Міністерство освіти і науки України

Державний університет "Житомирська політехніка"
Кафедра механічної інженерії

«На правах рукопису»
УДК 678:67.02

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
механічної інженерії
_____ Мельник О.Л.
(підпис) (прізвище, ініціали)

МАГІСТЕРСЬКА
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»
на тему: «**Прогнозування утворення дефектів деталей з полімерів при литті під тиском за допомогою CAE систем Solodworks Plastiks»**

МІ 131.00.1/М 342/с 026 00-ПЗ

Студент групи ПМ-137м Ковальчук Олександр Валерійович _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Балицька Н.О. _____
(науковий ступінь та вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Житомир 2021

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра механічної інженерії
Освітній ступінь: магістр
Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри
механічної інженерії
Мельник О.Л
(підпис) (прізвище, ініціали)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ковальчуку Олександру Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «**Прогнозування утворення дефектів деталей з полімерів при литті під тиском за допомогою CAE систем Solodworks Plastiks»**.

Керівник роботи: Балицька Наталія Олександрівна, к.т.н., доц.

Затверджена наказом по університету від «30» серпня 2021 р. №____

2. Строк подання студентом роботи - згідно графіку захисту.

3. Вихідні дані до роботи: робочі кресленики деталей «Корпус» та «Контейнер», технічний паспорт термопластавтомату ВТ-3, ГОСТ24888-81 «Пластмаси, Полімери та Синтетичні Смоли».

4. Перелік завдань, які потрібно вирішити:

- Виконати моделювання лиття деталі за розрахованими параметрами користуючись CAE системою SolidWorks Plastics.

- Дослідити перебіг процесу заповнення форми, оцінити складність та можливість проходження процесу.

5. Орієнтовний перелік графічного матеріалу:

1. Процес заповнення формуючої порожнини; 2. Теоретичні основи теплообміну прес форми; 3. Принцип розрахунку усадки матеріалу; 4. Моделювання потоку розплаву полімеру на основі моделі Хеле Шоу;

5. Моделювання процесу лиття під тиском деталі «Корпус»; 6. Моделювання процесу лиття під тиском деталі «Контейнер»

6. Дата видачі завдання 15 жовтня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИКОНАННЯ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання	Примітка
1.	Загальні положення технологій переробки полімерів.	Грудень 2020р.	
2.	Моделювання процесу лиття під тиском з використанням CAE системи SolidWorks Plastics.	Лютий 2021р.	
3.	Виконання розділу «Розробка прес форми для лиття пластмас під тиском для лиття деталі «Контейнер».	Травень 2021р.	
4.	Кінцеве оформлення змісту, висновків, графічної частини магістерської роботи.	Вересень 2021р.	
5.	Підготовка доповіді, ілюстративного матеріалу та презентації.	Жовтень 2021 р.	
6.	Подання магістерської роботи на кафедру.	Грудень 2021 р.	
7.	Захист кваліфікаційної роботи в ЕК.	Грудень 2021 р.	

Студент _____ Ковальчук О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Балицька Н.О,
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ковальчук О. В. Прогнозування утворення дефектів деталей з полімерів при литті під тиском за допомогою CAE систем Solodworks Plastiks – Рукопис.

Магістерська кваліфікаційна робота представлена на здобуття ступеня вищої освіти «магістр», галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 131 «Прикладна механіка». – Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, 2021.

Кваліфікаційна робота містить 113 аркушів формату А4 пояснювальної записки, в тому числі 66 рисунків, 5 таблиць та список літератури з 22 джерел.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто особливості моделювання процесу лиття деталей під тиском у холодноканальних та гарчеканальних прес формах, за допомогою методу скінченних елементів, який використовується CAE системами, для прогнозування дефектів лиття на стадії розробки оснастки. Для моделювання процесу використовувалась програма Solidworks Plastics.

Проектування форм для лиття – найважливіший етап конструкторсько-технологічної підготовки та впровадження у виробництво виробів з термопластичних матеріалів. Якість ливарних виробів переважно визначається конструкцією прес форми та її елементів, правильний вибір яких впливає не тільки на розміри та геометричну форму готового виробу, а й на характер заповнення форми, час охолодження та рівень залишкових напружень. Залишкові напруження, у свою чергу, впливають на збереження геометричної форми та розмірів при тривалому зберіганні та експлуатації виробів.

За допомогою МСЕ (метод скінченних елементів), законів фізики та математики Solidworks Plastics дозволяє виконувати імітаційне моделювання процесу лиття полімерів під тиском.

Solidworks Plastic - CAE система, яка використовується аналітиками та проектувальниками прес форм. Дана система включає можливості моделювання, які дозволяють користувачам аналізувати охолодження ливарних прес форм,

прогнозувати деформацію (короблення) формувальної деталі, виявляти та прогнозувати дефекти форми на стадії розробки продукту.

Ключові слова: лиття полімерів, моделювання, Solidworks Plastics, усадка, деформація.

SUMMARY

Kovalchuk O.V. Predicting the formation of defects in polymer parts during injection molding using Solodworks Plastics CAE systems - Manuscript.

The master's qualification work is presented for the degree of "master's degree", field of knowledge 13 "Mechanical Engineering" specialty 131 "Applied Mechanics". - Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, 2021.

The qualification work contains 113 sheets of A4 explanatory notes, including 66 figures, 5 tables and a list of references from 15 sources.

The master's qualification work considers the features of modeling the process of casting parts under pressure in cold-channel and hook-molded molds, using the finite element method used by CAE systems to predict casting defects at the stage of equipment development. Solidworks Plastics was used to model the process.

Plastics, or as they are often called, polymers are materials based on macromolecular compounds (synthetic, artificial and natural), which are able to take any shape under the action of temperature and pressure and then stably store it under normal conditions.

Design of molds for casting - the most important stage of design and technological preparation and implementation in the production of thermoplastic products. The quality of foundries is mainly determined by the design of the mold and its elements, the correct choice of which affects not only the size and geometric shape of the finished product, but also the nature of filling the mold, cooling time and residual stress. Residual stresses in turn affect the preservation of geometric shape and size during long-term storage and operation of products.

With the help of ITU (finite element method), the laws of physics and mathematics Solidworks Plastics allows you to perform simulations of the process of casting polymers under pressure.

Solidworks Plastic is a CAE system used by mold analysts and designers. This system includes modeling capabilities that allow users to analyze the cooling of molds, predict the deformation (warping) of the molding part, detect and predict mold defects at the stage of product development.

Keywords: polymer casting, modeling, Solidworks Plastics, shrinkage, deformation.

ЗМІСТ

Вступ…… 10

Умовні позначення…… 12

Розділ 1.**ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЛИТТЯ ПОЛІМЕРІВ ПІД ТИСКОМ**… 13

1.1. Методи переробки полімерів……..13

1.2. Типові конструкції прес форм для лиття полімерів під тиском …… 16

1.3. Прес форми з гарчеканальними та холодконанальними системами…….. 19

1.4. Процес заповнення формуючої порожнини форми…… 24

1.5. Вимоги до проектування виробів, які виготовляються методом лиття під тиском…….. 26

1.6. Теоретичні основи теплового балансу прес форми …… 32

1.7. Устаткування для лиття пластмас під тиском…… 34

1.8. Циклограма роботи термопластавтомата……..36

Висновки до розділу…….. 39

Розділ 2.**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ З ВИКОРИСТАННЯМ CAE СИСТЕМИ SOLIDWORKS PLASTICS……** 41

2.1. Переваги застосування CAE систем для моделювання процесу лиття під тиском…… 41

2.1. Solidworks Plastics…….. 42

2.2. Математична модель процесу лиття під тиском…… 44

2.3. Моделювання процесу лиття деталі «корпус » на основі моделі Хеле Шоу за допомогою програми Solidworks Plastics…… 53

Висновки до розділу…….. 72

Розділ 3. РОЗРОБКА ПРЕС ФОРМИ ДЛЯ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ ДЕТАЛІ «КОНТЕЙНЕР»…….. 73

3.1. Загальні положення…… 73

3.2. Характеристика та вибір термопластавтомата……74
3.3 Тепловий розрахунок оснастки……76
3.4 Розрахунок кількості порожнин……78
3.5. Розрахунок ливникової системи……80
3.6. Проектування розвідних ливникових каналів……81
3.7. Підготовка моделі до виконання процесу моделювання лиття під тиском...84
3.8. Моделювання лиття під тиском деталі «контейнер»……88
3.9. Прес форма для лиття деталі контейнер……99
Висновок до розділу……106
ВИСНОВКИ……107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ……109

Вступ

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, змінюює свою температуру та твердне, набуваючи конфігурацію внутрішньої порожнини форми. Лиття під тиском – один із основних методів переробки термопластів 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.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто особливості моделювання процесу лиття деталей під тиском у холодноканальних та гарчеканальних прес формах, за допомогою методу скінченних елементів, який використовується CAE системами, для прогнозування дефектів лиття на стадії розробки оснастки.

Мета роботи

Метою роботи є визначення закономірностей впливу технологічних умов процесу лиття полімерів під тиском на утворення дефектів за допомогою CAE системи Solidworks Plastics.

Завдання дослідження

- Дослідити актуальність використання CAE систем при моделюванні процесів лиття під тиском форм з гарчеканальною та холодноканальною системою подачі розплаву полімеру;
- Виконати моделювання лиття деталі за розрахованими параметрами користуючись CAE системою Solidworks Plastics.
- Дослідити перебіг процесу заповнення форми, оцінити складність та можливість проходження процесу.
- Виконати моделювання процесу усадки сформованих деталей.

- За результатами моделювання процесу лиття деталі контейнер, виконати проектування прес форми з холодноканальною системою подачі розплаву полімеру.

Об'єкт дослідження.

Процес лиття деталей під тиском у формах з гарячеканальною та холодноканальною системою подачі розплаву полімеру.

Предмет дослідження

Розмірні та якісні характеристики деталей з полімерів виготовлених методом лиття під тиском.

Наукова новизна.

Набули подальшого розвитку наукові положення технології прогнозування утворення дефектів деталей з полімерів при литті під тиском за допомогою CAE системи Solidworks Plastics.

Умовні позначення

P - тиск, МПА;

$T_{інж}$ - температура розплаву в момент заповнення форми, С ;

h - величина ходу шнеку, м;

$V_{інж}$ - швидкість інжекції, м/с;

δ - товщина виробу, мм;

a - коефіцієнт температуропровідності;

$T_ф$ - температура форми, С ;

$T_в$ - температура виробу, С ;

$H_в$ - відстань між пів формами, м;

V - швидкість руху запираючого пристрою, м/с;

$R_л$ - радіус литника, м;

n - кількість обертів шнека за хвилину, об/хв;

ρ - в'язкість в каналі, Па

c - коефіцієнт потоку.

R_g - потужність затрачена в зоні дозування, кВт;

$T_ч$ - потужність шнека, кВт; – КПД приводу, %.

$P_н$ - максимальне зусилля на штоці гідроциліндра, Н;

U - максимальна швидкість переміщення штока, м/с.

$P_п$ - питомий тиск, мПа.

s_k - площа поперечного перерізу колони.

L(t) - модуль релаксації матеріалу.

R_g - температура склування матеріалу

v - питомий об'єм матеріалу.

r - залишкове напруження.

i_j - тензор матеріалу, пов'язаний з коефіцієнтом теплового розширення і модулем об'ємного навантаження.

μ – коефіцієнт Пуассона.

Розділ 1

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЛИТТЯ ПОЛІМЕРІВ ПІД ТИСКОМ

1.1. Методи переробки полімерів

Пластмаси, або, як їх часто називають, полімери – це матеріали, отримані на основі високомолекулярних сполук (синтетичних, штучних, природних), які здатні під дією температури і тиску приймати будь-яку задану форму і потім стійко зберігати її в звичайних умовах . Пластмасові вироби використовуються для самих різноманітних цілей і мають широкий спектр застосування - у тому числі і в машинобудуванні.

Фізико-механічні властивості пластмас, а також розмір та форма виробу є головними чинниками під час вибору методу переробки полімеру. Найбільш поширеними методами переробки термопластів є :

– каландрування.

– екструзія.

– видування.

– вакуумне формування.

– зварювання.

– лиття під тиском.

Каландрування - процес безперервного формування листа полімеру методом переробки його через зазор між валами, що обертаються. В результаті каландрування утворюється полотно необхідної товщини та ширини. Основними характеристиками каландру є число валиків, їх довжина, діаметр та взаємне розташування. Геометрія валів є визначальним чинником якості поверхні листа. Для захисту валів від зносу застосовують високошвидкісне газополум'яне напилення твердих сплавів (тривалий захист) або гальванічне хромування (більш поширене).

Екструзією називають технологію продавлювання розплаву сировини через формуючий отвір екструдера. Екструдер - це машина, яка дозволяє формувати

пластичні матеріали шляхом екструзії через екструзійну головку. Метод екструзії зазвичай використовується у виробництві полімерних виробів або полімерних напівфабрикатів. Унікальність даного способу полягає в тому, що видавлюючи розплав полімерної сировини через формуючу головку можна досягти необмеженої довжини виробу заданої форми. Екструзійне обладнання застосовується для екструзії полімерних матеріалів, таких як полістиролу, полівінілхлориду, поліетилену та інших термореактопластів.

Методом видування виготовляють пляшки, фляги, флакони та інші порожні вироби, що отримуються із трубчастих заготовок на ливарних машинах.

Методом вакуумного формування отримують великі вироби: ванни, мийки, раковини, стільці. Лист термопласту притискають до форми та прогрівають його лампами інфрачервоного випромінювання до розм'якшення; потім між формою та листом створюють розрідження (вакуум), і матеріал рівномірно притискається до матриці, повторюючи її форму.

Зварювання є способом з'єднання термопластів. На місце з'єднання накладають зварювальні прутки і виконують зварювання за допомогою пальника або нагрівальних рефлекторів.

У ряді випадків пластичні маси використовують як антикорозійні та декоративні покриття металевих деталей. При цьому переробка пластмас проводиться за допомогою методів полум'яного напилення. Металеву деталь нагрівають до температури вищу за точку плавлення пластмаси, на розігріту поверхню деталі наносять порошок. Проходячи через полум'я, порошок розігрівається до рідкої маси і добре прилипає до металевої деталі, утворюючи суцільну плівку. Поверхню, що піддається напиленню, попередньо піддають піскоструминної обробки. Гострі кути на виробі, що покривається, повинні бути закруглені, а зварні шви – ретельно зачищені.

Термореактивні пластмаси зазвичай переробляють пресуванням : прес форму, нагріту до необхідної температури, завантажують дозованою кількістю прес-матеріалу, найчастіше у вигляді гранул, з великим зусиллям пуансон

опускається у матрицю, відбувається пресування. Під дією температури та тиску прес-матеріал розм'якшується і заповнює прес форму, яка залишається замкненою до повного затвердіння виробу.

Лиття під тиском є одним з найбільш високопродуктивних та економічних процесів ливарного виробництва та знаходить все більшого поширення у різних галузях промисловості при великосерійному та масовому виробництві. Процес має великі перевагам перед іншими способами отримання високоякісних виливків і дозволяє максимально наблизити розміри виливків до розмірів готово деталі . Цей метод є основним для отримання виробів з термопластичних матеріалів і дозволяє виготовляти високоякісні вироби з високим ступенем точності та високою продуктивністю.

Метод лиття під тиском має низку переваг у порівнянні з іншими методами переробки пластмас:

1) Висока продуктивність за рахунок нагрівання термопласту поза ливарною формою, що дозволяє подавати розплав у безперервно охолоджувальну форму.

2) Висока точність розмірів та чистота поверхні готових виробів.

3) Економічність, що досягається внаслідок незначного зносу ливарних форм (відсутність поверхонь тертя, крім напрямних, колонок, повзунів) і невеликих розмірів форми

4) Можливість виготовлення тонкостінних виробів складної конфігурації,

5) можливість повної автоматизації процесу виготовлення виробу.

Недоліки методу лиття під тиском:

1) Великі початкові витрати на обладнання, висока вартість ливарних прес форм.

2) Складність в отриманні виробів із великою різницею у товщині стінок без поверхневих чи інших дефектів. Рекомендована товщина виробу 3…4мм.

Процес лиття під тиском ведуть на ливарних машинах із температурою ливарного циліндра 160-280 ° С (залежно від застосовуваного матеріалу) видавлюванням розплавленої пластмаси в форму, що охолоджується, де матеріал

застигає і твердне. Існують мініатюрні ливарні машини для виготовлення виробів масою всього в кілька грамів та великі ливарні машини – для виробів вагою до 30 кг .

1.2. Типові конструкції прес форм для лиття полімерів під тиском

Необхідним інструментом для здійснення процесу лиття є ливарна прес форма, конструкція та розміри якої визначаються конфігурацією виробу, що виготовляється.

Основні системи ливарної форми складаються з функціональних груп або деталей, в деяких випадках з елементів деталей форм. Конструкцію ливарної форми можна поділити на такі основні системи :

- Система розміщення, встановлення та кріплення ливарних форм;
- Система ливникових каналів;
- Система вентиляційних (газовідвідних) каналів;
- Система формуючих деталей;
- Система центрування;
- Система охолодження та регулювання температури форми;
- Система видалення виробів із форми;
- Система переміщення деталей.

Такий поділ є умовним. У деяких випадках об'єднують кілька функціональних груп деталей форми в одну систему, наприклад, деталі живлення форми розплавом, обігрівачі, розподільники, запірні крани, ливникову систему та систему газовідвідних каналів; систему каналів охолодження та систему регулювання температури, оформлювальних поверхонь прес форми.

У деяких випадках окремі елементи однієї і тієї ж деталі форми можуть одночасно належати двом та більше системам. Наприклад, пуансони і матриці мають формуючі поверхні , тому вони входять до системи формуючих елементів.

У той же час ці деталі мають ливникові канали , канали охолодження та газовідвідні канали.

Перші відносяться до системи ливникових та газовідвідних каналів, а другі – до системи охолодження та регулювання температури форми. Поділ форми на перелічені системи дає можливість простежити за удосконаленням кожної системи. Аналіз переваг та недоліків конструктивних різновидів кожної системи дозволяє визначити закономірності пошуку нових конструктивних рішень. Відсутність задовільної класифікації ливарних форм та форм для інших методів переробки пояснюється великою різноманітністю конструкцій виробів з різних полімерних матеріалів та безліччю конструкцій ливарних форм. Поділ ливарних форм на системи дозволяє класифікувати конструктивні різновиди кожного з них та компонувати загальну конструкцію форми із різних систем.

Зазвичай форма складається з двох основних частин (пуансон і матриця), яка охолоджується як правило водою, що протікає каналами, розташованими в обох половинах форми. В одній із половин форми (матриці) є конусний отвір, що закінчується зовні сферичною лункою. Це отвір призначається для заповнення через нього матеріалом порожнини форми та називається центральним ливниковим каналом. Під час процесу лиття сопло, інжекційний циліндр, ливарної машини щільно примикає до лунки, відбувається подача розплаву у ливникову втулку прес форми. В ливарній формі відбувається формування виробу, утворення структури матеріалу під час заповнення формуючої порожнини, ущільнення матеріалу виливки та її охолодження.

Зазвичай прес форма проектується для наступного виробництва певного виробу. Крім цього, існують так звані «модульні» форми, конструкція яких допускає застосування змінних елементів, що дають змогу змінювати конструкцію виробів або навіть повністю замінити певний виріб на інший. Отже, та сама прес форма надає можливість в різний час виготовляти різну продукцію. До недоліків такої технології можна віднести трудомісткість операцій з

періодичної заміни формуючих елементів, необхідність більш ретельного й частого їх обслуговування, а також невеликий ресурс універсальних форм.

Прес форма складається зі значної кількості елементів, які мають точно сполучатися між собою. Деталі прес форм поділяють на нормалізовані та спеціальні. Конструкція нормалізованих деталей прес форми може бути встановлена наперед, незалежно від конструктивних особливостей одержуваних за її допомогою виробів.

Якісні ливарних форми виконують з допуском формуючих елементів 0,02 мм. При цьому гарантійний ресурс інструментів досягає мільйонів литтєвих циклів.

Будь-яка прес форма на 50–95 % складається зі стандартних або нормованих за номенклатурою деталей, вартість яких становить від 10 до 60 % її повної вартості. Зрозуміло, що вартість прес форми залежить як від її конструкції та геометрії відливки і вимог інструментального виробництва, так і від рівня підготовки конструктора прес форми, його бажання і можливості застосувати відповідні стандартні елементи.

Загальні поняття про будову прес форм

Деталі (елементи) прес форм поділяють на нормалізовані та спеціальні. Конструкція нормалізованих деталей прес форми, може бути визначена заздалегідь, незалежно від конструктивних особливостей виробів у прес формі.

До нормалізованих деталей прес форми відносять:

- Верхні та нижні плити прес форми.
- Прості плити, механічно оброблені з усіх боків, відповідні для виготовлення пуансонів, матриць та формотворних плит, що вимагають великий обсяг вибірки;
- Напрямні втулки та колонки, центруючі елементи, фіксатори, вставки у т.ч. з вставка -календар, пружини тощо;

- Елементи вилучення з форми, хвостовики подвійного ходу, штовхачі від 1мм до 200мм, трубчасті штовхачі з товщиною стінки від 0,75мм, підшипники, шестірні;
- Ливникові втулки, гарячеканальні інжектори (сопла), у т.ч. інжектори багатоточкової інжекції, гарячеканальні колектори, фільтри;
- Система охолодження – штуцери (в т.ч. з нержавіючої сталі), муфти, спіральні вставки для пуансонів, прокладки, шланги тощо.

До спеціальних деталей прес форми відносять вставні матриці, пуансони, гладкі знаки, різьбові знаки, кільця тощо. Виробництвом спеціальних деталей займається, як правило, компанія, в якій безпосередньо замовляється прес форма.

1.3. Прес форми з гарчеканальними та холодконанальними системами

Гарячеканальною називають форму, у якій розвідний ливник залишається розплавленим і не витягується під час циклу лиття. Натепер у різних країнах, залежно від рівня їх технічного розвитку, гарячеканальними формами переробляють від 10 до 30 % термопластів [17].

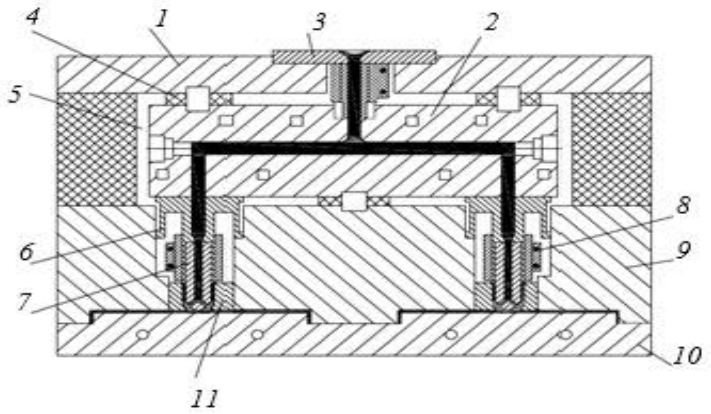


Рис. 1.1. Будова гарячеканальної форми [4].

1 – Плита; 2 – Гарячеканальна камера (колектор);3 – Фланець ливника, 4 – теплоізолятори; 5 – Повітряний зазор; 6 – Втулка;7 – сопло; 8 – Нагріваючий елемент втулки; 9 – Матриця; 10 –Пуансон; 11 – Предня камера.

Гарячеканальна технологія вважається перспективною і її застосування поширюється. Під час лиття під тиском виробів у гарячеканальних формах забезпечується найбільш рівномірне заповнення та ущільнення формуючих порожнин .

Форма з ГКС (рис.1.1) складається з двох частин: холодної плити пуансонів *10*, у якій відбувається формоутворення виробів, і значно складнішої гарячої частини - плити матриць.

Обігріваючі гарячі канали ГКС постійно заповнені розплавленим полімером. Гарячеканальна система споряджена точковими вузлами вприскування, що складаються з позицій *7*, *8*, *11*. Гаряча частина форми відокремлена від холодної повітряним зазором *5* і керамічними теплоізоляторами.

У виробництві великогабаритних виробів замість форм з одним впускним каналом доцільно застосовувати багатовпускні гарячеканальні форми. Вибір кількості гнізд у формах має передувати визначенню потужності, об'єму вприскування, зусилля замикання й типорозміру литтєвої машини з урахуванням асортименту виробів, що склався, потреби в них, термінів постачання виробів замовнику.

Переваги гарячеканальної технології :

1) Відсутність відходів ливників;

2) Виключена операція відриву ливника від виробу;

3) Розплав полімеру максимально наближений до формоутворювальної камери, що сприяє підвищенню якості одержуваних виробів;

4) Змога виготовляти великі за розміром вироби (наприклад, пластмасові меблі) з мінімальною товщиною стінки , отже, ефективніше використовувати дорогий полімерний матеріал;

5) Значне скорочення часу циклу.

Усі зазначені переваги дають змогу збільшити максимальну площу лиття на одній і тій самій машині на 30–40 % порівняно з площею лиття, що досягається за умови використання ливникової системи, яка твердне, або застосовувати за тієї

самої площі лиття машину з меншим зусиллям замикання й менш металоємними формами. Лиття за зниженого тиску й підвищеної температури порожнини форми забезпечує отримання виробів з меншими залишковими напруженнями, поліпшує умови заповнення форми та ущільнення розплаву, а також умови експлуатації форми з підвищенням її довговічності.

Тим не менше, гарячеканальна технологія має і недоліки:

1) Асортимент полімерів обмежений вимогами термостабільності;

2) Розплав полімеру має бути малов'язким (показник текучості розплаву (ПТР) має не перевищувати величину 8 г/10 хв);

3) Гарячий блок форми оснащений високочастотними пристроями терморегулювання та управління, що вимагають узгодження з управлінням термопластавтомата;

4) Конструкція, будова та обслуговування форми істотно складніші порівняно з холодноканальними формами.

Усі зазначені недоліки є причиною високої вартості гарячеканальних форм, застосування яких потребує ретельного техніко-економічного обґрунтування (тираж виробів, їхня ринкова вартість, тривалість попиту та ін.).

Найбільшою перевагою гарячеканальних систем (ГКС) порівняно з холодноканальними системами (ХКС) є відсутність розвідних ливників, які потребують наявність відповідного обслуговування й наступної утилізації. Відсутність ливників дає змогу скоротити час пластифікації, крім того, зменшуються час охолодження ливникової системи й необхідне зусилля відкриття форми.

Холодноканальні прес форми

Прес форма, в якій ливниковий канал (ливник) охолоджується, твердне і виштовхується разом з відливками при кожному литтевому циклі називається

холодноканальною . У конструктивному виконанні холодноканальні прес форми можуть бути двох і трьох плитними.

Двох плитні прес форми:

Холодноканальні прес форми з двома плитами є базовим та найпоширенішим типом форми. Вона найпростіша і найдешевша у виготовленні. У порівнянні з гарячеканальною вона зручніша в експлуатації та простіша в обслуговуванні. Вона легко пристосовується до змін при зміні кольору гранул, оскільки ливникова система та виріб охолоджуються та витягуються в кожному циклі і при цьому у формі не залишається матеріалу.

Три плитні прес форми:

Головна перевага форми з трьома плитами перед аналогічною двох плитною полягає в тому, що місце вприскування тут не обмежується периметром порожнини виробу. Порівняно з ГКС форми з трьома плитами дешевші, відносно легші в обслуговуванні, вимагають менш високої кваліфікації робітників і забезпечують легку зміну кольору перероблюваного матеріалу.

Основні переваги:

- Дешеві і прості у виготовленні.
- Дешевші в обслуговуванні.
- Прості та менш вибагливі в роботі порівняно із формами з ГКС

Недоліки:

Основний недолік ХКС – необхідність мати справу з застиглими ливниками. Ливник повинен бути відокремлений від виробу для переробки та повторного використання.

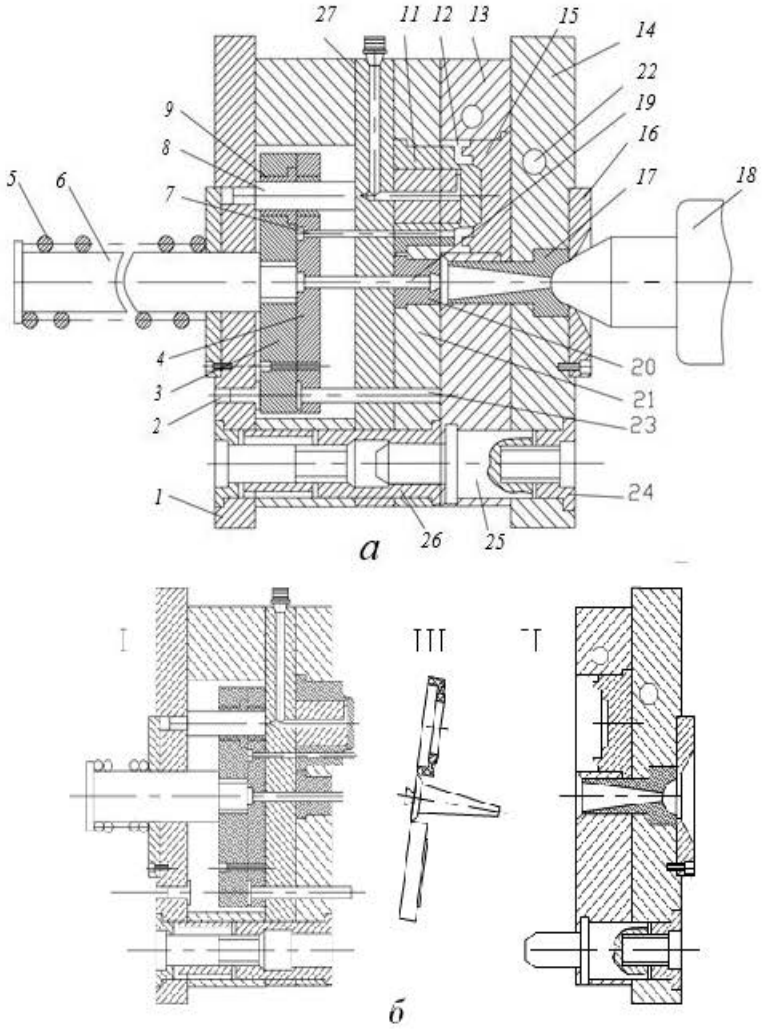


Рис. 1.2. Конструкція типової двопозиційна форма для лиття під тиском поліетилену [6]:

а – форма зімкнута; *б* – форма розкрита; I і II – рухома й нерухома пів-форми; III – виливок; *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.

Однак при подрібненні матеріал може забруднитися сторонніми домішками, та окрім того, потрібні спеціальні гранулятори. Більш того, вторинну сировину часто можна повторно використовувати лише у певному співвідношенні з первинною сировиною. Оскільки повторно перероблений вторинний матеріал дещо відрізнятиметься характеристиками від вихідного, як результат, очікується зміна процесу лиття, властивостей розплаву та виливки.

1.4. Процес заповнення формуючої порожнини форми

При заповненні ливникових каналів і порожнини форми шар розплаву прилягає до стінок форми та за рахунок теплопередачі - застигає, тоді як центральна частина залишається розплавленою. Наступні порції матеріалу, що надходять у форму, протікають по ливниковому каналу з застиглим на його стінках полімером. У результаті дії сили тиску, яка створюються шнеком ТПА, при подачі наступної порції розплаву, виділяється значна кількість тепла за рахунок тертя.

Спочатку застиглий шар дуже тонкий і його тепло швидко передається. При послідуючих проходження розплаву через ливниковий канал, товщина застиглого шару збільшується, зменшуючи віддачу тепла на стінки контактуючих деталей. В результаті встановлюється рівновага, і втрати тепла за рахунок теплопровідності стають рівними теплу, яке виділяється при терті розплаву полімеру з шаром застиглим на стінках ливникового каналу. Тобто за рахунок теплопровідності та теплоті яка виділяється у результаті дії сили тертя , "застиглий" на стінках ливникового каналу шар полімеру поступово рухається у напрямку руху розплаву. Відносне переміщення шарів викликає на їх межах напруги зсуву та орієнтує макромолекули у напрямку течії розплаву, що у свою чергу, створює у розплаві векторні напруги, які є причиною утворення внутрішніх напруги та подальшої деформації деталі. Після заповнення формуючої порожнини надходження розплаву у форму не припиняється. Під зростаючим тиском відбувається подача у порожнину додаткових порцій матеріалу для повного заповнення формуючої

порожнини, що зменшується внаслідок охолодження та ущільнення виливки. При застиганні матеріалу у впускному каналі надходження нових порцій матеріалу у форму припиняється. Поступово по мірі охолодження розплаву тиск в формуючій порожнині знижується. Залишковий тиск викликає в виробі залишкові напруги.

При охолодженні без тиску відбувається усадка виробу, створюється можливість безперешкодного вилучення його з матриці. При контакті шару розплаву з пуансоном у виробі виникають напруження, що залежать від конструкції системи жорсткості, міцності матеріалу та конфігурації виробу. Після вилучення деталі відбувається вільне усадка, а також короблення деталі, пов'язане з перерозподілом внутрішніх напружень .

При лиття під тиском термопластів протікають такі основні процеси:

- Сушіння полімеру до завантаження в ливарну машину з дифузією молекул води всередині твердих гранул під або без вакууму;
- Транспортування гранул шнеком, що обертається, в нагрівальному циліндрі з поступовою пластикацією(розігрівання) та гомогенізацією(утворення однорідної маси) у міжвитковому просторі;
- Попереднє ущільнення розплаву до 150-250 бар одночасної його дегазацією від парів води та інших летючих речовин при використанні тризонних шнеків, що обертаються.
- Стиснення розплаву у третій зоні до 800-2500 бар та вприскування (інжекція) сильно стисненого розплаву через мундштук і ливник у відносно холодну ливарну форму;
- Заповнення форми, що супроводжується неізотермічним перебігом розплаву полімеру в умовах високих швидкостей зсуву;
- Орієнтація макромолекул, інтенсивна тепловіддача від полімеру до форми із застиганням полімеру в орієнтованому стані, кристалізація частково кристалізованих термопластів при високому тиску та інтенсивному охолодженні з формуванням надмолекулярних структур;

- Остаточне затвердіння відливки зі зростанням щільності, зменшенням обсягу, збільшенням ливарної усадки та формуванням остаточної структури;
- Охолодження виливки з послідуючим виштовхування з форми, супроводжується додатковою усадкою, короблення та частковою релаксацією залишкової напруги.

Сушіння гранул проводиться з нагріванням у твердій фазі, у зв'язку з чим швидкість дифузії молекул води через товщу твердого матеріалу обмежена та вимагає досить тривалого часу, що визначається декількома годинами. Для прискорення сушіння разом з нагріванням часто використовують і вакуумування.

Пластикація полімеру зі зниженням в'язкості при нагріванні відбувається в циліндрі. Нагрів ведеться поступово, а не різким нагріванням у першій зоні, в іншому випадку виникає пробка з розігрітих гранул у зоні завантаження.

В умовах інтенсивного перемішування в циліндрі з тризонним шнеком (зони завантаження, стиснення та дозування) відбувається пластикація та гомогенізація розплаву з утворенням однорідної за складом та консистенцією маси.

Ущільнення полімеру необхідно з двох причин. По-перше, насипна щільність гранул з урахуванням повітряних проміжків становить 0,5-0,6 г/см3 , а щільність монолітного полімеру при кімнатній температурі та атмосферному тиску приблизно вдвічі вище. По-друге, при температурі лиття щільність розплаву набагато нижча, ніж монолітного полімеру при 20 °С, тому для компенсації об'ємної та лінійної усадки потрібно значне стиснення нагрітого розплаву при заповненні форми.

1.5. Вимоги до проектування виробів, які виготовляються методом лиття під тиском

Для виготовлення полімерних деталей шляхом лиття під тиском необхідно сформулювати технічне завдання, у якому мають бути зазначені основні вимоги як до готового виробу, і до процесу обробки.

1. Геометрична форма, якість поверхні та розміри відлитих у формі виробів повинні відповідати заданим на кресленні.

2. Необхідно, щоб у вилитому виробі були оптимально збережені фізико-механічні властивості вихідного матеріалу з мінімальними залишковою напругою.

3. Вироби не повинні піддаватися додатковій обробці, виключенням відділення ливника та зачистки його слідів (при необхідності).

4. Робота ливарної форми має бути автоматизована, довговічна, надійна та безпечна, а собівартість виробу мінімальна.

При конструюванні виробу важливо передбачати місце підведення ливника, положення виштовхувачів, слідів від вставок та розташування лінії роз'єму формотвірних елементів. Розташування впускного ливникового каналу впливає на характер течії розплаву, на виникнення надлишкових внутрішніх напружень, утворення спаїв, сліди слідів та залишків течії розплаву на поверхні виробу, на усадку, деформацію виробу за високих температур, міцності виробу.

Внутрішні напруги зазвичай найбільш значні в області подачі розплаву, тому місце інжекції у виробі найбільш небезпечне і схильне до розтріскування або руйнування. Розташування ліній спаїв залежить від місцезнаходження точки інжекції , товщини та складності конфігурації деталі. При неправильному розташуванні точки інжекції може статися перекручування форми виливки. Необхідно створювати умови для рівномірного заповнення полімеру в формуючу порожнину . Конфігурація пластмасового виробу істотно впливає на конструкцію форми (що залежить від технологічності виробу) та якісних показників виробу, які у свою чергу, залежать як від технології його виготовлення, і від його конструкції.

У зв'язку з цим виріб слідує конструювати одночасно з аналізом його технологічності . Необхідно враховувати, що у ряді випадків помилки, закладені під час розробки виробу, неможливо виправити зміною конструкції форми. При конструюванні пластмасових виробів необхідно прагнути до забезпечення раціональних умов перебігу матеріалу у формі, підвищення точності виготовлення, зменшення внутрішніх напружень, короблення та циклу виготовлення.

Нижче представлені найважливіші вимоги, які необхідно враховувати при конструюванні пластмасових виробів для виробництва методом лиття пластмас під тиском

1. Форма виробу має бути такою, щоб деталь легко формувалась та діставалася із прес форми. Іноді доцільне виготовлення замість однієї складної двох або більш простих деталей з подальшим складанням їх у вузол. До спрощення конструкції деталі, завжди слід прагнути по технологічним, експлуатаційним та економічним міркуванням. Чим простіше деталь, тим дешевше оснастка, вище продуктивність праці, точність та якість деталей і нижче їхня собівартість. Зовнішня форма виробу має по-можливості забезпечувати застосування нероз'ємних матриць та пуансонів, інакше вартість форм значно зростає, а зносостійкість знижується. Крім того, як правило, збільшується трудомісткість виготовлення самих виробів.

2. Вироби доцільно конструювати мінімальної товщини, що забезпечує необхідні механічні властивості при хорошому заповненні ливарної форми. Це призводить до меншої витрати матеріалу при вищій продуктивності внаслідок меншої тривалості охолодження деталі у прес формі. Стінки виробу по можливості повинні бути рівної товщини, без різких переходів. Якщо це забезпечити не вдається, то переходи від однієї товщини до іншої мають бути поступовими. Допустима різнотовщинність не повинна перевищувати відношення 2:1.

Можлива товщина стіни залежить від здатності матеріалу заповнювати прес форму, тобто від його в'язкості, висоти стіни та конфігурації виробу, місця підведення ливника.

Зазначені значення не є граничними: вироби малих розмірів та простої форми можна виготовляти із товщиною стінки 0,3 мм. Збільшення товщини стінки різко знижує ударну в'язкість виробу, збільшує внутрішні напруження та схильність до розтріскування. У зв'язку з цим для збільшення міцності виробу слід вдаватися до спеціальних конструктивних прийомів: змінювати

конфігурацію виробу, вводити арматуру, ребра та інші підсилювальні елементи. Для забезпечення вільного вилучення виливки з форми на зовнішній та внутрішньої поверхні виробу, ребрах, отворах необхідно передбачати технологічні нахили. Нахили внутрішніх поверхонь та отворів повинні бути більше нахилів зовнішніх поверхонь, тому що при розкритті форми внутрішні поверхні за рахунок усадки притискаються до формуючих елементів, а зовнішні, навпаки, відходять від стінок форми і менше перешкоджають видаленню виливки.

3. Технологічні нахили можна не призначати для низьких виробів товщиною до 10 мм, тонкостінних виробів висотою до 15 мм, для зовнішніх поверхонь порожнистих виробів заввишки до 30 мм. Не призначають технологічні нахили для елементів, які вже мають конструктивні нахили. При цьому для знімання виробу, щоб уникнути його механічного пошкодження необхідно використовувати знімну плиту або використовувати виштовхувачі, що мають велику площу контакту з виробом, для забезпечення рівномірного розподілу навантаження та невеликих тисків на поверхню виштовхування.

4. Отвори у ливарних деталях робляться за допомогою формоутворюючого знаку, який знаходиться в порожнині ливарної прес форми. Отвори, одержані в процесі формування, на відміну від одержуваних механічної обробкою, можуть мати найрізноманітнішу і найскладнішу форму перерізу. Можливість одержувати отвори з взаємним перетином під різними кутами, однак це різко ускладнює конструкцію форми та підвищує вартість виробу. Наскрізні отвори можна отримувати більшої глибини, ніж глухі того ж перетину, так як формуючий знак можна закріплювати з двох сторін. Рекомендована глибина наскрізних отворів $h \leq 10\ d$, де d – діаметр отвори; а для глухих $h \leq 4d$. Максимальне значення слід набувати для отворів, розташованих у центральній частині деталі, мінімальне – для отворів, розташовані по краях. Отвори, розташовані паралельно лінії роз'єму форми, як правило, ускладнюють конструкцію форми та підвищують її вартість, тому отвори в стінках виробу частіше розташовують перпендикулярно лінії

роз'єму форми. Слід враховувати, що отвори завжди утворюють спай двох потоків матеріалу, що огинають знак, міцність якого в багатьох випадках нижча міцності матеріалу. Не слід розташовувати отвори близько до краю виробу, оскільки виникає велика небезпека руйнування краю деталі.

Перелік параметрів необхідних для проектування прес форм [4].

– об’єм подачі полімеру ТПА, $см^3$;

– тиск подачі матеріалу , МПа;

– зусилля змикання, кН;

– пластикаційна продуктивність, кг/год;

– об’ємна продуктивність вприскування, $см^3/с$;

– мінімальний час відкриття/закриття форми, с;

– максимальна відстань між плитами, мм;

– хід рухомої плити при максимальній висоті форм, мм;

– максимальний хід виштовхувача, мм;

– відстань між колонами у світлі по вертикалі й горизонталі, мм;

– максимальне й мінімальне значення висоти форми, мм;

– марка полімеру;

– розміри виробів з допусками й чистотою поверхні;

– програма випуску виробу.

Загальна положення проектування виробів із термопластичного матеріалу

Загалом процес проектування пластмасових виробів має забезпечувати максимальну технологічність конструкції. Це передбачає досягнення мінімальної вартості, економію матеріалу, спрощення конструкції формуючого інструменту, підвищення надійності та довговічність деталі.

На початковому етапі слід встановити призначення деталі, визначити умови її експлуатації, вибрати відповідний матеріал, потім – розробити конструкцію деталі, додати при необхідності елементи зміцнення, виконати конструктивні та технологічні розрахунки, остаточно доопрацювати конструкцію та зробити техніко-економічні розрахунки ефективності застосування пластмаси в даній конструкції.

При конструюванні деталей необхідно враховувати також виробничі можливості підприємства, тому що конструкція може бути технологічною, але з низки причин (великі габарити та вага, складна конфігурація, що вимагає застосування механізованих прес форм, та ін.) даному підприємстві не може бути виготовлена.

Вимоги до деталей прес форм

Формоутворюючі поверхні деталей прес форм залежно від властивостей і здатності полімерів до адгезії мають бути піддані обробці одного з таких видів: хромуванню, нікелюванню, азотуванню або оксидуванню. При цьому найчастіше застосовують хромування (товщина шару покриву не менше 12 мкм), а у важкодоступних місцях – не менше 6 мкм. Деталі, виготовлені з високолегованих високохромистих сталей (наприклад, сталі 30Х13, 40Х13 і 95Х18) гальванічній обробці не піддаються, оскільки вони у своєму складі містять достатню кількість хрому.

Формоутворювальні поверхні до і після гальванічної або хіміко- термічної обробки полірюються, в основному в напрямі потоку розплаву і знімання деталі.

Допуск площинності опорних поверхонь плит і поверхонь роз'єму, паралельності прилеглих поверхонь плит, матриць та обойм не повинен перевищувати 6-го квалітету згідно з ГОСТ 24643–81. Допуск перпендикулярності отворів під знаки, матриці, вкладиші відносно площини роз'єму – не більше 0,02 мм. Допуски паралельності опорних поверхонь верхньої (рухомої) і нижньої (нерухомої) плит кріплення і паралельності плит роз'єму відносно опорних плит має відповідати 8-му квалітету, а допуск перпендикулярності напрямних колонок та втулок відносно опорних плит – 8-му квалітету.

Зміщення контурів формоутворювальних поверхонь матриці й пуансона по площині роз'єму – не більше 0,05 мм. Формоутворювальні елементи форм виготовляють зазвичай по 8–9 квалітету, при цьому одержані в них вироби відповідатимуть 11–12 квалітету. Нерухомі з'єднання типу пуансона з тримачем, матриці із знаком, виконують за посадкою *H*7/*k*6, а рухомі з'єднання знаків-виштовхувачів з пуансоном і матрицею – за посадкою H9/*f*9.

Орієнтовні значення шорсткості різних поверхонь деталей подано на розрізі типової форми, зображеної на рис. 6.5.

1.6 Теоретичні основи теплового балансу прес форми

Під час проектування прес форми необхідно враховувати умови теплообміну термопластів. Ливарна форма для обробки термопластичних полімерів повинна забезпечити відведення якомога більшої кількості тепла. Тепловий потік, що надходить у форму (вважається позитивним), та тепловий потік, що відводиться з форми (вважається негативним), повинні перебувати у рівновазі. Отже, можна скласти рівняння теплового балансу.

$$Q_{KS} + Q_E + Q_{AD} + Q_c = 0 \ ; \qquad (1)$$

де Q_E – теплообмін із зовнішнім середовищем; Q_{KS} – потік тепла з виливки; Q_{AD} – додатковий тепловий потік (наприклад, від гарячих каналів), Q_c -теплообмін

із охолодною рідиною. Знаючи розміри форми та температуру її поверхні, можна обчислити теплообмін із зовнішнім середовищем.

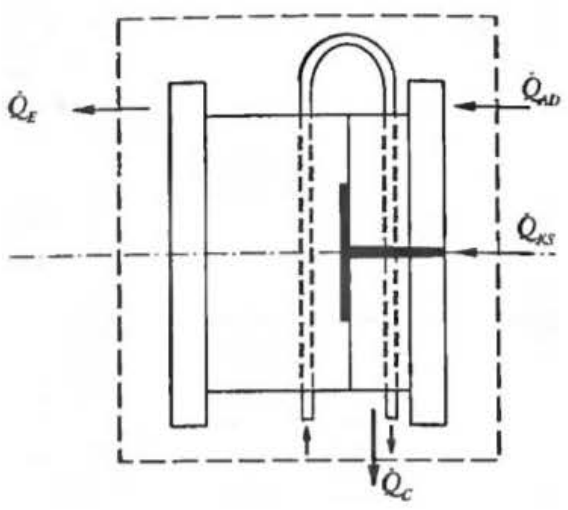


Рис 1.3. Схема теплообміну прес форми [6].

Тепловий баланс можна скласти для окремих деталей та вузлів форми за умови, що теплопередача на межах елементів незначно мала або може бути представлена у вигляді додаткового потоку. Якщо відносно великі вузли форми, для визначення теплового потоку діляться на менші елементи, то такий тепловий потік можна визначити за допомогою коефіцієнта теплового потоку.

Призначення системи охолодження прес форм полягає у регулюванні температури форми та забезпеченні рівномірного, швидкого та одночасного охолодження виробу із зовнішньої та внутрішньої сторони та по всій його площі.

Швидкість охолодження виробу впливає на утворення надмолекулярних структур, рівень залишкових та векторних напружень та перебіг релаксаційних процесів, що відбуваються при цьому. Частково у кристалічних полімерних матеріалах швидкість охолодження впливає на ступінь кристалічності матеріалу виробу. Одночасне закінчення охолодження виробу по всій площі частково усуває причини, що викликають короблення виробу, і створюються умови для збереження його геометричної форми та розмірів у заданих межах. Система охолодження повинна забезпечувати зниження температури виробу на момент вилучення його з

форми до такої величини, при якій виштовхування виробу здійснюється без його механічного ушкодження.

Устаткування для лиття пластмас під тиском

Лиття пластмас під тиском здійснюється на спеціальних інжекційно-ливарних машинах – термопластавтоматах (ТПА). Існує безліч типів ТПА, які можуть бути класифіковані за різними ознаками.

а) За розташуванням вузла вприскування:

- Вертикальні: - у яких вприскування матеріалу здійснюється вертикально вниз, а основна площина роз'єму прес форми розташована горизонтально. Вертикальні верстати зазвичай використовуються для виготовлення виробів із заставними елементами.
- Горизонтальні: - з горизонтальним вприскуванням матеріалу та вертикально розташованою площиною роз'єму форми.

б)За кількістю видів використовуваного матеріалу:

- Для однокомпонентного лиття.
- Для багатокомпонентного лиття.

в) За типом системи замикання:

- Гідравлічні
- Колінчасто-важільні

г)За типом приводів:

- Електричні
- Гідравлічні
- Гібридні

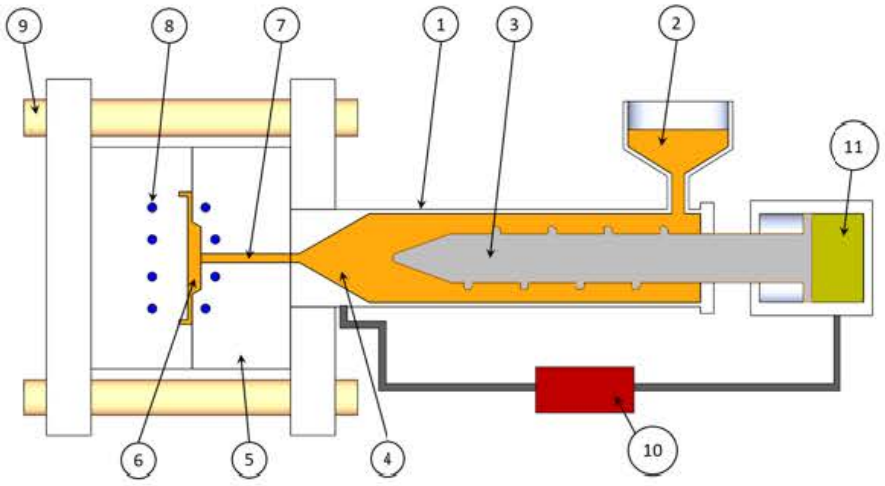


Рис 1.4. Обладнання для ливарного формування [2].

1) Вузол вприскування

Отримує пластмасові гранули в контейнер (2) і направляє їх в циліндр, що нагрівається, мітить обертовий і зворотно-поступальний гвинт (3) і сопло (4).

2) Контейнер

Містить та дозує пластмасові гранули для процесу ливарного формування.

3) Гвинт

Транспортує гранули через циліндр, нагріваючи їх для створення однорідного розплаву -, що називається пластифікацією.

4) Сопло

Коли блок вприскування (1) виробляє достатню кількість розплавленого пластику, зворотно-поступальний рух гвинта (3) вприскує розплавлений полімер через сопло в блок перс форми (5).

5) Одиниця вимірювання лиття

Відливок (6) всередині формувальних плит разом з системою подачі розплаву - ливником (7), охолоджувальними каналами (8), виштовхувачами, і рухомими та нерухомими пластинами (зовнішні межі).

6) Порожнина

Порожнина деталі заповнюється розплавленим полімером, який охолоджується,

7) Система подачі

Забезпечує проходження розплаву полімеру по ливниковому каналу в порожнину форми. Система подачі складається з центрального ливника та ливників.

8) Охолоджуючі канали

Охолоджуючі канали відводять тепло з прес форми. Окремі канали, що охолоджують, зазвичай з'єднані послідовно з одним входом і одним виходом. В системі охолодження можна використовувати воду або інші охолоджуючі рідини, такі як етиленгліколь.

9) Затискний елемент .

Використовує привід двигуна та стяжні планки для відкривання та закривання прес форми та запобігання відкриванню прес форми під час процесу інжекції.

10) Блок керування

Контролює та керує параметрами обробки, такими як температура, тиск, положення шнека та швидкість.

11) Гідравлічний вузол

Регулює та підтримує належний гідравлічний тиск для керування механічним тиском.

Основні види дефектів які присутні при литті полімерів під тиском :

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

1.7. Циклограма роботи термопластавтомата

Технологія лиття передбачає такі основні етапи, показані на циклограмі.

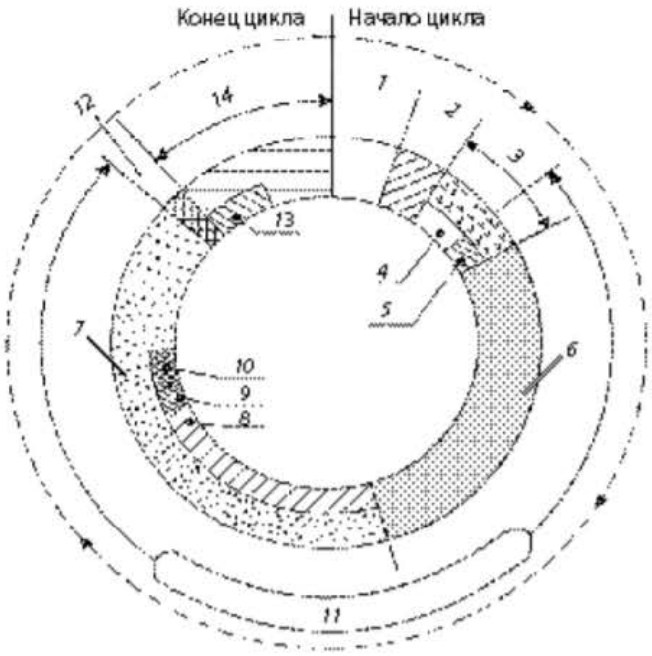


Рис 1.5. Циклограма роботи термопластавтомата [2].

1.Змикання форми (початок циклу). При змиканні форми слід уникати удару, тому наприкінці змикання швидкість уповільнюють.

2. Рух вузла пластикації вперед із притисканням мундштуку до ливниковій втулки. При гарячеканальній системі вузол пластикації залишається притисненим до форми протягом усього циклу.

3. Вприскування раніше набраної дози розплаву під час руху шнек-поршня уперед. На початку подачі матеріалу зворотний клапан на кінці шнека перекриває канал і запобігає протіканню розплаву з передмундштукової зони назад до завантажувальної. Період подачі матеріалу ділиться на етапи заповнення форми та стиснення розплаву.

4. Заповнення форми під час вприскування. Заповнення відбувається з витіснення повітря з форми через вентиляційну систему. При подачі матеріалу виникають великі напруги та швидкості зсуву, особливо у верхніх шарах, що призводять до значної орієнтації молекул полімеру.

5. Стиснення розплаву. Відбувається після завершення повного заповнення форми, тиск у формі зростає до максимального за долі секунди.

6. Витримка під тиском (підживлення). Здійснюється протягом певного часу з метою додаткового підживлення та компенсації усадки в міру охолодження. У цей період паралельно з підживленням відбувається інтенсивне охолодження полімеру. Наприкінці етапу в передмундштуковій зоні повинна залишатися подушка розплаву 2-6 мм вздовж по осі («залишкова подушка»), шнек не повинен доходити до крайнього лівого положення.

7. Витримка з охолодженням без тиску. Використовується для остаточного затвердіння матеріалу у всьому обсязі, включаючи внутрішню область. У цей період передачі тиску від машини до форми не відбувається і у міру охолодження тиск усередині форми поступово знижується.

8. Завантаження. З початком етапу витримки та охолодження або з деякою затримкою подається команда на обертання шнека, при цьому полімер переміщується між витками шнека від зони завантаження до передмундштукової зони, долаючи створене гідравлікою зусилля. При цьому шнек під дією розплаву переміщається у заднє положення, а набрана доза розплаву накопичується в передмундштуковій зоні при тиску до 200-250 бар.

9. Декомпресія. Технологічний прийом примусового переміщення

шнека назад на невелику відстань до завантажувальної зони для зменшення тиску в передмунпдштуковій зоні після набору дози, що використовується при застосування сопла відкритого типу для виключення мимовільного закінчення попередньо ущільненого розплаву після відведення мундштуку від форми. При використанні сопел, що замикаються, в декомпресії немає необхідності.

10. Відведення сопла здійснюється при використанні форм із застигаючим ливником для зменшення теплопередачі від гарячого мундштуку до холодної ливниковоїй втулки. При тривалому контакті сопла та ливникової втулки кінець мундштука і розплав, що знаходиться в ньому, остигають до низьких температур;

з іншого боку, зайве нагрівання ливникової втулки перешкоджає остиганню центрального ливника, що може спричинити небажане подовження циклу. Для

відведення сопла весь вузол вприскування відсувається на 100-200 мм у заднє положення до початку нового циклу.

11. Період охолодження у формі, включає кілька перерахованих вище етапів; після повного заповнення форми, короткий період ущільнення розплаву 5, періоди витримки під тиском 6 та витримки на охолодження без тиску. За цей час відбувається повне затвердіння виливки до жорсткості, що забезпечує надійне виштовхування (знімання) без пошкодження сформованої деталі.

12. Розмикання форми. Відбувається після завершення повного охолодження виливки.

13. Виштовхування (знімання) виливки з форми проходить після повного відкриття форми. Відбувається виштовхування вилитих виробів за допомогою системи виштовхування прес форми, плита виштовхувачів рухається за допомогою центрального хвостовика ТПА.

14. Після закінчення виштовхування форма залишається відкритою до початку змикання. Для роботи машини в автоматичному циклі без участі оператора необхідно використовувати форми зі автоматичним зняттям деталі, вилученням ливника без участі оператора. При виготовленні деталей, які вимагають дбайливого знімання без падіння деталі в піддон, знімання деталі здійснює оператор або застосовую маніпулятори, як правило, вакуумними присосками, за допомогою яких деталь витягується з форми та переноситься в зону упаковки осторонь машини. Після закінчення виштовхування і знімання деталі (і ливників для холодноканальних форм) при автоматичному режимі роботи цикл закінчується і дається команда на змикання форми, тобто, новий цикл. Повний час циклу при литті може становити всього 4-5 с для малогабаритного тонкостінного лиття і доходити до декількох хвилин для великогабаритних товстостінних виливків. Для традиційного лиття повне час циклу варіюється від 10-12 до 60-90 с.

Висновки до розділу

Пластмасові вироби використовуються для самих різноманітних цілей і мають широкий спектр застосування - у тому числі і в машинобудуванні.

Поширенню пластмас сприяють їхня мала густина (0,85—1,8 г/см³), що значно зменшує масу деталей, невелика теплопровідність, електро та звукоізоляційні властивості, визначають використання пластмас як спеціальних (функціональних) матеріалів - діелектриків, теплоізоляційних матеріалів. Разом з тим ряд особливостей пластмас визначає їх застосування в машинобудуванні як деталей, що забезпечують працездатність обладнання. Деталі з пластмас мають хороші вібростійкі властивості а також трибологічні (антифрикційні і фрикційні).

Сукупність перерахованих властивостей виробів з полімерів дозволяють використовувати їх у багатьох сферах життєдіяльності людини. Можливість переробки термопластів значно здешевлює виробництво та зберігає навколишнє середовище.

Розділ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ З ВИКОРИСТАННЯМ CAE СИСТЕМИ SOLIDWORKS PLASTICS

2.1. Переваги застосування CAE систем для моделювання процесу лиття під тиском

CAE - загальна назва для програм та програмних пакетів, призначених для вирішення різних інженерних завдань: розрахунків, аналізу та моделювання фізичних процесів. Розрахункова частина пакетів найчастіше полягає в вирішенні задач за допомогою чисельних методів розв'язку диференціальних рівнянь (кінцевих елементів, метод кінцевих обсягів, метод кінцевих різниць та інших.).

Сучасні системи інженерного аналізу, або системи автоматизації інженерних розрахунків, CAE , застосовуються разом із CAD-системами. Провідні позиції на ринку CAE займають Ansys, MSC Software, Dassault Systemes, CD-adapco Group та LMS International. Крім них у цій галузі працює чимало невеликих компаній, але кількість виробників, зосереджених тільки на CAE, скорочується, тому що їх купують популярні виробники заради адаптування їх технологій у власні продукти.

Найбільш відомі виробники CAE систем :

- ALGOR, Inc.
- Altair Engineering
- Ansoft
- ANSYS, Inc.
- Blue Ridge Numerics, Inc.
- CD-adapco
- COMSOL, Inc.
- Dassault Systems
- ESI Group
- EXA

- Flomerics
- LMS International
- Livermore Software Technology Corporation
- Moldflow
- MSC Software Corporation
- Numerica
- Optics
- PTC
- UGS

2.1. Solidworks Plastics

Інтеграція Solidworks Plastics у робочі процеси забезпечує ряд переваг при розробці виробів та прес форм. Моделювання дозволяє ефективно оптимізувати процес ливарного формування пластмаси для створення якісного виробу та зниження виробничих витрат. Solidworks Plastics дозволяє прогнозувати дефекти деталей та знаходити способи їх усунення, оптимізувати ливникову систему та систему охолодження та визначити оптимальні параметри процесу перед створенням першого прототипу прес форми.

Використання Solidworks Plastics обумовлено тим що, дана CAE система із високою точністю моделює процеси лиття деталей під тиском, висока точність розрахунків обумовлена тісною кореляцію розробників між результатами, отриманими в Solidworks plastics та виробництвом. Для підтвердження розрахунків CAE системи , розробники використовували інструменти поляризаційно-оптичного та мікроскопічного аналізу відливка для порівняння даних із результатами моделювання. Сукупність перечислених факторів та успішна адаптація даної CAE системи у продукт для 3D моделювання Solidworks, визначають її одним із фаворитів програмного забезпечення для вирішення просторових задач.

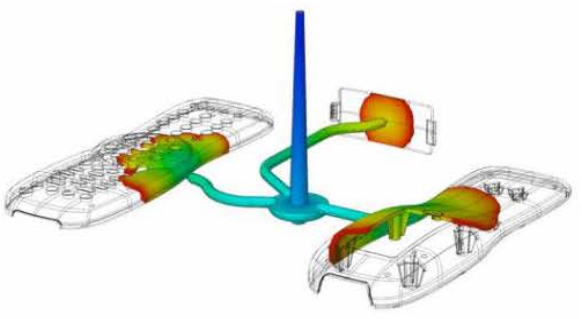


Рис 2.1. Приклад моделювання лиття корпусних деталей

Переваги інтеграції Solidworks Plastics у процес розробки виробів:

- Можливість прогнозування дефектів на стадії розробки.
- Методика виявлення місць утворення спаїв , недоливів або скупчення газів.
- Виявлення місць з нерівномірною усадкою матеріалу.
- Виявлення негативних коливань потоку або дефектів вприскування, які вказують на необхідність зміни положення інжекції.
- Виявлення недостатньо заповнених місць , що вказує на проблеми з проектуванням деталі чи умовами процесу.

Завданням дослідження є моделювання процесу лиття деталі під тиском , дослідження деформацій, усадочних ефектів прогнозування виникнення спаїв , під дією таких вхідних факторів, як температура розплаву та форми, тиск, механічні і теплофізичні властивості матеріалу.

Дослідити перебіг процесу охолодження відповідно до розробленої системи охолодження. Розрахувати час охолодження та перебування у формі для того аби мінімізувати деформацію та усадку деталі. Числові дослідження проводились за допомогою програми Solidworks Plastics.

Алгоритм вирішення задачі:

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

2.Створення макету ливникової системи.

3.Створення макету каналів охолодження.

4.Створення сітки.

5.Вибір матеріалу.

6.Задання параметрів лиття .

7.Виконання розрахунку.

2.2. Математична модель процесу лиття під тиском

Програмні продукти для моделювання лиття пластмас з використанням чисельних методів (комп'ютерного аналізу) набули широкого поширення як інструменти для вирішення практичних завдань інструментального та ливарного виробництва. Комп'ютерний аналіз дозволяє, ще до виготовлення прес форми оцінити роботопридатність конструкції ливарного виробу та оснастки, а також характеристики ливарного обладнання на особливості технологічної поведінки полімерного матеріалу, спрогнозувати та запобігти виникненню проблем, пов'язаних з появою дефектів виробів, тривалістю циклу лиття. Він може застосовуватися для виявлення причин і знаходження способів усунення дефектів під час лиття, якщо, наприклад, на етапі підготовки виробництва моделювання процесу не проводилося.

При виконанні моделювання процесу лиття термопластів у продуктах Solidworks Plastics, користувач має можливість застосовувати різні методи (технології) аналізу:

2,5D аналіз на сітці з трикутних елементів, побудованої на «середній лінії» ливарної порожнини (Midplane), 2,5D аналіз на поверхневій сітці із трикутних елементів, побудованої на оболонці твердотільної моделі (Dual Domain), а також 3D-аналіз на сітці з тетраедричних елементів.

У 2,5D методах застосовується комбінація кінцево-елементних і різницевої схеми з урахуванням моделі Хеле Шоу (Hele Shaw), описує процес двовимірного пошарового руху розплаву полімеру, тоді як для 3D аналізу моделюється тривимірний рух розплаву полімеру .

Кожен з методів має свої переваги та недоліки, тому вибір оптимального залежить від конструктивних особливостей ливарного виробу та вирішуваного завдання. Зокрема, 3D-аналіз більше підходить для розрахунку виробів з відносно великою товщиною стінок, тоді як для порівняно тонкостінних виробів зазвичай використовуються 2,5D-методи.

Різнице схема — кінцева система алгебраїчних рівнянь, поставлена у відповідність будь-якої диференціальної задачі, що містить диференціальне рівняння і додаткові умови (наприклад крайові умови та / або початковий розподіл). Таким чином, різницеві схеми застосовуються для зведення диференціальної задачі, що має континуальний характер, до кінцевої системі рівнянь, чисельне вирішення яких принципово можливе на обчислювальних машинах. Алгебраїчні рівняння, поставлені у відповідність диференціальних рівнянь виходять застосуванням різницевого методу, що відрізняє теорію різницевих схем від інших чисельних методів розв'язання диференціальних завдань (наприклад проекційних методів, таких як метод Гальоркіна).

Метод скінченних елементів (МСЕ) — числова техніка знаходження розв'язків інтегральних та диференціальних рівнянь у частинних похідних (ДРЧП). Процес розв'язання побудований або на повному усуненні диференціального рівняння для стаціонарних задач, або на розкладі ДРЧП в апроксимуючу систему звичайних диференціальних рівнянь, які потім розв'язуються використанням якої-небудь стандартної техніки, такої як метод Ейлера, Рунге-Кутти тощо.

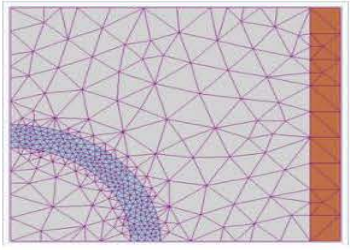


Рис 2.2. Двовимірна сітка

При розв'язанні часткових диференціальних рівнянь головною метою є створення рівності, що апроксимує досліджувану рівність, і є чисельно стабільною,

тобто помилки у вхідних даних і проміжних обчисленнях не акумулюються і не спричиняють беззмістовних результатів.

Моделювання руху розплаву полімеру на основі моделі Хеле Шоу

Модель Хеле Шоу описує процес двовимірного пошарового руху в'язкої речовини по пористій поверхні. Потік Hele Shaw визначається як потік Стокса між двома паралельними плоскими пластинами, розділеними нескінченно малим зазором, названий на честь Генрі Селбі Хеле Шоу, який досліджував проблему в 1898 році. Різні проблеми механіки рідини можна апроксимувати до потоків Хеле Шоу, тому дослідження цих потоків є важливим. Апроксимація потоку Хеле Шоу особливо важлива для мікропотоків. Це пояснюється технологіями виробництва, які створюють неглибокі плоскі конфігурації, і типово низьким числом Рейнольдса для мікропотоків.

Основне рівняння течій Хеле Шоу ідентичне рівнянню нев'язкого потенціального потоку та течії рідини через пористе середовище (закон Дарсі).

Математичне формулювання потоків Хеле Шоу:

Нехай x, y — направлені паралельно поверхні площини , напрямок z перпендикулярний площині , H - зазор між площинами який знаходиться у системі відліку, z (z=0, H) є асимптотично малий та рухається до нулю $H \to 0,$

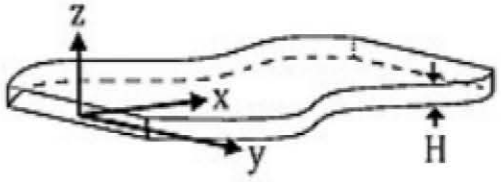


Рис 2.3. Схематичне зображення напрямку векторів [15].

Профіль швидкості вектора z в напрямку перпендикулярному площині є параболічним (тобто є квадратичним функції координати в цьому напрямку). Рівняння, що зв'язує градієнт тиску з горизонталлю швидкість є,

$$\text{u}= -\frac{1}{2\mu}\times\frac{\vartheta p}{\vartheta y}\times z(H-z)\ ;$$

$$\nu = -\frac{1}{2\mu}\times\frac{\vartheta p}{\vartheta y}\times z(H-z0\ ; \qquad (2)$$

p (x, y, z) – місцевий тиск, μ – в'язкість рідини.

У той час як величина швидкості , $\sqrt{u^2+v^2}$ змінюється в напрямку **z** напрямок вектора швидкості не залежить від напрямку **z** , тобто потік обтічних $tan^{-1}(\frac{v}{u})$ ліній на кожному рівні подібні і є шаблонними. Усуваючи тиск у наведеному вище рівнянні, одержуємо:

$$\omega z = \frac{\vartheta v}{\vartheta x} - \frac{\vartheta u}{\vartheta y}; \qquad (3)$$

де – ωz завихреність у напрямку z. Таким чином, моделі обтічних ліній відповідають потенційному потоку (зворотний потік). На відміну від потенційного потоку ***Г*** тут циркуляція навколо будь-якого замкнутого контуру ***C*** , будь то він охоплює твердий предмет чи ні, дорівнює нулю.

$$\Gamma=\oint_C \times udx+vdy=-\frac{1}{2\mu}z(H-z)\oint_c \frac{\vartheta v}{\vartheta x}dx-\frac{\vartheta u}{\vartheta y}dy=0\ ; \qquad (4)$$

де останній інтеграл встановлюється рівним нулю, оскільки ***p*** є однозначною функцією, а інтегрування виконується у замкнутому контурі.

Вертикальну швидкість $\mu=0$ можна побачити з рівняння неперервності. Інтегруючи після ***z*** отримуємо головне рівняння потоків Хеле Шоу, рівняння Лапласа:

$$\frac{\vartheta^2 p}{\vartheta x^2}+\frac{\vartheta^2 p}{\vartheta y^2}=0\ ; \qquad (5)$$

Це рівняння доповнюється граничними умовами відсутності проникнення на бічних стінках геометрії.

$$\nabla p\times \tilde{n}=0\ ; \qquad (6)$$

де $\hat{n}$ – одиничний вектор, перпендикулярний до бічної стінки.

Термін клітина Хеле Шоу зазвичай використовується для випадків, коли в'язка речовина вводиться геометрію, зверху або знизу площини, а також коли в'язка речовина обмежена іншою рідиною або газом. Для таких потоків граничні умови визначаються тисками і поверхневим натягом.

Принцип розрахунку усадки матеріалу

Під час виготовлення процесом лиття під тиском формована деталь обмежена в прес 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 прес формі. По-перше, адгезія по стінкам прес форм утримує (по меншій мірі, зовнішній оболонці) тверді шари від переміщення, а по-друге, ново 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 охолоджуватись 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 розрахунку припускаємо лінійну пружну поведінку в затверділий частині і чисто в'язку поведінку в розплаві. Доцільно наблизити лінійну усадку з використанням складу:

$$\varepsilon i = \int_{Tr}^{T0} \times ai(T)dT \; ; \tag{6}$$

де a_i (T) є лінійний коефіцієнтом теплового розширення ,при температурі T в і-м головному напрямку. T0 - температура, коли місцевий потік порожнини досяг атмосферного стану. Це значення отримано з симуляції потоку. Tr - температура в приміщенні.

Усадкою називають зменшення розмірів сформованого виробу при його охолодженні. Усадка зумовлюється зміною структури пластмаси за рахунок поглиблення реакції поліконденсації, виділення вологи і летючих речовин у навколишнє середовище після знімання виробу за рахунок різниці температурних коефіцієнтів розширення пластмас і металу форми. Усадка визначається як різниця розмірів виробу і оформлювальної порожнини форми, що виражена в % від розмірів форми.

Формули для розрахунку об'ємної усадки:

$$S_l = (l_ф - l_в) \times \frac{100}{V} \; ; \tag{7}$$

де V –об'єм матриці прес форми, (мм^3);$l_в$- довжина виробу , $l_ф$– довжина сформованого зразка, (мм^3),

Визначають також анізотропію усадки:

$$A = \frac{S_n}{S_в} \; ; \tag{8}$$

де S_n – усадка, визначена при перпендикулярному напрямі формування, %; $S_в$ – усадка, визначена вздовж напряму формування, %.

Анізотропія усадки може бути обумовлена орієнтацією ланцюгів макромолекул полімеру або частинок наповнювача . Кристалічні полімери мають більшу усадку, ніж аморфні. Введення наповнювачів знижує усадку. Вміст летких і вологи в сировині сприяє збільшенню усадки виробів

Анізотропія усадки термопластів - відношення величини усадки (або додаткової усадки) направлено перпендикулярно руху розплаву полімеру до величини усадки вздовж напряму лиття.

Розрахунок Теплових режимів та прогнозування роботи прес форм для лиття пластмас під тиском

Система охолодження ливарної форми призначена для відводу з робочої зони тепла , поступаючого разом з розплавом. Цикл лиття полімерного виробу визначається часом його охолодження. В результаті утворення осадків, старіння та корозії тепловідвідних поверхонь каналів охолодження, утворюється похибка, яку важко врахувати при виконанні розрахунку теплових режимів, які дозволяються прогнозувати процеси охолодження прес форми.

Оцінка працездатності системи охолодження ливарної форми. Ефективно працююча система охолодження прес форми повинна за час циклу забезпечити відведення тепла QM, яке можна оцінити:

$$Q_m = \frac{c_p m(T_н - T_к)}{t_ц} \quad ; \qquad (9)$$

де c_p- середня теплоємність полімеру в межах температур його перебування в прес формі, $\frac{кДж}{кг\,С}$, m- маса виливки, кг.

Інтенсивність охолодження та його рівномірність залежать від розташування каналів охолодження щодо формотворних поверхонь прес форми .

Недостатня інтенсивність охолодження призводить до збільшення циклу лиття tц і дорожчання виливки:

$$\tau_{\text{ц}} = 1.3 \times \tau_0 \quad ;$$

$$t_0 = -\frac{1}{\pi} \times \frac{\delta}{\alpha} \times In\left(\frac{4}{\pi} \times \frac{T_{\text{л}} - T_{\text{ф}}}{T_{\text{л}} - T_{\text{ф}}}\right); \tag{10}$$

де t_0 -час охолодження, с; δ-товщина стінки виробу, α-коефіцієнт температуропровідності полімеру, м^{2}с; T_k, $T_{\text{ф}}$, $T_{\text{л}}$ -температура до якої охолоджується виріб, температура форми, температура розплаву що надходить у форму, °С. Кількість тепла Q_F, яку здатна відвести система охолодження.

$$Q_F = K_T \times F(T_{\text{ф}} - T_{\text{к}}); \tag{11}$$

де K_T–коефіцієнт теплопередачі $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\text{с}}$.

Величину коефіцієнта K_T визначаємо у вигляді:

$$K_T = \frac{1}{\frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{1}{\alpha}} \quad ; \tag{12}$$

де δ_w-характерна відстань від формоутворюючої поверхні до каналу системи охолодження, м; λ_w–теплопровідність металу форми, $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\,\text{с}}$.

Математична модель

Сучасні методи розрахунку системи охолодження (наприклад програмні Solidworks Plastics) дозволяють прогнозувати їх роботу в умовах, наближених до реальних, при цьому враховують невизначеність вихідної інформації, наприклад зміна коефіцієнта теплопередачі через забруднення, старіння і корозію теплопередаючих поверхонь, каналів охолодження . Однак, така невизначеність зазвичай призводить до завищення теплопедачі поверхні, а отже, і рівня проектно-розрахункової надійності. У зв'язку з цим будь-яка додаткова інформація про фізико-хімічні явища, що протікають на цих поверхнях, дозволить зменшити її

запас і розробляти ефективні енергозберігаючі технологічні схеми, зберігаючи необхідний рівень проектно-розрахункової надійності.

Відсутність необхідності інформації про процеси накипоутворення для отримання достовірних кількісних оцінок при прогнозуванні роботи системи охолодження не дозволяє здійснювати оперативне керування величини τохл. тобто підтримувати коефіцієнт теплопередачі не нижче допустимого значення.

$$K_T = \frac{1}{\frac{\delta_w}{\lambda_w} + \frac{\delta_s(\tau)}{\lambda_s}\frac{1}{\alpha(\tau)}} \quad ; \qquad (13)$$

де λ_w, λ_s –теплопровідність металу форми та шару накипу , α – коефіцієнт тепловіддачі до потоку охолоджувальної рідини. Створена нами база даних з експлуатації ливарних форм дозволила розробити програмний модуль розрахунку розподілу температур (рис. 2.5) , шару накипу та у пристінному шарі. Завдання управління теплопередачею полягає у підтримці значення [КТ] при тривалій експлуатації ливарної форми та визначенні міжремонтного пробігу T_y ливарної форми. При зниженні КТ < [КТ], а відповідно і збільшенні $\tau_{охл}$, стає економічно недоцільним здійснювати процес лиття на

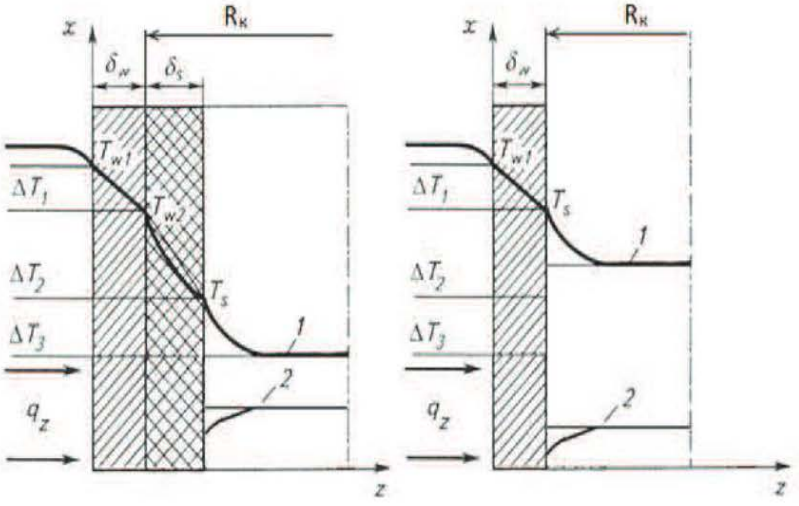


Рис 2.5. Розподіл температур за товщиною [6].

де -σ_w, плити матриці, шару накипу, σ_s- перерізу каналу охолодження(крива 1); σ_s- рівноважні концентрації солей калію (крива 2); q_z-питомий тепловий потік від розплаву ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$)

2.3. Моделювання процесу лиття деталі «корпус » на основі моделі Хеле Шоу за допомогою програми Solidworks Plastics

Деталь «корпус» - корпусна деталь, яка виконує функцію кожуха ремінного шківа, який передає обертальний рух від електродвигуна до виконавчої ланки механізму. Деталь виготовляється із поліаміду РА. Деталь працює за звичайних умов , при температурі 35 °С , агресивні чинники відсутні.

Деталь має наскрізні отвори для фіксації на конструкції станини автоматизованої лінії. На носі деталі розроблена ступінь, місце для встановлення деталі з листового металу - верхня частина кожуху.

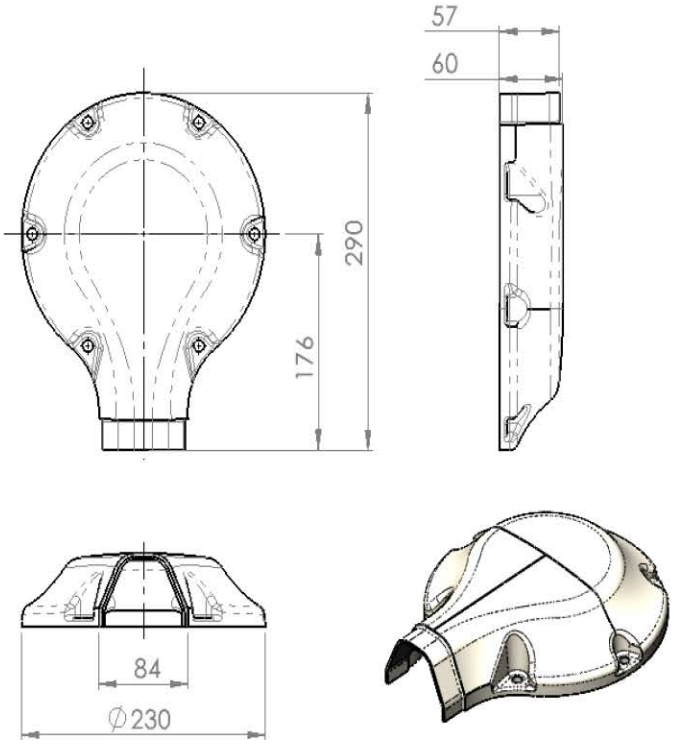


Рис 2.6. Габаритні розміри деталі

Деталь корпус виготовляється шляхом лиття полімеру під тиском у формі із ГКС. Відповідно до реалізації форми проводимо моделювання із відповідним типом ливникової системи.

Параметри дослідження

Для проведення моделювання процесу лиття необхідно задати наступні параметри:

1. Створити макет ливникової системи , або задати точку подачі матеріалу .

Оскільки у даній формі використовується гарячеканальна ливникова система - ливникові канали не виконуються конструкції форми. Відповідно до обраної точки подачі матеріалу задаємо точку інжекції.

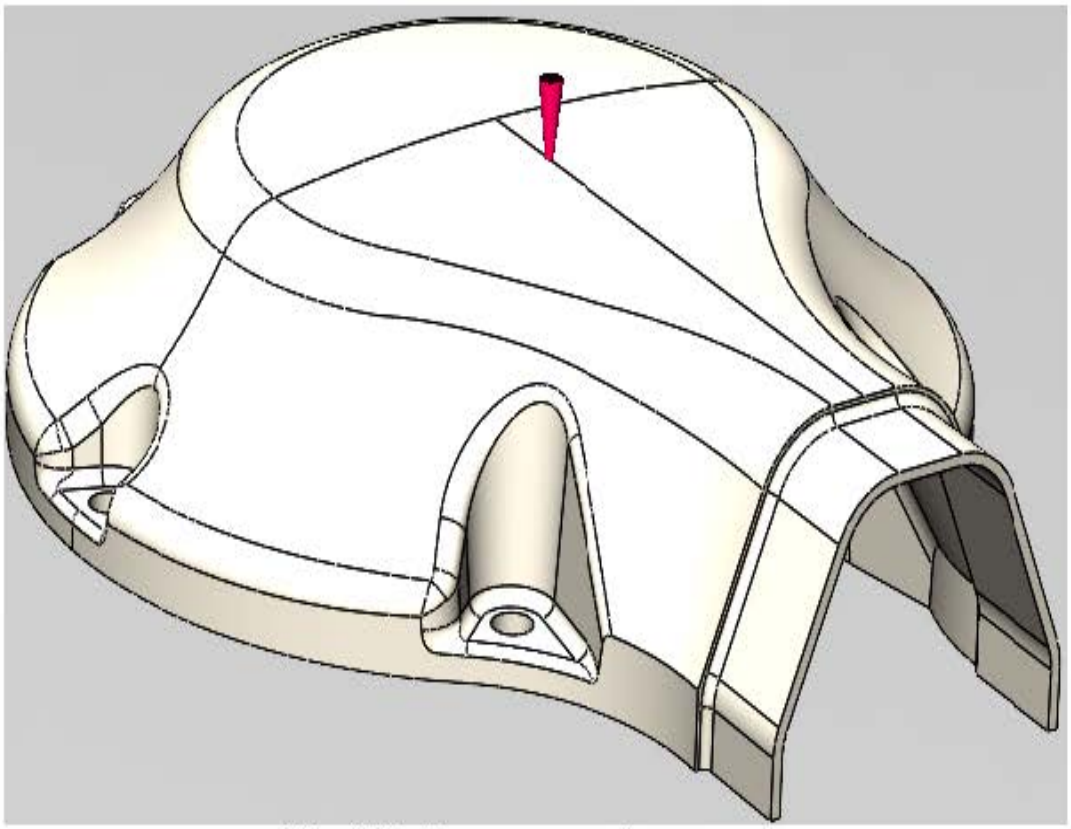


Рис 2.7. Точка подачі розплаву

2.Створення макету охолоджуючих каналів - для дослідження процесу охолодження деталі.

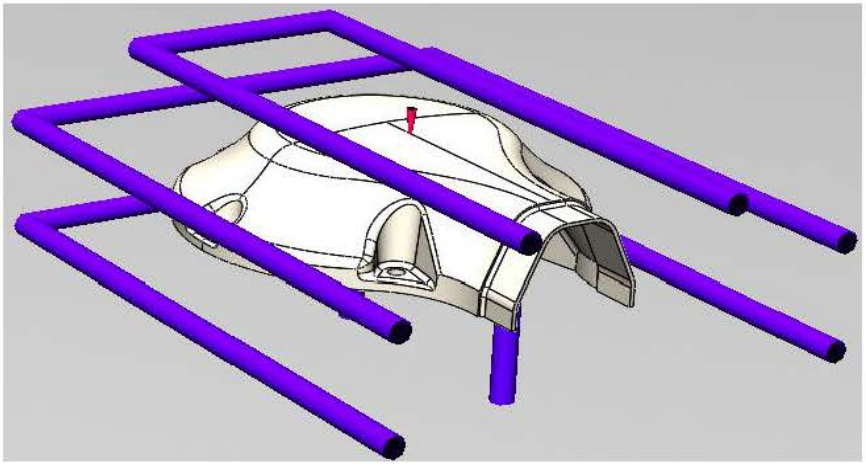


Рис 2.8. Макет системи охолодження пуансона та матриці

В даному випадку точкою подачі матеріалу слугує точка центру мас деталі. Вибір даної точки аргументується рівномірним розподілом розплаву у процесі лиття.

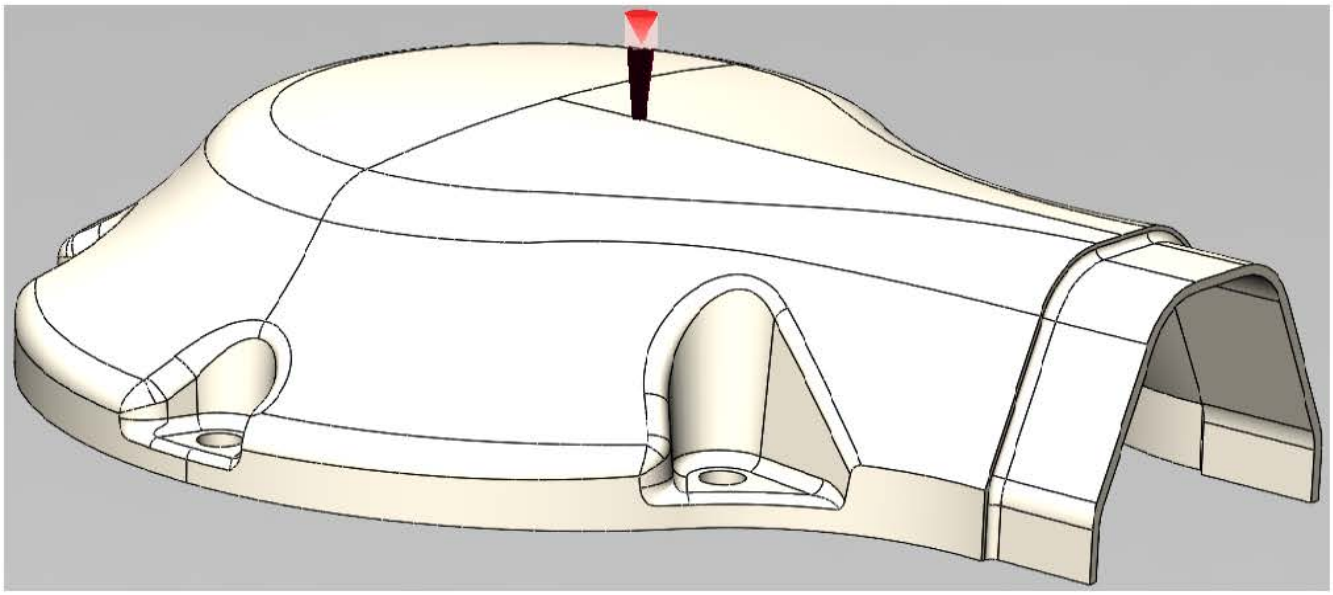


Рис 2.9. Місце розташування точки інжекції.

Деталь корпус відливається у двох-гніздовій прес формі із гарячеканальною системою. Гарячеканальна система - забезпечує підведення полімеру від сопла термопластавтомата до формуючої порожнини прес форми. ГКС - відповідає за підтримку температури розплаву пластмаси під час її подачі у прес форму.

Створення сітки

Сітка розділяє кожну область моделі, порожнину, систему ливників, систему охолодження , вставки та прес форму на безліч скінченні елементи. У кожному елементі програма застосовує відповідні рівняння збереження стану. Рівняння збереження обчислюють потік розплавленого полімеру та тепла, моделюють фазову зміну в міру охолодження розплаву та прогнозують залишкові напруги та їх вплив на необмежену форму деталі. Для аналізу твердого тіла та оболонки потрібно створити сітку для обчислення. Вимоги до сітки відрізняються для кожної процедури.

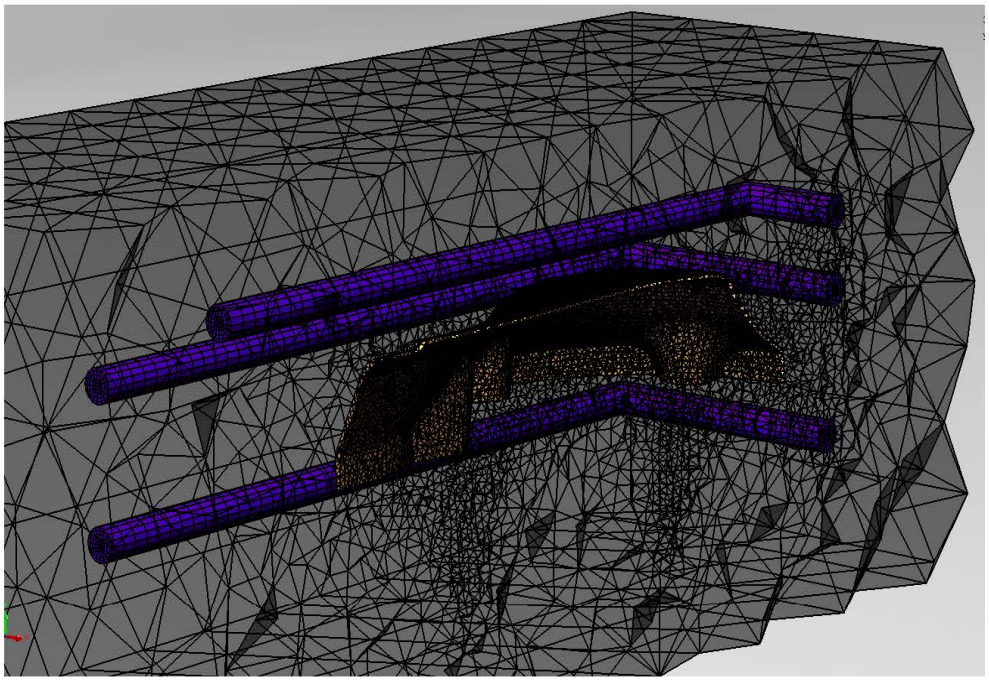


Рис 2.10. Об'ємна твердотільна сітка

Процедура аналізу поверхні є спрощенням для тонких деталей на основі апроксимації потоку типу Хеле Шоу. У процедурі аналізу використовується пропрієтарний метод дискретизації бінарної площини, в основі якого лежить трикутна сітка поверхні. Програма створює сітку об'єму деталі, ця сітка класифікується як сітка оболонки.

Процедура створення твердотільної сітки .

Процедура аналізу твердого тіла розбиває обсяг кожної області на поліедральні елементи. Програма автоматично генерує ці елементи. Ці тверді елементи можуть мати одну з трьох форм: тетраедральну, гексаедральну або призматичну. Необхідна сітка цього типу аналізу класифікується як сітка твердого тіла.

Програма, як і раніше, створює сітку поверхні, як у процедурі створення сітки поверхні, але елементи (грані) поверхні ефективно представляють межі замкнутих твердих поліедральних елементів.

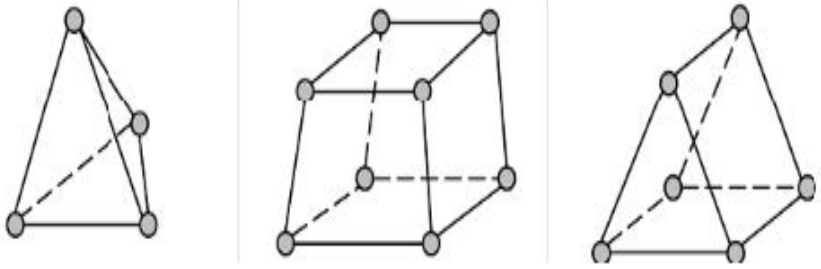


Рис 2.11. а)Тетраедральна. б) Гексаедральна. в)Призматична.

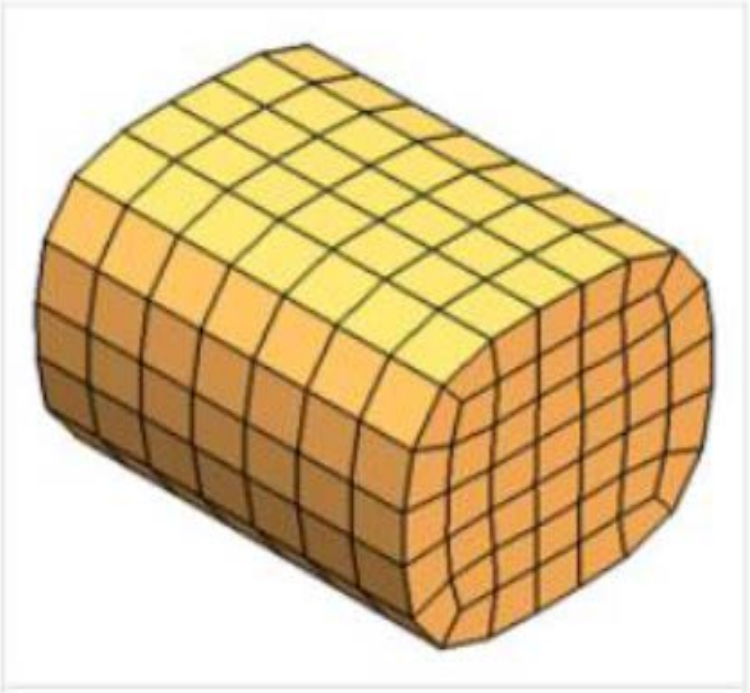


Рис 2.12. Гексаедральна сітка.

При створенні гексаедральної сітки використовуються неортогональні гексаедральні елементи для заповнення обсягу області. У регіонах, де програма не може створювати гексаедральні елементи достатньо високої якості, замість цього створюються тетраедральні елементи.

Гексаедральні елементи, з'єднані з деталлю та потоком розплаву, можуть потенційно забезпечувати більш точні рішення. Однак тип гексаедральної сетки може не підходити для всіх форм. Програма спочатку створює трикутну поверхню сітки в якості сітки поверхні, а потім створює гексаедральну на поверхневій , а не на геометрії деталі.

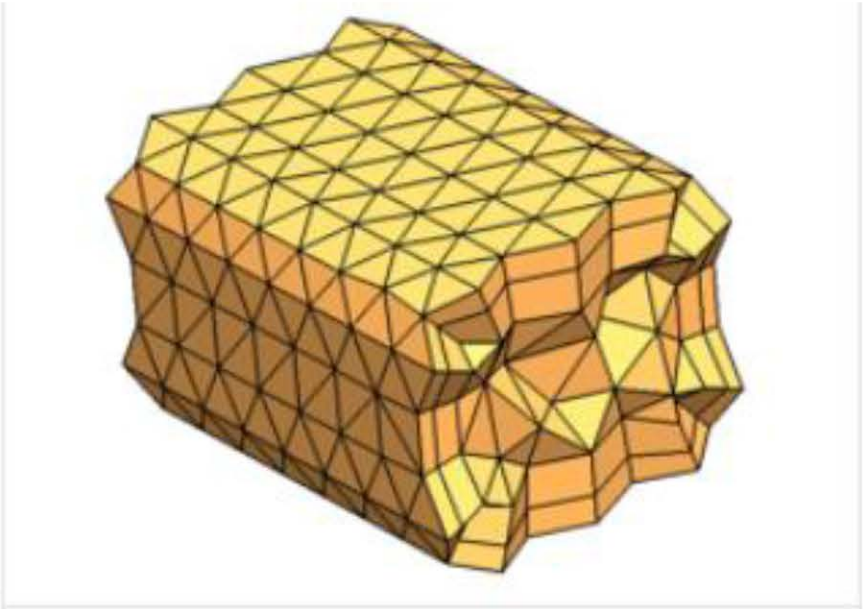


Рис 2.14. Гібридна тетраедральна сітка.

Тип тетраедральної гібридної сітки використовує трикутну сітку поверхні, як основу для створення об'ємних тетраедральних елементів, зазвичай комбінованих з граничними шарами. Граничні шари – це шари призматичних елементів на поверхні тіла. Якщо проміжки між зазорами малі відносно розміру локальної сітки поверхні, призматичний елемент краще підтримує високоякісну, менш спотворену форму, ніж тетраедральний елемент.

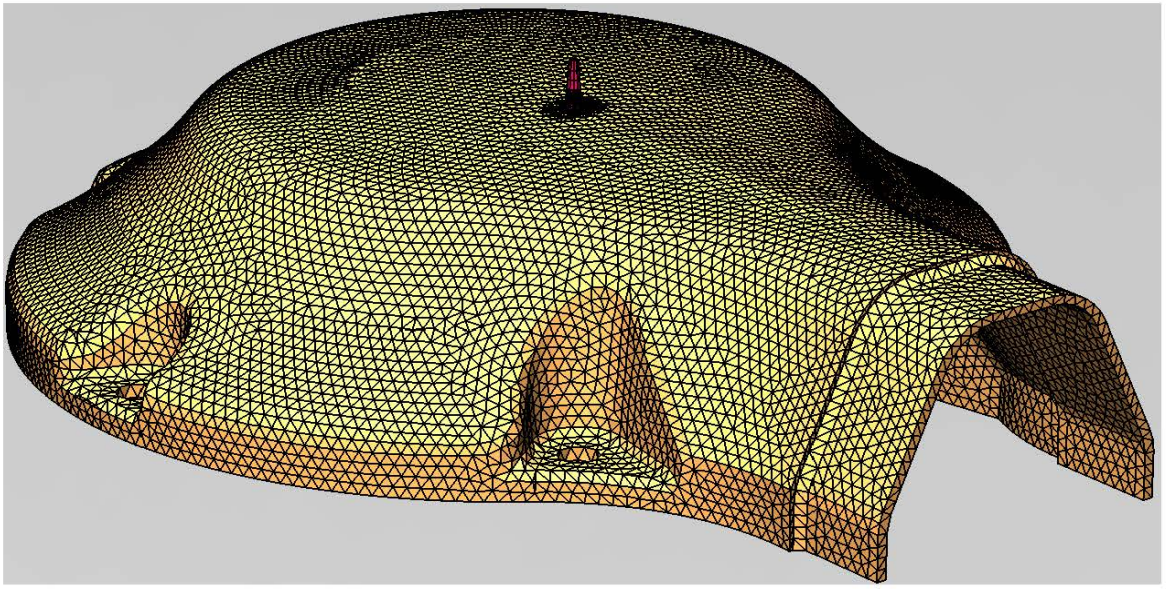


Рис 2.12. Тетраедральна сітка твердого тіла деталі корпус .

Для проведення дослідження було використано тетраедральну поверхневу сітку. Для об'ємної моделі програма сформувала тетраедральну об'ємну сітку на основі поверхневої.

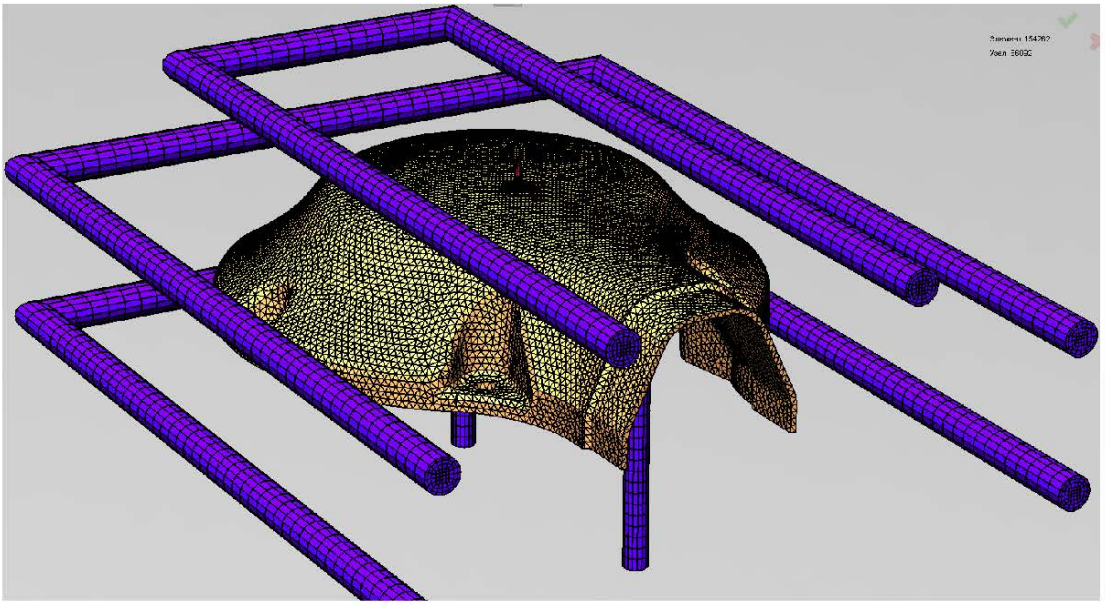


Рис 2.13. Сітка твердого тіла деталі та системи охолодження

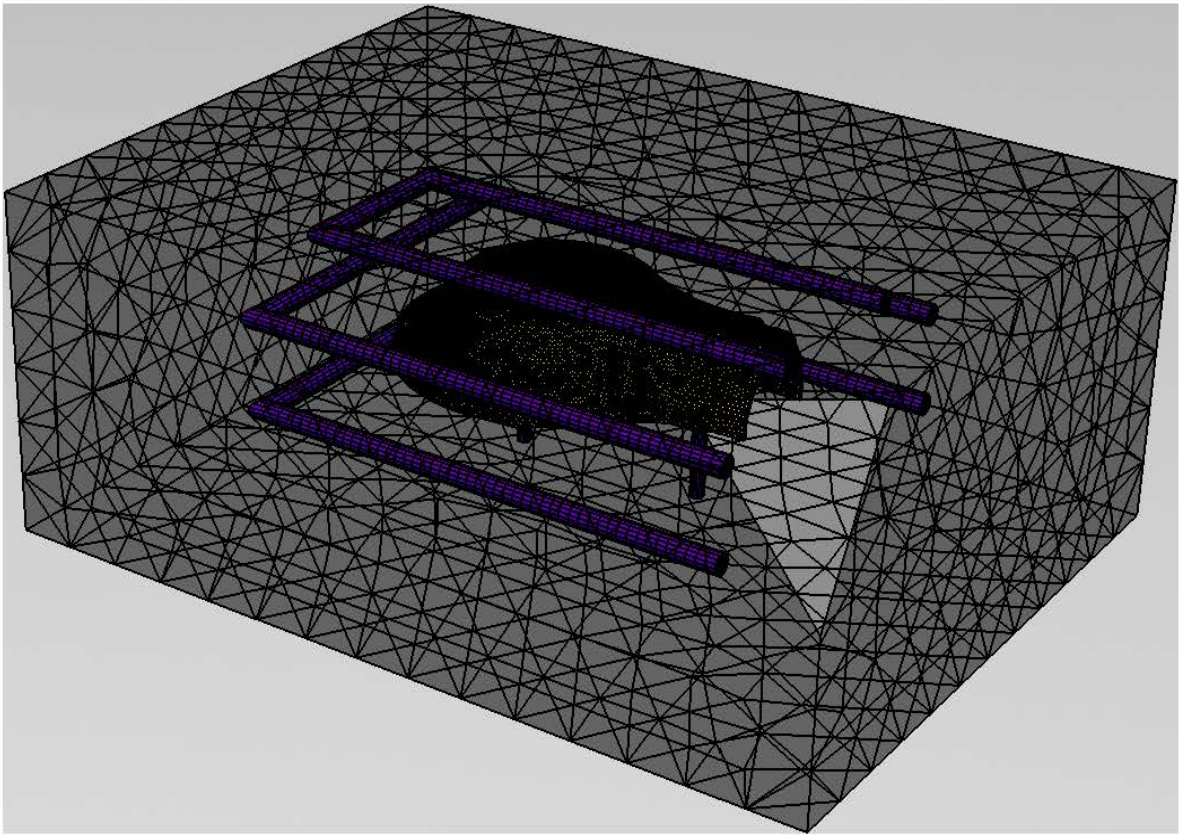


Рис Рис 2.14. Сітка твердого тіла

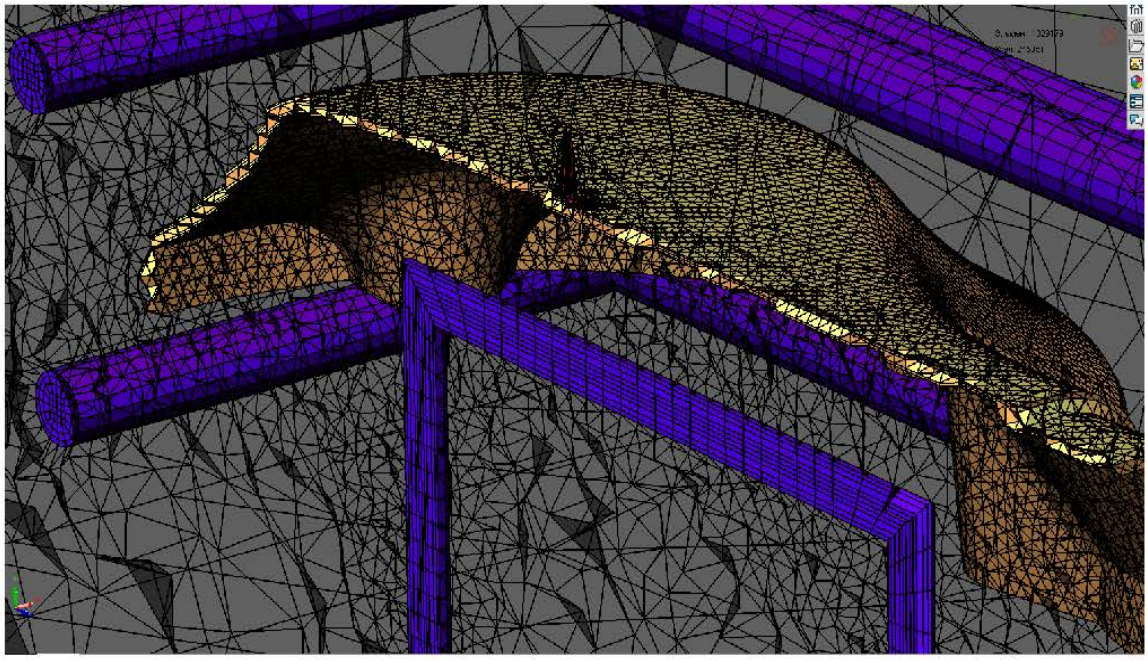


Рис Рис 2.15. Сітка твердого тіла у розрізі

Тип сетки	Сетка твердого тела
Метод создания сетки	Автоматически
Общее число узлов сетки поверхности	26101
Общее число элементов сетки поверхности	52172
Тип сетки твердого тела	Тетраэдральная гибридная
Общее число узлов сетки твердого тела	219782
Общее число элементов сетки твердого тела	1029179
Водонепроницаемый	Да
Номер группы сетки	2
Пересечения элементов	0
Однородный	0
Неисправные элементы	0.088252 %
Очень плохие элементы	0.035852 %
Макс. соотношение размеров	48.524539
Несовпадающие элементы	0
Имя компьютера	WIN-1RBUP2697O5

Рис 2.16. Загальна інформація про сітку твердого тіла

Результати моделювання лиття деталі корпус

Виконано моделювання лиття деталі корпус із паралельним розрахуноком часу необхідного для заповнення формуючої порожнини форми. Результатом розрахунку є вишуканий час - 4.5 с. та діаграма протікання розплаву у формуючій порожнині

На епюрі часу заповнення, відображається сформований профіль розплаву полімеру у формуючій порожнині прес форми.

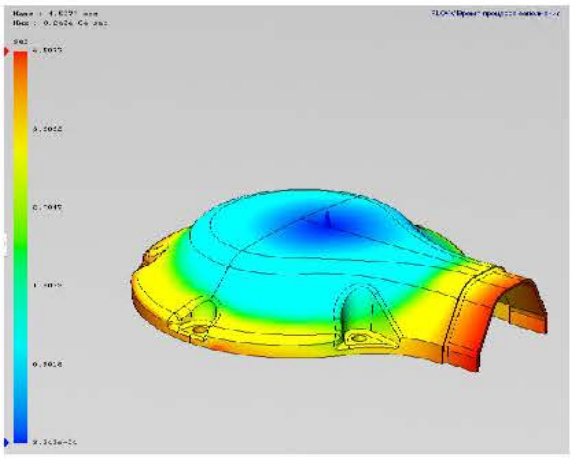


Рис 2.17. Час заповнення форми

Дане дослідження проводиться з метою визначення:

- Час необхідний на заповнення формуючої порожнини
- Вірність розташування точки вприску розплаву полімеру, оскільки крайні точки деталі заповнюються рівномірно по всьому контуру

Як результат сині області показують початок фронту потоку. Червоні області вказують одне з наступного:

- Положення фронту потоку на будь-якому заданому часовому інтервалі під час анімації етапу заповнення;
- Кінець заповнення при зупинці потоку, навіть якщо програмне забезпечення виявляє недостатнє заповнення.

Важливим моментом є рівномірне заповнення розплавом форми. Рівномірність заповнення відслідковується на діаграмі. Рівномірність заповнення на діаграмі відображається наявністю червоних та помаранчевих областей на нижній частині деталі. Це свідчить про те що розплав досягає крайніх точок деталі рівномірно по всій нижній площині деталі.

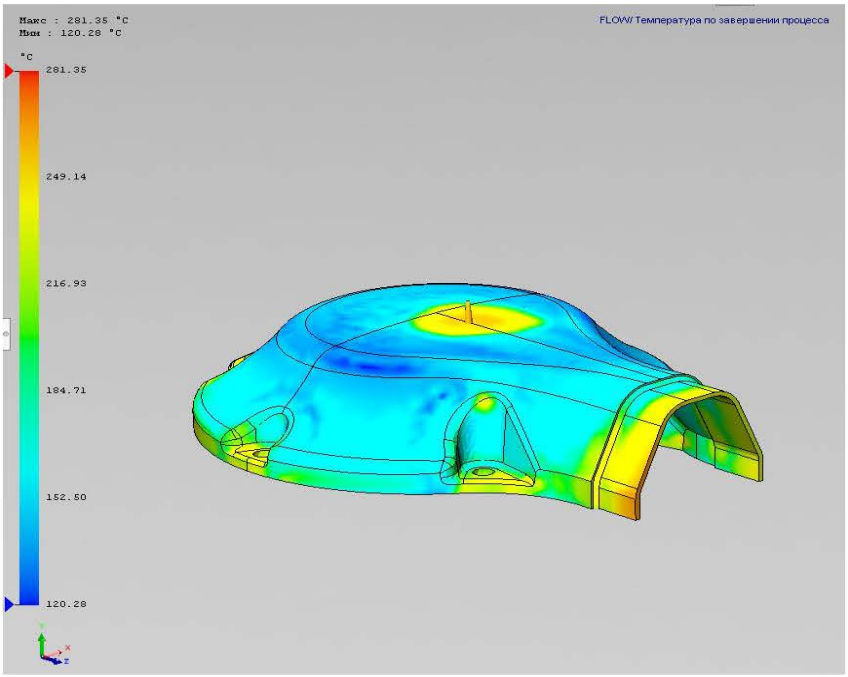


Рис 2.18. Температура після завершення подачі розплаву у формуючу порожнину.

Наприкінці заповнення застигає дуже тонкий шар пластмаси, що контактує зі стінками порожнини. Він охолоджується до температури прес форми. Товщина такого застиглого шару залежить від товщини стінок деталі. Товщина залежить від різниці температур розплаву та прес форми та теплопровідності матеріалу. Для

зовнішньої поверхні деталі як температура в кінці заповнення відображають значення, взяті з центру найближчої до поверхні комірки сітки твердого тіла. Так як це розташування знаходиться частково всередині деталі.

Діаграма температури деталі після завершення подачі розплаву показує різницю температур у різних частинах деталі. Відслідковується значна різниця температур між крайніми верхніми та крайніми нижніми точками деталі. Максимальна температура спостерігається у точці інжекції та у крайніх нижніх точках деталі.

Діаграма температур після завершення процесу охолодження деталі.

На час охолодження впливають два фактори: температура розплаву та температури прес форми. Збільшення будь-якої з цих температур зазвичай призводить до збільшення часу охолодження.

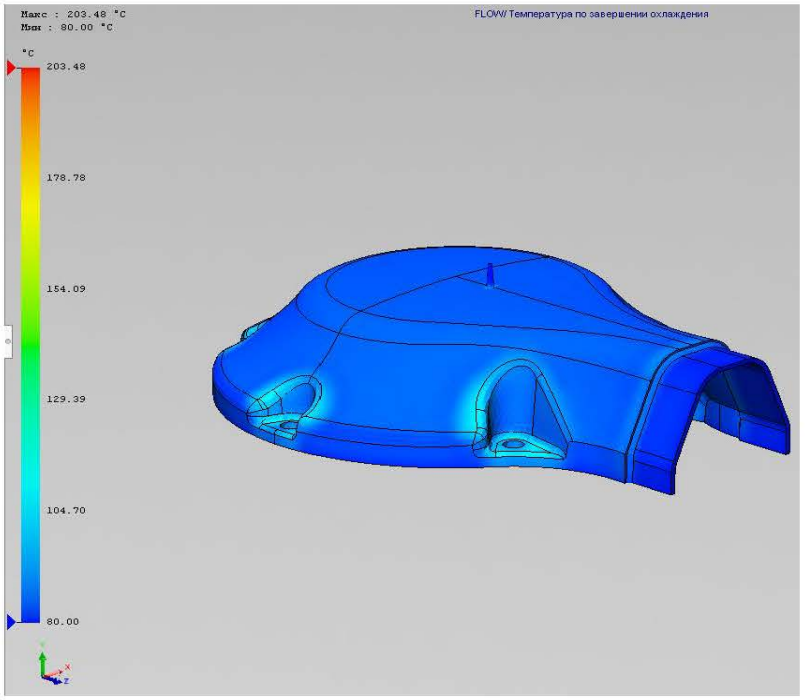


Рис 2.19.Температура деталі після охолодження

Дане дослідження проводиться з метою визначення:

- Перевірка роботи системи охолодження
- Перевірка рівномірного охолодження деталі

- Вірність розташування охолоджуючих каналів у відповідних формуючих деталях прес форми.

Прогнозування утворення западин та недоливів, які можуть бути спричинені недостатнім тиском підживлення розплавом полімеру у формуючу порожнину.

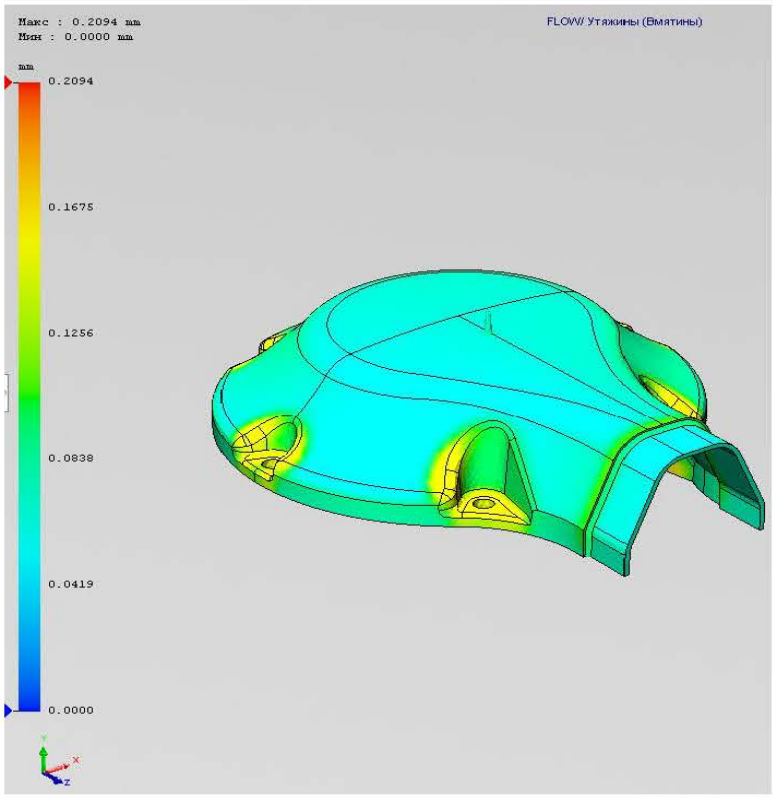


Рис 2.20. Прогнозування утворення западин.

Вм'ятини - це западини на поверхні формованої пластмасової деталі. Фундаментальна причина утворення вм'ятин полягає в тому, що молекули полімеру недостатньо вдавлюються в деталь, щоб компенсувати усадку, що виникає. Більш товсті частини деталі охолоджуються повільніше тонких областей, призводять до значної усадки в товстіших областях. Після охолодження та затвердіння зовнішнього шару пластичного матеріалу розплавлена серцевина матеріалу передає тепло стінкам порожнини через затверділу поверхню. Пластичні матеріали є ізоляторами і не передають тепло ефективно, що знижує швидкість охолодження областей більш товстої серцевини. Чим довше охолоджується пластичний матеріал, тим більше його усадка.

Моделювання процесу охолодження

Дане дослідження проводиться з метою визначення:

- Визначення часу необхідного на застигання деталі
- Перевірка рівномірного охолодження деталі

Для моделювання процесів охолодження охолодження був побудований макет системи охолодження який приймав участь у розрахунках із властивостями:

- Швидкість потоку : 10 л/хв;
- Температура 18 °C;
- Охолоджувальна рідина : вода.

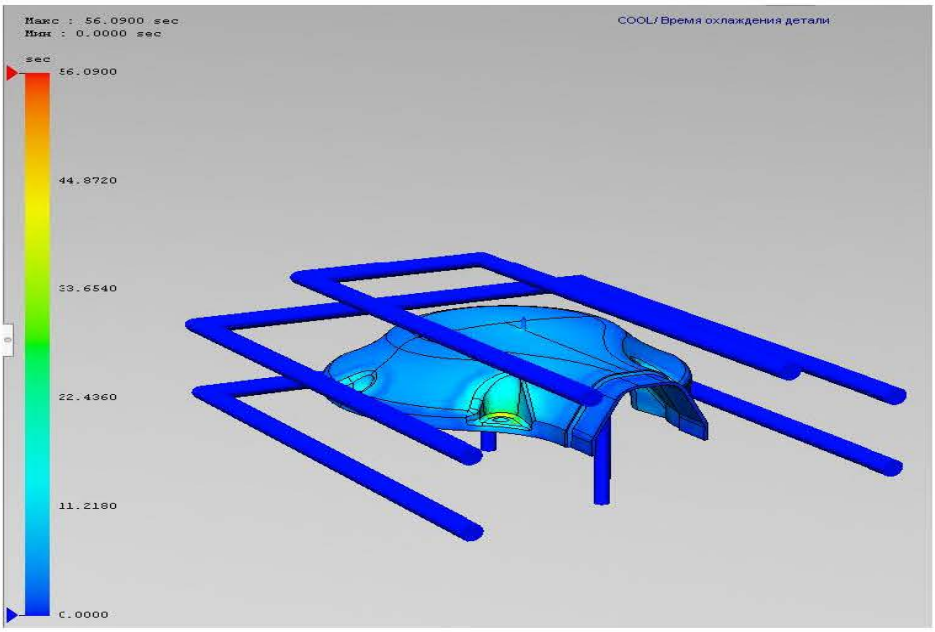


Рис 2.21. Результат розрахунку системи охолодження

В цілому, при аналізі охолодження необхідно враховувати два основні фактори:

1. Визначення необхідного часу для рівномірного охолодження всієї площі поверхні деталі.

2. Підтримка однорідного розподілу температури в серцевині та на поверхнях прес форми

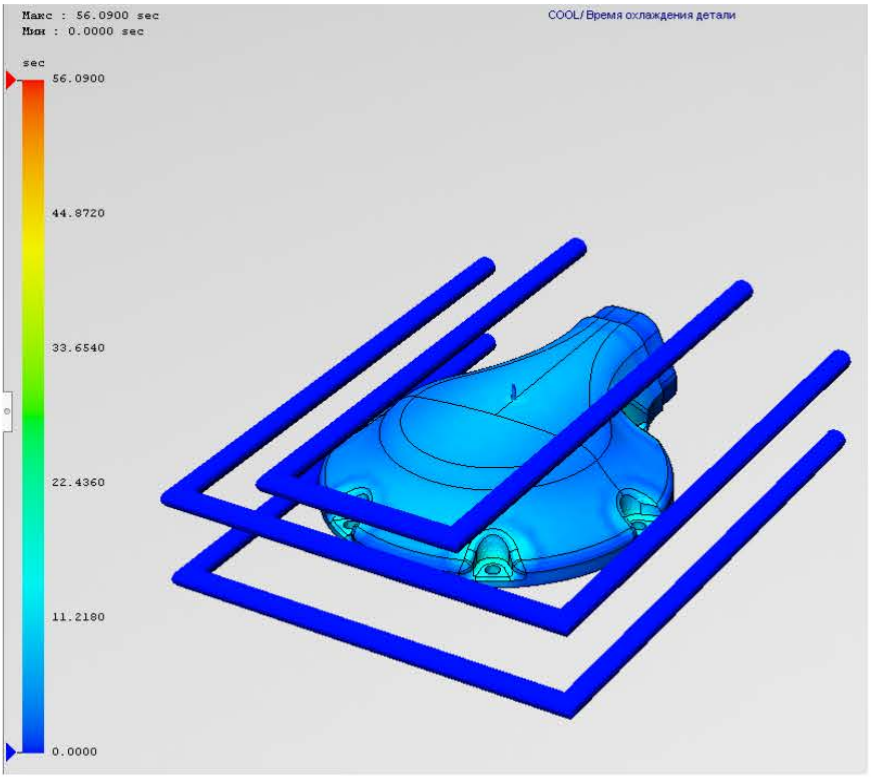


Рис 2.22. Результат розрахунку системи охолодження

Відповідно до до результатів розрахунку охолодження деталі , можна зробити висновок що запропонована геометрія охолоджуючих каналів справляється з відводом теплоти від формуючих деталей форми. Довжини каналів системи охолодження вистачає для відводу теплоти. В результаті деталь охолоджується рівномірно.

Що стосується геометрії пластичної деталі, однорідне охолодження деталі сприяє утворенню однорідної структури відливки , однорідному розподілу напруг, а також, до більш однорідних розподілів об'ємної усадки.

Сукупність всіх цих факторів призводить до створення формованої деталі, для якої менш ймовірна деформація форми через нерівномірне охолодження та присутність напруги зміщення або усадки.

Щодо самої прес форми для лиття під тиском зазвичай бажано досягти рівномірних розподілів температур на поверхнях серцевини прес форми та порожнин. Якщо припустити, що у деталі, що відливається однакова товщина стінок, однорідні температури на поверхнях прес форми приведуть до рівномірного

охолодження по всій площі поверхні деталі. В результаті ми маємо деталь, яка менш схильна до деформації.

Дослідження навантаженості системи охолодження:

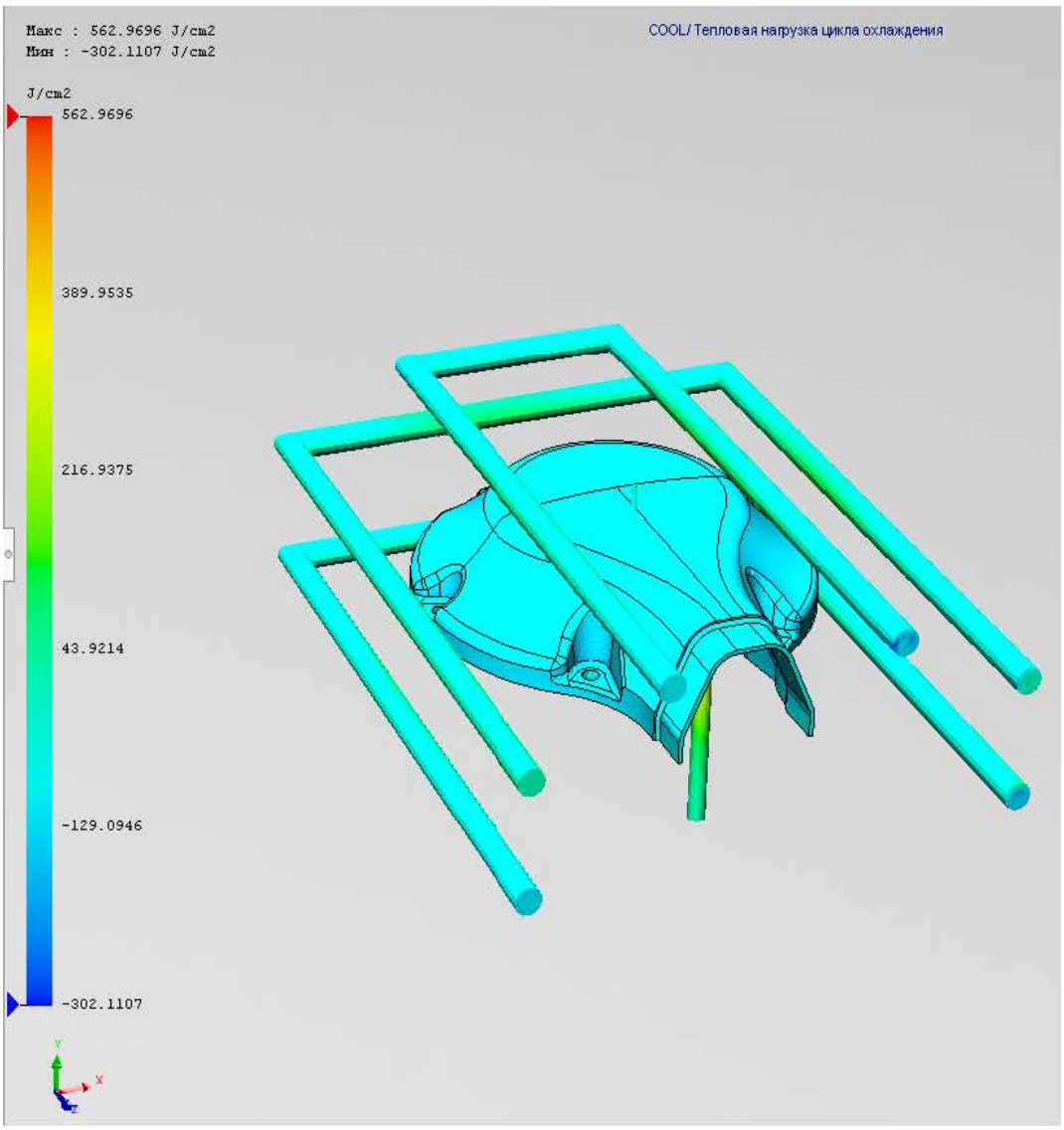


Рис 2.23.Теплове навантаження на систему охолодження

Результат розрахунку, діаграма , яка відображає яку кількість теплоти відводить система охолодження від формуючої порожнини прес форми. Відповідно до результатів, можна зробити висновок що систему охолоджувальних каналів можна оптимізувати. Тобто є можливість зменшити діаметр каналів та їх загальну довжину, оскільки вона не навантажена.

Результат щільності в кінці стиснення можна використовувати для оцінки ефективності етапу стиснення деталі.

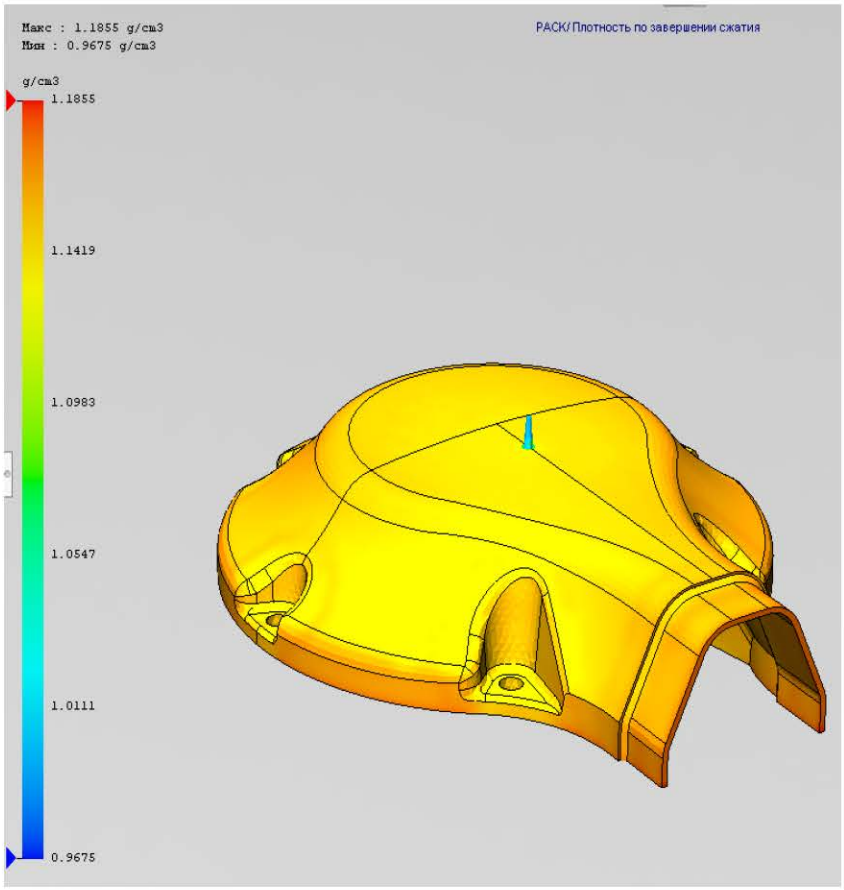


Рис 2.24. Значення щільності полімеру у сформованій деталі

Результат даного дослідження, діаграма густини, показує що в процесі заповнення формуючої порожнини, розподіл полімеру відбувся рівномірно по всій площі деталі. Це свідчить про те що параметри лиття задані вірно та не потребують змін.

Як і результат тиску, результат стиснення в ідеалі має бути однорідним для всієї деталі. Перепади щільності можуть призвести до нерівномірної усадки та деформації. В областях низької щільності також можуть утворитися порожнечі.

Пластичний матеріал є стискаємий , тому що його питомий об'єм залежить від температури та тиску. Високі швидкості протікання усадки можуть виникати в областях деталі, які не піддаються достатньому стиску при відсутності рівномірного охолодження.

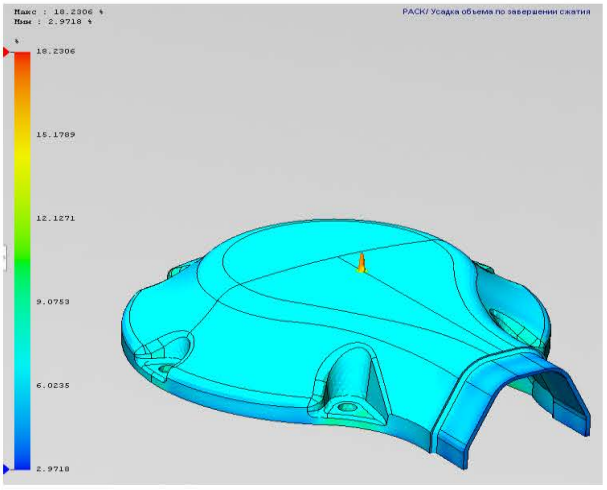


Рис 2.25. Усадка об’єму після завершення стиску

Якщо об'ємне усадка в кінці епюри стиснення показує значну кількість червоних областей, це свідчить про проблеми. Червоні області вказують на вм'ятини і можуть призвести до утворення порожнин або деформації.

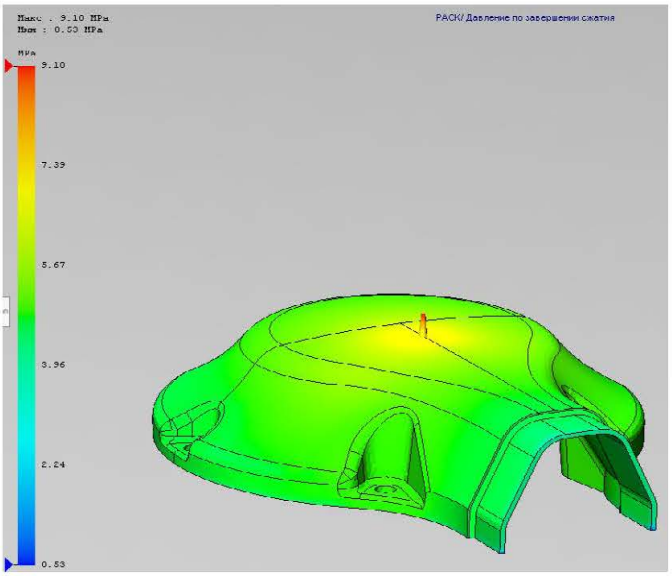


Рис 2.26. Тиск у формуючій порожнині після закінчення витримки відливки

Перепад тиску залежить від довжини потоку, товщини стінок деталі та в'язкості матеріалу. Для стиснення деталі з тонкими стінками потрібен високий тиск, так як при проходженні областей з меншим поперечним перерізом . Якщо

тиск стиснення недостатньо високий, деталі можуть виникати поверхневі дефекти, такі як вм'ятини, коливання потоку і, можливо, внутрішні порожнечі.

Змінне стискування: етап стиснення в процесі лиття під тиском - це етап, на якому підтримується тиск у каналі ливника, ливниках, отворах подачі розплаву матеріалу та порожнинах, поки не застигне полімер у отворах вприскування і тиск більше не буде передаватися до порожнин прес форми. Однак якщо почати з неоднорідних розподілів заповнення у сформованій деталі, в деяких областях деталі може початися стиснення, доки в інших областях деталі продовжується заповнення. Коли таке відбувається, у розподілі тиску в порожнині прес форми може виникнути значна асиметрія. В результаті одна область деталі заповнюється і стискається за відносно високого тиску, а інша область деталі заповнюється і стискається при відносно низькому тиску. Коли таке відбувається, значно підвищується ймовірність деформації формованої деталі, так як нерівномірне стиснення призводить до неоднорідних розподілів усадки та напруги, які дають внесок у деформацію деталі.

Результати моделювання усадки деталі.

Спостерігається рівномірна усадка деталі відносно її осі , значення усадки не перевищує визначених допусків розташування між поверхнями. Найбільше значення усадки спостерігається на нижній частині носу деталі.

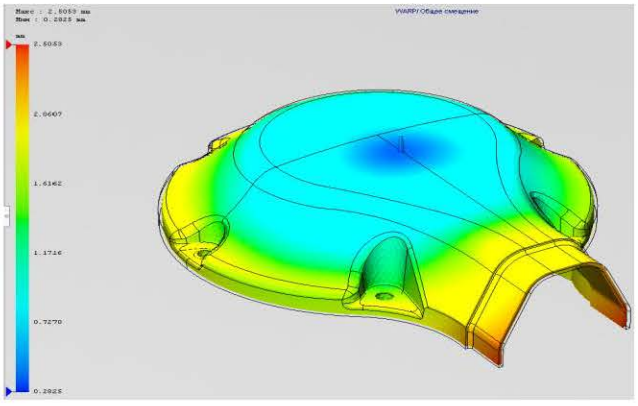


Рис 2.27. Загальна усадка

Деформація формованої деталі - складне явище, яке виникає з кількох причин:

Неоднорідна усадка може бути викликана неоднорідною температурою прес форми, різною швидкістю охолодження тонких і товстих частин деталі, варіаціями усадки вздовж і поперек потоку розплаву і, в цілому, неоднорідними розподілами тиску, температури і напруг зміщення на площі поверхні та в обсязі формований.

Диференціальна зафіксована напруга: молекули полімеру можна представляти у вигляді спіральних пружин. Коли розплавлена пластмаса тече в процесі лиття, молекули полімеру розтягуються та вирівнюються (або орієнтуються) у напрямку потоку. При охолодження формованої деталі одні молекули повертаються в релаксований стан, але інші залишаються розтягнутими і замерзають при охолодженні деталі. Така деталь знаходиться в напруженому стані, який називається зафіксованою напругою. Зафіксована напруга - звичайне явище для деталей, формованих за допомогою інжекції, яке не обов'язково призводить до виникнення будь-яких особливих проблем. Однак, якщо зафіксована напруга значно змінюється при переході з однієї області деталі до іншої, такі зміни рівнів напруги часто перетворюються в деформацію формованої деталі.

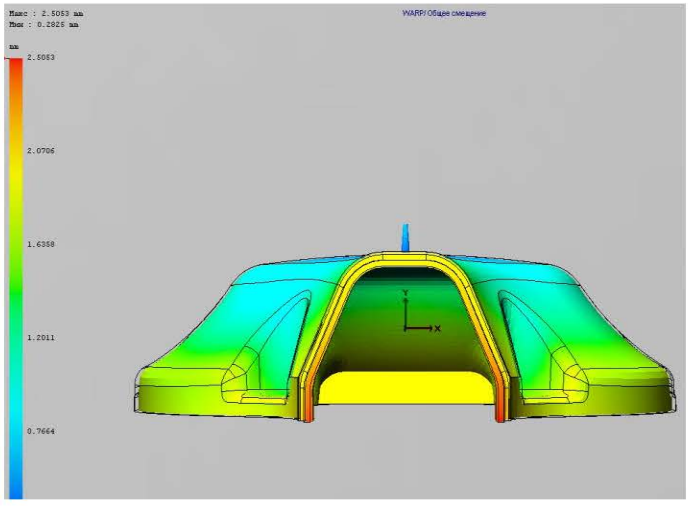


Рис 2.28.Загальна усадка

На основі всіх цих потенційних причин деформації формованої деталі найкраще вибрати таке розташування отворів вприскування, яке призводить до

утворення однорідних розподілів заповнення, тиску та температури в порожнинах прес форми. І хоча бажано мінімізувати значення напруг зміщення, краще спробувати домогтися однорідності розподілів об'ємної усадки, тиску і температури, тому що в цьому випадку виходить деталь, для якої менш ймовірна деформації форми.

Висновки до розділу

В результаті моделювання процесу лиття деталі «Корпус» отримано наступні результати розрахунків:

- Тиск необхідний для заповнення форми розплавом полімеру
- Розрахунковий час заповнення форми
- Температура фронту потоку
- Тиск необхідний під час циклу підживлення форми матеріалом
- Розрахунковий час охолодження деталі
- Значення навантаженості системи охолодження
- Розрахункове значення загальної усадки виробу
- Прогнозування утворення таких дефектів як: вм'ятини, спаї, короблення.

Користуючись отриманими результатами можна розпочинати проектування форми. Правильне трактування та використання вищеперерахованих результатів гарантує зменшення часу на розробку оснастки, меншу кількість дефектів лиття виробу.

Розділ 3

РОЗРОБКА ПРЕС ФОРМИ ДЛЯ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ ДЕТАЛІ «КОНТЕЙНЕР»

3.1. Загальні положення

Основні положення яких необхідно дотримуватись при розробці деталей , які будуть виготовлятись шляхом лиття під тиском.

1) Товщина стінок виробу має бути мінімально необхідною і за можливості однаковою (рис. 1.1), інакше може відбуватися нерівномірна усадка, що спричиняє викривлення, тріщини і здуття виробу [2, 5].

Мінімальна товщина стінок визначається текучістю розплаву й потрібною міцністю виробу.

Для підсилення стінок і запобігання викривленню передбачають ребра жорсткості. Вони повинні мати ухили та радіуси закруглення (рис. 3.1).

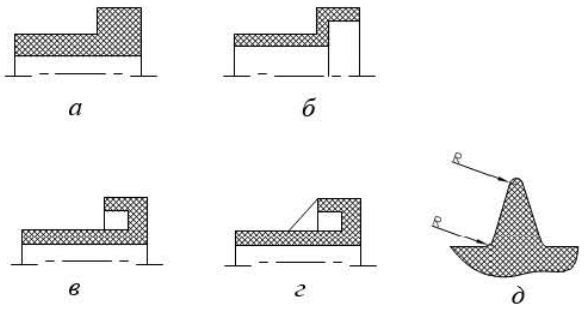


Рис 3.1. Схеми конструювання деталей для лиття під тиском [3].

2) Необхідно передбачати радіуси заокруглення (за винятком площини роз'єму форм).

3) Для полегшення витягання виробу з форми (за винятком окремих випадків) необхідно передбачати технологічні нахили.

4) Опорні поверхні для монтажу майбутніх деталей мають перешкоджати їх викривленню. Суцільні опорні поверхні замінюють буртиками та ніжками заввишки 0,3–0,5 мм, зазвичай забезпечуючи при цьому три точки опори.

5) Отвори й поглиблення доцільніше розташовувати перпендикулярно до площини роз'єму форм.

Деталь контейнер - слугує промисловим ложементом для сушки картриджів які герметизували силіконом при серійному виробництві. На механізованій лінії, після нанесення силікону на корпусні деталі картриджів , роболапа автоматично перенаправляє певну кількість одиниць у контейнер . Після чого контейнер направляється до сушильної камери , де відбувається сушіння силікону при температурі 70 °C із паралельною дегазацією. Деталь вилита із поліаміду PA6 , температуростійкий полімеру . Деталь має бокову кутову виїмку , за допомогою якої відбувається її базування на сітці в сушильній камері .

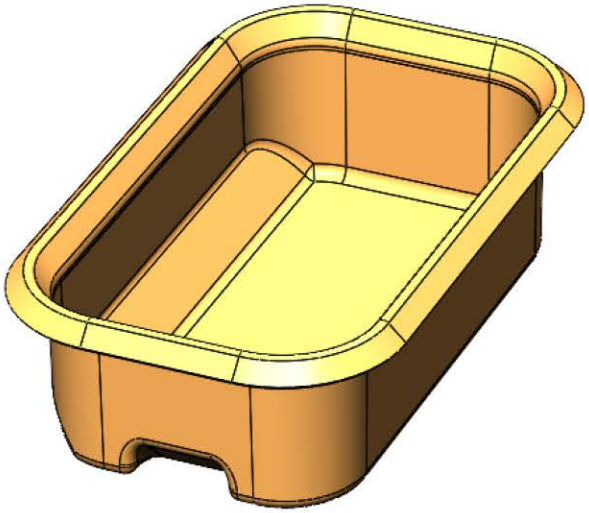


Рис 3.2 Деталь контейнер

3.2 Характеристика та вибір термопластавтомата

$$0{,}4 < V_0 / V_m < 0.95; \tag{15}$$

- Маса деталі - 86 гр.
- Маса ливникової системи - 16 гр.
- Об'єм ливникової системи - 18081 мм^3
- Площа деталі - 97732 мм^2
- Об'єм деталі - 76865 мм^3

Зусилля змикання форми на ТПА, кН розраховується за формулою:

$$P_0 = 0{,}1 \times P(S_в \times n + S_{л.с.}) \times k3; \quad (15)$$

де P_0 –необхідне зусилля змикання, P – тиск пластмаси в формуючій порожнині (для поліаміду РА6 Р=32 МПа, $S_в$., $S_{л.с.}$.–проекція виробу та ливникової системи на площину роз'єму форми, n –гніздність форми, k_3 – коефіцієнт враховуючи використання максимально змикання(k_3= 1,2).

$$P_0 = 0.1 \times 32(24408 \times 2 + 430) \times 1.2 = 194 \text{ кН};$$

Об'єм інжекції розраховується за формулою:

$$Q_0 = Q_в \times n \times Q_л \leq Q_н ; \quad (16)$$

де, Q_0 - загальний необхідний об'єм для лиття виробу , $Q_в$ - об'єм виробу, $Q_л$ - об'єм ливникової системи, n - кількість гнізд прес форми, $Q_н$ - максимальний об'єм подачі ТПА

$$Q_0 = 76.8 \times 10 \times 18.8 = 13860 \text{ мм}^3;$$

Розрахунок виштовхувальної системи проводиться виходячи з геометричних параметрів виробу.

$$l = h_в + 3 = 59 \text{ мм} ;$$

Також розраховуємо зусилля необхідне для подолання виштовхувачами тертя деталі об формуючі елементи форми:

$$Q_{тр} = 2 \times \pi \times К \times Е \times \mu \times l ; \quad (17)$$

$$Q_{тр} = 2 \times 3{,}14 \times 0{,}1 \times 1500 \times 0{,}2 \times 1{,}5 = 16{,}4 \text{ кН};$$

По розрахованим параметрам підбираємо ТПА ВТ-3 із діаметром шнека 28мм. Додаток А. Обраний термопластавтомат задовольняє всі необхідні параметри для лиття деталі контейнер.

3.3 Тепловий розрахунок оснастки

Розрахунок починається з уточнення часу витримки (охолодження) в процесі лиття, для більш точного розрахунку теплового балансу, за формулою:

$$t_{охл}=\frac{0,415}{a}\times(ln127\times ln\ 1.27-ln\frac{t_к-t_ф}{t_н-t_ф})=6.65; \quad (18)$$

де − а коефіцієнт температуропровідності м^{2}с, δ – товщина виробу, м,$t_к$ – температура всередині стінки виробу $t_к = t_ф + 20 = 80$ ° С, tн – початкова температура виробу, рівна температурі розплаву полімеру який подається у форму $t_н$=220°С, $t_ф$-середня за цикл температура формуючих поверхонь , $t_ф$= 74 °С.

$$t_{охл}=\frac{0,415}{1,25\times10^7}\times(\frac{1,4\times10^{-3}}{2})\times ln\ 1.27-ln\frac{80-60}{220-60}=6.65с;$$

де а – коефіцієнт температуропровідності, м^2/с (для поліаміду 1,38× 10^7 м^2/с), δ – товщина виробу, мм; $t_ф$ – середня за цикл температура формуючих поверхонь, °С (зазвичай дорівнює 30 ... 80 °С), $t_н$ – початкова температура виробу, що дорівнює температурі розплаву, °С (зазвичай дорівнює 180…270 С, але для кожного виду полімеру її необхідно враховувати), $t_к$ – температура всередині стінки виробу, при якій розкривається форма, °С (приймають на 8-25 °С вище $t_ф$).

Загальний час циклу, с. розраховується за формулою:

$$\tau_ц = \tau_в + \tau_х\ ; \quad (19)$$

$$\tau_ц = 5,3\ + 12 = 17.3\ с;$$

де $\tau_х$ – тривалість холостого циклу, з (табл. 2.1). Результатом теплового розрахунку оснащення є певний діаметр охолодних каналів та довжина. Для цього виконують таку послідовність розрахунку.

Кількість тепла Q_1(кДж), що надходить у форму протягом одного циклу,для однієї формуючої порожнини, може бути визначено за формулою:

$$Q = m_0 \times c \times (t_1 - t_2); \quad (20)$$

$$Q_1=184\times 1.2\times(215-60)\ = 35336\ кДж;$$

де $m_д$ - маса виливки, кг; с – теплоємність пластмаси (полімеру), кДж/кг·град; t_1 – температура розплаву; t_2– температура форми. де m_0– маса виливки, кг

$$m_0 = m_д \times n + m_л \ ; \tag{21}$$

де $m_д$ - маса виробу, кг; n – число гнізд, прим ; $m_л$ - маса літників, кг

При круглому перерізі охолоджуючого каналу та певному діаметрі довжина його дорівнює:

$$l = \frac{Q_ч \times (\frac{s}{\lambda} + \frac{1}{0})}{\pi \times d} \text{ мм} ; \tag{22}$$

$$l = \frac{7221264 \times (\frac{0.3}{15} + \frac{1}{6520})}{\pi \times 16} = 194 \text{ мм} ;$$

де $Q_ч$ - кількість теплоти в кДж, що надходить у форму протягом години ; s – відстань від каналу охолодження до оформляє поверхні форми в мм; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу форми в кДж/м^2 В· град; d – діаметр охолоджуючого каналу, рекомендується обрати в інтервалі 8…16 мм.

При теплопередачі від стінки формуючих деталей до охолоджувальної рідини.

$$\alpha = (19.3 + 0.27 \times t_n) \times (\gamma_в \times v_с)^{0.85}; \tag{23}$$

де t_n - початкова температура води, ° С; $\gamma_в$ – питома вага води, кг/см^3 ; $v_с$ – швидкість протікання охолодної води в каналі, см/год, . Вибір $\gamma_в$ та $v_с$ для трубопроводу з водою зазвичай приймається рівним 347 кг/см^2 В/год. Для перевірки можливості пропуску води протягом хвилини через один охолодний канал прийнятого діаметра користуються наступною формулою:

При конструюванні системи охолодження необхідно враховувати такі вимоги:

- сумарна довжина каналів повинна бути не меншою за розрахункове значення (надлишкові можливості системи завжди можна зменшити регулюванням, тоді як недолік важко компенсувати);

- розташування каналів, а також напрямок потоку холодоагенту (як правило, води) від більш нагрітих частин форми до менш нагрітих повинні забезпечити по можливості рівномірне охолодження формуючих елементів форми;

необхідно враховувати, що температура форми у зоні інжекції завжди вища, ніж на периферійних ділянках; більш інтенсивне охолодження має бути передбачене у місці розташування рухомих елементів форми (виштовхувачів, плит знімання, рухомих знаків), що дозволяє виключити деформацію виробів при їх видаленні із форми; оскільки коефіцієнт тепловіддачі зі зміною швидкості руху рідини змінюється в широкому діапазоні, в системі каналів не має бути ділянок з зростаючим перетином і особливо застійних зон, де холодна рідина може грати роль герметика;

3.4 Розрахунок кількості порожнин

Гніздність визначається за двома критеріями: об'ємом вприску, пластикаційної продуктивності та зусилля змикання. Кількість формуючих порожнин, обумовлену об'ємом інжекції на термопластавтоматі n_1, визначають:

$$n_1 = \frac{\beta \times V_в}{k_1 \times V_в}; \quad (24)$$

$$n_1 = \frac{0.8 \times 200}{1.02 \times 76} = 2.06;$$

де $V_в$ - об'ємом вприску машини в см3, (наведено у паспорті машини,див. додаток Б.1); $V_д$ – об'ємом однієї деталі см^3; β – коефіцієнт використання машини, яка залежить від стану полімеру (для аморфних полімерів β=0,7…0,8, для кристалічних β=0,6…0,7); k_1 –коефіцієнт, що враховує частку ливникової системи щодо обсягу однієї деталі (таблиця 3.2).

Объем детали, см^3	k_1	Объем детали, г	k_1
до 0,5	1,5	свыше 30 до 50	1,03
свыше 0,5 до 2	1,3	свыше 50 до 250	1,02
свыше 2 до 10	1,2	свыше 250 до 500	1,01
свыше 10 до 20	1,1	свыше 500	1,005
свыше 20 до 30	1,05		

Таблиця 3.2 Коефіцієнт частки ливникової системи

Кількість гнізд n_2, виходячи із зусилля змикання машини, визначається за формулою:

$$n_1 = \frac{P}{1.25 \times p_0 \times k_2 \times s} \quad ; \tag{25}$$

$$n_1 = \frac{200}{1.25 \times 32 \times 1.1 \times 255.4} = 1.7;$$

де Р – зусилля змикання форми, Н (має бути наведено у паспорті машини, див. додаток А); n_0 – питомий тиск пластмаси в формуючому гнізді в Н/см^2 , орієнтовно приймається рівним 50 Н/см^2 ; S – площа деталі в плані, без урахування отворів (проекція площі деталі на площину роз'єму, вид зверху) см^2; k_2 – коефіцієнт, що враховує площа ливникової системи (у плані); приймається рівним 1.1.

З розрахованих значень n_1, n_2, приймають найменше ціле значення і надалі ведуть розрахунок саме за цією величиною,визначальною кількість гнізд у формі

Далі аналізується програма випуску та перевіряється можливість виробництва вказаної кількості Для цього необхідно розрахувати необхідну норму виготовлення

($N_{вид}$), наприклад, в годину і порівняти з продуктивністю обраного процесу лиття теж за годину. Припускаючи фонд робочого часу ($F_р$) однозмінному режимі роботи у кількості 1792 годин/рік (224 дні по 8 годин) необхідна кількість деталей на годину з урахуванням встановленої гніздності розраховується за такою формулою:

$$N_{вид} = \frac{N}{F_р} \quad ; \tag{26}$$

де $N_{вид.}$ - Програма випуску шт. / Рік; $F_р$ - фонд робочого часу в році, год / рік;

Продуктивністю процесу лиття на обраній ливарній машині.

$$N_п = \frac{A \times 10^3 \times K}{k_1 \times m_д \times n} \tag{27}$$

де K - коефіцієнт враховує відношення часу подачі матеріалу до загальному часу циклу, K = 0,05 ... 0,25. n – кількість формуючих порожнин.

У результаті має виконуватися умова $N_{вит} < N_{п}$, у цьому випадку всі вибрані параметри процесу лиття правильні і можна приступати до проектування ливникової системи.

3.5 Розрахунок ливникової системи

Ливникова система включає три основні елементи: центральний ливниковий канал, і впускний канал та розвідний. Ливникова система двох гніздової форми часто складається з одного ливникового каналу. Багатогніздна форма завжди включає всі три види каналів. Основними етапами проектування ливникової системи є розрахунок елементів ливникової втулки, вибір форми та геометричних розмірів каналів ливникової системи. Розрахунок ливникової втулки (центральний ливниковий канал). Центральний ливниковий канал формується в ливниковій втулці і зазвичай має круглу форму. Розрахунковий діаметр на вході в ливникову втулку визначають розрахунковим методом за формулою:

$$d_p = 0.2\sqrt{\frac{V}{\pi \times \vartheta \times \tau}} \quad ; \tag{28}$$

де $\boldsymbol{Q_v}$ - обсяг подачі матеріалу, см^3 ; υ - середня швидкість перебігу матеріалу. у ливниковій втулці, см/с; τ - тривалість подачі розплаву полімеру, с. Рекомендовані значення середньої швидкості: для виливків об'ємом до 100 см^3 υ = 300 см/с; для виливків об'ємом до 500 см^3 = 450 см/с; для виливків об'ємом понад 500 см^3 υ = 550...600 см/с.

Діаметр D центрального ливникового каналу на виході розраховується виходячи з кута конуса (α = 2°…6 °, рекомендується α = 3°) та довжини каналу по формулою:

$$D=d+2\times L \times tg(\frac{\alpha}{2}) \tag{29}$$

Довжина L центрального ливникового каналу залежить від товщини верхньої плити, в яку вона встановлюється. Призначається довжина по конструктивним міркувань, у середньому від 35…60 мм. Конкретну довжину та інші зовнішні розміри ливникової втулки обирають за ГОСТ 22077-76.

3.6 Проектування розвідних ливникових каналів.

Розвідні канали є частиною ливникової системи, що з'єднує формуючої порожнини форми з центральним ливником.

Площа кожного каналу, що розводить, не рекомендується приймати менше 7 см^2 (Ø 3мм) та більше 80 см^2 (Ø 10мм), а сумарна площа каналів, що розводять, не повинна сильно перевищувати або бути значно менше площі центрального, щоб не змінювався цикл лиття, і не було, наприклад, застійних зон. Для цього рекомендується визначати площу поперечного перерізу розвідного каналу на кожній ділянці, що має свої параметри по емпіричній формулі

$$F_{\text{р.к.}} \leq \frac{F_{пр}}{n_{\text{р.к.}}} \qquad (30)$$

де $F_{\text{пр}}$- найбільша площа поперечного перерізу тієї частини каналу, яка передує, см^2; $n_{\text{р.к.}}$ – кількість розгалужених каналів.

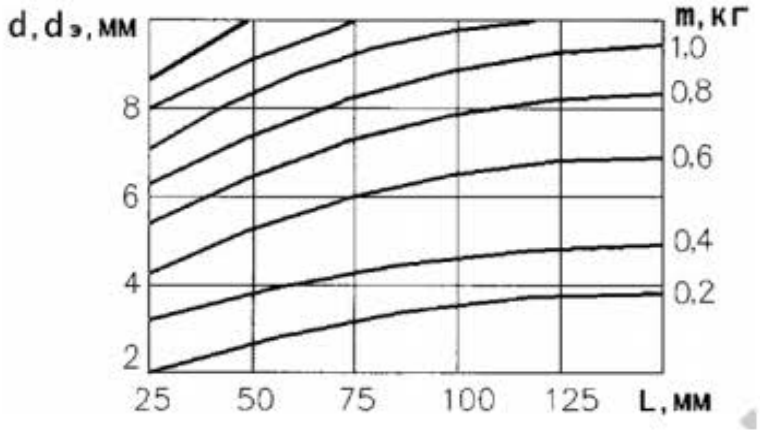


Рис 3.3. – Діаграма для визначення d(de) розвідного каналу

Загалом діаметр d каналу круглого перерізу або еквівалентний діаметр d_e не круглого перерізу визначають за діаграмою (Рис 1) залежності від маси виробу, що виливається, і довжини L шляху перебігу матеріалу в розведеному каналі Для

непластифікованого полівінілхлориду, полікарбонату, поліметилметакрилату розрахункову площу перерізу каналу необхідно збільшити на 25%.

Важливим етапом проектування ливникової системи є конструювання розташування її при розробці багато гніздової форми. Необхідно домогтися того, щоб розташування дозволяло максимально одночасно заповнювати різні гнізда з приблизно однією швидкістю їх заповнення.

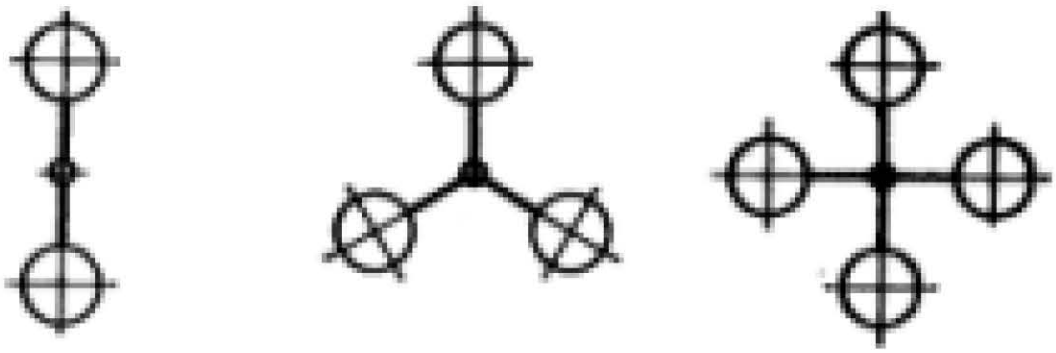


Рис 3.4. – Рекомендовані варіанти розташування гнізд

Обчислити номінальну об'ємну швидкість подачі матеріалу в формуючу порожнину форми, см^3/с. за формулою.

$$W = \frac{W_m \times Vd}{Vc}; \quad (30)$$

$$W = \frac{200 \times 76.8}{171.6} = 89.8 \text{ см}^3 \text{ /с};$$

де W_m – номінальна (паспортна) об'ємна швидкість подачі розплаву полімеру ливарної машини, см^3/с (додаток А); V_c – обсяг усіх виробів, що виливаються у формі, см^3 ,$V_д$ — об'єм однієї деталі

Для забезпечення працездатності ливарної форми необхідно виконання наступної умови:

$$P \geq \Delta P_{заг} = \Delta P_ц + \Delta P_р + \Delta P_в + \Delta P_д; \quad (31)$$

$$\triangle P_{заг} = 29 \text{ Атм};$$

$$P > \triangle P_{заг};$$

де Р – номінальний тиск лиття, ат;

$\Delta P_{заг}$ – загальні втрати тиску, ат;

$\Delta P_{ц}$ – втрати тиску при перебігу розплаву в центральному литниковому канал, ат;

$\Delta P_{р}$ – втрати тиску при перебігу розплаву в каналах, що розводять, ат;

$\Delta P_{в}$ – втрати тиску у впускних каналах, ат;

$\Delta P_{д}$ – втрати тиску у стінках виробу, ат;

Для розрахунку втрат тиску в стінках виробу, деталь розбивають деталь на елементи простих форм у горизонтальній та вертикальній площині:

$$\Delta P_{д} = \Sigma \Delta P_{ел} ; \quad (32)$$

Втрати тиску в центральному ливниковому каналі визначають за формулою:

$$\Delta P_{ц} = L \times \left[\frac{W_{0 \times \mu(n+3)2^{2n+3}}}{\pi \times D^{n+3}}\right]; \quad (33)$$

$$\Delta P_{ц} = 6.2 \text{ Атм};$$

де L - розрахункова довжина каналу, см,

W_0 – об'ємна швидкість перебігу розплаву, см3/с;

μ – реологічний параметр полімеру, 0,0018;

n – показник ступеня рівняння, n 2,5;

D – діаметр центрального ливникового каналу.

$$\Delta P_{ц} = L \times \left[\frac{W0 \times \mu(n+3)2^{2n+3}}{\pi \times D_{екв.}^{n+3}}\right] ; \quad (34)$$

$$\Delta P_{p} = 1.1 \text{ Атм};$$

де D екв. - діаметр або еквівалентний діаметр розвідного каналу:

Втрати тиску у впускному каналі визначаються за формулою:

$$\Delta P_{ц} = L \times \left[\frac{W0 \times \mu(n+3)2^{n+1}}{\text{В} \times \text{Н}^{n+2}}\right]; \quad (35)$$

$$\Delta P_{в} = 5{,}13 \text{ Атм} ;$$

Для розрахунку втрат тиску на стінках виробу розбивають деталь на елементи простих форм у горизонтальній та вертикальній площині. Втрати тиску на стінках виробу розраховують за формулою:

$$\Delta P_{д} = \Sigma \Delta P_{ел}; \quad (36)$$

$$\Delta P_{д} = 16{,}4 \text{ Атм};$$

3.7. Підготовка моделі до виконання процесу моделювання лиття під тиском

3D модель деталі контейнер, була розроблена відповідно вимог, ливарного виробництва деталей. Одна із основних вимог - рівна товщина стінок деталі . Товщина деталі повинна бути постійною , без різких потовщень або потоншень. Якщо конструктивні елементи деталі вимагають збільшення товщини деталі - потовщення слід виконувати з плавним переходом. Перехід буде місцем концентрації напружень , що в свою чергу може призвести до виникнення дефектів.

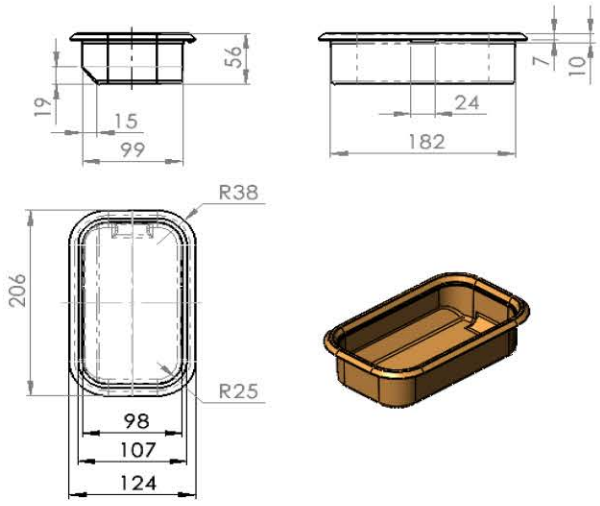


Рис 3.5. Габаритні розміри деталі

Аналіз товщини деталі виконуємо за допомогою Solidworks.

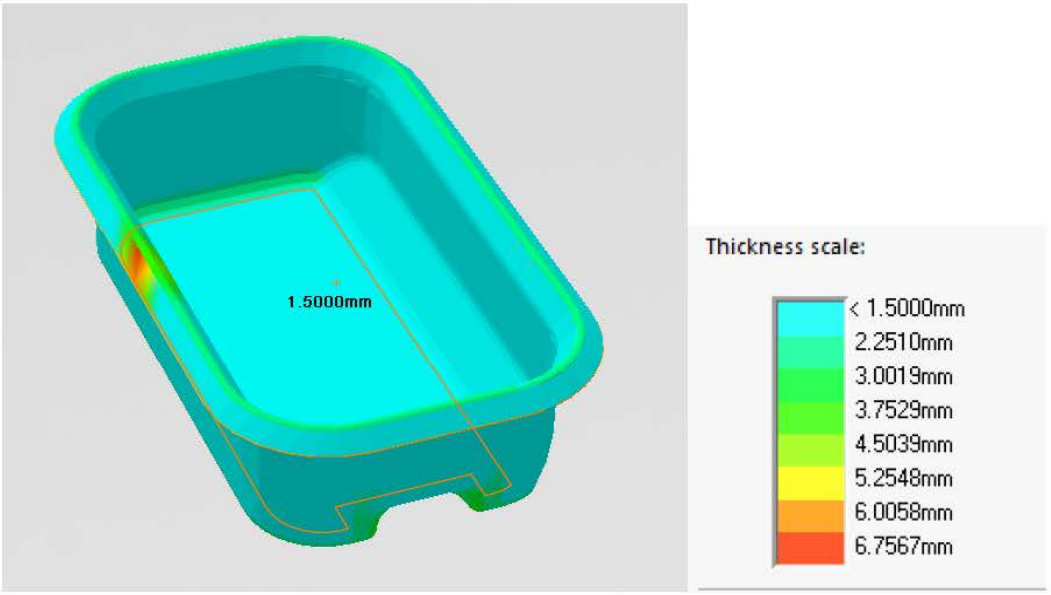


Рис 3.6. Аналіз товщини деталі.

Як видно з діаграми, переважно більша площа деталі має однакову товщину стінок, за виключенням місць де виконані галтелі та заокруглення гострих кромок.

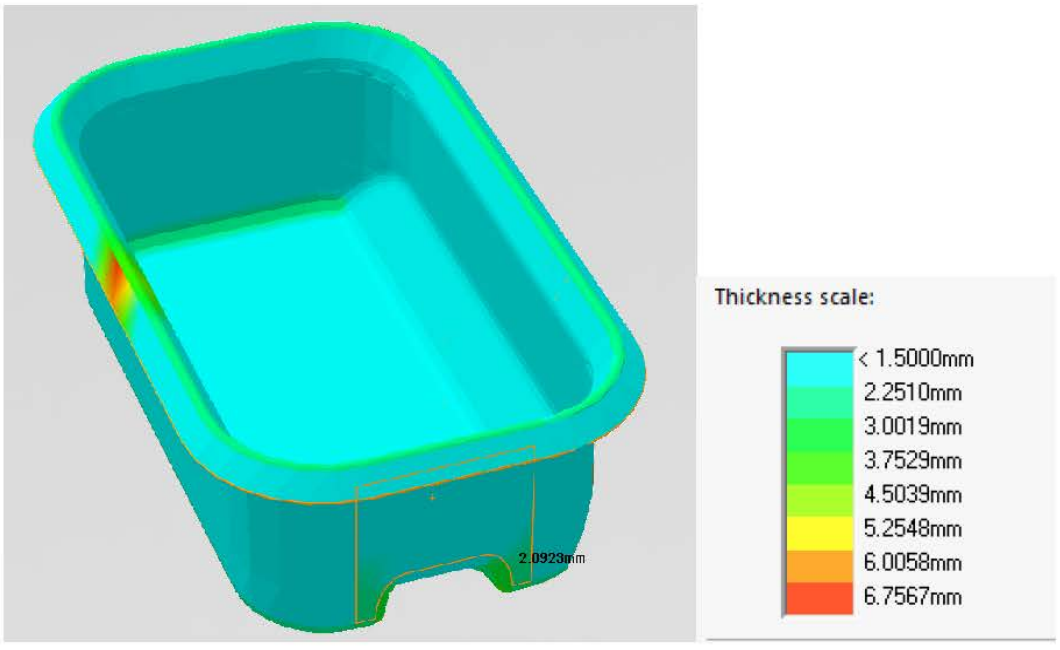


Рис 3.7 Зображення товщини моделі у місцях виконання заокруглень.

Товщина зображеного конструктивного елементу порівняно більша із товщиною виробу. Це пояснюється наявністю заокруглень, які виконані по контуру

виїмки. В даному випадку збільшення товщини приблизно на 0.5 мм не спричинить появі дефектів при литті , оскільки перепад товщини є незначним та поступовим.

Потовщення товщини деталі у межах виїмки пояснюється тим що, на її поверхню, при виштовхуванні деталі після її формування, діє рухомий знак.

Потовщення деталі у місці з'єднання із ливником. Потовщення даного конструктивного елементу є необхідним конструкторским рішенням, оскільки це місце з'єднання ливника із відлитою деталлю. Як правило, видалення ливника виконується складальником виробів.

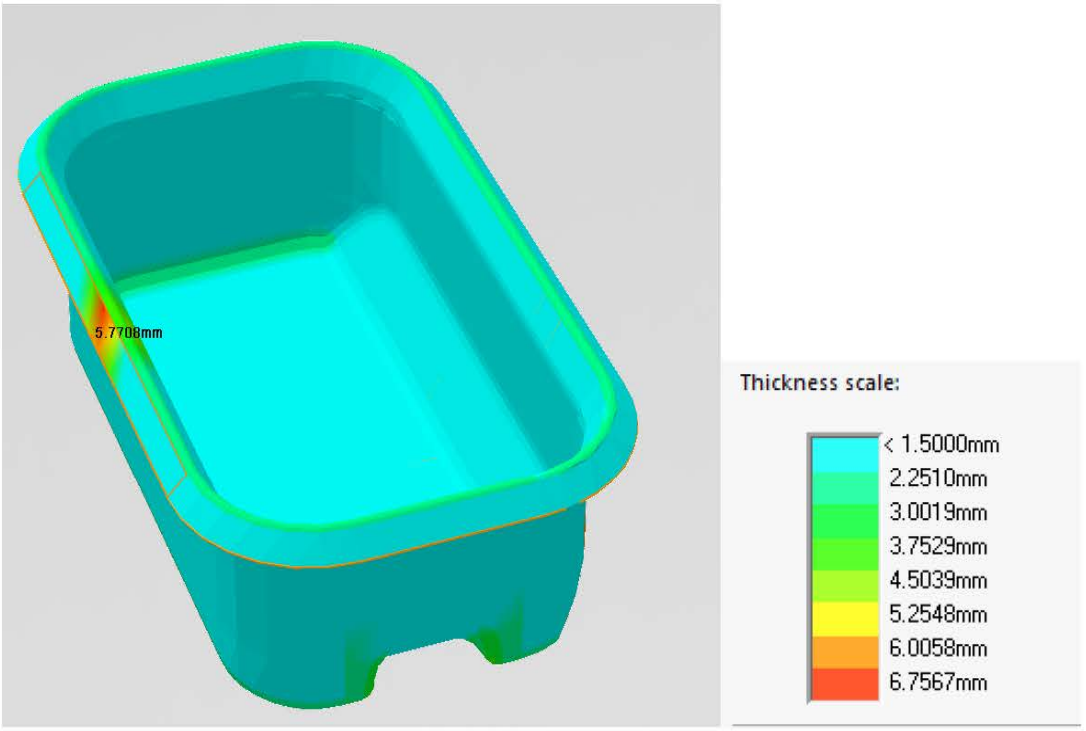


Рис 3.8. Зображення товщини моделі у місці контакту із ливником.

Процедура швидка та неточна. Для того щоб передбачити та попередити злам кромки деталі під час видалення ливника, на деталі виконуються потовщення, які запобігають руйнуванню деталі у місці контакту із ливником.

Виконання литтєвих нахилів на моделі:

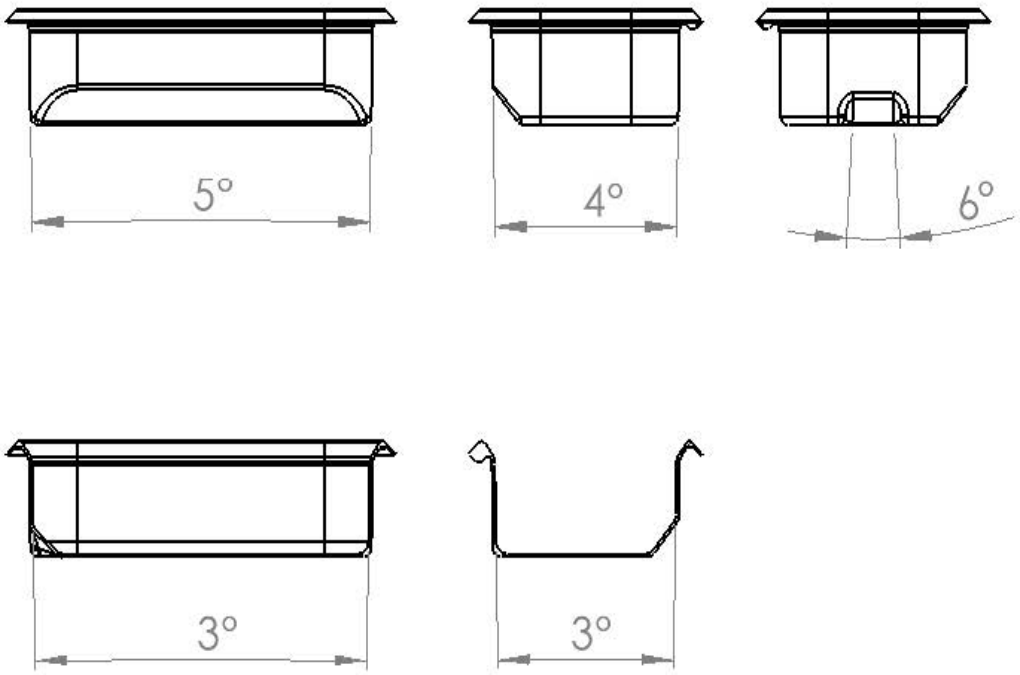


Рис 3.9. Литтєві нахили деталі

Для полегшення процесу виштовхування деталі, після її формування з формуючої порожнини, необхідно при проектуванні деталі виконати литтєві нахили. За відсутності нахилів, при виштовхувані деталі, її конструкція може бути пошкодженою системою виштовхування. Це пов'язано із тим, що під час процесу усадки структура деталі ущільнюється під дією сили тиску. Сформована деталь щільно прилягає до формуючого елементу прес форми, повторюючи його форму. У випадку повної відсутності литтєвих кутів сила тертя, яка виникає між паралельними поверхнями деталі та формуючим елементом , перешкоджає руху деталі у напрямку перпендикулярному площини роз'єму. Виникає деформація розтягу, відбувається видовження деталі по осі руху системи виштовхування.

Після перевірки спроектованої 3D моделі на вимоги, які висуваються до деталей які будуть виготовлятись методом лиття під тиском проводимо моделювання процесу заповнення формуючої порожнини.

3.8. Моделювання лиття під тиском деталі «контейнер»

Розрахунок часу заповнення формуючої порожнини. Дане дослідження проводиться з метою визначення:

- Час необхідний на заповнення формуючої порожнини.
- Вірність розташування точки інжекції.
- Рівномірність заповнення форми розплавом полімеру.

Як результат сині області показують початок фронту потоку. Червоні області вказують одне з наступного:

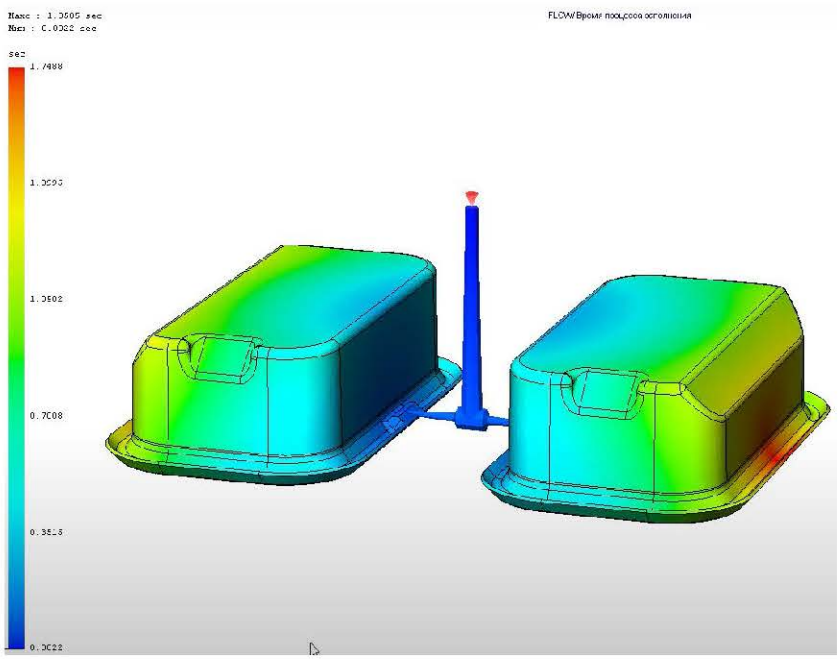


Рис 3.10. Розрахунок часу заповнення форми

- Розрахунок температури по завершенню процесу заповнення форми.
- Положення фронту потоку на будь-якому заданому часовому інтервалі під час анімації етапу заповнення;
- Кінець заповнення при зупинці потоку, навіть якщо програмне забезпечення виявляє недостатнє заповнення.

Важливим моментом є рівномірне заповнення розплавом форми. Рівномірність заповнення відслідковується на діаграмі.

Рівномірність заповнення на діаграмі відображається поступовою зміною кольору фронту потоку, наявність червоних та помаранчевих областей на части протилежній від місця подачі розплаву частині деталі. Це свідчить про те що розплав досягає крайніх точок деталі рівномірно по всій площині деталі.

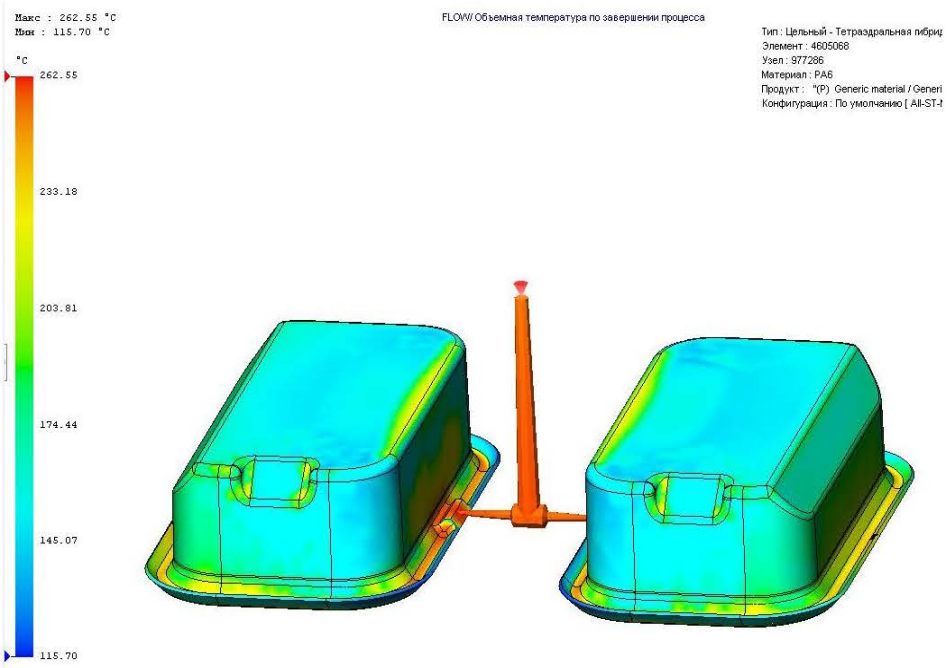


Рис 3.11. Загальна середня температура після завершення заповнення формуючої порожнини

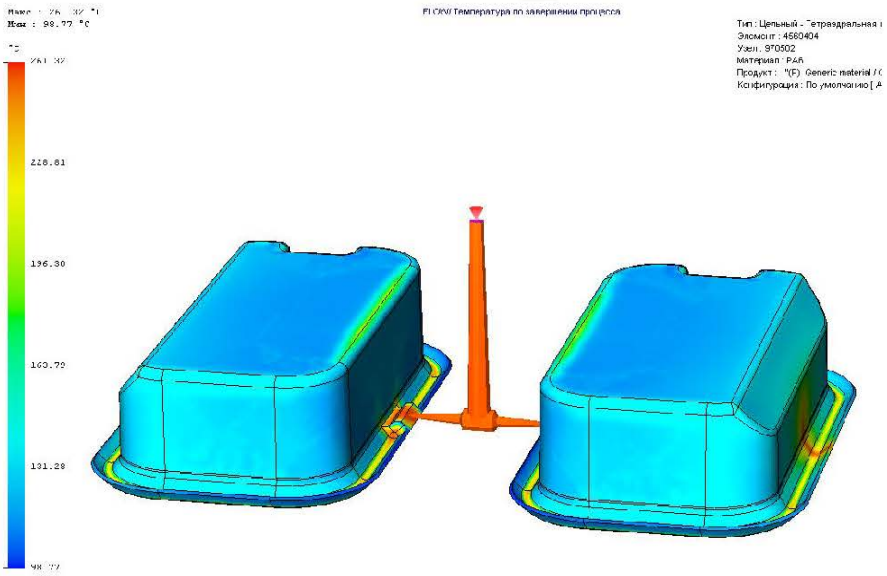


Рис 3.12. Температура поверхні деталі після завершення процесу підживлення.

Дане дослідження проводиться з метою визначення:

- Оцінки різності температури розплаву у різних частина деталі , для прогнозування виникнення спаїв.
- Оцінка вірогідності виникнення утяжин.

Розрахунок часу охолодження деталі

Слід зауважити, що значення часу необхідного на охолодження деталі отримане за допомогою моделювання потоку приблизно рівне часу охолодження, яке було отримано у процесі теплового розрахунку системи охолодження.

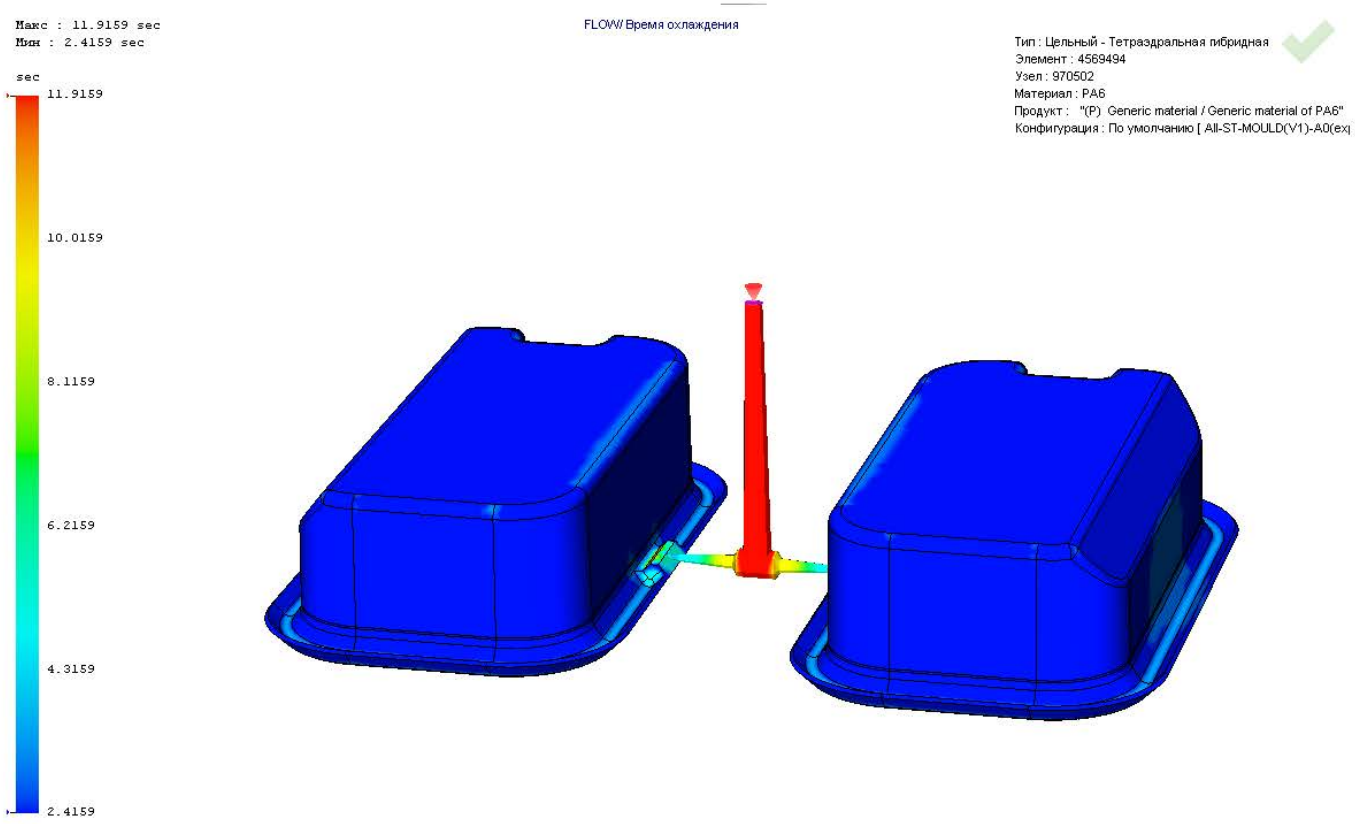


Рис 3.13. Розрахунок часу охолодження деталі.

На діаграмі відслідковується рівномірне охолодження деталі по всій її площині, окрім місця контакту ливникової системи з деталлю.

Температура фронту потоку розплаву полімеру. Дане дослідження проводиться з метою визначення:

- Визначення значень температур фронту потоку у різних частинах деталі.
- Вірність розташування точки вприску розплаву полімеру .
- Прогнозування утворень западин та усадки.

Температура фронту потоку, з допустимим відхиленням , під час заповнення форми розплавом полімеру повинна бути рівна у всіх частинах деталі,

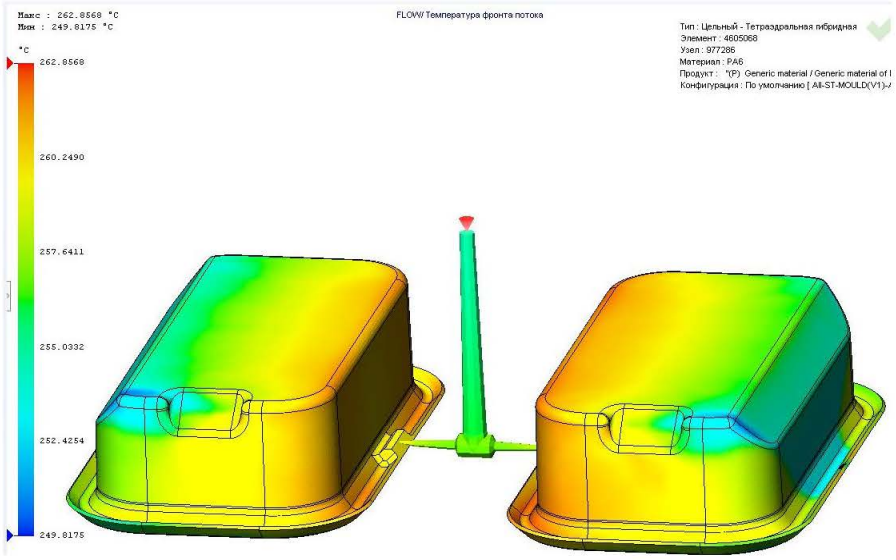


Рис 3.14. Температура фронту потоку розплаву полімеру.

Це пов'язано з тим що , області із меншим значенням температури застигнуть раніше областей із вищим показником температури розплаву. Що в свою чергу призведе до нерівномірної товщини деталі. Даний фактор компенсують під час процесу подпитки .

На діаграмі зображено діапазон температури розплаву від 249 градусів до 262 градусів . Різність температур у 13 градусів є незначним відхиленням. Винекнення дефектів повязане із різністю температур малоімовірне.

Розрахунок системи охолодження прес форми

Макет системи охолодження побудований відповідно до розрахунків. Загальна довжина охолоджувальних каналів 194 мм на одну порожнину . Діаметр системи охолодження 16 мм .

- Швидкість потоку : 6 л/хв;
- Температура 18 °C;
- Охолоджувальна рідина : вода.

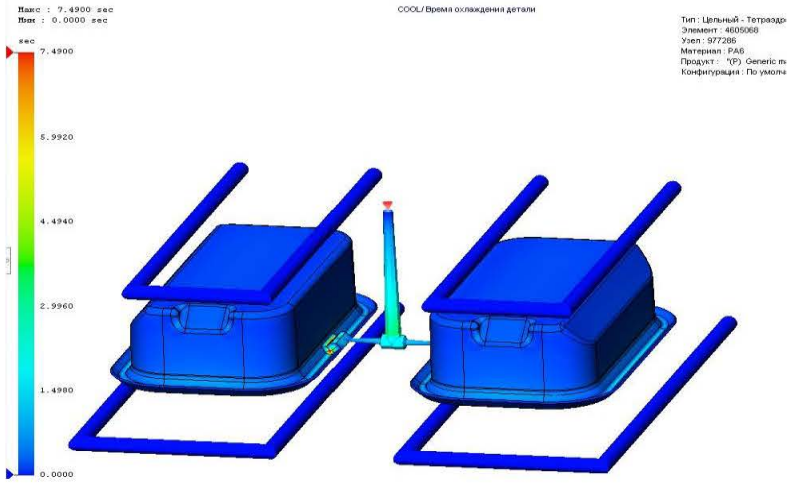


Рис 3.15. Загальний час охолодження деталі

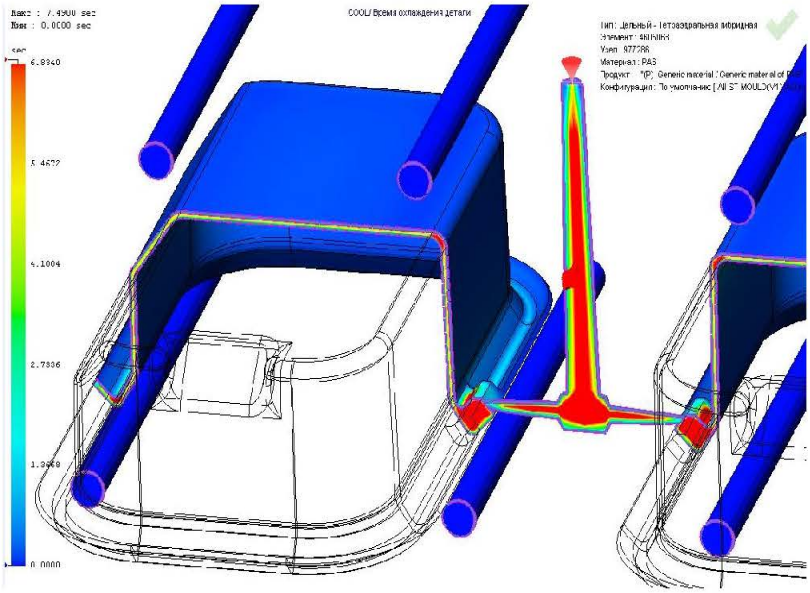


Рис 3.16. Час охолодження внутрішньої частини деталі

Діаграма відображає кількість часу необхідного на охолодження деталі, під час циклу охолодження деталі. Загальне значення часу для охолодження деталі становить 7.4 с. із врахуванням ливника.

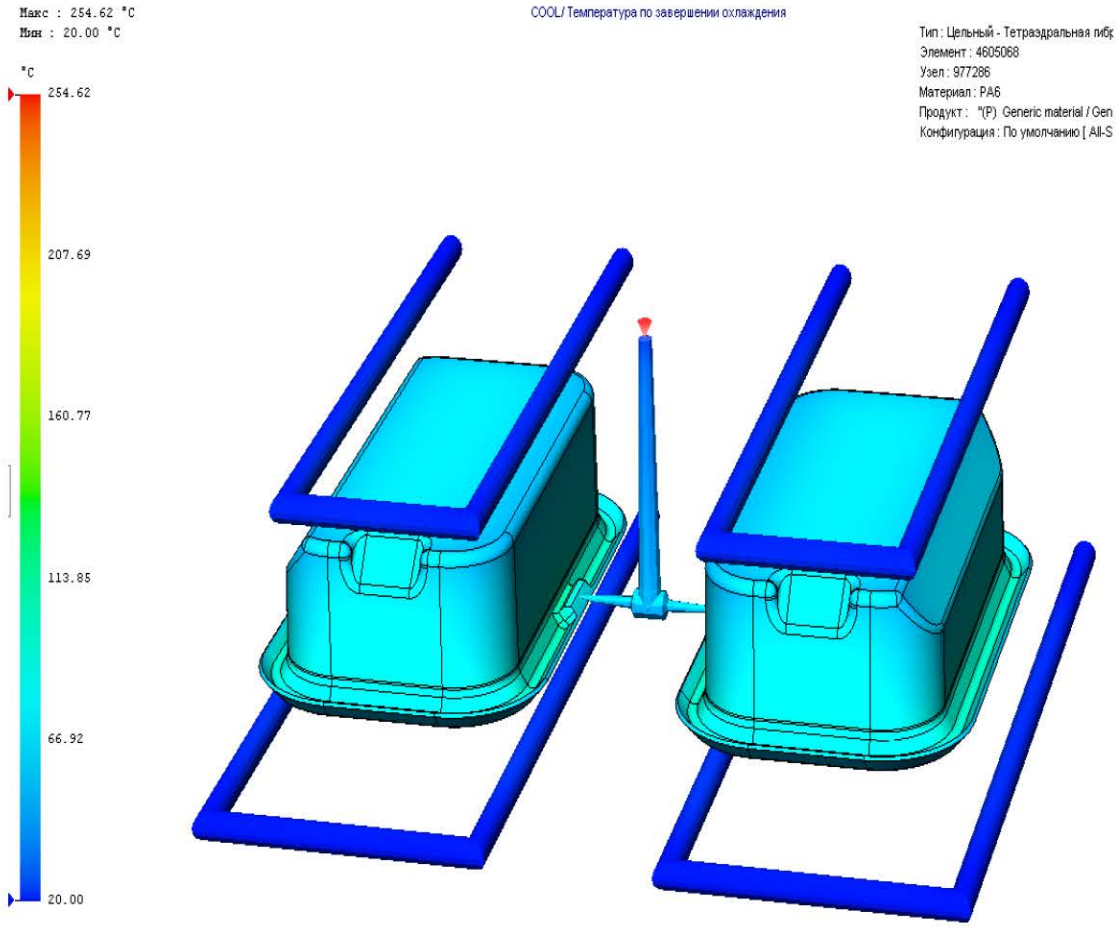


Рис 3.17. Температура деталі після процесу охолодження

Значення на діаграмі відображають температуру деталі після процесу охолодження. Значення температури знаходиться у діапазоні від 60 °C до 90 °C. Дані значення свідчать про те що система охолодження спроектована вірно та не потребує модифікацій.

Розрахунок теплового потоку системи охолодження.

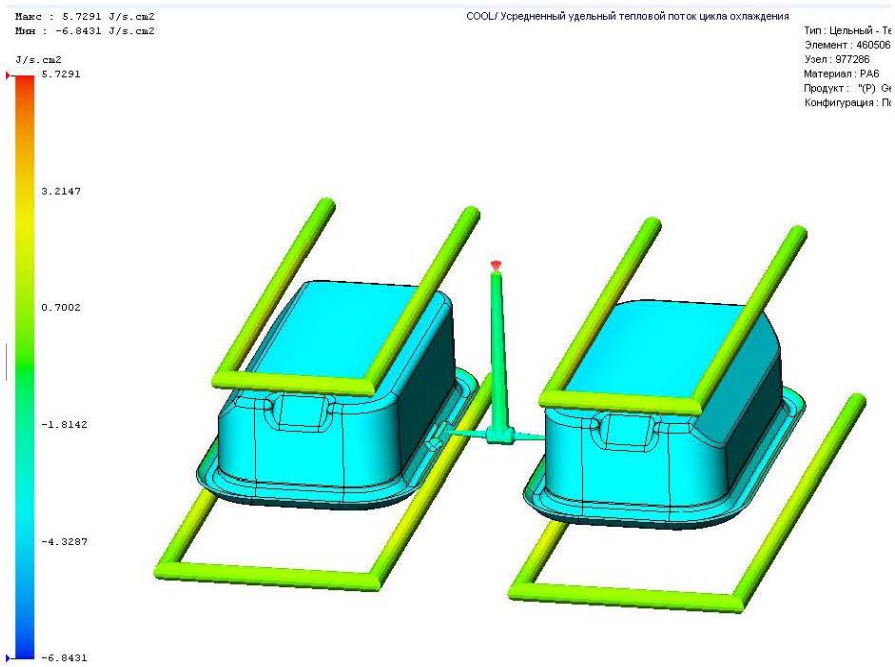


Рис 3.18. Середнє значення теплового потоку системи охолодження

Розрахунок виконується для знаходження значень кількості теплоти, яка відводиться із формуючої порожнини системою охолодження.

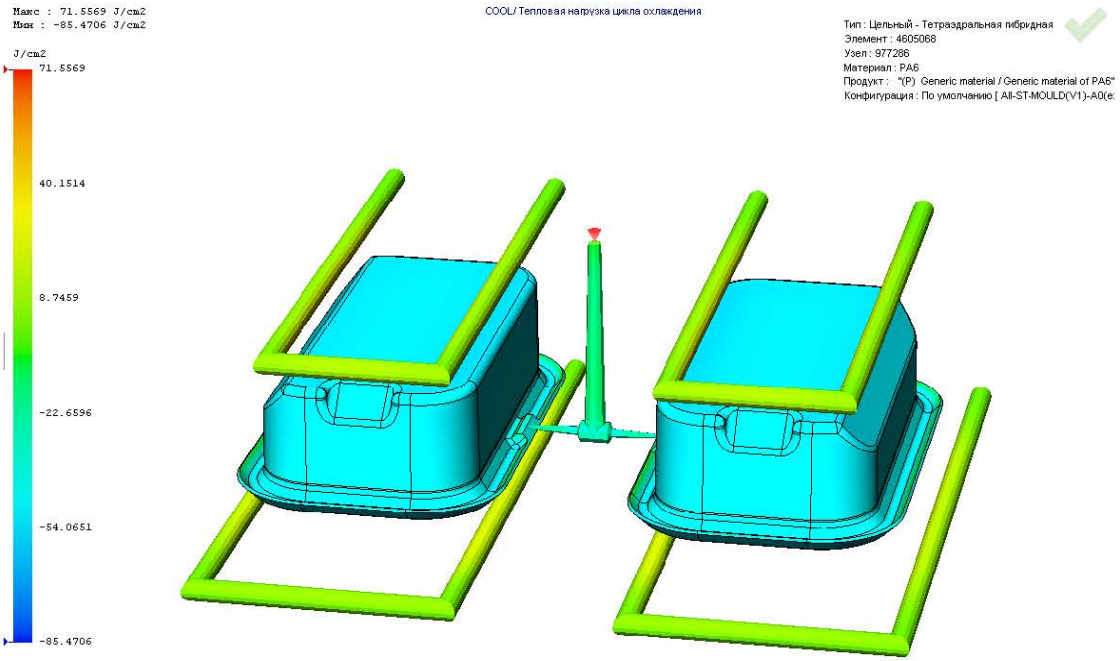


Рис 3.19. Навантаженість системи охолодження

Зображені вище діаграми розрахунків навантаженості системи охолодження проводяться з метою дослідження її поведінки. Відповідно до результатів, можна зробити висновок що систему охолоджувальних каналів можна оптимізувати. Тобто є можливість зменшити діаметр каналів та їх загальну довжину, оскільки вона не навантажена.

Прогнозування усадки

На усадку відлитого виробу впливають наступні фактори:

- Загальний час охолодження.
- Температура фронту потоку у різних частинах деталі.
- Значення тиску під час циклу підживлення.

Якщо об'ємна усадка в кінці епюри стиснення показує значну кількість червоних областей, це свідчить про проблеми. Червоні області вказують на вм'ятини і можуть призвести до утворення порожнин або деформації.

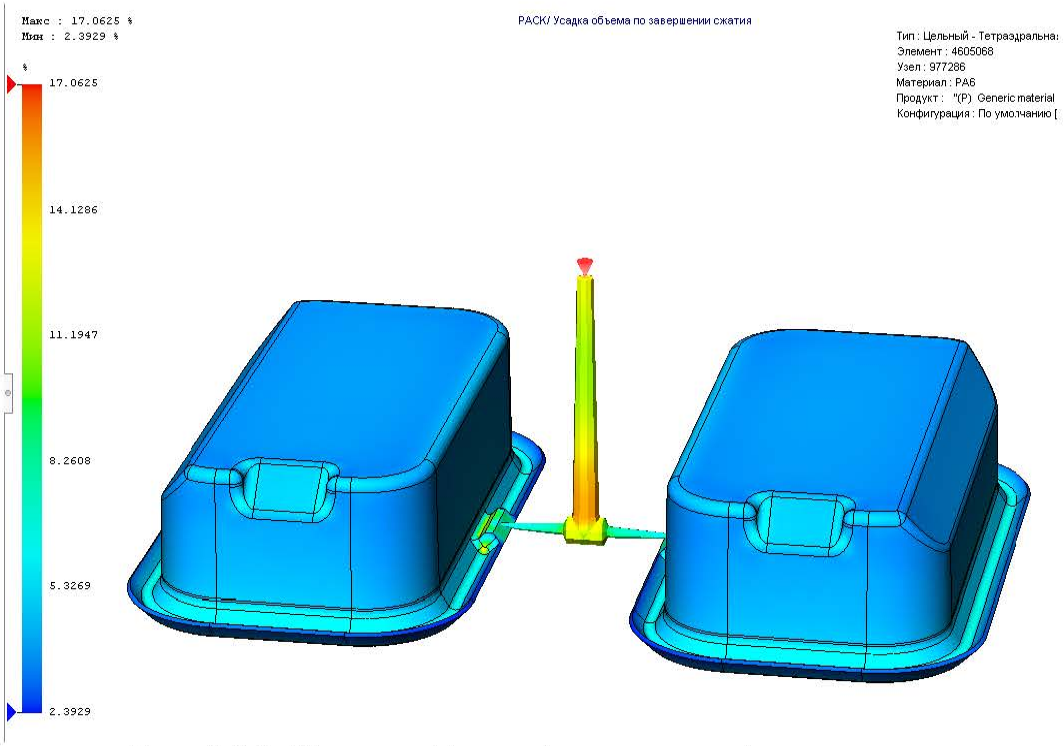


Рис 3.20. Усадка об'єму після циклу підживлення.

Прогнозування виникнення западин.

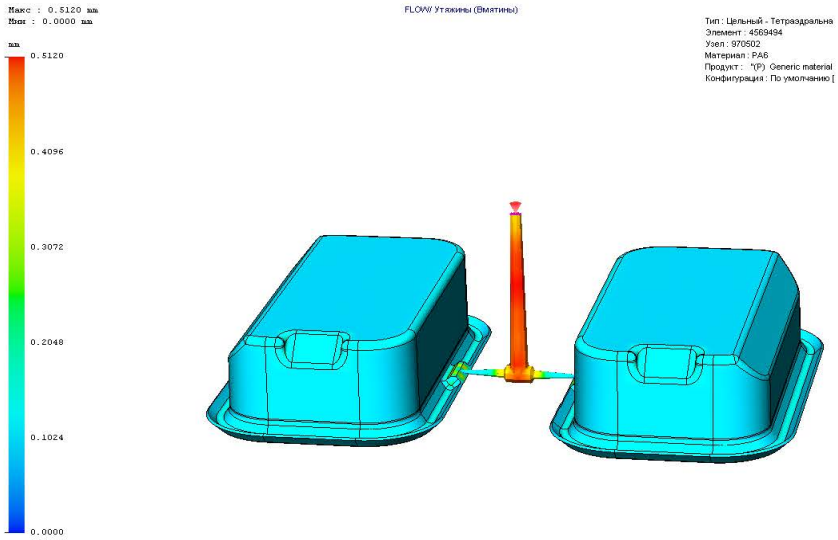


Рис 3.21. Діаграма прогнозування утворень западин та короблень поверхонь відливки

Розрахунок виконується для прогнозування утворень западин по всій поверхні деталі.

Причини виникнення западин.

- Нерівномірність охолодження деталі.
- Нерівномірна товщина стінок деталі.
- Недостатній тиск під час процесу підживлення розплавом полімеру.

Процес підживлення матеріалом це процес під час якого під тиском у порожнину подається додаткова доза розплаву полімеру. Додатковий матеріал подається у порожнину до моменту досягнення визначеного значення тиску у порожнині. Даний процес компенсує усадку матеріалу.

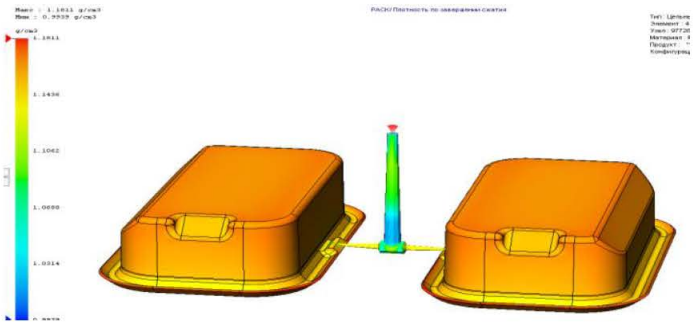


Рис 3.22. Щільність полімеру у сформованій деталі після процесу підживлення

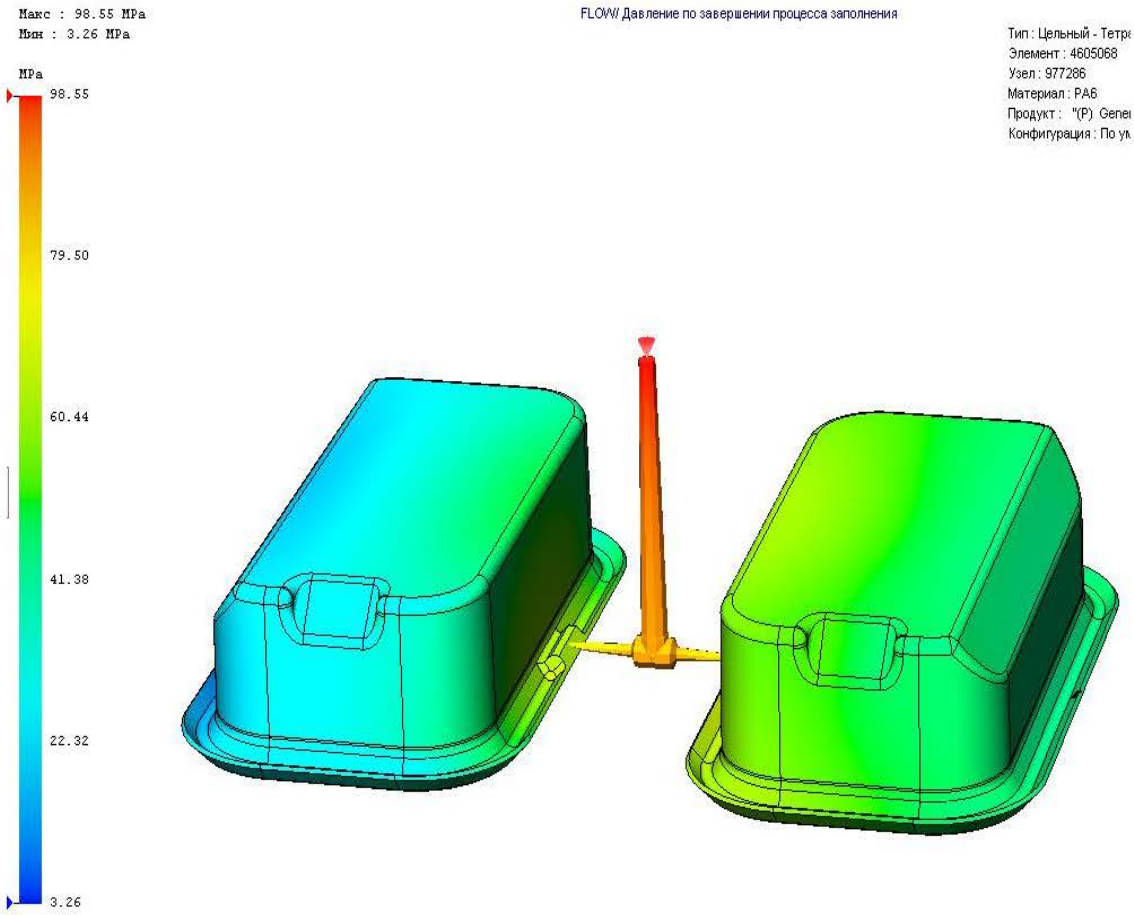


Рис 3.23. Розрахункове значення тиску під час процесу підживлення розплавом полімеру.

Прогнозування усадка деталі.

Загальна усадка виробу- це процес який характеризується зменшення розмірів відливки у процесі її застигання. Усадка пояснюється перерозподілом мікроструктур полімеру.

Усадку деталі викликають наступні фактори.

- Вологість гранул перероблюваного матеріалу.
- Різнотовщинність стінок виробу.
- Нерівномірне охолодження деталі.
- Недостатнє значення тиску під час процесу підживлення .

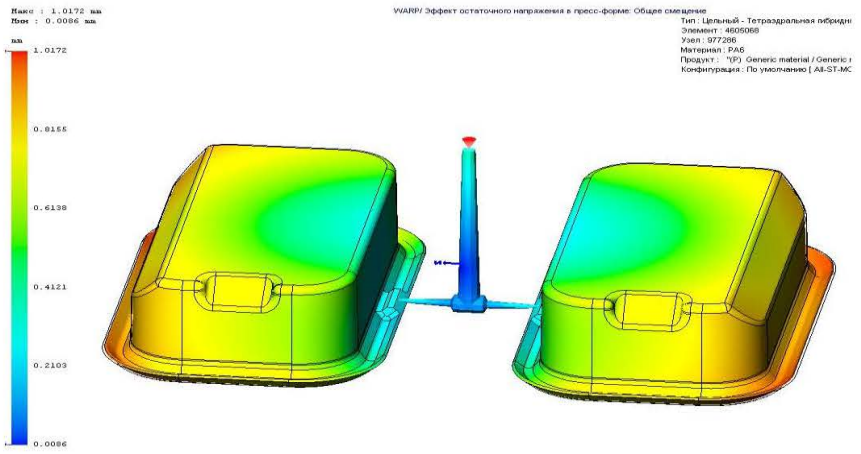


Рис 3.24. Усадка деталі

Результатом даного дослідження слугує діаграма на якій спостерігається рівномірна усадка деталі , значення усадки не перевищує визначених допусків розташування між площинами і рівняється 1 мм.

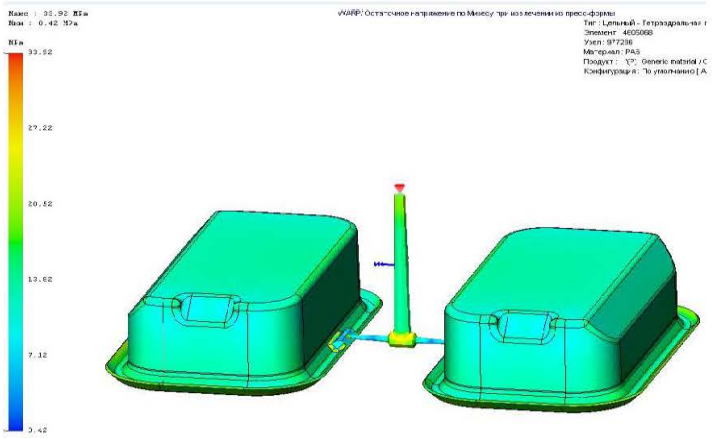


Рис 3.25. Напруження по Мезису - еквівалента напруга розтягу при вилучені із форми виробу.

Теорія стверджує, що пластичний матеріал починає пошкоджуватись в місцях, де напруга за Мезисом стає рівною граничній напрузі. У більшості випадків, межа плинності використовується як гранична напруга. Однак, програма дозволяє використовувати граничне розтягування, або задавати свою граничну напругу. Таким чином відбувається прогнузування напружень утворюваних на

поверхнях деталі під час її вилучення з форми за допомогою системи виштовхування.

3.9 Прес форма для лиття деталі контейнер

Аналіз отриманих даних

Створений макет ливникової системи є робочим , оскільки розплав полімеру досягає крайніх точок обох деталей одночасно. Температура фронту потоку на двох виробах однакова, це ще раз підтверджує рівномірний рух розплаву полімеру.

Макет системи охолодження та його розташування обрано вірно . Система охолодження справляється із своїм завданням та рівномірно охолоджує відливки, при чому варто зазначити те , що система охолодження є ненавантаженою.

Розрахунок усадки дає нам можливість зрозуміти, що : 3D модель виробу спроектована вірно, оскільки відбувається рівномірна усадка по всім площинам, також рівномірна усадка свідчить про рівномірний процес охолодження деталі.

Відсутність западин та недоліків свідчить про правильний вибір параметрів лиття.

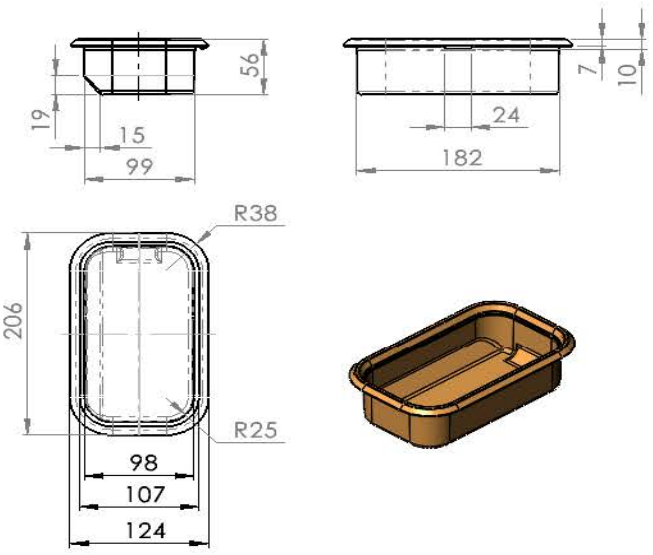


Рис 3.26. Габаритні розміри деталі

Проектування прес форми виконуємо у програмі Solidworks -за допомогою інструментів ливарної форми.

Проектування форми розпочинається із розділення моделі виробу за допомогою відсікаючої поверхні на елементи формування виробу: пуансон та матриці. Далі за допомогою допоміжних поверхонь визначається лінія роз'єму формуючих елементів. Наступним та останнім етапом при відтворенні формуючої порожнини є розділення інструментів із суцільної порожнини .

В результаті отримуємо формуючу порожнину яка складається із двох деталей. Якщо модель має наскрізні отвори, елементи піднутрення, необхідно додатково розробляти формуючи знаки. Розробка формуючих знаків як окремих деталей є невід'ємною частино, оскільки повторення форми тих самих знаків на пуансоні чи матриці не стільки може бути складним наскільки неможливим при фрезеруванні форми знаків або обробці за допомогою іскрової чи плазменевої ерозії. Для спрощення виготовлення та обслуговування форми, конструкцію формуючих поверхонь розробляють модульною.

Результат розробки формуючої порожнини:

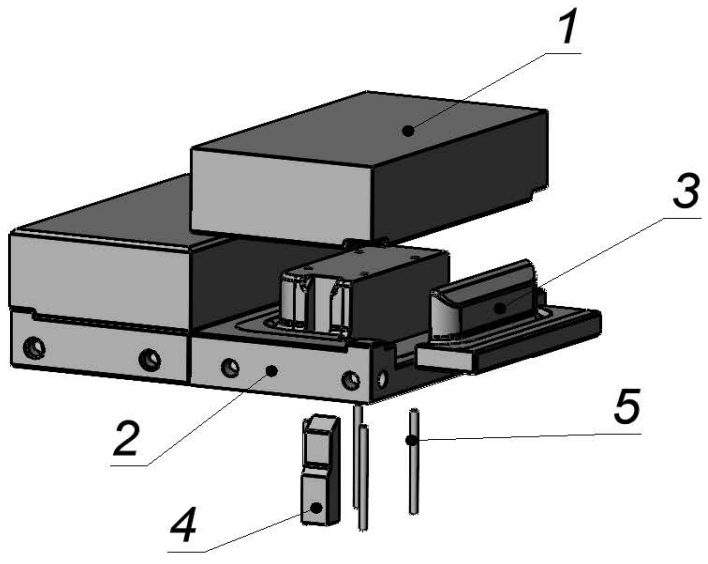


Рис 3.27. Формуючі деталі прес форми

1.Матриця. 2.Пуансон. 3.Повзун. 4.Формувальний знак пуансона.

5.Виштовхувачі.

Після розробки формуючих елементів, переходимо до етапу їх розміщення у плитах прес форми. У плиті пуансонів необхідно передбачити місця для встановлення направляючих повзунів (4), дані елементи відносяться до стандартних деталей форми. Рух повзунів відбувається за допомогою направляючих колонок (21) розміщених на нерухомій частині форми. Рух повзунів обмежує замок, який розміщується на центральні направляючій (4). Фіксація пуансонів відбувається за допомогою винтів.

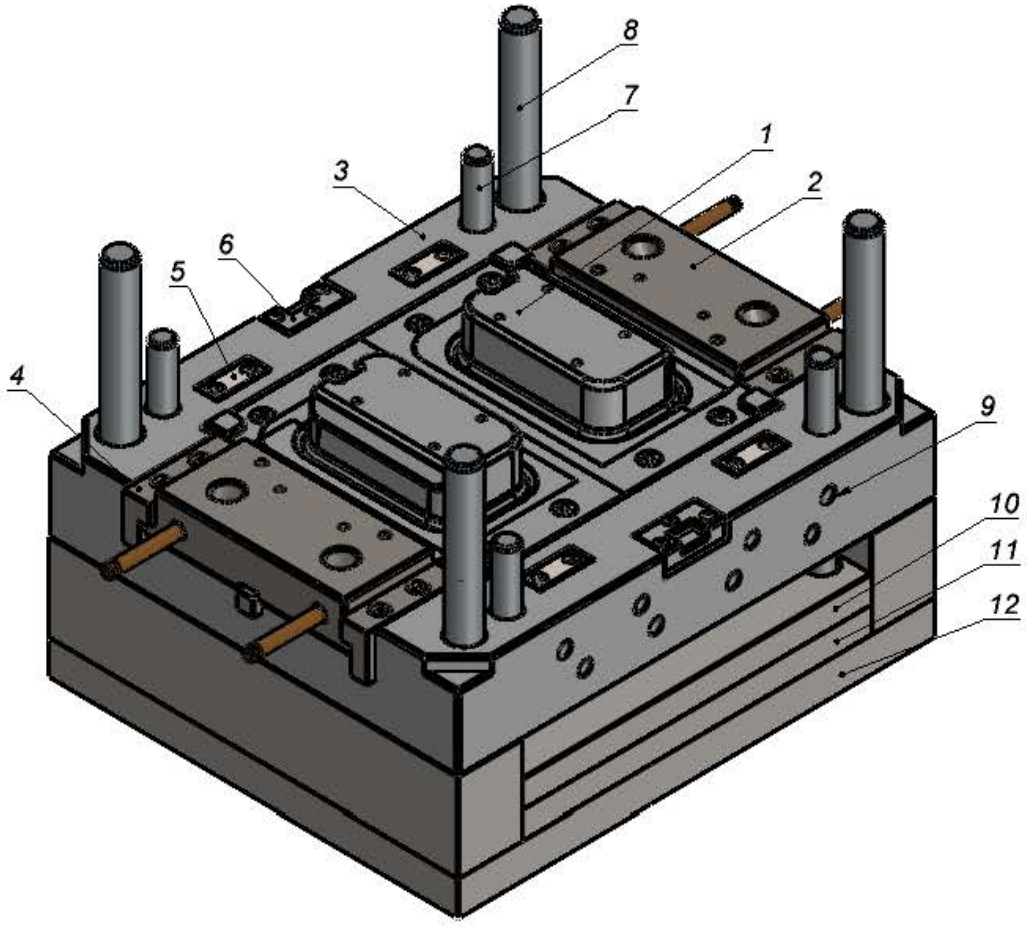


Рис 3.28. Рухома частина прес форми.

1. Пуансон. 2. Повзун. 3. Плита пуансонів. 4. Направляючі повзуна. 5. Вкладиш. 6.Замок. 7 . Колонка плити штовхання. 8. Направляюча колонка. 9. Система каналів охолодження. 10. Плита штовхачів. 11. Плита штовхання. 12. Задня плита форми

Додатковими стандартизованими елементами являються (6) замки прес форми, слугують для остаточного центрування обох половин форми при змиканні, одну відносно іншої. Вкладиші (5) стандартизовані елементи, за допомогою вкладишів контролюють відстань між половинами форми у замкнутому стані. Направляючі колонки (8) та (7) стандартизовані деталі, колонки (7) відповідають за обернено поступальний рух системи виштовхування при змиканні форми. Рух плити виштовхування при видаленні деталі із поверхні пуансона, здійснюється за допомогою ходових винтів термопласт автомату.

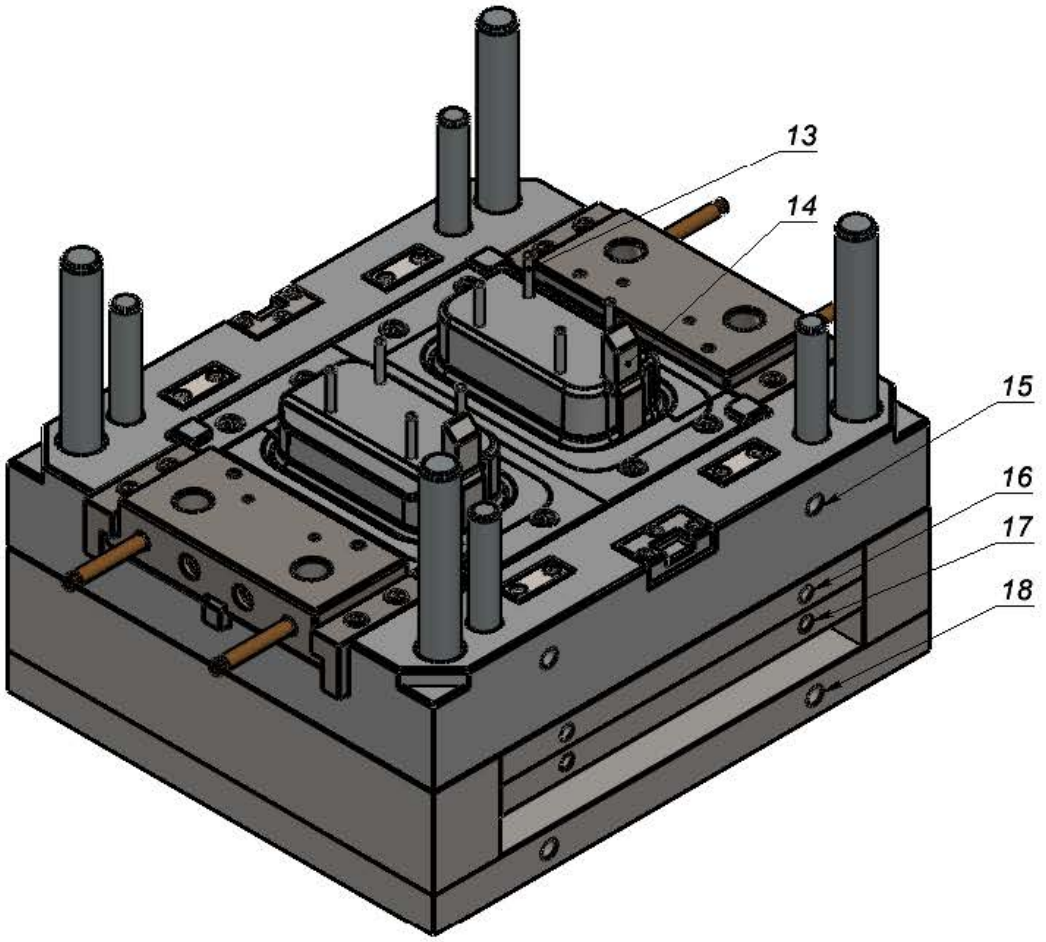


Рис 3.29. Система виштовхування

13. Виштовхувачі. 14. Формуючий знак (lifter). 15-18. Різьбові отвори під рим-болти

В даному випадку система виштовхування складається із виштовхувачів та формуючих знаків, останні із яких фіксуються у плиті штовхання за допомогою

спеціальних вставок. Виштовхувачі є стандартизованими деталями. Хід плити штовханні в даному випадку становить 84 мм. У процесі змикання форми, колонки (7) здійснюють поступальний рух, протилежний руху змикання форми за допомогою нерухомої частини форми, таким чином пакет плит виштовхування повертається у початкове положення .

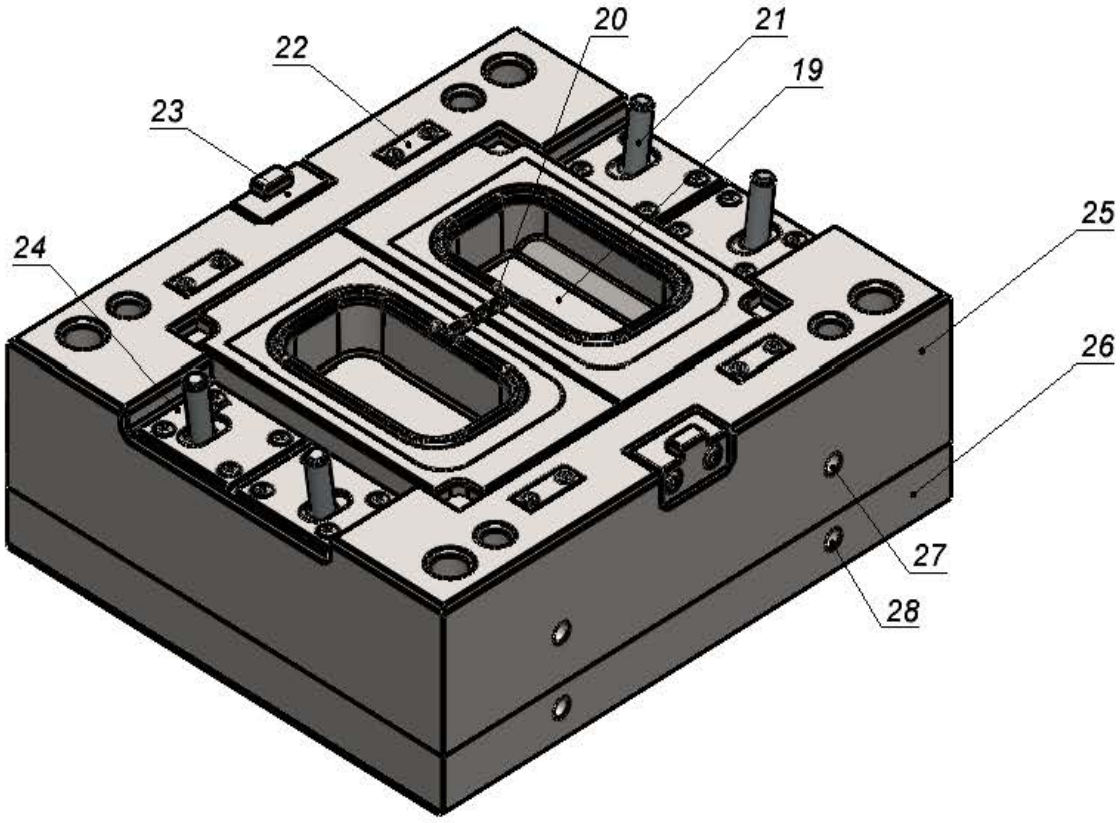


Рис 3.30. Нерухома частина форми.

19. Матриця. 20. Розвідні канали. 21.Колонка направляюча.22. Вкладиш. 23.Замок. 24. Пластини із мастильними магістралями. 25 Плита матриць. 27-28 різьбові отвори для рим-болтів. 26. Плита ливникової системи

Нерухома частина форми з ХГС складається із плити у якій розміщуються матриці (25). Система литтєвих каналів (25), на рисунку зображено центральний ливник із двома відгалуженнями. У даній формі використовується ХЛС , втулка - яка є центральним ливниковим каналом прес форми слугує направляючим

каналом, який направляє потік розплаву від сопла ТПА до формувальної порожнини.

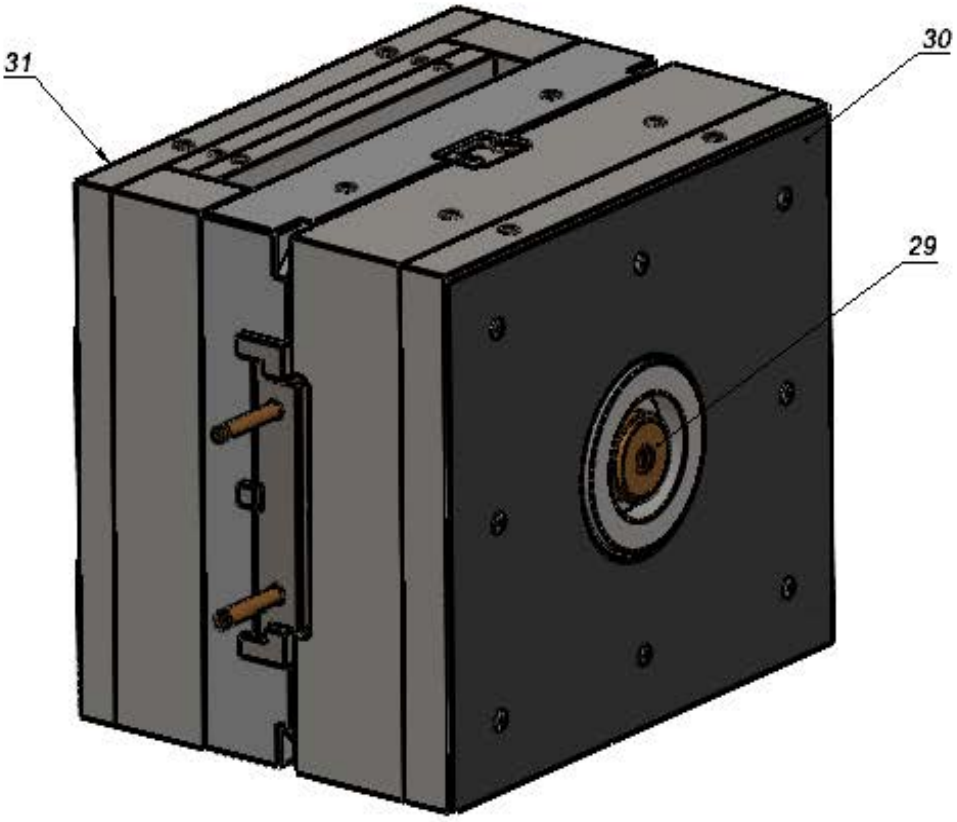


Рис 3.31..Прес форма

29. Втулка литтєвого каналу. 30-31. Текстолітові плити.

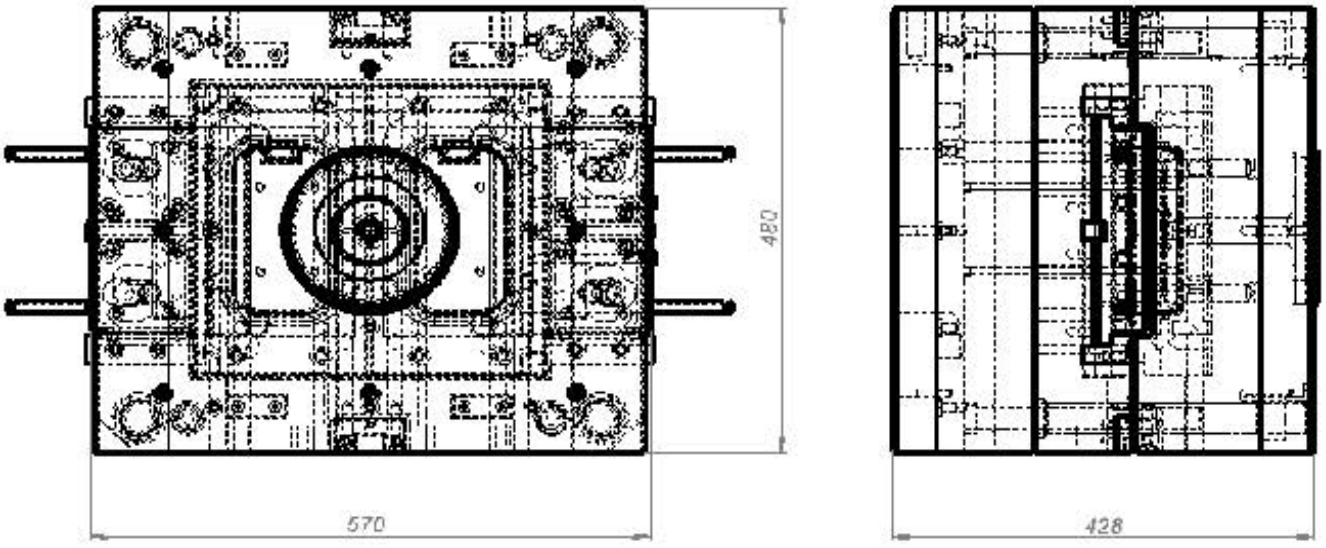


Рис 3.32 Габаритні розміри прес форми

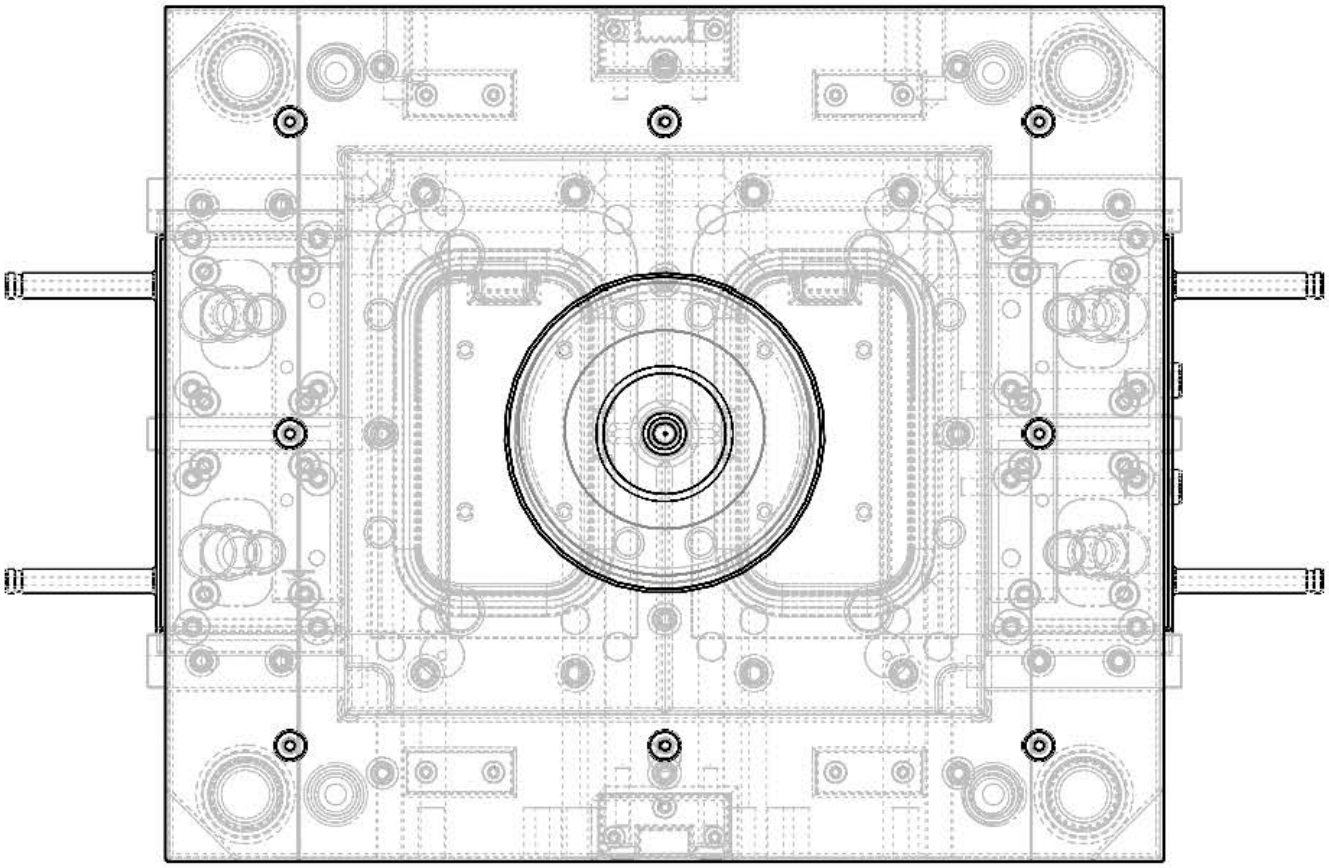


Рис 3.33 Прес форма

Висновок до розділу

Виконане моделювання процесу лиття деталі « контейнер » дозволило значно оптимізувати процес розробки прес форми.

В ході моделювання лиття деталі було створено макет ливникової системи із послідуючим розрахунком її роботопридатності. Визначено основні параметри ливникової системи, такі як геометрія каналу, розташування, довжина.

Виконано ряд розрахунків пов'язаних із процесом охолодження та застигання деталі. Розроблено макет системи охолодження, визначено оптимальні параметри: діаметр, довжина, розташування, геометрія охолоджувальної системи. Оскільки результати моделювання позитивні - макет системи охолодження був використаний та адаптований у формуючі елементи прес форми при її розробці

Визначено оптимальні параметри для лиття під тиском деталі «контейнер», такі як , тиск подачі матеріалу, тиск під час процесу підживлення , час необхідний для процесу підживлення, зусилля змикання форми, температура форми.

Сукупність отриманих результатів та правильне їх трактування сприяють та пришвидшують процес розробки форми.

ВИСНОВКИ

Проведене комп'ютерне моделювання процесу лиття деталей з полімерів дозволило визначити фактори, які впливають на виникнення дефектів деталі: нерівномірна усадка, короблення, утворення спаїв, нерівномірний розподіл внутрішніх напружень, час застигання відливки.

Дефекти які виникають на етапі лиття виробу тісно пов'язані параметрами лиття, конструкцією виробу, оснастки та в цілому підготовки виробництва.

1. Визначено значення тиску - 132 МПа з яким відбувається подача розплаву полімеру у формуючу порожнину. У випадку невірно розрахованого значення тиску під яким подається матеріал у формуючу порожнину виникають такі дефекти як: недоливи, спаї, різнотовщинність деталі. Різнотовщинність деталі несе за собою утворення послідуючих дефектів пов'язаних із нерівномірним застиганням виробу, що в свою чергу викликає нерівномірний розподіл напружень по всьому об'єму деталі.

2. Визначено значення тиску- 98 МПА з яким проходить процес підживлення формуючої порожнини розплавом полімеру, значення важливим параметром для процесу виготовлення відливки. Значення тиску підживлення напряму впливає на щільність полімеру у сформованій деталі.

3. Геометричні параметри системи охолодження впливають на час застигання деталі. Відлита деталь повинна рівномірно охолоджуватись під час циклу охолодження. У випадку ігнорування цього фактору, відливок матиме нерівномірну структуру, відбудеться нерівномірний розподіл напружень по всьому об'єму деталі.

4. Сукупність факторів, які впливають на усадку деталі: вологість переробленого полімеру (гранул), значення часу застигання деталі, щільність полімеру у сформованій деталі, значення тиску подачі та підживлення, геометрія формуючої порожнини та деталі.

5. Відповідно до результатів комп'ютерного моделювання процесу лиття деталі, знайдено оптимальну геометрію для ливникової системи, для форми з холодноливниковою системою.

6. На основі результатів комп'ютерного моделювання знайдено оптимальне місце для подачі матеріалу форми з гарчеканальною системою.

7. Виявлено оптимальну геометрію системи охолодження та температуру охолоджуючої рідини, при якій деформація є мінімальною.

8. Проведено моделювання процесу охолодження виробу, розраховано значення кількості теплоти, яке виводиться із формуючої порожнини системою охолодження протягом циклу.

9. Проведено математичні розрахунки процесів охолодження та усадки, результати розрахунків наведені у розділі 3.

10. Підтверджено актуальність використання CAE модулів для моделювання процесу лиття під тиском для оптимізації процесу розробки оснастки та для зменшення вірогідності утворення таких видів дефектів як: усадка, короблення, утворення спаїв та западин, нерівномірний розподіл внутрішніх напружень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теорія та методи дослідження та випробування пластмас:Л.П. Підгорна, Г.М. Черкашина, В.В. Лебедєв

2. 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.

3. Влияние конструкции пластмассовых изделий на их эксплуатационные свойства. М., МДНТП, 1974.

4. 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.

5. Басов Н. И. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов / Н. И.. Басов. – М.: Химия, 1991. – 352 с.

6. 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. унта, 1999. – 162 с.

7. Пантелеев А. П. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс / А. П. Пантелеев, Ю. М. Шевцов, И. А. Горячев. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.

8. Способ улучшения детали, полученной литьем под давлением патент RU 2571978 C2, B22D 17/00 (2006.01

9. Прес форма для лиття під тиском полімерів патент UA 18318 U МПК (2006) B29C 45/26

10. Прес форма для лиття під тиском полімерів патент U 34717 A, B29C45/26 100.

11. Прес форма для лиття пластмасового тонкостінного виробу з дном патент UA 86583 U, МПК (2013.01), B29C 43/00

12. Способ и устройство для охлаждения литых изделий после извлечения из пресс-формы патент RU 2392119 C1, B29C 49/78

13. Термостойкие полимеры. М., Наука, 1969. Коршак В.В.

14. Основные процессы переработки полимеров. М., Химия, 1972.Торнер Р.В.

15. Hele-Shaw flow- https://en.wikipedia.org/wiki/Hele-Shaw_flow

16. http://www.cntomo.com/ekstrudery/1063-kak-organizuetsyaohlazhdenie-ekstrudera.html (Как организуется охлаждение экструдера)

17. https://uk.wikipedia.org/wiki/ (Лиття пластмас під тиском)

18. https://knowledge.allbest.ru/marketing/ (Способи виробництва виробів із пластмас та дефекти на виробах із пластичних мас)

19. Лиття полімерів під тиском / Оссвальд Т., Турнг Л.-Ш., Грэманн П. Дж., под ред. под ред. Э. Л. Калинчева

20. Основы технологии переработки пластических масс. Л., Химия, 1983 Бортников В.Г.

21. Переработка поликарбоната, полиамида и сополимеров формальдегида литьем под давлением. НИИТЭХИМ, 1975. Калинчев Э.Л., Марам Е.И., Жуковская Э.Д.

22. Конструирование литниковых систем пресс-форм для литья под давлением термопластов. М., НПО Пластик", НИИТЭХИМ, 1977.

23. ГОСТ 24888-81 - Пластмассы, полимеры и синтетические смолы.

ВТ-III			
Модель		**ВТ20-III**	
Діаметр шнека	мм	25	28
Об'єм вприску	$см^3$	120	200
Вага вприску	г	60	78
Номінальна швидкість вприску	см3/с	300	450
Тиск вприску	Мпа	223	178
Відношення довжини до діаметра шнека	L/D	22	22
Хід поршня	мм	140	
Швидкість обертання шнека	об/мин	260	
Контактне зусилля сопла	кН	30	
Хід сопла	мм	205	
Вузол змикання			
Зусилля змикання	кН	220	
Хід рухомої частини	мм	270	
Розмір плит	мм	540*540	
Відстань між колонами	мм	310*310	
Максимальна ширина зазору	мм	570	
Висота форми (Мін/Макс)	мм	130-300	
Хід виштовхувачів	мм	80	
Зусилля виштовхувачів	кН	28,5	
Кількість виштовхувачів	шт.	4+1	
Блок живлення			
Тиск системи	МПа	14,5	
Потужність двигуна насоса	кВт	7,4	
Потужність нагрівачів	кВт	4,85	
Кількість зон нагріву	шт.	4	
Інше			
Габарити ТПА (д*ш*в)	м	4,03*1,1*1,76	
Масса ТПА	кг	2600	