

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**«Розробка методів конструювання пластикових деталей
автомобіля на стадії проектування»**

Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 132 Матеріалознавство

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр КвРМТВА. 26 22145.000 ПЗ

Виконав студент 4 курсу група МТВА-22-1



Підпис

Денис НАДАХОВСЬКИЙ

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ



Підпис

Олег БАБАК

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ



Підпис


Олег МАКОВКІН

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри ТАМ

10.06.2026

Дата



Підпис

Олександр ДИХА

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма – «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри TAM

проф., д.т.н. Диха О.В.

15.04

2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Надаховському Денису Васильовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи « Розробка методів конструювання пластикових деталей автомобіля на стадії проектування»

керівник роботи Бабак Олег Петрович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 8 січня 2026р. № 7(Д14)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла дослідження; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Стан питання, актуальність; 2 Методи побудови складних поверхонь виробів із пластмас; 3 Моделювання технологічного процесу лиття під тиском; 4. Порівняння результатів аналіз у продуктах Mold Flow та Moldex 3D.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 25.04.26

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строки виконання	Примітка
1	<i>Літературний огляд</i>	20.05.2026	
2	<i>Технологічний розділ</i>	25.05.2026	
3	<i>Конструкторський розділ</i>	30.05.2026	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	2.06.2026	
5	<i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи</i>	5.06.2026	
6	<i>Нормоконтроль кваліфікаційної роботи</i>	9.06.2026	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	10.06.2026	

Студент

Керівник роботи



 Підпис



 Підпис

Денис НАДАХОВСЬКИЙ
 Ім'я, прізвище

Олег БАБАК
 Ім'я, прізвище

РЕФЕРАТ

Випускню кваліфікаційну роботу виконано студентом гр. МТВА 22-1 Надаховським Денисом Васильовичем на тему: «Розробка методів конструювання пластикових деталей автомобіля на стадії проектування».

При виробництві будь-яких машинобудівних виробів проектування технологічного оснащення Томі має вирішальне значення для досягнення цілей підвищення якості, скорочення термінів і зниження трудомісткості. Машинобудівні підприємства мають перейти на використання досягнень інформаційних технологій, таких як інженерний аналіз, твердотільне моделювання та комп'ютерні бази знань, щоб вони могли успішно вирішити це завдання. Таким чином, багато компаній у машинобудуванні пов'язують впровадження та використання систем CAD, CAM і CAE з майбутнім. Одним із найпоширеніших способів виготовлення виробів із пластику є лиття під тиском. У наш час неможливо уявити собі процес проектування деталі без використання систем інженерного аналізу. Комп'ютерний аналіз не тільки дозволяє скоротити час і грошові витрати на прототипування виробів, але й дозволяє запобігти потенційним проблемам до початку виробництва. Це позитивно впливає на процес створення нових продуктів.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка методів створення пластмасових деталей на ранніх стадіях проектування, щоб зменшити витрати на технічну та виробничу підготовку виробів до їх виготовлення.

Кваліфікаційна робота містить 86 сторінок машинописного тексту з рисунками та таблицями, а також список використаних джерел із 13 найменувань, вступ, чотирьох розділів та висновок.

Ключові слова: КОНСТРУЮВАННЯ ПЛАСТИКОВИХ ДЕТАЛЕЙ, РАННІ СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ, ТВЕРДОТІЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ ПЛАСТИКУ.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Стан питання, актуальність.....	8
1.1 Класифікація автомобільних виробів із пластмас.....	8
1.1.1 Опис типових конструкцій прес-форм для лиття під тиском виробів автомобільної промисловості.....	10
1.1.2 Опис можливостей систем інженерного аналізу для моделювання процесу лиття під тиском.....	13
1.1.3 Аналіз програмних продуктів та проектування проектів у CAD системах.....	25
1.1.3.1 Аналіз програмних продуктів.....	25
1.1.3.2 Проектування пресформ в CAD системах.....	27
2 Методи побудови складних поверхонь виробів із пластмас.....	34
2.2 Розробка електронних моделей виробів автомобіля.....	36
2.2.1 Тривимірне геометричне моделювання.....	36
2.2.2 Методи отримання твердотілих моделей.....	38
2.2.3 Функції моделювання.....	38
2.2.4 Параметричне моделювання.....	41
2.3 Розрахунок параметрів литої деталі та моделювання.....	42
2.4 Причини утворення дефекту під час лиття під тиском, рекомендації щодо його усунення.....	61
3 Моделювання технологічного процесу лиття під тиском.....	67

					<i>КвРМТВА 26. 22145. 000 ПЗ</i>			
Змн	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дат	<i>Розробка методів конструювання пластикових деталей автомобіля на стадії проектування</i>	Літ.	Арк.	Акр.шіт
Розроб.		<i>Надаховський</i>					4	86
Перевір.		<i>Бабак</i>				<i>ХНУ група МТВА 22-1</i>		
Реценз.								
Н. Контр.		<i>Маковкін</i>						
Затверд.		<i>Диха</i>						

3.1	Моделювання технологічних процесів у модулі Moldex 3D в NX	
9.0	67
3.2	Моделювання тех процесів у Mold Flow.....	67
3.3	Усунення дефекту короблення.....	79
4.	Порівняння результатів аналіз у продуктах Mold Flow та Moldex 3D.....	81
	Висновок.....	83
	Список використаної літератури.....	84
	Додаток.....	86

Вступ

Здатність сучасних машинобудівних підприємств конкурувати у сфері виробництва наукомістких виробів насамперед залежить від можливостей технологічної підготовки виробництва (ТПВ) в умовах наростаючої глобалізації ринку. Підвищення якості, скорочення термінів, зниження витрат тощо демонструють ці можливості. Світова спільнота пов'язує значний прогрес у розвитку сучасного машинобудівного виробництва з покращенням показників діяльності у цьому напрямі.

Розширення асортименту виробів і постійне зростання потреб у технологічному оснащенні (штампи, прес-форми, різальний та вимірювальний інструмент, пристосування тощо) є результатом цього виробництва. У виробничих умовах час, необхідний для розробки нового продукту, для проектування та виготовлення технологічного обладнання, зазвичай більший, ніж час, необхідний для виробництва власного продукту, для його матеріалізації та призначення.

При виробництві будь-яких машинобудівних виробів проектування технологічного оснащення Томі має вирішальне значення для досягнення цілей підвищення якості, скорочення термінів і зниження трудомісткості. Машинобудівні підприємства мають перейти на використання досягнень інформаційних технологій, таких як інженерний аналіз, твердотільне моделювання та комп'ютерні бази знань, щоб вони могли успішно вирішити це завдання. Таким чином, багато компаній у машинобудуванні пов'язують впровадження та використання систем CAD, CAM і CAE з майбутнім. Одним із найпоширеніших способів виготовлення виробів із пластику є лиття під тиском. У наш час неможливо уявити собі процес проектування деталі без використання систем інженерного аналізу. Комп'ютерний аналіз не тільки

					<i>КєР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

дозволяє скоротити час і грошові витрати на прототипування виробів, але й дозволяє запобігти потенційним проблемам до початку виробництва. Це позитивно впливає на процес створення нових продуктів.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка методів створення пластмасових деталей на ранніх стадіях проектування, щоб зменшити витрати на технічну та виробничу підготовку виробів до їх виготовлення.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

1 Стан питання, актуальність

1.1 Класифікація автомобільних виробів із пластмас

Пластмаса все частіше використовується в конструкції вітчизняних автомобілів. Це в першу чергу пов'язано з тим, що пластичні маси значно перевершують традиційні матеріали, які використовуються при виготовленні автомобілів, з точки зору щільності, корозійної стійкості, антифрикційних і електротехнічних властивостей, а також технологічних властивостей.

За останні десять років у вітчизняному автомобілебудуванні відбулися значні зміни щодо використання пластмас. Деталі з пластмаси раніше виготовляли лише для електротехнічних, антифрикційних і декоративних цілей. У нових моделях автомобілів використовується понад 500 різних пластмасових компонентів, включаючи бампери, вентилятори, внутрішні панелі дверей, паливні бачки, розширювальні бачки, панелі приладів, радіаторні решітки, ковпаки коліс і панелі приладів.

Основними причинами значного використання пластмас у конструкції автомобілів у країні є:

- зниження матеріаломісткості конструкції через використання пластмас для виготовлення великогабаритних деталей, таких як бампери, капоти та внутрішні панелі дверей;
- підвищення безпеки експлуатації автомобіля завдяки виготовленню з пластмас бамперів, підлокітників, підголівників, м'яких панелей приладів, рульових коліс та інтер'єру автомобіля з нових полімерів;
- підвищення довговічності та експлуатаційних

Пластична маса (пластмаса, пластик) — це речовина, яка складається з полімеру або олігомеру з різними інгредієнтами, яка формується у в'язкотекучому або високоеластичному стані, а коли використовується, стає склоподібним (аморфним) або кристалічним.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наповнювачі, такі як тальк, каолін, слюда, борошно деревне, скляне, органічне, вуглецеве та інші волокна, можуть бути інгредієнтами; пластифікатори, затверджувачі, стабілізатори, барвники та інші.

Пластмаси поділяються на термопласти та реактопласти залежно від способів, за допомогою яких вони виробляються.

Реактивні пластмаси, також відомі як термореактивні пластмаси, є матеріалами, які переробляються, щоб створити тривимірний полімер, який називається затвердінням. У результаті полімери перестають бути стійкими до розчинників і втрачають здатність переходити у в'язко-текучий стан під дією нагрівання.

Пластмаси бувають загального призначення, високоміцні, антикорозійні, прозорі, морозо- та теплостійкі та електроізоляційні.

Пластмаси загального призначення — це матеріали, до яких не висувають особливих вимог щодо їхніх фізико-механічних та хімічних властивостей. Ці матеріали включають оздоблювальні, декоративні, пакувальні, господарсько-побутові та інші вироби з пластмас (наприклад, полівінілхлориду, поліпропілену та фенопласту).

Полікарбонати, поліформальдегіди та інші високоміцні пластмаси мають високу межу міцності при стисканні та згинанні, високу зносостійкість і високий коефіцієнт тертя (фрикційні властивості). Ці матеріали можна використовувати для виготовлення труб, зубчастих коліс і гребних гвинтів, а також для заміни бронзи та бабітів у підшипниках і втулках.

Каучуки, поліізобутилен і епоксипласти є хімічно стійкими до води, кислот, розчинів солей і органічних розчинників. З цих матеріалів виготовляють контейнери-цистерни для рідкого палива замість металевих компонентів у конструкціях і обладнаннях, які працюють в агресивних середовищах.

Поліметилметакрилат і полістирол, прозорі пластмаси, пропускають промені світла в широкому діапазоні хвиль, особливо в ультрафіолетовій частині спектра. Завдяки цьому вони мають кращі оптичні властивості, ніж

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

кращі види кристалю та скла, а також значно перевершують силікатне скло. Такі пластмаси використовуються для виготовлення оптичних систем освітлювальної арматури.

Морозостійкі пластмаси, такі як полікарбонат, поліізобутилен і етилцелюлоза, зберігають еластичність і гнучкість навіть при низьких температурах. Вироби та конструкції з таких пластмас можна використовувати в атмосфері.

Теплостійкі пластмаси, такі як фенопласти, поліорганосилоксани та політрихлоретилен, не розм'якшуються при високих температурах. Такі пластмаси широко використовують як у промисловості, так і в побуті; іноді вони замінюють метал і кераміку.

Електроізоляційні пластмаси, такі як поліетилен, полівінілхлорид і полістирол, мають низьку діелектричну постійність, високу електричну міцність і високий об'ємний поверхневий опір. Їх використовують замість ебоніту в електротехніці для ізоляції проводів та електроустаткування.

Теплоізоляційні пластмаси, такі як фенопласти, полівінілхлорид, полістирол і поліуретан, мають низьку теплопровідність. Такі пластмаси включають пористі газонаповнені матеріали, такі як поропласти та пінопласти. Вони застосовуються для теплоізоляції холодильних приладів і установок, житлових приміщень, багатошарових стінових панелей та інших місць.

1.1.1 Опис типових конструкцій прес-форм для лиття під тиском виробів автомобільної промисловості.

Термореактивні матеріали можна класифікувати за такими характеристиками: форми для компресійного пресування, литьового пресування та лиття під тиском.

1. По технологічному аспекту це спосіб переробки пластичних мас;
2. По експлуатаційних характеристиках — характер взаємодії з

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

пресою

3. Тип пресформи, кількість формуючих порожнин, тип роз'єму матриці та виштовхування відпресованих деталей є факторами, які впливають на конструкцію.

Згідно з технологічною характеристикою, пресформи поділяються на три категорії: компресійні; ливарні, встановлені на гідравлічні преси; і форми лиття під тиском для термопластів, які встановлюються на ливарні машини.

Пресформи поділяються на стаціонарні, які закріплюються на пресі або машині, напівстаціонарні, в яких витягується тільки матриця, і знімні, які періодично знімаються з пресу для вилучення продуктів.

Прес-форми поділяються на групи відповідно до конструктивної характеристики:

- 1) Комп'ютерні пресформи відкритого, напівзакритого та закритого типу. Вони мають загальну завантажувальну камеру та окремі завантажувальні камери для кожної формуючої порожнини, а також зустрічні пуансони.

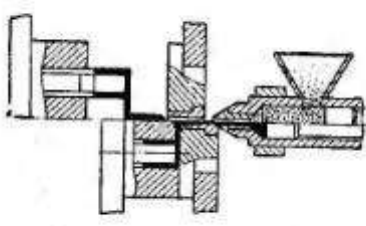
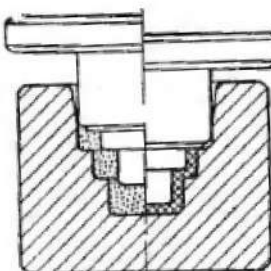
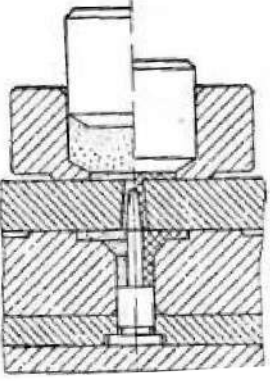
- 2) Ливарні пресформи мають верхню завантажувальну камеру на пресі з одним робочим тиском і нижню завантажувальну камеру на пресі з двома робочими тисками.

- 3) Форми для лиття під тиском, які використовують загальне упорскування пластику в кілька формуючих площин і роздільне упорскування кожної формуючої порожнини. Крім того, формуючі знаки або різьбові знаки автоматично висуваються та встановлюються з арматури.

Крім того, всі групи пресформ можна класифікувати як одногніздні, так і багатогніздні за конструкцією. Крім того, за типом роз'єму матриці пресформи можна класифікувати як з однією, двома або декількома горизонтальними площинами, однією або двома вертикальними площинами та комбінованим роз'ємом.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Таблиця 1.1. Технічні ознаки класифікації прес-форм (довідник з прес-форм Е.Н Дьомін)

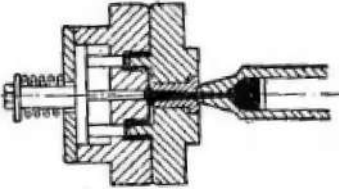
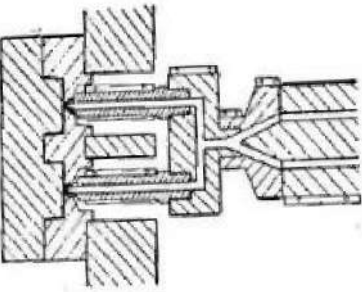
За технічними ознаками	<p>Форма для лиття під тиском встановлювані на термопласт автоматах з поданням матеріалу у формуючу полоть під тиском з циліндр машини.</p>		<p>Для виробів будь-якої конфігурації, забезпечує високу точність виробів</p>
	<p>Компресійні пресформи з прямим впливом тиску преса на прес матеріал, завантажується в формуючу порожнина</p>		<p>Для виробів площинних, монолітних, порожніх, одностінних, з отворами</p>
	<p>Литеві пресформи з тиском преса, впливає на матеріал, завантажується в камеру-тигель, звідти він у результаті дії тепла та тиску перетікає в літникову втулку та литники</p>		<p>Для виробів з термореактивних пластмас майже всіх марок з двосторонній арматурою, різностінних, схильних до деформації, з отворами</p>

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ

Арк.

12

<p>Форми для лиття під тиском з упорскуванням матеріалу на одне сопла одночасно в кілька формуючих площин.</p>		<p>Найбільш поширена конструкція форм для лиття під тиском. Нестача - неповне використання корисної потужності, необхідна зачистка литника</p>
<p>Форма для лиття під тиском з числом сопел запірною крана, рівною кількістю формуючих порожнин у формі, з роздільним упорскуванням в кожен порожнину</p>		<p>Велике застосування в зв'язки з наявністю точкового літника, відпадає необхідність у наступній зачистці відлитих виробів</p>

1.1.2 Опис можливостей систем інженерного аналізу для моделювання процесу лиття під тиском

Сучкові САЕ пропонують інструменти для моделювання форм лиття та виробів із пластмаси, а також для перевірки та оптимізації процесів лиття під тиском. Продукт дає можливість дослідити, як товщина стінок, розташування литників, матеріали та геометрія деталей впливають на технологічність виробництва виробів із термоактивних матеріалів і термопластмас. Ключові можливості: можливість імпортувати файли з інших САПР дозволяє оцінювати конструкції пластмасових деталей за 3D-моделями з будь-якого

САПР (рис.1.1).

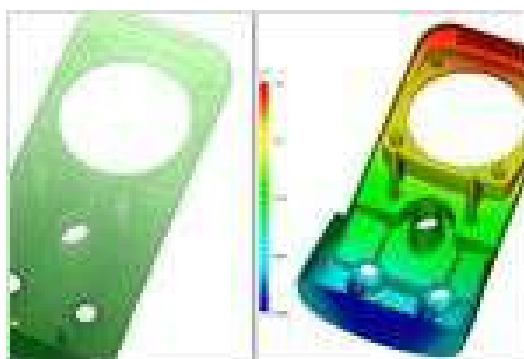


Рис.1.1 - Охолодження та нагрівання ливарних форм при змінному режимі

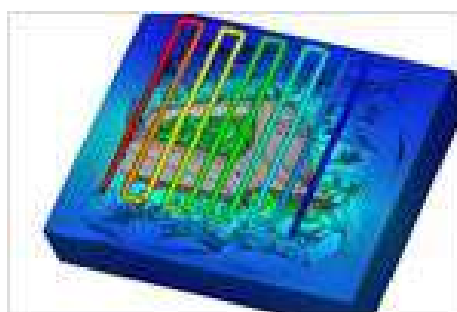


Рис 1.2 - Охолодження та нагрівання ливарних форм при змінному режимі

Під час циклу лиття температуру ливарної форми можна побачити. Крім того, можна прогнозувати кількість циклів, необхідних для підтримки постійної температури форми. (Рисунок 1.2).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Кер МТВА 2622145. 000 ПЗ

Арк.

14

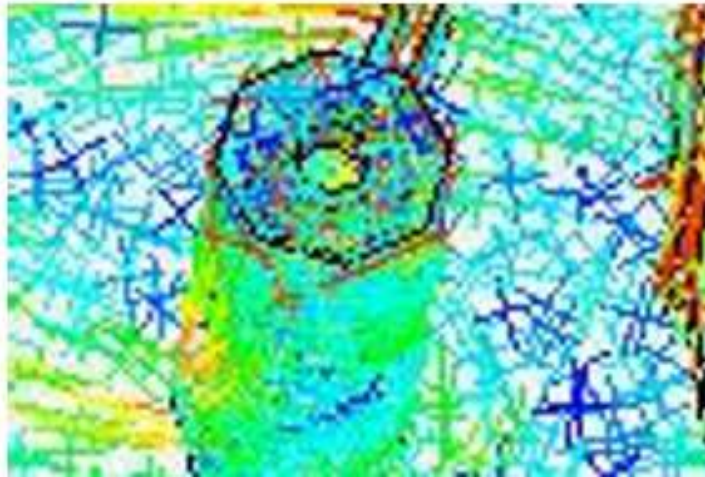


Рис. 1.3. - Орієнтація волокон у деталях із пластмаси

розподіл волокон у контейнерах із пластмаси та металопластику. (Рисунок 1.3). Можна більш точно прогнозувати орієнтацію довгого та короткого скловолокна, включаючи обриви довгого скловолокна; ці характеристики є важливими для загальної якості, форми, міцності та маси деталей.

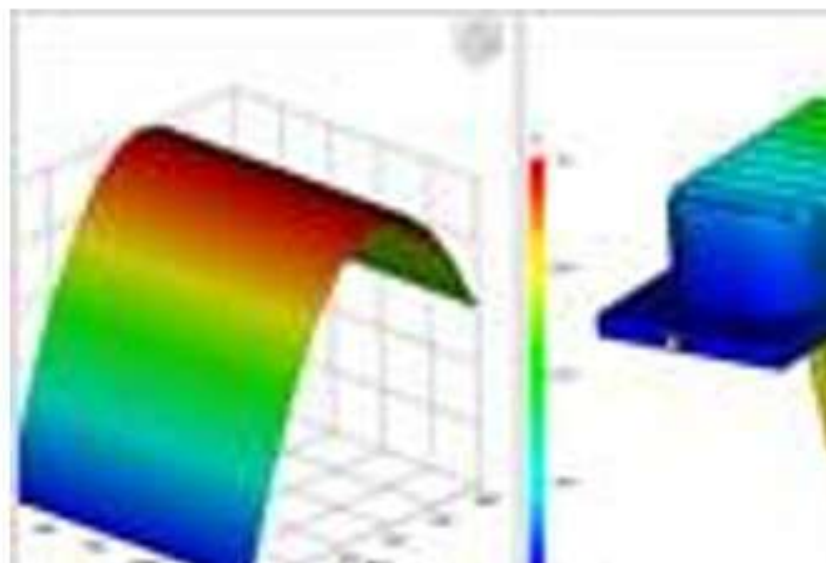


Рис.1.4 - Оптимізація проекту

Підтримуються всі типи сіток, процесів лиття та засобів моделювання, що робить процес проектування та виробництва пластмасових деталей більш ефективним. Рисунок 1.4.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Моделювання усадки та конструктивної цілісності литого виробу допомагає в оцінці проекту деталі та форми, оскільки воно контролює усадку та деформацію на основі даних матеріалів і параметрів обробки. Точно скориговані для подальшої інструментальної зміни (Рис. 1.5).

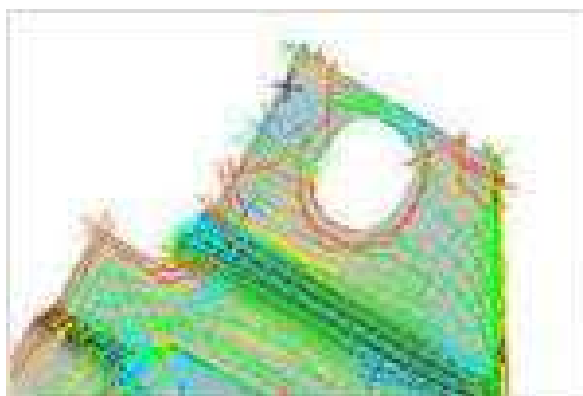


Рис.1.5 – Моделювання деформацій

Продукт дозволяє моделювати геометрію та оснащення, лиття пластмас під тиском, реакційно здібне лиття маси, лиття смолою та лиття гуми під тиском (рис. 1.6).

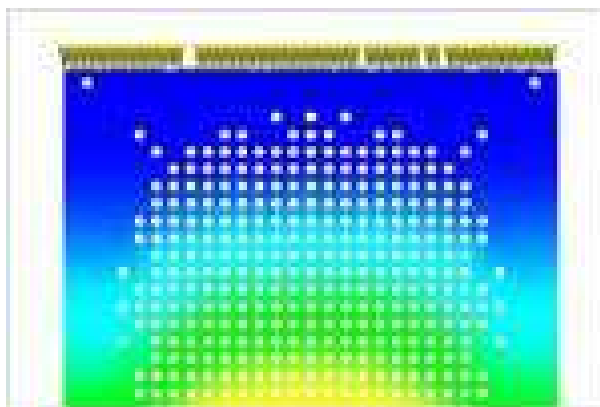


Рис.1.6 – Моделювання термореактивних пластмас

Щоб підвищити технологічність і якість деталей із пластмаси, редагування дозволяє швидше і зручніше спрощувати геометрію (рис. 1.7).

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рис.1.7 – Редагування геометрії

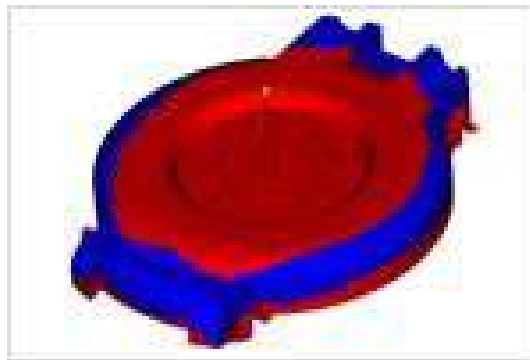


Рис.1.8 – Спеціалізовані процеси лиття

Згідно з рис. 1.8, ви можете моделювати різноманітні методи лиття пластмас і спеціалізовані методи обробки деталей.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

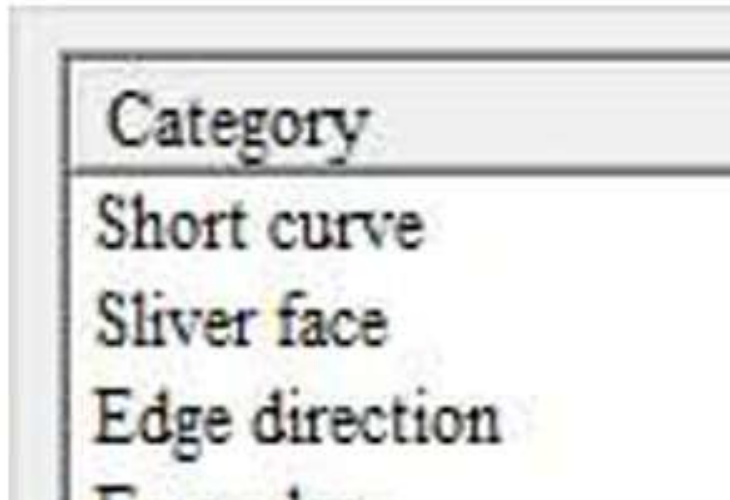


Рис. 1.9 – Взаємодія з іншими САПР

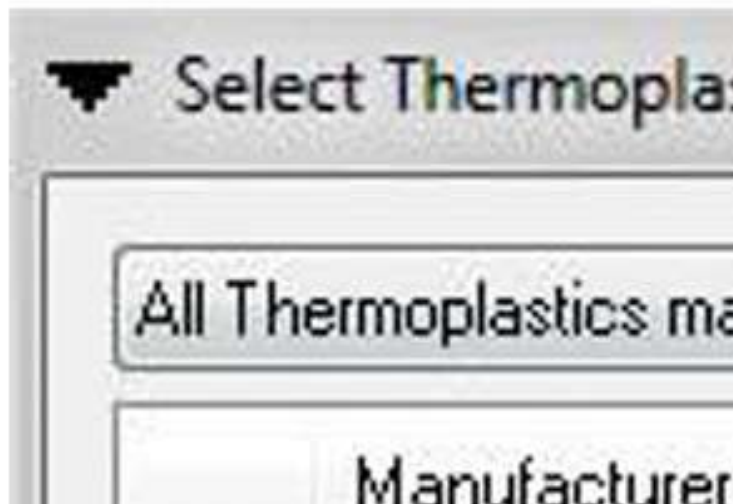


Рис.1.10 – Відомості по матеріалам

Дає можливість безпомилково моделювати товари з понад 8700 різних типів пластмас. великі бази матеріалів, а також послуги з випробування та погодження додаткових матеріалів. (Рисунок 1.10).

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

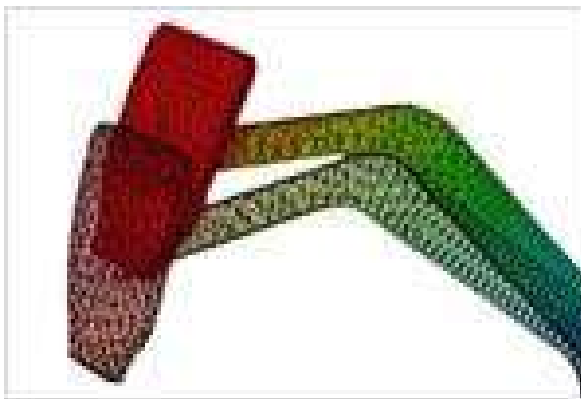


Рис.1.11 Обмін САЕ-даними

Зменшення кількості дорогих змін і виробничих дефектів можна досягти за допомогою інженерного аналізу якісних пластмасових деталей і форм для них на будь-якому етапі проектування та виробництва.

Аналіз заповнення порожнини розплавом термопластів

Для проведення аналізу необхідно визначити місця впуску, вибрати марку матеріалу з бази даних, визначити технологічні параметри процесу, такі як температура розплаву та форма, а також інші розрахункові умови.

Можна використовувати різні алгоритми для моделювання стадії заповнення ливарної форми. Ці алгоритми включають використання різних матеріалів формоутворювальних деталей (ФУД) і змін температур між пуансоном і матрицею. При моделюванні можна прогнозувати недолив, викликаний замиканням повітря в порожнині форми, враховуючи розташування та форму повітряних відводів і процес витіснення повітря з формуючої порожнини потоком розплаву, що рухається.

Аналітичний метод з автоматичною оптимізацією швидкості упорскування допомагає визначити найкращі умови заповнення ливарної форми. Аналіз з плануванням експерименту можна використовувати для визначення факторів, які найбільше впливають на процес лиття конкретного виробу (аналіз чутливості Тагуті), а також для визначення оптимальних умов (факторний аналіз) з урахуванням взаємодії параметрів процесу.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Умови стадії упорскування, які аналізуються, відповідають можливостям сучасних ливарних машин. Зокрема, можуть використовуватися різні методи завдання профілю швидкості упорскування та умови перемикання на режим керування тиском.

Побудова «вікна переробки», автоматичний вибір місця впуску та автоматичний баланс ливникових каналів підвищили потенціал аналізу.

Моделі ливникових каналів можна створювати як автоматично, так і ручно. Гарячечанальні системи з послідовним впуском, такі як «каскадне» лиття, гарячечанальні системи з послідовним впуском, обігриваються (гарячечанальні, включаючи замикаються) і не обігриваються (холодноканальні). Розрахунок ливникових каналів також доступний для систем гарячечанального сопла. Моделювання гарячечанальної ливникової системи може включати дизайн електричного нагрівача, включаючи його вбудований датчик температури, а також метод керування температурою відповідно до можливостей обладнання, що використовується.

Результати аналізу включають інформацію про процес заповнення ливарної форми, включаючи температуру та розподіл тиску розплаву, напругу та швидкість зсуву, час охолодження, в'язкість і щільність. Також показано місця спаїв і замикання повітря, а також залежність від часу розпірного зусилля, тиску, температури та інших факторів.

Аналіз ущільнення: аналіз ущільнення моделює етапи витримки під тиском і витримки на охолодження в литті термопластів. Аналіз можна проводити за постійним тиском витримки, ступінчастим профілем або профілем з лінійною зміною тиску витримки.

Моделювання використовується для визначення характеристик процесу ущільнення та охолодження виливки, таких як об'ємна усадка, температура виливки, прогнозовані утяжини тощо. Багато різних технологій лиття можна змоделювати. Такі технології включають різні види двоколірного або двокомпонентного лиття.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Коли другий компонент упорскується у форму із заставним елементом з першого компонента або коли перший і другий компоненти послідовно упорскуються в одному литьовому циклі, можна використовувати моделювання двоколірного або двокомпонентного лиття.

Аналіз течії та затвердіння реактопластів і гум Моделюються процеси лиття під тиском, ливарного формування (RIM, SRIM, RIM-MBI) і ливарного пресування.

Інженерний аналіз призначений для заповнення та ущільнення при литті термопластичних матеріалів під тиском. Він включає аналіз охолодження ливарної форми, аналіз короблення, аналіз лінійної усадки, аналіз орієнтації волокнистого наповнювача, аналіз руйнування волокнистого наповнювача, аналіз з автоматичною оптимізацією профілів експлуатації, аналіз деформацій знаків і пуансонів, а також аналіз течії та затвердіння реактопластів і гум

Аналіз охолодження ливарної форми використовує конструкцію системи охолодження, матеріали форми та інші фактори, що впливають на процес відведення тепла від виливка. Він моделює процес теплоперенесення між виливком і формою. Для аналізу охолодження застосовується модель ливарної форми із зовнішнім кордоном, контурами охолодження та лініями роз'єму. Модель охолоджувальних контурів може включати з'єднані шлангами охолоджувальні канали (у тому числі — канали з трубкою, що фонтанує, і перегородкою), виготовлені з різних матеріалів закладні елементи: вставки виробу (витягуються разом з виливком) і форми (не витягуються). При аналізі може враховуватися попереднє нагрівання заставних елементів.

Аналіз охолодження ливарної форми дозволяє оптимізувати конструкцію охолоджувальних каналів і технологічний режим охолодження форми (витрата та температура холодоагенту) для забезпечення рівномірного охолодження виливки та скорочення ливарного циклу, а також визначити

					<i>КєР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

вимоги до термостата форми.

Методи граничних елементів і кінцевих елементів можна використовувати для моделювання нестационарних і стаціонарних умов. Розподіл температури формуючої поверхні враховується під час середнього циклу лиття при моделюванні в стаціонарних умовах. Аналіз у нестационарних умовах дозволяє оцінити вплив змін температури формуючої поверхні під час литьового циклу на процес лиття та визначити час виходу на стабільний тепловий режим ливарної форми під час початку процесу.

Аналіз короблення: Аналіз стійкості, аналіз лінійних і нелінійних деформацій виливки та аналіз причин короблення є частиною аналізу короблення. Розрахунки можна виконати за допомогою методів залишкової деформації.

Аналіз лінійної усадки або залишкової напруги

Аналіз лінійної усадки визначає значення технологічної усадки та оцінює можливість використання середніх значень усадки для виготовлення ФУД з урахуванням допусків на розміри ливарного виробу. Користувач може оцінити розподіл усадки по виробу, середні значення усадки по всьому виробу та у напрямку осей координат. Він також може оцінити усадку між вузлами виливки.

Прогнозування поведінки ливарного виробу під час експлуатації: для ізотропних або анізотропних полімерних матеріалів проводиться аналіз повзучості, тобто статичні короткочасні та довготривалі навантаження.

Аналіз того, як орієнтується волокнистий наповнювач

Даний тип аналізу використовується для полімерних матеріалів, таких як вуглецеве волокно та скловолокно, які містять коротке або довге тверде волокно. Аналіз дозволяє визначити механічні характеристики отриманого композиту, такі як поздовжні та поперечні модулі пружності та зсув. Крім того, він дозволяє спрогнозувати орієнтацію частинок наповнювача в полімерній матриці. Ці дані можна використовувати для аналізу усадки, короблення та прогнозування поведінки лиття під час експлуатації з урахуванням анізотропії матеріалу,

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

викликаної орієнтацією наповнювача.

Аналіз руйнування волокнистого наповнювача: статистичний метод використовується для аналізу руйнування довгого волокна в литниковій системі та порожнинах форми при поздовжньому вигині та під дією напруг зсуву під час процесу перебігу розплаву.

Аналіз кристалізації: розрахунки кристалізації на стадіях заповнення форми, ущільнення та охолодження форми дозволяють врахувати тепловий ефект кристалізації в тепловому балансі системи, а також те, що швидкість кристалізації залежить від температури, тиску та швидкості перебігу розплаву (явище орієнтаційної кристалізації). Результати аналізу кристалізації включають розподіл ступеня кристалічності, ступеня орієнтації кристалічної частини та поздовжнього та поперечного модуля пружності, які були розраховані з урахуванням впливу кристалізації.

Аналіз деформацій знаків і пуансонів: цей тип аналізу використовується для визначення деформацій знаків і пуансонів, які виникають внаслідок нерівномірного розподілу тиску в порожнині форми на стадіях заповнення та ущільнення.

Аналіз двопронезаломлення: оптичний закон напруг використовується для визначення двопронезаломлення виробів оптичного призначення.

Аналіз спеціальних технологій лиття: Аналіз двокомпонентного сендвіч-лиття моделює перебіг розплаву при послідовній подачі в літникову систему, порожнину форми матеріалу та його ущільнення.

Аналіз компресійного формування, також відомий як лиття з підпресуванням, дозволяє моделювати процеси заповнення форми та ущільнення розплаву за допомогою підпресування.

Аналіз лиття з газом показує різні способи лиття з газом, коли газ подається до розплаву полімеру.

Аналіз лиття зі спінуванням дозволяє змоделювати процес за допомогою технології мікроспінування MuCell, яка була розроблена Trexel.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Технології аналізу: тривимірне моделювання (3D), моделювання на сітці, побудованій на оболонці об'ємної моделі (Dual Domain) і моделювання по «середній лінії» (Midplane) є доступними методами аналізу продуктів.

Підготовка геометричної моделі за допомогою інтерфейсу STL дозволяє читати модель ливарного виробу майже з будь-якої системи автоматизованого проектування.

Поверхневе моделювання можна використовувати для створення моделі виробу; вбудований надає додаткові можливості для створення та зміни параметричних моделей виробу.

Генератор сітки може автоматично побудувати будь-який тип мережі (3D, Dual-Domain, Midplane), включаючи отримання мережі за «середньою лінією» з моделі «твердотільної». Виявлення дефектів і «лікування» сітки за допомогою автоматичних чи «ручних» алгоритмів мають широкі можливості.

Autodesk Inventor Professional може бути використаний для імпорту моделі ливарної форми.

Паралельні розрахунки та розрахунки на графічних процесорах Підтримуються паралельні розрахунки та розрахунки на графічних процесорах подвійної точності типу CUDA від NVIDIA та AMD, а також OpenCL від AMD.

Бази даних: користувач може створювати та змінювати бази даних.

CSoft надає базу даних вітчизняних термопластичних матеріалів, яка містить більше 250 марок. Переваги інженерного аналізу включають широкі функціональні можливості щодо розрахунку процесів лиття пластмас і його різновидів; промисловий стандарт (де-факто); динамічно розвиваються програмні продукти; використання нових наукових розробок; і найбільша експериментальна база даних з полімерних матеріалів.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

1.1.3 Аналіз програмних продуктів та проектування проектів у CAD системах.

1.1.3.1 Аналіз програмних продуктів

Системи CAE обмежуються розрахунково-аналітичним компонентом і розділенням на кінцеві елементи (KE), на відміну від CAD/CAM систем. Більшість систем оснащені модулями багатокритеріальної оптимізації. Як зазначалося раніше в цій статті, вбудовані модулі CAE Pro/E, Unigraphics, Catia та I-DEAS дозволяють виконувати статичний, динамічний і кінематичний аналіз у знайомому середовищі CAD.

ADAMS надає повний комп'ютерний аналіз складних механічних систем, включаючи повний статичний, динамічний і кінематичний аналіз механізмів, у тому числі в режимі реального часу. Модельні та імітаційні пакети ADAMS/Android, ADAMS/Driver, ADAMS/Tire та ADAMS/Vehicle використовуються для дослідження взаємодії антропологічної моделі людини з різними механічними системами, реакціями водія та взаємодіями покришок з дорожнім покриттям.

ABAQUS є членом сімейства звичайно-елементних програм для багатоцільового інженерного аналізу, який є універсальним, потужним і надійним програмним продуктом, який може вирішувати найскладніші та найвідповідальніші завдання в рамках однієї кінцево-елементної моделі. Програми включають міцність, теплопередачу, теплообмін і випромінювання, дифузійний масоперенос, акустика, контактний аналіз, п'єзоелектрика та комбінацію ABAQUS — з величезним переважанням всіх типів нелінійної поведінки, він набув всесвітньої популярності як найкращий інструмент для вирішення завдань. Моделі матеріалів можуть описувати різні матеріали, такі як метали, чавун, гуму, пластик, композитні матеріали, пружні та крихкі піни, бетон, пісок, глину та інші.

ANSYS — це кінцево-елементний пакет, який виконує багато завдань

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

одночасно. Дозволяє проводити статичний і динамічний аналіз конструкцій з урахуванням геометричної та фізичної нелінійності, аналізу втомних характеристик, вирішення завдань лінійної та нелінійної стійкості, а також 2D і 3D контактні задачі абсолютно жорстко-деформованого тіла. Розрахунки електромагнітних, гідроаеродинамічних і акустичних можливостей. Можливість багатокритеріальної оптимізації існує. На заходах [4] і в нашій країні [5] система ANSYS широко використовується для проектування ріжучих інструментів. Аналіз напруги в тілі кінцевої циліндричної фрези є прикладом цього (рис. 3.4).

DESIGN SPACE — це місце, яке дозволяє проводити оцінку міцності та тепловий аналіз під час процесу проектування. Немає необхідності мати глибоке знання МКЕ. За допомогою спільних шаблонів ANSYS поєднується. LS-DYNA є багатоцільовим кінцево-елементним комплексом, призначений для аналізу високонелінійних і швидкоплинних процесів у задачах механіки твердого та рідкого тіла. Ці процеси включають процеси обробки металів під тиском (прокат, екструзія, штампування, різання, надпластичне формування тощо), ударно-контактні взаємодії пасажирів (удар автомобіля про перешкоду, взаємодія пасажирів з ременем безпеки та повітряною подушкою тощо)

DYNAFORM — це спеціалізована програма, призначена для моделювання процесів гідроформування, профільного прокату та глибокого листового штампування-витяжки.

MOLD FLOW включає аналіз лиття пластмас, витримки під тиском і витримки на охолодження, течії, охолодження, деформації та напруги, підбір матеріалу, оптимізацію форми та системи упорскування, пошук найкращого технологічного режиму усадки та виконавчі розміри формоутворювальних деталей (ФОД).

Plastic Advisor — це система, яка дозволяє проводити попередній аналіз лиття пластмас і визначити режим лиття.

Аналіз лиття металів SIMTEC і MAGMA моделює процес заливки та затвердіння металу, включаючи мікроструктуру та пористість.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Аналіз пластмаси за допомогою Moldex 3D, витримки під тиском, перебіг матеріалу та система охолодження.

1.1.3.2 Проектування пресформ в САD системах.

Характеристики проектування пресформ На відміну від складного процесу проектування штампів листового штампування, конструювання оснастки для отримання просторової форми з термопласту значно складніше.

По-перше, компонент складної просторової форми може бути як простим у виготовленні, так і складним. Тим не менш, при виробництві деталі використовується одна прес-форма, а не кілька штампів, щоб створити складні деталі в листовому штампуванні. Наприклад, зовнішня поверхня виробу, як-от циліндра, може бути простою, а внутрішня поверхня може мати порожнини різних форм. В цьому випадку прес-форма (ПФ) повинна бути вставлена в обойми напівматриці зі складними робочими поверхнями. Прес-форма також стає конструктивно складнішою через додавання додаткових роз'ємів у різних площинах. По-друге, успішне двовимірнісне проектування ПФ залежить від правильного вибору конструктором деталі. Тим не менш, у реальному житті конструктори часто змушені вибирати кілька різних перерізів, щоб краще показати кожен деталь складної просторової форми, особливо коли об'єкт проектування має складні поверхні. Отже, завдання дослідного конструктора полягає в тому, щоб вибрати найменшу кількість перерізів, які потрібно зробити. По-третє, як зазначалося в другому зауваженні, правильне проектування робочої зони є основною метою проектування пресформи. Це включає вибір правильного перерізу виробу або потрібних перерізів, розрахунок і створення схеми розташування гнізд, кількість гнізд і створення системи охолодження та термостата. Рішення щодо конструкторських завдань впливає на матеріал виробу, складність його форми, використання обладнання та інші фактори.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

друга: мінімальне ручне проектування блоку та пакету ПФ; це означає автоматизацію цієї частини проектування на основі результатів конструювання робочої зони та визначення загальних розмірів ПФ. Моделювання робочого простору

Процес проектування робочої зони складається з двох етапів. Перший включає ручне проектування необхідних перерізів виробу з урахуванням розмірів формоутворювальних деталей і їх компонентів, тобто перерізів гнізд, отриманих у вигляді фрагментів. Другий етап включає автоматизоване проектування робочої зони з урахуванням даних перерізів з прив'язкою їх фрагментів і визначення загальних розмірів пресформи. На першому етапі необхідно отримати (або проаналізувати) креслення деталі, щоб мати доступ до даних, необхідних для подальшого проектування ПФ. Ці дані можуть включати матеріал і його властивості, розміри виробу та інші характеристики. Крім того, можна використовувати імпортовану тривимірну модель деталі для створення складальних креслень пресформи та креслень кожної з її деталей. Другий етап включає розрахунок і вибір числа гнізд, оптимальної схеми ливникової системи та її розташування на дзеркалі ПФ, системи термостатування, розрахунок габаритів робочої зони пресформи в плані та загальної висоти пресформи, розрахунок та вибір систем (ливникової та термостатування), вибір обладнання та контроль усіх параметрів протягом проектування робочої зони. з точки зору розмірів та даних деталі. Крім того, візуальний контроль за формуванням робочої зони шляхом накладання окремих фрагментів один на одного здійснюється на другому етапі процесу проведення розрахунків (або після вибору схеми). Наприклад, після визначення та вибору схеми розташування гнізд на екрані відображається план робочої зони з фрагментами схеми розташування гнізд і самого гнізда (загальні габарити виробу) у плані, а також окремі елементи у вигляді наступних фрагментів: гнізда, літникової системи та робочої зони. Перегляд списку слайдів схем (або варіантів) і підтвердження найкращої схеми є основою для вибору типів

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

систем (літників, термостатування). При моделюванні робочої зони діалоговий режим може коригувати значення, які були розраховані раніше.

Автоматизоване проектування автоматичних прес-форм для лиття термопластів під тиском. У зв'язку з тим, що вибране обладнання не пройшло черговий перевірючий контроль, необхідно повторити попередні розрахунки з вибору обладнання, змінивши певні значення даних. або повторити той самий розрахунок з іншими даними після вибору схеми, щоб отримати правильні результати. Дизайн плит кріплення та пакету пресформи. Більшість конструкторів використовують принципи типізації та уніфікації для прискорення процесу проектування блоків і пакетів ПФ.

Майже кожна деталь пресформи складається з математичного апарату з вхідними та вихідними даними, розрахунками та таблицями (у, якщо варіанти є). Результати моделювання робочої зони та загальні параметри форми є основою для всього математичного забезпечення. Строга послідовність проектування пресформи задається досвідченим конструктором алгоритму проектування, який він заздалегідь визначив або знайшов у літературі. Процес проектування прес форми виконується за допомогою САПР ІМ (Системи автоматизованого проектування виробів машинобудування). Принцип блочно-модульної побудови передбачає, що кожен розрахунок поділяється на логічно закінчені блоки або набір блоків, між якими визначається зв'язок. Кожен із цих елементів побудований на основі продукційні відносини з таблицями фіксованих значень (для збереження старих проектів технологічного оснащення, включаючи ливарну прес форму) або у вигляді системи алгоритмів, яка є візуальним програмуванням. Завдяки цьому лише конструктори можуть використовувати ці методи без участі програмістів. Потім результати проектування аналізуються. Таким чином, оскільки немає передавальної ланки між системними програмістами та спеціалістами, конструктори можуть оперативно та з меншими помилками вносити та зберігати свої

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

напрацювання. Усі алгоритми розрахунку створюють розрахункове дерево, яке відображає характеристики конструкції форми. Для того, щоб зробити систему більш зручною для роботи, існує три модифікації, які відрізняються один від одного за функціональністю.

Розроблені програми мають перший рівень доступу, на якому користувачі можуть використовувати проектування за шаблоном (аналогом). Він може змінювати креслення та поповнювати бази даних (наприклад, за матеріалами та ін.) на цьому рівні доступу. На другому рівні конструктор може змінити розрахунки, закладені в системі САПР ІМ, за допомогою будь-якого іншого варіанту. Наприклад, коригування аналізованих у системі методик проектування ПФ, зміна аналітичних і табличних залежностей і двонаправлених зв'язків між кресленнями та розрахунками. Використовуючи третій рівень доступу, спеціалісти можуть створювати свої модулі проектування та використовувати їх для проектування пресформ, захищаючи свої алгоритми від несанкціонованого доступу інших користувачів. Але не всі елементи пресформ можна розрахувати. Це пояснюється тим, що для виконання процесу моделювання робочої зони використовуються зовнішні програмні модулі, які забезпечують алгоритми, які можна вирішити за допомогою методів продукційних відносин або алгоритмів (наприклад, метод кінцевоелементного аналізу).

Для вирішення таких завдань САЕ система повинна мати набір функцій зовнішніх АРІ, які дозволяють системному програмісту підключати інші зовнішні програмні модулі. Всі креслення деталей пресформи збираються на комп'ютері за допомогою системи параметричного проектування та креслення Catia.

У Catia є можливість створювати складальні креслення на основі розрізів деталей, які називають фрагментами (рис. 1.1).

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

від складання ЛШ у складанні ПФ більше нефіксованих точок прив'язки фрагментів, що дозволяє виконувати складальні операції з більшою точністю (конструктор зазвичай сам вирішує, як фіксувати точки прив'язки фрагментів), а деякі Крім того, за допомогою Catia можна створювати складальні моделі та тривимірні параметричні моделі окремих деталей (рис. 1.2).

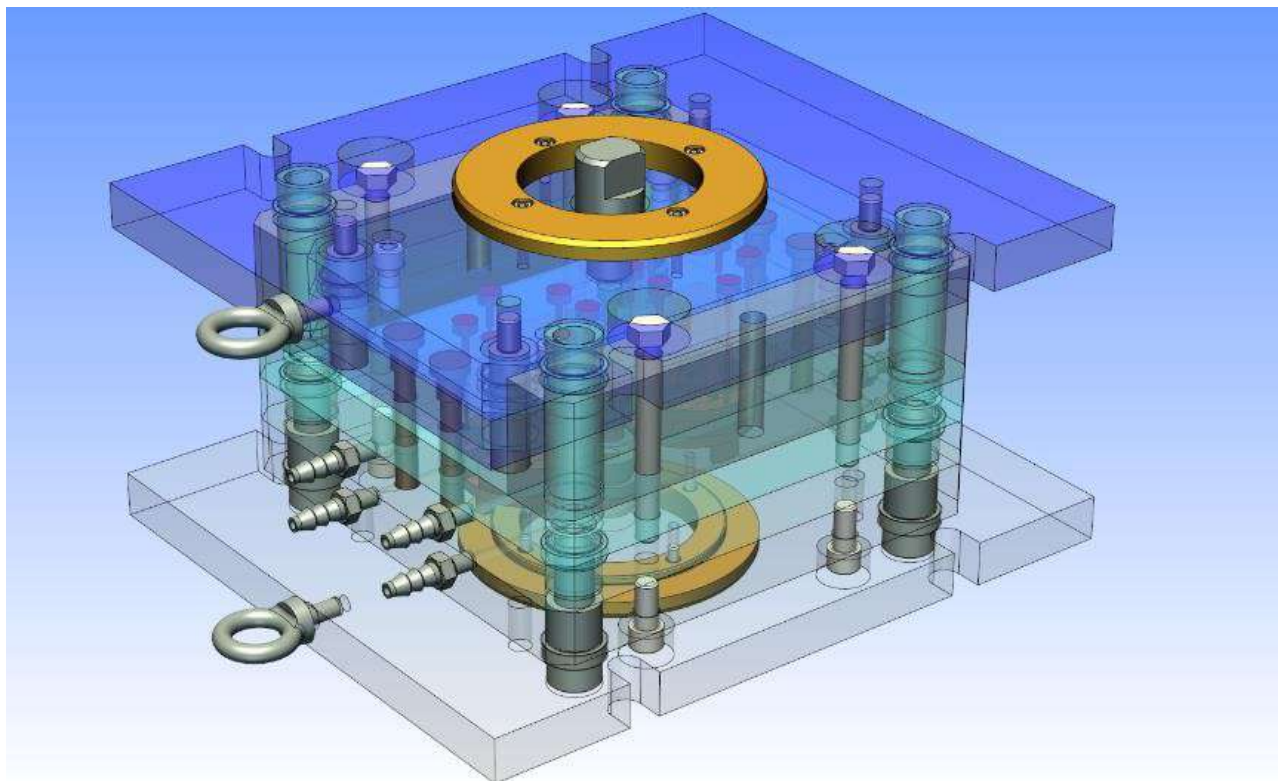


Рис.1.12. Тривимірна модель

Таким чином, ці моделі, а також будь-які їхні перерізи, можна швидко отримати двомірні креслення. Використовуючи те саме застосування 3D, можна візуально контролювати складні місця конструкції та порахувати інерційні характеристики її маси. Отримання набору конструкторської документації відповідно до ЄСКД є результатом цієї роботи.

Подальший розвиток САПР пресформ. Дану САПР ПФ можна розвивати в таких напрямках: розробка автоматизованої генерації в рамках графічного моделювання (програмного забезпечення проектування та креслення) необхідних перерізів (розрізів) виробу для подальшої

автоматичної прив'язки їх як фрагментів у складальних кресленнях; розширення можливостей автоматизованого проектування пресформ зі вставками (тобто проектування переналагоджуваних пресформ та уніфікованих блоків); подальші типізація та уніфікація пресформ та їх окремих блоків, а також розширення банку уніфікованих та типізованих деталей ПФ; розробка САПР пресформ для пресування виробів; тривимірне моделювання: а) для проектування робочої зони та передачі графічної інформації до системи проектування програм ЧПУ. б) для візуального контролю "збирання" пресформи, а також правильного "побудови" креслень у рамках використовуваного програмного графічного інструменту.

Висновок.

Процес проектування пресформ для лиття термопластів під тиском на термопласт автоматах, реалізований у САПР, здійснюється зі значною економією часу, сприяє зменшенню об'єктивних та суб'єктивних помилок та дозволяє отримувати якісну конструкторську документацію на ливарні пресформи. Дана система є повністю відкритою, що дозволяє досвідченому конструктору з прес-форм вносити в систему свої напрацювання та методики для автоматизації процесу проектування.

Завданнями на кваліфікаційну роботу є:

1. Розробка методи побудови складних поверхонь виробів з пластмас у САД системах з урахуванням технологічності виробу.
2. Розробка методик прискореного моделювання процесів лиття під тиском на стадії раннього проектування

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2 Методи побудови складних поверхонь виробів із пластмас

У розділі 2.1 представлено методи побудови поверхонь. Тут представлено лише найбільш поширені методи. Авіабудування використовує широкий спектр поверхні сполучення. Крім того, можна побудувати поверхні з особливостями фічерсної поверхні.

Їх розробка може бути різною залежно від галузі застосування. Під час читання його ліворуч праворуч, рис. 3 демонструє процес побудови поверхонь. Спочатку поверхні можуть бути створені за допомогою скалярних параметрів, характерних точок, місцевої системи координат або ліній. Далі ці поверхні можуть бути усічені або продовжені, щоб створити еквідистантні поверхні. Усі згадані поверхні мають область визначення параметрів, прямокутну чи трикутну. Обмежені контури поверхні будь-якої форми можна побудувати на основі поверхонь з прямокутною або трикутною областю визначення параметрів.

Всі поверхні є рівними по відношенню до функцій і операцій, які виконуються над ними. Радіус-вектори поверхні, нормалі поверхні та її приватні похідні повинні виконуватися крім загальних функцій будь-якого геометричного об'єкта поверхні.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

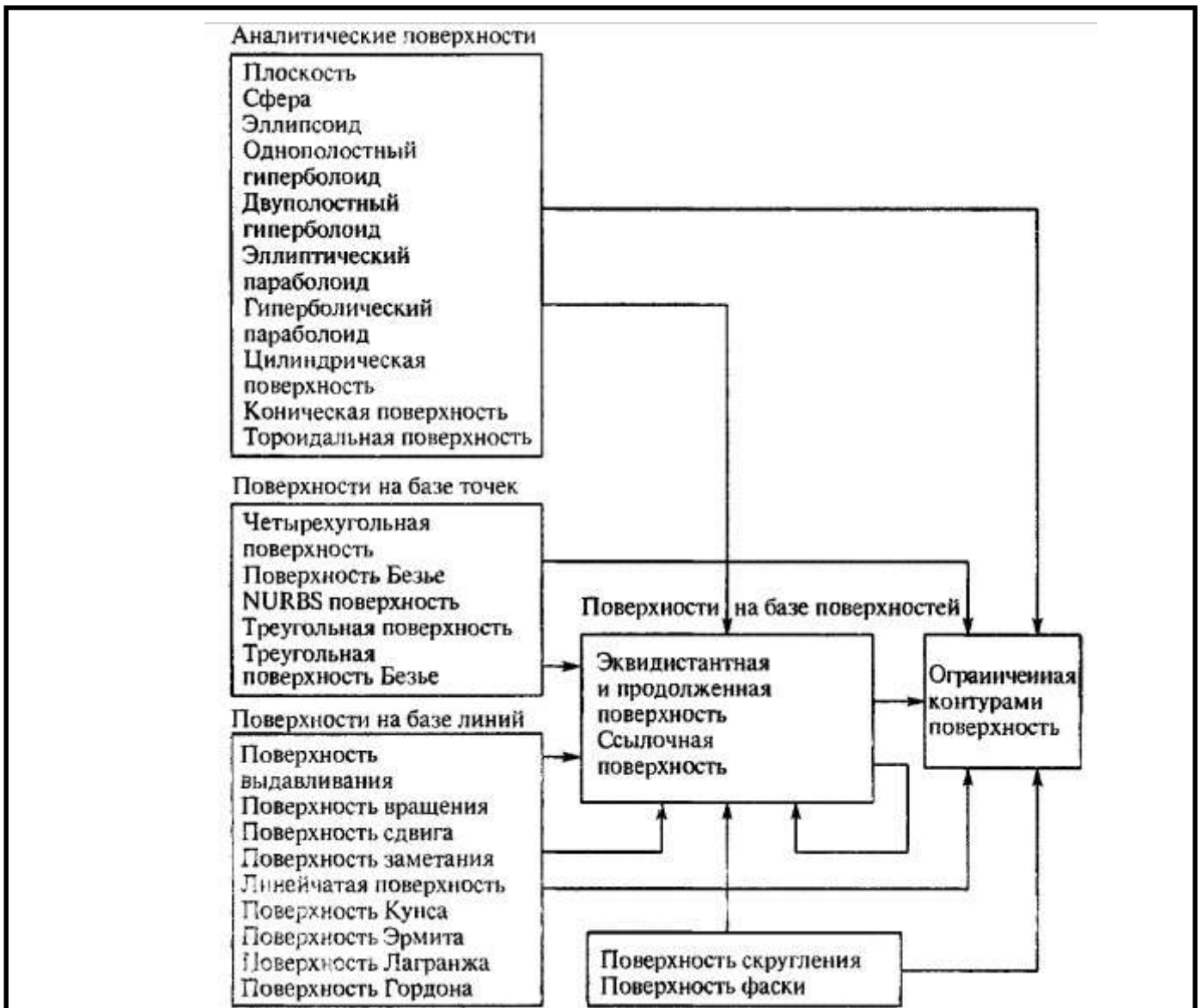


Рисунок. 2.1 Способи побудови поверхонь

Коефіцієнти першої та другої квадратичних форм поверхні, функції надання інформації про область визначення параметрів поверхні (замкнутість, граничні контури), функції визначення належності параметрів області визначення поверхні, функції зміни положення та орієнтації в просторі, функції модифікації форми поверхні

Функції, які дозволяють виконувати різні операції над поверхнею та іншими геометричними об'єктами, повинні доповнити математичну модель поверхні.

2.2 Розробка електронних моделей виробів автомобіля

Сучасний автомобіль є складним технічним об'єктом, що складається з кількох десятків тисяч деталей, систем і вузлів, які взаємодіють і рухаються в дуже обмеженому просторі.

При цьому він повинен задовольняти низку суперечливих критеріїв, включаючи безпеку та економію, мінімальну масу, середню швидкість, велику вантажопідйомність і (або) місткість. Очевидно, що проектування такого автомобіля є дуже трудомістким і наукомістким процесом, і його можна завершити лише за допомогою систем автоматизованого проектування (САПР), які засновані на використанні комп'ютерів і призначені для створення, переробки та використання всієї інформації про характеристики автомобіля та його процеси. Етап конструювання є однією з найважливіших фаз проектування автомобіля. Саме на цьому етапі конструювання формується концептуальний образ майбутнього автомобіля, а також створюються математично точні геометричні моделі окремих деталей і всього автомобіля, які будуть важливими для наступних етапів його життєвого циклу. При проектуванні складних предметів, таких як автомобілі та їхні агрегати, зазвичай використовується об'ємне геометричне моделювання. Це створює геометричну тривимірну модель об'єкта проектування. У цьому навчальному посібнику розглядаються основні методи та інструменти роботи з тривимірними геометричними моделями на прикладі відомого програмного пакету SolidWorks, який випускає Dassault Systems.

2.2.1 Тривимірне геометричне моделювання

Згідно з ДСТУ 22487-77, проектування технічного об'єкта – це процес складання опису, необхідний для створення ще неіснуючого об'єкта. Цей процес

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

включає перетворення первинного опису (технічного завдання), оптимізацію характеристик об'єкта та алгоритму його функціонування, усунення недоліків первинного опису та послідовне представлення опису деталізованого об'єкта протягом різних етапів проектування. Проміжні та остаточні описи об'єкта проектування будуються за допомогою двомірних графічних пакетів, таких як КОМПАС або AutoCAD. У зв'язку з обмеженнями, пов'язаними з цим методом, було поширено використання фізичного макетування під час проектування складних конструкцій. Це дозволило розробникам використовувати фізичні моделі в тривимірному просторі.

Тривимірні геометричні системи моделювання були розроблені, щоб вирішити проблеми, пов'язані з використанням фізичних моделей під час процесу проектування. Фізичні моделі створюються та змінюються так само, як ці системи створюють середовище.

Іншими словами, розробник системи геометричного моделювання змінює форму моделі, додаючи та видаляючи її частини, щоб деталізувати візуальну модель. Хоча візуальна модель виглядає так само, як фізична модель, вона нематеріальна. Тим не менш, тривимірна візуальна модель разом зі своїм математичним описом зберігається в комп'ютері. Це усуває головний недолік фізичної моделі — необхідність проведення вимірювань для подальшого прототипування чи серійного виробництва. Для позначення геометричних об'єктів у пакетах тривимірного моделювання використовуються спеціальні терміни. Тверді тіла утворюються у просторі однієї чи кількох поверхней, які утворюють замкнутий об'єм (Рис. 2.2). Грані, ребра (або кромки) і вершини складають його. Грань — це частина граничної поверхні, що утворює тіло, межа якого складається з криволінійних сегментів, при перетині яких відбувається значна зміна вектора нормалі до поверхні, що порушує безперервність зміни кривизни поверхні (рис. 1.3). Ребра є криволінійними частинами, які обмежують грань. Вершини — це крапки, в яких зустрічаються сусідні ребра.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

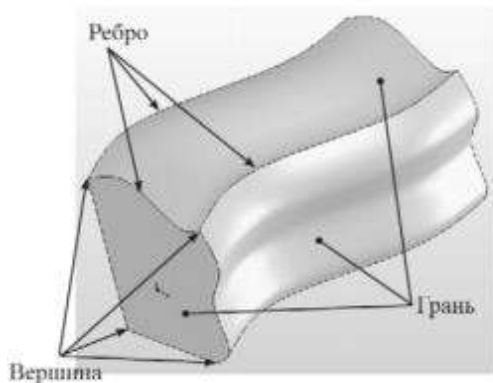


Рис.2.2 Тверде тіло



Рис.2.3 Грані, ребра та нормалі

2.2.2 Методи отримання твердотільних моделей

Каркасні, поверхневі та твердотільні системи геометричного моделювання

Системи твердотільного моделювання, які дозволяють працювати з твердими тілами (твердими тілами) у тривимірному просторі, зараз є найпоширенішими. Слід зазначити, що більшість систем твердотільного моделювання можуть працювати з поверхневими моделями. Ці моделі можуть бути корисними на етапах концептуального проектування або як інструменти для створення твердотільних моделей.

2.2.3 Функції моделювання.

Конструктор може використовувати різні інструменти (функції), доступні з того чи іншого програмного пакету, щоб створити тривимірну модель твердого тіла. Подібні інструменти можуть становити від кількох десятків до сотень для простих систем і від кількох десятків до сотень для складних систем. Тим не менш, ці численні функції можна розділити на кілька основних груп.

Функції створення об'ємних тіл за допомогою переміщення плоских фігур належать до першої групи. Згідно з рис. 2.1, а та б, функція зауваження

дозволяє створювати об'ємне тіло переміщенням або обертанням фігури, заданої на площині. Крім того, траєкторія руху фігури може бути задана заздалегідь (рис. 2.1, в).

Коли користувач створює замкнуту плоску фігуру, так званий ескіз, він може вводити геометричні обмеження або розміри. Співвідношення між елементами фігури, такі як перпендикулярність відрізків, торкання дуги кола відрізком тощо, розуміються тут під геометричними обмеженнями. У цьому випадку система самостійно створить правильну структуру, яка задовольняє обмеження. Зміна розмірів або геометричних обмежень створить нову плоску фігуру та, отже, інше об'ємне тіло. Оскільки цей метод дозволяє отримати різні тіла шляхом зміни параметрів, його називають параметричним моделюванням. Розміри та постійні, що входять до геометричних обмежень, можуть використовуватися як параметри. Функція спінінгу (Skinning) також є однією з функцій цієї групи.

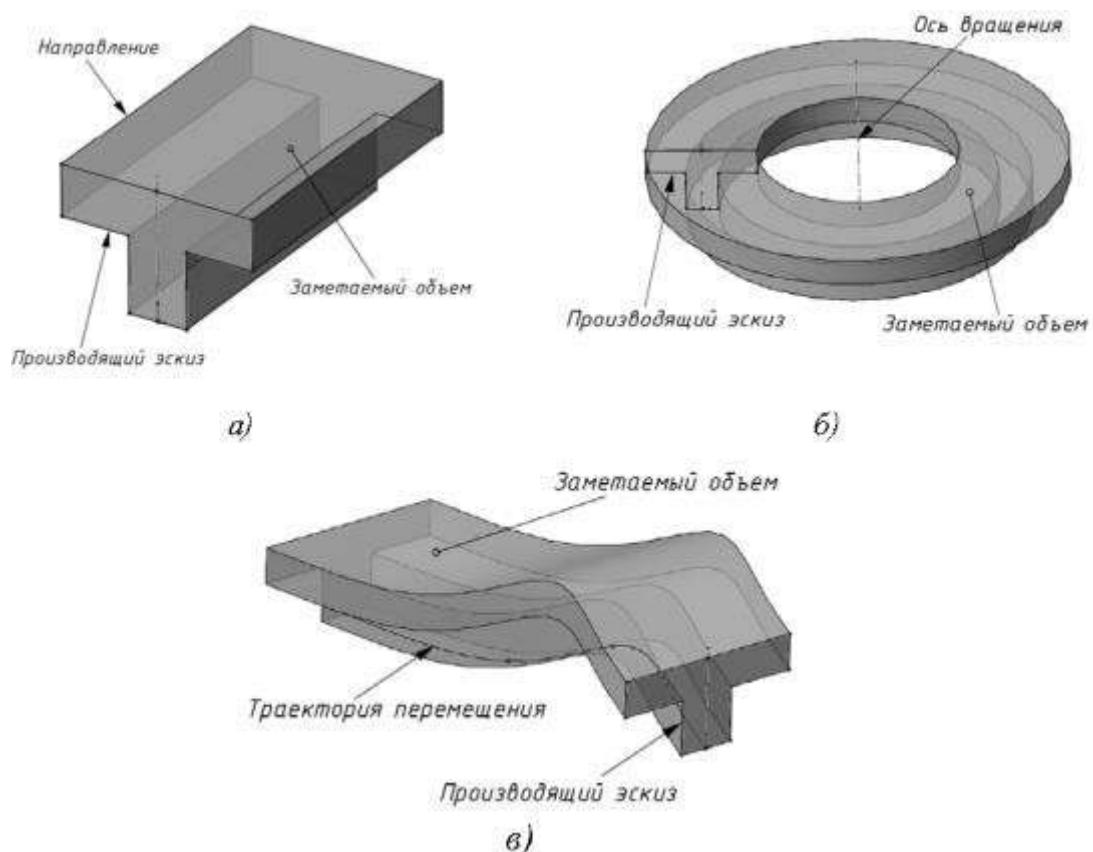


Рисунок 2.3. Функція замітки: а – переміщення ескізу, що виробляє, по прямій; б - обертання ескізу, що виробляє; в – переміщення ескізу, що

виробляє, по траєкторії яка дозволяє створювати об'ємне тіло, натягуючи поверхню на задані плоскі поперечні перерізи тіла (рис. 2.2).

Функції замітки включають переміщення ескізу, що виробляється, по прямій, обертання ескізу, що виробляється, і переміщення ескізу, що виробляє, траєкторією. Функції моделювання першої групи дозволяють проектувальнику почати моделювання з форми, дуже близької до кінцевого результату, оскільки лише кілька поперечних перерізів цілком достатньо для точного опису кінцевого твердого тіла.

Процес побудови моделі будь-якої деталі зазвичай починається з використання функцій цієї групи. Зазначимо, що функції скінінгу та замітання можуть бути як субтрактивними, тобто вони можуть додавати отриманий об'єм до моделі, так і адитивними, тобто вони можуть віднімати об'єм, отриманий в результаті виконання функції, з вже існуючого твердого тіла (рис. 2.3).

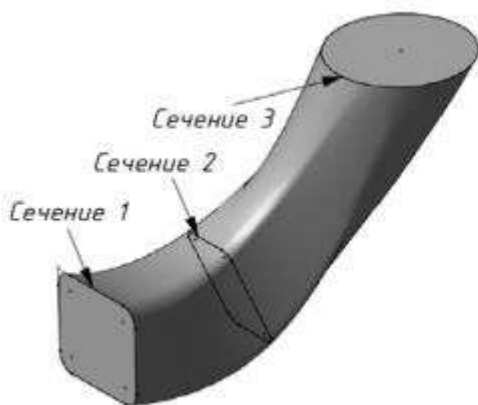


Рис. 2.4 Функція скінінгу

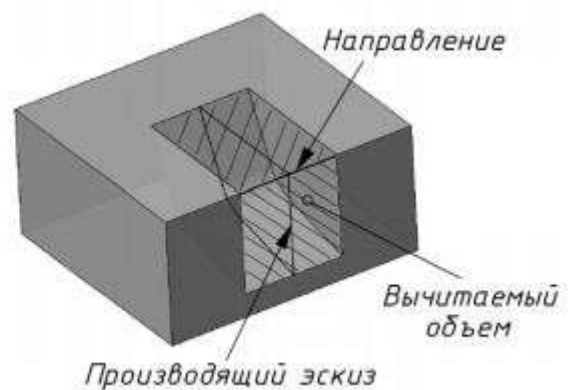


Рис. 2.5. Функція замітки

Функції моделювання другої групи дозволяють працювати з вже

					КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

існуючими геометричними об'єктами, такими як грані, ребра та вершини. Прикладами таких функцій можуть бути заокруглення, надання кривизни або ухилу граням і т. д.

Функції, які залишилися, включають реалізацію принципів об'єктно-орієнтованого моделювання та створення отворів різного типу.

2.2.4 Параметричне моделювання

Параметричне моделювання, також відоме як параметричне моделювання, полягає в тому, що конструктор визначає форму завдань геометричних взаємозв'язків і деяких розмірних параметрів. Відносини між геометричними елементами називають геометричними взаємозв'язками. Прикладами взаємозв'язку є паралельність двох граней, компланарність двох ребер, дотичність криволінійного ребра до прямого сусіднього та інші. Розміри даних включають як задані розміри форми, так і співвідношення між ними. Конструктор записує співвідношення як математичні рівняння. Таким чином, параметричне моделювання полягає в створенні форми шляхом розробки рівнянь, які показують геометричні зв'язки, а також рівнянь, які описують певні розміри та їхні відношення.

Зазвичай при параметричному моделюванні побудова форми виконується в наступній послідовності.

1. Виготовляється грубий малюнок плоскої фігури.
2. Геометричні взаємозв'язки та розмірні дані вводяться в інтерактивному режимі.
3. Будується плоска фігура, яка відповідає вимогам і обмеженням розмірів.
4. Доки не буде отримана потрібна модель, кроки 2 і 3

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

повторюються зі зміною обмежень або розмірів (рис. 2.6).

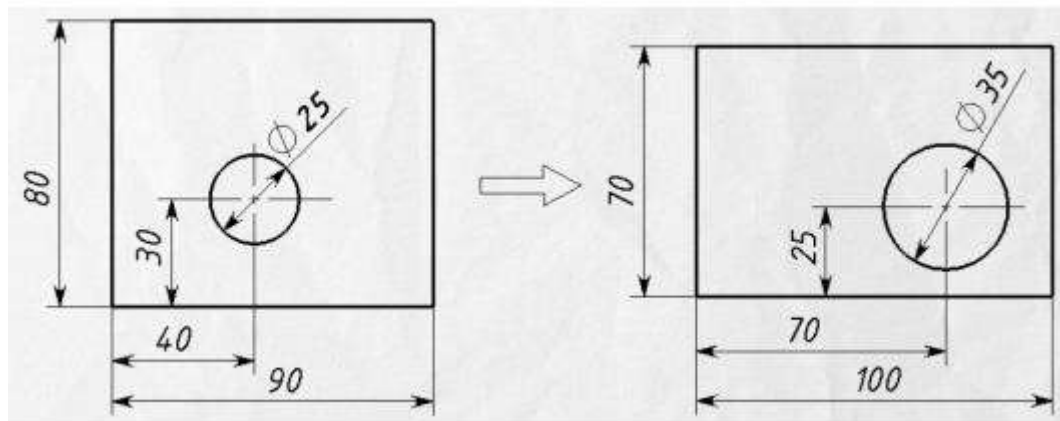


Рис. 2.6. Зміна форми через обмеження

Замикання або обертання плоскої фігури створює об'ємне тіло. Кут повороту та товщина також можуть бути параметрами розміру, що дозволяє легко змінювати створену тривимірну форму за необхідності. Зазначимо, що параметричне моделювання змінюється через використання геометричних взаємозв'язків і розмірів, а не прямо.

Отже, конструктор може створити безліч альтернативних проектів, зосереджуючись на функціональних аспектах замість деталей.

2.3 Розрахунок параметрів литої деталі та моделювання

Для моделювання процесу лиття під тиском термопластичних матеріалів необхідно визначити технологічні умови розрахунку. Незважаючи на те, що ці технологічні параметри можна порівняти з параметрами ливарної машини та допоміжного обладнання, у багатьох випадках вони значно відрізняються від них. Для правильної інтерпретації отриманих результатів моделювання даних при прогнозуванні дефектів або аналізі причин шлюбу, а

					КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

також для відтворення розрахованого технологічного режиму в лицьовому виробництві важливим є правильне виконання завдань щодо технологічних умов і облік відмінностей параметрів, що вказуються при розрахунку та в реальному процесі лиття. Основні термопласти під тиском, які використовуються в продуктах Moldex3DR13 компанії CoreTechSystem[1], розглядаються нижче.

Майстер режиму технологій

Технологічні параметри ливарного процесу в Moldex3D можна встановити за допомогою Майстра технологічного режиму за допомогою кількох методів, наведених на рис. 2.7. Коли необхідні характеристики ливарної машини визначаються під час розрахунків, використовується так званий метод САЕ. У методах «для ливарної машини» (за часом або за профілем швидкості впорскування) передбачається, що відома модель термопластавтомату може бути обрана з бази даних Moldex3D або її характеристики можуть бути надані перед проведенням розрахунків.

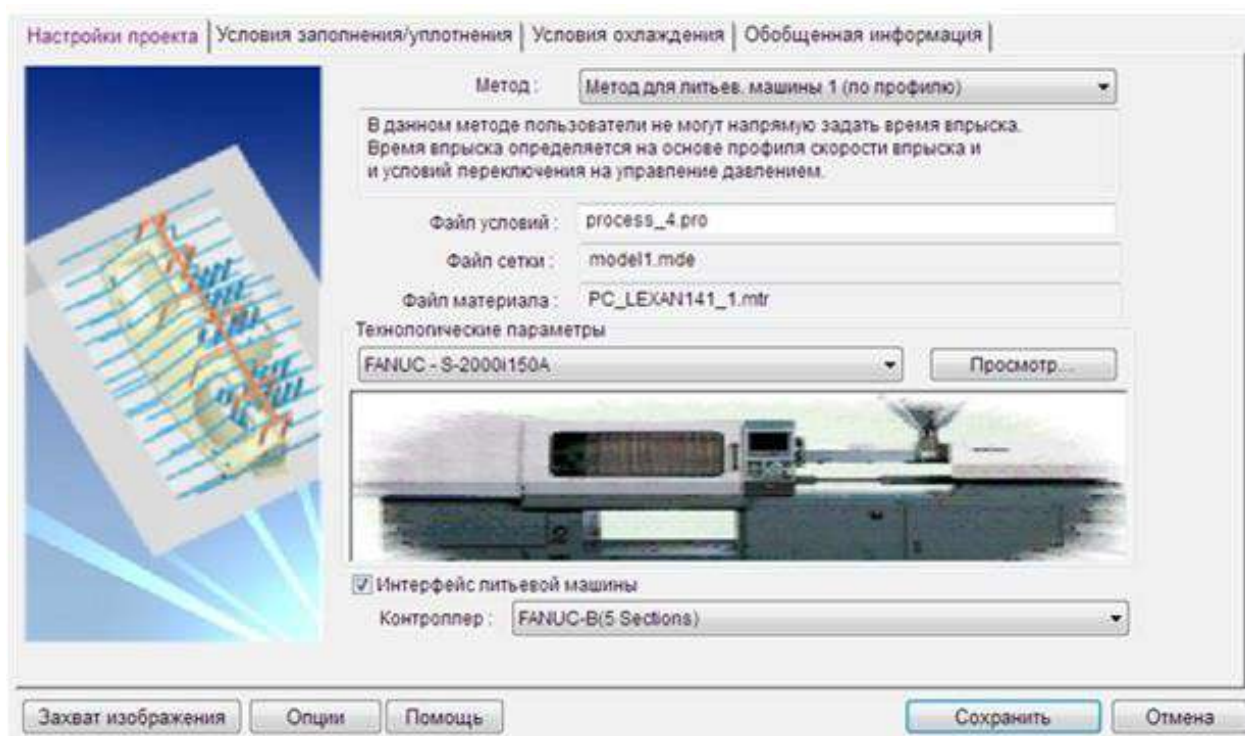


Рис. 2.7. Майстер технологічного режиму Moldex3D

Для деяких ливарних машин технологія Moldex3D може бути визначена за допомогою термопластавтоматичного контролера. В цьому випадку інтерфейс контролера відтворюється в технологічному режимі Майстера (рис. 2.8).

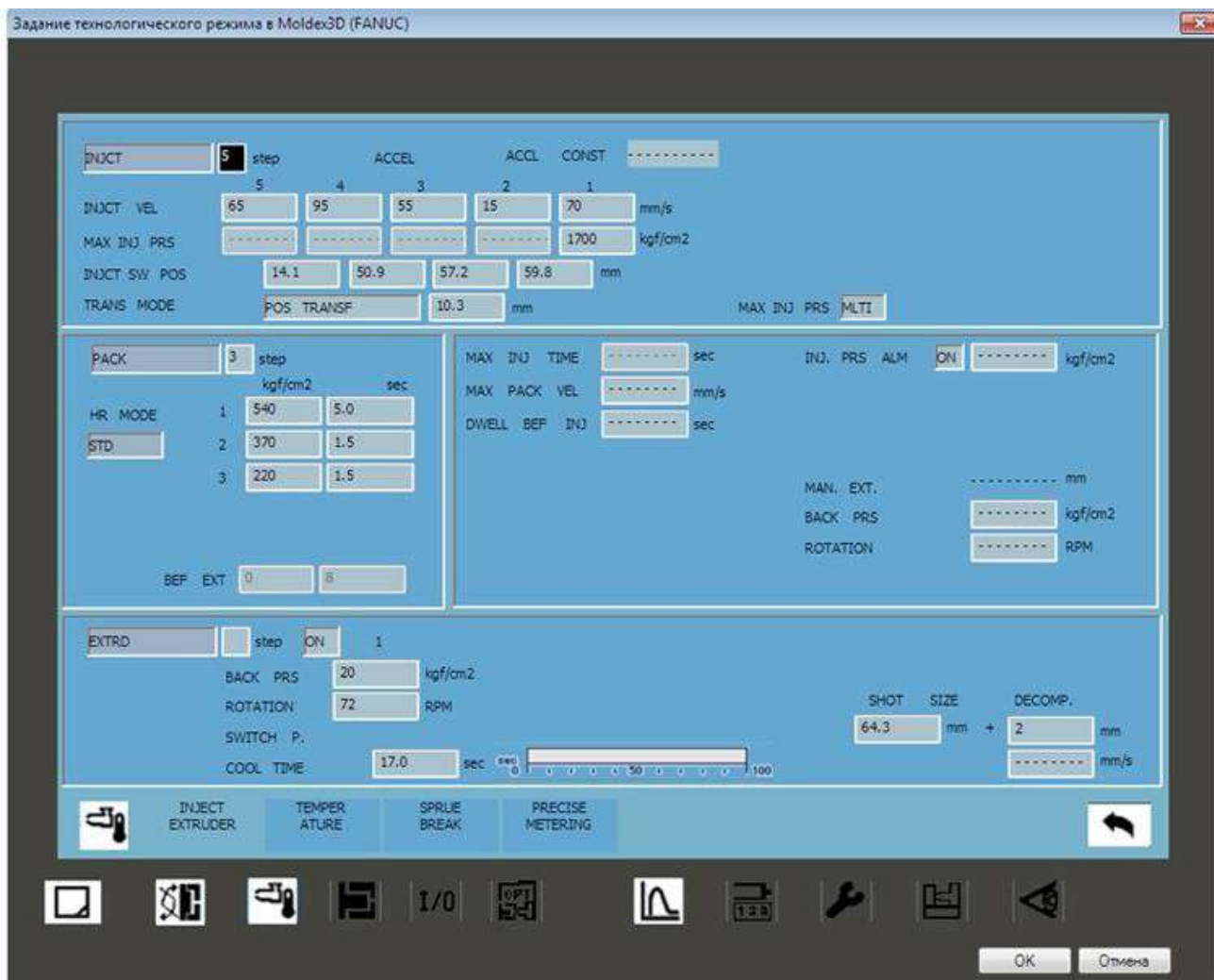


Рис. 2.8. Інтерфейс контролера ливарної машини Fанус-S2000i майстри технологічного режиму Moldex3D

Технологічні параметри стадії впорскування

Одним із найважливіших технологічних параметрів процесу лиття термопластів під тиском є об'ємна швидкість впорскування, яка відповідає

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

лінійній швидкості поступального руху шнека. Рівень дисипативного тепловиділення полімерного розплаву під час зсувного перебігу в каналах ливникової системи впливає на швидкість упорскування. Це також впливає на оформлення порожнин і температуру фронту розплаву для певних конструкцій виробів малої або середньої товщини. Швидкість упорскування зростає зі зменшенням товщини стінки. Це пов'язано з тим, що збільшення дисипації тепла в розплаві компенсує підвищені втрати тепла протягом процесу перебігу розплаву. Швидкість упорскування не має значного впливу на температуру фронту розплаву товстостінних виробів, оскільки внутрішні шари оформленої порожнини мають низьку швидкість охолодження, а дисипативне тепловиділення незначне під час зсувного перебігу розплаву.

Зовнішній вигляд, шарова структура виливки, термічні та орієнтаційні залишкові напруги, усадка, механічні властивості та інші характеристики якості ливарного виробу залежать від швидкості впорскування [2]. Занадто висока або низька швидкість упорскування може призвести до різноманітних типів нестійкого заповнення, а також до інших проблем [3].

У майстері технологічного режиму швидкість упорскування задається так само, як і в реальних ливарних машинах. Це можна зробити за допомогою лінійної зміни швидкості впорскування або профілю зі ступінчастою зміною (рис. 2.9). Коли профіль будується, використовується так звана полілінія. Під час упорскування Moldex3D автоматично враховує стиск розплаву в матеріальному циліндрі під впливом тиску.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

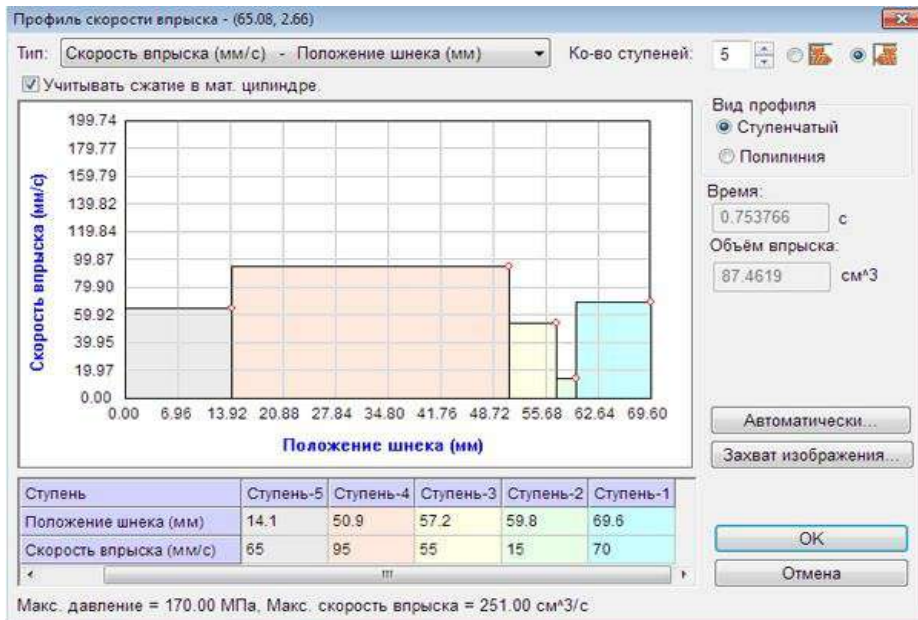


Рис. 2.9. Завдання ступінчастого профілю швидкості впорскування

Тиск впорскування, який визначає граничний тиск на стадії впорскування, визначається профілем як під час процесу лиття, так і під час моделювання. Тиск упорскування використовується в реальному виробництві для запобігання так званому піковому тиску, який є небезпечним як під час налаштування ливарного процесу, так і під час процесу виробництва через високу нестабільність реологічних характеристик полімерної сировини. Тиск упорскування може бути рівним сто відсотків максимального дозволеного тиску при впорскуванні. Це визначається максимальним тиском ливарної машини з урахуванням її зносу, а також особливостями моделі виливки, такими як наявність або відсутність ливникової системи. Ці розрахунки можна виконати для більшості завдань.

Максимальний тиск при впорскуванні дорівнює втрат тиску по довжині потоку, оскільки на стадії впорскування тиск розплаву на фронті потоку дорівнює атмосферному тиску в нормальних умовах процесу, коли немає нестійкого перебігу та замикання повітря в оформлених порожнинах. Функція з мінімумом характеризує залежність максимального тиску при упорскуванні від швидкості впорскування в широкому діапазоні швидкостей упорскування (рис. 2.10): зниження тиску на першій ділянці є результатом

підвищення дисипації при перебігу розплаву, а підвищення тиску на другій ділянці є результатом в'язкості високих швидкостей зсуву [4].

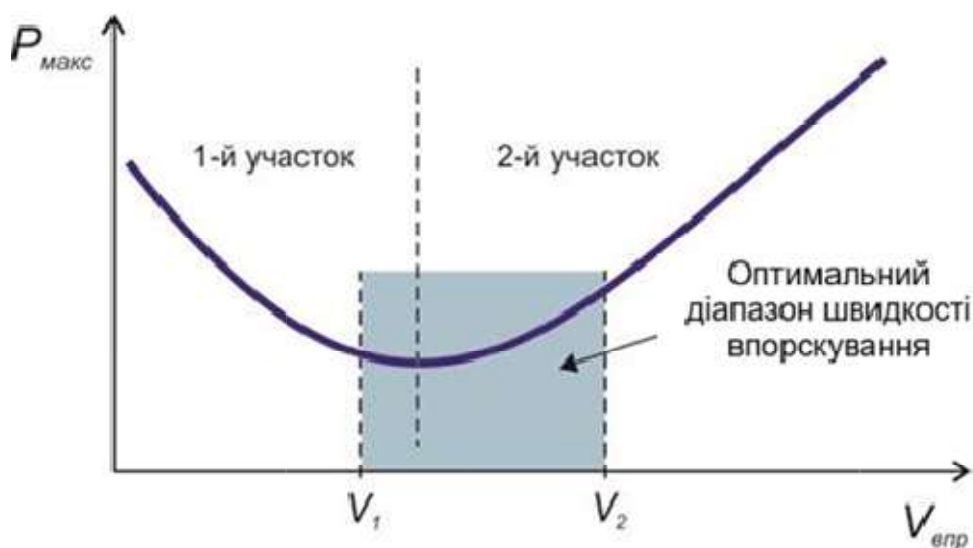


Рисунок 2.10. Залежність об'ємної швидкості упорскування ($V_{\text{впр}}$) від максимального тиску розплаву при упорскуванні ($P_{\text{макс}}$), з ділянками зниження тиску (1-а ділянка) і підвищення тиску (2-а ділянка) при підвищенні швидкості упорскування, а також оптимальний діапазон швидкості упорскування (V_1 – V_2).

При розрахунку температурна величина розплаву визначається постійною величиною для входу в оформлювальну порожнину, впускного ливникового каналу, літникової системи або на початку дози розплаву (в передсопловій області матеріального циліндра ливарної машини). Це приблизно відповідає температурі розплаву, рекомендовану виробником термопластичного матеріалу, і зазвичай становить середню температуру в його діапазоні.

Відповідно до рекомендацій виробника матеріалу, база даних Moldex3D показує температури переробки марки термопласту. Оскільки не існує загальноприйнятого підходу для визначення мінімальних і максимальних температур розплаву, вони оцінюються за допомогою комплексного підходу, який враховує практичний досвід та дані щодо

особливостей реологічної поведінки, стабільності хімічної структури та складу, а також за експлуатаційними характеристиками виробів.

Діапазон температур, рекомендований для лиття конкретного виробу, набагато ширший, ніж той, який необхідний для отримання високоякісної продукції.

На результати моделювання значно впливає температура розплаву, особливо для матеріалів, які сильно залежать від температури (теплочутливі). Підвищення температури в таких матеріалах збільшує довжину затікання розплаву, створюючи порожнини. У більшості випадків підвищення температури розплаву призводить до покращення якості спаїв і зниження залишкової напруги, але може призвести до окислювальної руйнування матеріалів, які не мають високої термостабільності. Для того, щоб запобігти руйнуванню при певній температурі розплаву, важливо враховувати час перебування термопластичного матеріалу при температурі переробки, а також способи регулювання температури розплаву під час литьового процесу.

На рис. 2.11 показано типову діаграму «температура розплаву – час перебування при температурі переробки» для ливарних термопластів з порівняно високою термічною стабільністю, а також окремі проблеми, які виникають під час стадії пластикації.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

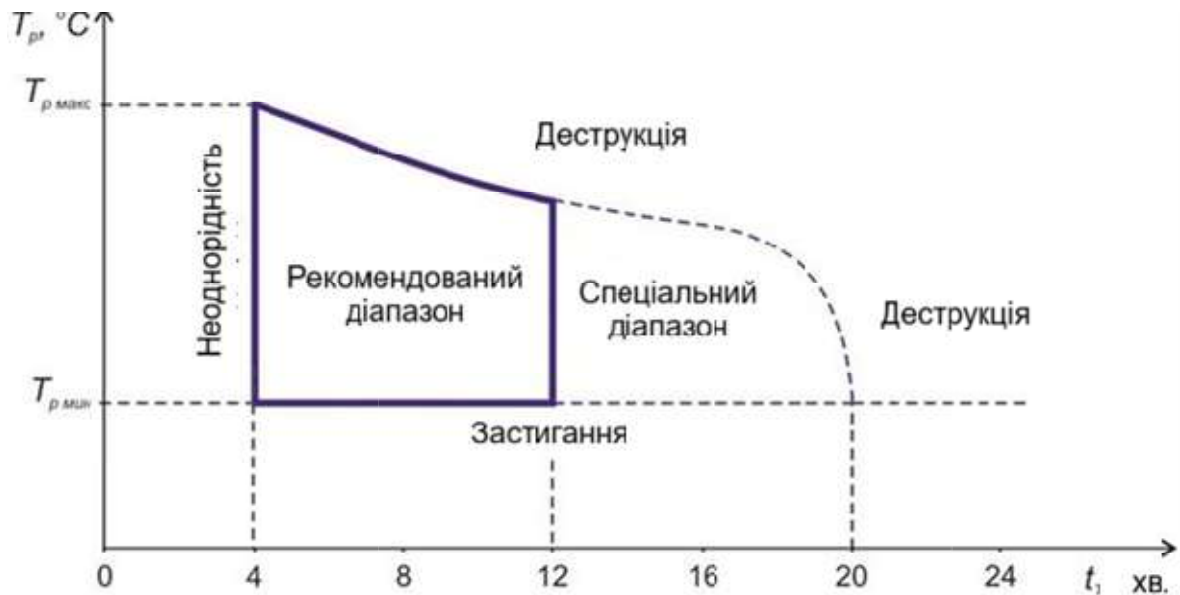


Рисунок 2.11. Температура розплаву (T_p) - час перебування при температурі переробки (t_T) діаграма для термопластів з порівняно високою термічною стабільністю та типовими проблемами в стадії пластикації. Мінімальна температура розплаву (T_p хв) і максимальна температура розплаву (T_p макс) визначаються відповідно [5].

Найменший час перебування розплаву в матеріальному циліндрі має становити близько 4 хвилин, щоб забезпечити однорідність температури [5]. Термопласти з низькою термічною стабільністю, такі як неластифікований ПВХ, термопластичний поліуретан, гомополімер формальдегіду та інші, повинні бути залишатися при найнижчій рекомендованій температурі переробки не більше шести-десяти хвилин.

Термопластичний матеріал, який обробляється при високій температурі, залежить від кількох факторів. Це включає час перебування матеріалу в каналах шнека, передсопловій області перед шнеком під час пластикації, упорскування та витримки під тиском, а також часу, проведеного в літниковій системі гарячеканальної системи. Якщо максимальний обсяг упорскування ливарної машини набагато перевищує

обсяг матеріалу, необхідний для виробництва виробу (з урахуванням стадії підживлення), а сумарний обсяг виробів, отриманих у формі, набагато перевищує обсяг гаряче каналної літничкової системи, час перебування при високій температурі може значно збільшитися.

На сторінці узагальненої інформації Майстра технологічного режиму можна знайти розрахунковий час перебування термопластичного матеріалу в гарячеканальній системі літника.

Термін «температури розплаву» широко використовується в технологічній літературі. Однак у реальному процесі лиття під тиском у стандартних комплектаціях ливарних машин температура матеріального циліндра поблизу його внутрішньої поверхні є єдиним фактором, який контролює температуру розплаву в передсопловій області та каналах шнека. Координати точки за довжиною дози, у напрямку її діаметра та у часі суттєво впливають на температуру розплаву всередині дози упорскування.

Конструкція шнека, умови стадії пластикації (наприклад, швидкість обертання шнека, протитиск), характеристики гранульованого та розплавленого термопластичного матеріалу, знос шнека, а також умови стадії впорскування, конструкція виробу та форма впливають на ці зміни [2]. Температура розплаву термопласту під час пластикації може значно перевищувати зазначену, досягаючи температури від 5 до 20 оС. З цієї причини, як показано на рис. 2.13, «спеціальний діапазон» умов у більшості випадків не дозволяє отримати якісну продукцію, якщо орієнтуватися на контрольовану температуру в зонах матеріального циліндра.

На рис. 2.13 показано проблеми лиття, пов'язані з температурою розплаву на вході в оформлювальну порожнину форми та максимальним тиском при упорскуванні. У той час як високі значення максимального тиску при впорскуванні призводять до облої через високий середній тиск у оформляє порожнині, зниження максимального тиску при впорскуванні або зниження температури розплаву призводять до недоливу. Нижня межа

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

температурного діапазону призводить до поганої якості спаїв, зниження блиску виливки (для полірованих формотворчих деталей) або появи дефектів текстури та інших проблем на текстурованій поверхні виробу.

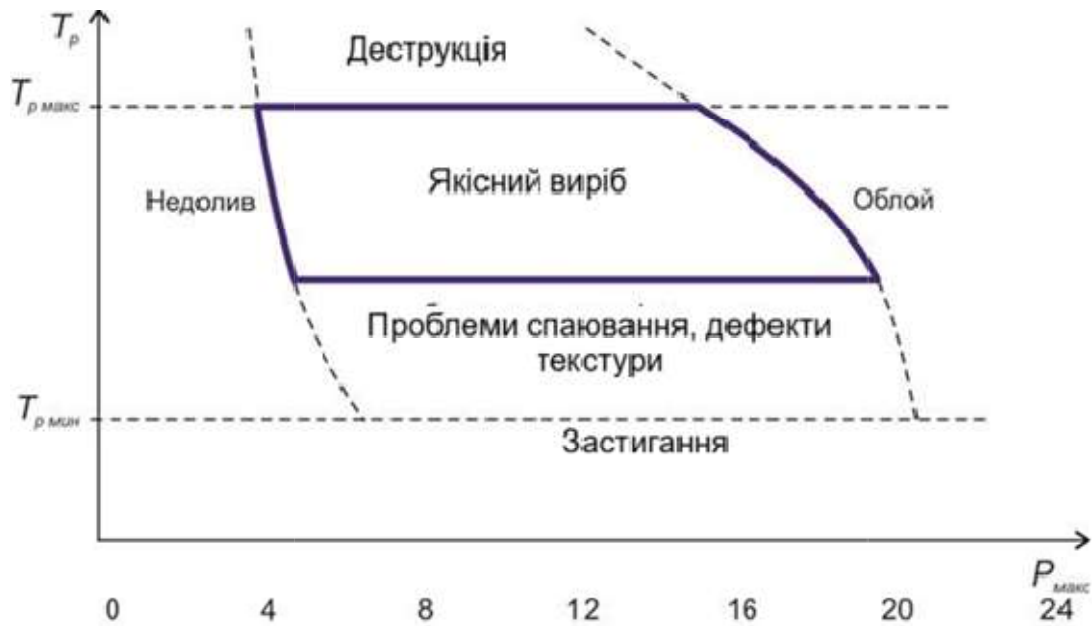


Рис. 2.12. Діаграма «температура розплаву (T_p) – максимальний тиск при упорскуванні (P_{\max})» та типові проблеми лиття; $T_{p\text{ хв}}$ – мінімальна температура розплаву, $T_{p\text{ макс}}$ – максимальна температура розплаву

При використанні гарячеканальних сопел із запірними клапанами в реальному литьовому процесі та при його моделюванні в Moldex3D з'являються додаткові технологічні параметри, що забезпечують регулювання режиму відкриття та закриття кожного сопла. У ливарних формах для «каскадного лиття» («послідовного впуску») зазвичай процес упорскування починається через одне сопло, тоді як інші групи сопел відкриваються після проходження фронтом розплаву відповідних місць впуску (рис. 2.13).

Запирающ. вп.	Тип	Контрольная точка	ID узла сет.	Значен	Система един.	Действ
1	Время	5	-	-	-	-
	Время	1-1	-	0	с	Зак...
	Время	1-2	-	0.2	с	Отк...
	Время	1-3	-	1.6	с	Зак...
	Время	1-4	-	4.8	с	Отк...
	Время	1-5	-	12.1	с	Зак...
2	Фронт...	5	-	-	-	-
	Фронт потока	1	20165	0	с	Зак...
	Фронт по...	2-2	227898	0.2	с	Открыть
	Фронт по...	2-3	68376	1.6	с	Зак...

Рис. 2.13. Вікно технологічних параметрів для гарячеканальних сопел з впусками, що замикаються («каскадне лиття»)

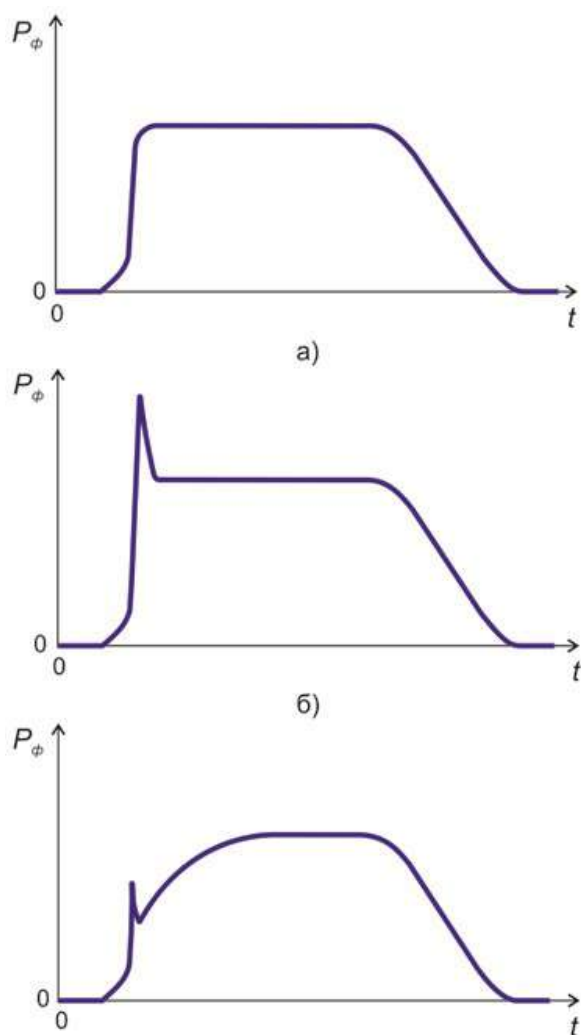
Умови розрахунку (рис. 2.12) мають «контрольні точки», які задають моменти часу, що відповідають початковому стану, а також операції відкриття та закриття сопла на стадіях заповнення та ущільнення. Налаштування режиму відкриття сопла по фронту потоку визначає час, необхідний для проходження фронтом потоку певного вузла сітки, який визначається автоматично, до моменту відкриття сопла.

Момент перемикання з режиму керування швидкістю впорскування на режим керування тиском є одним із найважливіших технологічних параметрів процесу лиття [4-5]. Цей фактор має значний вплив на характер зміни тиску в оформляє порожнині (рис. 2.14) і визначає закінчення стадії упорскування. Проміжок часу, який починається з початку упорскування і закінчується в момент перемикання, називається «часом упорскування».

Піковий тиск (рис. 2.14б) виникає, коли пізніше перемикається на режим керування тиском і встановлюється високий тиск впорскування. Це призводить до облої, зниження розмірної точності, підвищеної залишкової напруги у виробі та нерідко до пошкодження ливарної форми гідроударом.

У ливарній формі виникає локальний максимум тиску, коли передчасне

перемикання на режим керування тиском призводить до значного зниження тиску (рис. 2.14 в). Профіль тиску витримки визначає швидкість перебігу розплаву, при якій частина оформляючої порожнини заповнюється. Температури фронту розплаву знижуються через зниження дисипації тепла в розплаві під час постійного тиску витримки. Це може призвести до недоливу та зниження якості продукту.



Графік 2.14. При нормальному (а), пізньому (б) і передчасному (в) перемиканнях на витримку під тиском змінюється тиск у формі порожнини (P_ϕ) у часі (t) від початку упорскування [5].

Виробництво використовує режим управління тиском різними способами [4-5]. Перемикання по положенню шнека є найпоширенішим

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

методом, який забезпечує точне завдання дози впорскування при стабільних характеристиках реологічних термопластичних матеріалів.

В умовах розрахунку момент перемикання може бути представлений у відсотках від обсягу вилівка або положення шнека (для конкретної ливарної машини). Момент перемикання зазвичай відповідає 98–99% обсягу вилівки.

Технологічні показники для стадії витримки під тиском

Профіль тиску витримки змінюється з ступінчастою або лінійною зміною тиску в часі як для реального процесу лиття, так і для моделювання стадії витримки під тиском (рис. 1.9). Кожен ступінь може мати абсолютний або відносний тиск витримки.

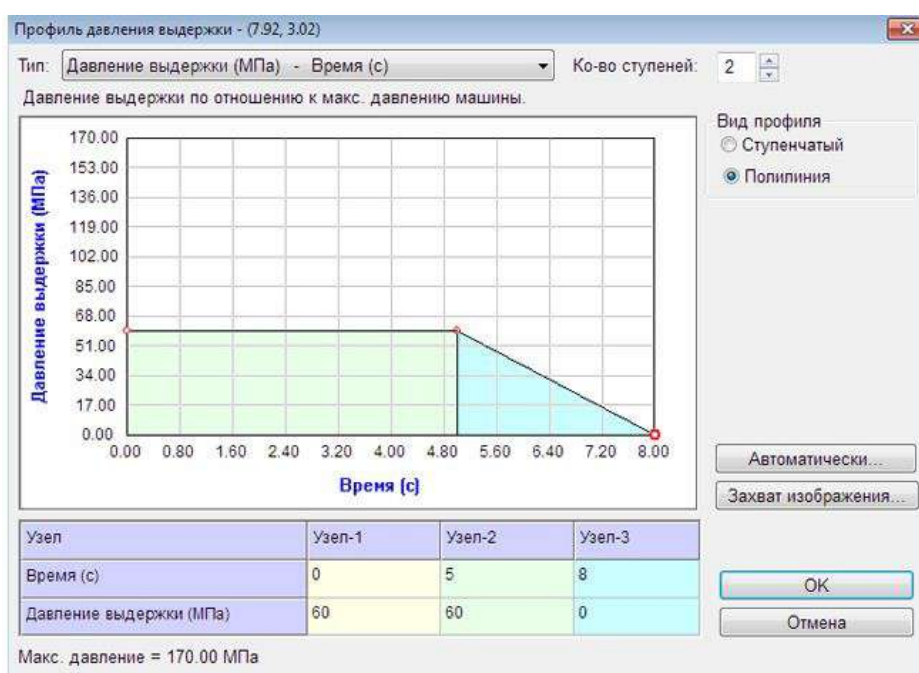


Рис. 2.15. Завдання профілю тиску витримки з лінійним зниженням тиску

Після перемикання на режим керування тиском початковий тиск витримки визначає швидкість переміщення розплаву через формовану порожнину у фазі заповнення. Поверхневі дефекти, високі залишкові напруги та інші проблеми можуть виникнути через охолодження фронту розплаву під час литва великогабаритних, тонкостінних та інших матеріалів.

Занадто високий початковий тиск витримки створює високу швидкість

перебігу розплаву, коли процес заповнення оформляє порожнини. Це також може призвести до високих залишкових напруг і інших проблем.

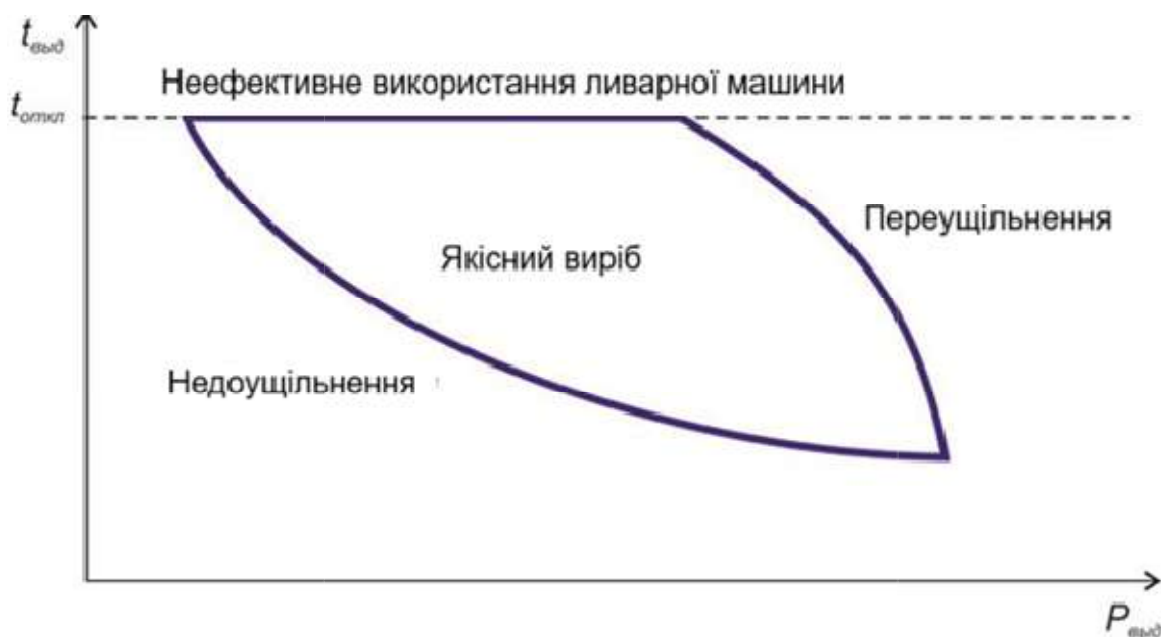


Рисунок 2.16. Проблема ущільнення виробу та діаграма «час витримки під тиском ($t_{\text{вход}}$) — тиск витримки ($P_{\text{вход}}$)»

Час витримки під тиском має бути трохи більшим, ніж час, необхідний для заповнення порожнини в матеріальному циліндрі. У багатьох випадках (наприклад, у холодноканалних багатогніздних формах) відключення оформляє порожнини відбувається в момент застигання впускних литникових каналів. Цей момент часу в розрахунку можна отримати ручним або автоматичним способом, наприклад, шляхом стабілізації маси виробу протягом часу або різкого зниження витрати розплаву через литниковий канал.

Щоб покращити ущільнення товстостінних ділянок, особливо віддалених від місця впуску, збільшення тиску витримки призводить до зменшення об'ємної усадки. Тим часом високий тиск витримки може мати негативні наслідки, включаючи переуцільнення тонкостінних ділянок, особливо поблизу впуску, підвищення залишкових напруг і інші проблеми [6].

Тип профілю тиску витримки, який використовується, залежить від конструкції виробу, розташування впусків і характеристик термопластичного

матеріалу. Зниження тиску витримки наприкінці стадії підживлення зменшує нерівномірність ущільнення по довжині виробу, але матеріали, що кристалізуються, можуть мати більшу нерівномірність процесу кристалізації, що призводить до більшої нерівномірності усадкових процесів, короблення та високих залишкових напруг.

Технологічні параметри нагрівання та охолодження форми

Найпростіший спосіб моделювання процесу охолодження виливки Modex3D встановлює однакову температуру форми.

Підвищення температури форми в межах діапазону, рекомендованого виробником термопластичного матеріалу, дозволяє збільшити довжину затікання розплаву в отворі, зменшити швидкість охолодження, що призводить до підвищення якості поверхні виробу та зменшення залишкової напруги. Це збільшує технологічну усадку, але підвищує стійкість до розтріскування аморфних матеріалів з високою температурою склування (наприклад, полікарбонату) і збільшує розмірну стабільність ливарних виробів при зберіганні та експлуатації. Одним із проблем, пов'язаних із високою температурою форми, є поява слідів штовхачів і локальні деформації в місцях із утрудненим відведенням тепла, відомих як «гарячі плями», які зазвичай виникають поблизу високих ребер. Зменшення температури форми негативно впливає на зовнішній вигляд і міцність спаїв, особливо для тонкостінних виробів.

Температура та витрата холодоагенту (за наявності витратоміра на виробництві) використовуються як технологічні параметри при моделюванні процесу охолодження ливарної форми, враховуючи конструкцію охолоджуючих каналів. Ці параметри можуть бути стаціонарними (для середньої температури в литьовому циклі) або нестаціонарними (для змінних температур в циклі лиття). Для того, щоб перебіг холодоагенту в охолодних

					<i>КєР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

каналах був турбулентним, визначається витрата холодоагенту відповідно до рекомендованого діапазону Рейнольдса, який становить від 5000 до 10 000.

Рис 2.17. Технологічні характеристики охолоджуючих каналів ливарної форми та нагрівачів гарячеканальної системи литника

Проміжок часу, необхідний для охолодження, визначається як проміжок часу, необхідний для завершення стадії витримки під тиском і моменту, коли початок розкриття ливарної форми відбувається. Як правило, період витримки на охолодження повинен дозволити ливарні вироби охолодитися до температури виштовхування, яка зазначена в базі даних як характеристика марки матеріалу. Жолоблення виробу виникає, якщо його витягнути з форми занадто рано. При використанні термопластичного матеріалу з високим модулем пружності товстостінні вироби, які мають досить високу жорсткість, зазвичай можна витягувати з форми, не чекаючи повного застигання внутрішніх областей.

Вироби, які мають найвищі вимоги до точності розмірів, є винятком.

Збільшення часу витримки на охолодження зменшує короблення виробу через процес релаксації напруги, але це також знижує продуктивність ливарного обладнання та збільшує час циклу лиття.

Технологічний параметр для моделювання попереднього нагріву ливарної форми — розрахунок, доступний для моделювання в нестационарних умовах — є час, необхідний для нагріву форми від кімнатної температури до робочої температури.

Розрахунки теплових процесів у гарячечанальній литниковій системі модуля Advanced Hot Runner включають конструкцію нагрівачів, металеві компоненти гарячечанального сопла та колектора, області теплоізоляції, місця розташування термодатчиків і спосіб регулювання температури. У перших двох випадках технологічні параметри відносяться до потужності нагріву або температури (рис. 2.17). Температура та коефіцієнти посилення, які необхідні для ПІД-регулювання, визначаються.

Майстер технологічного режиму Moldex3D дозволяє задати кілька кроків нагріву та охолодження форми у литьовому циклі для нестационарного розрахунку. Це дає широкі можливості для моделювання процесу лиття з використанням різних методів регулювання температури. Це дозволяє проводити розрахунки лиття з використанням варіотермічного термостатування ливарної форми. На стадії упорскування та ущільнення форма має підвищену температуру, яка перевищує температуру виштовхування термопластичного матеріалу, а коли форма охолоджується, температура форми знижується до температури нижче температури виштовхування. Лиття з варіотермічним термостатуванням форми покращує якість поверхні виробу та зовнішній вигляд спаїв, не зменшуючи продуктивність ливарного обладнання.

Моделювання стадії пластикації

					<i>КєР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Moldex3D включає модуль ScrewPlus (спільна розробка компаній Compuplast International та CoreTech System), призначений для моделювання та оптимізації стадії пластикації термопластичного матеріалу, а також урахування впливу технологічних параметрів цієї стадії на температуру розплаву. При розрахунку для стандартного шнека моделюються процеси плавлення гранульованого матеріалу, масо- та теплоперенесення в зонах живлення, стиснення та дозування з урахуванням технологічного режиму пластикації, особливостей термопластичного матеріалу та конструкції шнека. Передбачено розрахунок для спеціальних шнеків, у тому числі бар'єрних, із зоною змішування та інших.

При моделюванні стадії пластикації технологічними параметрами є температура по зонах матеріального циліндра, частота обертання шнека та протитиск. Результати розрахунку температури розплаву на стадії пластикації можуть використовуватися при розрахунку стадії упорскування як вхідні дані.

Оптимізація технологічних параметрів

У реальному процесі лиття під тиском діаграми для двох або навіть трьох факторів не дають повної інформації про прийнятний діапазон технологічних умов через взаємодію параметрів та складність механізмів формування дефектів.

Характеристики якості виробів, одержуваних литтям під тиском, хоч і залежать від технологічних параметрів процесу, великою мірою визначаються локальними умовами полімерного матеріалу (температурою, тиском, швидкістю та напрямом течії, швидкістю охолодження та ін) у конкретній області оформляє порожнини. Ці характеристики зазнають значних змін при переході від однієї області до іншої через вплив дисипації тепла при перебігу полімерного розплаву, його стисливості, в'язкості, зміни

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

геометричних умов (товщини стінки та інших особливостей конструкції), нерівномірності охолодження та інших факторів.

Складні структурні процеси, які відбуваються під час виробництва ливарного виробу, включають кристалізацію (для кристалізації термопластів), руйнування та орієнтацію волокнистих наповнювачів, а також нерівномірна концентрація волокнистих та дисперсних наповнювачів під дією течії розплаву. Ці процеси мають значний вплив на якість виробу. Moldex3D також можна використовувати для моделювання цих процесів. Шарова структура ливарних виробів формується умовами перебігу та охолодження.

Визначення параметрів технологічного режиму, який гарантує отримання високоякісного продукту, і його оптимізація відповідно до однієї або кількох характеристик якості здійснюється шляхом виконання розрахунків у кілька етапів. Зміст і послідовність їх залежать від особливостей завдання, таких як термопластичний матеріал, форма та конструкція виробу, вимоги до точності розмірів та інші фактори.

Спочатку зазвичай проводять «пробний» розрахунок за типовими умовами процесу, який надає інформацію, необхідну для вибору основних технологічних параметрів.

Оцінка швидкості упорскування є одним із завдань початкового етапу роботи, оскільки швидкість упорскування в більшості випадків значно впливає на всі інші характеристики ливарного процесу [2]. Швидкість упорскування забезпечує тепловий баланс під час проходження розплаву через порожнину для основної товщини стінки.

Moldex3D пропонує низку методів для оптимізації технологічних параметрів лиття під тиском. Для швидких оцінок корисні алгоритми автоматичного визначення профілів швидкості упорскування та тиску витримки, які можна викликати клавішею «Автоматично» в Майстерні технологічного режиму. Цей алгоритм використовує дані розрахунку, який

					<i>КєР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

уже був виконаний для тієї ж моделі виливки та марки термопластичного матеріалу.

У модулі Expert можна отримати рейтинг технологічних параметрів, які впливають на вихідні характеристики процесу, і використовувати метод планування експерименту для визначення оптимального режиму лиття.

2.4 Причини утворення дефектів під час лиття під тиском, рекомендації щодо його усунення

Типи дефектів виливків Шлюб може виникнути через порушення технологічного процесу або недоопрацювання конструкції деталі.

Під час виробництва деталі не враховують характеристики лиття під тиском, що призводить до браку.

Недоробка технологій Наявність браку є найпоширенішою причиною, тому важливо вибрати правильну технологію та випробувати її на партії виливків. Проблеми з технологією можуть виникнути на виливці під час будь-якої операції. Неправильне приготування сплаву, неправильне встановлення температури під час процесу лиття, а також поганий стан прес-форм і ливарних машин можуть призвести до браку. Завданням майстра та технолога є нагляд за дотриманням технології.

Брак поділяється на внутрішній і зовнішній залежно від місця його проведення. внутрішній дефіцит знайдено в ливарному цеху. Брак, виявлений у механічному або інших цехах заводу, називається зовнішнім браком.

Оскільки вартість подальшої обробки виливків додається до вартості виливків, зовнішній брак приносить найбільші збитки під час виробництва. Необхідно точно визначити причини браку, щоб запобігти йому (табл. 2.1).

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таблиця 2.1 показує причини дефектів під час лиття під тиском і методи їх усунення.

Вид дефекту	Причини	Заходи усунення
Тріщини виливках цинкових сплавів	в Підвищене вміст свинцю в сплаві; перекося при видалення виливки з прес-форми; занадто швидке видалення виливки з прес-форми	Замінити сплав новим; відрегулювати хід плити виштовхувачів; збільшити час витримки виливки у прес-формі
Тріщини виливках сплавів алюмінію кремнієм	в Підвищене вміст заліза в сплаві; з знижене вміст кремнію у сплаві; холодна прес-форма з	Зменшити зміст заліза до 15%; додати лігатуру алюміній-кремній; підігріти прес-форму або збільшити темп роботи
Тріщини виливках сплавів алюмінію магнієм	в Наявність різких переходів від тонких перерізів виливки до товстим; підвищений вміст з магнію в сплаві; холодна прес-форма	Змінити конструкцію деталі, заокруглити переходи; додати до сплаву чистого алюмінію; підігріти прес-форму або збільшити темп роботи

Тріщини виливках магнієвих сплавів	в Підвищене вміст кремнію з або алюмінію; наявність різких переходів в виливках; холодна прес-форма; перекіс виливки при видаленні з прес-форми	Додати до сплаву магнію або замінити сплав; запровадити радіуси переходу; підігріти прес-форму або збільшити темп роботи; відрегулювати роботу виштовхувачів
Тріщини виливках мідних сплавів	в Підвищене з вміст цинку або кремнію в сплаві; сповільнене видалення стрижнів з виливки та виливки з прес-форми; холодна прес-форма	Замінити сплав; прискорити виїмку виливка з прес-форми; підігріти прес-форму або збільшити темп роботи
Візерунка поверхня виливки («мороз»)	Низька температура заливання; холодна прес-форма; занадто тонке перетин впуску	Підвищити температуру заливання; підігріти прес-форму; збільшити перетин впуску
Неслітини, нечітке виконання гострих контурів виливки	Мінімальний тиск на метал; занадто великий переріз живильника та мала швидкість заповнення; холодна прес-форма чи метал; неправильне розташування живильника	Підвищити тиск мережі; зменшити перетин впуску та збільшити швидкість пресування; підвищити температуру; підвести живильник так, щоб не було роздробленості струменя

Повітряна пористість у всіх перерізах виливки	Велика швидкість потоку металу; неправильна плі недостатня вентиляція прес-форми; неправильне розташування живильника	Зменшити швидкість пресування та збільшити перетин впуску; виправити вентиляційну систему; направити метал так, щоб повітря поступово витіснявся з прес-форми
Усадкова пористість і раковини в потовщення	Погана конструкція виливки; відсутність харчування потовщеного місця виливки	Забезпечити рівності у виливку; підвести живильник до потовщеному місцю або застосувати армування цього місця вкладишем із того ж сплаву
Увімкнення шлаків та оксидів	Наявність у сплаві великої кількості оксидів; замішування оксидів та шлаку при неакуратному черпанні металу розливу ложкою	Додати флюс для розкислення; акуратно черпати сплав
Увімкнення кремнію виливках алюмінієвих сплавів	Заливка сплавів у кашоподібному з стані	Підвищити температуру заливання

Причинами появи різних дефектів може бути несправність прес- форм та машин, порушення технології, неправильне конструювання тощо.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Лінії спаю

Під час заповнення форми можуть утворюватися шви, відомі як лінії спаю. Вони утворюються, коли два або більше потоків з'єднуються під час заповнення форми. Цей дефект можна виправити, зменшивши вологість і забруднення розплаву. Перед обробкою матеріал повинен просушитися.

Коли половинки форми відкривають під високим тиском, туди потрапляє матеріал, який називають підливом. Це призводить до циклу обробки хутра.

Зменшення тиску зі збільшеним часом витримки або використання машини з великим зусиллям замикання вирішують цю проблему.

Збільшити товщину продукту.

Поява є основною причиною. Як наслідок його появи половинки форми спираються на задираки, а порожнина форми стає товщою.

Використання режимів формування зі скиданням тиску та правильне налаштування жорсткості форми вирішують цю проблему.

Короблення

Цей дефект є результатом відхилення поверхні виробу від основної площини. Ці проблеми можуть виникнути з кількох причин:

- Нерівномірне охолодження в різних місцях
- Неоднакова швидкість кристалізації

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

- Термічні зміни в деталі

Допускається цей тип дефекту під час випуску деталей під тиском. Рекомендується рівномірне охолодження, зменшення тиску та збільшення швидкості впорскування, щоб зменшити дефект.

Утяжка

Це заглиблення, розташоване на поверхні виробу. Вони можуть бути результатом нерівномірного охолодження або місцевих потовщень (ребер жорсткості або бобишок на звороті).

Спосіб усунення: під час проектування виробу необхідно дотримуватися правил рівнотовщинності, щоб не допустити

Порожнечі

Пістоти є бульбашками, які знаходяться всередині деталі.

Перевірте, чи працює клапан наконечника шнека. При упорскуванні матеріалу не повинно бути витоку.

Порожнечі є результатом технологічних параметрів лиття.

Зменшення порожнеч досягається шляхом збільшення підживлення матеріалом форми під час охолодження, щоб компенсувати усадку. Температура розплаву знижується після усунення дефекту.

Усунення дефекту покращується так само, як збільшення розмірів впуску.

					КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

3. Моделювання технологічного процесу лиття під тиском

3.1 Моделювання технологічних процесів у модулі Moldex 3D в NX 9.0

Мета цього розділу полягає в тому, щоб порівняти результати моделювання в різних програмних продуктах разом із їхніми перевагами та недоліками, а також визначити, на яких етапах проектування їх слід використовувати.

Використовуються Moldflow Synergy 2016 і Moldex 3D.

Розглянемо деталь ВАЗ «молдинг передніх дверей», яка була спроектована за допомогою програми CAD Catia. (Рисунок 3.1)

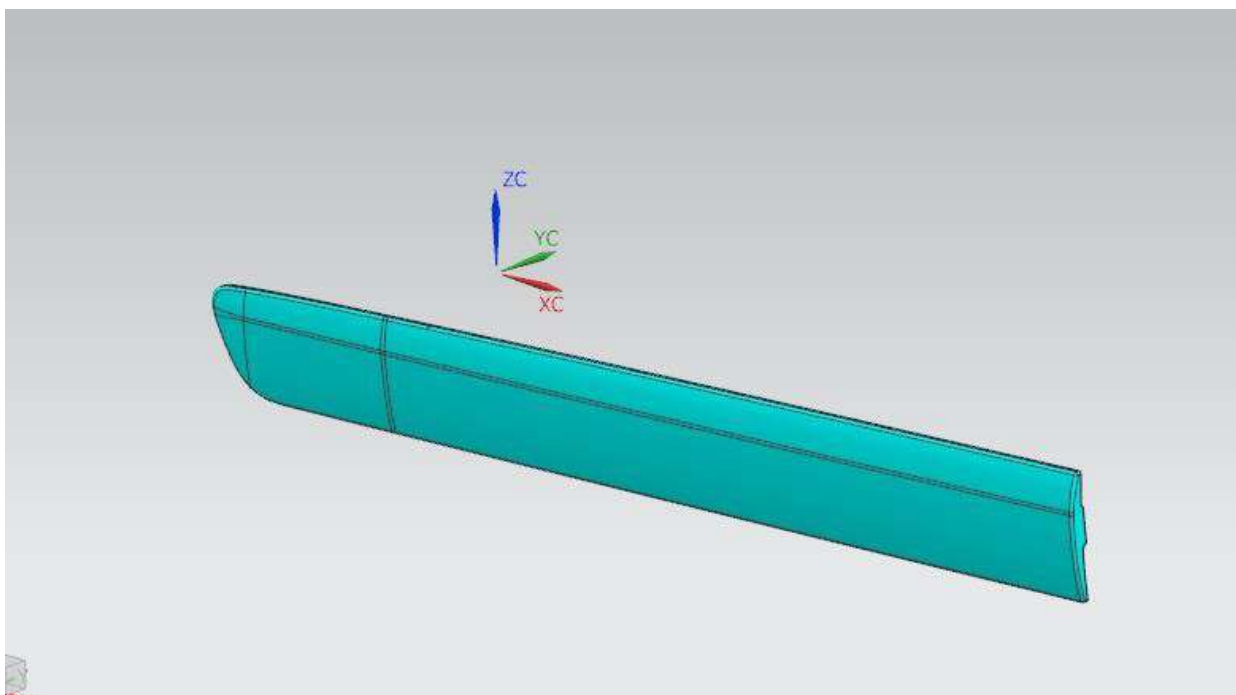


Рис. 3.1. Молдинг передніх дверей

У програмному продукті NX 9.0 модуль Moldex 3D дозволяє змоделювати процес лиття під тиском.

Після відкриття деталі в NX ми вибираємо аналіз, просту заливку або

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

перевірку правильності литої деталі, а потім виконуємо аналіз потоків. (Рисунок 3.2).

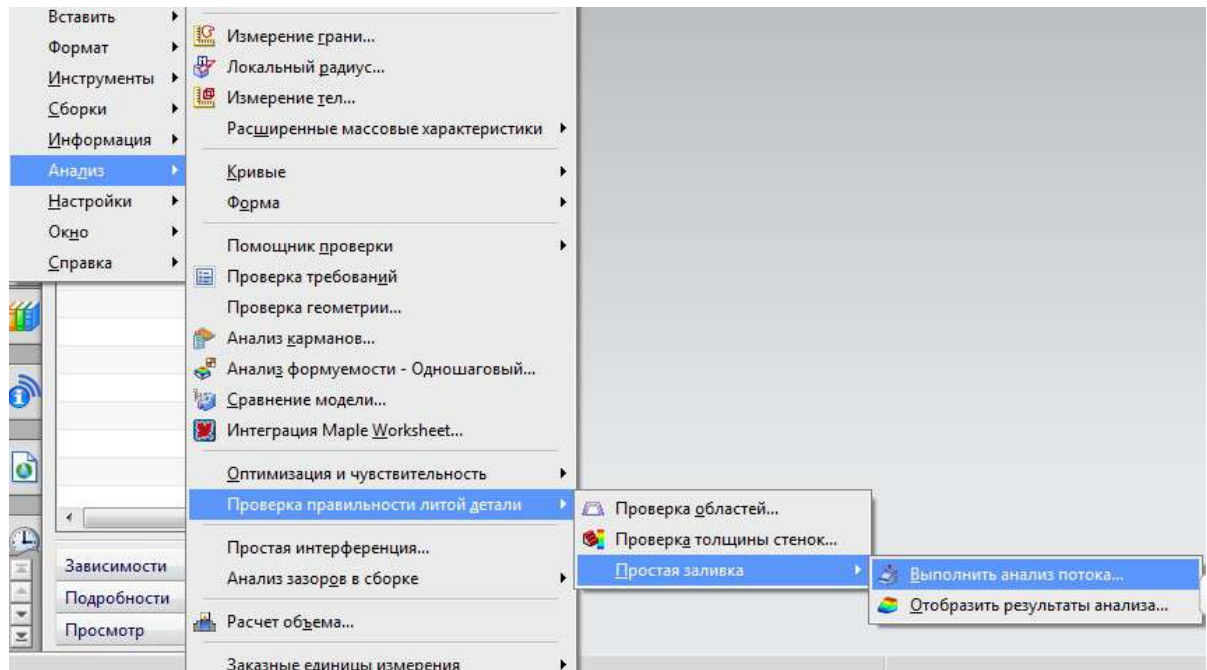


Рис. 3.2. Аналіз проливності.

Далі необхідно вказати місця точок упорскування (рис. 3.3)

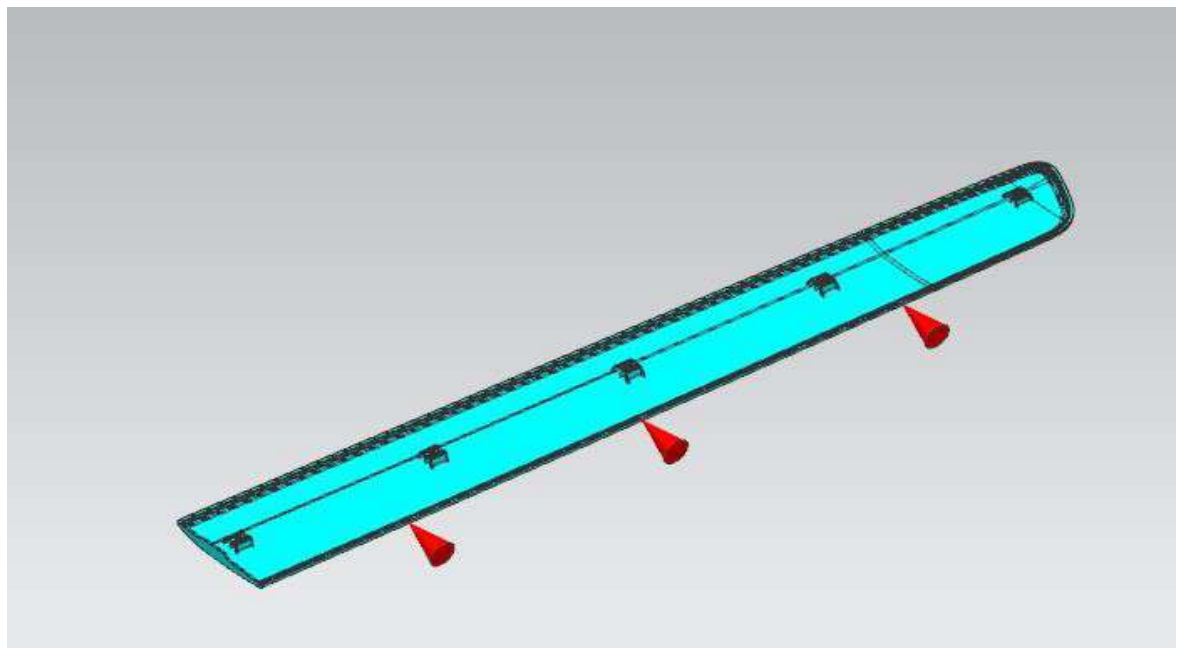


Рис.. 3.3 Крапки впорскування

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Використовуючи Moldex 3D, необхідно вказати матеріал і точність розрахунку у вікні, що з'явилося (рис. 3.4). Виберемо середню точність для цієї деталі, використовуючи матеріал Армлен ПП СК 15-5М.

Крім того, там будуть відображатися інформація про час заливки форми, температуру розплаву та форму.

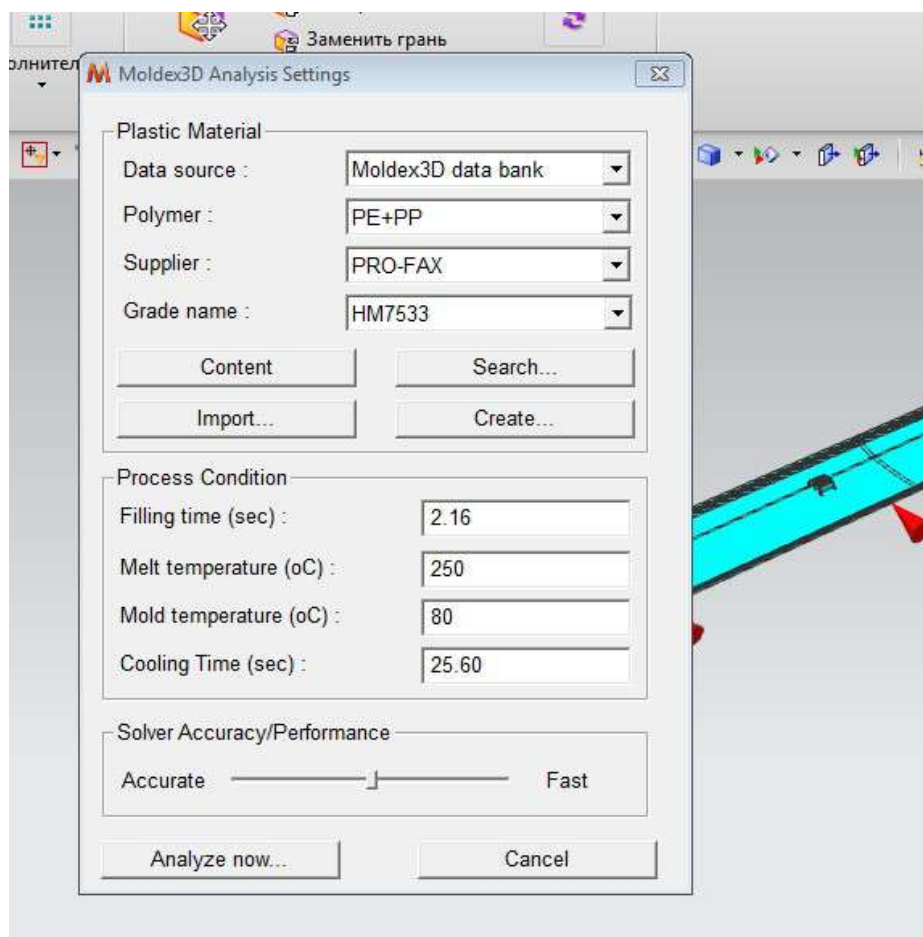


Рис. 3.4. Налаштування симуляції

Після завершення розрахунків ми отримуємо результати за наступними параметрами: коефіцієнт лінійного розширення (3.5), час заливки (3.6), лінії спаю (3.7), тиск (3.8), час охолодження, місця відведення повітря та максимальний час охолодження.

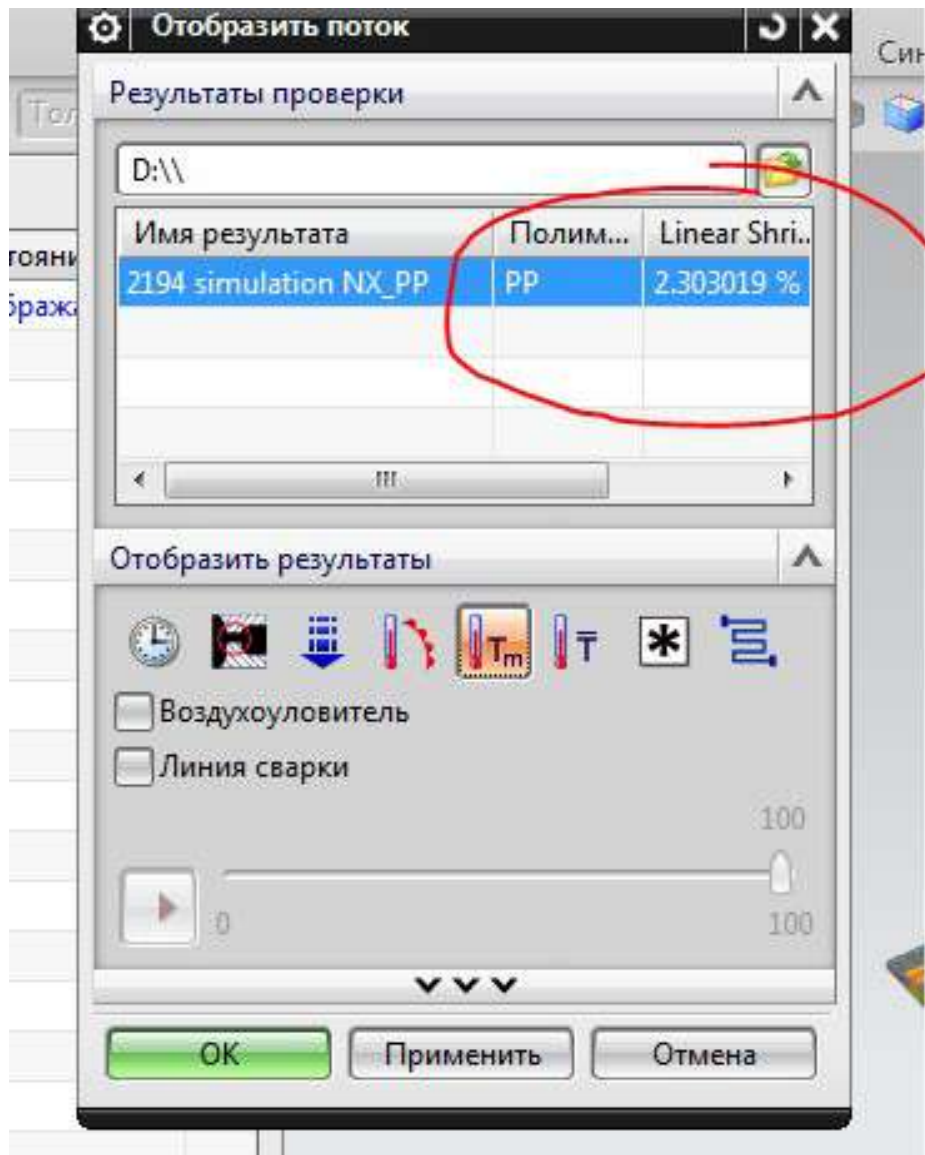


Рис. 3.5. Коэффициент линейного расширения

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ

Арк.

70

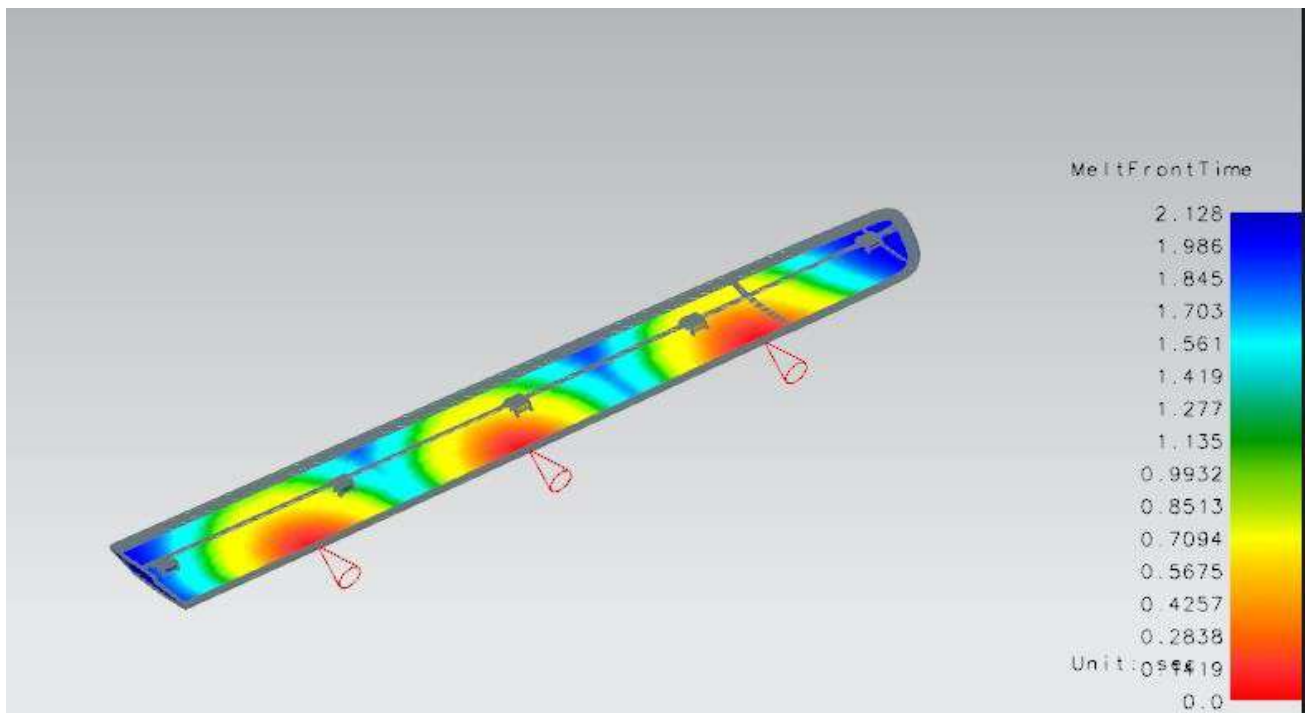


Рис.3.6. Час заливання форми

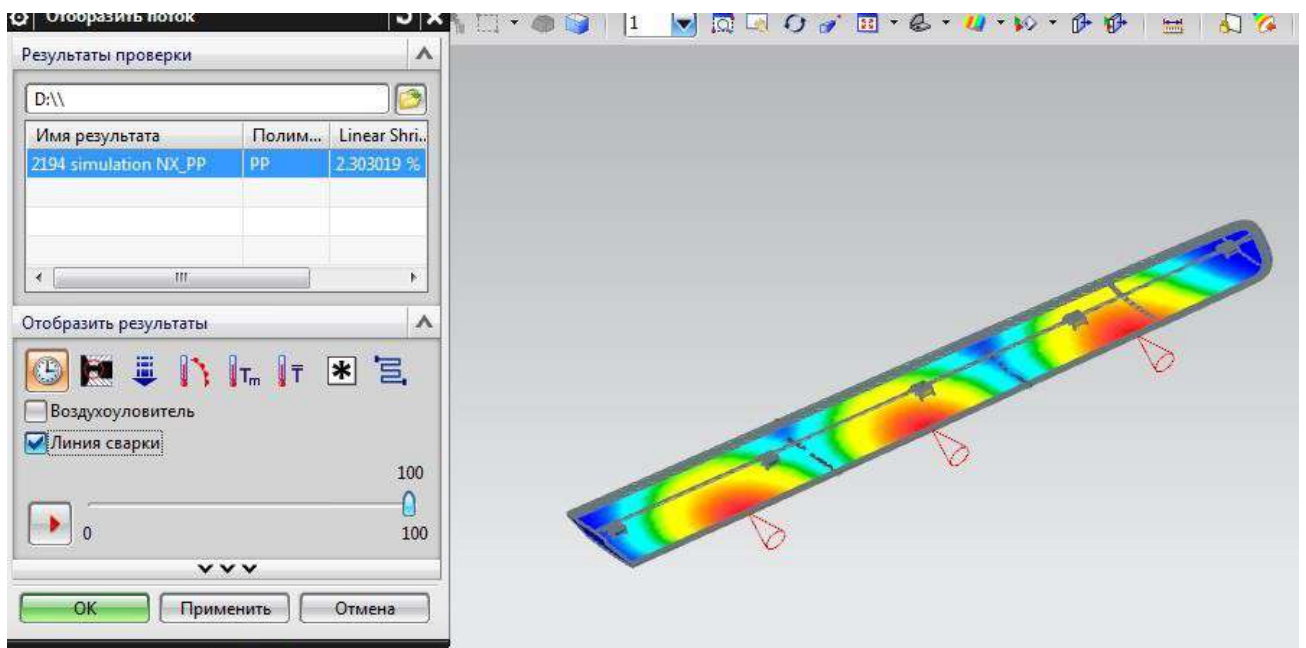


Рис.3.7. Лінії спаю

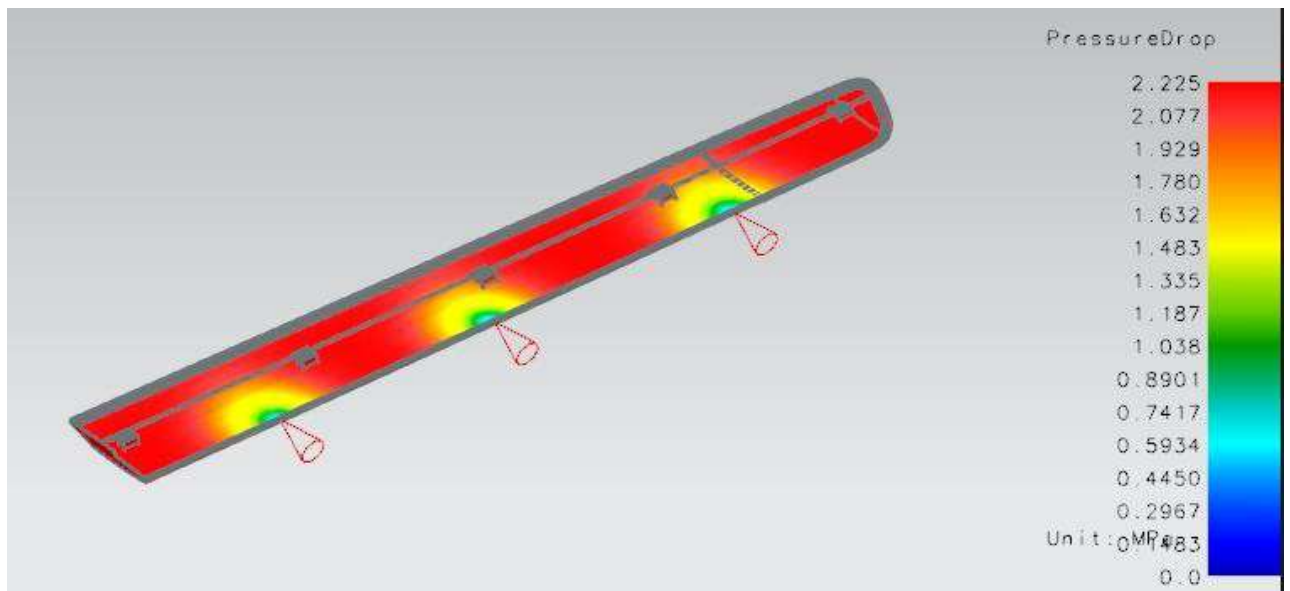


Рис.3.8. Тиск

У результаті цього дослідження ми змогли визначити основні значення, необхідні для лиття деталі.

На ранніх стадіях проектування конструктор може використовувати ці дані для оцінки певних параметрів майбутнього виробу та орієнтування на них, щоб запобігти потенційним проблемам, пов'язаним із виготовленням та розробкою оснастки.

3.2 Моделювання тех процесів у Mold Flow

Послідовність моделювання залишається практично незмінною при роботі з цим програмним забезпеченням.

Наступним кроком є імпорт необхідної деталі (рис. 3.9).

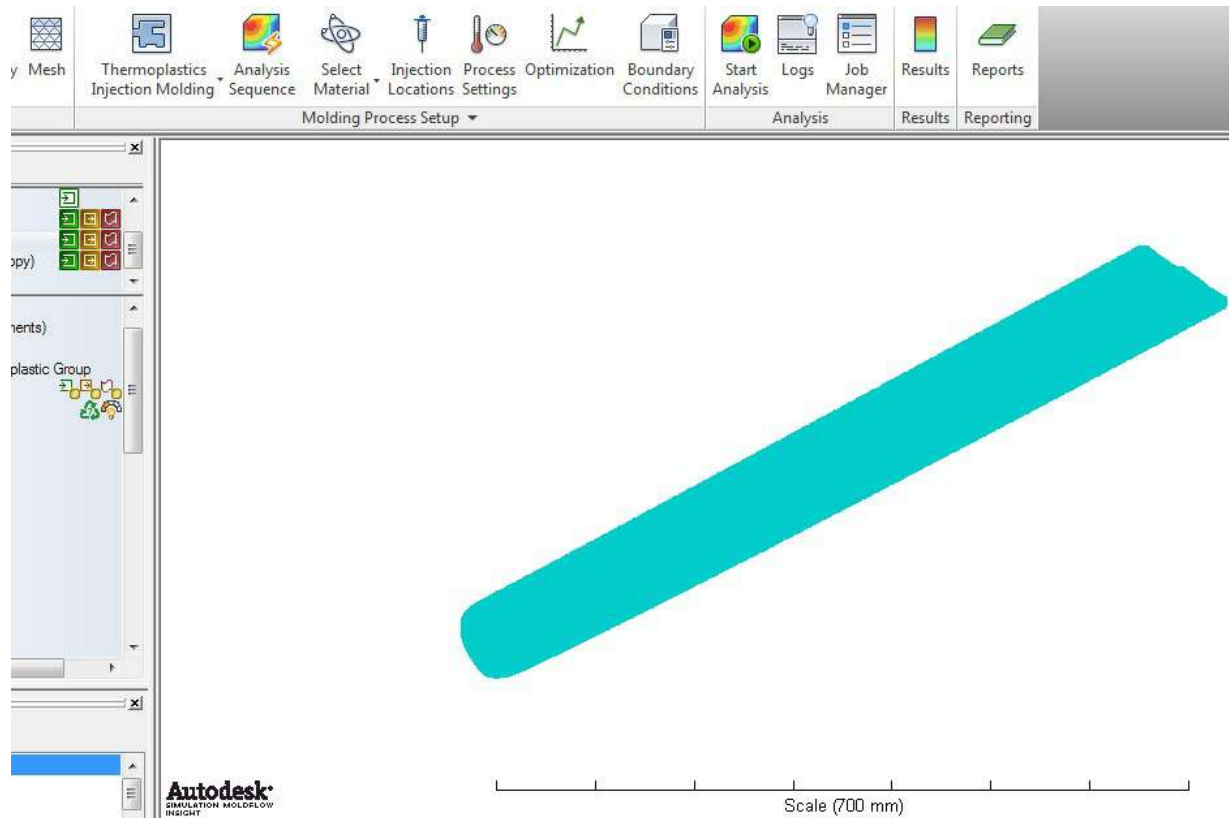


Рис. 3.10. Додавання деталі

Далі вибираємо тип сітки KE (Dual domain) та матеріал (Армлен PP SK 15-5мс). (Рис 3.11)

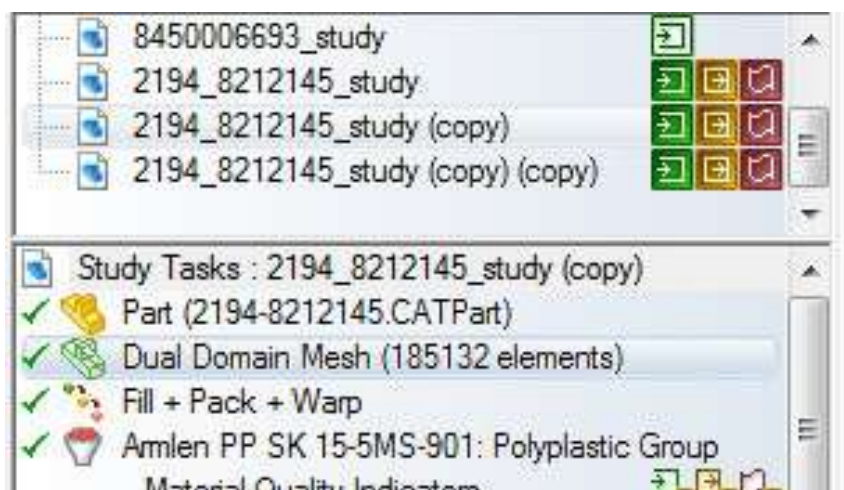


Рис. 3.11. Вибираємо матеріал та тип сітки KE

Далі повинні вибрати відповідний тип аналізу. Модифікація потоку дозволяє виконувати безліч розрахунків (рис. 3.12):

1. Аналіз проливності
2. Об'ємної усадки
3. Короблення
4. Утяжки
5. Охолодження і.т.д

Ми вибираємо (Fill+Pack+Warp) – заливання + деформації

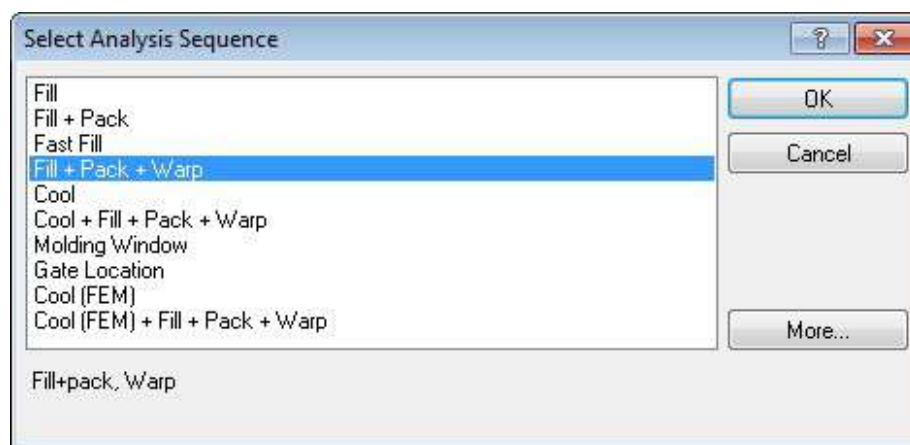


Рис. 3.12. Типи аналізів

Далі позначаємо точки упорскування за аналогічною методикою Moldex 3D (рис. 3.13)

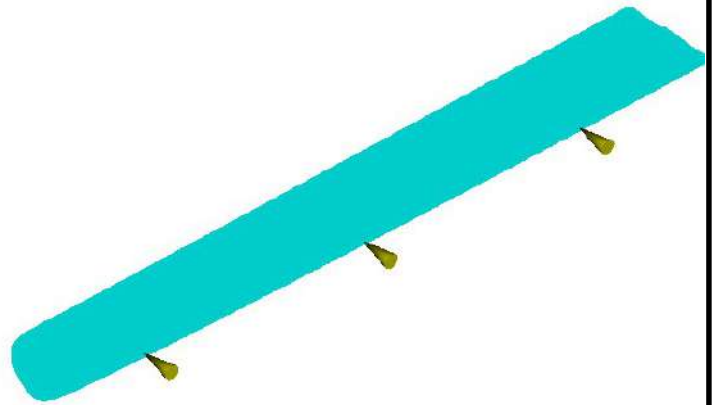
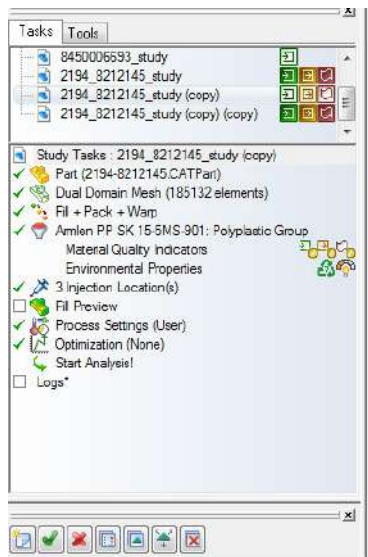


Рис. 3.13. Розташування точок упорскування

Порівняно з Moldex 3D, час розрахунку займає більшу кількість часу:

Moldex 3D — п'ять хвилин, потоки цементу — близько п'яти годин

Після завершення розрахунку ми отримуємо безліч потенційних розрахунків для нашої деталі.

Розглянемо найважливіші з них:

- Час заливання
- Середня температура розплаву
- Тиск
- Місця утяжок
- Об'ємна усадка
- Лінії спаю
- Короблення

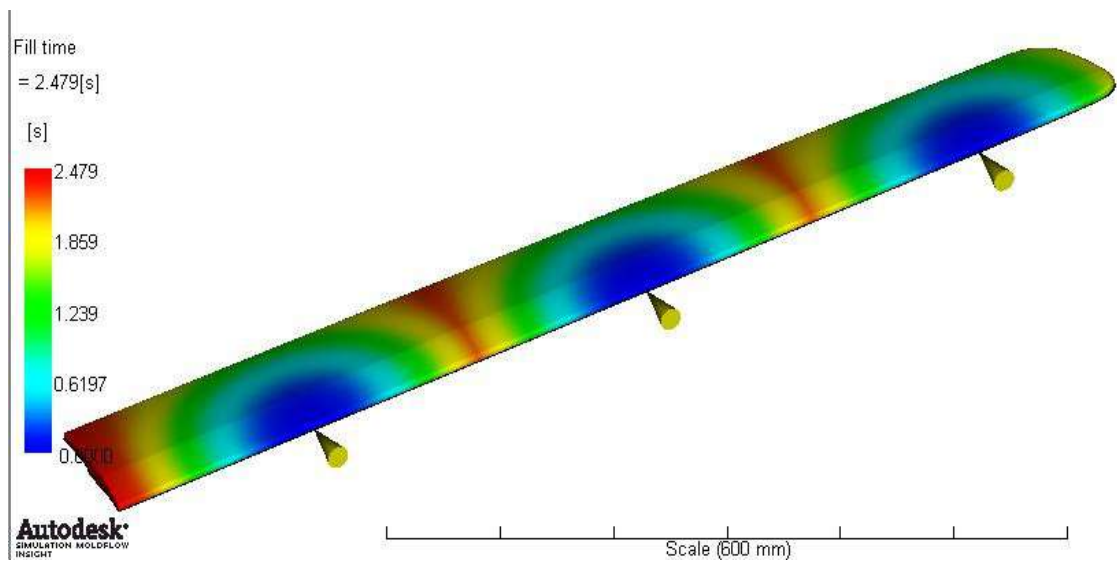


Рис. 3.14. Час заливання

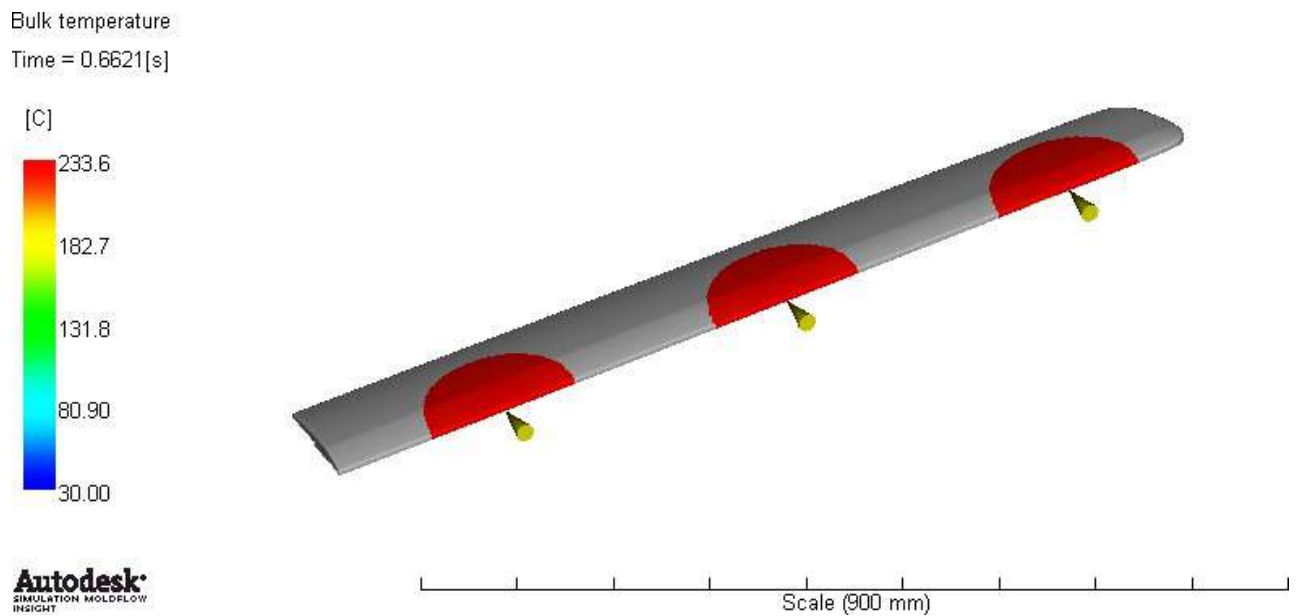
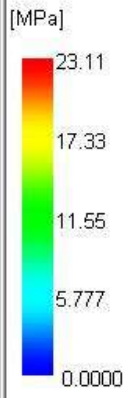


Рис. 3.15. Температура розплаву середня

					<i>Кер МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Pressure
Time = 2.092[s]



Autodesk

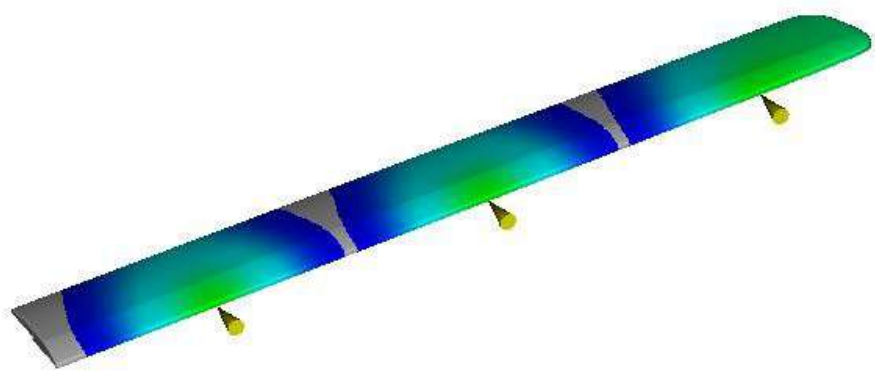
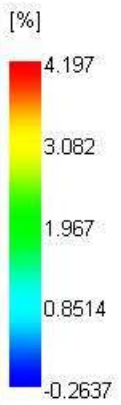


Рис. 3.16. Тиск

Sink marks, index
= 4.197[%]



Autodesk

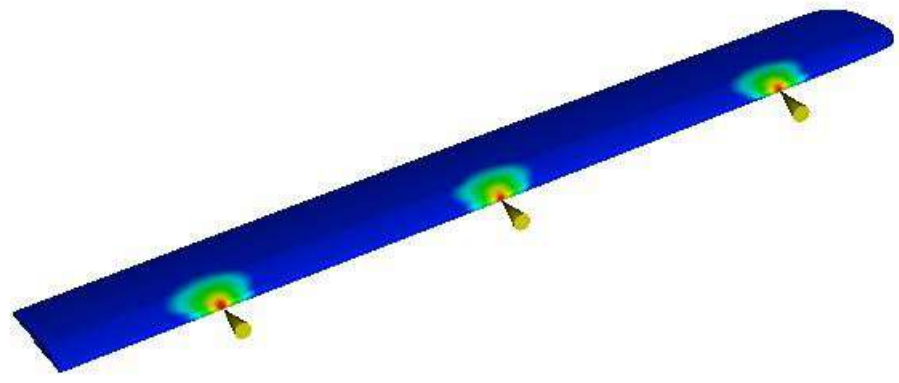


Рис. 3.17. Місця можливих утяжок

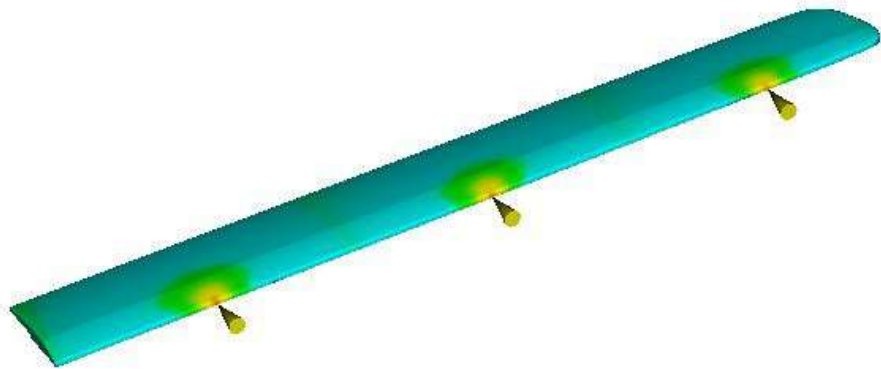
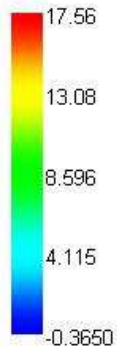
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ

Volumetric shrinkage

Time = 32.35[s]

[%]



Autodesk
SIMULATION MOLDFLOW



Рис. 3.18. Об'ємна усадка

Weld lines
= 135.0[deg]

[deg]

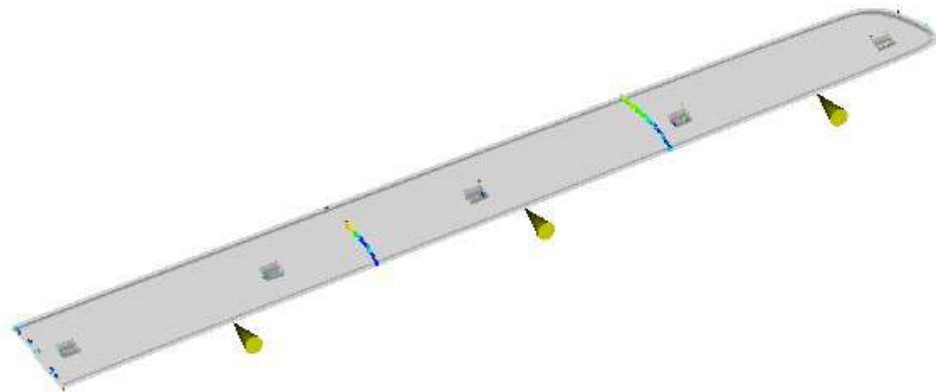


Рис. 3.19. Лінії спаю

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Кер МТВА 2622145. 000 ПЗ

Арк.

78

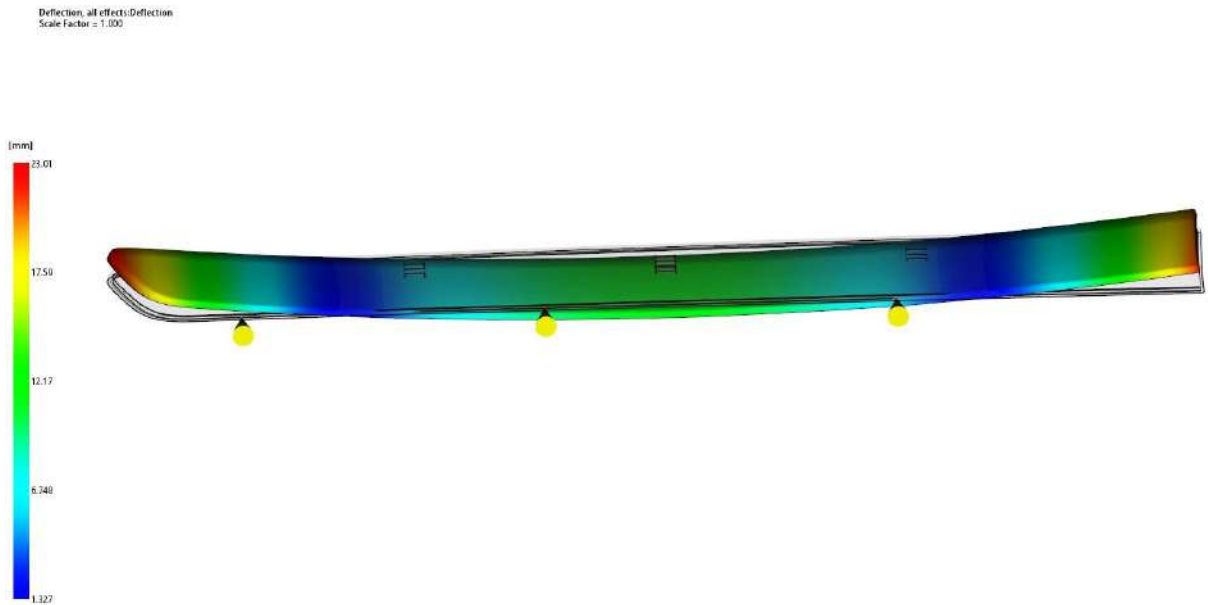


Рис. 3.20. Короблення

3.3 Усунення дефекту короблення

Як показав аналіз проливності в трубопроводі, у конструкції цієї деталі є проблеми. У цьому прикладі даних аналізу короблення розгляньте усунення дефекту. Цей дефект неприпустимий для деталей, оскільки він впливає на її загальні розміри та якість.

Щоб усунути цей дефект, на краях деталі було введено ребра жорсткості.

Таким чином, було отримано ММ з даними доробки (рис. 3.21).

					КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

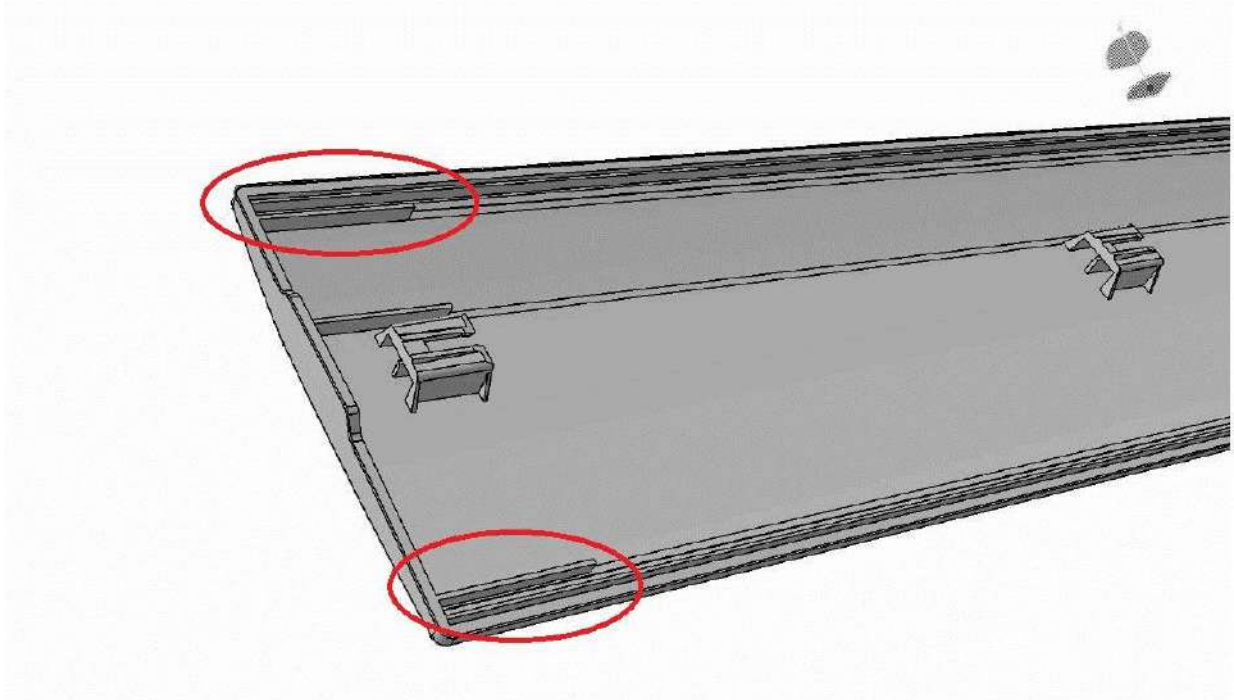


Рис. 3.21. Деталь після доопрацювання

Проведемо ще один аналіз коробки за допомогою потоку формування, і подивимося, як зміниться картина після того, як деталь буде доопрацьована.

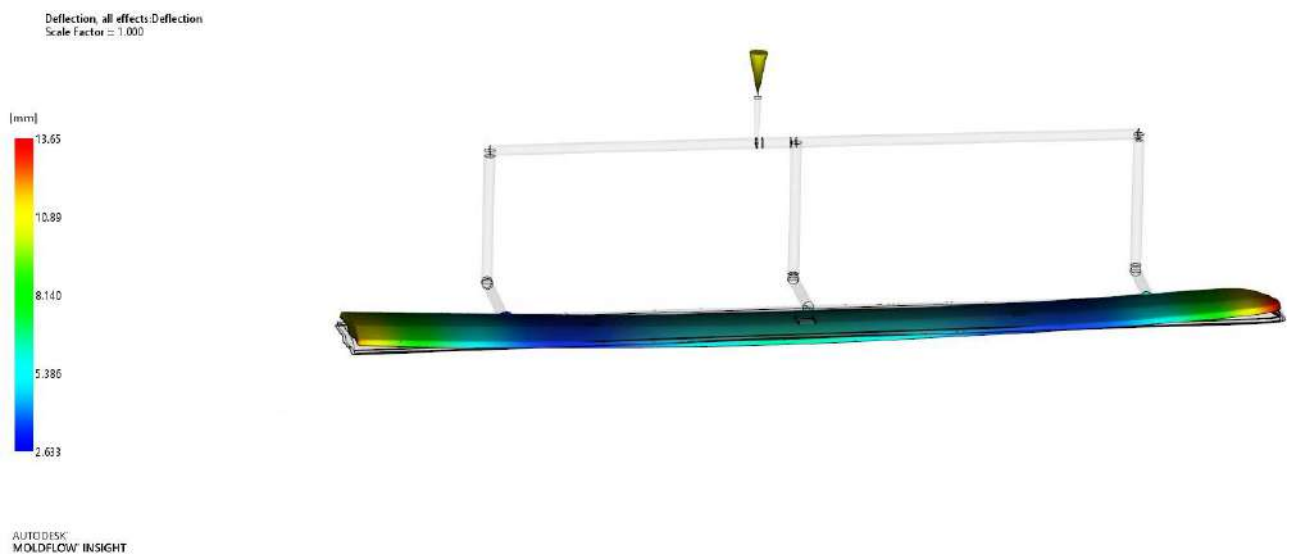


Рис. 3.22. Результат аналізу після доопрацювання

Після порівняння отриманих результатів було очевидно, що ми вдалося зменшити цей дефект майже в два рази завдяки введенню ребер, зменшивши його з 23 мм до 1 мм на кінцях деталі.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

4. Порівняння результатів аналіз у продуктах Mold Flow та Moldex 3D

Дані CAE-системи дозволяють заощадити багато часу на доробках і страхуванні деталей, оскільки вони дозволяють отримати інформацію про потенційні дефекти деталі та проблеми, які можуть виникнути під час її виготовлення, ще на ранньому етапі проектування виробу.

Швидкість розрахунків модуля Moldex 3D, а також можливість інтеграції в систему CAD допомагають конструкторам зосередитися на одному ПЗ.

Зважаючи на те, що його результати допомагають, цей продукт більше підходить розробникам обладнання:

- Прогнозувати розвиток об'ємного фронту розплаву з метою візуалізації заповнення ливарної форми;
- Розраховувати просторові розподіли температури та тиску;
- Прогнозувати можливі дефекти, викликані захопленням газом;
- Розраховувати тиск упорскування та оцінювати необхідне зусилля змикання;
- Оцінювати схему розташування та типи литникових каналів, щоб мінімізувати обсяг матеріалу, що витрачається, і досягти балансу.
- Підвищити ефективність параметрів процесу на стадії заповнення форми.

У своєму чергу процес лиття надає значний обсяг даних і підходить як помічник проектувальнику виробу, так і прес-форми, оскільки він дає можливість уникнути дефектів на стадії розробки за рахунок зміни конструкції виробу, що є великим плюсом для конструктора. Крім того, він надає розробнику прес-форми всю інформацію про процес лиття та його

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

оптимізацію.

Порівняльна таблиця вихідних даних представлена нижче. (Табл. 4.1).

Табл. 4.1 Порівняння деяких результатів Mold Flow та Moldex 3D

	Час заливання	Лінійне розширення	Лінії спаю	Максимальна температура
Moldex 3D	2,128с	2,303%	Місця ліній спаю	232,6
Mold Flow	2,479с	2,975%	збігаються	231,2

Висновок

Багато машинобудівних підприємств планують використовувати системи CAD, CAM і CAE в майбутньому, щоб запобігти дефектам і знизити витрати як під час проектування, так і під час виробничого циклу.

1. Розроблено підхід до проектування пластмасових виробів на ранніх стадіях розробки, враховуючи їх технологічність.
2. На стадії проектування розроблено методи усунення дефектів, таких як короблення.
3. Використання програмних продуктів призвело до підвищення якості, скорочення термінів виготовлення деталі, зниження трудомісткості проектування та витрати на прототипування.

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		83

Список використаної літератури

1. Освальд, Т. Лиття пластмас під тиском / Т. Освальд, Л.-Ш Тунг, П. Дж. Гремман- Професія, 2006 - 308с.
2. Фішер Дж. Усадка та короблення виливків із термопластів/Фішер Дж - Професія, 2009 -424.
3. Давид О. Казмер. Розробка та конструювання ливарних форм / Казмер. Давиде. Про – Професія, 2011-464.
4. Temperierung von Spritzgusswerkzeugen durch vollständig integrierte induktive Beheizung / Michael Zülch Stuttgart: Inst. für Konstruktion u. Fertigung in der Feinwerktechnik der Univ. Stuttgart, 2011 - 129.
5. Rosato.DV Injection molding handbook // Ed. Dominick V. Rosato [et al.]. - 3. Ed. Boston [etc.]: Kluwer acad. publ., Cop. 2000 – XXXI, 1457.
6. Ольмстед, Берні А. Практичне внесення molding / Берні А. Ольмстед, Мартін Е. Давіс New York Basel: Dekker, Cop. 2001 - XII, 217
7. Мелл Р.А Конструювання пластмасових виробів для лиття під тиском / Р. А.-Мелло Професія, 2006-512с.
8. Авер Дж. Спеціальні технології лиття під тиском / Дж. Авер, Кельвін. Т, Т. Окамото - Професія, 2009-416с.
9. Кондрашенко В.І. Комп'ютерне матеріалознавство полімерів. Том 1. Атомно-молекулярний рівень К.: Науковий світ, 1999. - 544 с.
10. Campo EA Complete Part Design Handbook. For Injection Molding of Thermoplastics/ EA Campo -Hanser Publications, 2006 -870с.
11. Tadmor Z. Principles of Polymer Processing/Z. Tadmor Wiley-Interscience; 2 editions. 2006-984 з
12. Douglas M. Bryce Plastic Injection Molding: Manufacturing Process Fundamentals / Douglas MB Society of Manufacturing Engineers, 1996 – 227с

					<i>КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

13. Jerry Fischer Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage /
Fischer.J.

					Кер МТВА 2622145. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Додатки

					КвР МТВА 2622145. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86