

ELŻBIETA BOCIĄGA

Politechnika Częstochowska  
Katedra Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Zarządzania Produkcją  
Al. Armii Krajowej 19c  
42-200 Częstochowa  
e-mail: bociaga@kpts.pcz.czyst.pl

## Niekonwencjonalne metody wtryskiwania<sup>\*)</sup>

### NONCONVENTIONAL METHODS OF INJECTION MOLDING

**Summary** — Nonconventional methods of polymer injection molding allow to produce the parts showing properties and surface quality difficult or even impossible to obtain by the conventional injection molding process. These methods can be classified using different criteria, such as incorporation of additional materials or components into the molded part, melt formulation, melt manipulation, additional mold movement and special part or geometry features. Selected methods of nonconventional injection molding were described in the article. One of them is the microlayer injection molding, which enables to produce the parts consisting of a lot of very thin layers from at least two different polymers. Process of in-mold decoration is a combination of conventional injection molding and part printing. During in-mold lamination a multilayer laminate is positioned in a mold-parting plane and covered on one side by the injected polymer. Injection molding process can also be applied for metal-ceramic powders, mixed with thermoplastic and wax. By this method parts of good mechanical properties, complicated shape, made of almost unworkable materials, usually without additional machining can be manufactured. The push-pull process is characterized by the multiple polymer flow in cavity, in two directions, which causes significant macromolecule orientation in a core of parts and improves their mechanical properties in the flow direction. Multiple polymer flow in two directions lowers the possibility of weld lines appearance. During the rheomolding process a polymer melt, before its entering the mold or inside the mold, undergoes low frequency vibration to increase its rheological, mechanical and optic properties. Vibration reduces or even eliminates weld lines creation. Nonconventional methods of injection molding are performed using machines and equipment of more complicated constructions, their technologies are more difficult, but these methods allow to produce the products of specific properties required.

**Key words:** injection molding, nonconventional methods, classification, characteristics.

Metodę wtryskiwania wykorzystuje się w szerokim zakresie do przetwórstwa tworzyw polimerowych — zarówno termoplastycznych, jak i utwardzalnych. Technologia wtryskiwania konwencjonalnego jest wprawdzie dość dobrze poznana, ciągle jednak bada się możliwości wprowadzenia nowych metod realizowania tego procesu. Ma to na celu poszerzenie zakresu stosowania

wyprasek wtryskowych, zwiększenie wydajności produkcji, wytwarzanie wyprasek o szczególnych właściwościach (na przykład wyprasek o zwiększonej wytrzymałości mechanicznej wskutek określonego zorientowania makrocząsteczek) bądź formowanie wyprasek spełniających specyficzne wymagania dotyczące ich kształtu geometrycznego lub jakości, niemożliwych do uzyskania w procesie wtryskiwania konwencjonalnego [1—12].

Niekonwencjonalne metody wtryskiwania można klasyfikować według różnych kryteriów. Poniżej przedstawiono ich podział oparty na klasyfikacji zaproponowanej w książce Oswalda, Turna i Gramanna [2]:

<sup>\*)</sup> Artykuł zawiera treść wykładu wygłoszonego w ramach IX Profesorskich Warsztatów Naukowych „Przetwórstwo tworzyw polimerowych”, Szczecin-Dziwnówek, 10—12 maja 2004 r.

1. Wprowadzanie dodatkowych materiałów lub elementów do formowanej wypraski bądź do gniazda formującego:

1.1. Wprowadzanie dodatkowego tworzywa:

— wtryskiwanie wieloskładnikowe (*multi-component injection molding, overmolding*),

— wtryskiwanie wielowarstwowe (wytwarzanie wyprasek typu „sandwich”) (*coinjection/sandwich molding*),

— wtryskiwanie mikrowarstwowe (*lamellar/micro-layer injection molding*).

1.2. Otryskiwanie elementów umieszczonych w formie:

— otryskiwanie wstawek wewnętrznych i zewnętrznych (*insert/outsert molding*),

— otryskiwanie traconych (wytapianych lub rozpuszczanych) rdzeni (*fusible/lost or soluble core process*).

1.3. Wprowadzanie gazu lub cieczy do tworzywa wtryskiwanego:

— wtryskiwanie wspomagane gazem (*gas-assisted injection molding*),

— wtryskiwanie wspomagane cieczą i gazem (*liquid gass-assisted injection molding*),

— wtryskiwanie wspomagane wodą (*water-assisted injection molding*),

— wtryskiwanie proszków metalowych i/lub ceramicznych wspomagane gazem (*gas-assisted powder injection molding*).

1.4. Otryskiwanie mat z włókien wzmacniających:

— otryskiwanie mat z włókien długich (*resin transfer molding*),

— otryskiwanie reaktywne strukturalne (*structural reaction injection molding*).

1.5. Otryskiwanie folii, tkaniny lub laminatu:

— wtryskiwanie z drukowaniem w formie (*in-mold decoration*),

— wtryskiwanie z laminowaniem w formie (*in-mold lamination*).

2. Sposób przygotowania tworzywa wtryskiwanego:

— wtryskiwanie porujące (*structural foam injection molding*),

— wtryskiwanie mikroporujące (*microcellular injection molding*),

— wtryskiwanie proszków metali i materiałów ceramicznych (*metal/ceramic powder injection molding*),

— wtryskiwanie reaktywne (*reaction injection molding*),

— wtryskiwanie tworzyw utwardzalnych (*thermoset injection molding*).

3. Sposób przepływu tworzywa ciekłego:

— wtryskiwanie pulsacyjne (*push-pull process*),

— wtryskiwanie pulsacyjne ze sterowaną ścinaniem orientacją makrocząstek, (*multiple live-feed injection molding*),

— wtryskiwanie wibracyjne (*rheomolding*),

— wtryskiwanie wibracyjne wspomagane gazem [*vibration gas(-assisted) injection molding*],

— wtryskiwanie niskociśnieniowe (*low-pressure injection molding*).

4. Dodatkowy ruch formy:

— wtryskiwanie z doprasowaniem w jednym gnieździe formującym (*injection-compression molding*),

— wtryskiwanie z doprasowaniem w dodatkowym gnieździe formującym (*injection press-stretching process*).

5. Cechy geometryczne wyprasek:

— mikrowtryskiwanie (*micro injection molding*),

— wytwarzanie wyprasek cienkościennych (*thin-wall molding*).

Dalszy tekst zawiera omówienia niektórych metod wybranych spośród powyższego zestawienia klasyfikacyjnego.

### WTRYSKIWANIE MIKROWARSTWOWE

Wtryskiwanie mikrowarstwowe polega na wytwarzaniu wyprasek składających się z wielu warstw bardzo małej grubości (mikrowarstwy), z co najmniej dwóch różnych tworzyw [2]. Schemat procesu wtryskiwania wielowarstwowego, z zastosowaniem dwóch rodzajów tworzyw, przedstawia rys. 1. Tworzywa z dwóch układów uplastyczniających (1) i (2) wtryskuje się równocześnie, z określoną prędkością, do układu zasilającego (3), w którym następuje kształtowanie wstępnego trójwarstwowego strumienia. Strumień ten przepływa następnie przez kilka układów (4) dzielących go dalej na warstwy, przy czym w każdym kolejnym układzie dzielącym zmieniana jest kolejność ułożenia warstw względem siebie (rys. 2).

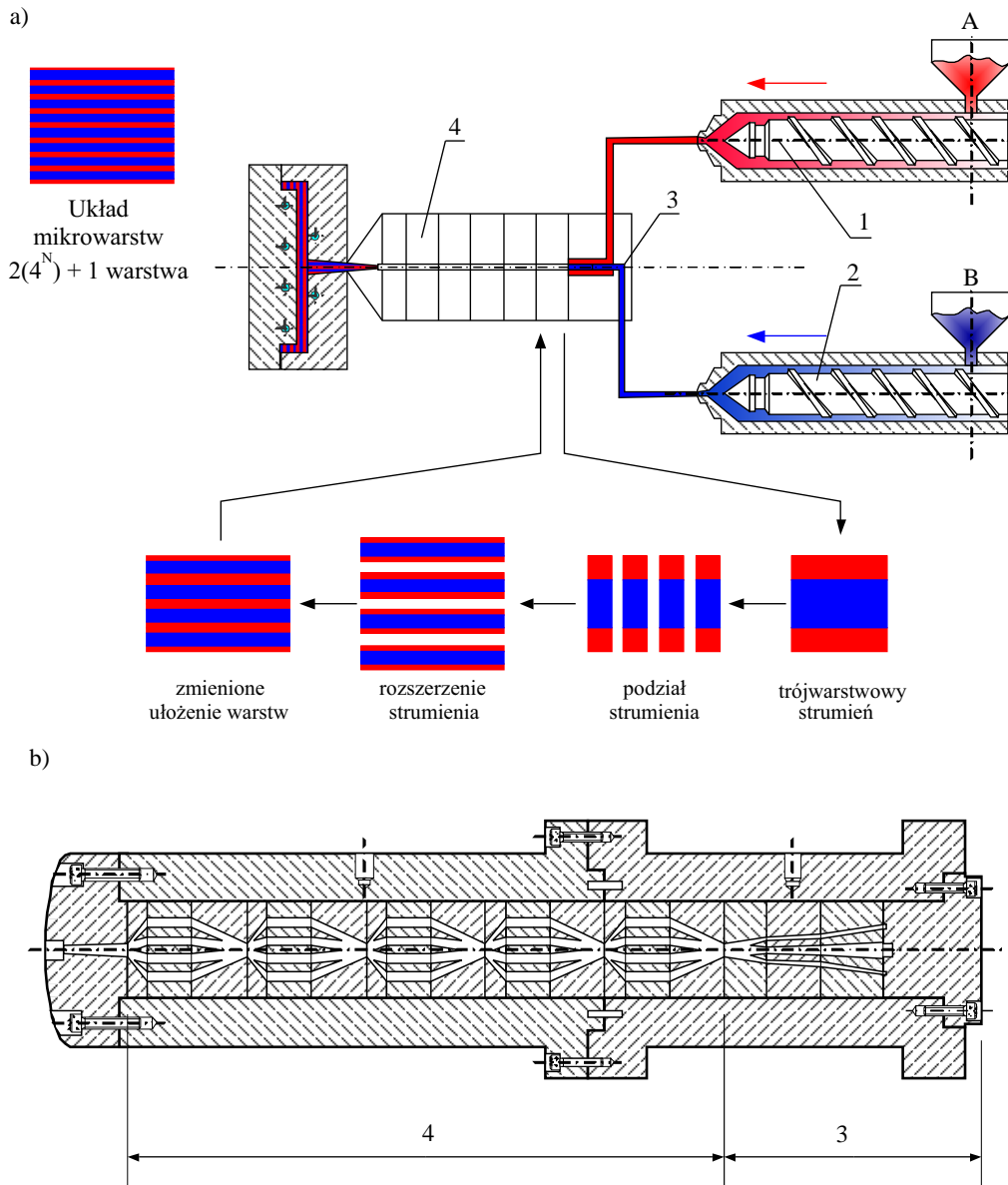
W miarę przepływu strumienia tworzywa przez układy dzielące zmniejsza się grubość warstw i zwiększa się ich liczba. Liczba warstw ( $n$ ) zależy od liczby układów dzielących ( $N$ ) i jest określana zależnością (1):

$$n = 2 \cdot 4^N + 1 \quad (1)$$

Ostateczne kształtowanie wyprasek odbywa się w formie wtryskowej, często wielogniazdowej o złożonym kształcie geometrycznym gniazd. Przykład morfologii wyprasek wielowarstwowych pokazano na rys. 3.

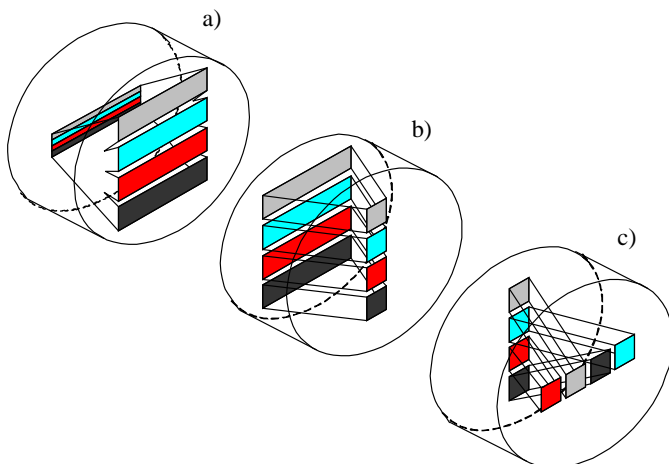
Wtryskiwanie mikrowarstwowe stosuje się do wytwarzania wyprasek z tworzyw o gorszych właściwościach mechanicznych w połączeniu z tworzywami konstrukcyjnymi, na przykład poliolefin z poliamidami, z niewielkim dodatkiem środków adhezyjnych. Można również wytwarzać wypraski składające się z tworzyw wzmocnionych oraz niewzmocnionych, na przykład z PP połączonego z PP napełnionym, ABS z PC napełnionym, bądź wykorzystywać układy złożone z tworzywa pierwotnego i wtórnego.

Wypraski wielowarstwowe charakteryzują się lepszymi właściwościami — przede wszystkim mniejszą przepuszczalnością gazów oraz większą stabilnością wymiarową i wytrzymałością cieplną — niż wypraski z jednego tworzywa bądź z tradycyjnych mieszanin polimerowych. Można też wytwarzać wypraski przezro-



Rys. 1. Schemat procesu wtryskiwania mikrowarstwowego: a) przebieg procesu, b) układ zasilający oraz zestaw układów dzielących; 1, 2 — odpowiednio, układy uplastyczniające tworzywa A oraz B, 3 — układ zasilający, 4 — układy dzielące warstwy tworzywa [ $N = 5$  etapów, por. równanie (1)]

Fig. 1. Microlayer injection molding: a) course of a process, b) layer feedblock and multipliers; 1, 2 — injection cylinders for A and B plastics, respectively, 3 — layer feedblock, 4 — layer multipliers [ $N = 5$  stages, compare equation (1)]

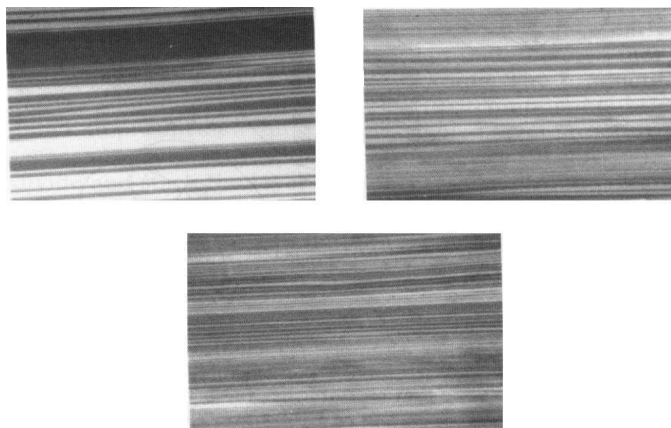


czyste, na przykład w wyniku wtryskiwania poliwęglanu z poli(tereftalanem etylenu).

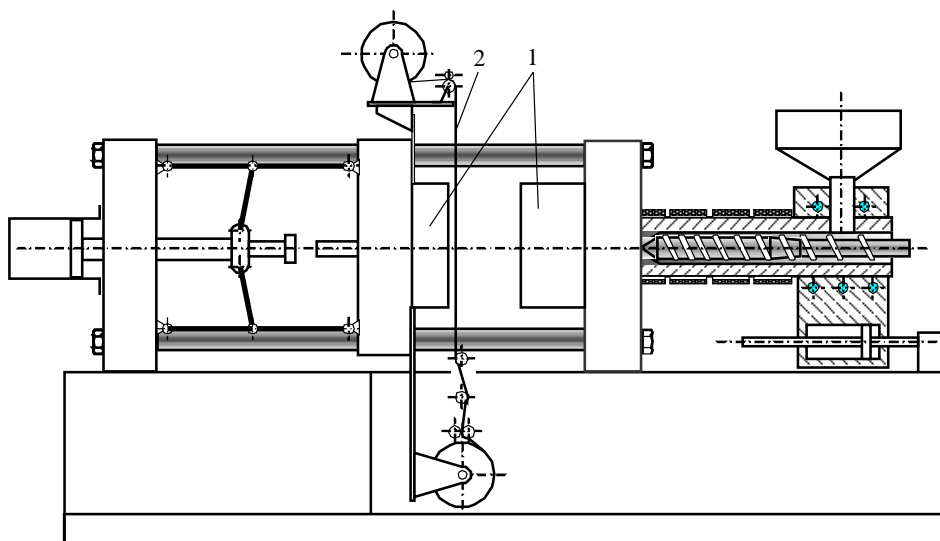
Do wad tej metody wtryskiwania można zaliczyć duże koszty urządzeń produkcyjnych oraz trudności

Rys. 2. Schemat zmiany ułożenia warstw tworzyw w układzie dzielącym: a) podział strumienia na cztery warstwy i zmiana kolejności ich ułożenia, b) rozszerzenie strumieni, c) ścisnienie warstw tworzyw

Fig. 2. Scheme of layers arrangement change in multiplier: a) subdivision of a plastic stream into four layers and their rearrangement, b) spreading of substreams, c) contraction of substreams



Rys. 3. Morfologia wyprasek mikrowarstwowych [2]  
Fig. 3. Morphology of microlayer parts [2]



Rys. 4. Proces wtryskiwania z drukowaniem w formie: 1 — forma wtryskowa, 2 — folia z nadrukiem (dalsze objaśnienia patrz tekst)  
Fig. 4. In-mold decoration process: 1 — mold, 2 — decorated film (further explanations — see text)

podczas recyklingu odpadów produkcyjnych i użytkowych. Proces jest dość złożony, m.in. dlatego, że należy w nim uwzględnić wpływ efektu „fontannowego” na froncie strumieni tworzywa oraz dużej szybkości ścinania na możliwość zaburzenia warstwowej struktury tworzywa.

Wtryskiwanie mikrowarstwowe wykorzystuje się do wytwarzania elementów układów paliwowych i hydraulicznych w samochodach, opakowań żywności i chemikaliów (właściwości barierowe), artykułów trwałego użytku w gospodarstwie domowym.

#### WTRYSKIWANIE Z DRUKOWANIEM W FORMIE

Proces ten jest połączeniem wtryskiwania konwencjonalnego z drukowaniem wyprasek. Folię z wcześniej wykonanym nadrukiem, odwijaną z rolki, umieszcza się w płaszczyźnie podziału formy (rys. 4). Podczas wtryskiwania tworzywo ciekłe, stykając się z nadrukowaną folią, powoduje jej stopnienie, przy czym nadruk jest oddzielany od folii i przenoszony na wypraskę [1, 2, 4, 7, 13–15].

Zaletą procesu jest skrócenie cyklu produkcyjnego wyprasek z nadrukiem dzięki wyeliminowaniu oddzielnej operacji ich wykańczania metodą drukowania. Pozwala to na zmniejszenie kosztów produkcji o 15–25% [2]. Uzyskuje się wypraskę z nadrukiem charakteryzującym się dużą adhezją do jej powierzchni, co wynika z tego, że proces drukowania odbywa się w wysokiej temperaturze i pod dużym ciśnieniem.

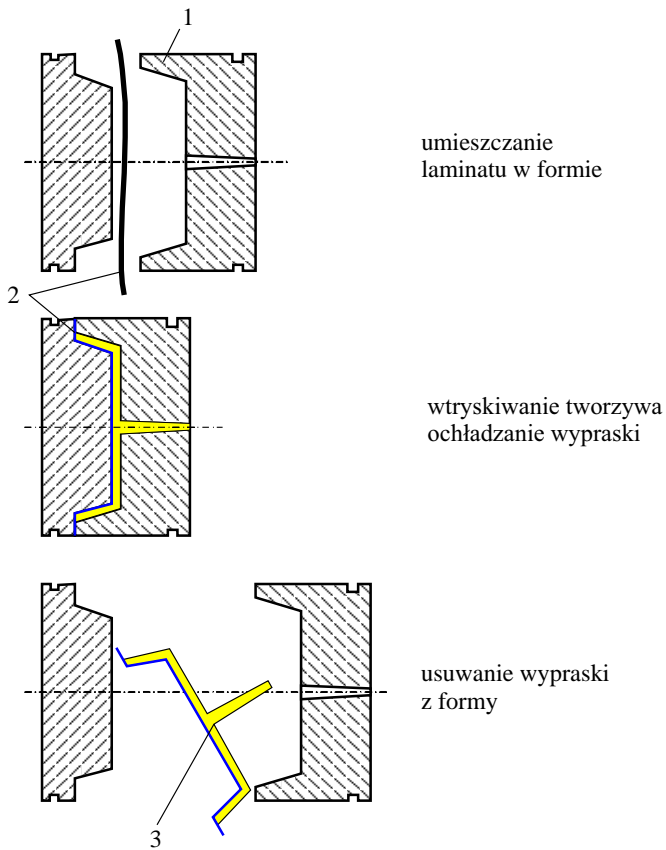
Wadę procesu stanowi konieczność stosowania dodatkowych urządzeń niezbędnych do umieszczenia folii w formie. Ponadto cykl wtryskiwania z drukowaniem w formie jest dłuższy niż cykl procesu wtryskiwania konwencjonalnego ze względu na dłuższy czas zestalenia tworzywa w gnieździe wynikający z izolujących właściwości folii. Wprowadzenie folii do formy może być również przyczyną nierównomiernego ochładzania wypraski, co powoduje samoistne jej odkształcanie się.

Wtryskiwanie z drukowaniem w formie wykorzystuje się w przemyśle motoryzacyjnym (obudowy świateł, pokrycia zagłówków), w telekomunikacji (klawisze telefonów komórkowych), w sprzęcie radiowym i telewizyjnym (opakowania kaset, pokrywy odtwarzaczy kaset, przednie płyty sprzętu wideo), w przemyśle kosmetycznym (przykrywkę pojemników).

#### WTRYSKIWANIE Z LAMINOWANIEM W FORMIE

Jest to proces podobny do wtryskiwania z drukowaniem w formie. Zamiast folii z nadrukiem, w płaszczyźnie podziału formy umieszcza się wielowarstwowy laminat, który w fazie wtryskiwania łączy się z tworzywem polimerowym (rys. 5) [1, 2, 4].

Warstwa zewnętrzna laminatu spełnia zwykle rolę warstwy dekoracyjnej. Może być ona wykonana z poliestru, PA, PP, PVC, ABS, tkaniny bawełnianej lub skóry. Jedną z wewnętrznych warstw laminatu wykonuje się zazwyczaj z termoplastycznego tworzywa spienionego, najczęściej z PUR, PP, PVC lub PES (polieterosulfonu), dzięki czemu można uzyskać wytwory miękkie w doty-

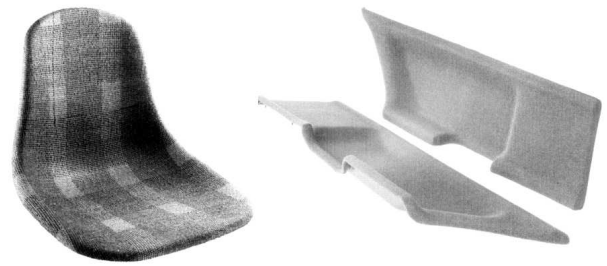


Rys. 5. Etapy procesu wtryskiwania z laminowaniem w formie: 1 — forma wtryskowa, 2 — laminat wielowarstwowy, 3 — wypraska

Fig. 5. Steps of in-mould lamination process: 1 — mold, 2 — multilayer textile material, 3 — injection molded part [1]

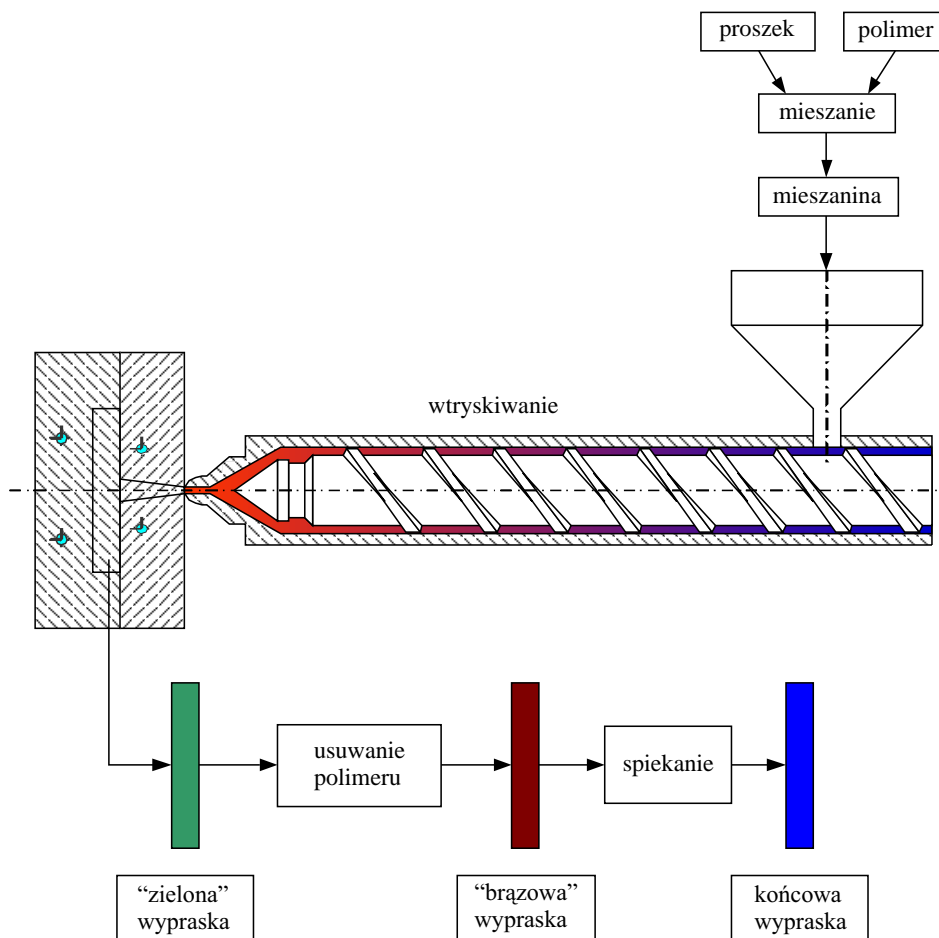


ku. Ze względu na możliwość uszkodzenia tej warstwy podczas wtryskiwania tworzywa do gniazda, proces należy prowadzić pod małym ciśnieniem i w niskiej temperaturze, na przykład metodą wtryskiwania niskociś-



Rys. 6. Wytwory uzyskane metodą wtryskiwania z laminowaniem w formie [2]

Fig. 6. Parts made by in-mould lamination process [2]



Rys. 7. Etapy procesu wtryskiwania proszków metalowo-ceramicznych (opis — por. tekst)

Fig. 7. Steps of injection molding of metal-ceramic powders (description — see text)

nieniowego lub wtryskiwania z doprasowaniem. Warstwa tworzywa spienionego stanowi dobrą izolację cieplną, co, podobnie jak w procesie wtryskiwania z drukowaniem, może być przyczyną powstawania wad wyprasek, głównie samoistnego ich odkształcania się.

Przykład wytworów uzyskanych w procesie wtryskiwania z laminowaniem w formie przedstawia rys. 6.

Metoda ta znajduje zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym (tablice przyrządów, obudowy lusterek zewnętrznych, panele drzwi, tylne panele siedzeń, kratki wentylacyjne, pokręta klaksonu), a także w wytwarzaniu artykułów gospodarstwa domowego (pokrywy pralek, przednie ścianki kuchenek mikrofalowych, obudowy tosterów) oraz sprzętu sportowego (kije hokejowe, narty wodne).

### WTRYSKIWANIE PROSZKÓW METALOWYCH I CERAMICZNYCH

Proces wtryskiwania proszków metalowo-ceramicznych jest połączeniem wtryskiwania ze spiekaniem [1, 2, 4, 16, 17]. Poszczególne etapy procesu ilustruje rys. 7. Proszek metalowo-ceramiczny miesza się z tworzywem termoplastycznym (najczęściej z grupy poliolefin) oraz woskiem. Proszek zawiera małe cząstki, o wymiarach 0,1–20  $\mu\text{m}$ , z różnych materiałów, najczęściej ze stali nierdzewnych, narzędziowych i węglowych, korundu, żelaza, krzemianów, tlenku cyrkonu oraz azotku krzemu. Można tu stosować różne metale z wyjątkiem aluminium, na którego powierzchni tworzy się warstwa tlenku uniemożliwiająca jego spiekanie. Proszek metalowo-ceramiczny stanowi masowo do 90 % mieszaniny (objętościowo do 60–70 %), a tworzywo polimerowe spełnia rolę lepiszcza oraz ułatwia przepływ uplastycznionej masy w kanałach formy wtryskowej. Mieszanie proszku metalowo-ceramicznego z lepiszczem polimerowym odbywa się w wylączarkach dwuślakowych, w podwyższonej temperaturze (100–200 °C). Mieszanie granuluje się i na kolejnym etapie wtryskuje do gniazda formy wtryskowej, tak jak w konwencjonalnym procesie. Temperatura wtryskiwanej mieszaniny mieści się w przedziale 150–200 °C. Forma może mieć temperaturę pokojową lub nieco podwyższoną w celu ułatwienia kontroli lepkości mieszaniny.

Wytworzona wypraska wstępna (tzw. „zielona wypraska”) wymaga dalszej obróbki, polegającej na usuwaniu lepiszcza polimerowego oraz spiekaniu. Usuwanie lepiszcza przeprowadza się w piecu, w temp. 500 °C, w wyniku czego uzyskuje się tzw. „brązową wypraskę”. Usuwanie to jest długim procesem, trwającym wiele godzin, a niekiedy nawet dób, w zależności od grubości ścianek wypraski i wymiarów ziaren proszku.

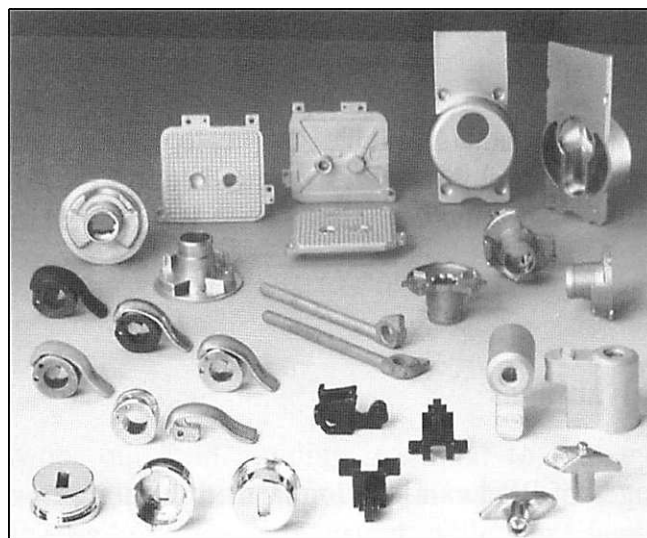
Kolejna operacja, czyli spiekanie wypraski, odbywa się w temp. ok. 1200 °C, zazwyczaj w atmosferze wodoru. Usuwanie lepiszcza oraz spiekaniu towarzyszy duży (ok. 10–20 %) skurcz wyprasek, co należy uwzględnić projektując formę wtryskową.

Proces wtryskiwania proszków można realizować stosując konwencjonalne wtryskarki z układem uplastyczniającym odpornym na zużycie ściernie. Formy wtryskowe muszą być wykonane z materiałów o większej odporności na zużycie; kanały i przewężki powinny mieć większe wymiary przekroju poprzecznego.

Zaletą procesu są niższe koszty wytwarzania wytworów metalowo-ceramicznych w porównaniu z kosztami typowych metod przetwarzania tych materiałów. Możliwa jest produkcja masowa wytworów o złożonym kształcie z materiałów trudnych do obróbki (zazwyczaj bez dodatkowej obróbki skrawaniem), o dobrych właściwościach mechanicznych.

Wada procesu to kłopotliwa kontrola wymiarów wytworów, co wiąże się ze wspomnianym dużym ich skurczem. Ponadto występują pewne ograniczenia odnoszące się do wymiarów wytwarzanych elementów. Ze względu na długi czas usuwania lepiszcza — tym dłuższy im grubsze są ścianki — wytwarza się elementy grubości nie większej niż 30 mm.

Metodę wtryskiwania proszków metalowo-ceramicznych można stosować do wytwarzania narzędzi skrawających, części elektronicznych, komputerowych, elementów sprzętu medycznego i kosmicznego, części

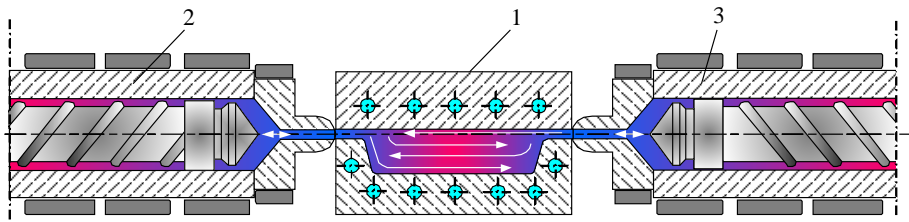


Rys. 8. Wytwory uzyskane metodą wtryskiwania proszków [2]  
Fig. 8. Parts produced by powder injection molding [2]

maszyn oraz części samochodowych, na przykład elementów turbosprężarek, hamulców bądź układu zapłonowego. Przykłady tego rodzaju wytworów pokazuje rys. 8.

### WTRYSKIWANIE PULSACYJNE

Wtryskiwanie pulsacyjne polega na wywołaniu wielokrotnego, dwukierunkowego przepływu tworzywa ciekłego w gnieździe formującym [1, 2, 4, 7, 18, 19]. W procesie tym wykorzystuje się dwa układy uplastycz-



Rys. 9. Schemat procesu wtryskiwania pulsacyjnego: 1 — forma wtryskowa, 2 — główny układ uplastyczniający, 3 — dodatkowy układ uplastyczniający (por. tekst)

Fig. 9. Scheme of push-pull injection molding process: 1 — mold, 2 — master injection cylinder, 3 — companion injection cylinder (see text)

niające (1, 2 — rys. 9). Podczas fazy wypełniania gniazdo formujące wypełnia się tworzywem z jednego układu uplastyczniającego. Do formy wtryskuje się większą ilość tworzywa niż jest potrzebna do wypełnienia kanałów przepływowych i gniazda formującego; jego nadmiar przepycha się do drugiego układu uplastyczniającego, w którym ślimak cofa się o 10–15 mm. Następnie, w drugiej fazie procesu, tworzywo jest przepychane z jednego układu uplastyczniającego do drugiego poprzez gniazdo. Dwukierunkowy przepływ tworzywa w gnieździe kontynuuje się do chwili zestalenia się go w gnieździe lub w kanałach układu przepływowego formy bądź tak długo, aż nastąpi przełączenie ciśnienia wtryskiwania na ciśnienie docisku w obydwu układach uplastyczniających. Zazwyczaj liczba powtarzających się cykli przepływu tworzywa w gnieździe formującym wynosi 10, chociaż może ich być więcej, nawet do 40 [2].

Metodą wtryskiwania pulsacyjnego przetwarza się poliamidy napełnione włóknem szklanym, a także polimery ciekłokrystaliczne oraz tworzywa termoplastyczne takie jak PPS [poli(sulfid fenylenu)], PEK (polietero- keton), PPA (polifitaloamid), PEAK (poliakryloetero- keton).

Zaletą tej metody wtryskiwania jest uzyskiwanie dużej orientacji makrocząstek oraz włókien w rdzeniu wyprasek, co polepsza ich właściwości mechaniczne w kierunku przepływu tworzywa. Ponadto wielokrotny przepływ w dwóch kierunkach zmniejsza możliwość występowania obszarów łączenia strumieni tworzywa dzięki rozprowadzaniu go w całym gnieździe, bądź też, jeżeli obszary takie powstają, to charakteryzują się one znacznie większą wytrzymałością niż w przypadku wyprasek wytwarzanych w procesie wtryskiwania kon-

wencjonalnego. Można uzyskiwać wypraski o grubych ściankach, bez pęcherzy i pęknięć.

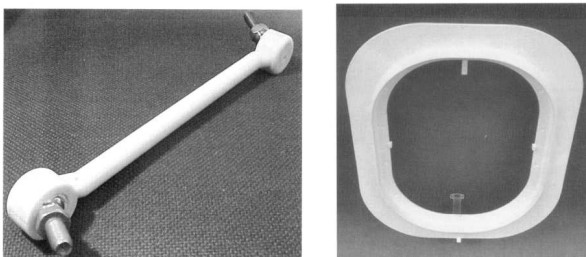
Wadą procesu jest konieczność stosowania maszyn z dwoma układami uplastyczniającymi oraz specjalnego układu sterowania przebiegiem procesu.

Wtryskiwanie pulsacyjne może być np. stosowane do wytwarzania części samochodowych (obramowanie okien), bądź elementów używanych w elektronice oraz urządzeniach kosmicznych. Przykłady takich wytworów ilustruje rys. 10.

#### WTRYSKIWANIE PULSACYJNE ZE STEROWANĄ ŚCINANIEM ORIENTACJĄ MAKROCZĄSTECZEK

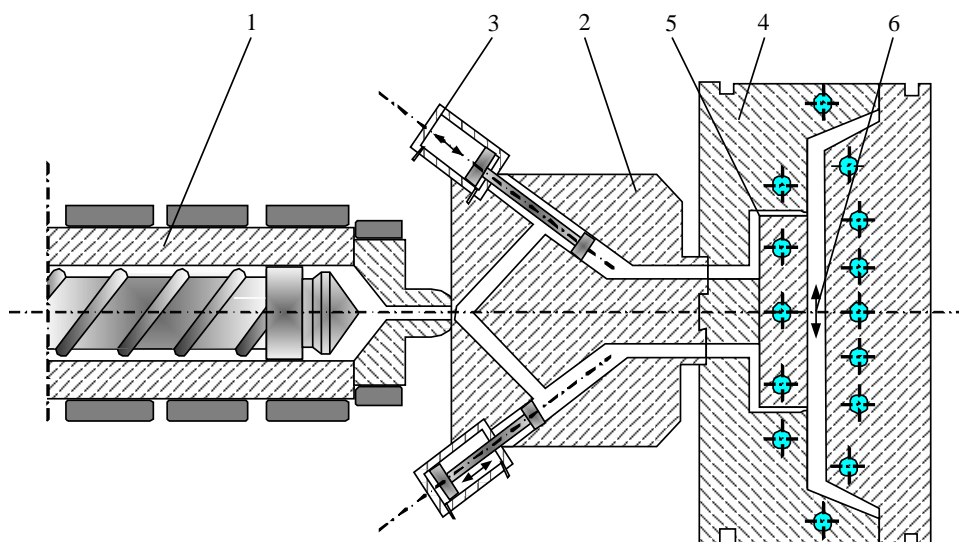
W procesie tym powstawanie mikrostruktury tworzywa wypraski jest sterowane zjawiskiem ścinania na granicy pomiędzy tworzywem ciekłym i zestalonym [1, 2, 4, 7]. Wtryskarka do omawianego tu procesu wtryskiwania jest wyposażona w specjalną głowicę (2) zamontowaną na końcu układu uplastyczniającego (1). Głowica ta ma dwa cylindry hydrauliczne dwukierunkowego działania (3), umożliwiające sterowanie przepływem dwóch strumieni tworzywa, uzyskanych w wyniku podziału strumienia z układu uplastyczniającego w kanałach głowicy (rys. 11). Głowica umożliwia doprowadzanie tworzywa do kanałów łączących dyszę układu uplastyczniającego z kanałami formy wtryskowej (4). Każdy z kanałów ma niezależne sterowanie ciśnieniem, co pozwala na doprowadzanie tworzywa do formy jednym lub równocześnie dwoma kanałami.

Na pierwszym etapie procesu forma wypełnia się tworzywem ciekłym tak jak w konwencjonalnym wtryskiwaniu, jednym lub dwoma kanałami (5), przy czym tłoki cylindrów hydraulicznych są przesunięte w tylne położenie. Gdy tworzywo zaczyna się ochładzać od zimnych ścianek formy, uruchamiane są tłoki według określonego programu, wywołując przepływ tworzywa w gnieździe formującym, kanałach doprowadzających i przewężkach. Ruch tłoków jest przesunięty w fazie (o 180 °C), co powoduje wielokrotny przepływ pulsacyjny tworzywa w formie. Wskutek przepływu i intensywnego ścinania tworzywo w przewężkach pozostaje w stanie ciekłym, podczas gdy w gnieździe formującym zestalają się kolejne warstwy tworzywa o dużej orientacji makromolekularnej. Na następnym etapie, w fazie



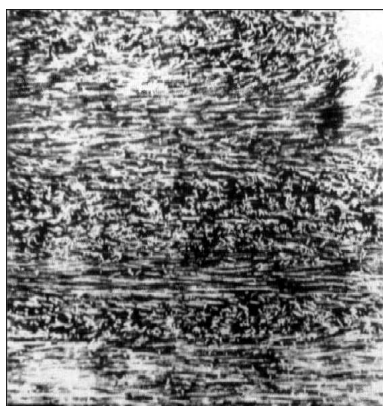
Rys. 10. Wypraski wytworzone metodą wtryskiwania pulsacyjnego [2]

Fig. 10. Parts produced by push-pull injection molding process



Rys. 11. Wtryskiwanie pulsacyjne ze sterowaną ścinaniem orientacją makrocząsteczek: 1 — układ uplastyczniający wtryskarki, 2 — głowica, 3 — układy hydrauliczne, 4 — forma wtryskowa, 5 — kanały doprowadzające, 6 — obszar łączenia strumieni tworzywa (opis działania — por. tekst)

Fig. 11. Shear controlled orientation injection molding: 1 — injection cylinder, 2 — processing head, 3 — hydraulic cylinders, 4 — mold, 5 — runners, 6 — weld line (description — see text)

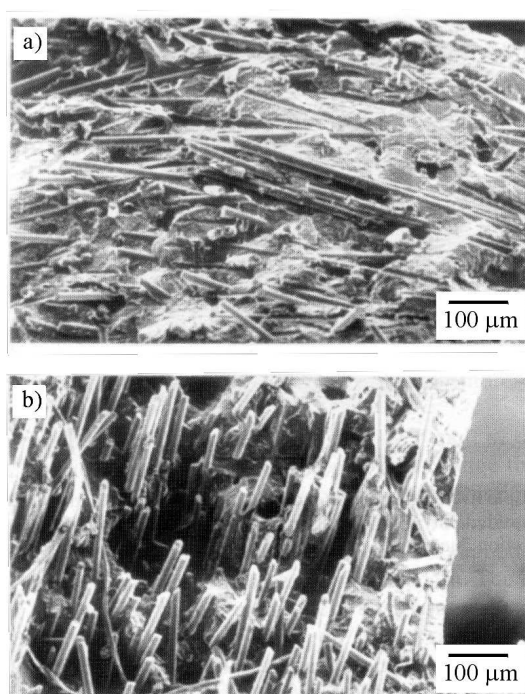


Rys. 12. Morfologia wypraski z tworzywa napelnionego włóknem, wytworzonej w procesie wtryskiwania pulsacyjnego [2]  
Fig. 12. Morphology of part made of polymer filled with fibers obtained by shear controlled orientation injection molding process [2]

docisku, tłoki działają równocześnie w tym samym kierunku, powodując ściskanie i rozprężanie tworzywa. Doprowadzane jest nowe tworzywo w celu uzupełnienia strat spowodowanych skurczem oraz usuwaniem pęcherzy powietrza. Wreszcie, na ostatnim etapie, tłoki ścisną tworzywo pod stałym ciśnieniem.

W procesie tym można przetwarzać różne tworzywa — termoplastyczne, termoutwardzalne, ciekłokrystaliczne — zarówno nienapełnione, jak i napełnione. Stosuje się tu takie materiały jak poliolefiny, POM (polioksymetylen, poliactal), PA, poliestry, PES lub PPOX [poli(tlenek fenylenu)].

Dzięki przepływowi pulsacyjnemu tworzywa w gnieździe formującym eliminuje się wady wyprasek, takie jak pęknięcia, pęcherze powietrza, zapadnięcia oraz obszary łączenia strumieni tworzywa. Wypraski charakteryzują się określoną orientacją makrocząsteczek oraz napełniaczy (w przypadku tworzyw napełnionych) i dużym stopniem upakowania materiału, co prowadzi do polepszenia właściwości fizycznych i użytkowych



Rys. 13. Powierzchnie przełomu w obszarze łączenia strumieni tworzywa wyprasek wytworzonych w konwencjonalnym procesie wtryskiwania (a) oraz w procesie wtryskiwania pulsacyjnego ze sterowaną ścinaniem orientacją włókien (b) [2]

Fig. 13. Fracture failure surfaces at the weld line area for samples produced by conventional injection molding process (a) and by shear controlled fiber orientation injection molding process (b)

wyprasek, wyróżniających się ponadto większą stabilnością wymiarową. Wymaganą orientację makrocząsteczek i napełniaczy można uzyskać poprzez właściwe zaprojektowanie wypraski i kanałów przepływowych formy wtryskowej, zwłaszcza rozmieszczenia przewęzek. Na rysunku 12 przedstawiono morfologię wypraski z tworzywa napełnionego włóknem, z widoczną wyraźną orientacją włókien, natomiast na rysunku 13 ujawnia



się istotna różnica pomiędzy powierzchniami przelomu w obszarze łączenia strumieni tworzywa wyprasek wytworzonych w konwencjonalnym procesie wtryskiwania (rys. 13a) oraz w procesie wtryskiwania pulsacyjnego ze sterowaną ścinaniem orientacją włókien (rys. 13b).

Wadą omawianej metody jest wyższy koszt oprzyrządowania, wynikający ze stosowania specjalnej głowicy, a także konieczność zapewnienia specyficznego sterowania przebiegiem procesu. Najczęściej jest ona stosowana do wytwarzania sprzętu ortopedycznego (protezy, implantów) oraz części o zwiększonej wytrzymałości.

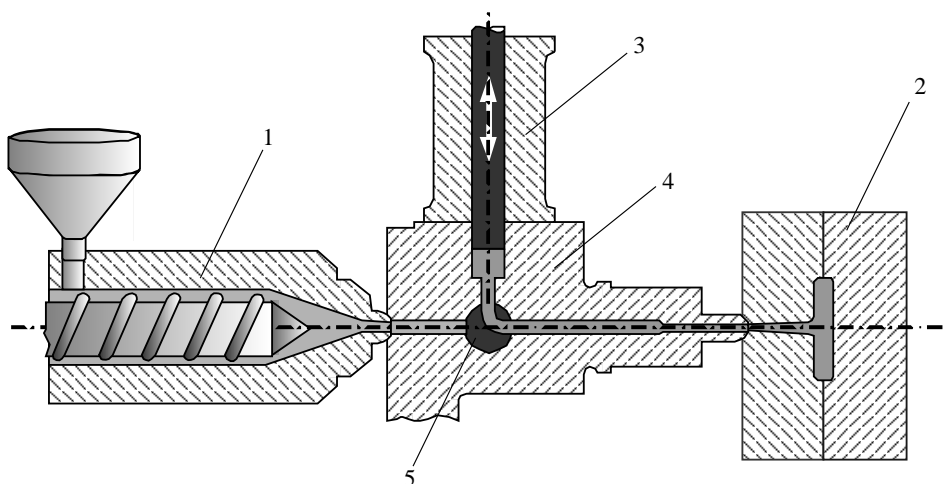
### WTRYSKIWANIE WIBRACYJNE

W procesie wtryskiwania wibracyjnego uplastycznione tworzywo, przed wprowadzeniem go do formy lub w samej formie, poddaje się wibracji z małą częstotliwością w celu polepszenia jego właściwości reologicznych, mechanicznych oraz optycznych [2]. Wibracja powoduje lepsze ujednorodnienie materiału, zwiększenie

ruch posuwisto-zwrotny i zapewniającym wibracje tworzywa uplastycznionego, zamontowanym pomiędzy układem uplastyczniającym wtryskarki (1) i formą wtryskową (2) (rys. 14). Operacje uplastyczniania tworzywa oraz wprowadzania go w ruch wibracyjny przebiegają jako oddzielne procesy.

Znane są również rozwiązania konstrukcyjne, w których wibracje wywołuje się bezpośrednio w formie wtryskowej, w wybranych jej miejscach, na przykład w obszarach łączenia strumieni tworzywa, gdzie montuje się dodatkowe tłoki wykonujące ruch oscylacyjny.

W procesie wtryskiwania wibracyjnego uzyskuje się wypraski o polepszonych właściwościach mechanicznych i optycznych (bardziej przezroczyste). Proces umożliwia wyeliminowanie obszarów łączenia strumieni tworzywa albo co najmniej zwiększenie wytrzymałości wyprasek z takimi obszarami. Wypraski charakteryzują się mniejszymi naprężeniami własnymi, mniejszą skłonnością do samoistnych odkształceń oraz lepszą jakością powierzchni.



Rys. 14. Schemat procesu wtryskiwania wibracyjnego: 1 — układ uplastyczniający wtryskarki, 2 — forma wtryskowa, 3 — dodatkowy cylinder z tłokiem, 4 — korpus głowicy, 5 — zawór trójdrożny

Fig. 14. Scheme of rheomolding process: 1 — injection cylinder, 2 — mold, 3 — additional cylinder with rod, 4 — body of a head, 5 — rotary shaft

jego gęstości oraz zmniejszenie lepkości. Występuje także zmiana kinetyki relaksacji, oddziałując tym samym na proces dyfuzji oraz krystalizacji tworzywa. Wibracje są przyczyną intensywnego tarcia wewnętrznego, czego skutkiem jest miejscowe generowanie ciepła oraz lepsze połączenie strumieni tworzywa.

Na właściwości reologiczne materiału, oprócz temperatury i ciśnienia, wywiera wpływ częstotliwość i amplituda wibracji. Wibracje o małej częstotliwości oraz dużej amplitudzie, w połączeniu z tradycyjnym ochładzaniem tworzywa, oddziałują na jego właściwości w podobny sposób jak szybkie ochładzanie. Można to wykorzystać do sterowania orientacją makrocząsteczek polimeru lub orientacją zawartego w nim napełniacza, a także, w przypadku polimerów częściowo krystalicznych, do regulowania morfologii w celu polepszenia właściwości mechanicznych wyprasek.

Wtryskiwanie wibracyjne realizuje się z zastosowaniem dodatkowego cylindra z tłokiem (3) wykonującym

Zasadniczą wadą wtryskiwania wibracyjnego jest bardziej złożone i kosztowniejsze oprzyrządowanie, a także trudniejsza, niż w konwencjonalnym wtryskiwaniu, optymalizacja warunków prowadzenia procesu.

### WTRYSKIWANIE WIBRACYJNE WSPOMAGANE GAZEM

W procesie wtryskiwania wibracyjnego wspomaganego gazem do ciekłego tworzywa wprowadza się sprężony i poddany wibracjom gaz w celu modyfikacji charakterystyki reologicznej materiału oraz polepszenia właściwości mechanicznych i optycznych wyprasek [2]. Sprężony gaz, zazwyczaj azot, może być doprowadzany do tworzywa na różnych etapach procesu poprzez dyszę wtryskową bezpośrednio do formy, z boku gniazda formującego lub przez kanały i komory usytuowane w pobliżu kanałów doprowadzających i przewęzek.

Częstotliwość wibracji mieści się w przedziale od małej, poddźwiękowej (1–30 Hz) do ultradźwiękowej

(15 000—20 000 Hz). Zastosowanie wibracji o dużej częstotliwości umożliwia wyeliminowanie obszarów łączenia strumieni tworzywa, przyspiesza proces relaksacji naprężeń oraz zmienia szybkość krystalizacji i wzrostu krystalitów w tworzywie. Wibracje o małej częstotliwości ułatwiają uzyskanie żądanej orientacji makrocząstek. Wibracje gazu są generowane przy użyciu przetworników pneumatycznych, elektrycznych lub mechanicznych. Do realizacji procesu niezbędne są urządzenia do mieszania, sprężania i wtryskiwania gazu, a także system komputerowego sterowania i monitorowania wibracji.

Ważną zaletą procesu wtryskiwania wibracyjnego wspomaganego gazem jest możliwość zmiany morfologii tworzywa podczas procesu, a dzięki temu modyfikacja jego właściwości mechanicznych, np. wytrzymałości na rozciąganie, modułu sprężystości przy rozciąganiu lub udarności.

#### PODSUMOWANIE

Opisane niekonwencjonalne metody wtryskiwania wymagają do ich zrealizowania maszyn i urządzeń o bardziej złożonej budowie oraz charakteryzują się trudniejszym sterowaniem przebiegiem procesu, co wpływa na zwiększenie kosztów wytwarzania wyprasek. Niemniej jednak są to metody wytwarzania wytworów o właściwościach i cechach powierzchni trudnych bądź niemożliwych do uzyskania w procesie wtryskiwania konwencjonalnego. Stąd też wskazane są badania mające na celu doskonalenie tych metod, prowadzące do rozszerzenia zakresu ich stosowania.

#### LITERATURA

1. Pötsch G., Michaeli W.: „Injection Molding. An Introduction” Hanser Publishers, Monachium-Wiedeń-Nowy Jork, Hanser/Gardner Publications, Inc., Cincinnati 1995, str. 195.
2. Osswald T. A., Turng L-S., Gramann P. J.: „Injection Molding Handbook” Hanser Publishers, Monachium, Hanser Gardner Publications, Inc., Cincinnati 2001, str. 748.
3. Bürkle E.: „Procesy specjalne i kierunki rozwoju technologii wtrysku” w: „Technologie wtryskiwania, jakość i efektywność” Wyd. Plastech, Warszawa 2000, str. 17.
4. Zwierzyński A.: *Mechanik* 2000, 787.
5. Smorawiński A.: „Technologia wtrysku” WNT, Warszawa 1989, str. 460.
6. Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych” WE, Warszawa 1993, str. 528.
7. Johannaber F.: a) „Kunststoffe Maschiner Führer” Carl Hanser Verlag, Monachium-Wiedeń 1992; b) „Wtryskarki — Poradnik użytkownika”, Wyd. Plastech, Warszawa 2000, str. 279.
8. Filarski R.: „Nowatorskie technologie wtryskiwania” w: „Technologie wtryskiwania, jakość i efektywność”, Wyd. Plastech, Warszawa 2000, str. 53.
9. Zawistowski H., Frenkler D.: „Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych”, WNT, Warszawa 1984, str. 393.
10. Steinbichler G.: „Nowa technologia spieniania drobnokomórkowego wyprasek — Mu-Cell” w: „Technologie wtryskiwania, jakość i efektywność”, Wyd. Plastech, Warszawa 2000, str. 141.
11. Praca zbiorowa: „Konstrukcje z tworzyw sztucznych. Praktyczny poradnik. Zasady doboru materiałów”, Wyd. Alfa-Weka Sp. z o.o., Warszawa 1997.
12. Szostak M.: *Plast. Rev.* 2002, nr 8, 62.
13. Zawistowski H.: „Problemy klasyfikacji i terminologii metod dekorowania wyrobów w formie podczas procesu wtryskiwania” w: „Techniki barwienia, zdobienia i znakowania wyrobów z tworzyw sztucznych”, Wyd. Plastech, Warszawa 2002, str. 102.
14. Cippert P.: „Techniki zdobienia wyprasek w formie podczas procesu wtryskiwania” w [13], str. 105.
15. Molik M., Tryburcy J.: „Klasyfikacja technik zdobienia wyrobów z tworzyw sztucznych i kryteria ich wyboru” w [13], str. 122.
16. Kato K., Chung Y. H., Ohtake N.: „On the Defects of Voids and Rough Surface Asperity in Ceramic Injection Molding”, The Polymer Processing Society Fifteenth Annual Meeting (PPS-15), 's Hertogenbosch 1999, str. 84.
17. Robles M., Vlachopoulos J., Hrymak A. N.: „Water Debinding in Powder Injection Molding”, The Polymer Processing Society Eighteenth Annual Meeting (PPS-18), Guimarães, str. 103.
18. Ludwig H-C, Kech A., Möglinger B.: „Solidification in Push-Pull Processing — Simulation and Comparison to Morphology”, The Polymer Processing Society Fifteenth Annual Meeting (PPS-15), 's Hertogenbosch 1999, str. 88.
19. Tchalamov D. B., Custódio F. M., Viana J. C., Cunha A. M.: „Two-Material Push-Pull Processing of Low and High Molecular Weight Polypropylene”, The Polymer Processing Society Eighteenth Annual Meeting (PPS-18), Guimarães, str. 91.