

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

КАФЕДРА ХІМІЧНОГО, ПОЛІМЕРНОГО І СИЛКАТНОГО
МАШИНОБУДУВАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

з дисципліни

"Обладнання для виготовлення полімерних упаковок"

для напрямів підготовки: 6.050502 – Інженерна механіка
(група ЛУ)

Укладач:

к.т.н., доцент Сідоров Д. Е.

Київ – 2009

Мета лабораторних робіт – засвоєння базових методів досліджень, розрахунку й конструювання обладнання для виготовлення для виготовлення полімерних пакувальних матеріалів.

До цих методичних вказівок увійшли протоколи лабораторних робіт з дослідження високоеластичних деформацій еластомерів, конструкції і циклограми роботи гідравлічного преса, конструктивних і енергосилових параметрів вальців для переробки полімерів, конструкції і кінематики каландра і черв'ячних машин, енергосилових параметрів черв'ячно-дискового екструдера, дослідження конструкції і основних енергосилових параметрів машини для лиття під тиском.

У додатку наведено правила виконання лабораторних робіт, оформлення й здачі звітів з них.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Дослідження високоеластичних деформацій еластомерів

Мета роботи – визначити рівноважний модуль пружності еластомеру. Дослідити відхилення поведінки зразка еластомеру від поведінки ідеальної гуми при деформаціях розтягування.

Теоретичні відомості

Рівняння стану полімерної сітки:

$$V_0 f = \left(\frac{\partial U_1}{\partial \lambda} \right)_{p,T} - T \left(\frac{\partial S_1}{\partial \lambda} \right)_{p,T} + p \left(\frac{\partial V_1}{\partial \lambda} \right)_{p,T}, \quad (1.1)$$

де: V_0 - питомий об'єм еластомеру в недеформованому стані; f - умовне напруження; T , p , – температура і тиск, відповідно; U_1 , S_1 , V_1 – конфігураційні енергія, ентропія, об'єм, відповідно. Кратність деформації:

$$\lambda = \frac{L}{L_0}, \quad (1.2)$$

де L , L_0 – розмір зразка під час і до деформування.

Для ідеальної гуми об'єм V_1 дорівнює реальному об'єму деформованої гуми V . З точністю, яка лежить за межами похибок експерименту, можна вважати, що

$\left(\frac{\partial V}{\partial \lambda} \right)_{p,t} = 0$. Відповідно до цього, у рівнянні (1.1)

складова $p \left(\frac{\partial V_1}{\partial \lambda} \right)_{p,t} = 0$. Крім того, високоеластичність обумовлена тільки зміною

ентропії, тому $\left(\frac{\partial U_1}{\partial \lambda} \right)_{p,T} = 0$. Таким чином, рівняння деформації ідеальної гуми

має вигляд:

$$V_0 f = -T \left(\frac{\partial S_1}{\partial \lambda} \right)_{p,T}. \quad (1.3)$$

Експериментально встановлено, що більшість гум, особливо ненаповнених, поведуться як ідеальні при розтягуванні майже до розриву. Для

відносної деформації до 200% маємо простий закон деформування:

$$f = E \left(1 - \frac{1}{\lambda} \right), \quad (1.4)$$

де: E - рівноважний модуль пружності.

Дійсні напруження визначаються за рівнянням:

$$\sigma = E(\lambda - 1). \quad (1.5)$$

Суттєвий вплив теплового розширення і зтискаємості помічається при великих відносних деформаціях гуми (більше 200%). Якщо гума деформується після тривалого зберегання, то на початку деформування слід очікувати розрушення слабких зшивок, що накопичилися в матеріалі з часом. Тоді суттєво змінюються її конфігураційна енергія (рис. 1.1). При даних умовах

складову $W = \left(\frac{\partial U_1}{\partial \lambda} \right)_{p,T} + p \left(\frac{\partial V_1}{\partial \lambda} \right)_{p,T}$ в рівнянні (1.1) не можна вважати незначною.

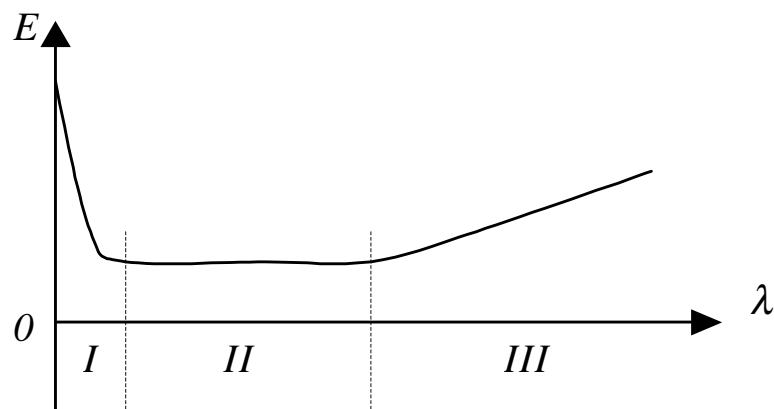


Рис. 1.1. Залежність $E = E(\lambda)$: зона I - розрушення слабких зшивок; зона II - постійне значення рівноважного модуля пружності; зона III - вплив теплового розширення і зтискаємості

Обладнання і матеріали

Експериментальні дослідження виконуються на установці рис. 1.2, яка складається зі стояків 1, тримачів 2 для закріплення дослідного гумового зразка 3, вантажів 4, вимірної лінійки 5.

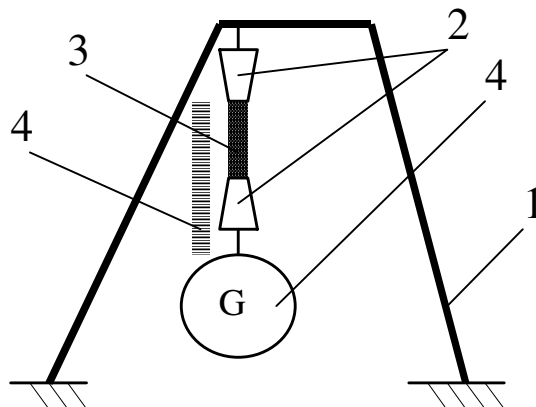


Рис.1.2. Схема лабораторної установки

Техніка безпеки при виконанні роботи

При виконанні роботи слід уникати падіння вантажів. Вагу вантажів слід додавати повільно. Слід пам'ятати, що дослідний гумовий зразок може раптово розірватися, тому, для запобігання травмування при падінні нижнього тримача з вантажем, не можна тримати будь-які частини тіла під вантажем.

Порядок виконання роботи і розрахунків

1. Отримати дослідний гумовий зразок та замірити товщину A і ширину B (наружний і внутришній діаметри D і d , якщо зразок трубчастий). Розрахувати площу перетину зразка за залежністю: $S_0 = AB$ (якщо зразок циліндричний: $S_0 = \pi \frac{D^2 - d^2}{4}$). Дані занести до таблиці 1.1.
2. Надійно закріпити зразок в зажимах верхнього, а потім – нижнього тримача.
3. Виміряти довжину L_0 зразка між зажимами тримача без навантаження, підтримуючи нижній тримач. Дані занести до таблиці 1.1.
4. Відпустити нижній тримач і виміряти довжину зразка під вагою G_T нижнього тримача. Дані занести до таблиці 1.2.
5. Поступово навантажувати зразок за допомогою вантажів G , кожен раз вимірювати довжину зразка L . Навантаження припинити при деформації зразка до 400 – 500%. Дані занести до таблиці 1.2.
6. Розрахувати значення λ , за рівнянням (1.2).
7. Розрахувати діючу на зразок силу F за рівнянням: $F = G + G_T$.
8. Розрахувати умовне напруження f за рівнянням: $f = \frac{F}{S_0}$.
9. Розрахувати значення рівноважного модуля пружності за рівнянням: $E = f \frac{\lambda}{\lambda - 1}$.
10. Розрахувати значення дійсних напружень σ за рівнянням (1.5).
11. Побудувати графіки $f = f(\lambda)$, $\sigma = \sigma(\lambda)$, $E = E(\lambda)$.
12. Для значень $\lambda \leq 2$ (деформація до 200 %), що відповідають лінійній частині графіка $\sigma = \sigma(\lambda)$ і горизонтальній частині графіка $E = E(\lambda)$ (зона II, див. рис. 1.1), розрахувати середнє значення рівноважного модуля пружності за рівнянням: $E_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$, де n - кількість значень E , що попадають в дану зону.
13. Розрахувати відсоткове значення відхилення поведінки зразка від поведінки ідеальної гуми за залежністю: $\delta = \left| \frac{E - E_c}{E_c} \right| * 100\%$. Побудувати графік $\delta = \delta(\lambda)$. Відмітити на всіх графіках зони, де значення δ перевищують 5%, 15%.
14. За результатами розрахунків заповнити таблицю 1.2. Зробити висновки.

Таблиця 1.1. Початкові дані

Параметр	Одиниця виміру	Значення			
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>d</i>
Розміри перетину зразка	мм				
Площа перетину зразка	мм ²	$S_0 = AB$		$S_0 = \pi \frac{D^2 - d^2}{4}$	
Вага нижнього тримача, G_T	Н				
Довжина зразка без навантаження, L_0	мм				

Таблиця 1.2. Результати вимірювань і розрахунків

Параметр	Одиниця вимірювання	Номер вимірювання																			
		1	2	3	4	18	19	20	21									
Навантаження, G	Н	$G = G_T$																			
Довжина зразка, L	мм																				
Кратність деформації, $\lambda = \frac{L}{L_0}$																					
Діюча сила, $F = G + G_T$	Н																				
Умовне напруження, $f = \frac{F}{S_0}$	Н/мм ²																				
Рівноважний модуль пружності, $E = f \frac{\lambda}{\lambda - 1}$	Н/мм ²																				
Дійсні напруження, $\sigma = E(\lambda - 1)$	Н/мм ²																				
Середнє значення рівноважного модуля пружності $E_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$	Н/мм ²																				
$\delta = \left \frac{E - E_c}{E_c} \right * 100\%$																					

Контрольні запитання

1. Що таке кратність деформації? Чим вона відрізняється від відносного подовження?
2. Що таке рівноважний модуль пружності?
3. Дійсне і умовне напруження.
4. Дати пояснення для залежності $E = E(\lambda)$.
5. Що таке високоеластичний стан?
6. Рівняння стану полімерної сітки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Дослідження конструкції та основних параметрів рамного гідравлічного преса

Мета роботи – дослідити конструкцію і принцип дії, а також дослідити основні параметри гідравлічного преса; набути навичок складання гідравлічних схем пресу і його приводу.

Основні теоретичні положення

Пресування – це процес виготовлення з полімерних матеріалів виробів відкритої форми й заданих розмірів у прес-формі. Методи пресування поділяють на компресійний і трансферний.

Метод компресійного пресування використовують, як правило, для виготовлення виробів з порошкоподібних термореактивних матеріалів. Матеріал, що пресується, завантажується в напівформу, яка обігривається, де він під дією теплоти й тиску, розвинутого в матеріалі при змиканні прес-форми, пом'якшується і розтікається по внутрішньому об'єму форми, займаючи її конфігурацію, і твердіє.

Метод трансферного пресування полягає в тому, що заздалегідь нагрітий і пластикований матеріал під тиском нагнітається в зімкнену форму.

За конструкцією пресове обладнання поділяють на механічне, гідромеханічне й гідравлічне. Гідравлічні преси є основними у переробній промисловості полімерних матеріалів і за своєю конструкцією поділяються на рамні й колонні з верхнім, нижнім і кутовим розміщенням головного циліндра.

На відміну від пресів машинобудівних виробництв преси для перероблення полімерних матеріалів укомплектовані системами контролю й регулювання температури напівформи.

Основними параметрами пресів є їх пресове зусилля, розміри робочого столу (нерухомої і рухомої плит), вільний хід стола чи рухомої плити і число можливих ходів рухомої плити за одиницю часу. Преси для перероблення пластмас виготовляються пресовим зусиллям 50 кН...100000 кН з габаритними розмірами стола від 0,2×0,2 м до 2×5 м, і величиною ходу рухомої плити до кількох метрів і швидкістю дії від двох циклів за хвилину до одного циклу за 12 год.

Лабораторна експериментальна установка являє собою промисловий вертикальний рамний гідравлічний прес моделі Д2424 з індивідуальним приводом, ручним і напіваавтоматизованим керуванням. Прес вертикального типу з верхнім розміщенням головного циліндра.

Основними вузлами преса є: рама (станина) зі столом (нерухомою плитою) для кріплення змінної нерухомої напівформи, встановлена в напрямних бокових стійках рами рухома плита (повзун з рухомою напівформою), головний гідроциліндр переміщень повзуна і розвитку пресового зусилля при змиканні прес-форми, механізм виштовхувача готових виробів, вузол-блок кінцевих вимикачів, гідропривід, шафа електрообладнання й керування.

Головний циліндр преса вмонтований у верхній траверсі станини, а механізм виштовхувача – в нижній частині стола з центральним отвором і Т-подібними пазами для кріплення нерухомої напівформи. Механізм виштовхувача зібраний на базі гідроциліндра, плунжер якого коротко з'єднаний зі змінною проміжною плитою, на якій установлені пальці для виштовхування виробів з гнізд нерухомої прес-форми.

Рухома плита (повзун) преса жорстко з'єднана зі штоком головного циліндра і може переміщуватися разом з ним у вертикальному напрямі в напрямних рами. Для запобігання вільному ходу повзуна в боковому напрямі зазор між напрямними рами і боковинами повзуна регулюється гвинтами. Для зменшення тертя напрямні змазуються густим мастилом.

Головний циліндр преса поршневого типу двосторонньої дії з робочим зусиллям 250 кН. Виконаний на основі сталюого циліндричного корпусу зі знімними кришками і чавунного поршня, коротко з'єданого зі сталюим штоком. Ущільнення поршня і штока виконано гумовими манжетами, а кришок - кожаними прокладками. Циліндр виштовхувача поршневого типу двосторонньої дії, конструкції, аналогічної головному циліндру, але значно менших зусиль.

Вузол кінцевих вимикачів забезпечує можливість регулювання потрібного ходу повзуна і виштовхувачів залежно від розмірів (висоти) прес-форми (виробів, що пресуються), а також зменшення швидкості руху повзуна перед зімкненням прес-форми. Це запобігає розвитку гідравлічних і механічних ударів великої потужності. Вузол складається з кінцевих вимикачів, які дозволяють регулювати величину ходу повзуна ввєрх, крайнє верхнє його положення, початок сповільненого ходу повзуна вниз, початок і кінєць ходу.

Гідравлічний привід включає в себе здвоєний насос типу ПА-480-ЮІБ, який розвиває високій ($320 \cdot 10^5$ Па) і низький тиск ($20 \cdot 10^5$ Па). Привід високого тиску використовується лише на стадіях остаточного закриття прес-форми й пресування і включається кінцевим вимикачем початку сповільненого ходу повзуна. Гідравлічний привід укомплектований також електроконтактним манометром, який дозволяє автоматично регулювати пресове зусилля.

Гідравлічний прес укомплектований також обладнанням для контролю і регулювання температури прес-форми. Електрообладнання керування і автоматизації розміщується в шафі керування на боковій стінці рами преса.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити компонування базових вузлів преса й інструкцію з техніки безпеки.
2. Вивчити конструкцію і основні параметри гідропреса.
3. Ознайомитися з роботою гідравлічного преса в режимі холостого ходу і зняти недостаючи параметри згідно з табл. 2.1.
4. Зняти циклограму роботи преса, зафіксувавши час циклу пресування і всіх його стадій, а також змінювання тиску під час пресування і виконання проміжних операцій згідно з табл. 2.2.
5. За результатами проведених досліджень визначити швидкість і зусилля

опускання і піднімання повзуна, зусилля пресування і виштовхування виробів, побудувати графік зміни тиску в головному циліндрі. Нанести межі і назву окремих стадій циклу.

Таблиця 2.1. Головні технічні та конструктивні параметри (дані) гідравлічного преса

Параметр	Значення
Зусилля пресування, кН	
Зусилля зворотного ходу, кН	
Найбільший хід повзуна, м	
Розмір між стійками рами у проясненні, м	
Розмір стола, м	
Висота стола над рівнем полу, м	
Розміри прес-форми, м	
Кількість виробів, що пресуються одночасно, шт.	
Площа пресування, м ²	
Питомий тиск пресування, МПа	
Швидкість опускання повзуна, м/с	
Швидкість підйому повзуна, м/с	

Таблиця 2.2. Дані дослідження циклограми пресування

Вид операції	Тривалість операції, с	Тиск у головному циліндрі, МПа	Зусилля пресування, кН	Тиск у циліндрі виштовхувача, МПа	Зусилля виштовхування, кН
Завантаження					
Опускання повзуна					
Пресування					
Піднімання повзуна					
Виштовхування виробу					

6. Виконати ескіз одного з вузлів гідравлічного преса (за вказівкою викладача).

Контрольні запитання

1. З яких стадій складається цикл пресування?
2. Які способи пресування ви знаєте?
3. Наведіть класифікацію пресів для переробки пластмас.
4. Як зв'язані між собою питомий тиск пресування і пресове зусилля?
5. Чим відрізняються преси для перероблення пластмас від пресів механічних виробництв?

6. З яких основних вузлів складається гідравлічний прес?
7. Як визначити потрібний типорозмір преса?
8. Які параметри визначають типорозмір преса?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

Дослідження конструктивних і енергосилових параметрів вальців

Мета роботи – дослідження основних конструктивних і кінематичних параметрів вальців; експериментальне й теоретичне дослідження розпиральних зусиль і потужності, які розвиваються в процесі вальцювання.

Основні теоретичні положення

Вальці широко використовуються в гумовій промисловості для здійснення процесу переміщування. Важливим моментом у розрахунках вальців є визначення розпирних зусиль, крутних моментів і потужності процесу вальцювання. Теоретичні методи визначення розпирних зусиль ґрунтуються на гідродинамічній теорії вальцювання, а також на теоріях пружної та пластичної деформацій і визначаються типом матеріалу, що перероблюється і процесом, що здійснюється [7...9].

Розв'язання цієї задачі з точки зору гідродинамічної теорії ґрунтується на розгляді в'язкої течії полімеру, який є неньютонівською рідиною. Вихідними рівняннями гідродинамічної теорії є приблизні рівняння Нав'є - Стокса, розв'язання яких дає формулу для визначення питомих розпирних зусиль:

$$p = P_{\text{розп}} / L = \frac{1+f}{2} \cdot 2,22 \frac{\mu_{\text{еф}} v_1 R}{h}, \quad (3.1)$$

де v_1 – колова швидкість валка, м/с; $f = \frac{v_1}{v_2}$ – фрикція; R – радіус валка, м; h – зазор між валками, м; $\mu_{\text{еф}}$ – ефективна в'язкість рідини, Н·с/м².

Розпирне зусилля

$$P_{\text{розп}} = pL, \quad (3.2)$$

де L – довжина робочої бочки валка, м.

Згідно теорії пластичності:

$$P_{\text{розп}} = 1,15 \sigma_T h_{\text{н.ш}} b l \frac{\left(\frac{h_{\text{н.ш}}}{h_k} \right)^{\mu \text{ctg} \frac{\alpha}{2}} - 1}{\Delta h (\mu \text{ctg} \frac{\alpha}{2} - 1)}, \quad (3.3)$$

де σ_T – гранична текучість вальцюваного матеріалу, Н/м²; $h_{\text{н.ш}} \approx \sqrt{h_n h_k}$ – товщина нейтрального шару, м; h_n, h_k – початкова й кінцева товщини матеріалу, м; μ – коефіцієнт тертя матеріалу по поверхні валка; α – кут захвату визначається з умови $\text{tg} \alpha \leq \mu$; $\Delta h = 2R(1 - \cos \alpha)$ – лінійне обтискання матеріалу, м; $l = \sqrt{R \Delta h}$ –

дуга обхвату, м; b – ширина зони вальцювання, м,
За теорією пружної деформації матеріалу розпірна сила

$$P_{\text{розп}} = \frac{4ER^2 \cdot b \sin \alpha (1 - \cos \alpha)}{h_n}, \quad (3.4)$$

де E – модуль пружності перероблюваного матеріалу, Н/м².

Момент опору крученню складається із двох складових частин

$$M = M_p + M_{\text{тр}}, \quad (3.5)$$

де M_p - момент для переборення опору деформацій матеріалу, який залежить від розпірного зусилля, Н·м:

$$M_p = 2P_{\text{розп}} \cdot R \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (3.6)$$

$M_{\text{тр}}$ - момент сил тертя в підшипниках, Н·м;

$$M_{\text{тр}} = \mu_1 (P_{\text{розп}} + G)d, \quad (3.7)$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя в підшипниках; G – вага валка, Н; d – діаметр цапфи, м.

$$\text{Потужність, яка витрачається на вальцювання: } N = \frac{M_n}{30}, \quad (3.8)$$

де n – частота обертання валків, об./хв.

Опис лабораторної установки

Експериментальна установка змішувальних вальців (рис. 3.1) складається із таких основних частин: електродвигуна 1 ($n = 950$ об./хв), від якого крутний момент через клинопасову передачу 2 , черв'ячний редуктор 3 і пружну муфту 4 передається на ведучий валок 5 і через зубчасту пару 6 – на валок 7 .

Валки змонтовані в підшипниках ковзання 14 , які сприймають розпірні зусилля, що перетворюються месдозою 11 в тиск рідини, вимірюваний манометром. Площа месدوزи $1,25 \cdot 10^{-3}$ м². Зазор між валками регулюють за допомогою натискних гвинтів 10 . Для нагрівання валків у периферійних свердленнях встановлено трубчасті електронагрівники 9 . Потужність нагрівників регулюється ЛАТР і контролюється вимірювальним комплексом К-50. Температуру поверхні валків контролюють термометром опору 12 . Потужність процесу вальцювання вимірюється комплексом К-50. Установку укомплектовано секундоміром, штангенциркулем.

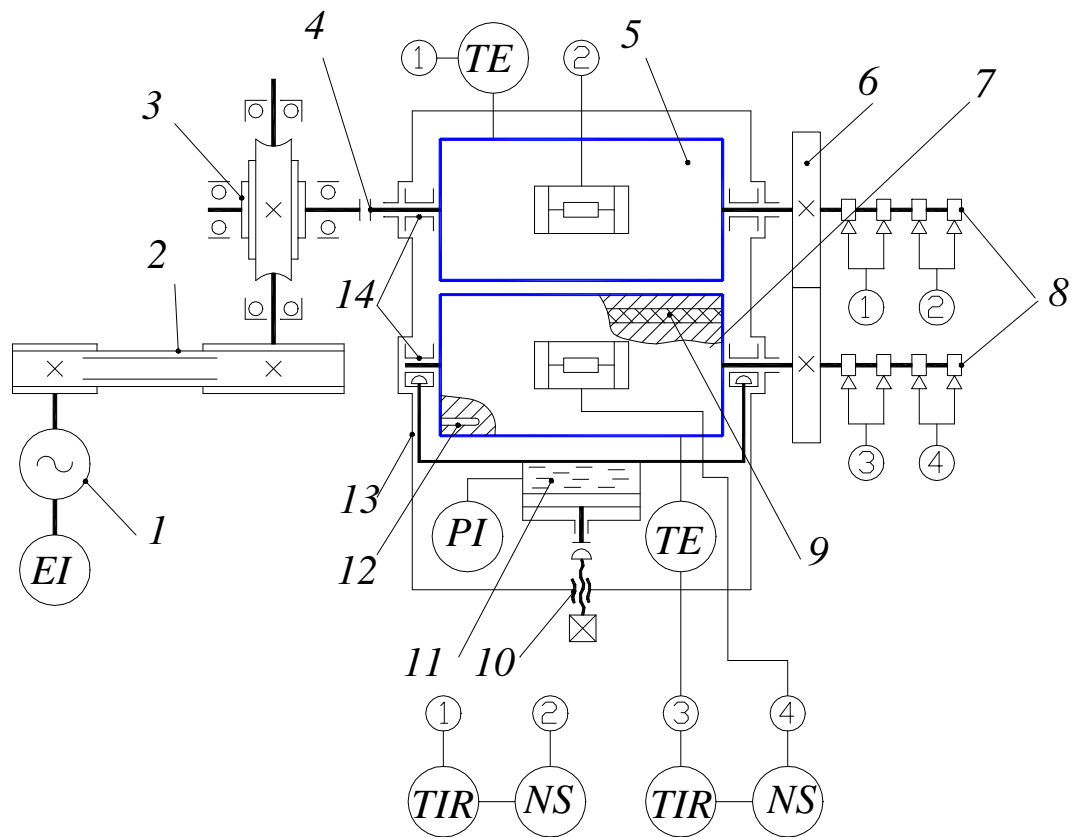


Рис. 3.1. Схема експериментальної установки

Порядок проведення роботи

1. Вивчити установку та інструкцію з техніки безпеки.
2. Визначити розміри і швидкість обертання валків, передаточне число приводу, діапазон регулювання зазору й температури вальцювання.
3. Виміряти початкову ширину й товщину вальцьованого матеріалу.
4. Установити заданий зазор між валками (за вказівкою викладача).
5. Увімкнути нагрівачі і довести температуру валків до необхідної.
6. Увімкнути привід і визначити швидкість обертання валків і потужність холостого ходу. Заправити смугу в зазор.
7. Дані потужності та розпрних зусиль занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Контрольовані параметри процесу вальцювання

Зазор між валками, h , м	Температура валків T , К	Товщина смуги		Ширина смуги B , м	Тиск у мездо-зі P , МПа	Частота обертання валків n , об/хв	Потужність холостого ходу N_{xx} , Вт	Потужність робочого ходу N , Вт
		початкова h_n , м	кінцева h_k , м					

8. Увімкнути установку, визначити розміри смуги матеріалу після вальцювання.
9. Аналогічні експерименти провести за трьома різними зазорами між валками або при різних температурах валків.
10. За результатами вимірювань побудувати графік залежності розпірних зусиль і потужності приводів від зазору між валками або температури вальцювання. Проаналізувати отриману залежність.
11. Розрахувати теоретичні значення потужності для вальцювання і розпірних зусиль. Коефіцієнт корисної дії валків приводу взяти $\eta = 0,75$. Отримані дані порівняти з експериментальними даними і записати в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Теоретичні та експериментальні значення параметрів вальцювання

Зазор між валками h , м	Температура валків T , К	Розпірні зусилля			Потужність вальцювання		
		експериментальні, $P_{розп}^e$, Н	теоретичні $P_{розп}^T$, Н	похибка ϵ_N , %	експериментальна N_e , Вт	теоретична N_T , Вт	похибка ϵ_N , %

Техніка безпеки

1. Усі елементи установки повинні бути заземлені.
2. Під час проведення роботи не торкатися обертових деталей і електричних з'єднань.
3. Перед пуском переконатися в дієвості установки та захисних пристроїв.
4. Забороняється заправляти, чистити, регулювати і ремонтувати установку при увімкнених нагрівниках і приводі.
5. Усі роботи виконувати з навчальним персоналом.

Контрольні запитання

1. Назвіть причину виникнення розпірних зусиль.
2. Які теоретичні методи визначення розпірних зусиль ви знаєте?
3. Як визначити потужність приводу вальців?
4. Як залежить потужність приводу й розпірні зусилля від величини зазору і товщини вальцюваного матеріалу?
5. Як визначити ефективну в'язкість матеріалу?
6. Як розрахувати площу контакту матеріалу з валками?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Дослідження конструкції і кінематики каландра

Мета роботи – дослідження конструкції каландра та його вузлів і набуття досвіду складання кінематичних схем.

Основні теоретичні положення

Каландрування - це безперервне послідовне обтискування полімерних матеріалів у зазорах між терморегульованими валками, що обертаються назустріч один одному, внаслідок чого відбувається калібрування, дублювання, тиснення, розгладжування чи формування плівки або одно- двох- чи багат шарових листів. На відміну від процесу вальцювання в разі каландрування виріб, що формується, проходить через один і той самий зазор тільки один раз. З метою виготовлення каліброваних листів, плівки та інших виробів з гладкою поверхнею. Виріб, який формують, пропускають через кілька зазорів (два, три). Тому в більшості випадків каландри мають три і більше валків.

За розташуванням валків каландри поділяються так:

- *I*-подібні - тільки чотири- і п'ятивалкові каландри;
- *L* -подібні - тільки чотири- і п'ятивалкові каландри;
- вертикальні - дво-, три-, чотири- і п'ятивалкові каландри;
- трикутні - тільки трьохвалкові каландри;
- *Z* і *S*-подібні - тільки чотиривалкові каландри.

За розмірами валки в каландрі поділяють на легкі ($D \leq 500$ мм, $L \leq 1250$ мм); середні ($D \leq 710$ мм, $L \leq 1800$ мм) і важкі ($D \geq 950$ мм, $L \geq 2800$ мм). За призначенням каландри аналогічно вальцям поділяють на каландри для переробки гумових композицій і термопластів (в основному ПВХ).

На відміну від вальців каландри призначені для проведення завершальних формувально-калібрувальних операцій, в яких вимога забезпечення рівнотовщинності виробу, що формується, має дуже велике значення. Тому для забезпечення рівнотовщинності, наприклад, плівки, що формується, каландри можуть мати механізми перехрещування валків, або ж самі валки можуть виготовлятися бочкоподібними.

Опис лабораторної установки

Лабораторною установкою є модель (в масштабі 1:10) *S*-подібного каландра 4x950x2800 для виготовлення транспортерних стрічок.

Базовими вузлами каландри є: станина, чотири валки з підшипниками, привід валків, шість механізмів регулювання зазорів, чотири механізми перехрещування першого і четвертого валків, пристрій підведення води у валки, два завантажувальних конвеєра, гідро- і маслостанції, механізми обрізування країв стрічки, яка формується, і центрування металокордного полотна.

Привід змонтований на базі комбінованого блок-редуктора з чотирма вхідними і чотирма вихідними валками, які з'єднані через універсальні

шпинделі з валками. Універсальні шпинделі забезпечують можливість передачі великих обертових моментів під час переміщення валків відносно вихідних валів блок-редуктора в разі регулювання зазорів і перехрещування валків. Привід забезпечує регулювання колової швидкості валків у діапазоні 0,04...0,6 м/с при співвідношеннях швидкостей обертання валків 1:1 і 1,5:1. Фрикція між валками дозволяє направляти сформовані в першому і третьому зазорах у вигляді листів два шари гумової композиції у другий зазор, куди подається для двостороннього обкладання металокордне полотно.

Механізми регулювання зазорів змонтовані на базі двоступінчастих черв'ячних редукторів і силових гвинтів, з'єднаних з корпусами підшипників сферичними підп'ятниками. Робочий діапазон регулювання зазорів $0,3 \cdot 10^{-3} \dots 0,05$ м, а для заправки – до 0,125 м.

Для компенсації прогину першого і четвертого валків каландр укомплектований чотирма механізмами їх перехрещування. Перехрещування валків відбувається в площинах, перпендикулярних до площин, в яких регулюється перший і третій зазори. У цьому каландрі механізми перехрещування валків за своєю конструктивною схемою аналогічні механізмам регулювання зазорів, за винятком того, що вони розвивають менші зусилля і переміщення лише до 0,08 м.

Для компенсації люфтів у валкових підшипниках, сферичних підп'ятниках і силових парах гвинт-гайка, механізмів регулювання зазорів і перехрещування валків вони укомплектовані гідроциліндрами односторонньої дії діаметрами відповідно 0,21 і 0,12 м. Гідроциліндри змонтовані так, що забезпечують постійний натяг підшипникових вузлів валків, сферичних підп'ятників і пар гвинт - гайка в напрямі збільшення зазорів між валками.

Для підведення і відведення теплоносія в канали валків вони укомплектовані барботерами, з'єднаними з теплостанцією. Система терморегулювання забезпечує регулювання робочої температури робочої поверхні валків з похибкою ± 5 К.

Для завантаження гумової композиції каландр укомплектований хитним стрічковим транспортером, який забезпечує безперервну подачу вздовж робочого зазору між валками. Транспортер має два приводи: привід хитання і привід руху стрічки. Привід хитання забезпечує рух вивантажувальної частини транспортера по довжині робочого зазору між валками. Швидкість руху стрічки конвеєра регулюється в діапазоні 0,1...0,5 м/с.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити особливості конструктивних рішень за компонуванням базових вузлів каландра.
2. Визначити конструкційні рішення приводу, механізмів регулювання зазорів і перехрещування валків, барботера і завантажувального транспортера.
3. Зіставити кінематичні схеми базових вузлів каландра згідно з індивідуальним завданням викладача.
4. Виконати ескіз одного з вузлів чи базових деталей каландра згідно з індивідуальним завданням викладача.
5. Скласти базові положення з техніки безпеки під час роботи на каландрі

Контрольні запитання

1. Які ознаки покладено в основу класифікації каландрів?
2. Основні конструктивні параметри каландра.
3. Як каландри відрізняються від вальців?
4. Які методи компенсації прогину валків застосовуються в каландрах?
5. Основні положення техніки безпеки під час каландрування.
6. Якими пристроями техніки безпеки укомплектовані каландри?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

Дослідження конструкції й кінематики черв'ячної машини

Мета роботи – дослідження принципу роботи, конструкцію й кінематику черв'ячної машини, розробити кінематичні схеми й ескізи її вузлів та деталей.

Основні теоретичні положення

Черв'ячні машини є одним із найпоширеніших видів устаткування для перероблення пластмас і гумових сумішей у виробі [10]. Їх застосовують для змішування і грануляції матеріалів, видавлювання плівок, труб, профілів, накладання ізоляції та оболонки на дрід і кабелі та ін.

Черв'ячні машини відрізняються великою різноманітністю конструкцій та типів і класифікуються за такими конструктивними ознаками:

- конструкція корпусу машини (з рухомим і нерухомим корпусами);
- спосіб регулювання і підтримування температури (парове обігрівання, електронагрівання, обігрівання маслом, повітряне охолодження, водяне охолодження);
- конструкція приводу залежно від типу електродвигуна і способу регулювання частоти обертання;
- кількість черв'яків у корпусі машини (одно -, дво -, багаточерв'ячні);
- конструкція черв'яка (з простим профілем, зі складним профілем, короткими черв'яками $L/D \leq 12$, довгими черв'яками $L/D > 12$).

Черв'ячні машини класифікують також за технологічними й іншими ознаками [10].

Одночерв'ячні машини в більшості своїй однотипні й відрізняються тільки конструктивним оформленням окремих вузлів та деталей. Основним робочим органом черв'ячної машини є черв'як, який розміщений в циліндричному корпусі. Призначення черв'яка – транспортування матеріалу, пластикація і подача у формуючу головку при відповідних температурах і тиску.

Температурний режим регулюється підведенням (або відведенням) тепла до корпусу машини і черв'яка. З цією метою черв'яки виконуються пустотілими і оснащуються системою підведення і відведення теплоносія барботером. Корпус черв'ячної машини також оснащується системами парового або електричного нагрівання і водяного або повітряного

охолодження. Обертання черв'яка здійснюється від електродвигуна через редуктор. Осьові зусилля на черв'яку сприймаються опорним підшипником і замикаються на корпусі. Вузол опорного підшипника може бути встановлений на редукторі, вбудованим в нього або розміщеним самостійно на станині між корпусом черв'ячної машини і редуктором. Залежно від призначення черв'ячної машини, типу перероблюваного матеріалу і виду виробів вони комплектуються черв'яками й формувальними головками відповідних конструкцій.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з конструкціями черв'ячних машин, які є в наявності в лабораторії (ЧП45х20, ЧП32х20, ЧП25х18). Порівняти вузлове компонування черв'ячних машин залежно від розміщення вузла опорного підшипника і конструкції приводу.

2. Скласти кінематичні схеми черв'ячних машин з різним компонуванням вузлів опорного підшипника.

3. Зробити ескіз робочого креслення черв'яка, корпусу, головки або вузла опорного підшипника однієї з машин (за вказівкою викладача).

4. Скласти опис правил техніки безпеки під час роботи на черв'ячній машині.

Контрольні запитання

1. За якими ознаками класифікуються черв'ячні машини?
2. Як підводиться охолоджувальна рідина в тіло черв'яка?
3. Які переваги електроіндукційного методу обігрівання черв'ячної машини?
4. Чим відрізняється конструкція вузла опорного підшипника двочерв'ячного екструдера від одночерв'ячного?
5. Як замінити черв'як?
6. Чим відрізняються черв'ячні машини для перероблення термопластів і гумових композицій?
7. Як впливає опір головки на продуктивність черв'ячної машини?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

Дослідження конструкції і кінематики машини для лиття полімерних матеріалів під тиском

Мета роботи – дослідити конструкції машини і набути навичок складання кінематичних і гідравлічних схем базових вузлів і гідроприводу.

Основні теоретичні положення

Переробка полімерних матеріалів методом лиття під тиском полягає в

підготовці (для термопластів, наприклад, у пластикації) потрібного для виготовлення того чи іншого виробу об'єму матеріалу, подальшому нагнітанні його під тиском у зімкнену прес-форму і витримці в ній протягом повного періоду, після якого виріб зберігатиме свою форму.

Операції підготовки й нагнітання матеріалу під тиском у форму виконуються черв'ячними чи плунжерними механізмами водночас або послідовно з використанням одного чи кількох таких механізмів.

У сучасних машинах для переробки термопластів широко використовують спосіб послідовного виконання цих операцій, так званий спосіб інжекційного лиття. Конструкційно цей спосіб лиття забезпечується в більшості рішень черв'ячним інжекційним механізмом з одним матеріальним циліндром. Матеріал спочатку пластикується внаслідок обертання черв'яка, а потім швидко нагнітається у прес-форму переміщенням черв'яка від завантажувального отвору в напрямі ливникового каналу.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка являє собою серійну машину ДЗ127 для інжекційного лиття деталей з термопластів об'ємом до 63 см^3 [9, 12]. Базовими вузлами машини є інжекційний механізм на базі черв'ячного пластикатора з $D = 36 \text{ мм}$ і механізм замикання-розмикання прес-форми, який являє собою чотириколонний горизонтальний прес із важільно-гідравлічним приводом.

Механізм інжекції встановлений на напрямних станини з можливістю зворотно-поступального переміщення відносно напівформи, закріпленої на розміщеній з боку інжекційного механізму нерухомій плиті механізму замикання. Переміщення механізму інжекції для підведення й ущільнення сопла матеріального циліндра з ливниковою системою напівформи, а також подальший його відхід від напівформи здійснюється механізмом переміщень (гідроциліндром).

Операції підготовки (пластикації) і нагнітання матеріалу у форму (інжекції) виконуються в пластикаційно-інжекційному матеріальному циліндрі черв'яком, який поряд з можливістю обертання має змогу переміщуватися в осьовому напрямі. Це забезпечується двома роздільними гідравлічними приводами: приводом обертового руху черв'яка, змонтованого на базі гідромотора і шліцьового з'єднання через проміжний вал опорного підшипника; і приводом інжекційного руху - руху черв'яка в осьовому напрямі від завантажувального отвору до ливникового каналу матеріального циліндра. Привід інжекційного руху черв'яка виконаний на базі кільцевого гідроциліндра, плунжер якого через підшипниковий вузол осьового опору шліцьового проміжного вала з'єднаний з черв'яком. Шліцьове з'єднання черв'яка з гідромотором забезпечує передачу черв'яка обертового руху в усіх його осьових проміжних положеннях. Це забезпечує черв'ячному пластикаційному вузлу, поряд з операцією підготовки потрібної порції матеріалу, також швидке нагнітання його (інжекцію) в зімкнену форму. Рух черв'яка у зворотному осьовому напрямі зумовлений збільшенням об'єму нової підготовлюваної порції матеріалу, яка збирається перед черв'яком,

відштовхуючи його від ливникового каналу в напрямі до завантажувального отвору. За осьовим положенням черв'яка фіксується момент завершення набирання потрібної порції підготовленого матеріалу. При цьому привід обертання черв'яка відключається, підводиться інжекційний механізм і вмикається привід інжекції, внаслідок чого черв'як швидко переміщується в напрямі ливникового каналу, нагнітаючи матеріал у форму. Для запобігання зменшенню тиску лиття внаслідок течії підготовленого матеріалу в зворотному напрямі каналом черв'яка на ньому змонтований зворотний клапан. Швидкість інжекції підготовленої порції матеріалу у форму регулюється в діапазоні 0,2...5 с швидкістю нагнітання робочої рідини в циліндр інжекції. Привід інжекції забезпечує тиск у матеріалі, що нагнітається до 160 МПа і регулюється тиском в гідросистемі циліндра інжекції. Тиск робочої рідини в гідросистемі регулюється в діапазоні 2,5...6,3 МПа і контролюється манометром, змонтованим на панелі керування.

Змикає і розмикає форми система важелів і хиткий гідроциліндр. Форми в зімкненому стані утримує гідроциліндр великих зусиль.

Регулювання відстані між рухомою і нерухомою плитами, на яких монтуються напівформи, на крайній нерухомій плиті встановлено гвинтову пару. Гвинтова пара дозволяє переміщувати проміжну "напіврухому" регульовану плиту, на якій змонтований гідроциліндр великих зусиль, з'єднаний важільною системою з рухомою плитою із закріпленою напівформою.

Переміщення проміжної плити з важільною системою регулюється так, щоб при зімкненій формі осі важелів були близькі до горизонтального положення, але щоб кути між ними і горизонтальною віссю не були меншими від $1...3^\circ$.

Механізми змикання форми й інжекції змонтовані на спільній закритій станині по одній осі.

У нижній частині станини розміщується масляний резервуар, на якому змонтовані гідравлічні приводи вузлів інжекції і механізму змикання форми. На верхній частині станини розміщується панель керування машиною, в якій змонтовані манометри гідроприводів. Це дозволяє знімати діаграми змінювання тиску в гідроциліндрах змикання форми, інжекції і гідроприводах пластикації та притискання сопла до ливникового каналу форми.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити конструкцію і взаємне розміщення вузлів машини.
2. Зіставити кінематичні й гідравлічні схеми базових механізмів і їх приводу.

Примітка. За вказівкою викладача індивідуальні завдання на виконання роботи можуть включати зіставлення технічної характеристики й опису роботи машини чи ескізів базових вузлів і прес-форми.

Контрольні запитання

1. Які ознаки покладено в основу класифікації машин для лиття під тиском?

2. Які стадії циклу лиття?
3. Який тип механізму змикання встановлений на досліджуваній машині?
4. Як зв'язано зусилля змикання прес-форми з тиском лиття і розмірами одержаних деталей?
5. Як регулюється відстань між рухомою й нерухомою плитами?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

Дослідження циклограми роботи й силових параметрів машини для лиття полімерних матеріалів

Мета роботи – зняти циклограму роботи із діаграми зміни споживання потужності і тиску, що розвивається в гідроциліндрах, вивчити силові фактори, які діють в елементах інжекційного вузла і механізму запирання, скласти таблиці технічних і конструкційних параметрів.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити правила техніки безпеки.
2. Ознайомитися з роботою машини на холостому ході й зняти параметри згідно з табл. 7.1.
3. Вивести інжекційну машину на режим виготовлення виробів.
4. У сталому режимі лиття зняти циклограму роботи і показання приладів згідно з табл. 7.1 і 7.2. На циклограму нанести межі й найменування операції.

Таблиця 7.1. Технічні та конструктивні параметри машини для лиття полімерних матеріалів

Параметр	Значення
Зусилля запирання прес-форми, МН	
Об'єм впорскування, см ³	
Розмір між колонами у просвіті, м	
Площа пресування, м ²	
Потужність нагрівачів, кВт	
Потужність електроприводу, кВт	
Швидкість впорскування, с	
Установчі розміри пазів для закріплення прес-форми, м	
Найбільший хід рухомої плити, м	
Висота прес-форми, м:	
найбільша	
найменша	
Тиск інжекції, МПа	
Тиск у гідросистемі, МПа	
Діаметр шнека пластикатора, м	

Таблиця 7.2. Дані дослідження циклограми роботи й силових параметрів машини для лиття полімерних матеріалів

Номер досліджу	Операція	Перероблюваний матеріал	Час операції τ , с	Тиск у гідроциліндрах			Споживна потужність N , кВт
				Порскування P_b , МПа	Микання P_3 , МПа	Запірання $P_{зап}$, МПа	
1							
2							
3							
4							
5							

5. Побудувати діаграму споживаної потужності й тиску, що розвивається в гідроциліндрах за цикл лиття.

6. Використовуючи кінематичну схему пресової частини інжекційної машини, побудовану під час виконання лабораторної роботи 9, підготувати розрахункову схему цього вузла (у положенні, названому викладачем).

7. Розрахувати зусилля і напругу, що розвиваються в одному з елементів пресованої частини. Порівняти зі значеннями допустимих напруг.

8. Сформулювати висновки за результатами роботи. [9, 12].

Примітка. Теоретичні відомості, опис установки, контрольні запитання наведено в лабораторній роботі 6.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

Дослідження енергосилових параметрів черв'ячно-дискового екструдера

Мета роботи – вивчення конструкції та експериментальне дослідження осьових зусиль і крутних моментів, які розвиваються на робочих органах екструдера під час переробки термопластів.

Основні теоретичні положення

В основу процесу дискової екструзії термопластів покладено ефект Вайсенберга [8]. Суть цього ефекту в тому, що при зсувному деформуванні розплавів полімерів, які мають в'язко-пружні властивості поряд з тангенційними напруженнями зсуву виникають нормальні напруження. У разі колового зсувного деформування розплавів термопластів у дисковому зазорі екструдера матеріал під дією нормальних напруг зміщується до центра і видавлюється через вихідний отвір (формувальний мундштук або головку). Уперше зразки дискових екструдерів являли собою короткий циліндричний корпус діаметром $D = 0,1 \dots 0,2$ м, внутрішній торець якого був зроблений у вигляді плоского конічного або сферичного диска і розміщеного в ньому обертового диска аналогічної геометрії. Для поліпшення умов завантаження матеріалу на периферії диска встановлювались лопасті різноманітних конструкцій. Особливості конструкції і технічна характеристика перших

зразків дискових екструдерів наведено в роботах [8, 11].

Перевагами дискових екструдерів поряд з простотою конструкції є можливість регулювання деформаційного режиму змінюванням величини дискового зазору і можливість зміни швидкості обертання диска. Крім того, для дискових екструдерів характерна змішувально-диспергуюча ефективність, самоочищення, зносостійкість і низька металомісткість.

Недоліком перших конструкцій дискових екструдерів є недостатнє розвинення тиску і його пульсація. Частково цей недолік усувається.

Тепер розроблені конструкції черв'ячно-дискових екструдерів, які відрізняються тим, що дискові робочі органи оснащені черв'ячною, завантажувально-пластикаційною зоною, тобто так звані черв'ячно-дискові комбіновані екструдери. Завантажувально-пластикаційна зона виконується у вигляді короткого черв'яка діаметром, що дорівнює або менший від діаметра диска. В останньому випадку дискові робочі органи утворюють прямий і зворотний дискові зазори, тобто дві дискові змішувальні зони.

Компонування черв'яка в поєднанні з диском дозволяє використати добру транспортувальну здатність черв'ячної зони і змішувальну здатність дискової, а також усунути при цьому недоліки, властиві чисто дисковим екструдерам.

Опис лабораторної установки

Експериментальну установку (рис. 8.1) створено на основі промислового зразка дискового екструдера ЕД-5,5. Вона включає в себе такі основні складальні одиниці: корпус 1 зі встановленим у ньому черв'ячно-дисковим ротором 2, бункер зі шнековим живильником 3, механізм регулювання дискового зазору 4, вимірювальні системи осьових зусиль 5 і крутних моментів 6, рідину систему термостатування 7 і вузол гідро- і струмознімання 8 систем контролю й регулювання температури, а також осьових зусиль і крутних моментів, які розвиваються на обертовому диску, привід 9.

Корпус екструдера 1 встановлений на трьох шпильках - напрямних механізми регулювання зазору 4, який дозволяє регулювати дисковий робочий зазор у діапазоні 0...0,01 м. Для контролю осьового зусилля, яке сприймається корпусом, шпильки - напрямні оснащені кільцевими гідравлічними месдозами 3. Робочі об'єми месдоз заповнені індустріальним маслом і підключені до манометрів. Площа плунжера месдоз $F = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Ротор 2 екструдера діаметром 0,15 м являє собою вал, торцеву і бокову поверхні якого виконано у вигляді змінних диска і черв'яка з відношенням $L/D = 1$.

Крутний момент на валу ротора з урахуванням черв'ячної та дискової зон контролюється важільною системою 6, яка містить гідравлічну месдозу площею $F = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, з'єднану за допомогою гідрознімача 8 зі зразковим манометром класу точності 0,2. Довжина плеча важелів, які передають крутний момент від приводу до вала ротора, $l = 0,09 \text{ м}$.

Роздільні мембрани в гідравлічних месдозах систем вимірювання осьових зусиль 5 і крутних моментів виконані з фторопластової плівки товщиною $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, що дозволяє здійснювати вимірювання контрольованих параметрів з точністю фіксуючих приладів. Крім того, манометри систем

вимірювання крутних моментів і осьових зусиль можуть бути попередньо протаровані в їх одиницях виміру.

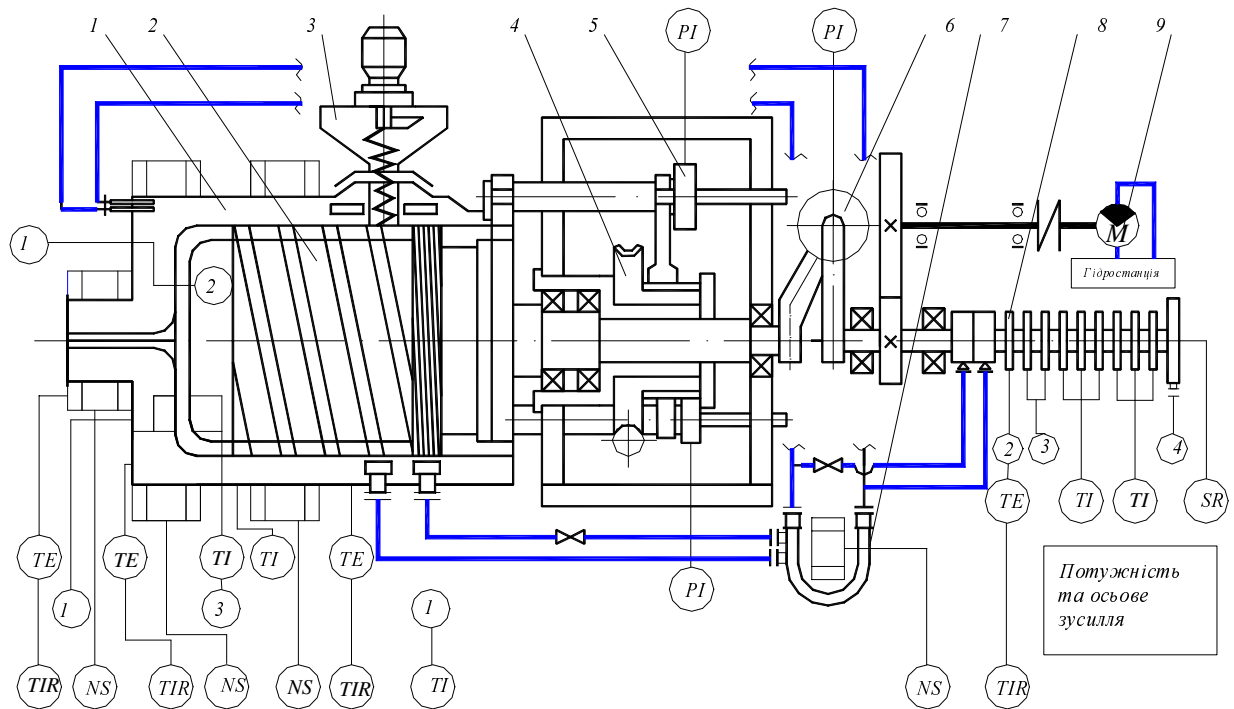


Рис. 8.1. Експериментальна установка

Дослідження крутних моментів і осьових зусиль, які розвиваються безпосередньо на диску ротора, здійснюється тензометричним методом [5]. Із цією метою на несучій шийці обертового диска, виконаній у вигляді вимірювального циліндра (месдози), змонтовані температуростійкі фольгові тензодатчики опору, що підключені до вимірювальних систем за допомогою струмознімача 8. Вимірювальні схеми осьових зусиль і крутних моментів складені на базі тензометричного підсилювача й мікроамперметрів постійного струму М265М класу точності 0,1.

Привід 9 екструдера включає планетарний редуктор, гідродвигун Г16-14, лопатевий насос БГ12-24, дросель Г55-14 і забезпечує безступінчасте регулювання частоти обертання ротора в діапазоні 0, 28...21,4 1/с.

Частота обертання ротора контролюється за допомогою високочутливого приладу на основі фотоелемента.

Матеріал завантажується в екструдер вертикальним шнековим живильником, установленим у конічному бункері й оснащеним регульованим приводом постійного струму.

Схему керування температурним режимом екструдера змонтовано на базі регульовальних потенціометрів типу КВП-1, хромель-копельових термопар і електричних нагрівальних елементів опору, встановлених на корпусі 1.

Для підвищення гнучкості й точності регулювання температурного режиму установка оснащена системою роздільного термостатування 7 температури обертового і нерухомого дисків.

Методика виконання роботи

1. Ознайомитися з експериментальною установкою і вивчити інструкцію з техніки безпеки.
2. Відрегулювати висоту дискового робочого зазору за вказівкою викладача або учбового майстера.
3. Підтисканням месдоз перевірити наявність масла в гідросистемах вимірювання моменту й осьового зусилля.
4. Під керівництвом майстра з навчання увімкнути тензометричні системи й систему регулювання температурного режиму екструдера.
5. Після розігрівання робочих органів екструдера до заданої температури переробки перевірити можливість обертання муфти приводу.
6. Увімкнути гідропривід і за допомогою дроселя встановити задану швидкість обертання ротора.
7. Увімкнути привід живильника і поступово збільшуючи оберти, навантажити ротор екструдера до $M_p = 100...150 \text{ Н}\cdot\text{м}$, що відповідає 15 ± 2 поділкам манометра системи вимірювання моменту.
8. Після досягнення сталого режиму, тобто коли стабілізуються показники приладів, які контролюють температурний режим, крутні моменти і осьові зусилля на роторі й диску, зафіксувати показання приладів і занести їх до табл. 8.1.
9. Одночасно з фіксацією показань приладів методом відсікання екструдата відібрати проби для визначення продуктивності екструдера.
10. Після 3...4 вимірювань усіх контрольованих параметрів процесів у даному технологічному режимі провести аналогічні досліди для двох інших зазорів або швидкостей обертання ротора, температурних режимів або продуктивностей відповідно до отриманого завдання і відведеного на виконання роботи часу.
11. Використовуючи тарировальні графіки, визначити контрольовані параметри процесу в їх одиницях виміру СІ і занести їх до табл. 8.1.

Таблиця 8.1. Результати експериментальних досліджень

№ п/п	Марка термопласту	Висота дискового зазору H , м	Швидкість обертання диска ω , 1/с	Температурний режим, К					Продуктивність			Крутні моменти				Осьові зусилля			
				Завантажувальна зона	Черв'ячна зона	Нерухомий диск	Обертовий диск	Перероблений матеріал	Час відбирання проби, с	Маса проби, кг	Продуктивність, кг/с	на роторі		на диску		на роторі		на диску	
												Поділка	M_p , Н м	Поділка	M_g , Н•м	Поділка	P_k , Н	Поділка	P_g , Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

12. Побудувати графік залежності крутних моментів і осьових зусиль від висоти дискового зазору або інших параметрів за вказівкою викладача.

13. Проаналізувати результати дослідження і сформулювати висновки.

ДОДАТОК

Правила виконання, оформлення й здачі лабораторних робіт

1. Залежно від чисельності кожен студентську групу поділяють на кілька бригад.

2. Кожна студентська бригада виконує ту чи іншу роботу в дні і години, відведені для цієї мети розкладом занять і графіком проведення робіт в лабораторії.

3. Перед початком лабораторної роботи проводиться співбесіда для перевірки підготовленості студентів до її виконання. До виконання лабораторної роботи допускаються студенти, які підготували протокол цієї роботи, засвоїли теоретичні положення, експериментально-методичну частину і пройшли інструктаж з техніки безпеки.

4. Підготовлений до лабораторної роботи протокол повинен вміщувати найменування і мету роботи, стислі теоретичні відомості (розрахункові схеми і формули), схему експериментальної установки і необхідні для виконання роботи й обробки результатів таблиці та заготовки графіків.

5. Після виконання лабораторної роботи кожен студент здає звіт з підготовленим до роботи протоколом, а також результатами експериментальних досліджень, кресленнями і схемами, результатами обробки експериментальних даних і теоретичних досліджень, аналізами результатів і основні висновки.

6. Протокол-звіт потрібно виконувати на папері формату А1. Усі креслення, ескізи й схеми треба виконувати олівцем. Допускається використання креслярських пристроїв. Графіки необхідно виконувати на міліметровці або папері з обов'язковим нанесенням координатної сітки. Усі графічні матеріали мають бути виконано чітко й виразно, а звіт - акуратно.

12. Звіт, який не відповідає згаданим вимогам, не приймається до захисту і має бути перероблений або виправлений.

13. За звітом проводиться опитування з метою з'ясування ступеня засвоєння студентом матеріалу роботи для її захисту.

14. Студенти, які не здали звіт з попередньої роботи, не допускаються до виконання наступної.

15. Послідовно здавши звіти з усіх робіт лабораторного курсу, студент отримує допуск до заліку з курсу.

Література

1. *Бартеньев Г.М., Зеленев Ю.В.* Физика и механика полимеров. Учебное пособие для вузов. – М.: Высш. Школа, 1983. – 391 с. (с. 60-79).
2. *Рахманов В. С., Клявлин В. В., Сивецкий В. И.* Расчет и конструирование основных элементов и деталей полимерперерабатывающего оборудования. – К.: УМК ВО, 1988. – 164 с.
3. *Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи / И. В. Доманский и др.;*

Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.

4. *Соколов В. И.* Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. – М.: Машиностроение, 1983. – 447 с.
5. *Расчет* и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи / М. Ф. Михалев и др.; под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Л.: Машиностроение, 1984. – 301 с.
6. *Козлов И. А.* и др. Исследование прочности деталей машин при помощи тензодатчиков сопротивления. – К.: Техніка, 1987. – 204 с.
7. *Детали машин: Учеб. пособие к лабораторным работам* / Под ред. проф. В. С. Полякова. – Л.: ЛПИ, 1976. – 92 с.
8. *Лукач Ю. Е., Рябинин Д. Д., Метлов Б. Н.* Валковые машины для переработки пластмасс и резиновых смесей. – М.: Машиностроение, 1976. – 286 с.
9. *Рябинин Д. Д., Лукач Ю. Е.* Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей. – М.: Машиностроение, 1972. – 267 с.
10. *Басов Н. И., Казанков Ю. В., Любартович В. А.* Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. – М.: Химия, 1988. – 488 с.
11. *Рябинин Д. Д., Лукач Ю. Е.* Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей. – М.: Машиностроение, 1965. – 348 с.
12. *Остатчук Ю. Г.* и др. Дисковые экструдеры. – К.: Техніка, 1972. – 187 с.
13. *Машина* однопозиционная для литья под давлением термопластичных материалов ДЗ127-63: Руководство по эксплуатации.
14. *Гиберов З. Г.* Механическое оборудование заводов пластических масс. – М.: Машиностроение, 1977. – 286 с.
15. *Кольман-Иванов Э. Э.* Таблетирование в химической промышленности. – М.: Химия, 1976. – 200 с.