

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

О. В. ПЕТРЮК

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ
з дисципліни "Фізико-хімічні основи технологічних процесів"

Рекомендовано Методичною радою НУК

Електронне видання на CD-ROM

Миколаїв 2010

УДК 678.06

Рецензент канд. техн. наук, доцент Гейко С.П.

Електронний аналог друкованого видання:

Петрюк О.В. Методичні вказівки до розрахункових завдань з дисципліни "Фізико-хімічні основи технологічних процесів". – Миколаїв: НУК, 2010. – 36 с.

Кафедра конструювання та виробництва виробів із композиційних матеріалів

Методичні вказівки містять основні формули, розрахункові схеми та приклади, що розглядаються при викладанні цієї дисципліни для бакалаврів напряму підготовки 051101 «Авіація та ракетобудування» (спеціальність "Конструювання та виробництво виробів із композиційних матеріалів"). Наведено 40 основних індивідуальних та 10 додаткових розрахункових завдань.

Мета методичних вказівок: ознайомлення з основами аналізу руху розплаву наповненого термопласту всередині каналів різного поперечного перерізу для вибору оптимальних параметрів технологічного процесу, формуючого інструменту або оснащення.

Завдання вказівок: засвоєння і закріплення студентами теоретичних та практичних навичок при обґрунтуванні основних параметрів техно-логічних процесів виробництва полімерних композиційних матеріалів.

Методичні вказівки призначено для студентів денної і заочної форми навчання спеціальності, а також для студентів інших навчальних закладів та фахівців.

УДК 678.06

© Видавництво НУК, 2010

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ

Розрахункові завдання оформлюються на аркушах білого паперу формату А4 з одного боку відповідно до вимог ДСТУ 3008-95.

Титульний аркуш зазвичай виготовляється друкарським способом.

Графічний матеріал завдання (рисунки, графіки) готується на комп'ютері або олівцем для креслення. Графіки будуються з координатною сіткою. Вісь координат графіків виконується суцільної потовщеною лінією без стрілок на кінцях, координатна сітка – суцільними тонкими лініями. Цифри шкал наносять зліва від осі ординат та під віссю абсцис. Найменування та розмірність величин, значення яких відкладаються на шкалах осей, необхідно замінювати буквеними позначеннями з розшифровкою у тексті.

Власне вирішення розрахункового завдання складається з декількох етапів, яких і бажано дотримуватись у кожному випадку. Для початку необхідно мати максимально чітко та повне розуміння технологічного процесу, що розглядається, виписати всі данні завдання та основні рівняння для розрахунків, намітити шляхи вирішення. Саму умову можна розбити на декілька окремих питань, виписати необхідні числові значення фізичних властивостей. На наступному етапі необхідно підставити у розрахункові рівняння числові значення, перевірити правильність такої підстановки, після чого перейти до арифметичних розрахунків. Відповідь необхідно критично оцінити з погляду відповідності реальним умовам технологічного процесу. Розрахункове завдання повинно завершуватися аналізом отриманих результатів або розрахунків, висновками та рекомендаціями.

Напрацювання навичок виконання технічних розрахунків є провідною задачею цього посібника. Похибка звичайного інженерного розрахунку не має перевищувати 5%.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ТА ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ

μ – в'язкість, Па·с

p – тиск, Па

t – час, с.

τ – дотичні напруження, Па

σ – нормальні напруження, Па

D – діаметр каналу, м

L – довжина каналу, м

H – глибина каналу, м

W – частота обертання, об./сек.

$\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву, с⁻¹

Q – об'ємна витрата розплаву полімеру або продуктивність, м³/с

V – лінійна швидкість, м/с

v – об'єм, м³

ОСНОВНІ ЗАЛЕЖНОСТІ, РОЗРАХУНКОВІ ФОРМУЛИ ТА ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ

I. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

1. Екструзія. Рух розплаву наповненого термопласту всередині екструдера розглядається як ізотермічний рух рідини сталої в'язкості у широкому каналі, що здійснюється за рахунок руху черв'яка та перепаду тиску.

Узагальнена продуктивність екструдера визначається як:

$$Q = Q_1 - Q_2 - Q_{\text{втр}}, \quad (1)$$

де Q_1 – продуктивність за рахунок руху черв'яка; Q_2 – продуктивність за рахунок перепаду тиску; $Q_{\text{втр}}$ – об'єм втрат розплаву наповненого термопласту при русі (є надзвичайно малим і у подальшому не розглядається).

З врахуванням параметрів черв'яка екструдера (рис. 1):

$$Q_1 = \frac{1}{2} (\pi D \operatorname{tg} \varphi - e) \pi D W \cos^2 \varphi \cdot H, \quad (2)$$

де $V_1 = \pi D W \cos \varphi$ – швидкість руху черв'яка; $b = (\pi D \operatorname{tg} \varphi - e) \cos \varphi$ – ширина каналу між черв'яком і корпусом екструдера; φ – кут підйому гвинтової лінії черв'яка.

Оскільки $e \ll (\pi D \operatorname{tg} \varphi)$, то зазвичай

$$Q_1 = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 W H \sin \varphi \cos \varphi \quad (3)$$

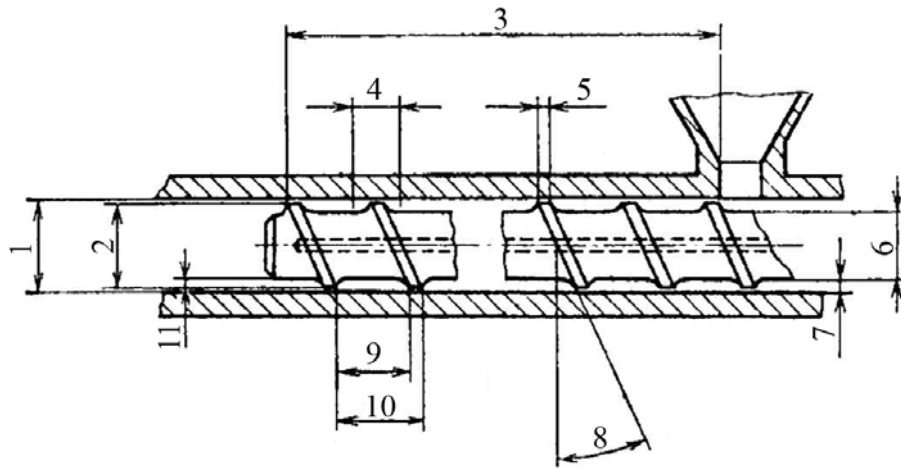


Рис. 1. Основні конструктивні параметри черв'яка екструдера:
 1 – внутрішній діаметр матеріального циліндру, 2 – діаметр черв'яка,
 3 – довжина черв'яка, 4 – ширина гребеню, 5 – ширина осердя черв'яка,
 6 – діаметр осердя черв'яка, 7, 11 – глибина нарізки на початку та на кінці черв'яка, 8 – кут підйому
 гвинтової лінії, 9 – відстань між сусідніми гребенями, 10 – крок гвинта [9]

Продуктивність екструдера за рахунок перепаду тиску

$$Q_2 = \frac{\pi D H^2 \cdot \sin^2 \varphi}{12\mu} \cdot \frac{p}{L}. \quad (4)$$

Після підстановки (3) та (4) у (1)

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 W H \sin \varphi \cos \varphi - \frac{\pi D H^2 \cdot \sin^2 \varphi}{12\mu} \cdot \frac{p}{L}. \quad (5)$$

Отже,

- якщо $P = 0$, то продуктивність є максимальною:

$$Q = Q_{\max} = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 W H \sin \varphi \cos \varphi; \quad (6)$$

- якщо $Q = 0$, то тиск є максимальним (у каналі корок):

$$p = p_{\max} = \frac{6\pi D L W \mu}{H^2 \operatorname{tg} \varphi}. \quad (7)$$

На кінці матеріального циліндру екструдеру встановлюється формуюча головка для надання розплаву відповідної форми поперечного перерізу. [15] Таким чином, при проходженні розплаву наповненого термопласту її продуктивність складає:

$$Q = \frac{\pi R_{\Gamma}^4}{8\mu L_{\Gamma}} p, \quad (8)$$

де R_{Γ} – внутрішній радіус формуючого каналу головки; L_{Γ} – довжина каналу.

Формула (8) зазвичай використовується для головок з формуючим каналом круглого поперечного перерізу, для інших випадків:

$$Q = \frac{K'ba^3}{8\mu L_r} p, \quad (9)$$

де a – найменший розмір; b – найбільший розмір поперечного перерізу зазору формуючого каналу головки; K' – безрозмірний чинник.

«Робочу точку» конструкції «екструдер + формуюча головка» знаходять з виразу:

$$Q = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 WH \sin \varphi \cos \varphi - \frac{\pi DH^2 \cdot \sin^2 \varphi}{12\mu} \cdot \frac{p}{L} = \frac{\pi R_r^4}{8\mu L_r} p. \quad (10)$$

Тиск у робочій точці складає

$$p_{\text{рт}} = \frac{2\pi\mu D^2 WH \sin \varphi \cos \varphi}{\frac{R_r^4}{2L_r} + \frac{DH^3 \sin^2 \varphi}{3L}} \quad (11)$$

або ж:

$$p_{\text{рт}} = \frac{2\pi\mu D^2 WH \sin \varphi \cos \varphi}{\frac{K'ba^3}{3\pi L_r} + \frac{DH^3 \sin^2 \varphi}{3L}}. \quad (12)$$

Приклад 1. Одночерв'ячний екструдер має наступні характеристики: $L/D = 24$, кут підйому гвинтової лінії – $\varphi = 17,7^\circ$, максимальна швидкість обертання черв'яка – $W = 100$ об./хв., діаметр черв'яка – $D = 40$ мм, глибина нарізки гвинтового каналу – $H = 3$ мм. В'язкість розплаву наповненого термопласту $\mu = 500$ Па·с. Границя міцності матеріалу корпусу екструдера $[\sigma] = 370$ МПа. Визначити h – товщину стінки корпусу екструдера на основі енергетичного критерію зміни форми.

Розв'язування:

Корпус екструдеру знаходиться у напружено-деформованому стані, викликаному дією головних нормальних напружень: осьового $\sigma_2 = \frac{pD}{4h}$ та обводного (тангенціального) $\sigma_2 = \frac{pD}{2h}$ (h – товщина стінки матеріального циліндру).

Тиск, що діє на корпус, буде максимальним у випадку виникнення «пробки» – $Q = 0$:

$$p = p_{\max} = \frac{6\pi DLW\mu}{H^2 \operatorname{tg}\varphi} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 500 \cdot \frac{100}{60}}{(3 \cdot 10^{-3})^2 \operatorname{tg} 17,7^\circ} =$$

$$= 209 \cdot 10^6 \text{ Па} = 209 \text{ МПа}.$$

Згідно з енергетичним критерієм зміни форми $\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \leq [\sigma]$

$$370 = \sqrt{\left(\frac{209 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{2h}\right)^2 + \left(\frac{209 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{4h}\right)^2 - \frac{(209 \cdot 10^6)^2 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 4h}}.$$

Звідки $h = 8 \text{ мм}$.

Відповідь: $h = 8 \text{ мм}$.

Приклад 2. На одночерв'ячному екструдері виробляється пруток $d = 5 \text{ мм}$ із наповненого поліаміду зі швидкістю $V = 1,5 \text{ м/хв}$. Визначити W – швидкість обертання черв'яка при наступних характеристиках:

- матеріалу: $\mu = 420 \text{ Па}\cdot\text{с}$;
- екструдеру: $D = 30 \text{ мм}$, $L = 750 \text{ мм}$, $\varphi = 17,7^\circ$, $H = 2,5 \text{ мм}$;
- формуючої головки: $L_\Gamma = 4 \text{ мм}$, $D_\Gamma = 5 \text{ мм}$.

Розв'язування:

Припустимо, що розбухання екструдата відсутнє, а в'язкість розплаву є величиною сталою.

Об'ємна витрата матеріалу при проходженні каналу екструдера:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} V = \frac{3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1,5}{60} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$\text{Із (11): } p = \frac{8 \mu L_\Gamma Q}{\pi R_\Gamma^2} = \frac{8 \cdot 420 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^4} = 54 \cdot 10^3 \text{ Па} = 54 \text{ кПа}.$$

$$\text{Згідно з (9): } \frac{1}{2} \pi^2 D^2 W H \sin \varphi \cos \varphi - \frac{\pi D H^2 \sin^2 \varphi}{12 \mu} \frac{p}{L} = \frac{\pi R_\Gamma^4 p}{8 \mu L_\Gamma}$$

Звідки

$$W = \frac{p}{2 \mu} \frac{\left(\frac{R_\Gamma^4}{2 L_\Gamma} + \frac{D H^2 \sin^2 \varphi}{3}\right)}{\pi D^2 H \sin \varphi \cos \varphi} = \frac{54 \cdot 10^3}{2 \cdot 420} \frac{\left(\frac{(2,5 \cdot 10^{-3})^4}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} + \frac{30 \cdot 10^{-3} \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \sin^2 17,7^\circ}{3}\right)}{3,14 \cdot (30 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \sin 17,7^\circ \cos 17,7^\circ} =$$

$$= 237 \text{ об/с} = 4 \text{ об./хв}.$$

Відповідь: $W = 4 \text{ об./хв}$.

2. Екструзія рукавної плівки (рукавна технологія). Матеріал видавлюється через рукавну головку екструдера з наступним роздуванням рукава для отримання рукавної плівки [19].

Коефіцієнт роздуву заготовки можна виразити як:

$$\beta = \frac{D}{D_r}, \quad (13)$$

де D – діаметр роздутої заготовки; D_r – внутрішній діаметр формуючої головки.

Ступінь деформації у повздовжньому напрямку

$$\varepsilon_1 = \frac{h}{h_r}, \quad (14)$$

де h – товщина стінки роздутої заготовки; h_r – величина зазору формуючої головки.

Ступінь деформації у поперечному напрямку

$$\varepsilon_2 = \frac{D}{D_r} = \beta. \quad (15)$$

Відношення рівнів деформації у повздовжньому та поперечному напрямку

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{h_r}{h\beta^2}. \quad (16)$$

Приклад 3. Термоусадочна плівка із наповненого полімеру товщиною $h = 0,05$ мм виробляється при проходженні через формуючу головку з зазором розміром $h_r = 0,8$ мм. Визначити β – коефіцієнт роздуву при формуванні плівки при однаковому рівні роздування у повздовжньому та поперечному напрямках.

Розв’язування:

Оскільки плівка роздувається однаково у повздовжньому та поперечному напрямках, то $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$.

Отже, згідно з (16): $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = 1 = \frac{h_r}{h\beta^2}$, а $\beta = \sqrt{\frac{h_r}{h}} = \sqrt{\frac{0,8}{0,05}} = 4$.

Відповідь: $\beta = 4$.

3. Екструзійно-видувне формування. Трубочата заготовка (діаметром D) екструдується через формуючу головку екструдера (діаметром D_r та зазором h_r) у порожнину відкритої форми (діаметром D_ϕ).

Набухання розплаву наповненого полімеру на виході з формуючої головки зумовлено відновленням пружної деформації розплаву [5], при цьому коефіцієнти набухання виробу по товщині та по діаметру пов’язані між собою:

$$\beta_h = \beta_D^2, \quad (17)$$

Де $\beta_h = \frac{h'}{h_r}$ – коефіцієнт набухання по товщині; $\beta_D = \frac{D'}{D_r}$ – коефіцієнт набухання по діаметру; h', D' – товщина та діаметр заготовки на виході з формуючої головки, при цьому згідно з (17)

$$h' = h_r \beta_D^2. \quad (18)$$

Якщо ж заготовка і далі роздувається до циліндричної форми, то товщина стінки готового виробу складе

$$h = \beta_D^3 h_r \left(\frac{D_r}{D_\phi} \right), \quad (19)$$

де D_ϕ – діаметр відповідної форми.

Приклад 4. Рукавна головка має зовнішній діаметр $D_r^{\text{зовн}} = 30$ мм, внутрішній $D_r^{\text{внутр}} = 28$ мм. Заготовка для вироблення пластикових пляшок у форму діаметром $D = 50$ мм видувається під тиском $p = 0,4$ МПа. Коефіцієнт набухання $\beta_h = 2$. Визначити h – товщину стінки пляшки. Чи обірветься струмінь розплаву, якщо граничне напруження при розриві складе 6 МПа?

Розв'язування:

Згідно з (17) $\beta_D = \sqrt{\beta_h} = \sqrt{2} = 1.14$.

Для формуючої головки величина зазору складає

$$h_r = \frac{1}{2} (D_r^{\text{зовн}} - D_r^{\text{внутр}}) = \frac{1}{2} (30 - 27) = 1,5 \text{ мм},$$

а внутрішній діаметр $D_r = \frac{1}{2} (D_r^{\text{зовн}} + D_r^{\text{внутр}}) = \frac{1}{2} (30 + 27) = 28,5$ мм.

$$\text{Згідно з (19): } h = \beta_D^3 h_r \left(\frac{D_r}{D_\phi} \right) = (1,14)^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{28,5}{50} = 2,4 \cdot 10^{-3} = 2,4 \text{ мм}.$$

Максимальне напруження у повздовжньому напрямку

$$\sigma = \frac{pD}{2h} = \frac{0,4 \cdot 10^6 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}} = 4,13 \cdot 10^6 \text{ Па} = 4,13 \text{ МПа} < 6 \text{ МПа},$$

отже струмінь розплаву не увірветься.

Відповідь: $h = 2,4$ мм.

4. Екструзійно-кабельне формування. Накладання ізоляції на металевий дріт здійснюється за допомогою кабельної головки, що встановлюється на кінці екструдера [8].

Враховуючи (3) та (4), отримуємо

$$Q_1 = \frac{1}{2}bHV \quad Q_2 = \frac{bH^3}{12\mu} \cdot \frac{p}{L}, \quad (20)$$

де $b = 2\pi\left(R + \frac{h}{2}\right)$ – ширина каналу між черв'яком і корпусом екструдера;

R – радіус дроту, що ізолюється; h – товщина нанесеного покриття.

Власне об'єм ізоляції, що наноситься на дріт, складає

$$Q = \pi Vh(2R + h) = Q_1 + Q_2, \quad (21)$$

а тиск на вході до кабельної головки згідно з (1) дорівнює

$$p = \frac{6\mu LV}{H^3}(2h - H). \quad (22)$$

5. Лиття під тиском. Для ізотермічного руху розплаву наповненого термопласту, що рухається каналом круглого поперечного перерізу всередині матеріального циліндру машини для лиття (рис. 2) перепад тиску

$$\Delta p = \frac{8\mu LQ}{\pi R^4}. \quad (23)$$

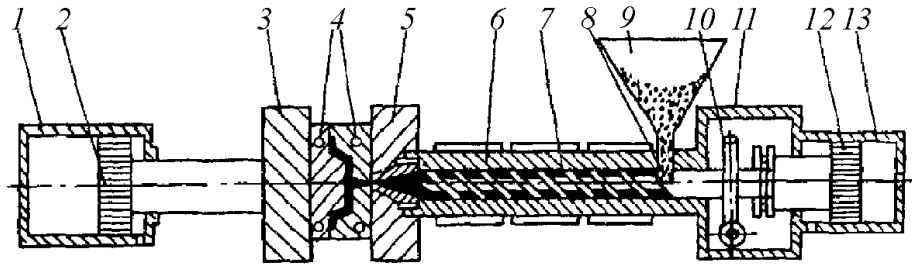


Рис. 2. Схема машини для лиття:

1 – циліндр механізму змикання, 2 – поршень гідроциліндру механізму змикання, 3 – рухома плита; 4 – напівформи; 5 – нерухома плита; 6 – матеріальний циліндр; 7 – шнек, 8 – завантажувальне вікно циліндру пластифікації, 9 – бункер; 10 – привід шнеку; 11 – корпус гідроциліндру механізму вприскування; 12 – поршень гідроциліндру вприскування; 13 – гідроциліндр шнеку [10]

При виливанні виробу круглого у плані вхідний канал знаходиться у центрі дна форми, а сила змикання форми складає

$$F = \pi R^2 p_0 \left(\frac{m}{m + 2} \right), \quad (24)$$

де p_0 – тиск поблизу впускного отвору; m – коефіцієнт втрати тиску ($m = 0.3 - 0.5$ або ж $m = 1 - n$); n – індекс плинучості.

При виливанні виробу прямокутного у плані сила змикання форми складає

$$F = bp_0 \left(\frac{m}{m+1} \right). \quad (25)$$

Приклад 5. Літникова система на вісім гнізд наведена на рис. 3. Тиск всередині всіх літникових каналів однаковий. Рух розплаву наповненого термопласту вважається ізотермічним. Визначити R_2 – радіус літникового каналу, що веде безпосередньо до гнізда.

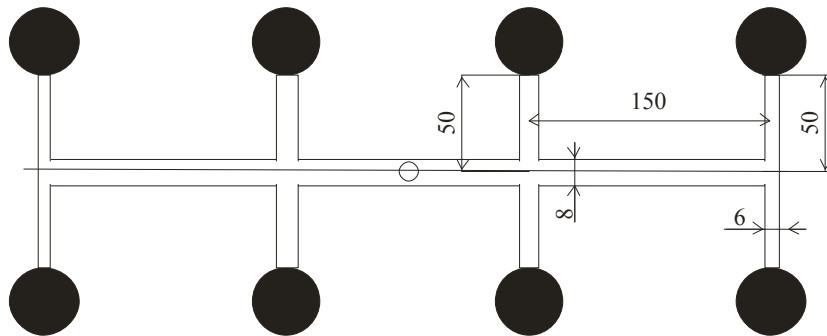


Рис. 3. Літникова система

Розв'язування:

Система літникових каналів на рис. 4 є симетричною. Однак, якщо б літники були однакового поперечного перерізу, то частина форми поблизу вхідного каналу заповнювалась би першою. Внаслідок цього утворювався б корок перш, ніж заповнились би порожнини всіх гнізд. У правильній формі всі гнізда заповнюються одночасно під однаковим тиском. [12] Отже, для даної літникової схеми необхідно, щоб перепад тиску у каналах 1 та 3 дорівнював би перепаду у каналі 2.

Згідно з (23), якщо до впускного отвору літникової системи надходить об'єм розплаву у $2q$, а у каналі 2 потік розділяється, то об'єм наповненого термопласту, що буде надходити:

- до літникового каналу 1 $= xq$;
- до літникового каналу 2 $= \frac{1}{2}(1-x)q$;
- до літникового каналу 3 $= \frac{1}{2}xq$, де $x = \frac{S_1}{S_1 + 2S_2} = \frac{R_1^2}{R_1^2 + 2R_2^2}$.

Отже, перепад тиску складе:

- всередині літникового каналу 1 $= \frac{8\mu L_1 xq}{\pi R_1^4}$;

$$\text{- всередині літникового каналу 2} = \frac{8\mu L_2(1-x)q}{2\pi R_2^4};$$

$$\text{- всередині літникового каналу 3} = \frac{8\mu L_3 x q}{2\pi R_3^4}.$$

$$\text{Загальна величина перепаду тиску: } \frac{8\mu L_2(1-x)q}{2\pi R_2^4} = \frac{8\mu L_1 x q}{\pi R_1^4} + \frac{8\mu L_3 x q}{2\pi R_3^4},$$

звідки

$$R_2 = \frac{R_1 R_3^2 \sqrt{2L_2}}{\sqrt{2L_1 R_3^4 + L_3 R_1^4}} = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-3} \sqrt{2 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}}{\sqrt{2 \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot (6 \cdot 10^{-3})^4 + 50 \cdot 10^{-3} \cdot (8 \cdot 10^{-3})^4}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4 \text{ мм}.$$

Відповідь: $R_2 = 4 \text{ мм}$.

Приклад 6. Форма на 4 гнізда використовується для вироблення пластикових ковпачків із АВС-пластику: висота – 60 мм, діаметр 90 мм, товщина стінки – 1 мм. Відстань між впускним каналом та гніздами 40 мм, діаметр літникових каналів – 6 мм. Розплав надходить через отвір збоку форми. Визначити силу змикання форми. Як зміниться її величина, якщо живлення відбудуватиметься через отвір у центрі гнізда?

Розв'язування:

Максимальна довжина шляху розплаву наповненого термопласту – від отвору вздовж стінки та через основу форми – складає $60 + 90 = 150 \text{ мм}$, отже при товщині стінки виробу у 1 мм відношення шляху руху розплаву до товщини стінки $\frac{150}{1} = 150$.

При такій товщині стінки та відношенні шляху руху розплаву до товщини стінки виробу середній тиск можна визначити, скориставшись рис. 5.

Отже, згідно з рис. 4, середній тиск складе 75 МПа. Враховуючи 15% запас та чинник збільшення в'язкості (1,4 для АВС-пластику), тиск дорівнюватиме $75 \cdot 10^6 \cdot 1,15 \cdot 1,4 = 120 \cdot 10^6 \text{ Па} = 120 \text{ МПа}$.

Для кожного гнізда площа лиття складає $\frac{\pi \cdot 90^2}{4} = 6360 \text{ мм}^2$, а тому на одне гніздо припадає сила змикання $120 \cdot 10^6 \cdot 6360 \cdot 10^{-6} = 763 \cdot 10^3 \text{ Н} = 763 \text{ кН}$.

Площа проекцій всіх літникових каналів складає $4 \cdot 40 \cdot 6 = 960 \text{ мм}^2$, а тому на літникові канали припадає сила змикання

$$120 \cdot 10^6 \cdot 960 \cdot 10^{-6} = 115 \cdot 10^3 \text{ Н} = 115 \text{ кН}.$$

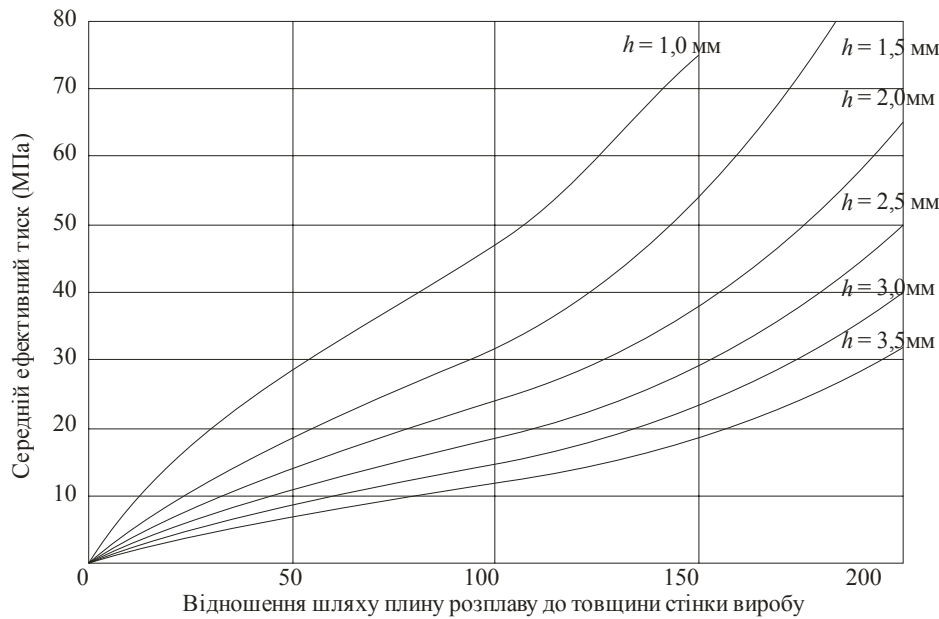


Рис. 4. Тиск, що відповідає зусиллю змикання форми [16]

Таким чином загальна сила змикання = $4 \cdot 763 + 115 = 3167$ кН (або 317 тон·сили).

Якщо живлення відбуватиметься через отвір у центрі гнізда, то максимальна довжина шляху розплаву наповненого термопласту складе $60 + \frac{1}{2}90 = 105$ мм, отже при товщині стінки виробу у 1 мм відношення шляху руху розплаву до товщини стінки $\frac{105}{1} = 105$.

Згідно з рис. 4 за такої товщини та відношення шляху потоку розплаву до товщини стінки середній тиск складе 50 МПа. Враховуючи 15% запас та фактор збільшення в'язкості (1,2...2,0), тиск дорівнюватиме $50 \cdot 1,15 \cdot 1,4 = 81$ МПа.

У цьому випадку на одне гніздо припадає сила змикання

$$81 \cdot 10^6 \cdot 6360 \cdot 10^{-6} = 512 \cdot 10^3 \text{ Н} = 512 \text{ кН.}$$

Площа проекцій всіх літникових каналів складає $4 \cdot 40 \cdot 6 = 960$ мм², а тому на літникові канали припадає сила змикання

$$81 \cdot 10^6 \cdot 960 \cdot 10^{-6} = 77 \cdot 10^3 \text{ Н} = 77 \text{ кН.}$$

Таким чином загальна сила змикання = $4 \cdot 512 + 77 = 2125$ кН (або 213 тон·сили).

Відповідь: сила змикання складає 317 та 213 тон·сили.

7. Термоформування. У загальному випадку об'єм матеріалу до і після формування має бути однаковий

$$F_{\Pi} h_{\Pi} = F_{\kappa} h_{\kappa}, \quad (26)$$

де індекси n та κ відповідають початку та кінцю процесу.

Розм'якшений лист наповненого термопласту товщиною h_0 просідає у формі (рис. 5): краями прилягаючи до боків форми, а серединою формуючи провис у вигляді бульбашки з такими параметрами:

- радіус бульбашки $R = \frac{H - S \sin \alpha}{\sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}$; (27)

- площа бічної поверхні $F = 2\pi R^2 (1 - \cos \alpha)$. (28)

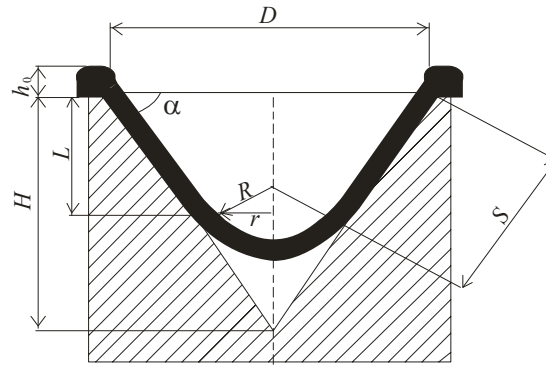


Рис. 5. Термоформування у конічній формі [4]

Отже, при формуванні листа термопласту товщиною h_0 товщина виробу на відстані S від верху форми складе:

$$h = \frac{\sin^2 \alpha}{2(1 - \cos \alpha)} \left(\frac{H - S \sin \alpha}{H} \right)^{\frac{1}{\cos \alpha} - 1}, \quad (29)$$

$$\frac{h}{h_0} = \frac{1 + \cos \alpha}{2} \left(\frac{H - L}{H} \right)^{\frac{1}{\cos \alpha} - 1}. \quad (30)$$

Приклад 7. Коробка ($150 \times 100 \times 60$ мм) формується термоформуванням з плаского листа $150 \times 100 \times 2$ мм. Визначити товщину стінок готової коробки при формуванні вакуумним способом та штампуванням (штамп 140×90 мм).

Розв'язування:

Початковий об'єм листа $= 150 \cdot 100 \cdot 2 = 3 \cdot 10^4$ мм³, а площа поверхні відформованого листа $= (150 \cdot 100) + 2(100 \cdot 60) + 2(150 \cdot 60) = 4,5 \cdot 10^4$ мм², тоді

товщина стінок готової коробки складатиме $\frac{3 \cdot 10^4}{4,5 \cdot 10^4} = 0,67$ мм.

Припустимо, що при використанні штампа буде відформована площа 140×90 мм товщиною 2 мм.

Отже, у цьому випадку об'єм відформованої штампом частини складе $140 \cdot 90 \cdot 2 = 2,52 \cdot 10^4 \text{ мм}^3$, а на формування стінок виробу залишиться об'єм матеріалу $(3 - 2,52) \cdot 10^4 = 0,48 \cdot 10^4 \text{ мм}^3$.

Площа поверхні стінок $2 \cdot (100 \cdot 60) + 2(150 \cdot 60) = 3 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$, товщина яких складе $\frac{0,48 \cdot 10^4}{3 \cdot 10^4} = 0,16 \text{ мм}$.

Відповідь: при формуванні вакуумним способом товщина стінок складає 0,67 мм, при штампуванні – 0,16 мм.

Приклад 8. Горщик для квітів (рис. 6) виробляється термоформуванням з плоского листа товщиною $h_0 = 2,5 \text{ мм}$. Визначити h – товщину стінки горщика на відстані $L = 40 \text{ мм}$ від верху, а також ступінь деформації виробу.

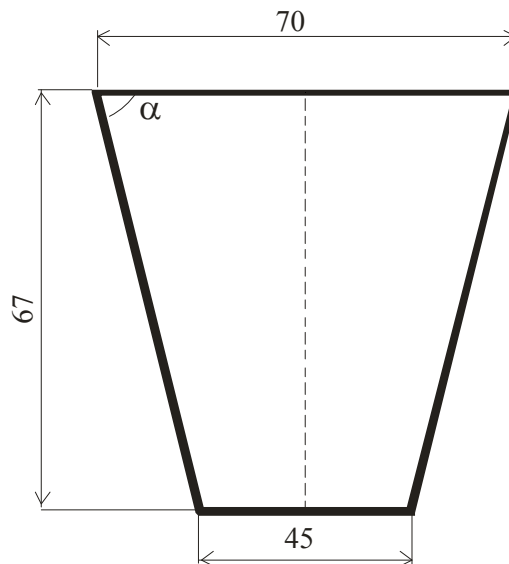


Рис. 6. Горщик для квітів

Розв'язування:

Відповідно до рис. 6: $\text{tg } \alpha = \frac{67}{12,5}$, отже $\alpha = \arctg\left(\frac{67}{12,5}\right) = 79^\circ$ і $H = 35 \text{ tg } \alpha =$
 $= 35 \frac{67}{12,5} = 188 \text{ мм}$.

Згідно з (30):

$$h = h_0 \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) \cdot \left(\frac{H - L}{H} \right)^{\frac{1}{\cos \alpha} - 1} = 2,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1 + \cos 79^\circ}{2} \right) \cdot \left(\frac{188 - 40}{188} \right)^{\frac{1}{\cos 79^\circ} - 1} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м} =$$

$$= 0,6 \text{ мм}.$$

Ступінь деформації виробу (СД) – це відношення площі поверхні готового виробу до початкової площі заготовки (листа):

$$СД = \frac{\pi \cdot 22,5^2 + 0,5(2\pi \cdot 22,5 + 2\pi \cdot 30)\sqrt{67^2 + 12,5^2}}{\pi \cdot 35^2} = 3.$$

Відповідь: $h = 0,6$ мм; $СД = 3$.

9. Каландрування. Рух розплаву наповненого термопластує стаціонарним, ламінарним та ізотермічним. Вважається, що розплав не стискається, між ним і валками відсутнє ковзання [3].

Між валками радіусу R , що обертаються зі швидкістю W , розплав рухається зі швидкістю:

$$V = 2\pi RW. \quad (31)$$

Координата зони максимального тиску визначається як

$$x = \pm \sqrt{(H - H_0)R}, \quad (32)$$

де H_0 – початковий зазор між валками.

А власне максимальний тиск складає

$$p_{\max} = \frac{3\mu V}{H_0} \left[2w - \frac{4H_0 - 3H}{H_0} \left(w + \sqrt{\frac{R}{H_0}} \sqrt{\frac{H - H_0}{H}} \right) \right], \quad (33)$$

де $w = \frac{\sqrt{(H - H_0)R}}{H}$ – безрозмірний чинник. (34)

Приклад 9. На валках діаметром $D = 400$ мм виробляється плівка шириною $b = 2$ м з продуктивністю $Q = 1300$ кг/год. Зазор між валками – $H_0 = 10$ мм, швидкість на виході з валка $V = 0,01$ м/с. Визначити x – координату та $p_{\max}$ – величину максимального тиску. Щільність матеріалу $\rho = 1400$ кг/м³, в'язкість $\mu = 10^4$ Па·с.

Розв'язування:

$$\text{Об'ємна продуктивність } Q = 1300 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = \frac{1300}{1400 \cdot 3600} = 0,26 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

З іншого боку, $Q = VNb$, звідки поперечний розмір шару матеріалу

$$H = \frac{Q}{Vb} = \frac{0,26 \cdot 10^{-3}}{0,01 \cdot 2} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 13 \text{ мм}.$$

Координата максимального тиску

$$x = \sqrt{(H - H_0)R} = \sqrt{(13 - 10) \cdot 200} = 24 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 24 \text{ мм}.$$

$$\text{Безрозмірний чинник } w = \frac{\sqrt{(H - H_0)R}}{H} = \frac{\sqrt{(13 - 10) \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot 10^{-3}}}{13 \cdot 10^{-3}} = 1,865$$

Величина максимального тиску

$$p_{\max} = \frac{3\mu V}{H_0} \left[2w - \frac{4H_0 - 3H}{H_0} \left(w + \sqrt{\frac{R}{H_0}} \sqrt{\frac{H - H_0}{H}} \right) \right] = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot 0,01}{10 \cdot 10^{-3}} x;$$

$$x \left[2 \cdot 1,865 - \frac{4 \cdot 10 - 3 \cdot 13}{10} \left(1,865 + \sqrt{\frac{200}{10}} \sqrt{\frac{13 - 10}{13}} \right) \right] = 100 \cdot 10^3 \text{ Па} = 100 \text{ кПа}.$$

Відповідь: $x = 24 \text{ мм}$; $p_{\max} = 100 \text{ кПа}$.

10. Компресійне формування. «Буханець» знаходиться між двома плитами. Отже, якщо до верхньої прикласти стале зусилля F , то рух розплаву наповненого полімеру буде зумовлений різницею тисків. А власне зусилля складає

$$F = \frac{3\mu v^2}{8\pi \cdot t \cdot H^4}, \quad (35)$$

де H – відстань між плитами через час t .

Приклад 10. Із фенолформальдегіду ($\mu = 10^3 \text{ Па}\cdot\text{с}$) компресійним формуванням виробляється кругла пластина діаметром 300 мм. «Буханець»-заготовка має циліндричну форму (діаметр – 50 мм, висота – 36 мм). Визначити зусилля F , необхідне для формування пластини за $t = 10 \text{ с}$.

Розв’язування:

Об’єм «буханця» дорівнює об’єму відформованої пластини, отже

$$v = \pi \left(\frac{50}{2} \right)^2 \cdot 36 = \pi \left(\frac{300}{2} \right)^2 H, \text{ звідки } H = 1 \text{ мм}.$$

$$\text{Згідно з (35): } F = \frac{3\mu v^2}{8\pi \cdot t \cdot H^4} = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot \pi \left(\frac{50}{2} \right)^2 \cdot 36}{8\pi \cdot 10 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2} = 60 \cdot 10^{-3} H = 60 \text{ кН}.$$

Відповідь: $F = 60 \text{ кН}$.

II. АНАЛІЗ РУХУ РОЗПЛАВУ НАПОВНЕНОГО ТЕРМОПЛАСТУ ВСЕРЕДИНІ КАНАЛІВ РІЗНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

1. Ізотермічний рух ньютонівської рідини. Для аналізу руху ньютонівської рідини каналами різного поперечного перерізу зазвичай приймаються наступні припущення:

- ковзання поблизу стінок каналу відсутнє;
- розплав наповненого полімеру не стискається;
- потік є стаціонарним та ламінарним;
- в'язкість розплаву не впливає на зміну тиску всередині каналу;
- крайовий ефект не враховується [8, 15, 18].

В результаті всередині каналу круглого поперечного перерізу потік ньютонівської рідини можна описати наступними параметрами:

- максимальне напруження зсуву поблизу стінки каналу $\tau_w = \frac{pR}{2L}$;
- еюра розподілення швидкості потоку $V_0 = \frac{1}{4\mu} \frac{p}{L} R^2$; $V = V_0 \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right)$;
- об'ємна витрата рідини $Q = \frac{\pi R^4 p}{8\mu L}$;
- швидкість деформації зсуву поблизу стінки каналу $\dot{\gamma}_w = -\frac{4Q}{\pi R^3}$.

Між двома паралельними пластинами:

- максимальне напруження зсуву поблизу стінки каналу $\tau_w = \frac{pH}{2L}$;
- еюра розподілення швидкості потоку

$$V_0 = -\frac{1}{2\mu} \frac{p}{L} \left(\frac{H}{2} \right)^2, \quad V = V_0 \left(1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right);$$

- об'ємна витрата рідини $Q = \frac{bpH^3}{12\mu L}$;
- швидкість деформації зсуву поблизу стінки каналу $\dot{\gamma}_w = -\frac{6Q}{bH^2}$.

2. Ізотермічний рух неньютонівської рідини. Всередині каналу круглого поперечного перерізу потік такої рідини можна описати наступними параметрами:

- в'язкість рідини $\mu = \mu_0 \left[\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right]^{n-1}$;

- епюра розподілення швидкості потоку

$$V_0 = -\left(\frac{n}{n+1}\right)\dot{\gamma}_0^{\frac{n+1}{n}}\left[\frac{p}{2\mu_0 L}\right]^{\frac{1}{n}}R^{\frac{n+1}{n}}; \quad V = V_0\left(1 - \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right);$$

- об'ємна витрата рідини $Q = \left(\frac{n+1}{3n+1}\right)\pi R^2 V_0$;

- швидкість деформації зсуву поблизу стінки каналу $\dot{\gamma}_w = -\left(\frac{3n+1}{4n}\right)\frac{4Q}{\pi R^3}$.

Між двома паралельними пластинами:

- епюра розподілення швидкості потоку потоку

$$V_0 = -\left(\frac{n}{n+1}\right)\dot{\gamma}_0\left[\frac{p}{\mu_0 \dot{\gamma}_0 L}\right]^{\frac{1}{n}}\left(\frac{H}{2}\right)^{\frac{n+1}{n}}; \quad V = V_0\left(1 - \left(\frac{2y}{H}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right);$$

- об'ємна витрата рідини $Q = \left(\frac{n+1}{2n+1}\right)bV_0 H$

- швидкість деформації зсуву поблизу стінки каналу

$$\dot{\gamma}_w = -\left(\frac{2n+1}{n}\right)\frac{2Q}{bH^2}.$$

3. Час перебування розплаву у каналі. Для ньютонівської рідини час перебування розплаву:

- у каналі круглого поперечного перерізу $t_R = \frac{8\mu L^2}{pR^2}$;

- у каналі прямокутного поперечного перерізу $t_R = \frac{12\mu L^2}{pH^2}$.

Для неньютонівської (або степеневі) рідини час перебування розплаву:

- у каналі круглого поперечного перерізу $t_R = \left(\frac{3n+1}{n+1}\right)\frac{L}{V_0}$;

- у каналі прямокутного поперечного перерізу $t_R = \left(\frac{2n+1}{n+1}\right)\frac{L}{V_0}$.

ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

Дані для розрахунків завдань №№ 1-40 наведені у таблиці:

Номер задачі	Позначення	Номер варіанту														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	H	2,4	2,2	2,4	2,0	1,8	1,6	2,0	2,2	2,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,4
	D	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	W	100	65	70	75	80	85	90	95	100	120	100	60	80	60	80
	φ	17° 42′	15°	17° 42′	16°	17° 42′	17°	17° 42′	18°	17° 42′	19°	17° 42′	20°	16° 50′	18° 50′	19° 50′
	L	1000	500	1100	1200	1250	700	800	500	600	1000	1100	1200	500	1000	1000
2	p	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	D_r	3	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	2	2,5	2,5	3	2	2,5
3	L_r	40	40	40	50	50	50	60	60	60	60	60	40	50	50	50
	k	2	2	2	4	4	4	2	2	2	2	2	2	4	4	4
	d_0	1,5	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,0
	l_0	10	15	20	10	15	20	25	30	35	10	15	20	30	35	40
4	D	500	600	550	650	700	750	800	850	900	950	550	650	700	750	800
	p_0	50	60	55	65	70	75	80	85	90	95	45	75	85	90	100
	M	0,6	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
5	D	220	300	225	325	350	375	400	425	450	300	225	325	350	375	400
	d	100	60	70	75	80	85	90	95	100	60	60	75	85	90	80
	H	80	125	150	175	95	90	85	80	75	125	100	95	90	90	95
	h	3	2,5	3,0	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5	1,5	3,0	2,0	2,5	1,5	2,0	2,5
	p_0	1400	60	55	65	70	75	80	85	90	95	45	75	85	90	100
	M	0,5	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
6	D	300	200	150	300	200	150	350	250	450	300	200	150	300	200	150
	b	1000	1000	500	1000	1000	1500	700	800	600	1500	1000	500	1000	1000	500
	$\bar{Q}$	2000	1000	1500	10000	20000	1500	5000	5000	500	25000	30000	20500	3000	1000	1500
	W	5	3	4	5,5	3,5	4,5	5	3	4	5	3	4	5	5	2
	H_0	4,5	4,0	4,5	4,5	4,0	4,5	4,5	4,0	4,5	4,5	2,0	4,5	4,5	2,0	2,5

Номер задачі	Позна-чення	Номер варіанту												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	D δ	200 4	100 1	150 2	100 2	100 4	100 3	200 3	150 1	200 1	250 4	300 2	250 4	300 2,5
8	D	60	40	50	55	60	55	60	40	50	55	60	55	80
	d	40	20	20	35	20	15	35	25	20	35	20	15	50
	H	60	40	50	60	60	55	60	40	50	60	60	55	70
	t	3	3	2	1	3	1	3	3	3	3	1	4	1
	S	35	35	20	20	20	15	35	15	20	20	20	15	10
9	D	70	65	60	70	65	60	70	65	60	70	65	60	80
	$d_{\Gamma \text{ зовн}}$	40	40	35	40	40	35	40	40	35	40	40	35	45
	h_{Γ}	2	2	1,5	2	2	1,5	2	1,0	1,5	1,0	2	1,5	1,0
	β_h	1,8	1,5	1,8	2,0	2,0	2,0	1,8	1,5	1,8	2,0	2,0	2,0	1,6
	σ	10	5	10	7,5	5	10	20	15	10	7,5	5	10	12
10	δ	0,1	0,2	0,15	0,25	0,3	0,25	0,1	0,2	0,15	0,25	0,3	0,25	0,3
	x	2	2	3	1	3	2	3	4	1	1,5	3	1	1
	$d_{\Gamma \text{ внутр.}}$	98	95	95	98	90	98	98	95	95	98	90	90	90
	$d_{\Gamma \text{ зовн}}$	100	105	100	100	95	102	100	105	100	100	100	100	95
														100
11	d	15	14	13	12	11	11	15	15	15	15	15	15	15
	h	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,25	0,2
	V	0,5	0,4	0,35	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,35	0,5	0,5
	L	60	50	45	60	60	60	60	55	55	60	60	60	60
	$d_{\Gamma \text{ внутр}}$	16	16	16	16	16	14	15	16	16	16	16	16	16
12	M	150	150	150	100	200	150	150	150	100	100	75	75	100
	D	300	250	200	250	300	300	250	200	200	300	250	200	100
	F	100	100	100	100	150	50	50	80	100	150	50	80	100
13	R	3	1	2	1	3	1	2	4	2,5	2,5	4	1,5	2,5
	L	37,5	35,0	35,0	35,0	37,5	35,0	35,0	35,0	20,0	30,0	35,0	35,0	35,0
	$\bar{Q}$	$2,12 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$2,12 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,12 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
														$4,5 \cdot 10^{-6}$
														$1,0 \cdot 10^{-6}$
														$1,0 \cdot 10^{-6}$

Номер задачі	Позначення	Номер варіанту														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14	b	5	2	3	2,5	3,5	1,5	2	3	4	1	1	1	1	1	4
	H	1	1	2	1,5	1	1,5	2	3	4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	4,5
	Q	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$
15	D	25	30	25	25	50	50	50	50	50	50	50	50	40	50	50
	L	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	50	50	50
	d	23	23	23	23	23	23	23	23	25	30	40	45	35	35	35
	V	50	50	30	25	50	40	30	30	20	50	50	50	50	50	25
17	a	15	10	12,5	15	10	10	10	10	10	10	20	30	35	25	25
	r	5	5	5	5	3	5	5	7	5	5	5	5	5	5	5
	H	2	2	1	1,5	1	1,5	2	1	2	2	2	1	1,5	2	2
	L	10	10	15	20	10	10	20	10	10	10	10	10	10	10	10
	V	3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	4,0	3,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	ρC_p	$3,3 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$	$5,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$	$5,0 \cdot 10^6$
	d	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	65	70	75	70	75
19	D	30	35	40	45	30	30	30	30	30	30	35	35	30	30	30
	H	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	2,0	2,5	1,0	1,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Q	$46 \cdot 10^{-6}$	$36 \cdot 10^{-6}$	$26 \cdot 10^{-6}$	$16 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$0,75 \cdot 10^{-6}$	$40 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-6}$	$45 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	$35 \cdot 10^{-6}$	$46 \cdot 10^{-6}$	$46 \cdot 10^{-6}$
	p	100	90	85	90	85	100	100	90	95	90	85	80	80	150	175
20	t	1	0,5	1	1	0,5	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5
	T	60	55	60	55	50	55	50	60	60	60	65	65	70	65	70
21	T_f	128	125	125	110	125	120	110	110	115	115	130	100	130	120	125
	μ_n	120	105	110	115	120	120	115	100	105	110	110	100	110	110	105
	T	50	55	50	55	60	60	60	55	50	50	50	50	65	65	65
22	T_f	90	95	90	95	85	85	85	95	85	80	80	80	95	95	95
	h	1	1	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	2,5	1,0	1,5	2,0	2,5	1,0	1,5	2,0

Номер задачі	Позначення	Номер варіанту														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
23	T	30	30	30	25	25	25	35	40	40	40	25	20	25	25	30
	T_f	90	90	90	90	85	85	90	85	85	85	85	70	70	75	75
	h	4	3	2	1	1	2	3	1	2	3	3	4	1	2,5	1,0
24	τ_0	40	35	10	10	40	35	20	5	45	45	10	20	30	15	15
	n	0,35	0,45	0,55	0,75	0,4	0,5	0,5	0,4	0,75	0,35	0,55	0,75	0,4	0,4	0,75
	d	3	3	2	3,5	1	1	3	3	1	3	2,5	3,5	1,5	3	1
	L	25	25	25	25	10	15	25	25	25	25	25	25	10	25	25
	$\bar{Q}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
25	D	120	100	110	110	100	100	120	120	120	150	200	175	175	150	200
	H	3	3	3	2,5	2	2	2,5	2	3	1	3	2,5	1	1,5	2
	t	1	1	2	1	1,5	1	1	1,5	2,0	1,0	3,0	2,5	1	1,5	2
26	ν	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$
	T	50	50	50	50	50	50	45	40	35	50	50	50	50	50	50
	L	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	1,0
	$\dot{\gamma}$	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3	10^3
	T_f	114	114	114	114	114	114	114	114	114	100	110	120	114	114	114
27	t	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3	3
	α	6°	2°	10°	6°	2°	5°	2°	3°	4°	5°	85°	1°	5°	10°	15°
	D	40	250	40	40	200	50	40	250	300	200	50	200	40	200	40
	H	0,5	1	2	0,5	1	2	1,5	2,5	0,5	2,0	2	2,5	0,5	1,5	2
	a	6	5	10	6	5	10	5	10	6	5	10	10	6	5	10
28	c	15	12	10	25	12	10	12	10	25	12	10	10	25	12	10
	$\bar{Q}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$
	D	40	40	40	40	40	30	35	25	45	50	40	40	40	40	40
	H	0,75	0,75	0,75	1,5	1,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	2,0	3,0	4,0	2,0	2,0
	V	15	10	5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	10	5

Номер задачі	Позначення	Номер варіанту															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
29	a	50	60	55	65	70	50	50	80	85	95	65	50	60	55	65	
	c	10	10	10	10	10	15	20	10	10	10	10	7	8	6	9	
	δ	3	4	5	2	3,5	4,5	5,5	3	4	5	2,5	3,5	4,5	5,5	2,5	
	H	4	3	2	1	4,5	5,5	4	4	3	2	2,5	4,5	3,5	2,5	1,5	
	b	2	2	2	2	2,5	3	4	2	3	4	2	2	2	2	2	
	L	0,6	0,5	0,4	0,7	0,8	1,0	1,5	0,6	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4	0,7	
	$\bar{Q}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	
30	d	8	7	6	5	4	8	8	8	7	6	5	8	7	6	5	
	l	20	15	10	20	15	10	20	20	15	15	20	20	15	10	20	
	t	1	1,5	2	5	1	1	1	1	1,5	2	2,5	1	1,5	2	5	
	d	3	3	3	3	3	1	2	3	3	3	1	2	3	2	2	
	V	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	1,0	0,4	1,0	1,0	1,0	0,4	0,4	
	T	70	65	60	55	50	70	65	60	55	50	70	65	50	55	50	
	31	p	100	95	90	85	80	85	90	100	80	85	90	95	100	150	200
L		1	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
32		d	100	125	120	110	115	100	125	120	110	115	115	150	200	115	115
		h	2,5	2,0	3,5	2,5	3,5	2,5	2,0	3,5	2,5	3,5	3,5	3,0	3,5	3,5	4,5
		D	40	45	50	40	45	40	50	45	40	40	40	40	85	95	45
		H	2	2	2	2	2	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5	2,0	2	2,5	1,5
		σ	0,4	0,8	0,5	0,9	0,5	0,4	0,8	0,4	0,9	0,4	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
33	l	0,4	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,45	0,55	0,65	0,75	0,7	0,75	0,75	0,5	
	t	1	0,5	1	1	1	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1	1	1,5	2	2	
34	$\bar{Q}$	$30 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$	$30 \cdot 10^{-6}$	$25 \cdot 10^{-6}$	$20 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$	$30 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$	
	k	80	70	75	70	80	80	70	70	80	80	70	75	70	80	80	
	d	4	4	3,5	4,5	4	4	4	4,5	4	4	4	2,5	1,5	1,0	4	
	l	12	10	15	10	15	12	10	10	15	12	10	15	10	15	25	

Номер задачі	Позначення	Номер варіанту														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
35	a	3	3	3	3	2,5	3,5	3	3	2,5	3,5	3	3	4	5	6
	c	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	3	4,5	1,0
	δ	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,5
	r_1	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5
	r_2	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4	5	5	5	5	4
	M	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10	15	10
	t	2	1	3	2	2	1	3	2	2,5	1,5	3,5	2	3	2	2
	v	5000	2500	5000	2500	3000	4000	4500	1000	1500	4000	4500	500	5000	2500	3000
	p	80	40	40	20	80	40	40	20	50	30	10	25	40	20	80
36	h	0,5	0,5	0,5	1,5	2,5	1,0	2,0	0,75	0,65	0,85	1,25	2,25	0,5	1,0	1,5
	b	450	250	150	450	450	450	450	450	250	200	300	400	500	550	600
	V	20	10	15	25	30	35	20	20	10	15	25	30	20	20	25
	β	1,9	1,8	1,7	1,95	1,85	1,75	1,65	1,6	1,65	1,5	1,9	1,9	1,8	1,5	1,0
37	D	60	55	50	60	55	50	70	75	80	90	75	80	90	50	60
	h	2	2	2	2,5	1	1,5	3	1	1,5	3	1,5	1,5	3	2	2,5
	$d_{\Gamma \text{ зовн}}$	32	32	32	32	32	32	32	35	35	37	45	50	55	32	32
	$d_{\Gamma \text{ внутр}}$	28	28	28	28	28	28	28	30	28	30	40	48	45	28	28
38	t	1	2	3	4	5	6	7	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,0
40	M	15	15	10	15	15	10	20	20	25	20	25	20	25	20	25
	t	1	1,5	1	1	1,5	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5	1	2	0,5	0,5
	T	40	45	50	40	45	50	45	50	40	45	50	35	40	35	45
	N	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1,5	1,25	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5

1. Параметри шнеку складають: глибина каналу – H , мм; діаметр – D , мм; швидкість – W , об./хв.; кут підйому гвинтової лінії – φ . Тиск по всій довжині шнеку (L , мм) змінюється лінійно: на вході – 0 МПа, поблизу формуючої головки – p , МПа. Визначити продуктивність повздовжнього – Q_1 , поперечного – Q_2 та загального потоку – Q , а також швидкість деформації зсуву у зоні дозування – $\dot{\gamma}$.

2. До екструдера у (1) долучено формуючу головку з каналом довжиною $L_{\text{г}}$, мм, діаметром $D_{\text{г}}$, мм. Визначити робочу точку екструдера графічно. Пояснити, як вплине на тиск та продуктивність цього екструдера використання розплаву наповненого термопласту з вдвічі більшою в'язкістю?

3. До екструдера у (1) долучено формуючу головку для вироблення стренгів (прутків) із наповненого термопласту. Головка має k отворів, діаметром d_0 , мм, довжиною – l_0 , мм. Визначити робочу точку екструдера графічно.

4. Кругла пластина діаметром D , мм, формується литтям під тиском (центральный літник розташований у центрі форми). Тиск лиття розплаву наповненого термопласту складає p_0 , МПа, коефіцієнт втрати тиску – m . Визначити F – зусилля замикання прес-форми.

5. Контейнер (рис. 7) формується литтям під тиском (центральный літник розташований у центрі дна). Тиск лиття на вході до форми складає p_0 , МПа, коефіцієнт втрати тиску – m . Визначити F – зусилля замикання прес-форми та l/h – відношення шляху розплаву до товщини стінки.

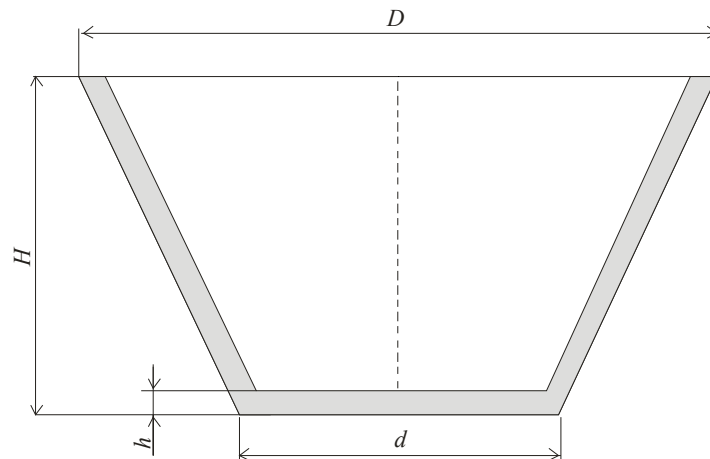


Рис. 7. Контейнер

6. Каландр з валками діаметром D , мм, використовується для вироблення листів шириною b , мм, з продуктивністю Q , кг/год. Швидкість валка складає W , об./хв., зазор між валками H_0 , мм. Визначити величину максимального тиску (p_{max}) та координату зони максимального тиску (x).

7. Напівсферична деталь діаметром D , мм формується вакуумним методом з плоского листа товщиною δ , мм. Визначити h – товщину виробу.

8. Виріб, відформований вакуумним методом з плаского листа товщиною δ , мм, має форму усіченого конусу: більша основа – D , мм, менша – d , мм, висота – H , мм. Визначити h – товщину стінки виробу: на відстані S , мм, від верху та у центрі дна.

9. Роздування пластмасових пляшок здійснюється кільцевою головкою з формуючим каналом: зовнішній діаметр – $d_{\Gamma \text{ зовн}}$, мм, зазор – h_{Γ} , мм. Коефіцієнт роздування – β_h . Визначити: D – діаметр заготовки (рукава), h – товщину пляшки, p – тиск заповнення форми за умов, що руйнування струменю розплаву відбудеться при напруженні – σ , МПа.

10. Плівка роздувається з заготовки товщиною δ , мм, у повздовжньому напрямку $\varepsilon_1 = x\varepsilon_2$. Формуючий канал головки для роздування плівки має параметри: внутрішній діаметр – $d_{\Gamma \text{ внутр}}$, мм, зовнішній діаметр – $d_{\Gamma \text{ зовн}}$, мм. Визначити β – коефіцієнт роздуву та b – ширину плаского рукаву плівки.

11. На дріт діаметром d , мм наноситься ізоляція із наповненого термопласту товщиною h , мм зі швидкістю V , м/с. Формуючий канал головки для нанесення ізоляції має параметри: довжина – L , мм, внутрішній діаметр – $d_{\Gamma \text{ внутр}}$, мм. Визначити p – тиск на вході до головки.

12. Прямим пресуванням із заготовки з наповненого термопласту вагою M , г., виробляють диск діаметром D , мм. Максимальне зусилля пресування складає F , кН. Визначити t – час, необхідний для заповнення форми.

13. При проходженні через головку з формуючим каналом круглого поперечного перерізу радіусом R , мм та довжиною L , мм витрата наповненого термопласту складає Q , м³/с. Визначити t_p – час релаксації та $t_{\text{пр}}$ – тривалість перебування розплаву у каналі; зробити висновки щодо характеру руху рідини всередині каналу.

14. При проходженні через головку з формуючим каналом прямокутного поперечного перерізу шириною b , мм, довжиною L , мм витрата наповненого термопласту складає Q , м³/с. Визначити t_p – час релаксації та $t_{\text{пр}}$ – тривалість перебування розплаву у каналі; зробити висновки щодо характеру руху рідини всередині каналу.

15. Плунжерна машина для лиття має наступні параметри: діаметр матеріального циліндру D , мм, довжина торпеди – L , мм, діаметр – d , мм, швидкість просування плунжеру – V , мм/с. Визначити p – перепад тиску вздовж торпеди.

16. За умов, викладених у (15), визначити p – перепад тиску вздовж торпеди (обпирання на три точки), та F – зусилля, що сприймаються опорами торпеди.

17. Довжина випускного каналу формуючої головки (рис. 8) для екструзії наповненого термопласту складає L , мм. При швидкості руху екструдату V , м/хв. визначити N – енергію, що поглинається у випускному каналі, та ΔT для розплаву.

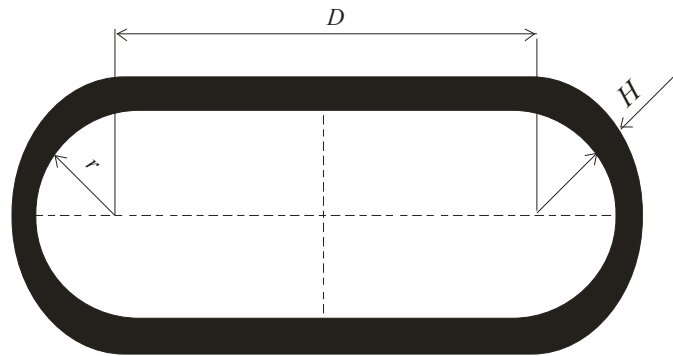


Рис. 8. Поперечний переріз формуючого каналу головки

18. За умов, викладених у (17), визначити розміри екструдату на виході з формуючої головки.

19. Для екструзійно-видувного формування пляшок діаметром d , мм, використовується головка, що має наступні параметри: діаметр – D , мм, зазор – H , мм, продуктивність – Q , м³/с. Визначити h – товщину стінок пляшок.

20. Наповнений термопласт вприскується до форми, що має форму довгого каналу прямокутного поперечного перерізу (6 x 1 мм), під тиском p , МПа. Визначити довжину шляху, що пройде розплав за t , с. Вважати, що потік є ізотермічним, при швидкостях зсуву – $10^3 - 10^5$ с⁻¹ розплав є ступеневою рідиною.

21. За умов, викладених у (20), матеріал вприскується у форму при температурі T , °С, температура затвердіння T_f , °С. Визначити довжину шляху, що пройде потік, якщо він являє собою ньютонівську рідину з в'язкістю μ_n , Па·с.

22. Пляшки з наповненого термопласту видувують у форму, температура якої складає T , °С, а вивільняють звідти при T_f , °С. Товщина стінки пляшки складає h , мм. Визначити t – тривалість охолодження виробу у формі.

23. Литтям під тиском формується плоский лист товщиною h , мм, у формі, температура якої складає T , °С, а вивільняється звідти при T_f , °С. Визначити D – діаметр літника.

24. Для розплаву наповненого термопласти величини сталих у ступеневому рівнянні складають τ_0 , кПа, та n . Витрата маси через інжекційну головку, що має наступні параметри: діаметр – d , мм, довжина – L , мм, складає Q , м³/с. Визначити p – перепад тиску по довжині формуючої головки.

25. Диск діаметром D , мм, висотою H , мм, виробляється литтям під тиском (центральный літник знаходиться у центрі форми). Швидкість вприскування розплаву є сталою, а гніздо заповнюється за t , с. Визначити тиск лиття.

26. Розплав наповненого термопласту об'ємом v , м³, заливається у форму, температура якої складає T , °С. У формуючому каналі прямокутного поперечного перерізу довжиною L , мм, швидкість зсуву розплаву складає $\dot{\gamma}$, с⁻¹;

затвердіння при температурі T_f , °C) почнеться через t , с. Визначити розміри впускного каналу та перепад тиску у ньому.

27. Розплав наповненого термопласту проходить через кільцеподібний формуючий канал головки (рис. 9) зі швидкістю Q , м³/с. Визначити загальний перепад тиску по довжині головки та розміри труби, що екструдується.

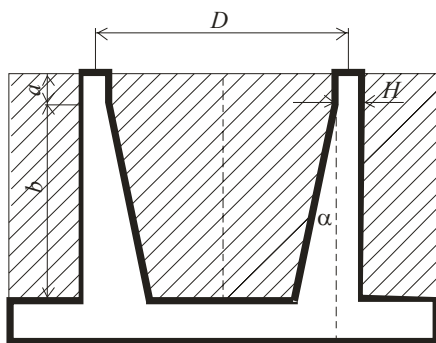


Рис. 9. Поперечний переріз формуючого каналу головки

28. Труба з наповненого термопласту діаметром D , мм, з товщиною стінки h , мм екструдується з лінійною швидкістю V , мм/с. Визначити розміри впускного каналу формуючої головки.

29. Литтям під тиском виробляються пластини – ($a \times c \times \delta$) мм зі швидкістю Q , м³/с. На стороні a , мм, розташований впускний канал прямокутного поперечного перерізу ($H \times b$) мм довжиною L , мм. Розплав досягає літників (діаметром d , мм, та довжиною l , мм) за t , с. Перепад тиску у формі, всередині центрального літнику та літниках є однаковим. Визначити тиск у літниках та впускному каналі, а також тиск на пластину.

30. Стренг (пруток) з наповненого термопласту діаметром d , мм, екструдується зі швидкістю V , м/с. По довжині матеріал охолоджується до T , °C. Визначити l – довжину ванни для охолодження (температура води 20 °C).

31. Визначити шлях потоку розплаву наповненого термопласту, що ллється під тиском p , МПа, у широкому каналі прямокутного поперечного перерізу довжиною L , мм. Потік вважається неізотермічним.

32. Напівсферична деталь діаметром d , мм, та товщиною стінки h , мм, формується екструзійно-роздувним способом. Формуючий канал головки має наступні параметри: середній діаметр – D , мм, зазор – H , мм. Визначити Q – продуктивність екструдера. Чи увірветься у даному випадку струмінь розплаву, якщо граничне напруження при розриві струменю складає σ , МПа?

33. При видуванні заготовка з наповненого термопласту довжиною l , м залежить від t , с. Визначити характеристичний час та f – провис матеріалу.

34. Продуктивність екструдера складає Q , м³/с. Решітка, встановлена на його кінці, має k отворів діаметром d , мм, довжиною l , мм. Визначити p – перепад тиску при проходженні решітки.

35. Форма для лиття на вісім гнізд ($a \times c \times \delta$ мм) наведена на рис. 10. Кожне гніздо розраховане на M , г, маси розплаву. Тривалість лиття складає t , с. Визначити тиск у одному гнізді, якщо тиск у головному літниковому каналі об'ємом v , мм³, складає p , МПа.

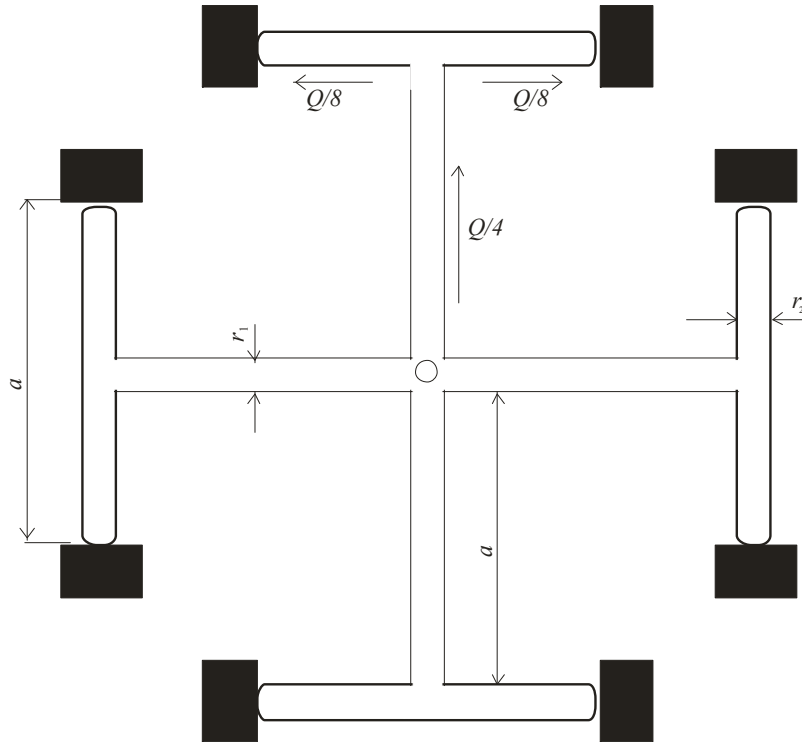


Рис. 10. Форма для лиття на вісім гнізд

36. Визначити ($H \times b$) – розміри формуючого каналу головки для вироблення полімерної плівки товщиною h , мм, шириною a , мм, зі швидкістю V , мм/с. Коефіцієнт роздування – β .

37. Екструзійно-видувним способом формується пластикова пляшка діаметром D , мм (товщина стінки – h , мм). Формуючий канал головки круглого поперечного перерізу має наступні параметри: зовнішній діаметр – $d_{\text{зовн}}$, мм, внутрішній – $d_{\text{внутр}}$, мм. Визначити Q – продуктивність екструдера та p – тиск роздування.

38. За умовою, наведеною у (23), визначити температуру матеріалу у центральній частині форми після перших t , с.

39. За умови, наведеної у (23), визначити час до досягнення центральною частиною виробу температури вивільнення з форми (T_f , °C) та час охолодження його центральної частини до температури T , °C, після вивільнення з форми. Коефіцієнт тепловіддачі для повітря 20 В/м^2 .

40. При литті під тиском наповнений термопласт масою M , кг пластифікується за t , год. Температура форми T , °C. Потужність машини для лиття складає N , кВт. Визначити потужність нагрівачів, а також об'єм води, що циркулює у формі для підтримання температури $T \pm 2$ °C.

ДОДАТКОВІ ЗАВДАННЯ

1. Степенева рідина ($\mu_0 = 104 \text{ Н·с/м}^2$, $n = 0,3$) рухається каналом круглого поперечного перерізу діаметром $d = 10 \text{ мм}$. Визначити як з часом зміниться швидкість та тиск лиття, якщо:

- тиск лиття є сталим на рівні 140 МПа ;
- швидкість лиття є сталою на рівні $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

Потік вважається ізотермічним.

2. У конічному реометрі момент прикладається за допомогою грузила, закріпленого на мотузці. Сама мотузка пропущена через блок і закручена навколо барабану, що знаходиться на одній вісі з конусом (конус і барабан поєднані безпосередньо). Під час випробовувань наповненого поліетилену при температурі $190 \text{ }^\circ\text{C}$ з прикладанням різної ваги були отримані деякі результати:

Вага (г)	50	100	200	500	1000	2000
Кут (Θ°)	0,57	1,25	2,56	7,36	17,0	42,0

У стані рівноваги кут оберту конусу склав 40 с . При діаметрі конусу 50 мм та куті при вершині $170 \text{ }^\circ\text{C}$, визначити в'язкість розплаву при напруженні зсуву 104 Н/м^2 .

3. Визначити вигляд епюри деформації та напруження зсуву, а також швидкість зсуву та об'ємну витрату в умовах ізотермічного руху ступеневої рідини всередині каналу прямокутного поперечного перерізу шириною W , глибиною H та довжиною L , враховуючи наступні результати випробовувань:

Витрата рідини (кг/хв.)	0,21	0,4	0,58	0,8	1,3	2,3
Перепад тиску (МПа)	1,8	3,0	4,0	5,2	7,6	12,0

При довжині каналу $L = 50 \text{ мм}$, глибині $H = 2 \text{ мм}$, ширині $b = 6 \text{ мм}$ встановити доцільність використання ступеневого закону щодо цієї рідини та визначити відповідні сталі. Щільність рідини $\rho = 940 \text{ кг/м}^3$.

4. Реологічні властивості розплаву наповненого термопласту вимірюються капілярним та конічним реометрами за однакової температури. Діаметр капіляру $d = 2 \text{ мм}$, довжина $l = 32 \text{ мм}$. Об'ємна витрата складає відповідно $Q' = 70 \cdot 10^{-9}$ та $Q'' = 200 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{с}$. Тиск перед капіляром – $p' = 3,9$ та $p'' = 5,7 \text{ МПа}$. Кут між конусом та пластиною у віскозиметрі дорівнює 3° , діаметр основи конусу – 75 мм . При прикладанні до конусу моменту $1,18 \text{ Н·м}$, стан рівноваги відповідає $0,062 \text{ рад./с}$. Припускаючи, що в'язкість розплаву описується ступеневою залежністю і є функцією швидкості зсуву, визначити різницю (у %) між напруженнями зсуву за цими двома вимірюваннями при швидкості зсуву, отриманої з випробовувань конічного реометру.

5. Коефіцієнт приведення величини швидкості зсуву поблизу стінки капіляру до істинного складає $(3n + 1)/4n$, де n – це показник степеню для відповідного розплаву наповненого термопласту, що екструдується. Встановити подібний вираз для приведення позірної швидкості зсуву поблизу формуючої головки з отвором у вигляді дуже довгого вузького каналу. В конструкції головки врахувати те, що рідина є ньютонівською; позірні реологічні характеристики отримані на основі капілярної віскозиметрії для відповідного напруження зсуву поблизу стінки. Визначити об'ємну витрату для такої головки.

6. Степенева рідина (розплав наповненого термопласту) рухається каналом круглого поперечного перерізу за умов сталого тиску P . Визначити величину шляху, що проходить потік, враховуючи те, що він є ізотермічним, а розплав охолоджується на виході з каналу.

7. Розплав наповненого термопласту рухається у каналі круглого поперечного перерізу за умов сталого тиску. Визначити відношення величини шляху, пройденого неізотермічним потоком, до шляху, пройденого ізотермічним потоком, за однаковий проміжок часу для ньютонівської та неньютонівської рідини (індекс розплаву $n = 0,3$).

8. Поліетиленова плівка роздувається під час проходження через формуючу головку (рис. 11) з продуктивністю $Q = 300$ кг/год. Щільність поліетилену $\rho = 760$ кг/м³. Визначити p – перепад тиску у зазорі на виході з філь'єри.

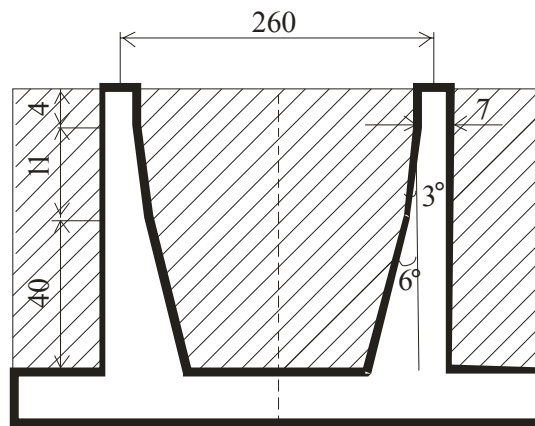


Рис. 11. Фільєра для роздування плівки

9. За відсутності перепаду тиску визначити розміри рукава плівки у (8).

10. Вивести рівняння для визначення довжини шляху потоку розплаву ступеневої рідини у каналі прямокутного поперечного перерізу при сталому тиску лиття окремо для ізотермічного та неізотермічного потоку.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Бабаевский П.Г.* Промышленные полимерные композиционные материалы. – Л.: Химия, 1977. – 472 с.
2. *Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е.* Явления переноса – М.: Химия, 1974. – 688 с.
3. *Бернхардт Э.* Переработка пластических материалов: Пер. с англ. / Под ред. *Г.В. Виноградова.* – М.: Химия, 1962. – 650 с.
4. *Бесков В.С., Сафронов В.С.* Общая химическая технология и промышленная экология. – М.: Химия, 1999. – 472 с.
5. *Брацыхин Е.А., Шульгина Э.С.* Технология пластических масс. – Л.: Химия, 1982. – 328 с.
6. *Видгоф Н.Б.* Основы конструирования литьевых форм для термопластов. – М.: Машиностроение, 1979. – 264 с.
7. *Головкин Г.С.* Проектирование технологических процессов изготовления изделий из полимерных материалов. – М.: Химия, 2007. – 602 с.
8. *Калинчев Э.Л., Калинчева Е.И., Саковцева М.Б.* Оборудование для лития пластмасс под давлением. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
9. Наполнители для полимерных композиционных материалов. Справочное пособие / Под ред. *Г.С. Каца и Д.В. Милевски.* – М.: Химия, 1981. – 632 с.
10. Основы технологии переработки пластмасс: Учебник для вузов / *С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев.* – М.: Химия, 2004. – 600 с.
11. Переработка пластмасс / *Щварц О., Эбелинг Ф.-В., Фурт Б.* – СПб.: Профессия, 2005. – 320 с.
12. Производство изделий из полимерных материалов: Учеб. пособие / *В.К. Крыжановский.* – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.
13. *Ревяко М.М., Касперович О.М.* Оборудование и основы проектирования предприятий по переработке пластмасс: учеб. пособие. – Минск: БГТУ, 2005. – 344 с.
14. *Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е.* Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей. – М.: Машиностроение, 1977. – 362 с.
15. *Тагер А.А.* Физико-химия полимеров. – М.: Химия, 1978. – 314 с.
16. *Тадмор З., Гогос К.* Теоретические основы переработки полимеров. – 1984. – 462 с.
17. Техника переработки пластмасс / Под ред. *Н.И. Басова и В.Броя.* – М.: Химия, 1985. – 528 с.
18. Технические свойства полимерных материалов: Учеб.-справ. пособие / *В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, В.Д. Паниматченко.* – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.
19. *Торнер Р.В.* Основные процессы переработки полимеров. – М.: Химия, 1972. – 454 с.
20. *Торнер Р.В.* Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 464 с.

21. *Торнер Р.В., Акутин М.С.* Оборудование заводов по переработке пластмасс. – 1986. – 400 с.
22. *Филатов В.И., Корсаков В.Д.* Технологическая подготовка процессов формования изделий из пластмасс. – Л.: Политехника, 1991. – 352 с.
23. *Холмс-Уолкер В.А.* Переработка полимерных материалов. – М.: Химия, 1979. – 304 с.
24. *Энциклопедия полимеров.* В 3-х т. – М.: Советская энциклопедия, 1972.
25. *Яковлев А.Д.* Технология изготовления изделий из пластмасс. – Л.: Химия, 1977. – 344 с.

ЗМІСТ

Порядок виконання розрахункових завдань	3
Умовні позначення та одиниці вимірювання	4
Основні залежності, розрахункові формули та приклади виконання завдань	4
I. Аналіз основних параметрів технологічних процесів	4
II. Аналіз руху розплаву наповненого термопласту всередині каналів різного поперечного перерізу	18
Основні завдання для індивідуальної роботи	20
Додаткові завдання	31
Рекомендована література	33

Навчальне видання

ПЕТРЮК Ольга Володимирівна

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ**

з дисципліни "Фізико-хімічні основи технологічних процесів"

Коректор *М.О. Паненко*

Комп'ютерне верстання *А.В. Платонова*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 2,0. Тираж 100 прим. Вид. № 25.
Зам. № 279.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграда, 9.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК №2506 від 25.05.2006 р.