

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

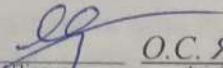
Освітньо-кваліфікаційний рівень

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство
Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс
автомобілів»

на тему: «Вдосконалювання технології виготовлення колеса
легкового автомобіля шляхом комп'ютерного моделювання
процесу»

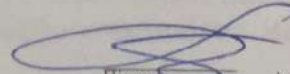
Шифр **MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ**

Виконав: студент 2-го курсу, група МТВАм 21-1


Підпис

О.С. Янчук
Ініціали, прізвище

Керівник к.т.н., доц. каф. ТАМ.


Підпис

О.П. Бабак
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.


Підпис

О.В. Диха
Ініціали, прізвище

8 12 2022 р.

Хмельницький, 2022

РЕФЕРАТ

На тему «Вдосконалювання технології виготовлення колеса легкового автомобіля шляхом комп'ютерного моделювання процесу»

Обсяг пояснювальної записки – 88 сторінок, кількість рисунків - 65, таблиць - 5, додатків - 17, кількість джерел згідно із переліком посилань - 25.

Ключові слова: ПРОЕКТ, ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ, ЛЕГКОСПЛАВНІ ДИСКИ, PROCAST, РОЗРАХУНОК, КОЛЕСО.

Автомобілі повинні бути не тільки надійні, безпечні, довговічні але й комфортабельні. Усе це вимагає, щоб вузли й агрегати були відмінно сконструйовані й виготовлені.

Експлуатаційні властивості й надійність створюваного транспортного засобу в значній мірі залежать від характеристик автомобільного колеса.

Об'єктом дослідження є проектування автомобільного диска за рахунок впровадження комп'ютерної програми проектування (модульна структура СКМ ЛП Procast.).

Мета роботи – розробка технологічного проекту на проектування та виготовлення готового литого автомобільного колеса.

У процесі роботи створено проект на окремі операції лиття обвобомільного диска

В результаті було проведено огляд проблем лиття алюмінієвого сплаву АК7.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є покращення виробничої діяльності ливарної дільниці по виготовленню дисків, зниження витрат на повний цикл виготовлення автомобільних коліс.

Легкосплавні диски вигідно відрізняються від стандартних сталевих і на ринок усе більше клієнтів приходять саме за дисками з легких металів. І якщо литі диски мають деякі недоліки в порівнянні зі сталевими, то ковані – кращі вироби з усіх. При нормально налагодженому виробництві їх ціна буде несильно відрізнятися від інших типів дисків, причому буде майже напевно нижче імпортих литих і сталевих зразків. При цьому легкосплавні диски мають гарну геометричну точність, що поліпшує експлуатацію автомобіля; менша вага вже неодноразово була згадана.

Легкосплавні диски відрізняє ще й тим, що їм можна задати практично будь-який дизайн, який не суперечить конструктивним особливостям колеса, тому вони й стали так популярні у водіїв, які не прагнуть спостерігати на своїй автомашині стандартні (і, відверто говорячи, непоказні та навіть убогі) диски. При бажанні можна організувати виробництво дисків на замовлення (що не можна зробити при виробництві кованих дисків) і робити унікальну продукцію по індивідуальних замовленнях. Нарешті, легкосплавні диски завдяки своєму складу менше піддані зовнішнім умовам, впливу роботи машини, ковані пружні і більш міцні, а легкосплавна основа дозволяє більш ефективно відводити тепло від гальмової системи – і на виході менше зношування та економія горючого.

Ціль магістерської роботи: підвищення якості виробу шляхом моделювання процесу лиття під тиском литого диска колеса автомобіля в САЕ системі.

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

01 жовтня 2022 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Янчуку Олександр Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проекту (роботи) _____

Вдосконалювання технології виготовлення колеса легкового автомобіля шляхом комп'ютерного моделювання процесу

керівник проекту (роботи) Бабак Олег Петрович к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом університету від 1 липня 2022р. № 83 (28)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру 10 грудня 2022 року

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

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз вихідних даних і технічних рішень; 2 Вибір способу лиття; 3. Підготовка процесу лиття; 4. Моделювання процесу лиття.

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

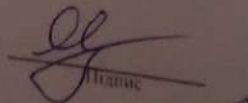
7. Дата видачі завдання _----


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прим.
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2022</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10.2022</i>	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11.2022</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11.2022</i>	
5	<i>Оформлення презентації магістерської роботи</i>	<i>1.12.2022</i>	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	<i>5.12.2022</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>10.12.2022</i>	

Студент

Керівник проекту (роботи)


Підпис


Підпис

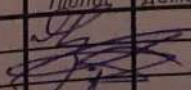
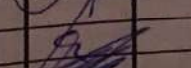

Янчук О.С.
Ініціали, прізвище

Бабак О.П.
Ініціали, прізвище

Змн.
Розр.
Пере
Рещ.
Н. К.
Зат.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....	8
1.1 Опис виробу.....	11
1.2 Характеристика матеріалів виробу.....	16
1.3 Альтернативні методи штампування металу.....	22
1.3.1 Розглянемо найпоширеніші види деформації металів..	23
1.3.2 Переваги використання методів штампування.....	24
1.4 Огляд програм які використовуються у машинобудуванні для лиття.....	26
1.4.1 Граничні і початкові умови.....	30
1.4.2 Параметри розрахунку.....	31
1.4.3 Результати розрахунків.....	32
1.5 Завдання роботи.....	40
2 ВИБІР СПОСОБУ ЛИТТЯ.....	41
2.1 Лиття в піщано-глинисті форми.....	41
2.2 Спеціальні способи лиття.....	42
2.3 Лиття по виплавлених моделях.....	42
2.4 Лиття в оболонкові форми.....	43
2.5 Лиття під низьким тиском.....	44
2.6 Особливості формування виливка.....	45
2.7 Особливості формування виливка при литті під низьким тиском.....	46

MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	«Вдосконалювання технології виготовлення колеса легкового автомобіля шляхом комп'ютерного моделювання процесу»	Лит	Арк.	Акрцифр
Розроб.	Янчук						2	88
Перевір.	Бабак					ХНУ група МТВАм 21-1		
Реценз.								
Н. Контр.	Ридик							
Затверд.	Духа							

3	ПІДГОТОВКА ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ.....	48
	3.1 Вибір програми для лиття.....	48
	3.2 Розробка 3D моделі виробу.....	49
	3.3 Моделювання 2 Д сітки.....	54
	3.4 Імпорт деталі в Procast (Visual-Mesh).....	55
	3.5 Створення 3D сітки.....	59
	3.6 Призначення граничних умов процесу.....	61
	3.7 Призначення коефіцієнта теплопередачі.....	62
	3.8 Диспетчер умов процесу.....	64
	3.9 Рекомендації з моделювання.....	65
	3.10 Початок моделювання.....	67
4	МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ.....	68
	4.1 Аналіз результатів.....	68
	4.2 Поширення температури у виливку.....	68
	4.3 Поширення температури у формі.....	71
	4.4 Процес затвердіння металу	78
	ВИСНОВОК.....	84
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	85
	ДОДАТКИ.....	88

Вступ

Число автомобілів неухильно росте, а тому виробництво комплектуючих, запчастин і деталей для автомашин є досить перспективним починанням, яке припускає виготовлення постійне затребуваної продукції. До таких виробів ставляться колісні диски, які сьогодні часто представлені на ринку сталевими заготовками. Даний тип виготовлення колеса вважається традиційним, але він має безліч недоліків, тому на зміну йому вже давно прийшли типи коліс, виготовлені по більш досконаліх технологіях і з використанням більш легких металів і їх сплавів. Із цієї причини вони одержали назву легкосплавні. Диски діляться на 2 категорії: литі та ковані.

Легкосплавні диски вигідно відрізняються від стандартних сталевих і на ринок усе більше клієнтів приходять саме за дисками з легких металів. І якщо литі диски мають деякі недоліки в порівнянні зі сталевими, то ковані – кращі вироби з усіх. При нормально налагодженому виробництві їх ціна буде несильно відрізнятися від інших типів дисків, причому буде майже напевно нижче імпортованих литих і сталевих зразків. При цьому легкосплавні диски мають гарну геометричну точність, що поліпшує експлуатацію автомобіля; менша вага вже неодноразово була згадана.

Легкосплавні диски відрізняє ще й тим, що їм можна задати практично будь-який дизайн, який не суперечить конструктивним особливостям колеса, тому вони й стали так популярні у водіїв, які не прагнуть спостерігати на своїй автомашині стандартні (і, відверто говорячи, непоказні та навіть убогі) диски. При бажанні можна організувати виробництво дисків на замовлення (що не можна зробити при виробництві кованих дисків) і робити унікальну продукцію по індивідуальних замовленнях. Нарешті, легкосплавні диски завдяки своєму складу менше піддані зовнішнім умовам, впливу роботи машини, ковані пружні і більш міцні, а легкосплавна основа дозволяє більш ефективно відводити тепло від гальмової системи – і на виході менше зношування та економія горючого.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Ціль магістерської роботи: підвищення якості виробу шляхом моделювання процесу лиття під тиском литого диска колеса автомобіля в CAE системі.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

У побуті під словом «колесо» багато мають на увазі автомобільне колесо в зборі, що складається із власно колеса та шини. Тим часом в автомобільній промисловості колесом вважають тільки проміжний (між маточиною автомобіля та шиною) елемент конструкції автомобіля.

Звичайне (серійне для всіх легкових автомобілів) дискове колесо складається із двох елементів — обода та диска, з'єднаних між собою крапковим контактним зварюванням.

Обід — це кільцеподібна (певного профілю) частина колеса, на яку монтується та опирається шина.

Диск — центральна частина колеса, що несе обід, що й має посадкові отвори для кріплення до маточини. Часто дискове колесо називають просто диском (очевидно, щоб уникнути плутанини між колесом у зборі та колесом як елементом конструкції автомобіля), що звичайно, невірно. Тому що, насправді бувають розбірні колеса, де обід і диск скріплені нарізними сполученнями, а так само бездискові колеса (наприклад, на вантажівках «Камаз») або колеса з дисками у вигляді кільцевих фланців (автомобілі ЗАЗ).

Автомобільні колеса розрізняють по їхній приналежності до того або іншого автомобілю, по типу застосовуваних шин, по конструкції і технології виготовлення.

Тут піде мова тільки про колеса нерозбірної конструкції для камерних і безкамерних шин.

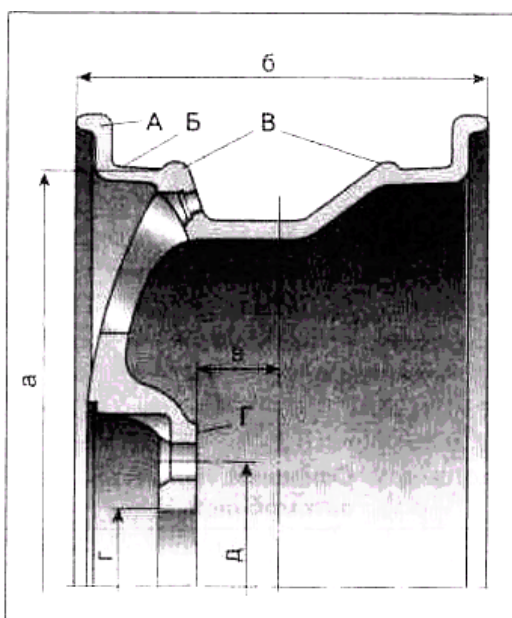
За технологією виготовлення такі колеса можуть бути сталевими звареними (із прокатоного обода та штампованого диска), литими і кованими.

Технологія виготовлення литих коліс включає заливання розплавленого металу (звичайно це алюмінієвий або магнієвий сплав) у форму, його остигання, наступне обточування посадкових поверхонь і свердлення отворів в отриманому виливку. До недоліків литих коліс ставляться надмірно товсті стінки,

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

можливість наявності схованих пор і раковин, недостатню міцність (при ударі вони деформуються та навіть розколюються) і складність (часто неможливість) відновлення.

При куванні (або об'ємному штампуванню) із заготовки виконують так звану ковану заготовку, яку потім обробляють на токарному верстаті. Така технологія складна і дорога, однак ковані диски міцніші та легші. Наприклад, 13-дюймове коване колесо важить 4,9 кг проти 6,0 кг у литого, а товщина стінок становить тільки 3,0 мм проти 5,5 мм у литого. При цьому кований диск краще «переносить» удари.



А — закраїна обода; Б — полка; В — кільцевий виступ («хамп») для додаткової фіксації бортів безкамерної шини; Г — площина кріплення; а — монтажний діаметр; б — ширина обода; в — вилет (відстань між площиною симетрії обода та кріпильною площиною колеса); г — діаметр центрального отвору під маточину; д — діаметр кола розташування кріпильних болтів (шпильок)

Рисунок 1.1 - Основні елементи та розміри колеса легкового автомобіля

Головна перевага легкоплавних коліс перед звичайними сталевими — у меншій масі. Зниження маси колеса в зборі із шиною веде до зменшення невіднесених інерційних мас і поліпшенню умов роботи підвіски, тому що колесо швидше «кориться» повернутій дії пружини, амортизатора й швидше відновлює загублений контакт із дорогою. Це поліпшує комфортабельність їзди й робить більш безпечним рух на великій швидкості.

Основні елементи і розміри колеса легкового автомобіля показані на рис. 1.1.

Для закордонних коліс розмір «в» позначається «ET», «г» — «DIA» і «д» — «PCD».

Колесо позначається основними розмірами обода — монтажним (посадковим) діаметром (а) і шириною (б). Наприклад, звичайне дискове колесо для автомобілів ВАЗ-2108, —2109 позначається як 114J-330 (у міліметрах) або 4 ½ J-13 (у дюймах). Перші цифри означають ширину обода, буква J — форму профілю обода, а останні цифри — монтажний діаметр колеса.

Для легкових автомобілів старого виробництва рекомендовані наступні розміри коліс:

114J-330 (4 ½ J-13), 127J-330 (5J-13) — автомобілі ВАЗ (крім 1111);

127J-355 (5J-14) — Москвич-2141;

140J-355 (5 ½ J-14), 152 J-355 (6 J14) — ГАЗ-31029;

152L-380 (6L-15) — автомобілі типу УАЗ-31512.

135/80R12 (4J) — ВАЗ-1111, 11113.

Легкоплавні литі або ковани колеса звичайно мають дюймове позначення. Наприклад, «вазовское» безкамерне колесо має позначення 4 ½ J -13H2 або 5J-13H2, де додаткове маркування H2 означає наявність на ободі «хампів» певного профілю.

Колеса тої країни виробництва повинні мати наступне маркування (рис. 1.2).

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

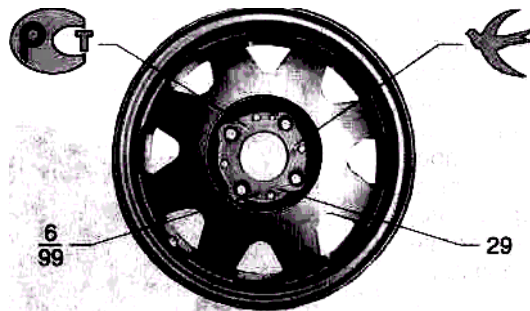


Рисунок 1.2. - Маркування колеса (за годинниковою стрілкою):
 клеймо ДСТУ; товарний знак заводу-виготовлювача; виліт у міліметрах;
 місяць і рік виготовлення (наприклад, 6/99 — червень 1999 р.)

1.1 Опис виробу

Литі диски. Найпоширеніший вид легкосплавних дисків, більш дешевий у виробництві, а виходить, і вартість такого товару трохи нижче, чим кованих. Найбільше часто основою служить алюміній зі спеціальними домішками, сьогодні поширення одержав сплав, у який також входять кремній (до 7%), марганець (0,1%), магній (0,4%), титан (0,2%), залізо (0,12%), мідь і цинк (по 0,05%). На виході виходить виріб, який стійкий до корозії, що рятує від необхідності диск красити й піддавати додатковому захисту – усі елементи складу забезпечують її споконвічно. Часто застосовуються й інші сплави, але потрібно враховувати той факт, що всі метали мають різну температуру плавлення, а довести метал до рідкого стану – невід’ємна частина процесу. Властиво тому така технологія і одержала назву лиття. Тому найбільше доцільно застосовувати метали з низькою температурою плавлення (маються на увазі метали-основи, а не додаткові компоненти). Причому використання двох з найпоширеніших металів дозволяє користуватися стандартним устаткуванням для роботи з легкоплавкими металами; це алюміній з температурою плавлення в 933 °К (або 660 °С) і магній з температурою в 923 °К (або 650 °С). Але от

						MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			11

робота з титаном зажадає закупівлю дорогих печей і ливарних машин, тому що температура плавлення цього елемента становить 1993 °K (або 1720 °C). Тому не тільки більш висока ціна самого металу, але й більш дорогий спосіб його обробки обмежують його використання, хоча, безумовно, титан є дуже гарною основою для дисків.

Для виробництва закупаються металу або сплави в злитках, у цей час звичайне закупається вже готовий сплав, на виробництві їх рідко хто виготовляє (хоча, якщо проводяться роботи зі знаходження нових сплавів, то устаткування для сплавки напевно є). Куплені злитки надходять у литтєву машину, де проходять первісну обробку, після чого отримана заготовка швидко охолоджується в спеціальному розчині (але це може бути й звичайна вода, і технічне мастило). Ця процедура називається гартуванням без поліморфного перетворення, і після неї метал здобуває деякі потрібні властивості (у першу чергу – твердість), але буває досить крихким, слабко пластичним і грузлим, щоб використовувати його надалі. Тому заготовку піддають нагріванню нижче критичної температури (процес старіння), а потім відправляють остигати на свіже повітря або в спеціально обладнане приміщення. Виріб фактично готовий, і для завершення його відправляють на механічну обробку, де йому надають потрібну форму і геометричні параметри. У даному виді виробництва не доводиться окремо займатися дизайнерською доробкою зовнішнього вигляду диска, тому що її він здобуває ще в процесі лиття.

У деяких випадках, при використанні відповідного сплаву, заготовки не піддають додатковій термообробці, і виріб відразу надходять на токарний верстат. Якщо сплав був розроблений не на власному підприємстві, то фахівцям-технологам слід одержати всю інформацію про матеріал від постачальника, щоб знати які параметри матеріал одержує в процесі того або іншого виду робіт. Та й самі основи можуть мати різні характеристики в остаточному підсумку, і тому не тільки основний виробничий процес, але й наступна доробка можуть відрізнитися.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Наприклад, магнієві диски легше всіх інших, але при цьому вони зазнають корозії, і щоб не допустити цього, доводиться проводити оцинковування, хромування або алітування. Часто їх фарбують; втім, фарбування проводиться й для інших видів дисків, у тому числі і заради потрібного зовнішнього вигляду. У зв'язку з усім вищесказаним можуть застосовуватися різні машини для виробництва. У цілому список виглядає так:

Литтєва машина. Для неї також прийдеться замовити додатково форми, які майже напевно будуть виготовлятися на замовлення. Може бути універсальної (працюючої з усіма легкоплавкими сплавами) і спеціалізованої (наприклад, тільки для алюмінію). Вартість – від 700 тисяч грн.

Токарний верстат. Повнофункціональна машина із програмувальними завданнями, здатна швидко обробляти виріб і гарантувати ювелірну точність виконання коштує 4 мільйони грн. Найпростіший ручний верстат має вартість від 50 тисяч грн.

Устаткування для фарбування виробів. Може бути й простою ручною установкою та повноцінною фарбувальною камерою. Вартість – від 100 тисяч грн.

Але готовий виріб не відразу відправляється на прилавок або до перекупника, попередньо його потрібно перевірити на герметичність і контроль виконання. Для цього існують спеціальні апарати, які займаються рентгенівським дослідженням і технічним контролем. Не можна забувати й про допоміжне устаткування для транспортування розплавленого металу з печі в литтєву машину, а згодом і для виносу заготовок з печі на повітря або в охолоджуючу камеру. Сама камера також спеціально обладнується. Точну схему роботи в кожному конкретному випадку планують інженери. Тепер же більш докладно слід зупинитися на виробництві іншого типу дисків.

Ковані диски. Якщо литі відрізняються від класичних сталевих не в кращу сторону за своїми показниками міцності, то ковані позбавлені цього головного недоліку, і приблизно рівні по цьому показникові сталевому, при цьому вони

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

легші сталевих, і навіть литих. Що цікаво, постійне використання кованих дисків у довгостроковій перспективі навіть вигідніше, чим сталевих і литих, тому що чим легше колесо, тим менше інерція, вище зчеплення із трасою і, як наслідок, менша витрата палива. Однак покупець орієнтується на витрати тут і зараз, тому ціна кованих дисків у продажі повинна бути конкурентоспроможною стосовно сталевих і литих. Зробити це можна, знизивши собівартість у виробництві.

Висока собівартість кованого диска обумовлена навіть не стільки застосуванням більш дорогого устаткування, а низьким коефіцієнтом використаного матеріалу, який не досягає й 50%, а в кращих виробництвах становить 30-40%. Враховуючи, що надлишки (так званий облой) не переплавляються, а в найкращому разі продаються, то доводиться закуповувати велику кількість матеріалу. Для виготовлення також застосовують здебільшого легований алюміній, у який додаються різні компоненти: мідь, марганець, кремній і магній, а також іноді й деякі інші. Причому тут вимоги до матеріалу трохи вищі, ніж при литті, тому що основа повинна бути не тільки дуже міцною, але й досить пластичною. Інакше буде багато облоя і відходів у виробництві.

При використанні титану також потрібні спеціальні печі, які можуть нагрівати до більш високих температур, а також штампувальні преси з регульованим і більшим діапазоном нагрівання робочої площини. У даному виробництві практично виключена можливість використання власних сплавів, тому що крім виготовлення потрібного матеріалу його потрібно відлити в спеціальні форми. Але якщо обзавестися їм, то можна переплавляти облой і значно знизити відходи виробництва, використовуючи вторинний матеріал багаторазово.

Тому для кованих дисків (які, по суті виготовляються способом об'ємного гарячого штампування, а не кування у звичному розумінні цього слова) закупаються спеціальні болванки – довгі цільні циліндри невеликого діаметра, які називаються кованими. Звичайно такі заготовки вже проходять у

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

виготовлювача процес загартування, якщо це необхідно, що рятує підприємця від необхідності оснащувати свій цех литтєвими машинами (але купити їх все-таки бажано по вищезгаданих причинах). За допомогою спеціального устаткування циліндр ріжуть на заготовки потрібної товщини і відправляють на первинну обробку: нагрівають, а після піддають попередньому штампуванню під секторним штампом.

Після первинного штампування вони відправляються в піч, де нагріваються до некритичної температури і подаються під новий прес (це може бути і усе теж устаткування, але з новою формою, хоча звичайно застосовують два різні преси). Пічка повинна бути розташовані неподалік від преса, тому що заготовка не повинна охолонути, тому її обробляють спеціальним розчином і подають у штампувальну машину. З неї виходять уже фактично готові колеса, які після цього нагрівають і швидко прохолоджують, потім знову нагрівають і дають охолонути вже природнім шляхом.

Завершальний штрих обробка фрезерувальним верстатом, який і наносить на заготовку потрібний Рисунок. Тому всі колеса, які вийшли з- під преса, по суті, однакові, і індивідуальність їм надається саме в самому кінці виробничого процесу. Масове виробництво припускає використання фрезера із числовим програмним керуванням (ЧПК), що повністю автоматизує процес виготовлення дисків, дозволяє завантажувати у фрезер будь-які завдання і одержувати продукт у самі короткі строки.

Враховуючи, що дизайн диска – це з його індивідуальність, виходить, що заощаджувати на такій речі не варто. Після цього якщо буде потреба диск також зазнає фарбуванню, хоча використання багатьох видів сплавів дозволяє обходитися без антикорозійної обробки, тому фарбування часто несе тільки декоративну функцію. Для виробництва кованих дисків знадобиться наступне устаткування:

Литтєва машина. Не завжди обов'язкова, але рекомендована. Вартість – від 700 тисяч грн.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Пічка, потрібна менш потужна (з меншою граничною температурою), якщо не використовується лиття. Вартість – від 200 тисяч грн.

Устаткування для фарбування – від 100 тисяч грн.

Верстат плазмового різання (може бути замінений лазерним), без нього не розділити злиток на заготовки. Вартість – від 300 тисяч грн.

Штампувальне устаткування, вартість прямо залежить від робочої площі, а вона впливає на діаметр дисків, що виготовляються. Потрібно два екземпляри. Вартість – від 1 мільйона грн.

Фрезерний верстат зі ЧПК. Взагалі таку машину можна купити і за мільйон, але нормальні екземпляри коштують 7 мільйонів і більше. Середня вартість – від 2 мільйонів грн.

Перші вироби з партії також проходять обстеження на виявлення недоліків (як і у випадку з литими дисками), і якщо результат позитивний, настроюється серійний випуск.

1.2 Характеристика матеріалів виробу

Для виготовлення легкосплавних дисків коліс автомобілів застосовують, в основному, сплави на основі алюмінію, див. розділ 1.1. Температура плавлення алюмінію 660 °С. Алюміній має ГЦК - грати з періодом $T=0,4041$ нм. Найбільш важливою особливістю алюмінія є щільність- 2,7 г/см³ проти 7,8 г/см³ для заліза і 8,94 г/см³ для міді. Алюміній має високу електричну провідність, що становить 65 % провідності міді.

Алюміній має високу корозійну стійкість, внаслідок утворення тонкої міцної плівки Al₂O₃. Чим чистіше алюміній, тем вище корозійна стійкість.

Технічний алюміній через низьку міцність застосовують для виготовлення конструкцій і деталей не несучих навантаження, коли потрібна висока пластичність, гарна зварюваність, опір корозії й високий теплопровідність і електрична провідність

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Механічні властивості відпаленого алюмінію високої чистоти й технічного алюмінію наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Механічні властивості відпаленого алюмінію високої чистоти й технічного алюмінію

Механічні властивості відпаленого алюмінію високої чистоти	50	15	-	50
Механічні властивості технічного алюмінію (АДМ)	80	30	35	-

Оскільки чистий алюміній не має високих міцнісних характеристик, найбільше поширення одержали сплави. Сплави алюмінію, володіючи гарною технологічністю у всіх стадіях переділу, малою щільністю, високою корозійною стійкістю, при достатній міцності, пластичності і в'язкості знайшли широке застосування в авіації, суднобудуванні, автобудуванні, будівництві та інших галузях народного господарства.

Усі сплави алюмінію можна розділити на деформовані, призначені для одержання напівфабрикатів (аркушів, плит, прутків, профілів, труб і т.д.), а також кувань і штампових заготовок шляхом прокатки, пресування кування й штампування та ливарне, призначені для фасонного лиття.

Найбільше часто закордонні виробники використовують g-Alsi7 - сплав з алюмінію і кремнію. Він використовується при виробництві коліс OEM і Aftermarket. Цей сплав добре переносить термічну обробку і на 20% краще витримує механічні навантаження, що робить його найбільш популярним і використовуваним при виробництві. А також використовують g- Alsi10/11 - сплав з алюмінію і кремнію, використовується при виробництві коліс Aftermarket. Майже не використовується при виробництві OEM тому що в порівнянні з g-Alsi7 гірше піддається термічній обробці.»[9]

						MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			17

Аналогом γ -AlSi7 є АК7ч. Сплав має гарні корозійна стійкість, механічні і ливарні технологічні властивості (не схильний до тріщиноутворенню в процесі кристалізації і наступного охолодження, мінімальна лінійна усадка). По оброблюваності різанням перевершує сплав АК12. Має гарні механічні властивості за рахунок утвору з'єднання Mg_2Si , яке впливає на міцність сплаву.

Хімічний склад сплаву за ДСТУ 1583-93 наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад в % матеріалу АК7ч

Al	Fe	Si	Cu	Zn	Mn	Mg
89,6-93,8	до 1,5	6-8	до 0,2	до 0,3	до 0,5	0,2-0,4

Відповідно до ДСТУ 1583-93 властивості сплаву АК7ч повинні бути наступні, таблиця 1.3.

Таблиця 1.3 - Механічні властивості при $T=20^{\circ}C$ матеріалу АК7ч

Виливок	σ_b , МПа	ΔT , МПа	ψ_5 , %	КСУ, кДж/м ²	НВ, МПа
Лиття в кокіль	137-225	-	1,0 – 4,0		45-70

Області застосування:

деталі літаків, приладів, корпуси pomp, карбюраторів, що працюють при температурі не вище $200^{\circ}C$. Застосовують сплав АК7ч для найбільш відповідальних виливків, складних і великогабаритних деталей, що працюють при більших навантаженнях (картер двигуна внутрішнього згорання), для лиття мало та середньонавантажених деталей приладів, агрегатів і двигунів, а також для побутових виробів.

Аналогом Alsi10/11 є сплав АК12М2 - ливарний сплав. Область застосування – одержання виливків складної конфігурації, блоків циліндрів, головок блоків циліндрів. Температура лиття 680-730°С.

Хімічний склад сплаву АК12М2 наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Хімічний склад в % матеріалу АК12М2

Al	Fe	Si	Си	Zn	Ti	Mg
84-85	0,7	12	2	0,1	0,2	0,05

Відповідно до ДСТУ 1583-93 властивості сплаву АК12М2 повинні бути наступні, таблиця 1.5.

Таблиця 1.5 - Механічні властивості при T=20 °С матеріалу АК12М2

Виливок	σ_b , МПа	ΔT , МПа	ψ_5 , %	КСУ, кДж/м ²	НВ, МПа
Лиття в кокіль	186	-	1,0		70
Лиття під тиском	260	-	1,5		83

Основні види штампування металів

Такий спосіб обробки застосовується в середньому і великому обсязі у виробництвах, що спеціалізуються на машинобудуванні та приладобудуванні. Штампування виробів з металу застосовується майже у всіх галузях, дозволяючи створювати будь-які деталі (від стрілок годинників до автомобільних дисків і

елементів корпусу літаків). Дана технологія має дуже довгу історію і навіть зараз активно розвивається. Постійно з'являються нові методи, що використовують сили різного походження, крім гравітації. Деформування відбувається під дією гідравлічного тиску, електричного струму, магнітного поля і т.д. Далі ми розглянемо питання, пов'язані із принципом дії штампувальних пресів, видами і методами деформації металу та використанням виробів, створених таким способом у різних галузях промисловості.

Деформація листового металу може здійснюватися під дією високого тиску або при комбінуванні тиску і температури. Виходячи із цього, усі типи штампування можна розділити на дві більші групи:

холодна; гаряча.



Рисунок 1.3 - Деформація листового металу

Обидва типу мають свої переваги і недоліки, які розмежовують сфери їх використання. Холодне штампування здійснюється при температурі нижче точки плавлення металу. Це дозволяє уникнути усадки при остиганні, але накладає обмеження на форму кінцевого виробу. Таким методом створюють деталі без великої кількості рельєфних елементів, наприклад, деталі корпусу автомобіля. Основні вимоги до використовуваного матеріалу при холодному штампуванні - висока пластичність і відсутність тендітних деформацій. Метод підходить для низьковуглецевих і легованих сталей, міді, латуні, сплавів

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

алюмінію та магнію, титану. Поверхня виробів виходить рівної, гладкої, розміри продукції з високою точністю відповідають заданим.

Залежно від виду готової продукції холодне штампування може бути листовим і об'ємним. Листове призначена для створення таких елементів, як корпуса приладів, деталі автомобільного кузова, різні пластини складної геометричної форми. Заготовки зберігають свою первісну товщину, змінюється тільки їх геометрична форма. За допомогою об'ємного штампування роблять деталі, до яких висуваються вимоги особливої надійності і точних геометричних розмірів: колінчасті вали автомобілів, кульові опори й т.п. У процесі таких деформацій відбуваються вдавнення одних структурних елементів поверхні та видавлювання інших.

Переваги листового штампування перед звичайному різанням досить значні. По-перше, таке кування має більшу продуктивність до 40 тисяч деталей за зміну. По-друге, таким способом можна створити виріб великої потужності при малій товщині матеріалу, наприклад, обладнавши конструкцію ребрами жорсткості, що зробити практично неможливо при будь-якому типі різання. Поверхня отриманих деталей рівна, не вимагає шліфування та ґрунтовки перед фарбуванням. Усі перераховані переваги дозволили повсюдно впровадити методи штампування у всіх галузях промисловості, особливо в автомобілебудуванні, авіації та електронному виробництві.



Рисунок 1.4 - Листове штампування деталей

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Гаряче штампування, або кування, вимагає попереднього нагрівання самої заготовки або заготовки та штампувального молота. Даним методом створюються деталі складної геометричної форми, що вимагають подальшої механічної обробки, оскільки на стику прес-форм залишається частина матеріалу. Поверхня виробів внаслідок нагрівання до високої температури покривається плівкою окислів, які віддаляються на наступних етапах виробництва.

Даний метод штампування проводиться за допомогою дії на гарячу деталь, яка перебуває між рухливий і нерухливої частинами преса. Залежно від зазору між частинами штампа кування ділять на два види:

У відкритих штампах. Такий спосіб припускає наявність невеликого зазору між площинами преса. У цей простір видаляють надлишки металу - облой. Він перекриває весь вільний простір, внаслідок чого інший матеріал змушений зайняти своє місце в прес-формі. Такий метод дає можливість робити деталі точних геометричних розмірів, але вимагає наступних технологічних операцій по видаленню облоя.

Штампування в закритих штампах. Даний вид гарячого кування відбувається за допомогою дії прес-форм, між якими не залишається зазор. У результаті виходить закрита порожнина, у якій формується виріб. Заготовки для такого штампування повинні мати точно розраховані розміри, форму і товщину. Одне з переваг закритих штампів - практично повна відсутність облоя, так що таке виробництво є більш ефективним, хоча й вимагає ретельної підготовки вихідного матеріалу.

1.3 Альтернативні методи штампування металу.

Кування та штампування можуть здійснюватися не тільки тиском молотів і високою температурою, але й за допомогою інших сил.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Рисунок 1.5 - Кування металу

1.3.1 Розглянемо найпоширеніші види деформації металів:

У виробництві деталей для літаків і ракет широко використовується штампування вибухом. Технологічний процес формування деталей роблять у басейні з водою, розташувавши заготовку на прес-форму, над якою розміщується заряд вибухової речовини. Після детонації вибухова хвиля в комбінації із сумішшю газів високого тиску діє на заготовку, надаючи їй потрібну форму. Таким методом формуються складні елементи для авіації та ракетобудування, вибухом патрубків для моторів здобувають плавні вигини, тому що у водяному середовищі не відбувається їх розрив.

Магнітно-імпульсне кування та штампування здійснюються шляхом перетворення електричного струму та супутнього йому магнітного поля в механічні деформації заготовки. Процес здійснюється дуже швидко - за десятки частки секунди.

Електрогідравлічне штампування заснована на дії високої напруги в середовищі рідини. У результаті замикання контактів провідника виникають висока температура та хвиля тиску, що робить даний метод схожим на деформацію вибухом.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Ізотермічне штампування є одним з альтернативних підвидів гарячого кування. Відмінність полягає в тому, що прес-форма і заготовка розігріваються до температури плавлення металу, яка підтримується протягом усього процесу. У результаті такої дії преса виключається ризик виникнення тріщин, пов'язаних з перепадом температур. Усередині форми метал одержує властивості пластичного матеріалу та з високою точністю заповнює всі порожнечі. Вироби одержують точну форму та розміри, практично не мають потреби в подальшій обробці.

Валкове штампування здійснюється за допомогою прокатування заготовки на твердосплавних прес-валах. Після такої обробки деталь одержує задану форму, підвищуються механічні властивості внаслідок виникнення спрямованості мікроструктур металу.

1.3.2 Переваги використання методів штампування.

Виготовлення деталей за допомогою високого тиску дозволяє створювати деталі практично будь-якої форми, значно зменшуючи витрату матеріалу. У порівнянні з різкою листовий матеріал під пресом не втрачає механічних властивостей.

Штампування досить просте в застосуванні, як на більших підприємствах, так і в дрібносерійному виробництві.



Рисунок 1.6 - Виготовлення деталей за допомогою високого тиску

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Виготовлення деталей за допомогою високого тиску, дана високошвидкісна технологічна операція дозволяє одержувати від 30 до 40 тисяч деталей за добу. Після завершення штампування вироби підлягають тільки в мінімальній доробці: знятті облою, шліфуванню і поліруванню.

Універсальність застосування методу забезпечується можливістю швидкої заміни прес-форм, розташованих на молотах. Штампування доводить свою високу результативність при впровадженні на виробництвах різного типу (від точного приладобудування до створення автомобілів, літаків і ракет).

Такі види механічного деформування, як магнітне, підривне і електрогідравлічне штампування, дозволяють створювати суцільні конструкції практично будь-якого розміру без швів.

Штампування застосовується вже дуже давно, тому що походить від кування металів - процесу, що розвивається разом з людством, без якого неможливо уявити собі створення знарядь праці, будівельних інструментів і зброї.

Сучасні методи виготовлення деталей вимагають не тільки високої точності, але й економії матеріалу. Тоді як при різанні металу дуже велика його частина йде в стружку, штампування з максимальною раціональністю витрачає матеріал, надаючи йому форму, що практично не відбувається в подальшій обробці.

Хоча преси, використовувані для штампування, постійно розвиваються, збільшуючи потужність і продуктивність, їх технічні характеристики іноді не дозволяють створити деталі дуже великих розмірів. У такому випадку на допомогу приходять альтернативні методи, які використовують гідравлічні, підривні та електромагнітні сили.

Впровадження на виробництво даних методів дозволяє скоротити витрати матеріалів, збільшити точність і надійність виробів і прискорити технологічні процеси виробництва.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

процесів. Якщо розрахункова область полягає більше чим з одного тіла, відразу починаються проблеми, пов'язані з вимогою збіги вузлів сіток на границях, що сполучаються. Втім, зараз майже всі СКМ ЛП дозволяють обходити ці вимогу і допускають розбіжність вузлів. Але для більшої точності розрахунку краще, щоб сітки збігалися. Гарні генератори сіток існують. Наприклад, у модулі Advanced Simulation Cad-Системи Unigraphics (тепер це продукт NX від Siemens PLM Software). Його генератор сіток дозволяє з мінімальними зусиллями одержати 3 D-Сітку змінного розміру на системі тіл. Умови сполучення сіток можна задати в ручному та автоматичному режимі.



Рисунок 1.9 KE-Модель ливарного блоку.

Деякі виробники СКМ ЛП рекомендують генератор сіток від фірми Altair Engineering — відомий Hyper Mesh. Сам генератор дуже непоганий, але геометрія (як правило, у форматі IGES) часто передається з помилками, її виправлення займає багато часу або зовсім неможливо. Та й сам процес одержання сполучених сіток, прямо скажемо, не з легких. Часто завдання одержання KE-Моделі не обмежується розбивкою двох зістиківаних тіл. Крім моделі блоку може знадобитися одержати KE- модель керамічної форми (для ЛВМ) з утепленням одним або декількома шарами теплоізоляції (у загальному

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					27

випадку утеплення може бути нерівномірним). При моделюванні лиття в землю буде потрібно побудувати KE-Моделі форми, стрижнів, холодильників і т.п. Усі ці елементи прийдеться побудувати в Cad-Системі, потім транслювати в генератор сіток, де має бути нелегке рішення проблеми збігу вузлів на сполучених поверхнях, яких може бути й 500 в Hyper Mesh така процедура може зайняти два-три дні роботи. Коли починаєш готувати KE- модель у генераторі Mesh CAST, стан розрахунку приходить дуже швидко.

Наприклад, для моделювання процесу ЛВМ в Cad-Системі потрібно створити тільки модель ливарного блоку. Усі інші тіла (форма, вата, стрижні) будуть стеновані в Mesh CAST відразу у вигляді KE сітки. Для лиття в землю сполучення сіток на границях « виливок-форма» теж перестас бути проблемою. Робота в Mesh CAST складається із трьох етапів: завантаження геометричних моделей і робота зніми; робота з поверхневими сітками; створення об'ємної сітки. На першому етапі в Mesh CAST можна транслювати геометричні моделі у форматах IGES, STEP і Parasolid.

Формат Parasolid читається, як правило, без помилок, модель у форматі IGES, швидше за все, прийдеться виправляти. Для виправлення геометрії додається значний набір інструментів.

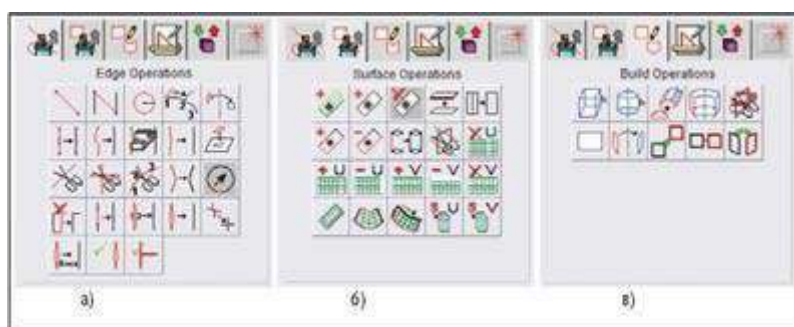


Рисунок 1.10 Інструментарій для операцій з геометрією: а) ребрами, б) поверхнями, в) тілами

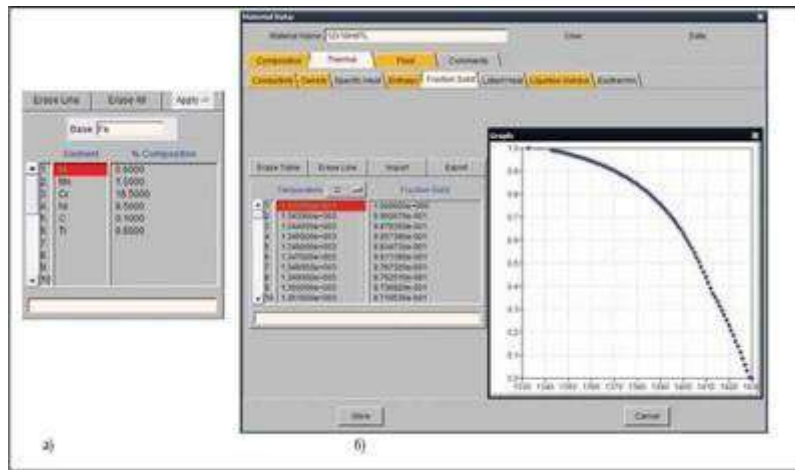


Рисунок 1.11 Термодинамічна база даних: а) на вкладці Composition задається хімічний склад сплаву; б) на вкладці Fraction Solid виводяться результати розрахунку.]

При розрахунку властивостей враховується ефект мікро сегрегації (дифузії у твердій фазі), який можна задати, використовуючи три моделі:

«Lever» (правило важеля) — повне перемішування, «Scheil» — повна відсутність дифузії і «Back Diffusion» — середній варіант між «Lever» і «Scheil». Характер протікання дифузії залежить від швидкості охолодження, що враховується при розрахунку властивостей.

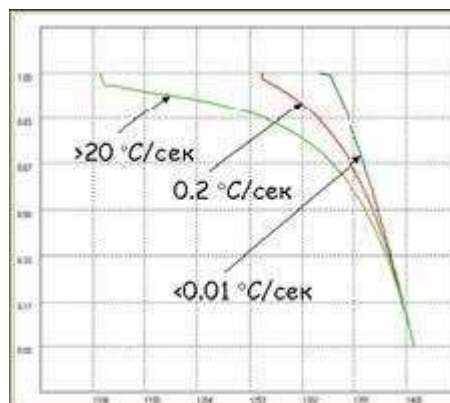


Рисунок 1.12 Температурні залежності частки твердої фази, отримані при різних швидкостях охолодження

Термодинамічні бази даних в Procast еволюціонують, що може привести до різниці у властивостях, отриманих для того самого хімічного складу в різних

версіях програми. Однак оскільки всі попередні версії баз даних доступні, у користувача є можливість простежити всі зміни і вибрати найбільш вірний варіант. Кращий спосіб оцінки правдоподібності розрахованих властивостей — це, звичайно, порівняння з експериментальними даними.

1.4.1 Граничні і початкові умови.

Гнучкість і прозорість Procast при призначенні граничних і початкових умов дозволяє найбільш повно й точно описати модельований технологічний процес на всіх його стадіях. Єдине, що потрібно від користувача це чітке розуміння фізичної суті процесу, від чого буде залежати результат розрахунку, а тим часом Procast не дає розрахунку, а тим часом Procast не дає ніяких підказок. Але можна сміло зтверджувати, що система готова виконати практично будь-які побажання користувача. Список ГУ, які можна задати на поверхнях вилівка й форми, дозволяє ретельно змоделювати будь-які ливарні процеси, включаючи самі екзотичні. Крім того, можна задати ГУ в об'ємі і на поверхнях навколишніх тел. Параметри будь-якої граничної умови можуть бути задані константами, функціями температури і часу з використанням різних систем одиниць. Якщо ж користувача раптом не влаштує жоден із трьох способів, практично будь-який параметр він може задати функцією, яку визначає сам. Обраний параметр буде змінюватися залежно від температури, часу, координат і т.п. за законом, який визначається через функцію, написану користувачем мовою Сі, що підключається до розрахунку через модуль «User Functions». Ця можливість використовується, наприклад, при моделюванні спрямованої кристалізації з рідкометалевим охолоджувачем (НК із ЖМО).

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

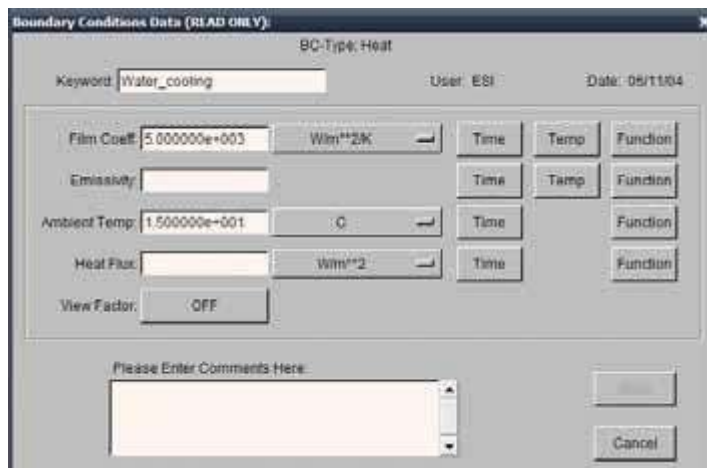


Рисунок 1.13 Гранична умова типу Тепло

Початкові умови (наприклад, початкова температура виливка і форми) можуть бути задані константами або полями, що завантажуються з інших розрахунків.

1.4.2 Параметри розрахунку.

Останнє, що потрібно зробити перед початком розрахунку, це задати параметри рішачів, тобто визначити момент зупинки розрахунку, крок розрахунку, параметри розрахунку усадки і т.п. Взагалі, параметрів багато і чи навряд колись прийде скористатися хоча б половиною з них. Це все та ж ідеологія відкритості Procast, що дозволяє користувачеві залазити в самі нетри алгоритмів системи. На той випадок, якщо настроювання системи збиті й відновити їх немає ніякої можливості, є готові набори параметрів розрахунку, що задають загальний характер обчислень (наприклад, «лиття в землю»). При бажанні користувач може створити свій набір, спрощуючи собі в майбутньому роботу на цьому етапі.

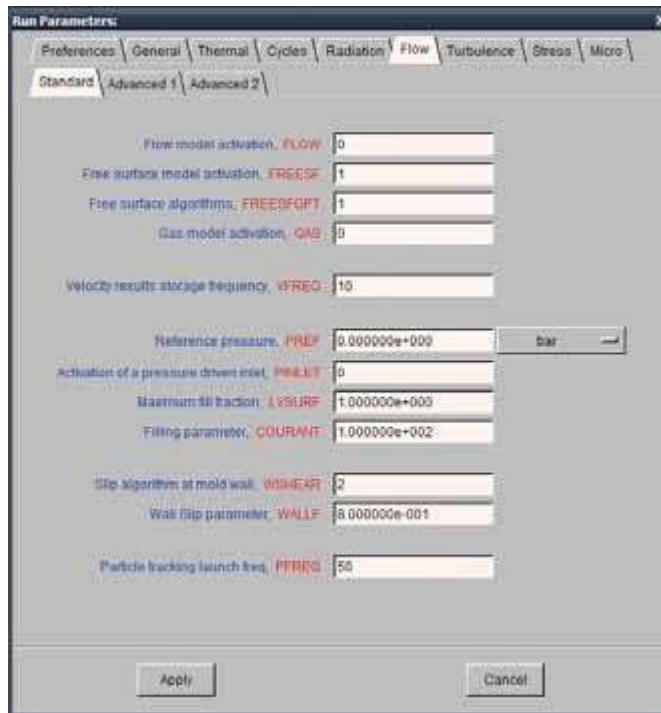


Рисунок 1.14 Параметри розрахунку завдання заповнення

Дивно, що при такому достатку змінюваних параметрів це далеко ще не всі можливості впливу на роботу Procast. Читаючи посібник користувача, раз у раз натикаєшся на нові і нові параметри, які треба вводити вручну прямо в текстовий файл. Тому інструкцію треба читати. Ще більший подив викликає наявність в Procast деякої кількості не документованих (але дуже корисних) параметрів. З деяких часів в Procast з'явилися модулі, для яких вихідні дані вводяться не в препроцесорі Pre CAST, а або в іншому додатку (модуль SAFE), або в текстовий файл (Advanced Porosity Module). Ця незручність пов'язане з тим, що виробники прагнуть якнайшвидше надати користувачам нові моделі для промислового використання. До факту продажу трохи «сирих» модулів можна ставитися по-різному, однак не можна заперечувати постійні зусилля розроблювача ПО, спрямовані на їхнє поліпшення.

1.4.3 Результати розрахунків.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Оскільки про самий розрахунок в Procast писати особливо нема чого, відразу переходимо до перегляду результатів. Модуль постпроцесора Viewcast має багатий функціонал і надає користувачеві всю необхідну інформацію у вигляді полів (температурні, пористість і т.д.), векторів (швидкості, теплові потоки) і графіків.

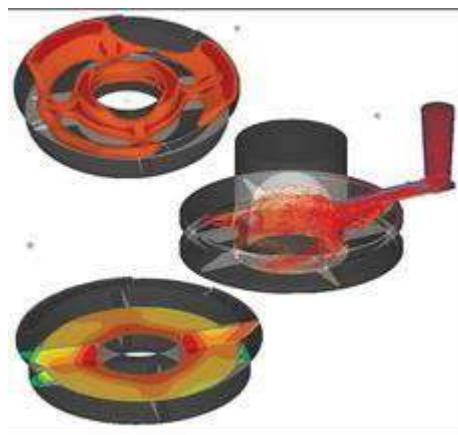


Рисунок 1.15 Вивід результатів: а) режим ізоповерхні; б) режим перетину;
в) векторне поле швидкостей

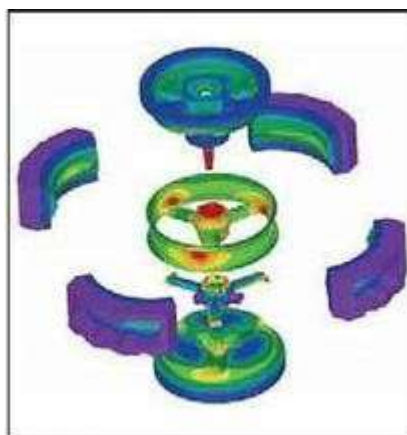


Рисунок 1.16 Режим зсуву матеріалів

У модулі Viewcast крім перегляду можна проводити математичну обробку температурних полів і одержувати різну корисну інформацію для повторного розрахунку з уточненими параметрами. Наприклад, можна обчислити швидкість охолодження (швидкість досягнення заданої температури) виливка і зробити корекцію властивостей сплаву, використовуючи модель «Back Diffusion». Повторний розрахунок з використанням скоректованих властивостей дасть

більш точний результат. Відповідною обробкою температурних полів можна одержати параметр «Feeding Length» (довжина живлення), який відіграє важливу роль при розрахунку усадочної пористості (стандартна модель). Також можна обчислити відстань між вторинними осями дендритів — параметр, необхідний для розрахунку мікропористості в Advanced Porosity Module. За бажанням можна довідатися число Ніями і багато інше. У цілому можна сказати, що, створюючи Procast, виробники намагалися максимально знизити кількість «білих плям» — важко обумовлених параметрів, необхідних для розрахунку.

Полігон Софт

Перша версія СКМ ЛП «Полігон Софт» (стара назва — САМ ЛП «Полігон») розроблена в 1989 році. За допомогою системи можна моделювати всі традиційні способи лиття металів:

- лиття в піщану форму з будь-яким сполучним;
- лиття в кокіль (у тому числі охолоджуваний);
- лиття по виплавлених моделях;
- лиття по процесі вакуумного плівкового формування; — лиття під тиском; лиття під низьким тиском;
- рідке штампування (лиття із кристалізацією під тиском);
- затвердіння з урахуванням підведення електричного струму;
- спрямоване затвердіння у вакуумних печах при променистому теплообміні.

Розроблювачі затверджують, що при вмілому використанні можна одержати прийнятні результати для лиття по газифікуємих моделях і відцентрового лиття, хоча спеціальні моделі в системі відсутні. Одне з безсумнівних переваг «Полігон Софт» — модель усадочної макро- і мікропористості, яка дозволяє прогнозувати утворення дефектів у виливках відповідального призначення (робочі і соплові лопатки ГТД, моно колеса, крильчатки насосів і т.п.). Довгий час цю модель можна було назвати самої

						MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			34

передовий і точної у світі. І сьогодні СКМ ЛП «Полігон Софт» успішно конкурує із кращими світовими СКМ ЛП, програючи їм по функціональності, але не по точності прогнозу усадочних дефектів. У цей час розробкою системи займається ТОВ «Полігон». У статті описана остання на теперішній момент версія — «Полігон Софт» 13.0 хсоге.

Підготовка до розрахунку

Підготовка до розрахунку містить у собі підготовку сіткової моделі розрахункової області, визначення граничних (ГУ) і початкових (ПУ) умов.

Полігон Софт» має цілих чотири передпроцесорні модулі: «Майстер- 3D» робота із сітковою моделлю; «Сплав» — керування ГУ та ПУ; «Оптима» оптимізація KE-Моделі для розрахунку прямим методом; «Трасування» підготовка спеціального файлу геометрії для розрахунку радіаційного теплообміну з урахуванням ефектів перевипромінювання та затінення. На жаль, у СКМ ЛП «Полігон Софт» власного генератора ні, тому застосування системи буде неминуче сполучене з використанням додаткового програмного забезпечення й, отже, додатковими витратами на його покупку. З іншого боку, модуль «Майстер-3D», у який завантажується сітка для підготовки до розрахунку, розуміє формати багатьох відомих інженерних програм, серед яких Mesh CAST. Який, у принципі, можна купити окремо, і це на сьогоднішній день, можливо, кращий варіант.



Рисунок 1.17 Формати файлів, доступні для завантаження в модуль Майстер-3D

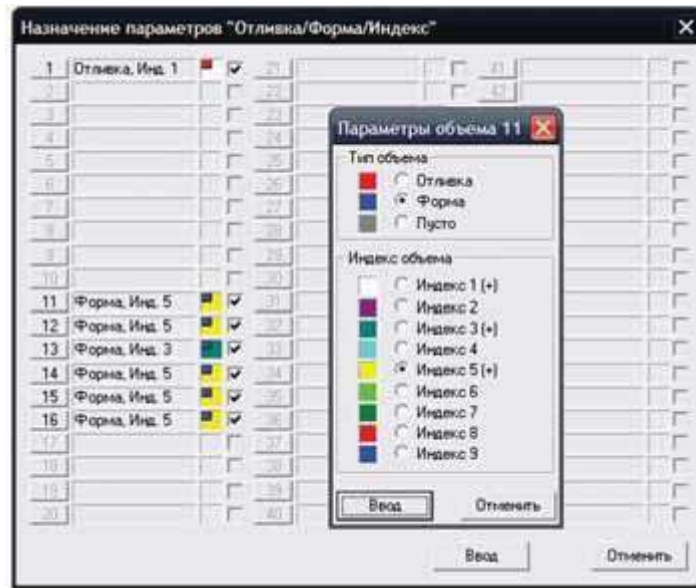


Рисунок 1.18 Колірна диференціація індексів у СКМ ЛП Полігон Софт

Кольори запам'ятовуються набагато краще, чим цифри, і, таким чином, індексація обсягів і границь (а фактично призначення матеріалів і ГУ) перетворюється в подобу гри «розфарбуй свій вилівок».

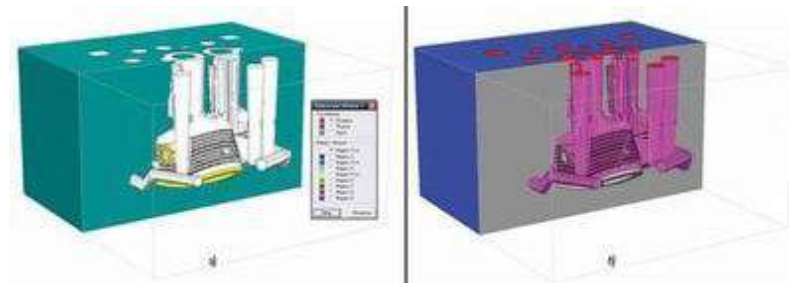


Рисунок 1.19 Індекссування обсягів (а) і границь (б) вилівка Корпус у модулі Майстер-3D

Які кольори/індекси задавати обсягам і границям, користувач довідається (або задає) у модулі «Сплав», у якому проглядаються і редагуються всі дані за матеріалами, ГУ і задаються спеціальні параметри процесу: переміщення тіл відносно один одного, зміна характеристик навколишнього середовища, пропущення електричного струму й т.п.

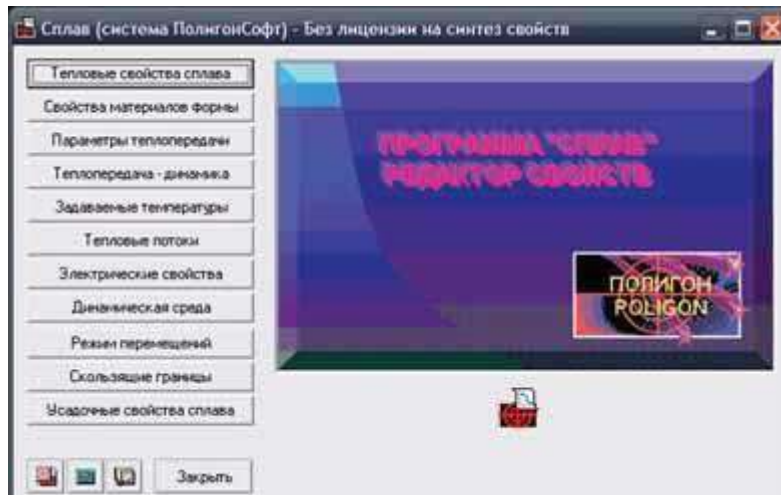


Рисунок 1.20 Модуль Сплав

«Наприклад, нажавши на кнопку Властивості матеріалів форми, користувач попадає у вікно редактора, де може задати властивості до дев'яти матеріалів форми відповідно до заданих в «Майстру-3D» індексами обсягів. Заданий набір матеріалів зберігається у файл. У такий же спосіб задаються умови тепловіддачі на границях і всі інші необхідні умови.

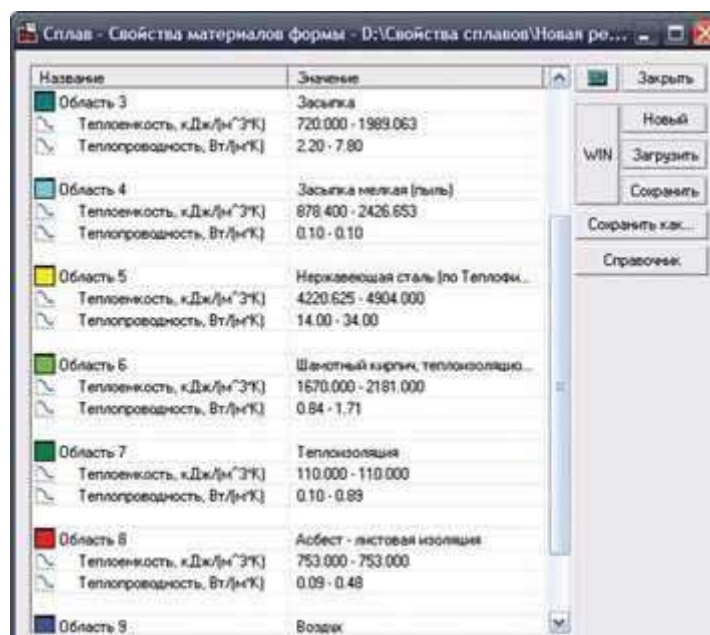


Рисунок 1.21 Редактор властивостей матеріалів форми в модулі Сплав

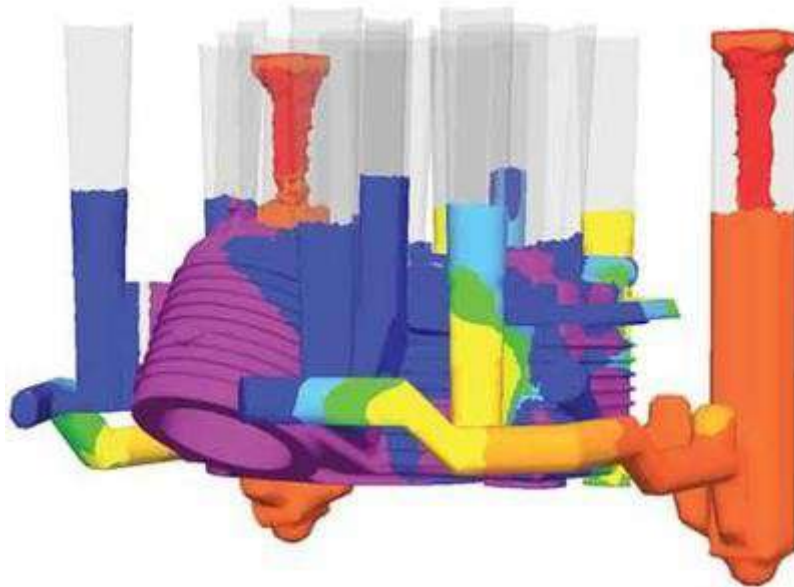


Рисунок 1.22 Температурне поле розплаву, що заповнює форму

Розрахунок у модулі «Фур'є-3D» залишається центральним моментом роботи в системі «Полігон Софт». У ньому розраховується остигання виливка і усіх елементів форми до моменту, який указує користувач, звичайно це температура солідус. «Фур'є-3D» продовжує початий у модулі «Эйлер-3D» температурний розрахунок і прогнозує утворення усадочних раковин, макро- і мікропористості.

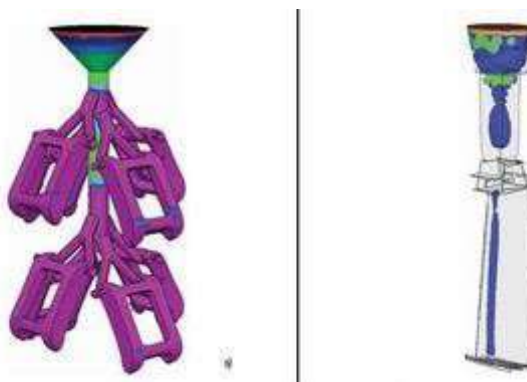


Рисунок 1.23 Результати розрахунку пористості у Фур'є-3D: а) мікропористість на поверхні виливків Корпус годинника (ЗАТ ПОЛЕ- ЕЛІТА); б) осьова пористість у виливку Лопатка робоча ГТД (ФГУП ММПІІ Салют)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Не дуже давно в складі системи з'явився модуль розрахунку напружно-деформованого стану (ПДВ) виливка

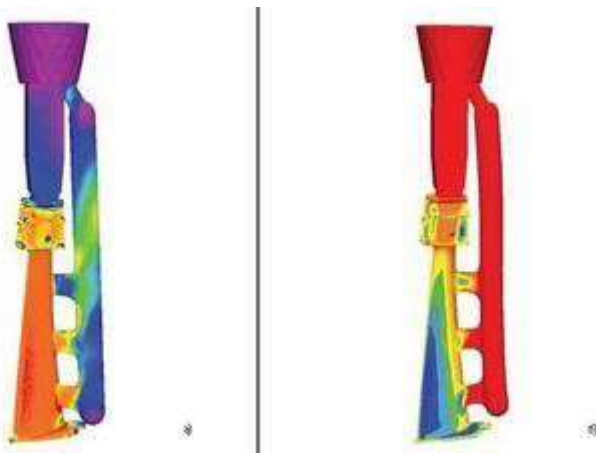


Рисунок 1.24 Розрахунок напружно- деформованого стану (ПДВ) виливка

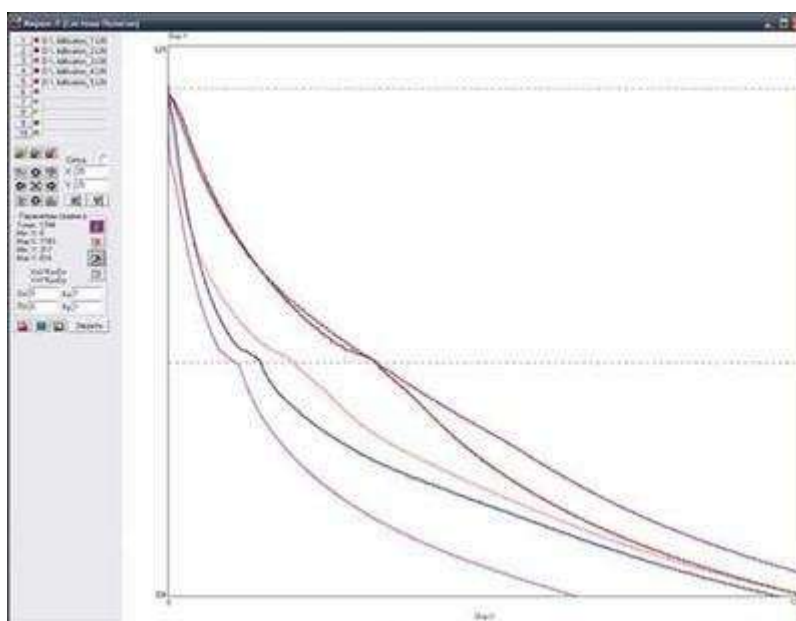


Рисунок 1.25

Ще один пост процесорний модуль, «Критерій», заслуговує на особливу увагу. Це інструмент для обробки розрахованих полів (найчастіше теплових) з метою одержання додаткової інформації про якість виливка або її властивостях. Що саме треба зробити з полем — вирішує користувач, задаючи математичну

функцію. Наприклад, можна задати критерій Ніями 2, щоб одержати додаткові дані для прогнозу утворення можливих усадочних дефектів. Крім того модуль може бути використаний для корекції властивостей матеріалу вилівка, зокрема, деяких параметрів усадочних властивостей 3. Для створення складних критеріїв у модуль вбудований спеціальний калькулятор, що містить велику кількість готових функцій, таких як градієнт поля по осях, час затвердіння, час досягнення заданої величини, швидкість зміни величини й багато інші.

1.5 Завдання роботи

Проаналізувавши, можливі способи виробництва легкосплавних дисків, зупиняємося на технології виготовлення формотворних деталей прес-форми лиття під тиском з використанням CAD - CAE - CAM систем.

Таким чином, до завдань роботи відносимо:

Вибрати програму для моделювання виробу;

Розробити 3Д модель виробу;

Задати матеріал виробу і форми;

Змоделювати процес лиття;

Зробити аналіз результатів

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

2 ВИБІР СПОСОБУ ЛИТТЯ

2.1 Лиття в піщано-глинисті форми

До переваг процесу лиття в піщано-глинисті форми слід віднести:

- універсальність процесу, тобто можливість одержувати виливки з будь-яких сплавів, будь-яких розмірів і маси, будь-якої геометричної складності в умовах індивідуального, серійного або масового виробництва;
- низька вартість лиття;
- висока продуктивність – до 180-240 форм у годину (на опочних автоматичних лініях) і до 500 форм у годину (безопочне формування);
- можливість механізації (ливарні конвеєри) і повної автоматизації процесу (автоматичні ливарні лінії).

До недоліків процесу відносяться:

- великий обсяг застосовуваних допоміжних матеріалів, що спричиняє необхідність у значних виробничих площах і в спеціальному устаткуванні для їхньої переробки;
- великий обсяг відходів (нерозв'язаність питань екології);
- недостатня точність і якість поверхні виливків, і як наслідок – більші втрати металу в стружку;
- знижені механічні властивості металу при виробництві товстостінних виливків (через знижену швидкість затвердіння);
- несприятливі умови праці в ливарному цеху.

2.2 Спеціальні способи лиття

Спеціальні способи лиття в порівнянні з литтям у піщані форми забезпечують більшу точність виливків, підвищують якість поверхні, знижують

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

припуски на механічну обробку. Деякі з них дозволяють різко скоротити або ліквідувати потреби у формувальних і стрижневих матеріалах, поліпшити умови праці. Вартість деталей, як правило, зменшується. Однак у деяких випадках вартість литих заготовок може підвищуватися. Загальний обсяг виробництва литих заготовок спеціальними способами лиття в машинобудуванні не перевищує 15%.

2.3 Лиття по виплавлених моделях

При цьому способі розплавлений метал заливають у багат шарові нероз'ємні тонкостінні керамічні форми, виготовлені по виплавлених моделях. Цим способом відливають складні, але невеликі по масі деталі і заготовки з вуглецевих і легированих сталей, твердих сплавів, сплавів на основі титану, міді та алюмінію. Нероз'ємну ливарну форму виготовляють по нероз'ємній моделі з легкоплавкого матеріалу (парафін, стеарин, церезин) шляхом багаторазового занурення в рідку вогнетривку суспензію з наступним обсіпанням кварцовим піском і підсушуванням на повітрі (або в атмосфері аміаку), після чого модель із форми виплавають і в порожнину, що утворювався, заливають розплавлений метал.

Технологічний процес виготовлення виливка по виплавлених моделях включає:

Перший етап (виплавити рідкий метал) визначається, як правило, видом сплаву, що заливається. Для чорних сплавів у більшості випадків застосовують індукційну плавку в печах високої або промислової частоти, для легкоплавких кольорових сплавів – можливе застосування електропечі опір. Специфічним для розглянутого ТП є другий етап – виготовити форму по виплавлених моделях.

Другий етап включає шість основних операцій: виготовити модель із легкоплавкого матеріалу, виготовити модельний блок, утворювати вогнетривку

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

багат шарову оболонку, виплавити модельний состав з форми, прокалить форму.

Третій етап ТП – залити метал у форму. Після прокалки форму витягають із печі і без охолодження заливають розплавленим металом. Заливання металу в розпечені форми сприяє одержанню тонкостінних виливків складної геометричної форми. Можливе заливання форм відцентровим способом.

Четвертий етап – витримати метал у формі для затвердіння та охолодження. Заливання здійснюється ручними ковшами невеликої ємності.

П'ятий етап – вибити блок виливків з форми. Після затвердіння і охолодження виливків у формі контейнер перевертають, пісок повертають для повторного використання, блок виливків з керамікою остаточно охолоджують.

Шостий етап виконати фінішну обробку. Вона включає відбиття кераміки, відділення літників, вищелашування залишків кераміки, промивання в гарячій воді, сушіння, термообробку, зачищення, контроль виливків. Керамічні відливки відокремлюють на віброустановках, однак на деяких поверхнях і в отворах кераміка залишається. Після цього виливки відокремлюють від ливникової системи і поміщають у розплав лугу для остаточного видалення залишків кераміки (час вищелашування до 3-х годин). Очищені виливки промивають гарячою водою, висушують, зачищають заусенці і залишки ливникової системи, піддають остаточному контролю.

2.4 Лиття в оболонкові форми

Лиття в оболонкові форми доцільно застосовувати при серійному і крупносерійному виробництві виливків обмежених розмірів з підвищеною чистотою поверхні, більшою розмірною точністю й меншим обсягом механічної обробки, чим при литті в піщані форми.

Оболонкові форми виготовляють по гарячій (250—300 °С) металевій поверхні (сталь, чавун) оснащенням бункерним способом. Модельне оснащення

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

виконують по 5-му класам точності з формувальними ухилами від 0,5 до 1,5 %. Оболонки роблять двошаровими: перший шар із суміші з 6— 10 % термореактивної смоли, другий із суміші з 2 % смоли. Для кращого знімання оболонки модельну плиту перед засипанням формувальної суміші покривають тонким шаром розділової емульсії (5 % силіконової рідини № 5; 3 % господарського мила; 92 % води).

Для виготовлення оболонкових форм застосовують дрібнозернисті кварцові піски, що містять не менш 96 % кремнезему. З'єднання напівформ здійснюють склеюванням на спеціальних штирьових пресах. Склад клею: 40 % смоли МФ17; 60 % маршалиту і 1,5 % хлористого алюмінію (каталізатор твердіння). Заливання з форм роблять у контейнерах. При литті в оболонкові форми застосовують такі ж ливникові системи й температурні режими, як і при литті в піщані форми.

Мала швидкість кристалізації металу в оболонкових формах і менші можливості для створення спрямованої кристалізації обумовлюють одержання виливків з більш низькими властивостями, чим при литті в сирі піщані форми.

2.5 Лиття під низьким тиском

«Сутність цього способу полягає в тому, що розплав з роздавальної печі під тиском повітря або газу піднімається по опущеному в розплав металопроводу у форму, звичайно металеву, установлену на кришці печі, що й має стрижень. Після затвердіння вилівка тиск у тиглі зменшують, випускаючи газ із установки в атмосферу. Залишки розплаву з металопроводу зливають у тигель. Під низьким тиском відливають деталі з алюмінієвих, магнієвих, мідних сплавів, рідше зі сталі. При цьому способі лиття значно скорочується витрата металу на літники і зростає вихід придатного.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

2.6 Особливості формування виливка.

Для одержання якісного виливка необхідно заповнювати форму суцільним потоком розплаву при невеликих швидкостях, що виключає утворення у виливках газових раковин, влучення у виливок оксидних плівок. Однак малі швидкості розплаву при литті тонкостінних виливків можуть привести до не заповнення форми, тому важливо погоджувати гідродинамічні і теплові режими заповнення форми. При литті під низьким тиском можливе створення послідовного затвердіння виливка. Через нижній перетин порожнини форми, розташоване ближче до металопроводу, проходить більша кількість розплаву, чим через розташоване вгорі, що збільшує різницю температур у нижніх і верхніх частинах виливка. Тому масивні частини виливка, що вимагають живлення при затвердінні, розташовують унизу форми, з'єднуючи їх масивними літниками з металопроводом; угорі розташовують частини виливка, що не вимагають живлення.

Статичний тиск на виливок при затвердінні сприяє тому, що скоринка твердого металу притискається до форми, поліпшуються умови передачі теплоти, завдяки чому швидкість затвердіння зростає, виливки виходять більш щільними.

Форми. Найбільше широко застосовують металеві форми, а для виготовлення виливків зі складними порожнинами використовують піщані й оболонкові стрижні. Ці стрижні повинні мати достатню міцність, щоб витримати тиск рідкого металу; конструкція знакових частин стрижня повинна повністю виключати переміщення останнього під дією металу. Форма повинна мати гарну вентиляційну систему для швидкого видалення повітря й газів при заливанні.

Основними перевагами процесу лиття під низьким тиском є: автоматизація трудомісткої операції заливання форми; можливість регулювання швидкості потоку розплаву в порожнині форми зміною тиску в камері установки, що важливо для поліпшення заповнення форм тонкостінних виливків; поліпшення

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

живлення виливка, що підвищує її щільність, завдяки надлишковому тиску на розплав при його кристалізації; зниження витрати металу на ливникову систему, тому що незатверділий розплав з металопроводу зливається в тигель, що підвищує коефіцієнт виходу придатного (у багатьох випадках до 90 %).

Поряд із зазначеними перевагами спосіб лиття під низьким тиском має недоліки: невисока стійкість частини металопроводу, зануреної в розплав, що утрудняє використання способу лиття для сплавів з високою температурою плавлення — чавуну і стали; складність системи регулювання швидкості потоку розплаву у формі, викликана динамічними процесами, що відбуваються в установці при заповненні камери повітрям, нестабільністю витоків повітря через ущільнення, зниженням рівня розплаву в установці в міру виготовлення виливків; можливість погіршення якості сплаву при тривалій витримці в тиглі установки; складність експлуатації й налагодження установок.

Переваги й недоліки способу визначають раціональну область його застосування і перспективи використання. Лиття під низьким тиском найбільше широко застосовують для виготовлення складних фасонних і особливо - тонкостінних виливків з алюмінієвих і магнієвих сплавів, простих виливків з мідних сплавів і стали в серійнім і масовім виробництві. Причому дуже часто створюють і експлуатують спеціалізовані установки для виробництва однієї або однотипних деталей. При цьому динамічні характеристики системи змінюються незначно, і процес лиття стає стійким.

2.7 Особливості формування виливка при литті під низьким тиском.

Заповнення форм розплавом при цьому способі лиття може здійснюватися зі швидкостями потоку, які можна регулювати в широкому діапазоні. Для одержання якісних виливків переважно заповнювати форму суцільним потоком, при швидкостях, що забезпечують якісне заповнення форми, що й виключають захвата повітря розплавом, утворенню у виливках газових раковин, влучення в

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

них окисних плівок і неметалічних включень. Однак зменшення швидкості потоку, необхідне для збереження його сплошності, може викликати передчасне охолодження і затвердіння розплаву, тобто до повного заповнення форми. Тому, як і в інших ливарних процесах, важливо погоджувати гідравлічні і теплові режими заповнення форми розплавом.

Установка лиття під низьким тиском, що включає тигель із розплавом, камеру, металопровід, форму з ливниковою системою і системою вентиляції, трубопроводи для подачі повітря та прилади регулювання подачі повітря (вентилі, клапани, дроселі, регулятори), у процесі роботи являють собою складну динамічну систему. Зміна кожного з параметрів цієї системи впливає на швидкість руху розплаву у формі. Протягом одного робочого циклу установки знижує рівень розплаву в тиглі, що викликає збільшення обсягу: робочого простору камери і зменшення маси та глибини розплаву в тиглі. Змінюються також тиск повітря в камері установки і його температура й інші параметри системи. У міру виробництва виливків від циклу до циклу роботи зменшуються маса розплаву в тиглі і його рівень, обсяг робочого простору камери установки, що також змінює швидкість руху розплаву у формі.

Залежно від комбінації конструктивних і пневматичних параметрів установки рух розплаву в металопроводі і ливарній формі при заповненні може відбуватися як при зростаючій швидкості потоку, так і при коливальній її зміні. Коливальний характер зміни швидкості негативно; впливає на якість виливків, тому конструкція установки і режими роботи її пневмосистеми, а також конструкція вентиляційної системи. Форми повинні сприяти зниженню коливань швидкості.

Основними конструктивними параметрами установки лиття під низьким тиском є: обсяг робочого простору камери, площа поперечного перерізу отвору металопроводу, площа дзеркала розплаву в тиглі.

Збільшення обсягу робочого простору камери установки збільшує швидкість потоку, сприяє гасінню коливань, але повністю їх не виключає.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

3 ПІДГОТОВКА ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ

3.1 Вибір програми для лиття

Моделювання ливарних процесів пройшло довгий шлях з початку 1980-х, коли інженери, що використовували моделювання, минулого обмежені необхідністю спрощення повної моделі до простих двомірних перетинів. На самому початку акцент був зроблений на простому визначенні теплових вузлів у виливках. У процесі появи систем автоматизованого проектування (САПР) і розвитку програм комп'ютерного моделювання, технологам-ливарям стала доступно швидко зміна литниково-живильних систем для усунення потенційних дефектів з відносною легкістю. Сьогодні «ProCAST» забезпечує повністю зв'язане моделювання теплового, гідродинамічного завдання і напружено деформованого стану для всіх ливарних процесів і сплавів, включаючи визначення дефектів, залишкових напруг, деформацій виробу, мікроструктури і механічних властивостей виливка. Дане рішення також дозволяє вирішувати завдання суміжних виробничих процесів, таких як пісчанострільне виготовлення піщаних стрижнів і термообробку.

На сьогоднішній день, у промисловості «Procast» вважається найбільш потужним, комплексним і точним рішенням для моделювання ливарних процесів. «Procast» дотепер цінують не тільки перші користувачі, які вибрали його на початку розвитку продукту (General Electric, PCC Airfoils, Rolls Royce, Amcast Automotive (зараз General Aluminum) і Howmet (зараз підрозділ Alcoa)), але й багато інші більш 1000 підприємств впровадили Procast за цей час!

Використовуючи переваги могутніших і швидких комп'ютерів, моделювання в Procast можливо розподілити по декільком ядрам, процесорам або навіть комп'ютерам, скоротивши час розрахунку з тижнем і днів до годин і хвилин. В 2012 році Procast перейшов у середовище Visual Environment зі зручним і ефективним графічним користувацьким інтерфейсом. Доктор Анттон

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Мелендес, користувач Procast з більш ніж 20 літнім стажем. Який у цей час є керівником проекту ливарного й сталеплавильного виробництва в Іспанії. Помітив, що із усіх розробок за останні 20 років перехід до Visual Environment є одним із самих великих і найбільш значимих поліпшень. Дана платформа дає можливість користувачам підвищити продуктивність, працюючи в загальному середовищі для всіх етапів завдання: від перед й пост обробки до створення сітки та візуалізації результатів.

В 2006 році Procast одержав нагороду Frost Sullivan Technology Leader ship в області комп'ютерного моделювання за його внесок у модернізацію проектування ливарних процесів. Незважаючи на таке визнання якості, ціль ESI Group залишається допомога кожному користувачеві в створенні не перевершеної продукції. Якщо ви літали літаком, водили машину, опалювали будинок, мили руки або навіть проводили лежачи вихідні за телевізором, тоді ви швидше за все вже відчули переваги від користування якісними виробами, спроектованими за допомогою Procast.

3.2 Розробка 3Д моделі виробу

Було розроблено креслення виробу, як показано на рис. 3.1

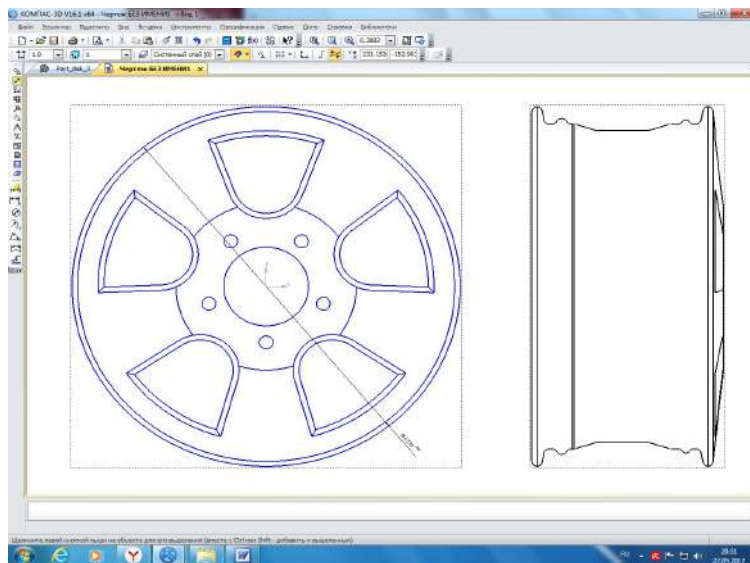


Рисунок 3.1 Креслення виробу

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

За допомогою компас 3Д створюємо об'ємну модель.

Операцією видавлювання одержуємо заготовку потрібного діаметра та висоти (Рисунок 3.2).

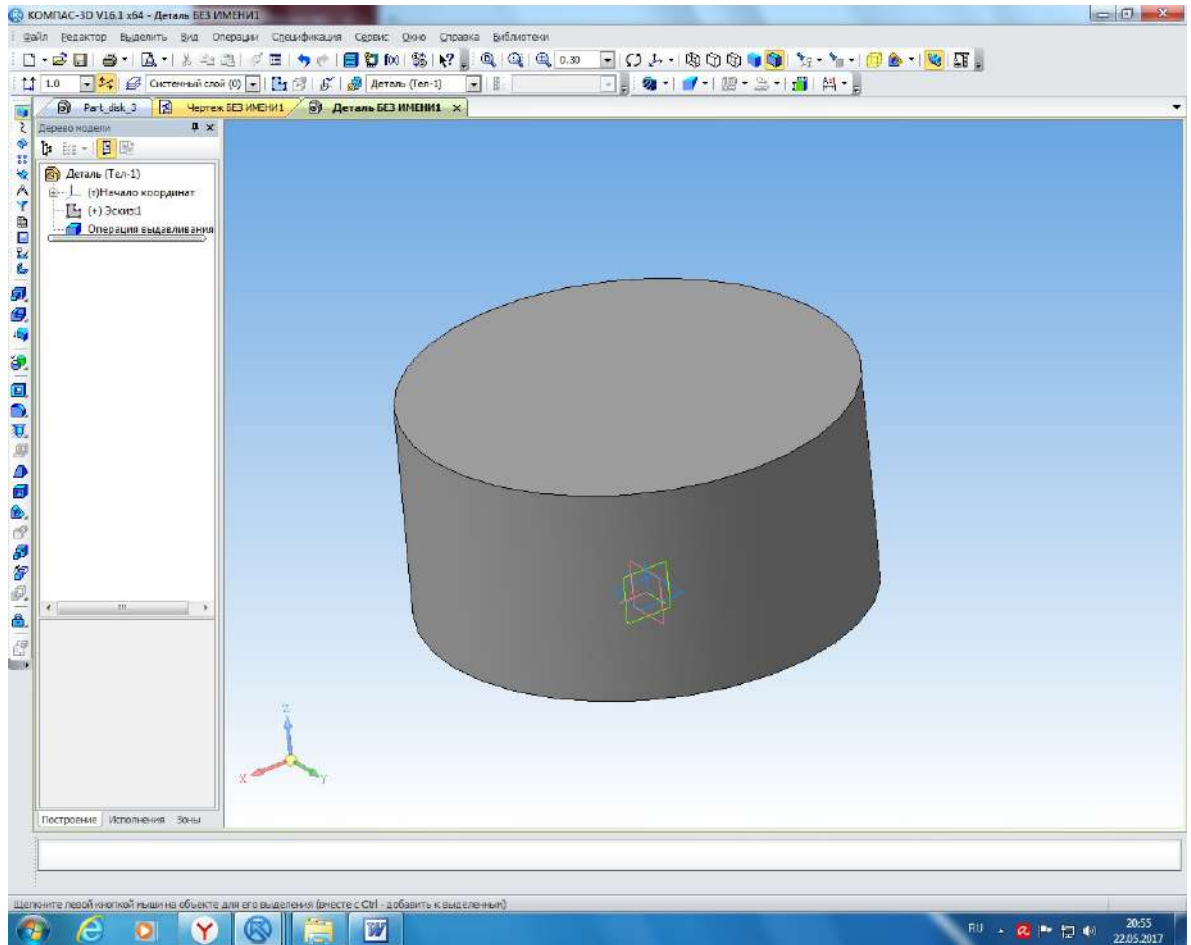


Рисунок 3.2 Креслення заготовки

На ескізі додаємо зовнішній радіус диска й за допомогою операції вирізання обертання одержуємо потрібний (рис. 3.3 і 3.4)

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

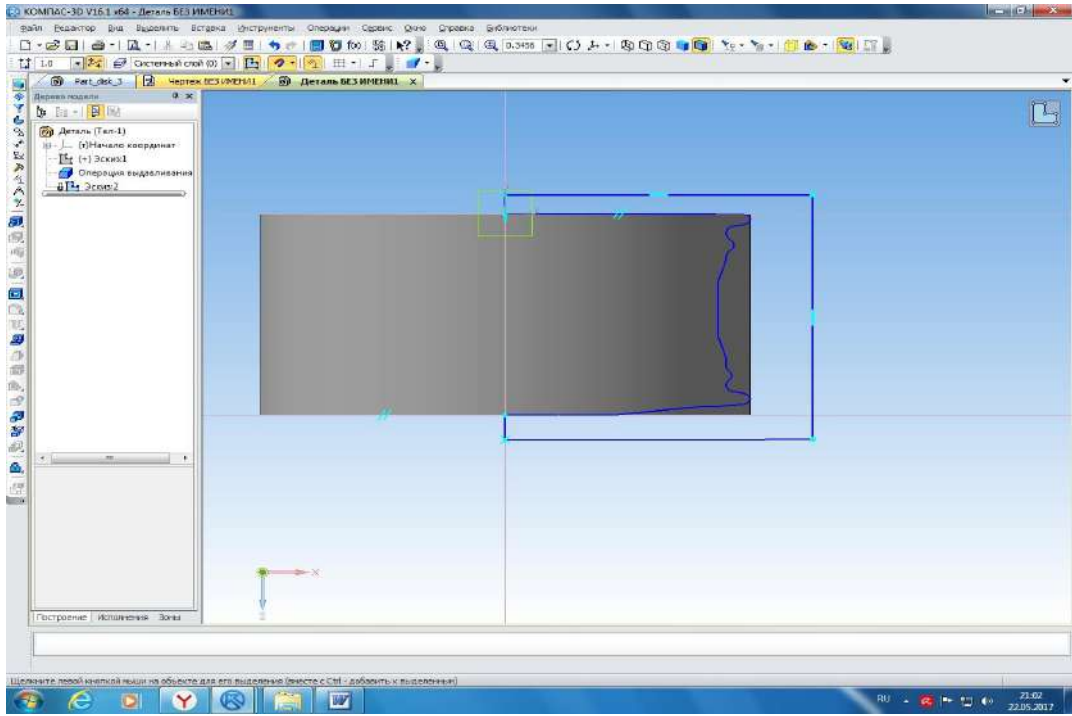


Рисунок 3.3 Эскиз заготовки

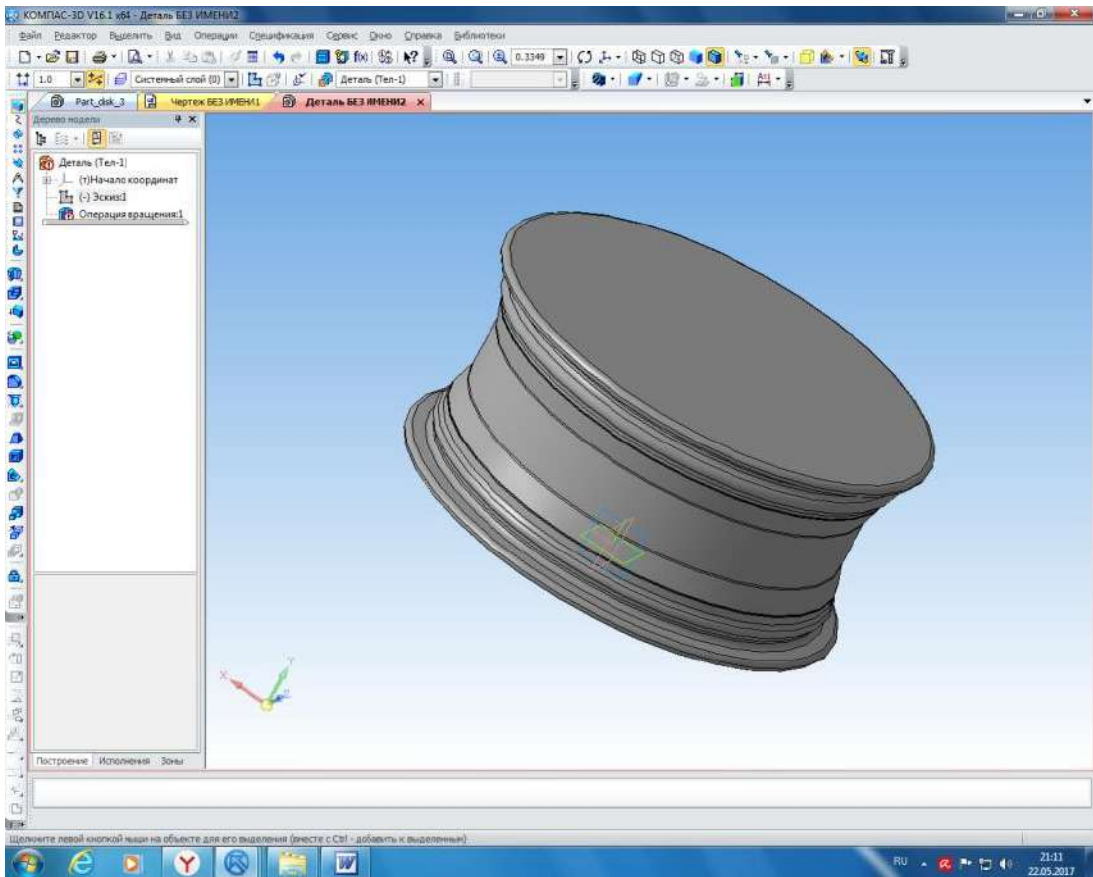


Рисунок 3.4 Эскиз диска

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ

Арк.

51

Наступним етапом є побудову отворів на виробі (рис. 3.5 і 3.6).

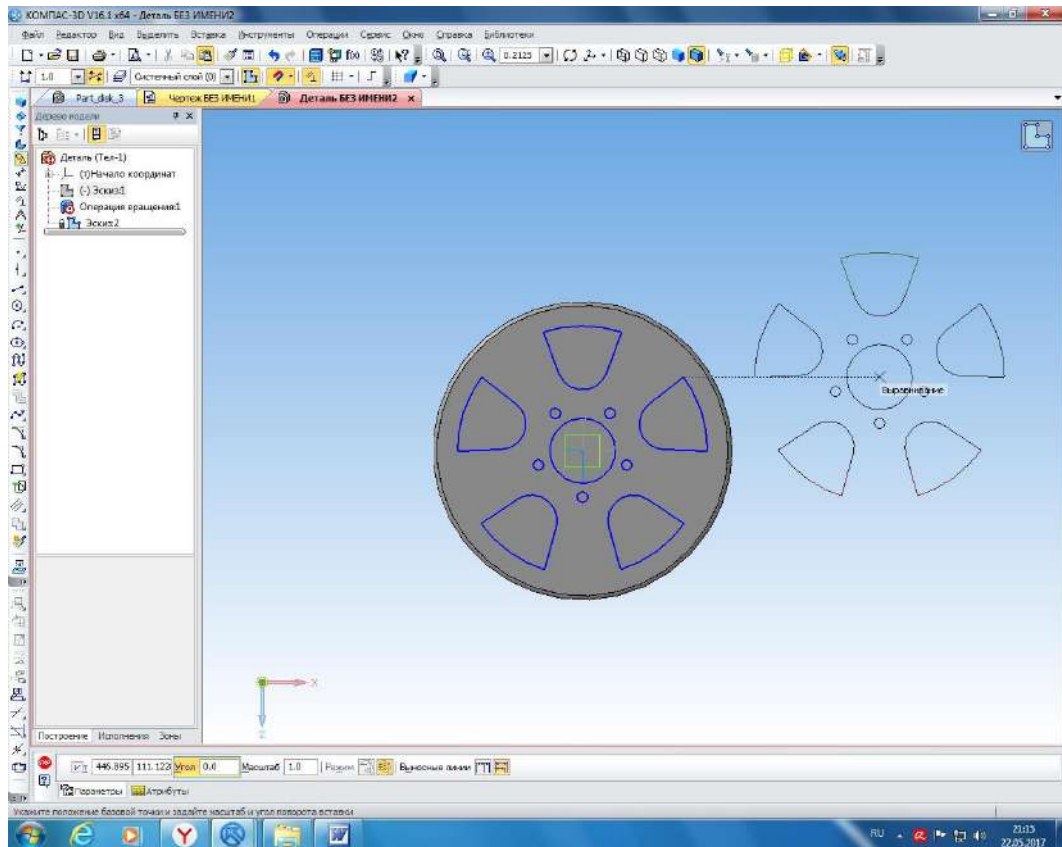


Рисунок 3.5 Побудова отворів

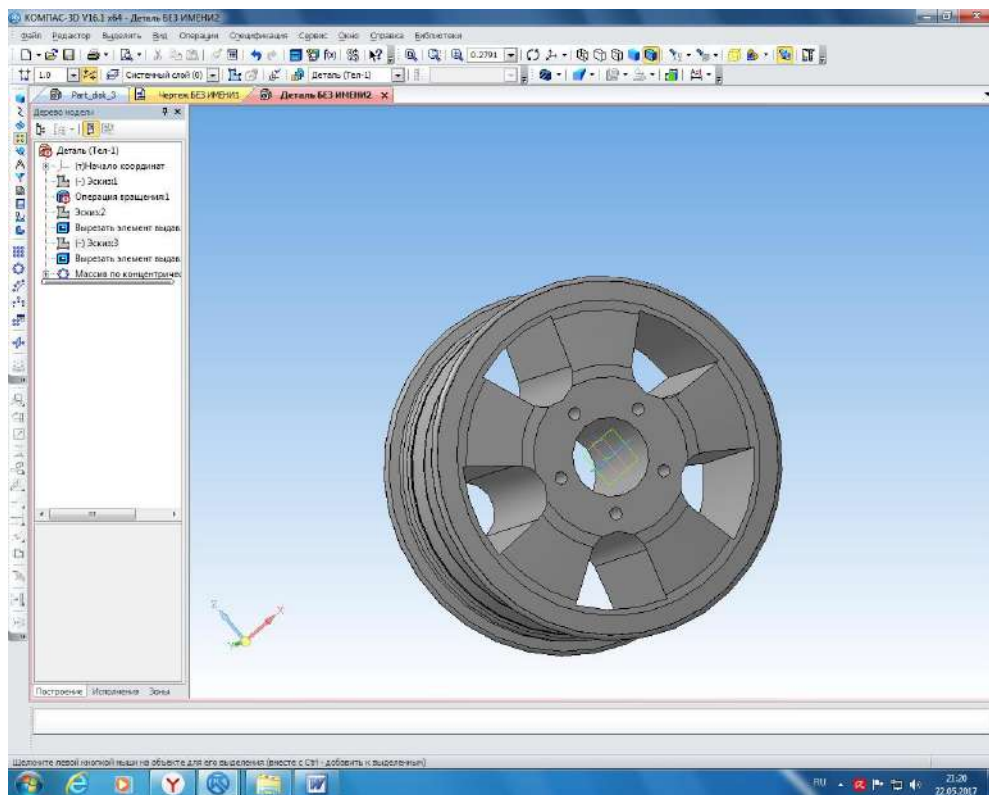


Рисунок 3.6 Побудова отворів на виробі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ

Арк.

52

Заключним етапом є побудову внутрішнього радіуса диска (Рисунок 3.7).

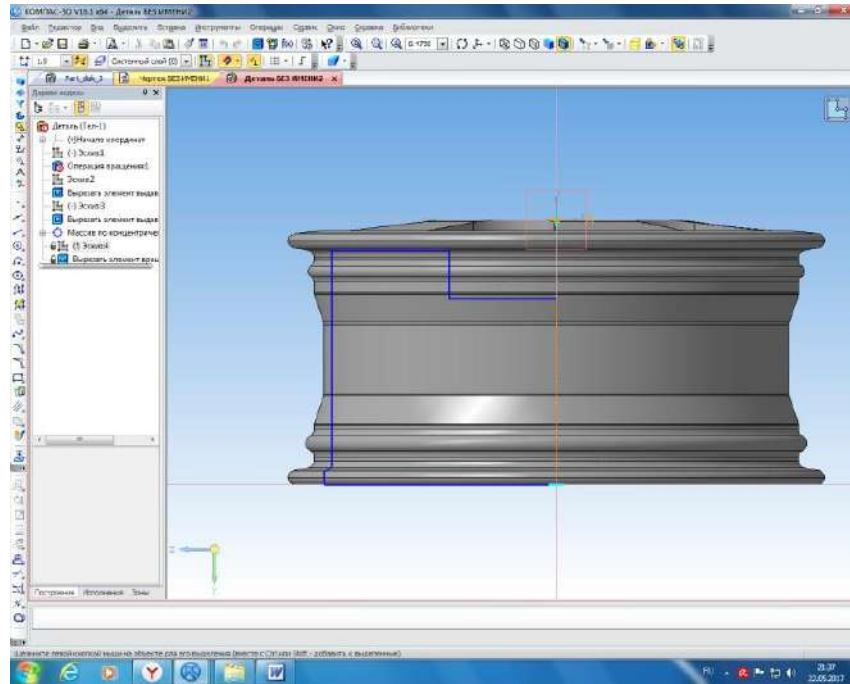


Рисунок 3.7 Побудова внутрішнього радіуса диска

Операцією видавлювання обертанням одержуємо остаточний вид виробу (Рисунок 3.8).

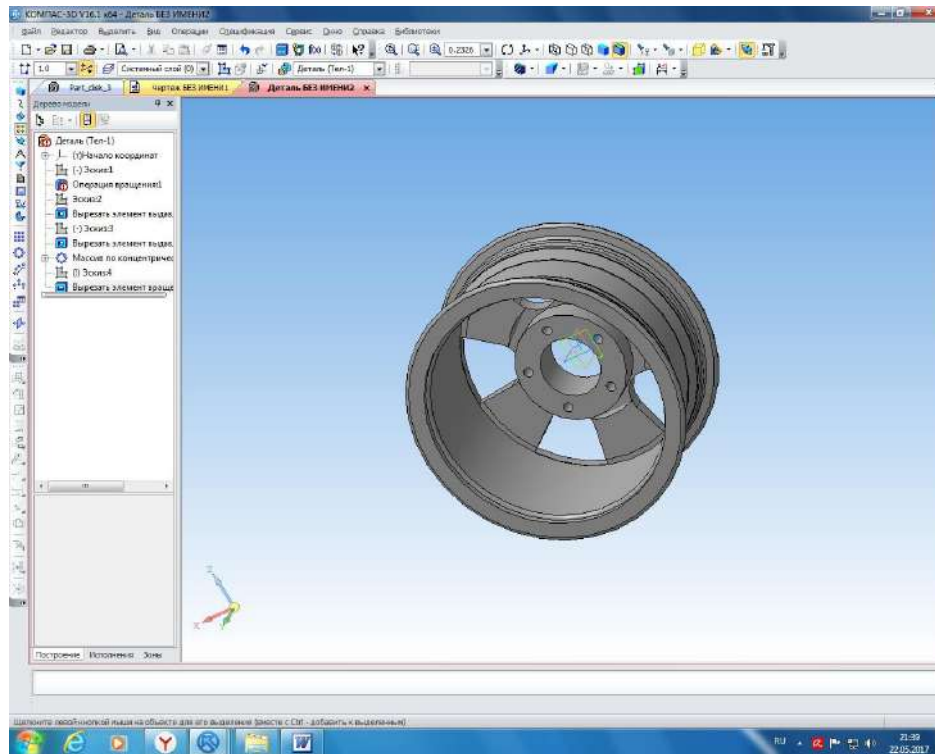


Рисунок 3.8 Операція видавлювання обертанням

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ

Арк.

53

Для побудова 2Д та 3Д сітки потрібно зайти в меню Geometry Repair.

Метою Repair є створення замкненого обсягу або добре зв'язаного аркуша поверхонь.

Діалогове вікно «Repair» полегшує ремонт зазначених проблем автоматично, напівавтоматично й вручну. Усі ці виправлення виконуються на зшитій сітчастій топології.

Ідентифікація і виправлення проблем виконується тільки в частині. По всій частині ідентифікації і корекції поки не підтримується. Проблеми між тілами в різних частинах можуть бути вирішені шляхом переміщення тіл на одну частину. Натисніть кнопку «Check», щоб виявити проблеми у всіх відображуваних зшитих поверхнях. На всіх відображуваних поверхнях виявляються проблеми, і в консолі повідомляється про кількість проблем. На даному етапі проблем не повинне бути виявлене. Далі закриваємо вікно Repair і відкриваємо діалогове вікно Assembly (Stitch Volumes). Assembly (Stitch Volumes) переводиться як складання (Обсяги стібків).

Ціль Асамблеї виявити, що перекриваються зони зшитих поверхонь / томів і об'єднати їх, щоб створювати підключені томи. Діалогове вікно Assembly дозволяє виявляти, що перекриваються поверхні між зшитими поверхнями / томами. Він забезпечує інтерфейс користувача для виявлення й видалення поверхонь, що перекриваються, вручну, напівавтоматично або автоматично. Він має можливість утримувати або видаляти, що перекриваються поверхні між зшитими поверхнями. На рис. 3.12 показаний приклад зшивання вилівка й форми.

3.6 Призначення граничних умов процесу

Visual Cast

Для цього переходимо в меню Application Cast. Даний модуль потрібний для створення обмежень лиття.

Функція Volume Manager дозволяє встановити умови такі як температура, матеріал, рівень заповнення для деталі при литті.

Задаємо параметри форми:

Тип Пресс форма. Матеріал прес форми повинен бути встановлений в «Mold». Це буде використовуватися для розрахунку циклів (при литті під тиском), щоб здійснити розрахунок нагрівання матриці вчасно циклірована (тобто температура доменів форми не буде скидатися до початкової температури на початку кожного циклу);

Матеріал Low Alloy EN 1.6587 18CrNiMo7-6 низьколегована сталь високої міцності;

Рівень заповнення 100%;

Початкова температура 20 0C (кімнатна). Параметри вилівка:

Сплав: Матеріал лиття повинен бути встановлений на «Alloy». Цей параметр необхідний, зокрема, для всіх доменів, у яких відбувається потік рідини. Для розрахунку циклів початкові температури доменів лиття будуть скинуті на початку кожного циклу;

Матеріал AlSi7Mg0,3 (A356); Рівень заповнення 0%; Початкова температура 700 0C.

Не забувайте натискати apply після призначення всіх параметрів.

На рис. 3.17 показані задані параметри.

						MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			61

інтерфейсі розділяються елементами по обидва боки. Цей варіант EQUIV можна також використовувати, якщо у двох доменах є різні матеріали, але матеріали зварюються разом (тобто із загальним обмеженням між двома матеріалами).

Опція COINC: при інтерфейсі між двома різними матеріалами, такими як лиття та прес-форма, звичайно відбувається спад температури. У цьому випадку вузли на інтерфейсі повинні бути подвоєні (для співпадаючого інтерфейсу), щоб мати різну температуру на кожній стороні інтерфейсу. Тому що під час генерації сітки на інтерфейсі є один вузол, на даному етапі необхідно дублювати всі інтерфейсні вузли. Ця операція дублювання виконується при виборі «COINC» (для «співпадаючих вузлів»). Інтерфейс фактично має нульову товщину.

Опція NCOINC: також можливо створити нерозмірну сітку (тобто де елементи на обох сторонах інтерфейсу не збігаються, а це означає, що вони не використовують ті самі вузли), додаючи різні сітки (див. Розділ «Додатково» Розділ функцій для більш докладної інформації про невідповідні сітки). У цьому випадку потрібно вказати, що інтерфейс не збігається, з опцією «NCOINC».

Задаємо опцію COINC і коефіцієнт теплопередачі $h=2000$ для нашої моделі.

Як показано на рис. 3.18.

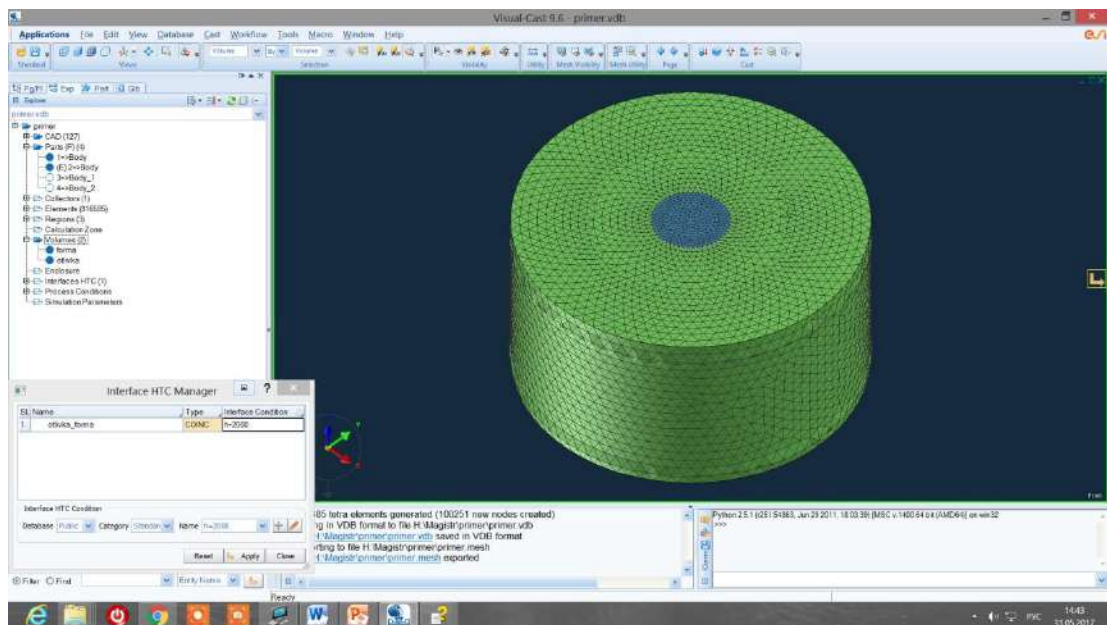


Рисунок 3.18

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					63

3.8 Диспетчер умов процесу

Process Condition Manager. Диспетчер умов процесу.

Усі граничні умови можуть бути створені в менеджері умов процесу:

Process Condition Manager складається з 5 основних категорій, заснованих на їхній фізичній значимості у використанні, і показані на рис. 3.19.

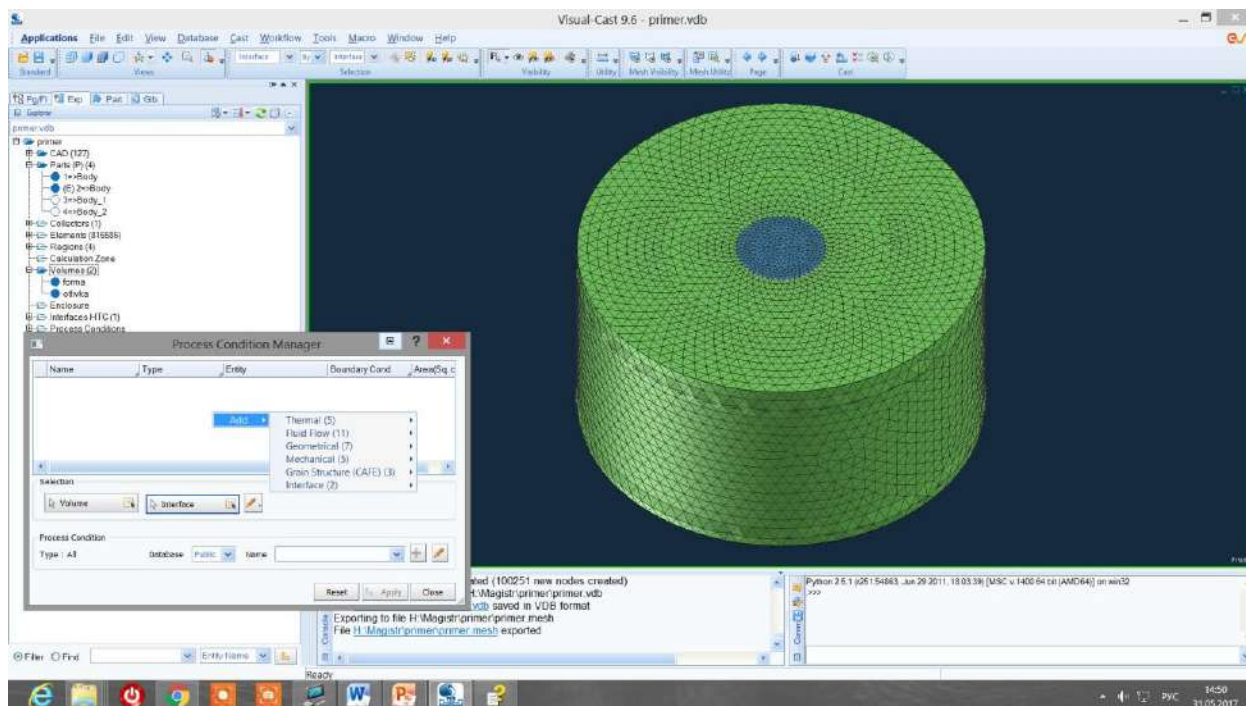


Рисунок 3.19 Thermal - теплові параметри;

Fluid flow - гідродинамічні умови; Geometrical - геометричні умови;
Mechanical - механічні умови;

Grain Structure (CAFÉ) - спеціальні умови (для розрахунку структури зерна).

Задаємо такі параметри як:

Heat - охолодження зовнішньої стінки повітрям; Temperature - параметр заливання форми;

Velocity - параметр швидкості заливання матеріалу. Як показано на рис. 3.20.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

OPINLET = 1 для наповнення тиском або PINLET = 0 для заповнення швидкості / впуску.

3.10 Початок моделювання

Start Simulation. Початок моделювання. Основні умови задані, починаємо розрахунок лиття. Як показано на рис. 3.22.

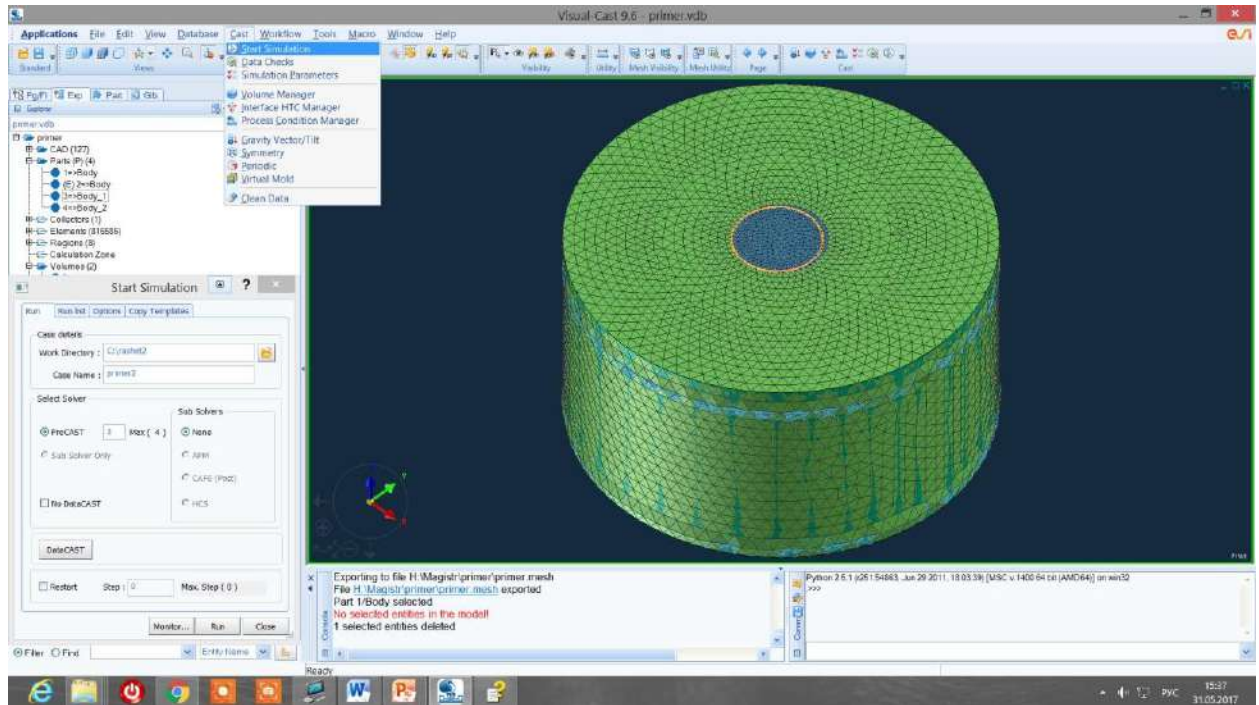


Рисунок 3.22

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ

4.1 Аналіз результатів

Procast має не обмежену кількість осей у системі, кількість вузлів і елементів у сітці, калькулятор термодинамічних властивостей матеріалів, усі результати можуть бути проаналізовані й показані, у режимі реального часу. Програмний комплекс складається з 3 модулів (Mesh CAST, Procast solver, Viewcast). Усі ці модулі потрібні для підготовки виробу до розрахунку процесу заливання й кристалізації.. Оскільки про самий розрахунок в Procast писати особливо нема чого, відразу переходимо до перегляду результатів. Модуль постпроцесора Viewcast має різноманітний функціонал і надає користувачеві всю необхідну інформацію у вигляді полів (температура, пористість і т.д.), векторів (швидкості, теплові потоки) і графіків.

4.2 Поширення температури у виливку

Більшість ливарних дефектів формується в процесі затвердіння виливка після повного заповнення. Відповідно розрахунок процесів утворення усадочних дефектів, прогноз структурних параметрів, механічних властивостей і т.п. пов'язаний зі сполученим рішенням теплового завдання і завдання утворення даного дефекту. Сполучений розрахунок припускає облік взаємного впливу процесу утворення дефекту й теплового процесу один на одного. Однак, досить часто, саме кінетика затвердіння і теплові поля визначають хід спільного процесу, а не навпаки. У зв'язку із цим важливим етапом проектування технології є не тільки аналіз кінцевого результату, але й аналіз теплових полів у процесі затвердіння.

Процес розподілу температур металу у виливку показано на рис. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

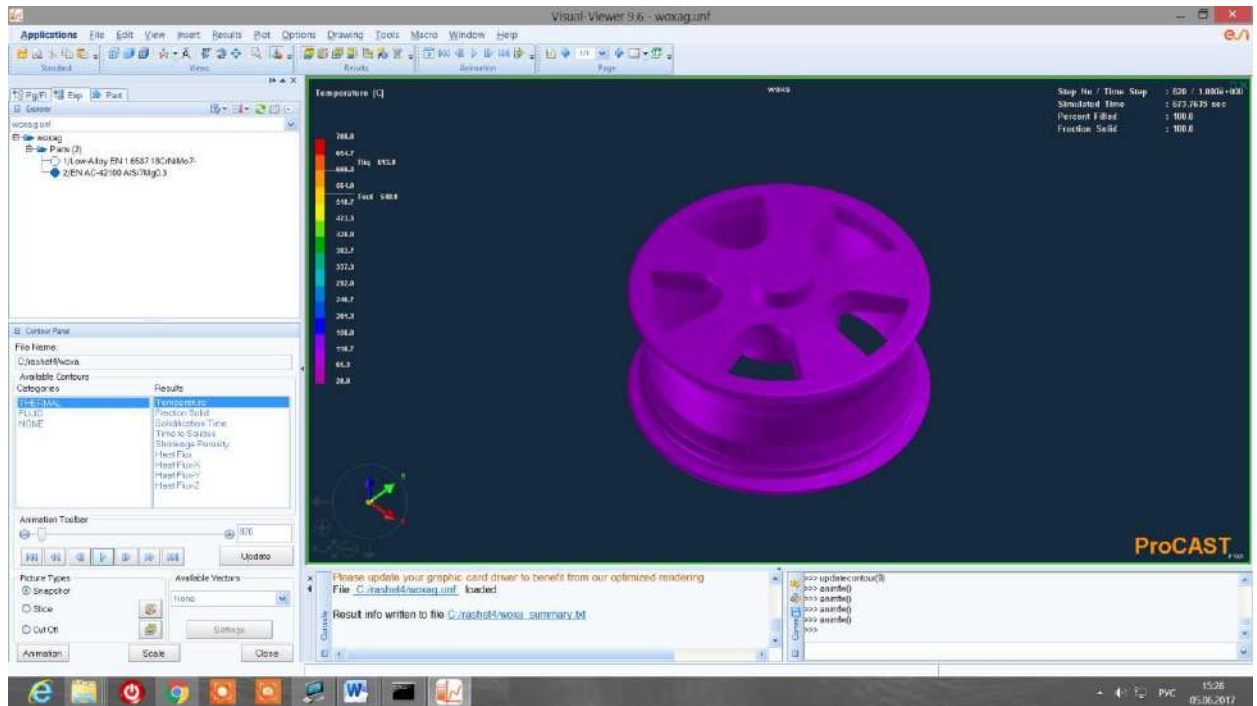


Рисунок 4.5 Розподіл температури у виливку після заповнення (40 секунд)

Процес остигання виливка проходить, як правило, нерівномірно через наявність у ній тонких і масивних частин, нерівномірної товщини стінок форми й через те, що частина виливка граничить безпосередньо із зовнішнім середовищем. У зв'язку із цим у виливку формуються залишкові напруження облік яких є важливим завданням. Procast дозволяє "передбачити" ці напруження й за допомогою оптимізації ливарної форми звести їх до мінімуму.

За результатами отриманим з розрахунку видно, що виливок остигає повністю в період 40 секунд.

Температурне поле розподіляється від стінок до центру виливка. Аналіз задовольняє вимогам лиття під тиском.

4.3 Поширення температури у формі

У виливках у результаті нерівномірного затвердіння тонких і масивних частин і гальмування усадки формою при охолодженні виникають напруження,

						MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			71

які тим вище, чим менше піддатливість форми і стрижнів. Якщо величина напружень перевищить межу міцності ливарного сплаву в даній ділянці виливка, то в тілі її утворюються тріщини. Якщо ливарний сплав має достатню міцність, пластичність і здатний протистояти дії виникаючих напружень, то при перевищенні границі текучості спотворюється геометрична форма виливка після добування її з форми.

Гарячі тріщини у виробках виникають у процесі кристалізації та усадки металу при переході з рідкого стану у тверде при температурі близької до температури солідуса. Гарячі тріщини проходять по границях кристалів і мають окиснену поверхню. Схильність сплавів до утворення гарячих тріщин збільшується при наявності неметалічних включень, газів (водню, кисню), сірки й інших домішок. Крім того, утворення гарячих тріщин у виливках викликають різкі переходи від товстої частини до тонкої, гострі кути, що виступають частини і т.д. Висока температура заливання підвищує ймовірність утворенню тріщин у результаті збільшення кристалів металу й перепаду температур в окремих частинах виливка.

Для попередження виникнення гарячих тріщин у виливках необхідно створити умови, що сприяють формуванню дрібнозернистої структури; забезпечити одночасне охолодження тонких і масивних частин виливків; збільшувати піддатливість ливарних форм; по можливості знижувати температуру заливання сплаву.

Холодні тріщини виникають у виробках, коли сплав повністю затвердів. Тонкі частини виливка проохолоджуються й скорочуються швидше, чим товсті. У результаті у виливку утворюються напруги, які викликають появи тріщин. Холодні тріщини найчастіше утворюється в тонкостінних виливках складної конструкції зі сплавів з високими пружними властивостями й усадкою при знижених температурах, а також низькою теплопровідністю. Небезпека утворенню холодних тріщин у виливках підсилюється наявністю в сплаві шкідливих домішок (наприклад, фосфору в сталях).

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Для попередження утворенню холодних тріщин необхідно забезпечувати рівномірне охолодження виливків у всіх перетинах шляхом використання холодильників, застосовувати сплави з високою пластичністю, проводити відпал виливків і т.п.

Жолоблення - зміна форми й розмірів виливка під впливом напружень, що виникають при охолодженні. Жолоблення збільшується при малій піддатливості форми й стрижнів, ускладненні конфігурації виливка і підвищення швидкості охолодження, яка викликає нерівномірне охолодження між окремими частинами виливка та різну усадку. Для попередження жолоблення необхідно створити раціональну конструкцію виливка, що забезпечує рівномірне охолодження. Застосування холодильників (внутрішніх, зовнішніх) дозволяє вирівнювати швидкість охолодження масивних і тонких частин виливка. Ліквация - неоднорідність хімічного складу сплаву в різних частинах виливка. Вона виникає в процесі затвердіння виробу через різну розчинність окремих компонентів сплаву в його твердої та рідкої фазах. Чим більше ця відмінність, тим неоднорідніше розподіляється домішка по перетину виливка. Для зменшення ліквациї збільшують швидкість охолодження заготовки.

Схильність до газопоглинання - це здатність ливарних сплавів у рідкому стані розчиняти кисень, азот і водень. Їхня розчинність росте з перегрівом розплаву (температури заливання). Рух металу у формі дрібними струмками або турбулентними потоками також сприяє підвищенню розчинності газів. При надлишковому вмісті газів вони виділяються з розплаву у вигляді газових пухирців, які можуть спливати на поверхню або залишатися у виливку, утворюючи газові раковини, пористість або неметалічні включення, що знижують механічні властивості і герметичність виливків.

Для зменшення газових раковин і пористості у виливках плавку металу слід вести під шаром флюсу або в середовищі захисних газів з використанням добре просушених шихтових матеріалів. Крім того, необхідно збільшувати газопроникність форми і стрижнів, знижувати вологість формувальної суміші,

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

підсушувати форми і т.д. У виливках також можуть виникати такі дефекти як недолив, перекіс, раковини, пригар і ін.

Недолив виникає при неправильній конструкції ливникової системи, недостатньої рідкотекучості сплаву або витоку металу в рознімання форми. Перекіс може бути викликаний неточним складанням стрижнів або форми, випадковим зрушенням напівформ, викликаним зовнішнім впливом. Для запобігання перекрученої форми виливків слід проробити більш раціональну конструкцію виливків й технологію лиття. Раковини утворюються при зниженій в'язкості шлаків, не достатньої ефективності ливникової системи, неправильної або недбалому заливанню.

Пригар - поверхневий дефект, що виникає через занадто високу температуру заливання, зайвої тривалості затвердіння, слабкого ущільнення або низької якості формувальної суміші. Зовнішні дефекти виливків виявляються зовнішнім оглядом безпосередньо після добування заготовок з форми або після їхнього очищення, а внутрішні - виявляються радіографічними та ультразвуковими методами.

При використанні радіографічних методів (рентгенографії, гамаграфії) на виливки впливають рентгенівським або гама- випромінюванням. За допомогою цих методів виявляють наявність дефекту, величину і глибину його залягання.

При ультразвуковому контролі хвиля, що проходить через стінку виливків, при зустрічі із границею дефекту (тріщиною, раковиною й ін.) частково відбивається. По інтенсивності відбиття судять про наявність, розміри і глибини залягання дефектів.

Тріщини у виливках виявляють люмінесцентним контролем, магнітною або кольоровою дефектоскопією.

Виявлені дефекти можуть бути поправні й непоправні. Так, жолоблення сталевих виливків може бути виправлене виправленням. Зовнішні дефекти заварюють дуговою або газовим зварюванням. При недоливі великих виливків іноді допускається виправлення дефектів заливанням рідкого металу. Раковини

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

й пористість усувають просоченням або зашпаровують різними замазками, шпаклівкою або клеями. Непоправний брак вимагає перегляду конструкції вилівка або технології її одержання.

Процес розподілу температур у формі показано на рис. 4.6- 4.11.

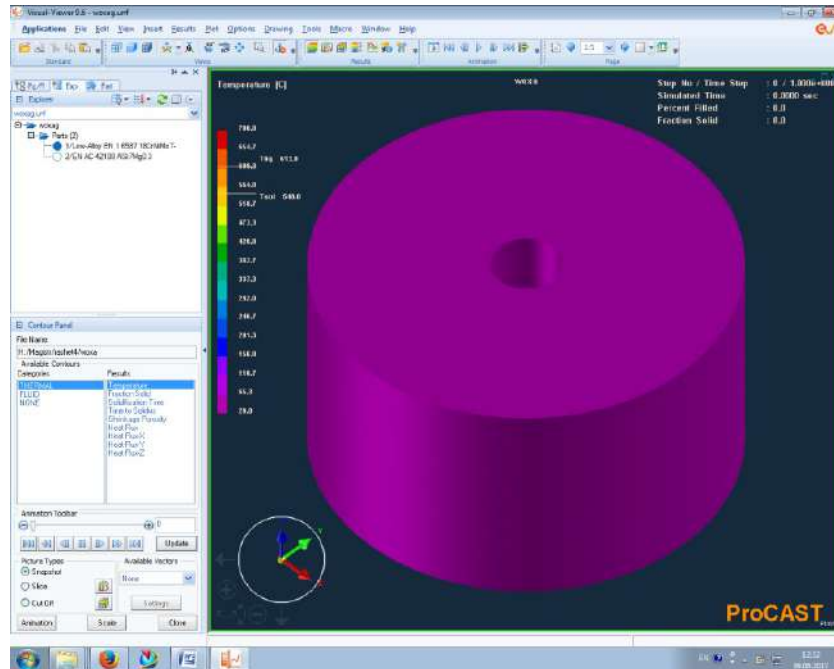


Рисунок 4.6 Форма при кімнатній температурі.

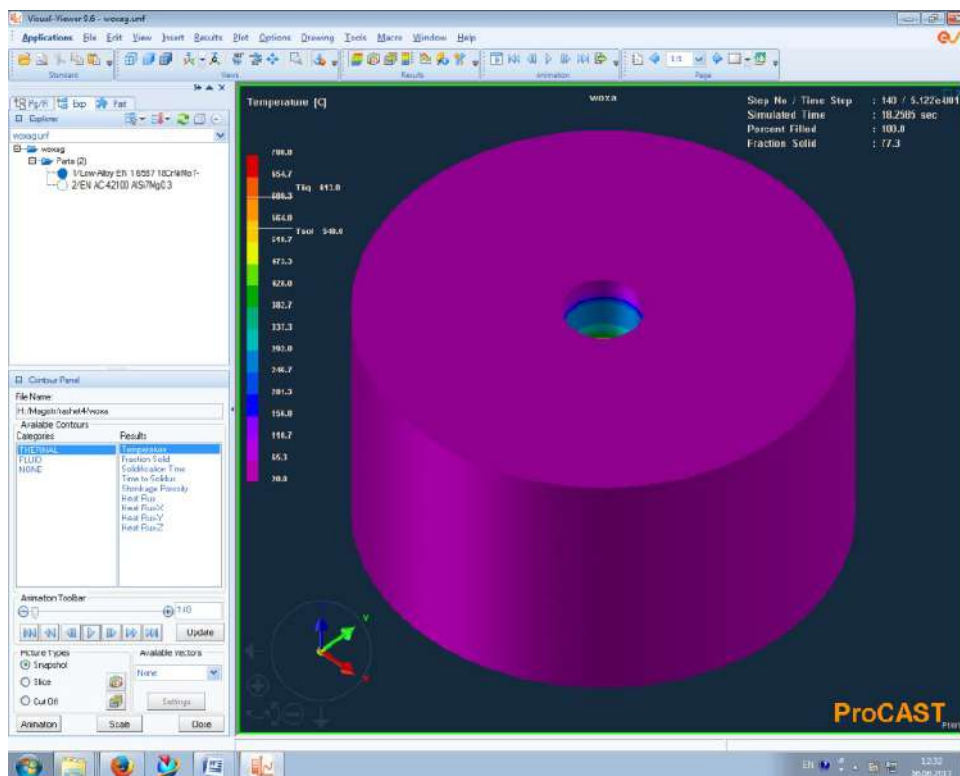


Рисунок 4.7 Форма в процесі заливання металу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ

Арк.

75

Заповнення ливарних форм є складним гідродинамічним і фізико-хімічним процесом. Головним фактором, що визначають рівень рідкотекучість, є властивості сплаву в рідкому стані: теплофізичні властивості, особливості кристалізації, в'язкість, окисність.

Вплив ливарної форми зв'язане головним чином з її теплофізичними властивостями, зі змачуванністю рідким металом, з умовами фізико-хімічного впливу "метал - форма".

На рідкотекучість впливають також умови плавки і заливання, перегрівши металу, насичення металу сторонніми включеннями, умови підведення металу до форми.

При вступі металу в канал ливарної форми на стінках каналу і утворюється тверда скоринка через високу інтенсивність охолодження металу в початкові моменти. Із часом, у міру прогрівання форми, інтенсивність тепловідводу зменшується. Але перенос теплоти до скоринки за рахунок вступу нових порцій металу залишається постійним, і вона починає оплавлятися. Зменшенню розмірів скоринки сприяє також змивання частини кристалів потоками, що рухаються. Нагромадження уламків кристалів на кінці потоку приводить до постійного наростання сил внутрішнього тертя. Умови плинучості металу помітно погіршуються. Нарешті в певний момент кількість уламків, що нагромадилися, стає трохи більшим, а опір внутрішньому тертю настільки значним, що потік зупиняється.

Viewcast дозволяє нам спостерігати процес затвердіння виливка у формі як показана на рис.: 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

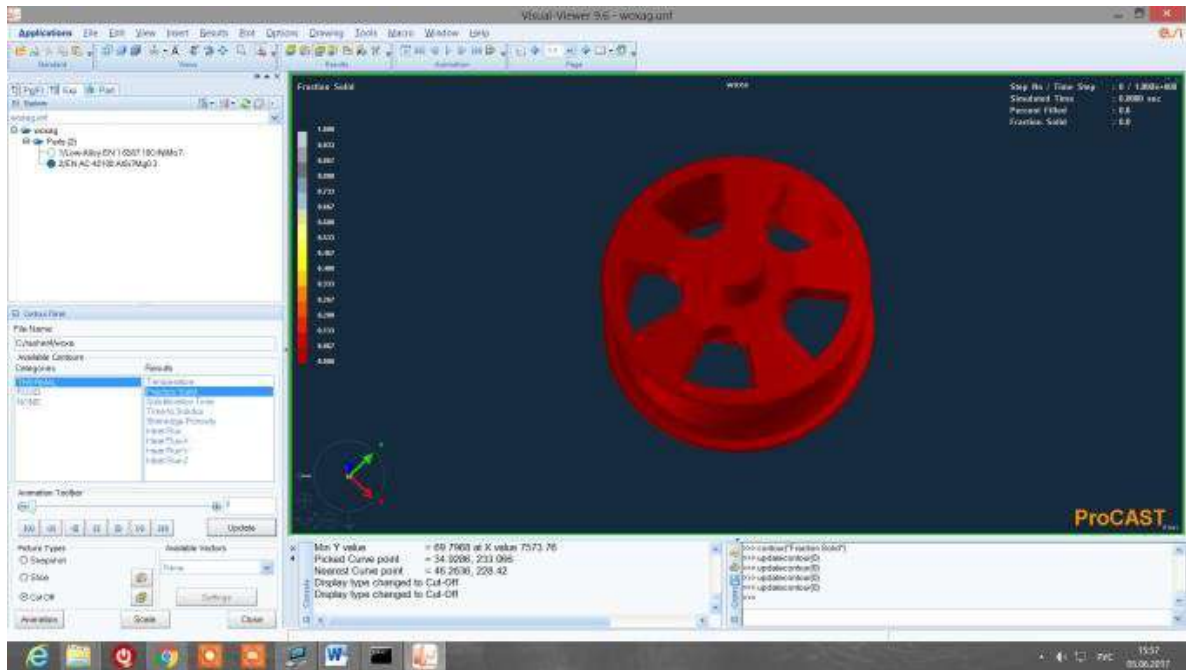


Рисунок 4.13 Рідкий стан сплаву у виливку

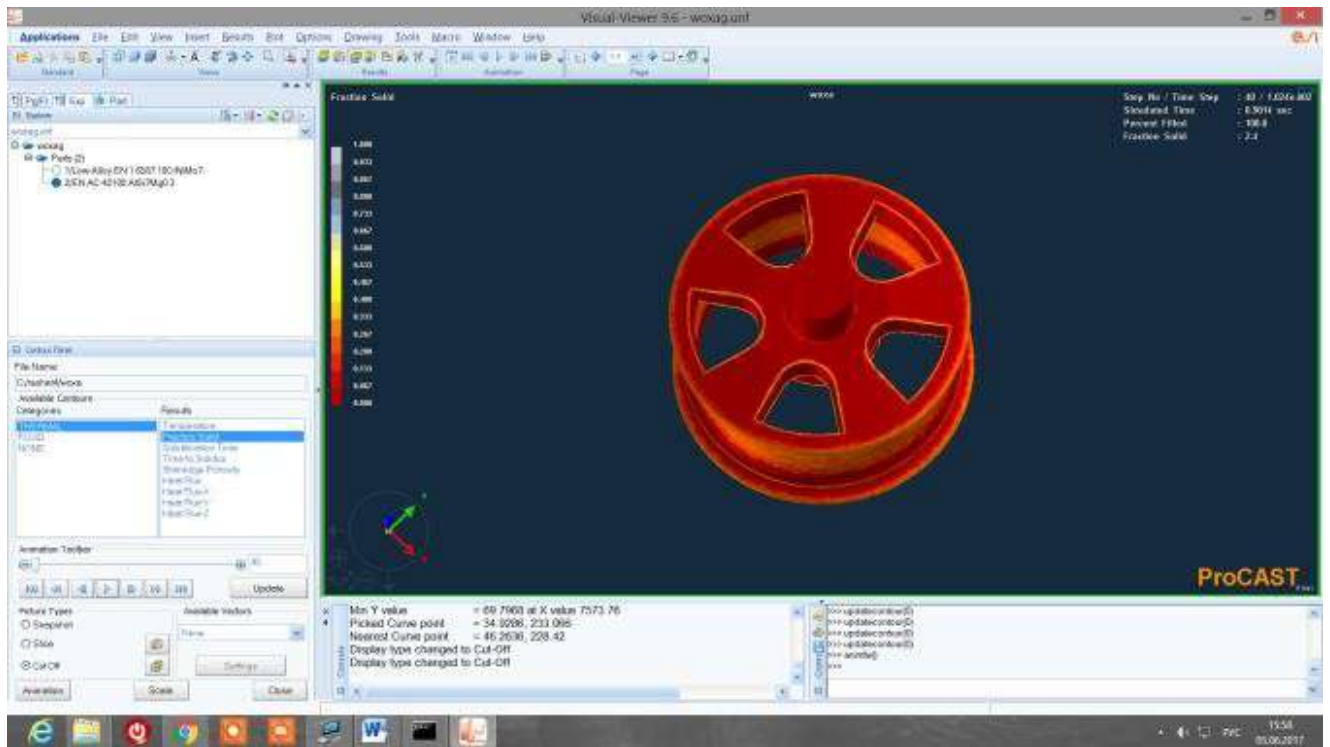


Рисунок 4.14 Початок кристалізації виливка

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ

Арк.

80

Аналіз результатів показав, що даний метод задовольняє вимогам лиття й може застосовуватися у виробництві.

А саме:

Є бездоганне заповнення форми;

Відсутність налипання металу до форми;

Мінімальна схильність до гарячого розтікання та усадки.

Комп'ютерне моделювання дозволило оцінити ливарну форму й розроблену технологію на комп'ютері, не прибігаючи до дорогого й тривалого методу проб і помилок. Що значно підвищило економічну ефективність.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

ВИСНОВОК

Проведений аналіз літератури про процес виготовлення литого автомобільного диска під низьким тиском.

Встановлено, що найбільша ефективність лиття застосована в лиття під низьким тиском.

Розроблена модель литого алюмінієвого диска в компас 3Д.

Створена методика САЕ аналізу процесу лиття під низьким тиском у кокіль.

Створена сітка кінцевих елементів для лиття під низьким тиском у кокіль.

Проведена симуляція лиття під низьким тиском у кокіль литого автомобільного диска.

Встановлені параметри температури, часу заповнення та кристалізації литого алюмінієвого диска автомобіля.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія конструкційних матеріалів. Під ред. А.М. Дальського. 2004
2. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва. М., 1974. 472 с.
3. Формувальні матеріали й технологія ливарної форми. Довідник / С.С. Жуковський, Г.А. Анисович, Н.І. Давидов і ін. М., 1993. 432 с. 14. Жуковський С.С., Лясс А.М. Форми й стрижні з холоднотвердеючих сумішей М., 1978. 478 с.
4. Матеріалознавство й технологія конструкційних матеріалів / Ю.П. Солнцев, В.А. Веселов, В.П. Демянцевич, А.В. Кузин М., 1996. 575 с.
5. Ливарне виробництво / під ред. І.Б. Куманина – М., «Машинобудування», 1971 р.
6. Лиття підвищеної точності по разових моделях / Озеров В. А., Гаранин В. О. – М., «Вища школа», 1988 р.
7. Сталеве лиття / під ред. Н. П. Дубиніна – М., «МАШГИЗ», 1961 р.
8. Сталеві виливки / Арсов Я. Б. – М., «Машинобудування», 1974 р.
9. Технічні й економічні основи ливарного виробництва / під ред. В.М. Шестопада – М., «Машинобудування», 1974 р.
10. Технологія конструкційних матеріалів / під ред. А. М. Дальський, Н.П. Дубинін – М., «Машинобудування», 1977 р.
11. Технологія ливарного виробництва / Титов Н.Д., Степанов Ю.А. – М., «Машинобудування», 1985 р.
12. Виробництво литих алюмінієвих деталей. М.: Металургія. 1979.
13. Черепакін А.А. Технологія обробки матеріалів: підручник для студ. Установ средн. Проф. Утвору / А.А Черепакін. - 2-е изд., стер. - М.: Видавничий центр «Академія», 2007. - 272 с.
14. Титов Н. Д., Степанов Ю. А. Технологія ливарного виробництва. М., «Машинобудування», 1974.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

15. Akihiro M., Kasuyosi N, and Hiroshi O., “Measurement and analysis of bulge deformation in the continuous cast slabs,” R & D Kobe Steel Engineering Reports, vol. 29, no. 3, pp. 55–59, 1979.

16. Yoon U.-S., Bang I.-W., Rhee J. H., Kim S.-Y., Lee J.-D., and Oh K. H., “Analysis of mold level hunching by unsteady bulging during thin slab casting,” ISIJ International, vol. 42, no. 10, pp. 1103–1111, 2002.

17. Yoshii A. and Kihara S., “Analysis of bulging in continuously cast slabs by bending theory of continuous beam,” Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan, vol. 26, no. 10, pp. 891–894, 1986.

18. Sheng Y. P., Sun J. Q., and Zhang M., “Calculation for bulging deformation of continuous casting slab,” Iron and Steel, vol. 28, no. 3, pp. 20–25, 1993.

19. Sun J., Sheng Y., and Zhang X., “Analysis of bulging deformation and stress in continuous cast slabs,” Journal of Iron and Steel Research International, vol. 8, no. 1, pp. 11–15, 1996.

20. Xu R. J., “Behavior analysis of bulging deformation in slab casting process, Heavy Machinery, no. 1, pp. 17–21, 2012.

21. Xu R. J., “Model for resistance calculation of bulging deformation generated in slab casting,” Heavy Machinery, no. 4, pp. 68–72, 2012.

22. Wu D. P., Li J., Qin Q., and Ma T., “Research on creep material models and bulging of cast slab,” in Proceedings of the IEEE International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE '10), pp. 5536–5539, June 2010.

23. Barber B., Lewis B. A., and Leckenby B. M., “Finite-element analysis of strand deformation and strain distribution in solidifying shell during continuous slab casting,” Ironmaking and Steelmaking, vol. 12, no. 4, pp. 171–175, 1985.

24. Lee J. D. and Yim C. H., “Mechanism of unsteady bulging and its analysis with the finite element method for continuously cast steel,” ISIJ International, vol. 40, no. 8, pp. 765–770, 2000.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

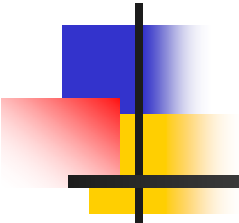
25. Ha J. S., Cho J. R., Lee B. Y., and Ha M. Y., “Numerical analysis of secondary cooling and bulging in the continuous casting of slabs,” Journal of Materials Processing Technology, vol. 113, no. 1–3, pp. 257–261, 2001.

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

ДОДАТКИ

					MP TAM 22. 17131. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства



Вдосконалювання технології виготовлення колеса легкового автомобіля шляхом комп'ютерного моделювання процесу

Студент гр. МТВАм 21-1

Янчук Олександр Сергійович

Хмельницький, 2022

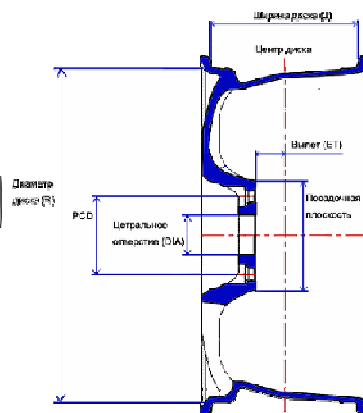


Цілі та задачі роботи

Ціль магістерської роботи: підвищення якості виробу шляхом моделювання процесу лиття під тиском литого диска колеса автомобіля в CAE системі.

Більшість водіїв вважають автомобільні диски модним аксесуаром, який забезпечує стильний сучасний вигляд транспортного засобу. Однак більш важливою функцією, яку виконують такі вироби, є безпека руху. Диск - це базовий елемент колісної системи. Від його якості залежить міцність зв'язку з дорожнім полотном і рівень маневреності автомобіля

Об'єкт дослідження



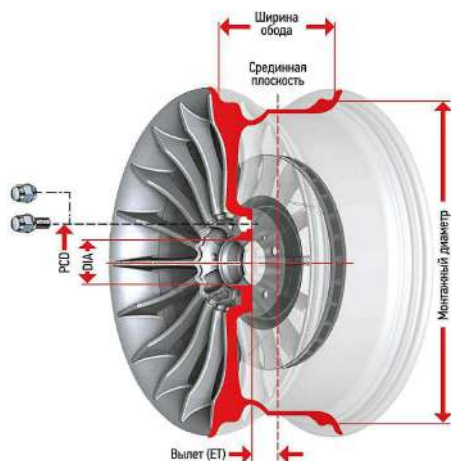
Все колісні диски поділяються на три типи:

Литі колеса найбільш популярні. Для їх виготовлення використовують легкі сплави. Як правило, це алюмінієві сплави. За рахунок простої технології виготовлення диски, литі відрізняються різноманітними і навіть оригінальними формами. Вага катка - це ще одна значуща перевага коліс перед іншими побратимами. Правда, є і мінус - це низька ремпригодність - при сильному механічному пошкодженні колеса не мнуться, а тріскаються. Безперечно, сучасні технології пропонують можливості у вигляді прокатки і зварювального ремонту, але гарантувати відмінний термін служби немає можливості.

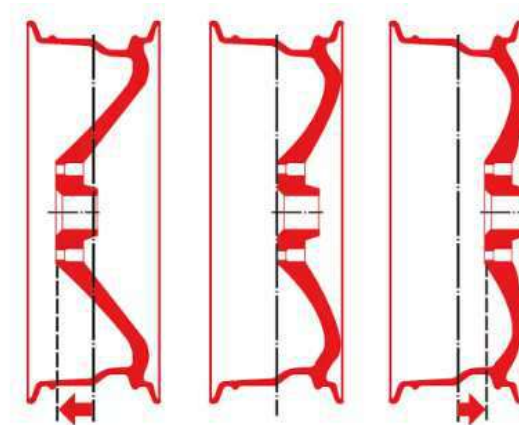
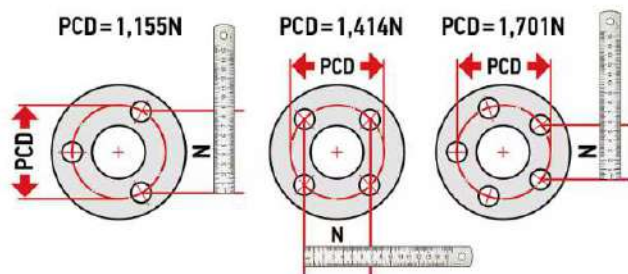
Штамповані диски - це той варіант, коли виникає питання, як вибрати автомобільні диски, щоб була доступна ціна. Як правило, вони йдуть в стандартній комплектації бюджетних автомобілів. Для надання їм привабливого вигляду, найчастіше, використовують ковпаки. Серед достоїнств варто виділити: низьку вартість; високу ремонтнопригодність.

Ковані диски - це найдорожчий і якісний тип ковзанок. Для його виробництва застосовують метод гарячого об'ємного штампування. Він забезпечує воістину ідеальну структуру металу, що характеризується малою вагою і високою міцністю. Якщо виникає питання про те, як підібрати диски для авто, щоб вони виглядали оригінально і навіть ексклюзивно, то ковані диски дійсно вірне рішення. Адже через високу ціну вони мало поширені.

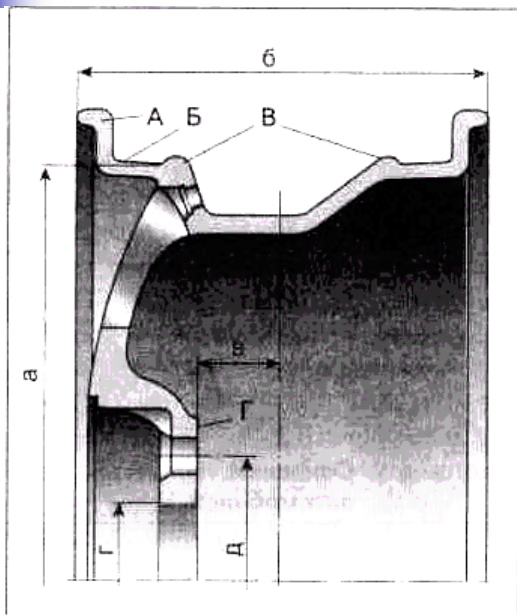
Основні геометричні характеристики



Зазвичай розповідь про колісні диски починають з діаметра, ширини і зовнішнього вигляду. Хоча, підбираючи диск, перш за все треба оцінити, чи вдасться його прикрутити до автомобіля. Найбільш важливими є такі параметри: кількість отворів під шпильки або болти; діаметр кола, на якому ці отвори розташовані; діаметр центрального отвору в диску (DIA); виліт диска.



Аналіз вихідних даних і технічних рішень



А — закраїна обода; Б — полка; В — кільцевий виступ («хамп») для додаткової фіксації бортів безкамерної шини; Г — площина кріплення; а — монтажний діаметр; б — ширина обода; в — вилет (відстань між площиною симетрії обода та кріпильною площиною колеса); г — діаметр центрального отвору під маточину; д — діаметр кола розташування кріпильних болтів (шпильок)

Основні елементи та розміри колеса
легкового автомобіля

Найбільш частішою основою служить алюміній зі спеціальними домішками, сьогодні поширення одержав сплав, у який також входять кремній (до 7%), марганець (0,1%), магній (0,4%), титан (0,2%), залізо (0,12%), мідь і цинк (по 0,05%).

Приклад, маркування на колесі

«8.5J x 17 H2 5/112 ET 35 d 66.6»

Позначення колеса наноситься на внутрішню поверхню, має дублюватися на упаковці та бути в супровідній документації або на наклейках.

8.5 — ширина обода колеса в дюймах. Наведений розмір має обов'язково співвідноситися з шириною шини;

Шина, ширина якої не відповідає ширині колеса, під час руху може зіскочити.

x — знак між умовними позначеннями ширини і посадкового діаметра, який вказує на те, що обід колеса нероз'ємний;

17 — посадковий діаметр обода колеса в дюймах, який має обов'язково відповідати посадковому діаметру шини;

На легкових автомобілях застосовуються колеса діаметром від 12 до 32 дюймів, найбільш поширені діаметри — 14—16 дюймів.

J — буква кодування, що інформує про конструктивні особливості бортових закраїн обода (кути нахилу, радіуси заокруглення і таке інше);

H2 — буква «H» (скорочення від англ. слова «Hump») вказує на наявність кільцевих виступів (так званих хампів) на полицях обода, які утримують безкамерну шину від зіскакування з обода колеса. Найчастіше на колесі присутні два хампи (позначення «H2»), проте хамп може бути і один (позначення «H»). Вони можуть мати пласку форму (FH — «Flat Hump»), бути асиметричними (AH — «Asymmetric Hump»), комбінованими (CH — «Combi Hump»);

5/112 — PCD («Pitch Circle Diameter» — діаметр, утворений центрами отворів під кріплення колеса) — цифра 5 означає кількість кріпильних отворів у колесі для болтів або гайок (найбільш часто зустрічаються колеса з кількістю кріпильних отворів від 4 до 6, рідше — 3, 8 або 10), 112 — діаметр окружності, утвореної центрами кріпильних отворів у міліметрах. Існує певна низка таких діаметрів, наприклад 98; 100; 112; 114,3; 120; 130; 139,7 і деякі інші. Часто вони застосовуються виробниками за традицією або як найбільш підходящі для автомобілів певного призначення: так, розмір 139,7 характерний для пікапів і позашляховиків;

ET — позначення розміру вильоту диска колеса в міліметрах;

Виліт диска колеса — це розмір між посадковою (привалковою) площиною диска колеса, яка прилягає безпосередньо до маточини колеса, і віссю симетрії обода колеса.

Якщо площа прилягання до маточини колеса знаходиться «зовні» щодо осі симетрії, виліт диска колеса називається позитивним, наприклад ET35; якщо «зсередини» (ближче до автомобіля) — виліт негативний, наприклад ET-20. Простіше кажучи, що більше колесо виступає за межі кузова, то менше значення вильоту. Якщо в позначенні вильоту стоїть нуль, значить поверхня прилягання до маточини колеса лежить на осі симетрії обода диска колеса.

Установка коліс зі зменшеним, порівняно зі стандартним, вильотом, може надати інший вигляд автомобілю, проте такий поворот подій може негативно вплинути як на керованість, так і на ресурс підшипників маточин коліс.

d — діаметр маточини або діаметр центрального отвору в міліметрах.

У найкращому варіанті цей діаметр має відповідати діаметру посадкового паска на маточині.

Завжди для кріплення коліс необхідно застосовувати тільки спеціальні болти і гайки кріплення.

Характеристика матеріалів ⁶ виробу

Хімічний склад в % матеріалу АК7ч

Al	Fe	Si	Cu	Zn	Mn	Mg
89,6-93,8	до 1,5	6-8	до 0,2	до 0,3	до 0,5	0,2-0,4

Механічні властивості при T=20oC матеріалу АК7ч

Виливок	σ_B , МПа	ΔT , МПа	ψ_5 , %	КСУ, кДж/м ²	НВ, МПа
Лиття в кокіль	137-225	-	1,0 – 4,0		45-70

Області застосування:

деталі літаків, приладів, корпуси pomp, карбюраторів, що працюють при температурі не вище 200 °С. Застосовують сплав АК7ч для найбільш відповідальних виливків, складних і великогабаритних деталей, що працюють при більших навантаженнях (картер двигуна внутрішнього згорання), для лиття мало та середньонавантажених деталей приладів, агрегатів і двигунів, а також для побутових виробів.

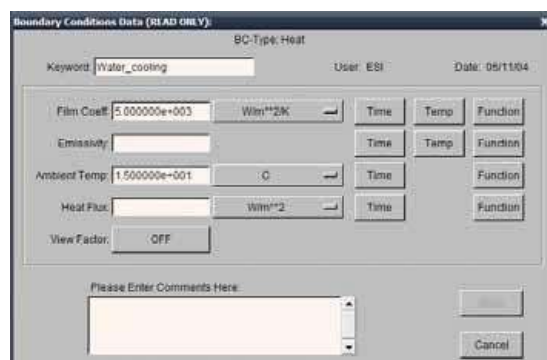
Огляд програм які використовуються у машинобудуванні для лиття



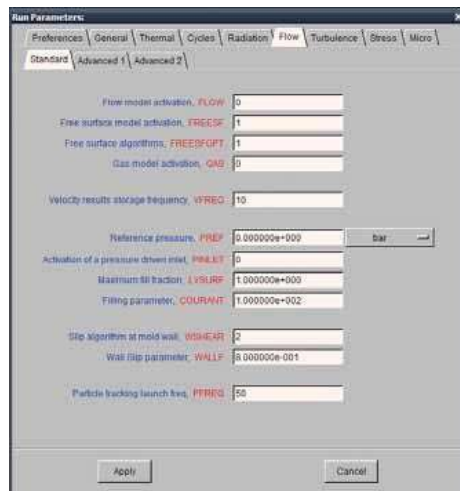
Модульна структура СКМ ЛП Procast

Структура роботи СКМ ЛП Procast

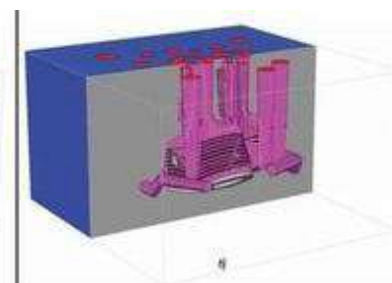
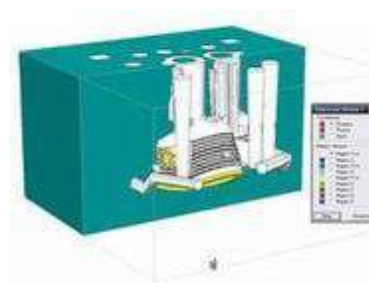
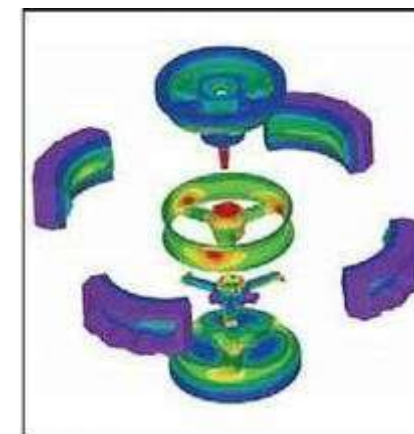
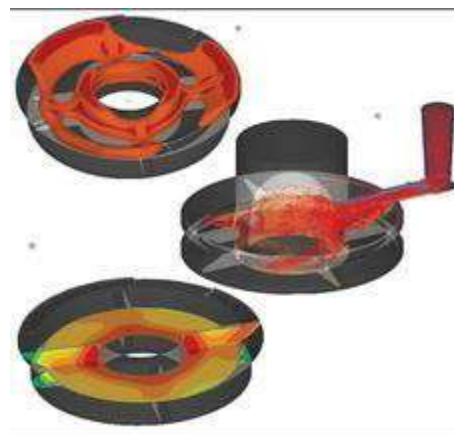
Граничні і початкові умови.



Параметри розрахунку.



Результати розрахунків.





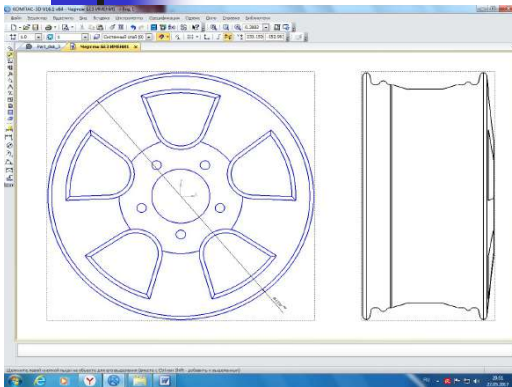
Завдання роботи

Таким чином, до завдань роботи
вІДНОСИМО:

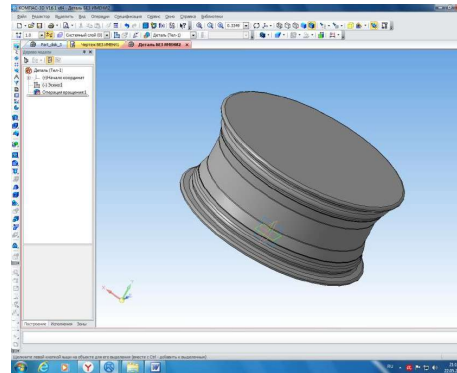
- Вибрати програму для моделювання виробу;
- Розробити 3Д модель виробу;
- Задати матеріал виробу і форми;
- Змоделювати процес лиття;
- Зробити аналіз результатів

ПІДГОТОВКА ПРОЦЕСУ

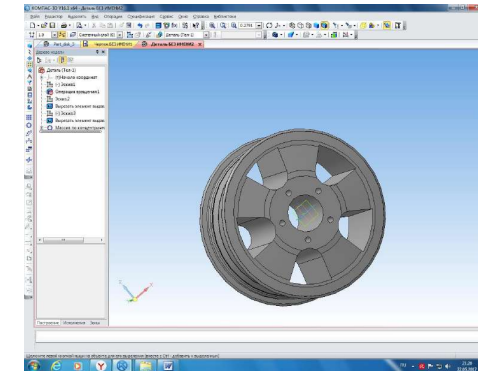
Принцип роботи програми для лиття



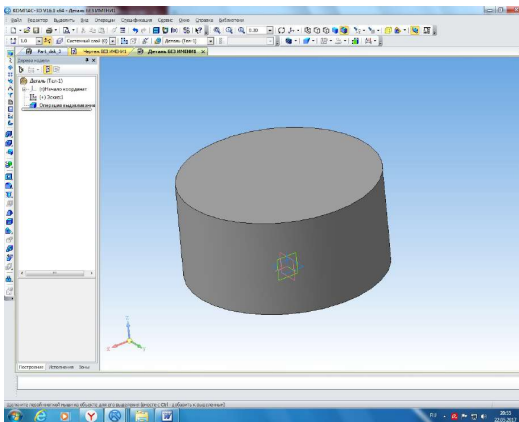
Креслення виробу



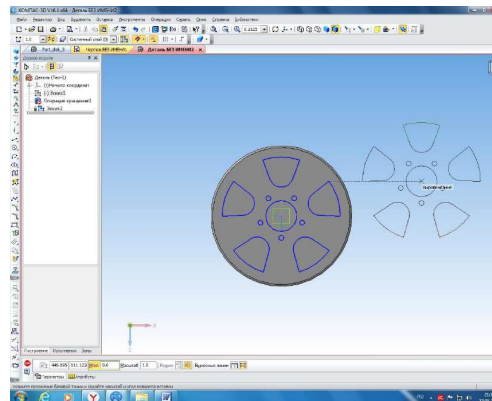
Ескіз диска



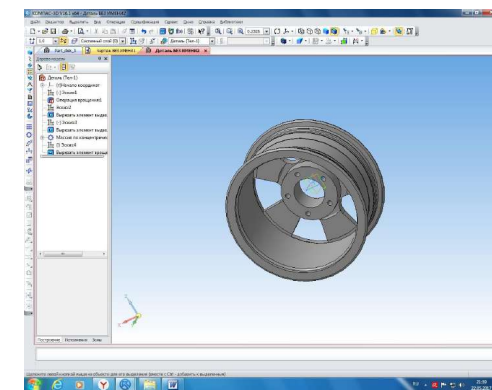
Побудова отворів на виробі



Креслення заготовки

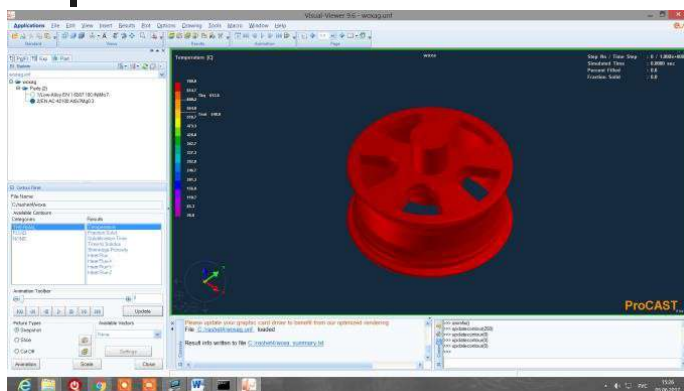


Побудова отворів



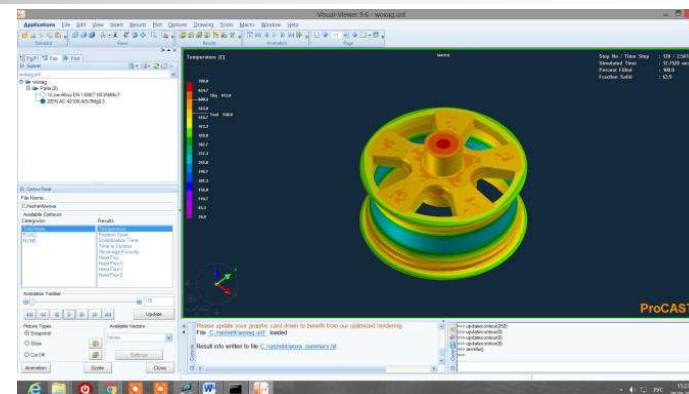
Операція видавлювання
обертанням

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЛИТТЯ

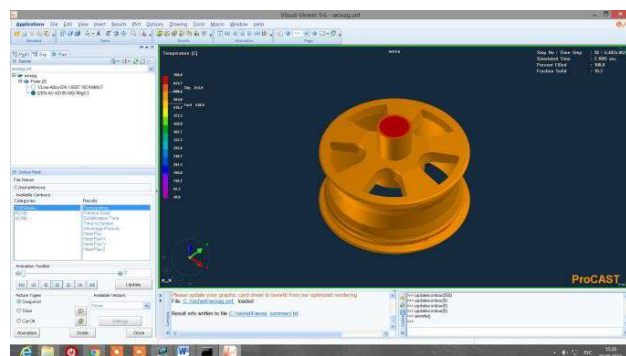


Виливок, заповнено сплавом.

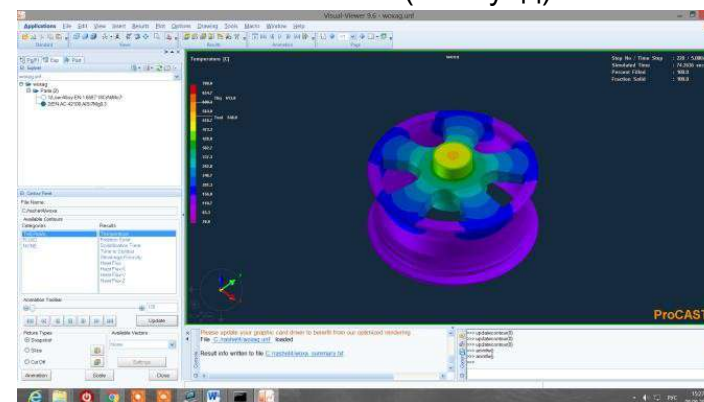
Поширення
температури
у виливку



Розподіл температури у виливку після
заповнення (7 секунд)



Розподіл температури у виливку після
заповнення (2 секунди)

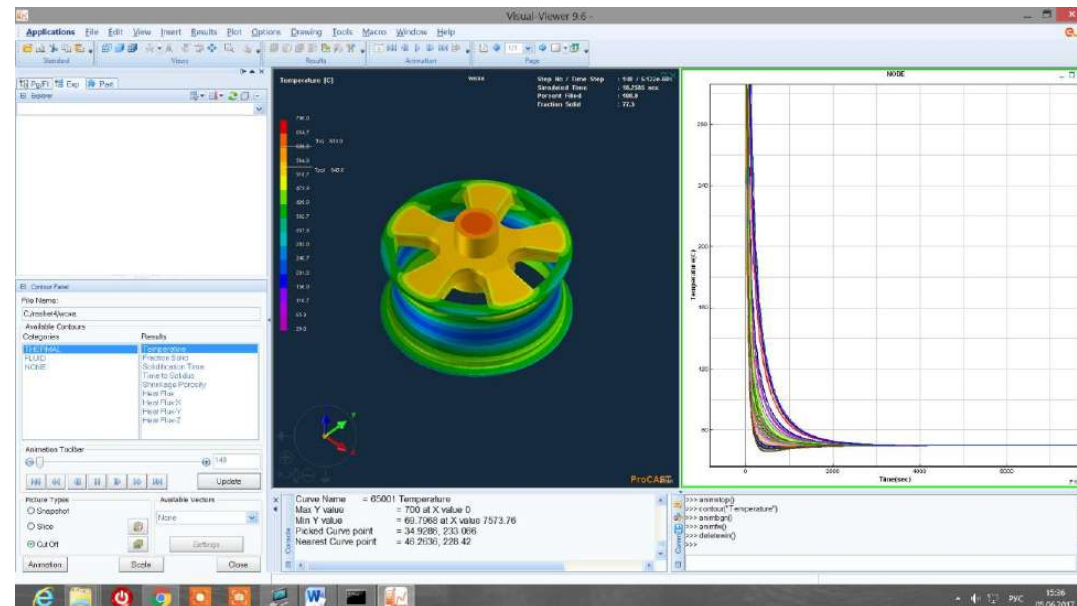


Розподіл температури у виливку після
заповнення (20 секунд)

Дослідження процесу охолодження

Аналіз температури форми показав відсутність деформації форми при литті під низьким тиском, а так само відсутність налипання сплаву на стінки.

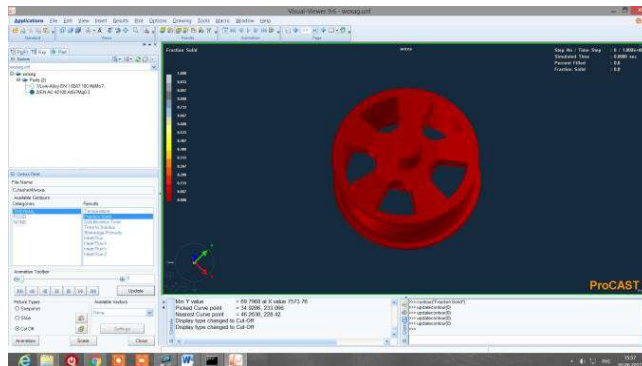
Що повністю задовольняє вимоги лиття під низьким тиском.



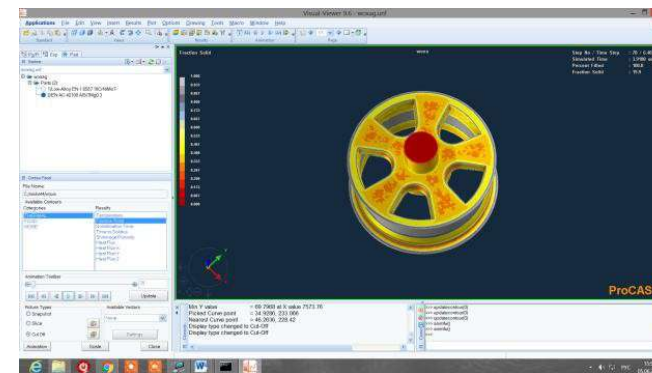
Графік розподілу охолодження металу згодом.

Процес затвердіння металу

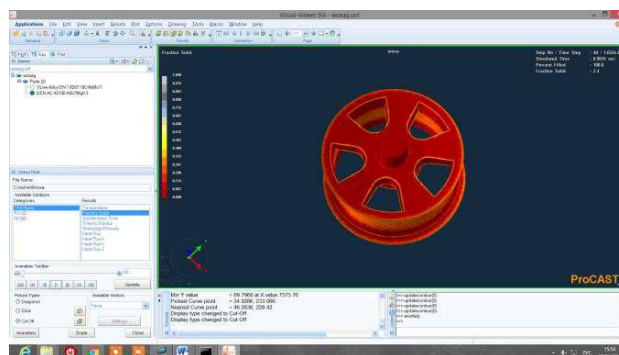
Viewcast дозволяє нам спостерігати процес затвердіння вилівка у формі



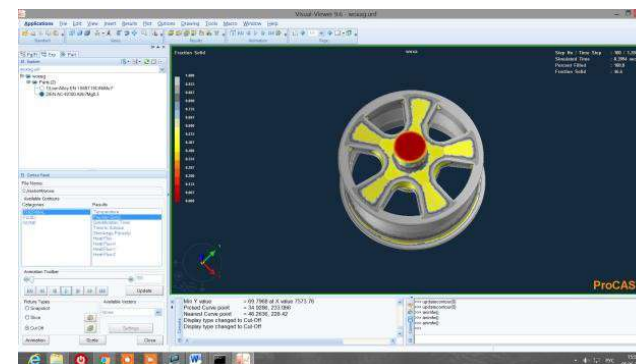
Рідкий стан сплаву у виливку



Перехід з рідкого стану у твердий за 30 секунд

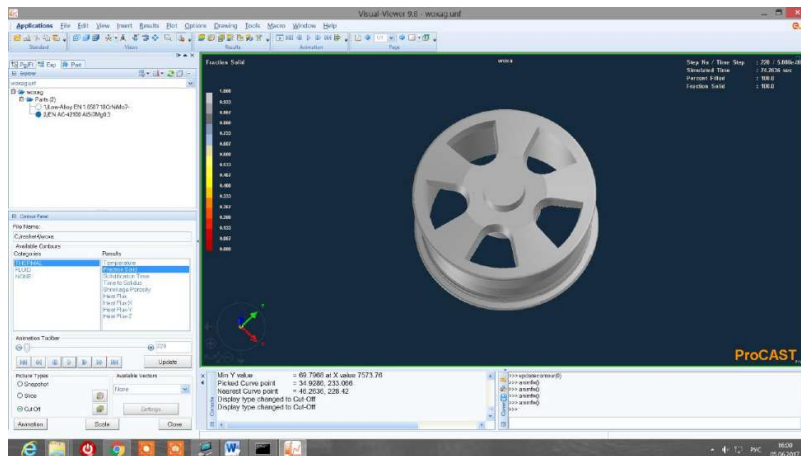


Початок кристалізації виливка



Перехід з рідкого стану у твердий за 60 секунд

Аналіз результатів



Абсолютно тверде тіло

Аналіз результатів показав, що даний метод задовольняє вимогам лиття й може застосовуватися у виробництві.

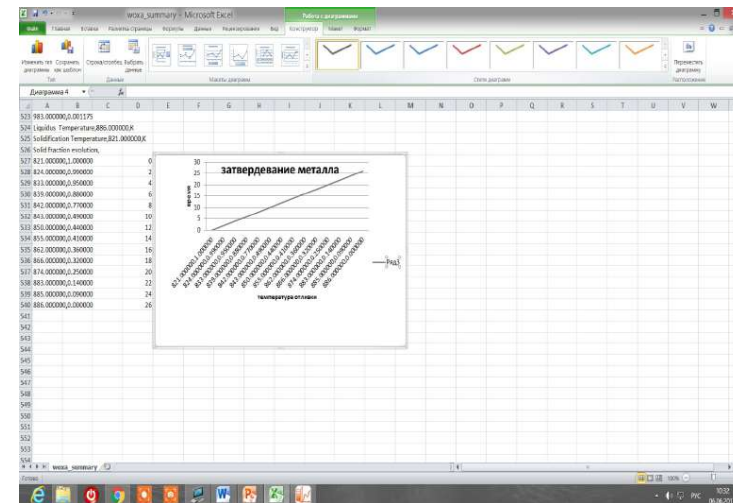
А саме:

Є бездоганне заповнення форми;

Відсутність налипання металу до форми;

Мінімальна схильність до гарячого розтікання та усадки.

Комп'ютерне моделювання дозволило оцінити ливарну форму й розроблену технологію на комп'ютері, не прибігаючи до дорогого й тривалого методу проб і помилок. Що значно підвищило економічну ефективність.



Залежність застигання сплаву від часу.

ВИСНОВОК



1. Проведений аналіз літератури про процес виготовлення литого автомобільного диска під низьким тиском.
2. Встановлено, що найбільша ефективність лиття застосована в лиття під низьким тиском.
3. Розроблена модель литого алюмінієвого диска в компас 3Д.
4. Створена методика САЕ аналізу процесу лиття під низьким тиском у кокіль.
5. Створена сітка кінцевих елементів для лиття під низьким тиском у кокіль.
6. Проведена симуляція лиття під низьким тиском у кокіль литого автомобільного диска.
7. Встановлені параметри температури, часу заповнення та кристалізації литого алюмінієвого диска автомобіля.

Наукові публікації

Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні ITMM 2022», Дніпро, 18 травня 2022 р. – URL: https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/itmm/about_conference
<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/itmm/conference>

Бабак О.П., Янчук О.С.
 Різновиди академічного плагіату

Розвиток сучасної освіти і науки: результати, проблеми, перспективи. якісні дослідження для покращення життя людини; Матеріали XII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 22 квітня 2022 р., Конін – Ужгород – Перемишль.

Бабак Олег, Янчук Олександр
 Розв'язання професійно-прикладних задач засобами SolidWorks

Міністерство освіти і науки
 Український державний університет науки і технологій
 Дніпропетровський державний технічний університет
 Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара
 Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
 Криворізький національний університет
 Харківський національний університет радіоелектроніки
 Херсонський національний технічний університет
 Чернівецький державний університет імені П. Могили
 Aalto University (Yläneen kampus, Finland)
 American University of Central Asia (Bishkek, Kyrgyzstan)
 Tallinn Technical School (Tallinn, Estonia)
 AGH University of Science and Technology (Kraków, Poland)
 Atila University (Atila, Hungary)
 Politechnika Rzeszowska (Rzeszów, Poland)
 Michigan State University (Lansing, USA)



ПРОГРАМА
 Міжнародної науково-технічної конференції
 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ в
 МЕТАЛУРГІЇ та МАШИНОБУДУВАННІ

PROGRAM
 of Scientific and Technical International Conference
 INFORMATION TECHNOLOGY IN
 METALLURGY AND MACHINE ENGINEERING

18 травня 2022 року

Дніпро

AKADEMIA NAUK STOSOWANYCH W KONINIE
 AKADEMIA PRZYKŁADNIK NAUK Y KONINI
 UNIWERSYTET NAJODROWY W UZGORODZIE
 UJGORODZKIY NACJONALNYI UNIWERSYTET
 POLUDNIOWO-WSCJODNI INSTYTUT NAUKOWY W PRZEMYSLU
 PIVDENNO-SJWDNIY NAUKOWYI INSTYTUT Y PEREMISLJI

PROGRAM
 PROGRAM

**ROZWJÓJ NOWOCZESNEJ EDUKACJI I NAUKI –
 STAN, PROBLEMY, PERSPEKTYWY.
 WADZENIA JAKOŚCIOWE
 KU POPRAWIE ŻYCIA CZŁOWIEKA**

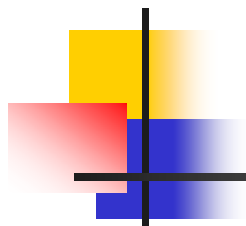
**ROZWITOK СУЧАСНОЇ ОСВИТИ І НАУКИ:
 РЕЗУЛЬТАТИ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ.
 ЯКІСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
 ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЖИТТЯ ЛЮДИНИ**

Materiały XII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Praktycznej
 Materiyaly XII-i Mizhnarodnoy naukovy-prykladnoy konferentsiyi

22 kwietsnia 2022 roku
 22 kvietni 2022 roku

Konin – Uzhorod – Przemysl
 Konin – Ujgorod – Peremishl

2022



Дякую за увагу!