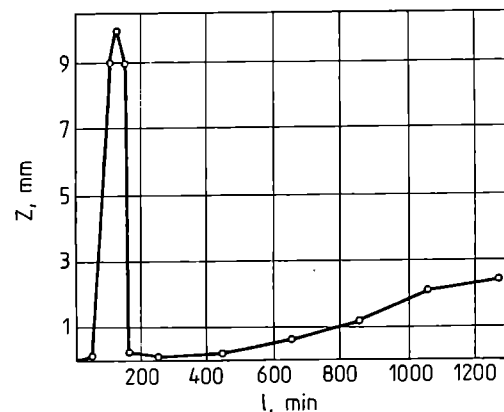
układu uplastyczniającego zwiększa się jego ciśnienie i temperatura, w wyniku czego zwiększa się nacisk granulek na elementy układu uplastyczniającego oraz powierzchnia rzeczywistego styku. Z drugiej strony, na skutek wzrostu temperatury zmniejsza się współczynnik sprężystości tworzywa, co z kolei prowadzi do zmniejszenia nacisku granulek na cylinder i ślimak oraz na ziarna napełniacza. Nakładanie się tych zjawisk wpływa na charakter przebiegu krzywych zużycia ślimaka w strefach, w których tworzywo znajduje się jeszcze w stanie stałym.

W miarę przechodzenia tworzywa w stan plastyczny, a następnie ciekły, tarcie zewnętrzne pomiędzy granulami jest zastępowane tarcem wewnętrznym, co pro-

wadzi do zmniejszenia zużycia ślimaka i cylindra na skutek smarującego działania tworzywa.

Zwiększanie się intensywności zużycia w strefie dozowania podczas przetwórstwa tworzyw bez napełniacza wiąże się z oddziaływaniem korozyjnym tworzywa na materiał elementów układu uplastyczniającego, natomiast w przypadku przetwórstwa tworzyw zawierających napełniacze oraz tworzywo wtórne bardziej intensywne niż zużycie korozyjne staje się zużycie przez ścieranie. Wzrost zużycia na końcu strefy dozowania można także wytłumaczyć zwiększaniem się ciśnienia tworzywa przed jego przejściem do głowicy oraz ewentualnym chwilowym tarcem swobodnego końca ślimaka o cylinder.

Zużycie zwojów ślimaka jest kilkakrotnie (3—6 razy) większe niż powierzchni jego rdzenia [2, 11]. Rysunek 6 ilustruje przebieg zużycia zwojów ślimaka średnicy



Rys. 6. Zużycie zwojów ślimaka średnicy 60 mm wylączarki W60TK, podczas przetwórstwa "Itamidu" (PA z włóknem szklanym): Z — zużycie zwojów w kierunku wysokości, l — długość ślimaka [2, 10]

Fig. 6. Wear of screw flights (screw diameter 60 mm, W60TK extruder) during Itamid (PA with glass fibre) processing: Z — wear of flights in height direction, l — screw length [2, 10]

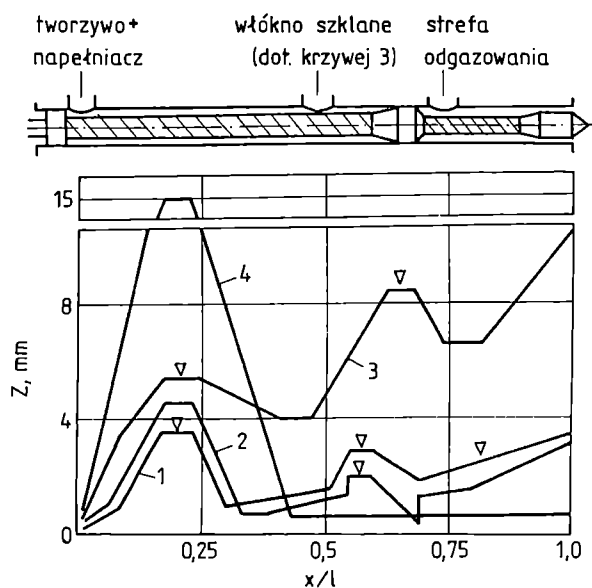
60 mm wylączarki jednoślindakowej W60TK podczas przetwórstwa poliamidu z włóknem szklanym ("Itamidu"), po okresie działania ok. 1600 h. W tym przypadku największe zużycie występuje w strefie zasilania.

W układach uplastyczniających zużywają się również cylindry, chociaż ich zużycie jest mniejsze niż ślimaków. Na przykład, zużycie w strefie dozowania cylindrów z azotowanymi powierzchniami roboczymi jest 1,5—4-krotnie mniejsze niż zużycie ślimaków w tej strefie [6]. Wynika to z różnego pola i ukształtowania powierzchni tarcia w przypadku obydwu tych elementów. Tak więc, podczas eksploatacji układów uplastyczniających należy uwzględnić fakt, iż na okres użytkowania jednego cylindra przypadają 3—4 wymiany ślimaka.

ZUŻYCIE UKŁADÓW UPŁASTYCZNIAJĄCYCH WYTLACZAREK DWUŚLIMAKOWYCH

Zużycie układów uplastyczniających wylaczkarek dwuślimakowych jest bardziej złożone niż w przypadku wylaczkarek jednoślimakowych, co wynika z różnych zasad ich działania i odmiennej konstrukcji [6]. Ślimaki wylaczkarek dwuślimakowych są zazwyczaj złożone z krótkich sekcji (różniących się skokiem linii śrubowej, liczbą zwojów i długością) oraz z elementów mieszających. Występują one w określonej kolejności, uwarunkowanej rodzajem przetwarzanego tworzywa. Zużycie i jego rozkład wzdłuż długości układu uplastyczniającego zależy od takich czynników, jak sposób i położenie miejsca wprowadzania napelniacza, obecność stref odgazowania oraz kierunek wzajemnego obrotu ślimaków.

Rysunek 7 przedstawia krzywe zużycia Z ślimaków wylaczkarek dwuślimakowych w funkcji długości względnej układu uplastyczniającego x/l w toku prze-



Rys. 7. Krzywe zużycia Z ślimaków wylaczkarek dwuślimakowych w funkcji długości względnej układu uplastyczniającego x/l podczas przetwórstwa: 1 — PA6.6 + 30% włókna szklanego (wylaczkarka ZSK-83, ilość przetworzonego tworzywa 236 t, czas pracy 9450 h), 2 — PE + 30% kaolinu (wylaczkarka ZSK 120/1500, 567 t, 2100 h), 3 — PA6.6 + 30% włókna szklanego (wylaczkarka E2-120, 700 t, 2000 h), 4 — poliwęglan + 30% włókna szklanego (wylaczkarka CPV2 Sp 90x20, 120 t, 450 h); dalsze objaśnienia w tekście [6]

Fig. 7. Wear curves (Z) of screws used in twin-screw extruders in relation to the relative length of plasticizing unit (x/l) obtained during processing: 1 — PA6.6 + 30% glass fibre (ZSK-83 extruder, amount of processed plastic — 236 t, work-time — 9450 hours), 2 — PE + 30% kaolin (ZSK 120/1500 extruder, 567 t, 2100 hours), 3 — PA6.6 + 30% glass fibre (E2-120 extruder, 700 t, 2000 hours), 4 — PC + 30% glass fibre (CPV2 Sp 90x20 extruder, 120 t, 450 hours), details in the text [6]

twórstwa różnych tworzyw. Krzywe 1, 2 i 4 przedstawiają zużycie ślimaków podczas przetwórstwa tworzyw, do których wprowadzono napelniacz bezpośrednio do leja zasypowego lub przetwórstwa tworzywa w postaci granulatu zawierającego już napelniacz. Krzywa 3 obrazuje zużycie ślimaka wówczas, gdy włókno szklane wprowadzano do tworzywa w układzie uplastyczniającym, w miejscu oznaczonym na rysunku. Krzywe 1, 2 i 4 osiągają wartości maksymalne w strefie przemiany. Dalsze punkty ekstremalne na tych krzywych (oznaczone trójkątami) odpowiadają mniejszym wartościom zużycia Z i dotyczą miejsc, w których występują elementy mieszające. Krzywa 3 ma trzy wartości ekstremalne, zwiększające się w kierunku przepływu tworzywa. Pierwsza z nich występuje w strefie przemiany, druga bezpośrednio za miejscem wprowadzania włókna szklanego i trzecia na końcu strefy dozowania.

Wzrost zużycia w strefie przemiany jest spowodowany przyczynami podobnymi jak w przypadku wylaczkarek jednoślimakowych, natomiast zużycie w dalszych strefach zostaje dodatkowo zintensyfikowane obecnością elementów mieszających. Wprowadzenie włókna szklanego również powoduje wzrost zużycia, przy czym zwiększa się ono w miarę zbliżania się do strefy odgazowania i zmniejszania luzu między ślimakiem i cylindrem. Przyczyną wzrostu zużycia w końcowej części układu uplastyczniającego jest działanie sił rozprężających pomiędzy ślimakami, co może prowadzić do styku końców ślimaków z cylindrem i zużycia spowodowanego zacieraniem [6]. Minimalne wartości zużycia występują w miejscach bezpośrednio za strefą przemiany (przejście tworzywa w stan plastyczny lub ciekły) i w strefie odgazowania, w której ciśnienie spada do atmosferycznego.

Na wartość i rozkład zużycia wzdłuż długości układu uplastyczniającego może wywierać wpływ stopień rozdrobnienia włókna szklanego w poszczególnych strefach. W strefie zasilania długość włókna prawie nie zmienia się ze względu na niewielkie wartości ciśnienia. W strefie przemiany średnia długość włókna zmniejsza się kilkakrotnie (5 i więcej razy), a w obszarze, w którym tworzywo występuje już w stanie ciekłym dalsze rozdrabnianie włókna staje się nieznaczne.

Zużycie ślimaków wiąże się z dwoma występującymi równocześnie zjawiskami o przeciwnych kierunkach oddziaływania. Z jednej strony rozdrobnienie włókien powoduje zwiększenie liczby aktywnych ich końców, co prowadzi do wzrostu zużycia, z drugiej zaś strony krótsze włókna są bardziej ruchliwe i łatwiej ulegają orientacji w kierunku przepływu tworzywa, a także mają mniejszą energię kinetyczną, co łącznie sprzyja zmniejszeniu naprężeń ścinających i intensywności zużycia ślimaków.

W przypadku układów współbieżnych zużycie ślimaków jest mniejsze niż w układach przeciwbieżnych, w których między ślimakami występuje przepływ tworzywa podobny do występującego podczas walcowania, co

stanowi zjawisko intensyfikujące zużycie. Intensywność zużycia ślimaków w układach przeciwbieżnych zwiększa się ze wzrostem ciśnienia na wyjściu z wyciązarki.

Zużycie cylindrów wyciązarek dwuślimakowych jest znacznie mniejsze niż zużycie ślimaków (ok. 4,5–8,0 razy) i zmienia się w zależności od rodzaju ich obróbki powierzchniowej.

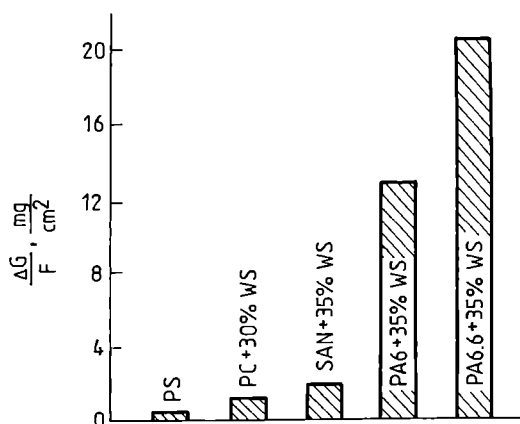
Ogólnie biorąc, zużycie układów uplastyczniających wyciązarek dwuślimakowych jest większe niż wyciązarek jednoślimakowych, co wynika przede wszystkim z działania sił rozpierających między ząbiającymi się ślimakami oraz z większych naprężeń w elementach układów, spowodowanych zwiększoną mocą napędu.

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA PRZEBIEG PROCESÓW ZUŻYCIA

Proces zużycia elementów układów uplastyczniających zależy głównie od następujących czynników [2, 6, 12]:

- rodzaju przetwarzanego tworzywa,
- warunków przetwórstwa,
- konstrukcji i jakości wykonania układu uplastyczniającego,
- odkształcenia ślimaka wskutek obciążenia.

Spośród wymienionych czynników do najbardziej istotnych zalicza się rodzaj przetwarzanego tworzywa. Podczas przetwórstwa, na granicy metal/tworzywo występują złożone procesy chemiczne, fizyczne i fizykochemiczne, przebiegające w różnym stopniu i z różną szybkością w odniesieniu do każdego rodzaju polimeru i gatunku stali elementów układu uplastyczniającego. Rysunek 8 przedstawia porównanie zużycia stali podczas współpracy z tworzywami termoplastycznymi napełnionymi włóknem szklanym [9]. Tak więc, w



Rys. 8. Zużycie stali automatowej 9S 20K przez różne tworzywa termoplastyczne; ΔG — ubytek masy próbki stalowej, F — pole powierzchni tarcia, WS — włókno szklane [9]

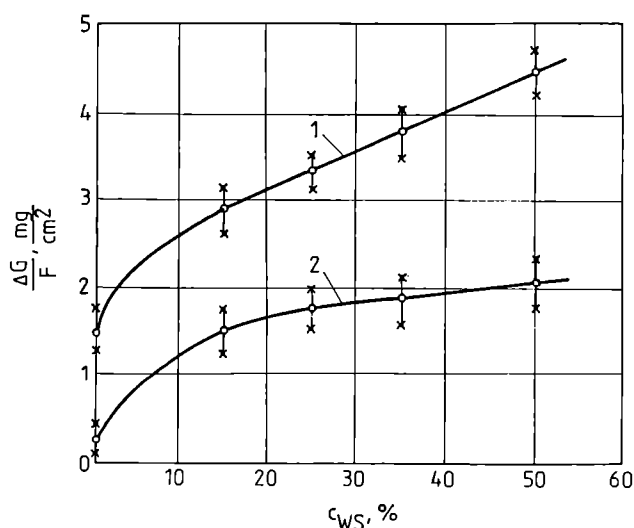
Fig. 8. Wear of free-machining steel (9S 20K) caused by different thermoplastics: ΔG — loss in mass of steel specimen, F — friction area, WS — glass fibre [9]

warunkach prawie jednakowej zawartości włókna szklanego poliamid 6.6 powoduje kilkunastokrotnie większe zużycie stali niż np. poliwęglan lub kopolimer SAN. Polistyren bez napełniacza wywołuje bardzo małe zużycie. Badanie te przeprowadzono w jednakowych warunkach, zatem występowanie różnego zużycia wskazuje na to, iż oprócz ścierania pod wpływem włókna szklanego przebiega również korozja powierzchni stali wskutek działania ciekłego tworzywa i produktów jego rozkładu.

W technice często stosuje się tworzywa zawierające napełniacze proszkowe i włókniste. Na zużycie układów uplastyczniających wpływa rodzaj i zawartość napełniacza, jego charakterystyka makro- i mikrogeometryczna oraz rozmieszczenie w polimerze.

Napełniacze proszkowe miękkie, np. kreda, talk, kaolin, sadza lub mączka drzewna, powodują ścieranie twardych powierzchni cylindrów i ślimaków, przy czym ze wzrostem wymiarów cząstek napełniacza zwiększa się szybkość zużycia [6, 12, 13]. Napełniacze te powodują polerowanie powierzchni cylindrów i ślimaków, a ponadto mają zdolność sorpcji i dostarczania do strefy styku tarcowego aktywnych względem metalu produktów destrukcji polimeru. Procesy te wiążą się ze zwiększonym zużyciem elementów metalowych o znacznie większej twardości niż tworzywa.

Przetwórstwo tworzyw wzmocnionych napełniaczami twardymi oraz włóknistymi, np. azbestem, szkłem, węglem, grafitem, wiąże się z bardzo szybkim zużyciem układu uplastyczniającego wskutek mikroskrawania zachodzącego pod wpływem przepływu tworzywa w układzie. Ze wzrostem zawartości takiego napełnia-



Rys. 9. Wpływ zawartości włókna szklanego (c_{WS}) w PA6.6 na zużycie różnych gatunków stali: 1 — stal X40CrMoV51V, 2 — stal 34CrAlNi7 po azotowaniu; oznaczenia ΔG i F jak na rys. 8 [9]

Fig. 9. The effect of glass fibre content (c_{WS}) in PA6.6 on various steel grades' wear: 1 — steel X40CrMoV51V, 2 — steel 34CrAlNi7 after nitriding; designations ΔG and F as in Fig. 8 [9]

cza zwiększa się oczywiście działanie ścierające tworzywa. Rysunek 9 ilustruje wpływ zawartości włókna szklanego w poliamidzie 6.6 na zużycie stali [9]. Obecność włókna szklanego w tworzywie inicjuje zarówno ścieranie, jak i korozję stali.

Podczas przetwórstwa tworzywa mogą niekiedy ulegać częściowemu rozkładowi cieplnemu, spowodowanemu utlenianiem. W wyniku rozrywania łańcuchów polimeru powstają aktywne cząstki (wolne rodniki, małowczątkowe produkty gazowe), zmniejsza się ciężar cząsteczkowy, zmienia się struktura oraz fizyczne właściwości polimeru. Produkty rozkładu — np. chlorowódor wydzielający się w toku przetwórstwa polimerów i kopolimerów chlorku winylu [2] — charakteryzują się dużą aktywnością i zdolnością do reakcji z metalem; wynikiem tego może być zużycie korozyjne elementów układów uplastyczniających. Obecność napełniaczy w polimerach dodatkowo intensyfikuje proces korozji. Chemicznie nieaktywny poliamid 6.6 po napełnieniu włóknem szklanym wymaga stosowania wyższej temperatury przetwórstwa, w której może ulegać rozkładowi z wydzielaniem kwasów karboksylowych i produktów gazowych [6].

Opisane zjawiska występują w różnym stopniu w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego i zależą od warunków przetwórstwa oraz od rodzaju materiału elementów układu. W strefie zasilania i na początku strefy przemiany temperatura nie jest wysoka, w związku z czym tutaj nie występują jeszcze agresywne produkty rozkładu tworzywa. W dalszej części strefy przemiany, w wysokiej temperaturze i pod stosunkowo niedużym ciśnieniem, mogą pojawić się głównie gazowe produkty rozkładu, które wywołują niewielką korozję. W strefie dozowania, pod dużym ciśnieniem i wobec zwiększonego prawdopodobieństwa przegrzania tworzywa, może nastąpić kondensacja gazowych produktów rozkładu polimeru i ich oddziaływanie z wodą oraz powstawanie aktywnych związków, powodujących zwiększoną korozję.

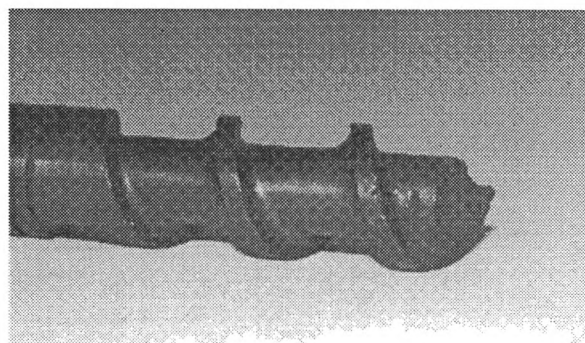
Na przebieg zużycia układów uplastyczniających wpływają również warunki procesu przetwórstwa, takie jak ciśnienie, temperatura, szybkość przepływu tworzywa. Zmiany warunków przetwórstwa wywołują zmiany właściwości tworzywa, a przez to wpływają na jego oddziaływanie z materiałem elementów układu uplastyczniającego i na intensywność ich zużycia.

Zwiększenie ciśnienia i przedłużenie czasu przebywania tworzywa pod działaniem wysokiego ciśnienia sprzyja intensyfikacji procesu jego destrukcji, co może powodować większe zużycie elementów układu uplastyczniającego. Obniżanie temperatury i związane z tym zwiększenie lepkości tworzywa również może być przyczyną wzrostu zużycia.

Procesy chemiczne, mechaniczne, cieplne oraz elektryczne, determinujące zużycie elementów stalowych stykających się z tworzywem a zachodzące w różnej temperaturze, mają odmienny przebieg. Siła tarcia tworzywa o powierzchnie robocze elementów układu upla-

styczniającego jest uwarunkowana lepkością warstwy uplastycznionego tworzywa, prędkością jego ruchu oraz charakterem styku. W strefie zasilania i na początku strefy przemiany tworzywo, wskutek częściowego tylko uplastycznienia, okresowo przylega do powierzchni ślimaka i cylindra, często się od nich odrywając, co powoduje nierównomierne zużycie tych obydwu elementów. Ze wzrostem temperatury w dalszej części strefy przemiany i w strefie dozowania tworzywo staje się coraz bardziej jednorodne i całkowicie przylega do powierzchni ślimaka oraz cylindra. Przepływ tworzywa jest tu stabilny, a zużycie przez ścieranie równomierne. Wyższa temperatura intensyfikuje jednak procesy korozji oraz utleniania powierzchni roboczych elementów stalowych.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na zużycie układów uplastyczniających jest ich konstrukcja, jakość wykonania oraz obciążenie podczas eksploatacji. Błędy w tym zakresie mogą prowadzić do bezpośredniego styku obracającego się ślimaka z nieruchomym cylindrem. Styk taki jest możliwy w przypadku wykrzywienia ślimaka lub cylindra, wadliwego montażu, podczas rozruchu oraz działania maszyny w zbyt niskiej temperaturze [6]. W zależności od miejsca styku ślimaka i cylindra, uszkodzenie może się zwiększyć pod wpływem naprężeń występujących w strefie zasilania, a także działania podwyższonej temperatury i ciśnienia oraz procesów korozji w strefie dozowania. W skrajnym przypadku dochodzi do zacierania obydwu elementów, co może spowodować uszkodzenie cylindra i złamanie się ślimaka (rys. 10).



Rys. 10. Uszkodzony ślimak, używany w układzie uplastyczniającym wtryskarki do przetwórstwa ABS

Fig. 10. Damaged screw used in a plasticizing unit of an injection moulding machine, during ABS processing

PODSUMOWANIE

Skutkiem zużywania się układów uplastyczniających jest zmniejszenie wydajności, zwiększenie udziału wytworów wadliwych, większa liczba przerw w eksploatacji oraz zwiększenie kosztów napraw. Wykonanie i eksploatacja układów uplastyczniających wiąże się z dużymi kosztami, w związku z czym ważne jest pozna-

nie przyczyn ich zużywania się oraz opracowanie metod zapobiegania lub przynajmniej ograniczenia tego zjawiska.

Zwiększenie trwałości i niezawodności układów uplastyczniających można uzyskać już na etapie konstruowania maszyny dzięki poprawnemu wyborowi rozwiązania konstrukcyjnego układu oraz odpowiedniemu doborowi materiałów na ślimaki i cylindry. Stosowanie obróbki powierzchniowej elementów roboczych umożliwia stworzenie korzystniejszych warunków tarcia na powierzchni styku tworzywa ze ślimakiem i cylindrem, dzięki czemu mniejsze jest prawdopodobieństwo ich uszkodzenia podczas eksploatacji. Wykraczające poza ramy tego opracowania zagadnienia zwiększania trwałości układów uplastyczniających zostały przedstawione m.in. w pracach [6, 7, 9, 11, 14].

LITERATURA

1. Sikora R.: "Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych", WE, Warszawa 1993, str. 528.
2. Sikora R., Tomaszewski J., Szyk K.: "Zużycie układów uplastyczniających maszyn do przetwórstwa tworzyw sztucznych", materiały 8. Szkoły Jesiennej na temat "Zużycie w urządzeniach technicznych", Kraków-Osieczany 1978, str. 35.
3. Smorawiński A.: "Technologia wtrysku", WNT, Warszawa 1989, str. 460.
4. Crawford R. J.: "Plastics Engineering", Pergamon Press, Oxford 1987, str. 354.
5. Frados J.: "Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry, Inc.", Van Nostrand Reinhold Company, Nowy Jork 1976, str. 909.
6. Gladčenko A. N., Zverlin V. G., Petrenko S. D., Ševelya I. V.: "Iznosostoikost oborudovaniya dlya pererabotki polimernych materialov", wyd. Kmu-ga, Kijów 1997, str. 256.
7. Kozłowski M., Pięłowski J., Steller R.: *Polimery* 1985, 30, 275.
8. Menning G.: "Wear in Plastics Processing", Carl Hanser Verlag, Munich—Vienne—New York 1995, str. 452.
9. Braun D., Volz P.: *Mechanik* 1980, 53, nr 3, 155.
10. Drożdż W.: *TS Raport* 1998, nr 7, 5.
11. Stasiak J.: *Polimery* 1976, 21, 514.
12. Stamburskii E. A., Beil A. I., Karlivan V. P. i in.: "Iznos oborudovaniya pri pererabotke plastmass", wyd. Khimiya, Moskwa 1985, str. 208.
13. Rydarowski H.: "Badanie metodą pierścieniową działania ściernego uplastycznionych poliolefin", materiały III Międzynarodowej Konferencji SIM-PLAST'88, Kozubnik 1988, str. 285.
14. Drożdż W.: *TS Raport* 2000, nr 13, 21.

W kolejnym zeszycie ukazać się następujące artykuły:

- Wpływ długości bloków poliamidowego i polieterowego na strukturę i właściwości elastomeru poli[(tereftalan tetrametylen)-blok-(oksytetrametylen)-blok-(laurynolaktam)]
- Trójwymiarowa (3D) fotopolimeryzacja w stereolitografii. Część II. Technologie trójwymiarowej fotopolimeryzacji (*wersja angielska*)
- Strukturalne przemiany w anizotaktycznym polipropylenie poddanym działaniu plazmy o małej częstotliwości (*wersja angielska*)
- (Areno)trikarbonyłowe kompleksy chromu(0) w syntezie polimerów zawierających metal opartych na monomerach winylowych (*wersja angielska*)
- Przepływ poprzeczny tworzywa w ślimakowym układzie uplastyczniającym
- Wskaźniki charakteryzujące wzajemne oddziaływanie rury osłonowej i kabla optotelekomunikacyjnego
- Modyfikacja tworzyw termoplastycznych włóknami celulozowymi z makulatury. Cz. 1. Kompozycje poli(chlorku winylu) z włóknami celulozowymi z makulatury