

Tomasz Klepka ¹⁾, Przemysław Zgierski ²⁾

CHARAKTERYSTYKA METOD WTRYSKIWANIA DO ZASTOSOWAŃ MEDYCZNYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono charakterystykę i możliwości wykorzystania metody przetwórstwa tworzyw polimerowych do zastosowań medycznych. Dokonano porównań różnych sposobów uplastyczniania na przykładzie wtryskiwania, ilustrując wady i zalety każdego z nich. Przedstawiono wpływ rodzaju materiału formy wtryskowej na jakość wypraski oraz przykłady maszyn przetwórczych do wytwarzania wyprasek stosowanych w protetyce.

Słowa kluczowe: przetwórstwo tworzyw sztucznych, wtryskiwanie, układ uplastyczniający, medycyna.

WSTĘP

Wtryskiwanie należy do najstarszych metod wytwarzania wytworów z tworzyw polimerowych. Jest to proces polegający na cyklicznym uplastycznianiu tworzywa w układzie uplastyczniającym, przeprowadzaniu tworzywa w stanie ciekłym i następnie wtryskiwaniu go do zamkniętego gniazda formy wtryskowej. W formie następuje zestaleni lub utwardzenia tworzywa, a ostateczny kształt wypraska otrzymuje po wyjęciu z gniazda [1, 2]. Wytwarzanie wytworów z tworzyw polimerowych metodą wtryskiwania ma obecnie największe znaczenie m.in. ze względu na to, iż metoda ta jest najbardziej poznana teoretycznie i umożliwia wytwarzanie przedmiotów o różnych kształtach i wymiarach, niekiedy niemożliwych do otrzymania innymi sposobami.

Istnieje wiele metod uplastycznienia tworzywa polimerowego. Konstrukcje układów uplastyczniających są ciągle udoskonalane. Ogólnie możemy podzielić je ze względu na sposób uplastycznienia tworzywa. Przyjmując taką klasyfikację wyróżnia się układy uplastyczniające tłokowe, układy uplastyczniające ślimakowe oraz układy uplastyczniające hybrydowe (mieszane) [1].

Metodą wtryskiwania konwencjonalnego wykorzystującego ślimakowy układ uplastyczniający wytwarza się części, od których wymaga się powtarzalności kształtów i wymiarów, między innymi korpusów przyrządów do przetaczania krwi, podawania leków, strzykawk, łączników do przewodów doprowadzających płyny itp. Natomiast układy uplastyczniające tłokowe stosuje się do wtryskiwania wyprasek w małych seriach lub wytworów prototypowych, czyli takich, które

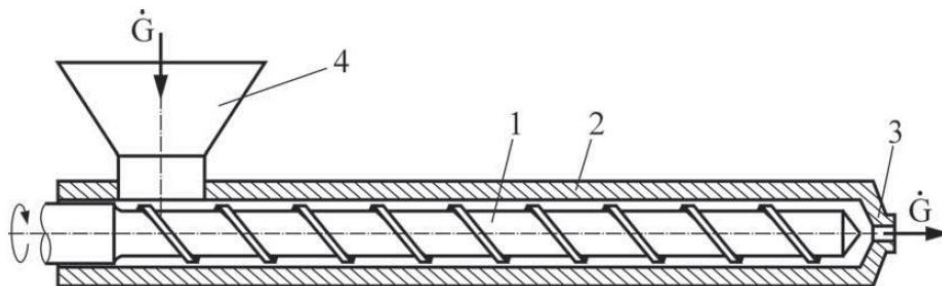
¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Procesów Polimerowych.

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Studenckie Koło Naukowe Procesów Polimerowych.

każdorzazowo wymagają wykonania nowej formy. Do tego typu wytworów należą na przykład protezy stomatologiczne oraz drobne elementy o niestandardowych wymiarach do zastosowań medycznych.

UKŁADY UPLASTYCZNIAJĄCE WTRYSKAREK

Najczęściej stosowanym sposobem uplastyczniania jest układ z obracającym się ślimakiem. Jest on stosowany do wytworów o objętości powyżej 20cm^3 . Tworzywo w układzie jest uplastyczniane przy pomocy obracającego się w walcowym cylindrze ślimaka. Faza wtrysku odbywa się w wyniku przesuwu ślimaka wzdłuż jego osi przez siłownik hydrauliczny.



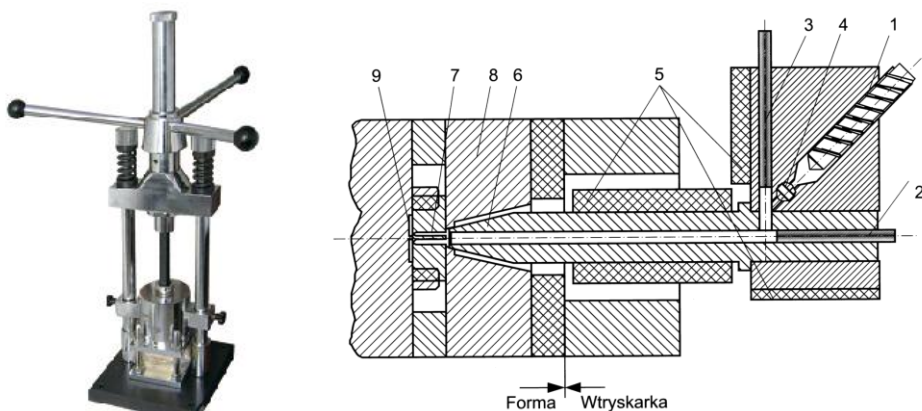
Rys. 1. Schemat układu uplastyczniającego jednośliskowego: 1 - ślimak, 2 - cylinder, 3 - korpus dyszy, 4 - zasobnik tworzywa, \dot{G} - masowe natężenie przepływu tworzywa przez układ uplastyczniający [1]

Konstrukcja ślimaka pozwala na dobrą homogenizację tworzywa, wymieszanie i uplastycznienie w cylindrze, jak również zapobiega cofaniu się tworzywa wzdłuż zwojów podczas fazy wtrysku i docisku.

Kolejnym rozwiązaniem jest układ tłokowy, który charakteryzuje się tym, że tworzywo jest nagrzewane i uplastyczniane, a następnie sprężane w cylindrze pomiędzy czołem wewnętrznego tłoka a rozdzielaczem. Sterowanie ruchami tłoka wtryskowego oraz wartości ciśnienia są realizowane przy pomocy układów sterowania, pozwalających także na bardzo dokładne dozowanie wymaganej ilości tworzywa. W zaawansowanych konstrukcyjnie maszynach instaluje się dodatkowe czujniki i podzespoły sterujące, co pozwala na dokładne ustalenie warunków prowadzenia procesu przetwórstwa.

Dzięki tym udoskonaleniom tłokowy układ uplastyczniający przy zastosowaniu zintegrowanego systemu sterowania, pozwala na wytwarzanie wytworów o zadawalających właściwościach. Tłokowy układ wtryskarki może działać w układzie pionowym (rys. 2) lub poziomym (rys. 6). Po wypełnieniu cylindra wtryskowego tworzywo jest poddawane nagrzewaniu oraz uplastycznieniu. Tłok naciskając na tworzywo w cylindrze zagęszcza je oraz spręża. Pod wpływem nacisku cały zespół cylindra wraz z płytą przesuwa się po prowadnicach kolumno-

wych, a przez otwór wykonany w płycie stykającej się z korpusem formy tworzywo zostaje wtrysnięte do gniazda formującego. Przed otwarciem formy i wyjęciem z niej wypraski, siłownik hydrauliczny za pośrednictwem zespołu cięgien oraz ruchomych płyt przesuwają tłok wtryskowy w kierunku od zespołu cylindra. W tym czasie zwolniony zostaje nacisk tłoka wtryskowego na zespół cylindra, który pod wpływem sprężyn powrotnych odsunięty zostaje od formy. Po uzupełnieniu tworzywa wtryskarka jest gotowa do wykonania kolejnego cyklu.



Rys. 2. Po lewej - schemat wtryskarki tłokowej w układzie pionowym do wytwarzania protez stomatologicznych [4]; po prawej: schemat budowy układu uplastyczniającego wtryskarki ze wstępnym uplastycznieniem; 1 - układ uplastyczniający ślimakowy, 2 – tłokowy układ wtryskowy, 3 - tłok dozujący, 4 - zawór odcinający, 5 – grzejniki, 6 - dysza wtryskowa, 7 - tuleja wtryskowa, 8 - forma wtryskowa, 9 - wypraska [2]

Innym rozwiązaniem łączącym zalety układu ślimakowego i tłokowego jest układ uplastyczniający hybrydowy (mieszany), ze wstępnym uplastycznieniem (rys. 2). W tym przypadku tworzywo jest wstępnie uplastyczniane przy użyciu układu ślimakowego umieszczonego w mniejszym cylindrze, który jest połączony rozdzielaczem z głównym cylindrem wtryskowym. Uplastycznione tworzywo jest następnie wtryskiwane za pomocą tłoka do formy. Taka konstrukcja wtryskarki pozwala uzyskać bardzo duże wartości ciśnienia przy zachowaniu dużej szybkości wtryskiwania.

Podczas wytwarzania elementów z tworzyw polimerowych konieczne jest wcześniejsze właściwe zaprojektowanie kształtów i wymiarów wypraski. Ważne jest także uwzględnienie wszystkich parametrów mających wpływ na proces formowania, zestalania lub utwardzania wypraski w gnieździe formującym, jak również tych, które zachodzący po wyjęciu z formy. Ważnymi czynnikami jest także określenie wielkości skurczu, udarności, odkształcalności oraz innych cech wytworu, jakie chcemy uzyskać. Przy wytwarzaniu nowych konstrukcji wyprasek ważnym etapem jest także dobór odpowiedniego tworzywa do określonej metody przetwórstwa, a także ustalenie warunków i parametrów przetwórstwa, które po-

zwolą na uzyskanie wyprasek o żądanych kształtach, wymiarach i właściwościach użytkowych [3].

Tabela 1. Charakterystyka różnych rodzajów układów uplastyczniających

Rodzaj układu uplastyczniającego	Zalety	Wady
Tłokowy	<ul style="list-style-type: none"> – prosta budowa, – możliwość przetwarzania tworzyw polimerowych o dużej lepkości, – stosowany w małych wtryskarkach, – prosta konstrukcja, 	<ul style="list-style-type: none"> – długi czas uplastycznienia, który rośnie wraz ze średnicą tłoka, – słaba homogenizacja materiału, – mała masa wtrysku, – słabe wymieszanie tworzywa,
Ślimakowy	<ul style="list-style-type: none"> – krótki czas uplastycznienia, – dobra homogenizacja, – dobra efektywność, 	<ul style="list-style-type: none"> – ograniczony skok ślimaka i objętość wtrysku, – skomplikowana budowa, – nie można przetwarzać polimerów o dużej lepkości lub kompozytów z długim włókniem,
Hybrydowy (mieszany)	<ul style="list-style-type: none"> – bardzo dobra homogenizacja, – duża objętość wtrysku, 	<ul style="list-style-type: none"> – skomplikowana budowa składająca się z dwóch jednostek połączonych funkcjonalnie, – wysoki koszt maszyny,

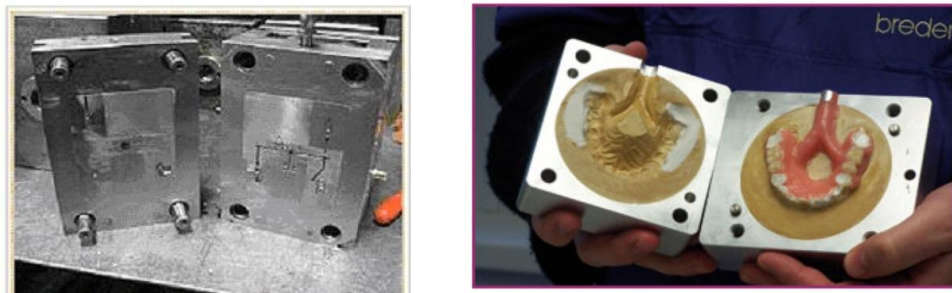
RODZAJE I BUDOWA FORM WTRYSKOWYCH

Proces wtryskiwania tworzywa jest bardzo złożony. Tworzywo polimerowe jest poddawane operacjom mającym na celu doprowadzeniu go do stanu umożliwiającego jego wtrysk do gniazda formującego przy zachowaniu jak najlepszych właściwości. Największy wpływ na ostateczną strukturę właściwość otrzymanej wypraski mają jednak warunki panujące w gnieździe formy wtryskowej bezpośrednio podczas wytwarzania wypraski.

Formy wtryskowe można klasyfikować z uwagi na kilka kryteriów. Ze względu na rozwiązania konstrukcyjne układu przepływowego formy dzielą się na formy z kanałami przepływowymi zimnymi oraz gorącymi, ze względu na liczbę gniazd formujących wyróżnia się formy jedno- bądź wielogniazdowe, natomiast z uwagi na umiejscowienie doprowadzenia tworzywa formy wtryskowe dzielą się na liniowe i kątowe [1]. Innym kryterium jest także rodzaj materiału, z którego wykonano korpus gniazda formującego (rys. 3) oraz dokładność jego wykonania. Dotychczas z uwagi na dużą trwałość formy wtryskowe wykonywane są ze stali narzędziowej. Koszt takiej formy jest bardzo duży i opłacalny jedynie przy produkcji wielkoseryjnej. Do produkcji małoseryjnej, prototypów lub prac laboratoryjnych formy wykonuje się z gipsu lub drewna [2, 4].

Materiał, z jakiego wykonana jest forma, ma bezpośredni wpływ na warunki, w jakich tworzywo ulega zestaleniu w formie. Znaczącym parametrem jest więc w tym procesie temperatura, która ma bezpośredni wpływ na wartość skurczu. Im wyższa temperatura formy, tym proces krystalizacji tworzywa przebiega wolniej,

co ma bardzo duży wpływ na strukturę i cechy ścianek wypraski. Cechy charakterystyczne, zalety oraz wady form wtryskowych z różnych materiałów zamieszczono w tabeli 2.



Rys. 3. Po lewej - wygląd stalowej formy wtryskowej do małych wyprasek [8]; po prawej - forma gipsowa umieszczona w ramie stalowej do wtryskiwania protez stomatologicznych [5]

Tabela 2. Cechy charakterystyczne, zalety oraz wady form wtryskowych z różnych materiałów

	Materiał formy wtryskowej	
Materiał	Stal	Gips
Zalety	<ul style="list-style-type: none"> - duża trwałość, - możliwość regulacji temperatury formy (zmienna temperatura formy), - prosta i skomplikowana konstrukcja w tym formy wielogniazdowe i dzielone, - możliwość wtrysku wytworów o różnej masie i grubości ścianek, 	<ul style="list-style-type: none"> - niski koszt wytwarzania formy, - krótki czas realizacji, - prosta budowa, - małe wartości skurczu wtrysniętego tworzywa kompensowane przy zastosowaniu „gipsu rozprężonego”,
Wady	<ul style="list-style-type: none"> - duży koszt produkcji/zakupu formy, - duża dokładność wykonywania powierzchni - polerowanie, - potrzeba układu termostatowania, 	<ul style="list-style-type: none"> - produkcja jednostkowa o małych wymiarach i do prototypów, - mała trwałość formy, - mała dokładność wykonania powierzchni,

TWORZYWA POLIMEROWE DO ZASTOSOWAŃ MEDYCZNYCH

Duży stopień zawansowania produkcji tworzyw polimerowych sprawił, że coraz częściej są one stosowane w medycynie i dziedzinach do niej pokrewnych. Tworzywa polimerowe do zastosowań medycznych w dużej części przetwarzane są metodą wtryskiwania, a także wytłaczania. W przypadku zastosowań medycznych wymagane jest, aby tworzywo było biologicznie obojętne. Na przykład protezy stomatologiczne (rys. 4) wytwarza się z takich tworzyw jak: akryl, acetal, poliamid oraz polimetakrylan metylu [4]. Tworzywa te są biokompatybilne i charakteryzują się długookresową trwałością oraz dużą wytrzymałością na pęknięcie. Spełniają również wysokie wymagania estetyczne i mają właściwości biologicznie obojętne.



Rys. 4. Po lewej: przykład protezy z acetalu [4], po prawej: tuleje zawierające granulaty z tworzywem do produkcji protez [5, 7]

Inna grupą tworzyw stosowanych do wyrobu wyprasek o zastosowaniu medycznym są akrylany zmodyfikowane przez zastosowanie kopolimerów uzyskanych przez połączenie monomerów hydroksymetakrylanowych z metakrylanem metylu oraz przez dodanie elastomeru butadienowo-styrenowego w celu poprawienia odporności na kruche pękanie [4].

Tabela 3. Właściwości akrylanów modyfikowanych [4]

Cecha	Typowy akrylan	Akrylan z dodatkiem elastomeru
Moduł podczas zginania	2000MPa	1780MPa
Wytrzymałość na uderzenia (Charpy)	0,26kJ/m ²	0,48kJ/m ²
Sorpcja wody (po nasyceniu)	0,6%	0,55%
Skala dopasowania do tkanek (najlepsza=0, najgorsza=4)	3	2
Trwałość barwy (24-godzinne naświetlanie światłem ultrafioletowym)	bez zmian	nieznaczne zmiany
Wytrzymałość na rozciąganie	55MPa	50MPa
Wytrzymałość na ściskanie	76MPa	70MPa
Skurcz polimeracyjny (objętościowy)*	6%	5%

* Uwzględniając proporcje polimer : monomer jak 3:1

PRZYKŁADY KONSTRUKCJI WTRYSKAREK TŁOKOWYCH

Przykładem nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych układu tłokowego wtryskarek stosowanych w laboratorium do produkcji elementów medycznych są urządzenia przedstawione na rys. 5, posiadające wbudowany układ chłodzący. Ma to duży wpływ na uzyskanie wypraski o jak najlepszych właściwościach. Układ sterowania wtryskarki pozwala na ustalenie wymaganej wartości ciśnienia, temperatury oraz czasu wtryskiwania.

Następną z wtryskarek tłokowych do przetwórstwa tworzyw termoplastycznych jest urządzenie firmy Bredent GmbH typu Thermopress 400, które różni się od poprzednio przedstawionych maszyn tym, że układ uplastyczniający jest usy-

tuowany poziomo (rys. 6). Wtryskarka ta umożliwia wtryskiwanie tworzyw termoplastycznych w temperaturze do 400°C. Proces podgrzewania ulega przyspieszeniu dzięki wysoko wydajnym elementom grzejnym. Natomiast mechanizm prowadzenia tłoka i mocowania formy zabezpiecza gniazdo gipsowe przed uszkodzeniem [8].



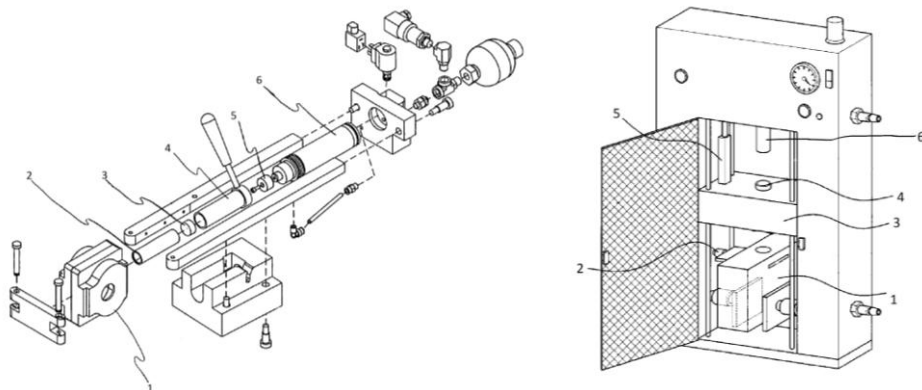
Rys. 5. Wygląd wtryskarki tłokowej Multipress (po lewej) oraz wtryskarki J 100 Evolution (po prawej) [6, 7]



Rys. 6. Wtryskarka pozioma do tworzyw termoplastycznych model Thermopress 400. Powyżej - widok ogólny, po prawej - miejsce umieszczenia metalowej formy przed i po zamocowaniu w maszynie [6]

Tworzywo umieszczane jest we wtryskarce bezpośrednio w specjalnych tulejach, które zostają szczelnie zamknięte przed włożeniem do komory grzewczej urządzenia. Proces wtryskiwania przebiega następująco: najpierw przygotowaną porcję tworzywa umieszcza się bezpośrednio w zimnej komorze przed urucho-

mieniem urządzenia. Następnie po nagraniu tworzywa do odpowiedniej temperatury układ sterujący włącza ruch tłoka, który pod ciśnieniem wtryskuje tworzywo do gipsowej formy umieszczonej w stalowej ramie. Po określonym czasie gipsową formę otwiera się, a otrzymana wypraskę poddaje się obróbce wykańczającej.



Rys. 7. Schemat wtryskarki tłokowej: po lewej - poziomej: 1 - rama formy gipsowej, 2 - cylinder, 3 - tabletkę tworzywa, 4 - zasobnik, 5 i 6 - elementy tłoka; po prawej - pionowej: 1 - rama formy gipsowej, 2 - mocowanie ramy formy, 3 - cylinder, 4 - tworzywo, 5 - układ napędowy, 6 - tłok [9, 10]

PODSUMOWANIE

Maszyny do przetwórstwa tworzyw z układem uplastyczniającym tłokowym powstały jako jedne z pierwszych wtryskarek. Ich bardzo szerokie początkowo wykorzystanie wraz z rozwojem technologii uplastyczniania ślimakowego zaczęło stopniowo maleć, co spowodowało, iż obecnie są one wykorzystywane zwykle do wytwarzania części z tworzyw w produkcji o charakterze małoseryjnym lub do prac laboratoryjnych. W przypadku zastosowań medycznych bardziej przydatne wydają się być metody wtryskiwania ciśnieniowego za pomocą tłoka. Ponadto tworzywa polimerowe z uwagi na dobre właściwości wytrzymałościowe, brak oddziaływania i reakcji z organizmem ludzkim i wysoką estetykę otrzymywanych części mają coraz szersze zastosowanie w medycynie. Za pomocą wymienionych wtryskarek z tłokowym układem uplastyczniającym można wytwarzać ze specjalnych tworzyw części o nietypowych kształtach i jednostkowym charakterze, przeznaczone do wprowadzenia do ludzkiego organizmu, w tym między innymi elementy protez, czego przykładem są protezy stomatologiczne.

Stosowane w tej metodzie wtryskiwania formy wtryskowe wykonane ze stalowej obudowy i wkładek formujących zbudowanych z gipsu nie są tak trwałe jak konwencjonalne formy wtryskowe, ale pozwalają na skuteczne wytwarzanie małych serii wyprasek o zadowalających właściwościach, przy nieporównywalnie niższym koszcie wykonania takiej formy.

PIŚMIENNICTWO

1. Praca zbiorowa pod red. R. Sikory: „Przetwórstwo tworzyw polimerowych, podstawy logiczne, formalne i terminologiczne”. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006.
2. Bociąga E.: „Specjalne metody wtryskiwania tworzyw polimerowych”. Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa 2008.
3. Klepka T.: “ Konstrukcje osiowo-symetrycznych wytworów o kształtach złożonych”. Polimery 2008, 53, 5.
4. Craig R. G., Powers J. M., Wataha J. C. (wydanie polskie pod red. H. Limanowskiej-Shaw): „Materiały stomatologiczne”. Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner, Wrocław 2000.
5. Materiały katalogowe ze strony internetowej <http://www.bredent.pl>
6. Materiały katalogowe ze strony internetowej <http://www.holtrade.pl/sys3.html>
7. Materiały katalogowe ze strony internetowej <http://www.rokodent.pl>
8. Patent amerykański US 2001/6287490
9. Zgłoszenia patentowe amerykańskie US 2007/0194474 A1
10. Zgłoszenia patentowe amerykańskie US 2010/0028477 A1

CHARACTERISTIC OF INJECTION MOLDING METHOD IN MEDICAL APPLICATIONS

Summary

The article presents the characteristics and possibilities of using polymer processing methods for medical applications. There have been comparisons of different ways of plasticization on the example of the injection, illustrating the advantages and disadvantages of each. Shows the effect of the type of mold material on the molded part quality, and examples of processing machinery for the manufacture of molded parts used in dental systems.

Keywords: polymer processing, injection molding, plasticizing system, medicine.