

Andrzej PUSZ
Kazimierz WALCZAK

OBLICZANIE MOCY GRZEWCZEJ FORM WTRYSKOWYCH Z GRZANYMI KANAŁAMI

Streszczenie. W referacie przedstawiono nowe rozwiązanie konstrukcyjne formy wtryskowej z układem grzanych kanałów.

Zastosowanie tych form w procesach wtrysku tworzyw termoplastycznych eliminuje całkowicie odpad surowca w postaci układu wlewowego, co znacznie podnosi efektywność procesu. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom obliczania mocy grzewczej instalowanej na rozdzielaczu grzanych kanałów oraz rozwiązaniu konstrukcyjnemu połączenia dyszy z gniazdem formy.

1. WSTĘP

Zdecydowana większość wyrobów codziennego użytku, z tworzyw sztucznych termoplastycznych, otrzymywana jest metodą wtrysku tworzywa do gniazda formy. Przeciętne cykle wtrysku, wynoszą około 60 sek. Po tym czasie z jednej formy otrzymuje się od jednego do kilkunastu lub nawet kilkudziesięciu wyrobów. Jednostkowe osasy wytwarzania są więc niewielkie i wynoszą przykładowo dla wyrobów:

- zakrętka tubki pasty do zębów - ok. 3 sek,
- kubek do mycia zębów - " 15 sek,
- koło zębate o średnicy 50 mm - " 40 sek,
- wiadro 10 litrowe - " 75 sek.

Niedogodnością tej technologii jest powstawanie odpadu surowca w postaci układu wlewowego, który jest usuwany po każdym cyklu wtrysku i stanowi dość znaczny udział masy w całości uzyskiwanych wyprasek. Tworzywo z układów wlewowych przed powtórным jego wtryskiem wymaga rozdrabniania. Tworzywo rozdrobnione mechanicznie na młynkach posiada różną granulację, co powoduje zmienne warunki plastyfikacji, które mogą zakłócić automatyczną pracę wtryskarki. Wskazane jest więc powtórne granulowanie tworzywa z odpadów wlewowych na wylączarkach, co stanowi dodatkową operację, bardzo pracochłonną i energochłonną. Postęp techniczno-ekonomiczny w dziedzinie przetwórstwa tworzyw termoplastycznych metodą wtrysku prowadzi, między innymi, do nowych rozwiązań konstrukcyjnych form wtryskowych.

Ważnym osiągnięciem w tej dziedzinie jest rozwiązanie konstrukcyjne form z grzаныmi kanałami. Forma taka posiada zmodyfikowany układ wlewowy,

którego zadaniem jest utrzymywanie tworzywa w stanie stopionym, na drodze od ustnika do gniazda formy, przez cały czas pracy wtryskarki. Wymaga to przyjęcia, w rozwiązaniu konstrukcyjnym formy, rozdzielacza grzanych kanałów jako oddzielnego elementu konstrukcyjnego i obliczenia dla niego niezbędnej mocy grzewczej. Zainstalowana moc grzewcza na rozdzielaczu powinna zapewnić z jednej strony ciągłość procesu wtrysku, a z drugiej zestawianie się wyrobu w formie.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE I OBLICZENIA

Znajomość mocy elementów grzewczych oraz sposób ich rozłożenia, jest podstawowym warunkiem prawidłowej pracy formy, gdyż temperatura wtrysku wpływa w sposób zasadniczy na jakość wypraski.

Obecnie znane są trzy metody obliczania mocy elementów grzewczych:

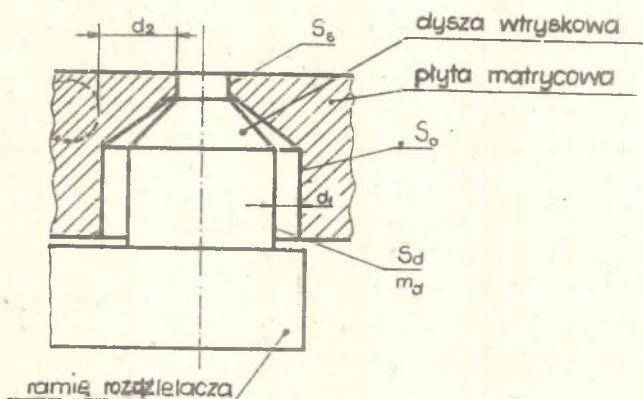
- 1 - z kryterium ciężaru,
- 2 - z kryterium powierzchni,
- 3 - z bilansu cieplnego.

Kryterium ciężaru zaleca stosowanie współczynnika mocy wynoszącego od 20 (dla form do tworzyw termoutwardzalnych) do 42 $\left[\frac{W}{kg_{masy}} \right]$ dla tworzyw termoplastycznych i form z grzаныmi kanałami. Rozbieżność, wynosi więc około 100%, co powoduje, że w przypadku przyjęcia zbyt niskiego współczynnika mogą wystąpić obszary temperatury bardzo niskiej, w praktyce uniemożliwiającej prawidłowe działanie formy. Jak się okazuje, niebezpieczeństwo przegrzania przy tym kryterium jest znikomo małe.

Kryterium powierzchni określa maksymalną moc możliwą do przejścia przez jednostkę powierzchni formy, co uwarunkowane jest maksymalnym obciążeniem (w watach) drutu i mikanitu (stosowanego jako materiał elektroizolacyjny). Zgodnie z tymi zaleceniami należy stosować moc elementów grzewczych wynoszącą od 2,5 do 4 $\left[\frac{W}{cm^2} \right]$ powierzchni formy. Stosowanie tego kryterium określa moc całkowitą, lecz nie daje informacji o jej rozdziale.

Przy obliczaniu mocy elementów grzewczych z zasady bilansu cieplnego stosowane są dwie metody. Jedna uwzględnia tylko ciepło akumulacji, tzn. ciepło zużyte na podgrzanie porcji metalu o danym ciepłe właściwym o określonej ilości stopni, w założonym czasie, druga zaś zakłada istnienie strat cieplnych do otoczenia, tzn. strat na promieniowanie, konwekcję i przewodnictwo.

W przypadku form z grzаныmi kanałami ciepło oddaje rozdzielacz do otoczenia, którym jest obudowa formy (rys. 1). Zmieniają się zatem warunki wymiany ciepła, a co za tym idzie - wartości strat. Biorąc pod uwagę, że wtrysk w formie z grzаныmi kanałami jest szczególnie podatny na niedobór lub nadmiar ciepła, wydaje się celowe obliczanie mocy elementów grzewczych metodą uwzględniającą wszystkie straty ciepła, gdyż pozwala ona określić wymianę ciepła w dowolnym punkcie formy.



Rys. 1. Położenie dyszy wtryskowej w płycie matrycowej

Biorąc pod uwagę bilans cieplny ciała nagrzewanego, można określić łączną moc doprowadzoną w procesie nagrzania, czyli strumień ciepła zapotrzebowanego jako:

$$Q = Q_u + Q_s, [W] \quad (1)$$

gdzie:

Q_u - moc użyteczna

Q_s - moc strat.

W czasie procesu nagrzewania następuje akumulacja ciepła użytecznego, natomiast ciepło strat Q_s wraz ze wzrostem temperatury rośnie. Strumień ciepła akumulacji określić można ze wzoru:

$$Q_u = m \cdot c \cdot \frac{\Delta t}{\Delta \tau}, [W] \quad (2)$$

gdzie:

m - masa formy [kg]

c - ciepło właściwe metalu formy $\left[\frac{J}{kg \cdot deg} \right]$

Δt - przyrost temperatury [deg] w czasie $\Delta \tau$ [h].

Moc strat można określić ze wzoru:

$$Q_s = Q_p + Q_k + Q_z, [W] \quad (3)$$

gdzie:

Q_p - moc strat na promieniowanie

Q_k - moc strat na konwekcję

Q_z - moc strat na przewodnictwo

$$Q_p = 5,67 \cdot S_1 \cdot \epsilon_1 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \text{ [W]} \quad (4)$$

gdzie:

5,67 - stała promieniowania $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ deg}^4} \right]$

S_1 - powierzchnia promieniująca $[\text{m}^2]$

ϵ_1 - emisyjność powierzchni promieniującej

T_1 - temperatura chwilowa powierzchni [K]

T_2 - temperatura ośrodka otaczającego [K].

Jeżeli ciepło promieniujące znajduje się w otoczeniu powierzchni mogącej część promieniowania odbijać, należy to uwzględnić, posługując się wzorem:

$$Q_p = 5,67 \frac{S_1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \text{ [W]} \quad (5)$$

gdzie:

S_2 - powierzchnia odbijająca $[\text{m}^2]$

ϵ_2 - emisyjność powierzchni odbijającej.

Straty na konwekcję wyrażają się jako: [1]

$$Q_k = a \cdot S_1 (T_1 - T_2)^{\frac{5}{4}} \text{ [W]} \quad (6)$$

gdzie:

a - współczynnik konwekcji $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ deg}^{5/4}} \right]$

S_1 - powierzchnia unoszenia ciepła.

Strumień ciepła odprowadzonego, z tytułu przewodnictwa, z ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej można określić ze wzoru:

$$Q_z = \frac{\lambda}{d} S' (T_1 - T_2), \text{ [W]} \quad (7)$$

gdzie:

λ - współczynnik przewodności ciepła $\left[\frac{\text{W}}{\text{m deg}} \right]$

d - grubość warstwy przewodzącej [m]

- T_2 - temperatura ciała chłodniejszego [K]
 S' - powierzchnia przewodzenia ciepła [m^2]

Część eksperymentalna

Przy projektowaniu formy z grzanymi kanałami zaszła konieczność obliczenia łącznej mocy grzejników oraz sposobu ich rozłożenia. Tok obliczeń wyglądał następująco: Dla uproszczenia policzono straty rozdzielacza traktując, że nie posiada on żadnego kontaktu z formą oraz istnieje możliwość swobodnej wymiany ciepła z otaczającym powietrzem.

D a n e w e j ś c i o w e :

- współczynnik konwekcji $a = 5,52, \left[\frac{W}{m^2 \text{ deg}^{5/4}} \right]$
- emisyjność $\epsilon = 0,75$ (powierzchnia gładka i ciemna)
- ciepło właściwe $c = 0,607 \left[\frac{KJ}{kg \text{ deg}} \right]$
- powierzchnia całkowita rozdzielacza $356 \cdot 10^{-4} [m^2]$
- masa - 2,35 kg
- temperatura początkowa $T_2 = 20^\circ C$
- temperatura końcowa $T_1 = 210^\circ C$
- czas nagrzewania $\Delta \tau = 0,166 [h]$

$$Q_u = 358 [W]; \quad Q_p = 72,44 [W]; \quad Q_k = 44,4 [W]$$

$$Q = 358 + 72,44 + 44,4 = 475 [W].$$

Łączna moc zainstalowana winna wynosić 475 [W], co daje około 160 [W] na jedno ramię rozdzielacza.

Ze względu na to, że najbardziej niewralgicznym miejscem rozdzielacza jest dysza, wykonano obliczenia bilansu cieplnego, dla przypadku umieszczenia dyszy w formie.

Oznaczenia przedstawiono na rys. 1.

S_s - powierzchnia styku końcówki dyszy z płytą matrycową, równa $0,87 \cdot 10^{-4} [m^2]$.

d - 30 - odległość od kanału chłodzącego
 - temperatura wody chłodzącej - $60^\circ C$
 - temperatura dyszy - $210^\circ C$

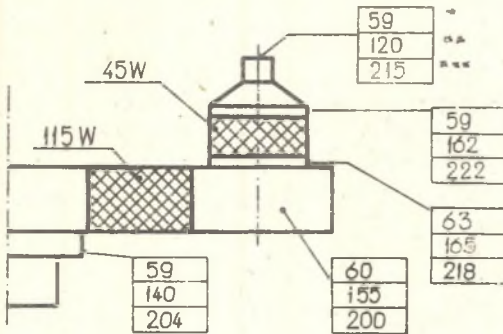
S_o - powierzchnia otworu w płycie matrycowej - $33,1 \cdot 10^{-4} [m^2]$

S_d - powierzchnia dyszy - $20,22 \cdot 10^{-4} [m^2]$

d_1 - odległość dyszy od otworu - 0,002 [m]

λ_p - 0,025 $\left[\frac{W}{m \text{ deg}} \right]$ przewodność powietrza

m_d - masa dyszy - 0,1 kg



Rys. 2. Temperatura dla $\tau = 0$ (**) i $\tau = 3,0$ min (***) i $\tau = 7,5$ min (****)

Pierwsza rubryka oznacza pomiar dla czasu $\tau = 0$, druga po $0,05$ h = $3,0$ min, trzecia po $0,125$ h = $7,5$ min.

Po wykonaniu pomiarów sprawdzono bilans cieplny:

$$Q_u = 376,65 \text{ [W]}; \quad Q_p = 74,80 \text{ [W]}$$

$$Q_k = 43,21 \text{ [W]}$$

$$Q = 491,79 \text{ [W]}.$$

$$Q_z = 23,25 \text{ [W]}$$

$$Q_p = 3,16 \text{ [W]}$$

$$Q_u = 15,29 \text{ [W]}$$

$$Q = Q_z + Q_p + Q_u = 41,7 \text{ [W]}$$

Na tej podstawie przyjęto moc grzejnika 45 [W].

Grzejnik nawinięto taśmą $2 \times 0,1$ typu K-anthal DSD.

Długość taśmy obliczono zakładając obciążenie powierzchniowe

$$3,5 \left[\frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \right].$$

Wyniki pomiarów temperatury w $^{\circ}\text{C}$ przedstawia rys. 2.

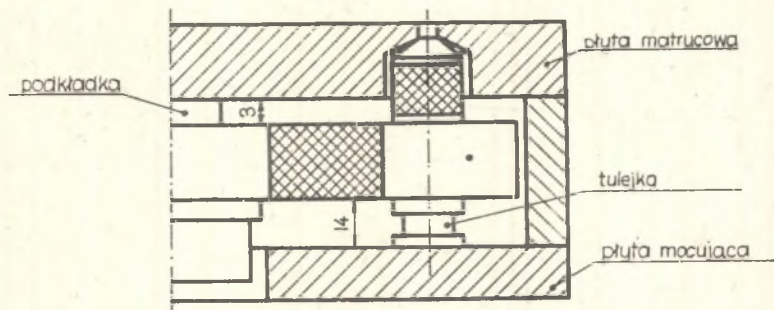
Pomiary prądu i napięcia wykazały pobranie mocy $474,64$ [W]. Błąd obliczeń teoretycznych w stosunku do rzeczywistej mocy pobranej wynosi $3,61\%$.

Wszystkie te rozważania dotyczyły rozdzielacza znajdującego się w powietrzu, gdzie nie uwzględniono strat na przewodnictwo. Jednakże z chwilą umieszczenia rozdzielacza w formie styka się on z jej chłodniejszymi elementami - następuje odprowadzenie ciepła na skutek przewodnictwa, dlatego też obliczono powtórnie bilans cieplny rozdzielacza dla warunków rzeczywistych.

Rozdzielacz styka się z formą w czterech miejscach (oprócz dysz): w trzech - za pośrednictwem tulejek i w jednym - podkładką. Podkładka wykonana jest z dokładnością około $0,05$ mm i taki występuje luz pomiędzy powierzchniami. Tulejki na skutek odchyłek warsztatowych również nie przylegają na całej powierzchni.

Jak wykazały pomiary, około 80% powierzchni posiada dobry styk z formą. Powierzchnia (całkowita) styku tulei wynosi $7,17 \cdot 10^{-4}$ [m²], podkładki $6,03 \cdot 10^{-4}$ [m²].

Rozmieszczenie punktów styczności pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Położenie rozdzielacza w formie

Obliczenie strat:

$$Q_D = 54,12 \text{ [W]}; \quad Q_Z = 389,32 \text{ [W]}; \quad Q = 443,6 \text{ [W]}$$

Ze względu na to, że dysponuje się mocą $Q_E = 475 \text{ W}$, czas po którym forma osiągnie temperaturę znamionową, tj. 210°C , wynosi:

$$\tau = \frac{m \cdot c \cdot \Delta t}{Q_E - Q_S}$$

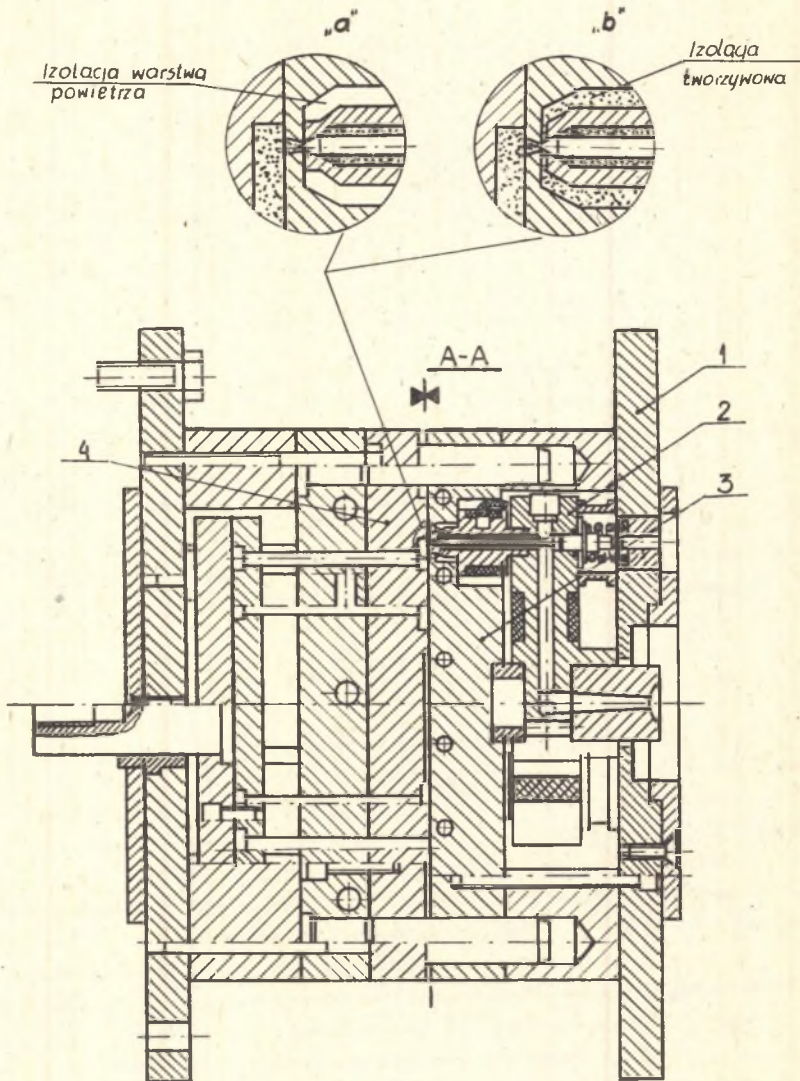
$$\tau = \frac{2,35 \cdot 0,115 \cdot 190}{475 - 443,6} = 1,6 \text{ [h]}.$$

PODSUMOWANIE

Prace Zespołu zajmującego się tą problematyką doprowadziły do konstrukcji formy z grzanymi kanałami, która przedstawiona jest na rys. 4 i 5. Jest to forma doświadczalna, a otrzymywane wyroby są znormalizowanymi próbkami do badań własności fizykochemicznych tworzyw sztucznych i służą do prowadzenia ćwiczeń laboratoryjnych ze studentami.

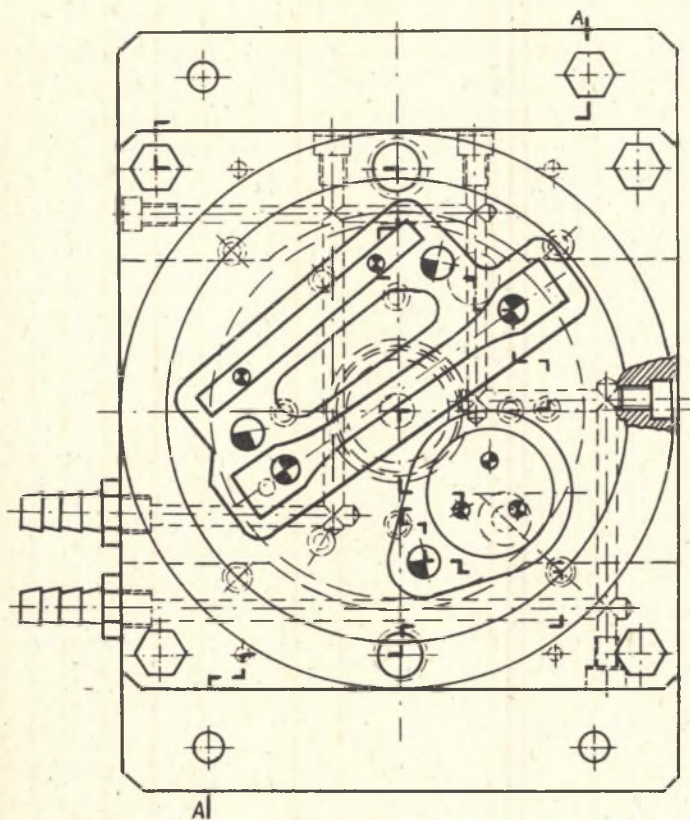
W formach z grzanymi kanałami połączenie dyszy wtryskowej z gniazdem jest najbardziej newralgicznym punktem konstrukcji formy. Od właściwego rozwiązania konstrukcyjnego tego połączenia zależy w głównej mierze praca formy wtryskowej.

W rozwiązaniu jak na rys. 4, dysza wychodzi na powierzchnię płyty formującej i stanowi część gniazda. W przypadku otwarcia formy ulega ona szybkiemu schłodzeniu, co powoduje zatykanie się dyszy, natomiast w pozycji zamkniętej temperatura znacznie wzrasta, powodując niezestalenie się tworzywa w obrębie punktu wtrysku. Jest to więc rozwiązanie niewłaściwe.



Rys. 4. Forma z grzаныmi kanałami

1 - płyta mocująca, 2 - rozdzielacz, 3 - płyta matrycowa, 4 - płyta stemplowa



Rys. 5

Wnikliwe studia literaturowe oraz prace i doświadczenie Zespołu pozwoliły na ustalenie rozwiązania eliminującego wady poprzedniego, które przedstawione jest na rys. 4, wariant a i b.

LITERATURA

- [1] SORS L. 16: Werkzeuge für die Plastverarbeitung. Berlin 1967.
- [2] MAZUR Przemysłowe urządzenia elektrotermiczne. WNT, Warszawa 1964.
- [3] OCHŁ S.: Termodynamika stosowana. WNT, Warszawa 1967.

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ШПРИЦФОРМ С ОБОГРЕВАЕМЫМИ КАНАЛАМИ

Резюме

В статье представлено новое конструкторское решение шприцформы с системой обогреваемых каналов. Применение таких форм в процессе впрыска термопластических масс полностью устраняет отходы сырья в виде литниковой системы, что значительно улучшает экономический эффект процесса. Особое внимание уделено вопросам расчета тепловой мощности установленной на распределителе обогреваемых каналов к конструкторскому решению соединения впрыскивающего сопла с гнездом формы.

HEATING POWER CALCULATION FOR CORED INJECTION MOULDS

Summary

The paper presents a completely new design of a cored injection mould. Employment of these moulds is essential in runnerless injection moulding which eliminates the gating systems discords.

Particular attention is paid to the calculation of cored moulds distributor heating power and the realization of nozzle and mould form joint.