Charakterystyka mikroformowania wtryskowego. Konwencjonalne formowanie wtryskowe, dobór materiału, wtryskarki w mikroformowaniu wtryskowym

Stale rosnąca potrzeba miniaturyzacji detali z tworzyw sztucznych skłania do rozwoju technologii mikroformowania wtryskowego. Charakterystyczne cechy procesu, takie jak niskie koszty wytwarzania, krótki czas trwania procesu, zdolność wytwarzania detali o zróżnicowanych gabarytach oraz szeroka gama właściwości poszczególnych tworzyw sztucznych, pozwalają na masowe rozpowszechnienie tej technologii. Badania nad mikroformowaniem wtryskowym rozwijają się w bardzo szybkim tempie, co daje duże nadzieje w związku ze sprawnym przewyższaniem rzeczywistych ograniczeń tej technologii. Prognozuje to bardzo dużą perspektywę rozwoju możliwości zastosowania detali mikrowtryskiwanych, m.in. w przemyśle samochodowym, w tym w procesie produkcji autobusów.

W pracy omówiono konwencjonalny proces formowania wtryskowego – tj. przedstawiono istotę procesu, cykl formowania wtryskowego oraz budowę konwencjonalnej wtryskarki ślimakowej. W dalszej części pracy skupiono się na charakterystyce mikroformowania wtryskowego. Omówiono kwestię doboru materiału przeznaczonego do procesu mikroformowania oraz scharakteryzowano typy mikrodetali. Ponadto omówiono wtryskarki przeznaczone do tego procesu.

Słowa kluczowe: mikrowtryskiwanie, tworzywa termoplastyczne, mikrodetale, mikroformy, przemysł samochodowy, autobusy.

Wprowadzenie

Duże zainteresowanie procesem mikroformowania wtryskowego jest wynikiem niskiej w kosztach produkcji mikrodetali na dużą skalę. Materiały i sprzęt użyte do tego procesu w nieznacznym stopniu odbiegają w kwestii technologii i ekonomiki od klasycznego formowania wtryskowego, co daje wysoką opłacalność procesu oraz bardzo duże możliwości produkcji wyrobów specjalnego przeznaczenia. Należy zauważyć, iż z wykorzystaniem jednej formy wtryskowej wykonuje się wielokrotnie cykl wtryskiwania tworzywa [10], ponadto koszt surowca to czynnik na tyle mało istotny w tym procesie, że często jest on pomijany przez producentów, co jest związane z bardzo niskimi cenami granulatu z tworzyw sztucznych. Zważając na możliwy szeroki zakres wykorzystywania produktów mikroformowania wtryskowego, jest to proces wciąż rozwijający się oraz mający szerokie spektrum rozwoju w przyszłości – między innymi duże możliwości zastosowania tego typu technologii upatruje się w produkcji mikrodetali dla przemysłu samochodowego, w tym autobusów.

Charakterystyka konwencjonalnego formowania wtryskowego

Formowanie wtryskowe to proces polegający na nagraniu granulatu do osiągnięcia stanu plastycznego, a następnie wtryskiwaniu go pod

wysokim ciśnieniem do zamkniętej formy, która odwzorowuje pożądaną kształt danego detalu. Wtryskiwane tworzywo zostaje się wskutek obniżenia temperatury, następnie po zestaleniu gotowa wypraska jest usuwana z wnętrza formy wtryskowej. Otrzymana kształtka może charakteryzować się dowolną geometrią i kolorystyką. Pierwszym urządzeniem służącym do formowania wtryskowego była wtryskarka tłokowa opatentowana przez braci Hattów w 1872 r. W 1955 r. została opatentowana przez H. Becka wtryskarka ślimakowa, która do dziś pełni rolę najpopularniejszej wtryskarki [4, 26, 33]. Schemat wtryskarki ślimakowej z najważniejszymi podzespołami maszyny i parametrami procesu został przedstawiony na rys. 1.

Praca wtryskarki jest cykliczna i składa się z następujących etapów:

- faza zamykania – zamykanie formy zamocowanej do stołu wtryskarki przesuwanego na prowadnicach;
- faza wtrysku – wtryskiwanie tworzywa przez dyszę do gniazda formy wtryskowej. Układ uplastyczniający jest dosuwany do formy, gdzie dysza wtryskowa jest stykana do tulei wtryskowej;
- faza docisku – uzupełnianie tworzywa w gnieździe formującym do momentu zakrzepnięcia przewężki. Jest to bardzo istotny etap, gdyż redukuje wielkość skurczu wypraski;
- faza uplastyczniania – odsuwanie tłoka lub ślimaka, wskutek czego następuje pobieranie granulatu z zasobnika i uplastycznienie pod wpływem wysokiej temperatury. W przypadku tłoka ruch zwrotny powoduje zasypanie pustego cylindra. Z kolei poprzez ruch powrotny ślimaka, który jednocześnie obraca się, następuje uzupełnienie uplastyczniającego się tworzywa;
- faza otwierania – rozdzielanie połówek formy oraz wypadnięcie wypraski;
- faza przerwy – przestój związany z przerwą między cyklami wtryskiwania.

Rys. 1. Schemat wtryskarki ślimakowej z najważniejszymi podzespołami: A – dźwignie zamykające, B – kolumny prowadzące, C – część ruchoma stołu, D – połowka formy (ruchoma), E – połowka formy (nieruchoma), F – część nieruchoma stołu, G – dysza wtryskarki, H – końcówka ślimaka z zaworem zwrotnym, I – grzejniki, J – ślimak, K – zasyp, L – napęd ruchu obrotowego ślimaka, M – siłownik hydrauliczny napędu ślimaka, N – cylinder hydrauliczny dosuwu cylindra wtryskowego, O – cylinder wtryskowy, P – termostat

$$T_c = T_z + T_w + T_d + T_u + T_o + T_p$$

Rys. 2. Przedstawienie cyklu wtryskiwania. Oznaczenia: T_c – pełny czas cyklu wtryskiwania, T_z – czas zamykania formy, T_w – czas wtryskiwania, T_d – czas docisku, T_u – czas plastyfikacji, T_o – czas otwierania formy, T_p – czas przerwy między cyklami

Etapy cyklu wtryskiwania względem czasu i kolejności zostały zobrazowane na rys. 2. W celu zwiększenia wydajności dąży się do tego, aby skrócić czas cyklu. W tym celu można łączyć niektóre fazy, np. fazę uplastyczniania i zamykania formy [27, 33].

Jako główne układy funkcjonalne formy wtryskowej można wyróżnić:

- gniazdo formujące;
- układ wlewowy;
- układ chłodzenia;
- układ wypychania wlewka oraz wypraski;
- elementy prowadzące;
- obudowę.

Poprzez układ wlewowy, czyli zbiór kanałów, następuje transportowanie uplastycznionego tworzywa z dyszy do formy. Uformowanie wypraski następuje w gnieździe formującym, które jest przestrzennie ograniczone powierzchnią matrycy, stempla oraz wypychaczy. Układ chłodzenia to system kanałów, przez które jest prowadzone medium chłodzące. Z kolei poprzez wypychacze prowadzone w tulejach wypraska zostaje usunięta z formy. Cofacze służą wywołaniu ruchu powrotnego wypychaczy zatrzymanych na zderzakach. Tuleje i słupy prowadzące pełnią funk-

Tab. 1. Przykłady głównych termoplastów stosowanych w procesie mikroformowania wtryskowego

Polimer	Poliwęglan	Polioksymetylen	Poli(metakrylan metylu)	Polieteroeteroketon	Polisulfon	Polistyren
Symbol	PC	POM	PMMA	PEEK	PSU	PS
Struktura	Bezpostaciowa	Semikrystaliczna	Bezpostaciowa	Semikrystaliczna	Bezpostaciowa	Bezpostaciowa
Stabilność termiczna [°C]	130	90	80	250	150	80
Charakterystyczne właściwości	Duża przezroczystość	Mala ścieralność	Duża przezroczystość	Duża odporność termiczna	Odporność termiczna i chemiczna	Przeźroczystość
Jakość struktury	Dobra	Bardzo dobra	Dobra	Bardzo dobra	Dobra	Dobra
Zdolność wypełniania gniazda formującego	Dobra	Bardzo dobra	Średnia	Zła	Dobra	Dobra
Łatwość usuwania wypraski z gniazda formującego	Średnia	Dobra	Zła	Zła	Zła	Zła

cję odpowiedniego osadzenia połówek formy względem siebie. Rolę bazy do wzajemnego powiązania i mocowania wszystkich podzespołów pełni obudowa. W skład obudowy wchodzi: płyty mocujące, oprawy, płyty oporowe stempli i części dystansowej, pierścienie centrujące oraz elementy łączące [11, 31]. Na rys. 3 przedstawiono przykładowy zdyskretyzowany model 3D gniazda oraz układów funkcjonalnych formy zawierający ok. 60 tys. elementów skończonych typu czworosiennego.

Dobór materiału i charakterystyka mikrodetali

Tworzywa sztuczne to materiały składające się z polimerów oraz dodatków modyfikujących, takich jak: barwniki, plastyfikatory, napełniacze, stabilizatory, środki antystatyczne itp. Charakteryzują się one małą gęstością, odpornością na korozję oraz łatwością przetwórstwa. Z kolei wadami są mała odporność na wysokie temperatury oraz niższe właściwości mechaniczne w porównaniu do np. metali, ceramiki. Istnieje wiele rodzajów tworzyw sztucznych, różniących się właściwościami fizycznymi i chemicznymi. Ta różnorodność jest największą zaletą, dzięki której tworzywa mają zastosowanie w każdej dziedzinie życia. W obecnych realiach – dzięki właściwościom takim jak bioresorbowalność oraz obojętność w organizmie żywym – niektóre polimery są wykorzystywane nawet jako biomateriały [16, 23, 28].

W procesie mikroformowania wtryskowego wykorzystywane są przeważnie materiały termoplastyczne, w mniejszym stopniu termoutwardzalne. Należy jednak wspomnieć, iż w przypadku użycia termoplastów przeważnie stosuje się te o małej lepkości. Granulat przeznaczony do tego procesu ma zazwyczaj długość i średnicę wynoszącą ok. 3 mm [3]. Dąży się jednak do redukcji gabarytów granulatu lub też zastosowania tworzywa w formie proszku – umożliwia to zmniejszenie średnicy ślimaka i obniżenie objętości wtrysku. Materiały polimerowe mogą być ponadto wzbogacone o materiały proszkowe, ceramiczne oraz włókna. Przykładem użycia tworzywa sztucznego wzbogaconego o dodatki jest produkcja mikroelementów elektroprzewodzących, np. PA-12C (tworzywa napełniane przewodzącą sadzą) [16]. W tab. 1. przedstawiono zestawienie głównych polimerów termoplastycznych najczęściej stosowanych w procesie mikrowtryskiwania [1, 3, 13, 16, 24, 25, 29, 30, 32].

Dużym zainteresowaniem cieszy się mikrowtryskiwanie reaktywne. W metodzie tej do formy wprowadza się 2 składniki polimerowe – tworzywo termoutwardzalne oraz elastomer. Bar-

Rys. 3. Przykład modelu numerycznego gniazda oraz układów funkcjonalnych formy wraz z detalem o geometrii uchwyty stosowanego w autobusach komunikacji miejskiej

dzo często w tym procesie wykorzystuje się materiały silikonowe, amidowe oraz akrylowe. Do przetwarzanego materiału dodaje się środki antyadhezyjne w celu łatwiejszego usunięcia z formy wypraski. Istotnym problemem jest bardzo dokładne wymieszanie składników oraz odpowiednio długi czas przeprowadzania reakcji. Drugi z wspomnianych problemów został rozwiązany poprzez możliwość sieciowania mieszanki za pomocą promieni UV [23].

W trakcie doboru materiału do procesu mikrowtryskiwania należy uwzględnić specyfikację polimerów. Ważnymi parametrami w tym przypadku są: rozszerzalność cieplna, właściwości chemiczne, dyfuzja gazów, pełzanie, lepkość. Istotną kwestią jest również ciężar cząsteczkowy polimeru – powinien charakteryzować się przedziałem wartości w zakresie 40 000–100 000.

Mikrowtryskiwanie jest procesem, w którym otrzymuje się głównie 3 typy wyprasek [3]:

- ♦ detale precyzyjne o dowolnych gabarytach, lecz o tolerancji rzędu kilku mikrometrów;
- ♦ detale o standardowych gabarytach, lecz posiadające fragmenty specjalnej struktury, niezbędne do odpowiednich cech użytkowych;
- ♦ detale o masie w zakresie kilku miligramów do części ułamkowej grama bądź o gabarytach rzędu mikrometrów.

Produkty tego procesu mają zazwyczaj dobrą tolerancję wymiarową. Ponadto nie wymagają prawie żadnych operacji wykończeniowych. Istotną kwestią, tak w przypadku standardowej metody, jak i w przypadku mikroformowania, jest odpowiednie zaprojektowanie detalu [8, 9, 12]. Należy wprowadzić odpowiednie pochylenia ścianek, aby produkt mógł być jak najłatwiej usunięty z formy. Warto również pamiętać o unikaniu ostrych naroży prowadzących do powstawania mikronaprzeżeń [13, 19, 20].

Problematicznym procesem jest ponadto łączenie mikrodetali w systemy – stosuje się tu klejenie w niskiej temperaturze, jak również zgrzewanie za pomocą ultradźwięków [13, 16].

Wtryskarki w mikroformowaniu wtryskowym

Mikroformowanie wtryskowe jest jednym z najbardziej ugruntowanych procesów mikroprodukcyjnych, gdyż opiera się na technologii standardowego wtryskiwania tworzyw sztucznych oraz charakteryzuje się wysokim poziomem automatyzacji. Jednak ze względu na miniaturyzację wyprasek proces ten wymaga specjalnego typu wtryskarek, pomocniczych urządzeń służących do sterowania parametrami procesu, jak również obsługi logistycznej detali po samym procesie mikrowtryskiwania – chodzi tu głównie o wypychanie wyprasek oraz ich przeniesienie i składowanie. Po-

nadto proces ten wymaga technologii mikroobróbki do produkcji mikroform wtryskowych [2, 14, 15, 17].

Technologia mikrowtryskiwania miała swój początek w latach 80. XX w. Z uwagi na brak dostępnych maszyn do tego procesu rozpoczęto adaptację standardowych jednostek napędzanych hydraulicznie. Z kolei w latach 1995–2000 podjęto próby projektowania pierwszych specjalistycznych maszyn do procesu mikrowtryskiwania. Głównym założeniem było zmniejszenie minimalnej ilości wtryskiwanego tworzywa, co dawało gwarancję stabilnego procesu oraz zwiększenia możliwości wtryskiwania bardzo małych detali. Produkcja mikroelementów była wyzwaniem w przypadku wtryskiwania z użyciem konwencjonalnych wtryskarek. W tym procesie głównym problemem było zaprojektowanie odpowiednich kanałów doprowadzających, aby osiągnąć minimalną objętość wtryskiwanego tworzywa przez wtryskarkę. W wyniku tego nawet 90% tworzywa było marnowane, gdyż kanały doprowadzające były odpadem oddzielnym od formowanego detalu [20]. Biorąc pod uwagę wtryskiwanie tworzyw specjalnych, np. do zastosowań medycznych, gdzie koszt surowca był bardzo wysoki, formowanie wtryskowe konwencjonalną wtryskarką było nieopłacalne. Kolejnym problemem był stosunkowo długi czas chłodzenia, co bezpośrednio wpływało na wydłużenie się czasu cyklu wtryskiwania. Ponadto istotną kwestią było wprowadzenie urządzeń peryferyjnych, umożliwiających odpowiednie odpowietrzenie formy oraz utrzymanie żądanej temperatury [13]. Specjalistyczne maszyny służące do mikroformowania wtryskowego występują w standardowych ofertach producentów, takich jak np. Arburg, Battenferd, Boy. Charakteryzują się one m.in. układem uplastyczniającym ze ślimakiem o średnicy od 12 do 18 mm i stosunkiem długości do średnicy wynoszącym ok. 15, wysoką siłą zwarcia formy, elastyczną możliwością regulacji parametrów, wysoko wyspecjalizowanym systemem kontroli procesu, zniwelowaniem możliwości uszkodzenia mikroformy podczas zamknięcia oraz zastosowaniem wysokiej jakości podzespołów odpornych na szybkie zużycie [14, 22, 25, 32, 35].

Nowoczesne wtryskarki do mikroformowania wtryskowego są zaopatrzone w mikroprocesorowy system sterowania parametrami w funkcji czasu. Pozwala to na uzyskanie czasu reakcji w zakresie od 0,1 do 1 ms, co skutkuje m.in. bardzo niskim rozrzutem objętości wtryskiwanego materiału polimerowego w zakresie 0,01–0,1 cm³ [3]. Ponadto mikroprocesorowe systemy sterowania poszerzone są często o komparatory sprzętowe służące do zestawienia wartości sygnałów napięcia wytworzonego przez czujniki ciśnienia z zadaną wartością napięcia przy sterowaniu,

Rys. 4. Przedstawienie zasady działania wtryskarki z 2 układami uplastyczniającymi

co umożliwia redukcję rozrzutu objętości wtryskiwanego tworzywa do wartości ok. $0,01\text{cm}^3$ [3, 21].

Warto również poruszyć kwestię usuwania i odbierania mikrowyprasek – z uwagi na bardzo mały ciężar i gabaryty mikrowypraski nie spadają łatwo do pojemników lub na taśmy. W tym wypadku stosuje się m.in. urządzenia pracujące z użyciem sił elektrostatycznych, podciśnienia lub nadmuchu. Ponadto popularne w użyciu są wtryskarki wyposażone w roboty odbierające mikrowypraski [3, 18].

W celu zoptymalizowania parametrów wtryskiwania opracowano wtryskarki z 2 układami uplastyczniającymi z zastosowaniem ślimaka usytuowanego pod określonym kątem w stosunku do tłokowego układu wtryskowego. Po uplastycznieniu z użyciem ślimaka stopione tworzywo przepływa do formy wtryskowej w dołkowanej ilości poprzez działanie tłoka, regulowanego z użyciem czujnika optycznego (rys. 4.). Proces z użyciem tego typu wtryskarki charakteryzuje się zwiększoną prędkością wtryskiwania, niższym czasem wypełnienia formy. Ponadto powyższa zmiana konstrukcyjna daje korzyści w postaci mniejszej objętości kanałów doprowadzających, a w konsekwencji – mniejszej ilości odpadów. Zauważalne są ponadto lepsze wymieszanie surowca oraz znacząco krótszy czas wtryskiwania [14, 22, 29, 34].

Podsumowanie

Formowanie wtryskowe jest procesem, który miał swoje początki już pod koniec XIX w. Obecne konwencjonalne wtryskarki ślimakowe charakteryzują się wysoką wydajnością pracy – w krótkiej, cyklicznej jednostce czasu istnieje możliwość produkcji bardzo dużej ilości detali z tworzyw sztucznych. Należy zauważyć, iż sama budowa wtryskarki jest istotnie zaawansowana, stąd też wiele parametrów nastawnych maszyny decyduje o poprawności przebiegu procesu.

W procesie mikroformowania wtryskowego stosuje się, tak jak w metodzie konwencjonalnej formowania wtryskowego, w większości materiały termoplastyczne. Z uwagi na specyficzne właściwości konkretnych materiałów polimerowych, takich jak np. przeźroczystość, ścieralność, odporność termiczną i chemiczną itp., odpowiednie tworzywa sztuczne mają wyspecjalizowane przeznaczenie jako materiał w produkcji mikrodetału. Istotną kwestią jest również aspekt związany z projektowaniem detali o bardzo małych gabarytach – należy zachować powszechnie przyjęte zasady projektowania, tj. odpowiednie pochylenie ścianek, unikanie ostrych naroży itp.

Pierwsze wtryskarki stosowane w procesie mikroformowania wtryskowego były maszynami przeznaczonymi do konwencjonalnego procesu. Wadą ich użycia była duża objętość wtryskiwanego tworzywa, co w konsekwencji prowadziło do bardzo dużej ilości odpadów. Wraz z coraz większym zainteresowaniem produkcją mikrodetału rozpoczęto produkcję wtryskarek przeznaczonych docelowo do procesu mikroformowania wtryskowego. Pojawiły się również nowoczesne rozwiązania dla tej technologii, np. wtryskarka z 2 układami uplastyczniającymi.

Bibliografia:

1. Attia U. M., Marson S., Alcock J. R., *Micro-injection moulding of polymer microfluidic devices*, „Microfluidics and Nanofluidics” 2009, No. 7 (1).
2. Bacher W., Bade K., Matthis B., Saumer M., Schwarz R., *Fabrication of LIGA mold inserts*, „Microsystem Technology” 1998, No. 4.
3. Bociąga E., *Specjalne metody wtryskiwania tworzyw polimerowych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.

4. Czekaj T., Huczkowski P., Polaczek J., *Podstawy przetwórstwa tworzyw sztucznych: skrypt dla studentów wyższych szkół technicznych*, Zakład Graficzny Politechniki Krakowskiej, Kraków 1994.
5. Frącz W., Janowski G., *Analiza numeryczna procesu wytwarzania kompozytowego fotela pasażera miejskiego autobusu w technologii RTM*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 5.
6. Frącz W., Janowski G., Bednarz A., *Ocena dokładności modelu RSC w prognozowaniu orientacji włókien w kompozytach typu drewno-polimer*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 12.
7. Frącz W., Janowski G., *Ocena możliwości wtryskiwania kompozytu WPC w produkcji elementów wyposażenia wnętrza autobusu w oparciu o symulację numeryczną procesu*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2015, nr 7–8.
8. Frącz W., Krywult B., *Projektowanie i wytwarzanie elementów z tworzyw sztucznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008.
9. Frącz W., *Optymalizacja skurczu wyprasek z wykorzystaniem wyników symulacji 3D*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika” 2011, nr 83 (4).
10. Frącz W., *Wpływ wielokrotnego przetwórstwa polimerów na parametry stanu tworzywa w formie wtryskowej*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika” 2012, nr 84 (3).
11. Frenkler D., Zawistowski H., *Konstrukcja form wtryskowych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1973.
12. Giboz J., Copponnex T., Mélé P., *Microinjection molding of thermoplastic polymers: a review*, „Journal of Micromechanics and Microengineering” 2007, nr 17 (6).
13. Hecke M., Schomburg W. S., *Review on micro molding of thermoplastic polymers*, „Micromechanics and Microengineering” 2004, No. 14.
14. Hopmann Ch., Fischer T., *New plasticising process for increased precision and reduced residence times in injection moulding of micro parts*, „CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology” 2015, No. 9.
15. Huiping W. G. Z. G. L., Liang G. Y. C., *Heat Response Simulation of Variotherm Injection Molding and Optimization of Mold Structure*, „Journal of Mechanical Engineering” 2009, No. 45 (6).
16. Kaczmar J., Brzostek A., *Aspekty projektowania i wytwarzania mikroelementów oraz zastosowanie technologii mikrowtryskiwania*, „Polimery” 2007, nr 2.
17. Katoh T., Tokuno R., Zhang Y., Abe M., Akita K., Akamatsu M., *Micro injection molding for mass production using LIGA mold inserts*, „Microsystem Technologies” 2008, No. 14 (9–11).
18. Kleinebrahm M., *Injection Moulding Microparts. Production Solutions with Screw-Plunger Injection Moulding Machines*, The Polymer Processing Society Twenty First Annual Meeting, Leipzig 2005.
19. Lin H., Chang C., Young W., *Experimental and analytical study on filling of nanostructures in microinjection molding*, „International Community Heat Mass Transfer” 2010, No. 37.
20. Lin H., Young W., *Analysis of the filling capability to the microstructures in micro-injection molding*, „Applied Mathematical Modelling” 2009, No. 33.
21. Lohl R., Kleinebrahm M., *Kierunek miniaturyzacja – ekonomiczna produkcja małych wyrobów*, [w:] Muniak E. (red.), *Technologie wtryskiwania. Jakość i efektywność*, Wydawnictwo Plastech, Warszawa 2000.

22. *Micro-injection moulding. The smallest parts pose the greatest challenges*: <https://www.arburg.com/products-and-services/injection-moulding/processes/micro-injection-moulding/> (dostęp: 28.08.2017 r.).
23. Piötter V., Benzler T., Hanemann T., Ruprecht R., Hausselt J., *Innovative moulding technologies for the fabrication of components for microsystems*, „Microsystem Technologies” 1998, No. 5.
24. Piötter V., Mueller K., Plewa K., Ruprecht R., Hausselt J., *Performance and simulation of thermoplastic micro injection molding*, „Microsystem Technologies” 2002, No. 8.
25. Qin Y., *Micromanufacturing engineering and technology*, William Andrew, 2010.
26. Rosato D. V., Rosato M. G., *Injection molding handbook*, Springer Science & Business Media, 2012.
27. Sikora R., *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993.
28. Sol Yi H., Wook Bae K., *Microinjection moulding of miniaturised polymeric ortho-planar springs*, „Microsystem Technologies” 2016, No. 22 (8).
29. Trotta G., Surace R., Modica F., Spina R., Fassi I., *Micro injection moulding of polymeric components*, „In AIP Conference Proceedings” 2011, No. 1315 (1).
30. *What is Micro-Molding?*: <http://www.accu-mold.com/wp-content/uploads/2017/05/Accumold-Micro-Molding.pdf> (dostęp: 28.08.2017 r.).
31. Wilczyński K., *Wybrane zagadnienia przetwórstwa tworzyw sztucznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
32. Yang C., Yin X. H., Cheng G. M., *Microinjection molding of microsystem components: new aspects in improving performance*, „Journal of Micromechanics and Microengineering” 2013, No. 23 (9).
33. Zawistowski H., *Konstrukcja form wtryskowych do tworzyw termoplastycznych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984.
34. Zhao J., Mayes R. H., Chen G. E., Xie H., Chan P. S., *Effects of process parameters on the micro molding process*, „Polymer Engineering & Science” 2003, No. 43 (9).
35. Zwierzyński A., *Technika wtryskiwania mikrowyprasek*, „Mechanik” 2014, No. 87 (4).

Autor:

mgr inż. **Grzegorz Janowski** – Katedra Przeróbki Plastycznej, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska

Characteristic of micro injection molding process. Standard injection molding, material selection, micro injection molding machines

The growing needs for miniaturization of plastic parts motivates to the development of micro injection molding technology. Characteristic features of this process such as: low manufacturing costs, short process duration, the ability to produce details of various dimensions and a wide range of plastic properties allow to mass dissemination of this technology. Research on micro injection molding develops in a very fast time, which gives high hopes for a successful overcoming of the real limitations of this technology. This gives a great perspective on the development of the possibility of using micro injection parts e.g. in the automotive industry, including the bus production process.

This paper presents the conventional injection molding process – i.e. the process essence, the injection molding cycle and the construction of a conventional screw-type injection molding machine. The next part of this article focuses on the characteristics of micro injection molding technology. The essence of material selection and micro-part characteristics for the process were presented. Furthermore, injection molding machines for this process were characterized.

Keywords: micro injection molding, thermoplastics, micro-parts, micro-molds, automotive industry.

Tadeusz Dyr, Karolina Ziółkowska

Rozwój infrastruktury ekonomicznej jako czynnik konkurencyjności regionów

ISBN 978-83-62805-47-1

Liczba stron: 192

Format: B5

Oprawa: twarda

Rok wydania: 2017

Cena 39,00 zł (w tym 5% VAT)

W publikacji tej, na tle rozważań teoretycznych, przedstawiono wyniki badań, przeprowadzonych z wykorzystaniem modeli ekonometrycznych i narzędzi statystycznych, dotyczących zróżnicowania przestrzenno-konkurencyjności regionów i rozwoju infrastruktury ekonomicznej oraz współzależności występujących pomiędzy tymi kategoriami. Stanowić może ona zatem źródło wiedzy dla ekspertów, w tym pracowników administracji publicznej, zajmujących się problematyką rozwoju regionalnego oraz programowania inwestycji infrastrukturalnych. Odbiorcami mogą być także pracownicy naukowi i studenci kierunków takich jak ekonomia, gospodarka przestrzenna, logistyka i transport oraz inne osoby zainteresowane zagadnieniami konkurencyjności regionów.

Pełna oferta wydawnicza na stronie www.inw-spatium.pl