

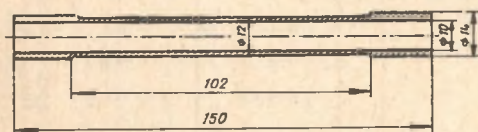
IZABELA HYLA

Katedra Mechaniki Technicznej

WIEKTÓRE ZAGADNIENIA TECHNOLOGII WYPRASEK  
Z TWORZYW SZTUCZNYCH

Streszczenie: Artykuł zawiera uwagi dotyczące technologii wtrysku kształtek długich, cienkościennych, wykonywanych z tworzyw sztucznych. Przeprowadzone doświadczenia, jak również odnośna literatura, pozwoliły na opracowania wniosków, które mogą być wykorzystane w procesach kształtowania elementów metodą wtrysku.

Zbrane uwagi dotyczą technologii wtrysku próbek z tworzyw sztucznych. Kształt i wymiary próbki obrazuje rys. 1. Próbki te są stosunkowo długie, cienkościennie i co najważniejsze z technologicznego punktu widzenia, na całej długości cylindryczne, a nie zbieżne.



Rys. 1. Próбка z tworzywa sztucznego

Z uwagi na charakter badań naukowych, do jakich miały służyć, wykonano je z różnych tworzyw, a mianowicie: z polistyrenu, z polietylenu (wysoko- i niskociśnieniowego), z polipropylenu (nazwa firmowa Moplen) oraz z nylonu i tarlonu XA.

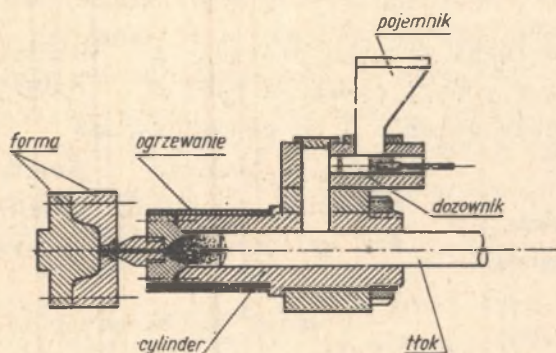
Przy wytwarzaniu próbek posłużono się metodą prasowania wtryskowego. Jak wiadomo [4], metoda ta polega na uplymnianiu mieszanki formowniczej w specjalnej, ogrzewanej komorze uplymniania, skąd płynne tłoczywo przy pomocy ciśnienia wytwarzanego przez ruch poruszającego się w niej tłoka, wprowadzane jest wąskim przewodem do zamkniętej formy. Ilustruje to uproszczony schemat wtryskarki na rys. 2.

Dobre wypełnienie formy wtryskowej otrzymuje się przy całkowicie uplastycznionym tworzywie oraz poprawnie dobranych parametrach wtrysku, do których zalicza się:

- 1° - temperaturę wtrysku,
- 2° - ciśnienie wtrysku,
- 3° - temperaturę formy.

Ustalając temperaturę wtrysku należy zwrócić uwagę na to, aby była jak najwyższa, jednakże w granicach dopuszczalnych dla danego tworzywa, tzn. aby nie prowadziła do termicznego rozkładu tworzywa.

Upłastycznione tworzywo wtryskuje się do formy pod pewnym ciśnieniem, zwanym ciśnieniem wtrysku. Podobnie jak temperatu-



ra wtrysku, ciśnienie to zależy od rodzaju i gatunku tworzywa. Może się zdarzyć, że pomimo całkowitego uplastycznienia tworzywa w komorze upłyniania otrzymamy wypryski wadliwe, tzw. "niedolewy". W takich przypadkach trzeba podnieść ciśnienie wtrysku. Jeżeli jednak dana wtryskar-

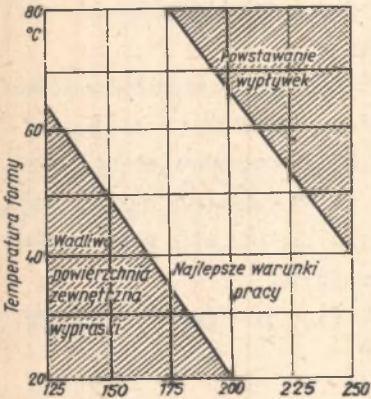
Rys. 2. Uproszczony schemat wtryskarki

ka nie daje w tym względzie zbyt wielkich możliwości, to może się zdarzyć, że w dalszym ciągu otrzymywać będziemy wypryski wadliwe, określone powyżej jako "niedolewy".

Prawdopodobieństwo wystąpienia tego defektu jest największe przy wypraskach długich, cienkościennych, do których należy zaliczyć także próbki omawiane powyżej.

W takich przypadkach może się okazać pomocne podgrzewanie matrycy. Wysokość temperatury podgrzewania związana jest z rodzajem wyprasek i własnościami tworzywa. Dla polietyleny np. stosuje się formy podgrzewane do około 70°C.

Właściwy dobór temperatury wtrysku oraz temperatury formy pozwala ponadto otrzymywać wypraski bez wypływek, o ładnej gładkiej powierzchni. Rys. 3 (zaczepnięty z [8]) przedstawiający wykres pracy wtryskarki dla polietylenu, pozwala łatwo dobrać najwłaściwsze temperatury wtrysku i matrycy.



Rys. 3. Wykres pracy dla wtrysku polietylenu

Powyższe wnioski są rezultatem eksperymentu i obserwacji. Konieczność podgrzania matrycy potwierdzają także obliczenia temperatury tworzywa wtrysniętego do formy zimnej i podgrzanej. Obliczenia te przeprowadzono w oparciu o równanie Fouriera - Kirchhoffa dla przepływu prętoowego [7]

$$w \frac{\partial \vartheta}{\partial z} = a \nabla^2 \vartheta, \quad (1)$$

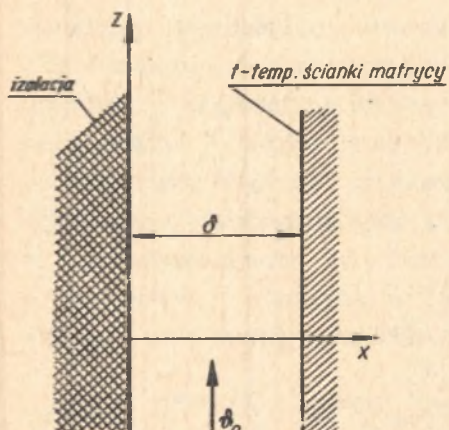
gdzie:

- $\vartheta$  - temperatura tworzywa,
- $z$  - współrzędna,
- $w$  - prędkość tworzywa,
- $a$  - współczynnik przewodzenia temperatury [3],
- $\nabla^2$  - przestrzenny operator Laplace'a.

Potraktowanie analizowanego zagadnienia jako przepływu prętoowego uzasadnione jest dużą lepkością tworzywa oraz tym, że jest to przepływ przez bardzo wąską szczelinę (szerokość szczeliny  $s = 1$  mm). Stosunek szerokości szczeliny  $s$  do średnicy zewnętrznej  $d$  jest liczbą małą.

$$\frac{s}{d} = \frac{1}{12},$$

co pozwala z kolei na dalsze uproszczenie. Mianowicie traktujemy analizowany przepływ jako płaski pomiędzy dwoma równoległymi ścianami. Przyjmuje się, że temperatura ścianki od strony matrycy jest stała i wynosi  $t$  (masa matrycy bardzo duża), natomiast ściankę od strony trzpienia traktujemy jako izolowaną. Przyjęty układ osi pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Układ współrzędnych związanych z matrycą

W rozważaniach pominięto zjawiska przewodności cieplnej wzdłuż osi przepływu oraz założono, że fizyczne własności cieczy nie zmieniają się wraz z temperaturą.

Równanie (1) przyjmie zatem postać

$$\frac{\partial \phi}{\partial (z/w)} = a \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}, \quad (2)$$

Jego rozwiązanie powinno spełniać następujące warunki brzegowe:

$$\text{dla } z = 0, \quad \phi = \phi_0, \quad (3)$$

$$\text{dla } x = \delta, \quad \phi = t, \quad (4)$$

$$\text{dla } x = 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

gdzie:

$x, z$  - współrzędne,

$\phi$  - zmienna temperatura tworzywa,

$\phi_0$  - temperatura tworzywa na wejściu do matrycy,

$t$  - temperatura matrycy.

Przechodząc do wartości bezwymiarowych wprowadzamy:

$$\text{temperaturę zredukowaną: } \theta = \frac{\phi - t}{\phi_0 - t}, \quad (6)$$

$$\text{zredukowane współrzędne: } \xi = \frac{x}{\delta}, \quad (7)$$

$$\text{liczba Fouriera } Fo = \frac{z}{w} \frac{a}{\delta^2}. \quad (8)$$

Równania (2), (3), (4) i (5) wyrażone przy pomocy wielkości bezwymiarowych (6), (7) i (8) przyjmą następującą postać

$$\frac{\partial \theta}{\partial (Fo)} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2}, \quad (9)$$

$$\text{dla } Fo = 0, \theta = 1, \quad (10)$$

$$\text{dla } \xi = 1, \theta = 0, \quad (11)$$

$$\text{dla } \xi = 0, \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = 0. \quad (12)$$

Rozwiązanie równania (9) przy warunkach brzegowych (10), (11) (12) jest następujące [9]:

$$\theta = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^{n+1}}{\mu_n} \cos(\mu_n \xi) \cdot e^{-\mu_n^2 Fo}, \quad (13)$$

gdzie:

$$\mu_n = (2n - 1) \frac{\pi}{2}. \quad (14)$$

Do obliczeń szczegółowych posłużymy się temperaturą średnią  $\theta_m$  w przekroju próbki:

$$\theta_m = \int_0^1 \theta d\xi, \quad (15)$$

$$\theta_m = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 (-1)^{n+1}}{\mu_n^2} \sin \mu_n e^{-\mu_n^2 Fo} \quad (16)$$

Dla dostatecznie dużych liczb Fouriera można poprzestać na pierwszym wyrazie szeregu:

$$\theta_m \approx \frac{2}{(\pi/2)^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} Fo\right) \quad (17)$$

Obliczenia przeprowadzone zostaną dla polietylenu.

Dane liczbowe:

temperatura początkowa płynnego polietylenu:  $\theta_0 = 200^\circ\text{C}$ ,

gęstość  $\rho = 0,757 \text{ g/cm}^3$ ,

współczynnik przewodzenia temperatury:  $a = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sek}$ ,

długość przewodu:  $l = 10 \text{ cm}$ ,

średnica zewnętrzna przekroju pierścieniowego:  $D = 1,2 \text{ cm}$ ,

średnica wewnętrzna przekroju pierścieniowego:  $d = 1,0 \text{ cm}$ ,

masowe natężenie przepływu:  $q = 100 \text{ g/min}$ .

Z uwagi na to, że przepływ czynnika odbywa się nie pełnym przekrojem kołowym, lecz przekrojem pierścieniowym, do obliczeń wprowadzono tzw. średnicę zastępczą  $d_e$  [3], obliczoną wzorem

$$d_e = \frac{4f}{0}, \quad (18)$$

gdzie:

$f$  – powierzchnia przekroju przepływu,

$0$  – obwód zwilżany przez czynnik.

W przypadku przekroju pierścieniowego

$$d_e = D - d = 1,2 - 1,0 = 0,2 \text{ cm}$$

W dalszym ciągu obliczamy

$$w = \frac{q}{\rho f} = \frac{100}{60 \cdot 0,757 \cdot 0,314} = 7 \text{ cm/sek},$$

$$Fo = \frac{a \cdot l}{\delta^2 \cdot w} = \frac{1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{0,1^2 \cdot 7} = 0,228,$$

$$\Theta_m \approx \frac{2}{\frac{\pi}{4}} e^{-\frac{\pi^2}{4} Fo} = 0,81 \cdot 0,57 = 0,462,$$

$$\frac{\phi - t}{\phi_0 - t} = 0,462,$$

$$\phi_{20} = 103^\circ\text{C}, \quad \phi_{70} = 130^\circ\text{C},$$

gdzie:

$\phi_{20}$  - temperatura tworzywa w matrycy o temperaturze otoczenia ( $20^\circ\text{C}$ ),

$\phi_{70}$  - temperatura tworzywa w matrycy podgrzanej do  $70^\circ\text{C}$ .

Otrzymane wyniki są wielkościami przybliżonymi z uwagi na poczynione na wstępie założenia; tym niemniej, porównując temperaturę  $\phi_{20}$  tworzywa po wtrysku do formy zimnej z analogiczną temperaturą  $\phi_{70}$  przy matrycy podgrzanej można znaleźć potwierdzenie wniosków wyciągniętych na podstawie eksperymentu. Temperatura  $\phi_{20} = 103^\circ\text{C}$  jest bowiem za niska dla polietylenu, którego temperatura topnienia jest równa  $125^\circ\text{C}$  do  $130^\circ\text{C}$  i w związku z tym uzasadnione jest powstawanie tzw. "niedolewów". Zakres temperatur topnienia polietyleny można osiągnąć przez podgrzanie matrycy, co wykazały przeprowadzone obliczenia. Podgrzanie matrycy przedłuża jednak nieco cykl produkcyjny; zwiększa się bowiem okres czasu koniecznego do utrzymania pod ciśnieniem tłoczywa wypełniającego formę. Ten ostatni zabieg ma na celu zabezpieczenie przed powrotnym wpływem tłoczywa z formy do cylindra, a także wyrównanie skurczu objętościowego, jaki powstaje w czasie krzepnięcia masy. Skurcz ten mógłby spowodować powstawanie zapadnięć i wad. Skurcz towarzyszący krzepnięciu tworzyw sztucznych jest stosunkowo bardzo duży.

Przykładowe dane dla polietylenu [2]:

objętość właściwa w temperaturze 20°C:  $v_{20} = 1,040 \text{ cm}^3/\text{g}$ ,

objętość właściwa na końcu zakresu

temperatury topnienia:  $v_s = 1,234 \text{ cm}^3/\text{g}$ .

Skurcz określony jako procentowa zmiana objętości właściwej wynosi w tym przypadku

$$\frac{v_s - v_{20}}{v_s} 100\% = 15\%$$

Ścisłe obliczenie skurczu dla danego tworzywa jest trudne, ponieważ na wielkość skurczu ma wpływ stopień krystalizacji i orientacji cząstek polimeru, co, jak wiadomo [2], w znacznym stopniu zależy również od przebiegu procesu wtrysku, jak również od warunków termicznych, utrzymywanych podczas procesu krzepnięcia i chłodzenia. Duży skurcz tworzyw był jedną z przyczyn, które spowodowały, że po ochłodzeniu formy do około 30°C próbkę wraz z rdzeniem wyjmowano z matrycy, po czym usuwanie trzpienia dokonywano poza matrycą. Liczne próby wykazały, że usuwanie trzpienia z próbki pozostającej w formie powodowało niszczenie próbek. Fakt ten można tłumaczyć sumowaniem się naprężeń, wywołanych ograniczeniem swobody skurczu oraz naprężeń pochodzących od sił tarcia, które należy pokonywać przy usuwaniu trzpienia z wnętrza próbki.

Z uwagi na różny skurcz stali i polimerów oraz znaczną przyklepność tworzyw, jak również z uwagi na to, że wypraska na całej długości jest cylindryczna, a nie zbieżna, usuwanie trzpienia z próbki nastęczało duże trudności.

Przeprowadzone liczne i różnorodne próby wykazały, że siłę konieczną do usunięcia trzpienia można znacznie zmniejszyć przez:

- 1° - dokładne wypolerowanie i pochromowanie powierzchni zewnętrznej trzpienia,
- 2° - smarowanie trzpienia smarem silikonowym,
- 3° - stosowanie trzpieni dzielonych.

Ta ostatnia metoda wymaga jednak niezwykle starannej obróbki powierzchni podziału.



## LITERATURA

- [1] HERTZ Z., KRAJEWSKI B., PENCZEK I., PŁOCHOCKI A., WIECHEC T.: Polistyren, WNT Warszawa.
- [2] BOJARSKI J., LINDEMAN J.: Polietylen, WNT Warszawa.
- [3] HOBLER T.: Ruch ciepła i wymienniki, PWT Warszawa 1953.
- [4] BERNCHARDT: Piererabotka termoplastycznych materiałów, Goschimizdat Moskwa 1962.
- [5] JACOB MAX: Heat Transfer, vol. 1, New York, John Wiley a sons, Inc., 1949.
- [6] GEE R.E., LYON J.B., Ind. Eng. Chem., 49, 956, (1957).
- [7] MADEJSKI: Teoria wymiany ciepła, WNT Warszawa.
- [8] SAEGETLING - ZEBROWSKI: Kunststoff-Taschenbuch, CARL Hauser München 1961.
- [9] Tiepłotiechniczeskij sprawocznik t. I, str. 279, G.E.I., Moskwa.
- [10] I.S. GRADSZTAJN, I.M. RYZIK: Tablicy integralow summ, riadov i proizwiedienii, wyd. 4, GIFML Moskwa 1963, r.o.234.2.
- [11] G. DWORECKIJ: Plastikmasy w maszynostrojenii, Maszgiz 1956.

## НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМ ИЗ ПЛАСТМАССЫ

## Р е з ю м е

Статья содержит замечания относительно технологии шприцевания длинных тонкостенных форм из пластмассы.

Проведенные опыты, равно как и относительная литература дает возможность прийти к заключениям, которые могут быть использованы в процессах формирования элементов методом шприцгуса.

## SOME PROBLEMS ABOUT THE TECHNOLOGY OF PLASTIC MOULDING

## S u m m a r y

This article contains the notices about the technology of injection to form the long and thin walls plastic moulding. Many experiences which has been done in that Subject and the relative literature - permitted to lay aut some conclusions, which may be useful in the procedure of moulding the elements by the injection's method.