

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

ІНЖЕНЕРНО – ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Гондляр О.В

(підпис)

“ ” _____ 2019 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 131 «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»

на тему: Моделювання процесу та удосконалення обладнання формування пакувальних виробів методом лиття під тиском _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ЛУ-71МН
(шифр групи)

Сімончук Єлизавета Петрівна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доцент Сокольський О.Л. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант:

з математичного моделювання д.т.н., проф. Карвацький А.Я. _____

Рецензент (*рукопис*) _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Факультет інженерно-хімічний

Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістр) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« » 2019
р

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Сімончук Єлизаветі Петрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Моделювання процесу та удосконалення обладнання
формування пакувальних виробів методом лиття під тиском

науковий керівник дисертації Сокольський Олександр Леонідович к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « » 201 р. №

2. Строк подання студентом дисертації 22.05.2019

3. Об'єкт дослідження Процес лиття під тиском полімерних виробів для
галузі пакування, з урахуванням геометрії заготовки, температури форми
та розплаву, механічних властивостей матеріалу та усадочних деформацій

4. Предмет дослідження Порожністі полімерні пакувальні вироби,
отримані литтям під тиском, та обладнання для здійснення процесу лиття

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати та провести
моделювання процесу лиття під тиском; визначити початкові та граничні
умови; адаптувати математичну модель для числового моделювання;
опублікувати: патент на корисну модель, статтю у фаховому виданні,
тези, доповіді на конференціях.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

7. Орієнтовний перелік публікацій Стаття в факультетський журнал, доповідь на конференцію у додатку до журналу «Упаковка», заявка на патент, тези доповідей, спувукладач навчального посібнику _____

8. Дата видачі завдання 17 вересня 2017 р. ____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	Розділ дисертації	20.09.17-31.12.17
2	Розробка методики експериментальних досліджень	Розділ дисертації	20.09.17-31.12.17
3	Розробка математичної моделі	Розділ дисертації	1.02.18-31.05.18
4	Числове моделювання процесу лиття під тиском	Розділ дисертації	1.06.18-30.10.18
5	Числовий експеримент процесу лиття під тиском	Розділ дисертації	1.11.18-1.02.19
6	Аналіз отриманих результатів	Розділ дисертації	1.02.19-31.03.19
7	Підготовка статті до публікації, заявки на патент	Текст статті, заявка	1.04.19-20.04.19
8	Написання розділу охорони праці	Розділ дисертації	21.04.19-26.04.19
9	Виконання стартап проекту	Розділ дисертації	27.04.19-05.05.19
10	Оформлення текстової частини	Текстова частина	06.05.19-17.05.19
11	Доповідь на кафедрі.	Доповідь	01.05.19
12	Захист	Доповідь	22.05.19

Студент

(підпис)

Сімончук Є.П.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Сокольський О.Л.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ З КЛЮЧОВИМИ СЛОВАМИ (УКР)

Магістерська дисертація: 103 стор., 52 рисунки, 14 табл, 20 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – процес лиття під тиском полімерних виробів для галузі пакування, з урахуванням геометрії заготовки, температури форми та розплаву, механічних властивостей матеріалу та усадочних деформацій

Мета роботи – встановлення на основі числових досліджень закономірностей процесу лиття під тиском з метою мінімізації часу перебування у формі, деформації та усадки виробу.

При виконанні досліджень у магістерській дисертації виконано наступне:

1) підтверджено актуальність процесу лиття під тиском для виробництва полімерних виробів, але знайдено, що деякі недоліки литтєвих машин, які використовуються для виготовлення полімерних виробів, залишаються невирішеними, серед яких усадка та короблення;

2) з метою усунення усадки та деформації виробів проведено літературно-патентний огляд та подано патент на корисну модель, суть якого полягає в підвищенні продуктивності та зменшенні відсотка браку;

3) в ході літературно-патентного огляду виявлено, що для зменшення усадки потрібно вдосконалювати будову прес-форми та знаходити оптимальну температуру охолоджуючої рідини.

4) знайдено оптимальні значення основних параметрів лиття під тиском для обраної форми на основі вказаної методики, що підтверджуються проведеними розрахунками.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: лиття під тиском, полімерні вироби, усадка, деформація, моделювання, аналіз, методика.

ABSTRACT WITH KEYWORDS (ENG)

Master's Dissertation: 103 pages, 52 figures, 14 tables, 20 literary sources.

The object of research is the process of casting under pressure of polymeric products for the packaging industry, taking into account the geometry of the workpiece, the temperature of the mould and the melt, mechanical properties of the material and shrinkage deformations

The purpose of the work is to establish on the basis of numerical research the regularities of the process of casting under pressure in order to minimize the time of staying in the form, deformation and shrinkage of the product.

When doing research in the Master's Dissertation, the following is done:

1) the relevance of the process of casting under pressure for the production of polymer products has been confirmed, but it has been found that some of the drawbacks of casting machines used for the manufacture of polymer products remain unresolved, including shrinkage and crushing;

2) in order to eliminate shrinkage and deformation of products, a literary-patent review was carried out and a patent was filed for a useful model, the essence of which is to increase productivity and reduce the percentage of the marriage;

3) during the literature and patent review it was discovered that in order to reduce shrinkage, it is necessary to improve the structure of the mould and find the optimum temperature of the cooling fluid.

4) the optimal values of the basic parameters of casting under pressure for the chosen form are found on the basis of the indicated method, which is confirmed by the performed calculations.

KEYWORDS: casting under pressure, polymer products, shrinkage, deformation, modeling, analysis, method.

РЕФЕРАТ С КЛЮЧЕВЫМИ СЛОВАМИ (РУС)

Магистерская диссертация: 103 стр., 52 рисунка, 14 табл, 20 литературных источников.

Объект исследования – процесс литья под давлением полимерных изделий для отрасли упаковки, с учетом геометрии заготовки, температуры формы и расплава, механических свойств материала и усадочных деформаций.

Цель работы – установить на основе численных исследований, закономерности процесса литья под давлением, с целью минимизации времени нахождения в форме, деформации и усадки изделия.

При выполнении исследований в магистерской диссертации выполнено следующее:

1) подтверждена актуальность процесса литья под давлением для производства полимерных изделий, но обнаружено, что некоторые недостатки литьевых машин, которые используются для изготовления полимерных изделий, остаются нерешенными, среди которых усадка и деформации;

2) с целью устранения усадки и деформации изделий проведено литературно-патентный обзор и представлен патент на полезную модель, суть которого заключается в повышении производительности и уменьшении процента брака;

3) в ходе литературно-патентного поиска выявлено, что для уменьшения усадки нужно совершенствовать строение пресс-формы и найти оптимальную температуру охлаждающей жидкости.

4) найдены оптимальные значения основных параметров литья под давлением выбранной формы на основе указанной методики, подтверждаются проведенными расчетами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: литье под давлением, полимерные изделия, усадка, деформация, моделирование, анализ, методика.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	11
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ.....	13
2 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД.....	15
2.1 Технологічні способи виготовлення полімерних виробів.....	15
2.2 Особливості конструкції і принцип дії форм для лиття під тиском	23
2.3 Огляд патентів.....	30
2.4 Запропоноване вдосконалення форми.....	36
2.5 Аналіз математичних моделей.....	39
2.5.1 Математична модель, що застосовується в аналітичному	39
продукті Autodesk Simulation Moldflow.....	
2.5.2 Метод прогнозування усадки для 3D деталей.....	42
2.5.3 Розрахунок усадки виробів із пластмас.....	45
2.6 Висновки.....	51
3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ.....	52
3.1 Математична модель процесу.....	52
4 ЧИСЛОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ.....	58
5 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ.....	62
5.1 Результати без системи охолодження.....	63
5.2 Результати моделювання із системою охолодження.....	67
6 ВИМОГИ ДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ	74
ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ.....	
6.1 Аналізи небезпечних та шкідливих факторів.....	74

					ЛУ71мн.015166.01-90ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Сімончук						Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Сокольський								7	2
Реценз.								НТУУ «КПІ» ІХФ			
Н. Контр.											
Затверд.											

6.2 Повітря робочої зони.....	75
6.3 Виробничий шум.....	76
6.4 Вібрація.....	76
6.5 Електробезпека.....	78
6.6 Надзвичайні ситуації.....	81
7 СТАРТАП-ПРОЕКТ	84
7.1 Опис ідеї проекту.....	84
7.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	85
7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	90
7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	95
7.5 Висновки.....	97
ВИСНОВКИ.....	99
СПИСОК ПОСИЛАНЬ.....	100
ДОДАТКИ.....	102
Додаток А. Публікації.....	103

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

ΔP - тиск, МПа;

$T_{инж}$ – температура розплаву в момент заповнення форми, °C ;

h – величина ходу черв'яка, м;

$V_{инж}$ – швидкість інжекції, м/с;

δ – товщина виробу, м;

a – коефіцієнт температуропровідності;

$T_{фор}$ – температура форми, °C ;

$T_{вир}$ – температура виробу, °C ;

$H_{ходу}$ – відстань між пів формами, м;

V – швидкість руху запираючого пристрою, м/с;

R_l – радіус литника, м;

n – кількість обертів черв'яка за хвилину, об/хв;

μ - в'язкість в каналі, Па · с,

α - коефіцієнт прямого потоку;

N_g – потужність затрачувана в зоні дозування, кВт;

$N_ч$ – потужність черв'яка, кВт;

η – КПД приводу, %;

P_n – максимальне зусилля на штоці гідроциліндра, Н;

U – максимальна швидкість переміщення штока, м/с;

P_p – питомий тиск, мПа;

S_k – площа поперечного перерізу колони, м².

$L(t)$ – модуль релаксації матеріалу.

ξ – Час релаксації,

θ – термічна деформація,

ε – відносна деформація розплаву.

α – коефіцієнт теплопровідності.

c_1 і c_2 – константи,

T_g – температура склування матеріалу

v – питомий об'єм матеріалу.

$G^{(\beta)}$ – константи,

τ^β – час релаксації.

σ_r – залишкове напруження

β_{ij} – тензор матеріалу, пов'язаний з коефіцієнтом теплового розширення і

модулем об'ємного навантаження

ν – коефіцієнт Пуассона,

G – модуль зсуву матеріалу

ВСТУП

Лиття під тиском – один із основних методів переробки полімерів у світі.

Цей метод дозволяє виготовляти високоякісні вироби із різних полімерних матеріалів, при невеликих затратах продуктивності праці. На даний момент одна третя частина всіх термопластичних матеріалів переробляється литтєвим формуванням, а половина всього обладнання для переробки пластмас це обладнання для лиття.

В магістерській дисертації виконані розрахунки моделювання процесу лиття в системі Autodesk Simulation Moldflow Adviser.

Сутність наукової проблеми. Можемо виділити основні недоліки процесу лиття під тиском:

- Недолив (не повністю сформований виріб)
- Перелив (характеризується наявністю ґрата по місцю стику форми)
- Короблення (деформація виробу, перекручення його форми)
- Розшарування (відшаровування поверхневих шарів пластмаси у вигляді "лусочок" своєрідної форми)
- Усадка (деформація виробу, відхилення у розмірах виробів)

Актуальність роботи. Сучасне виробництво фармацевтичної та харчової продукції важко уявити без використання пластикової тари. Виробників приваблюють дешевизна пакування, невелика вага, широкі можливості дизайну та стійкість до ударних навантажень.

Галузь. Деталі, виготовлені за допомогою процесу лиття під тиском, можна поділити на такі категорії : тара та упаковка – 34,0 %; будівництво – 18,0 %; транспорт – 10,0 %; електроніка й господарські товари – по 8,0 %; меблі – 7 %; сільське господарство – 2,6 %; інше – 12,4 %.

Полімерні матеріали здебільшого використовує як сировину для виготовлення пакувальних матеріалів, (пляшок, флаконів, контейнерів, каністр, та інших товарів споживання). Наприклад: миючі засоби, косметика безалкогольні напої, алкогольні напої, фармацевтичні продукти і харчові олії.

Метою роботи є встановлення на основі числових досліджень закономірностей процесу лиття під тиском з метою мінімізації часу перебування у формі, деформації та усадки виробу.

Завдання дослідження. Провести числові дослідження процесу лиття під тиском та усадочні ефекти після нього під дією таких вхідних факторів, як температура розплаву та форми, тиск, механічні й теплофізичні властивості матеріалу та ін. Розрахувати час охолодження та перебування у формі для того аби мінімізувати деформацію та усадку деталі.

Об'єкт дослідження. Процес лиття під тиском полімерних виробів для галузі пакування, з урахуванням геометрії заготовки, температури форми та розплаву, механічних властивостей матеріалу та усадочних деформацій.

Предмет дослідження. Порожнисті полімерні пакувальні вироби, отримані литтям під тиском, та обладнання для здійснення процесу лиття.

Наукова новизна. Досліджено вплив таких факторів, як температура розплаву та форми, параметри холодагенту на час перебування виробу у формі і величини його деформації.

Практичне значення роботи. Запропоновано спосіб формування, який дозволяє збільшити продуктивність. Запропоновані засоби для мінімізації деформації, що сприяє покращенню якості і зниженню відсотка браку.

Зв'язок роботи з науковими програмами кафедри. Магістерська дисертація відповідає науковому напрямку кафедри ХПСМ.

Особистий внесок автора. Всі результати, які представлені у роботі, були виконані автором з допомогою керівника.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Багато виробів немає можливості виготовити ні одним із методів, окрім литтям під тиском. До них відносяться вироби складної конфігурації з малою товщиною стінки, із значною різницею товщин стінок, із складною арматурою, тощо

При литті під тиском час пластикації матеріалу перекривається часом охолодження виробу, температура форми достатньо низька, та сприяє швидкому охолодженню готового виробу, також охолодження залежить від охолоджуючих систем та температури охолоджуючої рідини.

Лиття полімерів під тиском здійснюється під тиском 80–140 МПа на спеціальних інжекційно-литтєвих машинах – термопластавтоматах (ТПА) або реактопластавтоматах (РПА) в залежності від матеріалу що перероблюється.

Литтєві машини за конструкцією пластикатора поділяють на дві основні групи: машини із пластикаторами черв'ячного та плунжерного типів

Відомі конструкції плунжерних литтєвих машин із роздільним улаштуванням пластикатора та литтєвого циліндра; у машинах такого типу пластикація кожної порції полімерної композиції сполучається за часом із охолодженням відформованого виробу.

У черв'ячних литтєвих машинах, які також називаються термопластавтомати, тиск та пластикація полімерної композиції відбуваються в циліндрі із черв'яком.

Форма для лиття пластмас під тиском – це основний елемент устаткування, за рахунок якого визначається вид та якість порожнистого полімерного виробу. Здебільшого форми для лиття полімерів під тиском називають прес-формами.

Будь-яка литтєва-форма на 50–95 % складається із нормованих або стандартних за номенклатурою деталей, їх вартість становить від 10 до 60 відсотків повної вартості. Вартість прес-форми залежить від конструкції, геометрії відливки, вимог інструментального виробництва, від рівня підготовки

конструктора литтєвої-форми, від його бажання і можливості застосувати відповідні стандартні елементи.

Процес лиття під тиском супроводжується великим тепловиділенням. Перегрів установки може призводити до виникнення несправностей та, що важливо, зриву термінів видачі готової продукції. Тому, багато розробників забезпечують якісне охолодження екструдера, як одну з складових частин апарату. Системи охолодження екструдерів поділяють на повітряні, водяні та комбіновані.

У водних системах охолодження циркулює речовина, яка забирає на себе всю теплоту обладнання. Принцип роботи достатньо простий - проходячи по агрегату, рідина нагрівається, забираючи зайву теплоту від важливих частин, та віддає її в конденсаторі. У якості холодоагенту можуть служити різні рідини. Вода, звичайно, в даному випадку, всіх проблем не вирішить, тому що вона може википіти при температурі у 100 градусів Цельсія. Тому у подібних системах найчастіше циркулюють рідини із підвищеним порогом кипіння.

2 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД

2.1 Технологічні способи виготовлення полімерних виробів

Лиття під тиском – це метод формування виробів із полімерів та пластмас у литтєвих машинах, який полягає в розм'якшенні матеріалу до в'язкотекучого стану і наступному переміщенні його під тиском у замкнену литтєву форму, де матеріал, змінює свою температуру та твердіє і набуває конфігурацію внутрішньої порожнини форми. Лиття під тиском застосовують переважно для виготовлення виробів з термопластів. Процес здійснюють під тиском 80–140 МПа у литтєвих машинах черв'ячного типу, що мають високий ступінь механізації та автоматизації [1].

Суть технології лиття під тиском полягає у наступному (рис. 2.1). Розплав полімеру підготовлений та накопичений у матеріальному циліндрі литтєвої машини ($l=nom$) до подальшої подачі в литтєву форму (рис. 2.1-а). Потім, матеріальний циліндр змикається із вузлом форми, а пластикатор осьовим рухом із швидкістю V_{oc} переміщує розплав в литтєву форму (рис. 2.1-б). В результаті осьового руху черв'яка форма заповнюється розплавом полімерного матеріалу, пластикатор зміщується в крайнє ліве положення (рис. 2.1-в, $l=0$). Далі розплав в прес-формі застигає та утворює твердий виріб (рис. 2.1-г). Матеріальний циліндр продовжує залишатися в зімкнутому із системою форми положенні. В цей момент черв'як починає обертатися із $\omega_c=nom$, готує та транспортує розплав у передню зону матеріального циліндра та при цьому відсувається назад. Після накопичення необхідного обсягу розплаву (відстань $l=nom$) обертання черв'яка припиняється ($\omega_c=0$). Він займає вихідне положення.

Після завершення процесу затвердіння пластмаси форма розмикається, та виріб видаляється із неї (рис. 2.1-д). Для полегшення знімання виробу матеріальний циліндр може до цього моменту відсунутися від вузла форми. Потім цикл лиття під тиском повторюється [1].

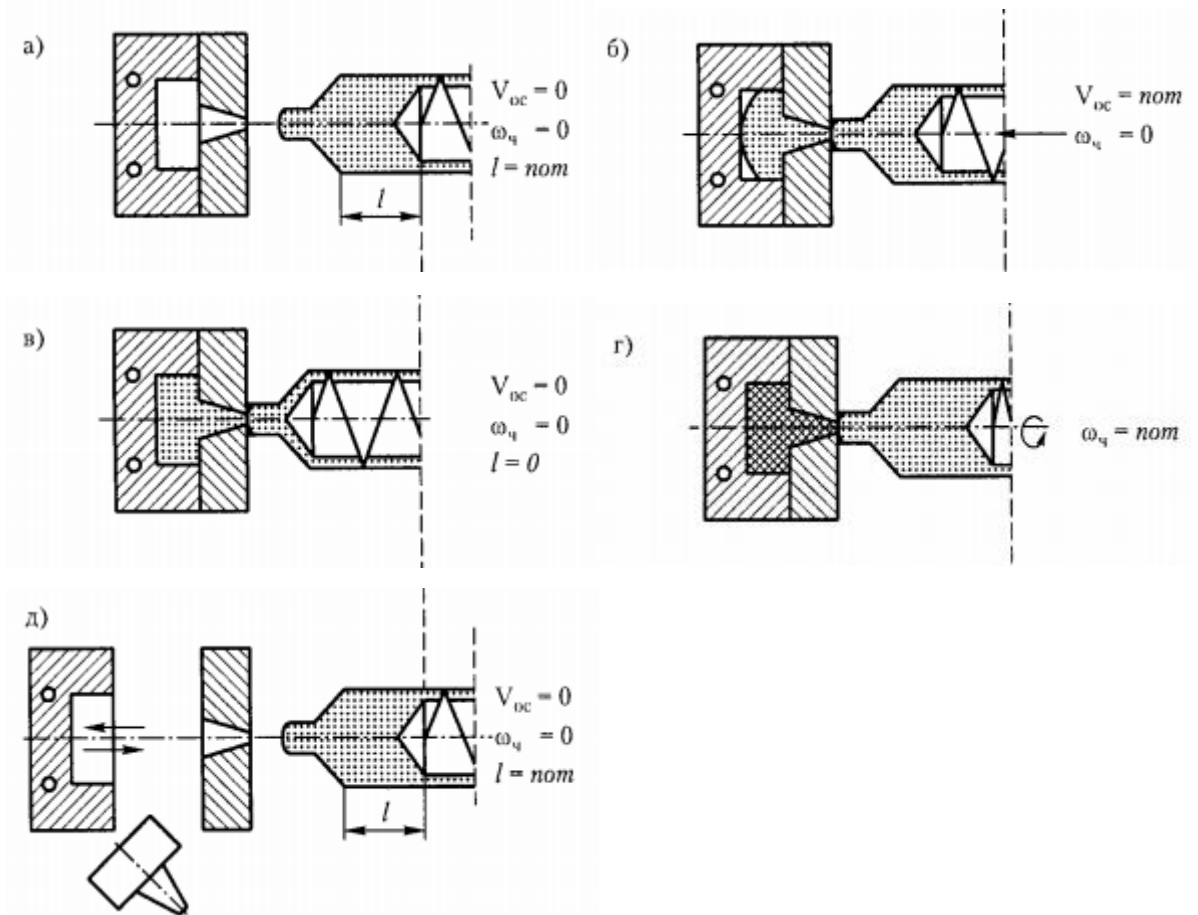
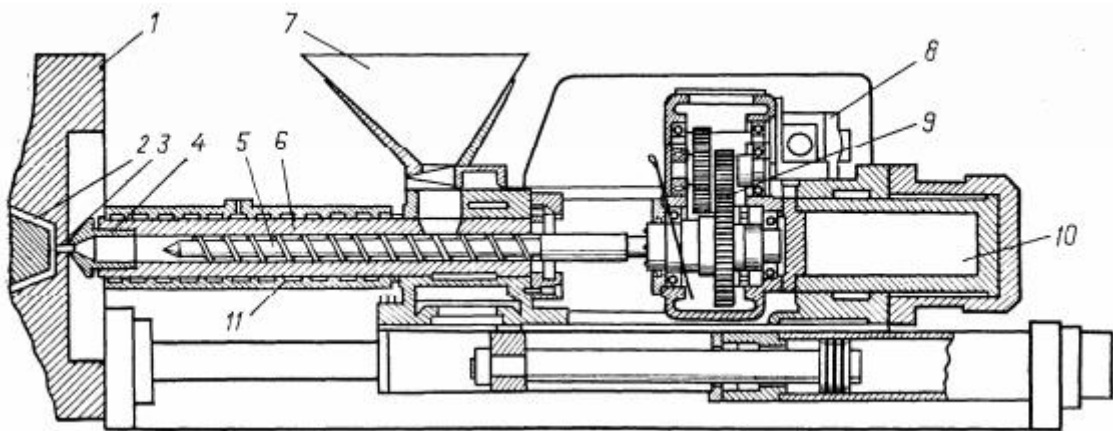


Рисунок 2.1 – Принципова схема лиття під тиском (пояснення в тексті)

Литтєві машини за конструкцією пластикатора поділяють на дві основні групи: машини із пластикаторами черв'ячного та плунжерного типів.

Відомі конструкції плунжерних литтєвих машин із роздільним улаштуванням пластикатора і литтєвого циліндра; в машинах такого типу пластикація чергової порції полімерної композиції сполучається за часом із охолодженням відформованої деталі. При цьому розплав надходить з пластикатора у литтєвий циліндр, поступово відсуваючи назад литтєвий плунжер. Пластикатори поршневого типу не можуть забезпечити достатньо рівномірного розподілу температури у різних точках розплаву, тому що нагрівання здійснюється за рахунок теплопередачі від стінок пластикатора до розплаву. В цих умовах для створення відповідного теплового потоку необхідний значний перепад температур. До того ж однорідність теплового поля у пластикаторах поршневого типу знижується із збільшенням продуктивності машини внаслідок зменшення часу перебування розплаву у пластикаторі.

У черв'ячних литтєвих машинах (термопластавтоматах) тиск та пластикація полімерної композиції відбуваються у циліндрі з черв'яком. Найбільшого поширення набула конструкція черв'ячного пластикатора, зображена на рис. 2.2. В такому пластикаторі черв'як може не тільки обертатися, а й виконувати зворотно-поступальний рух за рахунок змінювання тиску у гідравлічному циліндрі 10. Під час роботи полімерна композиція у вигляді гранул або порошку із бункера 7 надходить в пластикаційний (інжекційний) циліндр 6 литтєвої машини. В пластикаційному циліндрі матеріал прогрівається і переміщається обертовим черв'яком 5. В міру пластикації черв'як відходить назад, при цьому утворюваний розплав нагромаджується у циліндрі перед наконечником черв'яка. Після утворення достатнього об'єму розплаву черв'як за допомогою поршня у гідравлічному циліндрі починає рухатися у напрямку до форми. При цьому відбувається заповнення форми розплавом, та формоутворення виробу [2].



1 – форма; 2 – виріб; 3 – ливниковий канал; 4 – ливникова втулка; 5 – черв'як; 6 – пластикаційний циліндр; 7 – бункер; 8 – привід; 9 – редуктор; 10 – гідравлічний циліндр; 11 – нагрівник

Рисунок 2.2 – Схема литтєвої машини

Процес лиття під тиском супроводжується великим тепловиділенням. Перегрів установки може призводити до виникнення несправностей та, що

важливо, зриву термінів видачі готової продукції. Тому, багато розробників забезпечують якісне охолодження екструдера, як одну з складових частин апарату. Системи охолодження екструдерів поділяють на повітряні, водяні та комбіновані.

У водних системах охолодження циркулює речовина, яка забирає на себе всю теплоту обладнання. Принцип роботи достатньо простий - проходячи по агрегату, рідина нагрівається, забираючи зайву теплоту від важливих частин, та віддає її в конденсаторі. У якості холодоагенту можуть служити різні рідини. Вода, звичайно, в даному випадку, всіх проблем не вирішить, тому що вона може википіти при температурі у 100 градусів Цельсія. Тому у подібних системах найчастіше циркулюють рідини із підвищеним порогом кипіння.

Постійне охолодження прес-форми та масла є одним із найважливіших вимог в усьому процесі виробництва деталей з полімерів або пластмаси. Необхідно відзначити, що для обох складових (форми та масла) потрібні різні по температурі охолоджуючі речовини. Ці цифри зазвичай йдуть у паспорті екструдера та відрізняються між моделями. Отже необхідно правильно підібрати холодоагенти. Для литтєвої-форми, частіше за все, потрібна подача рідини із температурою від 8°C до 14°C. Для масла, потрібна охолоджуюча речовина від 16°C до 24°C, подача якого, найчастіше, відбувається із водоохолоджувальних станцій.

Є варіанти, коли масло та прес-форма охолоджуються рідиною на рівні від 13°C до 16°C. Таке рішення досить часто призводить до зниження продуктивності. Масло може загуснути при дуже великому охолодженні. Для роботи його температура повинна бути на рівні 28°C – 30°C. Максимально допустимий перегрів становить 48°C. Досить часто під час процесу екструзії вона варіюється у цих межах, але ніколи не повинна бути вищою або нижчою них [3].

Після заповнення литтєвої форми розплавом відбувається його охолодження, після чого збільшується густина та зменшується об'єм матеріалу.

Внаслідок усадки через ливники в форму продовжує надходити додаткова порція розплаву та тиск у ній підтримується сталим. Таким чином, після

закінчення операції настає деяка рівновага тисків у циліндрі машини і у формувальній порожнині та течія переходить у повільне додаткове нагнітання розплаву (підживлення); останнє компенсує усадку полімеру в формі при його охолодженні [4].

Витримування під тиском зазвичай продовжується, поки розплав у центральній частині впускного ливника не охолodиться нижче ніж температура текучості. Після того як ливним затвердіє маса розплаву в формувальній порожнині більше не змінюється (витікання розплаву не відбувається при відведенні сопла) ці значення температури та тиску розплаву визначають подальшу зміну лінійних розмірів деталі при охолодженні. Чим довше витримування під тиском, тим більше знижується температура розплаву у формувальній порожнині, тому при охолодженні розміри виробу будуть змінюватися в меншій мірі. Те ж саме спостерігається при підвищенні тиску у формі. Таким чином, усадочні процеси компенсує витримування під тиском, що відбуваються у формі, та залежить від розмірів ливника, форми і температури розплаву, а також від теплофізичних властивостей полімеру. Витримування під тиском доцільне, до поки полімер у формувальній порожнині перебуває в розплавленому стані, тому глибину впускного ливника зазвичай вибирають із урахуванням заданої усадки, але меншою за товщину стінки виробу.

При великій глибині ливника час витримки під тиском зростає та збільшується час, необхідний для охолодження деталі. Оскільки операція охолодження суміщається із дозуванням розплаву (пластикацією) за короткий проміжок часу не встигає накопичитися задана порція розплаву та необхідним буде збільшення тривалості циклу лиття або підвищення швидкості обертання шнека, що погіршує гомогенізацію. У зв'язку із цим не рекомендується застосовувати ливники великого перетину. При тривалому підживленні на розплав при його охолодженні у формі діють напруження зсуву, зростає ступінь орієнтації макромолекул та збільшується анізотропія властивостей виробу. Для запобігання цьому доцільно заповнити форму розплавом, ущільнити його під високим тиском, перекрити ливникові канали та припинити підживлення. В цьому випадку течія розплаву у формі припиняється та у результаті

релаксаційних процесів відбувається дезорієнтація макромолекул. Такий процес можна здійснити при використанні ливників із невеликою глибиною (точкові ливники) або мундштуків з запірним клапаном. Однак в цьому випадку неможливо проводити підживлення, тому для зменшення усадки виробів необхідно створювати в формі високий тиск.

Фактично охолодження починається відразу після упорскування розплаву, але як окрема технологічна операція охолодження задається часом після закінчення витримки під тиском. Отже, витримка при охолодженні необхідна для остаточного затвердіння розплаву та досягнення певної конструкційної жорсткості виробів, що виключає деформацію їх при витяганні із форми. Температура полімеру перед розмиканням форми повинна бути вищою за температуру склування, щоб при витяганні виробу не відбулась деформація.

В процесі переробки полімерів у виробах виникає більше 20 видів дефектів. Виникають вони в результаті порушення рецепту складу сировини, недотримання та неправильного вибору технологічного режиму переробки, наприклад, недостатньо висока температура й тиск при формуванні, надлишковому вмісті летких речовин в формувальному матеріалі, неправильному дозуванні сировини тощо [4].

Важливо дотримуватися режимів охолодження відформованого виробу і спеціальної термообробки його після формування. Якщо неправильно проводити ці процеси у виробах створюються великі внутрішні напруження, які викликають короблення, усадку та утворення тріщин. У таблиці 2.1 дано опис найбільш поширених дефектів із пластичних мас. Також зазначені причини їх виникнення, способи усунення, і допуски відповідно до нормативно-технічної документації. Деякі з зазначених дефектів ведуть до браку виробів, інші залежно від розміру погіршують їх зовнішній вигляд, знижуючи сортність. Такі дефекти як, недолив, здуття, тріщини, розшарування не допускаються у виробах з пластмас. Вироби із такими дефектами у торгівлю надходять рідко. Найчастіше на виробах, що надходять до реалізації, розводи, короблення, відхилення в розмірах виробів, сріблястість, різнотонність, подряпини та інше. [5].

Таблиця 2.1 Основні види дефектів

Вид дефекту	Опис дефекту	Причини виникнення	Способи усунення	Допускаються чи ні у виробках
Поверхневі включення	Поверхневі, крапкові включення інших матеріалів. Особливо помітні включення на світлих виробках	Погане очищення пресформи. Забруднення сировини	Поліпшити очищення пресформи. Перемінити сировину	Допускаються в обмеженій кількості
Недолив	Не повністю оформлений виріб. Зустрічається також, як і недопресовка, на краях виробів і найчастіше в поліетиленових й поліпропіленових	Недостатність матеріалу в інжекторному циліндрі, що найчастіше виходить через розлад дозувального механізму. Засмічення ливникового каналу	Домогтися точного дозування. Очистити ливниковий канал	Не допускається
Перелив	Характеризується наявністю грата по місцю стику форми	Занадто велика доза матеріалу. Висока температура розплаву й форми	Відрегулювати дозування. Відрегулювати температуру нагрівального циліндра й форми	Допускається при гарному зачищенні грата
Здуття	Односторінні або двосторонні опуклості виробу, дуже рідко супроводжуються тріщинами	Виникають внаслідок того, що газ, що залишився всередині виробу, після зняття тиску роздмухує зсередини ще не цілком затверділу поверхню. Підвищений вміст летких речовин (волога тощо).	Перемінити або підсушити сировину	Не допускається
Короблення	Деформація виробу, перекручення його форми.	Витяг з форми недостатньо охолодженого виробу. Внутрішні напруження у виробі через	Підсилити охолодження форми. Відрегулювати охолодження форми	Допускається в виробках площею до 0,5 %

		нерівномірне остигання матеріалу у формі		
Тріщини		Усадка й внутрішні напруження у виробі. Механічні пошкодження при витягу із пресформи	Поліпшити конструкцію пресформи та відрегулювати охолодження форми. Плавню та обережно витягати виріб	Не допускається
Розшарування	Місцеві, поверхневі розшаровування пластмаси (відшаровування поверхневих шарів пластмаси у вигляді "лусочок" своєрідної форми). Типовий і характерний дефект для виробів з термопластів, особливо полістиролу й рідше поліетилену. Розшарування часто супроводжується сріблястістю (посрібленням)	Неоднорідність матеріалу. Підвищена вологість. Забруднення поверхні форми	Перемінити матеріал. Змазати або замінити форму	Не допускається
Різнотонність	Різнобарвність у фарбуванні	Нерівномірний розподіл барвника в розплаві. Розкладання барвника при високій температурі	Змінити технологію фарбування матеріалів. Перемінити барвник	Допускаються в обмеженій кількості
Риски, подряпини, дколи на поверхні		Відбитки подряпин від поверхні форми. Механічні пошкодження	Домогтися витягу виробу. Перемінити форму	Допускаються в обмеженій кількості й розмірі в добре заполірованому виді
Відхилення в розмірах виробів		Надмірна усадка матеріалу	Відрегулювати або змінити	Допускається (у межах

			охолодження форми. Відрегулювати тиск	установлених відхилень)
--	--	--	--	----------------------------

2.2 Особливості конструкції і принцип дії форм для лиття під тиском

В даній роботі досліджується процес формування порожнистих полімерних виробів на литтєвій машині. Конструкції прес форм дуже різноманітні [2].

Одним з найбільш складних з точки зору використовуваного інструменту серед усіх відомих методів переробки є лиття під тиском. Для виготовлення деталей методом лиття під тиском для кожного виробу потребується спроектувати і виготовити відповідну прес-форму, потім її встановлюють на литтєву машину, або термопластавтомат (ТПА).

Форма для лиття пластмас під тиском – це основний елемент устаткування, за рахунок якого визначається вид та якість порожнистого полімерного виробу. Здебільшого форми для лиття полімерів під тиском називають прес-формами.

Зазвичай прес-форма в складеному вигляді складається матриць і пуансонів, набору формоутворювальних плит, системи виштовхування відформованих виробів, холодноканальної або гарячеканальної ливникової системи, системи охолодження форми, вентиляційної системи і набору напрямних елементів. В умовах сучасного виробництва є потреба збільшувати продуктивність, та виробляти деталі великими партіями. В таких випадках використовують форми за допомогою яких можна одночасно виробляти декілька деталей. Такі литтєві-форми називають багатогнізовими (багатомісними).

Прес-форми проектуються для виробництва певного виду виробу. На виробництві застосовують так звані «модульні» форми, конструкція яких допускає застосування змінних елементів, за допомогою яких є змога змінити конструкцію виробів, або повністю замінити один виріб на інший. За допомогою таких литтєвих-форм є можливість виготовляти різну продукцію в різний час. Проте така форма має свої недоліки:

- більш ретельне і часте обслуговування;
- невеликий ресурс універсальних форм;
- трудомісткість операцій з періодичної заміни форм.

Для виробництва якісної литтєвої форми, їх виконують з допуском формуючих елементів 0,005 мм. Так гарантійний ресурс може досягати мільйон литтєвих циклів.

Прес-форма складається з великої кількості елементів, які точно сполучаються між собою.

Деталі литтєвих-форм поділяються на спеціальні та нормалізовані.

Наперед може бути встановлена конструкція нормалізованих деталей форми, незалежно від конструктивних особливостей виробів, які виробляються за її допомогою [2].

Будь-яка литтєва-форма на 50–95 % складається із нормованих або стандартних за номенклатурою деталей, їх вартість становить від 10 до 60 відсотків повної вартості. Вартість прес-форми залежить від конструкції, геометрії відливки, вимог інструментального виробництва, від рівня підготовки конструктора литтєвої-форми, від його бажання і можливості застосувати відповідні стандартні елементи.

На даний момент існують підприємства, які спеціалізуються на виготовленні нормалізованих елементів литтєвих-форм. Зазвичай такі деталі із зазначеною вартістю подається у каталогах цих підприємств.

До спеціальних деталей литтєвої-форми належать вставні матриці та пуансони, гладкі знаки та різьбові знаки, кільця та ін. Найбільш відповідальними деталями литтєвої форми з точки зору напружень, які виникають в них, є завантажувальні камери, обойми прес-форми та вставні матриці.

Спеціальні деталі виготовляє спеціалізоване інструментальне виробництво, зазвичай це компанія, у якій безпосередньо замовляється литтєва-форма.

Під час проектування форми для лиття під тиском необхідно враховувати наступні чинники [6, 7]:

1) потрібну площину деталі потрібно розташовувати паралельно площині рознімання;

2) необхідно прагнути до мінімального шляху розплаву від ливникового каналу до формуючої порожнини, уникаючи лобових ударів та завихрень розплаву;

3) потрібно прагнути до утримання деталей та ливникової системи в рухомій частині форми за допомогою знаків та піднутрень, зворотних ухилів тощо;

4) місце знаходження впускного ливника вибирають із умови оптимальності режиму заповнення формуючої порожнини і трудомісткості видалення ливника;

5) необхідно враховувати надійність установки арматури.

Для проектування прес-форм потрібні такі вихідні дані:

- об'єм упорскування ТПА, см^3 ;
- зусилля змикання, кН;
- об'ємна продуктивність упорскування, $\text{см}^3/\text{с}$;
- тиск упорскування, МПа;
- максимальна й мінімальна значення висоти форми, мм;
- хід рухомої плити при максимальній висоті форм, мм;
- пластикаційна продуктивність, кг/год;
- мінімальний час відкриття/закриття форми, с;
- максимальна відстань між плитами, мм;
- максимальний хід виштовхувача, мм;
- відстань між колонами у світлі по вертикалі й горизонталі, мм;
- розміри виробів з допусками й чистотою поверхні;
- марка полімеру;
- програма випуску виробу.

Радіус сферичної поверхні ливникової втулки має бути більшим за радіус сфери сопла литтєвої машини на 1–2 мм, для того аби після притиснення та деформації сопла забезпечити його щільне прилягання, та запобігти витoku розплаву.

У формі, приведеній на рис.6.1, вироби скидаються разом із ливниковою системою як суцільний виливок, після того їх відокремлюють вручну або механізовано. Литтєві форми такого типу називають напівавтоматичними.

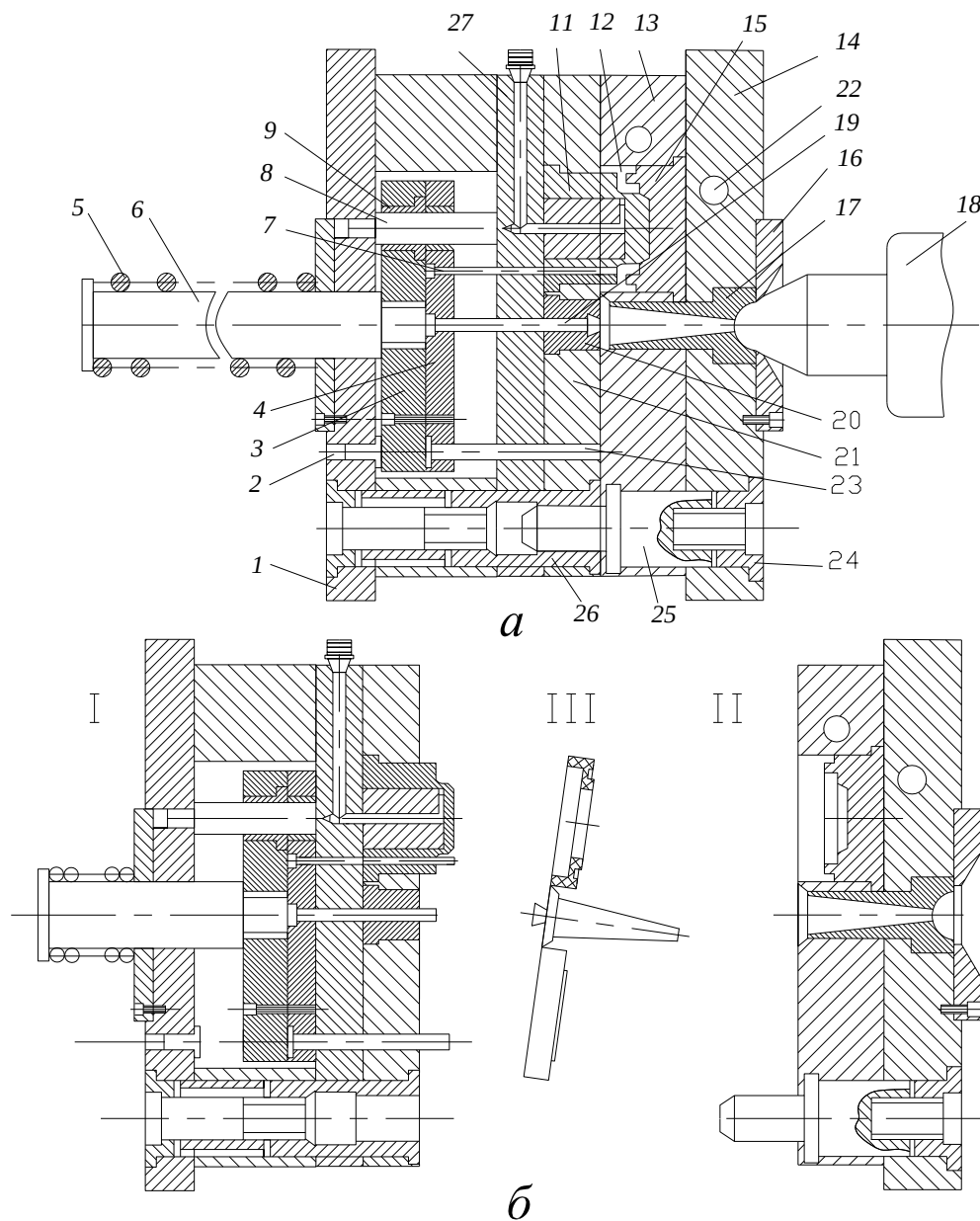
Існують ручні форми, де виштовхування виробів не є автоматизованим, і автоматизовані форми, які забезпечують виштовхування виливка та відокремлення ливникової системи. В деяких випадках, коли виштовхування виливка ускладнене, як приклад, унаслідок його значних габаритів або складної форми, застосовуються спеціальні роботи-маніпулятори.

Приклад конструкції форми та схему виштовхування наведено на рис. 2.3 і 2.4.

Зазвичай у литтєвих машинах із гідромеханічним замиканням форм виштовхування відбувається за допомогою упору на задній плиті та хвостовика форми, а повернення виштовхувальної системи у вихідний стан – контрштовхачами 23 або пружиною (рис. 2.3). У машинах із прямим гідравлічним замиканням для цього передбачено спеціальний гідроциліндр.

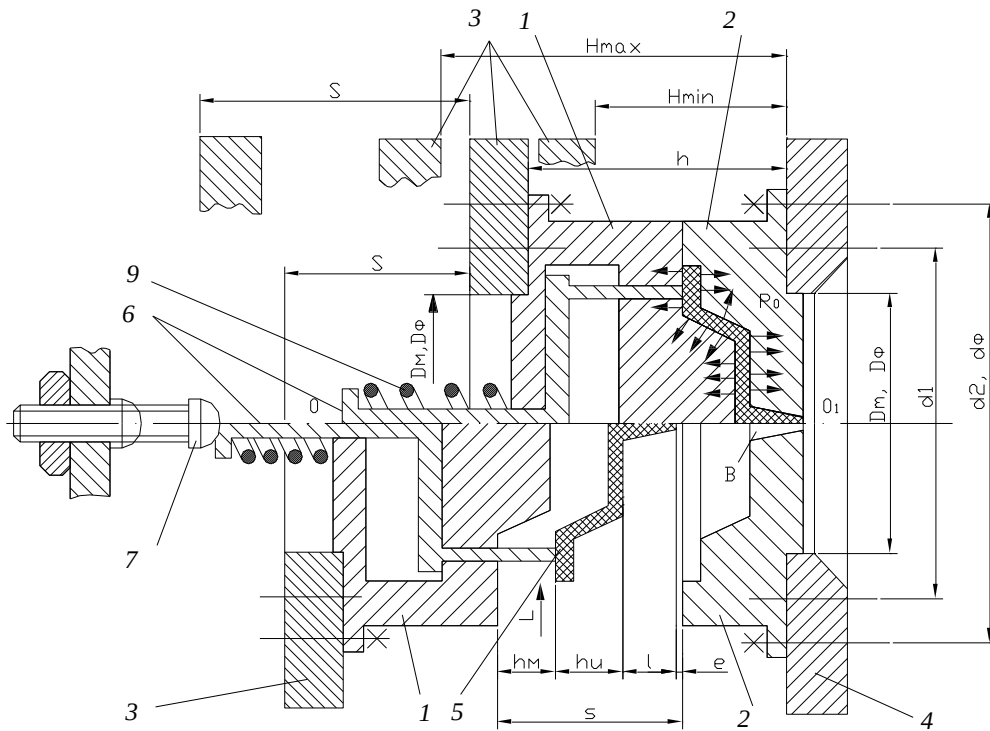
Під час лиття виробів типу стаканчиків або ковпачків із тонким днищем звичайні виштовхувачі пробиватимуть його. Чим більший діаметр виштовхувача тим менше напруження зрізу, проте при цьому зменшується міцність пуансона, а його охолодження стає проблемним. У цьому разі застосовується зіштовхування виробів по їх контуру зіштовхувальною плитою.

Подвійне зіштовхування застосовують тоді, коли потрібно забезпечити послідовне виштовхування виробу із двох різних оформлювальних поверхонь. Подвійне зіштовхування виробів не можливе лише зіштовхувальними плитами, оскільки вироби зависатимуть у порожнині плити, що утворює ці борти. Одними же виштовхувачами можна зіштовхувати тільки дрібні та плоскі вироби. Інші деталі «проколюватимуться».



1 – рухома плита кріплення форми; 2 – упор; 3, 4 – плити виштовхувачів; 5 – пружина; 6 – хвостовик; 7 – виштовхувач; 8, 25 – напрямні колонки; 9, 26 – напрямні втулки; 10 – стійка; 11 – пуансон; 12 – гніздо прес-форми; 13 – обойма матриць; 14 – нерухома плита кріплення прес-форми; 15 – матриця; 16 – фланець; 17 – ливникова втулка; 18 – інжекційний циліндр; 19 – центральний виштовхувач; 20, 24 – втулки; 21 – обойма пуансона; 22 – канал; охолодження; 23 – поворотний штовхач; 27 – проміжна плита

Рисунок 2.3 – Конструкція типової двогніздової форми для лиття під тиском кільцевої втулки з поліетилену: а – форма зімкнута; б – форма розкрита; I і II – рухома й нерухома півформи; III – виливок



1 – рухома півформа; 2 – нерухома півформа; 3 – плита рухомої півформи;
4 – плита нерухомої півформи; 5 – виріб; 6 – хвостовик; 7 – упор нерухомий; 8 –
ливниковий канал; 9 – пружина

Рисунок 2.4 – Схема взаємодії форми для лиття під тиском термопласту з
литтєвою машиною-автоматом

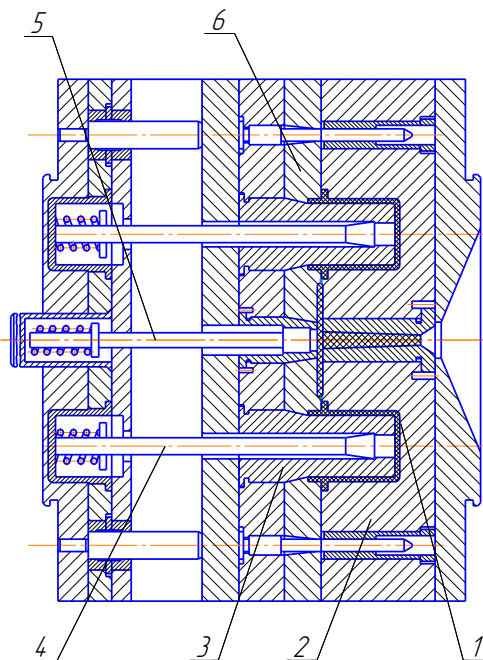


Рисунок 2.5 – Поворотна прес-форма: а – в замкненому положенні; б – в
розімкненому положенні.

2.5 – Литтєва форма з подвійним зіштовхуванням виливків

На рис. 2.1 наведено зіштовхування виробу із бортом за допомогою зіштовхувальних плит, які здійснюють зіштовхування виробів із пуансонів 1 та скидачів 4, які витягують вироби із гнізд плити 6, а потім їх скидають [8].

Лиття відбувається у двохгніздовій литтєвій формі крізь фланець борту. Плита 6 зіштовхує виріб із пуансона 1, скидач 4 викидає виріб із гнізда плити 6, скидач 5 одночасно виштовхує ливник із піднутреного отвору втулки 3. Однак виріб зависає на скидачі 4. Після замикання скидач не повертається у вихідне положення, а упирається у дно матриці. Розплав тисне на виточку на скидачі з розмірами $D-d$ під час упорскування, повертає його у вихідне положення та заповнює порожнину. Для виключення зависання виробів на скидачі 4 застосовують спеціальний пристрій, що повертає скидачі у вихідне положення після виштовхування до замикання форми, надаючи можливість вільного падіння виробу.

Для виготовлення виробів із різьбою в автоматизованих формах потрібно не просто здійснювати виштовхування, але й вигвинчувати із них при цьому різьбові знаки. Для вигвинчування різьбових елементів застосовують механічні передачі або спеціальний привід, що перетворюють поступальний рух хвостовика у обертальний рух знаків (рис. 2.2).

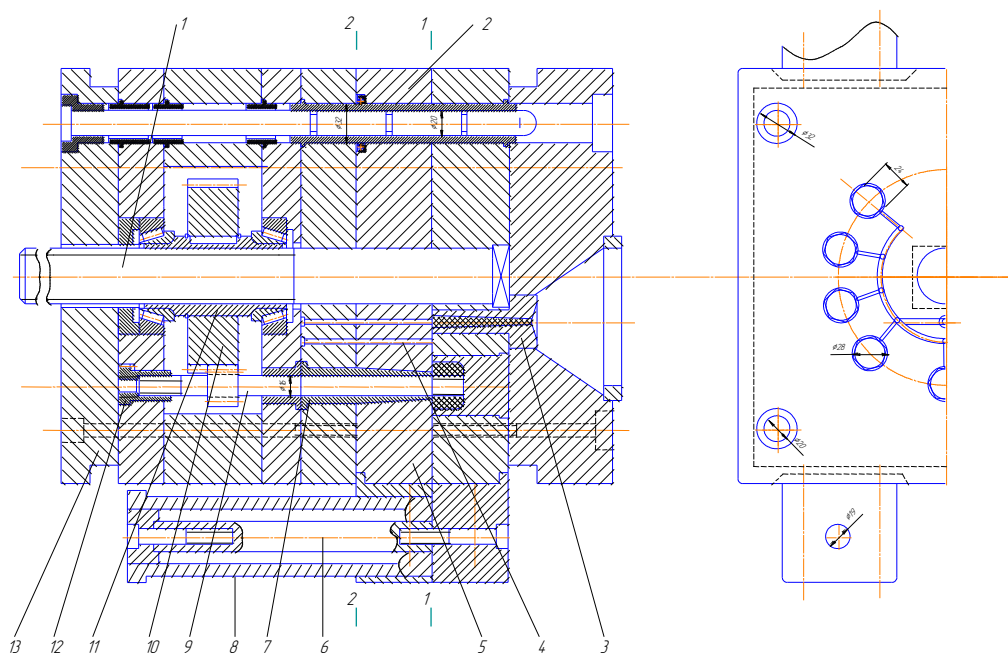


Рисунок 2.6 – Литтєва форма з механічним згвинчуванням знаків

Прес-форма, призначена для виготовлення виробу типу гайки із великою кількістю витків різьби [8], забезпечує автоматичне відокремлення ливника від виробу і вигвинчування різьбових знаків, скидання виробу.

Під час розкриття форми по площині 1–1 гайка 11 з закріпленою на ній шестернею 10, переміщаючись по закріпленому у нерухомій частині форми багатозахідному гвинту 1, обертає різьбові знаки 9. Під час обертання гайки знаки вигвинчуються із виробу та переміщаються в бік фланця 13 по різьбовій втулці 12. Для збільшення при цьому сил зчеплення виробу з втулкою 7 на її торці потрібно виконати невеликі виступи. В початковий момент розкриття форми впускний ливник відривається від виробу, та центральний ливник витягується із втулки 3.

Розкриття форми по площини 2–2, яке потрібне для відриву ливників від шпильок 4, здійснюється під дією телескопічної тяги, яка складається із стрижня 6 та втулки 8. Тяга працює у такий спосіб. В процесі розкриття форми по площини 1–1 спочатку стрижень 6 висувається з втулки 8, після чого стрижень, діючи на втулку, переміщає її відносно плити 2 до того моменту, поки буртик втулки 8 торкнеться планки 5 плити 2. Така конструкція тяги має змогу зменшити її довжину до довжини форми у зімкнутому вигляді.

2.3 Огляд патентів

Розглянуто форми для лиття під тиском порожнистих полімерних виробів, яка містить дві півформи, які в зімкнутому вигляді утворюють формуючу порожнину.

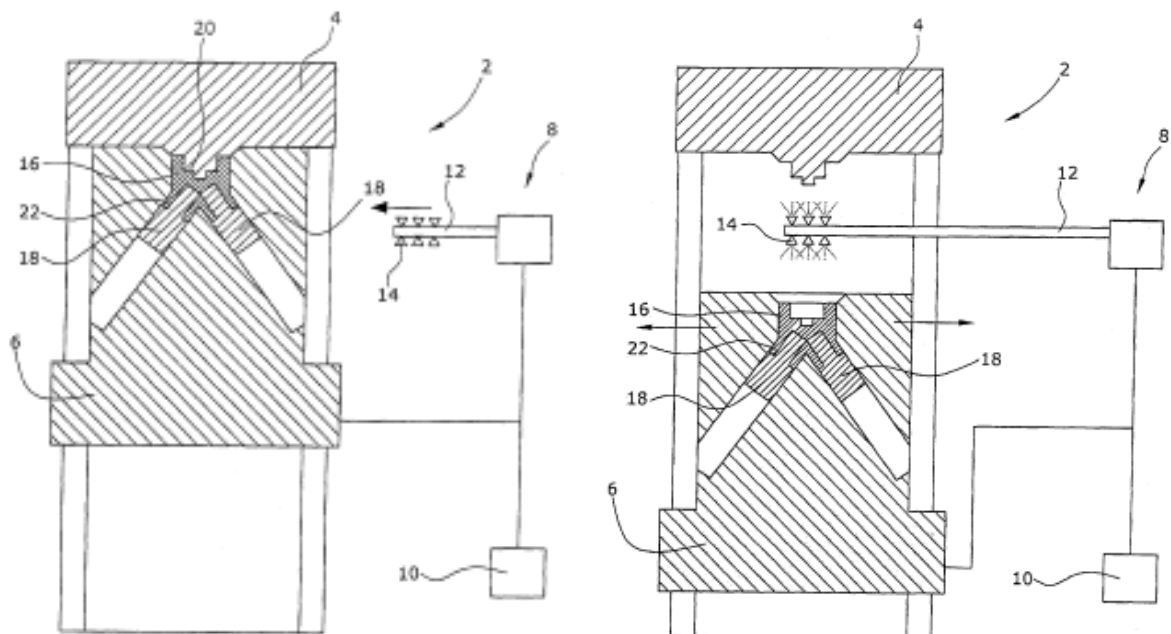
Будь яка литтєва форма має свої недоліки пов'язані з конструкцією форми, для їх усунення було проведено літературний патентний огляд.

Відомий спосіб покращення деталі, отриманої литтям під тиском [9]. Задача винаходу – надати спосіб поліпшення деталі, отриманої литтям під тиском, за допомогою якого в бажаних областях може досягатися підвищення твердості, межі текучості і міцності на розтягнення сплаву по можливості при постійних значеннях поздовжньої деформації, без підвищення споживання

енергії. Це завдання вирішується за допомогою способу з ознаками п. 1 формули винаходу.

Спосіб відрізняється: 1) тим, що безпосередньо після або під час відкриття литтєвої форми (2) між напівформ (4, 6) всувають розпилювальні інструменти (14) розпилювального пристрою (8), за допомогою яких на деталь (16), отриману литтям під тиском, розпилюють охолоджуючий засіб для різкого охолодження, причому тиск розпилення становить щонайменше 8 бар; 2) тим, що одночасно з деталлю (16) в рухомий напівформі (6) обприскують і нерухому полуформу (4); 3) тим, що розпилюване середовище являє собою суміш з охолоджуючого засобу і повітря, при цьому регулюють співвідношення між повітрям і охолоджуючим засобом.

Завдяки тому, що безпосередньо після або під час того, як відкривається ливарна форма між напівформ, вдвигаються розпилювальні інструменти, за допомогою яких на деталь, отриману литтям під тиском, наноситься охолоджуючий засіб для різкого охолодження, може виконуватися дозоване охолодження деталі, отриманої литтям під тиском, яке може оптимізуватися як щодо місця, так і введених кількостей охолоджуючого засобу. Так можуть досягатися оптимальні якісні показники структури.



a – форма зімкнута; *б* – форма розкрита

Рисунок 2.7 – Конструкція литтєвої форми

В [10] описана прес-форма для лиття під тиском полімерів, яка містить плити з оформлюваними елементами для утворення формувальної порожнини, ливникову систему, яка обігривається, перепускний ливниковий канал, який з'єднує формувальну порожнину з засобом для дроселювання потоку полімеру, та датчик стану розплаву, що встановлений на виході з формувальної порожнини, яка відрізняється тим, що містить додатковий перепускний ливниковий канал, який утворює замкнене рециркуляційне коло із формувальною порожниною, перепускним ливниковим каналом і засобом для дроселювання потоку полімеру, при цьому останній розташований у ливниковій системі. основу корисної моделі покладена задача створити таку прес-форму для лиття під тиском полімерів, в якій шляхом введення нових елементів і зв'язків між ними забезпечилось би одночасне виконання операцій дроселювання та витримки під тиском, застосування кількох формувальних порожнин, що підвищить продуктивність виробництва, якість та техніко-економічні показники готових виробів.

Поставлена задача вирішена тим, що пресформа для лиття під тиском полімерів, яка містить плити з оформлюваними елементами для утворення формувальної порожнини, ливникову систему, яка обігривається, перепускний ливниковий канал, який з'єднує формувальну порожнину з засобом для дроселювання потоку полімеру, та датчик стану розплаву, що встановлений на виході з формувальної порожнини, згідно з корисною моделлю, містить додатковий перепускний ливниковий канал, який утворює замкнене рециркуляційне коло із формувальною порожниною, перепускним ливниковим каналом і засобом для дроселювання потоку полімеру, при цьому останній розташований у ливниковій системі.

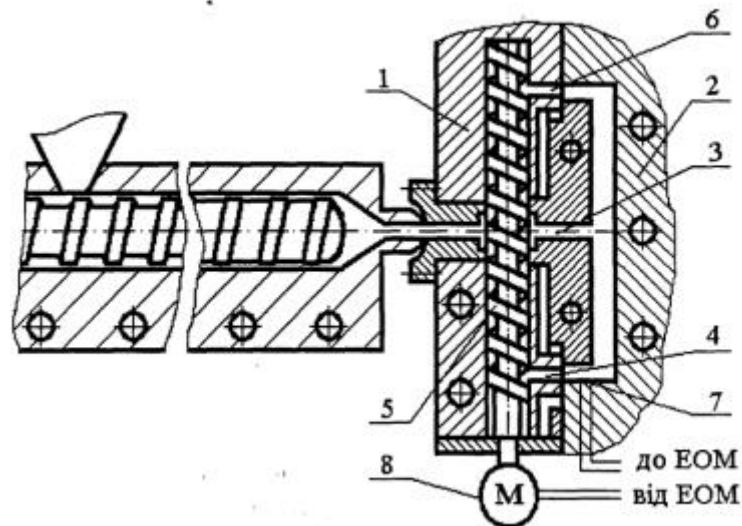
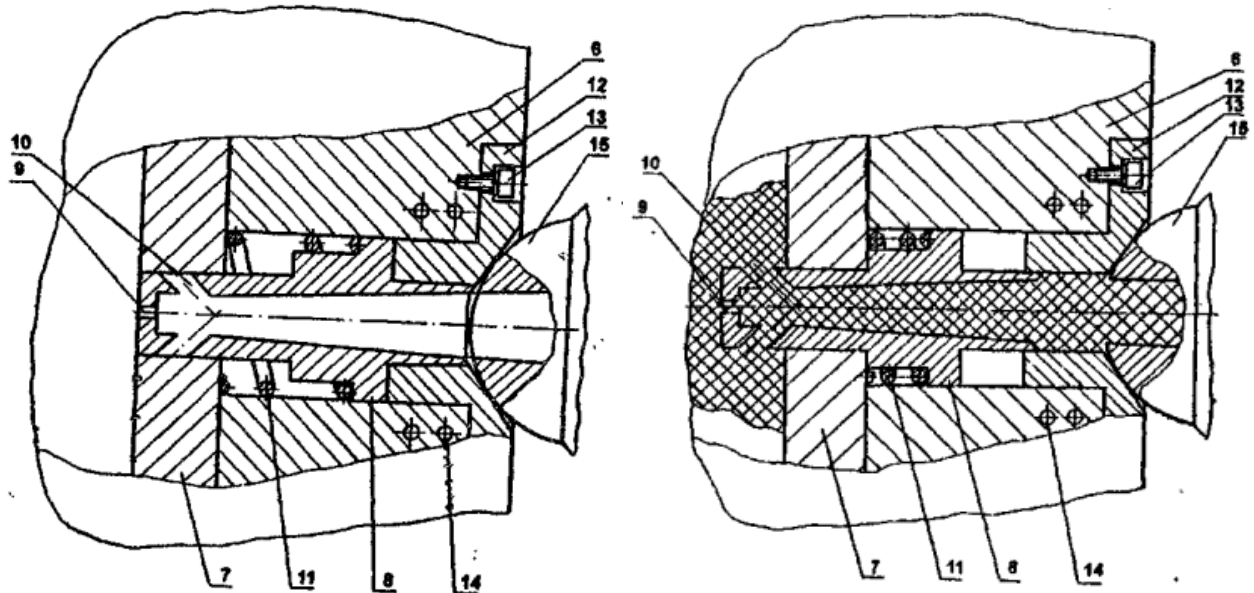


Рисунок 2.8 – прес-форма для лиття під тиском полімерів

В основу винаходу [11] поставлена задача створення такої прес-форми для лиття під тиском полімерів, яка шляхом введення нових елементів і нового виконання відомих, дозволила б підвищити продуктивність і зменшити енергоємність процесу лиття.

Поставлена задача вирішується тим, що прес-форма для лиття під тиском полімерів містить рухому плиту з пневмоциліндром, пуансон та пуансонотримач, який шарнірно закріплений на рухомій плиті, плиту зйомну, яка має можливість поздовжнього руху вздовж пуансона, нерухома плита з матрицею та литниковою втулкою, яка має центральний литниковий отвір, згідно винаходу, додатково містить пружний елемент, встановлений з можливістю взаємодії з литниковою втулкою, литникова втулка додатково має бічні литникові отвори в частині, прилеглій до матриці, виконана із ступінчасто-змінним діаметром зовнішньої поверхні та встановлена із можливістю зворотно-поступального руху у напрямку поздовжньої осі.



а – перед початком впорскування; б – в момент впорскування

Рисунок 2.9 – Положення литникової втулки

В [12] представлена прес-форма для лиття пластмасового тонкостінного виробу з дном. В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення конструкції прес-форми і виключення по можливості вказаних недоліків.

Поставлена задача вирішується тим, що в прес-формі для лиття пластмасового тонкостінного виробу з дном, що має площини роз'єму, які дозволяють забезпечити зняття ливникової системи і пластмасового виробу, згідно з корисною моделлю, для забезпечення поетапного знімання ливникової системи і пластмасового виробу, є рухома втулка, виконана по ходовій посадці з обоймою та колонкою-тягою, причому колонка-тяга розташовується в 30 нерухомій частині прес-форми, а втулка - в рухомій, що дає можливість розбити прес-форму по площинах роз'єму і додає додаткову площину роз'єму по планці, яка розташовується перед обоймою і після нерухомої частини прес-форми і необхідна для забезпечення відриву і випадання ливника в багатомісній литтєвій прес-формі.

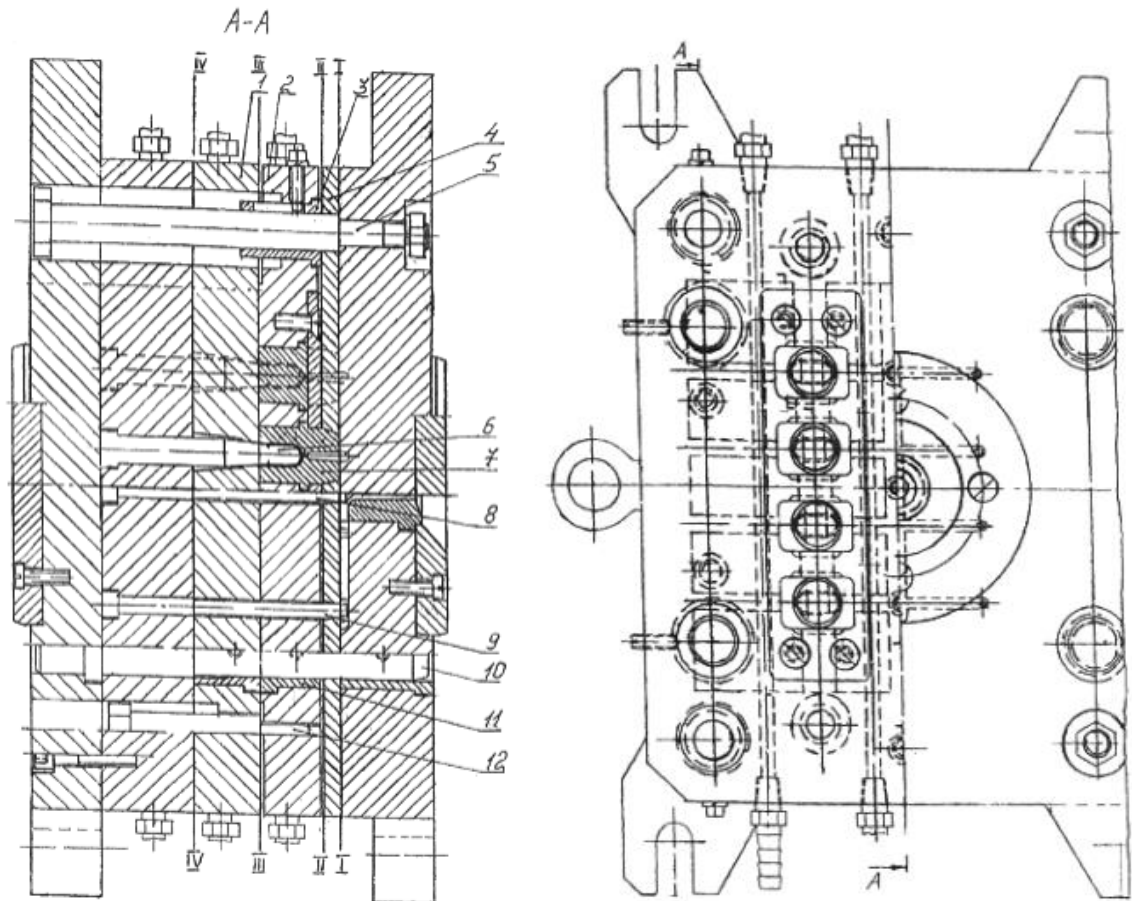


Рисунок 2.10 – Багатоступеневий поздовжній розріз прес-форми

В [13] розглянуто спосіб і пристрій для охолодження литих виробів після вилучення з прес-форми

У традиційних установках для лиття під тиском проблеми, пов'язані з охолодженням литих виробів, можуть включати наявність у виробах локалізованих вм'ятин і овальність. Запропонований спосіб, ливарна машина і продукт, зчитувальні комп'ютером і спрямовані на здійснення процесу охолодження після вилучення литого виробу (2) з прес-форми (8, 9). Спосіб охолодження даного винаходу включає вирівнювання швидкостей охолодження в процесі охолодження виробу після вилучення виробу з прес-форми (8, 9) таким чином, що литий виріб (2) досягає попередньо заданої вихідної температури в момент часу, по суті збігається з моментом часу, в який литий виріб (2) виводять з процесу охолодження, виробленого після прес-форми (8, 9). Продукт, зчитування комп'ютером для його використання контролером (30), містить зчитуваний комп'ютером носій, що включає керуючі команди, вироблені

контролером. При цьому щонайменше одна керуюча команда включає керуючі команди, вироблені контролером (30), що включають (і) видачу команди пристрою (12), використовуваному після момент часу, який по суті збігається з моментом часу припинення процесу охолодження литого виробу (2), здійснюваного після вилучення виробу з прес-форми (8, 9). Технічний результат, який досягається при використанні способу за винаходом, полягає в усуненні локальних вм'ятин і овальності при тривалому періоді циклу лиття.

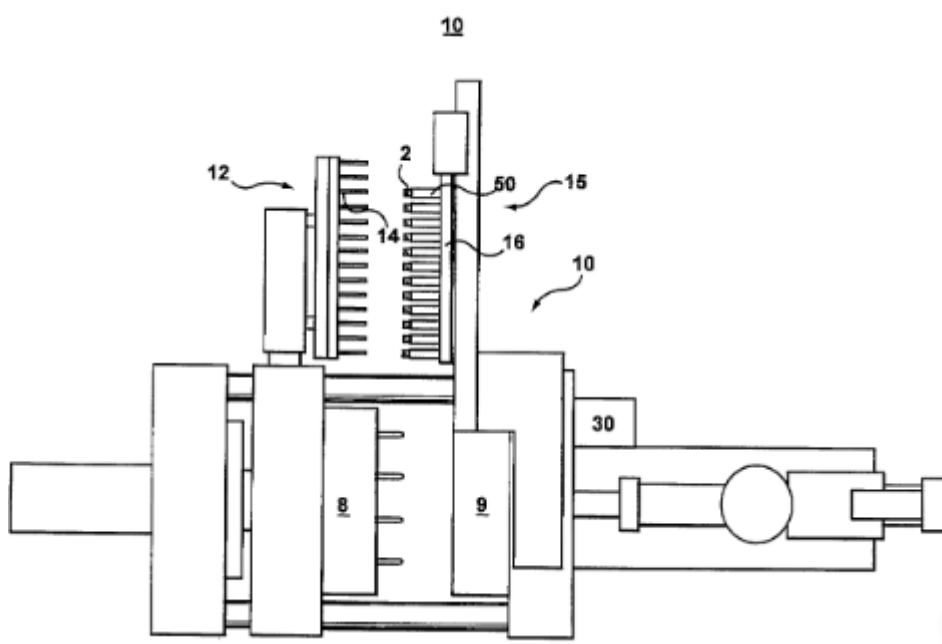


Рисунок 2.11 – Литтєва машина с тримачами для охолодження

2.4 Запропоноване вдосконалення форми

На основі проведеного патентного огляду аналогом вибрано [13]. Сутність полягає в тому, що виріб попередньо охолоджують до тверднення верхнього шару стінок в литтєвій формі, потім вилучають його з прес-форми та додатково охолоджують в спеціальних тримачах для охолодження. Недоліком є складність апаратурного оформлення способу

Було запропоновано вдосконалення конструкції форми для лиття під тиском, на яке оформлено заявку на патент України.

В результаті досліджень конструкцій машин для лиття під тиском подано заявку на корисну модель [22].

В основу корисної моделі покладено задачу вдосконалити спосіб одержання виробу литтям під тиском, в якому його нове виконання забезпечує спрощення апаратурного оформлення способу, отже й знижує собівартість одержуваного виробу.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі одержання виробу литтям під тиском, за якого виріб формують у литтєвій-формі щонайменше в одній з формувальних порожнин, сполученій із ливниковою системою, відформований виріб попередньо охолоджують до тверднення його поверхневих шарів в зазначеній формувальній порожнині, після чого виріб додатково охолоджують до його повного тверднення і видаляють за межі прес-форми, згідно із пропонованою корисною моделлю новизною є те, що після попереднього охолодження виробу формувальну порожнину, в якій він перебуває, від'єднують від ливникової системи, додаткове охолодження виробу здійснюють безпосередньо у зазначеній формувальній порожнині, при цьому одночасно із додатковим охолодженням виробу ливникову систему сполучають із іншою щонайменше однією формувальною порожниною литтєвої-форми та формують у ній наступний виріб.

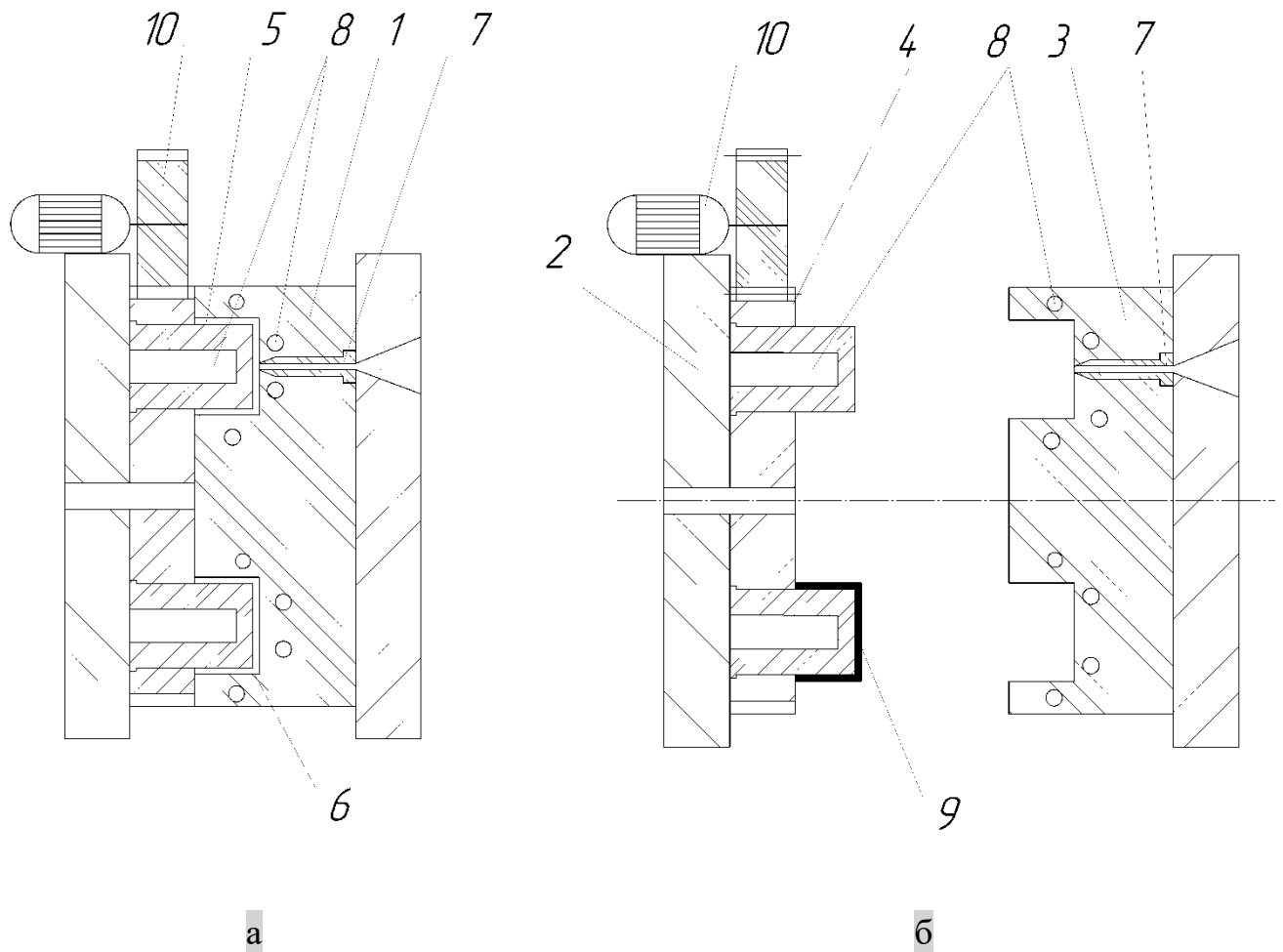
Реалізація пропонованого способу з зазначеними відмітними ознаками дає змогу відмовитися від додаткової прес-форми, в якій відбувається додаткове охолодження відформованого і попередньо охолодженого виробу. При цьому повний цикл процесу охолодження виробу здійснюється в одній формувальній порожнині, що також гарантує стабільність форми та розмірів одержуваного виробу. Крім того, на відміну від найближчого аналогу, виключається операція проміжного вилучення відформованого виробу між стадіями попереднього та додаткового охолодження, що підвищує продуктивність пропонованого способу.

Сутність корисної моделі пояснюється кресленнями, на яких зображено: на рисунку 2.13, а саме призначену для реалізації пропонованого способу литтєву-форму в замкненому положенні (рис.2.13) і ту саму прес-форму в розімкненому положенні.

Пристрій для реалізації пропонованого способу містить прес-форму 1, яка складається з півформ 2 і 3 та поворотної плити 4, які між собою утворюють групи формувальних порожнин 5 і 6. Також зазначений пристрій містить ливникову систему 7 та систему охолодження 8 виробів 9. Поворотна плита 4 сполучається з приводом повороту 10.

Пропонований спосіб реалізується таким чином.

В замкнену прес-форму 1 подають розплав полімеру, який під дією тиску крізь ливникову систему 7 потрапляє в групу формувальних порожнин 5, сполучених із ливниковою системою 7, де полімер попередньо охолоджують до тверднення його поверхневих шарів за допомогою системи охолодження 8, після чого півформи 2 і 3 прес-форми 1 розкривають, формувальні порожнини 5 від'єднують від ливникової системи поворотом плити 4 приводом повороту 10 та знов закривають прес-форму 1, у результаті чого із ливниковою системою 7 сполучається група формувальних порожнин 6. У групі формувальних порожнин 5 здійснюють додаткове охолодження сформованого полімерних виробів 9, при цьому одночасно у групу формувальних порожнин 6 подають розплав полімеру та здійснюють попереднє охолодження. Після цього прес-форму 1 знову розкривають, із формувальних порожнин 5 видаляють вироби 9, а цикл повторюють.



а – в замкненому положенні; б – в розімкненому положенні: 1 – прес-форма; 2,3 – півформи; 4 – поворотна плита; 5,6 – формувальні порожнини; 7 – ливникова система; 8 – система охолодження; 9 – виріб; 10 – привід.

Рисунок 2.13 – Поворотна прес-форма

Пропоноване технічне рішення істотно спрощує апаратне оформлення способу та знижує собівартість одержуваних виробів.

2.5 Аналіз математичних моделей

2.5.1 Математична модель, що застосовується в аналітичному продукті Autodesk Simulation Moldflow

Математична модель описує метод одиничного аналізу варіацій.

Одиничний аналіз варіацій - це метод, що надається в аналітичному продукті Autodesk Simulation Moldflow Warp, щоб ізолювати домінуючу причину викривлення і дозволити здійснити цілеспрямовані заходи для зменшення деформації деталі. Розглянемо, як метод залишкової напруги застосовується в контексті єдиного аналізу.

Аналіз Fill + Pack фаз наповнення і пакування виводить наступну інформацію, яка служить в якості вхідних даних для розрахунків залишкового напруги:

- Узагальнені дані про сили;
- Мембранні сили (N_x, N_y, N_{xy}) і згинальні моменти (M_x, M_y, M_{xy}) , на кожному елементі в локальній системі елементарних осей,
- Кути орієнтації матеріалу для кожного елемента,
- Механічні властивості для кожного елемента (поздовжній модуль Юнга, поперечний модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона).

Одиничний аналіз варіацій заснований на концепції, згідно з якою причини короблення діляться на три категорії:

- Диференціальне охолодження,
- Диференціальна усадка,
- Орієнтаційні ефекти.

Ця концепція стосується усадки, а не стресів. Тому, щоб ізолювати причину вищезазначеної деформації при використанні моделі залишкової напруги, нам потрібно розрахувати узагальнену напругу з даних узагальнених сил, потім розкласти деформації на компоненти із-за диференційного охолодження, різної усадки і нарешті, перетворити змінені напруження назад в відповідні узагальнені сили. Потім проводять окремий аналіз стресу для отримання результатів деформації для кожного ефекту. Нижче наводяться відповідні рівняння для розрахунків.

Закон Гука для поперечно-ізотропного матеріалу може бути виражений як:

$$\{\varepsilon\} = [S^f] \cdot \{\sigma\} \quad (3.22)$$

де

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{12}\}^T \cdot [S^f] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_{11}} & -\frac{\nu_{12}}{E_{11}} & 0 \\ -\frac{\nu_{12}}{E_{11}} & \frac{1}{E_{22}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G} \end{bmatrix}, \quad (3.23)$$

В якості альтернативи закон Гука можна записати в такий спосіб

$$\{\sigma\} = [D^f] \cdot (\varepsilon) \quad (3.24)$$

де

$$[D^f] = \frac{1}{1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}} \cdot \begin{bmatrix} E_{11} & \nu_{21} E_{11} & 0 \\ \nu_{21} E_{11} & E_{22} & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

Враховуючи кут орієнтації матеріалу, ми перетворимо матрицю відповідності і матрицю жорсткості з орієнтованої системи в локальну систему.

Узагальнені деформації:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{h} \cdot \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.26)$$

$$\begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{12}{h^3} \cdot \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.27)$$

де $\{\varepsilon\}$ і $\{K\}$ – відповідно вектори деформації і кривизни.

Наступні рівняння перетворюють вектори деформації та кривизни назад до мембранних сил і згинаючих моментів:

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = h \cdot \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.28)$$

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{h^3}{12} \cdot \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.29)$$

Щоб ізолювати ефекти warpage, ми замінюємо і розкладаємо компоненти, потім перераховуємо мембранні сили і згинальні моменти і використовуємо нові значення в структурному аналізі [15].

2.5.2 Метод прогнозування усадки для 3D деталей

Під час виготовлення процесом лиття під тиском формована деталь обмежена в пресс-формі. Під час затвердіння литтєвої деталі усадка затвердівшого шару запобігається двома механізмами. Як тільки деталь вилучають із форми, ці залишкові напруги будуть висвітлюватися у вигляді деформації усадки.

Існує два механізми запобігання усадки затвердівшого шару, який все ще знаходиться в пресс-формі. По-перше, адгезія по стінкам пресс-форм утримує (по меншій мірі, зовнішній оболонці) тверді шари від переміщення, а по-друге, знову утворена тверда поверхня буде утримана фіксуючими силами тиску розплаву.

В процесі затвердіння збільшуються залишкові напруги в порожнині. Із-за характеру вимушеного охолодження розподіл залишкових напружень багато в чому визначається зміною тиску у поєднанні із зростанням охолодженого шару. Якщо початкові деформації, які є еквівалентними залишковим напруженням в порожнині, є однорідними, то деталь буде охолоджуватися рівномірно без будь-яких деформацій та залишкових напружень після вилучення із прес-форми. Прискорення викликано варіаціями усадки у всьому протязі.

Розглядаються два типи змін усадки:

1. Зміни усадки від регіону до регіону (ефекти диференціальної усадки)

Для типових тонкостінних деталей цю форму зміни усадки можна розділити на варіації у напрямку товщини формованих деталей, головним чином викликані диференційним охолодженням і змінами від області поверхні до поверхні.

2. Зміна усадки в різних напрямках (ефект орієнтації)

Різниця між паралельною і перпендикулярною усадками і властивостями анізотропного матеріалу, що відносяться до розподілу орієнтації волокон, є однією з основних причин деформації деталей для термопластів, заповнених волокном.

Усадка деталей литтям залежить від термодинамічної поведінки матеріалу під час обробки. Для простоти ми припускаємо лінійну пружну поведінку в затверділій частині і чисто в'язку поведінку в розплаві.

Доцільно наблизити лінійну усадку з використанням складу:

$$\varepsilon_i = \int_{T_r}^{T_0} a_i(T) dT$$

де

• $a_i(T)$ є лінійний коефіцієнт теплового розширення (СТЕ) при температурі T в i -м головному напрямку.

• T_0 - температура, коли місцевий потік порожнини досяг атмосферного стану. Це значення отримано з симуляції потоку.

• T_r - температура в приміщенні.

Тетраедричний елемент першого порядку на 4 вузла підходить для моделювання 3D-потіку. Однак, якщо тетраедричний елемент першого порядку використовується для аналізу Warp типових тонкостінних деталей або тонкостінних областей складних тривимірних частин, то горезвісна проблема блокування зсуву зробить структурну реакцію дуже жорсткою [1]. Замикання

зсуву або паразитний зсув обумовлено неточністю поля лінійного зміщення лінійного тетраедричного елемента. Це може загострюватися елементами з великими аспектними співвідношеннями. З іншого боку, тетраедричні елементи з високим співвідношенням сторін не можна уникнути, якщо обчислювальні витрати залишаться низькими. Отже, тетраедричний елемент першого порядку не підходить для тонкостінних ділянок формованих деталей.

Схема гібридних елементів була розроблена для аналізу 3D Warp. Тетраедричні елементи першого порядку на 4 вузла використовуються в твердих областях 3D, а в тонкостінних областях використовуються 10-вузлові тетраедричні елементи другого порядку. Перехідні 5-9 вузлові чотиригранні елементи використовуються в перехідних областях, які з'єднують тонкостінні та товсті ділянки.

Для волокнистих полімерів також моделюється орієнтація волокна, викликаної потоком. Тоді модулі, співвідношення Пуассона та коефіцієнти теплового розширення композитного матеріалу можна визначити, використовуючи розрахункову орієнтацію волокон та механічні властивості полімерної матриці та волокна [2, 3, 4]. Ця інформація потрапляє в структурні тетраедричні елементи, в яких використовується 3D-ортотропне напружено-деформоване співвідношення.

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1 - \nu_{yz}\nu_{zy}}{E_y E_z \Delta} & \frac{\nu_{yz} + \nu_{zx}\nu_{yz}}{E_y E_z \Delta} & \frac{\nu_{zx} + \nu_{yz}\nu_{zy}}{E_y E_z \Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu_{xy} + \nu_{xz}\nu_{zx}}{E_z E_x \Delta} & \frac{1 - \nu_{zx}\nu_{xz}}{E_z E_x \Delta} & \frac{\nu_{zy} + \nu_{zx}\nu_{xy}}{E_z E_x \Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu_{xz} + \nu_{xy}\nu_{yz}}{E_x E_y \Delta} & \frac{\nu_{zy} + \nu_{xz}\nu_{yz}}{E_x E_y \Delta} & \frac{1 - \nu_{xy}\nu_{yx}}{E_x E_y \Delta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G_{zx} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \frac{1 - \nu_{xy}\nu_{yx} - \nu_{yz}\nu_{zy} - \nu_{zx}\nu_{xz} - 2\nu_{xy}\nu_{yz}\nu_{zx}}{E_x E_y E_z}$$

симуляція 3D-моделювання зазвичай потребує значного обчислювального часу, особливо якщо кількість елементів дуже велика, і якщо є велика товстостінна область. Ефективний попередньо обумовлений сполучений градієнтний ітераційний розв'язувач реалізований для зменшення вимог до пам'яті та обчислювального часу.

2.5.3 Розрахунок усадки виробів із пластмас

Посилаючись на роботу [4] можна зробити висновки що певну конфігурацію і розміри виріб приймає в формі, коли полімер знаходиться в розплаві зі зниженою щільністю, то подальше охолодження викликає зміну обсягу полімеру і відповідно зменшення лінійних розмірів виробу, тобто появу усадки. Усадка Y (%) характеризує зменшення лінійних розмірів виробів по відношенню до розмірів формуючого інструмента:

$$Y = \frac{l_{\phi} - l_{\epsilon}}{l_{\phi}} \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

де l_{ϕ} - розмір формуючої порожнини при 20°C; l_{ϵ} - розмір виробу при 20 ° С.

Внаслідок того, що більшість виробів формується за рахунок зсувної течії і відбувається орієнтація макромолекул, з'являється анізотропія усадки, тобто розміри виробів в різних напрямках змінюються неоднаково. Анізотропія усадки a_y визначається за формулою:

$$a_y = Y_{\parallel} / Y_{\perp} \quad (2.2)$$

де $Y_{\perp}$ - усадка в напрямку, перпендикулярному течії; $Y_{\parallel}$ - усадка вздовж напрямку течії.

Як вже було розглянуто раніше, неоднорідність напруги зсуву по товщині потоку розплаву, а також наявність температурного градієнта при охолодженні розплаву зумовлюють виникнення структур, що розрізняються за розмірами і

формою. Крім того, у виробах можуть з'явитися залишкові напруги. Для додання структурі однорідності і більш повної релаксації залишкових напруг застосовують нагрівання готових виробів і витримку їх протягом певного часу - термообробку.

Релаксаційні процеси і структурні зміни при нагріванні призводять до зміни лінійних розмірів виробу, які оцінюються величиною додаткової (термічної) усадки U_d :

$$U_d = \frac{l - l_T}{l} \cdot 100, \% \quad (2.3)$$

де l і l_T - розміри виробу до і після термообробки.

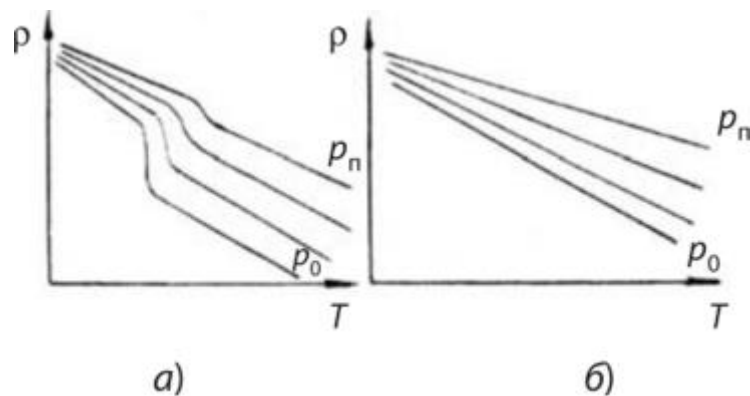
Зменшення лінійних розмірів виробів і анізотропія усадки залежать від будови полімеру і умов формування.

Відомо, що з підвищенням температури щільність полімерів знижується, тому при виготовленні виробів пресуванням або литтям під тиском, щоб знизити усадку виробів, після заповнення форми розплав необхідно стиснути під тиском. Так, при литті виробів з полістиролу під тиском 100 МПа усадка становить 0,1-0,2%, а при тиску 60 МПа - приблизно 0,6%. Особливо сильно змінюється усадка при переробці кристалізуються полімерів, для яких характерна нелінійна залежність зміни питомого обсягу (щільності) від температури (див. Рис. 1.15, схематично показано на рис. 3.7).

Однак значно знизити усадку полімерів що кристалізуються за рахунок підвищення тиску в формі практично не вдається, тому що при високому тиску утруднюється витяг виробів з форми. Оскільки щільність полімерів залежить від ступеня кристалічності, усадка виробів відповідно залежить від швидкості їх охолодження, температури форми і розплаву. Використовуючи рівняння стану, можна отримати вираз, що описує залежність усадки від різних параметрів. Для цього в рівнянні (3.27) замінимо лінійні розміри на обсяги формуючої порожнини і розплаву:

$$Y = 1 - (v_{\text{изд}}/v_{\text{ф}})^{1/3}, \quad (3.30)$$

де $u_{\text{изд}}$ - обсяг виробу при 20°C ; $u_{\text{ф}}$ - обсяг розплаву в формі при температурі лиття.



Мал. 3.7. Залежність щільності кристалічного (а) і аморфного (б) полімеру від температури при різних тисках

Виразимо обсяги через питомий об'єм і масу полімеру:

$$v_{\text{изд}} = m v_{\text{уд}}^0, \text{ а } v_{\text{ф}} = m v_{\text{уд}}^p,$$

де m - маса полімеру; $v_{\text{уд}}^0$ - питомий об'єм полімеру при 20°C , $v_{\text{уд}}^0 = 1/\rho_0$; ρ_0 — щільність полімеру при температурі 20°C ; $v_{\text{уд}}^p$ - питомий об'єм розплаву полімеру при тиску і середній температурі після витримки під тиском.

Питомий обсяг розплаву з рівняння стану (3.24) дорівнює

$$v_{\text{уд}}^p = b + RT/(M(p + \Pi)). \quad (3.31)$$

Підставивши значення $u_{\text{изд}}$ і $u_{\text{ф}}$ в рівняння (3.30) і замінивши питомий обсяг полімеру на його щільність при температурі 20°C , отримуємо

$$Y = 1 - (\nu_{\text{уд}}^0 / \nu_{\text{уд}}^p)^{1/3} = 1 - \{M(p + \Pi) / \rho_0 [RT + Mb(p + \Pi)]\}^{1/3}. \quad (3.32)$$

При перебігу розплаву в формуючій порожнині форм, каналах екструзійних головок або в міжвалковому зазорі Каландра виникає орієнтація макромолекул полімеру, внаслідок чого з'являється анізотропія усадки. При охолодженні виробів, що мають неоднорідну орієнтацію макромолекул, розміри їх вздовж напрямку течії змінюються сильніше, ніж в напрямку, перпендикулярному течією. Оскільки ступінь орієнтації залежить від температури і швидкості течії, то анізотропія усадки зростає при зниженні температури і підвищенні швидкості течії розплаву.

Зміна елементарного обсягу розплаву з урахуванням анізотропії усадки при переробці полімеру дорівнюватиме:

$$l^3 (\nu_{\text{уд}}^0 / \nu_{\text{уд}}^p) = l^3 (1 - Y_{\perp})^2 (1 - a_y Y_{\perp}),$$

де $Y_{\perp}$ - усадка виробу в напрямку, поперечному течії розплаву.

В результаті отримуємо кубічне рівняння, яке можна перетворити до вигляду

$$Y_{\perp} = \frac{(1 - \nu_{\text{уд}}^0 / \nu_{\text{уд}}^p) - (2 + a_y) \cdot Y_{\perp}^2 + a_y \cdot Y_{\perp}^3}{2 + a_y}.$$

Якщо зробити оцінку значень компонентів, що входять в рівняння, можна помітити, що величина:

$$\frac{(2 + a_y) \cdot Y_{\perp}^2 + a_y \cdot Y_{\perp}^3}{2 + a_y}$$

порівняно мала, тому її можна не враховувати. Дійсно, при значенні усадки

$$Y_{\perp} = 0,5 \div 1,0\% \quad \frac{(2 + a_y) \cdot Y_{\perp}^2 + a_y \cdot Y_{\perp}^3}{2 + a_y} =$$

$$= 25 \cdot 10^{-6} \div 1,0 \cdot 10^{-4}.$$

Усадка в поперечному напрямку буде дорівати

$$y_{\perp} = \frac{(1 - \nu_{уд}^0 / \nu_{уд}^p)}{2 + a_y},$$

а в поздовжньому напрямку

$$Y_{\parallel} = a_y Y_{\perp}$$

Анізотропія усадки залежить від ступеня орієнтації макромолекул, а також в значній мірі від товщини стінки виробу. Зазвичай її значення змінюється в межах $a_y = 1,5$ -s- $1,8$. Слід зазначити, що входять в рівняння величини питомого обсягу полімеру при температурі 20°C і температурі розплаву в кінці витримки під тиском в формі дуже помітно змінюють значення усадки, тому повинні визначатися з високою точністю. Так, наприклад, якщо використовувати довідкові дані значень щільності полімеру пластика АВС, $\rho_0 = (1,044\text{-I}, 08)$, то усадка змінюється в межах $0,32$ - $1,37\%$.

Величину усадки з урахуванням анізотропії можна розрахувати також з використанням коефіцієнтів рівняння стану (3.24). В цьому випадку вона в перпендикулярному напрямку течії буде дорівнює

$$y_{\perp} = \left\{ 1 - \frac{M(p + \Pi)}{\rho_0 [b \cdot M(p + \Pi) + RT]} \right\} \frac{1}{2 + a_y}.$$

Усадка проявляється при всіх методах переробки термопластів. Найбільша усадка має місце при переробці пластмас литтям під тиском, оскільки при цьому методі формування розплав вприскується в замкнуту форму і охолодження відбувається з зовнішньої поверхні. У разі створення недостатнього тиску

охолодження розплаву обумовлює значне зменшення обсягу полімеру, тому всередині виробу з'являються порожнечі або виріб має велику усадку. При збільшенні тиску щільність розплаву полімеру підвищується і усадка стає менше, а при підвищенні температури усадка зростає. При литті під тиском величина усадки визначається температурою і тиском в формуючій порожнині після закінчення витримки під тиском, коли припиняється підживлення форми розплавом, тобто зберігається рівність маси розплаву і охолодженого полімеру. При розрахунку усадки за величину температури береться середнє інтегральне значення її по товщині виробу в кінці витримки під тиском. Усадку необхідно враховувати при розрахунку технологічного оснащення (розмірів формуючих порожнин), тому вивчення закономірностей усадки має важливе практичне значення. Однак внаслідок сильного коливання різних параметрів процесу переробки для визначення допуску точності розмірів виробів доцільніше шукати не абсолютне значення усадки, а її різницю між максимальним і мінімальним значеннями.

2.6 Висновки

Аналіз наявних конструкцій прес-форм та способів формування дозволив запропонувати новий спосіб лиття, у якому знижено усадку та час перебування у формі, в результаті чого збільшується продуктивність.

Аналіз математичних моделей показав необхідність врахування усадочних деформацій.

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Метою є розрахунок процесу лиття під тиском під дією таких вхідних факторів, як температура розплаву та форми, час перебування у формі для того аби мінімізувати деформацію та усадку деталі.

Деформація характеризується відмінністю деталі від бажаної форми - згинання або скручування, яке відбувається після вилучення з форми, або через якийсь час. Як правило, плоскі вироби деформуються хвилями, прямі кромки загинаються всередину, або назовні, або скручуються. Причини деформації можуть бути зумовлені параметрами чи конструкцією: тиск лиття занадто високий; температура прес-форми занадто низька; швидкість розплаву занадто низька; температура маси занадто низька; нерівномірна температура прес-форми; різна товщина стінок.

Спосіб усунення деформації: знизити тиск витримки; підвищити температуру прес-форми; підвищити швидкість вприскування; підвищити температуру циліндра; охолоджувати прес-форму рівномірно і витримувати температурний режим; змінити геометричну форму виробу з урахуванням природи полімеру [15].

3.1 Математична модель процесу

Під час етапів ущільнення та охолодження полімер вважається ізотропним термореологічно простим в'язкопружним матеріалом. Використовуючи часово-температурну еквівалентність для врахування механічних властивостей полімеру в широкому діапазоні температур, визначальним рівнянням згідно [16] буде

$$\sigma(t) = \int_0^t L(\xi(t) - \xi(t')) d\{\varepsilon(t') - \theta(t')\}, \quad (3.1)$$

де $L(t)$ – модуль релаксації матеріалу.

ξ – Час релаксації,

θ – термічна деформація,

ε – відносна деформація розплаву.

Відповідно, визначаються

$$\xi(t) = \int_0^t \Phi \{T(t')\} dt', \quad (3.2)$$

$$\theta(t) = \int_0^t \alpha \{p(T'), T'\} dT', \quad (3.3)$$

де α – коефіцієнт теплопровідності.

Функція зсуву Φ визначається залежністю за часом та температурою на основі рівняння Вільямса, Ландель і Феррі (WLF) як

$$\log \Phi = \frac{c_1(T - T_g)}{c_1 + (T - T_g)}, \quad (3.4)$$

де c_1 і c_2 – константи,

T_g – температура склування матеріалу.

У випадку ізотропного пружного матеріалу зв'язок між напруженням і деформацією може бути представлений законом Гука, і з нього модуль релаксації $L(t)$ може бути описаний таким чином з урахуванням того, що товщина стінки набагато менша її розмірів в інших напрямках (рис. 3.1):

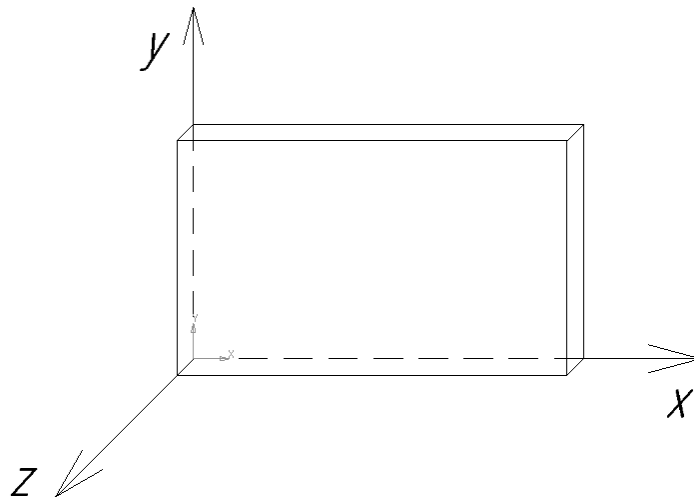


Рисунок 3.1 – Схема ділянки стінки полімерного виробу

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{bmatrix} = [L] \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{bmatrix}, \quad (3.5)$$

$$[L] = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} G(t) + \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} K(t). \quad (3.6)$$

Модуль релаксації зсуву $G(t)$ і модуль об'ємної релаксації $K(t)$ описувалися наступними моделями:

$$G(t) = \sum_{\beta=1}^m G^{(\beta)} e^{-t/\tau^\beta}, \quad (3.7)$$

де $G^{(\beta)}$ – константи,

τ^β – час релаксації.

У формулі (3.7) $G(t)$ має форму узагальненої моделі Максвелла

$$K(t) = K_0. \quad (3.8)$$

Вплив доданого матеріалу на стадію ущільнення було враховано шляхом введення поняття відносної деформації ε_r . Відносну деформацію визначають як деформований стан, коли матеріал перетворюється в пружне тверде тіло. Деформація в визначальному рівнянні повинна бути визначена на основі вільного від напружень стану. Тому ця відносна деформація впливає на визначальне рівняння.

Спочатку розглянемо деформований стан в розплаві, що знаходиться під тиском. Деформація розплаву, яка спочатку перебуває в вільному від напружень стані і перебуває під тиском гідростатичного напруження $\sigma = -pI$ в момент часу t

$$\varepsilon_{melt} = \frac{1}{3} \ln \{v(t)/v(0)\} I, I = [1 \ 1 \ 1]^T. \quad (3.9)$$

де v – питомий об'єм матеріалу.

Формула (3.9) може бути використана для обчислення відносної деформації розплаву, що піддається тиску p_s і температури T_s , коли затвердіння відбувається таким чином:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r(z) &= -\varepsilon_{melt}\{p_s(z), T_s(z)\} = \\ &= -\frac{1}{3} \ln \frac{v\{p_s(z), T_s(z)\}}{v\{0, T_s(z)\}} I,\end{aligned}\quad (3.10)$$

де $p_s(z)$ і $T_s(z)$ – залежні від положення, оскільки кожна матеріальна точка застигає при іншому термодинамічному стані.

Визначальне рівняння може бути переписано з урахуванням відносної деформації

$$\sigma(z, t) = \int_0^t L \{ \xi(z, t) - \xi(z, t') \} d \left[\varepsilon(z, t') - \{ \varepsilon_r(z, t') + \theta(z, t') \} \right], \quad (3.11)$$

В якості граничних умов використовувалися такі припущення:

–Матеріал обмежений у напрямках в площині: $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$

–Застосовується тиск ущільнення: $\sigma_z(t) = -p(t)$

Коли полімер утримується між стінками форми під час застигання, зміна товщини стінки повинна дорівнювати нулю, доки $\sigma_z < 0$:

$$\Delta l_0(t) = \int_{-l_0/2}^{l_0/2} \varepsilon_z(z, t) dz = 0 \quad (3.12)$$

Відносна деформація може збільшуватися тільки в рідкій області:

$$\Delta \varepsilon_r(z, t) = \begin{cases} \Delta \varepsilon_r I, & \text{liquid state,} \\ 0, & \text{solid state.} \end{cases} \quad (3.13)$$

Для того, щоб визначити, чи перебуває матеріал в рідкому або твердому стані, використовується значення температури без потоку матеріалу.

Під час етапів ущільнення і охолодження тиск в більшості областей в порожнині стає рівним тиску ущільнення p_{pack} .

Для моделювання густини матеріалу використовувалося рівняння Тейта

$$v(T, p) \equiv \frac{1}{\rho} = v_0(T) \left[1 - 0.0894 \ln \left(1 + \frac{p}{B(T)} \right) \right]. \quad (3.14)$$

Для моделювання густини як в рідині, так і в твердих областях, $v_0(T)$ і $B(T)$ представлені залежностями:

$$v_0(T) = \begin{cases} b_{1,1} + b_{2,1}(T - b_5) & \text{for } T > T_g \\ b_{1,s} + b_{2,s}(T - b_5) & \text{for } T \leq T_g \end{cases} \quad (3.15)$$

$$B(T) = \begin{cases} b_{3,1} \exp \left\{ -b_{4,1}(T - b_5) \right\} & \text{for } T > T_g \\ b_{3,s} \exp \left\{ -b_{4,s}(T - b_5) \right\} & \text{for } T \leq T_g \end{cases} \quad (3.16)$$

$$T_g(p) = b_5 + b_6 p \quad (3.17)$$

де T_g – температура склування аморфного полімеру

Розплав полімеру в порожнині охолоджують до затвердіння, у цей час він може деформуватися, поки не досягне температури склування. Після вилучення деталі із литтєвої форми виявляють усадку і викривлення, викликані залишковими напруженнями і зміною температури. При вилученні виріб вздовж напрямку має температуру стінки на поверхні і більш високу температуру в середині. Через перепад температур час релаксації полімеру стає дуже довгим і може тривати кілька днів. Таким чином, в даному дослідженні передбачається, що полімер після вилучення буде вести себе як еластичний матеріал.

Вироби із загальною вигнутою формою мають усадку в напрямку довжини і викривлення в напрямку товщини. Таким чином, аналіз деформації здійснюється за допомогою тривимірного методу скінченних елементів.

Представлено визначальне рівняння лінійного пружного тіла, силами якого можна знехтувати:

$$\sigma_{ij} = E_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \beta_{ij} (T - T_0) + (\sigma_r)_{ij}, \quad (3.18)$$

де σ_r - залишкове напруження

β_{ij} - тензор матеріалу, пов'язаний з коефіцієнтом теплового розширення і модулем об'ємного навантаження

$$\beta_{ij} = K \alpha \delta_{ij}. \quad (3.19)$$

Тензор E для ізотропних матеріалів може бути представлений як

$$E_{ijkl} = \frac{2\nu}{(1-2\nu)} G \delta_{ij} \delta_{kl} + G (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}), \quad (3.20)$$

де ν – коефіцієнт Пуассона,

G – модуль зсуву матеріалу.

G можна отримати з рівняння. (7) коли час релаксації s наближається до нескінченності, наприклад

$$G = \sum_{\beta=1}^m G^{(\beta)}. \quad (3.21)$$

4. ЧИСЛОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Завданням дослідження є проведення числових досліджень процесу лиття під тиском та усадочних ефектів під дією таких вхідних факторів, як температура розплаву та форми, тиск, механічні й теплофізичні властивості матеріалу та ін. Розрахувати час охолодження та перебування у формі для того аби мінімізувати деформацію та усадку деталі.

Числові дослідження проводились за допомогою програми Autodesk Moldflow Synergy. Програма забезпечує швидкий та простий метод підготовки, обробки аналізу для моделі.

Алгоритм розрахунку виробу:

1. Імпорт геометрії деталі, створеної будь якою CAD-системою.

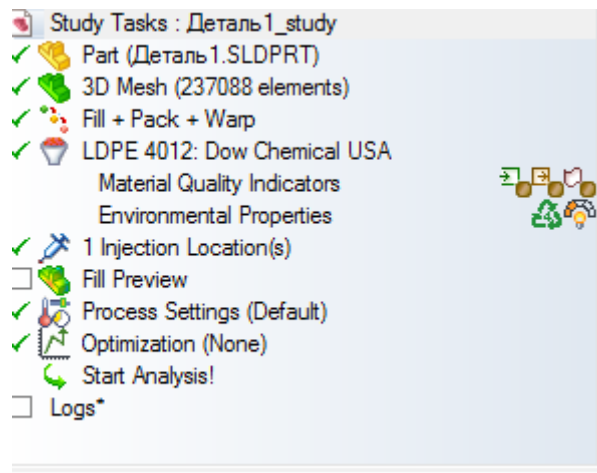


Рисунок 4.1 – Послідовність задання параметрів

2. Створення сітки, Moldflow може запропонувати автоматичне створення сітки, або можна задати параметри самостійно.

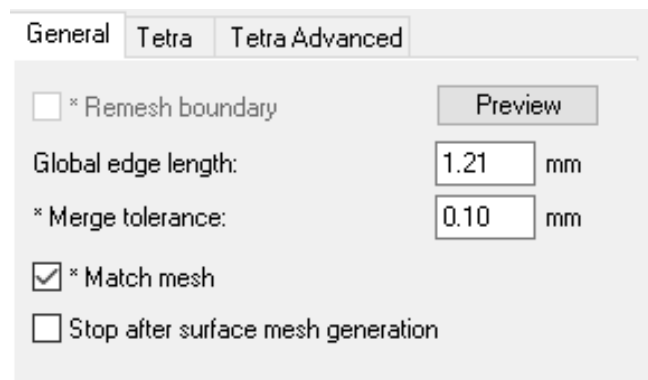


Рисунок 4.2 – Параметри сітки

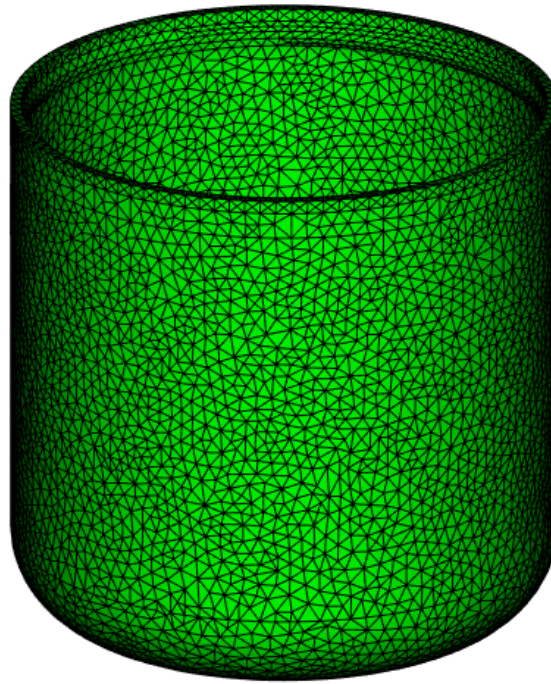


Рисунок 4.3 – Виріб із побудованою сіткою

3. Вибір типу розрахунку. В роботі використовували результати розрахунку «Cool+Fill+Pack+Warp»

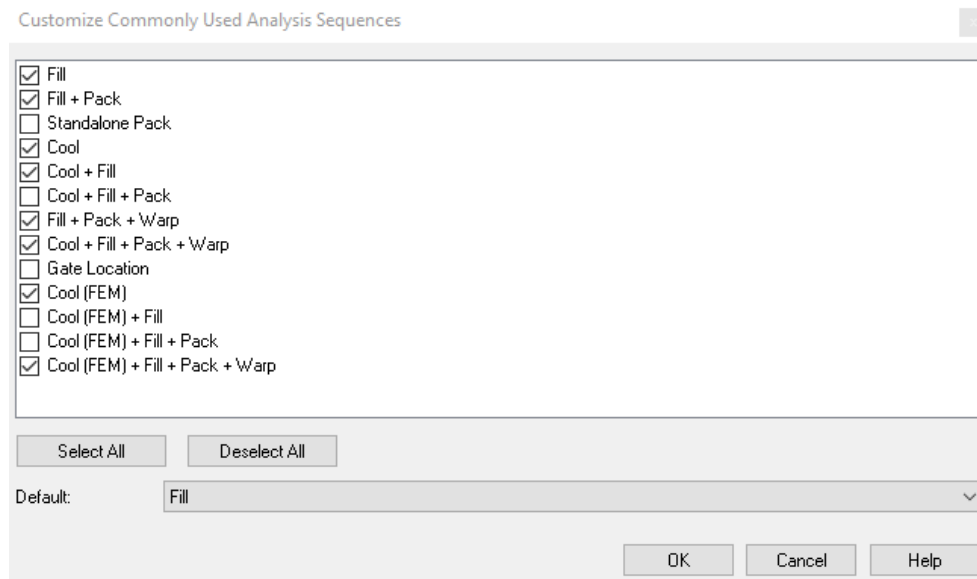


Рисунок 4.4 – Вибір виду та послідовності аналізу

4. Вибір матеріалу.

В програмі велика бібліотека матеріалів, спочатку потрібно вибрати торгову марку, яка виробляє, а вже потім назву матеріалу. При виборі одразу видно ідентифікаційний код та показник використання енергії

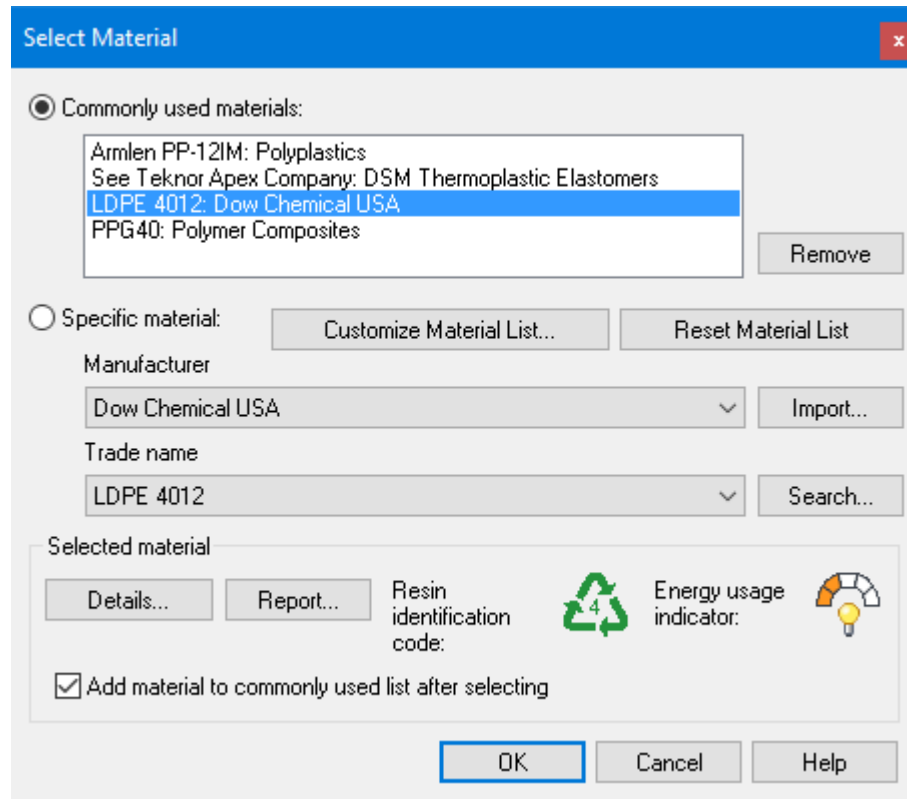


Рисунок 4.5 – Вибір матеріалу

5. Задаємо точку вприску (є можливість задати за допомогою координат, чи самостійно)

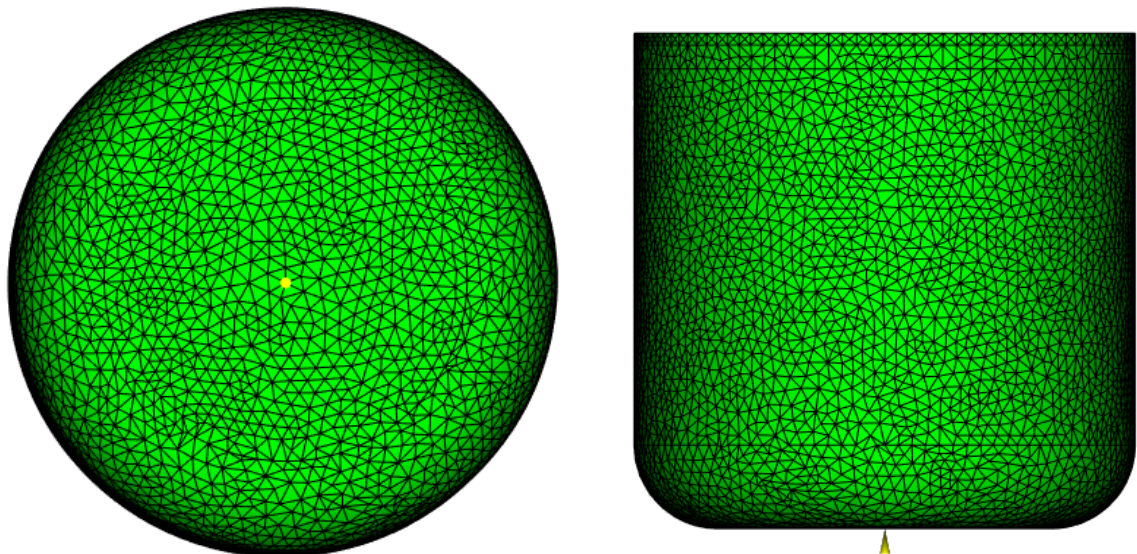


Рисунок 4.6 – Вибір точки вприску

6. Задаємо температуру форми та розплав, час охолодження та інші параметри.

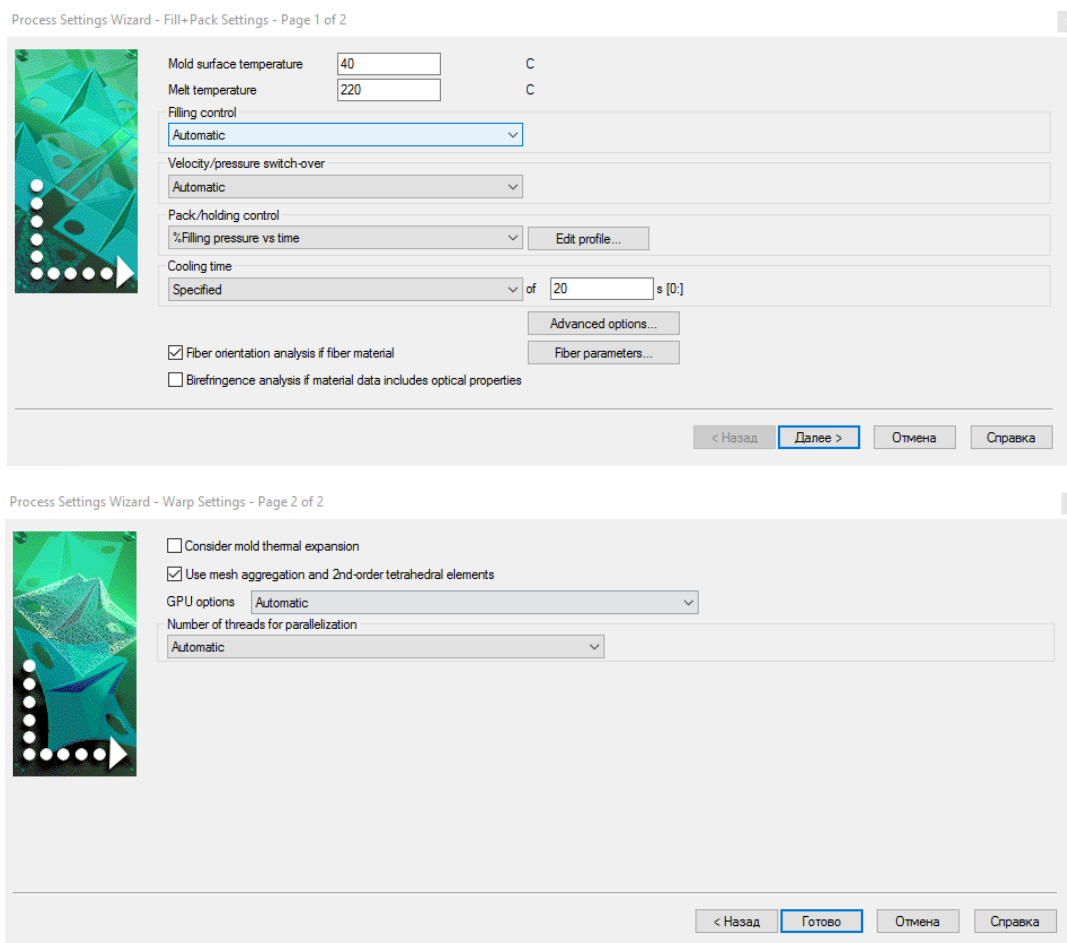


Рисунок 4.7 – Процес налаштування

7. Вибір методу оптимізації

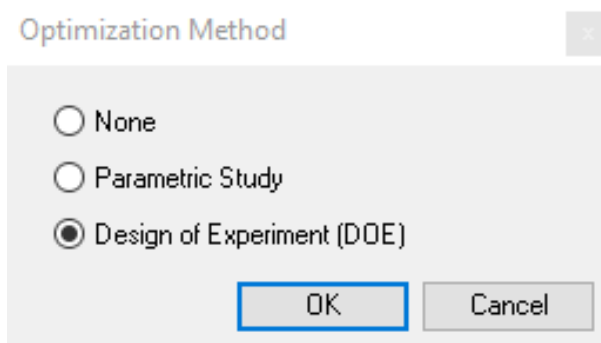


Рисунок 4.8 – Вибір методу оптимізації

8. Запуск аналізу.

5 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Метою роботи є дослідження деформації кришки при її моделюванні за допомогою програми Autodesk Moldflow Synergy. В результаті необхідно знайти залежність деформації від температури форми.

За допомогою CAD-системи Solidworks була побудована геометрія (рис.5.1) деталі «Кришка» для подальшого розрахунку деформації в Autodesk Moldflow Synergy.

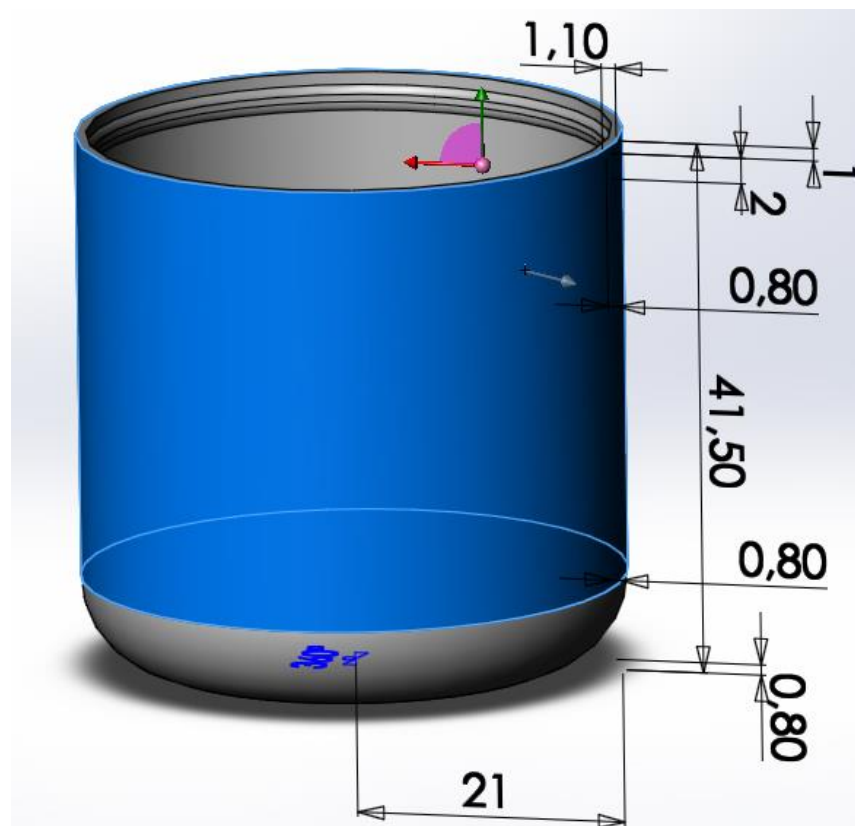


Рисунок 5.1 – Геометрія деталі «Кришка»

Перероблюваним матеріалом обрано поліетилен високого тиску “ LDPE 4012: Dow Chemical USA”.

5.1 Результати без системи охолодження

На рис.5.2-5.4 зображені деформація відносно осі X, час заповнення та тиск після заповнення при рекомендованій температурі форми 40°C та розплав 220°C.

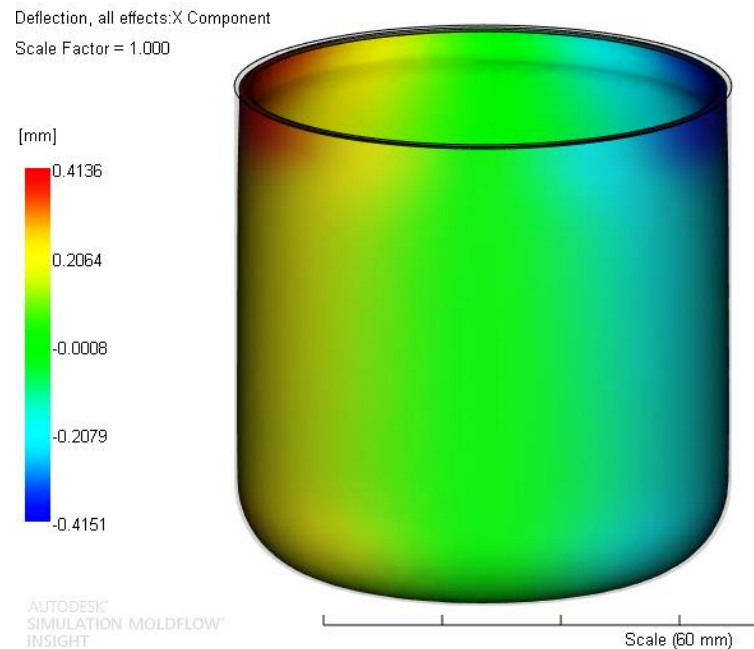


Рисунок 5.2 – Деформація деталі відносно осі X, мм

З рисунку 5.2 видно, що найбільша деформація виникає поблизу країв виробу.

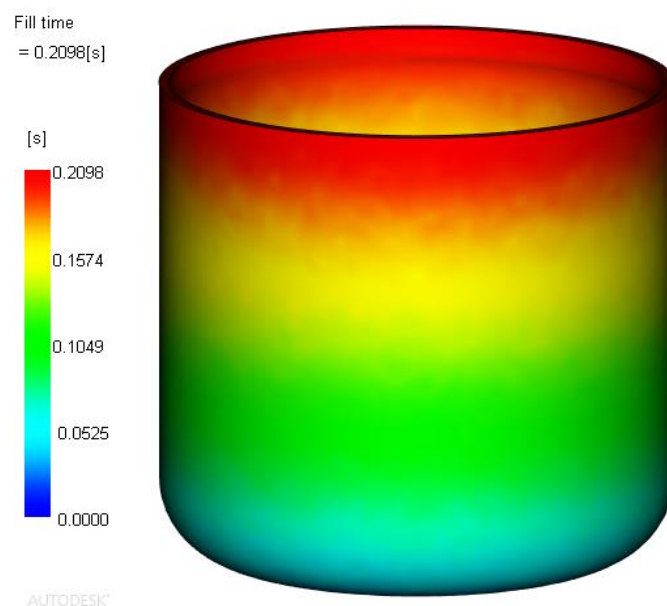


Рисунок 5.3 – Час заповнення форми, с

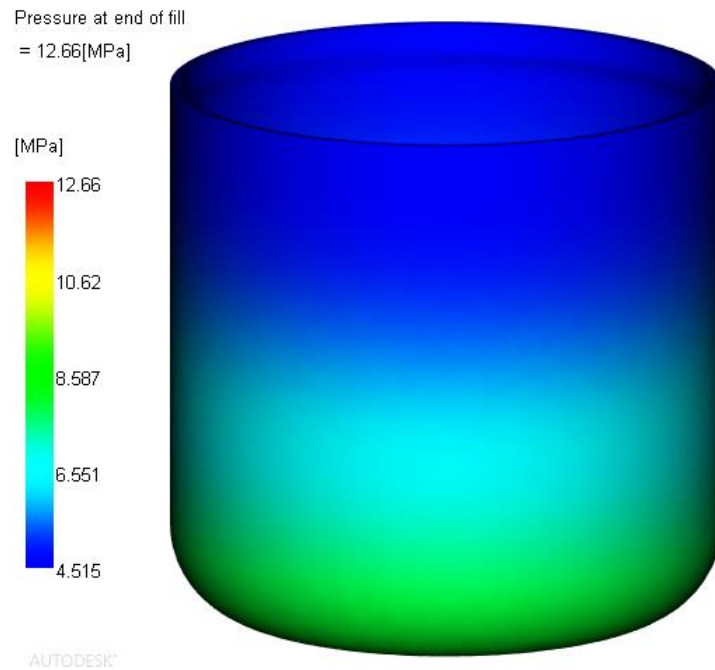


Рисунок 5.4 Тиск після заповнення, МПа

З рисунку 5.4 можна зробити висновок, що тиск збільшується поблизу країв виробу

Для встановлення залежності параметрів процесу лиття від температури форми було проведено цикл розрахунків, результати яких наведено на рис. 5.5–5.8.

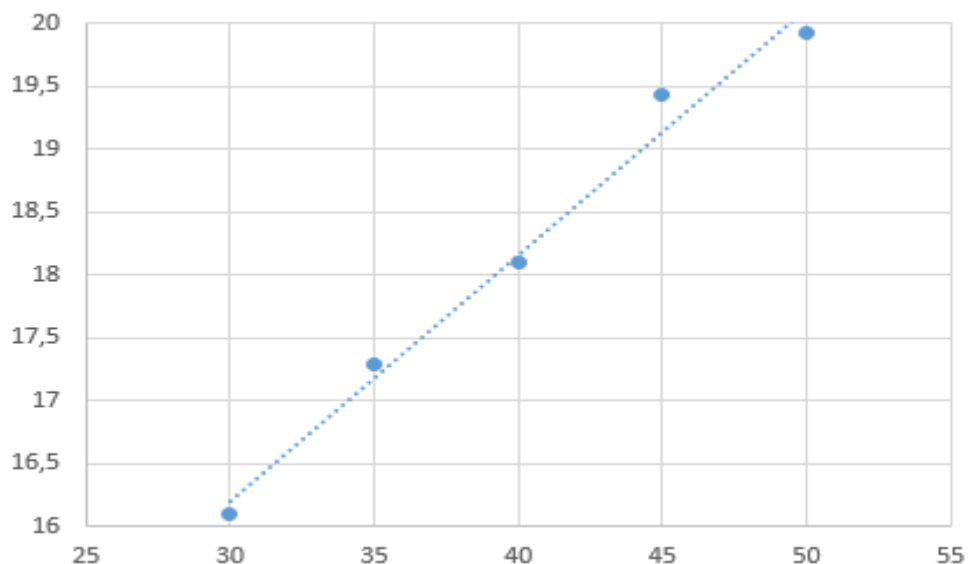


Рисунок 5.5 – Графік залежності об'ємної усадки від температури форми

Збільшення температури форми майже лінійно впливає на збільшення усадки виробу, як видно з рис. 5.5.

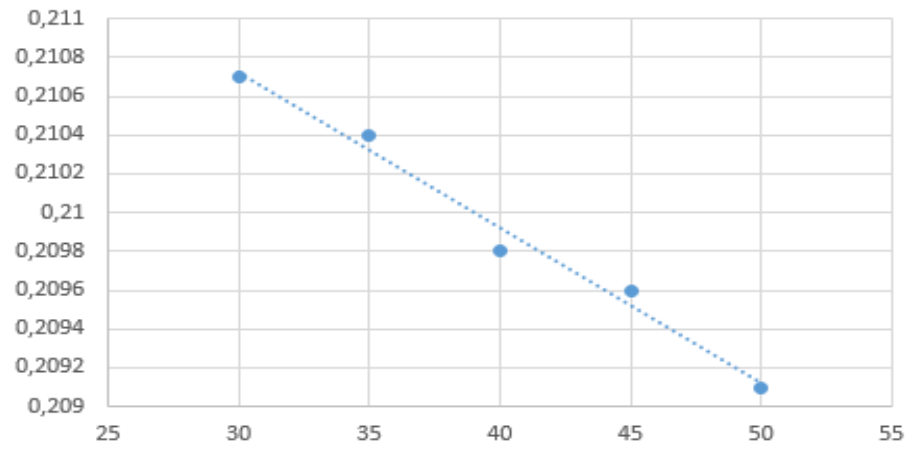


Рисунок 5.6 – Графік залежності часу заповнення від температури форми

Збільшення температури форми майже лінійно впливає на зменшення часу заповнення виробу, як видно з рис. 5.6.

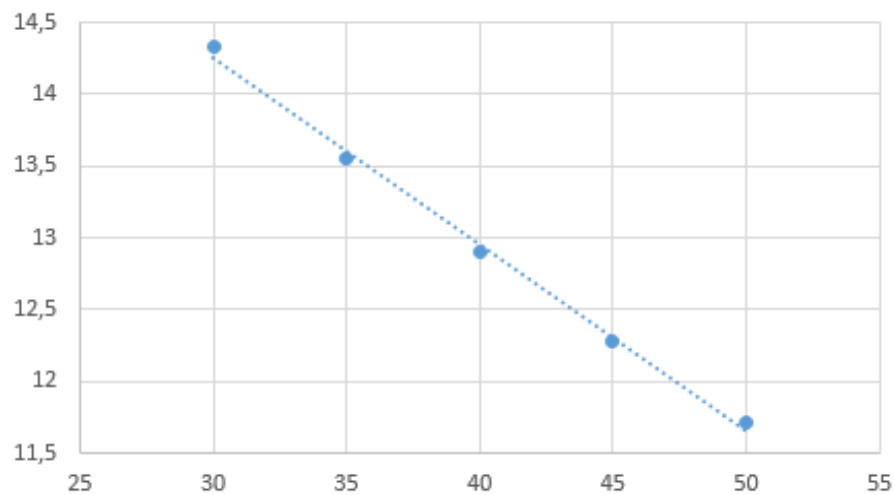


Рисунок 5.7 – Графік залежності тиску від температури форми

З рисунку 5.7 бачимо, що чим вища температура форми, тим менший тиск.

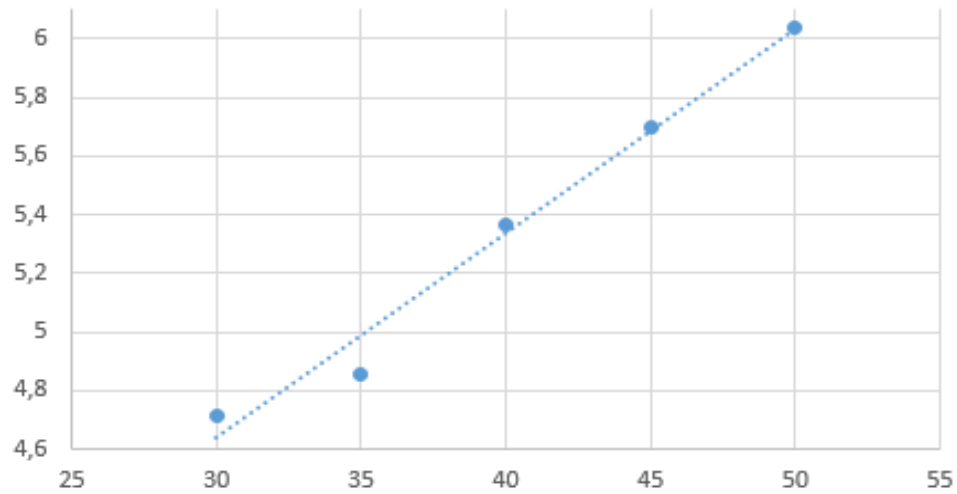
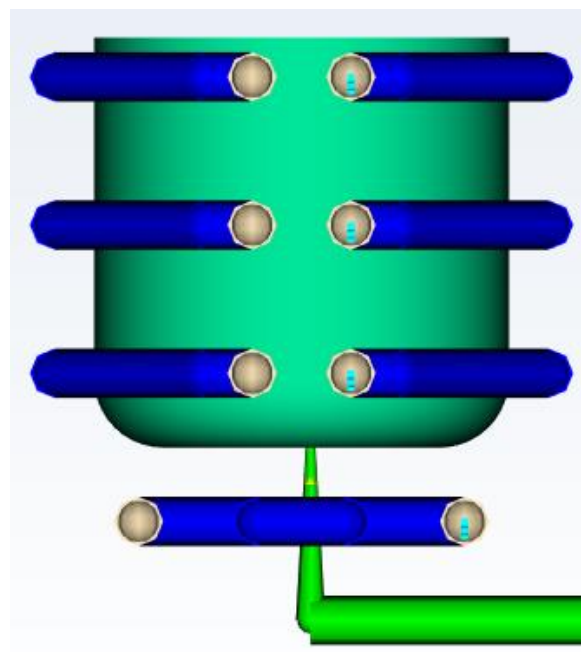
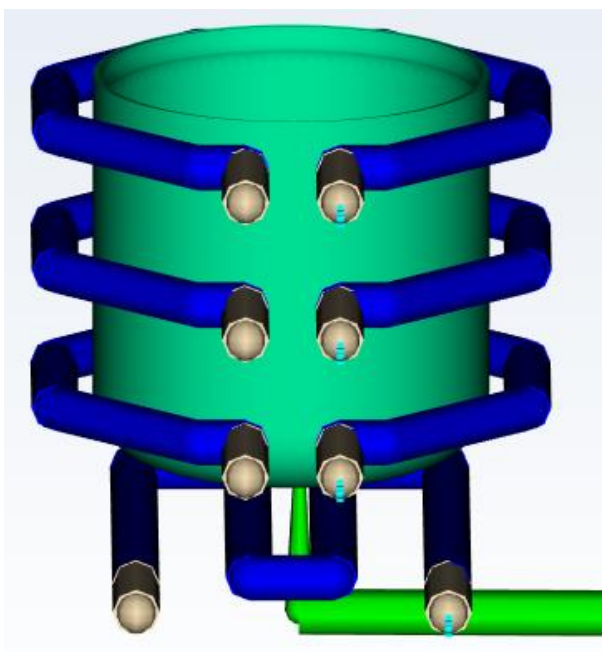


Рисунок 5.8 – Графік залежності часу перебування у формі від температури форми

Збільшення температури форми майже лінійно впливає на збільшення часу охолодження, як видно з рис. 5.8.

Для точності розрахунків охолодження була побудована система охолодження (рис.5.9) із властивостями:

- Швидкість потоку : 10 л/хв;
- Температура 30 °C;
- Охолоджувальна рідина : вода.



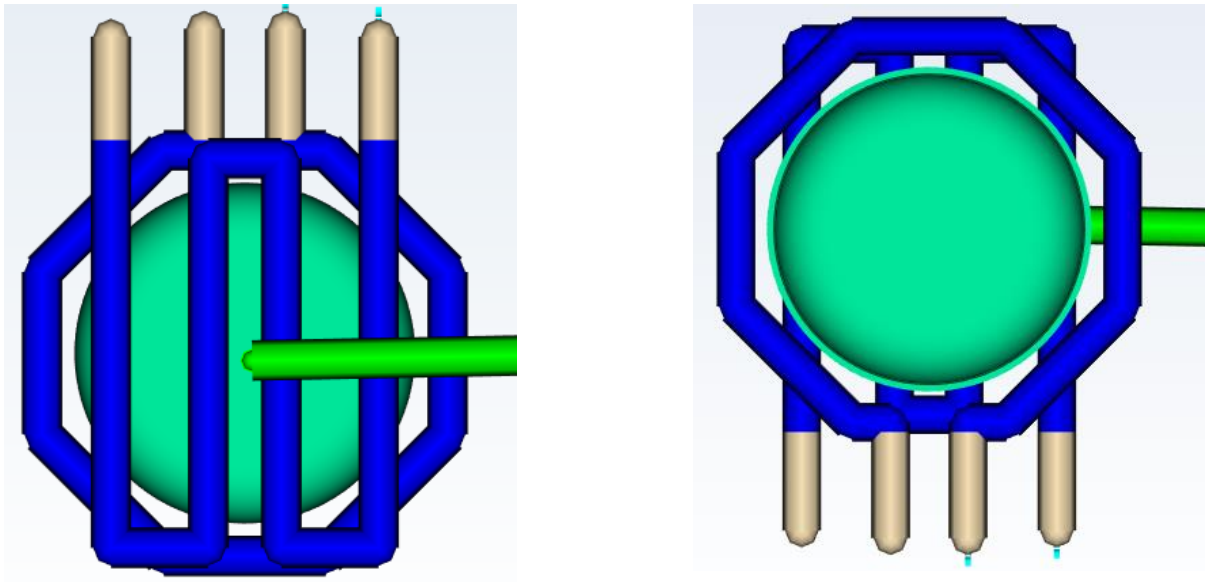


Рисунок 5.9 – Виріб із системою охолодження

5.2 Результати моделювання із системою охолодження

На рис.5.10-5.12 зображені зміна температури в системі охолодження, час охолодження та деформація деталі при температурі охолоджуючої рідини 30°C та рекомендованій температурі розплаву 220°C .

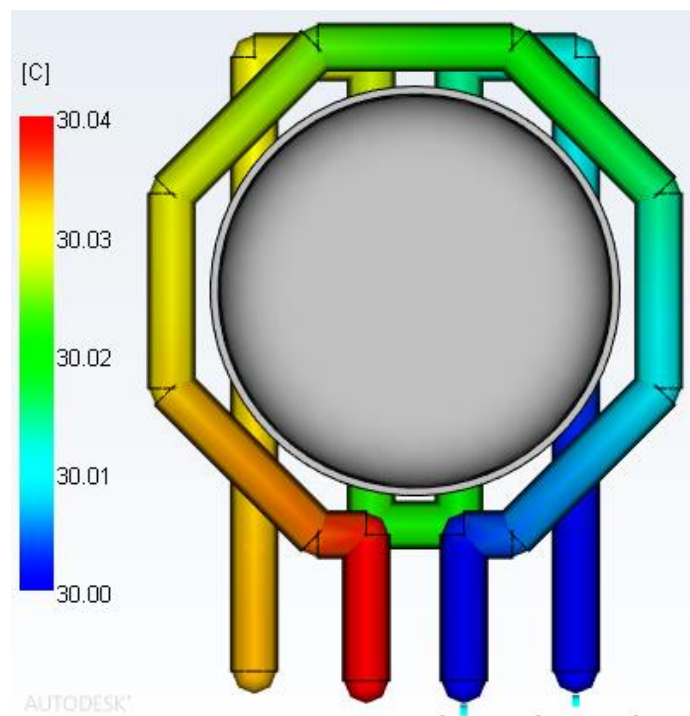


Рисунок 5.10 – Зміна T в системі охолодження

На рисунку 5.10 бачимо що різниця температури на вході і виході охолоджуючої системи незначна.

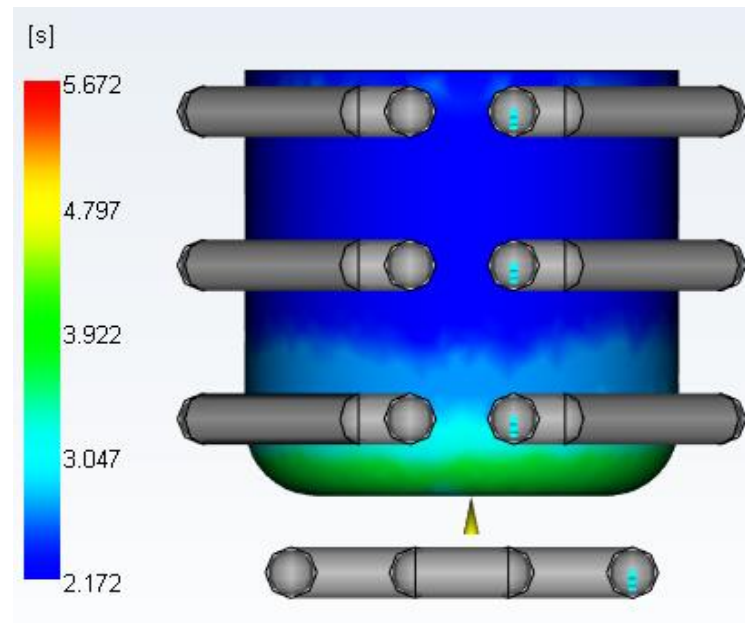


Рисунок 5.11 – Час охолодження

На рисунку 5.11 зображений результат часу охолодження. Час охолодження зовнішньої стінки 2-4с, загальний час охолодження виробу 5,672 с.

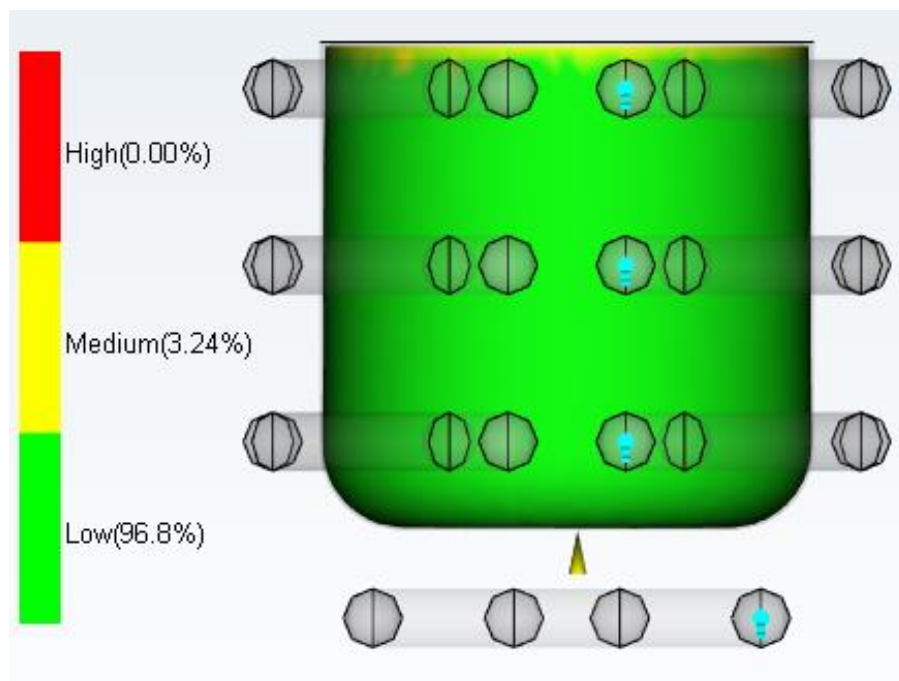


Рисунок 5.12 – Деформація деталі

З рисунку 5.12 бачимо що сильна деформація відсутня, середня займає 3,24% виробу, на 96,8% виробу деформація відсутня.

На рис.5.13 – 5.14 зображені залежності параметрів процесу лиття від температури розплаву.

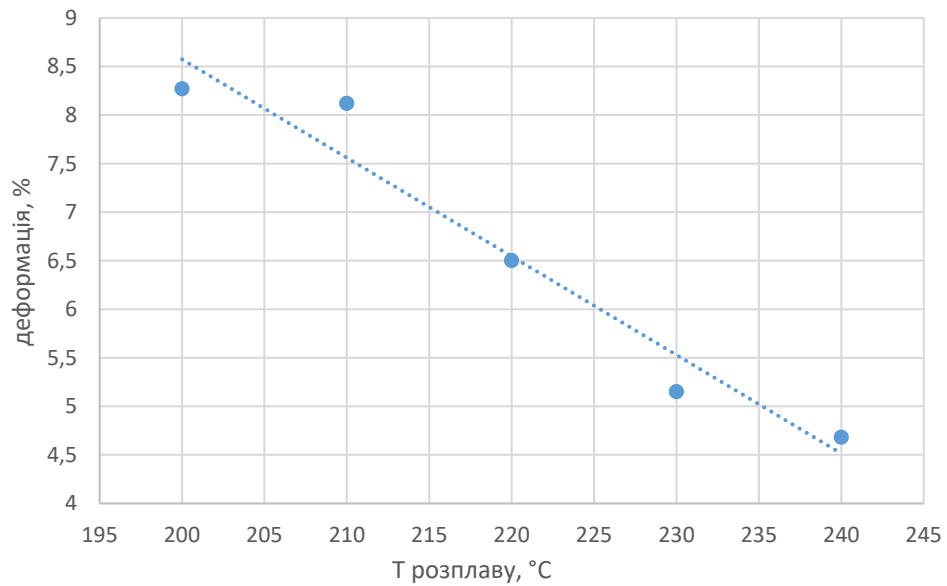


Рисунок 5.13 – Графік залежності деформації від температури розплаву

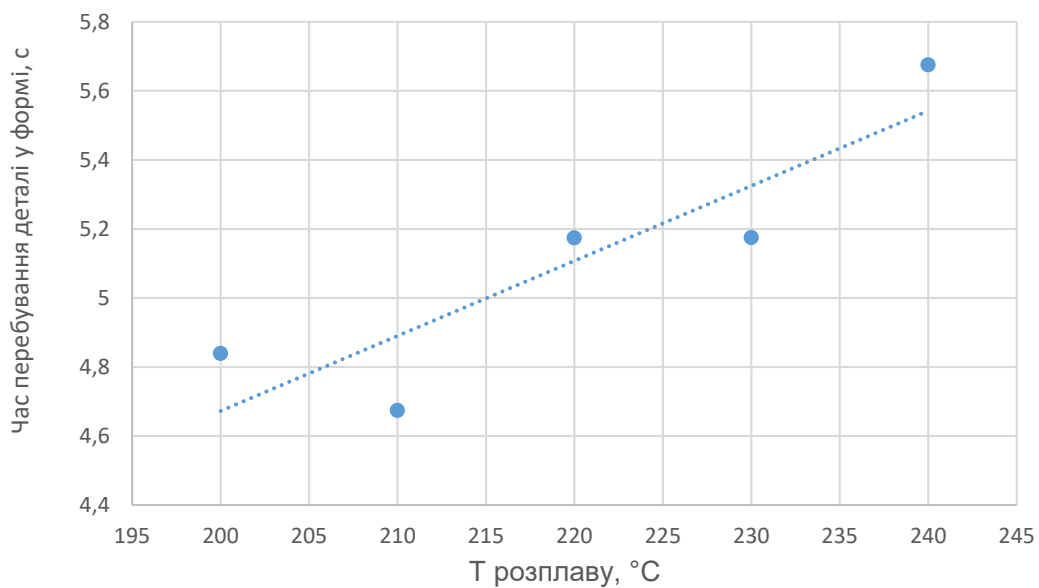


Рисунок 5.14 – Графік залежності часу від температури розплаву

З графіків 5.13 – 5.14 можна зробити висновок, що зі збільшенням температури розплаву зменшується деформація деталі, проте збільшується час перебування виробу у формі.

На рис.5.15 – 5.16 зображені залежності параметрів процесу лиття від температури охолоджуючої рідини.

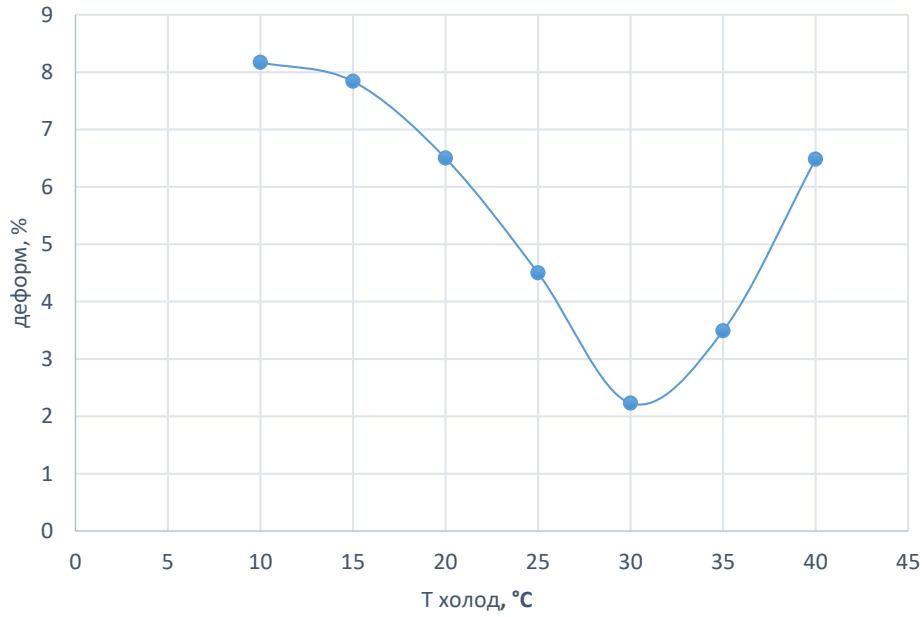


Рисунок 5.15 – Графік залежності деформації від температури холодагента

За допомогою числових експериментів і рисунку 5.15 встановлено, що найменша деформація виробу досягається за температури холодагента 30 °C.

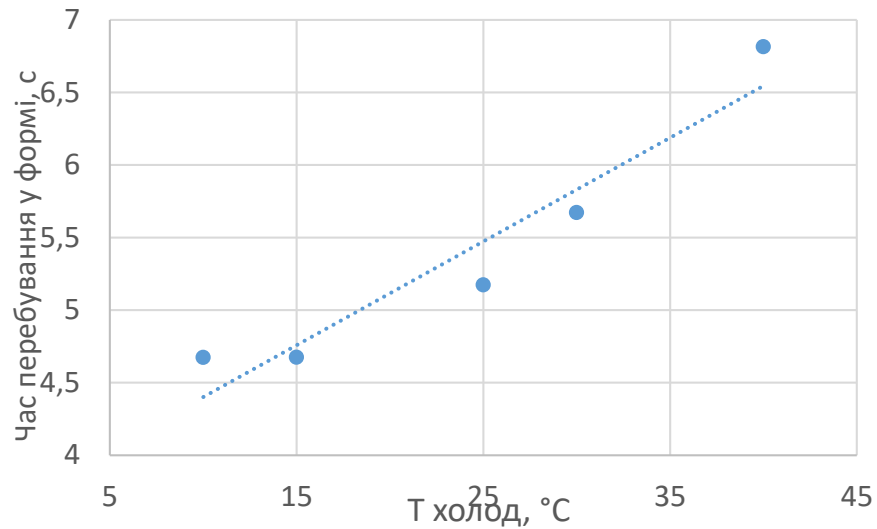


Рисунок 5.16 – Графік залежності часу охолодження від температури холодагента

Для побудови графіку залежності деформації від T охолоджувальної рідини було взято чотири види холодагентів з різними коефіцієнтами теплопровідності.

Охолоджувальні рідини :

1. Вода $k = 0,643 \text{ Вт/(м·К)}$
2. Coolanol $k = 0,128 \text{ Вт/(м·К)}$
3. Dow chemical $k = 0,2739 \text{ Вт/(м·К)}$
4. Mobitherm 605 $k = 0,1821 \text{ Вт/(м·К)}$

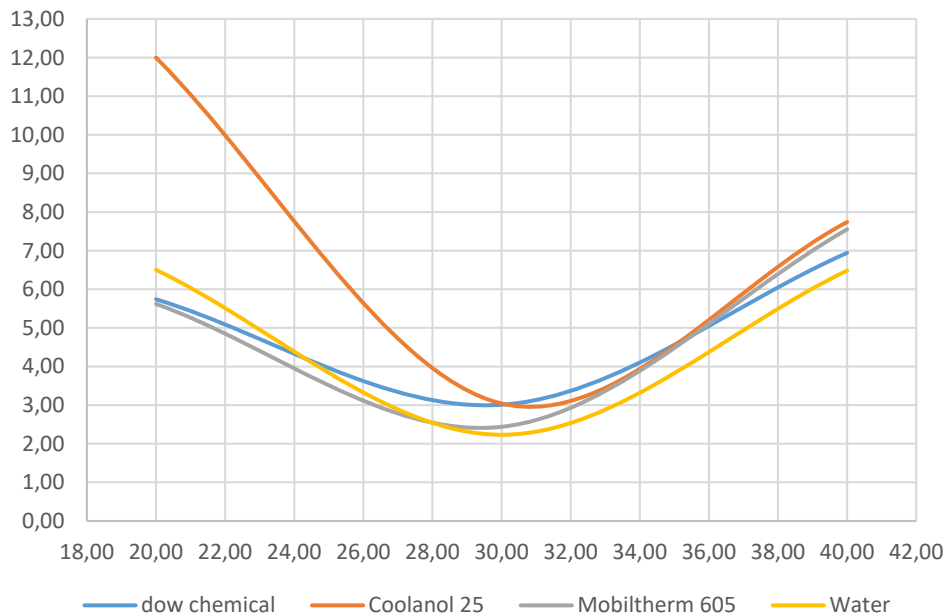


Рисунок 5.17 – Графік залежності деформації від T охолоджувальної рідини

З графіку можемо зробити висновок, що найменша деформація виникає тоді, коли температура охолоджуючих рідин становить 30°C.

На наступному графіку зображена залежність деформації від коефіцієнта теплопровідності охолоджуючої рідини, всі результати взяті при температурі 40°C.

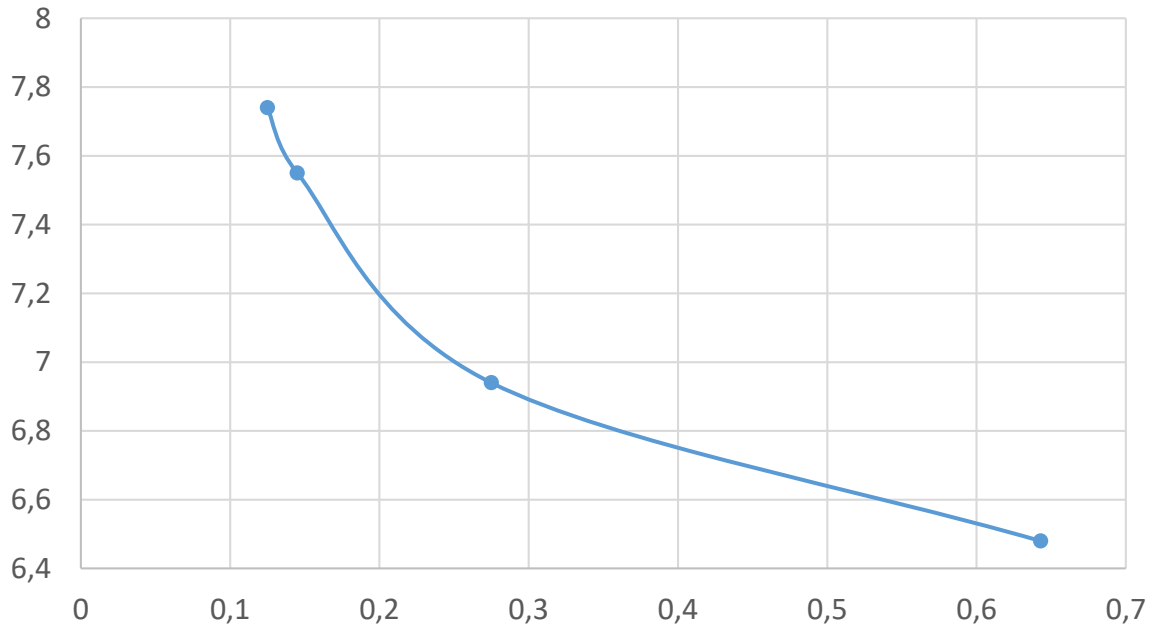


Рисунок 5.18 – Графік залежності деформації від коефіцієнта теплопровідності

Зі збільшенням коефіцієнту теплопровідності зменшуються деформація (рисунок 5.18). Із запропонованих холодагентів найменший коефіцієнт теплопровідності у води, а отже і деформація деталі буде меншою.

Для того аби підтвердити ефективність поданого патенту на корисну модель були зроблені розрахунки. Як було описано в заявці, на половині часу охолодження, литтєва форма має розімкнутись, та поворотною плитою перемістити деталь із одної формуючої порожнини в іншу, де продовжиться процес охолодження. Для того аби деталь не февормувалась під час розкриття форми температура його стінок має бути меншою за температуру склування.

Як приклад представлено графік охолодження деталі (рисунок 5.19), матеріалом обрано поліетилен високого тиску “LDPE 4012: Dow Chemical USA”. Температура склування становить 105-110°C

Час охолодження деталі становить 10 с, литтєва форма розімкнеться на 5 секунд, при температурі 83 °C, так як ця температура менша за температуру склування, деталь не буде деформована при повороті.

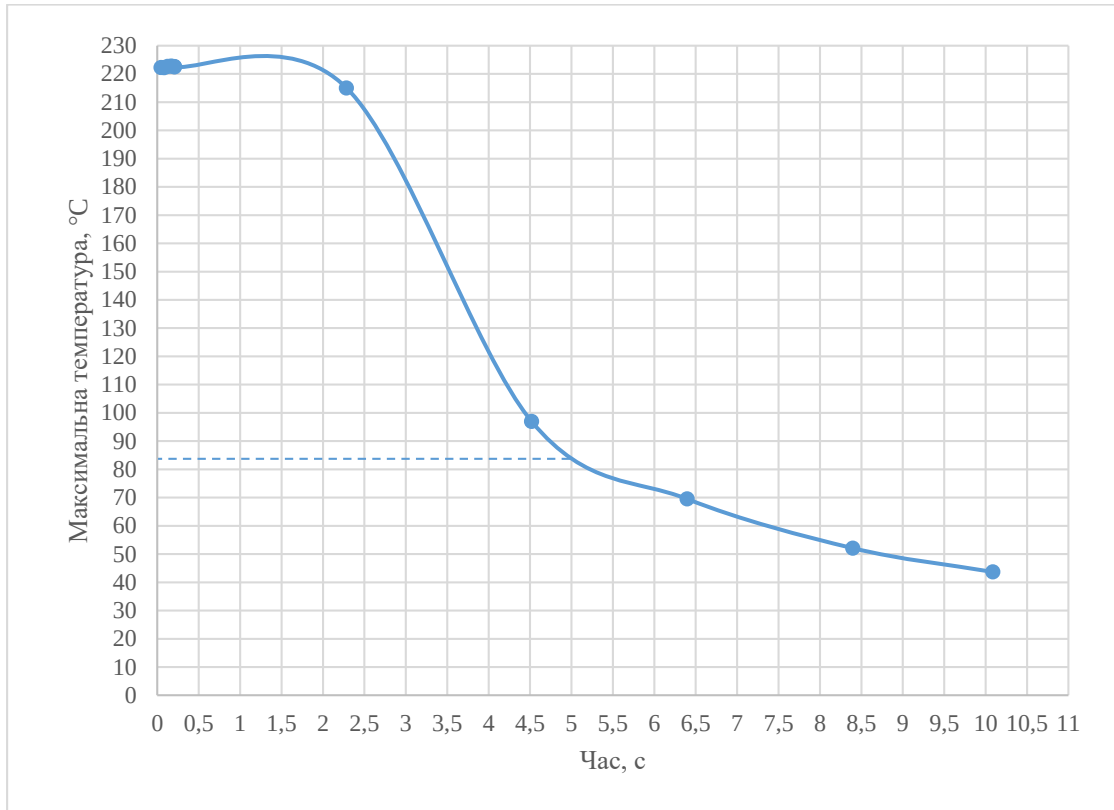


Рисунок 5.19 – Графік залежності T від часу охолодження

Вдосконалений спосіб одержання дателі литтям під тиском, в якому його нове виконання забезпечує спрощення апаратного оформлення способу, отже знижує собівартість одержуваного виробу.

6 ВИМОГИ ДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ПОЛІМЕРНИХ ВИРОБІВ

6.1 Аналізи небезпечних та шкідливих факторів

1) Дотримання законодавчих нормативних актів про охорону праці веде до зниження травматизму на виробництві. Для цього проводимо науковий аналіз умов праці.

2) Охорона праці та навколишнього середовища містить у собі питання безпеки праці, попередження травматизму і професійних захворювань; питання правової охорони праці; вибухів і пожеж на виробництві. Також з охороною праці пов'язані і питання пожежної безпеки в електроустановках. Електричні станції і мережі оснащені сучасною технікою, в основу якої - закладені принципи охорони праці. Безпечні конструкції електричних машин, механізмів і інших пристроїв повинні забезпечити здоров'я і безпечні рівні праці для обслуговуючого персоналу.

3) Технічне завдання дипломної роботи: «Машина для лиття під тиском з модернізацією інжекційного пристрою».

4) Визначаємо шкідливі небезпечні виробничі фактори. Оператор знаходиться біля пульта керування у операторській. Кімната оператора управління знаходиться в цеху, розміри цеху: висота $L=6\text{м.}$, площа: $S=1600\text{м}^2$, об'єм: $V=9600\text{м}^3$. Розміри операторської кімнати: висота $L=3\text{м.}$, площа $S=36\text{м}^2$, об'єм $V=108\text{м}^3$.

ШНВФ, які впливають на оператора:

- повітря робочої зони;
- виробничий шум, вібрації;
- частин машини для лиття під тиском що рухаються;
- небезпека враження електричним струмом;
- надзвичайні ситуації.

5) Установку параметрів технологічного процесу і контроль здійснює оператор. Створення здорових і безпечних умов праці на підприємстві обумовлюють необхідність раннього виявлення шкідливих і небезпечних факторів, для того щоб на стадії проектування намітити заходи, які слід проводити для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу. При проектуванні нової техніки повинні цілком враховуватися вимоги діючого законодавства по охороні праці.

6.2 Повітря робочої зони

Робота оператора, який обслуговує машину для лиття під тиском відноситься до категорії легких фізичних робіт згідно ГОСТ 12.1.005-88/98 з енерговитратами 630 Кдж/год.

У операторській встановлена загально-обмінна вентиляція за допомогою механічної витяжки для приточування повітря. Вхідне повітря від пилу фільтрується за допомогою скрубера. У цій системі повітря подається в приміщення вентиляцією приточування, а віддаляється витяжкою, що працюють одночасно. Приток повітря проводиться в робочу зону, а витяжка - з верхньої зони приміщення ділянки.

При цьому ефективність пристроїв така, щоб масова концентрація шкідливих речовин і запилене повітря в зоні обслуговування не перевищувала санітарних норм, встановлених ГОСТ 12.1.005-88 і СНиП 2 04.05-84.

У цеху також встановлена система опалення та кондиціонер.

Всі проведені заходи забезпечують у виробничому приміщенні такі параметри повітря:

- температура повітря в робочій зоні в холодний період року складає: 20-23 °С – допустима і 19-21 °С – фактична, а в теплий період: 22-25 °С та 21-23 °С відповідно;

- відносна вологість складає 40-60%;

- швидкість руху повітря – 0,2 м/с.

- ГДК пилу 6 мг/м^3 – допустима, 2 мг/м^3 – фактична.

6.3 Виробничий шум

До джерел шуму на підприємстві, де встановлена обертова піч, належать:

- редуктора
- електродвигуни привода;
- зубчасті передачі;
- опорні ролики;
- шум у підшипниках;
- вентилятори.

При експлуатації устаткування в робочий час рівень звуку складає 105дБА, а нормативне значення, згідно ДСН 3.3.6.037-99 складає 80дБА. Тому було прийнято наступні міри:

застосовуємо амортизатори(-20 дБА).

застосовуємо змащення всіх рухомих частин машини(-10дБА);

застосовуємо балансування обертових частин машини (-10дБА).

В якості амортизаційного елементу використовуємо торсіон, який має енергоємність в 1,5 рази більшу ніж у пружини.

При експлуатації устаткування в робочий час рівень звуку складає 65дБА, а нормативне значення, згідно ДСН 3.3.6.037-99.

У операторській, виконаній з бетону товщиною 200мм, та обшитої скловолокном, рівень шуму складає 20 дБА.

Для захисту органів слуху оператора, при проведенні робіт поза операторською використовуються навушники.

6.4 Вібрація

До джерел вібрації у даному випадку належать електродвигуни й обертові частини машини для лиття під тиском. Посилення вібрації відбувається за рахунок неточності установки обертових частин; через нещільність з'єднання корпусів обертових частин до фундаменту. У даному випадку спостерігається

загальна вібрація, що передається через опори на оператора. Робітник мало піддається вібрації, тому що він знаходиться далеко від опор печі. Він знаходиться біля пульта керування, тому загальна вібрація не впливає конкретно на нього.

Для зниження вібрації прийняті наступні міри:

- застосовуємо масляні ванни;
- застосовуємо додаткові ребра жорсткості;
- так як спостерігається, в основному, вібрація низьких і середніх частот, то покриття корпусів редукторів приймаємо тверді, металеві на основі алюмінію й міді;
- віброгашення, що здійснюється за рахунок установки агрегатів на фундаменті.

Покриття особливо відповідальних частин дорівнює 0,005мм, не особливо відповідальних 0,1мм.

Сумарний час роботи в контакті з вібрацією не перевищує 2/3 робочої зміни.

Тривалість одноразового безупинного впливу вібрацій не перевищує 15-20 хв, а при такому режимі обідня перерва не менш 40 хв.

Рівень загальної вібрації печі не перевищує 10 ÷ 12дБ, що відповідає ДСН 3.3.6.039-99.

Небезпека впливу частин машини для лиття під тиском, що рухаються й обертаються

Механізмами, які обертаються є: запирання форми, черв'як, шестерні, ролики, муфти. Ці механізми є небезпечними, тому що можливе нанесення механічних травм і можуть викликати людську смерть. З метою запобігання травм встановлені огороження.

Робітники забезпечені індивідуальними засобами захисту:

- комбінезонами групи М – для захисту від механічних пошкоджень;
- спеціальне взуття відповідне до спецодягу;
- засоби захисту рук – рукавиці з бавовни;
- респіратори ШБ-1.

Для огороження використовуємо зварені з лозин у виді ґрат екрани.

Обертові механізми двигунів і муфт встановлені в нерухомих кожухах. Вінцева шестерня закрита спеціальним кожухом.

Для аварійної зупинки машини передбачені аварійні пристрої, гідроупори, вимикачі, а на пульті керування - аварійні кнопки.

6.5 Електробезпека

Виробниче приміщення, у якому встановлений пункт керування машиною для лиття під тиском, відповідно до діючих правил (ПУЕ) відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом.

Для живлення установки використовується трифазна напруга $U = 220/380$ В, з частотою $f = 50$ Гц із глухо-заземленою нейтраллю.

Причини враження обслуговуючого персоналу можуть бути наступні:

- помилкове вмикання установки;
- пробій на корпус;
- дотик людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і втрата її ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть виявитися під напругою у випадку короткого замикання.

Трифазні ланцюги згідно “Правилам устрою електроустановок” (ПУЕ), при напрузі до 1000 В приймаються, як трьохпровідні ланцюги з глухо-заземленою нейтраллю.

Небезпека враження для людини визначається опором ланцюга людини. Зі зменшенням цих опорів ця небезпека збільшується.

Як величину тривалої враження струмом при нормальних умовах застосовують силу струму $I = 0,01$ А. При тривалому влученні під напругу силу струму, що допускається, приймають рівній силі струму, не зухвалих порушень у режимі ритму роботи серця.

Безпека експлуатації устаткування забезпечується поруч організаційних і технічних мір захисту: застосуванням малих напруг, захисним поділом мереж,

контролем і профілактикою ушкодження ізоляції, подвійною ізоляцією, забезпеченням неприступності струмоведучих частин, захисним заземленням, захисним зануленням, захисним відключенням, застосуванням засобів індивідуального захисту й ін.

З метою запобігання травм рекомендується вживати наступних заходів обережності:

- рубильники включення установки знаходитися в спеціальній шафі;
- силові кабелі помістити в спеціальні захисні металеві рукава;
- передбачити спеціальне захисне відключення установки у випадку влучення людини під напругу;
- на панелі управління передбачити спеціальні лампи включення установки;
- вузли установки, що можуть виявитися під напругою, постачати затисками для підключення занулення.

Біля датчиків занулення нанести незмивний фарбою знаки «Земля» згідно ГОСТ 12.1.030-81.

Електрична міцність ізоляції перевіряється на іспитовій напрузі $U=200$ В с частотою $f=50$ Гц протягом 1 хвилини.

Опір ізоляції повинен бути не менш $0,5$ мОм.

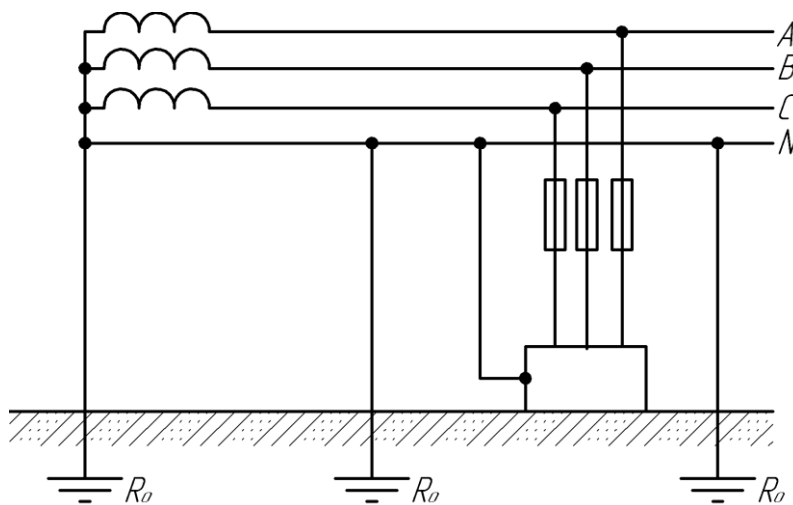


Рисунок 6.1. Принципова схема занулення

Для трифазної мережі з глухо-заземленою нейтраллю при режимі роботи у випадку дотику до однієї фази струм через людину дорівнює:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{ф}}}{r + z_0} = \frac{220}{0,4 + 0,2} = 366,67 \text{ А},$$

, де $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ - фазну напругу;

r - опір провідника, приймаємо $r = 0,4 \text{ Ом}$;

z_0 - опір нульового провідника, приймаємо $z_0 = 0,2 \text{ Ом}$.

Схема занулення включає наступні елементи: нульовий захисний провід (провідник, що з'єднує зануляємі частини з глухозаземленою нейтраллю джерела в трифазних мережах, з глухозаземленим виводом джерела однофазного струму, з глухозаземленою середньою точкою в мережах постійного струму), який служить для створення ланцюга з малим опором для струму замикання мережі на корпус і перетворення цього замикання в коротке замикання; робоче заземлення (заземлення нейтралі трифазного джерела, виведення однофазного джерела або середньої точки джерела постійного струму, R_0); повторне занулення нульового захисного проводу (заземлення виконане через певні проміжки по всій довжині нульового захисного проводу, R_n).

Вимоги зануленню складаються наступному: провідники занулення вибираються так, щоб при замиканні на корпус або на нульовий захисний провід виникав струм короткого замикання перевищуючий не менше ніж в три рази номінальний струм плавкого елемента найближчого запобіжника, або нерегульованого розчеплювача або установку струму регульованого розчеплювача автоматичного вимикача з зворотнозалежною від струму характеристикою.

Безпека експлуатації устаткування забезпечується поруч організаційних і технічних мір захисту: застосуванням малих напруг, захисним поділом мереж, контролем і профілактикою ушкодження ізоляції, подвійною ізоляцією, забезпеченням неприступності струмоведучих частин, захисним зануленням, захисним відключенням, застосуванням засобів індивідуального захисту та ін.

6.6 Надзвичайні ситуації

1) Серед причин, що можуть викликати загорання, найбільш імовірними є такі:

- несправність електроустаткування;
- струми короткого замикання і навантаження кабелів живлення;
- загорання ізоляції електропроводки;
- загорання сировини ПЕВГ;
- використання вогню в неналежному місці.

Згідно з ОНТП 24 - 86 приміщення проектованої машини для лиття під тиском відноситься до категорії В – пожежонебезпечні, так як містить горючі речовини, клас зони П – Па (ПУЕ). Згідно з СН П 2.01.02-85 приміщення відноситься до першого ступеню вогнетривкості.

2) Запобігання запалення забезпечується такими мірами:

- дотриманням технологічних норм і правил експлуатації;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- палінням тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасним проведенням інструктажу з техніки безпеки серед обслуговуючого персоналу;
- організацією агітації по протипожежній безпеці;
- наявністю засобів сигналізації, зокрема, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявністю засобів пожежогасіння в безпосередній близькості від установки (пісок, ковдри, вогнегасники).

Для гасіння невеликих ділянок загорання при виключеному та включеному (до 1000В.) електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (6 шт.) та порошкові ОП-10 (3 шт.).

У приміщенні встановлені пожежні гідранти, теплові сповіщувачі, які спрацьовують при підвищенні температури до вище заданої межі. Засобом захисту статичної електрики є занулення.

Первинними засобами гасіння пожежі є порошкові вогнегасники ДСТУ 3105 Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286 у кількості:

- "САМ-6", "САМ-9" 10 шт;
- ящики з піском - 5 шт;
- гасіння (стаціонарне, ручне);
- пожежні гідранти - 4 шт.

В установках пожежогасіння (порошкових закачних) існує принцип дії суміщення з принципом дії теплового замка, що дозволяє використовувати "САМ-3", "САМ-6", САМ-9" для протипожежного захисту об'єктів без участі людини для гасіння пожеж: класа А (горіння твердих речовин), класа В (горіння рідких речовин), класу С (горіння газоподібних речовин) згідно ГОСТ 27331-87, а також електроустановок, кабельних тунелів під напругою до 1000 В. Установки також можуть застосовуватися в якості автономного засобу пожежогасіння для захисту невеликих за об'ємом об'єктів (гаражних боксів, контейнерів, дизельних відсіків, складів і т.п).

Установки виготовляються в кліматичному виконанні. У категорії розміщення 3 по ГОСТ 15150 для роботи при температурах від -20 до + 50С при відносній вологості повітря до 95%.

У приміщенні, де розташовується установка, на відстані 30 метрів одне від одного встановлені пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 метрів. Відстань до пожежного виходу не більше 40 метрів.

Кількість виходів - не менше двох. Ширина ділянки шляху евакуації 1,5 м., ширина дверей еваковиходу - 1 метр. Двері еваковиходу повинні відкриватись назовні, що відповідає СНиП 2.09.02-85.

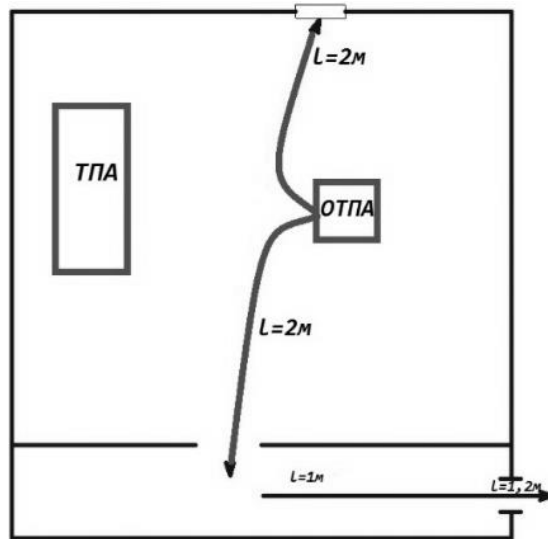


Рисунок 6.2. план-схема евакуації

Згідно ПУЕ на заводі споживачі електроенергії виробничого цеху відноситься до 1 категорії надійності електропостачання.

3) Пожежа при роботі машини для лиття під тиском може виникнути ще й по наступним причинах:

- ремонт устаткування на ходу;
- несправне устаткування (коротке замикання, перевантаження, великі перехідні опори);
- знос і корозія устаткування.

7 СТАРТАП-ПРОЕКТ

7.1 Опис ідеї проекту

Метою startup проекту є виготовлення деталей на замовлення за допомогою поворотних форм, які мінімізують деформацію, що сприяє покращенню якості і зниженню відсотка браку.

Об'єктом дослідження є процес лиття під тиском полімерних виробів для галузі пакування, з урахуванням геометрії заготовки, температури форми та розплаву, механічних властивостей матеріалу та усадочних деформацій.

Для цього необхідно мати приміщення, обладнання (литтєву машину з поворотною формою і тд.) та робітників (плануємо брати не тільки обізнаних інженерів, а й студентів, які бажають пройти практику на нашому підприємстві).

Завдяки вкладу в цей startup, в результаті ми отримуємо не тільки прибуток, а і визнання серед студентів та університетів, ВНЗ матимуть змогу навчати студентів не тільки теоретично, а і практично.

Залучення студентів кафедри ХПСМ в технологічний процес вироблення деталей дозволить отримати досвід роботи за спеціальністю.

Цільовою аудиторією startup проекту є:

- 1) Підприємства, які потребують певні деталі, проте не мають змоги їх виготовляти власноруч!
- 2) Майбутні роботодавці. За допомогою цього проекту студенти отримують досвід роботи за професією, що цінується роботодавцем.
- 3) ВНЗ, які матимуть змогу відправляти студентів на практику.

7.2 Технологічний аудит ідеї проекту

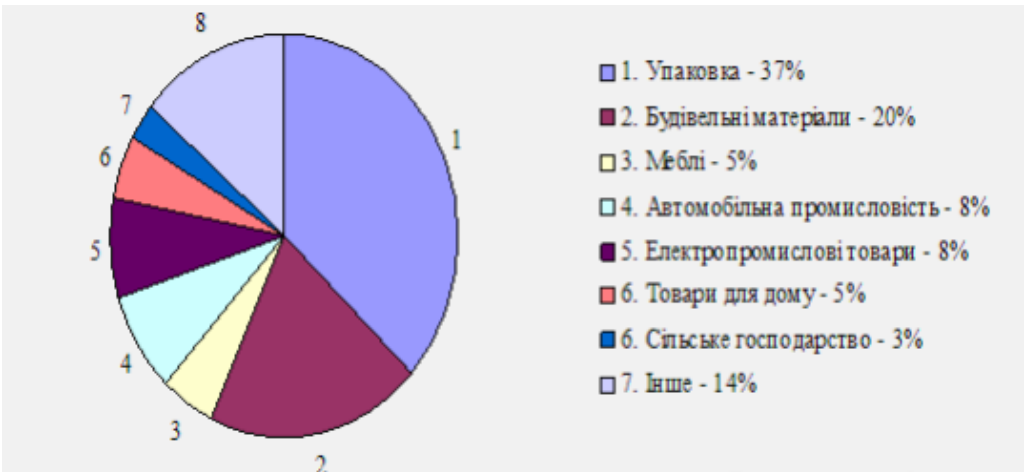


Рисунок 7.1 – Використання полімерних виробів в Україні

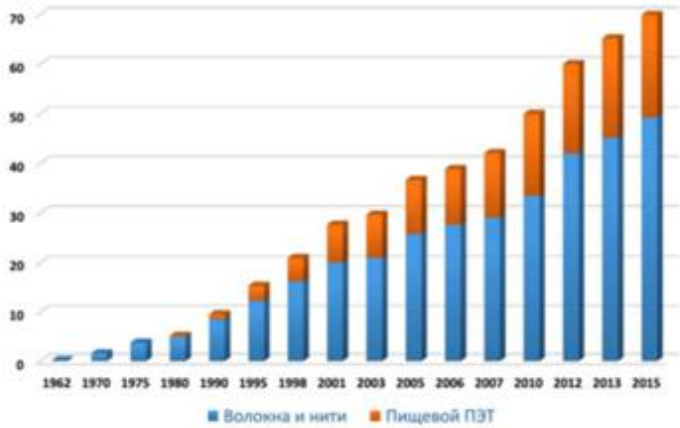


Рисунок 7.2 – Об’єм виробництва ПЕТ в світі

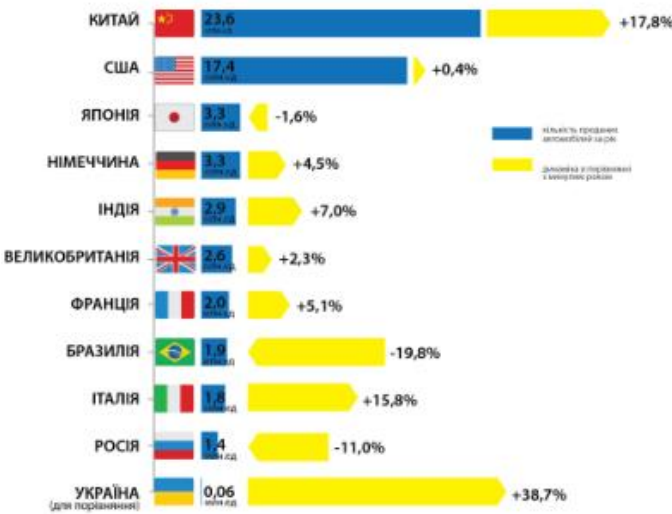


Рисунок 7.3 – Покупці світового ринку виробництва полімерних деталей

Проаналізувавши рисунки можна зробити висновок, що найбільший відсоток полімерних виробів використовується в галузі пакування. а ринок України знаходиться на етапі життєвого циклу виведення з кризи. Світовий ринок знаходиться на етапі зростання. Можна зробити прогноз, що ринок буде розвиватися так само, як і економіка України в цілому, а так, як Україна зараз виходить з кризи та прогнози експертів позитивні, тому можна очікувати зростання ринку полімерної продукції, що добре для даного стартап-проекту.

Таблиця 7.1 – Таблиця порівняння конкурентів проекту

	Підприємства	Кольорова гама	Структурні елементи	Стратегія позиціонування	Схожість
Конкуренти в Україні	ТзОВ "Пластмодерн"	Сірого кольору	Можна замовити дзвінок, є інтеграція з Facebook, контакти, є інтернет розсилка, вказані ціни, доставка, гарантія. Є youtube канал.	«современная, быстро развивающаяся компания по производству фасовочного, упаковочного и технологического оборудования»	
	ВАТ "Завод полімерних матеріалів"	Оформлено за сучасними тенденціями	Мови укр, рос та англ, є інтеграція з Facebook, контакти, є інтернет розсилка, вказані ціни, доставка, гарантія. Є youtube канал.	«провідний постачальник деталей та комплектуючих механізмів у відповідності індивідуальним кресленням замовника»	

	Луцький завод "Пластмас"	Біло жовто-зелена	Є контакти	Багаторічний досвід роботи	
	ідприємство "Агропродсервіс"	Фон сайту 3Д деталі	Є вибір мов, а саме 25 різних, пошук, контакти, не вказані ціни.	Немає ніякої інформації про підприємство	хожі з "Агропродсервіс"
	БАТ "Завод пластмас"	Сіро-жовта	Є контакти, новини	Багаторічний досвід роботи	схожі з Пластмодерн
Конкуренти з західних країн	Arburg GmbH Flexx	Біло-червона Біла	Перекладу немає, є інтеграція з facebook, twitter, linkedln, є пошук Переклад на англ та нім.	Перевищує багатонаціональні стандарти харчової якості Повністю використовувати потенціал ефективності для покращених процесів упаковки!	між собою всі схожі, за виключенням Arburg GmbH

	Products European SA	Біло-синя	Є інтеграція з facebook, twitter, linkedln, є youtube канал, пошук, безкоштовні дзвінки	«наши опытные специалисты, прошедшие обучение на заводе, будут использовать их более чем 25-летний опыт работы, чтобы помочь вам»	
	Premier tech chronos	Біло-голуба	Інтеграція з facebook, є youtube канал, наявний зворотній зв'язок	«продает упаковочное оборудование по всему миру через свои офисы, расположенные в 13 разных странах»	
	Gillenkirch engineering	Сіро-біло-синя	Перекладу немає, є пошук	Мы стремимся предоставлять исключительные продукты и услуги нашим клиентам по всему миру.	
Конкуренти зі східних країн	Гамма-пласт	Біло-чорна	Нічого незвичного	«мы обладаем богатым опытом и потенциалом в области разработки и производства»	всі сайти між собою схожі
	Тексонс	Біло-зелена	Є пошук, є онлайн консультація	Все оборудование уникально. Мы изготавливаем а не перепродаем!	

	Техноиндустрия	Біло-червона	Є пошук, є онлайн консультація, корзина, інтеграція з facebook, twitter	«Мы стремимся предоставлять исключительные продукты»	
	Полимер-ГРУП	Біло-чорна	Є переклад на три мови, інтеграція з facebook, twitter,	«более 1,5 миллиона международных покупателей»	
	ЕСП-Полимер	Біло-голуба	Нічого незвичного	«производство оборудования для изготовления пэт-тары, автоматических систем розлива пищевых и не пищевых жидкостей, конвейерных систем»	

Здебільшого використовується біла гама з доповненням різних кольорів. Стилiстика майже однакова як на сайтах Українських виробників так і на сайтах зарубіжних. Всі виробники позиціонують свій товар як надійний та практичний, 70% розглянутих виробників обіцяють виготовлення товару протягом 3 днів.

7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Наша компанія спрямована на надання студентам практичних навичок роботи на підприємстві за спеціальністю, та надає змогу студентам остаточно визначитись з напрямком їх майбутньої професії. Основними корпоративними стандартами нашої компанії є:

1.Професія

Наша компанія надає змогу студентам професійно розвиватися, здобувати перший досвід роботи по професії, а також надає змогу ставати їм фінансово незалежними.

2.Організація

Наша організація заснована з метою вносити щось хороше у буденне життя студентів та світу в цілому. Робітники нашої компанії повинні розуміти: вони прийшли в дану організацію студентами і мають залишити її після закінчення університету щоб надати змогу розвиватися наступному поколінню студентів, вони мають сумлінно знати і виконувати свої обов'язки, а також знати обов'язки своїх колег (для розуміння хто за що відповідає). Старше покоління робітників (студенти які працюють вже довгий час) повинні сприяти в переданні досвіду молодому поколінню. Робітники повинні бути відкриті у відносинах з колегами незалежно від ієрархії, не приховувати свої справжні погляди та мотиви.

3.Соціальна позиція.

Наша компанія підтримує активну соціальну позицію. Ми віримо в те, що несемо користь суспільству, спільними зусиллями намагаємось перетворити навколишній світ і самих себе на краще.

4. Етика.

Наша компанія слідує загальнолюдським етичним нормам: свобода, повага, чесність, принциповість, порядність та толерантність.

Надається короткий опис товару, якому присвячено аналіз маркетингового середовища:

I рівень – користується великим успіхом на ринку проектування та розробки деталей для пакувальної галузі. Зараз застосовують для різноманітних видів харчової, хімічної, косметичної продукції.

II рівень - Завдяки використанню інноваційних матеріалів і власних унікальних технологій, виготовляємо високоякісні деталі, які не поступаються за технічними параметрами зарубіжним аналогам.

III рівень – доставка, гарантія якості.

Економічні та соціальні тенденції ринку: ринок України знаходиться на етапі життєвого циклу виведення з кризи. А світовий ринок знаходиться на етапі зростання.

Викладена вище загальна інформація систематизується у вигляді переліку факторів внутрішнього маркетингового середовища фірми за такими групами:

Організаційно-правові:

1. форма власності – партнерство
2. форма організації – фірма
3. організаційна структура лінійне
4. стиль керівництва ринковий

Ресурси:

1. фінансові
2. інформаційні
3. трудові
4. інтелектуальні
5. правові

Після визначення потенційних груп клієнтів було проведено аналіз ринкового середовища.

Таблиця 7.2 – Підсумкова таблиця факторів економічного середовища

Фактори	Вплив фактору	Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
---------	---------------	---

	Можливості	Загрози	
Рівень інфляції	зникнення слабких конкурентів	зниження прибутку	приймати оплату у доларах
інвестиції	залучення нових інвесторів	втрата старих інвесторів	постійна робота над покращенням підприємства для збереження старих відносин та залучення нових інвесторів

Таблиця 7.3 – Підсумкова таблиця факторів науково-технічного середовища

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Впровадження нових технологій	підвищення якості продукту	додаткові витрати	контроль технологічного процесу
Підвищення швидкості збуту	зростання обсягів збуту	неспроможність виготовляти потрібну кількість продукту	збільшення ринку збуту

Таблиця 7.4 – Підсумкова таблиця факторів демографічного середовища

Фактори	Вплив фактору	Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
----------------	----------------------	--

	Можливості	Загрози	
чисельність начелення	збільшення клієнтської бази	зменшення клієнтської бази	розширення ринку збуту
Міграція населення	приплив інтелектуальних ресурсів	зменшення інтелектуальних ресурсів	заохочення працівників

Таблиця 7.5 – Підсумкова таблиця впливу споживачів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
фактори, що впливають на поведінку споживача	висока якість матеріалу, доступність, ціна	незацікавленість продукцією	акції та знижки
фактори, що впливають на прийняття рішення про купівлю товару	індивідуальна праця з кожним клієнтом	конкуренти	акції та знижки

Таблиця 7.6 – Підсумкова таблиця впливу конкурентів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Товари замінювачі	мала кількість товарів замінювачів	велика кількість товарів замінювачів	рекламування саме нашого товару

Галузеві конкуренти	зменшення конкурентів	збільшення конкурентів	стати більш конкурентноспроможними
---------------------	-----------------------	------------------------	------------------------------------

Таблиця 7.7 – Підсумкова таблиця впливу постачальників

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Ціни постачальників	низькі ціни	підвищення ціни	співпрацювання з постачальниками на вигідних умовах
Сервісне обслуговування з боку постачальників	наявність	відсутність	співпрацювання з постачальниками на вигідних умовах

Таблиця 7.8 – Підсумкова таблиця впливу контактних аудиторій

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
блогери	рекламування продукції	відмова рекламування в інтернеті	альтернативні способи рекламування
критики	хороші відгуки	погані відгуки	відповідати заявленим вимогам

Таблиця 7.9 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактори конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Клієнти завжди хочуть товар якомога дешевше
2	Імідж	Клієнти хочуть знати з ким співпрацюють
3	Строки виготовлення	Клієнти хочуть отримати товар чим швидше
4	Екологічність	Наш товар є екологічно чистим
5	Рівень очищення продукту	Клієнти хочуть якісний товар
6	Стан обладнання	Чим новіше обладнання тим продуктивніше виробництво
7	Георозташування	Велика клієнтська база
8	Продуктивність виробництва	Можливість швидко виконувати велику кількість замовлень
9	Можливість роздрібної торгівлі	Дає змогу клієнту спробувати товар без великих капіталовкладень
10	Кваліфікація робітників	Підвищує надійність роботи підприємства

7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 7.10 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
----------	---	--	--	---	--------------------------------

			(сегменту)		
1	молодь - вік від 20 до 35 років	нейтральний	незначний	майже відсутня	просто
2	літні - вік від 65 років	неготові	відсутній	відсутня	важко
3	підприємці з достатніми доходами - які займаються виготовленням та переробкою ПЕТ	готові	високий	висока	просто
4	люди з високими доходами	нейтральний	незначний	висока	неможливо
5	люди зацікавлені в чистоті міста - люди будь-якого віку	готові	достатній	достатня	дуже просто
Які цільові групи обрано: підприємці з достатніми доходами					

Таблиця 5.11 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-	Базова стратегія розвитку*
-------	---------------------	---------------------------	---------------------	----------------------------

	розвитку проекту		спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	
1	стратегія стабілізації	концентрованого маркетингу	стабільність технології	стратегія спеціалізації

Таблиця 7.12 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конку-рентної поведінки*
1	ні	так, буде шукати нових	ні	стратегія наслідування лідеру

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 7.13 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	якість матеріалу	стратегія позиціонування, заснована на	георозташування, можливість виконання	якість, наука

		відмінній якості товару	як і великих так і малих замовлень	
--	--	----------------------------	---------------------------------------	--

7.5 Висновки

У висновках узагальнюється проведений аналіз і зазначається про наступні можливості проекту:

- Є можливість ринкової комерціалізації проекту, наявний попит на введений на ринок товар, та попит зростає. Отже, проект є рентабельним на ринку.
- Є перспективи впровадження із огляду на потенційні групи клієнтів. Але труднощі можуть бути при входженні на ринок, і під час перебування на ринку буде висока конкуренція, яка дозволить виявити недоліки і усунути їх на початку впровадження товару.
- При складних економічних умовах у країні, а отже на ринку, доцільно обрати такий варіант впровадження для ринкової реалізації проекту: створення підприємства для конкретних потреб, орієнтація на великі підприємства (товари на замовлення – усунути).
- При сприятливих економічних умовах доцільною подальша імплементація проекту.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської дисертації можна зробити такі висновки:

1. Проведені числові дослідження процесу лиття дозволили встановити оптимальну температуру форми при незмінній температурі розплаву.
2. Моделювання процесу лиття дало змогу виявити взаємозв'язок між усадкою, деформацією, часом заповнення та часом перебування деталі у формі.
3. Проведені числові дослідження показали залежність деформації від температури рідини в системі охолодження, та від рідини з різними коефіцієнтами теплопровідності. Також була виявлена оптимальна температура охолоджуючої рідини, при якій деформація є мінімальною.
4. Підтверджено актуальність процесу лиття під тиском для виробництва полімерних виробів, знайдено методи зменшення такого виду деформації як усадка.
5. Подана заявка на корисну модель, яка дозволяє збільшити продуктивність, шляхом охолодження виробу у різних формуючих порожнинах.
6. Зроблено літературно-патентний огляд, та знайдені певні методи удосконалення литтєвої форми задля покращення якості виробу, та зменшення деформації.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Крыжановский В.К. Производство изделий из полимерных материалов: Учеб.пособие/В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. – СПб. : Профессия, 2004. – 464 с., ил.
2. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас : навч. посіб. / О.Л.Сокольський, В.І.Сівецький, І.О.Мікульонок. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 148 с.: іл. – Бібліогр.: с.142–144. – 300 прим.
3. <http://www.cntomo.com/ekstrudery/1063-kak-organizuetsya-ohlazhdenie-ekstrudera.html> (Как организуется охлаждение экструдера)
4. <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (Лиття пластмас під тиском)
5. <https://knowledge.allbest.ru/marketing/> (Способи виробництва виробів із пластмас та дефекти на виробках із пластичних мас)
6. Басов Н. И. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов / Н. И.. Басов. – М.: Химия, 1991. – 352 с.
7. Основы проектирования и расчета литьевого и прессового оборудования для переработки полимерных материалов / А. С. Клинков, О. Г. Маликов, В. И. Кочетов, Н. П. Жуков. – Тамбов : Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 1999. – 162 с.
8. Пантелеев А. П. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс / А. П. Пантелеев, Ю. М. Шевцов, И. А. Горячев. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
9. Способ улучшения детали, полученной литьем под давлением – патент RU 2571978 C2, B22D 17/00 (2006.01)
10. Прес-форма для лиття під тиском полімерів – патент UA 18318 U МПК (2006) B29C 45/26
11. Пресформа для лиття під тиском полімерів – патент U 34717 A, B29C45/26

12. Прес-форма для лиття пластмасового тонкостінного виробу з дном – патент UA 86583 U, МПК (2013.01), B29C 43/00
13. Способ и устройство для охлаждения литых изделий после извлечения из пресс-формы – патент RU 2392119 C1, B29C 49/78 (2006.01)
14. 14 Спосіб одержання виробу литтям під тиском – патент МПК(2019.01) B29C 45/72
15. 15 Мирзоев Р. Г. Основы конструирования и расчета деталей из пластмасс и технологической оснастки для их изготовления / Р. Г. Мирзоев. – М.: Машиностроение, 1972. – 416 с
16. Prediction of shrinkage and warpage in consideration of residual stress in integrated simulation of injection molding. Computer Aided Materials Processing Laboratory ME3227, Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 373-1 Gusongdong, Yusonggu, Taejon 305-701, South Korea
17. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров.- М.: Химия, 1977, 461 с.
18. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. Пер. с англ. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
19. Рябінін Д.Д. Червячні машини для переробки пластичних мас і гумових сумішей./ Рябінін Д.Д., Лукач Ю.Є. М.Машинобудування, 1965 – 345 с.
20. Гурович С.Г. Розрахунки і конструювання машин для переробки пластичних матеріалів. / Гурович С.Г., Ільяшенко Г.А., Мочман Ш.Е. М., «Машинобудування», 1970, 296с.

ДОДАТКИ

Додаток А.
Публікації