

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЛИТТЯ, ПНЕВМО-ВАКУУМФОРМУВАННЯ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»

Укладачі: В. І. Сівецький, Д. Г. Швачко

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2023

Укладачі: *Сівецький Володимир Іванович*, канд. техн. наук, професор,
Швачко Денис Григорович, асистент

Рецензент: *Степанюк А.Р.*, канд. техн. наук, доцент,
кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв
КПІ імені Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор: *Сокольський О.Л.*, д-р техн. наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 2 від 26 жовтня 2023 р.)
за поданням вченої ради інженерно-хімічного факультету
(протокол № 5 від 24 квітня 2023 р.)*

О-16 **Обладнання для лиття, пневмо-вакуумформування** [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.І. Сівецький, Д.Г. Швачко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 140 с.

Призначення посібника – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал курсу лекцій навчальної дисципліни «Обладнання для лиття, пневмо-вакуумформування» з метою вивчення новітнього устаткування галузі та можливостей вдосконалення і підвищення ефективності обладнання, що використовується.

В посібнику розглядаються питання розрахунку параметрів і конструктивного оформлення базових вузлів і деталей машин для лиття та пневмо-вакуумного формування різноманітних полімерних виробів відкритої форми в автоматизованому режимі.

Посібник орієнтує студентів на сучасний світовий рівень науково-технічного прогресу в галузі розробки і експлуатації устаткування для виробництва полімерних виробів.

УДК 678.057.72(075.8)

Реєстр. № НП 23/24-079. Обсяг 6,5 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

Зміст

ВСТУП.....	5
1. ПРИЗНАЧЕННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ЗАГАЛЬНА БУДОВА І ПРИНЦИП ДІЇ МАШИН ДЛЯ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ	7
1.1. Загальна будова і принцип дії машини для лиття під тиском.....	8
1.2. Процеси, що відбуваються в литтєвій формі	14
1.2.1. Заповнення форми	15
1.2.2. Витримка під тиском	19
1.2.3. Витримка на охолодження (затвердіння-вулканізацію)	21
1.3. Базові параметри та конструкція механізмів литтєвих машин	23
1.3.1. Взаємне розташування механізмів пластикації-упорскування та змикання форми.....	25
2. ПАРАМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ МАШИН ДЛЯ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ	27
2.1. Розрахунок продуктивності та циклограми роботи литтєвої машини	27
2.2. Тиск лиття та швидкість упорскування	31
2.3. Пластикаційна продуктивність.....	34
2.4. Параметри, пов'язані з габаритами виробу, що формується	36
3. МЕХАНІЗМИ ПЛАСТИКАЦІЇ І ВПОРСКУВАННЯ	39
3.1. Конструктивні різновиди механізмів пластикації і впорскування	39
3.2. Конструктивні групи черв'яків.....	43
3.3. Конструкції клапанних пристроїв і сопел.	45
3.4. Типи приводу обертового руху та вісьового переміщення черв'яка.....	49
3.5. Розрахунок механізмів пластикації і впорскування плунжерного типу	55
3.5.1. Час циклу лиття та пластикаційна продуктивність.	59
3.5.2. Розрахунок деталей інжекційного механізму на міцність.....	61
3.5.3. Розрахунок черв'ячних пластикаторів	70
4. МЕХАНІЗМИ ЗАПИРАННЯ ФОРМИ	75
4.1. Конструктивні різновиди	75
4.2. Конструкції гідромеханічних механізмів.....	76
4.3. Методика кінематичного розрахунку гідромеханічного механізму.....	79
4.4. Конструкції гідравлічних механізмів змикання форми	83
4.5. Розрахунок гідравлічних механізмів змикання форми	86
4.5.1. Розрахунок колон	94
4.5.2. Розрахунок плит	97
4.5.3. Розрахунок гідроциліндрів.....	100

5. ЕЛЕМЕНТИ УПРАВЛІННЯ ТА ГІДРОПРИВОДУ ЛИТТЄВОЇ	
МАШИНИ	104
5.1. Гідросхема управління роботою литтєвої машини	104
5.2. Розрахунок гідроприводу.....	107
5.3. Пристрої, що забезпечують безпечну роботу на литтєвих машинах	114
6. МАШИНИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ЛИСТОВИХ ТЕРМОПЛАСТІВ	
ПНЕВМОВАКУУМНИМ ФОРМУВАННЯМ.....	116
6.1. Сутність методу формування.....	116
6.1.1. Різновиди методи пневмовакуумного формування	117
6.1.2. Формування з пневматичною витяжкою.....	120
6.1.3. Формування з пневмомеханічною витяжкою	121
6.2. Конструктивні різновиди обладнання для пневмовакуумного	
формування.....	122
6.3. Конструкція основних вузлів машин для пневмовакуумного	
формування.....	126
6.3.1. Нагрівачі.....	126
6.3.2. Пневмовакуумні системи	132
6.3.3. Привід.....	136
ЛІТЕРАТУРА	139

ВСТУП

Метод лиття під тиском запропоновано 1872 р., коли було видано перший патент на машину для лиття під тиском термопластичних матеріалів. У 1922 р. німецька фірма Еккерт і Циглер, що спеціалізується на литті металів під тиском, випустила два типи машин для лиття термопластів. У 1930 р. у Німеччині з'явилися литтєві машини різних конструкцій для пластмас. Вага виробу, що відливалася на цих машинах, не перевищувала 60 г. У 1930–1940 рр. різні фірми в економічно найрозвиненіших країнах Європи також почали випускати литтєві машини і до 1944 р. з'явилися машини для отримання виробів вагою до 100 г. У 1948 р. у ФРН та Англії сконструйовано ливарні машини для виготовлення деталей вагою до 1,2 кг, а в США – до 2 кг.

Надалі конструкції литтєвих машин удосконалювалися у напрямі автоматизації та збільшення їх потужності за величиною відливки, покращення всіх техніко-економічних та технологічних показників. Однак підвищення потужності литтєвих машин (за величиною вилівка) гальмувалося обмеженими технологічними можливостями конструкції основного робочого органу машини (застосовувалися інжекційні вузли поршневого типу). Тільки з появою машин з попередньою екструзійною пластикацією матеріалу литтєве машинобудування зробило великий крок уперед. Вага виробів які виготовлялися на машинах із попередньою черв'ячною пластикацією матеріалу значно вища, ніж на машинах без попередньої пластикації. У 50-х роках з'явилися машини для виробів вагою 8,5 кг (США) та 12 кг (Франція). Було розроблено різні конструкції пластикаційно-інжекційних систем.

Машини із черв'ячної пластикацією дозволяють відливати вироби з матеріалів, переробка яких на поршневих машинах неможлива або утруднена (поліаміди, непластифікований полівінілхлорид, реактопласти та ін.). На машинах з черв'ячною пластикацією простіше регулювання технологічного режиму процесів лиття. Переваги машин із черв'ячною пластикацією зумовили їхнє широке застосування.

Спочатку машини з попередньою черв'ячною пластикацією застосовувалися головним чином для виробництва деталей великої ваги; у наступні роки ці машини завоювали загальне визнання і стали застосовуватися для виготовлення виробів вагою від кількох грамів до 20–30 кг.

Найбільш поширені литтєві машини зі шнековою пластикацією одноциліндрової конструкції. В даний час майже всі литтєві машини виготовляються за такою схемою.

В Україні виробництво литтєвих машин було освоєно у 50 роках минулого століття. Були створені машини моделей ЛМ з об'ємом відливки 50, 125, 250, 500 та 1000 см³. У 1960-1970 рр.. були впроваджені нові вдосконалені машини – термопластавтомати моделі ТП з обсягами відливки 8, 16, 32, 63, 125, 250, 500 та 1000 см³.

Наявність великої кількості полімерних матеріалів з різноманітними властивостями та рівень техніки лиття дозволяють багато виробів виготовляти з полімерних матеріалів методом лиття під тиском. Методом лиття під тиском виготовляють різні конструктивні деталі складної конфігурації, деталі з арматурою, деталі армовані скловолокном або іншими наповнювачами.

Наряду з машинами для лиття під тиском в процесах формування різноманітних полімерних виробів, відкритої форми широко використовується обладнання для пневмо-вакуумформування. Ці методи використовуються для виготовлення сучасних пакувальних виробів, які набули широкого застосування в харчовій та інших промисловостях.

1. ПРИЗНАЧЕННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ЗАГАЛЬНА БУДОВА І ПРИНЦИП ДІЇ МАШИН ДЛЯ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Литтєві машини призначені для виготовлення різноманітних полімерних виробів відкритої форми методом лиття під тиском у автоматизованому режимі. Лиття під тиском – один з найбільш поширених методів переробки пластмас, що полягає в заповненні оформлюючої порожнини форми через литниковий канал полімерним матеріалом, що попередньо переведений у в'язкотекучий стан, з подальшим його ущільненням і фіксацією форми за рахунок охолодження або протікання хімічної реакції затвердіння (вулканізації). Цим методом переробляються практично всі термопластичні матеріали, термоактивні матеріали (прес-порошки та гранулят) і більшість марок гумових сумішей. Лиття під тиском дозволяє отримувати вироби складної відкритої форми, в тому числі з арматурою, з елементами точних конструктивних розмірів, з мінімальним облоєм.

Литєвий цикл виготовлення виробів (особливо товстостінних) коротший за цикл пресування. Процес лиття під тиском легко автоматизується, що дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва.

Всі технологічні схеми методу лиття під тиском включають наступні операції: переведення матеріалу в в'язкотекучий стан за допомогою нагрівання і зсувного деформування, надання йому необхідної конфігурації при заповненні пресформи і витримка відформованої заготовки виробу при зниженій (для термопластів) або підвищеній (для реактопластів і гумових сумішей) температурі протягом необхідного часу для надання виробу формостійкості. В даний час у промислових масштабах набули поширення кілька технологічних схем і варіантів конструктивного оформлення машин для лиття під тиском. На Рис. 0.1. представлений загальний вигляд машини для лиття під тиском.

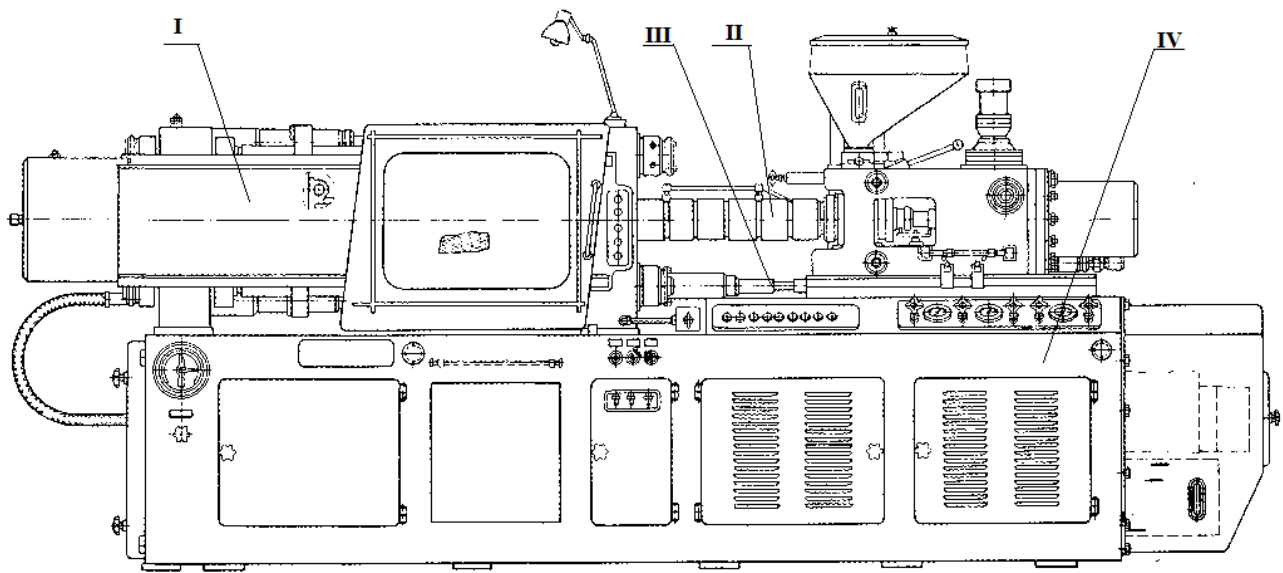


Рис. 0.1. Загальний вигляд машини для лиття під тиском

I – механізм запирання форми; II – пластикаційно-інжекційний механізм;
 III – механізм переміщення; IV – станина з гідропривідом

Відмінність цих конструктивних схем полягає у способі та ступені нагрівання матеріалу, способах пластикації полімерів і введення його у форму (інжекції) та подальшого формування в механізмі запирання. Враховуючи це машини для лиття під тиском за конструктивними ознаками поділяються в залежності від взаємного розташування їх базових вузлів I і II на горизонтальні, вертикальні та кутові, а також на одно- та багатопозиційні. Окрім вищевказаних ознак вони поділяються за обсягами відливки та за конструктивним оформленням їх базових вузлів (пластикаційно-інжекційного та пресового).

1.1. Загальна будова і принцип дії машини для лиття під тиском

Спочатку метод лиття під тиском був освоєний промисловістю на устаткуванні, яке застосовувалося для пресування. Потім з'явився новий вид обладнання: одно- та багатопозиційні машини, що мають суттєві конструктивні відмінності від пресів. Однак початкова технологічна схема методу лиття під тиском не зазнала принципових змін до сьогодення часу.

Процес лиття під тиском здійснюється на машинах, що складаються з механізмів пластикації-упорскування та замикання-розмикання форми. Перша з цих частин служить для дозування матеріалу, його пластикації та упорскування

розплаву в форму. Друга частина призначена для кріплення півформ, її переміщення та утримання у зімкнутому стані при заповненні форми полімером і утриманні в зімкнутому стані під час охолодження виробу та розмикання форми і розвантаження (виштовхування) виробу.

Машини для лиття відповідно до конструкції механізму пластикації-впорскування поділяються на машини з поршневою та черв'ячною пластикаційно-інжекційною дією.

Схема конструктивного оформлення перших машин для лиття під тиском на базі механізму з поршневою пластикаційно-інжекційною дією представлена на Рис. 0.2

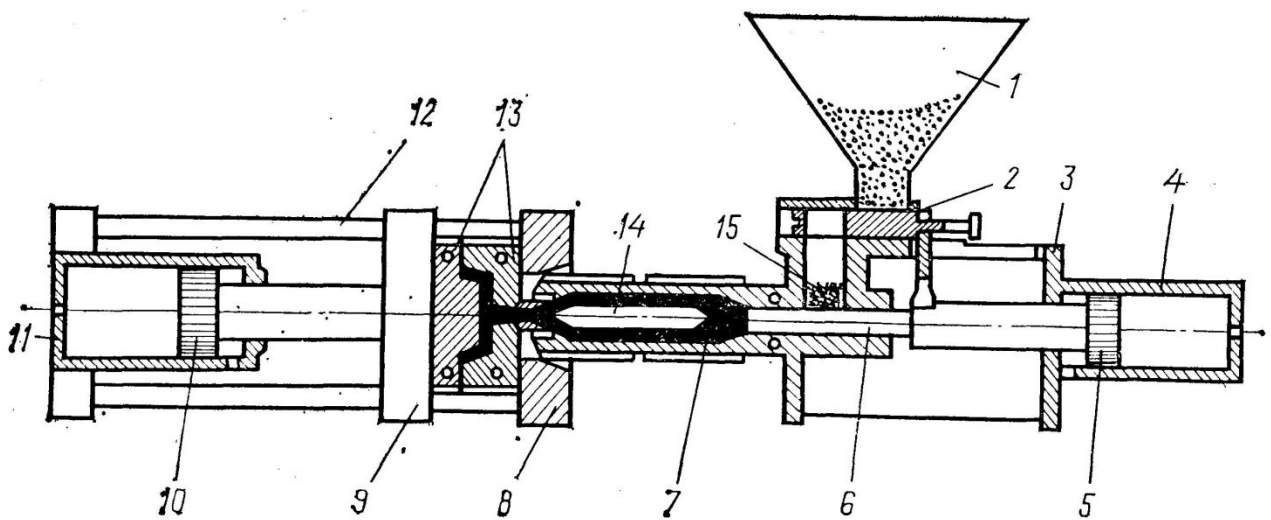


Рис. 0.2. Схема машини для лиття під тиском з поршневою пластикацією розплаву:

- 1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – корпус; 4 – гідроциліндр механізму упорскування;
- 5 – поршень гідроциліндра упорскування; 6 – інжекційний поршень;
- 7 – пластикаційно-інжекційний циліндр; 8 – нерухома плита; 9 – рухома плита;
- 10 – поршень гідроциліндра механізму замикаання форми; 11 – гідроциліндр механізму замикаання форми з нерухомою плитою; 12 – колона; 13 – напівформи;
- 14 – торпеда-розсікач потоку розплаву; 15 – завантажувальний отвір.

Механізм пластикації – упорскування цієї машини складається з гідроциліндра 4 з поршнем 5, який з'єднаний з інжекційним поршнем 6, пластикаційно-інжекційного циліндра 7 і пристрою дозування (бункер 1 з дозатором 2). Всі перераховані деталі встановлені на корпусі 3. Механізм замикаання форми включає дві плити (рухома 9 і нерухома 8) і гідроциліндр 11 з поршнем 10. Рухома плита 9 може переміщатися по колонах 12, які жорстко зв'язують нерухома плиту 8 з гідроциліндром 11.

Необхідним інструментом для здійснення процесу лиття є ливарна форма, конструкція та розміри якої визначаються виробом, що виготовляється. Зазвичай форма складається з двох напівформ 13 і охолоджується теплоносієм, що циркулює, або нагрівається електронагрівальними елементами, розташованими в обох напівформах. В одній із напівформ (правій на Рис. 0.2) є конусний отвір – центральний литниковий канал (литник).

Цикл роботи машини з поршневою пластикацією складається із послідовності ряду машинних операцій. Перша – змикання напівформ 13, укріплених на плитах 8 і 9, за допомогою гідроциліндра 11 і поршня 10. Далі дозатор 2 подає матеріал, що переробляється з бункера 1 в завантажувальний отвір 15 пластикаційно-інжекційного циліндра 7. Після цього в результаті подачі гідравлічної рідини в праву (робочу) порожнину гідроциліндра 4 поршень 5 і пов'язаний з ним інжекційний поршень 6 переміщуються вліво, внаслідок чого матеріал проштовхується в кільцевий канал між торпедою-розсікачем 14 і внутрішньою поверхнею пластикаційно-інжекційного циліндра 7. Продовжуючи рухатися, поршень 6 переміщує матеріал, що переробляється по проміжку між стінками циліндра 7 і торпеди-розсікача 14 до завершення процесу заповнення форми під необхідним тиском і витримки до завершення процесу охолодження відформованого виробу. Після цього форма розкривається і виріб виштовхується.

Недоліком такої конструкції литтєвої машини є недостатньо висока якість гомогенізації полімеру при поршневій пластикації і як наслідок низька якість виробів.

Значний прогрес у галузі лиття під тиском був пов'язаний з використанням черв'ячної попередньої пластикації розплаву. На Рис. 0.3 показано схему машини для лиття під тиском, в якій черв'як виконує функції пластикуюче-гомогенізуючого елемента і поршня, що впорскує підготовлену порцію полімеру у замкнену пресформу. При попередній пластикації черв'як 6, обертаючись від приводу 2, переміщує матеріал, що переробляється з бункера 1 в передню частину пластикаційно-інжекційного циліндра 7 забезпечуючи необхідний рівень гомогенізації. При цьому черв'як і пов'язаний з ним поршень 4 відходять вправо до моменту накопичення перед червяком заданого об'єму полімеру для формування виробу. Під час здійснення пластикації та набору заданої дози полімеру в пластикаційно-інжекційному циліндрі 7 механізм пресової частини (гідроциліндр

11 з поршнем 10 і плитами 8 і 9) замикає півформи 12. Після цього весь механізм пластикації і упорскування спеціальним пристроєм (на схемі не показано) підводиться до центрального литника зімкнутої форми і осьовим переміщенням черв'яка 6 вліво за допомогою гідроциліндра упорскування 3 з поршнем 4 виштовхує (упорскує) заданий об'єм підготовленого полімеру, що накопичився при попередній пластикації перед черв'яком, в замкнену литову форму 12. Після заповнення форми здійснюється витримка матеріалу у формі під тиском з метою охолодження виробу. Розвантаження виробу здійснюється при розмиканні форми. Цикл лиття повторюється.

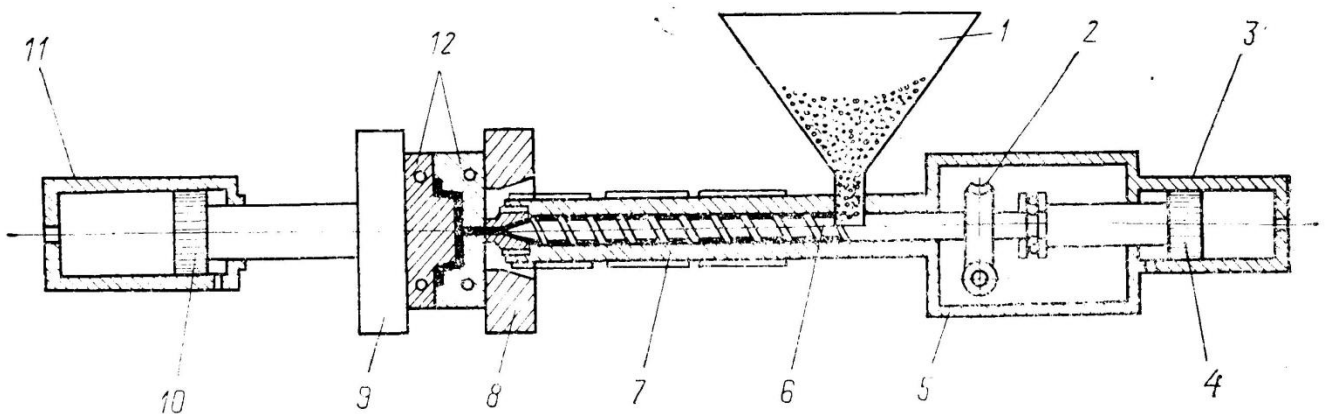


Рис. 0.3. Схема машини для лиття під тиском із черв'ячною пластикацією розплаву:

1 – бункер; 2 – привід; 3 – гідроциліндр упорскування; 4 – поршень гідроциліндра упорскування; 5 – корпус; 6 – черв'як; 7 – пластикаційно-інжекційний циліндр; 8 – нерухома плита; 9 – рухома плита; 10 – поршень гідроциліндра механізму змикання форми; 11 – гідроциліндр механізму змикання форми; 12 – напівформи.

Після цього слідує затвердіння полімеру в литниковому каналі розпочинається підготовка наступної порції матеріалу в циліндрі 7 для здійснення наступного циклу лиття. Для цього найчастіше інжекційний механізм відводиться від форми і цикл повторюється.

Циклограма роботи машини для лиття під тиском, що працює за описаним технологічним методом (за схемою "черв'як – поршень", Рис. 0.4), представлена на Рис. 0.5.

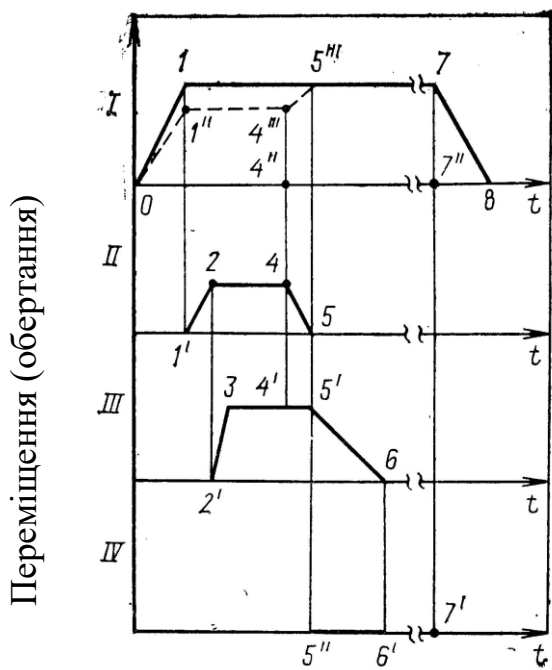


Рис. 0.4. Циклограми роботи машини в режимі лиття під тиском:

I – змикання та розмикання форми;
 II – переміщення пластикаційно-інжекційного вузла; III – осьове (інжекційне) переміщення черв'яка;
 IV – обертання черв'яка.

Штрихова лінія – режим лиття з підпресовкою.

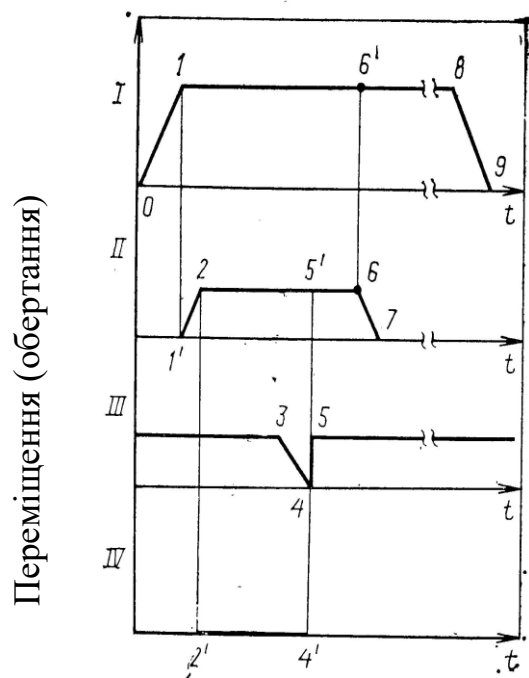


Рис. 0.5. Циклограма інтрузійного формування:

I – змикання та розмикання форми;
 II – переміщення механізму пластикації та упорскування;
 III – осьове переміщення черв'яка;
 IV – обертання черв'яка.

Цикл роботи машини починається змиканням форми (ділянка 0–1 циклограми), далі йдуть операції переміщення механізму інжекції та його притискання до литникового каналу форми (1'–2) і впорскування підготовленої дози полімеру (2'–3) у форму. Протягом деякого часу (3–4') черв'як продовжує чинити тиск на розплав до моменту охолодження полімеру в литниковому каналі. Потім відводиться назад механізм упорскування (4–5), черв'як починає обертання (5''–6') і внаслідок накопичення перед ним полімеру зміщується назад (5'–6). З метою підвищення якості пластикації у гідроциліндрі 3 підтримується відносно невисокий тиск що перешкоджає осьовому зміщенню черв'яка, створюючи в дозі, що накопичується, розплаву тиск, який забезпечує її монолітність. Пластикація протікає одночасно з витримкою полімеру у формі на затвердіння (4''–7''). Після закінчення витримки форму розкривають (7–8). Час витримки (4''–7''), як правило, значно більше часу набору дози (5''–6').

Литтєві машини сучасних конструкцій здатні здійснювати операцію

пластикації на будь-якій ділянці часового інтервалу (5"–7"), причому в окремих конструкціях виявляється можливим починати пластикацію таким чином, щоб її кінець (точка 6') збігався за часом з початком упорскування в форму (точка 2') в наступному циклі. Така організація машинного циклу дозволяє мінімізувати час перебування дози розплаву в циліндрі перед упорскуванням при підвищеній температурі.

Конструкція деяких машин передбачає під час проведення операції упорскування розплаву в форму тимчасове (на 0,5–2 с) припинення осьового переміщення черв'яка з одночасним частковим розкриттям (на 1,5–3 мм) напівформ з наступним їх дозапиранням і завершенням операції упорскування. Ці зміни в циклограмі роботи машини необхідні для видалення розчинених у матеріалі летких і газоподібних продуктів, затвердіння або вулканізації при литті під тиском реактопластів чи гумових сумішей. Ця операція називається підпресуванням. На машинах для переробки термопластів (термопластавтоматах), для переробки реактопластів (реактопластавтоматів) та для лиття гумових сумішей можуть бути реалізовані різні режими формування (інтрузійного формування, формування зі скиданням тиску та віброформування).

Основні відмінності інтрузійного формування від лиття під тиском полягають у тому, що операції пластикації і упорскування (заповнення форми) в даному випадку поєднані, а основна частка обсягу порожнини форми заповнюється розплавом за допомогою обертового руху червяка без його переміщення в осьовому напрямку. Перевага інтрузійного формування: перед литтям під тиском інжекційним методом полягає у можливості формування виробів з масою, що у багато разів перевищує максимально можливу масу дози, яку здатний накопичити пластикаційний механізм при інжекційному методі лиття

Циклограма одного з варіантів способу інтрузійного формування наведена на Рис. 0.4. Після змикання форми (ділянка 0–1) і підведення механізму пластикації та упорскування (1–2), черв'як, перебуваючи в крайньому передньому положенні, починає обертатися (точка 2') і нагнітати розплав в порожнину форми екструзійним методом.

У міру заповнення форми її гідравлічний опір і, отже, тиск розплаву перед черв'яком зростають. Після досягнення певного тиску перед черв'яком і відповідного йому заданого тиску в гідроциліндрі механізму упорскування

останній надалі залишається постійним, а черв'як, продовжуючи обертатися, переміщується назад в осьовому напрямку на задану відстань (3–4). Після досягнення заданої позиції 4, черв'як, припинивши обертання, впорскує підготовлену дозу полімеру у форму (4–5), завершуючи її заповнення. Далі йдуть операції витримки під тиском (5'–6), відводу вузла інжекції (6–7), витримки на затвердіння виробу (6'–8) та розмикання форми (8–9) – розвантаження виробу.

Литтєве пресування (або трансферне формування) призначається для виготовлення деталей складної конфігурації з високов'язких полімерних матеріалів з низькою термостабільністю. Цей метод був описаний раніше як різновид методу прямого (компресійного) пресування на гідравлічних пресах. У сучасному варіанті ливарного пресування збережено його основні принципи, проте при поєднанні двох технологічних процесів: лиття під тиском та пресування. Особливість даної модифікації методу у тому, що у період заповнення литтям під тиском оформляюча порожнина ливарної форми перебуває у неповністю зімкнутому стані. Таким чином, спочатку у відкритій формі формується заготовка виробу, близька за конфігурацією та розмірами до кінцевого виробу. Наступна операція – пресування здійснюється при змиканні форми пресової частини машини, де виріб остаточно формується і далі охолоджується.

Циклограма литевого пресування майже аналогічна циклограмі лиття під тиском (див. Рис. 0.4). Відмінність полягає у проведенні операції змикання форми не по ділянці (0–1), а по лінії (0–1''–4–5''), що забезпечує упорскування розплаву в неповністю зімкнуту форму (2'–4') і остаточне пресування виробу при подальшому змиканні форми (4'''–5'''). У подальшому робота машини продовжується аналогічно вищеописаному режиму.

1.2. Процеси, що відбуваються в литтєвій формі

Цикл формування виробів з полімерних матеріалів під час лиття під тиском можна розділити на три послідовні періоди: заповнення форми, витримка під тиском і витримка на охолодження (затвердіння — вулканізацію). Сукупність фізичних та хімічних процесів, що супроводжують кожен із зазначених періодів, визначає динаміку їх перебігу та якісні показники готових виробів.

1.2.1. Заповнення форми

Заповнення порожнини форми (впорскування розплаву) починається після притискання соплової частини пластикаційного циліндра машини до отвору центрального литника форми. Доза розплаву з соплової порожнини циліндра пластикації впорскується через литник і починає заповнювати оформлюючу порожнину форми.

При заповненні форми розплавом полімеру можуть спостерігатися два режими заповнення: струменевий та регулярний.

Струменевий режим реалізується в основному при литті високов'язких матеріалів – наповнених термопластів і реактопластів, а також сумішей на їх базі за умови, що розміри отвору литникового каналу в порожнину форми набагато менші всіх розмірів оформлюючої порожнини форми. Такий режим заповнення характерний для лиття масивних товстостінних виробів, одержуваних методом лиття під тиском та інтрузійного формування (Рис.0.6, а). Через вхідний впускний литник 3 полімер нагнітається в порожнину 1 у формі жгута (струменя) 2, не торкаючись відразу її стінок, досягає тупикової зони порожнини. Після цього починається його укладання з виникненням точок контакту між окремими ділянками струменя, руйнуванням струменя та поступовим ущільненням матеріалу до його монолітизації.

Регулярний режим реалізується в основному при литті відносно тонкостінних виробів, коли відстань між протилежними стінками оформлюючої порожнини 2 виявляється рівним або дещо більшим розміру перерізу впускного отвору литника 1 (Рис.0.6, б). У цьому випадку при литті як низьков'язких, так і високов'язких матеріалів спостерігається явище регулярного, фронтального характеру заповнення із змінною координатою фронту потоку $l_{zi} \leq L$, де L – довжина порожнини форми.

При литті термопластів в регулярному режимі при зіткненні з холодними стінками форми розплав прилипає до поверхні порожнини форми, утворюючи плівку затверділого полімеру 4. Заповнення форми відбувається за рахунок деформування частини потоку розплаву 5, що не затверділа. Порожнина форми заповнюється поступово у напрямку від литника, при цьому траєкторії руху частинок матеріалу практично паралельні, за винятком ділянки входу та формування фронту потоку. При подачі матеріалу в центральну частину порожнини має місце радіальний характер розтікання.

розраховується за рівнянням

$$p_{нл} = (D_{п}^2/d_{ч}^2)p_{г} \quad (0.1)$$

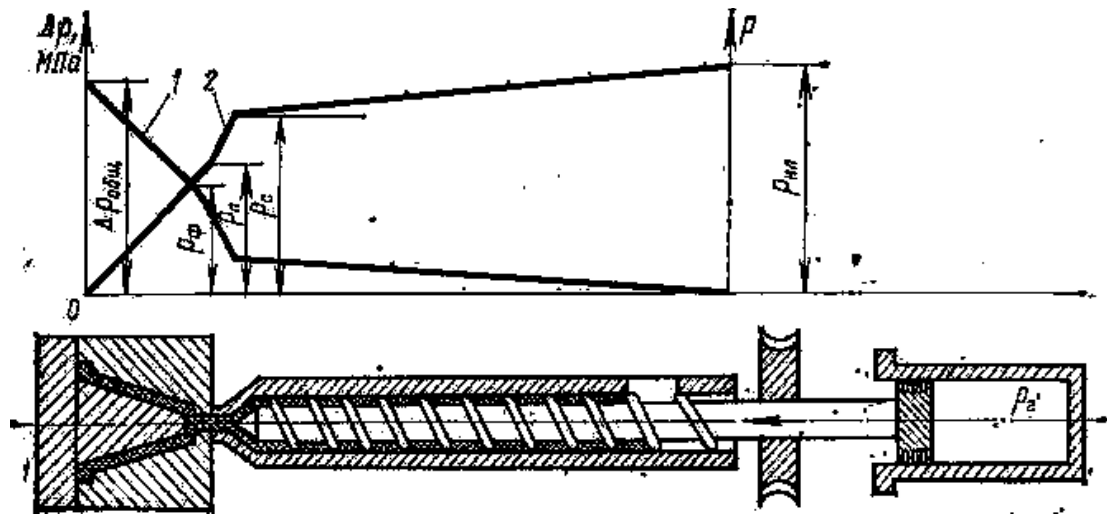


Рис. 0.7. Розподіл перепаду тисків Δp (1) та тиску p (2) по довжині машини у період заповнення

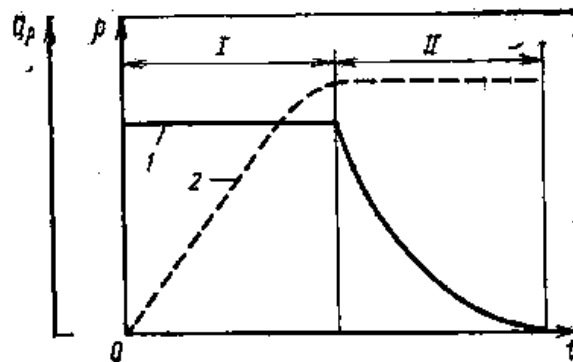


Рис. 0.8. Технологічні режими заповнення форми:

I – Режим з постійною об'ємною швидкістю заповнення Q_p і змінним тиском лиття p_l ;

II – Режим зі змінною об'ємною швидкістю заповнення Q_p і постійним тиском лиття p_l ;

криві 1 – $Q_p(t)$; 2 – $p_l(t)$,

де $D_{п}$ і $d_{ч}$ – діаметри поршня гідроциліндра і черв'яка, відповідно; $p_{г}$ – тиск в гідроциліндрі упорскування.

Тиск $p_{нл}$ при просуванні розплаву в системі нагрівальний циліндр – сопло – литниковий канал – форма служби m для подолання гідравлічного опору перебігу розплаву в елементах цієї системи (Рис. 0.7). Перебіг розплаву під час заповнення форми призводить до утворення перепадів тиску кожному з елементів системи. Загальний перепад тиску $\Delta p_{общ}$ дорівнює їх сумі:

$$\Delta p_{\text{общ}} = p_{\text{нл}} - p_{\text{к}} = \Delta p_{\text{ц}} + \Delta p_{\text{с}} + \Delta p_{\text{л}} + \Delta p_{\text{ф}} \quad (0.2)$$

де $p_{\text{к}}$ – тиск в кінці порожнини форми, що дорівнює нулю; $\Delta p_{\text{ц}}$, $\Delta p_{\text{с}}$, $\Delta p_{\text{л}}$ і $\Delta p_{\text{ф}}$ – втрати тиску в нагрівальному циліндрі, соплі, литнику і формі відповідно.

Перепад тиску $\Delta p_{\text{ц}} = p_{\text{нл}} - p_{\text{с}}$ пов'язаний з витратами частини зусилля упорскування на подолання сил тертя матеріалу стінки нагрівального циліндра при осьовому переміщенні черв'яка. Перепади тиску $\Delta p_{\text{ц}} = p_{\text{с}} - p_{\text{л}}$ і $\Delta p_{\text{л}} = p_{\text{л}} - p_{\text{сф}}$ та $\Delta p_{\text{ф}} = p_{\text{ф}} - p_{\text{ск}}$ складають втрати тиску при перебігу розплаву в каналі сопла, литниковій системі і оформляє порожнини відповідно.

Механізм упорскування литтєвої машини у більшості конструкцій здатний здійснювати заповнення форми у двох регульованих технологічних режимах (Рис. 0.8): а) за постійної швидкості лиття або б) за постійного тиску на вході у форму при змінній швидкості заповнення. Реалізація першого чи другого технологічного режиму пов'язані з особливостями функціонування гідропривода упорскування.

Перший технологічний режим заповнення форми, що відповідає досягненню постійної швидкості лиття (заповнення форми), виникає при литті товстостінних виробів. Якщо опір сопла та литникових каналів руху впорскуваного матеріалу невеликий, то тиск у гідросистемі машини не досягає встановленої величини $p_{\text{т}}$, і швидкість заповнення приймають, виходячи з продуктивності гідронасоса ливарної машини $Q_{\text{н}}$. Об'ємна витрата розплаву через литник $Q_{\text{р}}$ (см³/с):

$$Q_{\text{р}} = Q_{\text{н}} r_{\text{ч}}^2 / (c R_{\text{п}}^2) \quad (0.3)$$

де $r_{\text{ч}}$ і $R_{\text{п}}$ – радіуси перерізу черв'яка та поршня гідроциліндра відповідно; c – число паралельних литникових каналів на ділянці.

Лінійна швидкість заповнення форми:

$$V_3 = Q_{\text{р}} / S_{\text{ф}} \quad (0.4)$$

де $S_{\text{ф}}$ – площа поперечного перерізу форми.

Другий технологічний режим заповнення форми, що відповідає досягненню постійного тиску $p_{\text{ф}}$, характерний для лиття тонкостінних виробів. Тут через значущість гідравлічного опору литникових каналів і порожнини форми руху матеріалу тиск у гідросистемі $p_{\text{г}}$ зростає до встановленого значення за час, дуже мале в порівнянні з часом протікання процесу заповнення. Постійний тиск у

гідроциліндрі не може компенсувати зростаючого опору просуванню матеріалу, і швидкість течії починає зменшуватися. Лінійна швидкість заповнення форми V_3 визначається у своїй експериментальним чи розрахунковим шляхом.

На характер течії розплаву в порожнині форми впливають його в'язкі властивості, що залежать від температури. Температура розплаву підвищується при литті реактопластів і гум за рахунок нагріву від стінок форми та дисипації енергії течії в литникових каналах та порожнини форми. Температура розплаву термопласту зменшується при контакті зі стінкою форми, що має температуру нижче за температуру склування T або плавлення $T_{пл}$, тобто $T_{\omega} < T_c(T_{пл})$. Зростання в'язкості розплаву призводить до збільшення перепаду тиску, що витрачається протягом каналу форми.

Наявність вологи в матеріалі призводить до зниження в'язкості розплаву та збільшення швидкості заповнення форми. Аналогічним чином позначається присутність у розплаві реактопластів змащувальних речовин.

1.2.2. Витримка під тиском

Як зазначалося, процес заповнення форми супроводжується утворенням перепаду тиску за довжиною її порожнини. Зміна тиску за довжиною форми у різні моменти часу t_i показано на Рис. 0.9. Зміна тиску в одній точці форми можна проілюструвати діаграмою тиск – час, представлений на Рис. 0.10. Процес заповнення форми завершується за час $0 - t_3$, при цьому розплав досягає найвіддаленішої частини форми. Потім слідує період наростання тиску $t_3 - t_{10}$ і період спаду тиску $t_{10} - t_{12}$.

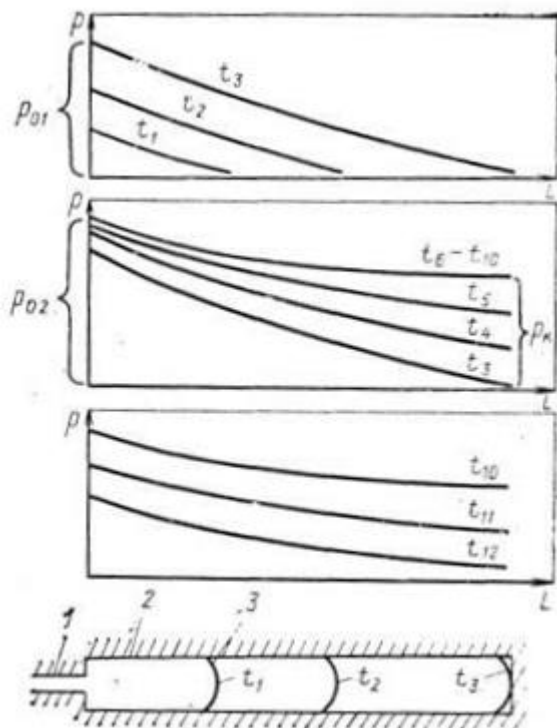


Рис. 0.9. Розподіл тиску p по довжині L форми у різні моменти t_i періодів заповнення форми ($0 - t_3$), наростання тиску ($t_3 - t_{10}$) та спаду тиску ($t_3 - t_{10}$):

1 – сопло; 2 – форма; 3 – фронт потоку розплаву.

Після заповнення форми розплавом термопласту відбувається його охолодження, у результаті збільшується щільність і зменшується обсяг, займаний полімером. Внаслідок зменшення обсягу через литники у форму продовжує поступати додаткова порція розплаву, так як черв'як поршень продовжує чинити тиск на матеріал у сопловій частині, і тиск у формі збільшується (на початку порожнини від p_{01} до p_{02} і в кінці порожнини від 0 до p_k).

Мала об'ємна швидкість перебігу матеріалу на цій стадії, яка називається «підживленням», викликає зниження перепадів тиску $\Delta p_{\phi 1}$ по довжині форми від значення $\Delta p_{\phi 1} = p_{01}$ в кінці заповнення до значення $\Delta p_{\phi 2} = p_{02} - p_k$ (див. Рис. 0.9). Зниження об'ємної швидкості течії в литнику знижує також перепад тиску Δp_L і підвищує тиск на вході у форму p_{ϕ} . З цієї причини відбувається втікання нових порцій розплаву у форму, що забезпечує збільшення густини розплаву.

Стадія витримки під тиском реактопластів та гумових сумішей протікає аналогічним чином. При цьому зменшення обсягу та збільшення щільності матеріалу відбувається не за рахунок його охолодження у формі, а внаслідок протікання процесу монолітизації досить пухкої структури композиції, що переробляється. Для розплавів реактопластів потрібен значно більший тиск підживлення через їх високу в'язкість порівняно з гумовими сумішами та термопластами.

Під час витримки під тиском у сопловій частині нагрівального (пластикаційного) циліндра також має місце надзвичайно повільний у порівнянні з операцією упорскування перебіг. У зв'язку з цим зникають значні втрати зусилля упорскування на переміщення хробака в циліндрі. Отже, зусилля на черв'яку-поршні, необхідне підтримки на вході у форму тиску підживлення, виявляється меншим, ніж при впорскуванні. При цьому відпадає необхідність докладання повного зусилля впорскування $P_B = (\pi d^2_{\text{ч}}/4)p_{\text{НЛ}}$ і з'являється можливість встановлення на вході у форму тиску $p_{\text{ф}}$ меншого, ніж на стадії упорскування.

З цієї причини у сучасних конструкціях ливарного обладнання передбачено так званий режим зі скиданням тиску, тобто зміна тиску в гідроциліндрі механізму впорскування після закінчення впорскування і регулювання його протягом витримки під тиском, тобто зміна тиску в гідроциліндрі механізму впорскування після закінчення впорскування і регулювання його протягом витримки під тиском. Таким чином, тиск підживлення (дотискання) – регульований технологічний параметр етапу витримки під тиском. Другим технологічним параметром є час витримки під тиском, що визначається часом затвердіння литника.

1.2.3. Витримка на охолодження (затвердіння-вулканізацію)

В кінці витримки під тиском виріб має необхідну конфігурацію і внаслідок гідравлічної ізоляції форми, що настає, наприклад, після охолодження литникового каналу зберігає постійну масу. Витримка на охолодження виробу з термопласту необхідна для остаточного затвердіння полімеру та досягнення певної конструкційної жорсткості виробу, що виключає деформацію при видаленні його з форми. У процесі охолодження тиск у формі по всій довжині знижується, що відбилося на діаграмах, наведених на Рис. 0.9 та Рис. 0.10 (відрізок часу $(t_{10} - t_{12})$).

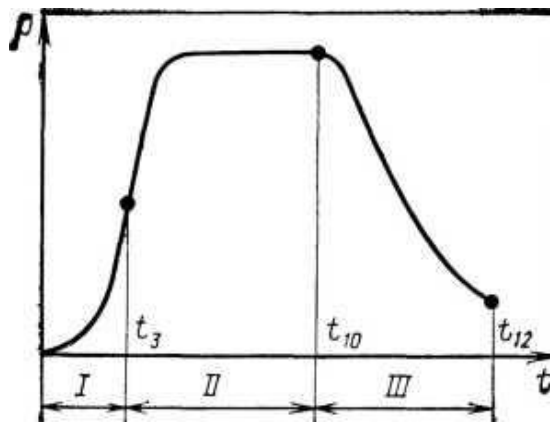


Рис. 0.10. Крива тиск – час для однієї точки форми:

I – період заповнення ($0 - t_3$); II – період наростання тиску ($t_3 - t_{10}$);

III – період спаду тиску ($t_{10} - t_{12}$).

Основне призначення витримки реактопластів і гумових сумішей на затвердіння (вулканізацію) полягає у забезпеченні однакового по всьому обсягу виробу ступеня перебігу реакції затвердіння (вулканізації). Виконання цієї умови – один з основних факторів, що визначають якість готового виробу. При формуванні особливо товстостінних, масивних виробів допускається недовулканізація їх серцевини, тому що і після вилучення виробу з форми внаслідок тривалості остаточного охолодження серцевини реакція затвердіння встигає пройти до потрібного ступеня.

У період витримки на затвердіння (вулканізацію) в ізольованому об'ємі форми вироби з реактопласта або гумової суміші протікають два процеси: теплового розширення при нагріванні відливки від стінок форми і дещо запізнитої об'ємної усадки внаслідок реакції затвердіння. Перевага на стадії витримки першого з цих процесів викликає зростання тиску у формі, а перевага другого процесу надалі зумовлює зменшення тиску у формі.

Максимальний тиск $p_{\text{макс}}$, що розвивається в оформлюючій порожнині, визначає мінімально необхідне зусилля запирання форми. Перевищення розпірного зусилля, що виникає від тиску у формі, над зусиллям замикання, призводить до розкриття форми та витікання розплаву в облой. Величину $p_{\text{макс}}$ є першим технологічним параметром цього етапу циклу лиття і регулюється за допомогою зміни тиску підживлення і ступеня нагрівання розплаву в об'ємі порожнини форми до кінця витримки під тиском. Другим технологічним параметром процесу слід вважати час витримки на охолодження (затвердіння- вулканізацію).

1.3. Базові параметри та конструкція механізмів литтєвих машин

Машини для лиття під тиском у даний час відрізняються цілим рядом параметрів та конструктивних ознак. Основним класифікаційним параметром є максимальний обсяг матеріалу, що впорскується, за один цикл литтєвого формування виробів. табл. Крім того, литтєві машини поділяють за принципом дії механізму пластикації та впорскування (поршневі, черв'ячно-поршневі і т.д.), за видом приводу (механічні, гідравлічні, гідромеханічні), за кількістю прес-вузлів (одно- та багатопозиційні), типу матеріалів, що переробляються і т.д. Універсальність машини переважно визначається економічними міркуваннями. Оскільки термін експлуатації однієї машини зазвичай перевищує тривалість виготовлення серії виробів, параметри ливарного обладнання повинні вибиратися не за умови виготовлення лише одного конкретного виробу.

Основні параметри і розміри обладнання для лиття під тиском, що випускається стандартизовані. Параметри для однопозиційних машин з черв'ячною пластикацією для лиття під тиском термопластичних та термореактивних матеріалів у Таблиця 0.1.

Таблиця 0.1

Стандартизовані значення параметрів машин для лиття під тиском

Найменування параметрів та розмірів		Значення базових параметрів										
Механізм запирання форм												
Номінальне зусилля замикання форми, кН (тс)		63	125	250	500	1000	1600	2500	4000	6300	10000	16000
		(6,3)	(12,5)	(25)	(50)	(100)	(160)	(250)	(400)	(630)	(1000)	(1600)
Хід рухомої плити при найбільшій висоті форми, мм		125	160	200	250	320	400	500	630	850	1120	1500
Висота форми, мм												
	найбільша	125	160	200	250	320	400	500	630	850	1120	1500
	найменша	100	110	125	140	160	200	250	320	400	500	630
Відстань між колонами у світлі, мм												
	горизонтальна	160	200	250	320	400	500	500	630	850	1120	1500
	вертикальна	-	-	200	250	320	400	500	630	850	1120	1500
Найменший час замикання та розкриття форми, С		1,2	1,7	2,2	3,0	4,0	5,3	7,1	9,5	13,0	19,0	27,0
Механізм пластифікації												
Номінальний об'єм упорскування за цикл, см³												
	виконання І	8	16	32	63	125	250	00	1000	2000	4000	8000
	виконання ІІ	5,6	11	22	48	95	190	380	750	1500	3000	6000
	виконання ІІІ	11	22	45	85	170	340	670	1320	3650	5300	10600
Номінальний об'єм упорскування за цикл, см³												
	виконання І	112	112	112	132	132	132	132	132	132	132	132
	виконання ІІ	160	160	160	180	180	180	180	180	180	180	180
	виконання ІІІ	80	80	80	100	100	100	100	100	100	100	100

Виконання механізмів пластикації І, ІІ, ІІІ відрізняються конструкцією та геометричними параметрами черв'яків. Найбільший діаметр черв'яка у конструкції виконання І, найменший – у конструкції ІІІ.

1.3.1. Взаємне розташування механізмів пластикації-упорскування та замикання форми

За взаємним розташуванням вісей механізмів пластикації-упорскування і замикання форми литтєві машини поділяються на горизонтальні, вертикальні і кутові. Така відмінність у компонованні устаткування викликана низкою чинників: технологічними вимогами, розмірами та конфігурацією виробів, вимогами автоматизації виробництва, економії виробничих площ, тощо.

Найбільшого поширення набули машини горизонтального типу (Рис. 0.11, а), в яких вісі механізмів пластикації-упорскування 1 і замикання форми 2 розташовані горизонтально. Ці машини вигідно відрізняються зручністю обслуговування та простотою здійснення автоматичного режиму роботи, так як при такому компонованні не потрібно оснащення агрегату механізмом для знімання готових виробів (виріб випадає з порожнини форми в приймальний пристрій після виштовхування). До недоліків цього типу компоновання належить потреба у значних виробничих площах розміщення цих машин.

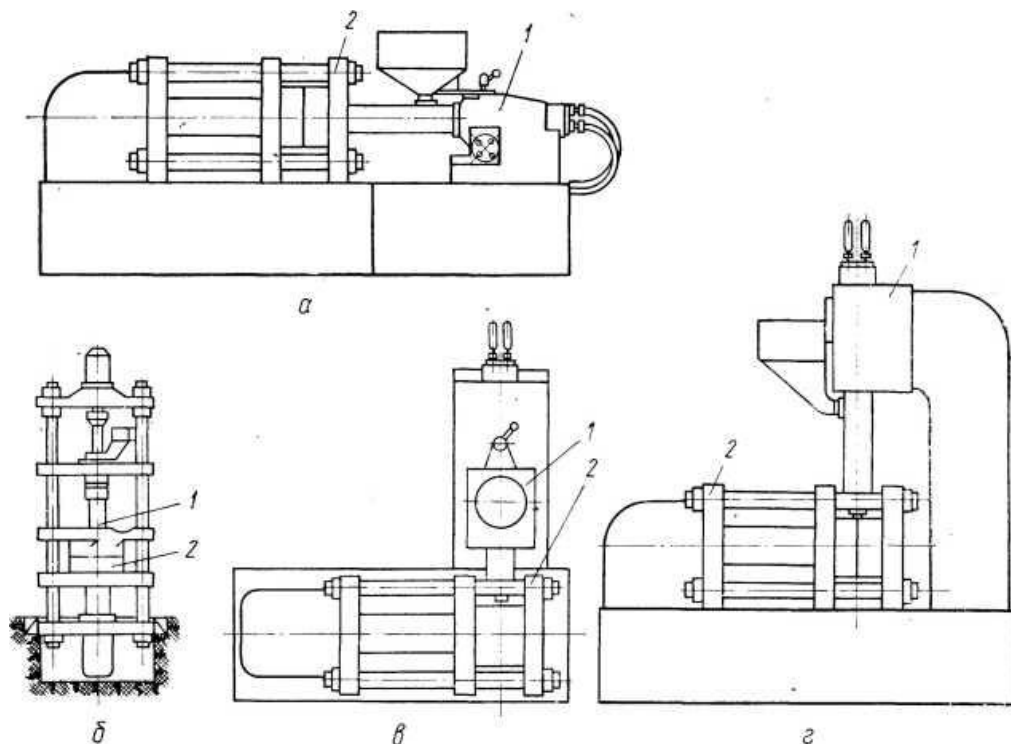


Рис. 0.11.Схеми компоновок литтєвих машин:

а – горизонтальна; б – вертикальна; в, г – кутова;
1 – механізм пластифікації-впорскування; 2 – механізм запирання форми.

Виробництво та застосування машин вертикального типу (Рис. 0.11, б) викликано необхідністю отримання армованих виробів.

Машини з вертикальним компонуванням характеризуються горизонтальною площиною роз'єму форм, що зручно для встановлення армуючих елементів виливки. Недоліком цих машин є необхідність їхнього оснащення додатковими кінематично складними пристроями для видалення готових виробів. Зі збільшенням потужності таких машин значно зростає їхня висота; це ускладнює їх обслуговування та змушує збільшувати висоту виробничих приміщень.

Кутові машини можуть випускатися з горизонтальним (Рис. 0.11, в) і вертикальним (Рис. 0.11, г) компонуванням вузлів під прямим кутом. Ці машини поєднують у собі переваги горизонтальних і вертикальних машин. Крім того, машини такого компонування вигідно використовувати для лиття великогабаритних виробів у тому випадку, якщо потрібно впорскування розплаву не в центральну, а в периферійну частину порожнини форми.

2. ПАРАМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ МАШИН ДЛЯ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Параметри литтєвих машин визначаються особливостями процесів лиття різних полімерних матеріалів, а також асортиментом виробів, що випускаються. Основними параметрами технічної характеристики литтєвої машини є: об'єм упорскування за один цикл, тиск лиття, швидкість упорскування, пластикаційна продуктивність, зусилля змикання форми, відстань між колонами пресової частини, максимальна та мінімальна відстані між плитами, хід рухомої плити, найбільша площа виливки. Ці параметри найбільш важливі, оскільки визначають можливість переробки того чи іншого матеріалу, а також масу і розміри деталі, яка може бути виготовлена на даній машині.

2.1. Розрахунок продуктивності та циклограми роботи литтєвої машини

Теоретичний обсяг впорскування литтєвої машини дорівнює площі перетину впорскуючого поршня (червяка), помноженої на величину його вісьового переміщення (робочого ходу). Для машин з поршневою пластикацією робочим ходом вважають величину руху поршня після перекриття отвору завантаження до його кінцевого положення при переміщенні в пластикаційному циліндрі в напрямку руху до форми, а у черв'ячних пластикаційно-інжекційних механізмів – повний хід черв'яка. Теоретичний обсяг упорскування не тотожний реальному, тобто розмір між теоретичним і реальним обсягами упорскування, що виникає внаслідок власної стисливості та монолітизації розплаву, а також різного роду зворотніх потоків та витоків, може досягати 5—10%.

Температуру матеріалу (лиття) T_l , температуру стінок форми T_{ω} і об'ємну швидкість її заповнення Q_p (або час заповнення) зазвичай задають, виходячи з вимог, що висуваються до якості виробів за показниками точності, міцності та деформаційними показниками і зовнішнім виглядом. Ці параметри приймаються відповідно до технічних умов на матеріали та вироби.

При розрахунку параметрів формування слід мати на увазі, що найбільш бажано проведення процесу заповнення форми в режимі постійної об'ємної швидкості течії Q_p , так як при цьому забезпечується умова підвищення стабільності властивостей по довжині виробу. Об'єм необхідної дози розплаву для

виготовлення виробу заданого об'єму розраховується за рівнянням

$$v_0 = (v_{\text{вир}}n + v_{\text{л}})k_{\text{ввр}}k_{\text{вср}} \quad (0.1)$$

де $v_{\text{вир}}$ – об'єм виробу; n – передбачувана гніздність форми;

$v_{\text{л}}$ – об'єм литникової системи;

$k_{\text{ввр}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати розплаву ($k_{\text{ввр}} = 1,01 \div 1,02$);

$k_{\text{вср}}$ – коефіцієнт, що враховує стиснення розплаву в нагрівальному циліндрі

визначається як

$$k_{\text{вср}} = \frac{1}{1 - \aleph \rho_{\phi}}$$

де $\aleph$ – коефіцієнт стисливості полімеру (наприклад для ПВГ марки 1004-002 при тиску лиття 60 МПа, $\aleph = 2 \cdot 10^{-4} \text{МПа}^{-1}$).

Продуктивність машини для лиття під тиском (кг/год) може бути визначена за формулою

$$Q_{\text{л}} = 3600 v_0 \rho / t_{\text{ц}} \quad (0.2)$$

де ρ – щільність розплаву кг/м^3 ;

$t_{\text{ц}}$ – час циклу лиття, с.

Час циклу лиття $t_{\text{ц}}$, що входить у (0.2)

$$t_{\text{ц}} = t_3 + t_{\text{п}} + t_{\text{вп}} + t_{\text{в}} + t_{\text{охл}} + t_{\text{р}} \quad (0.3)$$

де t_3 і $t_{\text{р}}$ – час змикання та розмикання форми відповідно; $t_{\text{п}}$ – час підведення та відведення вузла пластикації та упорскування; $t_{\text{вп}}$, $t_{\text{в}}$ і $t_{\text{охл}}$ – час упорскування, витримки під тиском та витримки на охолодження (затвердіння) виробу у формі відповідно.

Сума часів t_3 , $t_{\text{п}}$, $t_{\text{вп}}$ та $t_{\text{р}}$ називається машинним часом, оскільки залежить від швидкодії окремих механізмів машини.

Часи t_3 та $t_{\text{р}}$ можуть бути визначені розрахунковим шляхом або обрані, виходячи з даних, представлених у Таблиця 0.1, та умови $t_3 = t_{\text{р}}$. При використанні механізмів замикавання комбінованого типу з прискореним, а потім уповільненим

рухом рухомої плити механізму змикання-розмикання форми, час змикання t_3 може бути представлений у вигляді двох складових: $t_3 = t_{cy} + t_{cz}$. Тут t_{cy} – час прискореного переміщення рухомої плити та t_{cz} – час уповільненого переміщення (с) можна визначити за формулами:

$$t_{cz} = 0,785L_y d_{y^2} / (Q_y \eta_K); \quad t_{cz} = 0,785L_3 d_{3^2} / (Q_3 \eta_K); \quad (0.4)$$

де L_y, L_3 – шлях, що проходить плунжер гідроциліндра прискорено або уповільнено, м; d_y, d_3 – діаметри поршнів гідроциліндрів прискореного або уповільненого підведення рухомої плити, м; (Q_y, Q_3 – продуктивність гідронасосів систем прискореного та уповільненого підведення рухомої плити, м/с; η_K – к.к.д. насоса.

Розрахунок значень d_y, d_3, Q_y, Q_3 може бути проведений за методикою розрахунку параметрів гідропресового устаткування.

Аналогічним чином можна розрахувати час t_{Π} . Воно зазвичай не перевищує 3-5 с.

Час упорскування розплаву $t_{вп}$ в режимі постійної об'ємної швидкості руху розплаву $Q_p = \text{const}$ підраховується виходячи з обраної з технологічних міркувань Q_p . Значення Q_p не повинно виходити за межі мінімуму та максимуму, встановлених технологічним регламентом лиття за результатами експериментального вивчення впливу швидкості заповнення на показників якості виробів. При формуванні виробів з термопластичних матеріалів Q_p вибирається в межах 20–120 см³/с, для реактопластів та гум 20–70 см³/с.

З урахуванням (0.3) та (0.4) отримуємо формулу для розрахунку $t_{вп}$, рівного часу заповнення форми t_{3l} у режимі $Q_p = \text{const}$:

$$t_{вп} = t_{3l} v_{\phi} / Q_p \quad (0.5)$$

де v_{ϕ} – обсяг оформлюючої порожнини форми.

Формула (0.5) може бути представлена наступним чином:

$$t_{3l} = L / V_3 \quad (0.6)$$

де L – довжина порожнини форми;

V_3 – лінійна швидкість заповнення.

Якщо заповнення форми відбувається в технологічному режимі при якому зменшується швидкість заповнення форми то $t_{зII}$ може бути визначено розрахунковим шляхом. Якщо заповнення відбувається спочатку в I-му, а потім в II-м технологічних режимах, то послідовно розраховуються періоди часу $t_{зI}$ і $t_{зII}$, а потім сумуються:

$$t_{вп} = t_{зI} + t_{зII} \quad (0.7)$$

Визначення реалізованого режиму заповнення форми при литті конкретного виробу проводиться за методикою.

Час витримки під тиском t_b визначають, обчислюючи час затвердіння розплаву в литниковому каналі, що забезпечує умову герметизації форми. Для розплаву термопласту t_b дорівнює тривалості охолодження матеріалу в центральній частині литника до температури $T_{охол}$, яка нижче температур T_c або $T_{пл}$. Рішення рівняння теплопровідності в нестационарних умовах течії полімеру зі швидкістю підживлення, яка залежить від зміни обсягу полімеру в оформлюючій порожнині, досить складно. Насправді застосовують різні наближені методи визначення t_b .

Формула для розрахунку t_b для циліндричного литникового каналу має вигляд

$$t_b = \frac{r_L^2}{5,76a} 2,31g \frac{1.6(T_L - T_\omega)}{T_c - T_\omega} \quad (0.8)$$

де r_L – радіус літника;

a – коефіцієнт температуропровідності;

T_L – температура лиття;

T_ω – температура стінки форми.

Для розплаву реактопласту або гумової суміші час t_b визначається часом затвердіння (вулканізації) матеріалу в литнику. Вводячи припущення, що час нагрівання цього матеріалу в дуже малому обсязі литника малий в порівнянні з часом затвердіння литника, приймаємо $t_b \approx t_0$.

Охолодження розплаву термопласту в порожнині форми починається відразу після заповнення форми і продовжується до досягнення виробом конструкційної жорсткості. Однак технологічний час задається у схемі керування машиною з врахуванням часу відведення сопла, коли розплав у порожнині форми частково

охолодне. Тому для визначення $t_{об}$ спочатку обчислюють загальний час охолодження $t_{об}$, а потім віднімають від нього $t_{в}$. Розрахунок проводиться за формулами, отриманими з вирішення рівняння нестационарної теплопровідності, які видозмінюються залежно від форми виробу. Для виробу типу «пластина»

$$t_{об} = 0,084 \frac{\bar{d}^2}{a} \lg \left(0.785 \frac{T_{л} - T_{\omega}}{T_{вир} - T_{\omega}} \right) \quad (0.9)$$

де $\bar{d}$ – товщина виробу;

$T_{вир}$ – температура відформованого виробу; різницею температур $T_{вир} - T_{\omega}$ задаються в межах $(10 \div 20)$ градусів.

Для виробу з реактопласту або гумової суміші складова загального часу циклу $t_{охол}$ повинна враховувати час витримки на затвердіння виробу $t_{зТВ}$. Відрізок часу $t_{зТВ}$ може бути визначений так:

$$t_{зТВ} = t_{н} + t_{о} - t_{в} \quad (0.10)$$

$t_{н}$ – час нагрівання розплаву від $T_{л}$ до температури $T_{ци}$ в центрі виробу, яка як правило менша на 15-20 К від температури стінки T_{ω} внаслідок низької теплопровідності:

$$t_{н} = 0,084 \frac{\bar{d}^2}{a} \lg \left(0.785 \frac{T_{\omega} - T_{л}}{T_{\omega} - T_{ци}} \right) \quad (0.11)$$

Складова $t_{о}$ є часом затвердіння виробу при $T_{ци}$.

Таким чином, усі складові часу циклу виготовлення виробу можуть бути визначені при заздалегідь вибраних значеннях геометричних характеристик форми $(\bar{d}, L, \nu_{ф})$, властивостей матеріалу $(a, T_{с}, T_{пл}, \lambda, \rho)$ та параметрів технологічного режиму процесу лиття $(T_{\omega}, T_{л}, Q_p)$.

2.2. Тиск лиття та швидкість упорскування

Номінальний тиск лиття $\rho_{нл}$ обумовлюється гідроприводом ливарної машини і служить параметром, що визначає умови заповнення оформлюючої порожнини форми. Величина $\rho_{нл}$ дорівнює сумі втрат тиску $\Delta\rho_{м}$ у системі, що знаходиться перед оформлюючою порожниною форми, і втрат тиску $\Delta\rho_{ф}$, що витрачаються при

течії розплаву в порожнині форми. Величина втрат тиску $\Delta p_m = \Delta p_{\text{ц}} + \Delta p_{\text{с}} + \Delta p_{\text{л}}$ пов'язана з втратами тиску при впорскуванні за рахунок тертя сухого або розплавленого матеріалу перед поршнем або матеріалом що заповнює витки нарізки черв'яка по стінці циліндра ($\Delta p_{\text{ц}}$), за рахунок опору руху розплаву через сопло ($\Delta p_{\text{с}}$) і литникові канали ($\Delta p_{\text{л}}$). Сума втрат тиску $\Delta p_{m1} = \Delta p_{\text{ц}} + \Delta p_{\text{с}}$ є величиною, що залежить в кожному конкретному випадку від конструкції механізму пластикації та впорскування литтєвої машини та властивостей матеріалу, що перероблюється. Точний кількісний облік Δp_{m1} утруднений, тому ця величина визначається здебільшого експериментально. Можна вважати приблизно, що при литті термопластів Δp_{m1} становить 10-20%, при литті гумових сумішей 25-30% і при литті реактопластів до 40% від $\Delta p_{\text{загал}}$.

Тиск $\Delta p_{\text{л}}$, що витрачається при течії аномально-в'язких рідин (розплавів термопластів і гумових сумішей) в каналах різної форми в режимі $Q_p = \text{const}$, може бути розрахована за співвідношеннями, отриманими в гідродинамічному аналізі течії розплавів полімерів при спільному розгляді рівнянь руху, нерозривності, енергії і реологічного стану в ізотермічних умовах. Ізотермічна течія є ідеалізованим режимом, який рідко здійснюється в реальних процесах переробки полімерів, проте, враховуючи надзвичайну складність вирішення завдань у неізотермічному розгляді, для інженерних розрахунків таке спрощення є цілком прийнятним. Завдання вирішується також при введенні припущень про відсутність ковзання потоку полімеру щодо стінок каналу та впливу гравітаційних та інерційних сил.

Для каналів круглого та прямокутного поперечного перерізу відповідно

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{л}} &= 2Lm_0 \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \left(\frac{3n+1}{\pi n} \frac{Q_p}{r(3n+1)/n}\right)^n \\ \Delta p_{\text{л}} &= 2Lm_0 \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \left[\frac{2(2n+1)}{n} \frac{Q_p}{Bh(2n+1)/n}\right]^n \end{aligned} \quad (0.12)$$

де L – довжина; r – радіус; B – ширина; h – висота каналу; m_0 , E , n , R – константи рівняння реологічного стану розплаву.

Враховуючи існування втрат тиску на вході в канал, що витрачаються на формування профілю швидкостей течії, довжину каналу L умовно збільшують настільки, щоб фактичний перепад тисків в каналі умовної довжини дорівнював

градієнту тисків на ділянці течії. Для каналу круглого поперечного перерізу фіктивне подовження оцінюється числом діаметрів D каналу:

$$L_{\phi} = L + N_d D \quad (0.13)$$

Для розплавів термопластів N_d змінюється від 1-2 при $\gamma = 100 \text{ с}^{-1}$ до 5-6 при $\gamma = 700 \div 900 \text{ см}^{-1}$; для гумових сумішей при зміні γ від 100 до 1000 с^{-1} число N_d збільшується з 3-4 до 10-12.

Для розплавів реактопластів, рух яких у каналах підпорядковується закону пристінного ковзання, може бути отримана аналітична залежність для розрахунку $\Delta p_{\text{л}}$ в ізотермічних умовах для каналів круглого та прямокутного поперечного перерізу відповідно:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{л}} &= 2Lk_c Q_p^2 / (\pi^2 r^{2s+1}) \\ \Delta p_{\text{л}} &= 2(B + h)Lk_c Q_p^s / (Bh)^{s+1} \end{aligned} \quad (0.14)$$

де k_2 та s — константи реологічного рівняння.

Фіктивне подовження каналу для обліку вхідного ефекту за формулою (0.13) для реактопластів становить 9-20 D при зміні швидкості пристінного ковзання $V_c = Q_p / (\pi r^2)$ від 10^{-1} до 1 м/с .

Літникова система є сукупністю послідовно або паралельно з'єднаних елементів (центральный, розподільний, впускний літник і т.д.). При послідовному з'єднанні елементів загальний перепад тиску $\Delta p_{\text{л}}$ визначається як сума перепадів тиску в окремих елементах:

$$\Delta p_{\text{л}} = \Delta p_{\text{л}1} + \Delta p_{\text{л}2} + \dots + \Delta p_{\text{л}N} = \sum_{i=1}^N \Delta p_{\text{л}i} \quad (0.15)$$

При паралельному з'єднанні елементів литникових каналів об'ємна швидкість течії Q_{pN} в кожному з елементів дорівнює

$$Q_{pN} = Q_p / N \quad (0.16)$$

де N — число однакових елементів каналів.

Перепад тиску $\Delta p_{\text{л}}$ при паралельному з'єднанні елементів каналів дорівнює перепаду тиску по довжині одного з них: $\Delta p_{\text{л}} = \Delta p_{\text{л}N}$.

2.3. Пластикаційна продуктивність

В процесі пластикації сировинного матеріалу при литті під тиском здійснюється періодичне приготування дози розплаву полімеру для подальшого його формування. Полімерний матеріал переводиться в стан розплаву шляхом плавлення за рахунок передачі тепла від стінок нагрівального циліндра, а також внаслідок дисипації енергії деформування розплаву та гранул у пластикаційному циліндрі. Нагрівання полімеру при пластикації найчастіше супроводжується механічною гомогенізацією розплаву. Доза підготовленого до упорскування розплаву повинна бути однорідною за розподілом температури та щільністю матеріалу за масою, а у разі пластикації термореактивних матеріалів – і за ступенем протікання реакції затвердіння (вулканізації) у масі дози.

Технологічними параметрами процесу пластикації є температура, до якої нагрівається матеріал, та тривалість нагрівання. Температура нагрівання при пластикації T_n з метою поліпшення формуваності розплаву має бути можливо більш високою. Однак у разі переробки реакто- пластів і гум сума тривалості перебування матеріалу в пластикаційному циліндрі t_n при температурі T_n та тривалості заповнення форми t_3 повинна бути меншою за час плато в'язкості t^* , тобто.

$$t_n + t_3 < t^* \quad (0.17)$$

При поршневій або черв'ячній пластикації тривалість пластикації дози розплаву і його температура не можуть бути безпосередньо регульовані, а встановлюються відповідним набором регульованих параметрів обладнання. Для обох видів пластикації одним із таких параметрів є температура стінки циліндра біля соплової частини. Температура дози розплаву, підготовленої способом черв'ячної пластикації, крім того, залежить і від частоти обертання черв'яка $N_{\text{ч}}$, тиску в сопловій частині (тиску підпору $\rho_{\text{пл}}$ при пластикації), куди подається матеріал, що нагнітається черв'яком, а також від геометрії черв'яка (глибини каналу нарізки, Довжини черв'яка). Збільшення частоти обертання та тиску підпору посилює дисипативні тепловиділення на поверхнях контакту розплаву з черв'яком та в обсязі розплаву та підвищує температуру T_n у середньому на 15-20 К.

Операція пластикації і дозування розплаву може здійснюватися в період часу $t_{пл}$, коли поршень (черв'як) не передає на матеріал, що переробляється тиск лиття ρ_L для здійснення упорскування і витримки під тиском

$$t_{пл} = t_{охл} + t_p + t_z + t_{п} \quad (0.18)$$

При цьому продуктивність вузла пластикації (Q_n (кг/год))

$$Q_{п} = (\rho_p v_0 / t_{пл}) \cdot 3600 \quad (0.19)$$

де ρ_p – щільність розплаву, кг/м³;

v_0 – обсяг дози розплаву, м³.

Тривалість процесу поршневої пластикації може бути встановлена при розгляді задачі про контактне нагрівання матеріалу у вигляді циліндричного тіла з нестационарним температурним полем:

$$t_{пл} = F_0(R_T^2/a), \text{ с} \quad (0.20)$$

Тут F_0 – значення критерія Фур'є, що розраховується як функція $F_0 = f[(T_{п} - T_0)/(T_{ц} - T_0)]$, де $T_{п}$ – температура пластикації – температура матеріалу в центрі каналу пластикаційного циліндра; T_0 – початкова температура полімеру; $T_{ц}$ – температура стінки циліндра ($T_{ц} - T_{п} = 20$ К); R_T – радіус центрального шару матеріалу, м; a – коефіцієнт теплопровідності полімеру, м²/с.

Тривалість процесу набору дози при черв'ячній пластикації пропорційна обсягу дози, а також залежить від частоти обертання черв'яка, тиску підпору та геометрії черв'яка. Для вишковазких матеріалів (гумів, реактопластів) час набору дози дуже слабо залежить від в'язкості матеріалу та його теплофізичних властивостей. Істотно впливають сипкість і насипна щільність матеріалу, оскільки саме ці властивості визначають умови захоплення матеріалу із завантажувального пристрою витком нарізки черв'яка та масову продуктивність у зоні завантаження.

Розрахунок продуктивності черв'ячного пластикатора зводиться до визначення масової або об'ємної його продуктивності Q_M при заданому протитиску процесу пластикації. Для забезпечення стабільності циклу лиття повинна виконуватися умова $Q_M \geq Q_{п}$.

2.4. Параметри, пов'язані з габаритами виробу, що формується

До найважливіших параметрів механізму замикання форми ливарної машини відноситься номінальне зусилля замикання форми P_3 і характеристики, пов'язані з геометричними параметрами формуючого інструменту: хід рухомої плити, мінімальна та максимальна висота встановлюваної форми та відстань між колонами у світлі по вертикалі та горизонталі.

Зусилля, що виникає в порожнині форми в процесі формування виробу, не повинно перевищувати зусилля замикання форми P_3 , так як це призводить до утворення облої та зміни розмірів виробу, що особливо неприпустимо виготовлення виробів з підвищеною точністю розмірів.

Необхідне зусилля замикання (змикання) форми може бути визначено за таким співвідношенням:

$$P_3 = P_{\text{ср}} S_{\text{л}} N_{\text{г}} k_{\text{л}} k_{\text{п}} \quad (0.21)$$

де $P_{\text{ср}}$ – середній тиск у порожнині форми; $S_{\text{л}}$ – максимально допустима площа виливки, що дорівнює площі проекції виробу на площину, перпендикулярну до напрямних колон; у разі серійного обладнання для лиття термопластів вибір $S_{\text{л}}$ може бути проведений за такими даними:

Об'єм виливки, см ³	8	16	32	63	125	250	500	1000
$S_{\text{л}}$, см ²	35	60	100	200	350	600	1000	1800

$N_{\text{г}}$ – гніздність форми; $k_{\text{л}}$ – коефіцієнт, що враховує площу (у плані) літникової системи ($k_{\text{л}} = 1,1 \div 1,2$); $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати зусилля змикання через втрату на тертя в ущільненнях гідроциліндра, в механізмах пресової частини і через неточність виготовлення площин змикання напівформи ($k_{\text{п}} = 1,2$).

Зважаючи на те, що при литті реактопластів і гум тиск у порожнині форми значно більший, ніж при литті термопластів, максимально допустима площа лиття при переробці цих матеріалів зменшується на 12—15%.

Середній тиск у порожнині форми при литті термопластів на стадії витримки під тиском $\rho_{\text{ср}}$ (МПа) може бути обчислено за емпіричною залежністю

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{ф}} (0,07/K + 0,045K + 0,72) \quad (0.22)$$

де $P_{\text{ф}}$ – тиск на вході у форму в кінці етапу заповнення форми; K –

емпіричний коефіцієнт, що залежить від розмірів формуючої порожнини (довжини L і периметра Π поперечного перерізу порожнини форми) і температури розплаву T_n ; $K = (L/\Pi) (170/T_n)^4$.

Для термопластів значення P_{cp} зазвичай буває рівним 40–80 МПа.

Для розплавів реактопластів та еластомерів максимальний тиск у порожнині форми реалізується не на стадії витримки під тиском, а на стадії затвердіння (вулканізації) виробу. Тому розрахунок за залежністю (0.22) цих матеріалів не правомірний. Можна рекомендувати скористатися даними, отриманими експериментальним шляхом для реактопластів та гумових сумішей: $P_{cp} = 30\text{--}60$ МПа.

Зусилля розкриття форми P_p після закінчення процесу одержання виробу залежить від залишкового тиску в порожнині форми, адгезії полімеру до поверхні порожнини та ступеня шорсткості цієї поверхні. Для визначення P_p можна скористатися співвідношенням, одержаним з аналізу експериментальних даних:

$$P_p = 0,1 P_3 \quad (0.23)$$

Визначення зусилля виштовхування виробу проводиться за методики визначення параметри пресового устаткування.

Вибрана площа лиття S_L визначає розміри плит механізму змикання форми та відстань у світлі між колонами по горизонталі L_r і вертикалі L_v (Рис.0.1). Ці розміри вибираються аналогічно розмірам плит гідравлічного пресу.

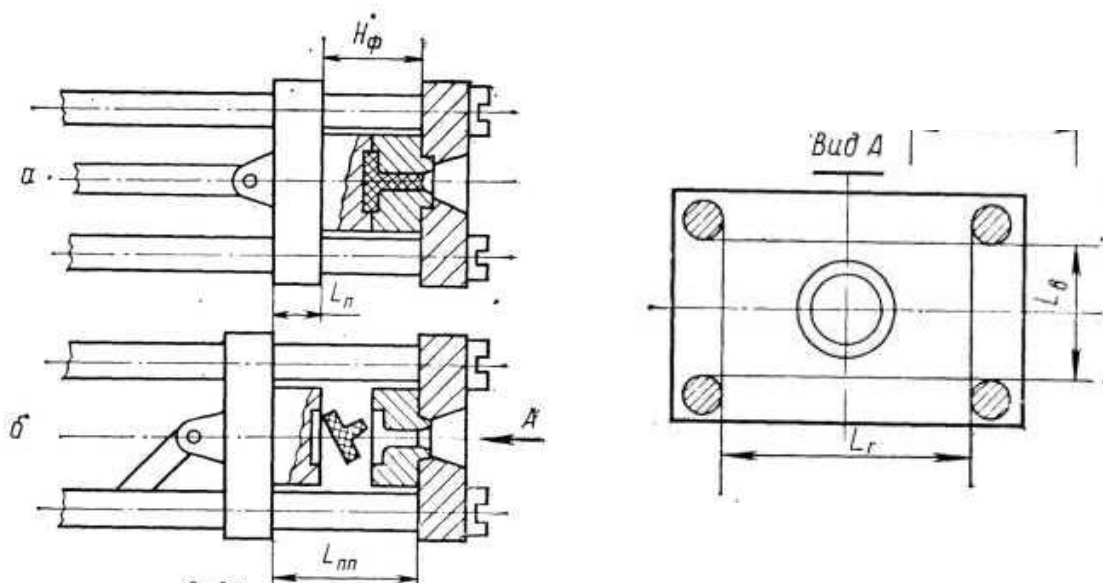


Рис.0.1. До визначення величини ходу механізму замикання форми:

а – форма зімкнута; б – форма розкрита.

Найбільша висота півформ H_{ϕ} (див.Рис.0.1) дорівнює

$$H_{\phi} = H_{\text{и}}/k_{\text{и}} \quad (0.24)$$

де $H_{\text{и}}$ – висота виробу; $k_{\text{и}}$ – коефіцієнт, що враховує товщину стінок півформ ($k_{\text{и}} = 0,4 \div 0,6$).

Хід рухомої плити L_{Π} визначається за формулою

$$L_{\Pi} = k_{\phi} H_{\text{и}} \quad (0.25)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт, що залежить від обсягу впорскування v_0 (при $v_0 = 8 \text{ см}^3$ $k_{\phi} = 1,8$; при $v_0 = 1000 \text{ см}^3$ k_{ϕ} збільшується до 2,15).

Найбільша відстань між рухомою та нерухомою плитами

$$L_{\text{пп}} = L_{\Pi} + H_{\phi} \quad (0.26)$$

Наведена методика розрахунку параметру механізму змикання, дозволяє оптимізувати його конструкцію з умови забезпечення швидко хідності і зменшення металоємності.

3. МЕХАНІЗМИ ПЛАСТИКАЦІЇ І ВПОРСКУВАННЯ

Призначення механізму пластикації та впорскування полягає у виконанні наступних технологічних операцій: а) набір, розігрів та пластикація дози матеріалу, що переробляється; б) упорскування розплаву та витримка його під високим тиском у формі до затвердіння матеріалу в литнику. Механізми, які здійснюють ці технологічні операції, можуть бути конструктивно з'єднані або роз'єднані. Але у всіх випадках механізми пластикації та впорскування можуть бути підрозділені на поршневі (плунжерні), черв'ячно-поршневі, одночерв'яні та двочерв'яні. Крім того, в залежності від числа циліндрів пластикації розрізняють одно-, дво-, три- та багаточиліндрові механізми пластикації та упорскування.

У загальному вигляді механізм пластикації та упорскування складається з наступних вузлів: пристрій для дозування сировини, вузли пластикації та упорскування розплаву, привід зворотно-поступального руху поршнів (черв'яків) та обертання черв'яків, пристрій для переміщення всього механізму.

3.1. Конструктивні різновиди механізмів пластикації і впорскування

До ранніх конструкцій цих механізмів відноситься вузол упорскування поршневого типу без попередньої пластикації, Рис. 0.1. Основною робочою частиною є нагрівальний циліндр 6, виконаний у вигляді труби товстостінної. Нагрівальний циліндр 6 «кріпиться до передньої плити 7 механізму упорскування. Через сопло 1, пов'язане з циліндром 6 за допомогою насадки 2, матеріал надходить у порожнину форми. У циліндрі 6 укріплені торпеда 4, що направляють втулки 8. Температура розплаву вимірюється за допомогою термодатчиків 3 і 5. Зона завантаження охолоджується водою, що надходить у порожнину А, з метою запобігання передчасного плавлення гранул у завантажувальному отворі Б і запобігання його залипання.

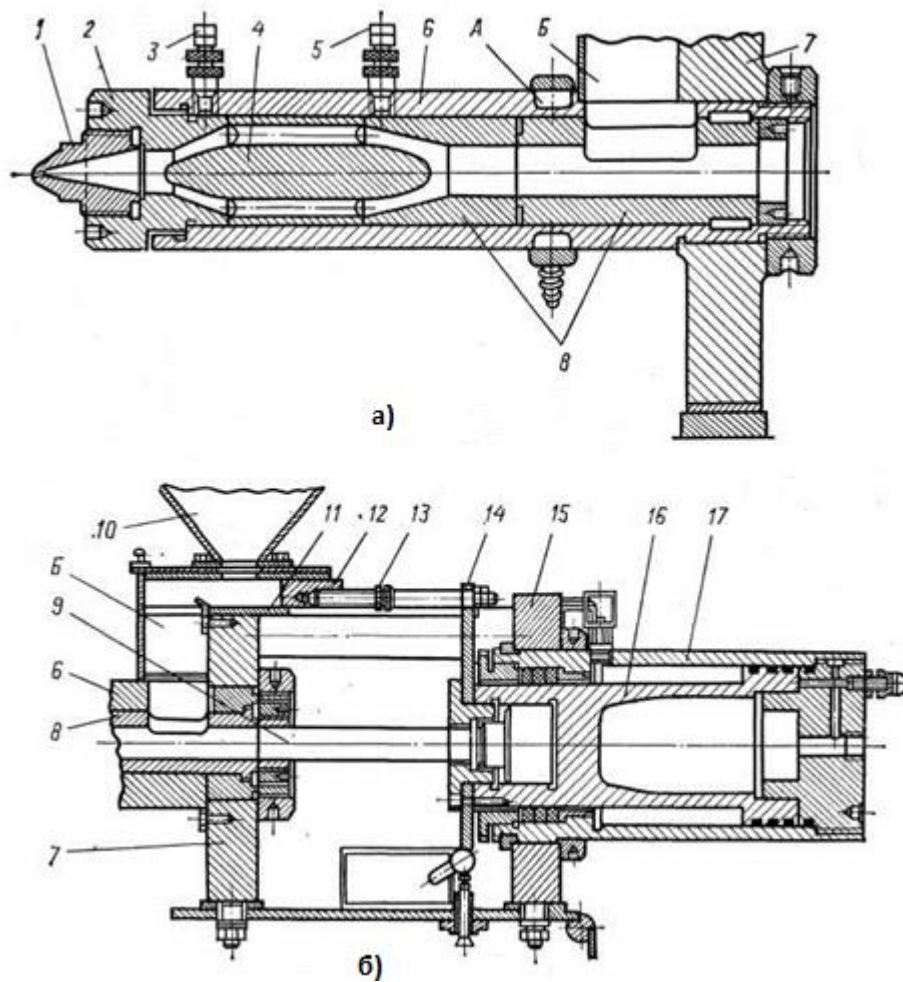


Рис. 0.1. Механізм пластикації та впорскування поршневого типу:
а – вузол пластикації; б – вузол упорскування;

- 1-сопло; 2-насадка; 3, 5 – термопари; 4 – торпеда; 6 – нагрівальний циліндр; 7 – передня плита механізму упорскування; 8 – напрямні втулки;
9 – плунжер; 10 – бункер; 11 – корпус дозуючого пристрою; 12 – поршень дозуючого пристрою; 13 – регулюючі гайки; 14 – планка; 15 – задня плита;
16 – поршень гідроциліндра; 17 – гідроциліндр.

Матеріал, що потрапляє в циліндр 6, проштовхується поршнем 9 через простір, що нагрівається між стінками циліндра 6 і торпедою 4, при цьому він прогрівається і переміщується. Механізм упорскування укріплений на плитах (передній 7 і задній 15), з'єднаних двома колонами. На передній плиті встановлений механізм завантаження, що складається з бункера 10 і дозуючого пристрою, що включає корпус 11 і поршень 12. Об'єм дози сировини регулюється гайками 13. При русі вліво поршня 16 гідроциліндра 17 здійснюється осьове переміщення жорстко пов'язаного з ним упорскувача 9 і переміщення планки 14. Планка 14 упирається в регулюючі гайки 13 і просуває завантажувальний поршень дозуючого пристрою 12 вперед і проштовхує матеріал у горловину нагрівального

циліндра 6.

Недоліком такого пластикаційного пристрою є недостатня якість перемішування полімерного розплаву і нерівномірність розподілу температури в об'ємі дози, в результаті чого в готових виробах зберігаються значні внутрішні напруги, що призводять до короблення виробів. У цих пристроях в початковий момент часу швидкість упорскування дуже мала, тому що, поршневі упорскувачі 9 спочатку проводить ущільнення пробки матеріалів в зоні завантаження. Поршневі пристрої не забезпечують високої пластикаційної продуктивності, вимагають підвищених тисків упорскування і значної потужності приводу, тому вони застосовуються тільки в литтєвих машинах з малим об'ємом упорскування (до 63 см³/цикл).

Для часткового або повного усунення цих недоліків механізм упорскування поршневої конструкції може бути доповнений пристроєм для попередньої ступінчастої черв'ячної пластикації матеріалу, Рис. 0.2. Такий пристрій дозволяє здійснювати ретельнішу гомогенізацію розплаву.

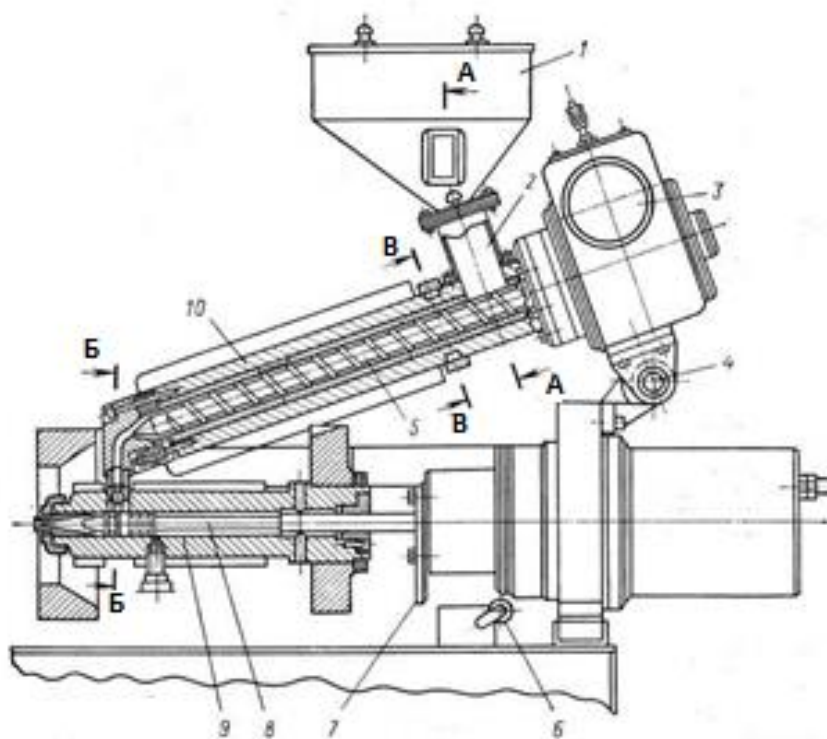


Рис. 0.2. Механізм ступінчастої пластикації та упорскування:

- 1 – бункер; 2 – патрубок; 3 – гідродвигун з редуктором; 4 – кронштейн-шарнір;
5 – черв'як; 6 – кінцевий вимикач; 7 – кулачок; 8 – поршень; 9 – камера;
10 – циліндр; 11 – гвинт.

Гранульований матеріал з бункера 1 через регульований заслінкою отвір у завантажувальному патрубку 2 потрапляє на черв'як, що обертається, 5 і

просувається вздовж циліндра 10. При цьому матеріал розігрівається, переміщується і в розплавленому стані накопичується в камері 9 перед поршнем 8, який під тиском розплаву відходить назад. Набір дози матеріалу припиняється після натиску кулачка 7 на кінцевий вимикач 6. обертовий рух червяка зупиняється. Черв'яковий пластикатор кріпиться на кронштейні-шарнірі 4 до механізму упорскування і гвинтами 11 – до камери 9.

Найбільш сучасною та раціональною є схема черв'ячно-поршневої пластикації в одну лінію, що забезпечує високу точність дозування та високу продуктивність, простоту конструкції та відсутність місць застою матеріалу, Рис.0.3. Матеріал у черв'ячних пластикаторах цієї конструкції знаходиться в безперервному русі і тому безперервно гомогенізується. Прогрів матеріалу здійснюється не тільки за рахунок теплопередачі від нагрітих стінок циліндра, а й за рахунок дисипативних тепловиділень при терті матеріалу та його деформуванні.

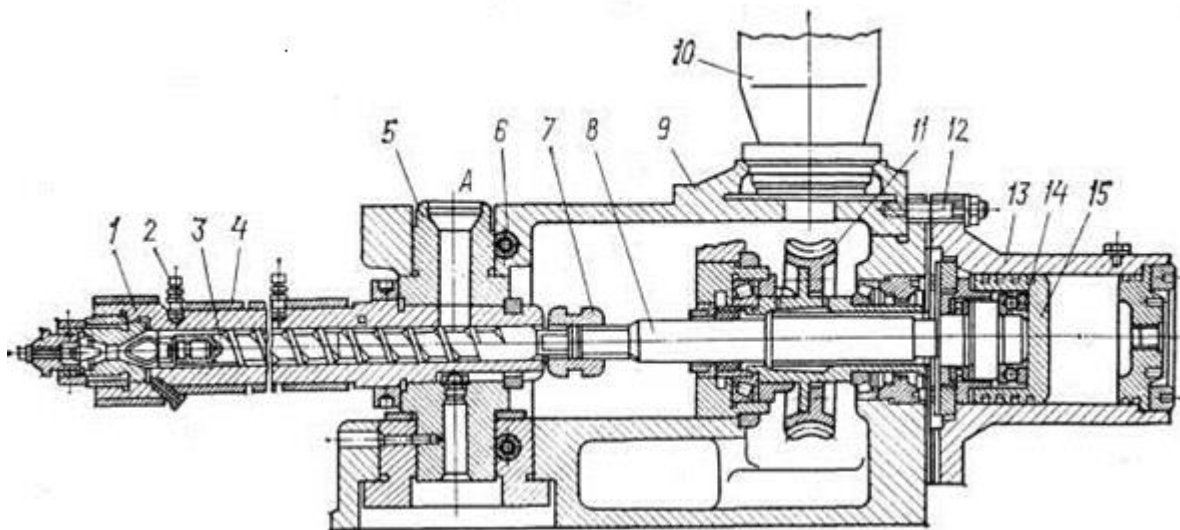


Рис.0.3. Механізми черв'ячної пластикації та упорскування, розташовані в одну лінію:

- 1 – пластикаційний циліндр; 2 – термopapa; 3 – черв'як; 4 – електронагрівач;
- 5 – поворотна цапфа; 6-затискач; 7 – муфта; 8 – вал; 9 – корпус механізму упорскування; 10 – гідродвигун обертання черв'яка; 11 – черв'ячна передача;
- 12 – шпилька; 13 – гідроциліндр приводу осьового переміщення черв'яка;
- 14 – опірний підшипник; 15 – поршень

При розташуванні механізмів пластикації та впорскування в одну лінію (Рис.0.3) черв'як 3 виконує дві функції: в наслідок обертового руху він пластикує та накопичує необхідну дозу розплаву перед соплом та в заданий проміжок часу

впорскує розплав у форму внаслідок вісьового переміщення у напрямку сопла поршнем 15 гідроциліндра 13. Пластикаційний циліндр 1 укріплений на корпусі 9 механізму упорскування за допомогою поворотної цапфи 5, яка в робочому стані фіксується затискачем 6, обертання черв'яка 3 здійснюється від гідродвигуна 10 через черв'ячну передачу 11, вал 8 і муфту 7. Осьові навантаження при роботі черв'яка сприймаються опірним підшипником 14, встановленим в поршні 15 гідроциліндра 13. Пластикаційний циліндр 1 обігрівается електронагрівачами 4; температура розплаву контролюється датчиками термопар 2 з'єднаними з терморегуляторами. Шпильки 12 кріплять гідроциліндр 13 до корпусу 9 механізму впорскування.

Гранульований матеріал проходить через завантажувальний отвір А у поворотній цапфі 5 в зону завантаження черв'ячного пластикатора і далі, просуваючись черв'яком при його обертанні, перетворюється на розплав, гомогенізується та накопичується перед соплом, а черв'як під тиском, що виникає в дозі матеріалу, відходить вправо. Після набору заданої дози полімеру відбувається подача рідини з гідросистеми машини у поршневу порожнину гідроциліндра 13 і поршень 15 пересувається вліво, передаючи осьове переміщення черв'яку 5, який впорскує дозу розплаву в порожнину форми.

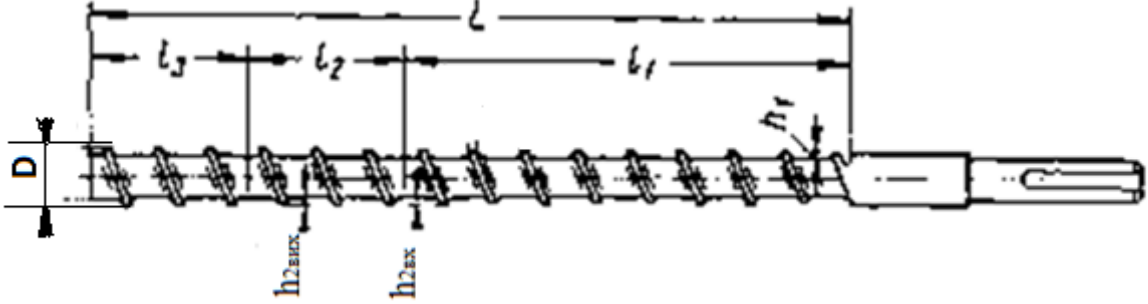
З метою поліпшення процесу нагріву та гомогенізації розплаву полімерного матеріалу черв'ячний пластикатор може бути оснащений двома черв'яками аналогічно двочерв'ячному екструдеру.

3.2. Конструктивні групи черв'яків

В залежності від властивості перероблювальних матеріалів, їх термостабільності по геометрії черв'яки поділяється на чотири групи. В Таблиця 0.1. наведенні базові параметри черв'яків I–IV груп, що застосовуються для переробки різних типів полімерних матеріалів. Черв'яки I групи використовуються для переробки полістиролу, поліолефінів та ін. Черв'яки II групи використовуються для переробки матеріалів з вираженою кристалічною структурою (поліаміди та ін.). Черв'яки III групи використовують для переробки непластифікованого полівінілхлориду, а шнеки IV групи – для переробки реактопластів.

Таблиця 0.1

Параметри черв'яків, що застосовуються для переробки різних полімерних матеріалів
(значення параметрів виражені через зовнішній діаметр D черв'яка)



Група черв'яка	Схема черв'яка (по глибині нарізки)	Довжина черв'ячної нарізки L	Ступінь стиснення	Розміри зони завантаження		Розміри зони стиснення			Розміри зони дозування	
				l_1	h_1	l_2	h_{2ex}	$h_{2вух}$	l_3	h_2
I		$(11 \div 15)D$	2-3	$(4 \div 6)D$	$(0,11 \div 0,18)D$	$(4 \div 5)D$	$(0,11 \div 0,18)D$	$(0,04 \div 0,09)D$	$(2 \div 4)D$	$(0,04 \div 0,09)D$
II		$(15 \div 18)D$	1,5-2,0	$(4 \div 5)D$	$(0,11 \div 0,13)D$	$(11 \div 13)D$	$(0,11 \div 0,12)D$	$(0,05 \div 0,08)D$	-	-
III		$(13 \div 18)D$	2,0-2,5	$(7,5 \div 11,5)D$	$(0,11 \div 0,13)D$	$2,5D$	$(0,11 \div 0,13)D$	$(0,04 \div 0,06)D$	$(3 \div 4)D$	$(0,04 \div 0,06)D$
IV		$(12 \div 16)D$	0,8-1,0	-	$(0,10 \div 0,13)D$	-	-	-	-	$(0,10 \div 0,16)D$

У Таблиця 0.2. значення параметрів черв'яків різних діаметрів для переробки термопластів (позначення в таблиці аналогічні наведеним в Таблиця 0.1).

Таблиця 0.2

Параметри черв'яків різних діаметрів

Параметри	Значення параметрів при діаметрі черв'яка в мм								
	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Відношення розрахункового обсягу виливки до дійсного	1,15-1,2	1,2-1,22	1,22-1,24	1,23-1,25	1,24-1,26	1,25-1,26	1,25-1,26	1,26-1,28	1,28-1,3
Відношення ходу черв'яка до діаметру $\frac{H}{D}$	1,5-2	2,2-2,7	2,3-2,7	2,5-3,0	2,5-3,2	2,8-3,2	3-3,5	3-3,5	3,1-3,5
Відношення кроку черв'яка до діаметру $\frac{t}{D}$	0,8-1 *								
Відношення глибини каналу черв'яка у завантажувальній зоні до діаметру $\frac{h}{D}$	0,13-0,18	0,13-0,18	0,13-0,16	0,128-0,15	0,125-0,14	0,12-0,13	0,12-0,125	0,115-0,125	0,11-0,12
Відношення ширини витка ξ черв'яка до діаметру $\frac{b}{D}$	0,08-0,125 **								
Радіальний зазор між витками черв'яка та циліндром	$(0,002-4-0,003) D^{**}$								

* Великі значення – для великих співвідношень $\frac{L}{D}$

** Великі значення – для малих діаметрів D

Наведенні дані базових геометричних параметрів черв'яків різних полімерних матеріалів можуть бути використані при розробці проектів їх конструктивного оформлення.

3.3. Конструкції клапанних пристроїв і сопел

Механізми черв'ячної пластифікації та упорскування оснащуються клапанними пристроями і соплами. В залежності від їх конструкції та типу перероблюваних матеріалів червяки також оснащуються наконечниками відповідних конструкцій, Рис. 0.4.

Для вибору конструкції наконечників черв'яків і сопел нагрівального циліндра при роботі з матеріалами різної в'язкості та термостабільності, а також з черв'яками різних конструктивних типів можна керуватися такими рекомендаціями. Червяки групи I виготовляють з наконечником оснащеним зворотнім клапаном (Рис. 0.4, а), а пластикаційні циліндри мають сопла конструкцій, зображених на Рис. 0.4, б).

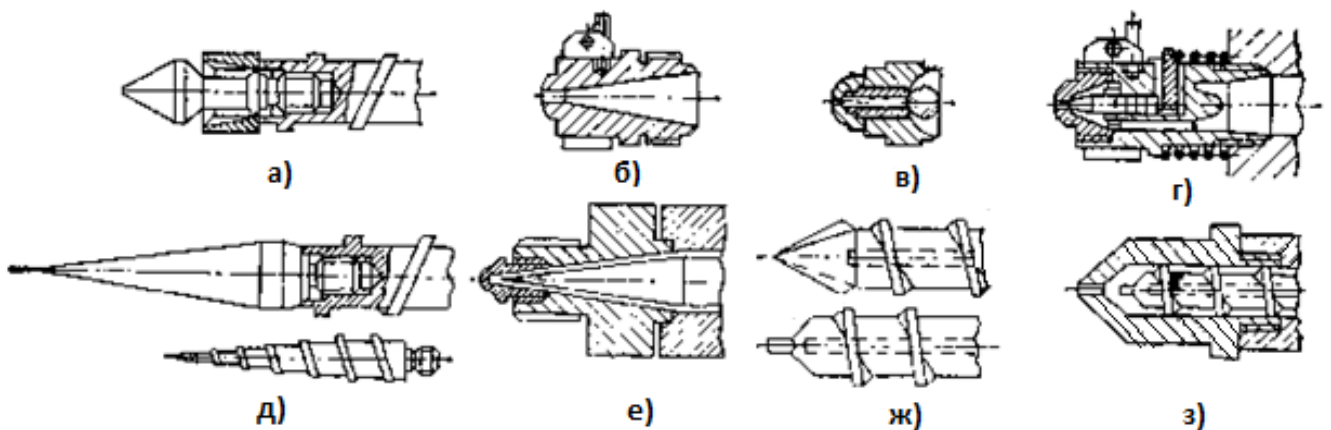


Рис. 0.4. Наконечники черв'яків та сопла циліндрів пластифікації та упорскування.

Червяки групи II мають той же наконечник, що й червяки групи I, але сопло з голчастим клапаном (Рис. 0.4, г). Червяки групи III оснащуються конічним наконечником (Рис. 0.4, д) та соплом відкритого типу (Рис. 0.4, е). Для черв'яків групи IV може бути рекомендований наконечник із ножовими лопатями (Рис. 0.4, ж) та сопло відкритого типу (Рис. 0.4, з).

У Таблиця 0.3 представлені також конструкції наконечників черв'яків та

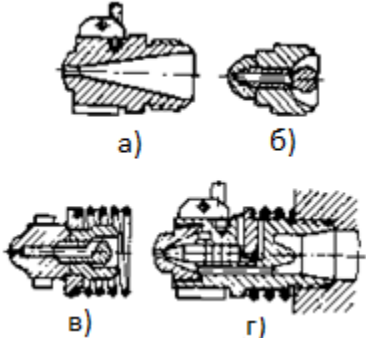
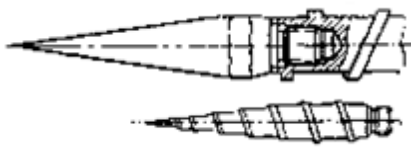
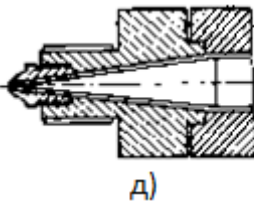
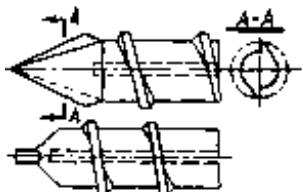
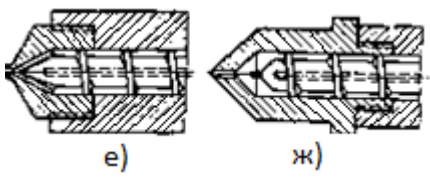
сопел для різних груп черв'яків. Для переробки більшості матеріалів на черв'яках I та II груп застосовують наконечники зі зворотним кільцевим клапаном, а сопла відкритого типу (а) або самозакриваючі зі штоком, що ковзає (б). Сопла, що самозакриваються, відкриваються при дотику сопла з литниковою втулкою форми. Закриваються сопла під дією тиску, що виникає у передній частині циліндра при пластикації матеріалу (б), або під дією пружини (в).

При литті малов'язких матеріалів використовують сопла, що замикаються, відкриття яких здійснюється при досягненні заданого тиску впорскування (гольчасті сопла) (г).

При переробці непластифікованого полівінілхлориду на черв'яках III групи використовують гладкі конічні наконечники (або конічні наконечники з нарізкою) профіль яких відповідає конфігурації внутрішньої порожнини сопла або передньої частини циліндра (д). У цьому випадку застосовують сопло відкритого типу.

Таблиця 0.3

Конструкції наконечників та сопел для різних груп черв'яків

Група	Конструкції наконечників	Конструкція сопла
III		
III		
IV		

Для переробки реактопластів застосовуються конічні наконечники (шнек IV групи) з кутом не менше 40–60°. Кінець шнека може бути гладким і може мати

ножові лопаті, призначені для очищення внутрішньої порожнини сопла. При лиття реактопластів використовують сопло відкритого типу (е), яке також виконане за одне ціле зі знімною передньою частиною циліндра (ж). У таких конструкціях легко очищати затверділий матеріал із шнека, відкривши перші два-три канали, в яких розміщується порція підготовленого до упорскування матеріалу.

При використанні черв'яка як поршня для впорскування розплаву в більшості випадків застосовують спеціальні клапанні пристрої, що запобігають зворотній течії розплаву (зворотні клапани) вздовж витків черв'яка і втрати тиску при впорскуванні. Конструкції різних клапанних пристроїв представлені на Рис. 0.5.

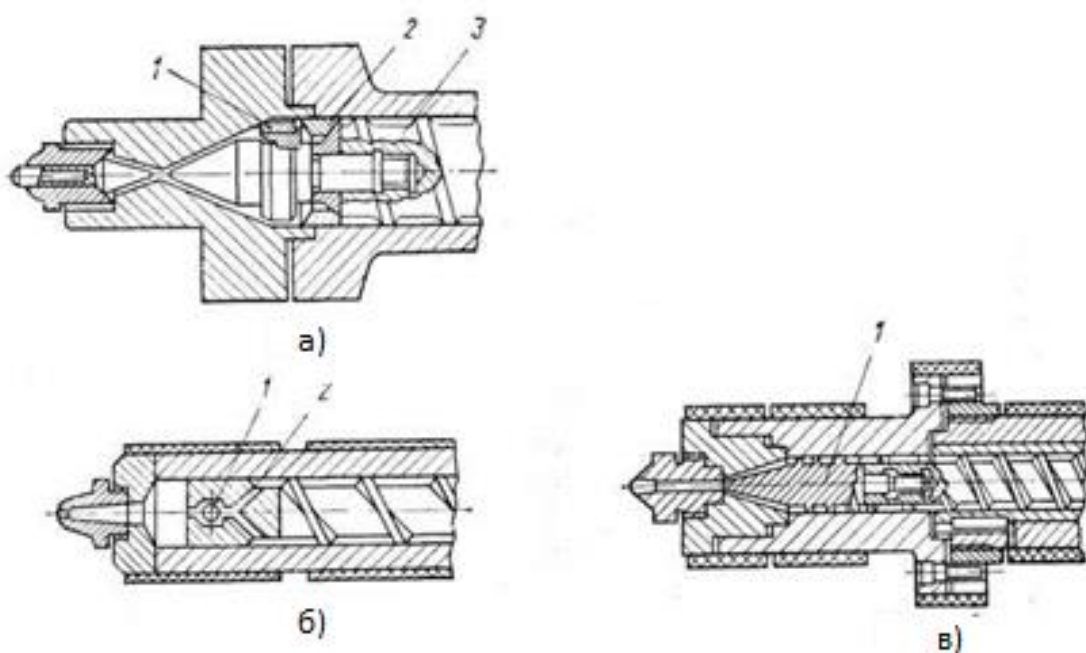


Рис. 0.5. Конструкції клапанних пристроїв

Пристрій показаний на Рис. 0.5,а добре зарекомендував себе при роботі з низьков'язкими розплавами термопластів. Дана конструкція також відображена на Рис. 0.5. Матеріал, проходячи по черв'яку 3 при його обертанні, віджимає клапан 2 вліво і проходить в соплову частину через отвори у наконечнику 1 або зазор між наконечником та внутрішньою поверхнею корпусу. При упорскуванні червяк рухається вліво і набігає на клапан 2 перекриваючи канал гвинтової нарізки черв'яка для зворотного потоку розплаву.

Клапанний пристрій кулькового типу показаний на Рис. 0.5, б складається з кульки 1, що виконує роль зворотнього клапана. У момент упорскування під тиском дози розплаву кулька 1 переміщується вправо перекриваючи отвори 2 і

запобігає зворотній течії полімеру.

У деяких випадках для переробки матеріалів середньої в'язкості можуть застосовуватись спеціальні наконечники 1 для черв'яків (Рис. 0.5) зі зменшеним удвічі кроком гвинтової нарізки. Такий пристрій запобігає зворотному потоку через значний гідравлічний опір гвинтового каналу на наконечнику (торпеді) черв'яка з малим кроком нарізки.

У машинах для переробки високов'язких полімерів, а також матеріалів, що отверджаються при нагріванні (реактопластів, гумових сумішей) клапанні пристрої не застосовуються, так як вони ускладнюють очищення каналу нарізки черв'яка і соплової частини від залишків матеріалу.

Сопла, що застосовуються в сучасних механізмах пластикації та впорскування, мають конструктивні особливості в залежності від типу матеріалу, що переробляється, Рис. 0.6.

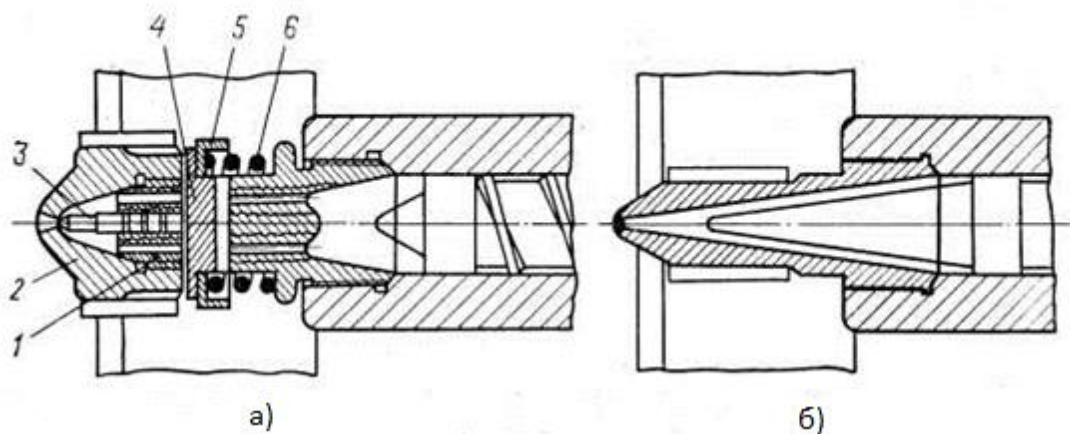


Рис. 0.6. Конструкція сопел литєвих машин для переробки низьков'язких (а); та високов'язких (б) матеріалів:

1 – втулка; 2 – гайка; 3 – клапан; 4 – планка; 5 – фланець; 6 – пружина.

Для низьков'язких матеріалів призначене сопло, показане на Рис. 0.6,а. При відсутності тиску в циліндрі вихідний отвір під дією пружини 6 закрито клапаном 3. Під час упорскування розплав через канали у втулці 1 надходить у порожнину гайки 2 і тисне на клапан 3. Клапан, переміщуючись праворуч, стискає через планку 4 і фланець 5 пружину 6 відкриваючи вхідний отвір у гайці 2. Після впорскування тиск у порожнині гайки 2 падає, і пружина 6 повертає клапан 3 у вихідне положення, запобігаючи витіканню розплаву із сопла.

Приклад конструкції сопла для високов'язких матеріалів, що не потребують встановлення будь-яких клапанних пристроїв, представлена на Рис. 0.6 б.

3.4. Типи приводу обертового руху та вісьового переміщення черв'яка

У приводах обертання черв'яків механізму пластикації та упорскування використовуються електричні та гідравлічні двигуни. Привід повинен забезпечувати необхідну потужність на черв'яку пластикуючого пристрою та регулювання в певних межах частоти його обертання. Діапазон регулювання частоти обертання черв'яка зазвичай становить від $N_{min} = 10 \div 15$ об/хв до $N_{max} = 150 \div 180$ об/хв. У черв'ячних пластикаторах застосовується ступінчасте, безступінчасте або комбіноване регулювання частоти обертання черв'яка.

Ступінчасте регулювання може використовуватися в литтєвих машинах спеціального призначення, розрахованих на застосування певних видів сировинних матеріалів, і в разі необхідності зміни технологічних параметрів процесу пластикації в неширокому інтервалі. Ступінчасте регулювання найчастіше проводиться електромеханічним шляхом при використанні асинхронних електродвигунів змінного струму, що передають обертовий момент на черв'як через редуктор зі змінними зубчастими колесами або ступінчасту коробку передач.

У приводі механізму пластикації можуть бути використані електродвигуни постійного струму, оснащені схемами регулювання та стабілізації частоти обертання, а також колекторні двигуни змінного струму з безступінчастою зміною числа обертів.

На Рис.0.7 представлена конструкція приводу механізму пластикації та упорскування, що має вузол пластикації зі ступінчастим регулюванням частоти обертання черв'яка від електродвигуна 1 через редуктор. Каретка 2 переміщується вздовж шліцевого валу 9, тому черв'як може обертатися в будь-якому положенні. Шестерня 3 встановлена на валу-втулці, в яку входить шліцевий хвостовик черв'яка 4. У розточенні поршня 8 гідроциліндра 6 встановлений вал 7, пов'язаний зубчастою муфтою 5 зі шліцевим кінцем черв'яка 4. Осьові навантаження, що виникають при пластикації і впорскуванні розплаву, сприймаються опірним підшипником 10.

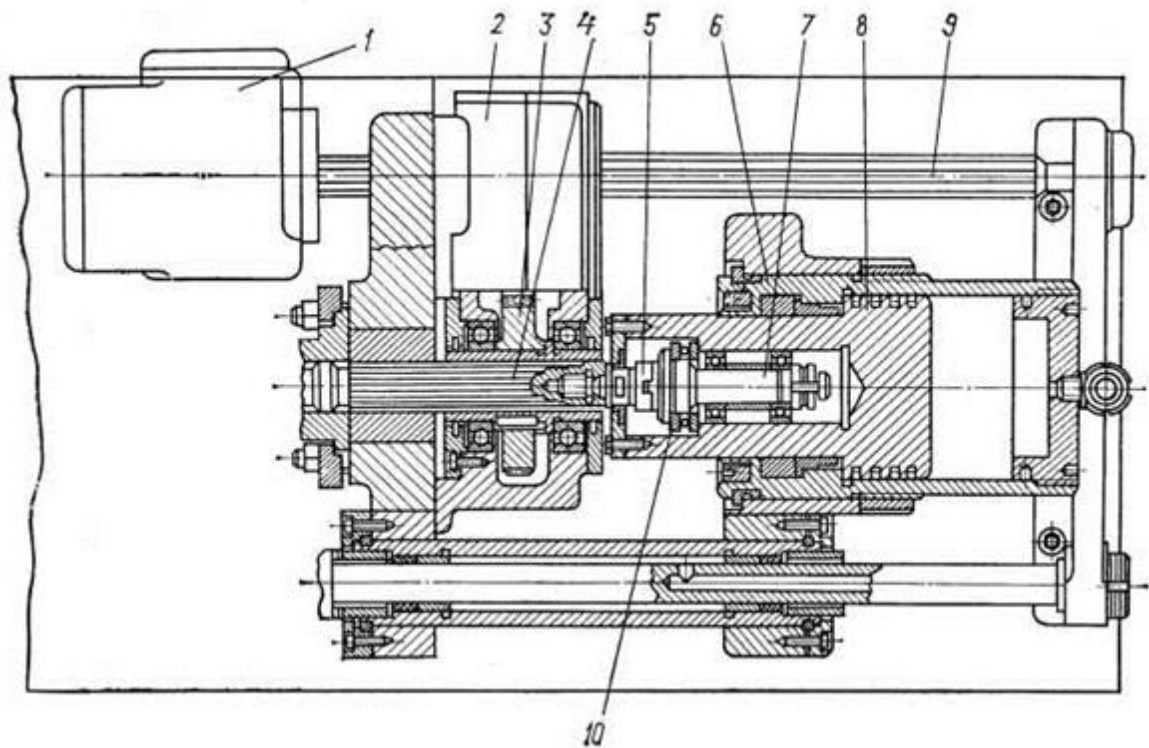


Рис.0.7. Привід механізму пластикації та упорскування зі ступінчастим регулюванням частоти обертання черв'яка:

1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – зубчасті колеса; 4 – шліцевий хвостовик черв'яка; 5 – зубчаста муфта; 6 – гідроциліндр осьового переміщення черв'яка; 7 – вал; 8 – поршень осьового переміщення черв'яка; 9 – шліцевий вал; 10 – опірний підшипник.

Конструкція приводу електромеханічного типу вимагає оснащення запобіжними пристроями, що захищають редуктор і електродвигун від перевантажень.

Більшість литтєвих машин має безступінчате регулювання частоти обертання черв'яка, необхідне з технічної та економічної точок зору для отримання оптимальної продуктивності при переробці різних видів півмірів. Плавна зміна частоти обертання черв'яка в широкому діапазоні без зміни обертового моменту досягається шляхом застосування гідроприводу.

Гідродвигун, конструкція якого показана на рис. 3.8, складається з наступних основних деталей: ротора 1 з поршнями 2, барабана 3 зі штовхачами 4, валу 7, корпусу 5, радіально-упорного підшипника 6, корпусу 9 і опорно-розподільного диска 10 з каналами для підведення і відведення гідравлічної рідини.

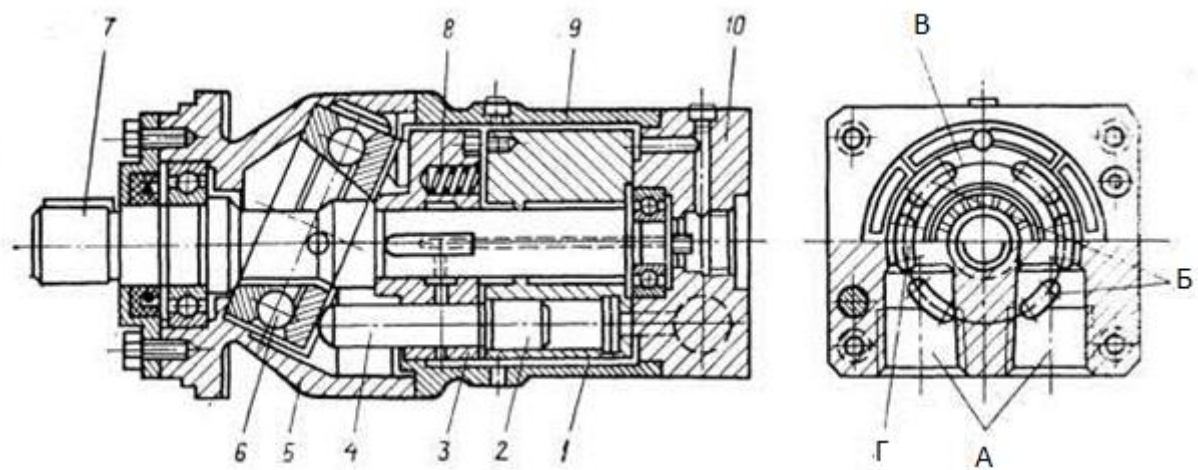


Рис.0.8. Гідродвигун типу МГ-153А

- 1 – ротор; 2 – поршень; 3 – барабан; 4 – штовхач; 5, 9 – корпуса;
 6 – радіально-упорний підшипник; 7 – вал; 8 – пружина;
 10 – опорно-розподільний диск.

У барабані 3 розташовані пружини 8, які притискають ротор до диска 10. Пази Б, розділені перемичками і Г, служать для підведення до ротора масла через вікна в торці ротора. При дії масла на поршні 2, розташовані проти пазів, штовхачі 4 висуваються і притискаються до підшипника 6. Виникають при цьому тангенціальні сили обертають штовхачі разом з барабаном 3, валом 7 і ротором 1. Одночасно з цим штовхачі, що знаходяться проти кільцевого паза, зливом, виштовхують олію в цей паз. Даний гідродвигун працює при робочому тиску до 5 МПа, розвиваючи при цьому частоту обертання, що дорівнює 1800 об/хв.

При проектуванні механізму пластикації і впорскування гідродвигун підбирають за необхідним обертовим моментом на валу двигуна $M_{\text{КД}}$ (Н·м)

$$M_{\text{КД}} = M_{\text{КЧ}} / (i\eta) \quad (0.1)$$

де $M_{\text{КЧ}}$ – обертовий момент на валу черв'яка, Н·м;

i – передатне відношення редуктора;

η – к.к.д. передачі ($\eta = 0,95$).

Потужність насоса $W_{\text{Н}}$ (Дж/с), що живить гідродвигун, визначається за формулою:

$$W_{\text{Н}} = p_{\text{Г}} Q_{\text{Н}} / \eta \quad (0.2)$$

де $p_{\text{Г}}$ – тиск у гідросистемі, МПа;

$Q_{\text{Н}}$ – продуктивність насоса, м³/с;

η – повний к.к.д., рівний $\eta = \eta_{\text{Д}} \eta_{\text{Н}}$ (тут $\eta_{\text{Д}}$ і $\eta_{\text{Н}}$ – к.к.д. гідро двигуна та гідронасоса відповідно).

Схема приводу черв'яка з використанням гідродвигуна та черв'ячного редуктора була представлена на рис. 3.3. Гідродвигун 10 через черв'як редуктора (на кресленні не показаний) та черв'ячне колесо 11 передає обертання шліцевому валу 8, з'єднаному з черв'яком муфтою 7. Ця конструкція відноситься до типу пристроїв з нерухомим приводом обертання в процесі набору дози та впорскування. Пласткуючі пристрої з нерухомим приводом отримали поширення під час створення конструкцій машин малої та середньої потужності. До недоліків такої конструкції слід віднести виникнення великих зусиль тертя на бічних поверхнях шліців в процесі відходу шліцевого валу вправо при пластикації.

Зазначені втрати потужності на тертя можуть бути усунені або зменшені застосуванням конструкцій із рухомим приводом (Рис. 0.9), які використовуються в машинах великої потужності. Черв'як 7 отримує обертання від електродвигуна 1 через електромагнітну муфту 2 та редуктор 3. Редуктор може переміщуватися по колонах 4 разом з черв'яком 7: при наборі дози в циліндрі 6 – вправо, при впорскуванні – вліво. Гідроциліндр 5 закріплений нерухомо на станині машини.

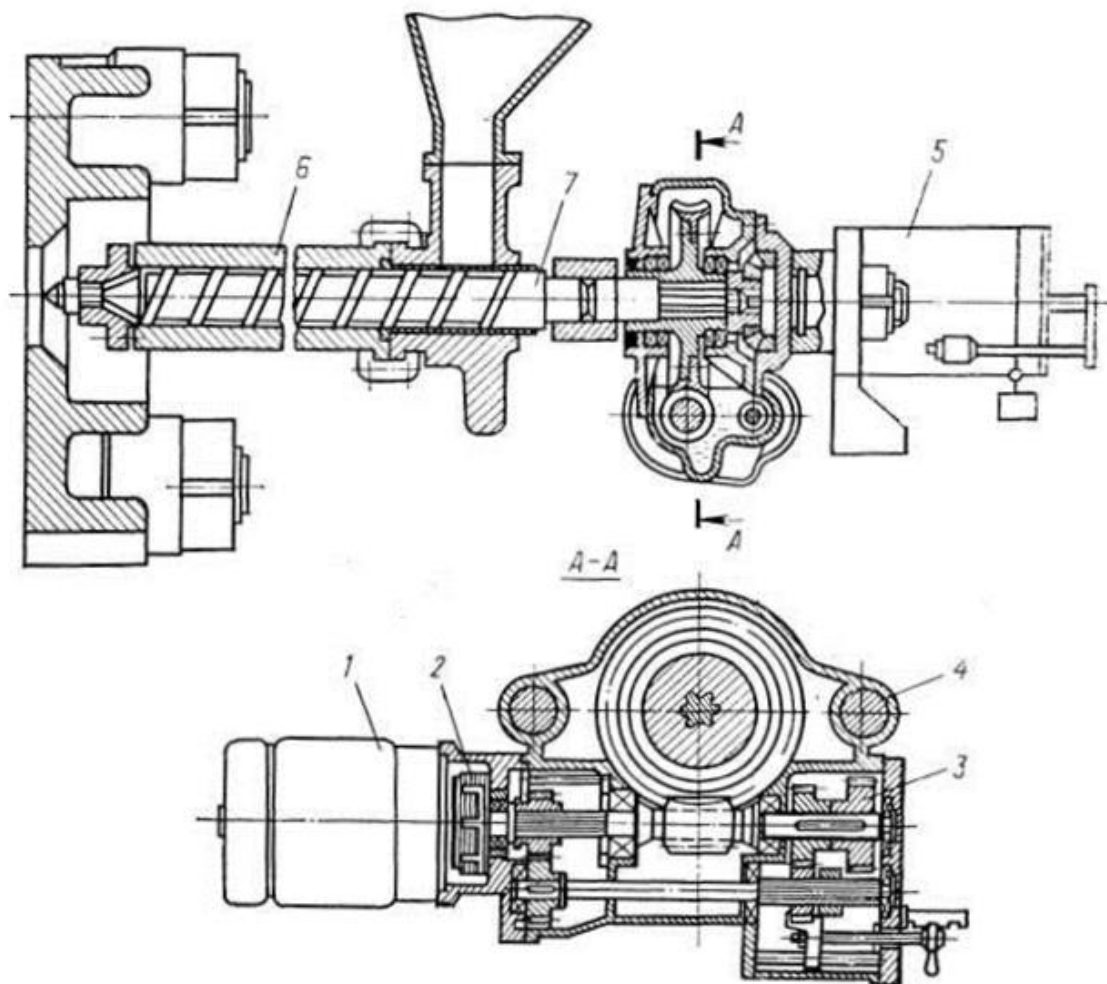


Рис. 0.9. Черв'ячний механізм пластикації та упорскування з рухомим приводом:

- 1 – електродвигун; 2- електромагнітна муфта; 3- редуктор; 4 – колона;
5 – гідроциліндр; 6 – матеріальний циліндр; 7 – черв'як.

У деяких конструкціях (Рис. 0.9 а) гідродвигун 2 приводу обертання встановлюють безпосередньо на вісі черв'яка 1, що значною мірою зменшує габаритні розміри механізму. Конструкція представлена на Рис. 0.9 б забезпечує збільшення обертового моменту, що підводиться від гідродвигуна 4 до черв'яка 1 редуктором 3 зі змінними шестернями 2.

Привід вісьового переміщення червяка буває, зазвичай гідравлічного типу. Механізм пластикації та впорскування (див. Рис.0.7) складається з гідроциліндра 6 в середині якого переміщується під тиском робочої рідини гідроприводу поршень 8. У проточці поршня встановлені опори 10 проміжного валу 7. Осьове переміщення черв'яка 4 з поршнем 8 вправо щодо корпусу гідроциліндра 6 відбувається під впливом тиску дози розплаву при її наборі перед червяком.

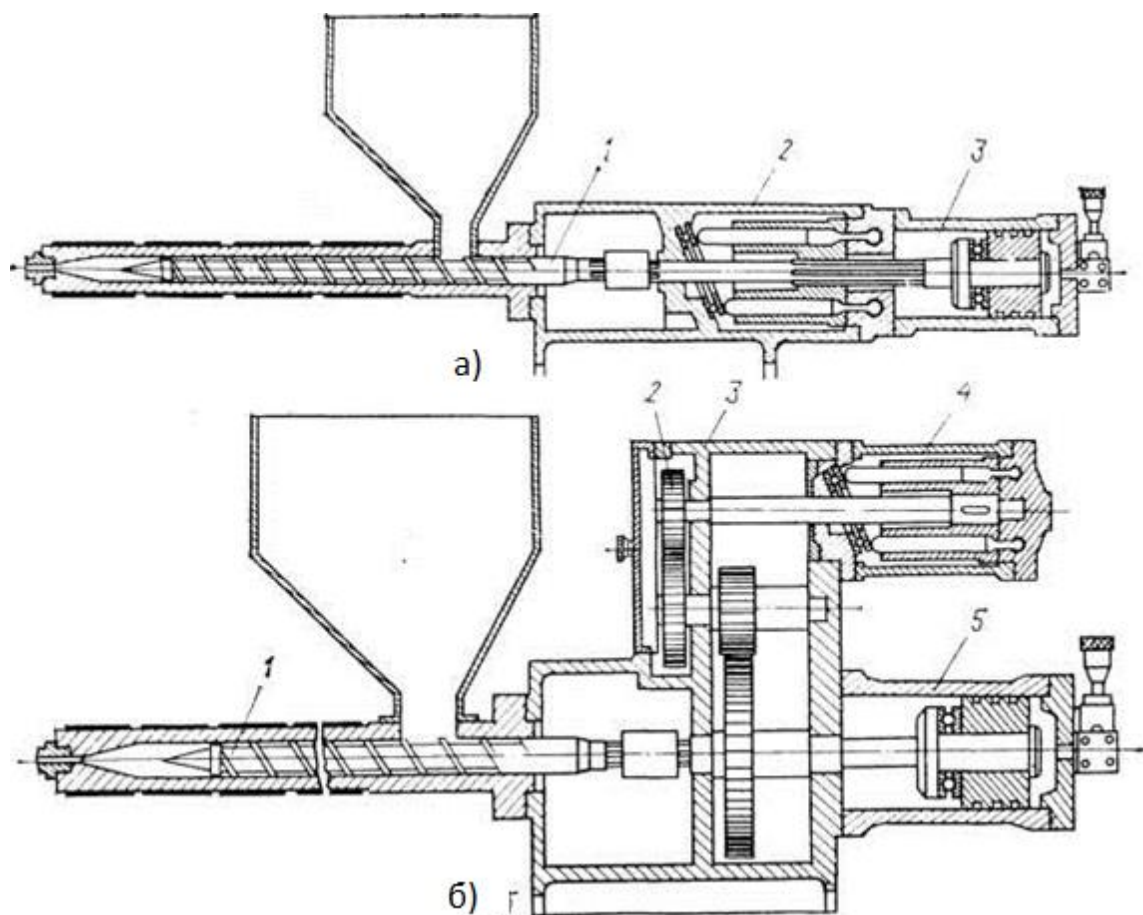


Рис.0.10. Схеми приводів черв'яка з використанням гідродвигуна приводу для обертання:

- а* – встановленого безпосередньо на вісі черв'яка (1 – черв'як; 2 – гідродвигун; 3 – гідроциліндр осьового переміщення черв'яка);
б – з редуктором (1 – черв'як; 2 – змінні шестерні; 3 – редуктор; 4 – гідродвигун; 5 – гідроциліндр осьового переміщення черв'яка).

Механізм пластикації та упорскування часто виконується пересувним для можливості його переміщення в технологічному циклі, а також для зручності зміни сопла та очищення литникової втулки.

У конструкції, показаній на Рис. 0.11 весь механізм переміщається по колонах 1 гідроциліндром 2, який закріплений нерухомо на станині.

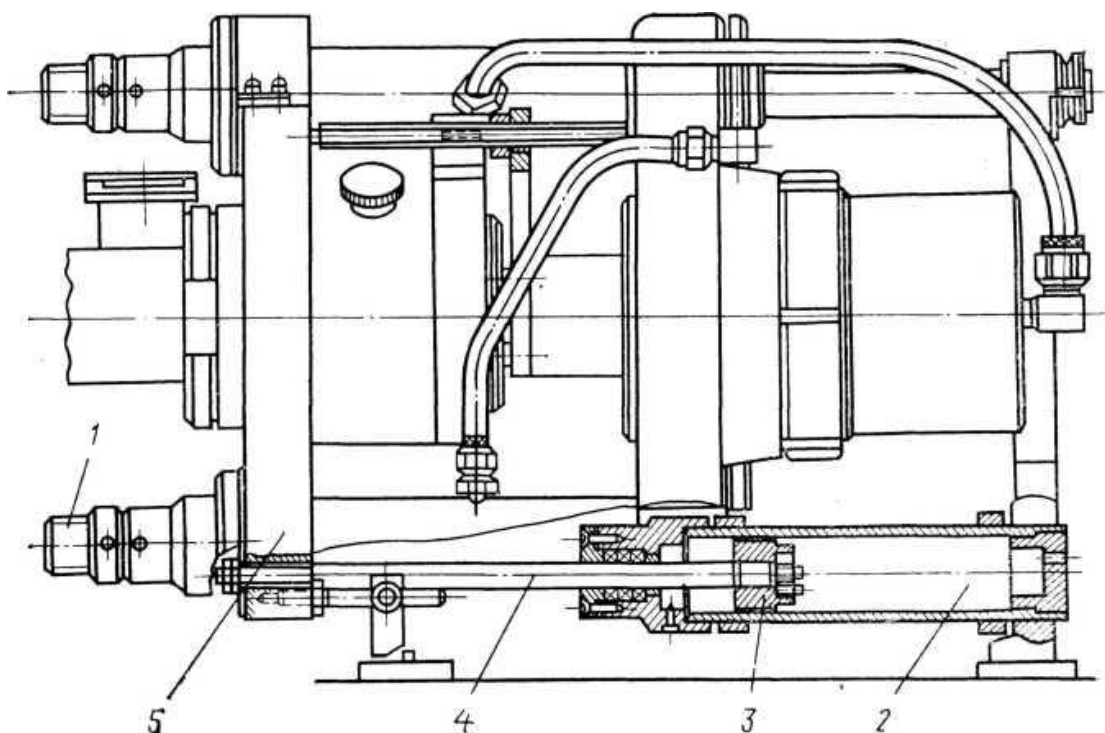


Рис. 0.11. Гідропривід переміщення механізму пластикації та упорскування:

1 – колони; 2 – гідроциліндр; 3 – поршень; 4 – шток; 5 – рухлива плита.

Шток 4 поршня 3 гідроциліндра 2 прикріплений до рухомої плити 5. За допомогою гідроциліндра 2 можна підводити весь механізм до литникової втулки і здійснювати відрив литника після закінчення витримки на затвердіння полімеру в соплі.

Конструктивне оформлення приводу механізму пластикації та впростування і способу його переміщення відносно механізму змикання форми вибирається в залежності від способу лиття та типорозмірів машинни, тощо.

3.5. Розрахунок механізмів пластикації і впорскування плунжерного типу

Розрахунок механізмів пластикації і впорскування поршневого типу включає визначення внутрішнього D_B діаметрів пластикаційного циліндра, діаметра плунжера d_n і ходу l_{Π} поршня впорскування, конструктивних розмірів гідроциліндра впорскування.

Розміри пластикаційного циліндра повинні забезпечити підігрів до потрібної температури даної кількості матеріалу за заданої тривалості циклу лиття $t_{\text{ц}}$.

Час перебування матеріалу в пластикаційному циліндрі t_{np} може бути оцінений як

$$t_{np} = \frac{v_{\text{ц}}}{v_{\text{вир}}} - t_{\text{ц}} < t_{\text{Т}} \quad (0.3)$$

де $v_{\text{ц}}$ – об'єм порожнини пластикаційного циліндра;

$v_{\text{вир}}$ – обсяг виливка (виробу);

$t_{\text{ц}}$ – час циклу;

$t_{\text{Т}}$ – час термостабільності полімеру при температурі циліндра $T_{\text{ц}}$.

Відношення $k_{\text{и}} = v_{\text{ц}}/v_{\text{вир}}$ для термопластичних матеріалів вибирається рівним 5–8.

Геометричні розміри пластикаційного циліндра D_B і l (Рис. 0.12) визначаються шляхом вирішення рівняння теплопровідності в умовах двостороннього нагріву нескінченної плоскої пластини завтовшки 2δ . Позначимо температуру матеріалу на вході в пластикатор T_0 , температуру стінки циліндра $T_{\text{ц}}$ і температуру максимального нагрівання матеріалу $T_{\text{м}}$. Відношення E фактичного розігріву матеріалу до теоретично можливого називається термічним к.к.д. пластикатора і дорівнює

$$E = (T_{\text{м}} - T_0)/(T_{\text{ц}} - T_0) \quad (0.4)$$

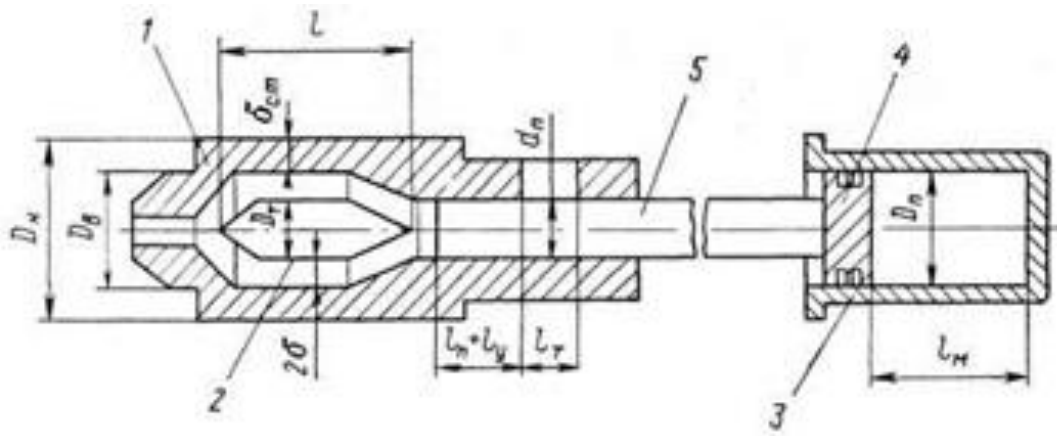


Рис. 0.12. Схема до розрахунку параметрів механізму пластикації та впорскування поршневого типу:

1 – пластикаційний циліндр; 2 – торпеда; 3 – гідроциліндр упорскування;
4 – поршень гідроциліндра; 5 – поршень інжекції.

Для литтєвих машин оптимальної продуктивності $E = 0,8 \div 0,85$. Задаючись значенням відносної температури θ

$$\theta = 1 - E = (T_{\text{ц}} - T_{\text{М}}) / (T_{\text{ц}} - T_0) = 0,15 \div 0,20$$

визначають значення критерію Фур'є $F_0 = at_{\text{пр}} / \delta_1^2 \approx 1$, за яким знаходять товщину $\delta_1 = 2\delta$ кільцевого шару матеріалу, що прогрівається (м):

$$2\delta = \sqrt{at_{\text{пр}} / F_0}$$

де a – коефіцієнт температуропровідності полімеру, $\text{м}^2/\text{с}$.

Корисне тепло Q , витрачене на прогрів матеріалу, може бути визначене як:

$$Q = c G_{\text{вир}} (\Delta T / t_{\text{ц}}) \quad (0.5)$$

де c – питома теплоємність гранулята, $\text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$; $G_{\text{вир}}$ – маса виробу, кг :

$$(G_{\text{вир}} = v_{\text{вир}} \rho); \quad \Delta T = T_{\text{М}} = T_0, \text{ К}$$

Внутрішні розміри пластикаційного циліндра D_6 та l знаходяться із спільного рішення рівняння (0.7) та рівняння теплопровідності у вигляді:

$$Q = \lambda \pi D_B l \Delta T_{\text{ср}} / (2\delta) \quad (0.6)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності;

$$\Delta T_{\text{ср}} = (\Delta T_{\text{Н}} - \Delta T_{\text{К}}) / \ln(\Delta T_{\text{Н}} - \Delta T_{\text{К}}) \text{ (тут } \Delta T_{\text{Н}} = T_{\text{ц}} - T_0; \Delta T_{\text{К}} = T_{\text{ц}} - T_{\text{М}} \text{)}$$

Формула для розрахунку необхідного внутрішнього діаметра пластикаційного циліндра має вигляд

$$D_B = \frac{8Q\delta^3}{4Q\delta^3 - k_M\lambda\Delta T_{CP}v_{\text{вир}}} \quad (0.7)$$

де

$$k_M = v_{\text{мц}}/v_{\text{вир}} = \pi l(D_B - 2\delta)2\delta/v_{\text{вир}}$$

($v_{\text{мц}}$ – обсяг матеріалу у циліндрі).

Діаметр торпеди D_T визначається як

$$D_T = D_B - 4\delta \quad (0.8)$$

Тоді довжина пластикаційного циліндра l може бути обчислена виходячи з заданого об'єму упорскування

$$l = \frac{k_M v_0}{\pi(D_B^2 - D_T^2)} \quad (0.9)$$

де v_0 – об'єм упорскування.

При проштовхуванні ущільненого грануляту через завантажувальну частину нагрівального циліндра виникають втрати на тертя по його стінці, які різко зростають зі збільшенням довжини пробки грануляту (при відношенні довжини пробки $l_{\text{п}}$ до діаметру плунжера, що впорскує $d_{\text{п}}$ більшому 2—2,2). Ця умова визначає діаметр $d_{\text{п}}$ виходячи, наприклад, з врахування співвідношення необхідного об'єму пробки грануляту полімер до його розплаву:

$$v_{\text{г}} = v_0 \rho / \rho_{\text{г}} \quad (0.10)$$

де v_0 – об'єм упорскування; ρ і $\rho_{\text{г}}$ – щільність розплаву полімеру та насипна щільність грануляту.

З іншого боку:

$$v_{\text{г}} = \pi d_{\text{п}}^2 l_{\text{п}} / 4 \quad (0.11)$$

З урахуванням $k_{\text{п}} = l_{\text{п}}/d_{\text{п}} = 2 \div 2,2$ можна отримати рівняння для розрахунку діаметра поршня інжекції (упорскування):

$$d_{\text{п}} = \sqrt{4v_0 \rho / (\rho_{\text{г}} \pi k_{\text{п}})} \quad (0.12)$$

Повний хід поршня інжекції складається з таких складових:

$$l_M = l_T + l_{\Pi} + l_y \quad (0.13)$$

Складова l_T – це хід поршня при транспортуванні грануляту (твердого полімеру) в передню частину нагрівального циліндра і перекриття завантажувального отвору:

$$l_T = l_1 + h_1$$

де $l_1 = (1 \div 1.5)d_n$ – Довжина завантажувального отвору; $h_1 = 5 \div 7$ мм – хід поршня до і після завантажувального отвору, необхідний для ущільнення полімерної сировини.

Складова l_{Π} – хід поршня при продавлюванні порції розплаву і створенні тиску впорскування; l_{Π} є довжиною пробки розплаву.

Складова l_y – хід поршня при витримці під тиском, що визначається з умови, що виріб, що охолоджується або отверждающееся у формі, зазнає усадку до 15 – 20%, тобто $l_y = (0,15 \div 0,2) l_{\Pi}$.

Розрахунок необхідного діаметра поршня гідроциліндра упорскування D_{Π} може бути проведений виходячи з співвідношення тисків у гідроциліндрі інжекції p_{Γ} та пластикаційному циліндрі p_{Π} :

$$D_{\Pi} = d_{\Pi} \sqrt{p_{\Pi} / p_{\Gamma}} \quad (0.14)$$

Діаметр поршня гідроциліндра округляється до найближчого більшого зі стандртизованого ряду.

Повірочному розрахунку міцності піддається нагрівальний циліндр, що працює як товстостінний посуд під внутрішнім тиском, рівним максимальному тиску лиття p_{Π} .

Різьбове кріплення сопла до нагрівального циліндра і циліндра до плити піддаються перевірочному розрахунку на вигин і зріз під дією осьового навантаження, що дорівнює зусиллю зтягування різьбового з'єднання. Зусилля зтягування різьбового з'єднання приймається зазвичай в 1,3 рази більше за максимальне зусилля впорскування P_B .

Поршень упорскування перевіряють на міцність:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{4P_B}{\pi d_{\Pi}^2} < [\sigma_{\text{ст}}] \quad (0.15)$$

та на стійкість:

$$\sigma_y = \frac{4P_B}{\pi d_{\Pi}^2} < \frac{\sigma_K}{k_{yc}} \quad (0.16)$$

де $[\sigma_{ст}]$ – допустима напруга при стисканні;

σ_K – критичне напруження стійкості, що дорівнює $\sigma_K = \pi^2 E / (\mu_y l_M / i)^2$ (тут E – модуль пружності, $\mu_y l_M / i = \lambda_y$ – гнучкість, $\mu_y = 2$ – числовий коефіцієнт, $i = d_n / 4$); $k_{yc} = 1.8 \div 3$ – коефіцієнт запасу стійкості.

Практично на перевірку на стійкість піддаються поршні при $\lambda_y > 80 \div 100$ або при відношенні $l_M / d_{\Pi} > 10 \div 12$.

При розрахунку геометричних характеристик черв'ячних пластикаторів насамперед слід визначити діаметр черв'яка $D_{\text{ч}}$ за формулою

$$D_{\text{ч}} = \sqrt[3]{4v_0 / (\pi k_{\text{ч}})} \quad (0.17)$$

де $k_{\text{ч}}$ – відношення ходу черв'яка при упорскуванні $l_{\text{ч}}$ до діаметра $D_{\text{ч}}$; ($k_{\text{ч}} = 1.5 \div 3$).

Діаметр черв'яка коригують за нормалізованим рядом і, задаючись значенням $p_{\text{нл}}$ по табл. 1.1, визначають діаметр поршня гідроциліндра D_{Π} :

$$D_{\Pi} = d_{\text{ч}} \sqrt{p_{\text{нл}} / p_{\Gamma}} \quad (0.18)$$

При литті термопластів значення $p_{\text{нл}}$ вибирається в діапазоні від 80 до 132 МПа, при литті реактопластів та гум – від 160 до 180 МПа.

Визначивши значення $D_{\text{ч}}$, можна перейти до вибору інших параметрів черв'яка: його довжини, ступеня стиснення, геометрії каналу нарізки, конструкції наконечника за методикою розрахунку параметрів червячного екструзійного обладнання.

3.5.1. Час циклу лиття та пластикаційна продуктивність.

Тривалість одного циклу процесу лиття під тиском визначається витратами машинного часу на реалізацію певних механічних дій (переміщень) і технологічних операцій

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{м}} + \tau_{\text{т}} \quad (0.19)$$

де $\tau_{\text{м}}$ – машинний час;

$\tau_{\text{т}}$ – технологічний час

Тривалість механічних переміщень

$$\tau_m = \tau_{зм} + \tau_{впр} + \tau_{розм}$$

тут $\tau_{зм}$ – час змикання форми;

$\tau_{впр}$ – час упорскування;

$\tau_{розм}$ – час розмикання форм

Тривалість технологічних операцій (технологічний час)

$$\tau_T = \tau_{впд} + \tau_{ох б/т}$$

де $\tau_{впд}$ – час витримки матеріалу у формі під зовнішнім тиском;

$\tau_{ох б/т}$ – час охолодження матеріалу у формі без тиску.

Тривалість часу охолодження деталі до заданої температури можна підрахувати за формулою

$$\tau_{ох б/т} = 0,84 \frac{\delta^2}{\alpha} \lg \left(0,785 \frac{t_T - t_\phi}{t_M - t_\phi} \right) c, \quad (0.20)$$

де α – коефіцієнт теплопровідності в $m^2/год$;

δ – товщина деталі в $см$;

t_ϕ – температура форми в $^\circ C$;

t_M – температура впорскуваного матеріалу в $^\circ C$.

Тривалість технологічного часу циклу залежить від теплофізичних властивостей матеріалу, товщини виробу, режиму переробки. Тому продуктивність машини є величиною змінною при виготовленні виробів, наприклад, однієї й тієї ж маси але різної товщини.

Тривалість циклу

$$\tau_T = \tau_{зм} + \tau_{впр} + \tau_{впт} + \tau_{ох б/т} + \tau_{розм} \quad (0.21)$$

Позначивши $m_1 = \frac{\tau_{впт}}{\tau_T}$ та $m_2 = \frac{\tau_{зм} + \tau_{розм}}{\tau_T}$, а також враховуючи, що $\tau_{ох б/т} =$

$\tau_T - \tau_{впт}$:

Час який може бути відведений на пластикацію необхідної порції полімеру для формування виробу

$$\tau_{пл} = \tau_T - \tau_{впт} + \tau_{зм} + \tau_{розм} = \tau_T - m_1 \tau_T + m_2 \tau_T = \tau_T (1 - m_1 + m_2) \quad (0.22)$$

Час охолодження виробу у формі без тиску

$$\tau_{ох б/т} = \tau_T (1 - m_1) \quad (0.23)$$

Пластикаційну продуктивність Q машини слід підраховувати з урахуванням

підготовки потрібної кількості матеріалу для формування виробу за відведений на пластикацію час $\tau_{\text{пл}}$:

$$Q = \frac{3600V \cdot \gamma}{\tau_{\text{пл}}} \text{ кг/г} \quad (0.24)$$

де V - обсяг виливки в м^3 ;

γ – питома вага в $\text{кг}\cdot\text{м}^3$,

$\tau_{\text{пл}}$ - час пластифікації с

або

$$Q = 3600 \frac{V \cdot \gamma}{\tau_{\text{T}}(1 - m_1 + m_2)} \text{ кг/г}$$

Результати розрахунку пластикаційної продуктивності (за полістиролом) зведені в Таблиця 0.4.

Таблиця 0.4

Дані розрахунку пластикаційної продуктивності

Параметри та коефіцієнти	Значення параметрів і коефіцієнтів при обсязі виливки см^3						
	16	32	63	125	250	500	1000
m_1	0,3-	0,3-	0,3-	0,3-	0,3-	0,3	0,3
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4		
m_2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,11
τ_{T} у сек	21	27,5	27,5	30	40	55	80
Q кг/год.....	5	7	14	25	33	43	60
Q^1 кг/год зарубіжних машин	3,5-7	6-8	10-20	18-25	30-40	40-50	60-80
¹ Дані наведено для порівняння							

Під продуктивністю литтєвих машин розуміють кількість матеріалу, переробленого у виробу в одиницю часу. На продуктивність впливають тривалість циклу лиття, ефективний фонд часу роботи машини та обсяг відливки.

3.5.2. Розрахунок деталей інжекційного механізму на міцність

При розрахунку діаметра інжекційного поршня як вихідним параметром зазвичай задаються тиском робочої рідини p_p в гідроприводі та тиском лиття p

$$d = \sqrt{D^2 \frac{p_p}{p}}. \quad (0.25)$$

Інжекційний поршень перевіряють на міцність та стійкість. На міцність

інжекційний поршень перевіряють за напругою стиснення

$$\frac{P}{S} = \sigma_{\text{сж}} \leq [\sigma]_{\text{сж}} \quad (0.26)$$

а на стійкість – по критичній напрузі

$$\frac{P}{S} = \sigma_y \leq \frac{\sigma_k}{k_y} \quad (0.27)$$

У наведених формулах:

P – зусилля лиття в кН;

$S = \frac{\pi}{4} d^2$ – площа інжекційного поршня в м²;

d – діаметр інжекційного поршня в м;

$\sigma_{\text{сж}}$ – напруга стиску в МПа;

$[\sigma]_{\text{сж}}$ – допустима напруга стиснення в МПа;

$k_y = 1,8 \div$ – коефіцієнт запасу на стійкість;

σ_y – напруга на стійкість у МПа.

Значення критичного напруження інжекційного штока поршня визначається з умов стійкості як:

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{\mu l n}{i}\right)^2} \text{ МПа,}$$

де E – модуль пружності в МПа;

$\mu = 2$ – коефіцієнт;

$$i = \frac{d}{4};$$

$l n$ – довжина поршня в м,

$$\frac{\mu l n}{i} = \lambda \text{ – гнучкість.}$$

Нижче наведені значення гнучкості λ і критичної напруги σ_k на стійкість, що приймаються в розрахунках:

Гнучкість	50	80	100	150
Критична напруга на стійкість σ_k в МПа	8000	3300	2000	877

На практиці поршень перевіряють на стійкість при $\lambda > 80 \div 100$.

Якщо товщина стінки інжекційного циліндра становить понад 10% від його

зовнішнього діаметра D_H або $\frac{D_H}{D_{BH}} > 10 \div 1$ (де D_{BH} – внутрішній діаметр циліндра) то циліндр можна розраховувати за формулами для товстостінних посудин. При цьому для циліндрів, виготовлених із крихких та малопластичних матеріалів, використовують формулу

$$\delta_{cm} = R_{BH} \left(\sqrt{\frac{[\sigma]_p + p}{[\sigma]_p - p}} - 1 \right) + c \quad (0.28)$$

а для циліндрів, виготовлених із пластичних сталей – формулу

$$\delta_{cm} = R_{BH} \left(\sqrt{\frac{[\sigma]_p}{[\sigma]_p - 1,73p}} - 1 \right) + c \quad (3.51a)$$

У цих виразах: δ_{cm} – товщина стінки циліндра в м;

R_{BH} – внутрішній радіус циліндра в м;

$[\sigma]_p$ – допустима напруга на розтяг у МПа;

p – внутрішній тиск (тиск лиття) у МПа;

c – збільшення на корозію в м.

При температурі циліндра до 250 ° С

$$[\sigma]_p \leq \frac{\sigma_{вр}}{m_B},$$

де $\sigma_{вр}$ – межа міцності на розтяг у МПа;

$m_B = 3,2 \div 4$ – коефіцієнт запасу міцності.

При температурі циліндра від 250 до 370 ° С

$$[\sigma]_p \leq \frac{\sigma_T}{m_T}$$

де σ_T – межа плинності при робочій температурі в МПа;

$m_T = 1,5 \div 2$ – коефіцієнт запасу міцності.

При використанні зовнішніх нагрівачів до напруг, що виникають у стінках циліндра під дією тиску, доповнюються температурні напруги, що виникають у циліндрі. Тоді

$$\sigma_{рез} = \sigma_d + \sigma_t \leq \frac{\sigma_t}{m_T} \quad (0.29)$$

тут σ_d – напруги на внутрішній стінці циліндра, що виникають від робочого тиску в МПа;

σ_t – напруги на внутрішній стінці циліндра, що виникають від перепаду температур в МПа.

$$\sigma_d = \frac{p(R_H^2 + R_{BH}^2)}{R_H^2 - R_{BH}^2},$$

а

$$\sigma_t = \frac{\alpha E (t_H - t_{BH})}{2(1-\mu)} \left(\frac{2R_H^2}{R_H^2 - R_{BH}^2} - \frac{1}{\ln R_{BH}} \right),$$

де R_H і R_{BH} – відповідно зовнішній і внутрішній радіуси циліндра m ;

α – відносний температурний коефіцієнт лінійного розширення в $1/град$;

t_H і t_{BH} – температури відповідно зовнішньої і внутрішньої стінок циліндра в $^{\circ}C$;

μ – коефіцієнт Пуассона;

E – Модуль пружності в МПа.

Наведені формули отримані при роздільному розгляді дотичних та нормальних напруг. Однак реальні умови навантаження елемента характеризуються так званою еквівалентною напругою, що є функцією головних напруг у точці, що розглядається. При цьому співвідношення між внутрішнім та зовнішнім радіусами циліндра може бути записано у вигляді

$$\frac{R_H}{R_{BH}} = \exp\left(\frac{p}{1.15\sigma_T}\right) \quad (0.30)$$

При нормальній експлуатації литтєвої машини розплавлений матеріал в інжекційному циліндрі під час упорскування не повинен потрапляти під різьблення сопла. Тому різьблення сопла попередньо затягують зусиллям

$$F_6 \geq pS + F_t + qS_1 \quad (0.31)$$

де $S = \frac{\pi}{4} D_2^2$ – площа поперечного перерізу внутрішньої порожнини сопла в m^2 ;

F_t – зусилля, що виникає під дією різниці температур циліндра та сопла, в H ;

$q = (1 \div 2.5) p$ МПа – питомий тиск ущільнення опорної поверхні сопла;

S_1 – площа опорної поверхні сопла в m^2 ;

D_3 і D_2 – діаметри опорної поверхні сопла.

$$F_t \approx \Delta t \alpha_c E_c S;$$

тут $\Delta t \approx 50 \div 70^{\circ} C$ – різниця температур циліндра і сопла;

$\alpha_c = 1.2 \cdot 10^{-5} 1/град$ – відносний температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу сопла;

E_c – модуль пружності матеріалу сопла в МПа.

Необхідний при затягуванні сопла обертовий момент

$$M_K = M_p + M_T \quad (0.32)$$

де M_p – момент, необхідний для створення осьового зусилля та подолання тертя в різьбленні, в Н·м;

M_T – момент сил тертя на торцевій поверхні сопла в Н·м.

$$M_p = F_6 \frac{d_{cp}}{2} tg(\psi + p) \quad (0.33)$$

$$M_T = \frac{F_6 f_1}{3} \frac{D_3^3 - D_2^3}{D_3^2 - D_2^2} \quad (0.34)$$

У цих рівняннях:

d_{cp} – середній діаметр різьби m ;

ψ – кут підйому різьблення;

p – кут тертя різьбової пари;

f_1 – коефіцієнт тертя опорних поверхонь сопла та циліндра;

$$tg\psi = \frac{t}{\pi d_{cp}},$$

Тут t – крок різьблення в m ;

$f \approx f_1 = 0.1 \div 0.18$ – коефіцієнт тертя різьбових поверхонь сопла та циліндра.

Оскільки після встановлення сопла різниця температур циліндра та сопла зменшується, то зусилля F_t також зменшується. Тому перед початком роботи сопло додатково підтягують.

Дотичні напруження в перерізі корпусу сопла

$$\tau = \frac{M_p + M_T}{\frac{\pi D_1^3}{16} \left[1 - \left(\frac{D_0}{D_1} \right)^4 \right]} \quad (0.35)$$

де D_1 , D_0 – внутрішній і зовнішній діаметри в перерізі корпусу сопла.

Результуюче напруження

$$\sigma_{рез} = \sqrt{3\tau} \quad (0.36)$$

Зусилля $F_{кл}$, яке необхідно докласти до ручки ключа при затягуванні сопла

$$F_{кл} = \frac{M_{кл}}{L} \quad (0.37)$$

де L – довжина ключа, m .

При розрахунку різьбової частини сопла припускають рівномірний розподіл зусилля по витках нарізки без урахування невеликих за величиною технологічних зазорів за вершинами та западинами нарізки.

Напруження на зріз витків нарізки сопла

$$\tau_c = \frac{F_6}{\pi \beta H d_H} \quad (0.38)$$

Напруження на зріз витків нарізки циліндра

$$\tau_{ц} = \frac{F_6}{\pi \beta H d_H} \quad (0.39a)$$

Напруження на вигин витків нарізки сопла

$$\sigma_c = \frac{3F_6(d_H - d_{BH})}{2\pi\beta^2 t^2 d_{BH} z} \quad (0.40)$$

Напруження на вигин витків нарізки циліндра

$$\sigma_{ц} = \frac{3F_6(d_H - d_{BH})}{2\pi\beta^2 t^2 d_{BH} z} \quad (0.41a)$$

Напруження на зминання витків нарізки сопла та циліндра

$$\sigma = \frac{F_6}{\frac{\pi}{4}(d_H^2 - d_{BH}^2)z} \quad (0.42)$$

У наведених виразах:

F_6 – сила попередньої затяжки різьблення в Н;

β – коефіцієнт, що залежить від профілю різьблення (для трапецеїдальної різьби $\beta = 0.63 \div 0.68$);

H – довжина різьбової частини сопла, м;

d_H і d_{BH} – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри нарізки сопла в м;

z – число витків різьбового з'єднання.

Для розрахунку сопел, що самозапираються, з голчастим клапаном, що відкривається під дією тиску лиття, додатково задаються тиском p_1 , при якому повинно відкриватися сопло, і величиною ходу h_c сердечника.

Необхідне зусилля для відкриття сопла

$$F_1 = p_1 S_c H,$$

де S_c – площа поперечного перерізу сердечника m^2 ;

p_1 – тиск, при якому відкривається сопло, в мПа.

Далі по зусиллі F_1 і ходу сердечника h_c визначають параметри пружини.

Осьове переміщення (стиснення) пружини

$$h = \frac{16F_1 D_{\text{пр}}^3 z (1 + \mu \cos^2 \alpha)}{E d_{\text{пр}}^4 \cos \alpha} \quad (0.43)$$

тут $D_{\text{пр}}$ – зовнішній діаметр пружини в м;

$d_{\text{пр}}$ – діаметр дроту пружини в м;

α – кут підйому гвинтової вісі витків;

z – кількість робочих витків пружини.

При стисканні пружини її діаметр збільшується на величину

$$\Delta D = \frac{16F_1 D_{\text{пр}}^3}{\pi E d_{\text{пр}}^4} \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} + 2\mu \right) \sin \alpha \quad (0.44)$$

Найбільш загальні випадки розрахунку пружин розглянуті спеціальних монографіях. Як матеріал пружини застосовують жаростійкі пружинні сталі.

Для закріплення інжекційного циліндра на корпусі вузла, а також для з'єднання перехідників з циліндром застосовують фланцеві з'єднання, які зазвичай працюють при підвищених температурах.

Зусилля, що сприймається болтами

$$F_6 = F_p + F_t + F_3 \quad (0.45)$$

тут F_p – зусилля, створюване робочим тиском, в Н;

F_t – зусилля, що виникає під дією різниці температур фланця і болта, в Н;

$F_3 = (2 \div 3.5) S_1 p$ – залишкове зусилля від попередньої затяжки болта в Н (S_1 – площа ущільнення м²).

$$F_3 = \frac{\pi}{4} k D^2 p,$$

де D – діаметр циліндра в м;

p – тиск лиття в МПа;

$k = 1,2$ – коефіцієнт запасу;

$$F_t = \alpha E_6 \sum S_6 \Delta t_{\text{ф}}, \text{ Н};$$

тут $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/\text{град}$ – відносний температурний коефіцієнт лінійного розширення фланця та болтів;

E_6 – модуль пружності металу болта ($E_6 = 2 \cdot 10^6$ МПа при температурах до 300 ° С; $E_6 = 1,9 \cdot 10^6$ МПа при температурах, що перевищують 300 ° С);

$\sum S_6$ – сумарна площа перерізу болтів м²;

$\Delta t_{\text{ф}}$ – різниця температур фланця та болта.

Дані орієнтовного перепаду температури фланцю та болтів наведенні у Таблиці 0.5.

Таблиці 0.5

Значення різниці температур фланця та болта		
Температура середи в °С	Δt_{ϕ} в °С	
	при нагріванні	при експлуатації
300	20	10
350	35	15
400	58	17

Зусилля на один болт

$$F = \frac{F_6}{n}, \text{ Н}$$

де n – кільки болтів.

Наближено необхідний перетин болта розраховують за формулою

$$\frac{F}{S_6} \leq \frac{[\sigma]_p}{1,3}, \text{ МПа}$$

де $S_6 = \frac{\pi}{4} d_1^2$ – площа перетину одного болта в м^2 (d_1 – внутрішній діаметр різьблення в м);

$[\sigma]_p$ – допустимі напруження на розтяг у МПа.

Результуючі напруження $\sigma_{\text{рез}}$ для різьбової частини болта

$$\sigma_{\text{рез}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (0.46)$$

де τ – дотичні напруження від моменту затягування болтів в МПа;

$$\tau = \frac{M_p}{0,2d_1^3};$$

тут M_p — момент, необхідний для створення осьового зусилля затягування болтів, в $\text{Н}\cdot\text{м}$;

Для стандартних болтових з'єднань при діаметрі болта до 48 мм

$$M_p = m_1 F d_0, \quad (0.47)$$

де $m_1 = 0,1 \div 0,13$ – коефіцієнт;

d_0 – номінальний діаметр болта в м.

Необхідний момент на ключі для затягування болтів

$$M_{\text{кл}} = m_2 F d_0, \quad (0.48)$$

тут $m_2 = 0,2 \div 0,26$ – коефіцієнт.

Зусилля, яке необхідно докласти до ручки ключа,

$$F_{\text{кл}} = \frac{M_{\text{кл}}}{L}, \text{ Н,}$$

де L – довжина ключа в м.

Нижче наведено значення довжини ключа для затягування болтів.

d_0 в мм	6	10	14	18	22	27	36	42
L в мм	100	140	210	240	270	300	400	450

Для болтів діаметром понад 48 мм моменти M_p та M_T розраховують за формулами (0.34) та (0.35).

Згинальний момент у перерізі I – I фланцевого з'єднання інжекційного циліндра

$$M_{I-I} = kF_6l_1 \quad (0.49)$$

де $k = 0,4$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість фланця;

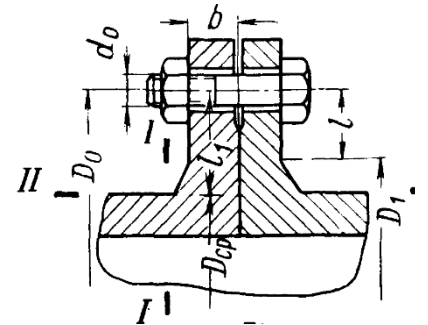
l_1 – плечо вигину в м.

Для наближених розрахунків згідно наведеної схеми фланцевого з'єднання

$$l_1 = 0,5(D_0 - D_1) + \frac{a}{2}$$

тут $D_0, D_1, a = 0,5(D_1 - D_{\text{вн}})$,

де $D_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр циліндра.



Напруга в перерізі I – I фланця

$$\sigma = \frac{M_{I-I}}{W} \text{ МПа,}$$

де $W = \frac{\pi D_{\text{cp}} a^2}{6}$ – момент опору перерізу I – I см^3

$$(D_{\text{cp}} = D_0 - 2l_1).$$

Згинальний момент у перерізі II – II фланця

$$M_{II-II} = F_6 l \quad (0.50)$$

тут $l = 0,5(D_0 - D_1)$.

Напруга в перерізі II – II

$$\sigma = \frac{M_{II-II}}{W_1},$$

де $W_1 = \frac{\pi D_1 b^2}{6}$ – момент опору перерізу $\Pi - \Pi$ в см^3 (b – товщина фланця в см).

3.5.3. Розрахунок черв'ячних пластикаторів

У литєвих машинах із черв'ячною пластикацією одноциліндрової конструкції черв'яки не тільки пластикують матеріал, а й виконують функцію поршня, що нагнітає підготовлену дозу полімерного матеріалу у форму і підтримує в ній заданий тиск. В екструзійних машинах розміри черв'яка розраховують, виходячи тільки з пластикаційної продуктивності. При розрахунку черв'якового пластикатора в литєвих машинах необхідно враховувати, що за один хід черв'яка повинна вичавлюватись необхідна порція матеріалу, а також враховувати вимоги енергетичних умов упорскування матеріалу у форму.

На стадії упорскування інжекційна частина повинна забезпечити видавлювання певного об'єму матеріалу за один хід черв'яка, а на стадії пластикації забезпечити розрахункову пластикаційну продуктивність.

На відміну від екструзійних машин, у яких параметри та розміри черв'яка визначаються лише продуктивністю, на ливарних машинах розміри черв'яка визначаються додатково вимогами операції упорскування.

Наближений розрахунок черв'яка пластикатора можна проводити у наступній послідовності. За заданим номінальним обсягом вилівки V_0 з урахуванням стиснення та витоків матеріалу по черв'яку визначають розрахунковий обсяг відливки машини та діаметр черв'яка.

Розрахунковий обсяг відливки

$$V_p = V_o K \quad (0.51)$$

де $K = 1,25 \div 1,3$ – коефіцієнт, який визначається витокami;

$$V_p = \frac{\pi D_1^2}{4} H = \frac{\pi D_1^3}{4} K_1 \quad (3.74a)$$

де D_1 – діаметр черв'яка, визначається з умов забезпечення данного об'єма відлива за один хід черв'яка, в см ;

H – хід черв'яка в см ;

$K_1 = 1,5 \div 3$ – віношення хода черв'яка до діаметра черв'яка.

Зі співвідношень (0.51) і (3.75a) визначають необхідний діаметр черв'яка за

заданим обсягом відливки V_0

$$D_1 = \sqrt[3]{\frac{4}{\pi} V_0 \frac{K}{K_1}} \quad (0.52)$$

Пластикаційну продуктивність черв'ячного пластикатора може бути виражена через діаметр черв'яка за спрощеними емпіричними співвідношеннями

$$Q = (0,7 \div 1,4) D_1^{2,5} \quad (0.53)$$

Далі по заданому тиску лиття p і тиску робочої рідини p_1 та діаметру черв'яка D_1 визначають діаметр поршня гідроциліндра:

$$D_n = \sqrt{\frac{p}{p_1} D_1^2} \text{ м.}$$

Діаметр поршня гідроциліндра коригують за нормалізованим рядом діаметрів.

За відомими для екструзійних машин формулами розраховують потужність N приводу обертового руху черв'яка, необхідну для пластикації матеріалу.

При цьому можна також користуватися емпіричним співвідношенням

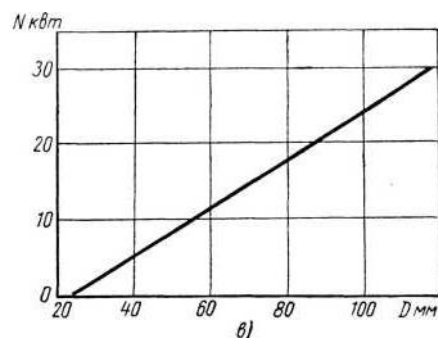
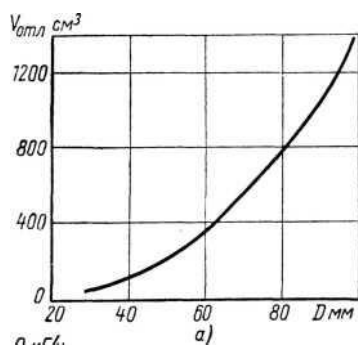
$$N = 0,736 c D^m \quad (0.54)$$

де D - діаметр шнека в см;

$c = 0,15 \div 0,2$ – коефіцієнт;

$m = 2,5$.

На Рис. 0.13 наведено залежності обсягу відливки, пластикаційної продуктивності та потужності приводу шнека від діаметр шнека. За цими графіками можна порівняти параметри шнекового пластикатора, отримані в результаті розглянутого розрахунку, з параметрами існуючих машин.



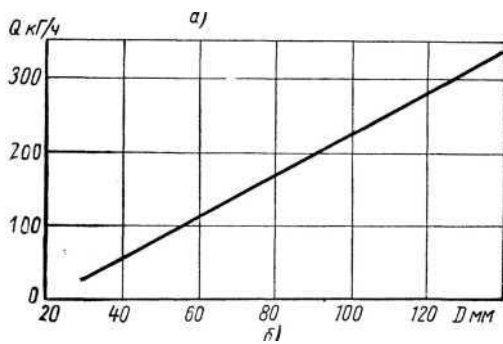


Рис. 0.13. Залежність обсягу $V_{\text{відл}}$ відливки (а), пластикаційної продуктивності Q (б) та потужності N приводу (в) від діаметра D черв'яка

За цими графіками можна порівняти параметри черв'ячного пластикатора, отримані в результаті розглянутого розрахунку, з параметрами існуючих машин. Знаючи діаметр черв'яка, можна вибрати його параметри з урахуванням властивостей перероблюваного полімеру (Таблиця 0.1). При цьому визначаються геометрія черв'яка (ступінь стиснення, довжини конструктивних зон) та конструкція наконечника.

При розрахунку черв'яка, який відчуває дотичні напруги від скручування та нормальні напруги осьового стиснення, осердя черв'яка перевіряють на гнучкість λ :

$$\lambda = \frac{\mu L}{i}$$

де μ – коефіцієнт, що залежить від способу закріплення валу (для шнеків $\mu = 2$);

L – Довжина шнека в м;

i – радіус інерції в м;

$$i = \frac{D}{4} \sqrt{1 + \left(\frac{d}{D}\right)^2}$$

тут D – внутрішній діаметр нарізки черв'яка в м;

d – діаметр отвору в черв'яку (для охолодження) в м.

Якщо $\lambda < 80 \div 100$, то черв'яка перевіряють на міцність. Умову міцності записують як

$$\sigma_{\text{роз}} = \sqrt{\sigma_{\text{max}}^2 + 4\tau_{\text{max}}^2} \quad (0.55)$$

де $\sigma_{\text{роз}}$ – розрахункова напруження в МПа;

σ_{max} – максимальна нормальна напруження, викликана осьовим та розподіленим навантаженнями на черв'як у МПа;

τ_{max} – максимальна дотична напруження на поверхні черв'яка в МПа.

$$\sigma_{\text{max}} = 4 \frac{F(1+a^2) + \pi \gamma L^2 D(1-a^2)}{\pi D^2(1-a^4)} \text{ МПа}$$

$$\tau_{max} = \frac{M_k}{W_p} = \frac{16M_k}{\pi D^3(1-a^4)} \text{ мПа}$$

тут F – осьова сила в Н;

$$a = \frac{d}{D}$$

γ – питома вага матеріалу черв'яка в кг/м³;

M_k – крутний момент на валу черв'яка в кг·м;

W_p – полярний момент опору м³.

Максимальний прогин черв'яка

$$f = \frac{qL^4}{8EJ} \text{ м}$$

де E – модуль пружності в мПа;

$$J = \frac{\pi D^4}{64} (1 - a^4) \text{ – момент інерції поперечного перерізу в м}^4$$

Якщо $\lambda > 80 \div 100$, необхідно перевірити черв'як на максимальний прогин:

$$EJf_{max} = \frac{q}{K^2} \left(\frac{1}{K^2} + \frac{L^2}{2} \right) - \frac{1}{K} \left(\frac{q}{K^3} + AL \right) \cos KL - \frac{1}{K^2} \left(\frac{qL}{K} - A \right) \sin KL \quad (0.56)$$

тут

$$K^2 = \frac{F}{EJ} \quad \text{та} \quad A = \frac{q \left(L - \frac{1}{K} \sin KL \right)}{K \cos KL}$$

Прогин черв'яка повинен бути меншим від фактичного радіального зазору між гребнями витків і циліндром (див. Таблиця 0.2).

$$[\sigma]_{II} = \frac{\sqrt{M^2 + (\alpha M_k)^2}}{0,1D^3(1-a^4)} \quad (0.57)$$

де $[\sigma]_{II}$ – допустиме напруження на вигин для навантаження, що змінюється за величиною і по знаку, мПа;

M_k – обертовий момент на валу черв'яка в Н·м;

α – коефіцієнт, що враховує різний характер зміни напружень від вигину і кручення:

$$\alpha = \frac{[\sigma]_{II}}{[\sigma]_I}$$

M – згинальний момент у небезпечному перерізі в Н·м;

$$M = \frac{\gamma L^2 \pi D^2}{8} (1 - a^2)$$

Значення допустимих напружень $[\sigma]_I$ та $[\sigma]_{II}$, що використовуються при розрахунку валів з вуглецевої сталі, наведені нижче.

$[\sigma]_I$, мПА	70	75	95	110
Межа міцності в мПА	400	500	600	700
$[\sigma]_{II}$, мПА	40	45	55	65

4. МЕХАНІЗМИ ЗАПИРАННЯ ФОРМИ

4.1. Конструктивні різновиди

Механізм запирання призначений для закривання-відкривання форми, а також для утримання форми у надійно зімкнутому стані при упорскуванні у форму полімеру під високим тиском та витримки при остаточному формуванні виробів. Для отримання високоякісних виробів необхідно надійне змикання форми, оскільки при неповному або ненадійному змиканні може статися викид частини матеріалу по лінії змикання в облії при упорскуванні розплаву під великим тиском.

Кінематика та конструктивні розміри пресової частини литтєвої машини (механізму змикання форми) не залежать від напрямку роз'єму плити – вертикального або горизонтального, а визначаються необхідною швидкохідністю машини, технологічними параметрами процесу та геометричними характеристиками виробу. Для збільшення швидкохідності машини швидкість змикання та розмикання плит має бути максимальною, причому з метою запобігання пошкодженню плити при закриванні форми швидкість змикання в кінці ходу має знижуватися.

На практиці розроблено та застосовується велика кількість різних механізмів замикання, які можна розділити на дві групи: прості та комбіновані. У простих конструкціях механізми переміщення плит і замикання форми поєднані, в комбінованих переміщення плити здійснюється одним механізмом, а інший створює необхідне зусилля змикання форми (запирання).

По виду приводу прості та комбіновані конструкції поділяються на гідравлічні, гідромеханічні, пневмомеханічні та механічні. Гідравлічні конструкції відносяться до механізмів силового замикання, в яких зусилля замикання є зовнішнім по відношенню до самого механізму. Гідромеханічні, пневмомеханічні та механічні пристрої є механізмами кінематичного замикання. У цих механізмах зусилля замикання розвивається з допомогою пружної деформації ланок, створюваної приводом. Після припинення дії сили, що розвивається провідною ланкою механізму, необхідне зусилля замикання зберігається у вигляді

внутрішньої сили, що є результатом пружної деформації конструктивних елементів.

У сучасних конструкціях литтєвого обладнання пресові частини пневматичного, пневмомеханічного і механічного типів не знайшли широкого застосування через незначні зусилля замикання, що розвиваються. У машинах з малим об'ємом упорскування застосування механічних вузлів замикання може бути виправдане через їх високу швидкохідність і малу енергоємність.

Найбільшого поширення набули гідравлічні та гідромеханічні конструкції механізмів змикання форми.

4.2. Конструкції гідромеханічних механізмів

У механізмах замикання простої гідромеханічної конструкції зусилля замикання форми та рух рухомий плиті здійснюється від гідроциліндра через важільну систему. Гідромеханічні конструкції дозволяють отримати значні зусилля замикання плит при невеликих зусиллях, що розвиваються гідроциліндром приводу. Це дає можливість використовувати у гідросистемах тиски значно менші ніж у гідравлічних механізмах замикання.

Головними перевагами гідромеханічних пристроїв є: невеликі габарити та маса, мала металомісткість; висока середня швидкість замикання; безударне замикання через можливість уповільнення швидкості зближення форм перед їх змиканням.

Кінематичні схеми гідромеханічних пристроїв замикання досить різноманітні. На Рис. 0.1 представлені конструктивна і кінематична схеми простого шестиланкового гідромеханічного механізму з гідроциліндром 1, що коливається. Такі механізми застосовуються в литтєвих машинах з зусиллям замикання до 1 МН.

Гідроциліндр 1 через систему важелів 3 і шарнірів 4 переміщує рухому плиту 5. Гідроциліндр 1 шарнірно закріплений на каретці 9, яка разом з системою важелів може переміщатися по колонах 8 при регулюванні відстані між плитами 5 і 7. Нерухомі плити 2 і 7 механізму змикання напівформ 6 здійснюється при подачі рідини в штокову порожнину гідроциліндра 1.

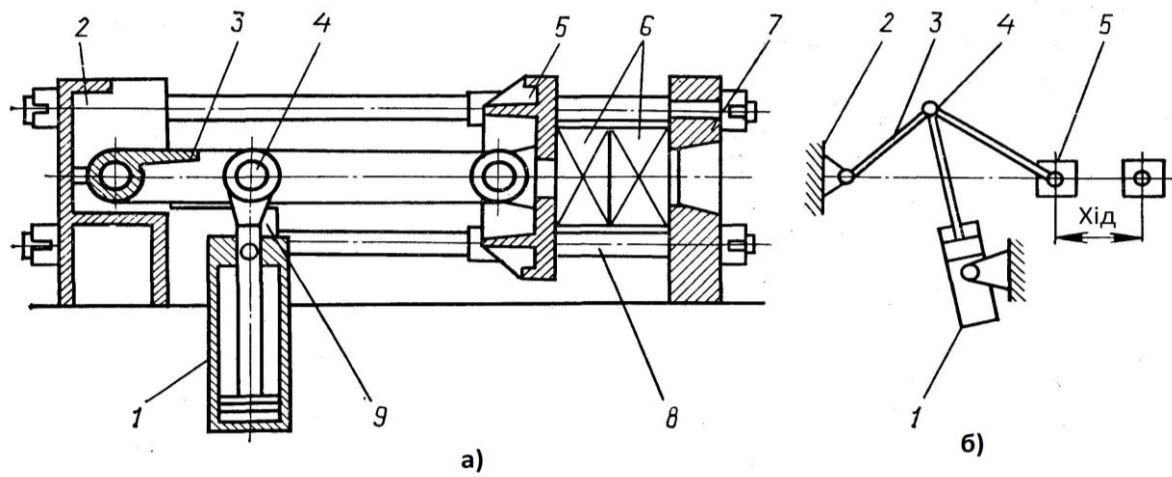


Рис. 0.1. Конструктивна (а) і кінематична (б) схеми шестиланкового механізму замикання форми з гідроциліндром, що коливається:

1 – гідроциліндр; 2, 7 – нерухомі плити; 3 – система важелів; 4 – шарнір;
5 – рухома плита; 6 – напівформи; 8 – колона; 9 – каретка.

У механізмах замикання простої гідромеханічної конструкції для створення значного зусилля замикання потрібні гідроциліндри великого діаметра. Швидкість переміщення плити при цьому зменшується, що вимагає збільшення продуктивності гідронасосів. Тому набули поширення комбіновані гідромеханічні конструкції, в яких переміщення рухомої плити та створення зусилля замикання здійснюються різними гідроциліндрами. Одна з таких конструкцій показано на Рис. 0.2.

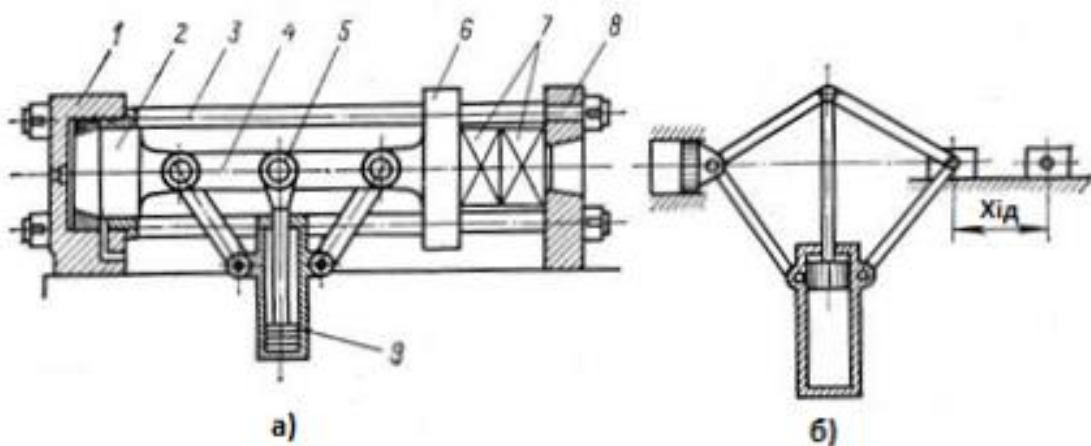


Рис. 0.2. Конструктивна (а) та кінематична (б) схеми механізму замикання форми гідромеханічного типу з підвісним гідроциліндром:

1, 9 – гідроциліндри; 2 – поршень; 3 – колона; 4 – система важелів; 5 – шарнір;
6 – рухома плита; 7 – напівформи; 8 – нерухома плита.

Прискорене змикання напівформ 7, укріплених на рухомій 6 і нерухомій плитах 8, досягається при подачі рідини в штокову порожнину гідроциліндра 9.

Після розпрямлення важільної системи, що складається з важелів 4 і шарнірів 5, через неї передається зусилля замикання, створюване гідроциліндром 1 з поршнем 2 великого діаметра, що здійснює невеликий хід.

Після зняття високого тиску гідроциліндра 1 при подачі рідини в порожнину перед поршнем гідроциліндра 9 здійснюється розмикання напівформ. Гідроциліндр 1, виконаний заодно з нерухомою плитою, жорстко пов'язаний колонами 3 з плитою 8. Така система збільшує швидкохідність машини, зменшує необхідні продуктивність насосів і потужність гідроприводу. Відстань між плитами у цій конструкції регулюється зміною довжини одного з важелів 2.

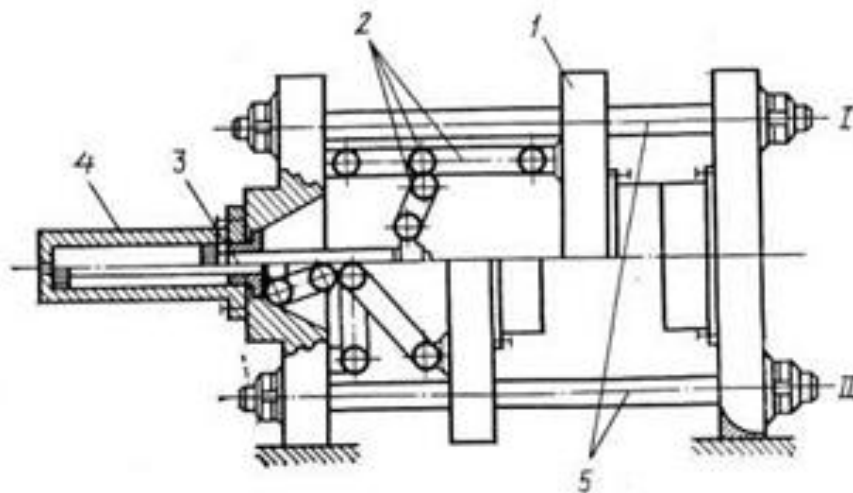


Рис.0.3.Механізм замикання форми з горизонтальним гідродиліндром:

I (вище вісі) – зімкнутий стан форми; II – (нижче вісі) розімкнуте стан форми;

1 – рухома плита; 2 – важільний пристрій; 3 – шток поршня;

4 – гідроциліндр; 5 – колони.

Методика кінематичного та силового розрахунку гідромеханічних механізмів викладається на прикладі механізму замикання, показаного на Рис.0.3. Плита 1 переміщається за допомогою малогабаритного гідроциліндра 4 і передавального здвоєного важільного пристрою 2. Важільна система наводиться в рух штоком 3 поршня гідроциліндра 4. При переміщенні штока 3 праворуч важелі розгортаються, як показано на верхній частині малюнка (поз.І), а при переміщенні вліво поз.ІІ). Дана конструкція застосовується в машинах малої та середньої потужності із зусиллям замикання до 1,3 МН.

Завданням конструювання вузла кінематичного замикання є вибір оптимальних розмірів ланок, що забезпечують найменші габарити механізму та мінімальні зусилля в елементах конструкції у процесі роботи. Вихідними даними для конструювання є параметри: зусилля замикання (змикання) P_z , хід рухомої

плити $L_{\text{п}}$, найбільша відстань між плитами $L_{\text{пп}}$, а також габарити рухомої плити. Розрахунку підлягають основні розміри елементів важеля: висота форми, хід і діаметр поршня гідроциліндра, максимальні зусилля, що виникають у силовому ланцюгу замикаючого пристрою.

4.3. Методика кінематичного розрахунку гідромеханічного механізму

Розрахунок розпочинається із складання розрахункової схеми механізму, Рис. 0.4. Шарнір В на цій схемі, в якому зчленовуються коромисло BD, шатун BC і сержка АВ, для більшої рухливості виконаний у вигляді двох шарнірів. Однак відстань між осями цих шарнірів мала порівняно з поздовжніми розмірами важелів, тому при аналізі механізму Г-подібний шатун з двома шарнірами замінено лінійним шатуном з одним шарніром.

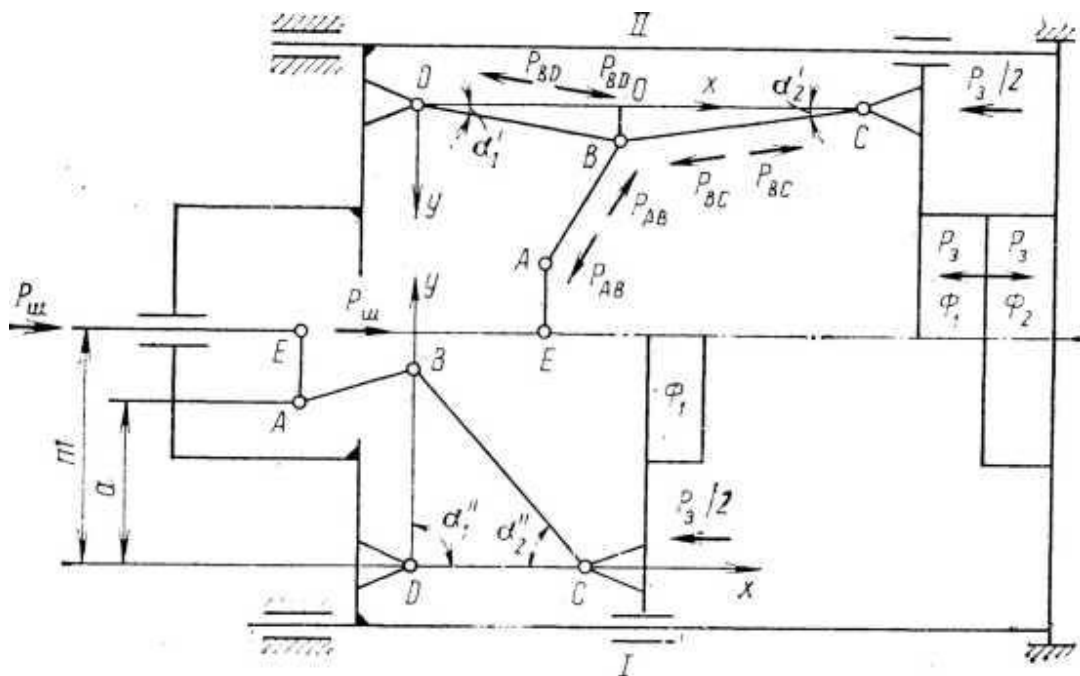


Рис. 0.4. Розрахункова схема механізму замикання в розімкнутому положенні (I) та в зімкнутому (II).

Повний розрахунок механізму замикання складається з наступних етапів:

- аналітичне визначення траєкторій руху всіх вузлових точок механізму у параметричній формі;
- визначення поздовжніх розмірів ланок та повного ходу штока на основі проведеного у пункті «а» кінематичного аналізу та заданих вихідних геометричних параметрів;
- визначення жорсткості при розтягуванні – стиску повного силового

ланцюга, що включає напівформи, плити, що направляють колони і систему коромисло – шатун, при заданому зусиллі змикання;

г) визначення аналітичним шляхом залежності зусиль у ланках від якогось із параметрів положення механізму (у даному розрахунку – від кута повороту коромисла α_1 , що змінюється від α_1' до α_1'');

д) визначення максимальних зусиль у ланках аналітичним чи графічним способом;

е) розрахунок на міцність ланок механізму за певними максимальними зусиллями.

Для визначення зусиль, що розвиваються у системі механізму замикавання, потрібен розгляд статично невизначеної системи та застосування умови спільності деформацій. При цьому слід мати на увазі, що максимальні зусилля у ланках виникають лише при вході в контакт напівформ Φ_1 і Φ_2 . У цьому положенні важелі механізму DB і BC паралельні горизонтальній вісі машини, колони розтягнуті внаслідок розвитку максимальних навантажень. У момент замикавання форми зусилля з провідної ланки (штока) знімається. Дотик плит форми відбувається до того, як важільний механізм займе своє крайнє положення. Механізм розраховується в положенні, коли пресформа починає закриватися і вісі важелів DB і BC розташовані під кутом 3-5 ° до вісі машини (поз. II на Рис. 0.4). Починаючи з цього моменту ланки механізму та колони починають відчувати деформації.

Приступаючи до кінематичного аналізу роботи важільного механізму, запишемо траєкторії руху всіх вузлових точок (шарнірів) залежно від прийнятого аргументу – кута повороту α . У прийнятій на Рис. 0.4 системі координат координати точки записуються наступним чином:

$$x_B = l_K \cos \alpha_1; \quad y_B = l_K \sin \alpha_1 \quad (0.1)$$

де l_K – довжина коромисла BD.

Для точки A $y_F = \alpha = \text{const}$, де α параметр механізму, що визначається конструктивно (див. Рис. 0.4).

Координата x_A виходить із співвідношення

$$x_A = l_K \cos \alpha_1 \pm \sqrt{l_c^2 - (l_K \sin \alpha_1 - a)^2} \quad (0.2)$$

Тут l_c – довжина сережки AB, рівна

$$l_c = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (0.3)$$

для точки E аналогічно визначаємо

$$y_E = m = \text{const}; x_E = x_A \quad (0.4)$$

де m – конструктивний параметр.

для точки C

$$x_C = DO + OC = l_k \cos \alpha_1 + l_{ш} \cos \alpha_2 \quad (0.5)$$

де $l_{ш}$ – довжина шатуна BC .

Вираз для $\cos \alpha_2$ можна записати як

$$\begin{aligned} \cos \alpha_2 &= OC / l_{ш} = \sqrt{l_{ш}^2 - OB^2} / l_{ш} = \sqrt{l_{ш}^2 - (l_k \sin \alpha_1)^2} / l_{ш} = (l_k / l_{ш}) \\ &= \sqrt{(l_{ш} / l_k)^2 - \sin^2 \alpha_1} \end{aligned} \quad (0.6)$$

Далі, з урахуванням (0.6) для точки C маємо

$$y_C = 0; x_C = l_k [\cos \alpha_1 + \sqrt{(l_{ш} / l_k)^2 - \sin^2 \alpha_1}] \quad (0.7)$$

Кут $\alpha_2'' (\alpha_1' < \alpha_1 < \alpha_2'')$ при $\alpha_2'' 90^\circ$ вибирається рівним не більше 60° , так як при $\alpha_2'' = 60^\circ$ у шатуні BC виникають значні зусилля, більші за максимальне значення P_3 . Отже

$$l_k / l_{ш} = \sin 60^\circ \quad (0.8)$$

Повний хід рухомої плити L_{Π} заданий при розрахунку дорівнює різниці абсцис точки C в зімкнутому положенні при $\alpha_1 = 0^\circ$ і в крайньому розімкнутому положенні при $\alpha_1 = \alpha_2'' = 90^\circ$:

$$L_{\Pi} = x_C|_{\alpha_1=90^\circ} - x_C|_{\alpha_1=0^\circ} \quad (0.9)$$

Звідси, скориставшись (0.7), отримуємо

$$L_{\Pi} = l_k \left[1 - l_{ш} / \sqrt{(l_{ш} / l_k)^2 - 1} \right] \quad (0.10)$$

Довжини важелів $l_{ш}$ і l_k визначаються спільним рішенням (0.8) та (0.10).

Повний хід штока $S_{ш}$ (хід поршня гідроциліндра) дорівнює

$$S_{ш} = x_E|_{\alpha_1=0^\circ} - x_C|_{\alpha_1=90^\circ} \quad (0.11)$$

або при врахуванні (0.2) та (0.4)

$$S_{ш} = l_K + \sqrt{l_c^2 - a^2} + \sqrt{l_c^2 - (l_K - a)^2} \quad (0.12)$$

Таким чином визначаються довжини всіх ланок механізму змикання.

Переходимо далі до силового розрахунку. Насамперед необхідно визначити залежність зусилля замикання P_3 від обраного заздалегідь параметра α_1 шляхом розгляду умови мінімального розкриття стику прес-форми. Ця умова відповідно до закону Гука може бути записана у вигляді

$$\delta = \frac{P_3}{2} \frac{1}{E} \sum \frac{l_i}{F_i} \quad (0.13)$$

де δ повна деформація всіх елементів силової ланцюга; E -модуль упругості; l_i, F_i — довжини та поперечні перерізи елементів відповідно.

Очевидно, що при $\alpha = \alpha'_2$, в момент зіткнення напівформ, $P_3 = 0$; $P_3 = P_{3\text{макс}}$ під час розпрямлення важелів, тобто при $\alpha_1 \approx 0$ ($P_{3\text{макс}}$ - максимальне значення P_3).

Вважаючи, що в силовому ланцюгу (див. Рис.0.3) елементами, що деформуються, є колони 5 (деформація розтягування) і система коромисло — шатун (деформація стиснення), можна записати:

$$\sum (l_i/F_i) = l_1/F_1 + l_2/F_2 \quad (0.14)$$

де $l_1 = l_K + l_{\text{ш}}$ (оскільки α_1 і α_2 на етапі змикання дуже малі, вважаємо, що шатун і коромисло витягнуті в пряму лінію); F_1 — поперечний переріз шатуна, рівний поперечному перерізу коромисла; l_2 — довжина робочої частини колони, що дорівнює $l_2 = l_{\text{ш}} + l_K + h_{\text{пл}} + H_{\phi} + h_C$ (тут $h_{\text{пл}}$ — висота плит, h_C — висота стійки шарнірів D і C, H_{ϕ} — висота форми); F_2 — поперечний переріз колони.

Розрахунок діаметру колони в її найбільш небезпечному перерізі (внутрішній діаметр різьби):

$$d_k = \sqrt{4 P_1 / (\pi [\sigma])}$$

Деформація плит і напівформ при цьому не враховується, тому що їх жорсткість значно вища, ніж жорсткість інших елементів силового ланцюга.

З іншого боку, для величини δ можна записати

$$\delta = x_C | \alpha = \alpha_1 - x_C | \alpha = \alpha'_2 \quad (0.15)$$

Вирішуючи спільно рівняння (0.13), (0.14), (0.15) та (0.7), отримуємо:

$$P_3 = \frac{2El_K}{l_1/F_1 + l_2/F_2} \left\{ (\cos \alpha_1 - \cos \alpha'_1) + \left[\sqrt{(l_{\text{ш}}/l_K)^2 - \sin^2 \alpha_1} - \sqrt{(l_{\text{ш}}/l_K)^2 - \sin^2 \alpha'_1} \right] \right\} \quad (0.16)$$

Величина зусилля в стрижні ВС становить

$$P_{\text{BC}} = P_3 / (2 \cos \alpha_2)$$

або з урахуванням (0.6)

$$P_{\text{BC}} = \frac{P_3 l_{\text{ш}}}{2 l_K \sqrt{(l_{\text{ш}}/l_K)^2 - \sin^2 \alpha_1}} \quad (0.17)$$

З виразу (0.17) слід, що P_{BC} має максимальне значення при $\alpha_1 = 0$, що дорівнює $P_3 / 2$, тобто.

$$P_{\text{BC}}|_{\alpha_1=0} = P_3 / 2 \quad (0.18)$$

Підставивши (0.18) до (0.17) і визначивши за умовою

$$P_3 / 2 = F_1 [\sigma_{\text{сж}}] \quad (0.19)$$

площу F_1 , знаходимо кут α'_1 , що відповідає початку замикання форми.

Таким чином, вираз (0.16) є шуканою залежністю зусилля замикання P_3 від параметра положення механізму α_1 за певних α'_1 , F_1 , F_2 , l_1 і l_2 .

4.4. Конструкції гідравлічних механізмів змикання форми

Гідравлічні механізми змикання форми дозволяють розвивати необмежено великі зусилля і використовуються в машинах для лиття під тиском, які призначені для виготовлення габаритних виробів з використання великих тисків лиття.

Гідравлічні механізми здійснюють підведення плити та замикання форми за допомогою одного або декількох гідроциліндрів без введення проміжних механізмів, що підвищує надійності конструкції. Гідравлічні механізми дозволяють легко регулювати відстань між плитами, надійно перед охороняються від поломок та перевантажень. До недоліків гідравлічних вузлів замикання відноситься їхня значна металомісткість і мала швидкість змикання форми в порівнянні з гідромеханічними конструкціями.

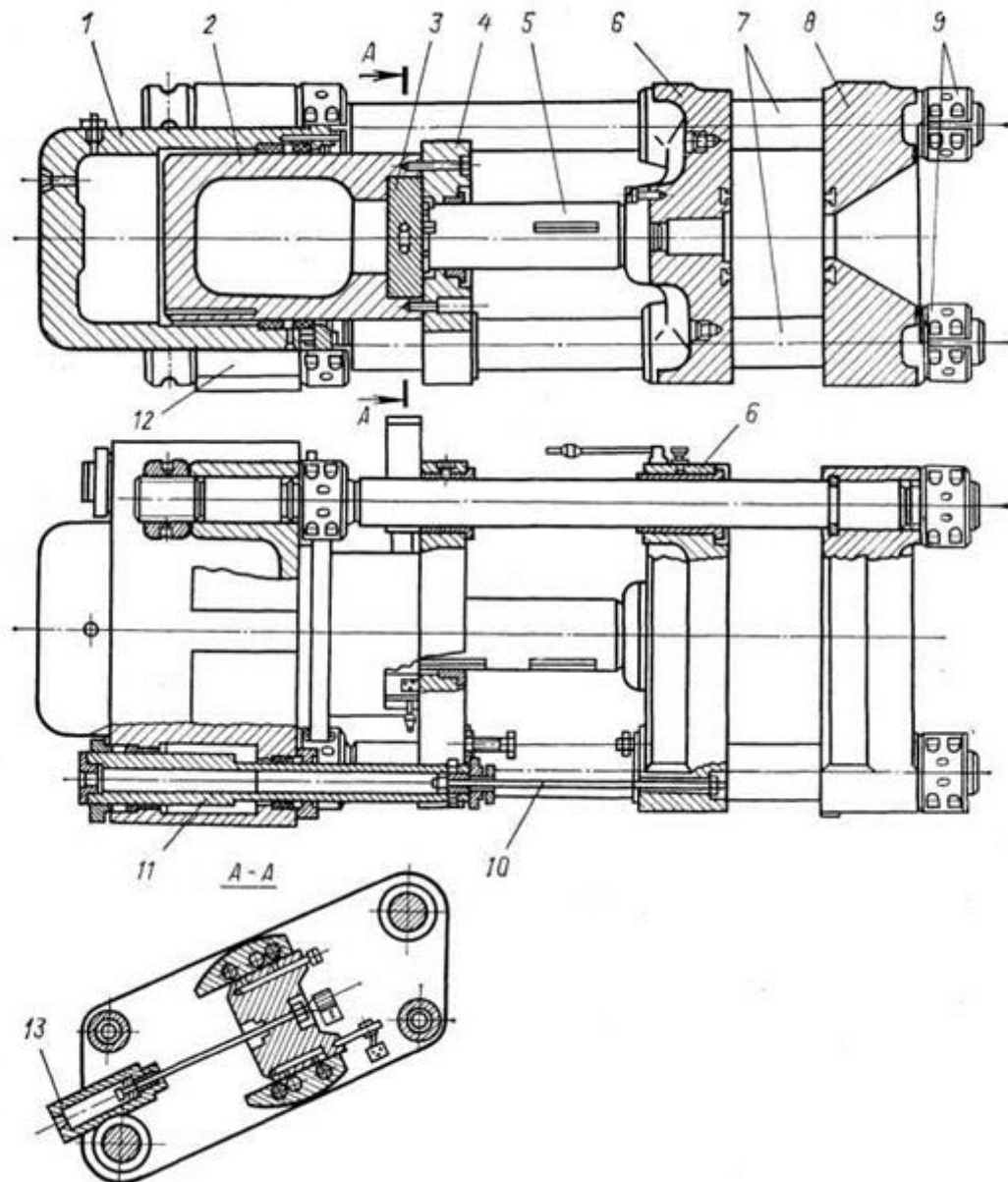


Рис. 0.5. Комбінований гідравлічний механізм замикання форми:

1 – гідродиліндр; 2- плунжер; 3- засувка; 4- проміжна плита; 5 – допоміжний плунжер; 6 -рухома плита; 7 – колона; 8,12- нерухомі плити;9- гайка;10 -шток; 11 – допоміжний гідродиліндр;13 -гідродиліндр переміщення засувки.

Пресова частина литтєвої машини (механізм замикання форми) сучасної комбінованої гідравлічної конструкції представлена на Рис. 0.5. У цьому механізмі нерухома плита 12 виконана заодно з корпусом гідродиліндра 1 і жорстко пов'язана колонами 7 з гайками 9 з іншою нерухомою плитою 8. Порожнистий плунжер 2 прикріплений до проміжної плити 4 засувкою 3. Прискорене змикання рухомої плити 6 з нерухомою плитою 8 здійснюється двома допоміжними гідродиліндрами І зі штоками 10. При цьому відбувається виведення допоміжного плунжера 5 із порожнини плунжера 2. Після цього клямка 3 за допомогою гідродиліндра 13 закриває проміжок між допоміжним плунжером 5 та плунжером 2. Зусилля

змикання форми, що створюється потім гідроциліндром 1 при подачі туди рідини від плунжера 2 через засувку 3 і допоміжний плунжер 5 передається рухомій плиті 6. Для підвищення тиску робочої рідини, що надходить від насоса, в гідросистемі пресової частини встановлюється мультиплікатор. Ця конструкція застосовується у литтєвих машинах великої потужності із зусиллям замикавання до 3,5 МН.

Зусилля замикавання у гідравлічних конструкціях створюється головним гідроциліндром. Це зусилля пропорційне тиску в гідросистемі. Зазвичай у паспорті машин вказують тиск, у якому досягається задане зусилля замикавання. Тому манометр, встановлений на лінії робочого тиску,

може показувати зусилля замикавання. В цьому випадку для гідравлічних конструкцій не потрібно встановлення додаткових спеціальних датчиків.

Для порівняння на Рис.0.6 наведені схеми важільного (а) та гідравлічного (б) механізмів замикавання форми. Якщо припустити, що зусилля замикавання, створюване механізмами, 100 мН, площа перерізу колон 100 см² і модуль пружності матеріалу колон $2,1 \cdot 10^7$ Н/см², то подовження колони $\Delta l_k = 1$ мм. Це однаково правильно як для важельних, так гідравлічних конструкцій.

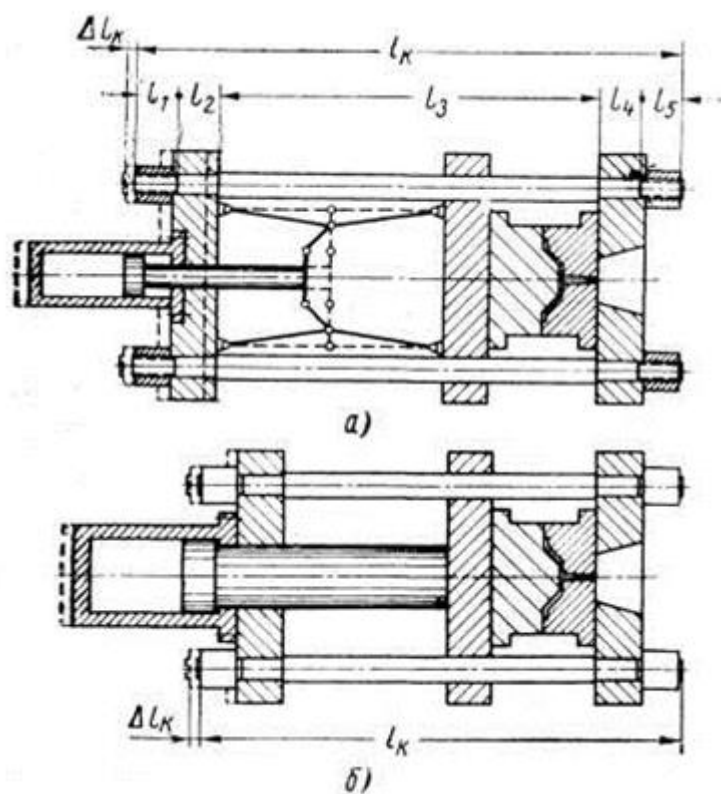


Рис.0.6. Гідромеханічний (а) та гідравлічний (б) механізми замикавання

Наприклад, визначимо площу колон за зусилля замикавання $P = 100$ мН при довжині колони $l_k = 2100$ см; подовження колони $\Delta l_k = 0,1$ см модуль пружності

матеріалу колони $E_k = 2,1 \cdot 10^7 \text{ Н/см}^2$; допустима напруга на розтяг $[\sigma]_p = 12000 \text{ Н/см}^2$. Вважаємо, що колона складається з однієї конструктивної ділянки постійного діаметра.

Розрахунок базових параметрів гідравлічного механізму замикання зводиться до визначення необхідного зусилля замикання форми, діаметрів та ходу поршнів головного та допоміжного циліндрів, а також продуктивності насоса гідропривода.

4.5. Розрахунок гідравлічних механізмів змикання форми

При розрахунку механізмів змикання визначають зусилля, що створюються гідроциліндрами. За цими зусиллями визначають розміри циліндрів. При розрахунку циліндрів механізму інжекції та механізму змикання необхідно розрахувати розміри поршня (оскільки вони визначають основне зусилля упорскування та замикання) та розміри штока (визначають зусилля, необхідне для відведення механізмів у вихідне положення).

Зусилля замикання форми для гідравлічних механізмів

$$P_3 = S_{\text{пр}} p_r - F_{\text{тр}} \quad (0.20)$$

де $S_{\text{пр}}$ – площа перерізу поршня гідроциліндра см^2 ;

p_r – тиск рідини в гідросистемі замикання, що вибирається в межах від 5 до 20 МПа.

$F_{\text{тр}}$ – сила тертя в кг.

Діаметр D_n поршня головного гідроциліндра визначається за рівнянням

$$D_{\Pi} = \sqrt{4P_3/(\pi p_r)} \quad (0.21)$$

Діаметр плунжера d_y прискореного переміщення рухомої плкти визначається за умови забезпечення прийнятої швидкості $V_{\text{зфу}}$ при певній продуктивності насоса.

$$d_y = \sqrt{4 Q_H/(\pi V_{\text{зфу}})} \quad (0.22)$$

де $V_{\text{зф}}$ – прийнята швидкість змикання форми (для прискореного переміщення

$V_{\text{зфу}} = 0,3 \div 0,35 \text{ м/с}$, для уповільненого переміщення $V_{\text{зфм}} = 0,04 \div 0,05 \text{ м/с}$).

Продуктивність Q_H гідронасоса приводу механізму змикання визначається із співвідношення

$$Q_H = V_{\text{зф}} \pi D_{\Pi}^2 / 4$$

У механізмах замикаання гідравлічного типу розрахунку на міцність підлягають гідроциліндри, колони та плити. Методика їх розрахунку аналогічна методиці розрахунків міцності елементів конструкції пресового устаткування.

Зусилля, створюване гідроциліндром, повинно дорівнювати сумі заданого робочого зусилля P і зусилля, що витрачається на подолання сил тертя у рухомих частинах механізму змикання

$$P_{\Gamma} = P + \sum P_{\text{тр}} \quad (0.23)$$

Під робочим зусиллям розуміють одну з наступних величин: зусилля упорскування, замикаання, відриву форм, притискання сопла до форми.

Зусилля, створюване поршневою порожниною циліндра

$$P_{\Gamma\text{п}} = \frac{\pi D^2}{4} p_p - P_n - P_{\text{ш}} - P_c \quad (0.24)$$

де D – діаметр поршня в m ;

p_p – робочий тиск у гідросистемі в MPa ;

P_n – опір, що надається ущільненнями поршня, в H ;

$P_{\text{ш}}$ – опір, що чиниться ущільненнями штока, в H ;

P_c – опір, який чинить порожнина, з'єднана зі зливом, в H .

Зусилля, що створюється штоковою порожниною циліндра

$$P_{\Gamma\text{ш}} = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) p_p - P_n - P_{\text{ш}} - P_c \quad (0.25)$$

де d – діаметр штока в m .

Опір, що надається манжетними ущільненнями

$$P_{\text{нм}} = \mu \pi D_1 l p_p \quad (0.26)$$

де μ – коефіцієнт тертя (при роботі на олії для шкіри $\mu = 0,008$, для гуми $\mu = 0,01$);

D – діаметр поршня в ущільнюваному місці в m ;

l – довжина ущільнення в m .

При використанні як ущільнення поршневих кілець

$$P_{\text{нк}} = \mu \pi D b (n p_k + p_p) \quad (0.27)$$

де D – діаметр циліндра в m ;

b – ширина поршневого кільця в м;

n – кількість поршневих кілець;

p_к – питомий тиск кільця на стінки циліндра мПа (**p_к = 0,6 ÷ 0,9** мПа);

Коефіцієнт тертя для чавунних поршневих кілець по чавунній втулці складає 0,002-0,007.

Опір, що чинить порожнина, яка з'єднана зі зливом,

$$P_c = S_c p_c \quad (0.28)$$

тут **S_c** – площа перерізу зливної порожнини м²;

p_c – тиск у лінії, з'єднаній зі зливом в мПа.

Для орієнтовних розрахунків зусилля, створюваного циліндром, можна використовувати вирази:

для поршневої порожнини

$$P_{гн} = \frac{\pi}{4} D^2 (p - 3) H$$

і для штокової порожнини

$$P_{гш} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) (p - 3) H.$$

З виразу (0.10) визначають робочий тиск в гідросистемі, необхідне для створення зусилля в поршневій порожнині;

$$P_p = \frac{\pi (P_{гн} + P_n + P_{ш} + P_c)}{4 D^2} \quad (0.29)$$

При визначенні тиску по зусиллю, що створюється штоковою порожниною,

$$P_p = \frac{4(P_{гн} + P_n + P_{ш} + P_c)}{\pi(D^2 - d^2)} \quad (0.30)$$

Для орієнтовних розрахунків можна користуватися формулою щодо тиску по зусиллю, створюваному поршневою порожниною,

$$P_p = \frac{4(1.1 \div 1.5) P_{гн}}{\pi D^2} \text{ мПа,}$$

і по зусиллям, що створюється штоковою порожниною,

$$P_p = \frac{4(1.1 \div 1.5) P_{гш}}{\pi(D^2 - d^2)} \text{ мПа,}$$

Для високих тисків вибирають коефіцієнт 1.1, для низьких тисків – 1,5.

Для визначення необхідної витрати робочої рідини потрібно розрахувати швидкість переміщення механізмів, що приводяться в дію гідроциліндрами.

У литвіх машинах швидкості руху механізмів визначаються

швидкохідністю, тобто кількістю циклів за одиницю часу. Швидкість руху інжекційного поршня при упорскуванні – основний параметр ливарної машини. Час упорскування – величина задана і обмежена. Інжекційний поршень переміщається із великою швидкістю за 0,5–3 с (залежно від обсягу виливки). Тому продуктивність насоса чаще всього визначається продуктивністю гідроциліндра впризьку.

Продуктивність насоса, необхідна для переміщення поршня гідроциліндра (працює поршнева порожнина),

$$Q_n = \frac{\pi D^2 H}{4\tau} + \sum q \quad (0.31)$$

де D – діаметр поршня в m ;

H – хід поршня в m ;

τ – час переміщення поршня, в s ;

$\sum q$ – виток рідини з гідроциліндра в m^3/s .

Для штокової порожнини циліндра

$$Q_{ш} = \frac{\pi(D^2 - d^2)H}{4\tau} + \sum q \quad (0.32)$$

де d — діаметр штока в m .

Величина витоків залежить від ущільнення системи та якості гідроапаратури (розподільчих золотників, клапанів та ін.). За наявності ексцентриситету в рухомих упюшаючих механізмах гідроприводу виток збільшуються. Насос підбирають з продуктивністю, близькою до розрахункової, але такою яка перевищує її. Далі розраховують дійсну швидкість v механізмів за продуктивністю Q_n вибраного насоса

$$v = \frac{Q_n - \sum q}{\frac{\pi D^2}{4}} \text{ м/с.}$$

Наступні етапи розрахунку – визначення діаметрів трубопроводів, що з'єднують циліндр із насосом.

При розробці гідросистем литтєвих машин використовують різні способи збільшення швидкості впорскування – встановлення більш продуктивної насосної групи або встановлення акумулятора. При установці насоса великої продуктивності та високого тиску збільшуються габаритні розміри уставки та підвищуються капітальні витрати. Використання гідпневматичних акумуляторів

дозволяє скоротити установочної потужність машини і підвищити швидкість упорскування.

При використанні гідроприводу з акумулятором насос нагнітає рідину в гідроциліндр упорскування через акумулятор. Акумулятори являють собою балони заданого об'єму, у яких певний тиск гідрорідини підтримується за допомогою інертного газу.

У гідросистемах з акумуляторами насос лише підкачує рідину в акумулятори. Продуктивність насоса в цьому випадку не впливає на швидкість упорскування, так як інжекційний поршень рухається вперед під дією рідини, що надходить з акумуляторів під великим тиском і з великою швидкістю.

Час заповнення акумуляторів рідиною не обмежується часом упорскування.

Необхідна для впорскування витрата гідрорідини в гідросистемі може забезпечуватися або від насоса, або від акумулятора. Встановлена потужність двигунів під час використання насоса або акумулятора неоднакова. Наприклад, якщо для розрахунку взяти гідроциліндр об'ємом 63 л, а швидкість упорскування прийняти 3-4 с, то при насосному приводі насос повинен мати продуктивність близько 1050 л/хв; при цьому необхідна потужність приводу насоса при робочому тиску 200 мПа складе приблизно 440 кВт. Якщо припустити, що тривалість циклу лиття становить 2 хв, то при акумуляторному приводі (за тих же умов) буде потрібно двигун 13,2 кВт. Слід зазначити, що двигун потужністю 440 кВт буде працювати під навантаженням тільки при впорскуванні, тобто протягом 3-4 сек, а двигун потужністю 13,2 кВт протягом усього часу роботи машини.

Акумулятор, встановлений у гідропривод машини для зменшення його потужності, протягом циклу повинен забезпечити живлення системи рідиною високого тиску. Розрахунковий об'єм рідини, що надходить у систему з акумулятора

$$V_{\text{ак}} = V_{\text{ц}} - V_{\text{н}} \quad (0.33)$$

де $V_{\text{ак}}$ – розрахунковий об'єм рідини в акумуляторі;

$V_{\text{ц}}$ – об'єм циліндрів, що живляться в циклі акумулятором;

$V_{\text{н}}$ – об'єм рідини, який надходить від насосів при розрядженні акумулятора.

Місткість частини акумулятора, заповненої рідиною

$$V_{\text{ж}} = kV_{\text{ак}}$$

тут k – коефіцієнт, що визначається конструкцією балона акумулятора.

Зазвичай перепад тисків в акумуляторі при розрядці становить 5—12%, тобто

$$5\% < \frac{p_1 - p_2}{p_1} 100 < 12\%,$$

де p_1 – тиск в акумуляторі до упорскування;

p_2 – тиск в акумуляторі після впорскування.

Емкість V_Γ частини акумулятора, заповненої газом

$$p_1 V_\Gamma^n = p_2 (V_{\text{ж}} + V_\Gamma)^n \quad (0.34)$$

або

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_\Gamma}{V_{\text{ж}} + V_\Gamma} \right)^n \quad (0.35a)$$

Показник адіабати n в розрахунках приймають $1 \leq n \leq 1,3$.

Товщину стінки для кованого або цільнотягнутого балона акумулятора визначають з виразу

$$\frac{r_{\text{н}}}{r_{\text{в}}} = \sqrt{\frac{1200 + 0,4p_{\text{max}}}{1200 - 1,3p_{\text{max}}}} \quad (0.36)$$

де $r_{\text{н}}, r_{\text{в}}$ – відповідно зовнішній і внутрішній радіуси балона в см;

p_{max} – максимальний тиск у балоні в мПа.

Звичайно балони, що працюють при тиску до 80 мПа, виготовляють зварними. Товщина стінки $\delta_{\text{ст}}$ зварного балона

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{2r_{\text{в}}}{200\sigma\varphi} + \text{спри} \frac{100\sigma\varphi}{p} < 10 \quad (0.37)$$

та

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{2r_{\text{в}}}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{100\sigma\varphi - p_{\text{max}}}{100\sigma\varphi + p_{\text{max}}}} \right) + c \quad (0.38a)$$

$$\text{при} \quad \frac{100\sigma\varphi}{p} > 10,$$

де σ – напруга, що допускається, на розтяг у мПа;

φ – коефіцієнт ослаблення балона за зварними швами;

c – додаток на корозію і знос стін (приймають $c = 1$ мм).

Швидкохідність литтєвої машини (кількість неодружених цикл в одну одиницю часу) залежить переважно від швидкості переміщення механізмів пресової частини, яка, в свою чергу, визначається конструкцією, кількістю і розмірами гідроциліндрів, складністю гідросхеми (кількістю і конструкціями командних гідроапаратів), значенням прийнятого робочого тиску.

Вибір конструкція механізму визначає розмір гідроциліндра. Наприклад, для гідромеханічної конструкції механізмів змикання потрібно порівняно невеликий гідроциліндр, а для простих гідравлічних конструкцій — циліндри з великими діаметрами та ходами. У заблокованих конструкціях циліндрів, хід поршня невеликий.

Час змикання $\tau_{цз}$ складається з тривалостей окремих операцій

$$\tau_{цз} = \sum_{i=1}^n \tau_i + \tau_n + \tau_H + \tau_e \quad (0.39)$$

де $\sum_{i=1}^n \tau_i$ – час, необхідний для спрацьовування гідравлічних та електрогідравлічних механізмів, які забезпечують змикання форми, в s (n – число механізмів);

τ_n – час, необхідний для переміщення поршня гідроциліндра змикання вперед, *сек*;

τ_H – тривалість періоду наростання тиску в гідроциліндрі до заданої величини в *сек*;

τ_e – час, необхідний для спрацьовування електрокомандних механізмів, в *сек*.

Час спрацьовування електрогідравлічних розподільникових золотників (входить у $\sum_{i=1}^n \tau_i$) складається, у свою чергу, з наступних елементів

$$\tau_3 = \tau_{31} + \tau_{32} + \tau_{33} \quad (0.40)$$

тут τ_{31} – час, необхідний для переміщення якоря електромагніту золотника в s (τ_{31} складає 0,03 – 0,05 *сек* для змінного струму, 0,06-0,07 s для постійного струму; $\tau_{3\min} = 0,01$ s);

τ_{32} – час, необхідний для переміщення розподільного золотника в початковий момент в s ($\tau_{32} \approx 0.05$ $\tau_{33} \approx 0.01s$);

τ_{33} – час, що потрібне на переміщення розподільного золотника з постійною швидкістю в s (орієнтовно $T_{аз}$ становить 0,06–0,18 s).

Час, необхідний для переміщення поршня гідроциліндра вперед, визначається об'ємом циліндра та продуктивністю насоса

$$\tau_n = \frac{V}{Q_n} \quad (0.41)$$

Тривалість періоду наростання тиску до заданої величини залежить від розмірів циліндра та параметрів насоса

$$\tau_H = \frac{2k}{Q_H} \left[p_k - p_p - \sqrt{(p_k - p_d)(p_k - p_p)} \right] \quad (0.42)$$

де $k = \frac{V_M}{E_M}$ [V_M – стисливий об'єм масла в м^3 , $E_M = (1,4 \div 1,75)10^3$ мПа – модуль пружності масла];

Q_H – продуктивність насоса при робочому тиску $\text{м}^3/\text{с}$;

p_n – тиск налаштування запобіжного клапана в мПа;

p_p – робочий тиск у мПа;

p_d – тиск налаштування реле тиску, яке дає сигнал на наступну операцію, в мПа.

Електрокомандні механізми характеризуються певною інерційністю, яку можна описати виразом

$$\tau_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (\tau_1 + \tau_{1d}) \tau_{ei} \quad (0.43)$$

тут τ_{ei} – складові часу (практично можна для одного механізму прийняти $\tau_{ei} = 0,05 \div 0,1$ с); кількість складових залежить від конструкції електросхеми машини.

Час, необхідний для спрацьовування механізмів для проміжних реле 0,03 с, для контактних пристроїв – до 0,1 с.

Для наближеного розрахунку часу циклу преса можна скористатися наступним співвідношенням

$$\tau_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (\tau_1 + \tau_{1d}) + \sum_{i=1}^n (\tau_2 + \tau_{2d}) \quad (0.44)$$

де $\tau_1 = \frac{V_1}{Q_1}$ – час, що враховує переміщення поршнів гідроциліндрів без гальмування (V_1 – повний об'єм циліндрів, що працюють без гальмування в м^3 , Q_1 – продуктивність насоса в $\text{м}^3/\text{с}$);

τ_{1d} – додаткові складові часу, що враховують спрацьовування електро- і

гідрокомандних механізмів, а також тривалість періоду наростання тиску (зазвичай $\tau_{1д} = 0,8 \div 1$ с);

τ_2 – час, необхідне для переміщення поршнів гідроциліндрів з гальмуванням, с;

$\tau_{2д}$ – додаткові складові часу, що враховують спрацьовування електро-і гідрокомандних механізмів та гальмування (зазвичай $\tau_{2д} = 0,8 \div 1,2$ с);

Час переміщення поршнів гідроциліндра з гальмуванням

$$\tau_2 = \frac{V_2 - V_3}{Q_1} \text{ с} \quad (0.45)$$

де V_2 – повний об'єм циліндрів, що працюють з гальмуванням, м³;

$V_3 = Sl$ м³ (тут S – площа перерізу поршня в м², а l – шлях гальмування поршня в м).

Конструкції преса та його приводу впливають на його швидкохідність. Для розрахунку швидкохідності необхідно підсумовувати тривалість усіх операцій та визначити сумарну тривалість холостого циклу, значення якої не повинно перевищувати її значення, розрахованого на підставі техніко-економічних передумов. Не слід надмірно зменшувати час холостого ходу, тому що при високій швидкохідності конструкція подорожчає, стає менш надійною в роботі та потребує постійного переналагодження.

4.5.1. Розрахунок колон

Зусилля запирання пресформи на машинах з гідравлічною конструкцією механізму запирання

$$P = S_{пр} p_p - F_{тр} \quad (0.46)$$

$S_{пр}$ – площа перерізу поршня гідроциліндра м²;

p_p – тиск робочої рідини Н/м²;

$F_{тр}$ – сила тертя поршня по гідроциліндру Н.

З іншого боку, зусилля запирання пресформи також може визначатися виходячи з допустимої деформації колон

$$P = E_k S_k \epsilon_k \quad (4.23a)$$

де $\epsilon_k = \Delta l_k / l_k$ – відносна деформація колон визначається через відносні

деформації окремих її ділянок $\varepsilon_k = \sum_1^n \varepsilon_{ki} = \sum_1^n \frac{\Delta l_{ki}}{l_{ki}}$,

тут l_{ki} – довжина окремих ділянок колони;

Δl_{ki} – подовження окремих ділянок колони;

n – число ділянок.

S_k – проектна площа перетину колон розраховується виходячи з допустимого їх подовження при заданому зусиллі запирання як

$$S_k = \frac{Pl_k}{E_k \Delta l_k} \text{ м}^2$$

З цього співвідношення, задаючись подовженням колон, визначають їх діаметр і остаточно корегують при розрахунках на міцність виходячи з умови:

$$\sigma = \frac{P}{S_k} < [\sigma]_p.$$

Припустимо, що зусилля у формі зросло на 10% і становить 110 000 Н. У цьому випадку подовження колон складе 1,1 мм, т. е. деформація форми зменшиться на 0,1 мм.

У разі гідравлічної конструкції за цих умов форма може розкритися на величину, що перевищує 0,1 мм. Якщо умови збільшення тиску не зміняться, то деталі, відлиті на гідравлічній машині, будуть потовщені матимуть облой. У цьому сенсі важільні конструкції вважаються більш жорсткими.

Велике значення має також жорсткість форми, тобто деформація її поверхонь, що стикаються, в момент створення зусилля замикання. Якщо форма стиснулася більш ніж 0,1 мм, то при деформації колон між площинами половин форми не утворюється зазор, а якщо форма стиснулася менш ніж на 0,1 мм, то може утворитися зазор, у якому відформується облой.

Колони необхідно розраховувати на жорсткість. Прогин колон під дією ваги півформ та власної ваги не повинен перевищувати величину зазору між втулками плит та колонами. Сумарний прогин колони від дії зосередженого та розподіленого навантаження від плит та колон:

$$f = \frac{l^3}{EJ} (0.0131gl + 0.0207G) \approx \frac{l^3}{10^5 d^4} (0.0131gl + 0.0207G) \quad (0.47)$$

де l – Максимальна відстань між плитами в м;

$E = 2 \cdot 10^6 \text{ МПа}$ – модуль пружності матеріалу колон;

$J = 0.785 \frac{d^4}{16} \text{ м}^4$ – момент інерції перерізу;

g – вага 1 см довжини колони в кг/м;

G – частина ваги рухомої плити, що припадає на одну колону в кг;

d – діаметр колони в м.

Для наближеного розрахунку прогину колони можна використовувати співвідношенням

$$f \leq \frac{\delta}{2} \left(\frac{l}{a} \right) \quad (4.24a)$$

де δ – величина максимального зазору між втулкою і колоною в м;

a – довжина втулки в м.

Якщо прогин колони значний, плиту слід спирати на каткові опори.

Різьбову частину колон і гайок розраховують на міцність. На різьбову частину колони діє зусилля F , рівне сумі робочого зусилля $\frac{P}{n}$ (P – зусилля замикання, n – число колон) і зусилля попередньої затяжки гайки колони F_3

$$F = F_3 + \frac{P}{n} \quad (0.48)$$

де F_3 – зусилля попередньої затяжки $F_3 \approx (1.5 \div 1.8) \frac{P}{n}$;

$$F = (2.5 \div 2.8) \frac{P}{n} \quad (4.25a)$$

Різьбова частина колон зазнає змінних за величиною навантажень

$$[\sigma]_a = \frac{[\sigma_{-1}]}{k_\sigma}; \quad (0.49)$$

тут $[\sigma_{-1}]$ – допустиме напруження на витривалість для матеріалу колони в МПа;

$k_\sigma \approx 5.5 \div 6$ – коефіцієнт концентрації напружень.

Фактична амплітуда напружень у циклі

$$[\sigma]_a \geq \sigma_a = \frac{P}{2nS_K} \quad (0.50)$$

де $S_K = \frac{Pk_3}{2n[\sigma]_a}$ – необхідна площа перерізу різьбової частини колони м²,

$k_3 = 1.5 \div 2.5$ – коефіцієнт запасу міцності;

n – число колон.

4.5.2. Розрахунок плит

Плити ливарних машин, на яких закріплюються форми, можуть бути різних конструкцій. Конструкція плити залежить від числа колон, конфігурації та розмірів центруючих отворів, розташування і конструкції пристосувань для закріплення форм і т.д.

Зазвичай плити виготовляють зварними з товстолистової сталі або литими. Плити працюють під великими навантаженнями, тому до технології їх виготовлення пред'являються підвищені вимоги. Виливки для плит повинні бути щільними, без повітряних включень чи інших внутрішніх дефектів. Поверхня плити також не повинна мати дефектів (раковини та ін.). Плити слід піддавати відпалу. Тільки незначні поверхневі ливарні дефекти можна виправити (заварити) за умови, якщо це не порушує міцності конструкції.

Підвищені вимоги пред'являються і до якості зварювання. Зварні конструкції раціональніші на великих машинах, так як виготовлення великих литих заготовок для плит пов'язане зі значними труднощами.

Рухлива плита механізму замикання може переміщатися напрямними колонами. В цьому випадку втулки колон виготовляються із зносостійких матеріалів, наприклад, з фосфористої бронзи.

При русі плити направляючими санчатами станини нижня частина плити може бути виконана з чавунними або бронзовими черевиками. Направляючі санки виготовляють із азотованої сталі. У міру зношування напрямних поверхонь їх рівень регулюють прокладками та гвинтами. Великі плити (вагою кілька сотень кілограмів) можуть спиратися на ролики, що переміщаються направляючими санчатами станини. Форми можна кріпити на плитах за допомогою різьбових отворів чи пазів.

Плити литтєвої машини розраховують на вигин під дією розподіленого або зосередженого навантаження.

Максимальні розтягуючі і стискаючі напруження від згинаючого моменту

$$\sigma_p = \frac{M_{max}(H-y_c)}{J_{xc}} \text{ мПа,}$$

$$\sigma_{сж} = \frac{M_{max}y_c}{J_{xc}} \quad (0.51)$$

де σ_p – напруга на розтяг у МПа;

$\sigma_{сж}$ – напруга на стиск в МПа;

M_{max} – максимальний згинальний момент у небезпечному перерізі плити в Нм;

J_{xc} – осьовий момент інерції (щодо осі, що проходить через центр тяжкості перерізу плити) в м⁴;

H – висота перерізу плити м;

y_c – координата центру ваги плити м.

Для перевірки плит на міцність вибирають найнебезпечніший переріз. У разі складної деформації за наявності кількох небезпечних перерізів кожен із них необхідно перевіряти на міцність. Розрахункові схеми представлені в Таблиця 0.1.

Передня нерухома плита (схема 1-а) піддається деформації від навантаження, розподіленого по опорній поверхні форми і виникає під дією зусилля запирання. Для спрощення розрахунків це навантаження замінюють зосередженою силою P_1 (схема 1-б), прикладеною в центрі опорної поверхні форми. З боку сопла інжекційної частини плита відчуває осьове навантаження P_2 . При складанні розрахункової схеми плити (схема 1-в) за опори прийняті осі колон.

Таблиця 0.1

Розрахунок схем плит

Назва ескізу	Схема 1	Схема 2	Схема 3
Загальний вид (а)			
Схема навантаження та епюри згину епюри (б)			
Небезпечний переріз (в)			
Переріз для розрахунку моменту інерції (г)			

Максимальний можливий згинальний момент у небезпечном перерізі AA плити

$$M_{max} = \left(P_1 - \frac{P}{2}\right) \left(\frac{l}{2} - a\right) \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де $P_1 - \frac{P}{2}$ – зосереджена сила, що діє на плиту в Н (P – зусилля замикання);

l – відстань між осями колон в м;

a – відстань від точки докладання сили P_1 до осі колон в м.

Для полегшення розрахунку осьового моменту інерції небезпечний переріз плити розбивають на окремі ділянки (схема 1-г). Координати центру тяжіння y_c щодо осі XX

$$y_c = \frac{\sum S_i y_i}{\sum S_i} = \frac{b_1 h_1 y_1 + b_2 h_2 y_3 + \frac{1}{2} b_2 h_3 y_3}{b_1 h_1 + b_2 h_2 + \frac{1}{2} b_2 h_2} \quad (0.52)$$

де S_i – площа ділянки м^2 ;

y_i – координата центру ваги ділянки щодо осі XX м;

b_i – ширина ділянки м;

h_i – висота ділянки м.

Момент інерції перерізу плити щодо осі $X_c X_c$, яка проходить через центр перерізу,

$$J_{xc} = \sum S_i (y_i - y_c)^2 + \sum \frac{b_i h_i^3}{k} \quad (0.53)$$

де S_i – коефіцієнт (для прямокутного перерізу $k = 12$, для трикутного перерізу $k = 36$),

а для перерізу AA (схема 1-в і 1-г) момент інерції відносно осі $X_c X_c$;

$$J_{xc} = 2[b_1 h_1 (y_1 - y_c)^2 + b_2 h_2 (y_2 + y_c)^2] + b_2 h_3 (y_2 + y_c)^2 + \frac{1}{18} (3b_1 h_1^3 + 3b_2 h_2^3 + b_2 h_3^3) \text{ м}^4.$$

Задня нерухома плита машини, на якій кріпиться гідроциліндр або важелі механізму замикання, піддається деформації від зусилля замикання. Розподіл зусиль та епюра згинаючого моменту залежать від конструкції пресової частини та плити.

На схемі 2-а показана задня плита машини з гідромеханічним приводом; на плиті встановлені дві опори для кріплення важелів, яким прикладається

зосереджена навантаження P_1 (схема 2-б).

Максимальний згинальний момент у перерізі АА (схеми 2-б і 2-в)

$$M_{max} = P_1 a \text{ Н}\cdot\text{м}$$

де $P_1 = \frac{P}{2}$ – зусилля, що припадає на один опірний майданчик у Н (Р-зусилля запирання);

a – відстань від вісі колони до вісі опірної майданчика м.

Координата центру перерізу (схема 2-г) щодо вісі ХХ

$$y_c = \frac{2b_1h_1y_1 + b_2h_2y_2}{2b_1h_1 + b_2h_2} \text{ м}$$

Момент інерції щодо вісі X_cX_c для перетину плити, що розглядається

$$J_{x_c} = 2b_1h_1(y_1 - y_c)^2 + b_2h_2(y_2 + y_c)^2 + \frac{1}{12}(2b_1h_1^3 + b_2h_2^3) \text{ м}^4.$$

На схемі 3-а показана схема задньої плити пресової частини машини з вбудованим гідроциліндром. Плита та циліндр сприймають спільну деформацію під дією розподіленого навантаження q в центральній частині перерізу плити (схема 3-б). Максимальний згинаючий момент у перерізі АА

$$M_{max} = \frac{1}{8} q a_2^2 \left(4 \frac{a_1}{a_2} + 1 \right) \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де $q = \frac{P}{a_2}$ Н·м (Р – зусилля замикавання в Н);

a_1 і a_2 – див. схеми 3-б і 3-в.

Осьовий момент інерції для перерізу, що розглядається, визначається так само, як і в попередніх випадках. Розбивка перерізу на майданчики показана на схемі 3-г.

Наведення методика дозволяє здійснювати проектний розрахунок геометричних параметрів механізмів змикання пресформи.

4.5.3. Розрахунок гідроциліндрів

Гідроциліндр є одним з найбільш навантаженим та відповідальним вузлом преса, що значною мірою визначає його експлуатаційні якості. Корпус гідроциліндра виконують найчастіше зі сталі 35. Для робочих тисків до 20 МПа використовують литі циліндри. Широко застосовуються циліндри, отримані механічною обробкою із поковок. Трудомісткість виготовлення гідроциліндра

знижується при використанні циліндрів із приварним днищем.

Корпус гідроциліндра складається із наступних основних елементів (Рис. 0.7): днища 1, циліндричної частини 2, опорного фланця 3, розточування під напрямну втулку і ущільнення 4. У днищі є отвір 5 з проточкою для кріплення трубопроводу робочої рідини. Дно може бути виготовлене окремо і може кріпитися до циліндра на різьбленні, болтах, за допомогою кільцевої шпонки розрізу. Внутрішня поверхня циліндра виготовляється по 2-3 класах точності при шорсткості поверхні по 7-9 класах.

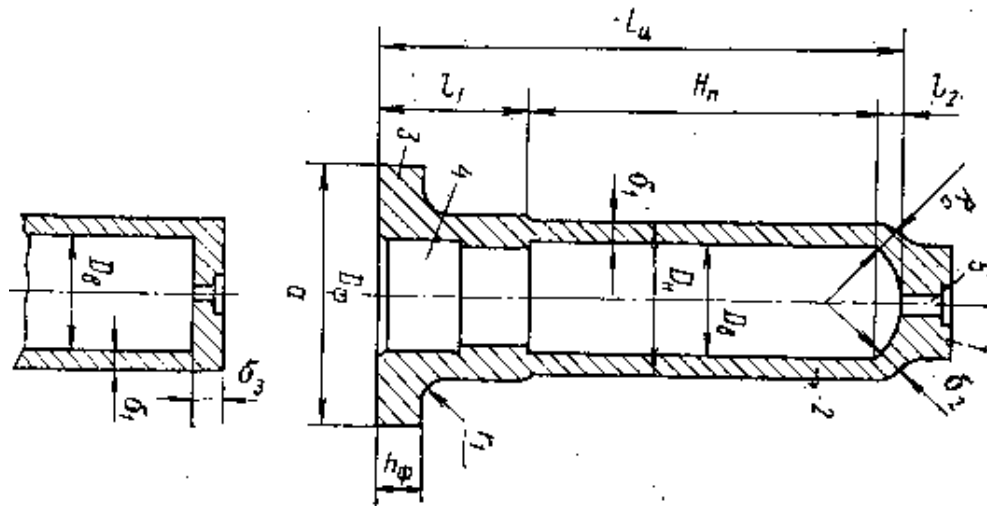


Рис. 0.7. Схема корпусу гідроциліндра зі сферичним (а) та з плоским (б) днищем:

- 1 – днище; 2 – циліндрична частина; 3 – опорний фланець;
- 4 – розточування під ущільнюючу втулку та ущільнення;
- 5 – отвір для кріплення трубопроводу.

Технічна характеристика гідроциліндрів, що включає найменування та тип циліндра, призначення та умови застосування, рекомендовані види робочої рідини, габаритні та приєднувальні розміри та ряд інших параметрів. Діаметри циліндрів поділяються: 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800 та 1000 мм.

При проектуванні гідроциліндра вихідними даними є: зусилля P_n , тиск робочої рідини p_r , допустимі напруження розтяг $[\sigma]$ для металу з якого виготовлений гідроциліндр.

Зовнішній діаметр D_n гідроциліндра знаходять із співвідношення, отриманого в теорії розрахунку товстостінних судин, що працюють під внутрішнім тиском.

У стінках циліндра, що спирається на фланець (див. Рис. 0.7), під час роботи

виникають радіальні σ_r , тангенціальні σ_t і осьові σ_z напруги. Напруги σ_r , σ_t , σ_z можуть бути визначені для будь-якої точки з координатою r за формулою Ляме:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{p_r R_B^2}{R_H^2 - R_B^2} \left(1 - \frac{R_H^2}{r^2} \right) \\ \sigma_t &= \frac{p_r R_B^2}{R_H^2 - R_B^2} \left(1 + \frac{R_H^2}{r^2} \right) \\ \sigma_z &= p_r R_B^2 / (R_H^2 - R_B^2)\end{aligned}\quad (0.54)$$

Напруги σ_z і σ_t мають максимальне значення на внутрішній стінці циліндра при $r = R_B$. Відповідно до енергетичної теорії міцності еквівалентну напругу знаходимо за формулою

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_r - \sigma_t)^2 + (\sigma_t - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2]} \leq [\sigma] \quad (0.55)$$

Отримавши із (0.54) максимальні значення σ_r , σ_t , σ_z при $r = R_B$ і підставивши їх (0.55), отримаємо формулу для розрахунку D_H сталевих циліндрів:

$$D_H = D_B \sqrt{\frac{[\sigma]}{[\sigma] - 1,73p_r}} \quad (0.56)$$

Товщина стінки δ_1 циліндра може бути визначена наступним чином:

$$\delta_1 = \frac{1}{2} D_B \left(\sqrt{\frac{[\sigma]}{[\sigma] - 1,73p_r - 1 + c_{\Pi}}} \right) \quad (0.57)$$

де c_{Π} – припуск на проточку при ремонті циліндра, часто $c_{\Pi} = 0$

При розрахунку циліндра, що кріпиться не на фланці, а з опорою на дно, враховують, що при цьому $\sigma_z = 0$ і формула (0.57) видозмінюється:

$$D_H = D_B \sqrt{\frac{[\sigma]^2 p_r \sqrt{4[\sigma]^2 - 3p_r^2}}{[\sigma]^2 - 3p_r^2}} \quad (4.35a)$$

Марка сталі для виготовлення циліндра в'ється з урахуванням робочого тиску в гідросистемі преса, технології виготовлення та конструкції циліндра. Для кованих циліндрів коефіцієнт запасу міцності $n = 2,7 \div 2,9$, для литих $n = 3 \div 3,5$ по відношенню до межі плинності.

Сферичні днища гідроциліндра мають товщину $\delta_2 = (1 \div 1,3) \delta_1$ з радіусом

сфери $R_c = (1 \div 1,2) R_B$. Товщина плоского днища δ_3 може бути розрахована за формулою

$$\delta_3 = \sqrt{p_T R_B^2 / (\psi [\sigma])} \quad (0.58)$$

де ψ – коефіцієнт, що враховує ослаблення днища отвором ($\psi = 0,7 \div 0,8$).

Глибина циліндра $L_{ц}$ може бути визначена за формулою

$$L_{ц} = H_{п} + l_1 + l_2 \quad (0.59)$$

де $H_{п}$ – хід поршня;

l_1 – довжина проточок під напрямну втулку та ущільнення;

l_2 – глибина сферичної частини днища.

Перехідну частину циліндра до фланця виконують із заокругленою $r_1 = (0,15 \div 0,2) \delta_3$. Зовнішній діаметр фланця D_{ϕ} може бути визначений за наступною формулою, отриманою з умови розвитку допустимих напружень на зминання опорних поверхонь фланця:

$$D_{\phi} = \sqrt{\frac{4P_H + [\sigma_{см}] D_H^2 \pi}{\pi [\sigma_{см}]}} \quad (0.60)$$

де $[\sigma_{см}]$ – допустима напруга зминання, що дорівнює 80-100 МПа.

Товщина фланця залежить від товщини стінки циліндра і повинна прийматися згідно нормалей.

5. ЕЛЕМЕНТИ УПРАВЛІННЯ ТА ГІДРОПРИВОДУ ЛИТТЄВОЇ МАШИНИ

5.1. Гідросхема управління роботою литтєвої машини

Робота гідроприводу литтєвої машини разом з електроприводом та електрокомандними механізмами (пускачами, перемикачами, реле тощо) забезпечує задану послідовність виконання технологічних операцій через певні інтервали часу в автоматичному, напівавтоматичному та налагоджувальному режимах. Литтєві машини в більшості конструкцій є саморегулюючими, тобто виконують регулювання в автоматичному режимі основних технологічних параметрів. Литтєва машина, що саморегулюється, оснащується лічильно-годинним механізмом для відліку складових часу циклу, гідро- і термодатчиками, датчиками переміщення черв'яка, автоматичними контрольними вагами для зважування виробів, приладами для реєстрації та регулювання тиску робочої рідини гідросистеми та температури нагрівання матеріалу. Усі органи управління зосереджені на пульті, що встановлюється на лицьовій частині машини. Електрошафа з апаратурою електричної схеми в більшості випадків монтується окремо.

Принципова схема управління і циклограмма роботи машини для лиття під тиском об'ємом упорскування до $63 \text{ см}^3/\text{цикл}$ представлені на Рис. 0.1.

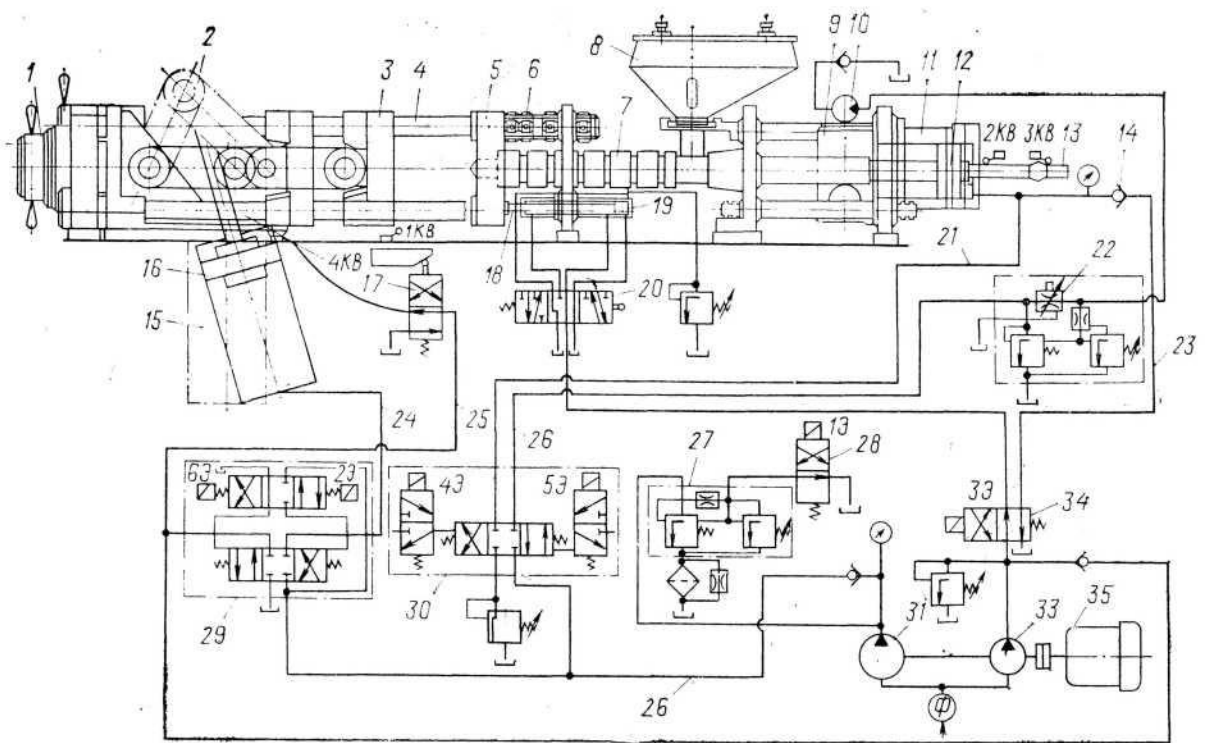


Рис. 0.1.Схема управління роботою машини для лиття під тиском:

- 1, 6- регулювальні гайки; 2 – важіль; 3 – рухлива плита; 4 – колона; 5 – нерухома плита; 7 – нагрівальний циліндр механізму пластикації та упорскування; 8 – бункер; 9 – редуктор; 10 – гідромотор; 11 – гідроциліндр упорскування; 12 – поршень гідроциліндра упорскування; 13 – шток кінцевого вимикача; 14 – зворотний клапан; 15 – гідроциліндр механізму замикання форми; 16 – поршень; 17 – золотник блокування; 18 – шток; 19 – допоміжний гідроциліндр; 20 – золотник управління; 21, 23-26 – магістралі (трубопроводи); 22 – дросель; 27 – клапан; 28, 34 – золотники двопозиційні; 29 – реверсивний золотник; 30 – золотник трипозиційний; 31, 33 – насоси; 32 – золотник напірний; 35 – електродвигун; 1Е, 2Е, 3Е, 4Е, 5Е – електромагніти управління; 1КВ, 2КВ, 3КВ, 4КВ – кінцеві вимикачі

Насоси 31 і 33 приводяться в дію від електродвигуна 35. При включенні електромагнітів 1Е і 2Е реверсивний золотник 29 переміщається вліво і пропускає масло, що рухається від насоса 31 по магістралі 26 в магістраль 25, золотник 17 і штокову порожнину гідроциліндра запирання 15. При цьому поршень 16 переміщується вниз, важелі 2 пересувають плиту 3 по колонах 4 до нерухокої плити 5 і форма змикається (ділянка циклограми 0-1, тут і далі див. Рис. 0.1), а масло з робочої порожнини гідроциліндра витісняється по магістралі 24 в бак. Кінцевий вимикач 1 КВ після змикання форми включає електромагніти 3Е та 4Е, які зсувають золотники 30 та 34 відповідно вправо та вліво. Потік робочої рідини від насоса 33 проходить через золотники 34 та 20 у гідроциліндр 19, який

притискає сопло нагрівального циліндра механізму пластикації та упорскування 7 до литникового каналу пресформи (ділянка циклограми 1'-2). Потік рідини від насоса 31, що надходить через магістраль 26, золотник 30, магістраль 21 заповнює порожню гідроциліндр упорскування 11. Поршень 12 переміщує черв'як у циліндрі механізму пластикації та упорскування 7 у напрямку сопла та пресформи (ділянка циклограми 2'-3). В кінці ходу черв'яка у напрямку сопла та пресформи спрацьовує кінцевий вимикач 2 КВ – пресформа заповнена під заданим тиском.

Електромагніти 1Е, 2Е, 4Е відключаються і слідує витримка полімеру під тиском по реле часу. На цій стадії золотник 28 здійснює злив масла з насоса 31 в бак, а тиск у гідросхемі упорскування підтримується напірним золотником 32. Після вимкнення електромагніту 3Е включаються електромагніти 5Е і 1Е, відбувається витримка без тиску (ділянка циклограми 3-5'), золотник 28 припиняє злив масла з насоса 31 і воно по магістралі 26 надходить у гідромотор 10, який здійснює обертовий рух черв'яка розпочинаючи набір наступної дози полімеру (ділянка циклограми 5''-6'). Частота обертання черв'яка, тобто час набору слідує дозу полімеру, регулюється дроселем 22. Черв'як у циліндрі пластикації та упорскування поступово рухається в напрямку приводу (ділянка циклограми 5'-6) і масло з гідроциліндра 11 витісняється трубопроводом 21 на злив.

Після закінчення набору заданої дози полімеру кінцевий вимикач 3КВ відключає електромагніти 5Е та 1Е і насос 31 знову працює на злив через клапан 27 і золотник 28. Після закінчення часу витримки на охолодження (ділянка циклограми 5'''-7) включаються електромагніти 5Е та 1Е і масло по трубопроводах 26 і 24 надходить в робочу порожнину гідроциліндра 15, форма розмикається (ділянка циклограми 7-8) і виріб виштовхується з форми. В кінці етапу розмикання форми кінцевий вимикач 4КВ відключає електромагніти 1Е та 6Е і включається реле часу паузи, наприклад, очистки форми, тощо.

Допоміжний гідроциліндр 19 зі штоком 18, керований золотником 20, служить для переміщення плити 5 в режимі налагодження. Гайки 6 та 1 регулюють взаємне положення плит 5 та 3 для забезпечення можливості заміни пресформ різних габаритів.

5.2. Розрахунок гідроприводу

При розрахунку механізмів гідроприводу визначають зусилля, що створюються гідроциліндрами механізму змикання і механізму упорскування. За цими зусиллями визначають розміри циліндрів. При розрахунку циліндрів механізму інжекції та механізму змикання необхідно розрахувати розміри поршня (оскільки вони визначають основне зусилля упорскування та замикавання) та розміри штока (визначають зусилля, необхідне для відведення механізмів у вихідне положення).

При розрахунку гідроприводу визначають зусилля замикавання форм, зусилля упорскування та формування, зусилля відриву півформи, та ін.

Зусилля, створюване гідроциліндром, повинно дорівнювати сумі заданого робочого зусилля P і зусилля, що витрачається на подолання сил тертя у рухомих частинах механізму змикання

$$P_{\Gamma} = P + \sum P_{\text{тр}} \quad (0.1)$$

Під робочим зусиллям розуміють одну з наступних величин: зусилля упорскування, замикавання, відриву форм, притискання сопла до форми.

Зусилля, створюване поршневою порожниною циліндра

$$P_{\text{гп}} = \frac{\pi D^2}{4} p_p - P_n - P_{\text{ш}} - P_c \quad (0.2)$$

де D – діаметр поршня в m ;

p_p – робочий тиск у гідросистемі в MPa ;

P_n – опір, що надається ущільненнями поршня, в H ;

$P_{\text{ш}}$ – опір, що чиниться ущільненнями штока, в H ;

P_c – опір, який чинить порожнина, з'єднана зі зливом, в H .

Зусилля, що створюється штоковою порожниною циліндра

$$P_{\text{гш}} = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) p_p - P_n - P_{\text{ш}} - P_c \quad (0.3)$$

де d – діаметр штока в m .

Опір, що надається манжетними ущільненнями

$$P_{\text{нм}} = \mu \pi D_1 l p_p \quad (0.4)$$

де μ – коефіцієнт тертя (при роботі на олії для шкіри $\mu = 0,008$, для гуми $\mu = 0,01$);

D – діаметр поршня в ущільнюваному місці в m ;

l – довжина ущільнення в m .

При використанні як ущільнення поршневих кілець

$$P_{нк} = \mu \pi D b (n p_k + p_p) \quad (0.5)$$

де D – діаметр циліндра в m ;

b – ширина поршневого кільця в m ;

n – кількість поршневих кілець;

p_k – питомий тиск кільця на стінки циліндра mPa ($p_k = 0,6 \div 0,9 mPa$);

Коефіцієнт тертя для чавунних поршневих кілець по чавунній втулці складає $0,002-0,007$.

Опір, що чинить порожнина, яка з'єднана зі зливом,

$$P_c = S_c p_c \quad (0.6)$$

тут S_c – площа перерізу зливної порожнини m^2 ;

p_c – тиск у лінії, з'єднаній зі зливом в mPa .

Для орієнтовних розрахунків зусилля, створюваного циліндром, можна використовувати вирази:

для поршневої порожнини

$$P_{гн} = \frac{\pi}{4} D^2 (p - 3) H$$

і для штокової порожнини

$$P_{гш} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) (p - 3) H.$$

З виразу (0.60) визначають робочий тиск в гідросистемі, необхідне для створення зусилля в поршневій порожнині;

$$P_p = \frac{\pi (P_{гн} + P_n + P_{ш} + P_c)}{4 D^2} \quad (0.7)$$

При визначенні тиску по зусиллю, що створюється штоковою порожниною,

$$P_p = \frac{4 (P_{гн} + P_n + P_{ш} + P_c)}{\pi (D^2 - d^2)} \quad (5.7a)$$

Для орієнтовних розрахунків можна користуватися формулою щодо тиску по зусиллю, створюваному поршневою порожниною,

$$P_p = \frac{4(1.1 \div 1.5)P_{гн}}{\pi D^2} \text{ мПа,}$$

і по зусиллям, що створюється штоковою порожниною,

$$P_p = \frac{4(1.1 \div 1.5)P_{гш}}{\pi(D^2 - d^2)} \text{ мПа,}$$

Для високих тисків вибирають коефіцієнт 1,1, для низьких тисків -1,5.

Для визначення необхідної витрати робочої рідини потрібно розрахувати швидкість переміщення механізмів, що приводяться в дію гідроциліндрами.

У ливарних машинах швидкості руху механізмів визначаються швидкохідністю, тобто кількістю циклів за одиницю часу. Швидкість руху інжекційного поршня при упорскуванні – основний параметр ливарної машини. Час упорскування – величина задана і обмежена. Інжекційний поршень переміщається із великою швидкістю за 0,5–3 с (залежно від обсягу виливки). Тому продуктивність насоса чаще всього визначається продуктивністю гідроциліндра впризку.

Продуктивність насоса, необхідна для переміщення поршня гідроциліндра (працює поршнева порожнина),

$$Q_n = \frac{\pi D^2 H}{4\tau} + \sum q \quad (0.8)$$

де D – діаметр поршня в m ;

H – хід поршня в m ;

τ – час переміщення поршня, в s ;

$\sum q$ – витіку рідини з гідроциліндра в m^3/s .

Для штокової порожнини циліндра

$$Q_{ш} = \frac{\pi(D^2 - d^2)H}{4\tau} + \sum q \quad (0.9)$$

де d – діаметр штока в m .

Величина витоків залежить від ущільнення системи та якості та відтавання гідроапаратури (розподільчих золотників, клапанів та ін.). За наявності ексцентриситету в рухомих упюшаючих механізмах гідроприводу витіку збільшуються. Насос підбирають з продуктивністю, близькою до розрахункової, але такою яка перевищує її. Далі розраховують дійсну швидкість v механізмів за

продуктивністю Q_H вибраного насоса

$$v = \frac{Q_H - \sum q}{\frac{\pi D^2}{4}} \text{ м/с.}$$

Наступні етапи розрахунку – визначення діаметрів трубопроводів, що з'єднують циліндр із насосом.

При розробці гідросистем литтєвих машин використовують різні способи збільшення швидкості впорскування – встановлення більш продуктивної насосної групи або встановлення акумулятора. При установці насоса великої продуктивності та високого тиску збільшуються габаритні розміри уставки та підвищуються капітальні витрати. Використання гідпневматичних акумуляторів дозволяє скоротити установочної потужність машини і підвищити швидкість упорскування.

При використанні гідроприводу з акумулятором насос поштовпує рідину в гідроциліндр упорскування через акумулятор. Акумулятори являють собою балони заданого об'єму, у яких певний тиск гідрорідини підтримується за допомогою інертного газу.

У гідросистемах з акумуляторами насос лише підкачує рідину в акумулятори. Продуктивність насоса в цьому випадку не впливає на швидкість упорскування, так як інжекційний поршень рухається вперед під дією рідини, що надходить з акумуляторів під великим тиском і з великою швидкістю.

Час заповнення акумуляторів рідиною не обмежується часом упорскування.

Необхідна для впорскування витрата гідрорідини в гідросистемі може забезпечуватися або від насоса, або від акумулятора. Встановлена потужність двигунів під час використання насоса або акумулятора неоднакова. Наприклад, якщо для розрахунку взяти гідроциліндр об'ємом 63 л, а швидкість упорскування прийняти 3–4 с, то при насосному приводі насос повинен мати продуктивність близько 1050 л/хв; при цьому необхідна потужність приводу насоса при робочому тиску 200 МПа складе приблизно 440 кВт. Якщо припустити, що тривалість циклу лиття становить 2 хв, то при акумуляторному приводі (за тих же умов) буде потрібно двигун 13,2 кВт. Слід зазначити, що двигун потужністю 440 кВт буде працювати під навантаженням тільки при впорскуванні, тобто протягом 3–4 сек, а двигун потужністю 13,2 кВт протягом усього часу роботи машини.

Акумулятор, встановлений у гідропривод машини для зменшення його

потужності, протягом циклу повинен забезпечити живлення системи рідиною високого тиску. Розрахунковий об'єм рідини, що надходить у систему з акумулятора

$$V_{ак} = V_{ц} - V_{н} \quad (0.10)$$

де $V_{ак}$ – розрахунковий об'єм рідини в акумуляторі;

$V_{ц}$ – об'єм циліндрів, що живляться в циклі акумулятором;

$V_{н}$ – об'єм рідини, який надходить від насосів при розрядженні акумулятора.

Місткість частини акумулятора, заповненої рідиною

$$V_{ж} = kV_{ак}$$

тут k – коефіцієнт, що визначається конструкцією балона акумулятора.

Зазвичай перепад тисків в акумуляторі при розрядці становить 5–12%, тобто

$$5\% < \frac{p_1 - p_2}{p_1} 100 < 12\%,$$

де p_1 – тиск в акумуляторі до упорскування;

p_2 – Тиск в акумуляторі після впорскування.

Емкість $V_{г}$ частини акумулятора, заповненої газом

$$p_1 V_{г}^n = p_2 (V_{ж} + V_{г})^n \quad (0.11)$$

або

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_{г}}{V_{ж} + V_{г}} \right)^n \quad (5.12a)$$

В наведених виразах показник адіабати n в розрахунках приймають $1 \leq n \leq 1,3$.

Товщину стінки для кованого або цільнотягнутого балона акумулятора визначають з виразу

$$\frac{r_{н}}{r_{в}} = \sqrt{\frac{1200 + 0,4p_{max}}{1200 - 1,3p_{max}}} \quad (0.12)$$

де $r_{н}, r_{в}$ – відповідно зовнішній і внутрішній радіуси балона в см;

p_{max} – максимальний тиск у балоні в МПа.

Звичайно балони, що працюють при тиску до 80 МПа, виготовляють зварними. Товщина стінки $\delta_{ст}$ зварного балона

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{2r_{\text{в}}}{200\sigma\varphi} + c \quad \text{при} \quad \frac{100\sigma\varphi}{p} < 10 \quad (0.13)$$

та

$$\delta_{\text{ст}} = \frac{2r_{\text{в}}}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{100\sigma\varphi - p_{\text{max}}}{100\sigma\varphi + p_{\text{max}}}} \right) + c \quad (5.13a)$$

при $\frac{100\sigma\varphi}{p} > 10$,

де σ – напруга, що допускається, на розтяг у МПа;

φ – коефіцієнт ослаблення балона за зварними швами;

c – додаток на корозію і знос стін (приймають $c = 1$ мм).

Швидкохідність литтєвої машини (кількість неодружених цикл в одну одиницю часу) залежить переважно від швидкості переміщення механізмів пресової частини, яка, своєю чергою, определяється конструкцією, кількістю і розмірами гідроциліндрів, складністю гідросхеми (кількістю і конструкціями командних гідроапаратів), значенням прийнятого робочого тиску.

Вибір конструкція механізму визначає розмір гідроциліндра. Наприклад, для гідромеханічної конструкції механізмів змикання потрібно порівняно невеликий гідроциліндр, а для простих гідравлічних конструкцій — циліндри з великими діаметрами та ходами. У зблокованих конструкціях циліндрів, хід поршня невеликий.

Час змикання $\tau_{\text{цс}}$ складається з тривалостей окремих операцій

$$\tau_{\text{цс}} = \sum_1^n \tau_i + \tau_n + \tau_H + \tau_e \quad (0.14)$$

де $\sum_1^n \tau_i$ – час, необхідний для спрацьовування гідравлічних та електрогідравлічних механізмів, які забезпечують змикання форми, в с (n – число механізмів);

τ_n – час, необхідне для переміщення поршня гідроциліндра змикання вперед, сек;

τ_H – тривалість періоду наростання тиску в гідроциліндрі до заданої величини в сек;

τ_e – час, необхідний для спрацьовування електрокомандних механізмів, в сек.

Час спрацьовування електрогідравлічних розподільникових золотників (входить у $\sum_1^n \tau_i$) складається, у свою чергу, з наступних елементів

$$\tau_3 = \tau_{31} + \tau_{32} + \tau_{33} \quad (0.15)$$

тут τ_{31} – час, необхідний для переміщення якоря електромагніту золотника в c (τ_{31} складає 0,03–0,05 c для змінного струму, 0,06–0,07 c для постійного струму; $\tau_{3\min} = 0,01 c$);

τ_{32} – час, необхідний для переміщення розподільчого золотника в початковий момент в c ($\tau_{32} \approx 0.05 \tau_{33} \approx 0.01c$);

τ_{33} – час, що потрібне на переміщення розподільного золотника з постійною швидкістю в c (орієнтовно $T_{аз}$ становить 0,06–0,18 c).

Час, необхідний для переміщення поршня гідроциліндра вперед, визначається об'ємом циліндра та продуктивністю насоса

$$\tau_n = \frac{V}{Q_H} \quad (0.16)$$

Тривалість періоду наростання тиску до заданої величини залежить від розмірів циліндра та параметрів насоса

$$\tau_H = \frac{2k}{Q_H} \left[p_k - p_p - \sqrt{(p_k - p_d)(p_k - p_p)} \right] \quad (0.17)$$

де $k = \frac{V_M}{E_M}$ [V_M – стисливий об'єм масла в m^3 , $E_M = (1,4 \div 1,75)10^3$ мПа – модуль пружності масла];

Q_H – продуктивність насоса при робочому тиску m^3/c ;

p_n – тиск налаштування запобіжного клапана в мПа;

p_p – робочий тиск у мПа;

p_d – тиск налаштування реле тиску, яке дає сигнал на наступну операцію, в мПа.

Електрокомандні механізми характеризуються певною інерційністю, яку можна описати виразом

$$\tau_{\Sigma} = \sum_1^n (\tau_1 + \tau_{1d}) \tau_{ei} \quad (0.18)$$

тут τ_{ei} – складові часу (практично можна для одного механізму прийняти $\tau_{ei} = 0,05 \div 0,1 c$); кількість складових залежить від конструкції електросхеми машини.

Час, необхідний для спрацьовування механізмів для проміжних реле 0,03 c , для контактних пристроїв – до 0,1 c .

Для наближеного розрахунку часу циклу литтєвої машини можна скористатися наступним співвідношенням

$$\tau_{\text{ц}} = \sum_1^n (\tau_1 + \tau_{1\text{д}}) + \sum_1^n (\tau_2 + \tau_{2\text{д}}) \quad (0.19)$$

де $\tau_1 = \frac{V_1}{Q_1}$ – час, що враховує переміщення поршнів гідроциліндрів без гальмування (V_1 – повний об'єм циліндрів, що працюють без гальмування в м^3 , Q_1 – продуктивність насоса в $\text{м}^3/\text{с}$);

$\tau_{1\text{д}}$ – додаткові складові часу, що враховують спрацьовування електро- і гідрокомандних механізмів, а також тривалість періоду наростання тиску (зазвичай $\tau_{1\text{д}} = 0,8 \div 1 \text{ с}$);

τ_2 – час, необхідне для переміщення поршнів гідроциліндрів з гальмуванням, с ;

$\tau_{2\text{д}}$ – додаткові складові часу, що враховують спрацьовування електро-і гідрокомандних механізмів та гальмування (зазвичай $\tau_{2\text{д}} = 0,8 \div 1,2 \text{ с}$);

Час переміщення поршнів гідроциліндра з гальмуванням

$$\tau_2 = \frac{V_2 - V_3}{Q_1} \text{ с} \quad (0.20)$$

де V_2 – повний об'єм циліндрів, що працюють з гальмуванням, м^3 ;

$V_3 = Sl \text{ м}^3$ (тут S – площа перерізу поршня в м^2 , а l – шлях гальмування поршня в м).

Конструкції механізму змикання та його приводу впливають на швидкохідність машини. Для розрахунку швидкохідності машини необхідно підсумовувати тривалість усіх операцій та визначити сумарну тривалість холостого циклу, значення якої не повинно перевищувати її значення, розрахованого на підставі техніко-економічних передумов. Не слід надмірно зменшувати час холостого ходу, тому що при високій швидкохідності конструкція подорожчає, стає менш надійною в роботі та потребує постійного переналагодження.

5.3. Пристрої, що забезпечують безпечну роботу на литтєвих машинах

Для захисту обслуговуючого персоналу від травм та запобігання виходу з ладу обладнання внаслідок виникнення аварійної ситуації литтєві машини забезпечуються системою захисних та запобіжних пристроїв. До них відносяться:

а) пристрої, що запобігають опікам розплавом полімерного матеріалу та нагрітими поверхнями обладнання (огорожі соплової частини, захисні кожухи пластикаційно-інжекційного циліндра, півформ що запираються);

б) пристрої, що оберігають машину від аварій внаслідок перевантажень (запобіжні клапани в гідросистемі, механізми контролю розвантаження готового виробу);

в) пристрої, що запобігають травмуванню обслуговуючого персоналу в робочій зоні литтєвої машини (рухливі та нерухомі огороження механізму замикання, заблоковані з гідросистемою замикання форми);

г) пристрої для захисту обслуговуючого персоналу від вібрації (амортизатори) та впливу токсичних летких речовин (припливно-витяжна вентиляція).

6. МАШИНИ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ЛИСТОВИХ ТЕРМОПЛАСТІВ ПНЕВМОВАКУУМНИМ ФОРМУВАННЯМ

6.1. Сутність методу формування

Формування складається із трьох стадій: 1) нагрівання листа або плівки термопласту, до температури, що лежить у температурному діапазоні високоеластичного стану матеріалу; 2) створення різниці тисків повітря в просторах, що примикають до протилежних сторін розігрітого листа, під дією цієї різниці листок деформується, облягаючи формотворну поверхню холодної форми; 3) витримка відформованого листа в контакті з холодною формою з метою охолодження матеріалу до температури, що лежить нижче за температуру переходу в твердий стан (температури склування або кристалізації).

Пневмовакуумне формування є одним із найстаріших методів виготовлення виробів із пластичних мас. Воно застосовується в тих випадках, коли необхідно отримати вироби з відношенням лінійних розмірів до товщини стінки більше 150-200, тобто тонкостінні вироби. В даний час цим методом виготовляється переважно тара та упаковка виробів та продуктів. Як сировина використовуються різні термопласти у вигляді листів завтовшки від 1 до 10 мм або плівок.

Розглянемо, як реалізуються зазначені стадії методу з прикладу однієї з його різновидів (Рис. 0.1). На першій стадії (Рис. 0.1, а) лист 1 рамою 2 герметично підтискається до торцевої поверхні форми 3, і над листом розміщується нагрівач 4. Відбувається нагрівання листа.

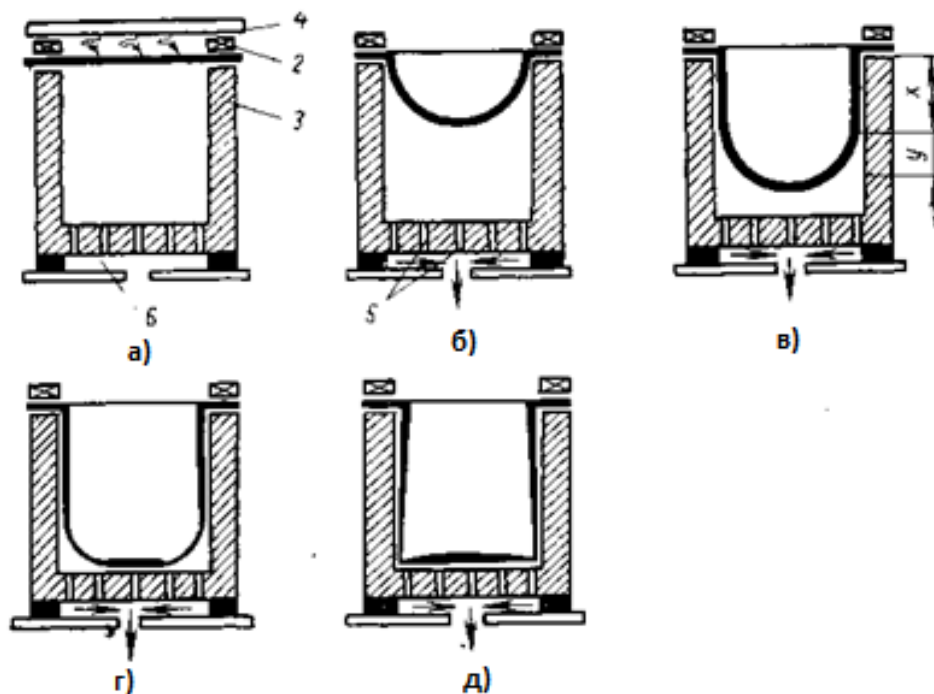


Рис. 0.1. Стадії негативного вакуумформування (а-д – стадії процесу):

1 – лист; 2 – рама; 3 – форма; 4 – нагрівач; 5 – вентиляційні канали;
6 – дренажна порожнина.

На стадії (Рис. 0.1, г) нагрівач відводиться, і з порожнини форми через вентиляційні канали 5 відсмоктується повітря. У порожнині створюється розрідження, і лист, перебуваючи у вискоеластичному стані, під впливом різниці атмосферного (над листом) і залишкового (в порожнині) тисків починає втягуватися в порожнину, облягаючи холодну формоутворюючу поверхню 1.

На стадії (Рис. 0.1, д) відформований лист, контактуючи з формою, охолоджується. У вискоеластичному стані деформації, що розвилися в матеріалі, оборотні, тому щоб уникнути спотворення придбаної листом конфігурації на нього повинен чинитися тиск аж до повного його затвердіння. З цієї причини вакуум дренажної порожнини 6 підтримується аж до завершення процесу формування.

6.1.1. Різновиди методи пневмовакуумного формування

Методи пневмовакуумного формування поділяються на вільне, негативне та позитивне.

Вільне формування відрізняється від розглянутої на Рис. 0.1 різновиду тим, що обмежується позицією «б». Після досягнення необхідного ступеня витяжки відкачування повітря з порожнини форми припиняється, дренажний канал 7 закривається, і охолоджується виріб, контактуючи з атмосферним повітрям.

Вільним формуванням виготовляють, наприклад, ковпаки освітлювачів та ліхтарі будівель.

Негативне формування (Рис. 0.1) отримало свою назву у зв'язку з тим, що формотворна поверхня форми (матриці), будучи увігнутою, є як би негативом, зліпком з виробу.

Позитивне формування (Рис. 0.2) відрізняється від негативного тим, що формоутворююча поверхня форми (пуансона) опукла. Позитивне формування застосовують, якщо потрібно, щоб потовщена стінка виробу виходила в донній частині його, або коли необхідно, щоб точно формою була відтворена внутрішня поверхня виробу. Порівнюючи Рис. 0.1 і Рис. 0.2, бачимо, що суттєвий недолік позитивного методу – великі відходи листа.

Формування з механічною витяжкою

Схеми формування з механічною витяжкою показано на Рис. 0.3

Негативне формування з попередньою механічною витяжкою (Рис. 0.3, а) відбувається наступним чином. Після нагрівання листа (поз. I) нагрівач 1 відводиться убік, а витяжкий пуансон 2 опускається, витягаючи лист (поз. II).

Розміри пуансона на 10-20% менше відповідних розмірів формоутворюючої поверхні матриці 3, так що основна витяжка листа виконується пуансоном. При витяжці пуансоном лист не стосується холодної матриці, тому товщі стінок виробу виходить приблизно однаковою. При остаточній витяжці створенням порожнини вакууму (поз. III) лист практично одночасно стосується стінок порожнини всією своєю поверхнею.

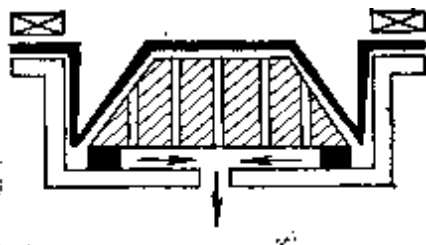


Рис. 0.2. Схема позитивного вакуумформування.

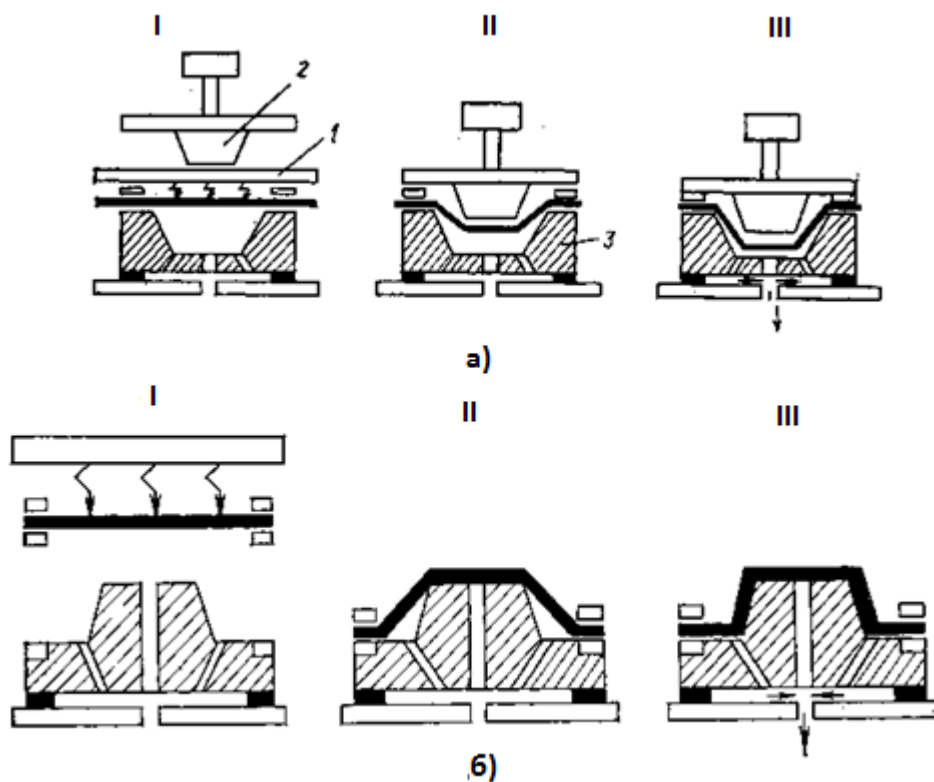


Рис. 0.3. Негативне (а) та позитивне (б) формування з механічною витяжкою.

При механічній витяжці (поз. II) частина листа контактує з пуансоном. Щоб, незважаючи на контакт, ця частина листа безперешкодно витягувалася, необхідні, по-перше, мінімально можливий коефіцієнт тертя між листом і пуансоном, по-друге, мінімальне охолодження листа при контакті з ним. У зв'язку з цим пуансон, що витягує, часто роблять обігрівачем або облицьовують його матеріалами з низькою теплопровідністю і малим коефіцієнтом тертя (фторопластом, велюром, оксамитом).

Позитивне формування з механічною витяжкою показано на Рис. 0.3, б. Стадії формування поз. I, II, III такі, як і Рис. 0.3, а. Перевага перед варіантом, показаним на Рис. 0.3а, полягає в тому, що один і той же пуансон використовується як для витяжки, так і для остаточного формування, тобто конструкція машини може бути більш простою. Недоліком є те, що при витяжці матеріал контактує з холодним пуансоном, що має високу теплопровідність. Щоб усунути цей контакт, можна на стадії витяжки через отвори пуансонів для відкачування повітря подавати його під тиском. Він створює прошарок (повітряну подушку) між пуансоном і листом, не перешкоджаючи витяжці останнього.

6.1.2. Формування з пневматичною витяжкою

Попередню витяжку листа можна здійснювати не механічним впливом пуансона, а шляхом створення різниці тисків з протилежних сторін листа. Стадії негативного та позитивного формування з попередньою пневматичною витяжкою показані на Рис.0.4, а та Рис.0.4, б відповідно. При негативному вакуумформуванні після прогріву (поз. I) у формуючу порожнину подається повітря, і лист видмухується в півсферу (поз. II). Потім у порожнині створюється розрідження, і роздутий лист, вивернувшись навиворіт, облягає формоутворюючу поверхню (поз. III).

При позитивному вакуумформуванні поз. I та II такі ж, проте витяжка відбувається за рахунок розрідження, створюваного під листом у пневмовакuumній камері. Після витяжки пуансон, що формує, опускається і розрідження знімається (поз. III). Не застигла ще охолонути заготівля, прагнучи під впливом внутрішніх пружних сил повернутися у початкове становище, облягає пуансон і твердне, охолоджуючись. Для кращого облягання заготівлею пуансона лист підтискається до нього за рахунок стисненого повітря, що подається в камеру, або за рахунок розрідження, створюваного в каналах пуансона.

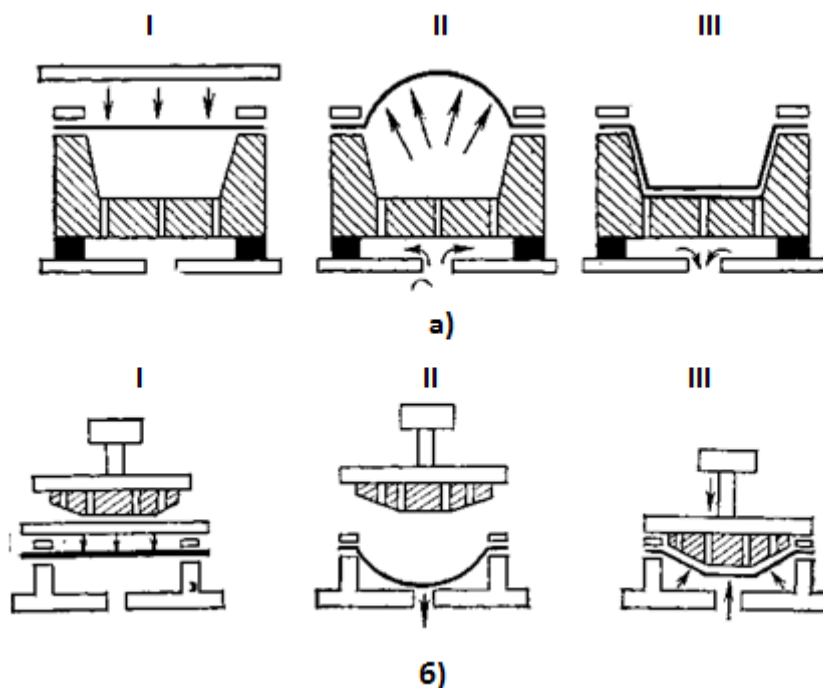


Рис.0.4. Негативне (а) та позитивне (б) формування з пневматичною витяжкою.

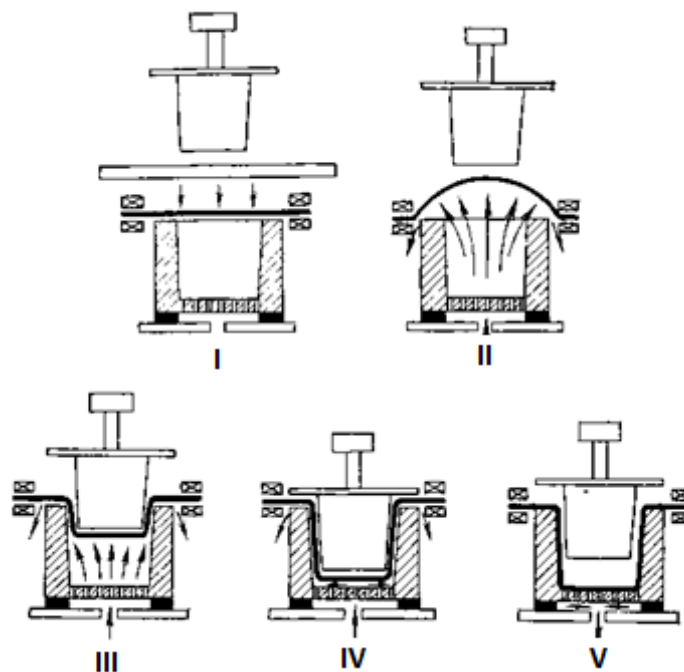


Рис. 0.5. Негативне формування із пневмомеханічною витяжкою.

При пневматичній витяжці товщина витягнутого листа виходить одноріднішою, ніж при механічній, оскільки відсутній контакт з витяжним пуансоном, що уповільнює процес витяжки.

6.1.3. Формування з пневмомеханічною витяжкою

Схему негативного формування з комбінованою витяжкою наведено на Рис. 0.5. Нагрів і роздмухування заготовки (поз. I, II) здійснюється так само, як показано на Рис.0.4, а з тією різницею, що на завершальному етапі роздування листа рама з ним піднімається для вільного виходу повітря з форми. Відразу слідом за підйомом рами пуансон, що витягує, опускається (поз. III, IV), вивертаючи лист навиворіт і витягуючи його додатково до розмірів, близьких до остаточних. Повітря в цей час продовжує надходити в дренажні канали матриці, створюючи повітряний шар між її поверхнею та листом і тим самим запобігаючи їхньому контакту. На завершальній стадії (поз. V) порожнина матриці вакуумується і лист облягає поверхню матриці.

При формуванні з пневмомеханічною витяжкою одержують вироби з мінімальною різнотовщинністю.

Усі розглянуті у розд. 6.3.1–6.3.3 різновиди відносяться до типів вакуумного формування. Очевидно, що при цьому методі максимальна різниця тисків, створюваних з протилежних сторін листа, не може перевищувати 0,1 МПа. При товщині листа, більшої 3–5 мм, ця різниця тисків недостатня для того, щоб швидко сформувати виріб; формування виявляється настільки тривалим, що лист встигає значно охолоне і втратити деформативність. Вироби виходять недостатньо гарної якості.

Для товстих листів використовують тип пневматичного формування. Різниця тисків при цьому створюється не за рахунок розрідження з боку аркуша, зверненої до форми, а за рахунок надлишкового тиску, що розвивається з протилежного боку аркуша. При цьому може бути досягнута різниця тиску від 0,15 до 2,5 МПа.

При пневмоформуванні можуть бути реалізовані всі різновиди методу, описані в попередніх розділах, проте конструкція робочих органів машини стає складнішою: з'являється герметично притискана до листа пневмокамера, в якій має створюватися надлишковий тиск.

6.2. Конструктивні різновиди обладнання для пневмовакуумного формування

Машини для пневмовакуумного формування класифікують за такими ознаками: 1) спосіб створення тиску, що формує; 2) кількість позицій; 3) вихідний вид матеріалу, що переробляється; 4) призначення машини.

За першою ознакою розрізняють машини для вакуумного, пневматичного формування та машини, на яких можна здійснювати обидва види формування. Кожен з цих типів машин може мати механізми попередньої механічної витяжки.

За другою ознакою машини поділяються на одно-, дво-, три- та багатопозиційні. У однопозиційних машин всі технологічні операції (нагрів, витяжка, формування) здійснюються при одному незмінному положенні заготівлі, тобто на одній позиції. Під час виконання однієї операції механізми, призначені для виконання інших операцій, простоюють. Щоб інтенсифікувати їх роботу та

збільшити продуктивність машини, її виконують багатопозиційної: робочі органи для різних операцій розташовують у різних місцях (позиціях), а заготовку листа після завершення чергової операції транспортують до робочих органів, що виконують наступну операцію. При цьому в машині одночасно обробляється кілька заготовок (їх число дорівнює числу позицій).

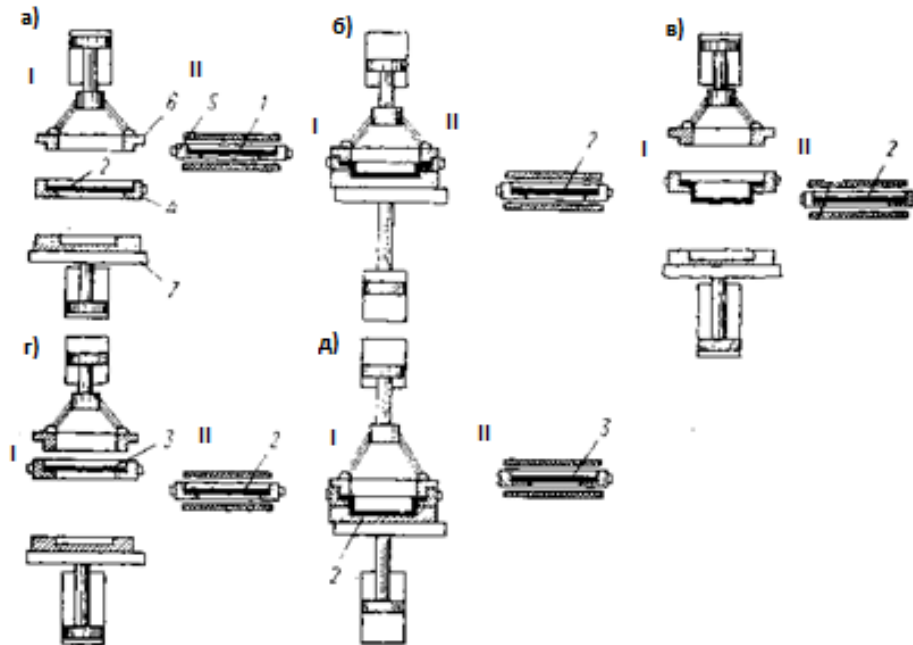


Рис. 0.6. Двопозиційна вакуумформувальна машина.

За третьою ознакою виділяють машини, що переробляють рулонний листовий матеріал та матеріал у вигляді окремих заготовок.

По четвертому приязку машини діляться на універсальні та спеціалізовані.

На Рис. 0.6 показано схему двопозиційної вакуумформувальної машини. У поз. I виконуються закріплення листової заготовки 1, 2 або 3 у притискних рухомих рамах 4 або 5. У поз. II відбувається розігрів заготовки. Цикл роботи цієї машини складається з наступних операцій. Заготівля 1 разом із рамою 5 знаходиться в поз. II на нагріванні, а заготівля 2 в рамі 4 – поз. I (Рис. 0.6, а); притискний пристрій 6 піднято, підйомний стій 7 з формою опущений. Після зустрічного переміщення рам на наявних на них роликах по напрямних (на схемі не показано) заготівля 2 стає поз. II на нагрівання, а заготівля, що перейшла в поз. I, формується під вакуумом при піднятому столі з формою та опущеному притискному пристрої (Рис. 0.6, б). У поз. II заготівля 2 нагрівається, а поз. I виріб із заготівлі 1 охолоджується.

Після завершення зазначених операцій стій з формою опускається,

притискний пристрій піднімається і витягують із форми (Рис. 0.6, в). Нову заготовку 3 укладають на місце відформованої заготовки 1 і закінчують розігрів заготовки 2 (Рис. 0.6, г). Після цього рами із заготовками змінюються місцями: заготівля 2 виявляється у поз. I, готової для початку формування, а заготівля 3 посту. II на нагрівання (Рис. 0.6) конструкції машини мають непродуктивних вистой на жодній позиції, якщо сумарний час операцій на поз. I приблизно дорівнює часу нагріву заготовки. Однак при формуванні товстих листів (понад 10 мм) час нагрівання виявляється набагато більшим. У зв'язку з цим часто випускають машини з двома позиціями нагріву (попереднє і остаточне нагрівання).

Якщо ж формуються вироби з тонкого листа або плівки, то час прогріву виявляється набагато менше суми часів охолодження виробу та перезаряджання рами, причому часи охолодження виробу та перезаряджання рами стають приблизно рівними. В цьому випадку виявляється доцільним формування та охолодження виробу виконувати в одній позиції, а перезаряджання рами — в іншій. Схема такої машини з ротаційним типом механізму переміщення рам із заготовками показана на Рис.0.8.

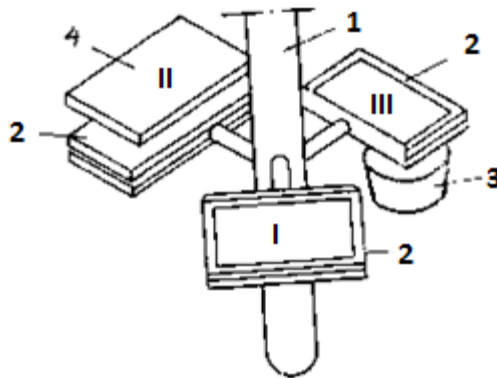


Рис.0.7. Схема трьохпозиційної вакуумформувальної машина ротаційного типу

У поз. I заготівля затискається в раму 2 і вал I з трьома рамами 2 повертається на 120° ; при цьому затиснута заготовка потрапляє до поз. II, розташовуючись під нагрівачем 4. Після прогріву та чергового повороту на 120° заготівля виявляється у поз. III над формою 3. Остання, піднявшись, притискається до заготівлі, відбувається формування та охолодження виробу. Після охолодження здійснюється опускання форми та поворот валу 1 на 120° у зворотному напрямку. Відформований та затиснутий у рамі виріб потрапляє до поз. II, де воно знімається, а в раму вставляється нова заготівля. Такі машини можуть виконуватися і

чотирьохпозиційними (з двома позиціями нагріву).

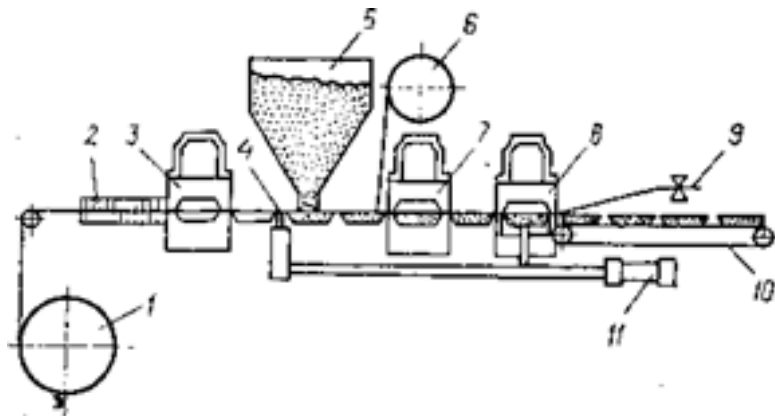


Рис.0.8. Схема багатопозиційної машини стрічкового типу для формування та заповнення дрібної тари з пульсуючою протяжкою листа

1 – рулон листа; 2 – позиція нагріву; 3 – позиція формування;
4 – захоплення; 5 – бункер; 6 – рулон плівки; 7 – машина для термоімпульсного зварювання; 8 – вирубний пристрій; 9 – приймальний пристрій для відходів;
10 – транспортер; 11 – пневмоциліндр.

Для формування виробів з рулонних листів або плівок застосовуються багатопозиційні машини стрічкового типу з безперервною або пульсуючою протяжкою матеріалу, що змотується з рулону. Схема машини з пульсуючою протяжкою показана на Рис.0.8. Змитиваний з рулону 1 лист надходить у позицію нагрівання 2 де прогрівається частина листа необхідної довжини. Після прогріву лист зміщується на цю довжину, і прогріта ділянка надходить у позицію формування 3. Протяжка листа на задану довжину здійснюється за допомогою механізму, що має захоплення 4, що приводиться в рух пневмоциліндром 11. На наступній за механізмом протяжки (третьої) позиції здійснюється заповнення відформованої тари сипучим продуктом із бункера 5.

На четвертій позиції відбувається закупорювання заповненої тари: плівка, що змотується з рулону 6, притискається до листа з відформованими і заповненими осередками тари і приварюється по периметру кожної з них машиною 7 для термоімпульсного зварювання. На п'ятій позиції вирубний пристрій 8 відокремлює закупорені осередки і подає їх на транспортер 10, а лист з просічками від осередків приймальним пристроєм 9 відводиться у відходи.

Машини з безперервного формування з одночасною подачею матеріалу та герметизацією шляхом упакування представлено на Рис. 0.9.

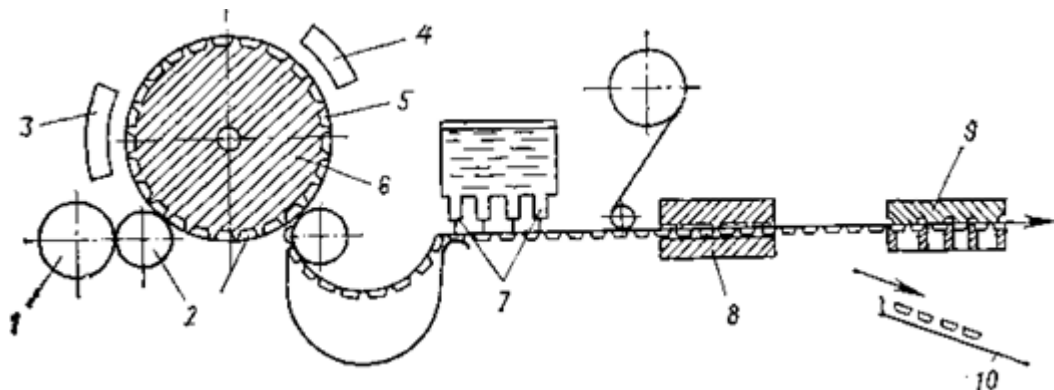


Рис. 0.9. Схема багатопозиційної машини стрічкового типу з безперервною подачею листа

1 – рулон листа; 2 – притискний валок; 3 – нагрівач; 4 – охолодний пристрій;
5 – матриця; 6 – ротор; 7 – пристрій, що заповнює; 8 – пристрій, що закупорює;
9 – вирубний пристрій; 10 – приймальний пристрій для відходів.

Машини з безперервною подачею матеріалу мають вузол формування роторного типу. Змотується з рулону 1 лист (або плівка) валком 2 притискається до ротора 6 з безліччю виконаних на його поверхні матриць 5. Охоплюючи безперервно обертається ротор, лист потрапляє під нагрівач 3. На інтервалі між нагрівачем 3 і охолоджуючим пристроєм 4 порожнини матриць; тут у листі формуються осередки тари. З ротора лист з відформованими осередками надходить на позиції заповнення 7, закупорки і вирубки 9. Відходи листа надходять у приймальний пристрій ЦО.

6.3. Конструкція основних вузлів машин для пневмовакуумного формування

6.3.1. Нагрівачі

При радіаційному способі нагріву як нагрівачі опору використовують ніхромовий дріт або стрічку. Відкриті (тобто безпосередньо сполучені з атмосферним повітрям) нагрівачі в даний час практично не застосовуються з двох причин. По-перше, нагрівання дроту викликає його подовження і провисання, що порушує площинність поверхні, що гріє, утвореної безліччю натягнутих стрічок (або дротів). По-друге, контакт з киснем повітря, що омиває нагрітий дріт при природній конвекції, викликає його інтенсивне окиснення. Швидкість окислення залежить від температури, тому достатня довговічність відкритих нагрівачів може

бути забезпечена лише за відносно низьких температур (близько 673K). Потужність випромінювання та швидкість нагрівання листа при цьому невеликі.

Конструкції радіаційних електронагрівачів розрізняються за способом загортання ніхромового дроту.

У першому типі нагрівачів використовуються керамічні циліндричні стрижні, що мають від двох до шести поздовжніх отворів, які вставляється дріт у вигляді прутка або спіралі. Отвори по торцях стрижня повідомляються з атмосферою, так що контакт з киснем повітря не виключений, проте швидкість надходження кисню повітря до поверхні дроту в десятки разів менша, ніж у відкритих нагрівачах. Температура дроту в цих нагрівачах може досягати 973 К. Одна з важливих функцій кераміки – опорна: дріт не провисає, і відстань між поверхнею, що випромінює і обігрівається, підтримується постійно. У другому типі нагрівачів як робочі елементи застосовують так звані трубчасті електронагрівачі (ТЕНи). ТЕН є трубкою, виконаною з жароміцного металу. Всередину трубки введено ніхромову спіраль. Простір між спіраллю та внутрішніми стінками трубки заповнено сильно ущільненим порошковим матеріалом з високою теплопровідністю та хорошими електроізоляційними властивостями, наприклад, оксидом магнію. Контакт дроту із юйлородом повітря тут практично виключений.

Недоліки цих двох типів нагрівачів такі. Велика маса конструкцій, що огорожують дріт, вимагає додаткової кількості тепла на її прогрів до робочої температури. Час прогріву становить 10-15 хв. Після вимкнення нагрівачі ще тривалий час випромінюють запасене тепло. У зв'язку з цим такі нагрівачі доцільно експлуатувати у стаціонарному режимі без виключення у кожному циклі. Такий режим є прийнятним для багатопозиційних машин (див., наприклад, Рис.0.7), де практично протягом усього часу роботи нагрівача під ним знаходиться листова заготовка. Якщо ж їх використовують в однопозиційних фашинах (див., наприклад, Рис. 0.5), то, відводячи від заготівлі, нагрівач розташовують над листом матеріалу з низькою теплопровідністю м хорошою здатністю, що відображає (наприклад, фольгованого азбесту).

Інший недолік керамічних нагрівачів і ТЕНів полягає в тому, що у них випромінює тепло не поверхню ніхромового дроту, а зовнішню поверхню кераміки або ТЕНу. Температура випромінюючої поверхні значно нижча, ніж у дроту, тому потужність випромінювання набагато менше, ніж у відкритого дроту. Цих

недоліків позбавлені нагрівачі із кварцовим ізолятором.

У третьому типі нагрівачів ніхромовий дріт введений у тонку прозору трубку з кварцового скла, заповнену інертним газом. Ці нагрівачі малоінерційні, тому можуть працювати у циклічному режимі. Контакт з киснем повністю відсутня, і температура дроту може бути доведена до 2473 К. Випромінює тепло безпосередньо гарячий дріт, так що потужність випромінювання цих нагрівачів значно більша, ніж у нагрівачів типів, описаних вище.

Незалежно від типу нагрівачі розміщуються в одній площині та монтуються на рамі. З боку, протилежного обігрівачу, листу, і з боків набраний таким чином пакет нагрівачів екранується відбивачем з полірованого тонколистового алюмінію. Відбивач повертає випромінювання нагрівачів, що потрапляє на нього, на лист полімеру. Зовні відбивач покритий теплоізоляцією у вигляді листового азбесту та захисним кожухом.

Нагрівачі можуть бути класифіковані також за ступенем рухливості щодо зони, що обслуговується ними. Розрізняють рухомі, стаціонарні та пояустаціонарні нагрівачі.

Рухливими нагрівачами оснащуються однопозиційні машини (Рис. 0.1 – Рис. 0.5). У кожному циклі нагрівач підводиться до листа тільки на час його прогрівання, а потім відводиться, щоб не заважати роботі рухомих робочих органів машини і не гріти лист на стадії охолодження його у формі.

У багатопозиційних машинах (типу показаних на Рис. 0.6, Рис.0.7) нагрівачі встановлені стаціонарно. У машинах, що переробляють рулонні матеріали (Рис.0.8 та Рис. 0.9), використовуються нагрівачі напівстаціонарного типу. При роботі машини він нерухомий, проте під час непередбачених зупинок машини його потрібно відводити від листа, так як тривалий прогрів навіть від вимкненого (але повільно остигає) нагрівача може викликати термодеструкцію матеріалу та загазованість виробничого приміщення.

Притискні пристрої

До притискних пристроїв пред'являються такі вимоги: можливість затискання аркушів різних розмірів – для універсальних машин (ця вимога забезпечується комплектацією машини набором затискних рам різних розмірів); можливість затискання листів різної товщини; швидкість затиску листа та знімання виробу; рівномірність та герметичність затиску по периметру листа.

За принципом дії всі пристрої можна поділити на два типи: рамні та пелюсткові.

Пристрій рамного типу складається з двох рам (верхньої та нижньої), між якими закріплюється лист. Як правило, нижня частина рами при її розкритті залишається нерухомою. Часто (див., наприклад, схему, показану на Рис.0.4) нижня частина рами скріплена або виконана заодно з формувальною камерою. Верхня частина рами під час закладання заготовки та знімання виробу або відкидається на шарнірах (затискний пристрій розкривається як книга) або піднімається над нижньою частиною рами, залишаючись паралельною їй.

У машинах малих розмірів при закритті рами обидві частини стягуються розташованими рівномірно по периметру механізмами з ручним приводом. Підйом та опускання верхньої частини рами при «книжковому» роз'ємі її також здійснюються вручну; для полегшення цієї операції рухома частина оснащується противагою.

У великих машинах залежно від габаритів рами застосовують циліндри, що забезпечують розкриття рами та затискач заготовки, або циліндри двох видів, один з яких забезпечує розкриття рами, а інший затискач заготовки. Перший варіант застосовується для легких машин (Рис. 0.10). Два циліндра, що коливаються, 1 закріплені на формувальній камері 2, з якою нерухомо пов'язана нижня частина рами 3. Верхня частина рами 4 повертається щодо шарніра 5.

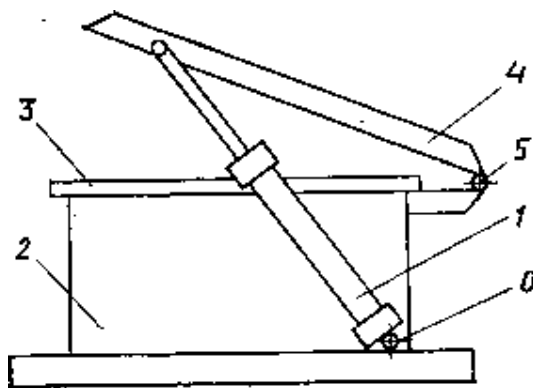


Рис. 0.10. Затискна рама з єдиними циліндрами для її підйому та затиску заготовки

1 – циліндр; 2 формувальна камера;
3 -нижня частина рами; 4 – верхня частина рами; 5 – шарнір.

Приклад конструкції затискної рами з роздільними циліндрами затискача заготовки та підйому рами наведено на Рис. 0.11. Підйом верхньої частини рами 2

забезпечується циліндром 1, а затискач заготовки – чотирма циліндрами 5 за допомогою захватів 4, закріплених на нижній частині рами 3.

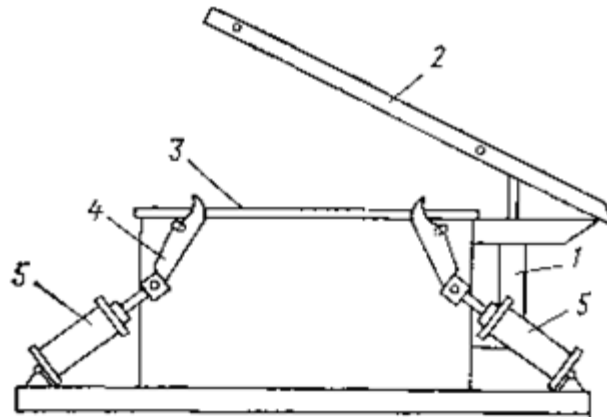


Рис. 0.11. Затискна рама з різними циліндрами для її підйому вичавлива заготовки

1 – циліндр для підйому рами; 2 – верхня частина рами; 3 – нижня частина рами;
4 – захоплення; 5 – циліндри для затиску заготовки.

На машинах з пневмо- або гідроприводом затискних рам, щоб уникнути мимовільного закриття їх під час роботи формувальника в зоні рами застосовують страхуючі підставки, що вводяться під верхню частину рами, коли вона знаходиться в розкритому стані. Підставки переміщуються за допомогою пневмо- або гідроприводу.

Більш прогресивними, хоч і менш поширеними, є пелюсткові затискні пристрої. Вони легші, зручніші та безпечніші в роботі. Схему такого пристрою наведено на Рис. 0.12. Нижня частина затиску 7, що являє собою власне затискну раму, нерухома, а його верхня частина 4 може повертатися на 90° відносно осі шарніра 3. У розкритому положенні циліндр, що коливається, 1 тиск не подається, і натягом пружини 2 затискач відкинуть. Після установки листової заготовки циліндр 1 подається робочий тиск, і під дією його закріплюється заготовка 6. Пристрої розташовані рівномірно по периметру всієї рами таким чином, що широкі робочі частини (пелюстки) 5 затискачів 4 практично контактують один з одним.

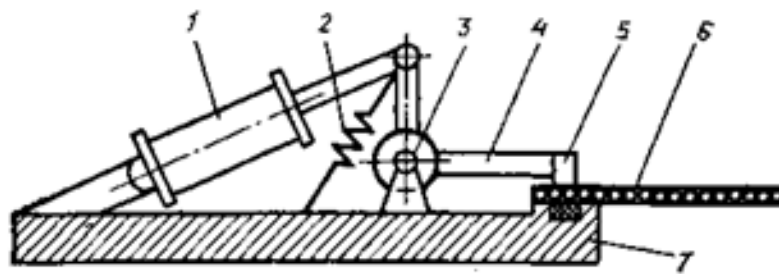


Рис. 0.12. Схема затиску пелюсткового типу:

1 – циліндр; 2 – пружина; 3 – шарнір; 4 – верхня частина затиску; 5 – робоча частина затиску; 6 – заготівля; 7 – нижня частина затиску.

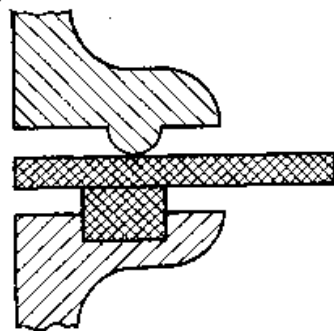


Рис. 0.13. Кріплення аркуша у затискному пристрої.

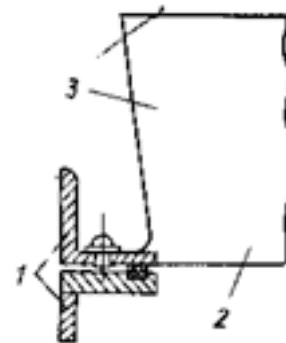


Рис. 0.14. Затискний пристрій з відбивачем

1 – затискний пристрій; 2 – заготівля; 3 – відбивач.

Як у рамних, так і в пелюсткових затискних пристроях лист термопласту найчастіше закріплюється між гумовою вставкою, що виготовляється з пористої теплостійкої гуми, та металевим виступом. Гумова вставка зазвичай зміцнюється на нижній частині рами, а металевий виступ виконаний на верхній частині або на пелюстці (Рис. 0.13). Виступ не повинен бути гострим, щоб не розірвати тонку плівку або не розколоти лист крихкого термопласту.

Для збільшення к. п. д. нагрівача іноді на верхній частині затискних рам встановлюють відбивачі, що істотно зменшують втрати тепла в навколишнє середовище через бічний зазор між нагрівачем і листом і підвищують однорідність прогрівання листа. Приклад установки відбивача показано на Рис. 0.14. На верхній частині затискного пристрою 1, що утримує заготовку 2, укріплений відбивач 3.

Залежно від різновиду способу формування та конструкції машини рама із затискними пристроями може бути нерухомою або рухомою щодо корпусу машини. Приклади, що пояснюють необхідність рухливої або нерухомої конструкції рами, дано на Рис. 0.1, Рис. 0.5 – Рис.0.8.

6.3.2. Пневмовакуумні системи

Більшість машин має не лише системи для створення вакууму, а й системи для створення надлишкового тиску. Як надлишковий тиск, і вакуум використовуються безпосередньо формування виробу з листа. Крім того, стиснене повітря застосовується в пневмоциліндрах приводу механізмів, для обдування виробу, що знаходиться у формі, з метою інтенсивності його охолодження та для полегшення вилучення виробу з форми. В останньому випадку при зніманні виробу стиснене повітря подають у дренажні отвори в матриці або пуансоні, через які він відсмоктується на стадії формування. •Стисне повітря, опиняючись між формою та охолодженим виробом, відшаровує їх один від одного і тим самим полегшує знімання виробу.

Для відкачування повітря з форми або формуючої камери і створення вакууму використовують так звані насоси низького вакууму, тобто насоси, які створюють при практично нульовій продуктивності мінімальний залишковий тиск близько 10^{-4} МПа. До насосів цього типу відносять поршневі (одно- та двоступінчасті) та ротаційні пластинчасті насоси.

Машини можуть мати власний повітряний компресор або споживати стиснене повітря із цехової магістралі. Як правило, формувальні машини споживають стиснене повітря з тиском 0,4–2,5 МПа. Для створення цього тиску використовуються переважно поршневі компресори.

Час формування листа, протягом якого з форми відводиться повітря, не перевищує 1–3 с, що становить трохи більше 1–2% загального часу циклу формування виробу. При формуванні великогабаритних виробів цей час з форми відводиться до 50 дм³ повітря. Якби відкачування повітря з форми здійснювалося безпосередньо вакуум-насосом, то був би потрібний насос великої продуктивності, за габаритами близький до самої машини. Водночас цей насос простоював би протягом 98–99% часу циклу. Щоб уникнути такого нераціонального використання вакуум-насоса у вакуумну систему вводять ресивер.

Насос може відкачувати з ресивера повітря протягом всього-циклу (тобто практично безперервно), а в момент початку формування листа ресивер з'єднується з формою, і повітря з неї спливає в ресивер під впливом вакууму, що розвинувся в ньому. Продуктивність і металлоємкість насоса у разі можуть бути у 50–100 разів

менше, ніж за безпосередньому з'єднанні його з формою.

Необхідна продуктивність насоса Q у системі з ресивером може бути розрахована як

$$Q = V_{\phi} k / t_{\text{ц}} \quad (0.1)$$

де V_{ϕ} – обсяг порожнини форми або формуючої камери, з якої потрібно відкачувати повітря;

$t_{\text{ц}}$ – час циклу формування;

k – коефіцієнт запасу.

Чим менший залишковий тиск у формі p_{ϕ} у процесі формування, тим більше рушійна сила цього процесу Δp , рівна різниці між атмосферним тиском p_0 і величиною p_{ϕ}

$$\Delta p = p_0 - p_{\phi} \quad (0.2)$$

і тим, отже, швидше формується виріб. Далі, чим більше значення Δp в кінці стадії формування, тобто коли формується лист вже контактує практично з усією поверхнею матриці або пуансона, тим краще притиск листа до форми і відтворення листом всіх деталей її конфігурації. Таким чином, найкращий режим формування забезпечується, якщо рушійна сила процесу формування Δp має максимально можливе значення, і це значення залишається постійним протягом усієї стадії формування. Однак, як показано нижче, цей режим може бути дотриманий лише приблизно і за умови правильного вибору об'єму ресивера.

Схема, що пояснює розрахунок необхідного обсягу ресивера, показано на Рис. 0.15.

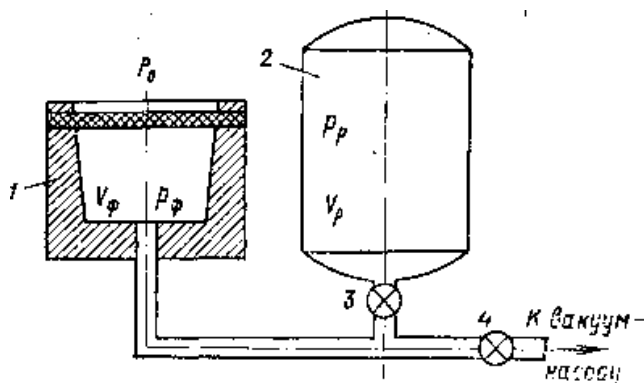


Рис. 0.15. До розрахунку обсягуресивера
1 – форма; 2 – ресивер; 3, 4 – вентилі.

Умова постійності маси повітря у системі форма – ресивер у будь-який момент стадії формування може бути записано у вигляді

$$p_{\phi}V_{\phi} + p_pV_p = \text{const} \quad (0.3)$$

де V_{ϕ} і V_p , p_{ϕ} і p_p – об'єм та тиск повітря у формі та ресивері відповідно.

Можна виділити три стани системи форма-ресивер.

Стан I. Перед формуванням вакуум-насос розвинув у ресивері 2 залишковий тиск p_{p0} і відключився. Вентилю 3 та 4, що з'єднують ресивер з насосом і формою 7, закриті. У порожнині форми, герметично закритої листом, атмосферний тиск.

Стан II. Вентиль 3 відкритий, частина повітря з форми практично миттєво перетекла в ресивер; тиск у формі та ресивері зрівнявся і прийняв значення p_H :

$$p_{\phi} = p_p = p_H \quad (0.4)$$

З цього моменту починається втягування листа в порожнину форми ПДД впливом рушійної сили Δp_H , що дорівнює

$$\Delta p_H = p_0 - p_H \quad (0.5)$$

Слід зазначити, що оскільки частина повітря з форми перетекла в ресивер, то тиск у ньому p_H став більшим, ніж вихідне p_{p0} в стані I. З цієї причини рушійна сила формування Δp_H виявляється менше максимально можливого її значення $\Delta p_{\max}$, рівного

$$\Delta p_{\max} = p_0 - p_{p0} \quad (0.6)$$

Стан III. Атмосферний тиск вдавлює лист у форму, і все повітря з неї перетік у ресивер, за рахунок чого тиск у ньому зріс порівняно зі станом II і набрало значення p_K . Тиск у формі, як і раніше, однаковий з тиском в ресивері і дорівнює p_K . Так як $p_K > p_H$, то рушійна сила процесу в кінці стадії формування дорівнює

$$\Delta p_K = p_0 - p_K \quad (0.7)$$

виявляється менше, ніж на початку цієї стадії.

З розглянутого ясно, що певний вище найкращий режим формування суворо не дотримується. Умова достатнього наближення реального режиму до найкращого отримаємо наступним чином. Запишемо відповідно до (0.3) умови рівності маси повітря в системі в станах I і II:

$$p_0V_{\phi} + p_{p0}V_p = p_HV_{\phi} + p_HV_p \quad (0.8)$$

Рішення (0.8) щодо p_H дає

$$p_H = p_0V_{\phi}/(V_{\phi} + V_p) + p_{p0}V_p/(V_{\phi} + V_p) \quad (0.9)$$

Вводячи (0.9) до (0.5), отримуємо

$$\Delta p_H = p_0[1 - 1/(1 + \varphi)] - p_{p0}(1/\varphi + 1)^{-1} \quad (0.10)$$

де $\varphi = V_p/V_\Phi$.

Аналогічно, записавши умову рівності маси повітря для станів I та III

$$p_0 V_\Phi + p_{p0} V_p = p_k V_p \quad (0.11)$$

і виконавши подібні ж перетворення, знаходимо

$$\Delta p_k = p_0 - p_k = p_0(1 - 1/\varphi) - p_{p0} \quad (0.12)$$

З виразів (0.10) та (0.12) видно, що величини Δp_H і Δp_k прагнуть свого максимально можливого, переважного значення Δp_{max} (0.8) при прагненні до нескінченності відношення φ обсягу ресивера до обсягу форми. На Рис. 0.16 показано, як змінюються зі зростанням обсягу ресивера рушійні сили на початку Δp_H і кінці Δp_k формування, а також їх різниця $\Delta p_H - \Delta p_k$. Видно, що вже при досягненні цієї різниці, що дорівнює 6-8 МПа, рушійна сила стає практично постійною протягом стадії формування і наближається до свого значення, що дорівнює 0,1 МПа. У зв'язку з цим обсяг ресивера пневмовакуумформуючої машини не роблять більшим, ніж 6-8 обсягів формуючої камери або форм, які передбачають використовувати на цій машині.

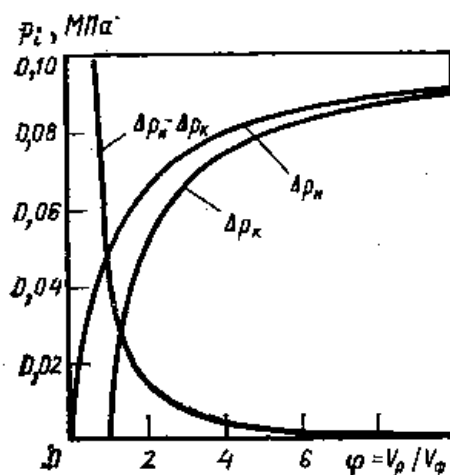


Рис. 0.16. Залежність параметрів режиму формування від відношення φ обсягуресивера до обсягу форми. Вихідний тиск у ресивері прийнято рівним нулю

Ресивери вакуумсистем є зазвичай зварні оболонки з листової сталі, що складаються з циліндричної обічайки і еліптичних днищ. Ресивери розраховують на стійкість як судини, які працюють під зовнішнім тиском. Для зміцнення стінок

ресиверів рекомендується використовувати в них внутрішнє ребра. Вакуумні комунікації всередині машин виконують із безшовних сталевих труб, вакуумних гумових шлангів та мідних трубок.

6.3.3. Привід

Привід формувальних машин забезпечує: переміщення робочих органів (затискних рам, пуансонів, матриць, вирубних пристроїв); створення ними необхідних робочих зусиль; рух рулонного матеріалу.

У зв'язку з наявністю в машинах пневмосистем, що обслуговують виконання технологічних операцій (попередня витяжка листа, притискання його до формотворчої поверхні) найбільш поширені як привод пневмоциліндри.

Технологічне зусилля Q_1 пристроїв, що забезпечують попередню механічну витяжку листа, що формується, можна визначити за формулою

$$Q_1 = Sq_B \quad (0.13)$$

де S – площа листа, на яку впливає даний пристрій;

q_B – тиск попередньої механічної витяжки, рівний $q_B = (1,5 \div 2)\Delta p$.

Технологічне зусилля Q_2 , що створюється циліндрами, що замикають затискні пристрої, розраховують за формулою

$$Q_2 = qPB/n \quad (0.14)$$

де q – тиск затиску на лист, що не перевищує межі плинності матеріалу листа;

P – периметр затискання заготовки;

B – ширина смужки контакту затискаючого уступу верхньої частини рами з листом;

n – число пневмоциліндрів.

Технологічне зусилля вирубних пристроїв Q_3 з може бути розраховано як

$$Q_3 = \sigma_{cp} \Pi_1 \delta \quad (0.15)$$

де σ_{cp} – руйнівна напружка при зрізі матеріалу листа;

Π_1 – периметр виробу, що вирубється;

δ – товщина листа в місці вирубки.

У деяких моделях формувальних машин зворотно-поступальний рух окремих механізмів здійснюється за допомогою пар гвинт – гайка.

Найбільш складними є приводи, що забезпечують переміщення рам багатопозиційних машин ротаційного типу. Так як ротори цих машин зазвичай масивні і мають велику інерцію, то для їх точного зупинки використовують фіксатори, а у машин великих типорозмірів та гальмівні пристрої.

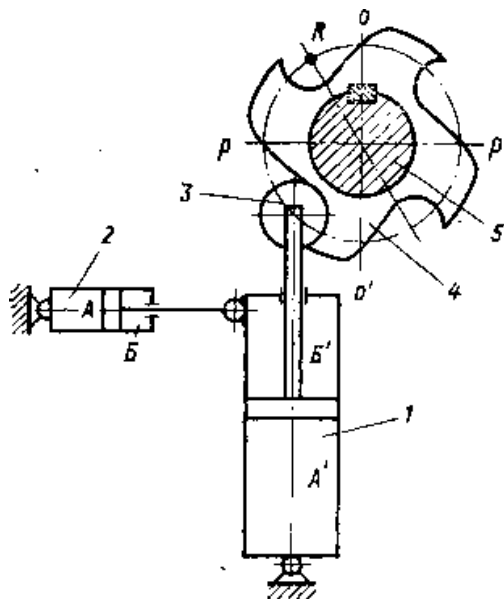


Рис. 0.17. Схема механізму повороту ротора двома пневмоциліндрами:
1, 2 – пневмоциліндри, що гойдаються; 3-ролик; 4 – ротор; 5 – вал ротора.

Ротори наводяться в обертання електродвигунами, гідро- або пневмоциліндрами.

Передача обертання ротора від електродвигуна здійснюється за допомогою зубчастих передач або мальтійських механізмів. У механізмах повороту з приводом від гідро-або пневмоциліндра передаючими пристроями можуть бути пара шестерня – рейка, храпові механізми.

Приклад храпового механізму з двома пневмоциліндрами, що гойдаються, показано на Рис. 0.17. Механізм показаний у проміжному положенні під час операції повороту ротора 4. У поршневу порожнину циліндра А 2 і штокову порожнину Бг циліндра 1 подається повітря. Під впливом зусиль від цих циліндрів ролик 3 притискається до западини храпового колеса 4 і провертає його разом із валом 5 ротора. Поворот припиняється, коли вісь ролика перетинає осьову лінію oo' . У цьому положенні відбувається вистій. Перед новим поворотом повітря подається в порожнину Б циліндра 2, і ролик 3 разом зі штоком циліндра, що коливається, 1 відводиться вліво, роз'єднуючись з храповим колесом. Потім

повітря подається в порожнину A' циліндра 1Г і ролик піднімається, стаючи навпроти наступної западини храпового колеса, центр якої R поєднаний з горизонтальною віссю pp' . У порожнину циліндра А 2 подається повітря, і ролик входить у западину, притискаючись до неї; механізм готовий до чергового повороту. Поворот починається, коли повітря подається в порожнину Б'циліндра 1.

Основною вимогою до механізмів для періодичного протягування рулонного матеріалу є висока точність відтворення кроку переміщення. Особливо жорстка ця вимога для багатопозиційних машин, що здійснюють заповнення, закупорювання та вирубкування відформованої тари, оскільки навіть невелика неточність у відтворенні довжини протяжки призводить до шлюбу. Механізми протяжки не повинні деформувати стрічку матеріалу під час її переміщення.

Найбільш поширена протяжка плівки ланцюговими транспортерами. На кожній ланці двох ланцюгів, розташованих папаралельно краям стрічки, є шип. Входячи в контакт з ланцюговими, стрічка по краях наколюється на шип і переміщується далі від позиції до позиції як одне ціле разом із ланцюгами.

Можливе також використання для протягування кулісно-важільних механізмів різного типу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бурмістенков О. П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантереїній промисловості : монографія / О. П. Бурмістенков, Б. М. Злотенко, В. П. Коновал, І. В. Панасюк, М. Є. Скиба, О. М. Синюк. – Хмельниц., 2007. – 255 с. – Бібліогр.: с. 249-252. – укр.
2. Завістовські Г., Земба Ш. Наладка процесу лиття пластмасових деталей під тиском./ Тернопіль,Джура 2007,144 с. ISBN978-966-8650-70-3
3. Зносостійкість деталей екструдерів і термопластавтоматів в абразивному середовищі / Під загальною редакцією В.Г.Каплуна. – Харків : ХНУ. – 2014.– 244с. ISBN 978-617-7094-17-2
4. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів [Електронний ресурс] : навч. посіб. .І. О. Мікульонок. 2-ге вид., переробл. та доповн. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,21 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 292 с. – Бібліогр.: с. 287–288.
5. Sikora R. Przetwórstwo tworzyw welkocząsteczkowych. – Warszawa, 1993. – 528 p.
6. Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. Переработка полимерных композиционных материалов. – Киев: Воля, 2006. -552с.
7. Спорягін Е. О. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів : навч. посіб. / Е. О. Спорягін, К. Є. Варлан. – Донецьк : Вид-во ДНУ, 2012. – 188 с.
8. D.E. Walsh Do It Yourself Vacuum Forming for the Hobbyist, Workshop Publishing, Lake Orion, MI, 2002.
9. Soroka, W Fundamentals of Packaging Technology. – IoPP, 2002. – ISBN 1-930268-25-4
10. Yam, K. L. Encyclopedia of Packaging Technology. – John Wiley & Sons, 2009. – ISBN 978-0-470-08704-6
11. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів: Підручник. / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – Львів : Растр-7, 2015. – 415с.
12. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. – Київ : 2006. – 270 с.
13. Технологія виробництва виробів з пластмас і композитів: навч. посіб. / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – Київ : ІСДО, 1995. – 164 с.

14. Суберляк О.В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підруч. / О.В. Суберляк, П.І. Баштанник. – Львів : Растр-7, 2007. – 307 с.
15. Пахаренко В.А. Переработка полимерных композиционных материалов / В.А. Пахаренко, Р.А. Яковлева, А.В. Пахаренко. – Киев : изд. комп. «Воля», 2006. – 552 с.
16. Власов С.В. Основы технологии переработки пластмасс: учебник для вузов / Власов С.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Мир, 2006. – 600 с.
17. Оссвальд Т. Литье пластмасс под давлением / Оссвальд Т., Турнг Л.-Ш., Грэманн П. Дж. – СПб.: Профессия, 2008. – 712 с.