

Przetwórstwo tworzyw polimerowych

Ćwiczenia laboratoryjne

Część 1

Podręczniki – Politechnika Lubelska



Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
ul. Nadbystrzycka 36
20-618 LUBLIN

Tomasz Garbacz
Janusz W. Sikora

Przetwórstwo tworzyw polimerowych

Ćwiczenia laboratoryjne

Część 1



Politechnika Lubelska
Lublin 2012

Recenzent:

prof. dr hab. inż. Elżbieta Bociąga, Politechnika Częstochowska

Redakcja i skład:

Tomasz Garbacz

Janusz W. Sikora

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2012

ISBN: 978-83-62596-73-7

Wydawca: Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin

Realizacja: Biblioteka Politechniki Lubelskiej

Ośrodek ds. Wydawnictw i Biblioteki Cyfrowej

ul. Nadbystrzycka 36A, 20-618 Lublin

tel. (81) 538-46-59, email: wydawca@pollub.pl

www.biblioteka.pollub.pl

Druk: ESUS Agencja Reklamowo-Wydawnicza Tomasz Przybylak

www.esus.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl

Nakład: 100 egz.

Spis Treści

Rozdział I

Część teoretyczna

1. Przetwarzalność tworzyw	9
2. Wytłaczanie tworzyw	13
3. Wtryskiwanie tworzyw	37

Rozdział II

Część laboratoryjna

1. Wskaźnik szybkości płynięcia	45
2. Wytłaczanie konwencjonalne	55
3. Wytłaczanie rur	69
4. Wytłaczanie porujące	77
5. Wytłaczanie autotermiczne	89
6. Wytłaczanie z granulowaniem	99
7. Wytłaczanie taśmy	109
8. Wytłaczanie z rozdmuchiwaniem folii	121
9. Zdolność tworzywa do przepływu w formie	133
10. Wtryskiwanie konwencjonalne	141
11. Wtryskiwanie porujące	155
12. Wtryskiwanie tłokowe	163

Rozdział I

Część teoretyczna

1. Przetwarzalność tworzyw

Przetwarzalnością nazywa się podatność tworzywa przetwarzanego na zmiany właściwości, struktury, kształtu i wymiarów, jakie zachodzą podczas jego przetworstwa. Przetwarzalność ma duże znaczenie użytkowe. Im lepsza jest przetwarzalność tym taniej, wydajniej i łatwiej jest otrzymać wytwory i przetwory o wysokiej jakości. Przetwarzalność tworzywa określa się za pomocą wielkości zwanych **wskaźnikami przetwarzalności**, które można podzielić na dwie grupy ze względu na ich istotę fizyczną i chemiczną. Według tego kryterium wskaźniki dzielą się na **fizykochemiczne i fizykotechnologiczne**, zwane umownie użytkowymi [1].

Do ważniejszych fizykochemicznych wskaźników przetwarzalności zalicza się: lepkość, różnice naprężeń normalnych, naprężenia własne, udarność, adhezję, efekt Barusa, wykładnik płynięcia, współczynniki sprężystości i wiele innych.

Ważniejszymi użytkowymi wskaźnikami przetwarzalności są: wskaźnik szybkości płynięcia, plastyczność prasownicza, natężenie przepływu, długość spirali tworzywa, stopień wypełnienia gniazda schodkowego, liczba całkowicie wypełnionych gniazd formy wielogniazdowej, plastyczność przy ściskaniu, skurcz przetwórczy, czas utwardzania, naprężenie styczne i wiele innych.

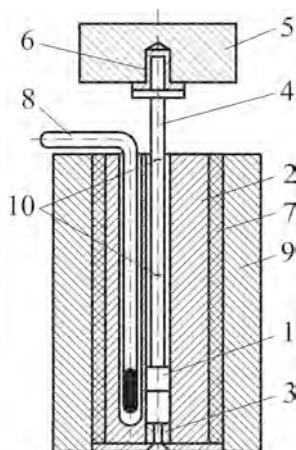
Wskaźnik szybkości płynięcia (MFI) oznacza się dla tworzyw termoplastycznych. Przy czym rozróżnia się **wskaźnik masowy (MFR)** oraz **wskaźnik objętościowy (MVR)** szybkości płynięcia.

Wskaźnik masowy szybkości płynięcia jest to liczba wyrażająca masę stopionego tworzywa w gramach wytłoczonego przez dyszę o średnicy 1,16 mm lub 2,10 mm i długości 8 mm, pod określonym obciążeniem, w określonej temperaturze, w ciągu określonego czasu odniesienia. Za czas odniesienia przyjmuje się 10 min.

Z kolei wskaźnik objętościowy szybkości płynięcia jest definiowany analogicznie i jest to liczba wyrażająca objętość tworzywa stopionego w cm^3 , wytłoczonego przez dyszę o określonym kształcie i rozmiarach pod określonym obciążeniem, temperaturą i w danym czasie odniesienia. Przyrządem służącym do oznaczania wskaźnika szybkości płynięcia jest **plastomer obciążnikowy**, którego schemat został przedstawiony na rys. 1.

Plastometr składa się ze stalowego tłoka o średnicy 9,48 mm umieszczonego w otworze stalowego cylindra. Na końcu cylindra znajduje się kapilara (dysza) z otworem o średnicy 2,10 mm lub rzadziej 1,18 mm i długości 8 mm. Na końcu tłoczyska znajduje się obciążnik odizolowany od niego za pomocą tulejki. Obciążnik jest wymienny i łączna masa tłoka z obciążnikiem zawiera się w granicach od 0,3 do 22 kg, w zależności od rodzaju tworzywa badanego, temperatury pomiaru i czasu odcinania. Do ogrzewania przyrządu służą grzejniki elektryczne umieszczone na obwodzie cylindra plastomeru. Utrzymanie nastawionej,

żądaney temperatury zapewnia układ automatyczny, a do jej odczytu służy najczęściej termometr. Na zewnętrznej stronie cylindra znajduje się osłona.



Rys. 1. Schemat plastomeru obciążnikowego: 1–tłok, 2–cylinder, 3–dysza, 4–tłoczyisko, 5–obciążnik, 6–tulejka izolacyjna, 7–grzejniki elektryczne, 8 – termometr kontrolny, 9–osłona plastomeru, 10–kreski pierścieniowe oznaczające początek i koniec pomiarów

W celu wyznaczenia wskaźnika masowego szybkości płynięcia, plastometr wraz z kapilarą doprowadza się do żądanej temperatury, a następnie wprowadza się do otworu cylindra kilka gramów badanego tworzywa, które stapia się. Na tłoczyisko zakłada się dany obciążnik i wprowadza się do otworu cylindra. Po kilku minutach dokonuje się pomiaru polegającego na odcinaniu co pewien określony czas wytłaczanych przez dyszę odcinków pomiarowych tworzywa i określeniu ich masy. Następnie oblicza się masę tworzywa jaka wypłynęłaby w czasie 10 minut, zgodnie z zależnością:

$$\text{MFR}(T, m_{\text{nom}}) = \frac{600 m}{t} \quad (1)$$

w której T oznacza temperaturę badania wyrażoną w $^{\circ}\text{C}$, m_{nom} –masę obciążenia nominalnego w kg, m –średnią masę wytłoczonych odcinków tworzywa w gramach, 600 współczynnik przeliczeniowy (600s = 10 min), t –odstęp czasu odcinania podany w sekundach, dobierany odpowiednio do badanego tworzywa ($t = 30, 60, 120, 240\text{s}$) tak, aby długość odcinka pomiarowego mieściła się w przedziale wartości od 10 do 20 mm.

Znając wskaźnik MFR można określić wskaźnik MVR według wzoru:

$$\text{MVR} = \frac{10^3 \text{MFR}}{\rho(T)} \quad (2)$$

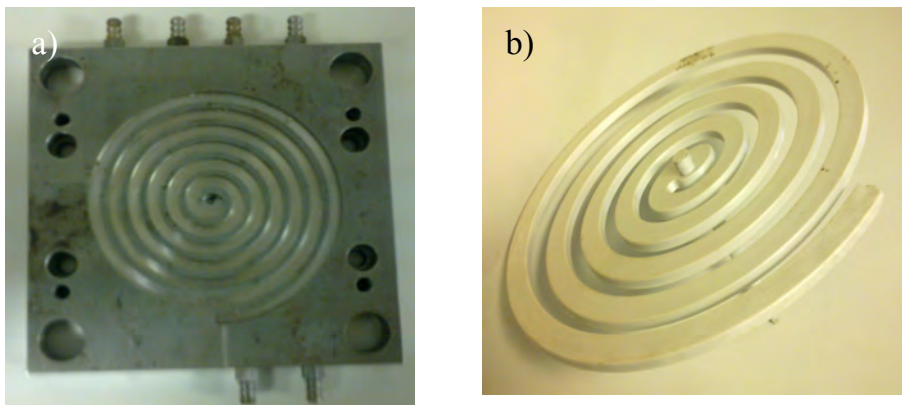
Wskaźnik szybkości płynięcia zależy od kilku czynników np. od średniego ciężaru cząsteczkowego polimeru i jego stopnia polimolekularności, od stopnia rozgałęzienia makrocząsteczek, zawartości składników dodatkowych (zwłaszcza napelniaczy) i środków smarujących.

Wartość **MFR jest wskazówką** dla konstruktorów, technologów i przetwórców tworzyw o zachowaniu się tworzywa podczas przepływu w kanałach przepływowych narzędzi przetwórczych i w gniazdach tych narzędzi. Im większa jest ta wartość, tym dłuższe można stosować drogi płynięcia, tym więcej gniazd można projektować, promienie zaokrągleń, jak i pola przekroju poprzecznego przyszłych wytworów mogą być mniejsze.

Zakres liczbowy wskaźnika masowego zazwyczaj zawiera się w granicach od 0 do kilkudziesięciu, jednak najczęściej wartość MFR wynosi do kilkunastu. Tworzywa o małym wskaźniku szybkości płynięcia można przetwarzać metodą wytłaczania, natomiast o większym metodą wytłaczania z rozdmuchiowaniem, a tworzywa o jeszcze większym wskaźniku - metodą wtryskiwania.

Innym dość powszechnie stosowanym wskaźnikiem przetwarzalności tworzyw termoplastycznych i utwardzalnych, przeznaczonych głównie do wtryskiwania, jest **długość spirali** tworzywa. Wskaźnik ten, oznaczany różnymi metodami (metoda gniazda spiralnego, metoda gniazda schodkowego, metoda gniazd wielokrotnych) wskazuje na zdolność tworzywa do przepływu i następnie wypełniania gniazda formującego określonej formy wtryskowej [1, 2].

W **metodzie gniazda spiralnego** forma wtryskowa ma stożkowy centralny kanał przepływowy, przechodzący w kanał przepływowy w kształcie linii spiralnej, przejmujący funkcję gniazda formującego (rys. 2). Kanał ten może być zamknięty lub łączyć się z atmosferą otaczającą formę. Pole przekroju poprzecznego kanału jest na ogół półkoliste, ale może być prostokątne, trapezowe lub inne.



Rys. 2. Wygląd a) części formy wtryskowej z gniazdem formującym w kształcie spirali Archimedesowej o prostokątnym polu przekroju poprzecznego oraz b) wypraski otrzymanej w tym gnieździe

Pole przekroju poprzecznego kanału zawiera się w granicach od 5 do 35 mm², natomiast długość kanału może wynosić nawet 1,5 m. Stosuje się spirale Archimedes'a lub spirale łamane. Wskaźnikiem przetwarzalności jest długość spirali tworzywa otrzymanej z danej formy wtryskowej.

Wskaźnik zależy od wielu czynników np. od rodzaju tworzywa, ciśnienia wtryskiwania, temperatury tworzywa wtryskiwanego i temperatury formy wtryskowej.

Z kolei, w **metodzie gniazda schodkowego** gniazdo formujące ma kształt prostopadłościanu o różnej wysokości, ale tej samej podstawie. Wysokość ta zmienia się skokowo i może wynosić np. 2, 4, 7 i 10 mm, co powoduje efekt schodków (rys. 3). Tworzywo wypełnia gniazdo formy przepływając z kanału centralnego, poprzez kanał pośredni o przekroju trójkątnym.



Rys. 3. Wygląd przykładowego gniazda formującego formy wtryskowej w metodzie gniazda schodkowego

Tam, gdzie wysokość gniazda jest największa, warunki do jego wypełniania są najlepsze i odwrotnie. Stopień i jakość wypełnienia gniazda schodkowego są wskaźnikami przetwarzalności – wskaźnikami wtryskiwalności.

Kolejna metoda to **metoda gniazd wielokrotnych**, zwana również metodą choinkową. Forma wtryskowa jest wielogniazdowa z identycznymi gniazdami formującymi rozmieszczonymi symetrycznie względem centralnego kanału przepływowego. Kształt i rozmiary centralnego kanału przepływowego, doprowadzających kanałów przepływowych oraz gniazd formujących są różne i wynikają ze stopnia w jakim mają być odtworzone warunki produkcyjne. W zależności od warunków wtryskiwania, warunki przepływu i wypełniania gniazd formujących nie są jednakowe, ale najkorzystniejsze występują zawsze najbliżej centralnego kanału przepływowego. Zatem stopień wypełnienia kanałów doprowadzających i gniazd formujących jest wskaźnikiem wtryskiwalności, a miarą jest liczba całkowicie wypełnionych gniazd.

2. Wytłaczanie tworzyw

Wytłaczanie ma wśród metod przetwórstwa tworzyw polimerowych największe znaczenie, gdyż przetwarza się nią ponad 50% wytwarzanych tworzyw, których produkcja w 2008 roku przekroczyła 245 mln ton. Proces wytłaczania polega na **ciągłym uplastycznianiu** tworzywa w układzie uplastyczniającym i przepychaniu przez kanały głowicy wytaczarskiej, następnie na zestaleniu lub utwardzeniu otrzymanej **wytłoczyny** [3]. Proces wytłaczania jest realizowany w maszynach przetwórczych, jakimi są **wytłaczarki**. Wytłaczarka ślimakowa, której istota została opatentowana przez M. Graya już w 1979 r. w Anglii składa się z dwóch głównych układów, **układu uplastyczniającego** oraz układu napędowego. Układ uplastyczniający jest zakończony narzędziem przetwórczym – **głowicą wytłaczarską**.

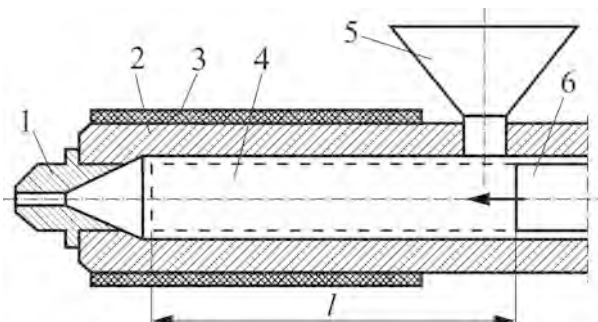
W technologii wytłaczania decydujące znaczenie ma **uplastycznianie**, czyli odpowiednie przejście tworzywa wejściowego, na skutek nagrzewania, sprężania, ruchu i działania sił ze stanu na ogół stałego w stan plastyczny. Proces ten jest najważniejszym czynnikiem determinującym wydajność wytłaczania i jakość otrzymanej wytłoczyny. Tworzywo polimerowe po procesie uplastyczniania musi charakteryzować się określonymi parametrami, a więc **temperaturą, ciśnieniem, stopniem homogenizacji, prędkością ruchu i natężeniem przepływu**. Przy czym, występują większe lub mniejsze wahania tych wielkości, charakteryzowane określonym okresem i daną amplitudą. Układ uplastyczniający spełnia cztery funkcje podstawowe:

- **nagrzewanie**, prowadzone w celu zapewnienia zadanego przebiegu zmian stanów fizycznych tworzywa przetwarzanego, określanego temperaturą i jej fluktuacją,
- **sprężanie**, mające na celu uzyskanie w tworzywie przetwarzanym zadanego przebiegu zmian ciśnienia, określanego wartością ciśnienia i jego pulsacją,
- **mieszanie**, zapewniające homogenizowanie czyli ujednorodnienie składu i właściwości, głównie cieplnych i mechanicznych, jak również struktury tworzywa przetwarzanego,
- **transportowanie**, umożliwiające przemieszczanie tworzywa przez układ z uzyskaniem na jego końcu potrzebnej prędkości wypływu tworzywa z określonym natężeniem i ustaloną fluktuacją oraz pulsacją.

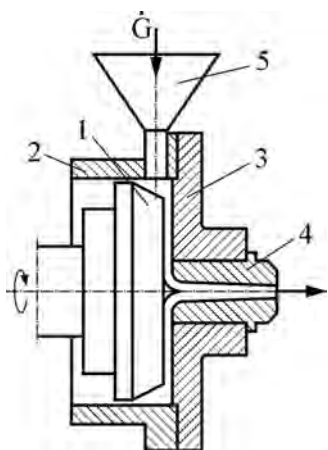
Czasami układ uplastyczniający jest skonstruowany do spełniania także funkcji pomocniczych, którymi mogą być na przykład odgazowanie lub porowanie.

Współcześnie istnieje wiele układów uplastyczniających, które można podzielić na trzy grupy. Do pierwszej grupy zalicza się **układy ślimakowe**, które mogą być jednoślismakowe lub wieloślismakowe, na ogół dwuślismakowe lub tróślismakowe, czeroszlismakowe lub planetarne. Drugą grupę stanowią **układy**

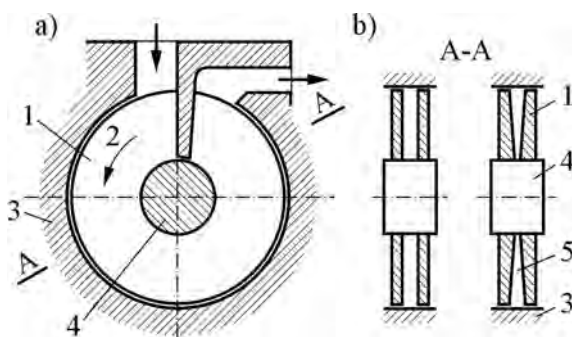
beźślimakowe, którymi są na przykład układy tłokowe (rys. 4), tarczowe (rys. 5), pierścieniowe (rys. 6), teledynamiczne i wirnikowe.



Rys. 4. Klasyczny układ uplastyczniający tłokowy: 1 – dysza cylindra, 2 – cylinder, 3 – grzejniki elektryczne, 4 – tłok w przednim skrajnym położeniu, 5 – zasobnik, 6 – tłok w tylnym skrajnym położeniu



Rys. 5. Schemat układu uplastyczniającego tarczowego: 1-tarcza, 2-cylinder, 3-przeciwtarcza, 4-korpus dyszy, 5-zasobnik tworzywa



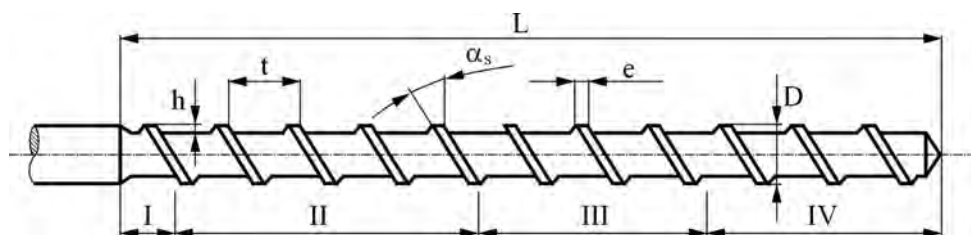
Rys. 6. Schemat układu uplastyczniającego pierścieniowego: a) przekrój w płaszczyźnie tarcz, b) przekroje osiowe; 1 – tarcze, 2 – kierunek obrotu tarcz, 3 – cylinder krótki, 4 – wał, 5 – kanał pierścieniowy prostokątny lub stożkowy

Natomiast trzecią grupę stanowią **układy hybrydowe**, a w niej najbardziej rozpowszechnione to układy ślimakowo-tłokowe i ślimakowo-tarczowe. Do tej grupy można zaliczyć również jeden z nowszych układów uplastyczniających układ Conex® [2, 5]. Aktualnie zasadnicze znaczenie ma uplastycznianie za pomocą układu ślimakowego.

Ślimakowy układ uplastyczniający wytłaczarki składa się z zespołu mechanicznego utworzonego przez cylinder i obracający się w nim ślimak lub kilka ślimaków, zespołu nagrzewająco-ochładzającego, który tworzą grzejniki i wentylatory mocowane na cylindrze, z urządzeń sterująco-regulujących oraz urządzeń pomocniczych, na przykład układów odgazowujących lub zaworów ciśnieniowych [3, 4].

Ślimaki układów uplastyczniających jednoślimakowych dzielą się na ślimaki klasyczne, ślimaki specjalne oraz ślimaki niekonwencjonalne.

W celu zapewnienia poprawnego przebiegu procesów w układzie ślimakowym, ślimak klasyczny został podzielony na następujące podstawowe strefy funkcjonalne: zasypu, zasilania, przemiany i dozowania (rys. 7).



Rys. 7. Elementy geometryczne ślimaka klasycznego: I – strefa zasypu, II – strefa zasilania, III – strefa przemiany, IV – strefa dozowania; pozostałe oznaczenia w tekście

Ślimak klasyczny jest charakteryzowany elementami geometrycznymi, którymi są: średnica D ślimaka, stosunek L/D długości części roboczej do średnicy zewnętrznej, wysokość h zwoju, skok t linii śrubowej zwoju, kąt α_s pochylenia linii śrubowej zwoju, szerokość e grzbietu zwoju, krotność i zwojów; zazwyczaj krotność zwojów wynosi jeden, ale mogą być ślimaki wielozwojowe, redukcja g objętości kanału, definiowana jako stosunek objętości kanału na całym obwodzie ślimaka na początku strefy zasypu do odpowiadającej objętości kanału na końcu strefy dozowania oraz czasami średnica $\varnothing$ otworu wzdłużnego do chłodzenia ślimaka. Podstawowy zakres wartości elementów geometrycznych ślimaka klasycznego podano w tabeli.

Tabela 1 Wartości liczbowe elementów geometrycznych ślimaków

Symbol elementu geometrycznego ślimaka	D , mm	L/D	h , mm	t , mm	α_s , deg	e , mm	i	g	$\varnothing$, mm
Układ jednoślimakowy	$2 \div 400$	$3 \div 40$	$(0,05 \div 0,3)D$	$(0,8 \div 1,2)D$	$(17 \div 18)$	$0,06 \div 0,1)D$	$1 \div 4$	$1,0 \div 5$	$(0,25 \div 0,35)D$

Potrzebną redukcję objętości kanału wynikającą z kompensacji objętości tworzywa wskutek zmiany stanu fizycznego i właściwego sprężania można w ślimaku klasycznym osiągnąć poprzez zmniejszenie skoku linii śrubowej zwo-

ju lub poprzez zmniejszenie wysokości zwoju, wreszcie wskutek jednego i drugiego jednocześnie. Z uwagi na prostsze i tańsze wykonanie ślimaka, znacznie częściej stosuje się ślimak o stałym skoku i zmniejszającej się wysokości zwoju.

Ślimaki klasyczne mają kanał śrubowy ciągły wzdłuż całej długości części roboczej i różnią się między sobą elementami geometrycznymi. Ślimaki specjalne są zaopatrzone w specjalnej konstrukcji elementy intensyfikujące proces ściśnięcia i mieszania tworzywa w układzie uplastyczniającym. Ślimaki niekonwencjonalne natomiast charakteryzują się tym, że na części długości roboczej mają odcinki kanału nieśrubowego klasycznego, ciągłego lub nieciągłego. Obecnie coraz częściej spotyka się rozwiązania konstrukcyjne ślimaków będące połączeniem rozwiązań ślimaków niekonwencjonalnych i specjalnych.

Powierzchnia zewnętrzna cylindra ślimakowego układu uplastyczniającego najczęściej jest rowkowana na całej długości roboczej lub części jego długości w celu zapewnienia właściwego ochładzania tworzywa przetwarzanego. W wytłaczarce część długości powierzchni wewnętrznej cylindra jest najczęściej rowkowana. Rowki przetwórcze na powierzchni wewnętrznej cylindra są wzdłużne lub śrubowe i znajdują się w obszarze pod otworem zasypowym oraz dalej na długości około od 3 do 5 średnic ślimaka, w kierunku głowicy. Elementy geometryczne (liczba rowków, kąt pochylenia, głębokość, kąt skręcenia, kierunek skręcenia) rowków przetwórczych mogą być niezmiennie w czasie trwania procesu wytłaczania (**rowki pasywne**) lub można je zmieniać (**rowki aktywne**) w zależności od potrzeb przetwórczych.

Głowica wytłaczarska jest narzędziem przetwórczym z otwartym gniazdem formującym mocowanym bezpośrednio do układu uplastyczniającego lub do uzupełniającego urządzenia przygotowawczego, którym może być urządzenie filtrujące, pompa zębata lub mieszkarka statyczna.

Konstrukcja głowicy wytłaczarskiej, niezależnie od jej przeznaczenia, powinna uwzględniać ogólne wymagania, gwarantujące prawidłowy proces kształtowania wytworu. Są to przede wszystkim [5]:

- zapewnienie prawidłowego przepływu tworzywa w kanałach przepływowych, tak aby w rezultacie uzyskać wymagany kształt oraz wymiary wytwarzanej wytłoczyny,
- umożliwienie prowadzenia procesu wytłaczania z jak największym natężeniem przepływu tworzywa,
- ukształtowanie oraz cechy geometryczne kanałów przepływowych głowicy powinny wykluczać tworzenie się stref zastoju tworzywa oraz zapewniać dostatecznie duży opór przepływu tworzywa, wytwarzając odpowiednie ciśnienie na czole ślimaka i zapewniając właściwe mieszanie i homogenizację tworzywa przetwarzanego, a także stabilizację ciśnienia na określonym, wysokim poziomie,

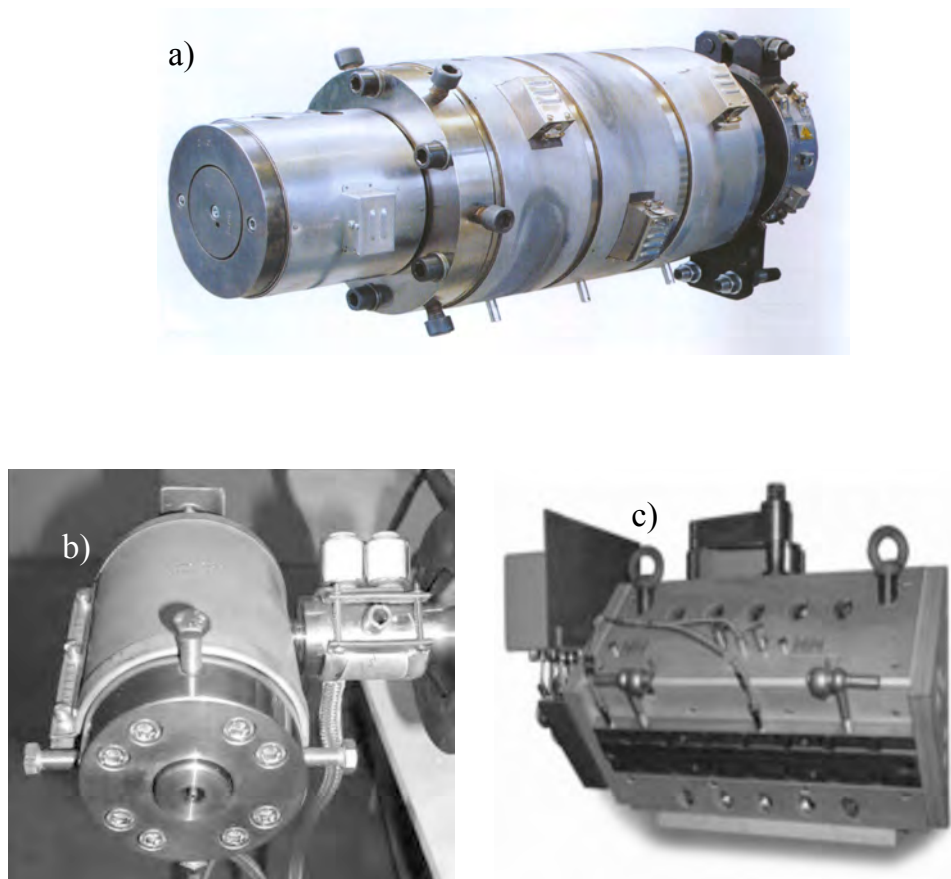
- zapewnienie dostatecznej wytrzymałości, w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury poszczególnych, materiału elementów konstrukcyjnych głowicy i ich połączeń,
- nadanie odpowiedniego ciężaru głowicy i zwartości jej konstrukcji, ze względu na wymaganą stabilność cieplną, a także jak najmniejszej liczby płaszczyzn podziału, ze względu na jej szczelność,
- zabezpieczenie powierzchni kanałów przepływowych głowicy przed agresywnym działaniem tworzyw,
- w przypadku konieczności wpływania na zalecane warunki procesu wytaczania, w szczególności na warunki w głowicy wytaczarskiej, umożliwienie regulacji natężenia wypływu tworzywa z dyszy głowicy.

Powstało wiele różnych rozwiązań konstrukcyjnych głowic wytaczarskich, również opatentowanych, różniących się między sobą konstrukcją poszczególnych zespołów funkcjonalnych głowicy, sposobem działania, doprowadzeniem tworzywa do dyszy wytaczarskiej oraz przeznaczeniem.

Głowice wytłaczarskie można podzielić na dwie grupy, w zależności od rodzaju otrzymywanego wytworu oraz od położenia dyszy głowicy względem układu uplastyczniającego. Do pierwszej grupy zalicza się głowice do kształtowników, do folii rurowej, płyt i folii płaskiej, do powlekania, granulowania, rozdmuchiwanie pojemników. Do drugiej grupy zalicza się głowice proste (wzdłużne), których wlot i wylot tworzywa znajdują się w jednej osi, pokrywającej się z osią układu uplastyczniającego, głowice kątowe (skośne), w których wlot tworzywa będący w osi układu uplastyczniającego jest pod pewnym kątem w stosunku do osi wylotu tworzywa oraz głowice krzyżowe (poprzeczne), gdzie wlot i wylot tworzywa usytuowane są prostopadle względem siebie (rys. 8). Przyjmując, jako kryterium podziału głowic liczbę tworzyw w wytworze dzieli się je także na jednotworzywowe i wielotworzywowe, natomiast ze względu na sposób działania głowic dzieli się je na ciągłego działania (standardowe) i cyklicznego działania (kumulacyjne). Jednak, w niektórych przypadkach, tylko precyzyjne nazwanie głowicy wytłaczarskiej, stanowiące połączenie wymienionych kryteriów, na przykład głowica krzyżowa, trójtworzywowa do rozdmuchiwania pojemników cyklicznego działania, daje możliwość pełnego, jednoznacznego określenia i scharakteryzowania głowicy.

W konstrukcji głowic wytaczarskich można wyróżnić kilka zespołów funkcjonalnych, które określa się w zależności od zadania, jakie spełniają w głowicy. Są to: zespół kształtujący (w tym dysza głowicy) – bezpośrednio nadający wytworowi kształt i wymiary przekroju poprzecznego przy uwzględnieniu zjawiska skurczu przetwórczego (pierwotnego i wtórnego) oraz efektu Barusa, zespół integracyjny – łączący głowicę z cylindrem układu uplastyczniającego, zespół kanałów przepływowych – wlotowy i rozprowadzający oraz czasami rozdzielający tworzywo, zespół nagrzewający wraz z układem pomiaru i regulacji temperatury, zespół elementów ustalających, centrujących i łączących oraz zespół uzupełniający, którym może być na przykład zespół napędowy obrotowego

rdzenia lub dyszy albo siłownik hydrauliczny wyciskający tworzywo ze zbiornika kumulacyjnego głowicy.

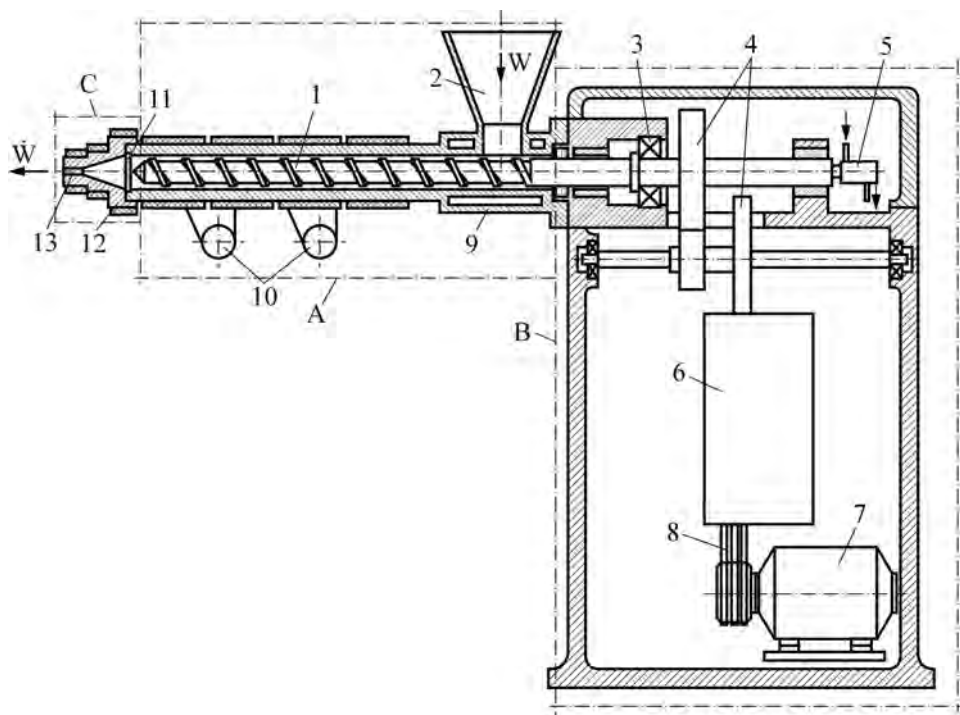


Rys. 8. Wygląd głowicy: a) wzdłużnej (Hans Weber Maschinenfabrik, Niemcy), b) poprzecznej (Guill Tool&Engineering, USA), c) kątowej (Rieter Automatic, Niemcy).

Cechą wspólną wszystkich stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych głowic wytaczarskich jest to, że każda głowica posiada strefę prowadzenia równoległego tzw. dyszę, w której wymiary szczeliny pozostają stałe. W strefie tej następuje relaksacja powstałych naprężeń i deformacji uplastycznionego tworzywa, jak również w warunkach ustalonej temperatury kształtują się wymiary i właściwości wytłaczanego wyrobu, zwłaszcza jego warstwy wierzchniej.

Wytłaczarka jednoślimakowa z zamocowanym do niej narzędziem jest przedstawiona przykładowo na rys. 9. Ślimak wykonuje **tylko ruch obrotowy**, który jest przekazywany z silnika elektrycznego przez przekładnię redukcyjną, ślimakową lub bezpośrednio na wał ślimaka. Cylinder układu uplastyczniającego

wyłaczarki w okolicy zasobnika jest chłodzony wodą lub powietrzem, aby nie dopuścić do nagrzewania się granulek tworzywa w zasobniku (czego następstwem byłoby uplastycznianie ich warstwy wierzchniej i wzajemne łączenie, co z kolei utrudniałoby pobieranie granulek przez ślimak) oraz przenoszenia ciepła z układu uplastyczniającego do układu napędowego.

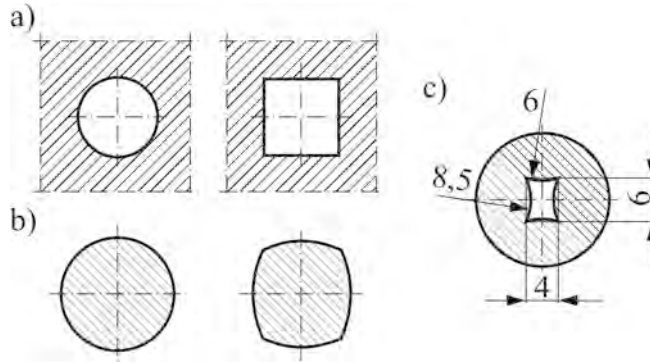


Rys. 9. Wyłaczarka jednoślیمakowa: A – układ uplastyczniający, B – układ napędowy, C – głowica wyłaczarska, 1 – ślimak, 2 – zasobnik tworzywa, 3 – łożysko, 4 – koła zębate, 5 – kruciec do chłodzenia ślimaka od wewnątrz, 6 – przekładnia do bezstopniowej regulacji prędkości obrotowej, 7 – silnik elektryczny, 8 – przekładnia pasowa, 9 – strefa zasypu chłodzona wodą, 10 – wentylatory chłodzące, 11 – filtr tworzywa, 12 – grzejniki elektryczne, 13 – dysza głowicy wyłaczarskiej [3]

Tworzywo z zasobnika dostaje się do kanału ślimakowego układu uplastyczniającego wyłaczarki, w którym jest nagrzewane, sprężane, mieszane i transportowane do głowicy wytaczarskiej zaopatrzonej w dyszę, która nadaje wypływającemu z układu uplastyczniającego strumieniowi tworzywa ustalony kształt i wymiary w przekroju poprzecznym przy uwzględnieniu **efektu Barusa** i zjawiska skurczu.

Efekt Barusa jest cechą stopionych polimerów polegająca na tym, że na wylocie z kanału przepływowego następuje nagłe rozszerzenie wypływającego strumienia płynu. Na skutek efektu Barusa przekrój poprzeczny wytłoczyny nie

jest równy przekrojowi poprzecznemu wylotu dyszy (rys. 10). Wzorów do obliczeń użytecznych w praktyce inżynierskich dotychczas ciągle brak i z tego powodu przekrój poprzeczny dyszy podczas projektowania głowicy jest wykonywany wstępnie, a następnie po wykonaniu głowicy jest kształtowany ostatecznie w próbach bezpośrednich z danym tworzywem i wylączarką.



Rys. 10. Przekrój poprzeczny: a) dyszy, b) wylączyny, c) dyszy do wylączania prętów PVC nieplastyfikowanego o wymiarach nominalnych 4 x 6 mm

Wartość β liczbową efektu Barusa jest określana różnymi wzorami w zależności od przyjętej konwencji i możliwości pomiarowych. Najogólniej wyznacza się ją jako stosunek wielkości charakteryzującej strumień tworzywa opuszczającego kanał do odpowiedniej wielkości charakteryzującej kanał, w literaturze najczęściej przyjmuje się:

- stosunek średnicy d_s strumienia opuszczającego kanał do średnicy d_k kanału

$$\beta_1 = \frac{d_s}{d_k} \cdot 100\% \quad (3)$$

- stosunek powierzchni A_s pola przekroju poprzecznego strumienia do pola A_k przekroju poprzecznego kanału

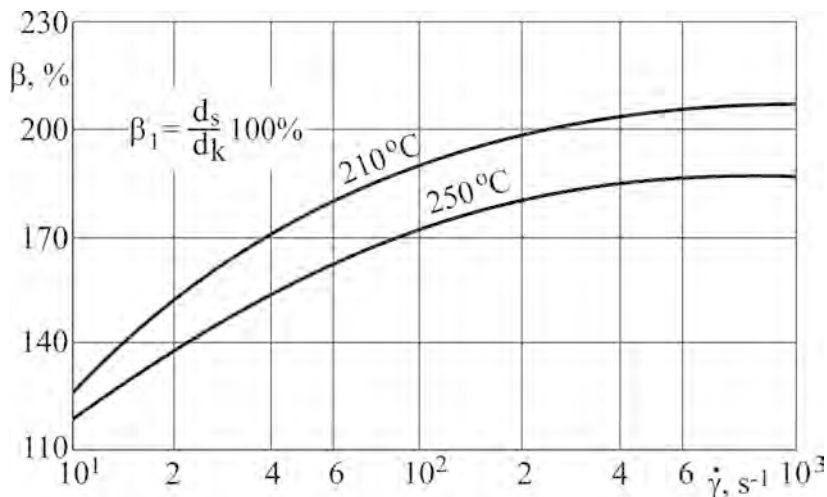
$$\beta_2 = \frac{A_s}{A_k} \cdot 100\% \quad (4)$$

- stosunek objętości V_s odcinka strumienia o umownej długości do odpowiadającej objętości V_k kanału

$$\beta_1 = \frac{V_s}{V_k} \cdot 100\% \quad (5)$$

Pomiary wymienionych wielkości mogą odbywać się w różnej temperaturze, a pomiary dotyczące strumienia w różnym czasie od chwili opuszczenia kanału przez strumień. Wyróżnia się tutaj dwa ważne przypadki. Pierwszy, gdy pomiary wielkości charakteryzujących strumień i kanał odbywają się w temperaturze przetwórstwa danego tworzywa. Drugi, gdy pomiary wymienionych wielkości przeprowadza się w temperaturze umownej np. 20°C oraz po np. 24 godzinach od opuszczenia kanału przez strumień. W pierwszym przypadku mierzy się wartość liczbową efektu Barusa w sensie klasycznym, zaś w drugim przypadku koryguje się ją o skurcz tworzywa i skurcz materiału, z którego wykonany jest kanał przepływowy. Dlatego też tak określana wielkość nosi nazwę skorygowanej wartości liczbowej efektu Barusa [3].

Wartość β najczęściej jest równa od 130 do 250% (rys. 11), ale spotyka się przypadki, że wynosi nawet ponad 500%. Zależy ona od wielu czynników, głównie od prędkości ścinania, temperatury tworzywa, ciśnienia tworzywa, czasu przebywania tworzywa w kanale, od kształtu i wymiarów kanału np. jego długości.

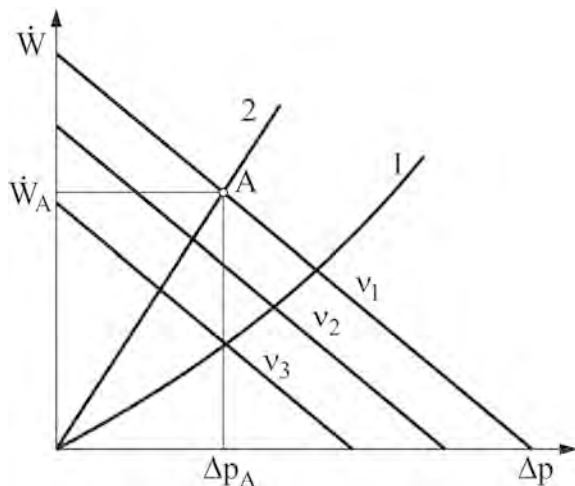


Rys. 11. Zależność wartości liczbowej efektu Barusa β od prędkości ścinania $\dot{\gamma}$ polipropylenu w różnej temperaturze [3]

Na ogół powiększa się przy wzroście prędkości ścinania i ciśnienia, natomiast maleje przy wzroście temperatury, czasu przebywania tworzywa w kanale i długości kanału.

Podstawowe znaczenie w procesie wytłaczania ma zależność objętościowego natężenia przepływu tworzywa z układu uplastyczniającego od spadku ciśnienia w strefie dozowania (nazywaną **charakterystyką strefy dozowania** układu uplastyczniającego) rozpatrywana łącznie z tą samą zależnością odniesioną do dyszy głowicy wytłaczarskiej (**charakterystyka dyszy głowicy** wytłaczarskiej).

Obie charakterystyki tworzą łącznie **charakterystykę procesu wytłaczania** (rys. 12), a punkt przecięcia obu charakterystyk nosi nazwę **punktu pracy wytłaczarki**. Proces wytłaczania ze względu na sposób doprowadzenia ciepła niezbędnego do uplastyczniania tworzywa w układzie uplastyczniającym można podzielić na **wytłaczanie konwencjonalne** oraz **wytłaczanie autotermiczne**. Inny podział dotyczy struktury otrzymanej wytłoczyny, rozróżnia się więc wytłaczanie wytłoczyny litej i wytłaczanie wytłoczyny porowatej (**wytłaczanie porujące**). Wyróżnić należy jeszcze **wytłaczanie powlekające**, **wytłaczanie z rodmuchiowaniem**, **wytłaczanie z granulowaniem** oraz **współwytłaczanie** [3].



Rys. 12. Charakterystyka procesu wytłaczania: 1, 2 – charakterystyka strefy dozowania układu uplastyczniającego, v_1, v_2, v_3 – charakterystyka dyszy głowicy wytłaczarskiej, A – punkt pracy wytłaczarki; 1 – płyn nieniutonowski, 2 – płyn niutonowski, v – prędkość obrotowa ślimaka ($v_1 > v_2 > v_3$)

Wytłaczanie autotermiczne. Już w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku, stwierdzono, że proces uplastyczniania tworzywa termoplastycznego w układzie uplastyczniającym wytłaczarki jednoślindakowej może przebiegać bez potrzeby nagrzewania cylindra tzn. stosowania grzejników na cylindrze wytłaczarki lub wykonywania kanałów grzejnych w ścianie cylindra. Strumień ciepła generowany wskutek tarcia tworzywa w układzie uplastyczniającym, może być wystarczający do przebiegu procesu wytłaczania. Aby generowanie ciepła tarcia było dostateczne, prędkość obwodowa ślimaka powinna być stosunkowo duża i wynosić od 1 do 1,5 m/s. Występują jednak przy tym problemy w sterowaniu generowaniem ciepła wzdłuż układu uplastyczniającego. Może to powodować przegrzanie, a nawet destrukcję zarówno cieplną, jak i mechaniczną tworzywa, zwłaszcza w strefie dozowania, pogarszając jakość wytłoczyny i uniemożliwiając wytłaczanie wielu tworzyw. Konieczność zmieniania prędkości ślimaka,

nawet w odniesieniu do tego samego tworzywa, ale różnych jego partii, powoduje wahania natężenia przepływu tworzywa, co pociąga za sobą trudności we wzajemnym dostosowaniu elementów składowych linii technologicznej wytłaczania. Duży moment obrotowy ślimaka, wynikający z intensywnego ścinania tworzywa powoduje znaczne naprężenia w materiale ślimaka, mogące przekraczać jego wytrzymałość na skręcanie.

Tworzywo w układzie uplastyczniającym wytłaczarki nagrzewane jest bezpośrednio wskutek tarcia zewnętrznego granulek tworzywa o siebie i powierzchni robocze cylindra i ślimaka oraz tarcia wewnętrznego makrocząstek polimeru i cząstek napelnacza.

Podstawowymi **zaletami** wytłaczania autotermicznego są: wysoka sprawność energetyczna i niskie jednostkowe zużycie energii, dobra homogenizacja, duże natężenia przepływu tworzywa, krótki czas przebywania tworzywa w układzie uplastyczniającym. Wytłaczarki autotermiczne mają mniejszą masę (brak przekładni redukcyjnej), są bardziej zwarte oraz wymagają mniejszej powierzchni do ich zainstalowania w porównaniu z wytłaczarkami konwencjonalnymi.

Proces wytłaczania autotermicznego stosuje się jak dotychczas do wytłaczania tworzyw olefinowych. Mimo, że w ostatnich latach coraz wyraźniej mówi się o zaletach i możliwościach tego rodzaju wytłaczania to jednak wykorzystanie wytłaczarek działających autotermicznie ogranicza się w zasadzie do otrzymywania folii i powlekania izolacją różnego rodzaju przewodów m. in. kabli elektrycznych i przewodów telekomunikacyjnych.

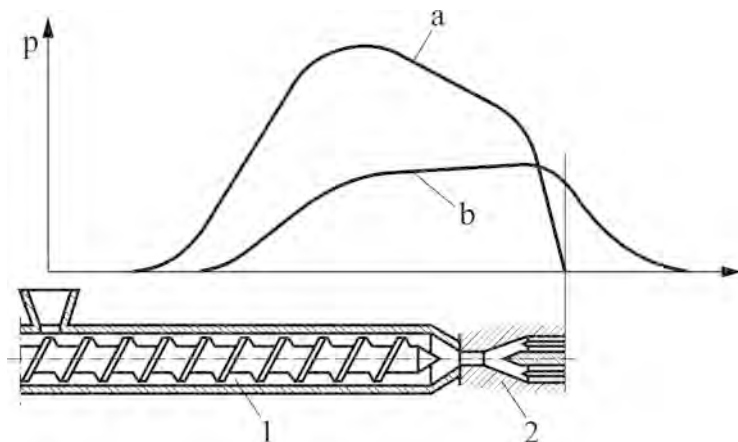
Wytłaczanie porujące. Wytłaczanie tworzyw porowatych różni się od wytłaczania tworzyw litych tym, że wytworowi w wyniku procesu przetwórczego, nadaje się strukturę dwufazową tworzywo-gaz o możliwie małych i równomiernie rozmieszczonych pęcherzykach gazu. Strukturę porowatą uzyskuje się po wprowadzeniu do tworzywa środka porującego, w postaci gazu obojętnego, cieczy niskowrzącej lub ciała stałego, który jeśli jest w stanie ciekłym lub stałym, przechodzi w gaz w określonych warunkach procesu wytłaczania.

Gazy obojętne i cieczy niskowrzące wprowadza się pod ciśnieniem za pomocą specjalnych urządzeń dozujących, bezpośrednio do strefy zasilania układu uplastyczniającego wytłaczarki w czasie wytłaczania. Natomiast niektóre cieczy i ciała stałe miesza się z tworzywem, tak jak pigmenty, przed dostarczeniem do zasobnika wytłaczarki lub są wprowadzane do tworzywa już w procesie jego wytwarzania. Gdy w odpowiedniej temperaturze rozpoczyna się proces wydzielania gazu, tworzące się liczne mikrobanieczki ulegają natychmiast, dzięki wysokiemu ciśnieniu i rozwinięciu powierzchni, rozpuszczeniu w otaczającym tworzywie.

Strumień tworzywa przetwarzanego, wraz z rozpuszczonym w nim gazem jest transportowany pod ciśnieniem do głowicy wstępnie formującej wytwór. Ciśnienie to powinno być na tyle duże, by aż do wylotu z dyszy głowicy wytłaczarskiej, gaz nie wydzielił się w postaci odrębnej fazy (mikrobanieczek) w strumieniu tworzywa. Gdyby to nastąpiło, na skutek naprężenia ścinającego

w przepływającym tworzywie, uległyby zniszczeniu mechanicznemu przegrody rozdzielające banieczki gazu i nie można by uzyskać jednordnej struktury porowatej. Powstające pory mogą być wypełnione zarówno powietrzem, jak i różnymi gazami, na przykład CO_2 oraz N_2 , ale zostają one później w wyniku dyfuzji, zastąpione powietrzem.

Ciśnienie tworzywa rośnie wzdłuż układu uplastyczniającego, nieco zmniejsza się w końcowej części układu i na początku głowicy wylączarskiej oraz spada gwałtownie w dyszy głowicy aż do ciśnienia atmosferycznego (rys. 13). Ciśnienie gazu wzrasta najpierw dość intensywnie, później wolniej, a zaczyna spadać gwałtownie w końcowej części dyszy i przede wszystkim po opuszczeniu dyszy przez wytłoczynę.



Rys. 13. Przebieg ciśnienia tworzywa (a) oraz gazu (b) wzdłuż długości układu uplastyczniającego (1) i dyszy głowicy (2)

Warunkiem uzyskania korzystnej struktury porowatej tworzywa w procesie wytłaczania jest właściwy rozkład temperatury w układzie uplastyczniającym wytłaczarki i głowicy. Temperatura głowicy powinna być bliska temperatury rozkładu środka porującego. Duży wpływ na jakość wytworu porowatego wywiera także prędkość wytłaczania. W warunkach małej prędkości wytłaczania proces porowania zachodzi w pobliżu dyszy głowicy, co może spowodować powstawanie nierównomiernej struktury porowatej.

Środek porujący dobiera się odpowiednio do rodzaju tworzywa w ten sposób, aby temperatura jego rozkładu była wyższa od temperatury topnienia tworzywa, ale niższa od temperatury wytłaczania tworzywa. Tworzywo porowate w stanie ciekłym nie jest jeszcze układem stabilnym, gdyż w wyniku działania napięcia powierzchniowego na granicy faz: tworzywo - gaz oraz dyfuzji, zmniejsza się ilość porów w tworzywie, ale powiększają się ich rozmiary, co jest efektem niepożądanym. Powstałe pory powiększają się do chwili osiągnięcia stanu równo-

wagi między ciśnieniem gazu a napięciem powierzchniowym. Korzystną strukturę tworzywa o małych porach, zachowuje się w gotowym wytworze przez jak najszybsze jego ochładzanie i zestalanie.

Ochładzanie wytłoczyny porowatej (zakres i intensywność) w decydujący sposób wpływa na tworzenie jej struktury porowatej. W zależności od temperatury ochładzania, można uzyskać różny stopień porowatości struktury wytłoczyny, przy czym zestalanie wytworów porowatych trwa dłużej niż litych. Wprawdzie pojemność cieplna tworzywa porowatego jest mniejsza, ale znacznie pogarsza się jego przewodzenie ciepła. Aby zniwelować niekorzystne efekty zmian struktury tworzywa porowatego przed jego ochładzaniem, można regulować lepkość tworzywa porowatego przez dobór odpowiedniej jego gęstości.

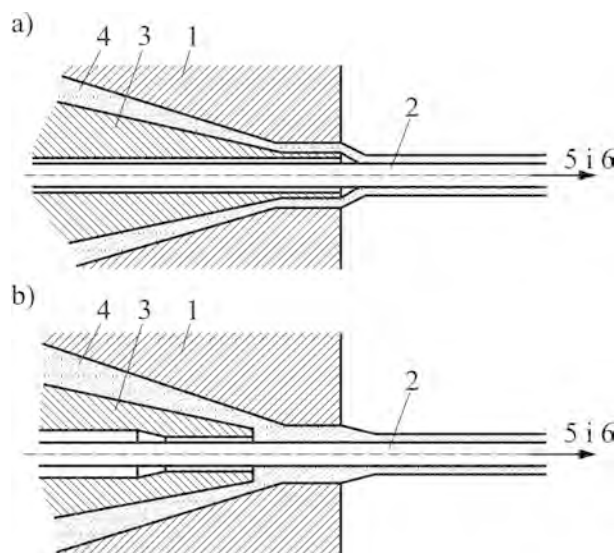
Do wytwarzania wytworów o strukturze porowatej, można stosować maszyny i urządzenia standardowe, umożliwiające jednak dobrą dyspersję poroforów i innych środków pomocniczych, z zachowaniem stałych warunków cieplnych. Wytłaczarki powinny mieć długość ślimaka co najmniej 25 D.

Wytłaczanie powlekające. Proces ten należy do najstarszych odmian wytłaczania. Za pomocą wytłaczania można powlekać tworzywami różne kształtowniki, rury, taśmy, ale przede wszystkim kable elektryczne i telekomunikacyjne. Proces powlekania odbywa się w głowicy wytłaczarskiej kątowej lub też za nią. W procesie tym łączą się adhezyjnie dwa materiały: przemieszczający się ruchem prostoliniowym kabel i przepływające tworzywo. Początkowo tworzywo przepływa pod pewnym kątem do kabla, następnie wielokrotnie zmienia kierunek i ostatecznie otacza kabel powłoką.

Na rysunku 14 zostały przedstawione podstawowe możliwości wytłaczania powlekającego. W pierwszej, nazywanej wytłaczaniem powlekającym podciśnieniowym (rys. 14a) tworzywo i kabel łączą się tuż po opuszczeniu głowicy.

Jest to w istocie proces wytłaczania rury i obciskania jej na kablu pod wpływem wytworzonego pomiędzy nimi podciśnienia. Dzięki tej metodzie istnieje większa możliwość powlekania kabli o różnych kształtach przekroju poprzecznego. Jednakże dużą wadą jest w tym przypadku konieczność stosowania układu do wytwarzania podciśnienia tj. pompy podciśnieniowej, przewodów oraz układu pomiarowego i regulacyjnego.

Druga metoda pozwala na połączenie tworzywa z kablem bezpośrednio w głowicy wytłaczarskiej. W tym przypadku łączenie odbywa się pod wpływem ciśnienia tworzywa w dyszy. Z tego też względu proces ten nosi nazwę wytłaczania powlekającego ciśnieniowego (rys. 14b).



Rys. 14. Podstawowe możliwości wytłaczania powlekającego: a) próżniowe, b) ciśnieniowe; 1 – końcówka głowicy, 2 – kabel, 3 – przewód kabla, 4 – tworzywo, 5 – kierunek ruchu kabla przed powleczeniem i po nim, 6 – kierunek ruchu tworzywa wyjściowego

Zaletą w tym przypadku jest możliwość otrzymywania bardzo cienkich powłok, nawet o grubości 0,01 mm. Wadę stanowi ograniczenie do wytwarzania kabli jedynie o przekroju kołowym lub zbliżonym do niego, a także trudność w utrzymaniu jednakowej grubości powłoki na całym obwodzie kabla.

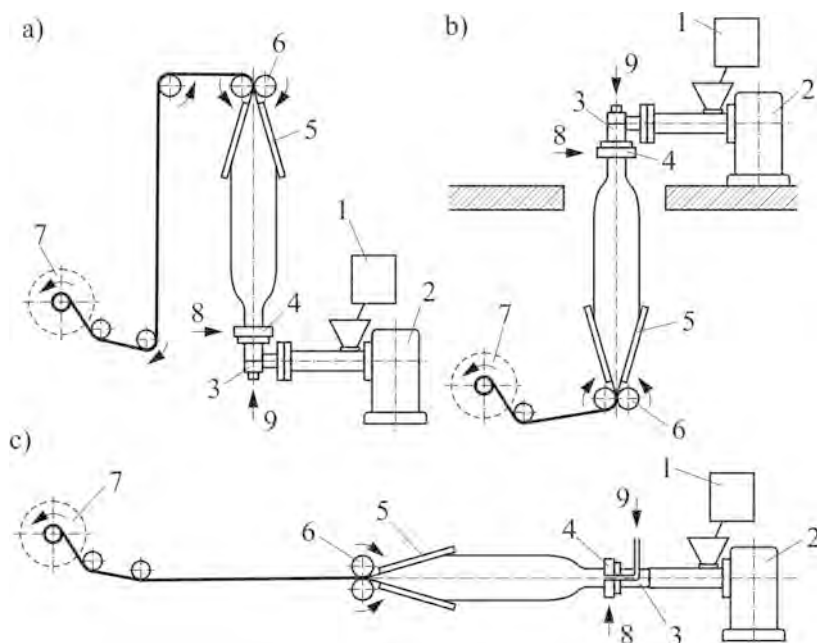
Podczas wytłaczania kabli optotelekomunikacyjnych, przed nałożeniem na kabel powłoki z tworzywa następuje nawinięcie na ośrodek kabla wzmocnienia z włókien amidowych, następnie na tak przygotowany ośrodek zostaje wytłoczona powłoka.

Wytłaczanie z rodmuchiwaniami. Proces wytłaczania z rodmuchiwaniami może przebiegać przy nieograniczeniu mechanicznym procesu rodmuchiwania i wówczas nazywa się umownie **wytłaczaniem z rodmuchiwaniami swobodnym**. Proces ten polega na wytłoczeniu folii rurowej i natychmiastowym jej rodmuchaniu za pomocą powietrza o nieznacznym ciśnieniu i wyciągnięciu za pomocą urządzenia odbierającego. W czasie rodmuchiwania zachodzi przede wszystkim rozciąganie w kierunku poprzecznym, natomiast podczas wyciągania następuje rozciąganie w kierunku wzdłużnym. Aby lepiej sterować procesem rozciągania poprzecznego i wzdłużnego, folia rurowa jest ochładzana bezpośrednio za dyszą głowicy w strumieniu powietrza z urządzenia nadmuchującego.

Wyróżnia się trzy odmiany metody wytłaczania z rozdmuchiwanym swobodnym: pionowo w górę, pionowo w dół oraz poziomo (rys. 15). W każdym z tych przypadków linia technologiczna wytłaczania z rozdmuchiwanym swobodnym składa się z wytłaczarki z głowicą z dyszą szczelinową pierścieniową, urządzenia nadmuchiującego, urządzenia spłaszczającego folię rurową, urządzenia odbierającego i urządzenia nawijającego. Najczęściej spotyka się wytłaczanie z rozdmuchiwanym swobodnym pionowo w górę. W metodzie tej można dokładnie kontrolować proces rozciągania poprzecznego i wzdłużnego. Wytłaczana folia rurowa jest ochładzana bezpośrednio za dyszą głowicy poprzecznej w strumieniu powietrza nadmuchiwanego ze szczelin pierścieni chłodzących przymocowanych do głowicy i do konstrukcji nośnej. Do pierścieni tych doprowadza się powietrze z dmuchawy lub sprężarki. Powietrze rozdmuchujące wprowadza się do wnętrza folii rurowej poprzez otwór kołowy wykonany w rdzeniu dyszy głowicy. Po ochłodzeniu folia rurowa jest spłaszczana za pomocą dwóch płyt ślizgowych ustawionych względem siebie pod pewnym kątem i dwóch wałków obrotowych. Urządzenie odbierające stanowią natomiast dwa walce dociskane do siebie, za pomocą sprężyny, z których jeden jest napędzany za pomocą silnika elektrycznego z bezstopniową regulacją prędkości obrotowej. Na skutek siły tarcia występującej pomiędzy folią a wałkami następuje wyciąganie spłaszczonej folii rurowej. Następnie folia jest nawijana na wale urządzenia nawijającego.

W metodzie wytłaczania z rozdmuchiwanym swobodnym pionowo w dół, wytłaczarka jest ustawiona powyżej urządzenia odbierającego. W przeciwieństwie do poprzedniej metody, ciepłe powietrze pochodzące od głowicy wytłaczarskiej nie powoduje zakłóceń w ochładzaniu folii rurowej. Zakłócenia mogą być natomiast spowodowane ruchami zimnego powietrza w pomieszczeniu, w którym odbywa się proces. Wadą tej metody jest możliwość deformowania się folii oraz niekontrolowane wyciąganie z dyszy głowicy pod wpływem własnego ciężaru. W praktyce wpływ ciężaru folii rurowej jest łagodzony przez podtrzymujące działanie wałków urządzenia spłaszczającego i odbierającego.

Poziome wytłaczanie z rozdmuchiwanym folii prowadzi się przy użyciu głowicy wzdłużnej. Do zalet poziomego wytłaczania folii rurowej można zaliczyć łatwy dostęp do wszystkich urządzeń linii technologicznej. Wadą jest zwisanie folii rurowej pod własnym ciężarem, szczególnie przy większych średnicach. Powoduje to nierównomierne rozciąganie folii, która może nawijać się na wale urządzenia nawijającego nierówno, tworząc załamania. Dlatego metoda ta jest wykorzystywana przede wszystkim przy wytwarzaniu folii rurowej o niewielkiej średnicy.



Rys. 15. Podstawowe możliwości wytłaczania z rozdmuchiwaniami swobodnym: a) pionowo w górę, b) pionowo w dół, c) poziomo; 1 – zbiornik tworzywa, 2 – wytłaczarka, 3 – głowica wytłaczarska, 4 – pierścień nadmuchiujący chłodzący, 5 – urządzenie spłaszczające, 6 – urządzenie odbierające, 7 – urządzenie nawijające, 8 – dopływ powietrza chłodzącego, 9 – dopływ powietrza rozdmuchującego [2]

Proces wytłaczania z rozdmuchiwaniami swobodnym jest charakteryzowany stopniem rozciągania w kierunku poprzecznym R_p , równym stopniowi rozdmuchania i stopniem rozciągania folii w kierunku wzdłużnym R_w .

Stopień rozciągania w kierunku poprzecznym R_p , określa się, jako stosunek średnicy D folii rurowej do średnicy d otworu wylotowego dyszy, przy pominięciu grubości folii, ze względu na jej małą wartość w stosunku do wymienionych wielkości, zgodnie ze wzorem;

$$R_p = \frac{D}{d} = \frac{2B}{\pi d} \quad (6)$$

gdzie: B - szerokość spłaszczonej folii rurowej.

Stopień rozciągania folii w kierunku wzdłużnym R_w określa się, jako stosunek prędkości v_1 odbierania folii do prędkości v_0 , z jaką wytłoczyna opuszcza dyszę głowicy wytłaczarskiej;

$$R_w = \frac{v_1}{v_0} \quad (7)$$

Objętościowe natężenie przepływu wytłoczyny W podczas opuszczania przez nią dyszy o szerokości szczeliny pierścieniowej otworu wylotowego g_0 wynosi;

$$W = v_0 \pi d g_0 \quad (8)$$

a przy odbieraniu folii o grubości g_1

$$W = v_1 \pi D g_1 \quad (9)$$

Wykorzystując powyższe wzory oraz wykonując stosowne działania, otrzymuje się zależność określającą stopień rozciągania w kierunku wzdłużnym

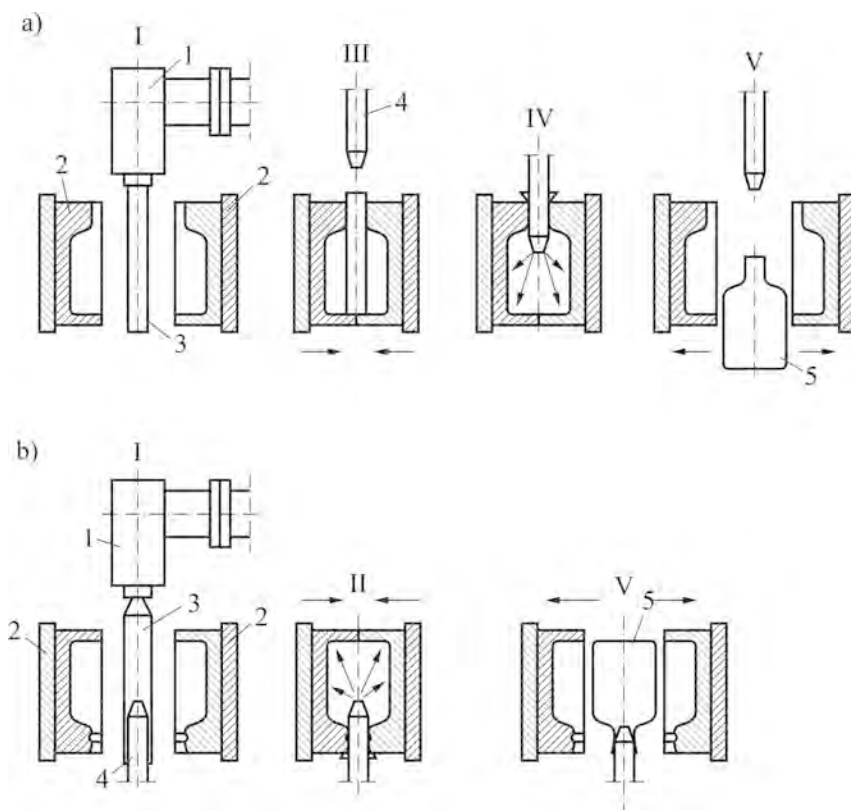
$$R_w = \frac{g_0 d}{g_1 D} = \frac{g_0}{g_1 R_p} \quad (10)$$

Przy wytwarzaniu folii rurowej istotne znaczenie ma utrzymanie odpowiedniej tolerancji grubości i równomierność rozprowadzenia lokalnych zmarszczeń i fałd występujących wzdłuż folii rurowej, ponieważ mogą się one sumować podczas nawijania na wale urządzenia nawijającego i tym samym pogarszać jej jakość. W celu wyeliminowania tego niekorzystnego zjawiska stosuje się napęd obrotowo-zwrotny urządzenia nawijającego. Znanych jest kilka sposobów, za pomocą których realizuje się to rozwiązanie: obrót rdzenia głowicy wraz z pierścieniem chłodzącym, obrót lub oscylacja urządzenia odbierającego folię rurową, obrót lub oscylacja urządzenia nawijającego folię rurową lub też kombinacja przedstawionych sposobów.

Właściwości mechaniczne folii rurowej zależą przede wszystkim od: temperatury folii w chwili opuszczania dyszy głowicy wytaczarskiej, stopnia rozciągania w kierunku wzdłużnym, stopnia rozdmuchania i grubości folii. Grubość folii jest determinowana głównie masowym natężeniem przepływu tworzywa, średnicą wytłaczanej folii rurowej, ilością i ciśnieniem powietrza rozdmuchującego oraz prędkością odbierania folii.

Proces technologiczny wytłaczania z rozdmuchiwaniami może przebiegać przy ograniczeniu mechanicznym procesu rozdmuchiwania i w tym przypadku nazywa się nieswobodnym – w formie. W jego rezultacie otrzymuje się przede wszystkim pojemniki z tworzyw termoplastycznych np. zbiorniki paliwa, układu rozprowadzenia powietrza, pojemniki do napojów, środków spożywczych, kosmetyków, chemikaliów, leków.

Proces technologiczny **wytłaczania z rozdmuchiwaniami w formie** odbywa się przy użyciu stanowisk technologicznych, które tworzą: wytłaczarka z głowicą krzyżową, układ odcinająco-podający, układ formy rozdmuchowej oraz urządzenie do odbierania i ewentualnie orientowania pojemników. Wytłaczanie jest procesem ciągłym, natomiast następujące po nim procesy są cykliczne, zatem cały proces wytłaczania z rozdmuchiwaniami w formie jest cykliczny. Proces może być jednoetapowy, jak i dwuetapowy.



Rys. 16. Odmiany wytłaczania z rozdmuchiwanem w formie: a) od góry, b) od dołu; I – wprowadzenie węża tworzywa, II – zamknięcie formy, odcięcie węża i rozdmuchiwanie, III – zamknięcie formy i odcięcie węża, IV – wprowadzenie trzpienia rozdmuchującego i rozdmuchiwanie, V – otwarcie formy i wyjęcie pojemnika; 1 – głowica krzyżowa, 2 – podzespoły ruchome formy rozdmuchowej, 3 – wąż tworzywa, 4 – trzpień rozdmuchujący, 5 – pojemnik [3]

W tradycyjnym jednoetapowym procesie wytłaczania z rozdmuchiwanem w formie głowicę wytłaczarską opuszcza wąż tworzywa w stanie plastycznym, który jest wprowadzany do otwartego gniazda formy rozdmuchowej. Po wprowadzeniu węża do gniazda, forma jest zamykana, w obszarze szyjki i dna pojemnika jest on zgrzewany oraz odcinany, a po jej zamknięciu rozdmuchiwany do kształtu i wymiarów gniazda formującego, odpowiadających kształtowi i wymiarom pojemnika. Tworzywo zostaje w formie ochłodzone, po czym formę się otwiera a pojemnik usuwa z gniazda.

Podczas rozdmuchiwania węża zachodzi przede wszystkim rozciąganie w kierunku poprzecznym oraz w mniejszym stopniu, rozciąganie w kierunku wzdłużnym, głównie pod wpływem ciężaru własnego, tworzywa w gnieździe, przy czym orientacja molekularna jest zazwyczaj mała. W przypadku mniej-

szych pojemników trzpień rozdmuchujący wprowadzany jest do formy z góry, natomiast przy otrzymywaniu pojemników większych trzpień znajduje się na dole formy. W pierwszym przypadku, proces nazywa się wytłaczaniem z rozdmuchiowaniem od góry, natomiast w drugim – od dołu (rys. 16).

W celu zapewnienia jednakowej grubości ścianki pojemnika wytłaczany wąż powinien charakteryzować się różną grubością ścianki. Wąż musi mieć grubszą ściankę tam, gdzie następuje większe rozciąganie w kierunku poprzecznym. Dodatkowo, należy stosować ścianki o stosunkowo dużej grubości ze względu na małą orientację molekularną tworzywa i konieczności zapewnienia odpowiedniej jakości pojemnika. Wad tych nie ma dwuetapowy proces wytłaczania z rozdmuchiowaniem w formie, którego istota polega na:

- formowaniu wstępnym, podczas którego następuje wytłaczanie z rozdmuchiowaniem podobnie jak w odmianie tradycyjnej, jednak nie w celu otrzymania gotowego pojemnika tylko kształtki wstępnej zwanej prepojemnikiem, o mniejszych wymiarach i grubszej ściance,
- formowaniu zasadniczym, w którym po ustaleniu temperatury prepojemnika jest on rozdmuchiwany w gnieździe formy, z ewentualnym wzdłużnym rozciąganiem mechanicznym w celu otrzymania gotowego pojemnika.

Jednoetapowy, a w szczególności dwuetapowy proces wytłaczania z rozdmuchiowaniem w formie jest charakteryzowany stopniem rozciągania R_w w kierunku wzdłużnym, stopniem rozciągania R_p w kierunku poprzecznym oraz stopniem orientacji R_m molekularnej, określanymi wzorami

$$R_w = \frac{L_1}{L_0} \quad (11)$$

$$R_p = \frac{D_1}{D_0} \quad (12)$$

$$R_m = \frac{g_1}{g_0} \quad (13)$$

w których L , D oraz g oznaczają odpowiednio długość, średnicę oraz grubość ścianki prepojemnika (indeks 0) i pojemnika (indeks 1).

Do zalet dwuetapowego procesu wytłaczania z rozdmuchiowaniem w formie w porównaniu do jednoetapowego procesu należy zaliczyć zmniejszenie masy porównywalnego pojemnika o 15 do 25%, zwiększenie odporności na uderzenie pojemnika o prawie 100%, zwiększenie odporności na podciśnienie o około 20%, zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej i polepszenie właściwości barierowych.

Wytłaczanie z granulowaniem. Procesy technologiczne wytłaczania z granulowaniem dzielą się na wytłaczanie z granulowaniem na ciepło (w stanie plastycznym) i na wytłaczanie z granulowaniem na zimno (w stanie stałym).

Tworzywa w postaci granulatu są stosowane powszechnie w wielu procesach przetwórstwa tworzyw, w których wykorzystuje się przede wszystkim jednoślismakowe układy uplastyczniające.

Wytłaczanie z granulowaniem na ciepło polega na wytłoczeniu wielu jednakowych prętów tworzywa o małej średnicy z natychmiastowym ich cięciem obrotowym nieswobodnym na krótkie odcinki (rys. 17). W ten sposób powstaje granulaty o długości porównywalnej ze średnicą, który ulega bezzwłocznemu ochładzaniu. Spotyka się także granulaty, charakteryzujące się stosunkiem długości do średnicy znacznie poniżej jedności, jak i nieco powyżej.

Cięcie wytłoczyny i ochładzanie granulatu może odbywać się w komorze tnącej głowicy granulacyjnej w strumieniu powietrza lub w wodzie, przy czym ciśnienie wody może być tak duże, że cięcie tworzywa następuje za pomocą strumienia wody i nie stosuje się wówczas ostrzy tnących.

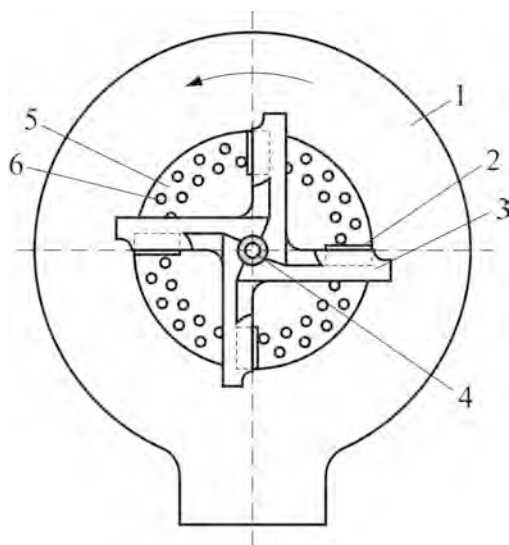
Cięcie i ochładzanie granulek w powietrzu wykorzystuje się do tworzyw o dużej przewodności cieplnej. Szybciej ulegają one zestaleniu i nie ma potrzeby ich intensywnego ochładzania, aby uniemożliwić powierzchniowe łączenie ze sobą nie do końca zestalonych granulek. Granulowanie w wodzie jest stosowane do tworzyw o mniejszej przewodności cieplnej – wolniej ulegają one zestaleniu i wymagają bardzo intensywnego ochładzania, co zapobiega powierzchniowemu łączeniu się ze sobą granulek.

Wytłaczanie z granulowaniem na zimno sprowadza się do wytłoczenia wielu jednakowych prętów tworzywa o małej średnicy, ochłodzenia w wannie poziomej napełnionej wodą lub ochłodzenia w strumieniu wody spływającej po prowadnicy nachylonej pod pewnym kątem do osi wytłaczarki i cięciu na granulki.

Takie rozwiązanie technologiczne ma jednak swoje wady: pogarsza nie tylko sprawność energetyczną procesu granulowania, ale także podwyższa inne koszty uzyskania granulatu, gdyż dodatkowo po zgranulowaniu jest konieczne oddzielenie wody od granulatu i jego suszenie.

Wybór odpowiedniego procesu granulowania zależy głównie od właściwości reologicznych i cieplnych polimeru, wydajności, zużycia energii elektrycznej, niezawodności procesu i kwestii zużycia poszczególnych elementów linii technologicznej, a także od przewidywanego zastosowania otrzymanego granulatu. Długość granulek może być regulowana poprzez bezstopniowo regulowaną prędkość obrotową wału silnika napędowego granulatora

Współwytłaczanie. Niekiedy wytłoczyna lita powinna składać się z dwóch lub więcej warstw różnych tworzyw różniących się właściwościami, strukturą i kolorem bądź z warstw tego samego tworzywa, ale różniących się np. tylko kolorem lub właściwościami albo strukturą. Takie wytłoczyny otrzymuje się w procesie nazywanym współwytłaczaniem.



Rys. 17. Schemat głowicy granulacyjnej stosowanej podczas granulowania na ciepło tworzyw termoplastycznych: 1 – obudowa pierścieniowa, 2 – nóż tnący, 3 – uchwyt noża, 4 – wał wirnika granulatora, 5 – filiera kołowa, 6 – dysza kołowa

Proces polega na uzyskaniu wytłoczyny wieloskładnikowej (wielotworzywowej) z jednoczesnym użyciem, co najmniej dwóch wytłaczarek i tylko jednej głowicy wytaczarskiej. Każde tworzywo w wytłoczynie spełnia określone funkcje np. w kształtownikach współwytłaczanych z PVC plastykowanego i nieplastykowanego, stosowanych w budownictwie, PVC nieplastykowany stanowi konstrukcję nośną, natomiast PVC plastykowany jest elementem przyługowym i uszczelniającym.

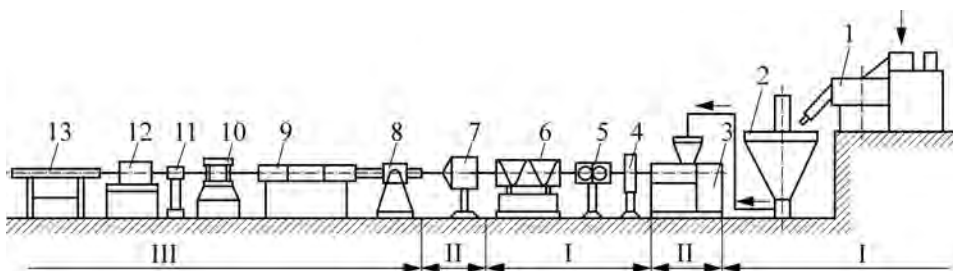
Współwytłaczanie stosuje się w procesie wytłaczania z rozdmuchiwaniami zarówno swobodnym (rys. 18), jak i w formie. W pierwszym przypadku otrzymuje się folie wielowarstwowe, natomiast w drugim pojemniki wielowarstwowe. Każda warstwa spełnia inne zadanie, na przykład, jedna ma przenosić obciążenia zewnętrzne, druga stanowi barierę np. dla dyfuzji tlenu, trzecia jest całkowicie obojętna względem materiału, z którym ma styczność a czwarta ma za zadanie pogrubić ściankę. Warstw może być do dziewięciu. Za pomocą współwytłaczania można również powlekać głównie kable, rury i taśmy.

Proces wytłaczania jest realizowany w liniach (rys. 19) technologicznych wytłaczania. W ich skład, obok wytłaczarki z głowicą, wchodzi urządzenia uzupełniające, które zapewniają poprawny przebieg procesu wytłaczania i osiąganie jego dużej efektywności. Jeżeli urządzenie uzupełniające oddziałuje na tworzywo przed wprowadzeniem go do układu uplastyczniającego lub współdziała z układem albo z głowicą wytłaczarską w czasie wypełniania tworzywem gniazda formującego to nazywa się je urządzeniem uzupełniającym przygotowawczym. Natomiast, jeśli urządzenie oddziałuje na wytłoczynę lub współdziała

z głowicą wytłaczarską w czasie opuszczania gniazda formującego głowicy wytłaczarskiej to nosi nazwę urządzenia uzupełniającego zakończeniowego.

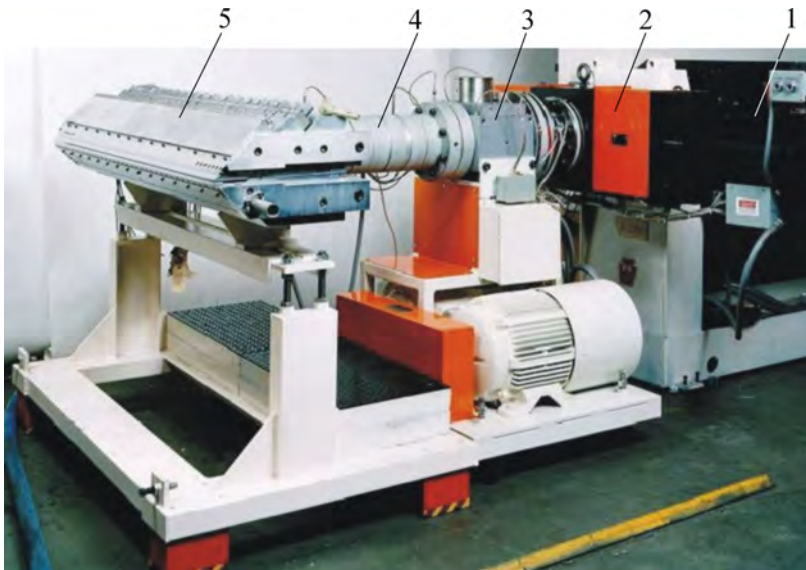


Rys. 18. Wygląd stanowiska technologicznego do współwytłaczania z rozdmuchiwanym swobodnym folii siedmiowarstwowej (Davis-Standard LLC, USA)



Rys. 19. Schemat linii technologicznej wytłaczania kształtowników: I – urządzenia uzupełniające przygotowawcze, II – proces przetwórczy, III – urządzenia uzupełniające zakończeniowe; 1 – mieszarka, 2 – zbiornik tworzywa, 3 – wytłaczarka, 4 – urządzenie filtrujące, 5 – pompa zębata, 6 – mieszadło statyczne, 7 – głowica wytłaczarska, 8 – kalibrator, 9 – urządzenie chłodzące, 10 – urządzenie odbierające, 11 – drukarka, 12 – przecinarka, 13 – układarka

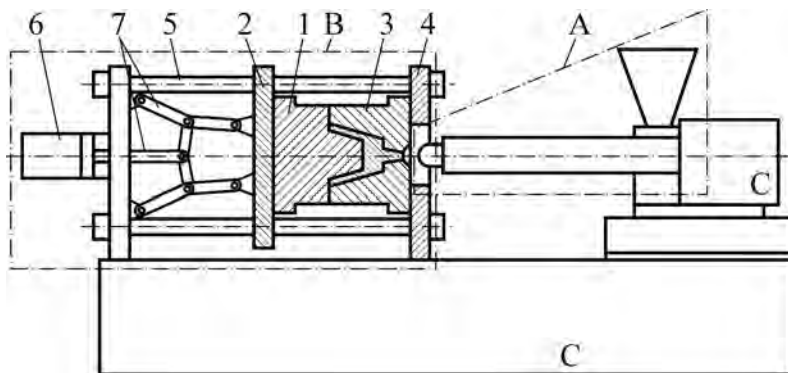
Przykładem urządzeń uzupełniających przygotowawczych w linii technologicznej wytłaczania są urządzenia suszące, mieszające oraz dozujące tworzywo, a także filtry tworzywa, pompy zębate i mieszadła statyczne (rys. 20), zaś przykładem urządzeń uzupełniających zakończeniowych są urządzenia chłodzące, kalibrujące, odbierające, zwijające, drukujące, przecinające itp.



Rys. 20. Fragment linii technologicznej wytłaczania płyt z pompą zębatą: 1 – układ uplastyczniający, 2 – filtr tworzywa, 3 – pompa zębata, 4 – mieszadło statyczne, 5 – głowica wytłaczarska prosta do płyt (Dynisco Extrusion, USA)

3. Wtryskiwanie tworzyw

Wtryskiwanie jest jedną z dominujących metod przetwórstwa i polega na cyklicznym uplastycznianiu tworzywa w układzie uplastyczniającym, a następnie stapianiu tworzywa w tym układzie i wyciskaniu do zamkniętego gniazda formującego formy wtryskowej, następnie na zestalaniu lub utwardzeniu tworzywa i wyjęciu przedmiotu nazywanego wypraską wtryskową. Proces wtryskiwania odbywa się za pomocą wtryskarek i z użyciem narzędzia jakim jest forma wtryskowa mająca gniazdo lub gniazda formujące [3, 6]. W zależności od budowy układu uplastyczniającego, wtryskarki mogą być tłokowe – stosowane obecnie tylko w niektórych przypadkach oraz ślimakowe – stosowane powszechnie. Każda wtryskarka składa się z **trzech** układów: układu uplastyczniającego, napędowego i narzędziowego (rys. 21).



Rys. 21. Schemat konwencjonalnej wtryskarki; A – układ uplastyczniający, B – układ narzędziowy, C – układ napędowy: 1 – zespół ruchomy formy, 2 – stół ruchomy, 3 – zespół nieruchomy formy, 4 – stół nieruchomy, 5 - prowadnice, 6 – siłownik hydrauliczny, 7 – układ dźwigniowy zespołu zamykająco-otwierającego [3]

Ważną cechą procesu wtryskiwania jest jego **cykliczność**. Cykl procesu wtryskiwania składa się z sześciu podstawowych faz:

- a) **zamykanie** formy wtryskowej – poprzez ruch zespołu formy zamocowanego do ruchomego stołu wtryskarki w kierunku zespołu formy mocowanego do nieruchomego stołu wtryskarki,
- b) **wtrysk** – dosuwanie układu uplastyczniającego do formy wtryskowej, tak aby dysza wtryskowa zetknęła się z tuleją wtryskową formy, następnie dosuwanie za pomocą układu hydraulicznego ślimaka powodujące wyciśnięcie ciekłego tworzywa z układu uplastyczniającego do zamkniętej formy,

- c) **docisk** – uzupełnienie tworzywa w gnieździe formy, poprzez nieduże dosunięcie ślimaka, w celu wyrównania zmniejszenia się objętości tworzywa w wyniku skurczu pierwotnego podczas jego zestalania lub utwardzania,
- d) **uplastycznianie** – ślimak wprawiony zostaje w ruch obrotowy, co powoduje pobieranie tworzywa z zasobnika i wprowadzanie do układu uplastyczniającego, w układzie tworzywo jest nagrzewane, mieszane, sprężane i transportowane w kierunku dyszy wtryskowej; ciśnienie tworzywa w układzie przesuwająco obracający się ślimak w kierunku zasobnika w położenie, które jest wyjściowe.
- e) **otwieranie** – zmniejszenie siły zamykającej formę wtryskową, otwieranie formy i wypychanie wypraski wtryskowej z gniazda,
- f) **przerwa** – zabiegi przy otwartej formie np. zakładanie rdzeni, zaprasek, etykiet, powlekanie powierzchni gniazda środkiem przeciwpriprzyczepnym, czyszczenie formy.

Czas cyklu procesu wtryskiwania zależy od czasu trwania poszczególnych jego faz. Dąży się do tego, aby czas ten był jak najkrótszy, z tego względu wiele rozwiązań konstrukcyjnych wtryskarek umożliwia łączenie niektórych ruchów elementów poszczególnych układów wtryskarki lub wręcz eliminację innych np. może jednocześnie występować zamykanie formy i dosuwanie układu uplastyczniającego lub nie występuje dosuwanie i odsuwanie układu uplastyczniającego.

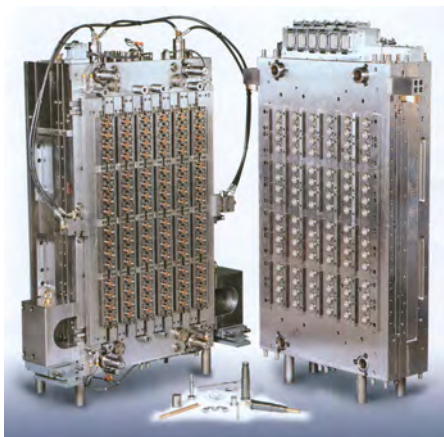
Układ narzędziowy wtryskarki składa się z **zespołu narzędzia** obejmującego formę wtryskową i oba stoły wtryskarki oraz z **zespołu zamykająco-otwierającego** obejmującego prowadnicę, dźwignię, siłowniki hydrauliczne i płytę oporową.

Forma wtryskowa składa się z dwóch podzespołów: podzespołu mocowanego do ruchomego stołu wtryskarki, zwanego podzespołem ruchomym, i podzespołu mocowanego do nieruchomego stołu wtryskarki zwanego podzespołem nieruchomym. Podzespół ruchomy wykonuje ruch postępowo-zwrotny wymuszony przez prowadnicę, który jest ruchem głównym formy. Części formy mogą wykonywać także ruchy pomocnicze np. wkręcanie lub wykręcanie gwintowanych rdzeni. Podzespoły formy tworzą następujące części: gniazdo lub gniazda formujące, układ przepływowy, układ chłodzenia lub grzania, układ uwalniania i wypychania wypraski a także wlewka, obudowa i elementy ustalające oraz prowadzące. Formę z jednym gniazdem nazywa się jednogniazdową, a formę z wieloma gniazdami – formą wielogniazdową (multigniazdową). Na rysunku 22 pokazano przykładową standardową formę wtryskową multigniazdową o liczbie gniazd równej 96.

Układ przepływowy formy wtryskowej ma następujące kanały wtryskowe:

- kanał centralny (wlewowy), stożkowy, współosiowy z dyszą wtryskarki,
- kanał doprowadzający, łączący kanał centralny z gniazdem formującym formy przez przewężkę,

- przewężkę, bezpośrednio łączący kanał doprowadzający z gniazdem, stanowiący zwężone ujęcie kanału doprowadzającego do gniazda.



Rys. 22. Wygląd formy wtryskowej multigniazdowej z układem przepływowym mającym kanały gorące, przeznaczonej do wytwarzania nakrętek (Plastisud)

Tworzywo zestalone w kanałach wtryskowych jest odpadem technologicznym, który można jednak całkowicie wyeliminować poprzez niedopuszczenie do zestalenia lub utwardzenia tworzywa w kanałach. Osiąga się to w przypadku tworzyw termoplastycznych dzięki izolowaniu kanałów lub ich ogrzewaniu. Sposób pierwszy polega na powiększeniu przekroju poprzecznego kanałów do tego stopnia, że tworzywo w środku kanałów pozostaje stale ciekłe, co osiąga się wskutek złej przewodności cieplnej tworzyw. Natomiast sposób drugi polega na ogrzaniu kanałów w taki sposób, aby zapewnić temperaturę potrzebną do utrzymania tworzywa w stanie ciekłym. Obecnie prawie wyłącznie stosuje się sposób drugi, a formy z tak rozwiązanymi kanałami nazywa się formami z kanałami grzаныmi (czasami: formy z gorącymi kanałami). Są one dość złożone i drogie.

Ciśnienie panujące na czole ślimaka nazywa się **ciśnieniem** p_w **wtryskiwania**, a określa się je znając średnicę D ślimaka, średnicę d zewnętrzną tłoka hydraulicznego, ciśnienie p_h w układzie hydraulicznym oraz siłę F tarcia podczas dosuwania ślimaka

$$p_w \frac{\pi D^2}{4} + F = p_h \frac{\pi d^2}{4} \quad (14)$$

skąd

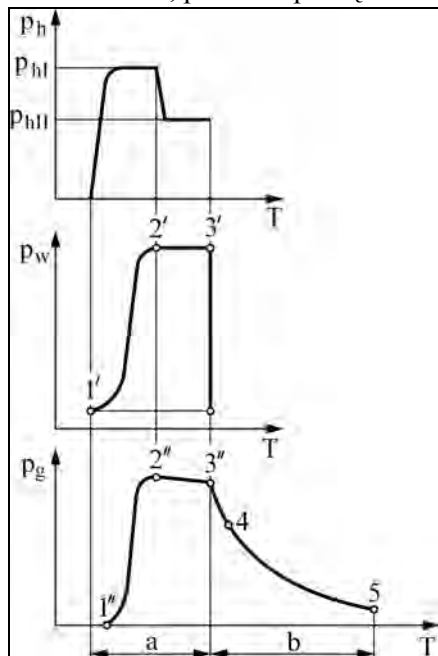
$$p_w = p_h \left(\frac{d}{D} \right)^2 - \frac{4 F}{\pi D^2} \quad (15)$$

W równaniu (15) wartość spadku ciśnienia ($4F/\pi D^2$) wywołanego tarcielem wynosi około 5MPa, natomiast wartość p_w jest zazwyczaj rzędu od 60 do 200 MPa, ale może być niższa lub wyższa.

Ciśnienie p_g panujące w gnieździe formy jest wytworzone na skutek ciśnienia p_w wtryskiwania, zmniejszonego o spadek ciśnienia Δp_c w cylindrze, w dyszy wtryskowej Δp_d i w kanałach wtryskowych Δp_k

$$p_g = p_w - \Delta p_c - \Delta p_d - \Delta p_k \quad (16)$$

Na rysunku 23 przedstawiono zależność ciśnienia hydraulicznego, ciśnienia wtryskiwania oraz ciśnienia w gnieździe formującym w zależności od czasu. Na czole ślimaka, przed rozpoczęciem dosuwania ślimaka, istnieje pewne ciśnienie,



Rys. 23. Przebieg ciśnienia hydraulicznego, ciśnienia wtryskiwania i ciśnienia w gnieździe w zależności od czasu; oznaczenia w tekście [3]

nazywane **ciśnieniem dozowania**, wytworzone wskutek ruchu obrotowego ślimaka (1'). Podczas dosuwania ślimaka ciśnienie na jego czole szybko wzrasta, podobnie jak ciśnienie w gnieździe (1'') z przesunięciem o czas przepływu tworzywa od czoła do gniazda, osiągając wartość największą (2') i (2'') po zakończeniu wypełniania gniazda. Ciśnienie hydrauliczne początkowo szybko wzrasta, ale w okolicach punktów (2') i (2'') zostaje przełączone na niższe, utrzymując się przez cały czas fazy docisku. Odpowiadające temu ciśnienie wtryskiwania nazywa się ciśnieniem docisku, utrzymuje się ono prawie stałe (3'), w tym czasie ciśnienie w gnieździe nieco spada (3''). Podczas odsuwania ślimaka ciśnienie wtryskiwania spada gwałtownie, a ciśnienie w gnieździe zmniejsza się szybko, gdyż obok skurczu pierwotnego następuje nieznaczny ruch powrotny jeszcze nie do końca zestalonego lub utwardzonego tworzywa.

W punkcie (4) zachodzi zestalenie lub utwardzenie tworzywa w przewężce, ciśnienie w gnieździe spada dalej, lecz już łagodniej. W punkcie (5) wypraska wtryskowa zostaje wypchnięta z gniazda, następuje to przy pewnym ciśnieniu, nazywanym ciśnieniem szczątkowym, którego wartość ma wpływ na rodzaj

i wartość naprężeń własnych w wyprase, jak również na różnego rodzaju błędy i anomalie wyprasek.

Spśród wielu warunków wtryskiwania istotne znaczenie, ze względu na jakość wyprasek, wydajność procesu i jego energochłonność, mają:

- temperatura poszczególnych stref grzejnych układu uplastyczniającego i dyszy wtryskowej oraz formy,
- ciśnienie wtryskiwania, ciśnienie docisku,
- siła zamykania formy,
- prędkość ruchu obrotowego ślimaka,
- skok ślimaka
- czas cyklu procesu wtryskiwania, czas poszczególnych faz, czas ochładzania wypraski w formie,
- prędkość wtryskiwania.

Ze względu na masowy charakter wytwarzania przedmiotów z tworzyw metodą wtryskiwania, często o skomplikowanych kształtach i określonych właściwościach mechanicznych, cieplnych, elektrycznych i innych, w tym barierowych, które można zmieniać głównie przez wybór tworzywa, wprowadzenie napelnaczy i środków pomocniczych, odpowiednie przygotowanie tworzywa, ustalenie najlepszych warunków wtryskiwania rozróżnia się **wiele metod** wtryskiwania. Metody te obejmują również wtryskiwanie kompozytów i mieszanin polimerowych, proszków metali i ceramicznych zawierających spoiwo polimerowe. Rozróżnia się więc wtryskiwanie wieloskładnikowe otwarte i zamknięte, wtryskiwanie mikrowarstwowe, dekoracyjne, otryskiwanie, wtryskiwanie wspomagane wodą lub gazem, wtryskiwanie z rozdmuchiwaniami, porujące, mikroporujące, reaktywne, tworzyw utwardzalnych, pulsacyjne, drganiowe, niskociśnieniowe, sekwencyjne, kaskadowe, zespolone i wiele innych [6].

Stanowisko technologiczne, z wykorzystaniem którego odbywa się proces wtryskiwania zazwyczaj składa się ze zbiornika tworzywa, urządzenia mieszającego, dozującego, suszącego, wtryskarki, urządzenia oddzielającego wypraski od odpadów wtryskowych i urządzenia odbierającego wypraski. Coraz częściej wypraski są odbierane i układane obok wtryskarki za pomocą robotów, a cały proces jest zautomatyzowany, co obok dużej wydajności tego procesu skutkuje wytwarzaniem wyprasek po bardzo niskich kosztach.

Literatura:

1. Sikora R.: Podstawy przetwórstwa tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1992.
2. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
3. White J.L., Potente H.: Screw Extrusion. Carl Hanser Verlag, Munich 2003.
4. Sikora J.W.: Selected Problems of Polymer Extrusion. Wydawnictwo Naukowe WNGB, Lublin 2008.
5. Michaeli W.: Extrusion Dies for Plastics and Rubber. Hanser Publishers, Munich 1992.
6. Bociąga E.: Specjalne metody wtryskiwania tworzyw polimerowych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.

Rozdział II

Część laboratoryjna

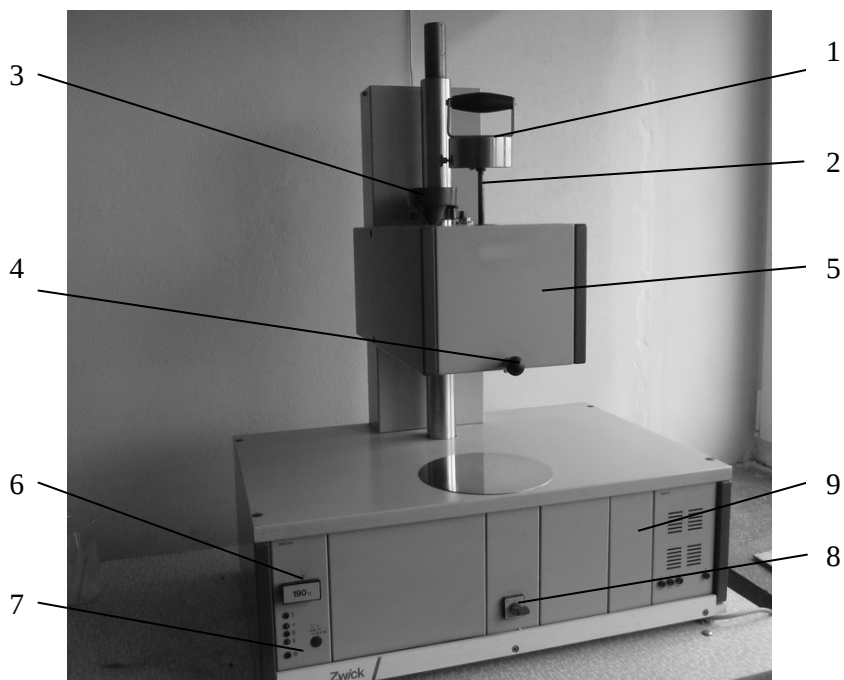
1. Wskaźnik szybkości płynięcia

1.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie przetwarzalności tworzyw termoplastycznych za pomocą wskaźnika przetwarzalności jakim jest wskaźnik szybkości płynięcia, jak również poznanie budowy i zasady działania plastometru obciążnikowego oraz wyznaczenie masowego wskaźnika szybkości płynięcia (MFR) wybranych tworzyw termoplastycznych.

1.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko do badań wskaźnika szybkości płynięcia stanowi plastometr obciążnikowy Zwick typ 4105.100 wraz z wyposażeniem dodatkowym oraz waga analityczna typ PRL TA14.



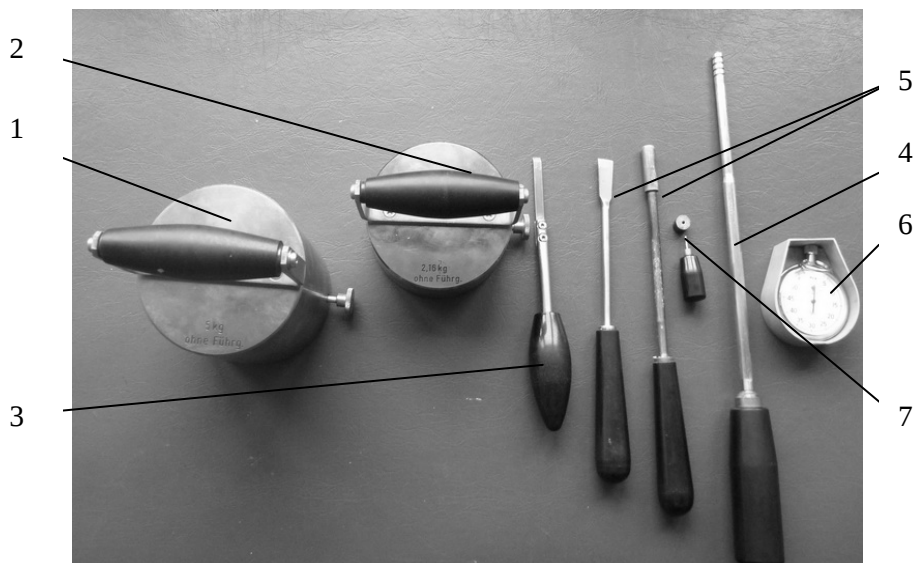
Rys. 1.1. Plastometr obciążnikowy firmy Zwick: 1 - obciążnik nominalny, 2 - tłoczysko z tłokiem, 3 - lejek zasypowy, 4 - przesłona dyszy, 5 - obudowa cylindra, 6 - wymienny moduł zadanej temperatury, 7 - układ regulacji temperatury, 8 - wyłącznik główny, 9 - obudowa plastometru

Plastometr, pokazany na rysunku 1.1, składa się z ustawionego pionowo stalowego cylindra, o długości 180 mm, osłoniętego obudową cylindra (5), w której umieszczono przesłonę dyszy (4). W obudowie (9) plastometru zainstalowany jest układ regulacji temperatury wraz z gniazdem modułu zadanej tem-

peratury (6) oraz wyłącznik główny (8) plastometru obciążnikowego. Cylinder wykonany jest ze stali odpornej na korozję i ścieranie w temperaturze działania plastometru, wynoszącej od 120 do 450°C. W cylindrze znajduje się otwór przełotowy, walcowy wykonany w jego osi. Pole przekroju poprzecznego otworu, na końcu cylindra, może być zmniejszone przez ruchomą przesłonę dyszy. Umożliwia to zamontowanie wymiennego elementu walcowego, w którym wykonany jest kanał przepływowy - dysza plastometru.

W skład plastometru wchodzi też wyjmowane tłoczysko (2) o długości 168 mm, mające na swojej walcowej powierzchni zewnętrznej wykonane dwa pierścieniowe oznaczenia pomiarowe (dolne i górne). Oznaczenia te określają zakres przeprowadzania pomiarów podczas wykonywania badań. Na końcu tłoczyska znajduje się tłok o średnicy 9,50 i długości 6,35 mm.

Pokazany na rys. 1.2, element walcowy (7), ma dyszę o średnicy wynoszącej 2,10 mm i długości 8,00 mm. Wkładanie elementu walcowego do cylindra odbywa się od góry cylindra, przy wykorzystaniu ubijaka (4).



Rys. 1.2. Wygląd obciążników nominalnych plastometru obciążnikowego i wyposażenia dodatkowego: 1 - obciążnik nominalny 5 kg, 2 - obciążnik nominalny 2,16 kg, 3 - obcinacz próbek, 4 - ubijak, 5 - przyrządy czyszczące, 6 - czasomierz, 7 - element walcowy z dyszą

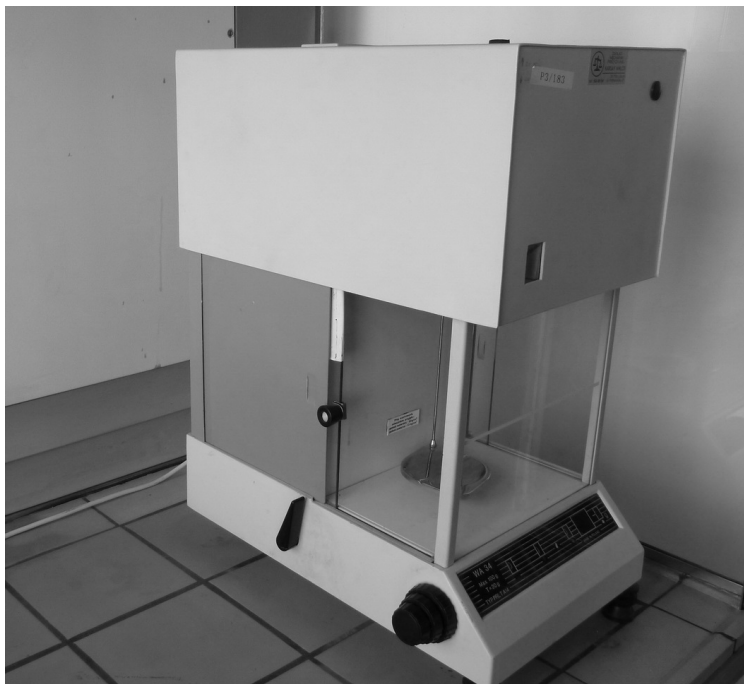
Obciążniki nominalne (1 lub 2) zakładane na tłoczysko plastometru mają wagę 2,16 lub 5 kg i są stosowane w zależności od rodzaju badanego tworzywa.

Do wyposażenia dodatkowego plastometru zalicza się też obcinacz próbki (3), przyrządy czyszczące (5) i czasomierz, pokazane również na rysunku 1.2.

Postać próbek do wyznaczania wskaźnika szybkości płynięcia, jest dowolna np. proszek, granulát, aglomerat, recyklat, ścinki folii itp. Materiały w postaci

proszku należy uprzednio sprasować, aby podczas pomiaru otrzymać próbki tworzywa nie zawierające pęcherzyków powietrza.

Waga analityczna PRL TA14, pokazana na rys. 1.3. umożliwia pomiar masy próbek do 100 g z dokładnością $\pm 0,00001$ g.



Rys. 1.3. Wygląd wagi analitycznej PRL TA14

1.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

- 1) bezpośrednio
 - masa wytłoczonych odcinków tworzywa m , g,
- 2) pośrednio
 - średnia masa wytłoczonych odcinków tworzywa $\overline{m}$, g,
 - masowy wskaźnik szybkości płynięcia MFR , g/10 min.

Czynnikiem zmiennym jest rodzaj tworzywa:

- tworzywo przeznaczone do wytłaczania,
- tworzywo przeznaczone do wtryskiwania.

Czynnikami stałymi są:

- odstęp czasu odcinania wytłaczanych odcinków t , s, (30, 60, 120, 240 s) w zależności od rodzaju tworzywa,

- obciążenie nominalne m_{nom} , kg, w zależności od rodzaju tworzywa, (2.16, 5 kg),
- temperatura badania T , °C, w zależności od rodzaju tworzywa,
- elementy geometryczne plastometru obciążnikowego,
- elementy wyposażenia dodatkowego plastometru.

Czynniki zakłócające, mogące wpływać na wyniki badań, to głównie zmiany temperatury otoczenia oraz wilgotności tworzywa wejściowego. Ocenia się, że wpływ czynników zakłócających jest pomijalny.

1.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Prawidłowo przeprowadzone ćwiczenie należy wykonać w następującej kolejności:

1. Przygotować trzy naważki o masie $7 \div 8$ gramów każdego z dwóch rodzajów tworzyw, jedno przeznaczone do wytłaczania, drugie do wtryskiwania
2. Dobrać wstępnie warunki badań, (temperaturę badania, obciążenie nominalne, odstęp czasu odcinania) zgodnie z normą PN-EN ISO 1133:2006 w zależności od rodzaju badanego tworzywa oraz tabeli 1.1.
3. Plastometr nagrzać do temperatury badania i utrzymywać temperaturę w ciągu co najmniej 5 min przed przystąpieniem do pomiarów.
4. Do cylindra, poprzez lejek zasypowy plastometru, załadować tworzywo, w czasie ładowania należy próbki tworzywa zagęścić ubijakiem.
5. Założyć tłoczysko z tłokiem z odpowiednim obciążeniem nominalnym i tak utrzymywać nie krócej niż 4 minuty. Jest to czas potrzebny do uplastycznienia tworzywa.
6. Wytłoczyć nadmiar tworzywa, pod działaniem siły ciężkości tłoczyska z obciążeniem nominalnym, tak by dolna kreska pierścieniowa na tłoczysku w momencie rozpoczęcia pomiaru zrównywała się z górną krawędzią cylindra plastometru.
7. Rozpocząć odcinanie wytłoczonych odcinków tworzywa w określonym odstępzie czasu odcinania, tak by długość poszczególnych odcinków wynosiła od 10 do 20 mm, jeśli tak nie jest należy skorygować odstęp czasu odcinania lub wartość obciążenia nominalnego.
8. Odcinać wytłaczane odcinki tworzywa aż do chwili, kiedy górna kreska pierścieniowa na tłoczysku pokryje się z górną krawędzią cylindra.
9. Wycisnąć pozostałą część tworzywa z cylindra, wyjąć element walcowy z dyszą i oczyścić cylinder.
10. Wsypać do cylindra drugą naważkę pierwszego tworzywa i ponownie wykonać czynności zgodnie z punktami 4÷8.
11. Zasypać trzecią naważkę tworzywa, wykonać badania tak jak poprzednio.

12. Ponownie określić temperaturę badania i pozostałe warunki oznaczania dla drugiego rodzaju tworzywa badanego.
13. Postępując zgodnie z punktami 2 ÷ 10 wykonać badania dla drugiego rodzaju tworzywa.
14. Oczyszczyć plastometr obciążnikowy, odłączyć zasilanie.
15. Otrzymane odcinki pierwszego, a następnie drugiego tworzywa zważyć za pomocą wagi analitycznej z dokładnością do 0,001 g.
16. Dla każdego badania obliczyć średnią masę wytłoczonych odcinków tworzywa dla pierwszego i drugiego rodzaju tworzywa.
17. Obliczyć masowy wskaźnik szybkości płynięcia, zgodnie z zależnością 1.1.

W tabeli 1.1 pokazano wartości warunków badań masowego wskaźnika szybkości płynięcia, które należy dobrać w zależności od rodzaju badanego tworzywa.

Tabela 1.1. Warunki badań wskaźnika szybkości płynięcia wybranych tworzyw

Tworzywo termoplastyczne	Temperatura badania T, °C	Obciążenie nominalne m _{nom} , kg
PE	190	2,16
PE	190	5,00
PE	190	21,60
PP	230	2,16
PMMA	230	3,80
ABS	220	10,00
PC	300	1,20
PET	280	2,16

1.5. Wyniki

Wyniki badań należy zestawić w tabeli 1 sprawozdania. Obliczenia masowego wskaźnika szybkości płynięcia należy zamieścić przed tabelą 1. Interpretację graficzną wyników badań należy przedstawić w postaci wykresu blokowego zależności masowego wskaźnika szybkości płynięcia (MFR) od rodzaju tworzywa.

1.6. Sprawozdanie

Prawidłowo sporządzone sprawozdanie powinno zawierać: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, obliczenia masowego wskaźnika szybkości płynięcia (MFR), wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli, wykres zależności (MFR) od rodzaju stosowanego tworzywa oraz wnioski wynikające z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J.: Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2000.
2. Szlezyngier W.: Podstawy reologii polimerów. Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 1994.
3. Praca zbiorowa pod redakcją R. Sikory: Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
4. PN-EN ISO 1133:2006. Tworzywa sztuczne. Oznaczanie masowego wskaźnika szybkości płynięcia (MFR) i objętościowego wskaźnika szybkości płynięcia (MVR) tworzyw termoplastycznych.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wskaźnik szybkości płynięcia		Nr ćwiczenia 1	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

3. Obliczenia masowego wskaźnika szybkości płynięcia (MFR)

4. Wyniki ćwiczenia

Tabela 1. Wyniki

Lp.	Warunki ozna- czania <i>MFR</i>	Średnia masa odcinków, $\overline{m}$ g	Masowy wskaźnik szybkości płynięcia <i>MFR</i> , g/10 min	Średni masowy wskaźnik szybkości płynięcia $\frac{\overline{m}}{MFR}$ g/10 min
	Rodzaj tworzywa do wytłaczania:			
1	Temperatura:			
2	Obciążenie:			
3				
	Rodzaj tworzywa do wtryskiwania:			
4	Temperatura:			
5	Obciążenie:			
6				

5. Wykres

MFR
g/10 min

rodzaj tworzywa

6. Wnioski

Data Podpis

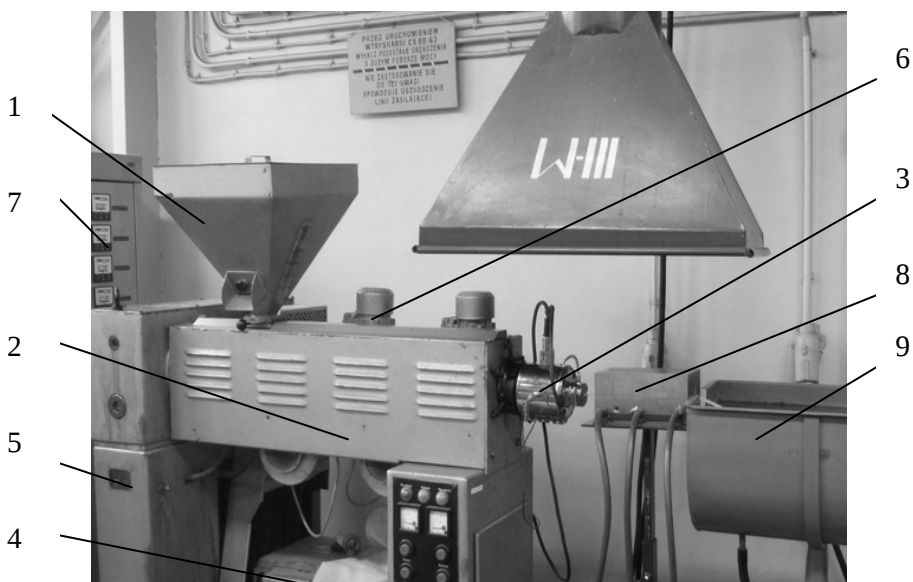
2. Wytłaczanie konwencjonalne

2.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie procesu wytłaczania konwencjonalnego, budowy wytłaczarki, głowicy wytłaczarskiej. Celem ćwiczenia jest również określenie masowego i objętościowego natężenia przepływu tworzywa oraz lepkości tworzywa w procesie wytłaczania konwencjonalnego.

2.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego wchodzi linia technologiczna wytłaczania konwencjonalnego oraz urządzenia pomocnicze (waga laboratoryjna, tachometr, czasomierz).



Rys. 2.1. Wygląd ogólny linii technologicznej wytłaczania konwencjonalnego: 1 - zasobnik tworzywa, 2 - układ uplastyczniający, wygląd obudowy, 3 - głowica wytłaczarska, 4 - silnik napędowy, 5 - obudowa przekładni redukcyjnych, 6 - wentylatory chłodzące, 7 - szafa sterownicza, 8 - urządzenie kalibrujące, 9 - urządzenie ochładzające

Linia technologiczna wytłaczania konwencjonalnego, pokazana na rysunku 2.1, składa się z:

- wytłaczarki T32-25,
- głowicy wzdłużnej do taśm,
- urządzenia kalibrującego,
- urządzenia ochładzającego,
- urządzenia odbierającego.

Linia technologiczna jest przeznaczona do wytłaczania tworzyw termoplastycznych, takich jak polietylen PE, polipropylen PP, polistyren PS, poli(chlorek winylu) PVC.

Głównym elementem linii technologicznej wytłaczania jest wytłaczarka jednoślindakowa T32-25, widoczna na rys. 2.1. Jest ona przeznaczona do wytłaczania tworzyw termoplastycznych w postaci granulatu. Układ uplastyczniający jednoślindakowy (2) oraz układ napędowy (4 i 5) wytłaczarki są w dużym stopniu zunifikowane i umieszczone na wspólnej podstawie.

Cylinder układu uplastyczniającego, o długości 916 mm i średnicy zewnętrznej 56 mm, wykonany jest ze stali narzędziowej i osadzony w obsadzie cylindra. Obsada cylindra posiada na obwodzie komorę, która stanowi wstępną strefę chłodzenia wodą lub powietrzem. Zapobiega to przedostawaniu się ciepła z cylindra do zasobnika tworzywa. W tylnej części cylindra jest wykonany otwór zasypowy, nad którym jest przymocowany zasobnik (1) tworzywa wejściowego o działaniu grawitacyjnym.

Na cylindrze zamontowano cztery grzejniki elektryczne, pierścieniowe oraz zestaw czterech wentylatorów chłodzących (6) poszczególne strefy grzejne układu uplastyczniającego. Grzejniki wytwarzają ciepło, które poprzez aluminiowe owiewniki ogrzewa cylinder i nagrzewa tworzywo. Temperatura cylindra i tworzywa przetwarzanego jest utrzymywana automatycznie przez układ termoregulacji. W każdej z czterech stref grzejnych jest umieszczony czujnik pomiaru temperatury cylindra połączony z odpowiednim termoregulatorem w szafie sterowniczej (7). Cylinder wraz z grzejnikami jest osłonięty obudową metalową (2).

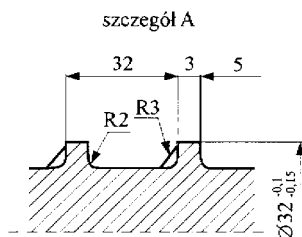
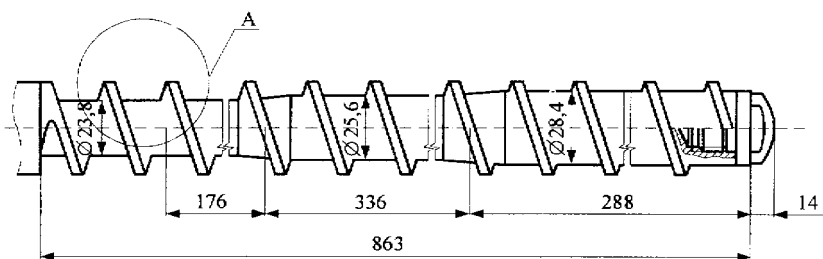
W cylindrze obraca się ślimak klasyczny, którego schemat pokazano na rys. 2.2, do przetwórstwa tworzyw termoplastycznych. Ślimak jest wykonany ze stali do azotowania 38 HMJ i polerowany do wysokiej gładkości, dobiera się go w zależności od rodzaju tworzywa przetwarzanego.

Głównym elementem układu napędowego jest silnik komutatorowy prądu przemiennego o mocy 5,5 kW, zasilany prądem elektrycznym o napięciu 380V. Silnik ma bezstopniową regulację prędkości obrotowej w zakresie od 0 do 33 s⁻¹. Napęd z silnika jest przenoszony na wał ślimaka przez przekładnię pasową i trójstopniową przekładnię zębatą o kołach walcowych i przełożeniu 1,25. Pierwsza para kół zębatych w przekładni jest wymienna, druga i trzecia para jest zamontowana na stałe. Można więc, dla tego samego silnika osiągnąć różne wartości momentu maksymalnego na ślimaku oraz inne zakresy prędkości ślimaka. Rozszerza się w ten sposób zakres stosowania wytłaczarki, oraz możliwości jej wykorzystania.

W tabeli 2.1 przedstawiono wybraną charakterystykę techniczną wytłaczarki jednoślindakowej T32-25, według danych producenta [1].

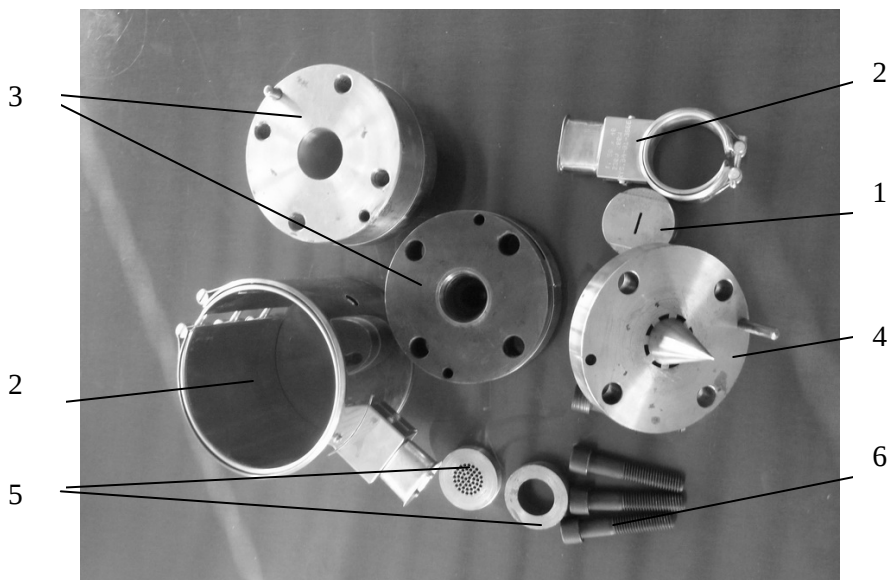
Tabela 2.1 Wybrane dane techniczne wylączarki T32-25

Lp.	Wielkość charakterystyczna	Jednostka	Wartość	Uwagi
1	Ślimak Średnica ślimaka Długość części roboczej Długość ślimaka całkowita Liczba obrotów ślimaka	mm mm mm s ⁻¹	32 800 1060 0,38÷1,9	L/D = 25 w zależności od przełożenia
2	Cylinder Chłodzenie stref grzejnych Liczba stref grzejnych Moc grzejników Czynnik chłodzący strefę zasypu	 kW l/min	 4 4 3	wentylatory regulator automatyczny woda
3	Napęd ślimaka Silnik prądu zmiennego Moc silnika wylączarki Liczba obrotów silnika Regulacja prędkości obrotowej silnika	kW s ⁻¹	5,5 0÷33	3-fazowy typ CLU-250/4- 3FN-25 bezpłynowa
4	Wydajność wylączarki	kg/h	3÷21	zależna od prędkości ślimaka i rodzaju tworzywa



Rys. 2.2. Schemat ślimaka klasycznego znajdującego się na wyposażeniu wylączarki T32-25

Na końcu cylindra układu uplastyczniającego wytłaczarki zamontowana jest głowica wzdłużna, przeznaczona do otrzymywania kształtowników w postaci taśm (rys. 2.3.).



Rys. 2.3. Wygląd elementów głowicy wytłaczarskiej do kształtowników: 1 - korpus dyszy, 2 - grzejniki pierścieniowe, 3 - części korpusu głowicy, 4 - rozdzielacz rdzeniowy, 5 - zespół filtra tworzywa, 6 - śruby montażowe

Korpus (3) głowicy wytłaczarskiej składa się z dwóch części, jedna z nich umożliwia podłączenie głowicy do układu uplastyczniającego wytłaczarki, zaś druga część korpusu pozwala na montaż korpusu dyszy (1) głowicy. Pomiedzy obu częściami korpusu głowicy jest zamontowany rozdzielacz rdzeniowy (4). Korpus dyszy głowicy wytłaczarskiej jest elementem wymiennym, co umożliwia wytłaczanie kształtowników o różnym kształcie i rozmiarach, zarówno symetrycznych jak i asymetrycznych.

Założony, dla przeprowadzenia ćwiczenia, korpus dyszy pozwala na wytłaczanie kształtownika w postaci taśmy. Dysza ma następujące wymiary: szerokość - 15,5 mm, wysokość - 2 mm. Głowica wytłaczarska (rys.2.4) ma dwie strefy grzejne i odpowiadające im dwa grzejniki pierścieniowe (3) zamocowane na korpusie głowicy i korpusie dyszy oraz dwa czujniki temperatury (termopary) zainstalowane w dwóch strefach grzejnych głowicy.

Upłastycznione tworzywo, przez zespół filtra (5) (rys.2.3) oraz kanały przepływowe głowicy wytłaczarskiej dostaje się do dyszy głowicy, która nadaje wstępnie kształt i wymiary otrzymywanej taśmy. Ostateczne utrwalenie nadanych wymiarów i kształtu wytłoczyny następuje w kalibratorze, znajdującym się w linii technologicznej za głowicą do kształtowników.

Optymalną metodą kalibrowania, ze względu na warunki procesu wytwarzania kształtowników jest kalibrowanie ciśnieniowe. Na rysunku 2.4 i 2.5 przedstawiono wygląd stosowanego kalibratora ciśnieniowego. Konstrukcja kalibratora ma budowę blokową, składającą się z dwóch prostopadłościanów, to jest części górnej i dolnej kalibratora (5).



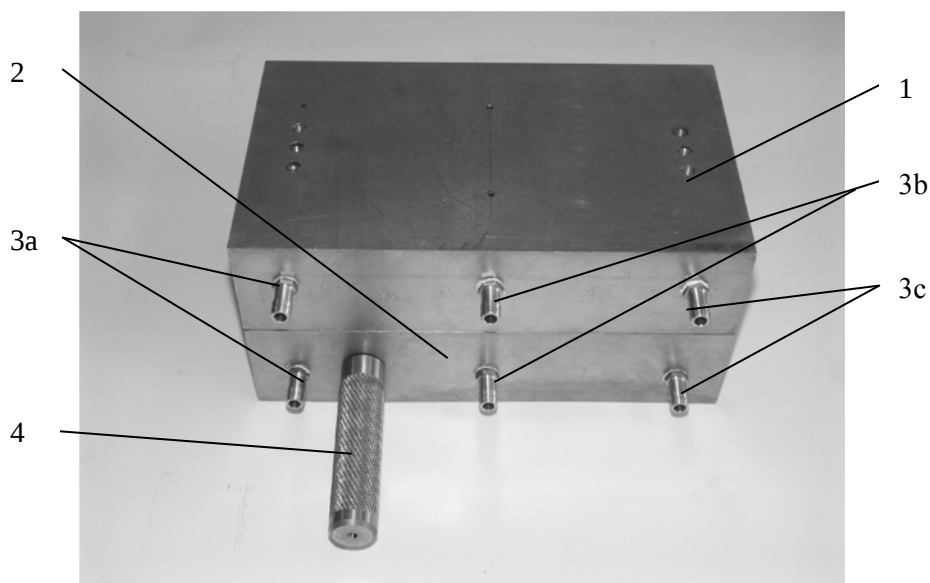
Rys. 2.4. Głowica wytłaczarska do kształtownika wraz z widoczną częścią dolną kalibratora: 1 - korpus głowicy wytłaczarskiej, 2 - korpus dyszy głowicy, 3 - grzejnik pierścieniowy, 4 - czujnik temperatury, 5 - kalibrator, część dolna, 6 - wkładka formująca dolna 7 - węże doprowadzające wodę ochładzającą

Obie części kalibratora mają wymienne wkładki formujące (6) przystosowane do kształtu wytwarzanego wytworu. Płaszczyzny podziałowe części dolnej i części górnej kalibratora, przylegają do siebie i po złożeniu obu części tworzą łącznie wzdłużny otwór przelotowy, o ściśle określonym kształcie i wymiarach przekroju poprzecznego, odpowiadających odnośnemu kształtowi i wymiarom przekroju poprzecznego wytłoczyny.

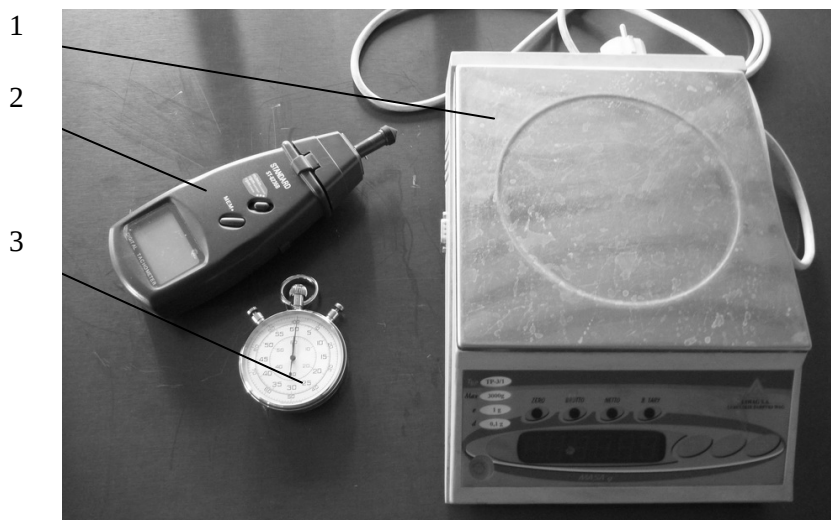
Zasada działania kalibratora ciśnieniowego polega na przeciąganiu powierzchni zewnętrznej wytwarzanego kształtownika po powierzchni roboczej wymiennych wkładek formujących kalibratora oraz jednoczesnego ochładzania powierzchni wkładek oraz całego kalibratora, za pomocą zimnej wody.

Woda jest doprowadzana do części górnej oraz części dolnej kalibratora za pomocą węży doprowadzających i wprowadzana do kalibratora przez króćce montażowe (3a, 3b), zaś odprowadzana z kalibratora przez króćce 3c.

Kształtownik w postaci taśmy po opuszczeniu kalibratora, jest ochładzany w standardowym urządzeniu ochładzającym - wannie z bieżącą wodą i odbierany przez urządzenie odbierające. Następnie podlega on oznakowaniu, przycięciu na odpowiedni wymiar.



Rys. 2.5. Kalibrator ciśnieniowy; wygląd po złożeniu części górnej i dolnej: 1 - część górna kalibratora, 2 - część dolna, 3 a, b, c - króćce montażowe układu przepływowego wody ochładzającej, 4 - uchwyt transportowy



Rys. 2.6. Wygląd urządzeń pomocniczych stosowanych podczas badań procesu wytłaczania konwencjonalnego: 1 - waga laboratoryjna TP-3/1-11, 2 - tachometr DT-6236B, 3 - czasomierz

W urządzeniu ochładzającym (wannie chłodzącej) zastosowano zanurzeniowy sposób chłodzenia wytłoczyny. Korpus urządzenia ochładzającego stanowi stalowa rama wykonana jako konstrukcja spawana. Wanna wyposażona jest

w system zamkniętego układu wodnego eliminujący konieczność poboru wody ze źródła zewnętrznego. Na końcu wanny chłodzącej zamontowana jest przegroda usuwającą nadmiar wody. Wymiary wanny są następujące: długość - 1500 mm, szerokość - 350 mm, głębokość - 330 mm, wysokość - 1100 mm.

Do pomiarów prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki służy tachometr o symbolu DT-6236B. Jest to urządzenie przenośne, o działaniu stykowym, pokazane na rys. 2.6, mające wyświetlacz ciekłokrystaliczny, umożliwiający bezpośredni odczyt mierzonej prędkości obrotowej. Czasomierz, widoczny na rysunku 2.6 służy do pomiaru czasu wytłaczania odcinka pomiarowego wytłoczyny, zaś do pomiaru masy próbek należy zastosować wagę laboratoryjną typ.TP-3/1-1. Waga ta, produkcji "Fawag" S.A., Lubelska Fabryka Wag, umożliwia pomiar masy do 3000g z dokładnością $\pm 0,1$ g

2.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1) bezpośrednio:

- temperaturę wytłoczyny opuszczającej dyszę głowicy wytłaczarskiej $t_w, ^\circ\text{C}$,
- masę próbki pomiarowej wytłoczyny m_w , kg,
- czas wytłaczania próbki pomiarowej wytłoczyny T_w , s.

2) pośrednio:

- gęstość tworzywa w temperaturze przetwórstwa, ρ , kg/m^3 ,
- masowe natężenie przepływu tworzywa $\dot{G}$, kg/s ,
- objętościowe natężenie przepływu tworzywa $\dot{W}$, m^3/s ,
- wielkości stałe zależne od elementów geometrycznych ślimaka A oraz B, m^3 ,
- lepkość tworzywa w strefie dozowania ślimaka η , $\text{Pa}\cdot\text{s}$.

Czynnikiem zmiennym jest:

- prędkość obrotowa ślimaka ν , s^{-1} , ν_1 , ν_2 , ν_3 , określona przez prowadzącego zajęcia.

Czynnikami stałymi są:

- elementy geometryczne układu uplastyczniającego, głowicy wytłaczarskiej, układu kalibrującego, urządzeń uzupełniających,
- temperatura w układzie uplastyczniającym wytłaczarki i głowicy wytłaczarskiej,
- spadek ciśnienia tworzywa w strefie dozowania ślimaka $\Delta p = 0,5$ MPa,
- czynnik chłodzący w kalibratorze oraz wannie chłodzącej.

Czynniki zakłócające to głównie zmiany: temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa wejściowego, których wpływ jest pomijalnie mały.

2.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

W celu prawidłowego wykonania ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

1. Włączyć zasilanie stanowiska badawczego wytłaczania konwencjonalnego.
2. Nastawić warunki procesu wytłaczania (temperatura poszczególnych stref grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej), oraz ustalić początkową liczbę obrotów ślimaka.
3. Załączyć układy chłodzenia wytłoczyny w kalibratorze oraz wannie ochładzającej.
4. Wprowadzić tworzywo do zasobnika (przy zamkniętej zasuwie zasobnika tworzywa).
5. Po osiągnięciu nastawionej temperatury przez poszczególne strefy grzejne układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej, uruchomić ślimak wytłaczarki, powoli zwiększając jego prędkość obrotową do ustalonej wartości, mierzonej za pomocą tachometru. Jednocześnie wprowadzić tworzywo do cylindra, poprzez wyciągnięcie zasowy zasobnika tworzywa.
6. Przystąpić do wytłaczania taśmy, z jednoczesnym pomiarem czasu wytłaczania, za pomocą czasomierza i oznaczaniem, flamastrem wodoodpornym, próbek wytłoczyny.
7. Korzystając z bezstopniowej regulacji prędkości obrotowej silnika zwiększyć prędkość obrotową ślimaka, ponownie przeprowadzić pomiar prędkości ślimaka za pomocą tachometru oraz powtórzyć pozostałe czynności wymienione w punkcie 6.
8. Ponownie zwiększyć prędkość obrotową ślimaka oraz przeprowadzić oznaczanie wytłaczanej taśmy zgodnie z punktem 6 i 7.
9. Po wytłoczeniu taśmy, zgodnie z programem ćwiczenia, przerwać proces wytłaczania konwencjonalnego, wyłączyć linię technologiczną.
10. Wyciąć z otrzymanej wytłoczyny oznaczane odcinki, przystąpić, przy zastosowaniu wagi laboratoryjnej, do pomiarów masy wytłoczonych odcinków. Średnie wyniki z co najmniej 5 pomiarów, dla każdej zmienianej prędkości obrotowej ślimaka, wpisać do protokołu.
11. Dysponując wynikami oznaczania czynników badanych bezpośrednio obliczyć masowe i objętościowe natężenie przepływu tworzywa oraz gęstość tworzywa w temperaturze przetwórstwa w głowicy wytłaczarskiej.

Masowe natężenie przepływu tworzywa należy wyznaczyć z zależności

$$G = \frac{m_w}{T_w} \quad (2.1)$$

w której: m_w - masa odcinka pomiarowego wytłoczyny, kg,
 T_w - czas wytłaczania odcinka pomiarowego.

Objętościowe natężenie przepływu wyznaczyć korzystając z zależności

$$\dot{W} = \frac{\dot{G}}{\rho_t} \quad (2.2)$$

gdzie ρ_t oznacza wartość gęstości tworzywa w temperaturze przetwórstwa (kg/m^3).

Gęstość tworzywa w temperaturze panującej w głowicy wylączarskiej podczas procesu wylączania należy określić na podstawie zależności

$$\rho_t = \rho_{t_0} \frac{1}{1 + \alpha(t_w - t_0)} \quad (2.3)$$

w której ρ_{t_0} oznacza gęstość w temperaturze otoczenia, zgodnie z danymi producenta tworzywa, kg/m^3 ; α - współczynnik rozszerzalności cieplnej dla danego tworzywa, K^{-1} (podany przez prowadzącego zajęcia), t_w , t_0 - odpowiednio temperatura tworzywa opuszczającego głowicę oraz temperatura otoczenia, $^{\circ}\text{C}$.

12. Obliczyć wielkości stałe, A , (m^3) oraz B , (m^3) charakteryzujące strefę dozowania ślimaka wylączarki, zależne od elementów geometrycznych ślimaka

$$A = \frac{\pi D^2 L \sin \alpha_s \cdot \cos \alpha_s}{2} \quad (2.4)$$

oraz

$$B = \frac{\pi D L^3 \sin^2 \alpha_s}{12 h} \quad (2.5)$$

gdzie:

- D – średnica ślimaka, m,
- h – głębokość kanału strefy dozowania ślimaka, m,
- L – długość strefy dozowania, m,
- α_s – kąt pochylenia linii śrubowej zwoju ślimaka.

13. Wyznaczyć lepkość tworzywa η ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) w strefie dozowania, dla każdej z trzech prędkości obrotowych ślimaka wylączarki, korzystając ze znanej zależności, w której występujące wielkości zostały opisane w programie ćwiczenia.

$$\eta = \frac{\Delta p \cdot B}{A \cdot v - \dot{W}} \quad (2.6)$$

2.5. Wyniki

Wyniki pomiarów i obliczeń należy zestawić w tabelach 1 i 2 zamieszczonych we wzorze sprawozdania. Interpretację graficzną wyników badań masowego i objętościowego natężenia przepływu oraz lepkości tworzywa przedstawić w postaci zależności $G = f(v)$, $W = f(v)$ oraz $\eta = f(v)$.

2.6. Sprawozdanie

Sporządzone sprawozdanie powinno zawierać: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wytłaczania konwencjonalnego, wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabelach, interpretację wyników w postaci wykresu zależności masowego i objętościowego natężenia przepływu tworzywa od liczby obrotów ślimaka, zależności lepkości tworzywa w strefie dozowania ślimaka wytłaczarki od prędkości obrotowej ślimaka, jak również wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Dokumentacja techniczno – ruchowa wytłaczarki T32-25. Zakład Maszyn Chemicznych „Metalchem” w Gliwicach, Gliwice 1971.
2. Sikora J.W.: Selected Problems of Polymer Extrusion. Wydawnictwo Naukowe WNBG, Lublin 2008.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Praca zbiorowa pod redakcją R. Sikory: Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wytłaczanie konwencjonalne		Nr ćwiczenia 2	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

3. Warunki procesu wytłaczania konwencjonalnego

4. Wyniki ćwiczenia

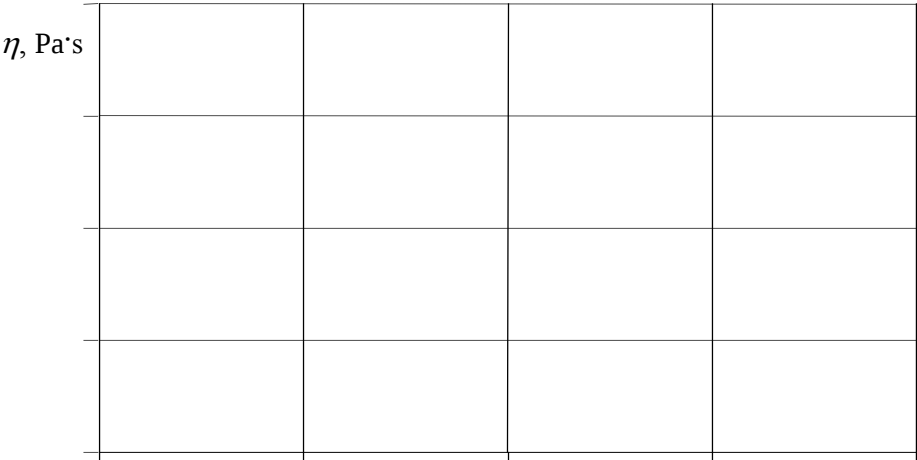
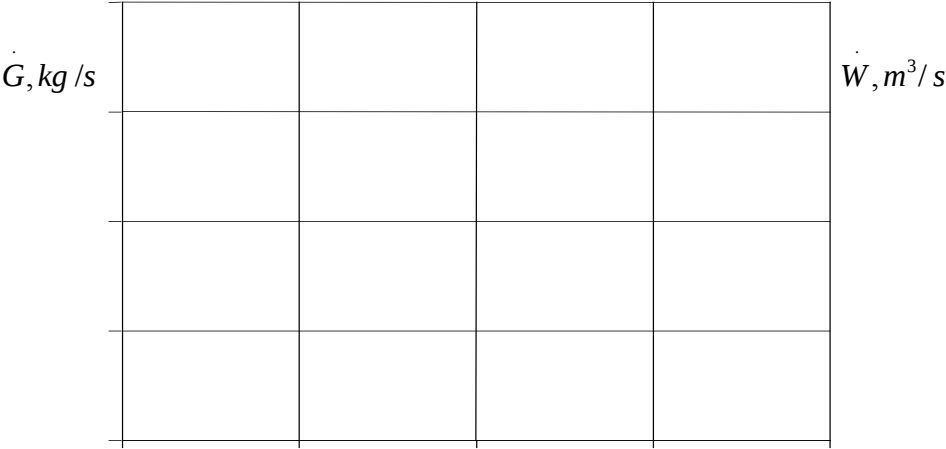
Tabela 1. Wyniki

Lp.	Prędkość obrotowa ślimaka v, s^{-1}	Temperatura wytłoczyny w głowicy $t_w, ^\circ C$	Czas wytłaczania odcinka pom. T_w, s	Średnia masa próbek m_w, kg	Gęstość wytłoczyny $\rho_t, kg/m^3$
1					
2					
3					

Tabela 2. Wyniki

Lp.	Wartości stałe ślimaka	Wartości geometr. ślimaka	$\dot{G}$ kg/s	$\dot{W}$ m^3/s	η Pa·s
1	D = 32 mm L = 288 mm h = 1,8 mm $\alpha_s = 17,23^\circ$	A = B =			
2					
3					

5. Wykresy



6. Wnioski

ν, s^{-1}

Data Podpis

3. Wytłaczanie rur

3.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie procesu wytłaczania rur z tworzyw termoplastycznych. Celem ćwiczenia jest również wyznaczenie prędkości wytłaczania rur przy zmiennej prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki oraz wyznaczenie wartości liczbowej efektu Barusa dla wybranych rodzajów tworzyw termoplastycznych.

3.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze wytłaczania rur składa się z linii technologicznej wytłaczania obejmującej:

- wytłaczarkę T32-25,
- głowicę wzdłużną do rur,
- urządzenie ochładzające (wanna chłodząca),
- urządzenie odbierające.

Urządzenia pomocnicze służące do pomiaru czynników badanych bezpośrednio i wynikowych to: tachometr, liniał płaski, suwmiarka, czasomierz, flamastry wodoodporne.

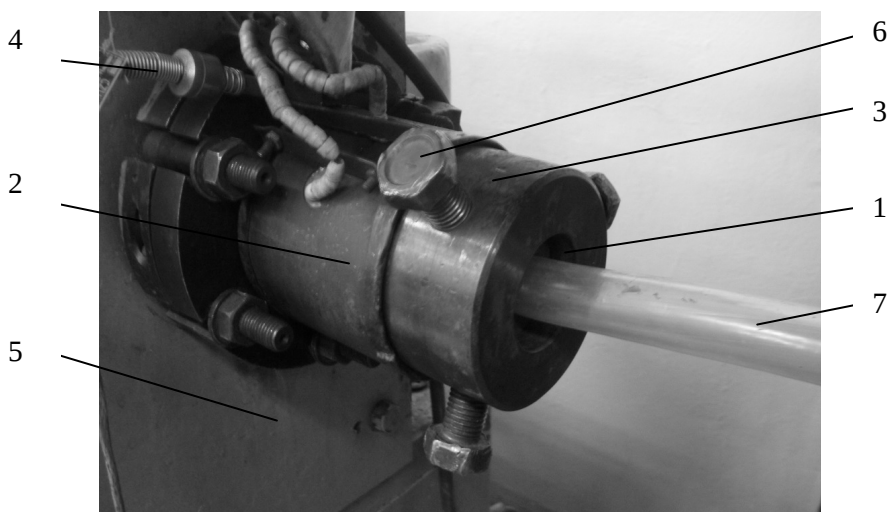
Linia technologiczna wytłaczania jest przeznaczona do wytwarzania rur oraz węży z tworzyw termoplastycznych, takich jak polietylen PE, polipropylen PP, po(lichlorek winylu) PVC.

Wyszczególnione elementy linii technologicznej wytłaczania, oprócz głowicy wytłaczarskiej, zostały przedstawione szczegółowo w ćwiczeniu nr 2, opisującego proces wytłaczania konwencjonalnego.

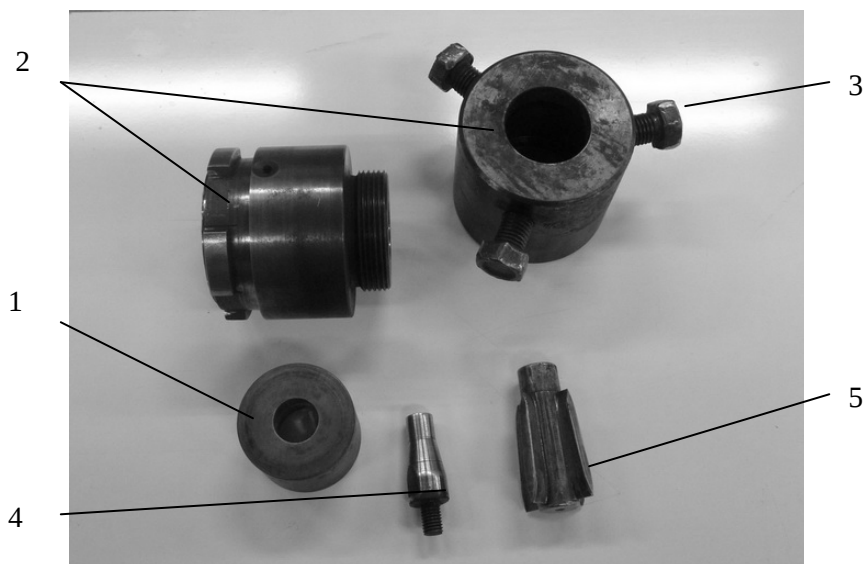
Narzędziem, mocowanym do układu uplastyczniającego wytłaczarki T32-25 jest głowica wytłaczarska do rur, pokazana na rysunkach 3.1 i 3.2, mająca jedną strefę grzejną i odpowiadający tej strefie jeden grzejnik pierścieniowy (2) wraz z czujnikiem temperatury (4) zamocowane na korpusie głowicy (3). Głowica charakteryzuje się wymiennym korpusem dyszy (1) oraz rdzeniem dyszy umożliwiającym wytwarzanie rur o różnej średnicy i grubości ścianki rury.

W ćwiczeniu wykorzystano dyszę o przekroju pierścieniowym, średnicy zewnętrznej kanału pierścieniowego równej 19,5 mm oraz średnicy wewnętrznej kanału 13,5 mm.

Zastosowany w głowicy wytłaczarskiej rozdzielacz rdzeniowy (5), pokazany na rys.3.2 jest połączony z wymiennym rdzeniem dyszy (4) o średnicy zewnętrznej 13,5 mm, odpowiadającej średnicy wewnętrznej dyszy głowicy.



Rys. 3.1. Wygląd głowicy wylaczarskiej do rur wraz z wytwarzana rurą: 1 - korpus dyszy głowicy, 2 - grzejnik pierścieniowy, 3 - korpus głowicy, 4 - czujnik temperatury, 5 - fragment obudowy wylaczarki, 6 - śruby regulacji korpusu dyszy, 7 - wytwarzana rura



Rys. 3.2. Wygląd elementów głowicy wylaczarskiej do rur: 1 - korpus dyszy głowicy, 2 - elementy korpusu głowicy, 3 - śruby regulacji korpusu dyszy, 4 - rdzeń dyszy, 5 - rozdzielacz rdzeniowy

Korpus dyszy (1) jest montowany w korpusie głowicy (2) mającym trzy śruby regulacji (3). Umożliwiają one wyrównanie położenia korpusu dyszy względem rdzenia dyszy podczas montażu głowicy do wylaczarki, co w efekcie po-

zwala na wytworzenie rury mającej jednakową grubość ścianki w całym swoim przekroju poprzecznym. Aby wyznaczyć prędkość wytłaczania rury przy zmiennej prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki oraz przeprowadzić pomiary wartości liczbowej efektu Barusa należy zastosować następujące wyszczególnione urządzenia pomocnicze.

Pomiar prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki należy przeprowadzić przy użyciu tachometru DT-6236B, opisanego w ćwiczeniu nr. 2. W celu pomiarów prędkości procesu wytłaczania rur oraz przeprowadzenia pomiarów niezbędnych do wyznaczenia wartości liczbowej efektu Barusa należy zastosować czasomierz, liniał płaski oraz suwmiarkę znajdujące się na wyposażeniu laboratorium Katedry Procesów Polimerowych.

3.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1) bezpośrednio:

- pole przekroju pierścieniowego dyszy głowicy wytłaczarskiej A_d , mm²,
- pole przekroju pierścieniowego otrzymanej wytłoczyny A_w , mm²,
- długość wytłoczyny mierzona w czasie T , l_w , m,

2) pośrednio:

- wartość liczbową efektu Barusa β , %,
- prędkość wytłaczania, V_w , m/s.

Czynnikiem zmiennym jest rodzaj tworzywa do wytłaczania;

- tworzywo pierwsze, o wskaźniku szybkości płynięcia w zakresie $0.2 \div 0.5$ g/10 min (np. PE-LD Malen E FG NX 18-D003),
- tworzywo drugie, MFR w zakresie $1.6 \div 2.5$ g/10 min (np. PE-LD Malen E FABS 23-D022),
- prędkość obrotowa ślimaka wytłaczarki jednoślindakowej v , s⁻¹ odpowiednio 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 i 1.50 s⁻¹.

Czynnikami stałymi są:

- czas pomiaru długości odcinka wytłoczyny $T = 30$ s,
- elementy geometryczne linii technologicznej wytłaczania rur,
- temperatura w układzie uplastyczniającym wytłaczarki i głowicy wytłaczarskiej ustawiona w zespole sterowania wytłaczarki,
- natężenie przepływu, temperatura czynnika w urządzeniu ochładzającym.

Wpływ czynników zakłócających, podczas prowadzonego procesu technologicznego, należy określić jako pomijalnie mały.

3.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Wykonanie ćwiczenia wymaga przeprowadzenia następujących czynności:

1. Włączyć zasilanie linii technologicznej wytłaczania rur.
2. Nastawić warunki procesu wytłaczania (temperatura poszczególnych stref grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej) oraz ustalić początkową liczbę obrotów ślimaka.
3. Załączyć układy chłodzenia w wannie ochładzającej.
4. Po osiągnięciu temperatury przez poszczególne strefy grzejne układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej, uruchomić ślimak wytłaczarki, powoli zwiększając jego prędkość do ustalonej pierwszej wartości, jednocześnie wprowadzić pierwszy rodzaj tworzywa do strefy zasypu układu uplastyczniającego.
5. Przeprowadzić proces wytłaczania rury dla pierwszego zastosowanego tworzywa, zmieniając prędkość obrotową ślimaka wytłaczarki w zakresie przedstawionym w programie ćwiczenia. Prędkość obrotową ślimaka należy dokładnie nastawić przy zastosowaniu urządzenia do pomiaru prędkości obrotowej - tachometru.
6. Podczas procesu wytłaczania rury, zgodnie z punktem 5, należy za pomocą flamastra wodoodpornego oznaczać fragmenty wytłaczanej rury, wytłaczane przy danej prędkości obrotowej ślimaka w czasie równym 30 s.
7. Po opróżnieniu układu uplastyczniającego z pierwszego tworzywa, zasypać tworzywo drugie, rozpocząć ponownie proces wytłaczania rury i powtórzyć czynności zgodnie z punktami 5 i 6.
8. Po zakończeniu procesu wytłaczania wyłączyć zasilanie linii technologicznej.
9. Przystąpić do pomiarów czynników badanych. Za pomocą suwmiarki przeprowadzić pomiary przekroju poprzecznego wytłoczyny, wykonać pomiary długości wytłoczyny, wytłaczanej w czasie $T = 30$ s i oznaczyć flamastrem. Wyniki z co najmniej 5 pomiarów wpisać do protokołu.
10. Dysponując wynikami pomiarów czynników badanych bezpośrednio obliczyć wartości liczbowe efektu Barusa oraz prędkości wytłaczania rur dla zastosowanych rodzajów tworzyw i prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki. Obliczenia przeprowadzić zgodnie z zależnością (4).

3.5. Wyniki

Wyniki badań należy zestawić w tabeli 1 zamieszczonej we wzorze sprawozdania oraz przedstawić graficznie zależność efektu Barusa od prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki $\beta = f(v)$ i zależność prędkości procesu wytłaczania od prędkości obrotowej ślimaka $V_w = f(v)$ oraz rodzaju tworzywa.

3.6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy opisać: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu technologicznego wytłaczania rur, wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli, interpretację wyników w postaci wykresu zależności wartości liczbowej efektu Barusa, prędkości wytłaczania od prędkości obrotowej ślimaka wytłaczarki i rodzaju tworzyw (różniących się w sposób znaczący wartością MFR), wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J.: Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2000.
2. Dokumentacja techniczno-ruchowa wytłaczarki T32-25. Zakład Maszyn Chemicznych „Metalchem” w Gliwicach, Gliwice 1971.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Praca zbiorowa pod redakcją R. Sikory: Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
5. Szlezyngier W.: Podstawy reologii polimerów. Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 1994.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wytłaczanie rur		Nr ćwiczenia 3	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

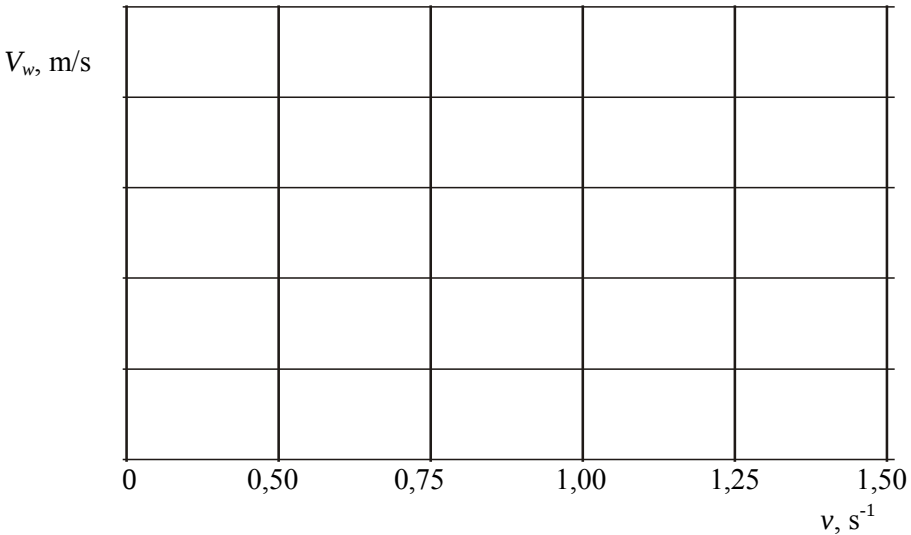
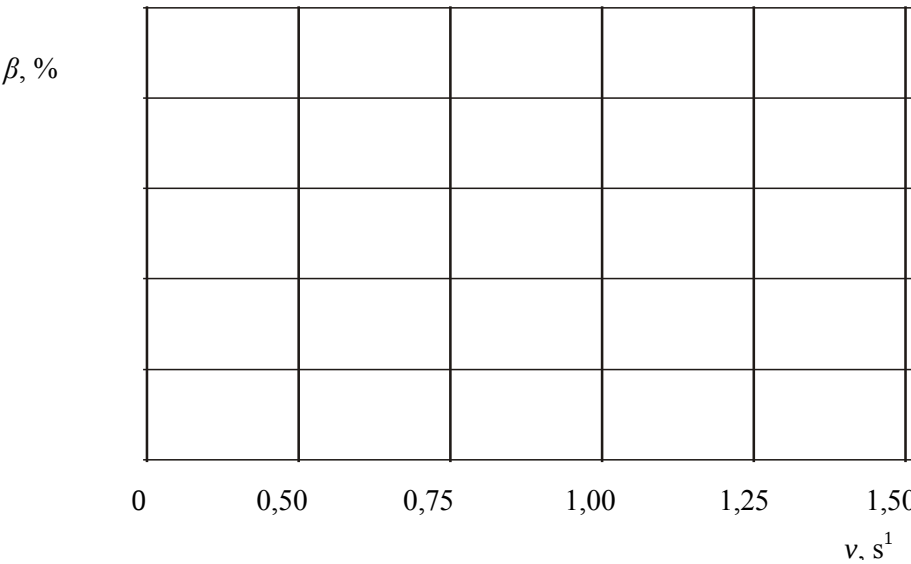
3. Warunki procesu wytłaczania rur

4. Wyniki ćwiczenia

Tabela 1. Wyniki

Lp.	Prędkość ślimaka v , s ⁻¹	Pole przekroju wytłoczyny A_w , mm ²	Długość wytłoczyny l_w , m	Wartość licz- bowa efektu Barusa, β , %	Prędkość wytłaczania V_w , m/s
	Rodzaj tworzywa:				
1					
2					
3					
4					
5					
	Rodzaj tworzywa:				
1					
2					
3					
4					
5					

5. Wykresy



6. Wnioski

Data Podpis

4. Wytłaczanie porujące

4.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest przeprowadzenie procesu wytłaczania porującego, zapoznanie się z tematyką wytłaczania porującego, rodzajami i zasadą działania środków porujących. Celem jest również wyznaczenie gęstości oraz stopnia sporowacenia wytworów otrzymanych w procesie wytłaczania porującego.

4.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego wchodzi linia technologiczna wytłaczania oraz urządzenia pomocnicze (waga laboratoryjna, suwmiarka, tachometr) niezbędne do przeprowadzenia badań właściwości wyłoczyny porowatej, zgodnie z celem ćwiczenia.

Linia technologiczna wytłaczania składa się z wytłaczarki T32-25, głowicy wytłaczarskiej wzdłużnej do wytłaczania pręta, urządzenia ochładzającego (wanny chłodzącej), urządzenia odbierającego. Wygląd linii technologicznej wytłaczania pokazano na rys. 4.1.

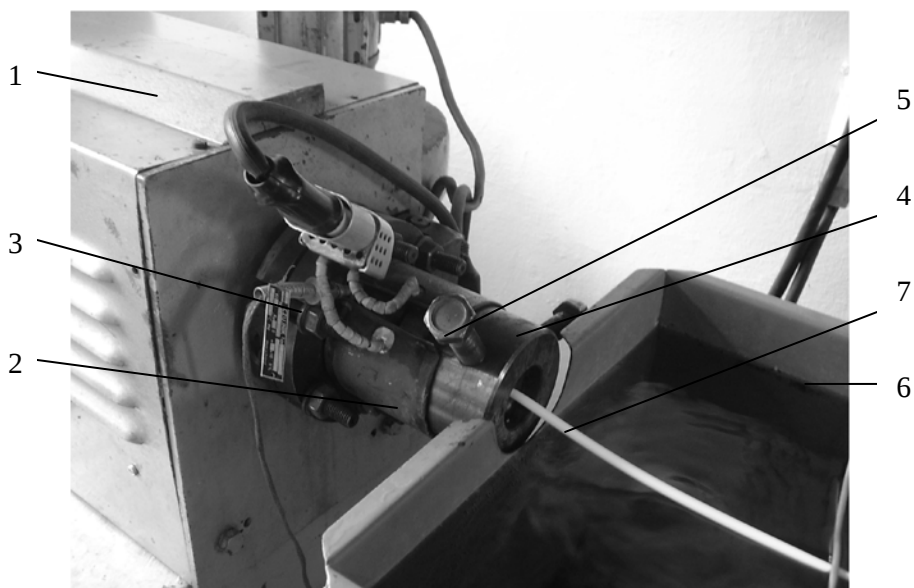


Rys. 4.1. Wygląd ogólny linii technologicznej wytłaczania porującego: 1 - wytłaczarka T32-25, 2 - szafa sterownicza, 3 - głowica wytłaczarska do prętów, 4 - urządzenie ochładzające

Opis, budowa i zasada działania wytłaczarki T32-25 oraz pozostałych urządzeń linii technologicznej wytłaczania, oprócz budowy głowicy do wytłaczania prętów został szczegółowo przedstawiony w ćwiczeniu nr 2.

Narzędziem zastosowanym w procesie wytłaczania porującego jest głowica wytłaczarska wzdłużna do prętów. Wygląd głowicy, podczas procesu wytłaczania porującego pokazano na rysunku 4.2.

Głowica wylączarska ma dwuczęściowy korpus z jedną strefę grzejną, na której zamocowany jest grzejnik pierścieniowy oraz czujnik pomiaru temperatury (termopara). Zastosowany w głowicy korpus dyszy ma dyszę osiowo-symetryczną o średnicy 4,3 mm. Śruby regulacji umożliwiają wyrównanie położenia korpusu dyszy względem korpusu głowicy, a tym samym wytwarzanie wyloczyny porowatej wzdłuż osi układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej.



Rys. 4.2. Wygląd głowicy wylączarskiej podczas procesu wytłaczania porującego wraz z wylóczyną porowatą: 1- fragment układu uplastyczniającego, 2 - grzejnik pierścieniowy, 3 - czujnik temperatury, 4 - korpus głowicy, 5 - śruby regulacji korpusu dyszy, 6 - wanna chłodząca, 7 - wylóczyna porowata

Ustalenie zadanej prędkości obrotowej ślimaka trzeba przeprowadzić przy zastosowaniu tachometru typ DT-6236B opisanego w ćwiczeniu nr 2. Do przeprowadzenia badań gęstości oraz stopnia sporowacenia wyloczyny porowatej należy zastosować wagę laboratoryjną typ WPE 60. Jest to waga na której można zważyć próbki o masie do 60 gram z dokładnością pomiaru $\pm 0,001$ g.

Określenie wymiarów geometrycznych próbek wyloczyny porowatej, to jest długości i średnicy, należy wykonać przy zastosowaniu suwmiarki elektronicznej np. typ Orion EH807557 umożliwiającej pomiar próbek o długości do 150 mm z dokładnością $\pm 0,01$ mm. Wygląd urządzeń stosowanych podczas badań procesu wytłaczania porującego został pokazany na rys. 4.3.



Rys. 4.3. Wygląd urządzeń pomocniczych stosowanych podczas badań procesu wytłaczania porującego tworzyw: 1 - waga laboratoryjna WPE 60, 2 - tachometr DT-6236B, 3 - suwmiarka Orion EH807557

Środki porujące

Środkiem porującym (poroforem) mogą być gazy, ciała stałe, ciecze. Gazy i ciecze wprowadza się do tworzywa wejściowego w odpowiednich warunkach - pod ciśnieniem, za pomocą specjalnych urządzeń do strefy zasilania układu uplastyczniającego podczas trwania procesu wytłaczania. Natomiast ciała stałe oraz niektóre ciecze wprowadza się do tworzywa już w procesie jego wytwarzania. Porofory podlegają (jeszcze przed wydzieleniem gazu) takim samym procesom jak tworzywo to jest: nagrzewaniu, sprężaniu, homogenizowaniu i transportowaniu. Gdy rozpocznie się proces wydzielania gazu (po osiągnięciu odpowiedniej temperatury) tworzące się liczne mikrobanieczki ulegają bardzo szybko rozpuszczeniu w otaczającym tworzywie.

Środek porujący dobiera się w zależności od rodzaju tworzywa zgodnie z zasadą, aby temperatura jego rozkładu była wyższa od temperatury topnienia, ale niższa od temperatury wytłaczania tworzywa. Temperatura w głowicy wytłaczarskiej powinna być jak najbardziej zbliżona do temperatury rozkładu środka porującego.

Stosowane podczas procesu porowania tworzyw środki porujące (tabela 4.1) mogą mieć egzotermiczną lub endotermiczną charakterystykę rozkładu. Stosowane dotychczas w procesie wytłaczania porofory mają egzotermiczną charakterystykę rozkładu. Może to być przyczyną lokalnych przegrzań i powstania nieregularnej struktury porowatej wytworu.

Tabela 4.1. Charakterystyka przetwórcza wybranych środków porujących

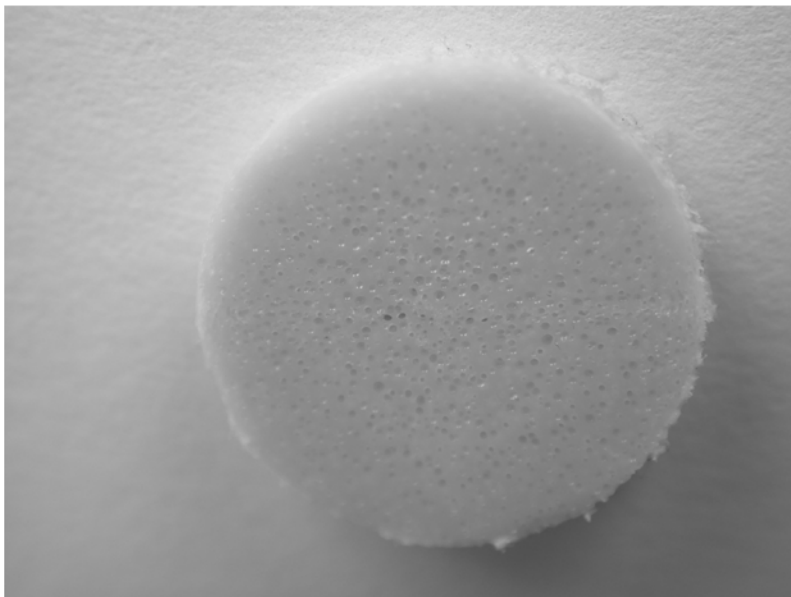
Środek porujący	Właściwości	
Egzocerol	Użyta postać	Żółty granulat
	Skład chemiczny	związek wielokomponentowy oparty na mieszaninie związków azowych, głównie azodikarbonamidu
	Charakterystyka	Rozkład egzotermiczny
	Temperatura rozkładu	Około 160°C
	Temperatura przetwarzania	Zalecana temperatura to 150÷200°C
	Zastosowanie	Porowanie tworzyw przy wtryskiwaniu i wytłaczaniu
	Zawartość środka w tworzywie	0,2÷2,0%
Hydrocerol	Użyta postać	Biały proszek lub biały granulat
	Skład chemiczny	związek wielokomponentowy oparty na mieszaninie głównie wodorowęglanu sodu i kwasu cytrynowego
	Charakterystyka	Rozkład endotermiczny
	Temperatura rozkładu	Około 170°C
	Temperatura przetwarzania	Zalecana temperatura to 160÷210°C
	Zastosowanie	Porowanie przy wtryskiwaniu, wytłaczaniu, kalandrowaniu, prasowaniu
	Zawartość środka w tworzywie	0,1÷1,6 %

W przypadku stosowania środka egzotermicznego zapoczątkowany rozkład poroforu przebiega samoczynnie, nawet po odcięciu dopływu energii. Dlatego wytwory porowane tego rodzaju środkami muszą być długo i intensywnie ochładzane, aby zapobiec odkształceniom dla zachowania właściwej struktury porowatej. W przypadku środków porujących z endotermicznym charakterem rozkładu, wytwarzanie gazu podczas przetwórstwa kończy się gwałtownie po zakończeniu dopływu energii. Stosowanie tego rodzaju środków porujących skraca znacznie czas ochładzania.

W przeprowadzanym ćwiczeniu należy zastosować środki porujące, z egzotermicznym lub endotermicznym charakterem rozkładu, wskazane przez prowadzącego zajęcia.

Są to środki w postaci granulatu. Do osiągnięcia dobrej wydajności procesu porowania zaleca się stosowanie temperatury przetwórstwa w zakresie od 180 do 210°C. Zalecana ilość środka porującego w procesie wytłaczania PE i PVC wynosi od 0,1 do 1,8 % mas.

Na rysunku 4.4. pokazano wytłoczną porowatą w postaci pręta, w przekroju poprzecznym, przy zastosowanym podczas porowania środka z egzotermicznym charakterem rozkładu w ilości 0,6% w masie tworzywa.



Rys. 4.4. Przekrój poprzeczny wytłoczyny porowatej, otrzymanej w procesie wytłaczania porującego, przy zastosowaniu środka porującego z grupy Hydrocerol w ilości 0,6 % mas.

4.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1) bezpośrednio

- masę odcinka pomiarowego wytłoczyny m , kg,
- objętość odcinka pomiarowego wytłoczyny V , m³,

2) pośrednio

- gęstość pozorną tworzywa porowanego ρ_p , kg/m³,
- stopień sporowacenia P , %.

Czynnikiem zmiennym jest:

- rodzaj środka porującego;
 - środek porujący o egzotermicznym charakterze rozkładu (np. Hydrocerol PLC 751),

- środek porujący o endotermicznym charakterze rozkładu (np. Hydroce-rol BIH 70),
- zawartość środka porującego w tworzywie *sp*, (w ilości 0,5 i 1,0 %),

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj tworzywa, PE-LD lub PVC, wskazany przez prowadzącego zaję-
cia,
- gęstość tworzywa litego ρ , kg/m³,
- prędkość obrotowa ślimaka wylączarki $v = 0,75 \text{ s}^{-1}$,
- elementy geometryczne wylączarki, głowicy wylączarskiej, urządzeń
uzupełniających,
- liczba stref nagrzewających układu uplastyczniającego wylączarki
i głowicy wylączarskiej; każda ze stref ma oddzielny układ sterowania i
regulacji,
- natężenie przepływu czynnika chłodzącego wanny chłodzącej.

Ocenia się, że wpływ czynników zakłócających, to jest zmian: napięcia prądu elektrycznego, temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa wejściowego, wilgotności środka porującego, jest pomijalnie mały.

4.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Celem prawidłowego przeprowadzenia ćwiczenia należy wykonać następują-
ce czynności:

1. Przygotować naważki tworzywa wraz z odpowiednią zawartością dwóch
rodzajów środka porującego, wskazanych przez prowadzącego zajęcia,
2. Nastawić warunki procesu wylączania (temperatura poszczególnych stref
grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej) oraz ustalić
najmniejszą liczbę obrotów ślimaka.
3. Wprowadzić pierwsze tworzywo z zawartością środka porującego w ilości
0,5% do zasobnika (przy zamkniętej zasuwie zasobnika).
4. Po osiągnięciu odpowiedniej temperatury w układzie uplastyczniającym
i głowicy wylączarskiej, uruchomić ślimak wylączarki, powoli zwiększając
jego prędkość do ustalonej wartości, zmierzonej za pomocą tachometru, jed-
nocześnie wyciągać zasuwę zasobnika powodując zasypywanie naważki two-
rzywa do strefy zasypu układu uplastyczniającego.
5. Przystąpić do wylączania wytworu porowanego w postaci pręta, aż do mo-
mentu opróżnienia układu uplastyczniającego z tworzywa.
6. Wprowadzić drugą naważkę tworzywa z zawartością środka porującego
w ilości 1.0% do zasobnika, ponownie wylaczać wytwór porowaty w postaci
pręta.
7. Przeprowadzić proces wylączania porującego przy zastosowaniu naważek
tworzywa i drugiego rodzaju środka porującego.
8. Po zakończeniu procesu wylączania wyłączyć linię technologiczną.

9. Odrzucić, z otrzymanej wytłoczyny porowatej w postaci pręta, odcinki pośrednie, to jest wytłaczane podczas zmiany ilości środka porującego w tworzywie i rodzaju środka porującego.
10. Pociąć wytłoczone pręty na próbki pomiarowe o długości 50÷100 mm, oznaczyć ich długość, pole przekroju poprzecznego i obliczyć objętość.
11. Przystąpić do wyznaczania czynników badanych bezpośrednio według przedstawionych zależności.

Gęstość pozorną ρ_p , zgodnie z normą [6], należy obliczyć ze wzoru

$$\rho_p = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

gdzie m oznacza masę próbki wytłoczonego pręta wyrażoną w kilogramach, natomiast V to objętość próbki, m^3 .

Stopień sporowacenia P określić z zależności:

$$P = \frac{\rho - \rho_p}{\rho} \cdot 100 \% \quad (4.2)$$

gdzie: ρ_p - gęstość pozorną tworzywa porowanego, kg/m^3 , a ρ - gęstość tworzywa litego, kg/m^3 .

4.5. Wyniki

Charakterystykę stosowanych środków porujących należy przedstawić w tabeli 1. Średnie wartości z wyników obliczeń i badań zestawić w tabeli 2 zamieszczonej we wzorze sprawozdania. Interpretacja graficzna otrzymanych wyników powinna zawierać zależność stopnia sporowacenia od zawartości środka porującego w wytłaczanym tworzywie, przedstawiona w postaci wykresu blokowego.

4.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie, zgodnie ze wzorem sprawozdania, powinno zawierać: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wytłaczania porującego, charakterystykę środków porujących, wyniki pomiarów i obliczeń gęstości oraz stopnia sporowacenia wytłoczyny porowatej zestawione w tabelach, interpretację graficzną, w postaci wykresu blokowego, wyników badań, jak również wnioski wynikające z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Bieliński M.: Techniki porowania tworzyw termoplastycznych. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2004.
2. Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J.: Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2000.
3. Dokumentacja techniczno – ruchowa wylączarki T32-25. Zakład Maszyn Chemicznych „Metalchem” w Gliwicach, Gliwice 1971.
4. Sikora J.W.: Selected Problems of Polymer Extrusion. Wydawnictwo Naukowe WNBG, Lublin 2008.
5. Praca zbiorowa pod redakcją R. Sikory: Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
6. Polska norma PN-EN ISO 845:2000. Oznaczanie gęstości pozornej sztywnych tworzyw porowatych.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wytłaczanie porujące		Nr ćwiczenia 4	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

3. Warunki procesu wytłaczania porującego

Tabela 1. Charakterystyka środków porujących użytych podczas badań

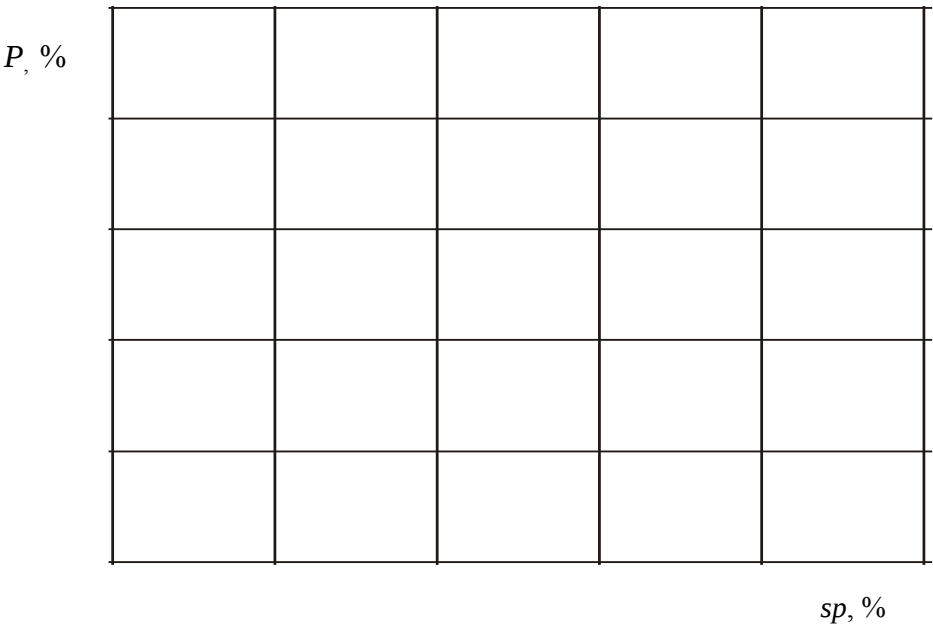
	Środek porujący	
Producent		
Postać		
Skład chemiczny		
Charakterystyka rozkładu		
Temperatura rozkładu, °C		
Inne		

4. Wyniki ćwiczenia

Tabela 2. Wyniki

Lp.	Rodzaj środka porującego	Zawartość środka porującego sp , %	Objętość próbki, V , m ³	Gęstość tworzywa litego/porowatego ρ_p , kg/m ³	Stopień spowrowacenia P , %
	---	0			0

5. Wykres



6. Wnioski

Data Podpis

5. Wytłaczanie autotermiczne

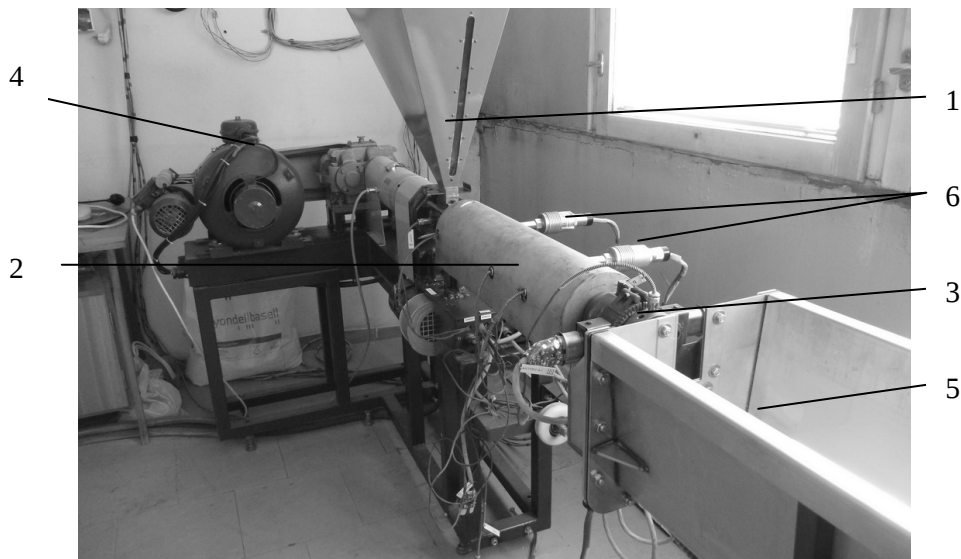
5.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie procesu wytłaczania autotermicznego i działania wytłaczarki autotermicznej, jak również wyznaczenie gęstości tworzywa podczas przetwórstwa, natężenia przepływu tworzywa oraz rozkładu temperatury wzdłuż układu uplastyczniającego wytłaczarki autotermicznej i w głowicy wytłaczarskiej w porównaniu do procesu wytłaczania konwencjonalnego.

5.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego wytłaczania autotermicznego wchodzi: wytłaczarka W-25D, głowica wytłaczarska do wytwarzania kształtowników, urządzenie ochładzające (wanna chłodząca), urządzenie odbierające.

Stanowisko jest przeznaczone do wytwarzania kształtowników z tworzyw termoplastycznych, głównie tworzyw polielefinowych.



Rys. 5.1. Wygląd ogólny wytłaczarki W-25D wraz z głowicą wytłaczarską i urządzeniem ochładzającym (wanną chłodzącą): 1 - zasobnik tworzywa, 2 - układ uplastyczniający, 3 - głowica wytłaczarska, 4 - silnik napędowy, 5 - wanna chłodząca, 6 - czujniki pomiaru ciśnienia i temperatury tworzywa

W tabelicy 5.1 przedstawiono charakterystykę techniczną wytłaczarki autotermicznej, według danych producenta [1].

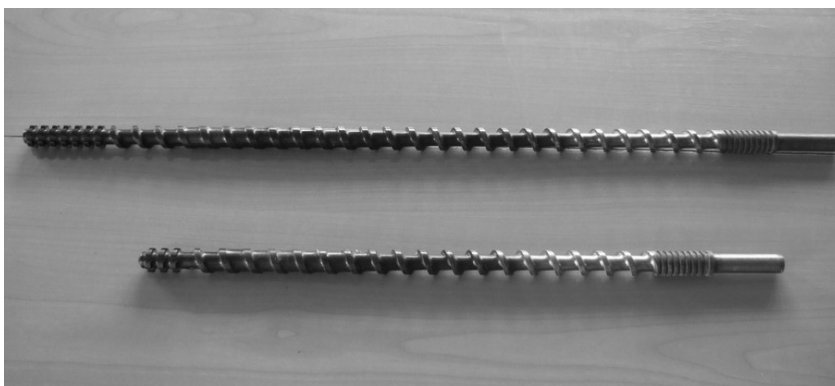
Tablica 5.1. Wybrane dane techniczne wylączarki W-25D [1]

Lp.	Wielkość charakterystyczna	Jednostka	Wartość	Uwagi
1	Ślimak Średnica ślimaka D Długość ślimaka L Liczba obrotów ślimaka	mm mm s^{-1}	25 450 575 700 1,08÷5,35	 L/D = 18 L/D = 23 L/D = 28
2	Cylinder Chłodzenie stref grzejnych Ilość stref grzejnych Moc grzejników	 kW	 2 lub 3 1,5; 1,8, 2,4	 brak chłodzenia w zależności od L/D
3	Napęd ślimaka Moc silnika wylączarki Liczba obrotów silnika	kW s^{-1}	3,57 10÷49,5	regulacja beztopyniowa
4	Głowica wylączarska Liczba stref grzejnych głowicy wylączarskiej Moc grzejników	 kW	1 0,28	
5	Masowe natężenia przepływu tworzywa	kg/h	do 22	w zależności od rodzaju tworzywa i dyszy

Wylączarka autotermiczna W-25D wykonana została w Instytucie Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych „Metalchem” w Toruniu. W celu przeprowadzenia ćwiczenia jest ona zaopatrzona w głowicę wylączarską umożliwiającą wylączanie kształtowników o przekroju kołowym (prętów).

Na podstawie wylączarki są zamontowane silnik wylączarki, przekładnie redukcyjne oraz układ uplastyczniający wraz z głowicą wylączarską. Napęd ślimaka jest realizowany za pomocą silnika prądu stałego o mocy 3,57 kW z beztopyniowo regulowaną liczbą obrotów ślimaka działającego bez obciążenia od 1,08 do 5,35 s^{-1} , przekładni pasowej, przekładni zębatej oraz sprzęgła przeciążeniowego.

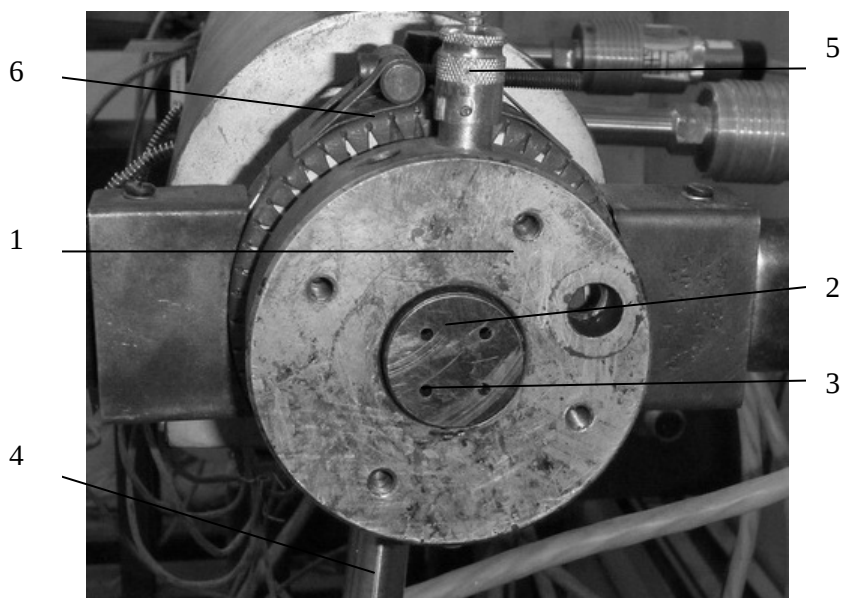
Układ uplastyczniający wylączarki zbudowany jest z cylindra segmentowego składającego się z trzech segmentów. Na wyposażeniu wylączarki znajdują się różne segmenty, które zestawione ze sobą tworzą trzy długości cylindra, równe 18D, 23D i 28D, do których są dostosowane ślimak o odpowiedniej długości, zaopatrzone w elementy intensywnego ścinania i mieszania (rys. 5.2). W ten sposób ślimak i cylinder tworzą trzy zestawy badawcze.



Rys. 5.2. Wygląd ogólny ślimaków stosowanych w układzie uplastyczniającym wylączarki autotermicznej W-25D

W zestawie pierwszym cylinder ma dwie strefy grzejne, natomiast w zestawie drugim i trzecim są trzy strefy grzejne. W każdej strefie grzejnej jest zamontowany czujnik ciśnienia i temperatury tworzywa przetwarzanego w układzie uplastyczniającym. W strefach grzejnych, na cylindrze, są zamocowane grzejniki pierścieniowe o mocy 300 W każdy. W zestawie pierwszym wylączarki ($L = 18D$) jest pięć grzejników elektrycznych, pierścieniowych. W zestawie drugim ($L = 23D$) jest ich sześć, a w zestawie trzecim ($L = 28D$) - osiem. Strefy grzejne cylindra są osłonięte osłoną termoizolacyjną. Na końcu układu uplastyczniającego w cylindrze umieszczono filtr tworzywa, który ma za zadanie wyeliminowanie ruchu śrubowego tworzywa oraz zatrzymanie zanieczyszczeń i nieuplastycznionych lub uległych destrukcji cząstek tworzywa. Końcówka cylindra jest zakończona gwintem M50 x 2, przeznaczonym do mocowania głowicy wylączarskiej.

Głowica wylączarska, pokazana na rysunku 5.3, wylączarki autotermicznej, ma jedną strefę grzejną z jednym grzejnikiem elektrycznym pierścieniowym oraz czujnikiem ciśnienia i temperatury tworzywa. Korpus dyszy głowicy wylączarskiej jest wymienny, można przez to zamontować do każdej głowicy wylączarskiej korpus z jedną, dwiema, czterema lub ośmioma dyszami, umożliwiając wylączanie odpowiedniej liczby kształtowników (prętów). W prowadzonym ćwiczeniu zastosowano korpus z czterema dyszami o średnicy 3 mm każda.



Rys. 5.3. Wygląd głowicy wylączarskiej rdzeniowej do wytwarzania kształtowników (czterech prętów): 1 - korpus głowicy, 2 - korpus dyszy do prętów, 3 - dysza, 4 - czujnik pomiaru ciśnienia i temperatury, 5 - czujnik pomiaru temperatury (termopara), 6 - grzejnik pierścieniowy

5.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1) bezpośrednio

- temperaturę tworzywa w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego, t_1, t_2, t_3 , °C,
- temperaturę tworzywa w głowicy wylączarskiej, t_w , °C,
- masę odcinka pomiarowego wylączyny m_w , kg,
- czas wylączania odcinka pomiarowego wylączyny T_w , s.

2) pośrednio

- gęstość tworzywa w temperaturze przetwórstwa, ρ_t , kg/m³,
- masowe natężenie przepływu tworzywa $\dot{G}$, kg/s,
- objętościowe natężenie przepływu tworzywa $\dot{W}$, m³/s.

Czynnikiem zmiennym jest:

- prędkość obrotowa ślimaka wylączarki v , s⁻¹, określona przez prowadzącego.

Czynnikami stałymi są:

- elementy geometryczne ślimaka, cylindra, głowicy wylączarskiej, urządzeń uzupełniających,

- liczba stref grzejnych układu uplastyczniającego wylączarki i głowicy wylączarskiej; każda ze stref ma oddzielny układ sterowania.

Czynniki zakłócające, mogące wpływać niekorzystnie na wyniki badań, to głównie niestabilność prądu elektrycznego oraz zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa wejściowego i wilgotności względnej powietrza. Ocenia się, że wpływ czynników zakłócających jest pomijalnie mały.

5.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

W celu prawidłowego wykonania ćwiczenia należy przeprowadzić następujące czynności:

1. Włączyć zasilanie stanowiska badawczego wylączania autotermicznego.
2. Nastawić warunki procesu wylączania (temperatura poszczególnych stref grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej), oraz ustalić początkową liczbę obrotów ślimaka.
3. Wprowadzić tworzywo do zasobnika (przy zamkniętej zasuwie otworu zasypowego).
4. Po osiągnięciu nastawionej temperatury przez poszczególne strefy grzejne układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej i ustabilizowaniu cieplnym wylączarki uruchomić ślimak wylączarki, powoli zwiększając jego prędkość do ustalonej wartości, jednocześnie wyciągając zasuwę otworu zasypowego.
5. Rozpocząć proces wylączania konwencjonalnego, wytworów w postaci czterech prętów, przy zadanej przez prowadzącego prędkości obrotowej ślimaka, przystąpić do odczytu temperatury w układzie uplastyczniającym i głowicy wylączarskiej oraz zaznaczyć na wylączanych prętach 5 odcinków pomiarowych w jednakowym odstępach czasu.
6. W celu osiągnięcia efektu autotermicznego, zwiększyć znacząco prędkość obrotową ślimaka oraz wyłączyć grzejniki wszystkich stref grzejnych wylączarki.
7. Po stwierdzeniu autotermiczności procesu wylączania, (cieplnym ustabilizowaniu się wylączarki), co powinno nastąpić po około 1200 s, przystąpić ponownie do pomiarów czynników badanych bezpośrednio, również oznaczając wylączane pręty w jednakowym odstępach czasu. Wyniki z co najmniej 5 pomiarów wpisać do protokołu.
8. Dysponując wynikami oznaczania czynników badanych bezpośrednio obliczyć gęstość tworzywa w temperaturze przetwórstwa oraz masowe i objętościowe natężenie przepływu tworzywa. Należy skorzystać z zależności 2.1, 2.2 oraz 2.3 opisanym w ćwiczeniu nr 2.
9. Określić rozkład temperatury w poszczególnych strefach grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej podczas procesu wylączania

autotermicznego, porównując go do wartości temperatury w odpowiednich strefach grzejnych podczas procesu wytlaczania konwencjonalnego.

5.5. Wyniki

Wyniki badań należy zestawić w tabeli 1 i 2 zamieszczonej we wzorze sprawozdania oraz przedstawić graficznie zależność rozkładu temperatury w układzie uplastyczniającym i głowicy wytłaczarskiej dla przeprowadzonego procesu wytłaczania konwencjonalnego i autotermicznego.

5.6. Sprawozdanie

Prawidłowo sporządzone sprawozdanie powinno zawierać: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wytłaczania konwencjonalnego i autotermicznego, wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabelach, graficzną interpretację rozkładu temperatury w układzie uplastyczniającym i głowicy wytłaczarskiej dla przeprowadzonego procesu wytłaczania konwencjonalnego i autotermicznego, jak również wnioski wynikające z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Dokumentacja techniczno – ruchowa wytłaczarki W-25D. Ośrodek Badawczo – Rozwojowy Maszyn i Urządzeń Chemicznych „Metalchem” w Toruniu, Toruń 1994.
2. Sikora J.: Studium autotermiczności procesu wytłaczania i strefy rowkowanej wytłaczarki. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej. Lublin 2000.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Sikora R.: Obróbka tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1996.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wytłaczanie autotermiczne		Nr ćwiczenia 5	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

3. Warunki procesu wytłaczania

1) konwencjonalnego

2) autotermicznego

4. Wyniki ćwiczenia

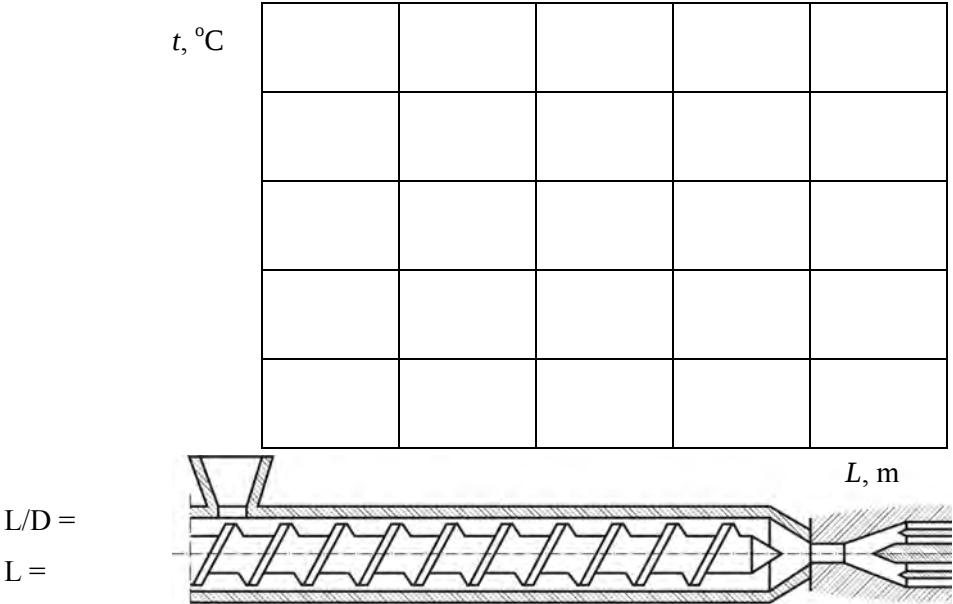
Tabela 1. Wyniki

Lp.	Średnia masa próbek m_w , kg	Czas wytłaczania T_w , s	Temperatura wycłoczyny t_w , °C	Prędkość ślimaka v , s ⁻¹
Wytłaczanie konwencjonalne				
Wytłaczanie autotermiczne				

Tabela 2. Wyniki

Lp.	Gęstość tworzywa ρ , kg/m ³	Gęstość wycłoczyny ρ_t , kg/m ³	$\dot{G}$ kg/s	$\dot{W}$ m ³ /s
Wytłaczanie konwencjonalne				
Wytłaczanie autotermiczne				

5. Wykres



6. Wnioski

Data Podpis

6. Wytłaczanie z granulowaniem

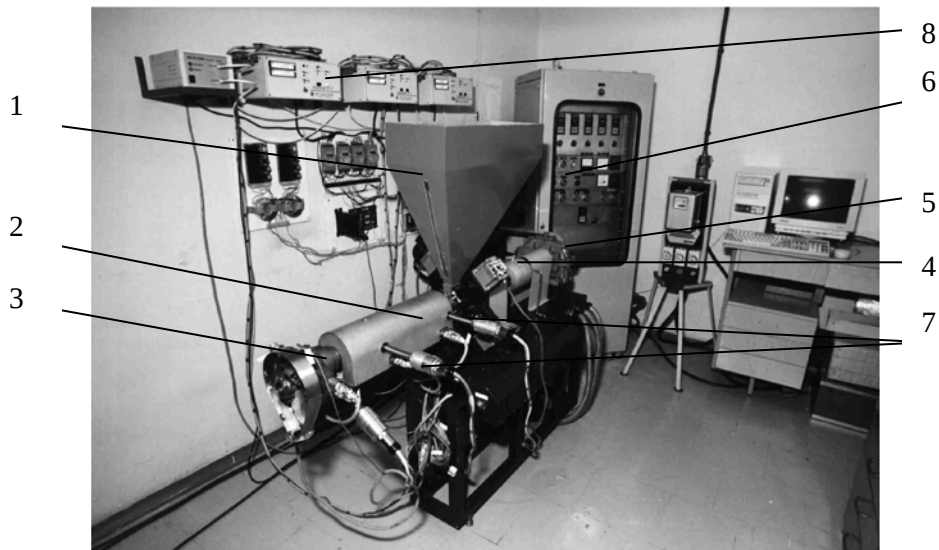
6.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową oraz działaniem linii technologicznej wytłaczania z granulowaniem na ciepło. Celem ćwiczenia jest również określenie cech geometrycznych otrzymanych granulatów oraz ich wpływu na gęstości nasypową granulatów.

6.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego wchodzi linia technologicznego wytłaczania z granulowaniem na ciepło, stanowisko do wyznaczania gęstości nasypowej tworzyw, waga laboratoryjna, suwmiarka.

Na rysunku 6.1 pokazano fragment linii technologicznej obejmujący wytłaczarkę wraz z głowicą wytłaczarską oraz elementami zespołu sterującego – regulującego.



Rys. 6.1. Wygląd ogólny wytłaczarki W-25D, stanowiącej główny element linii technologicznej wytłaczania z granulowaniem: 1 - zasobnik tworzywa, 2 - obudowa układu uplastyczniającego, 3 - głowica wytłaczarska, 4 - momentomierz, 5 - przekładnia zębata, 6 - szafa sterownicza, 7 - czujniki pomiaru ciśnienia i temperatury, 8 - elementy zespołu sterującego –regulującego

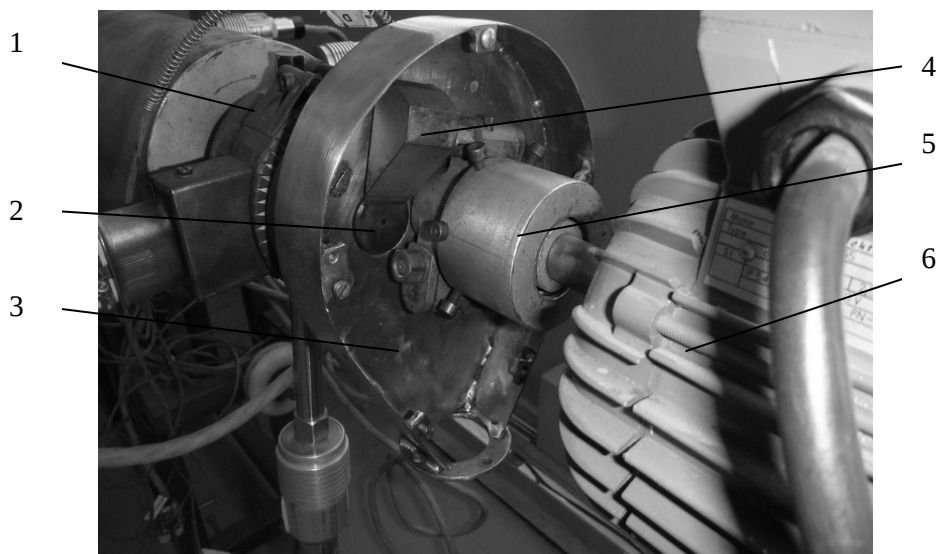
Linia technologiczna wytłaczania z granulowaniem na ciepło jest przeznaczona do wytwarzania granulatu z tworzyw poliolefinowych, głównie z polietylenu i składa się z:

- wytłaczarki laboratoryjnej W-25D,

- głowicy granulacyjnej (rys. 6.2),
- układu sterowania wytłaczarki (szafy sterowniczej),
- układu pomiarowego,
- urządzenia ochładzającego granul (rys. 6.3),
- zespołu sterująco - regulującego.

Budowa oraz opis działania wytłaczarki W-25D został szczegółowo przedstawiony w ćwiczeniu nr 5. Wytłaczarka W-25D ma zamontowaną głowicę wytłaczarską (1) z dyszą o kołowym kształcie przekroju poprzecznego i średnicy 2 mm (rys.6.2). Korpus dyszy (2) jest wymienny co umożliwia otrzymywanie 1, 2, 4 lub 8 prętów o przekroju kołowym.

Z głowicą wytłaczarską współdziała granulator, na którego wirniku (5) zamontowano uchwyt z dwoma nożami tnącymi (4). Oś wirnika granulatora jest przesunięta mimośrodowo względem osi układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej. Głowica wytłaczarska wraz z granulatorem tworzy głowicę granulacyjną, pokazaną na rys. 6.2.

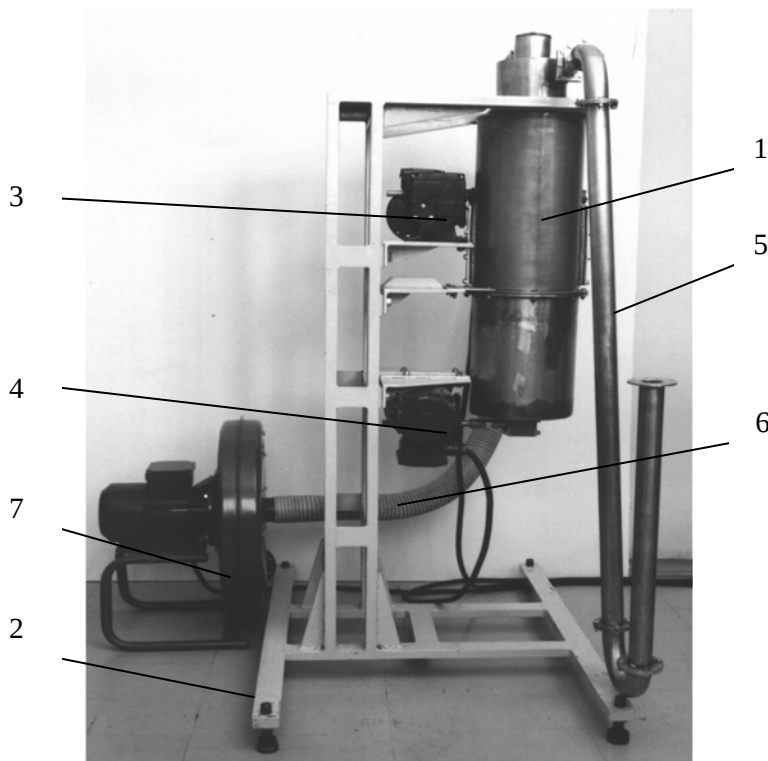


Rys. 6.2. Wygląd głowicy granulacyjnej: 1 - głowica wytłaczarska, 2 - korpus dyszy, 3 - obudowa granulatora, 4 - nóż tnący, 5 - wirnik granulatora, 6 - silnik elektryczny napędu wirnika

Wirnik granulatora może obracać się z prędkością obrotową do 23 s^{-1} i jest napędzany za pomocą silnika elektrycznego typ SG 80-4A, prądu zmiennego o mocy 0,55 kW. Wirnik osłonięty jest zamkniętą obudową.

W głowicy granulacyjnej następuje proces granulowania na ciepło, którego istotą jest cięcie nieswobodne poprzeczne wytwarzanego pręta. Następnie granulat jest transportowany w strumieniu powietrza, wytworzonego przez wentylator promieniowy, do komory urządzenia ochładzającego.

Urządzenie ochładzające granulát (rysunek 6.3) jest połączone konstrukcyjnie z obudową wirnika granulatora głowicy granulacyjnej i stanowi ostatnią część składową omawianej linii technologicznej. Główną częścią urządzenia jest komora ochładzająca granulát (1) osadzona na podstawie (2). W komorze znajdują się śluzy wejściowa i wyjściowa napędzane przez odpowiednie silniki (3, 4). Granulat jest transportowany do komory rurą doprowadzającą (5). Czynnikiem ochładzającym jest powietrze doprowadzane przewodem powietrznym (6) z wentylatora promieniowego (7).



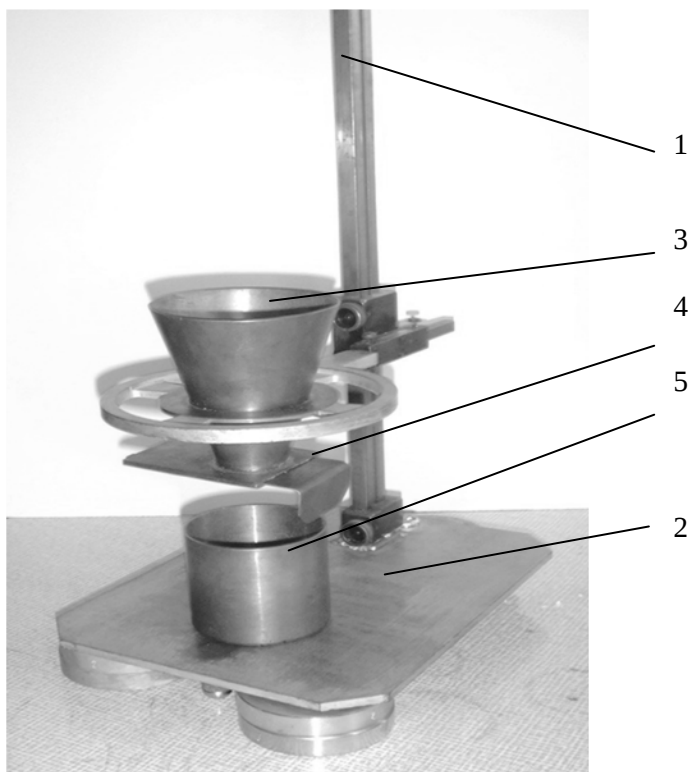
Rys. 6.3. Wygląd ogólny urządzenia ochładzającego granulát: 1 - komora ochładzająca granulát, 2 - podstawa, 3 - silnik napędowy śluzy wejściowej, 4 - silnik napędowy śluzy wyjściowej, 5 - rura doprowadzająca granulát, 6 - przewód powietrzny, 7 - wentylator promieniowy

W komorze granulát przemieszcza się względem jego osi torem śrubowym po stożkowej ścianie wewnętrznej komory. Ochłodzony granulát wydostaje się z urządzenia ochładzającego przez śluzę wyjściową pod wpływem siły ciężkości. Stanowisko badawcze, wyznaczania gęstości nasypowej wytworzonego granulatu, przedstawione zostało na rysunku 6.5.

Stanowisko zbudowane jest z cylindra pomiarowego (5) o pojemności $V = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \pm 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ i średnicy wewnętrznej $88,7 \pm 0,1 \text{ mm}$, ustawionego na podstawie statywu (2), bezpośrednio pod lejkiem zasypowym (3). Lejek

zasypowy z zasuwą (4), do którego zasypujemy tworzywo, umocowany jest przesuwnie na statywie (1) z podstawą.

Do pomiaru masy wytworzonego granulatu należy zastosować wagę elektroniczną typ TP-3/1-1, umożliwiającą pomiar masy do 3000g z dokładnością $\pm 0,1g$, przedstawioną w ćwiczeniu nr 2.



Rys. 6.4. Wygląd stanowiska badawczego pomiaru gęstości nasypowej: 1 - statyw, 2 - podstawa statywu, 3 - lejek zasypowy, 4 - zasuwa, 5 - cylinder pomiarowy

Pomiary długości oraz średnicy otrzymanego granulatu wykonuje się przy pomocy suwmiarki elektronicznej, np. typ Orion EH807557 umożliwiającą pomiar próbek o długości do 150 mm z dokładnością $\pm 0,01$ mm, pokazanej na rys. 4.3 w ćwiczeniu 4.

6.3. Program ćwiczenia

W programie ćwiczenia przyjęto jako czynniki badane:

1) bezpośrednio

- masę wytworzonego granulatu m_g , kg,
- długość granulatu l_g , mm.

2) pośrednio:

- gęstość nasypową granulatu ρ_n , kg/m³.

Czynnikiem zmiennym jest:

- prędkość obrotowa noży tnących głowicy granulacyjnej n_g , s⁻¹, określoną przez prowadzącego laboratorium (pięć wartości).

Jako czynniki stałe przyjęto:

- elementy geometryczne ślimaka, cylindra, głowicy granulacyjnej wraz z nożem tnącym, urządzenia ochładzającego granulát,
- temperaturę w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej,
- prędkość obrotową ślimaka wylączarki, określoną przez prowadzącego laboratorium, np. $v = 2,0 \text{ s}^{-1}$,
- średnicę wytworzonego granulatu,
- objętość cylindra pomiarowego, stanowiska do wyznaczania gęstości nasypowej, $V = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$.

Czynniki zakłócające mogące mieć wpływ na wyniki badań to przede wszystkim, zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa wejściowego oraz wilgotności względnej powietrza. Ocenia się, że wpływ czynników zakłócających jest pomijalnie mały.

6.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Kolejność wykonywanych czynności w celu przeprowadzenia ćwiczenia jest następująca:

1. Sprawdzić stan techniczny stanowiska (prawidłowość połączenia głowicy granulacyjnej z wylączarką, luz między nożami tnącymi a tuleją w głowicy granulacyjnej, połączenie urządzenia ochładzającego granulát).
2. Włączyć zasilanie stanowiska wylączania z granulowaniem.
3. Nastawić odpowiednią temperaturę w kolejnych strefach grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej.
4. Uruchomić napęd głowicy granulacyjnej, a następnie ślimaka wylączarki. Sprawdzić kierunek obrotów noży w głowicy granulacyjnej.
5. Uruchomić układ chłodzenia granulatu.
6. Rozpocząć proces wylączania pręta, jego cięcia w głowicy granulacyjnej i ochładzaniu w urządzeniu ochładzającym.
7. Przy zachowaniu stałych parametrów procesu wylączania należy zmieniać prędkość obrotową noży w głowicy granulacyjnej.
8. Dla pięciu różnych prędkości noży głowicy granulacyjnej, określonych przez prowadzącego zajęcia laboratoryjne, pobrać próbki granulatu do dalszych badań.

9. Określić cechy geometryczne (kształt i rozmiary) otrzymanych granulatów przy zastosowaniu suwmiarki.
10. Wyznaczyć gęstość nasypową granulatów otrzymanych przy pięciu różnych prędkościach obrotowych noży w głowicy granulacyjnej, badania przeprowadzić zgodnie z normą PN-EN 1097-3:2000. *Oznaczanie gęstości nasypowej.*

Gęstość nasypową należy wyznaczyć z zależności

$$\rho_n = \frac{m_g}{V} \quad (6.1)$$

w której występujące czynniki zostały opisane w programie ćwiczenia. Za wynik przyjąć średnią arytmetyczną wartości otrzymanych z co najmniej pięciu pomiarów dla każdego rodzaju granulatu. Pomiar masy wytworzonego granulatu wykonać przy zastosowaniu wagi laboratoryjnej, stanowiącej wyposażenie stanowiska do badań gęstości nasypowej.

6.5. Wyniki

Otrzymane pomiary i wyniki obliczeń należy zestawić w tabeli zamieszczonej we wzorze sprawozdania. Należy również przedstawić graficznie zależności długości granulatu $l_g = f(n_g)$ oraz gęstości nasypowej granulatu $\rho_n = f(n_g)$ od prędkości obrotowej noży głowicy granulacyjnej.

6.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wytłaczania z granulowaniem, wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli, opisane cechy geometryczne otrzymanych granulatów, (kształt i rozmiary), interpretację graficzną otrzymanych wyników w postaci wykresu zależności długości granulatu i gęstości nasypowej granulatu od prędkości obrotowej noży głowicy granulacyjnej, wnioski wynikające z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Dokumentacja techniczno – ruchowa wylączarki W-25D. Ośrodek Badawczo –Rozwojowy Maszyn i Urządzeń Chemicznych Metalchem w Toruniu, Toruń 1994.
2. Sikora J.: Studium autotermiczności procesu wytłaczania i strefy rowkowanej wylączarki. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej. Lublin 2000.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Sikora R.: Obróbka tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1996.
5. Polska Norma PN-EN 1097-3:2000. Oznaczanie gęstości nasypowej.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wytłaczanie z granulowaniem		Nr ćwiczenia 6	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

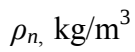
3. Warunki procesu wytłaczania z granulowaniem

4. Wyniki ćwiczenia

Tabela 1 . Wyniki

Lp.	Prędkość obrotowa noży głowicy gra- nulacyjnej n_g, s^{-1}	Średnia masa tworzywa m_g, kg	Gęstość nasypowa $\rho_n, kg/m^3$	Długość granulatu l_g, mm
1				
2				
3				
4				
5				

5. Wykresy



 $n_g, \text{ s}^{-1}$

$l_g, \text{ mm}$					

$n_g, \text{ s}^{-1}$

Opis cech geometrycznych granulatów:

6. Wnioski

Data Podpis

7. Wytłaczanie taśmy

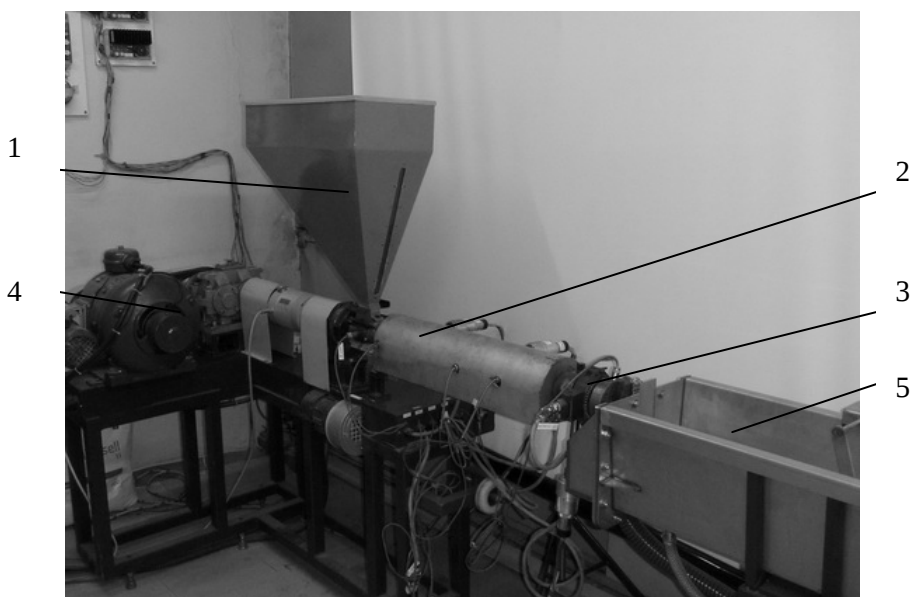
7.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie procesu wytłaczania taśmy, przy zastosowaniu co najmniej dwóch różnych tworzyw termoplastycznych lub tworzyw zawierających wypełniacze organiczne. Celem ćwiczenia jest również wyznaczenie wybranych właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu wytworzonych taśm z tworzyw termoplastycznych.

7.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze, przeprowadzenia ćwiczenia, obejmuje następujące elementy:

- linię technologiczną wytłaczania taśmy (rys. 7.1),
- praskę z wykrojnikiem do wycinania próbek do badań wytrzymałościowych,
- maszynę wytrzymałościową z oprzyrządowaniem.

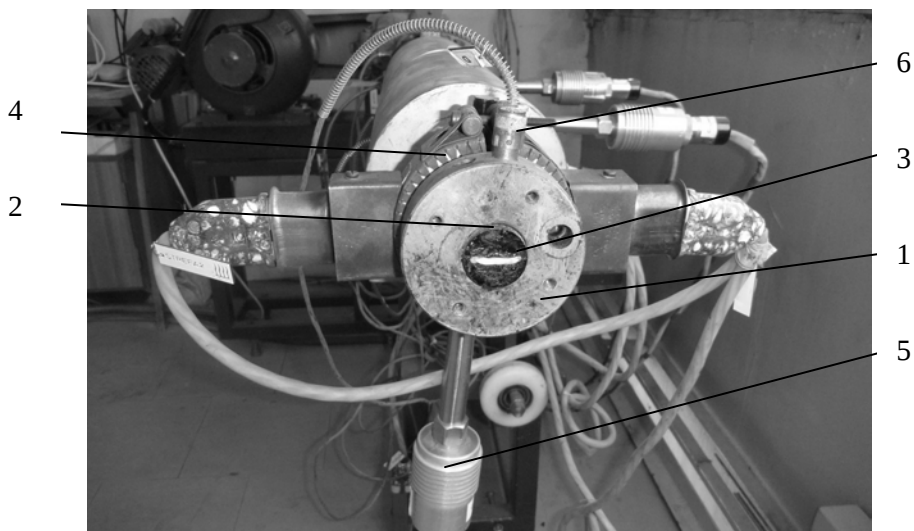


Rys. 7.1. Wygląd fragmentu linii technologicznej wytłaczania taśmy: 1 - zasobnik tworzywa, 2 - obudowa układu uplastyczniającego, 3 - głowica wytłaczarska, 4 - silnik układu napędowego, 5 - urządzenie ochładzające (wanna chłodząca)

W skład linii technologicznej wytłaczania taśmy wchodzi: wytłaczarka W-25D, głowica wytłaczarska szczelinowa płaska, układ kalibrujący, urządzenie ochładzające (wanna chłodząca), urządzenie odbierające. Stanowisko technologiczne jest przeznaczone do wytwarzania taśm z tworzyw termoplastycznych,

głównie tworzyw poliolefinowych. Stanowisko badawcze jest wyposażone w wylączarkę W-25D wykonaną w Instytucie Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych „Metalchem” w Toruniu. Szczegółowa budowa oraz zasada działania wylączarki W-25D została opisana w ćwiczeniu numer 5.

Głowica wylączarska linii technologicznej wylączania taśmy została pokazana na rysunku 7.2 i 7.3. Głowica wylączarska do taśmy wyposażona jest w jedną strefę grzejną z założonym grzejnikiem elektrycznym pierścieniowym, czujnikiem pomiaru ciśnienia i temperatury tworzywa oraz drugim czujnikiem temperatury - termoparą. Głowica charakteryzuje się wymienną dyszą szczelinową do wytwarzania taśmy. Szerokość dyszy, zastosowanej w prowadzonych badaniach wynosi 22,00 mm, zaś jej wysokość = 1,40 mm.



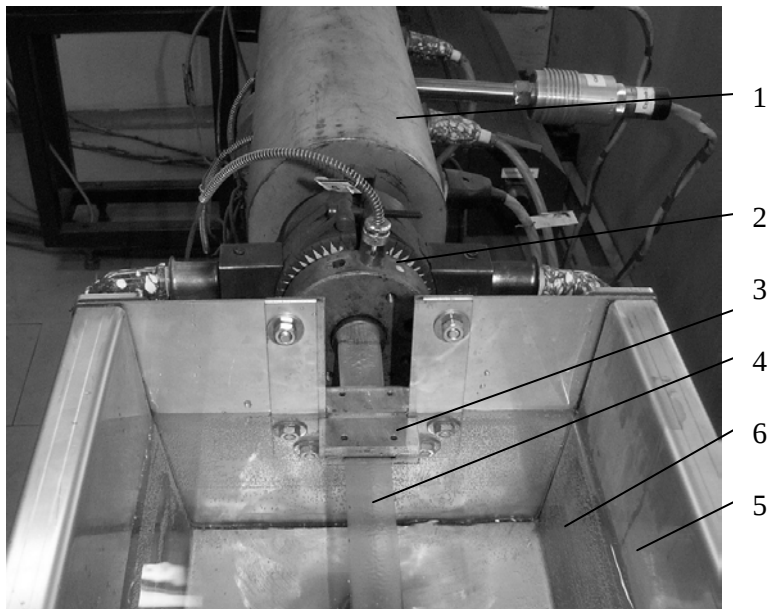
Rys. 7.2. Wygląd głowicy wytłaczarskiej szczelinowej płaskiej do wytwarzania taśmy: 1 - korpus głowicy, 2 - korpus dyszy głowicy, 3 – dysza szczelinowa z widoczną wypływką tworzywa, 4 - grzejnik pierścieniowy, 5 - czujnik ciśnienia i temperatury tworzywa, 6 - czujnik temperatury tworzywa (termopara)

W badaniach zastosowano wymienny układ kalibrujący, widoczny na rysunku 7.3, znajdujący się w początkowej części urządzenia ochładzającego. Układ kalibrujący wykonany jest z mosiądzu, ma budowę blokową, dwuczęściową, zaś jego wymiary wewnętrzne w przekroju poprzecznym odpowiadają przekrojowi poprzecznemu wytwarzanej wytłoczyny. Chłodzenie układu kalibrującego odbywa się za pomocą zimnej wody doprowadzanej do urządzenia ochładzającego.

Urządzenie ochładzające (wanna chłodząca), którego fragment przedstawiono na rysunku 7.3, przeznaczone jest do chłodzenia otrzymywanych kształtowników z tworzyw. Wymiary urządzenia są następujące: długość - 2000 mm, szerokość - 270 mm, głębokość wanny - 200 mm, wysokość regulowana automatycznie, za pomocą układu sterowania, w zakresie od 800 mm do 1180 mm.

Wysokość urządzenia regulowana jest za pomocą dwóch siłowników napędzanych za pomocą silnika elektrycznego.

W urządzeniu zastosowano zanurzeniowy sposób chłodzenia wytłoczyny. Część mechaniczna urządzenia wykonana jest z elementów stalowych. Elementy mające bezpośredni kontakt z czynnikami, mogącymi wpłynąć na przyspieszone zużycie korozyjne, wykonane zostały z materiałów o właściwościach antykorozyjnych (stal nierdzewna). Korpus urządzenia stanowi rama wykonana jako konstrukcja spawana z kształtowników stalowych do której zamocowane zostały poszczególne podzespoły urządzenia.

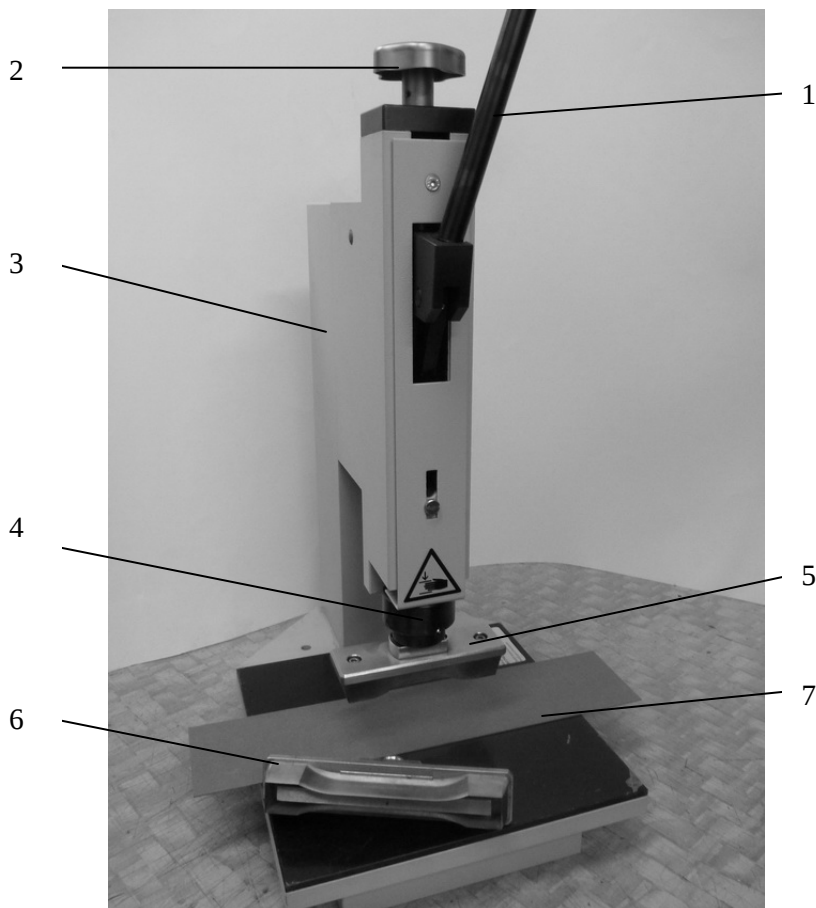


Rys. 7.3. Fragment linii technologicznej do wytłaczania taśmy z widoczną wytłaczaną taśmą: 1 - obudowa układu uplastyczniającego, 2 - głowica wytłaczarska, 3 - układ kalibrujący, 4 - wytłaczana taśma, 5 - wanna chłodząca, 6 - woda chłodząca

Pozycjonowanie wytłoczyny w wannie chłodzącej odbywa się za pomocą rolek prowadzących wykonanych z poliamidu PA6. Na końcu wanny chłodzącej zamontowana jest przegroda umożliwiająca wstępne usuwanie nadmiaru wody. Wanna wyposażona jest w system zamkniętego układu wodnego, eliminujący konieczność poboru wody ze źródła zewnętrznego.

Do wycinania próbek pomiarowych, do badań wytrzymałościowych otrzymanych z wytłoczony taśmy należy zastosować specjalistyczną praskę do wycinania próbek Zwick ZCP 020. Praska, której elementy składowe zostały pokazane na rysunku 7.4, ma zamontowany wykrojnik służący do wycinania próbek pomiarowych w kształcie wiosełek i wymiarach zgodnych z odpowiednią nor-

mą, określającą wymagania dotyczące kształtu i wymiarów próbek do badań wytrzymałości na rozciąganie [4].



Rys. 7. 4. Wygląd praski do wycinania próbek Zwick ZCP 020 wraz z wykrojnikiem: 1 - dźwignia napędowa, 2 - pokrętło regulacji wysokości, 3 - głowica tnąca, 4 - popychacz głowicy, 5 - wykrojnik mały, 6 - wykrojnik duży, 7 - podkładka zabezpieczająca

Pokazana na rysunku praska do próbek ma ręczny dźwigniowy układ napędowy. Odległość między podkładką a popychaczem może być zmieniana w zakresie od 105 do 155 mm, maksymalna siła tnąca wynosi 20 kN, zaś skok popychacza praski = 41 mm.

Wyznaczanie właściwości wytrzymałościowych tworzyw przy statycznym rozciąganiu przebiega przy zastosowaniu maszyny wytrzymałościowej firmy Zwick (rys. 7.5). Maszyna wytrzymałościowa składa się z układu rozciągającego, (obejmującego ramę stalową, dwa uchwyty, ruchomą poprzeczkę), urządzenia do pomiaru obciążenia rozciągającego działającego na próbkę oraz ekstensometru. Próbkę tworzywa mocuje się w nieruchomym uchwycie dolnym (3)

maszyny, przytwierdzonym do ramy oraz w uchwycie górnym (2), zamocowanym do ruchomej poprzeczki (4), przesuwającej się wzdłuż ramy (1).



Rys. 7. 5. Wygląd maszyny wytrzymałościowej wraz z oprzyrządowaniem podczas statycznego rozciągania tworzyw: 1 - rama stalowa, 2 - uchwyt górny, 3 - uchwyt dolny, 4 - ruchoma poprzeczka, 5 - zespół sterowniczy, 6 - stanowisko komputerowe

Do elektronicznego sterowania działaniem maszyny jest wykorzystywany zespół sterowniczy (5) oraz stanowisko komputerowe (6). Działaniem układu rozciągającego steruje komputer, zaś odpowiednie oprogramowanie i oprzyrządowanie maszyny umożliwia przeprowadzenie nie tylko próby rozciągania, ale również ściskania, zginania, zmęczenia, pełzania itp. Maszyna wytrzymałościowa Zwick zapewnia działanie z maksymalną siłą rozciągającą do 10 kN i prędkością rozciągania do 200 mm/min.

7.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1) bezpośrednio:

- powierzchnię przekroju poprzecznego próbki do badań wytrzymałościowych, A , mm,
- maksymalną siłę rozciągającą, F_M , N,

- siłę, przy której próbka uległa zerwaniu, F_B, N ,
- zmianę długości odcinka pomiarowego próbki w chwili zerwania Δl_B , mm,
- zmianę długości odcinka pomiarowego próbki przy maksymalnej sile rozciągającej, Δl_M , mm,

2) pośrednio

- wytrzymałość na rozciąganie (maks. naprężenie rozciągające), σ_M , MPa,
- naprężenie przy zerwaniu, σ_B , MPa,
- odkształcenie względne przy zerwaniu, ε_B , %
- odkształcenie względne przy maksymalnym naprężeniu rozciągającym, ε_M , %.

Czynnikiem zmiennym jest:

- rodzaj przetwarzanego tworzywa do wytłaczania, wskazane przez prowadzącego laboratorium (minimum dwa rodzaje tworzywa lub jeden rodzaj tworzywa z wypełniaczami).

Czynnikami stałymi są:

- elementy konstrukcyjne wytłaczarki, głowicy wytłaczarskiej, urządzeń uzupełniających,
- temperatura i ciśnienie w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej,
- wielkość wykrojnika zamontowanego w prasce do wycinania próbek badawczych,
- elementy konstrukcyjne maszyny wytrzymałościowej,
- warunki pomiarowe (zakres siły rozciągającej, prędkość rozciągania) podczas prowadzenia badań właściwości wytrzymałościowych.

Czynniki zakłócające, których wpływ jest pomijalnie mały, to przede wszystkim niestabilność prądu elektrycznego, zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa wejściowego oraz wilgotności względnej powietrza.

7.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

W celu prawidłowego wykonania ćwiczenia należy przeprowadzić następujące czynności:

1. Włączyć zasilanie stanowiska technologicznego wytłaczania taśmy.
2. Nastawić warunki procesu wytłaczania (temperatura poszczególnych stref grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej), oraz ustalić początkową liczbę obrotów ślimaka wytłaczarki.
3. Wprowadzić wybrany pierwszy rodzaj tworzywa do zasobnika (przy zamkniętej zasuwie otworu zasypowego).
4. Po osiągnięciu nastawionej temperatury przez poszczególne strefy grzejne układu uplastyczniającego i głowicy wytłaczarskiej, uruchomić ślimak

wytłaczarki, wyciągnąć zasuwę otworu zasypowego i rozpocząć proces wytłaczania taśmy.

5. Wprowadzić otrzymaną wytłoczynę w postaci taśmy do urządzenia kalibrującego, a następnie urządzenia chłodzącego (wanny chłodzącej) i urządzenia odciągającego.
6. Wytłoczyć taśmę o długości określonej przez prowadzącego ćwiczenia, oznaczając na taśmie numer wykonanej próby.
7. Wytłoczyć całkowitą ilość zasypanego pierwszego tworzywa.
8. Zasypać do zasobnika drugi rodzaj tworzywa, powtórzyć proces wytłaczania taśmy zgodnie z punktami 5, 6 oraz 7.
9. Przerwać proces wytłaczania, wyłączyć linię technologiczną.
10. Pociąć wytworzoną taśmę na odpowiednie odcinki o długości 150÷200 mm, a następnie przy zastosowaniu praski do wycinania próbek, wyciąć próbki, (minimum 5 próbek dla każdego rodzaju tworzywa) w postaci wiosek do badań wytrzymałościowych przy rozciąganiu.
11. Określenie właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu, należy wykonać przy zastosowaniu maszyny wytrzymałościowej wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem, zgodnie z odpowiednią normą: PN-EN ISO 527-1: 2010. *Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu.*

Wyznaczając cechy wytrzymałościowe przy statycznym rozciąganiu wykonać trzeba następujące czynności:

- a) Nanieść na wyciętych próbkach pomiarowych (wiosekach) kreski ograniczające odcinek pomiarowy.
- b) Zmierzyć grubość oraz szerokość odcinka pomiarowego próbek i na tej podstawie obliczyć powierzchnię początkową A przekroju poprzecznego próbek.
- c) Zamocować pierwszą próbkę w uchwycie górnym i dolnym maszyny wytrzymałościowej.
- d) Nastawić żadaną prędkość rozciągania i uruchomić maszynę wytrzymałościową, obserwując jednocześnie rejestrację wykresu obciążenia w funkcji wydłużenia aż do momentu zerwania próbki pomiarowej.
- e) Wyznaczyć czynniki badane bezpośrednio i pośrednio, zgodnie z programem ćwiczenia.
- f) Powtórzyć czynności dla pozostałych próbek, minimum 5 próbek z taśmy dla każdego rodzaju tworzywa.

Napężenie σ_B przy zerwaniu wyznacza się z zależności

$$\sigma_B = \frac{F_B}{A} \quad (7.1)$$

Wytrzymałość na rozciąganie, σ_M określa zależność

$$\sigma_M = \frac{F_M}{A} \quad (7.2)$$

Odształcenie względne ε_B przy zerwaniu należy obliczyć korzystając z równania

$$\varepsilon_B = \frac{\Delta l_B}{l_o} \cdot 100\% \quad (7.3)$$

zaś odkształcenie względne ε_M przy maksymalnym naprężeniu rozciągającym, wyznaczyć analogicznie z zależności

$$\varepsilon_M = \frac{\Delta l_M}{l_o} \cdot 100\% \quad (7.4)$$

w którym l_o jest początkową długością odcinka pomiarowego próbki, równą 80 mm. Pozostałe wielkości występujące we wzorach 7.1, 7.2, 7.3 7.4, zgodne z obowiązującą normą, zostały opisane w programie ćwiczenia.

7.5. Wyniki

Wyniki pomiarów i badań należy zestawić w tabeli 1 oraz tabeli 2 zamieszczonej we wzorze sprawozdania. Interpretację graficzną wyników prowadzonych badań, wytrzymałości na rozciąganie i naprężenia przy zerwaniu od odkształcenia względnego, dla różnych rodzajów tworzyw przedstawić w formie wykresów blokowych.

7.6. Sprawozdanie

Prawidłowo sporządzone sprawozdanie powinno zawierać: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wytłaczania taśmy, wyniki pomiarów i obliczeń właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu zestawione w tabelach, interpretację wyników w postaci wykresów blokowych, zależności wytrzymałości na rozciąganie i przy zerwaniu od odpowiedniego odkształcenia względnego, wnioski wynikające z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Dokumentacja techniczno – ruchowa wytłaczarki W-25D. Ośrodek Badawczo –Rozwojowy Maszyn i Urządzeń Chemicznych „Metalchem” w Toruniu, Toruń 1994.
2. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
3. Pielichowski J., Puszyński A.: Technologia tworzyw sztucznych. Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa 1998.
4. PN-EN ISO 527-1: 2010. Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wytłaczanie taśmy		Nr ćwiczenia 7	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

3. Warunki procesu wytłaczania

4. Wyniki ćwiczenia

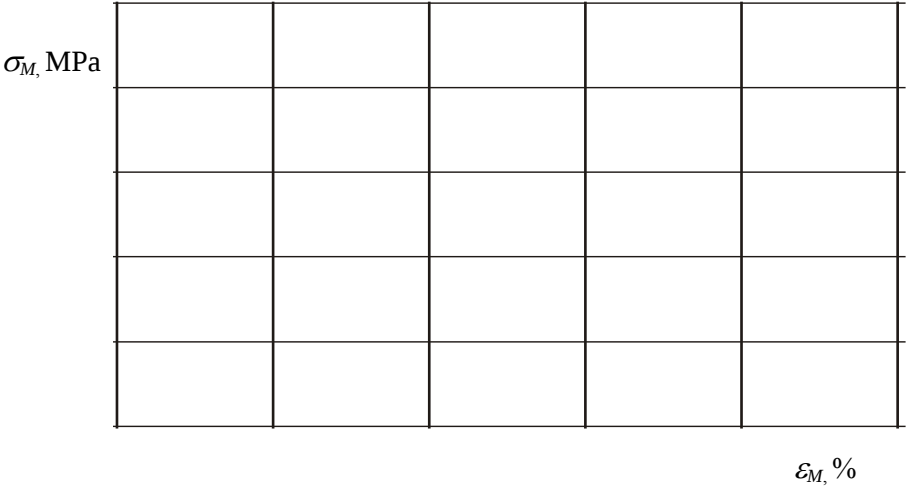
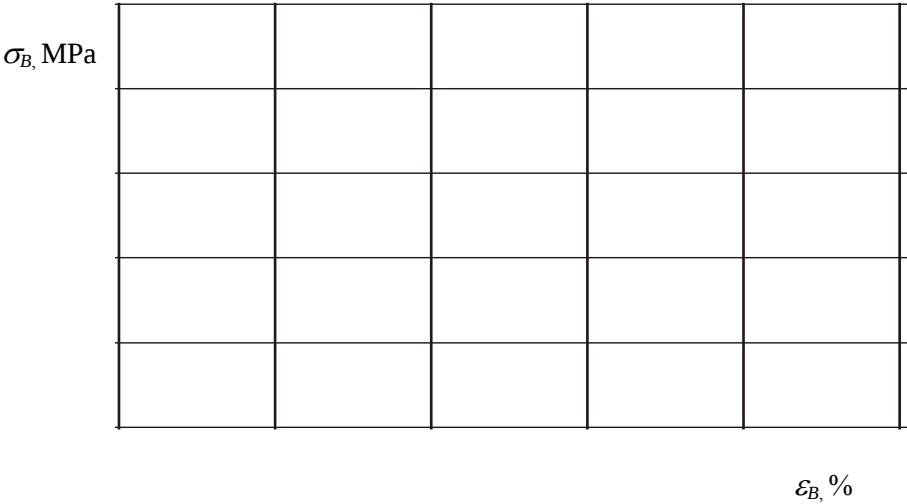
Tabela 1. Wyniki pomiarów

Lp.	Rodzaj tworzywa	Przekrój próbki A, mm^2	Maks. siła rozciągająca F_M, N	Wartość średnia $\overline{F_M}, \text{N}$	Siła przy zerwaniu próbki F_B, N	Wartość średnia $\overline{F_B}, \text{N}$
1						
2						
3						
4						
5						
1						
2						
3						
4						
5						

Tabela 2. Wyniki obliczeń

Lp.	Wytrzymałość na rozciąganie σ_M, MPa	Wartość średnia $\overline{\sigma_M}, \text{MPa}$	Napężenie przy zerwaniu σ_B, MPa	Wartość średnia $\overline{\sigma_B}, \text{MPa}$	Wartość średnia $\overline{\varepsilon_B}, \%$	Wartość średnia $\overline{\varepsilon_M}, \%$
1						
2						
3						
4						
5						
1						
2						
3						
4						
5						

5. Wykresy



6. Wnioski

Data Podpis

8. Wytłaczanie z rozdmuchiwaniami folii

8.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie procesu technologicznego wytłaczania z rozdmuchiwaniami oraz budowy i działania linii technologicznej wytłaczania z rozdmuchiwaniami swobodnym. Celem ćwiczenia jest również wyznaczenie stopnia rozciągania oraz grubości wytworzonej folii jednowarstwowej.

8.2. Stanowisko badawcze

W skład stanowiska badawczego wchodzi linia technologiczna wytłaczania z rozdmuchiwaniami folii W-25/25 oraz stanowisko do pomiaru grubości folii.

Linia technologiczna wytłaczania z rozdmuchiwaniami folii, pokazana na rysunku 8.1, składa się z:

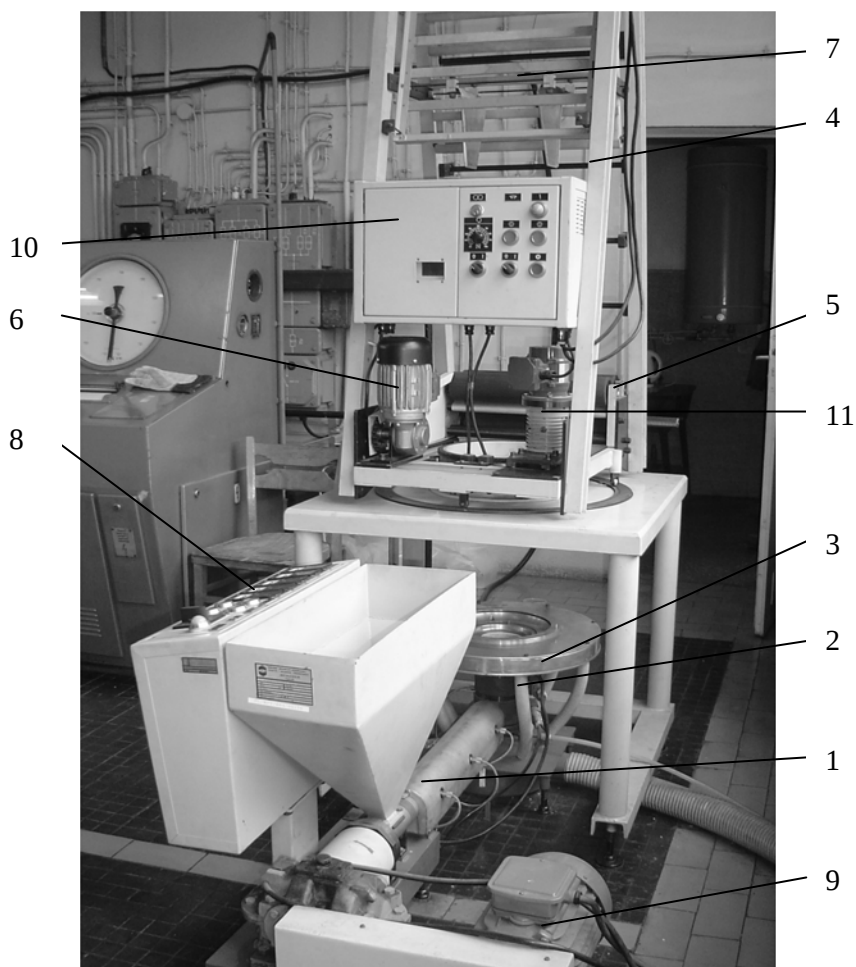
- wytłaczarki laboratoryjnej W-25/25 z głowicą krzyżową,
- urządzenia nadmuchującego chłodzącego,
- ramy odciągowej,
- urządzenia spłaszczającego,
- urządzenia odbierającego,
- urządzenia nawijającego.

W tabeli 8.1 przedstawiono charakterystykę techniczną linii technologicznej, według danych producenta [1].

Tabela 8.1. Dane techniczne linii technologicznej wytłaczania z rozdmuchiwaniami [1]

Lp.	Wielkość charakterystyczna	Jednostka	Wartość
1	Maks. wydajność wytłaczania	kg/h	8
2	Średnica ślimaka	mm	25
3	Stosunek długości części roboczej ślimaka do średnicy	-	25
4	Liczba obrotów ślimaka	s ⁻¹	2,8
5	Grubość folii wytłaczanej	μm	30÷120
6	Prędkość odbierania folii	m/s	4,6÷31×10 ⁻²
7	Minimalny czas nagrzewania układu uplastyczniającego i głowicy	s	1800
8	Masa linii technologicznej	kg	490

Linia technologiczna jest przeznaczona do wytwarzania folii z polietylenu małej gęstości PE-LD, poddanej następnie innym procesom przetwórstwa lub obróbki np. zgrzewaniu, drukowaniu, rozdzielaniu cieplnemu, najczęściej stosowanej do różnego rodzaju opakowań workowych.

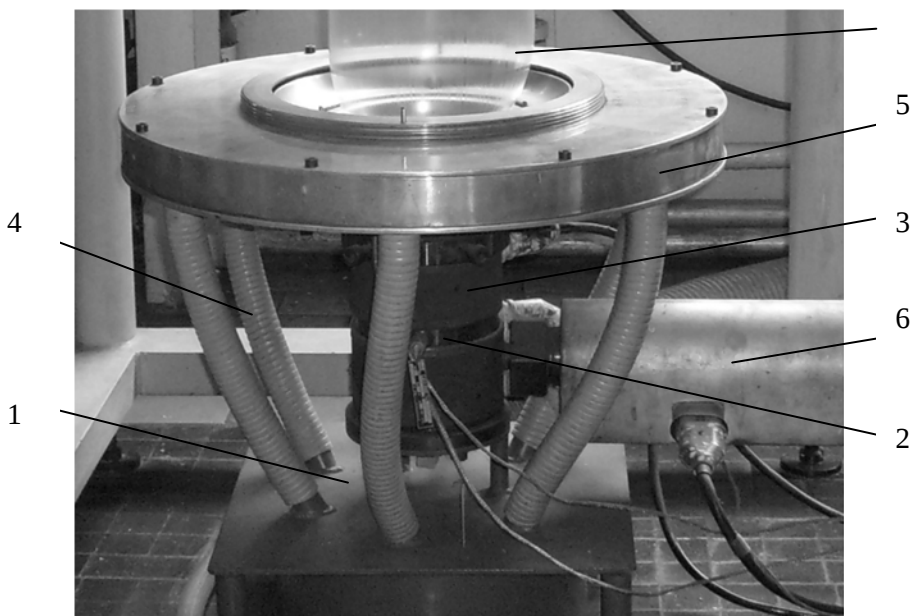


Rys. 8.1. Wygląd ogólny linii technologicznej wytłaczania z rodmuchiowaniem: 1 - układ uplastyczniający wytłaczarki W-25/25, 2 - głowica krzyżowa, 3 - pierścień chłodzący urządzenia nadmuchująco chłodzącego, 4 - rama odciągowa, 5 - walec urządzenia odbierającego, 6 - silnik napędowy urządzenia odbierającego, 7 - listwy spłaszczające, urządzenia spłaszczającego, 8 - zespół sterujący wytłaczarki, 9 - silnik elektryczny napędu układu uplastyczniającego, 10 - zespół sterujący urządzenia odbierającego, 11 - silnik elektryczny ruchu obrotowego ramy odciągowej

Wytłaczarka laboratoryjna W-25/25, stanowiąca integralną część linii technologicznej wytłaczania z rodmuchiowaniem jest zbudowana z następujących elementów, układów i zespołów:

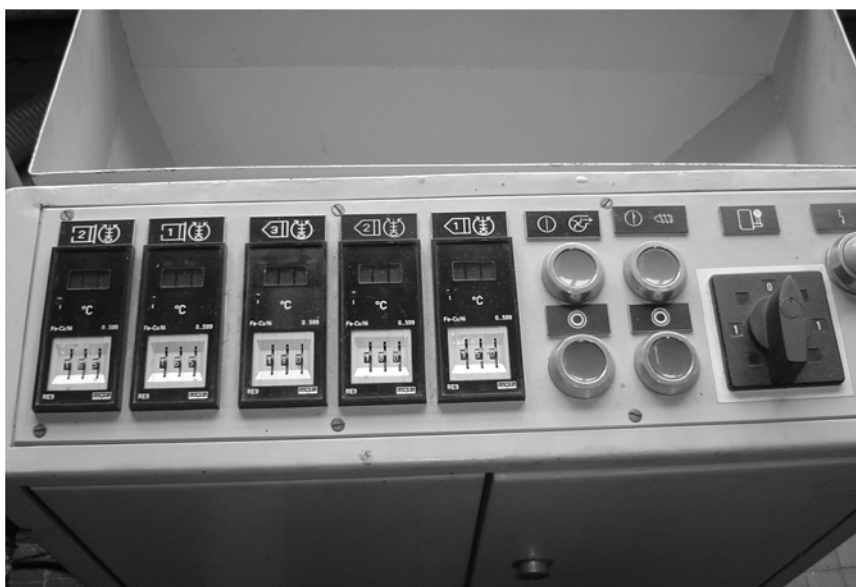
- układ uplastyczniający, składający się ze ślimaka o średnicy 25 mm i długości roboczej $L = 25 D$. W tylnej części cylindra jest wykonany otwór zasypowy, na którym jest przymocowany zasobnik grawitacyjny tworzywa wejściowego.

- głowica krzyżowa, przeznaczona do wytwarzania folii jednowarstwowej z możliwością regulacji grubości i szerokości wytwarzanej folii (rys. 8.2), o średnicy rdzenia równej 90 mm i szerokości szczeliny pierścieniowej dyszy 0,8 mm.
- zespół grzejny układu uplastyczniającego, w którego skład wchodzi osiem grzejników o średnicy 51 mm, mocy 300 W i napięciu 220 V podzielonych na trzy strefy, w które są wbudowane trzy czujniki temperatury o zakresie pomiaru od 0 do 400°C.
- zespół grzejny głowicy wylączarskiej obejmujący trzy grzejniki o mocy 600 W, każdy z wbudowanymi dwoma czujnikami temperatury.



Rys. 8.2. Wygląd głowicy krzyżowej wraz z urządzeniem nadmuchiującym chłodzącym: 1 - podstawa głowicy, 2 - korpus głowicy, 3 - grzejniki elektryczne, 4 - przewody rurowe urządzenia nadmuchiującego chłodzącego, 5 - pierścień chłodzący, 6 - fragment układu uplastyczniającego, 7 - wytłaczana folia

- układ napędowy składający się z silnika prądu przemiennego o mocy 2,5 kW, prędkości obrotowej $23,6 \text{ s}^{-1}$, zasilanego prądem elektrycznym 380 V, przekładni pasowej o przełożeniu 0,77 oraz przekładni zębatej redukcyjnej o przełożeniu 0,16.
- zespół sterujący wraz z układem termostatuującym trzy strefy układu uplastyczniającego i dwie strefy głowicy wylączarskiej, przedstawiony na rys. 8.3.



Rys. 8.3. Wygląd fragmentu zespołu sterującego wylączarki W-25/25

Urządzenie nadmuchujące chłodzące składa się z silnika prądu przemiennego o mocy 0,55 kW zasilanego prądem elektrycznym 380 V napędzającego wentylator, z którego powietrze jest tłoczone poprzez przewód rurowy i przepustnicę z regulacją do zbiornika wyrównawczego, usytuowanego pod podstawą głowicy (1), skąd jest rozprowadzane sześcioma przewodami rurowymi (4) o mniejszej średnicy do pierścienia chłodzącego (5) usytuowanego na głowicy wylączarskiej (rys. 8.2).

Doprowadzenie powietrza rozdmuchowego do głowicy wylączarskiej jest realizowane z tego samego wentylatora poprzez przewód rurowy o małej średnicy, z zaworem odcinającym przepływ powietrza. Przewód rurowy jest podłączony do kanału rozdmuchowego w głowicy wylączarskiej.

Rama odciągowa linii technologicznej, wykonana z kształtowników metalowych, stanowi konstrukcję, na której zamocowane jest urządzenie spłaszczające, urządzenie odbierające i urządzenie nawijające. Na ramie odciągowej zamontowany jest również zespół sterujący urządzeniami odbierającego, rolki prowadzące wytwarzaną folię oraz silnik elektryczny o momencie obrotowym 45 Nm wraz z przekładnią redukcyjną zadający ruch obrotowy ramy odciągowej w zakresie do 350° i dwa przełączniki krańcowe umożliwiające zwrotny ruch obrotowy ramy.

Urządzenie spłaszczające, którego fragment pokazano na rysunku 8.1. składa się z zespołu listew spłaszczających oraz pary wałków spłaszczających umocowanych w górnej części ramy odciągowej. Zespół listew spłaszczających składa się z dwóch podzespołów, jeden z podzespołów jest nieruchomy, drugi może

przyjmować dwa położenia: rozruchowe – podzespół listew odchylony i robocze – podzespół listew ustawiony pod odpowiednim kątem. Walcki spłaszczające dociskane są do siebie za pomocą sprężyn.

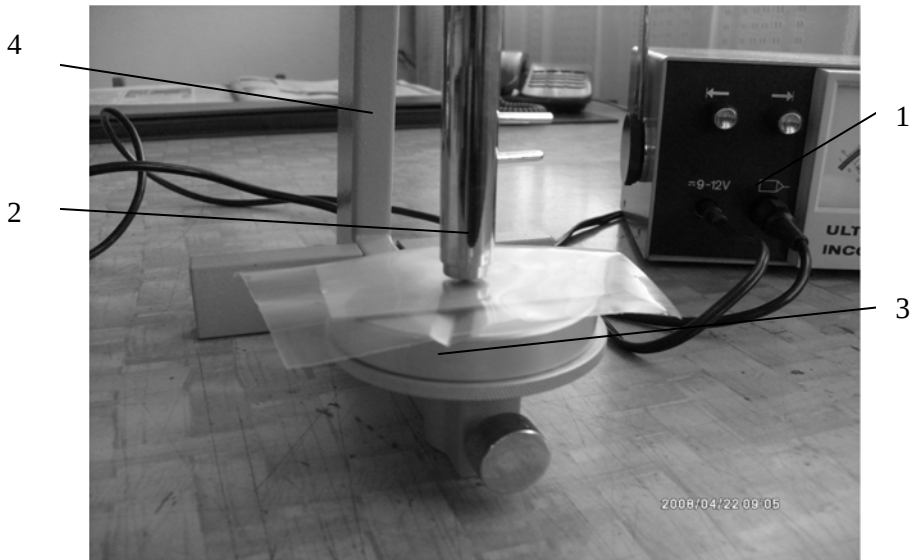
Urządzenie odbierające, pokazane na rys. 8.4, składa się z dwóch walców, wykonanych z rolek metalowych pokrytych na powierzchni walcowej warstwą gumy. Jeden z walców jest napędzany z silnika elektrycznego o mocy 0,25 kW, prędkości obrotowej do 46 s^{-1} , przez przekładnię redukcyjną łańcuchową. Siła tarcia niezbędna do wprowadzenia w ruch drugiego walca i przemieszczania pomiędzy nimi spłaszczonej folii, powstaje wskutek wzajemnego docisku walców za pomocą sprężyny.



Rys. 8.4. Urządzenie odbierające i urządzenie nawijające linii technologicznej wytłaczania z rozdmuchiwaniem: 1 - silnik elektryczny urządzenia odbierającego, 2 - walec napędzany urządzenia odbierającego, 3 - szpula nawijająca urządzenia nawijającego, 4 - wytworzona folia, 5 - silnik elektryczny ruchu obrotowego ramy odciągowej

Urządzenie nawijające (rys. 8.4), składa się z dwóch walców, z których jeden jest napędzany bezpośrednio z silnika urządzenia odbierającego poprzez przekładnię łańcuchową, a tym samym prędkość nawijania folii jest zależna od prędkości rozciągania folii.. Szpula nawijająca, na którą jest nawijana wytworzona folia jest wymienna i obraca się wskutek docisku jej do walca napędzanego urządzenia nawijającego. Szerokość maksymalna nawijanej folii wynosi 400 mm, średnica wewnętrzna rulonu folii waha się w granicach od 74 do 84 mm.

Stanowisko do wyznaczania grubości otrzymanej folii, pokazane na rysunku 8.5, stanowi urządzenie do pomiarów grubości, ultrametr A91.



Rys. 8.5. Wygląd stanowiska do badania grubości folii za pomocą ultrametru A91: 1 - układ sterowania i odczytu, 2 - głowica pomiarowa, 3 - stolik pomiarowy, 4 - statyw

Ultrametr jest przyrządem przeznaczonym do szybkich, dokładnych i nie niszczących pomiarów grubości różnych wytworów w tym folii. Zakres pomiaru grubości folii wynosi: $0 \div 3000 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, zasilanie - 230 V, masa 2,3 kg.

Jest to urządzenie o działaniu elektromagnetycznym. Głowica pomiarowa (2) stanowi transformator prądu stałego o otwartym obwodzie magnetycznym. Napięcie indukowane w głowicy pomiarowej, za pomocą układu sterowania i odczytu (1), jest przetwarzane na sygnał odczytywany jako wymiar liniowy w μm .

8.3. Program ćwiczenia

W programie ćwiczenia przyjęto jako czynniki badane:

1) bezpośrednio:

- szerokość spłaszczonej folii, B , mm,
- grubość otrzymanej folii g_1 , mm.

2) pośrednio:

- stopień rozciągania w kierunku poprzecznym, R_p ,
- stopień rozciągania w kierunku wzdłużnym, R_w .

Czynnikiem zmiennym jest:

- prędkość obrotowa walców urządzenia odbierającego, n , s^{-1} , określona przez prowadzącego zajęcia.

Czynnikami stałymi są:

- szerokość szczeliny pierścieniowej dyszy głowicy wylączarskiej g_0 , mm,
- średnica rdzenia głowicy, d , mm,
- temperatura nastawiana w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego; przykładowo dla PE-LD:
 - strefa zasilania -150°C,
 - strefa przemiany - 180°C,
 - strefa dozowania - 190°C,
- temperatura nastawiana w głowicy wylączarskiej; przykładowo dla PE-LD: w dwóch strefach grzejnych: 165°C.

Czynniki zakłócające, mogące wpływać niekorzystnie na wyniki, to głównie zmiany:

- napięcia od około 215 do 225°C,
- temperatury otoczenia od 20 do 24°C,
- wilgotności tworzywa wejściowego od 0,04 do 0,06%,
- wilgotności względnej powietrza od 55 do 65%.

Ocenia się, że wpływ czynników zakłócających jest pomijalnie mały.

8.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Aby ćwiczenie zostało wykonane prawidłowo, należy przeprowadzić następujące czynności:

1. Włączyć linię technologiczną wytłaczania z rozdmuchiwaniami folii.
2. Ustalić i nastawić temperaturę w poszczególnych strefach grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej. Napęlić zasobnik tworzywa granulatem.
3. Poprzez odpowiednie otwarcie przepustnicy nastawić wstępne minimalne natężenie przepływu powietrza w urządzeniu nadmuchiującym chłodzącym.
4. Ustawić wstępną prędkość obrotową walców urządzenia odbierającego.
5. Po osiągnięciu nastawionej temperatury w poszczególnych strefach grzejnych układu uplastyczniającego i głowicy wylączarskiej (ok. 30 min), uruchomić ślimak wylączarki i rozpocząć proces wytłaczania folii.
6. Wprowadzić, opuszczając głowicę, wytłoczoną w postaci folii rurowej, do urządzenia spłaszczającego, a następnie urządzenia odbierającego.
7. Zwiększyć natężenie strumienia powietrza w urządzeniu nadmuchiującym chłodzącym, zwiększyć prędkość obrotową walców urządzenia odbierającego w celu wytłaczania folii rurowej o ustalonej szerokości i grubości.
8. Po ustabilizowaniu się procesu wytłaczania folii rurowej, o ustalonej szerokości i grubości, zamknąć dopływ powietrza nadmuchiującego do folii rurowej, założyć szpulę urządzenia nawijającego, odciąć wytłoczoną do tej pory folię - stanowiącą odpad powstały przy rozruchu linii technologicznej wytłaczania i rozpocząć nawijanie folii na szpulę.

9. Przy zadanej, przez prowadzącego zajęcia, pierwszej prędkości obrotowej urządzenia odbierającego, na wytłaczanej folii, w jednakowych przedziałach czasu (15 s), za pomocą flamastrów do folii, zaznaczyć trzy odcinki do późniejszego pomiaru szerokości i grubości folii
10. Zwiększyć prędkość obrotową urządzenia odbierającego, według wskazań prowadzącego, powtórzyć czynności wymienione w punkcie 9.
11. Oznaczanie za pomocą flamastrów wytłaczanej folii przeprowadzić łącznie dla pięciu różnych wartości prędkości obrotowej urządzenia odbierającego.
12. Przerwać proces wytłaczania z rozdmuchiwaniami, wyłączyć linię technologiczną.
13. Pociąć otrzymaną i oznaczoną folię, na odcinki pomiarowe o długości $50 \div 100$ mm, wykonać po 5 odcinków pomiarowych folii, otrzymanej przy każdej z 5 prędkości obrotowych urządzenia odbierającego.
14. Szerokość folii wyznaczyć przy pomocy liniału np. linijki, metrówki.
15. Przeprowadzić badania grubości odcinków folii za pomocą ultrametru.
16. Stopień rozciągania w kierunku poprzecznym oraz stopień rozciągania w kierunku wzdłużnym wyznaczyć z zależności (6) oraz (7) w rozdziale pierwszym, zgodnie z programem ćwiczenia.

8.5. Wyniki

Wartości średnie wyników pomiarów i badań należy zestawić w tabeli zamieszczonej we wzorze sprawozdania. Interpretację graficzną otrzymanych wyników badań przedstawić w postaci zależności $R_p = f(n)$ oraz $R_w = f(n)$.

8.6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wytłaczania z rozdmuchiwaniami, wyniki pomiarów i obliczeń zestawione w tabeli, interpretację wyników w postaci wykresu zależności stopnia rozciągania w kierunku poprzecznym i wzdłużnym w zależności od prędkości obrotowej urządzenia odbierającego, podsumowanie i wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura

1. Dokumentacja techniczno-ruchowa linii technologicznej do wytwarzania folii W-25/25. Ośrodek Badawczo – Rozwojowy Maszyn i Urządzeń Chemicznych „Metalchem” w Toruniu, Toruń 1993.
2. Praca zbiorowa pod redakcją R. Sikory: Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Zawistowski H.: Formowanie wyrobów z tworzyw sztucznych metodą rodmuchiwania. Plastech, Wydawnictwo Poradników i Książek technicznych, Warszawa 1998.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wytłaczanie z rodmuchiowaniem folii		Nr ćwiczenia 8	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

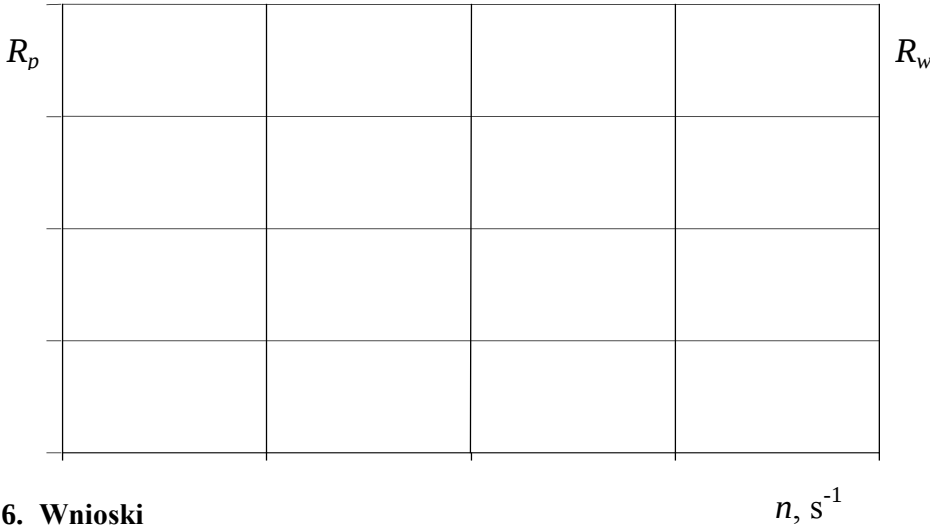
3. Warunki procesu wytłaczania z rodmuchiowaniem

4. Wyniki ćwiczenia

Tabela 1. Wyniki

Lp.	Prędkość obrotowa walców, n, s^{-1}	Grubość folii g_l, mm	Szerokość folii B, mm	Stopień rozciągania w kierunku poprzecznym R_p	Stopień rozciągania w kierunku wzdłużnym R_{pw}
1					
2					
3					
4					
5					

5. Wykres



6. Wnioski

Data Podpis

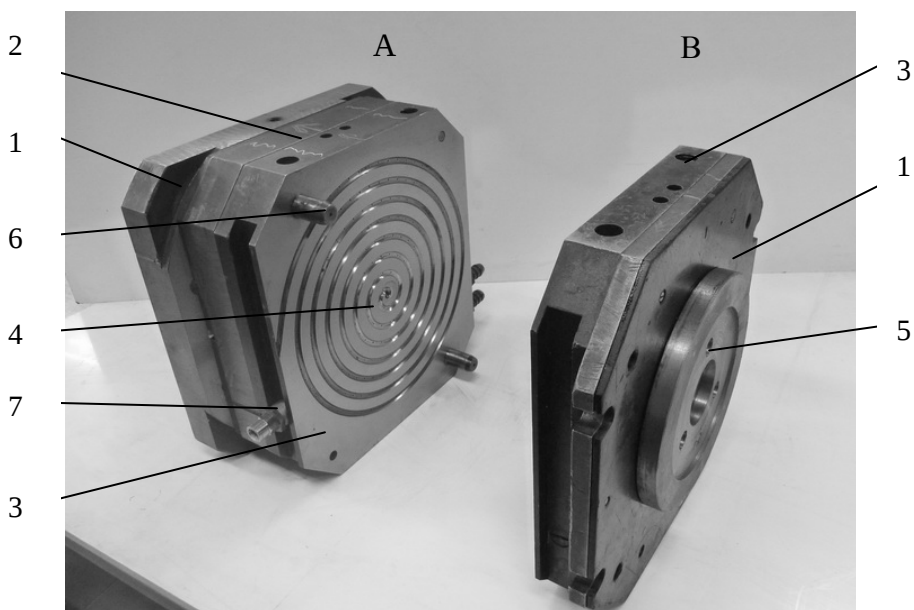
9. Zdolność tworzywa do przepływu w formie

9.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie zdolności tworzywa termoplastycznego do przepływu w formie wtryskowej z gniazdem spiralnym. Celem ćwiczenia jest również wyznaczenie stopnia wypełnienia gniazda formującego dla wybranych tworzyw termoplastycznych.

9.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze składa się z wtryskarki ślimakowej CS-88/63 wraz z formą wtryskową, pokazaną w wyglądzie ogólnym na rys. 9.1.



Rys. 9.1. Wygląd podzespołów formy wtryskowej z gniazdem formującym spiralnym: A - podzespół ruchomy, B - podzespół nieruchomy, 1 - płyta mocująca, 2 - płyta główna, 3 - płyta formująca, 4 - gniazdo formujące, 5 - pierścień centrujący tulei wtryskowej, 6 - prowadnice słupowe, 7 - króciec podłączeniowy kanałów chłodzących

Wtryskarka ślimakowa CS-88/63 jest przeznaczona do przetwórstwa tworzyw termoplastycznych. Opis szczegółowy budowy oraz zasady działania wtryskarki został przedstawiony w ćwiczeniu numer 10.

Forma wtryskowa jest dwuczęściowa, z jedną płaszczyzną podziału i składa się z dwóch podzespołów. Podzespół ruchomy (A) formy wtryskowej mocowany jest do ruchomego stołu wtryskarki za pomocą śrub. Główne elementy podzespołu ruchomego to płyta mocująca (1), płyta główna (2) oraz płyta formująca

(3). W płycie formującej znajduje się gniazdo formujące (4) w kształcie spirali Archimedesesa o półkolistym polu przekroju poprzecznego wynoszącym 18 mm^2 , długości 2700 mm i promieniu 115 mm.

Podzespół nieruchomy (B) formy mocowany jest do nieruchomego stołu wtryskarki. Składa się on z płyty mocującej (1), płyty formującej (3) i pierścienia centrującego (5) z tuleją wtryskową.

Układ przepływowy w zastosowanej formie wtryskowej to układ z kanałami zimnymi. Składa się z kanału centralnego stożkowego, współosiowego z dyszą wtryskarki, o długości 40 mm, średnicy minimalnej stożka 3,80 mm, średnicy maksymalnej 9,30 mm oraz kanału doprowadzającego przejmującego funkcje gniazda formującego.

Oswobodzenie wypraski, w kształcie spirali, przedstawionej na rysunku 9.2, z gniazda formującego oraz z pozostałej części układu przepływowego, odbywa się przez otwarcie formy bez stosowania wypychaczy.

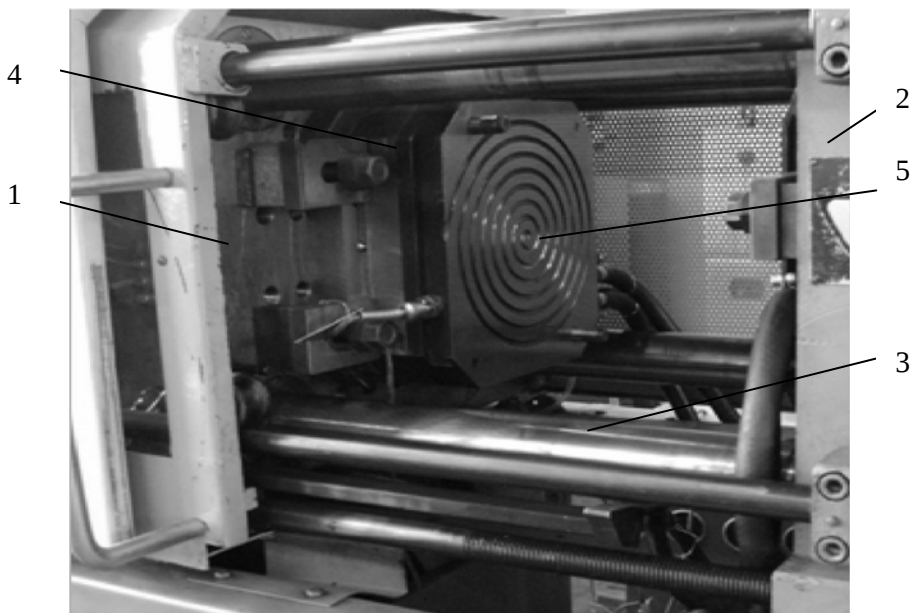


Rys. 9.2. Wygląd wypraski wtryskowej z tworzywa termoplastycznego w kształcie spirali (tzw. spirala Archimedesesa)

Elementy prowadzące i ustalające podzespół ruchomego i nieruchomego formy wtryskowej stanowią dwie prowadnice słupowe (rys. 9.1, poz.6), zamontowane w podzespole ruchomym oraz tuleje prowadzące należące do podzespołu nieruchomego formy. Obie części formy wtryskowej mają olejowy obiegowy układ chłodzenia, rozmieszczony liniowo, zapewniający możliwość utrzymania temperatury formy w określonej wartości.

W gnieździe formującym, na całej jej długości, są wykonane znaki punktowe o stałym odstępie długości równym 10 mm. Są to znaki w kształcie półkulistego wgłębienia, które na otrzymanej wyprasce są wypukłe i ułatwiają odczyt długości otrzymanej wypraski, która jest miarą zdolności tworzywa do przepływu i wypełnienia formy.

Wygląd fragmentu układu narzędziowego wtryskarki CS-88/63, z zamontowanym podzespołem ruchomym formy wtryskowej z widocznym gniazdem formującym w kształcie spirali Archimedesesa jest pokazany na rys.9.3.



Rys. 9.3. Wygląd podzespołu ruchomego formy z gniazdem formującym spiralnym w układzie narzędziowym wtryskarki ślimakowej CS 88/63: 1 - stół ruchomy wtryskarki, 2 - stół nieruchomy wtryskarki, 3 - prowadnice wtryskarki, 4 - podzespół ruchomy formy, 5 - gniazdo formujące

9.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

- 1) bezpośrednio
 - długości wypraski spiralnej, L_w , mm.
- 2) pośrednio
 - stopień wypełnienia gniazda formującego S_g , %.

Czynnikiem zmiennym jest:

- rodzaj tworzywa, badania należy przeprowadzić przy zastosowaniu trzech rodzajów tworzyw przeznaczonych do wtryskiwania,

Czynnikami stałymi są:

- temperatura w poszczególnych strefach grzejnych układu uplastyczniającego,
- czas możliwych do ustawienia faz cyklu procesu wtryskiwania: czas wtrysku tworzywa, czas chłodzenia wypraski,
- elementy geometryczne ślimaka, cylindra, dyszy, formy wtryskowej.

Czynniki zakłócające, to głównie zmiany temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa wejściowego i wilgotności względnej powietrza. Przyjęto, że wpływ czynników zakłócających jest pomijalnie mały.

9.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

W celu prawidłowego wykonania ćwiczenia należy przeprowadzić następujące czynności:

1. Przygotować naważki trzech rodzajów tworzyw, wskazane przez prowadzącego zajęcia.
2. Ustalić i nastawić warunki procesu wtryskiwania dla pierwszego tworzywa przetwarzanego (temperatura poszczególnych stref grzejnych układu uplastyczniającego, czasy faz cyklu procesu wtryskiwania, ciśnienie oleju w układzie hydraulicznym itp.).
3. Wprowadzić pierwsze tworzywo do zasobnika wtryskarki.
4. Włączyć układ chłodzący formy wtryskowej i strefy zasypowej tworzywa i otworzyć zasuwę zasobnika tworzywa.
5. Wykonać kilka cykli procesu wtryskiwania w celu ustabilizowania cieplnego wtryskarki.
6. Wykonać 5 kolejnych wyprasek wtryskowych przy nastawionych stałych warunkach technologicznych procesu wtryskiwania.
7. Opróżnić układ uplastyczniający wtryskarki z pozostałego tworzywa.
8. Wprowadzić drugą naważkę tworzywa do zasobnika, powtórzyć czynności zgodnie z punktami 5, 6 i 7.
9. Wprowadzić trzecią naważkę tworzywa, wykonać ponownie czynności opisane w punktach 5, 6 oraz 7.
10. Zamknąć zasuwę zasobnika tworzywa układu uplastyczniającego, oczyścić układ, zamknąć przepływ wody chłodzącej, wyłączyć maszynę.
11. Za pomocą metrówki zwijalnej oraz przy pomocy znaków punktowych znajdujących się na otrzymanych wypraskach wykonać pomiar ich długości.
12. Obliczyć stopień wypełnienia gniazda.

Stopień wypełnienia S_g gniazda formującego należy wyznaczyć za pomocą zależności:

$$S_g = \frac{L_g - L_w}{L_g} 100 \% \quad (9.1)$$

gdzie: L_g - całkowita długość gniazda spiralnego, mm

L_w - długości wypraski spiralnej, mm.

9.5. Wyniki

Wyników pomiarów i badań należy zestawić w tabeli 1 zamieszczonej we wzorze sprawozdania oraz przedstawić w postaci wykresu blokowego, zależności stopnia wypełnienia gniazda formującego od rodzaju wtryskiwanego tworzywa.

9.6. Sprawozdanie

Prawidłowo sporządzone sprawozdanie powinno zawierać: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wtryskiwania, wyniki pomiarów długości wyprasek oraz obliczenia stopnia wypełnienia gniazda, a także wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Dokumentacja techniczno – ruchowa wtryskarki CS 88/63. Vihorlat n.p.Snina. Zakład produkcji pras do obróbki materiałów plastycznych. Michalowce (Czechy) 1989.
2. Praca zbiorowa pod redakcją R. Sikory: Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Smorawiński A.: Technologia wtrysku. Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa 1984.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Zdolność tworzywa do przepływu w formie		Nr ćwiczenia 9	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

3. Warunki badań przetwarzalności

4. Wyniki ćwiczenia

Tabela 1. Wyniki

Lp.	Rodzaj tworzywa	Długość gniazda formującego L_g , mm	Długości wypraski L_w , mm	Stopień wypełnienia gniazda S_g , %	Wartość średnia $\overline{S_g}$, %
1					
2					
3					

5. Wykres

$S_g, \%$

rodzaj tworzywa

1. rodzaj tworzywa;
2. rodzaj tworzywa;
3. rodzaj tworzywa;

6. Wnioski

Data Podpis

10. Wtryskiwanie konwencjonalne

10.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie procesu wtryskiwania konwencjonalnego tworzyw termoplastycznych oraz zapoznanie z budową i zasadą działania wtryskarki ślimakowej. Celem ćwiczenia jest również wyznaczenie wybranych właściwości wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu, wytworzonych wyprasek wtryskowych oraz porównanie właściwości wytrzymałościowych tworzyw wtryskiwanych i tworzyw wytłaczanych.

10.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze wtryskiwania konwencjonalnego składa się z wtryskarki ślimakowej CS-88/63 z formą wtryskową (rys. 10.1).

Wyznaczanie właściwości wytrzymałościowych tworzyw przy statycznym rozciąganiu przebiega na stanowisku pomiarowym wyposażonym w maszynę wytrzymałościową wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem.



Rys. 10.1. Wygląd wtryskarki ślimakowej CS 88/63 wraz z szafą sterowniczą: 1 - układ uplastyczniający (obudowa), 2 - układ narzędziowy, 3 - układ napędowy, 4 - szafa sterownicza

Wtryskarka ślimakowa CS-88/63 produkcji CSSR, jest przeznaczona do przetwórstwa tworzyw termoplastycznych.

Układ uplastyczniający (1), układ narzędziowy (2) oraz układ napędowy (3) wtryskarki są podłączone do aparatury nastawczej i pomiarowo-kontrolnej,

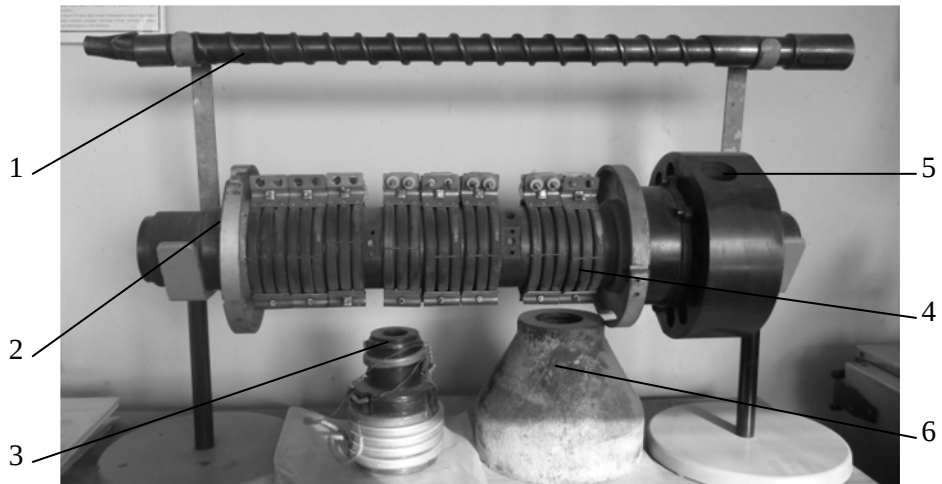
znajdującej się w szafie sterowniczej (4), co zapewnia właściwy przebieg procesu wtryskiwania. Maszyna przystosowana jest do działania w cyklu automatycznym, półautomatycznym oraz do działania ze sterowaniem ręcznym, tzn. że poszczególne fazy cyklu procesu wtryskiwania mogą być realizowane w różnym czasie, zależnie od umiejętności studentów.

W tablicy 10.1 przedstawiono charakterystykę techniczną wtryskarki według danych producenta [1].

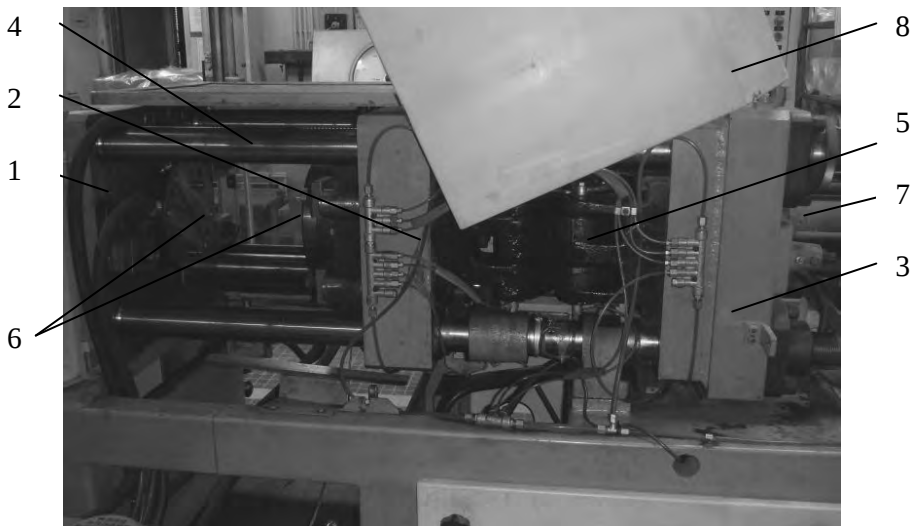
Tablica 10.1. Wybrana charakterystyka techniczna wtryskarki CS-88/63

Lp.	Wielkość charakterystyczna	Jednostka	Wartość
1	Średnica ślimaka	mm	36
2	Długość części roboczej ślimaka	mm	720
3	Długość ślimaka całkowita	mm	880
4	Maksymalna masa wtrysku	kg	0,088
5	Maksymalna pojemność wtrysku	m ³	73,5 x 10 ⁻⁶
6	Maks. ciśnienie wtryskiwania	MPa	120
7	Maks. siła zamykania formy	kN	630
8	Powierzchnia stołu wtryskarki	mm ²	195650
9	Maks. wysokość formy	mm	250
10	Ciśnienie robocze oleju układu hydraulicznego	MPa	16
11	Moc silnika pompy hydraulicznej	kW	15
12	Moc silnika ślimaka	kW	0,75
13	Moc grzejników elektrycznych	kW	3,6
14	Całkowita moc zainstalowana	kW	24
15	Masa wtryskarki	kg	2400

Głównymi elementami układu uplastyczniającego (rys. 10.2) jest cylinder zamocowany w obudowie układu uplastyczniającego oraz ślimak o średnicy 36 mm i długości części roboczej równej 20 D. Cylinder jest wykonany ze stali konstrukcyjnej stopowej do azotowania. Na cylindrze są zamontowane w czterech grupach grzejniki pierścieniowe o łącznej mocy w poszczególnych strefach grzejnych, odpowiednio: strefa pierwsza 350 W, druga 525 W, trzecia 525 W, czwarta 800 W oraz cztery czujniki temperatury o zakresie pomiarowym od 0 do 400°C. W tylnej części cylindra jest wykonany otwór zasypowy, nad którym jest przymocowany zasobnik grawitacyjny tworzywa wejściowego. Przednia część cylindra ma gwint wewnętrzny, co umożliwia połączenie z obsadą dyszy wtryskowej. W przedniej części cylindra znajduje się również komora wtryskowa o pojemności 73,5 x 10⁻⁶ m³ co odpowiada, w przeliczeniu do gęstości polistyrenu PS, masie 0,088 kg (88 g). Ślimak o długości części roboczej 720 mm i średnicy 36 mm jest wykonany ze stali stopowej konstrukcyjnej do azotowania, hartowany i polerowany do wysokiej gładkości.



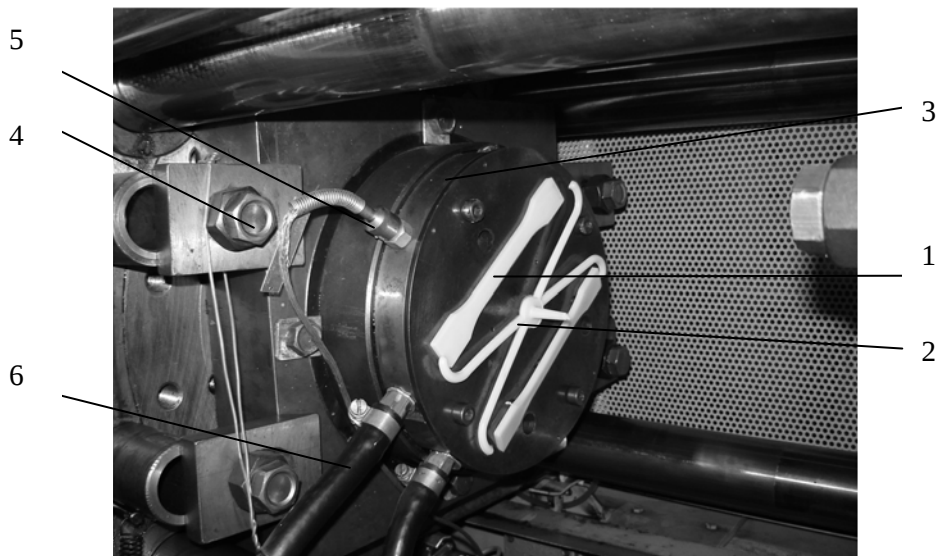
Rys. 10.2. Elementy układu uplastyczniającego wtryskarki CS 88/63 (model dydaktyczny): 1 - ślimak, 2 - cylinder, 3 - przednia część cylindra, 4 - grzejniki elektryczne oporowe, 5 - otwór pod zasobnik tworzywa, 6 - fragment obudowy cylindra



Rys. 10.3. Wygląd układu narzędziowego wtryskarki CS 88/63: 1 - stół nieruchomy wtryskarki, 2 - stół ruchomy, 3 - płyta oporowa, 4 - prowadnice, 5 - dźwignie łącznikowe zespołu zamykająco - otwierającego formy, 6 - forma wtryskowa, 7 - siłownik hydrauliczny, 8 - osłona zabezpieczająca

Układ narzędziowy wtryskarki, pokazany na rys. 10.3, składa się z zespołu narzędzia, obejmującego formę wtryskową (6) i oba stoły wtryskarki, stół nieruchomy (1) i ruchomy (2), o wymiarach w przekroju poprzecznym 455 x 430 mm oraz z zespołu zamykająco - otwierającego, obejmującego płytę oporową (3), prowadnice (4), dźwignie łącznikowe (5) i siłownik hydrauliczny (7).

Stół nieruchomy jest połączony czterema przewodnikami z płytą oporową. Na przewodnicach jest zamocowany stół ruchomy połączony z dźwigniami łącznikowymi oraz siłownikiem hydraulicznym. Wygląd formy wtryskowej, stosowanej w ćwiczeniu, został pokazany na rys. 10.4 i 10.5.

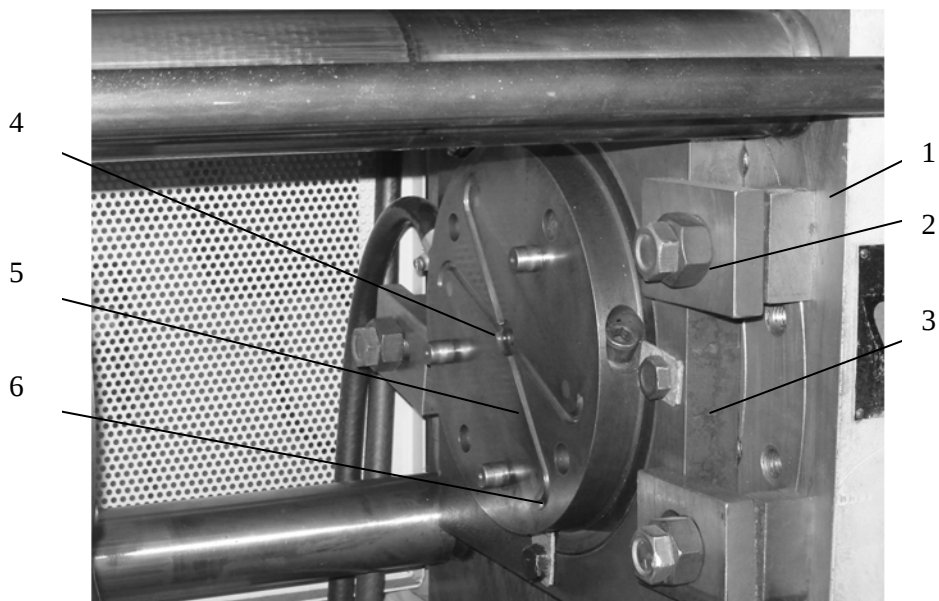


Rys. 10.4. Wygląd podzespołu ruchomego formy wtryskowej wraz z wypraskami wtryskowymi z polipropylenu : 1 - wypraska wtryskowa, 2 - odpad wtryskowy, 3 - podzespół ruchomy formy, 4 - śruby mocujące formę do stołu wtryskarki, 5 - czujnik temperatury, 6 - węże układu chłodzenia formy

Do stołu ruchomego jest przymocowany podzespół ruchomy formy wtryskowej w którym usytuowane są dwa gniazda formujące. Gniazdo formujące ma kształt i wymiary próbki do badań wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu tworzyw, tzw. próbka typu II, pokazana na rys. 10.4. Wymiary gniazd formujących są następujące; długość 150 mm, szerokość od 10 do 20 mm, głębokości 4 mm. W tej części formy, bezpośrednio w gniazdach formy, są umiejscowione również wypychacze wyprasek. Są to wypychacze trzpieniowe o działaniu punktowym i średnicy 6 mm.

Druga część formy (podzespół nieruchomy) jest zamocowana do stołu przytwierdzonego na stałe do podstawy wtryskarki. W podzespole nieruchomym formy (rys. 10.5) znajdują się kanały układu przepływowego doprowadzające tworzywo do gniazd formujących, mające bezpośredni kontakt z dyszą wtryskową układu uplastyczniającego. Układ przepływowy składa się kanału centralnego (4) stożkowego o długości 25 mm, średnicy minimalnej 4,7 mm i średnicy maksymalnej 7,2 mm, dwóch kanałów przepływowych (5) oraz przewężek (6). Kanał przepływowy o przekroju poprzecznym półkolistym ma długość

205 mm i zakończony jest przewężkami punktowymi o przekroju poprzecznym trapezowym zaokrąglonym i długości 1,5 mm.



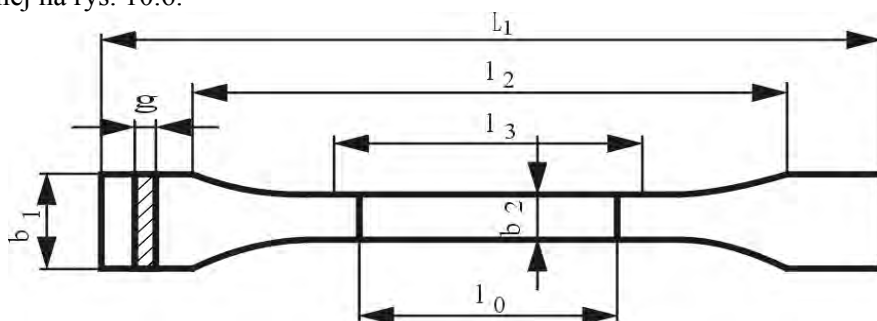
Rys. 10.5. Wygląd podzespołu nieruchomego formy wtryskowej z widocznymi kanałami układu przepływowego: 1 - stół nieruchomy wtryskarki, 2 - śruby mocujące podzespół formy do stołu, 3 - podzespół nieruchomy formy, 4 - kanał centralny, 5 - kanał doprowadzający, 6 - przewężka

Układ napędowy wtryskarki CS 88/63 składa się z silnika elektrycznego WF-200 prądu przemiennego o mocy 15 kW, napędzającego pompę zamontowaną w zbiorniku oleju. Pompa tłoczy olej odpowiednimi przewodami do siłownika hydraulicznego napędzającego zespół zamykania i otwierania formy wtryskowej oraz poprzez przewody, rozdzielacze i zawory do siłownika hydraulicznego napędzającego układ uplastyczniający – dosuwania i odsuwania układu uplastyczniającego do formy, a w fazie wtrysku, gdy ślimak wykonuje ruch prostoliniowy w stronę dyszy i fazie uplastyczniania - pobierania tworzywa z zasobnika, gdy ślimak wykonuje ruch obrotowy zwrotny. Wartość ciśnienia oleju doprowadzanego do siłowników hydraulicznych napędzających układ narzędziowy i uplastyczniający wskazują oddzielne manometry, umieszczone na przedniej ścianie obudowy wtryskarki. Każdy z układów i mechanizmów wtryskarki jest obudowany osłonami zapewniającymi bezpieczeństwo obsługi i ochraniającymi przed zanieczyszczeniami z zewnątrz.

Wyznaczanie właściwości wytrzymałościowych tworzyw przy statycznym rozciąganiu przebiega na stanowisku pomiarowym wyposażonym w maszynę wytrzymałościową wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem. Opis oraz zasadę

działania stosowanej maszyny wytrzymałościowej firmy Zwick przedstawiono szczegółowo w ćwiczeniu nr 7.

Do badań właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu stosuje się trzy rodzaje próbek, których wymiary podano w tabeli 10.2. W prowadzonym ćwiczeniu, otrzymane wypraski wtryskowe mają kształt i wymiary próbki II, pokazanej na rys. 10.6.



Rys. 10.6. Kształt i wymiary charakterystyczne próbki typu II, do pomiaru właściwości wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu tworzyw

Tabela 10.2. Wartości wymiarów charakterystycznych próbek do badań wytrzymałościowych

Wielkość charakterystyczna	Rodzaj próbki		
	I	II	III
	Wymiar, mm		
Długość całkowita, l_1 co najmniej	115	150	250
Długość swobodna, odpowiadająca odległości między zaciskami uchwytów, l_2	80 ± 5	115 ± 5	170 ± 5
Długość części pomiarowej, l_3	33 ± 2	$60 \pm 0,5$	-
Długość odcinka pomiarowego, l_0	25 ± 1	$50 \pm 0,5$	50 ± 1
Szerokość części mocowanej w uchwytach, b_1	25 ± 1	$20 \pm 0,5$	$25 \pm 0,5$
Szerokość części pomiarowej, b_2	$6 \pm 0,4$	$10 \pm 0,5$	-
Grubość, g	2	4	1÷6

10.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

1) bezpośrednio:

- powierzchnię przekroju poprzecznego próbki do badań wytrzymałościowych A , mm,
- maksymalną siłę rozciągającą, F_M , N,
- siłę, przy której próbka uległa zerwaniu, F_B , N,

- zmiana długości odcinka pomiarowego próbki w chwili zerwania, Δl_B , mm,
- zmiana długości odcinka pomiarowego próbki przy maksymalnej sile rozciągającej, Δl_M , mm.

2) pośrednio:

- wytrzymałość na rozciąganie, σ_M , MPa,
- napężenie przy zerwaniu, σ_B , MPa,
- odkształcenie względne przy zerwaniu, ϵ_B , %
- odkształcenie względne przy maksymalnym napężeniu rozciągającym, ϵ_M , %.

Czynnikami zmiennymi są:

- czas wtrysku T_w , s, $T_{w1} = 2$ s, $T_{w2} = 4$ s,
- czas chłodzenia wypraski T_{ch} , s, $T_{ch1} = 15$ s, $T_{ch2} = 25$ s, $T_{ch3} = 35$ s.

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj tworzywa, wskazanego przez prowadzącego zajęcia,
- elementy geometryczne wtryskarki CS 88/63,
- elementy geometryczne formy wtryskowej,
- temperatura w poszczególnych strefach układu uplastyczniającego wtryskarki,
- ciśnienie wtryskiwania, mierzone w układzie hydraulicznym wtryskarki,
- elementy konstrukcyjne maszyny wytrzymałościowej,
- warunki pomiarowe podczas prowadzenia badań właściwości wytrzymałościowych (zakres siły rozciągającej, prędkość rozciągania).

Czynniki zakłócające, mogące wpływać niekorzystnie na wyniki badań, to głównie zmiany:

- napięcia prądu elektrycznego od około 215 do 225 V,
- temperatury otoczenia od 20 do 24°C,
- wilgotności tworzywa wejściowego od około 0,04 do 0,06%,
- wilgotności względnej powietrza od 55 do 65%.

Ocenia się, że wpływ czynników zakłócających jest pomijalnie mały.

10.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Ćwiczenie należy przeprowadzić zgodnie z kolejnymi opisanymi punktami:

1. Ustalić i nastawić warunki procesu wtryskiwania w zależności od tworzywa przetwarzanego to jest temperaturę poszczególnych stref grzejnych układu uplastyczniającego i dyszy wtryskowej.
2. Włączyć obiegi wodne formy wtryskowej i strefy zasypowej tworzywa.
3. Uruchomić wtryskarke, wprowadzić tworzywo do układu uplastyczniającego.

4. Po osiągnięciu przez wszystkie strefy grzejne zadanej temperatury wykonać kilka cykli wtryskiwania przy sterowaniu ręcznym w celu stabilizacji ciepłej wtryskarki.
5. Ustawić w układzie sterowania pierwsze wartości czynników zmiennych, to jest czas wtrysku i czas chłodzenia wypraski.
6. Przełączyć działanie wtryskarki na sterowanie półautomatyczne i wykonać 10 wyprasek przy zadanych wartościach czynników zmiennych.
7. Nastawiając kolejne wartości czynników zmiennych wykonać po 10 kolejnych wyprasek dla każdej zmiany wartości czasu wtrysku i czasu chłodzenia wyprasek.
8. Zamknąć dopływ tworzywa do układu uplastyczniającego, oczyścić układ, zamknąć przepływ wody chłodzącej, wyłączyć maszynę.
9. Włączyć i przygotować maszynę wytrzymałościową wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem, do wykonania badań właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu.

Podczas pomiarów i badań właściwości wytrzymałościowych przy statycznym rozciąganiu wykonać należy następujące czynności:

- a) Nanieść na otrzymanych wypraskach wtryskowych - próbkach pomiarowych odcinki pomiarowe.
- b) Zmierzyć grubość oraz szerokość odcinka pomiarowego próbek i na tej podstawie obliczyć powierzchnię początkową A przekroju poprzecznego próbek.
- c) Zamocować pierwszą próbkę w uchwycie górnym i dolnym maszyny wytrzymałościowej.
- d) Nastawić żadaną prędkość rozciągania i uruchomić maszynę wytrzymałościową, obserwując jednocześnie rejestrację wykresu obciążenia w funkcji wydłużenia aż do momentu zerwania próbki pomiarowej.
- e) Wyznaczyć czynniki badane bezpośrednio zgodnie z programem ćwiczenia.
- f) Powtórzyć czynności dla pozostałych próbek, minimum 5 próbek dla każdego rodzaju wyprasek otrzymanych przy zmienianym czasie wtrysku i czasie chłodzenia wyprasek.
- g) Na podstawie odpowiedniej normy: PN-EN ISO 527-1: 2010 *Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu* oraz zależności 7.1, 7.2, 7.3 i 7.4 skryptu wyznaczyć badane wielkości wytrzymałościowe przy statycznym rozciąganiu.
- h) Przeprowadzić porównanie właściwości wytrzymałościowych tworzyw wtryskiwanych, badanych w opisanym ćwiczeniu oraz tworzyw wytłaczanych, których badania zostały wykonane w ćwiczeniu nr 7.

10.5. Wyniki

Wartości średnie wyników przeprowadzonych pomiarów, obliczeń, badań należy zestawić w tabelach 1÷3 zamieszczonych we wzorze sprawozdania. Należy również przedstawić interpretację graficzną wyników badań, w postaci wykresów blokowych zależności $\sigma_B = f(T_{ch})$ i $\sigma_M = f(T_w)$.

10.6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wtryskiwania konwencjonalnego, wyniki pomiarów i obliczeń właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu, zestawione w tabelach 1 i 2, interpretację wyników w postaci wykresów blokowych, naprężenia przy zerwaniu oraz wytrzymałości na rozciąganie w zależności od czasu wtrysku i czasu chłodzenia wyprasek wtryskowych, porównanie właściwości wytrzymałościowych tworzyw wtryskiwanych i tworzyw wytłaczanych oraz wnioski z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Dokumentacja techniczno – ruchowa wtryskarki CS 88/63. Vihorlat n.p.Snina. Zakład produkcji pras do obróbki materiałów plastycznych. Michalowce (Czechy) 1989.
2. Pielichowski J., Puszyński A.: Technologia tworzyw sztucznych. Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa 1998.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Smorawiński A.: Technologia wtrysku. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 1984.
5. PN-EN ISO 527-1: 1998 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wtryskiwanie konwencjonalne		Nr ćwiczenia 10	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

3. Warunki procesu wtryskiwania konwencjonalnego

4. Wyniki ćwiczenia

Tabela 1. Wyniki

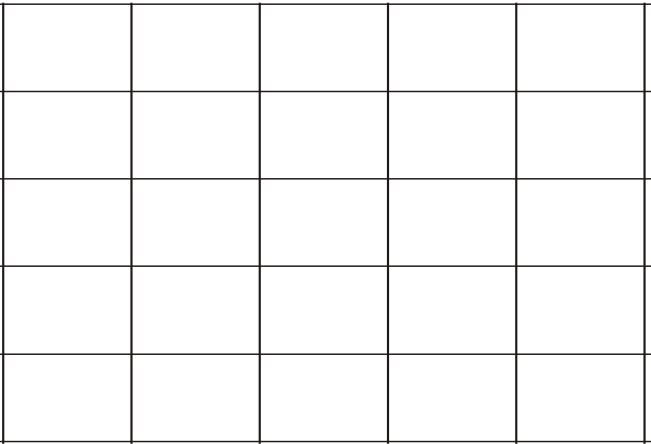
Lp.	Czas chłodzenia, T_{ch} , s	Czas wtrysku T_w , s	Przekrój poprzeczny próbki, A , mm^2	Maks. siła rozciągająca $\overline{F_M}$, N	Siła przy zerwaniu $\overline{F_B}$, N
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tabela 2. Wyniki

Lp.	Wytrzyma- łość na rozciąganie σ_M , MPa	Wartość średnia $\overline{\sigma_M}$, MPa	Napężenie przy zerwaniu σ_B , MPa	Wartość średnia $\overline{\sigma_B}$, MPa	Wartość średnia $\overline{\varepsilon_M}$, %	Wartość średnia $\overline{\varepsilon_B}$, %
1						
2						
3						
4						
5						
6						

5. Wykresy

σ_M , MPa

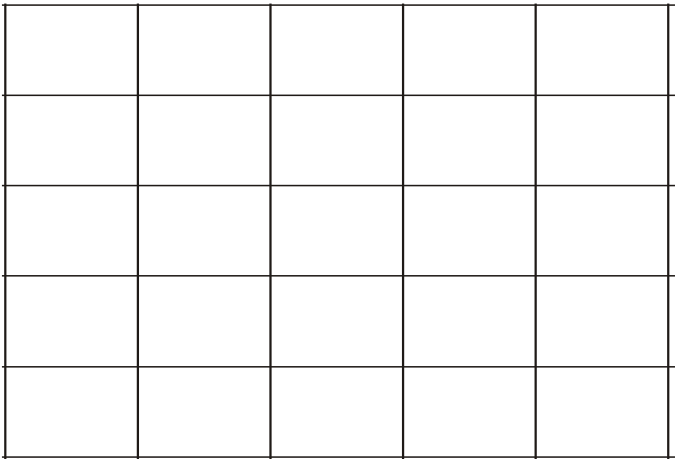


T_{ch} , s

wykres 1. $T_w = 2$ s

wykres 2. $T_w = 4$ s

σ_B , MPa



T_w , s

wykres 1. $T_{ch} = 15$ s

wykres 2. $T_{ch} = 25$ s

wykres 3. $T_{ch} = 35$ s

6. Porównanie właściwości wytrzymałościowych tworzyw wtryskiwanych oraz tworzyw wytłaczanych

Tabela 3. Wyniki

Lp.	Rodzaj tworzywa	Wartość średnia $\overline{\sigma_M}$, MPa	Wartość średnia $\overline{\sigma_B}$, MPa	Wartość średnia $\overline{\varepsilon_M}$, %	Wartość średnia $\overline{\varepsilon_B}$, %
Tworzywa wtryskiwane					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
Tworzywa wytłaczane					
1					
2					
3					
4					
5					
6					

7. Wnioski

Data Podpis

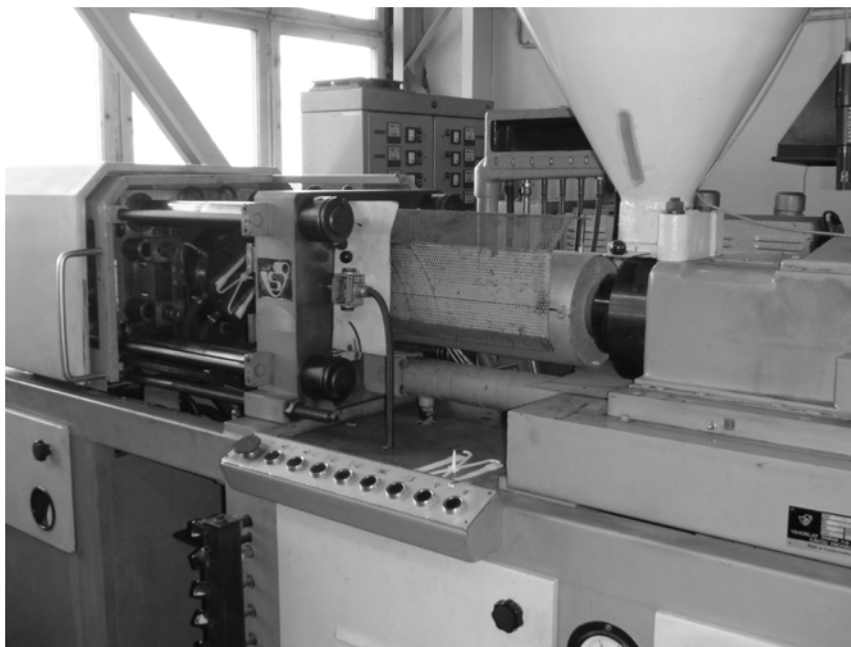
11. Wtryskiwanie porujące

11.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie procesu wtryskiwania porującego, zapoznanie się technologią procesu, rodzajami środków porujących stosowanych w procesie wtryskiwania. Celem ćwiczenia jest również określenie wpływu wybranych parametrów procesu wtryskiwania na kształt, rozmiar oraz liczbę porów w strukturze porowatej otrzymanych wyprasek porowatych.

11.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze wtryskiwania porującego składa się z wtryskarki ślimakowej CS-88/63 wraz z formą wtryskową, pokazaną na rys. 11.1 oraz stanowiska badawczego analizy obrazu wytworów porowatych wraz z niezbędnym oprzyrządowaniem.



Rys. 11.1. Wygląd wtryskarki ślimakowej CS 88/63 podczas procesu wtryskiwania porującego

Opis szczegółowy budowy oraz zasady działania wtryskarki ślimakowej CS-88/63 oraz budowy stosowanej formy wtryskowej został przedstawiony w ćwiczeniu numer 10. W przeprowadzanym ćwiczeniu wtryskiwania porującego należy zastosować środki porujące, z egzotermiczną lub endotermiczną charakterystyką rozkładu, wskazane przez prowadzącego zajęcia.

Są to środki w postaci granulatu. Do osiągnięcia dobrej wydajności procesu wtryskiwania porującego zaleca się stosowanie temperatury przetwórstwa w zakresie 160 ÷ 210 °C. Zawartość środka porującego w tworzywie w procesie wtryskiwania PE i PP wynosi od 0,4 do 1,5 % masowych.

Wybrane właściwości środków porujących stosowanych w procesie wtryskiwania porującego przedstawiono kolejno w tabelach 11.1÷11.3

Tabela 11.1. Wybrane właściwości środka porującego Ly-Cell F 017

Lp.	Wielkość charakterystyczna	Jednostka	Wartość
1	Ilość substancji czynnej w granulacie	%	70
2	Charakterystyka rozkładu	-	endotermiczna
3	Temperatura rozkładu	°C	155
4	Temperatura przetwórstwa	°C	170÷210
5	Zawartość środka w tworzywie	%	0,5÷2,5

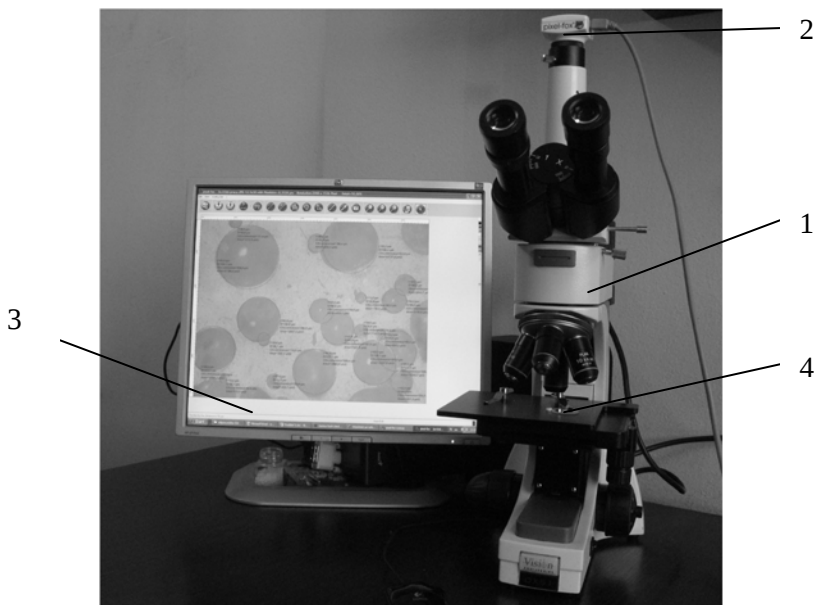
Tabela 11.2. Wybrane właściwości środka porującego Hostatron P 1941

Lp.	Wielkość charakterystyczna	Jednostka	Wartość
1	Ilość substancji czynnej w granulacie	%	50
2	Charakterystyka rozkładu	-	egzotermiczna
3	Temperatura rozkładu	°C	160
4	Temperatura przetwórstwa	°C	180÷220
5	Zawartość środka w tworzywie	%	0,3÷2,0

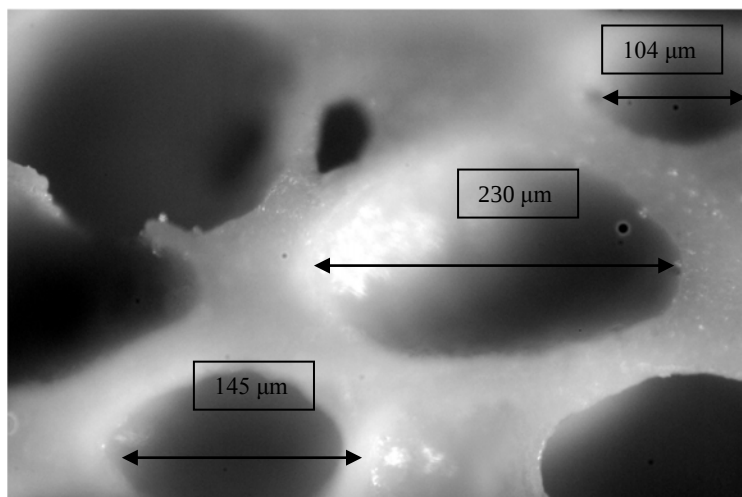
Tabela 11.3. Wybrane właściwości środka porującego Hydrocerol 530

Lp.	Wielkość charakterystyczna	Jednostka	Wartość
1	Ilość substancji czynnej w granulacie	%	50
2	Charakterystyka rozkładu	-	egzotermiczna
3	Temperatura rozkładu	°C	170
4	Temperatura przetwórstwa	°C	170÷190
5	Zawartość środka w tworzywie	%	0,5÷2,5

Obserwację oraz analizę struktury porowatej otrzymanych wyprasek należy przeprowadzić za pomocą stanowiska do analizy obrazu wytworów porowatych.



Rys. 11.2. Wygląd stanowiska do analizy obrazu wytworów porowatych: 1 - mikroskop, 2 - kamera cyfrowa, 3 - monitor zestawu komputerowego, 4 - próbka badawcza



Rys. 11.3. Przykładowy obraz struktury porowatej wypraski wtryskowej, tworzywo - PVC, środek porujący - Hydrocerol 530, dozowanie - 0,8% mas. środka porującego, powiększenie 100x

W skład stanowiska do badań wchodzi mikroskop metalograficzny Vision DX 51, z optycznym i elektronicznym układem wzmacniającym, kamera 1.3 Mpix, zestaw komputerowy z odpowiednim oprogramowaniem.

Wygląd stanowiska analizy obrazu wytworów porowatych jest przedstawiony na rysunku 11.2, zaś przykładowy obraz struktury porowatej wypraski wtryskowej pokazano na rysunku 11.3.

Aby przeprowadzić ocenę struktury porowatej wyprasek wtryskowych należy określić kształt, rozmiar (długość) oraz ilości porów w strukturze porowatej. Pomiary prowadzi się w przekroju poprzecznym próbek. Próbki należy poddać analizie w 3 miejscach, począwszy od warstwy wierzchniej wypraski, a następnie przesuwając obszar pomiarowy w kierunku rdzenia wypraski porowatej.

Próbki do analizy obrazu struktury porowatej tworzyw mogą być otrzymane za pomocą mikrotonu lub specjalnych ręcznych narzędzi tnących, znajdujących się na wyposażeniu laboratorium Katedry Procesów Polimerowych.

11.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

- kształt porów struktury porowatej,
- maksymalna długość porów w przekroju poprzecznym próbki,
- ilości porów w przekroju poprzecznym w strukturze porowatej.

Czynnikami zmiennymi są:

- rodzaj środka porującego (dwa rodzaje z środków przedstawionych w ćwiczeniu, wskazane przez prowadzącego zajęcia),
- zawartość środka porującego w tworzywie, sp , % (trzy wartości w zakresie $0.4 \div 1.5$ mas. %),
- czas chłodzenia wypraski T_{ch} , s, $T_{ch1} = 15$ s, $T_{ch2} = 25$ s.

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj tworzywa, wskazanego przez prowadzącego zajęcia,
- elementy geometryczne wtryskarki, formy wtryskowej,
- czas wtrysku tworzywa, T_w , s.

Czynniki zakłócające to głównie zmiany: temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa wejściowego, wilgotności środka porującego. Wpływ czynników zakłócających należy ocenić jako pomijalny.

11.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Aby ćwiczenie zostało wykonane prawidłowo, należy przeprowadzić następujące czynności:

1. Przygotować naważki tworzywa wraz z odpowiednią zawartością dwóch rodzajów środka porującego.

2. Ustalić i nastawić warunki procesu wtryskiwania porującego w zależności od tworzywa przetwarzanego oraz stosowanego środka porującego (temperatura poszczególnych stref grzejnych układu uplastyczniającego, czas wtrysku, czas chłodzenia wypraski), włączyć obieg ochładzania formy wtryskowej i strefy zasypu tworzywa.
3. Wprowadzić pierwszą naważkę tworzywa z zawartością środka porującego do zasobnika wtryskarki,
4. Po osiągnięciu przez wszystkie strefy grzejne zadanej temperatury wykonać kilka cykli wtryskiwania przy sterowaniu ręcznym w celu stabilizacji cieplnej wtryskarki.
5. Nastawić pierwszy czas chłodzenia wypraski, przełączyć działanie wtryskarki na sterowanie półautomatyczne i wykonać 6 wyprasek przy zadanych wartościach czynników zmiennych. Otrzymane wypraski wtryskowe odpowiednio oznaczać za pomocą flamastra do tworzyw.
6. Zmienić czas chłodzenia wypraski powtórzyć proces wtryskiwania porującego zgodnie z punktem 5.
7. Wprowadzić drugą a następnie trzecią naważkę tworzywa z zawartością środka porującego do zasobnika, powtórzyć czynności zgodnie z punktami 5 i 6.
8. Usunąć pozostałość tworzywa z zawartością pierwszego rodzaju środka porującego z układu uplastyczniającego. Zasypać naważkę tworzywa z drugim rodzajem środka porującego, ustawić pierwszy czas chłodzenia, przeprowadzić proces wtryskiwania zgodnie z punktem 5.
9. Powtórzyć proces wtryskiwania porującego, zmieniając czas chłodzenia oraz zawartość środka porującego w tworzywie.
10. Zamknąć dopływ tworzywa do układu uplastyczniającego, oczyścić układ uplastyczniający, zamknąć przepływ wody chłodzącej, wyłączyć maszynę.
11. Przy wykorzystaniu mikrotonu lub narzędzi ręcznych wyciąć z otrzymanych wyprasek wtryskowych próbki o długości $2 \div 5$ mm do badań struktury porowatej.
12. Za pomocą stanowiska do analizy obrazu wytworów porowatych, przystąpić do określania kształtu, rozmiaru (długość) oraz ilości porów w strukturze porowatej wyprasek w przekroju poprzecznym.
13. Przy wykorzystaniu kamery cyfrowej, stanowiska do analizy obrazu, wykonać zdjęcia struktury porowatej w przekroju poprzecznym wyprasek porowanych wraz z opisem (powiększenie mikroskopu, obszar próbki na zdjęciu w μm , długość porów μm).

11.5. Wyniki

Wartości średnie wyników pomiarów i badań należy zestawić w tabeli 1 zamieszczonej we wzorze sprawozdania. Wygląd struktury porowatej, wyprasek porowanych, w przekroju poprzecznym przedstawić w postaci zdjęć z opisem (powiększenie mikroskopu, obszar próbki w μm , długość porów μm).

11.6. Sprawozdanie

Prawidłowo sporządzone sprawozdanie powinno zawierać: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wtryskiwania porującego, rodzaj i zawartość stosowanych środków porujących, wyniki określania kształtu, długości oraz ilości porów w strukturze porowatej. Zdjęcia struktury porowatej wyprasek, wnioski określające wpływ czasu chłodzenia wypraski na strukturę porowatą wytworu.

Literatura:

1. Bieliński M.: Technika porowania tworzyw termiczno-plastycznych. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2004.
2. Dokumentacja techniczno – ruchowa wtryskarki CS 88/63. Vihorlat n.p.Snina. Zakład produkcji pras do obróbki materiałów plastycznych. Michalowce (Czechy) 1989.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Smorawiński A.: Technologia wtrysku. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 1984.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wtryskiwanie porujące		Nr ćwiczenia 11	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

3. Warunki procesu wtryskiwania porującego

4. Wyniki ćwiczenia

Tabela.1. Wyniki

Lp.	Rodzaj środka porującego	Zawartość środka porującego sp, %	Czas chłodzenia wy- praski T_{ch} , s	Ocena struktury porowatej		
				Kształt porów	Maks. długość	Liczba porów
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

5. Wyniki obserwacji i analizy struktury porowatej wyprasek

Zdjęcia struktury porowatej wyprasek należy zamieścić w formie graficznej, na oddzielnej stronie sprawozdania.

6. Wnioski

Data Podpis

12. Wtryskiwanie tłokowe

12.1. Cel ćwiczenia

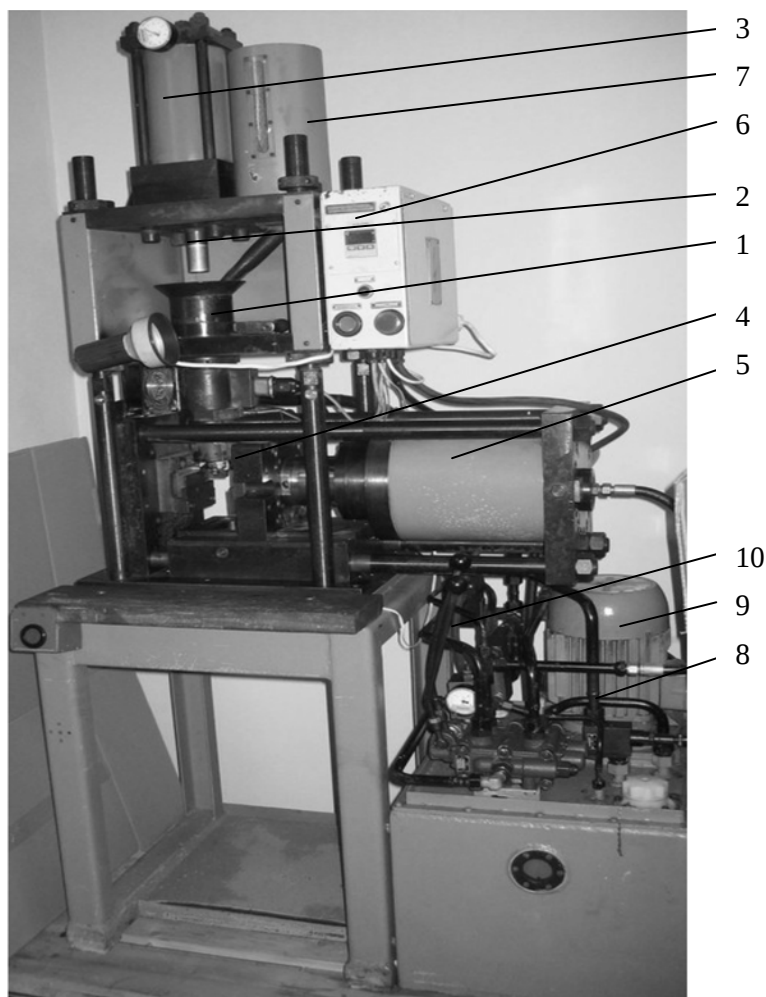
Celem ćwiczenia jest poznanie procesu wtryskiwania tłokowego, zapoznanie się technologią procesu, budową wtryskarki i budową formy wtryskowej. Celem ćwiczenia jest również określenie wtryskiwalności tworzywa w formie wtryskowej metodą gniazd wielokrotnych oraz wyznaczenie stopnia wypełnienia kanałów doprowadzających i gniazd formujących.

12.2. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze wtryskiwania tłokowego składa się z wtryskarki tłokowej Wt-20Ap z formą wtryskową wielogniazdową oraz urządzeń pomocniczych (czasomierz, suwmiarka). W tablicy 12.1 pokazano charakterystykę techniczną wtryskarki tłokowej według danych producenta [1].

Tablica 12.1. Wybrana charakterystyka techniczna wtryskarki Wt-20Ap

Wielkości charakterystyczne	Jednostka	Wartość
Średnica tłoka wtryskowego	mm	36
Maksymalna masa wtrysku	kg	0,02
Maksymalna pojemność wtrysku	m ³	50 x 10 ⁻⁶
Maks.ciśnienie wtryskiwania	MPa	80
Skok tłoka wtryskowego	mm	160
Maksymalna siła zamykania formy	kN	200
Powierzchnia stołu wtryskarki	mm ²	45 000
Maksymalna wysokość formy	mm	180
Moc grzejników cylindra	kW	2 x 0,6
Moc silnika napędowego	kW	4,4
Maksymalne ciśnienie robocze oleju w układzie hydraulicznym	MPa	8
Masa wtryskarki	kg	500



Rys. 12.1 Wygląd wtryskarki tłokowej Wt-20Ap: 1 - cylinder układu uplastyczniającego tłokowego, 2 - tłok układu uplastyczniającego, 3 - siłownik hydrauliczny układu uplastyczniającego, 4 - zespół formy wtryskowej, 5 - siłownik zespołu zamykająco - otwierającego formy, 6 - zespół sterowania, 7 - zasobnik tworzywa, 8 - instalacja hydrauliczna układu napędowego, 9 - silnik napędowy, 10 - układ dźwigni sterowniczych

Wtryskarka tłokowa Wt-20Ap, przedstawiona na rys. 12.1, produkcji Zakładów Maszyn Chemicznych „Metalchem” w Poznaniu, jest przeznaczona do przetwórstwa tworzyw termoplastycznych. Umożliwia wytwarzania wyprasek wtryskowych o objętości do $50 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ (50 cm^3) i masie do 0,02 kg (20g).

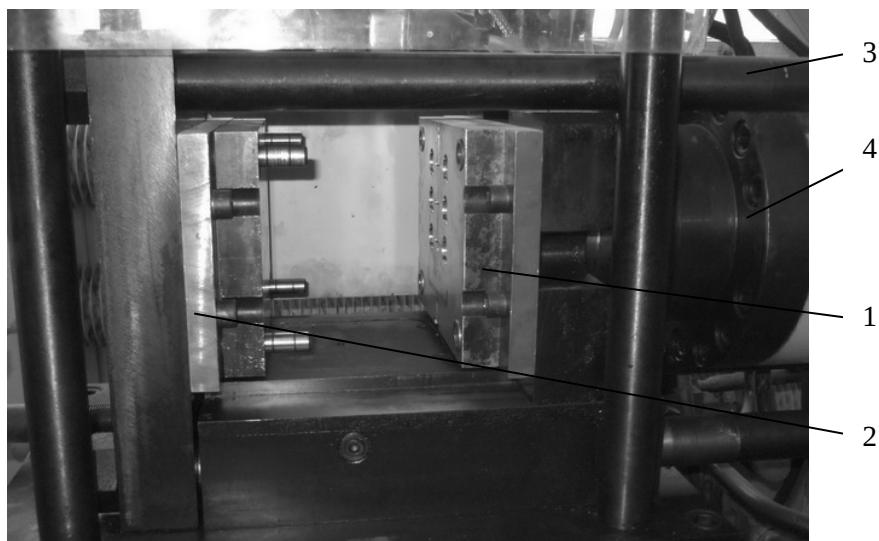
Maszyna przystosowana jest do działania w cyklu ze sterowaniem ręcznym. Poszczególne fazy cyklu procesu wtryskiwania nie są uzależnione od pozostałych faz procesu, tzn. że, fazy cyklu procesu wtryskiwania mogą być realizowane w różnym czasie, zależnie od umiejętności studentów.

Układ uplastyczniający wtryskarki składa się z cylindra wtryskowego umieszczonego pionowo, co powoduje że wtryskiwanie tworzywa do formy również odbywa się w układzie pionowym w dół. Tłok wtryskowy ma średnicę 36 mm i wykonuje w cylindrze ruch posuwisto-zwrotny, o długości skoku do 160 mm. Cylinder jest wykonany ze stali konstrukcyjnej stopowej do azotowania. Na cylindrze są zamontowane dwa grzejniki pierścieniowe o mocy 0,6 kW każdy oraz czujnik temperatury o zakresie pomiarowym od 0 do 400°C.

Siłownik hydrauliczny, napędzający tłok układu uplastyczniającego, ma zadawany napęd z silnika elektrycznego o mocy 4,4 kW, poprzez pompę olejową zębatą oraz zespół zaworów i rozdzielaczy hydraulicznych.

W płycie korpusu wtryskarki tłokowej, gdzie zamocowany jest siłownik hydrauliczny napędu tłoka wtryskowego, zamocowany jest również zasobnik grawitacyjny tworzywa wejściowego. Zasyp tworzywa do cylindra odbywa się grawitacyjnie aż do całkowitego wypełnienia cylindra. W przypadku konieczności dokładniejszego dozowania tworzywa, zasyp tworzywa do cylindra może być realizowany ręcznie.

Zespół zamykająco - otwierający, stanowiący część układu narzędziowego wtryskarki tłokowej jest zbudowany w układzie poziomym (rys. 12.2).

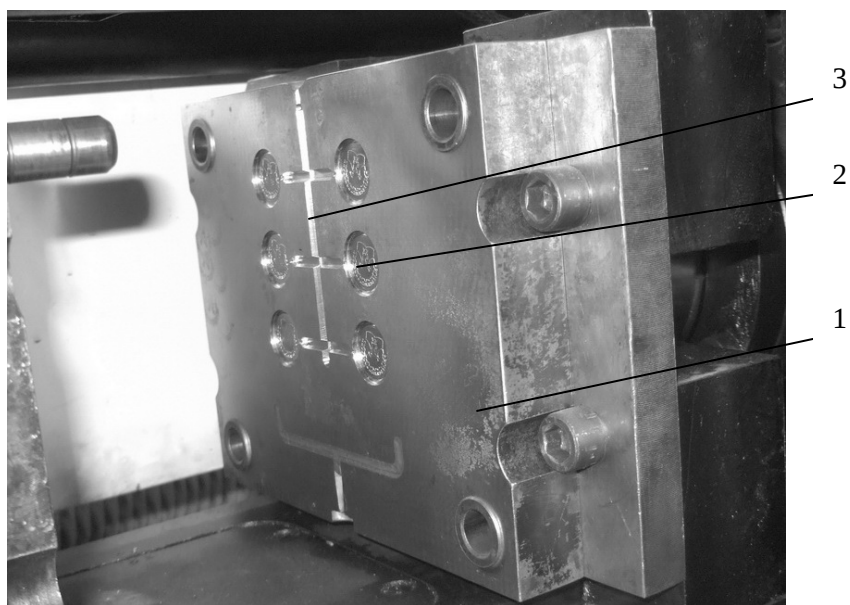


Rys. 12.2 Ogólny wygląd fragmentu układu narzędziowego wraz z zespołem zamykająco - otwierającym oraz podzespołami formy wtryskowej wielogniazdowej: 1 - podzespół ruchomy formy, 2 - podzespół nieruchomy, 3 - przewodnice wtryskarki, 4 - siłownik hydrauliczny, układu zamykająco - otwierającego

Maksymalna siła zamykania formy wynosi 200 kN. Siłownik hydrauliczny, napędzający tłok układu zamykająco - otwierającego, ma zadawany napęd z tego samego silnika elektrycznego, pompy zębatej oraz zaworów i rozdzielaczy hydraulicznych.

Zadawanie ruchu, sterowanie zespołem zamykająco - otwierającym oraz układem uplastyczniającym wtryskarki odbywa się za pomocą układu dźwigni sterowniczych (poz. 10, rys. 12.1). Dźwignia znajdująca się z prawej strony korpusu wtryskarki służy do ręcznego zamykania i otwierania formy wtryskowej. Dźwignia z lewej strony służy do sterowania ruchu tłoka układu uplastyczniającego. W czasie wtryskiwania obie dźwignie należy trzymać silnie w kierunku do środka. Ich cofnięcie powoduje automatycznie zatrzymanie tłoka i jego wycofanie z cylindra wtryskarki. Następuje również rozwarcie formy wtryskowej, a w efekcie wypłynięcie uplastycznionego tworzywa.

Narzędziem stosowanym w procesie wtryskiwania tłokowego oraz badaniach wtryskiwalności tworzywa, metodą gniazd wielokrotnych, jest forma wtryskowa wielogniazdowa do tworzyw termoplastycznych. Forma ma sześć gniazd formujących o średnicy 21,30 mm i głębokości 1,90 mm, widocznych na rys. 12.3.

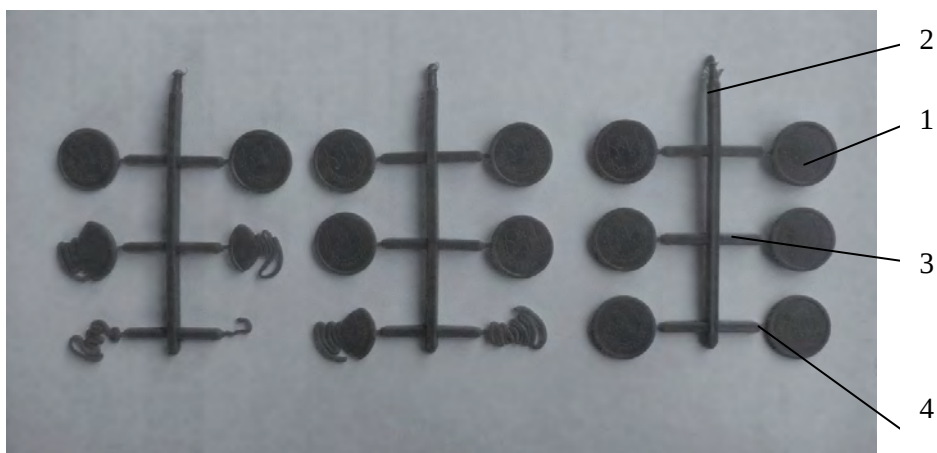


Rys. 12.3 Wygląd podzespołu ruchomego formy wtryskowej sześciogniazdowej zamocowanego na stole wtryskarki tłokowej z widocznymi gniazdami oraz układem przepływowym: 1 - płyta formy, 2 - gniazdo formy, 3 - kanał układu przepływowego

Układ przepływowy w zastosowanej formie wtryskowej to układ z kanałami zimnymi. Jest to układ przepływowy pośredni, składający się z krótkiego kanału centralnego o długości 6 mm, przechodzącego bezpośrednio w kanał przepływowy. Kanał przepływowy formy wtryskowej obejmuje główny kanał przepływowy o długości 87,60 mm oraz sześć symetrycznych doprowadzających kanałów przepływowych długości 15,20 mm każdy, zakończonych przewężkami punktowymi.

Układ przepływowy formy wtryskowej to układ o połączeniu szeregowym. Oznacza to, że długość kanałów doprowadzających tworzywo do poszczególnych gniazd formy jest różna, co w efekcie prowadzi do wypełnienia poszczególnych gniazd formy, w różnym czasie. Skutkuje to również tym, że w zależności od parametrów wtryskiwania, warunki przepływu i wypełniania gniazd formujących nie są jednakowe.

Wygląd wyprasek wtryskowych wraz z odpadem wtryskowym, stanowiącym odwzorowanie układu przepływowego formy wtryskowej, uzyskanych przy zmiennych parametrach procesu wtryskiwania, podczas badań wtryskiwalności tworzywa, pokazano na rys. 12.4.



Rys. 12.4. Wygląd wyprasek wtryskowych wraz z odpadem wtryskowym: 1 - wypraska wtryskowa, 2 - centralny kanał przepływowy, 3 - doprowadzający kanał przepływowy, 4 - przewężka

Widoczne na rysunku wypraski zostały wykonane z tego samego rodzaju tworzywa, przy stałej temperaturze w układzie uplastyczniającym wtryskarki i niezmiennym czasie poszczególnych faz cyklu wtryskiwania. Czynnikiem zmiennym determinującym wypełnienie przez tworzywo kanałów przepływowych i gniazd formujących było ciśnienie wtryskiwania. Ciśnienie wtryskiwania, parametr określający w dużej mierze poprawność procesu wtryskiwania oraz wtryskiwalność tworzywa jest ustawiany i regulowany za pomocą zaworów regulacji ciśnienia w układzie hydraulicznym wtryskarki.

Czasomierz, niezbędny do określenia czasu wtrysku, czasu uplastyczniania, czasu chłodzenia wyprasek oraz suwmiarka, potrzebna do przeprowadzenia pomiarów długości wypełnienia kanałów doprowadzających i gniazd formy, zostały opisane w ćwiczeniu nr.3.

12.3. Program ćwiczenia

W programie badań przyjęto jako czynniki badane:

- 1) bezpośrednio
 - liczbę całkowicie wypełnionych gniazd formy, l_w ,
 - długość wypełnionych kanałów doprowadzających i gniazd formy, ΔL_f , mm.
- 2) pośrednio
 - wtryskiwalność S_w ,
 - stopień wypełnienia kanałów doprowadzających i gniazd formy, S_f , %.

Czynnikiem zmiennym jest:

- ciśnienie wtryskiwania p_w , MPa, trzy wartości podane przez prowadzącego zajęcia, np. 4, 6, 8 MPa.

Czynnikami stałymi są:

- rodzaj tworzywa, wskazanego przez prowadzącego zajęcia,
- czas poszczególnych, możliwych do regulacji, faz cyklu wtryskiwania, tj. czas wtrysku, chłodzenia, określone przez prowadzącego,
- temperatura w układzie uplastyczniającym,
- elementy geometryczne układu uplastyczniającego i formy wtryskowej.

Czynniki zakłócające to zmiany głównie: temperatury otoczenia, wilgotności tworzywa wejściowego, wilgotności względnej powietrza. Stwierdzono, że czynniki zakłócające nie wpływają w sposób istotny na wyniki badań.

12.4. Przeprowadzenie ćwiczenia

Aby ćwiczenie zostało wykonane prawidłowo, należy przeprowadzić następujące czynności:

1. Ustalić i nastawić warunki procesu wtryskiwania w zależności od tworzywa przetwarzanego (temperatura stref grzejnych układu uplastyczniającego, czas wtrysku, chłodzenia, ciśnienie oleju w układzie hydraulicznym).
2. Wprowadzić tworzywo do zasobnika wtryskarki tłokowej.
3. Wykonać kilka cykli procesu wtryskiwania w celu stabilizacji cieplnej wtryskarki. Wszystkie strefy grzejne powinny osiągnąć zadaną temperaturę.
4. Zmieniając wartość ciśnienia wtryskiwania w układzie hydraulicznym w zakresie od 2 do 8 MPa, przeprowadzić próby wtryskiwania, wykonując po 5 cykli wtryskiwania dla każdej zadanej wartości ciśnienia wtryskiwania. Ustalony czas wtrysku, chłodzenia tworzywa odmierzać za pomocą czasomierza.
5. Zamknąć dopływ tworzywa do układu uplastyczniającego, oczyścić układ, wyłączyć maszynę.
6. Mając otrzymane wypraski wraz z odpadem wtryskowym, stanowiącym odwzorowanie układu przepływowego formy, przystąpić do pomiarów długości

wypełnionych kanałów przepływowych i wypełnionej powierzchni wyprasek.

7. Na podstawie wyników pomiarów określić wtryskiwalność tworzywa w formie wtryskowej oraz wyznaczyć stopień wypełnienia kanałów doprowadzających i gniazd formujących.

Wtryskiwalność S_w określana jest na podstawie równania:

$$S_w = \frac{l_w}{l_c} \quad (12.1)$$

w którym l_w - liczba całkowicie wypełnionych gniazd formy

l_c - liczba gniazd formy

Stopień wypełnienia S_f wyznacza się za pomocą zależności:

$$S_f = \frac{L_f - \Delta L_f}{L_f} 100 \% \quad (12.2)$$

gdzie: L_f - całkowita długość kanałów doprowadzających oraz długość sześciu gniazd formy, mm

ΔL_f - długość wypełnionych kanałów doprowadzających i gniazd formy, mm.

12.5. Wyniki

Wyniki badań wtryskiwalności oraz stopnia wypełnienia kanałów doprowadzających i gniazd formujących należy zestawić w tabeli 1 zamieszczonej we wzorze sprawozdania oraz przedstawić graficznie w postaci wykresu blokowego zależności stopnia wypełnienia S_f od ciśnienia wtryskiwania p_w .

12.6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić: cel ćwiczenia, przebieg ćwiczenia, warunki procesu wtryskiwania tłokowego, wyniki badań wtryskiwalności i stopnia wypełnienia kanałów doprowadzających i gniazd formujących, wykres blokowy będący interpretacją graficzną wyników badań oraz wnioski wynikające z przeprowadzonego ćwiczenia.

Literatura:

1. Dokumentacja techniczno – ruchowa wtryskarki Wt-20Ap. Zakłady Maszyn Chemicznym „Metalchem”, Poznań 1982.
2. Praca zbiorowa pod redakcją H. Zawistowskiego: Technologie wtryskiwania. Jakość i efektywność. Plastech, Wydawnictwo Poradników i Książek Technicznych, Warszawa 2000.
3. Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
4. Smorawiński A.: Technologia wtrysku. Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa 1984.

Politechnika Lubelska Katedra Procesów Polimerowych Laboratorium			
Temat ćwiczenia: Wtryskiwanie tłokowe		Nr ćwiczenia 12	Data wykonania
Nazwisko i imię	Ocena	Grupa	Semestr
			Rok akademicki

1. Cel ćwiczenia

2. Przebieg ćwiczenia

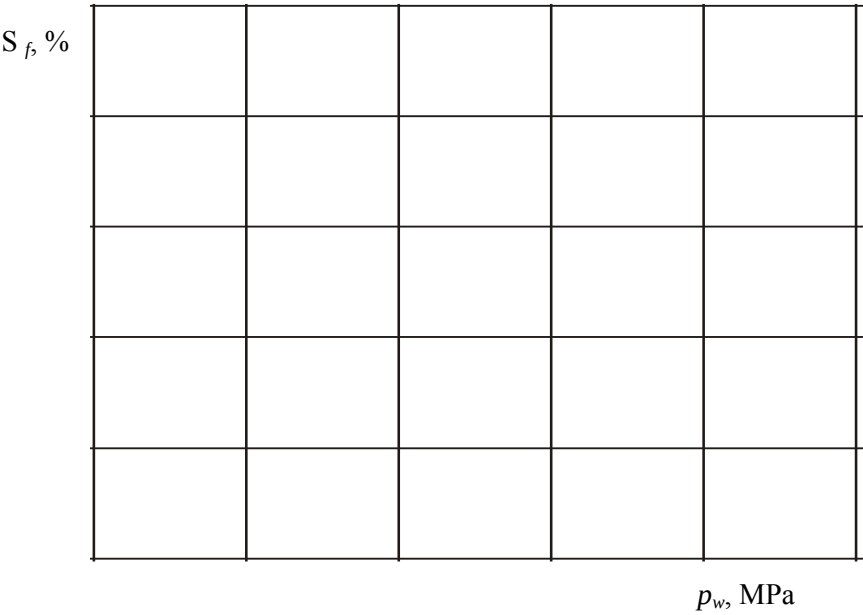
3. Warunki procesu wtryskiwania tłokowego

4. Wyniki ćwiczenia

Tabela 1. Wyniki

Lp.	Ciśnienie wtryskiwania p_w , MPa	Wtryski- walność S_w	Długości wypełnienia ΔL_f , mm	Stopień wypełnienia S_f , %	Wartość średnia $\overline{S_f}$, %
1					
2					
3					

5. Wykres



6. Wnioski

Data Podpis