Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Буркова Олександра Сергійовича
(ПІБ)

академічної групи 131м-23н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

на тему: «Дослідження і інтеграція САЕ-систем в розрахунок автоматизованої технології обробки деталі «Корпус» на верстаті з ЧПК»

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від **28.04.25** **№317-с**

Керівники	**Прізвище, ініціали**	**Оцінка за шкалою**		**Підпис**
		рейтинговою	**інституційною**	
кваліфікаційної роботи	Дербаба В.А.			
розділів:				
Аналітичний	Дербаба В.А.			
Технологічний	Дербаба В.А.			
Спеціальний	Дербаба В.А.			
Науково-дослідницький	Дербаба В.А.			

Рецензент	Кравченко Ю.Г,			

Нормоконтролер	Рубан В.М.			

Дніпро - 2025

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

_____ В.А. Дербаба
(підпис) (ініціали та прізвище)

«_____» _____2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Буркову Олександру Сергійовичу
(прізвище та ініціали)

академічної групи 131м-23н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

спеціалізації за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від **28.04.25** **№317-с**

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень - процес механічної обробки деталі на верстаті з ЧПК.

Предмет досліджень - швидкість виконання поставлених завдань в середовищі САМ-програми Autodesk PowerMill, функціональні можливості системи, складність роботи програми і повнота інформації.

Мета – дослідження і інтеграція інформаційних технологій в автоматизовану механічну обробку корпусної деталі на верстаті з ЧПК з урахуванням міцнісних характеристик.

Вихідні дані для проведення роботи - 1) аналіз джерел інформації з питань режимних параметрів механічної обробки; 2) аналіз застосування інтерфейсу CAE\CAM-систем при виконанні конструкторських та технологічних задач; 3) визначення впливу режимів різання та стратегій фрезерної обробки на продуктивність і оптимальність керуючої програми для верстата з ЧПК.

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна - удосконалено підхід до оцінки траєкторій фрезерної обробки деталі в САМ-системі Autodesk PowerMill, досліджені міцнстні характеристики складної геометрії деталі на основі статичного розрахунку в САЕ-системі SOLIDWORKS Simulation та створена методика розрахунку оптимальної керуючої програми для верстата з ЧПК засобами спеціалізованої програми.

Практична цінність - оптимізація стратегії обробки в САМ-програмі на прикладі корпусної деталі, скорочення (зменшення) часу на підготовку конструкторсько-технологічної документації, розрахунок оптимізованої керуючої програми для обладнання і скорочення часу механічної обробки на верстаті з ЧПК як наслідок.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Створити практичні рекомендації щодо застосування альтернативних технологічних методів виготовлення деталі типу Корпус за умов використання CAD-CAM-CAE систем.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	**Строки виконання робіт** (початок-кінець)
Аналітичний розділ	29.01.2025-25.02.2025
Технологічний розділ	26.02.2025-24.03.2025
Спеціальний розділ	25.03.2025-21.04.2025
Науково-дослідницький розділ	22.04.2025-05.05.2025

Завдання видано _____ В.А. Дербаба
(підпис керівника) (ініціали та прізвище)

Дата видачі 15 січня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 5 травня 2025 р.

Прийнято до виконання _____ О.С. Бурков
підпис здобувача вищої освіти) (ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

Вступ ……..... 5

1 Аналітичний розділ…….. 5

1.1 Характеристика об'єкта виробництва …… 7

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі…… 8

2 Технологічний розділ ……. 10

2.1 Встановлення виробничої програми випуску деталі…. ..……. 10

2.2 Вибір способу отримання заготовки ……. 10

2.3 Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі ….. 14

2.4 Розрахунок припусків механічної обробки …….. 15

2.5 Детальна розробка операцій технологічного процесу…….. 16

2.6 Автоматизація технології обробки деталі у програмі Autodesk PowerMill…… 18

3 Спеціальний розділ ……. 24

3.1 Проектування спеціального пристосування …….. 24

4 Науково-дослідницький розділ …….. 27

4.1 Постановка задачі дослідження……..... 30

4.2 Автоматизація проектних процедур засобами SolidWorks Simulation …… 32

4.3 Візуалізація та оптимізація результатів розрахунку……. 32

Висновки……. 33

Перелік посилань……..……. 42

Додатки…… 47

ВСТУП

При проектуванні технологічних процесів механічної обробки в сучасних умовах на перше місце виступають питання оптимізації, часто багато суперечливих чинників. Об'єм виробництва виробів повинен строго відповідати потребам ринку. Робота «на склад» руйнівна, тому структура технологічного процесу в цілому і кожній операції окремо, а також організація виробництва, повинні забезпечувати оптимальну продуктивність і високу гнучкість виробництва.

Виходячи з цього, при проектуванні нових цехів необхідно забезпечити оптимальне співвідношення наявних універсальних верстатів напівавтоматів і верстатів ЧПК, оснащуваних переналагоджуваним оснащенням. Економічно обгрунтоване завантаження устаткування повинне забезпечуватися відповідною організацією виробничого процесу в цеху, заснованою на прогнозуванні і оперативному управлінні з використанням обчислювальної техніки, що дозволяє скоротити час на технологічну підготовку і простої верстатів в наладці.

В даний час зберігається тенденція, коли в ціні виробу значну частину складає вартість матеріалу і енергії. Проте, зниження частки механічної обробки, дозволяє відчутно понизити технологічну собівартість виробів, якщо використовувати заготівки з високим ступенем готовності і устаткування з широкими технологічними можливостями.

Значний ефект можливий від використання сучасного універсального інструменту і інструментальних матеріалів, що забезпечують високу швидкість різання і стійкість, що скорочує машинний час на обробку і час простою верстата в налагодженні.

Також використання CAE систем потребує меншу кількість часі, ніж рахування методами механіки на бумазі.

Такий підхід до проблеми технологічного проектування лежить в основі даного дипломного проекту. Використана мінімальна кількість вітчизняного металоріжучого устаткування і організаційна структура, що дозволяє організувати виробництво типових деталей дрібними партіями з високою продуктивністю і ступенем універсальності. Доведена економічна доцільність застосування заготовок високого ступеня готовності, що дозволило вивести заготовче виробництво за межі виробничого процесу. Компактне технологічне планування, дозволяє на виробничій площі організувати багатономенклатурне серійне виробництво.

У процесі проектування технологічних процесів механічної обробки інженер-технолог виконує проектні процедури й операції, що вимагають використання різних методів, алгоритмів, заснованих на обробці великої кількості довідкової інформації й правил, які строго регламентовані нормативно-технічними документами.

Для підвищення продуктивності й ефективності технологічного проектування необхідно автоматизувати процеси пошуку, обробки й видачі інформації, створювати банки даних, що містять систематизовані відомості довідкового характеру, необхідні для автоматизованого проектування об'єктів.

CAE система дозволяє:

- Аналізувати конструкції разної складності без втрати на час.

- Досліджувати навантаження, виявляти концентратори напружень та приймати рішення, щодо збільшення чи зменшення маси виробу, дозволяє зробити це оптимально.

У своїй основі CAE системи використовують метод кінцевих елементів для детального розрахунку. Цей метод добре підходить до аналізу газових або рідиних потоків.

1 Аналітичний розділ

1.1 Характеристика об'єкта виробництва

Деталь «Корпус» входить до складу електричного двигуна МВ-1000БЗ чотириполюсного, компаундного трьохшвидкісного, постійного струму, призначеного для приводу паливопідкачуючого центробіжного насосу ЕЦН 11А2, що встановлюється у повітряному транспорті або якв данному випадку встановлений всередені авіаційного паливозаправщика .

Деталь розташована у закритому корпусі. Електродвигун працює в умовах температури від +50° С до -60° С.

Рис 1.2 ЕЦН11А2

Основною конструкторської базою деталі є два з чотирьох торцевих отворів діаметром 36 мм.

Найбільш відповідальною поверхнею є внутрішня циліндрична поверхня діаметром 35 мм, так як на неї через посадкову втелку сідає підшипник для обертання валу якоря. До всіх інших поверхонь не прикладається ніяких сил.

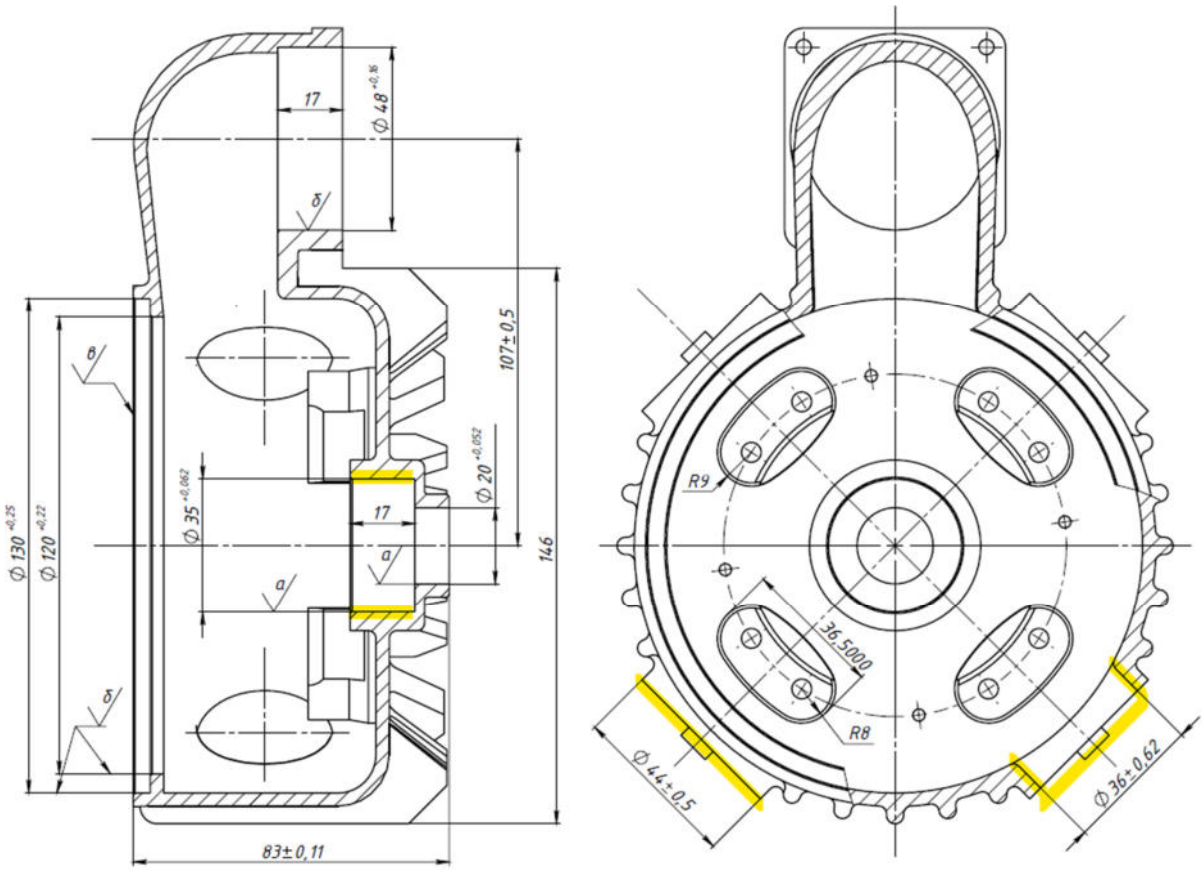


Рис 1.3 Відповідальні отвори

Деталь призначена для захисту електричної проводки електродвигуна та часткового охолодження двигуна, в той же час деталь не повинна бути важкою, так як використовується в авіації.

Виходячи із вищезазначеного можна зробити висновок, що матеріалом для виготовлення даної деталі, підходить алюмінієвий сплав АЛ9 ДСТУ 2839-94. Цей матеріал легкий, добре проводить тепло та дуже гарно обробляється різанням. Також матеріал добре підходить для відповідальної поверхні, яка сприймає навантаження від підшипника, бо при термічній обробці отримує твердість 60 НВ.

Хімічний склад АЛ9 наведено в таблиці 1.1, а механічні властивості у таблиці 1.2.

Таблиця 1.1

Al,%	Si,%	Mn,%	Be,%	Mg,%	Pb,%	Zn,%	Sn,%	Cu,%	Fe,%
89,6-93,8	6-8	до 0,5	до 0,1	0,2-0,4	до 0,05	до 0,3	до 0,01	до 0,2	до 1,5

Таблиця 1.2

$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{В}$, МПа	δ_5,%	НВ
180	245	3,2	60

ДСТУ 2839-94 Группа В51

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Склад робіт по забезпеченню технологічності конструкції виробів на всіх стадіях їх створення встановлюється Єдиною системою технологічної підготовки виробництва. Розрізняють виробничу, експлуатаційну і ремонтну технологічність. Єдиним критерієм технологічності конструкції виробу є її економічна доцільність при заданій якості і прийнятих умовах виробництва і експлуатації.

На етапі проектування технологічного процесу механічної обробки, коли конструкторські документи вже затверджені і не підлягають радикальним змінам, доцільно проводити якісний аналіз технологічності конструкції деталі з метою узагальненого, на підставі досвіду виконавця, встановити ступінь відповідності між показниками якості і прийнятими умовами виробництва. Кількісну оцінку виконують за деякими показниками, щоб охарактеризувати ступінь задоволення вимог до технологічності конструкції.

Деталь «Корпус» має складну просторову форму. Дана деталь має форму чаші, по контуру зовнішньої поверхні якої, знаходяться ребра і 4-и отвори, розташованих симетрично один одному. Між 2-ма отворами знаходиться частина деталі, що нагадує порожній циліндр, зігнутий під кутом 90°. На внутрішній поверхні Корпуса є 4-и виступи, пронизані отворами для кріплення.

Аналізуючи вимоги робочого креслення, приходимо до висновку, що матеріал деталі забезпечує необхідні механічні властивості, ергономічну форму необроблюваних поверхонь та задану товщину стінок при використанні спеціальних методів лиття, що застосовуються і в умовах серійного виробництва.

Співвідношення геометричних параметрів деталі, в поєднанні з особливостями конструкції і умовами оброблюваності ливарних алюмінієвих сплавів, дозволяє призначати оптимальні режими різання.

У конструкції деталі є поверхні, які можуть бути використані в якості технологічних баз. Так, торці двох з чотирьох отворів, по контуру Корпуса, можуть бути використані для базування в спеціальному пристосуванні, яке

представляє собою призму з отворами під притискувальні шайбі з гвинтами. Таке пристосування дозволяє обробити всю деталь з одного установа, так як технологічні, вимірювальні та конструкторські бази будуть суміщені. Для повної обробки деталь треба одноразово повернути на 180°.

Однією нетехнологічною ділянкою є порожній циліндр, повернений на 90°, який знаходиться відносно далеко від центру і має тонкі стінки, що може відбитися на жорсткості системи СПІД. Також при розточуванні поверхні циліндра, можуть виникати згинаючі сили, але, так як матеріал деталі дуже добре обробляється різанням, то ці сили будуть мінімальними.

Співвідношення квалітетів та параметрів шорсткості, оброблюваних поверхонь, є оптимальним. З огляду на те, що матеріал деталі - алюмінієвий сплав, необхідна чистота і точність більшості поверхонь досягається одним проходом.

Шорсткість поверхонь відповідає точності обробки. Враховуючи умови роботи, річну програму випуску і конфігурацію деталі, вважаємо, що її матеріал вибраний правильно.

Конфігурація деталі дозволяє: використовувати раціональні методи отримання заготівки, вільно вести обробку всіх поверхонь деталі, здійснювати контроль оброблених поверхонь, застосовувати швидкодіючі верстатні пристосування.

Коефіцієнт точності обробки визначається за формулою:

$$K_{тч} = 1 - \frac{1}{A_{ср}} = 1 - \frac{1}{8,7} = 0,6, \qquad (1.1)$$

де $A_{ср}$ – середній квалітет розмірів виробу, який знаходиться за формулою:

$$A_{ср} = \frac{\sum A \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + ... + 14 \cdot n_{14}}{n_1 + n_2 + n_3 + ... + n_{14}} = \frac{9 \cdot 2 + 11 \cdot 4 + 12 \cdot 3}{2 + 4 + 3} = 8,7, \qquad (1.2)$$

де A - квалітет обробки;

n_i - число розмірів відповідного квалітету.

При такому значенні коефіцієнта точності обробки деталь вважається технологічною, оскільки КТЧ більше нормативного значення (0,8).

Коефіцієнт шорсткості поверхні дорівнює:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Б_{ср}} = 1 - \frac{1}{3,8} = 0,73, \qquad (1.3)$$

де $Б_{ср}$ – середнє значення параметра шорсткості, що визначається за формулою:

$$A_{cp} = \frac{\sum Б \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{50n_1 + 25n_2 + 12{,}5n_3 + ... + 0{,}0012 \cdot n_{14}}{n_1 + n_2 + n_3 + ... + n_{14}} = \\ = \frac{1{,}6 \cdot 2 + 3{,}2 \cdot 4 + 6{,}3 \cdot 3}{2 + 4 + 3} = 3{,}8 мкм, \quad (1.4)$$

де Б – числове значення параметра шорсткості за шкалою Ra ГОСТ 2789-73;

n_i - число поверхонь з відповідним числовим значенням параметра шорсткості.

2 Технологічний розділ

2.1 Встановлення виробничої програми випуску деталей

Виробнича програма випуску деталей встановлюється в залежності від річної потреби виробів. На початковому етапі проектування технологічного процесу річна виробнича програма випуску деталі визначається за формулою:

$$N = N_и \cdot q \cdot \left(1 + \frac{h}{100}\right) = 2000 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{1}{100}\right) = 2020 \text{ шт/рік;} \qquad (2.1)$$

де $N_и$ – річна програма випуску виробів;

q – кількість деталей даного найменування в одному виробі;

h – відсоток деталей, призначених на запасні частини (1-3%).

Основним показником, що характеризує серійне виробництво, є величина партії деталей, що одночасно запускаються у виробництво (серіями запускається виріб, що складається з певних деталей). Розмір партії визначається за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{Ф} = \frac{2020 \cdot 25}{250} = 200, \qquad (2.2)$$

де a – періодичність запуску деталей у виробництво, днів;

Ф – кількість робочих днів у році, 250.

2.2 Вибір способу отримання заготовки

Виходячи з вимог робочого креслення деталі, а саме складна геометрична форма та ливарний алюмінієвий сплав, єдиним видом заготовки може бути виливок.

Аналізуючи можливі способи лиття, враховуємо, що першорядне значення має забезпечення необхідної геометричної точності необроблюваних поверхонь, оскільки значна їх частина не може бути отримана шляхом механічної обробки.

Для виготовлення виливок складної конфігурації та високої розмірної точності з кольорових сплавів застосовують метод лиття під тиском. Цим способом отримують виливки масою від декількох грамів до десятків кілограм і параметром шорсткості поверхонь Ra 25-2,5 мкм.

Процес лиття полягає у заливці розплавленого металу в камеру стиснення машини і подальшому виштовхуванні його через ливарну систему в порожнину

металевої форми, яка заповнюється під тиском. Він економічно доцільний при виготовленні заготовок партіями понад 100 штук.

Цей метод має ряд наступних переваг:

- для лиття під тиском можна використовувати ливарні форми різної конструкції;

- за рахунок плавного та повільного заповнення форми розплавом відбувається повне витіснення з неї газів, що виключає вибракування виливків по газовим раковинам та порах;

- в процесі твердіння розплав знаходиться під тиском, що зменшує ймовірність утворення у виливках зайвих міжфазних поверхонь, усадкових раковин і пір та підвищує щільність ливарного сплаву;

- досягається мінімальна витрата металу на елементи ливарної системи, що збільшує вихід придатного лиття до 90%;

- автоматизується увесь цикл виготовлення відливок і, в першу чергу, складна та відповідальна операція відливки форми.

На підставі вищесказаного можна зробити висновок, що зазначений спосіб лиття ідеально підходить для виготовлення деталі.

Спосіб отримання виливка призначається виходячи з маси, конфігурації деталі та типу виробництва. Встановлюємо, що слід орієнтуватися на середньосерійний тип виробництва. Оскільки деталь має багато поверхонь, які за вимогами робочого креслення не піддаються механічній обробці і розміри 14 квалітету, доцільно застосувати лиття під тиском.

Цей спосіб лиття забезпечує відносно високу точність розмірів (12 квалітет), стабільність форми при високій продуктивності і прийнятну вартість в разі складної конфігурації і малих розмірах деталі в умовах серійного виробництва. З огляду на непросту форму деталі і незначні розміри, буде використана спеціальна форма для лиття під тиском.

Розміри виливка та його точність визначається виходячи з вимог державного стандарту 26645-85, який поширюється на виливки з чорних і кольорових металів та сплавів і встановлює допуски розмірів, форми, розташування і нерівностей поверхні, допуски маси і припуски на обробку.

Номінальний розмір виливка приймається рівним номінальному розміру деталі для необроблюваних поверхонь і сумі середнього розміру деталі і загального припуску на обробку для оброблюваних поверхонь.

Норми точності встановлюються на виливок в цілому і характеризуються класом розмірної точності виливка, ступенем викривлення, ступенем точності поверхонь і класом точності маси. Обов'язковому застосуванню підлягають класи розмірної точності і точності маси виливка.

Рекомендовані і прийняті значення норм точності при отриманні виливків з термооброблних кольорових легких сплавів литтям під тиском наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Найменування норми точності	Критерії	Норма точності	
		Діапазон	Прийнято
Клас розмірної точності	Найб. габаритний розмір виливка до 250 мм	6-10	7
Ступінь жолоблення	Відношення довжини до діаметру більше 2	3-6	5
Ступінь точності поверхні	Найб. габаритний розмір виливка до 250 мм	6-11	8

Ряд припусків призначається залежно від прийнятої ступеня точності поверхні. Призначаємо п’ятий, з рекомендованого діапазону 2-5.

Величина припуску на механічну обробку призначається залежно від ряду припуску, загального допуску елемента поверхні і виду остаточної обробки (чорнова, напівчистова, чистова, тонка). Загальний допуск враховує спільний вплив допуску розміру від поверхні до бази та допусків форми і розташування поверхні. Він встановлюється за спеціальною таблицею після призначення допусків розміру і форми поверхні.

Для того, щоб визначити, на які поверхні необхідно призначити припуск на механічну обробку, на яких утворюється технологічний напуск, а які залишаться необробленими, проектується форма виливка.

Значення припусків і допусків на розміри заготовки, встановлені згідно з прийнятими вихідними даними відповідно до ДСТУ 2839-94, наведені у таблиці 2.2. Для оброблюваних і необроблюваних поверхонь виливка встановлюється симетричне розташування полів допусків.

При проектуванні заготовки прийнято до уваги, що форма деталі в поєднанні з прийнятою формою для заливки, дозволяють використовувати радіуси заокруглень 1,5 мм. Шорсткість отриманої заготовки складає Ra 10мкм. З урахуванням цих рекомендацій і даних таблиці 2.2 виконані робоче креслення виливка.

Таблиця 2.2

Розмір поверхні, мм	Номінальний розмір, мм	Допуск розміру, мм	Допуск форми, мм	Загальний допуск, мм	Припуск на сторону, мм	Розміри заготовки, мм
83JS11	83	1,1	0,32	1,2	1,7	84,7±0,55
∅130H11	130	1,2	0,4	1,4	1,9	∅126,2±0,6
∅120H11	120	1,2	0,32	1,2	1,7	∅116,6±0,6
∅48H11	48	1	0,32	1,1	1,6	∅44,8±0,5
∅35H9	35	0,9	0,32	1,1	1,8	∅31,4±0,45
∅20H9	20	0,8	0,32	0,9	1,6	∅16,8±0,4

На основі отриманих даних про припуски на механічну обробку, створено 3D моделі деталі та заготовки з використанням програмного продукту Solidworks 2018. Маючи моделей програма вирахувала реальні маси деталі та заготовки.

Одним з показників технологічності конструкції заготовки є коефіцієнт вагової точності, який визначається за формулою:

$$К_{В.Т} = \frac{G_Д}{G_З} = \frac{0,81}{0,9} = 0,9, \qquad (2.3)$$

де $G_Д$ - маса готової деталі;

$G_З$- маса заготовки, що надходить із заготівельного цеху.

Значення коефіцієнта вагової точності досить висока для литої заготовки, одержаної в умовах серійного виробництва.

2.3 Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі

При розробці маршруту виготовлення деталі орієнтуємося на вигляд застосовуваної заготовки та її точність. Кількість технологічних операцій, їх концентрація буде визначатися методами обробки поверхонь, які призначені виходячи з необхідного квалітету, розміру, параметра шорсткості та умов оброблюваності алюмінієвих ливарних сплавів. Перелік оброблюваних поверхонь і методи обробки, які забезпечують виконання вимог креслення, наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Розмір поверхні, мм	Квалітет	Ra, мкм	Метод обробки поверхні
Плоскі поверхні			
83±0,11	11	3,2	Фрезерування однократне
Внутрішні поверхні			
$\varnothing 130^{+0,25}$	11	3,2	Розточування однократне
$\varnothing 120^{+0,22}$			Розточування однократне
$\varnothing 48^{+0,16}$			Розточування однократне
$\varnothing 35^{+0,062}$	9	1,6	Розточування чорнове Розточування чистове
$\varnothing 20^{+0,052}$			
8 шт$\varnothing 5,2^{+0,12}$	12	6,3	Свердління
4 шт$\varnothing 4^{+0,12}$			Свердління
4 шт$\varnothing 3,2^{+0,12}$			Свердління
1,5×45° на ∅130	-	-	Точіння
1,5×45° на ∅35	-	-	Зенкерування

Конструкція деталі та розташування обробних поверхонь дозволяють провести механічну обробку деталі однією операцією з одного установу при використанні потворного столу. Технологічною базою для обробки деталі є дві циліндричні поверхні та їх торці. Вони не будуть оброблятись, так як установча та технологічна бази збігаються. Мінімальну трудомісткість конкретної обробки при високій концентрації і продуктивності, а також відсутність витрат на переналагодження, забезпечить використання фрезерно-розточного верстату.

Обробка деталі здійснюється в двох сторін. З однієї стороні деталі відбувається фрезерування торця, розточування поверхонь, розточування і

зенкування отворів, а з іншої - свердлення отворів та розточування поверхні. Усі переходи входять в одну операцію, змінюються лише інструменти з інструментального магазину. Таку обробку, з досягненням високої концентрації переходів, мінімальною трудомісткістю і значним зниженням машинного і допоміжного часу, можна здійснити за допомогою фрезерно-розточного верстата з числовим програмним забезпеченням з автоматичною зміною інструменту.

Після механічної обробки слідує лакофарбова операція, на якій необхідні поверхні покривають емаллю.

Технологічний маршрут виготовлення деталі завершується,на якій здійснюється комплексний контроль розмірів поверхонь та їх взаємного розташування. Маршрут обробки деталі «Корпус» наведено у таблиці2.4.

Таблиця 2.4

№ оп.	Найменування операції	Короткий зміст операції	Модель обладнання
05	Програмна	Комплексна обробка усіх поверхонь	S500U
10	Лакофарбова	Покриття поверхонь емаллю	
15	Контрольна	Комплексний контроль деталі	Mora RIMUS 564

2.4 Розрахунок припусків механічної обробки

Розрахунок припусків здійснюється на дві поверхні, одна з яких циліндрична, а друга плоска. На поверхню діаметром 35H9($^{+0,062}$)та лінійний розмір 83JS11(±0,11)мм. Припуски визначаються розрахунковим методом, результати відображені у таблицях 2.5 та 2.6 відповідно.

Таблиця 2.5

МОП ∅35H9 ($^{+0,062}$)	Припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мкм	Розмір, мм		Припуск, мм	
				d_{min}	d_{max}	Z_{min}	Z_{max}
Заготовка		31,462	1100	32,5	31,4		
Розточування чорнове	2,4	33,862	250	34,05	33,8	2,4	1,55
Розточування чистове	1,2	35,062	62	35,062	35,0	1,2	1,01

Таблиця 2.6

МОП 83JS11(±0,11)	Припуск, мм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мкм	Розмір, мм		Припуск, мм	
				d_{min}	d_{max}	Z_{min}	Z_{max}
Заготовка		84,81	1200	84,8	86		
Фрезерування однократне	1,7	83,11	250	83,1	84,35	1,7	1,65

2.5 Детальна розробка операцій технологічного процесу

Операція 10 Програмна

Операція виконується на п’ятивісьомову верстаті станку Haas VR-8 з ЧПК. Верстат має магазин на 50 інструментальних гнізд та поворотну інструментальну голівку, що дозволяє виконувати обробку деталі з одного установу. Заготовка базується у спеціальному пристосуванні по двом циліндричнім поверхням та їх торцям. Інструмент та оснащення обрані з каталогу TaeguTec 2022. Зміст та оснащення операції приведено у таблиці 2.7. Усе підходе під конус HSK-A63 ER32x120

Таблиця 2.7

№ пер.	Зміст інструментального переходу	Ріжучий Інструмент або Пластина	Державка	Цанга	Патрон	Режими різання
1	Фрезерування торцьової поверхні $\varnothing 130^{+0,25}$ мм.	AXCT 060202R-AL Без покриття K10 ***E 242***	TE90AX 314-12-06 ***E 127***	CSR 20-12 ***G 155***	HSK A 63 TMC 20-105 ***G 42***	S=0.1-0.5 мм/об V=800-900м/мин t=1.7 мм ***E 288***
2	Фрезерування внутрішнього $\varnothing 130^{+0,25}$ мм.					
3	Фрезерування внутрішнього $\varnothing 120^{+0,22}$ мм.					
4	Фрезерування внутрішнього $\varnothing 35^{+0,062}$ мм.					
5	Фрезерування внутрішнього $\varnothing 20^{+0,052}$ мм.					
6	Фрезерування внутрішнього $\varnothing 48^{+0,16}$ мм.					
7	Свердління $\varnothing 3.2^{+0,12}$ мм.	NHD 032-014-06 PE3	-			Vc=70-200 м/мин S=0.1-0.25 мм/об ***D 198***
8	Свердління $\varnothing 4^{+0,12}$ мм.	NHD 040-017-06 PE3	-			
9	Свердління $\varnothing 5.2^{+0,12}$ мм.	NHD 052-020-06 PE3	-			
10	Зенкерувати фаску 1×45° ∅ 35 мм	15 0170	-			S=0.1-0.5 мм/об Vc=25 м/мин

*Зенкер був обраний із каталогу Hoffman Group

Таблиця 2.8 Стисла характеристика верстата Haas VR-8

Довжина інструментального столу, мм.	1626
Ширина інструментального столу, мм.	914
Кількість Т-образних пазів круглого стола	7
Ширина пазів стола, мм	16
Конус шпинделя	HSK-A63 ER32x120
Кількість частот обертання шпинделя	Безступеневого регулювання
Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв	0 - 20000
Кількість керованих координат	5
Діапазон робочих подач по осям X, Y, Z, мм/хв	1 - 15000
Найбільше зусилля подачі, Н	15124
Кількість місць інструментального магазину, шт.	50
Система ЧПК	Siemens Sinutrain
Номінальна напруга живлення, В	380
Габаритні розміри (LxBxH), мм.	1900×3500×3480
Маса, кг.	11410

Детальний розрахунок режимів різання для одинадцятого переходу: свердлення отвору$\varnothing 5{,}2^{+0{,}12}$мм.

Глибина різання свердла - це припуск на сторону оброблюваного отвору, при свердлінні він становить половину діаметра,2,6 мм. У нашому випадку, свердло робить один прохід. Подачу при свердлінні призначають з урахуванням вимог до параметрів шорсткості та точності обробки отвору і в залежності від міцності характеристик оброблюваного матеріалу.

Розрахунок проводимо за довідковою літературою під номером 11. У даному випадку ми обробляємо алюмінієвий сплав, отвір діаметром D = 5,2 мм і необхідна шорсткість поверхні Ra6,3, з цього вибираємо подачу з 2-ї групи. Визначаємо її якS_0 = 0,2 мм/об.

Коригуємо подачу з урахуванням поправочних коефіцієнтів:

$$S = S_0 \times Ks_d \times Ks_m = 0{,}2 \times 1{,}0 \times 0{,}75 = 0{,}157 \text{ мм/об}, \quad (2.4)$$

Де Ks_d- коефіцієнт що враховує вид отвори, глухе або наскрізне;

Ks_m - коефіцієнт що враховує групу оброблюваного матеріалу і групу

подач.

Беручи частоту обертання шпинделя 2000 об/хв, так, як верстатів є безступеневий привід подач, приймаємо розраховану подачу S=0,157 мм/об.

Наступним етапом йде визначення швидкості різання, таблична швидкість дорівнює 30 м/хв, в залежності від подачі, діаметра отвору і матеріалу деталі.

Коригуємо швидкість з урахуванням поправочних коефіцієнтів:

$V = V_0 \times Kv_m \times Kv_d \times Kv_и \times Kv_п \times Kv_0 = 30 \times 1{,}1 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 = 33$ м/хв,

де Kv_m - коефіцієнт оброблюваності матеріалу, АЛ9;

Kv_d- коефіцієнт, що враховує тип отвору, наскрізне;

$Kv_и$- коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

$Kv_п$- коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

Kv_0 - коефіцієнт, що враховує вплив охолодження.

Визначаємо частоту обертання шпинделя для забезпечення даної швидкості різання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 33}{3{,}14 \cdot 5{,}2} = 2000 \text{ об/хв}, \qquad (2.5)$$

де D - діаметр отвору, мм.

Приймаємо частоту обертання шпинделя верстата 2000об/хв.

Таким чином, дійсна швидкість різання дорівнює:

$$V_д = \frac{\pi \times D \times n}{1000} = \frac{3{,}14 \times 5{,}2 \times 2000}{1000} = 32{,}6 \text{ м/хв}. \qquad (2.6)$$

Знайдемо машинний час на зенкерування, п'ятий перехід:

$$T_5 = \frac{L}{S \times n} = \frac{4{,}5 + 1}{0{,}157 \times 2000} = 0{,}017 \text{ хв}, \qquad (2.7)$$

де$L = l + l_д$;

l - довжина отвору;

$l_д$ - додаткова довжина, перебігаючи і врізання.

Режим різання на п'ятий перехід наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Перехід	t, мм	S, мм/об	L, мм	V, м/хв	n, об/хв	T_5, хв
11	2,6	0,157	5,5	32,6	2000	0,017

За такою ж схемою вважаємо режими різання і машинного час на всі переходи, результати розрахунком відображені у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10

Перехід	t, мм	S, мм/об	L, мм	V, м/хв	n, об/хв	T_i, хв
1	1,7	0,315	425	314	2000	0,681
2	1,9	0,16	5,5	326,6	800	0,043
3	1,7	0,16	4,5	301,4	800	0,035
4	1	0,1	2	326,5	800	0,025
5	1,0	0,1	37	137	1250	0,296
	1,2					
6	0,6	0,08		175,8	1600	0,289
	0,6					
7	1	0,1	2	87,9	800	0,025
8	1,6	0,125	18,5	241,5	1600	0,092
9	1,6	0,08	5,5	20	2000	0,034
10	2	0,1	5,5	25,1	2000	0,027
11	2,6	0,157	5,5	32,6	2000	0,017

Так як, умовою дипломної роботи є серійне виробництво, нам необхідно визначити штучно-калькуляційний час, за формулою:

$$T_{шк} = T_{ш} + \frac{T_{пз}}{n} = 5{,}54 + \frac{36{,}5}{120} = 5{,}84 хв, \qquad (2.8)$$

де $T_{ш}$- штучний час;

$T_{пз}$ - підготовчо-заключний час;

n - кількість деталей в партії.

Штучний час $T_{ш}$ знаходимо з формули:

$$T_{ш} = (T_{о} + T_{в}) \cdot \left[1 + \frac{(T_{обс} + T_{отд})}{100}\right] =$$
$$= (1{,}58 + 3{,}942) \cdot \left[1 + \frac{(0{,}22 + 0{,}22)}{100}\right] = 5{,}54 хв, \quad (2.9)$$

де $T_о$ - сума часу всіх технологічних переходів на обробку деталі;

$T_в$ - допоміжний час обробки;

$T_{обс}$ - час на обслуговування робочого місця;

$T_{отд}$ - час на відпочинок і особисті потреби працівника.

Для того, щоб знайти суму часу витраченого на обробку деталі в кожному з переходом, скористаємося формулою:

$$T_о = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10} + T_{11} + T_{12} =$$
$$= 0{,}681 + 0{,}043 + 0{,}035 + 0{,}025 + 0{,}016 + 0{,}296 + 0{,}289 + 0{,}025 + 0{,}092 +$$
$$+ 0{,}034 + 0{,}027 + 0{,}017 = 1{,}59 хв. \quad (2.10)$$

Допоміжний час складається з: допоміжного часу на встановлення та зняття деталі з пристосування, допоміжного часу пов'язаного з переходами і допоміжного часу на контрольні вимірювання.

Допоміжний час на установку і зняття деталі з пристосування одно 0,3 хв.

У свою чергу, допоміжне час що з переходами, включає в себе:

- зміна інструменту з інструментального магазину 0,066×12 = 0,792 хв;

- підведення і відведення головки шпинделя до оброблюваної поверхні 0,12×12 = 1,44 хв;

- поворот стола на 180° у процесі виконання переходів в операції 0,3 хв;

- установка і зняття захисного Корпуса 0,04 хв;

- відійти в початкове положення і запустити програму з пульта 0,15 хв.

До допоміжного часу на контрольні вимірювання в конкретної операції, ми відносимо:

- час на завмер штангенциркулем діаметрів 130 мм и 120 мм 0,16×2 = 0,32 мин;

- час на завмер штангенциркулем діаметра 48 мм, 0,2 хв;

- час на завмер штангенциркулем діаметрів 35 мм и 20 мм, 0,1×2 = 0,2 хв;

- час на завмер контрольним шаблоном фасок 1×45° на діаметрах 130 мм и 35 мм, 0,1×2 = 0,2 хв.

$T_{обс}$ та $T_{отд}$ знаходимо як 4% від оперативного часу.

Оперативне час, це сума часу на виконання всіх переходів, допоміжного часу:

$$T_{обс} = T_{отд} = (T_о + T_в) \cdot 0{,}04 = (1{,}58 + 3{,}942) \cdot 0{,}04 = 0{,}22 \text{ хв.} \qquad (2.11)$$

Всі норми часу і режими різання на всі переходи відображені в таблиці.

При підрахунку підготовчо - заключного часу, враховувалося:

- отримати креслення, технологічну документацію, програмоносій, ріжучий і допоміжний інструмент, контрольно-вимірювальний інструмент, пристосування, заготовки виконавцем до початку і здати їх після закінчення обробки партії деталей, 4 хв;

- ознайомиться з робочим кресленням, технологічною документацією, оглянути заготовки, 2 хв;

- інструктаж майстра, 2 хв;

- встановити і зняти вручну з вивірянням складне пристосування, 6 хв;

- підключити пристрій з механізованим затискачем в гидросети, 2 хв;

- встановити ріжучі інструменти з допоміжними в магазин верстата, 1,0×12=12 хв;

- встановити програмоносій в пристрій, що зчитує і зняти, 1 хв;

- перевірити працездатність пристрою, що зчитує і перфострічки, 1 хв;

- ввести програму в пам'ять системи ЧПУ з програмоносія, 1 хв;

- налаштувати нульове положення шпинделя, 3,5 хв

- провести пробну обробку деталі, 2 хв.

Структурні складові технічної норми часу на операцію і результати розрахунку по одній - калькуляційного часу на виготовлення однієї деталі наведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

	Структурні складові норми часу		Час, хв
$T_о$	Час на виконання всіх переходів в операції		1,58
$T_в$	Допоміжне час на установку і зняття деталі		0,3
	Допоміжне час, пов'язане з переходами		2,722
	включає в себе:		
	зміна інструменту з інструментального магазину		0,066×12
	підведення і відведення головки шпінделя до поверхні		0,12×12
	поворот столу на 180° в положення 2		0,3
	установка і зняття захисного Корпуса		0,04
	відійти на відстань і запустити програму з пульта		0,15
	Допоміжному часу на контрольні вимірювання		0,92
	включає в себе:		
	час, який перекривається	вимір штангенциркулем	
		розміри∅130, ∅120	2×0,16
		∅48	0,2
		∅35, ∅20	2×0,1
		контроль шаблоном	
		фаски	2×0,1
$T_{оп}$	Оперативний час (1,58+0,3+2,722+0,92)		5,522
$T_{пз}$	Підготовчо - заключний час		36,5
$T_{обс}$	Час на обслуговування робочого місця, 4% от $T_{оп}$		0,22
$T_{отд}$	Час на відпочинок і власні потреби 4% от $T_{оп}$		0,22
$T_ш$	Штучний час на виконання операції (ф.2.9)		5,54
$T_{шк}$	Штучно - калькуляційний час (ф.2.8)		5,84

У таблиці 2.12 представлені всі дані по операції 10 для зручного перенесення їх і операційну карту.

Таблиця 2.12

Операція 10. Програмна					
Модель станка	Пристосування	$T_о$	$T_в$	$T_{пз}$	$T_{шк}$
		хв	хв	хв	хв
S500U	Спеціальне	1,58	3,942	36,5	5,84
Короткий зміст переходу					
Перехід					
1	Фрезерування поверхні 138 мм				

2	Фрезерування Ø 130 мм
3	Фрезерування Ø 120 мм
4	Фрезерування Ø 35 мм
5	Фрезерування Ø 20 мм
6	Фрезерування Ø 48 мм
7	Свердлення отворів Ø 3.2 мм
8	Свердлення отворів Ø 4 мм
9	Свердлення отворів Ø 5.2 мм
11	Зенкерування фаски на Ø 35 мм

Характеристика переходу						
Перехід	t, мм	S, мм/хв	$L_{рх}$, мм	V, м/хв	n, об/хв	T_i, хв
1	1,7	630	425	314	2000	0,681
2	1,9	125	5,5	326,6	800	0,043
3	1,7	125	4,5	301,4	800	0,035
4	1	80	2	326,5	800	0,025
5	1,0	125	37	137	1250	0,296
	1,2					
6	0,6			175,8	1600	0,289
	0,6					
7	1	80	2	87,9	800	0,025
8	1,6	200	18,5	241,5	1600	0,092
9	1,6	160	5,5	20	2000	0,034
10	2	200	5,5	25,1	2000	0,027
11	2,6	315	5,5	32,6	2000	0,017

2.6 Моделювання технологічного процесу обробки деталі у САМ-системі Power Mill

САМ - системи автоматизованого виробництва відносяться до комп'ютерного програмного забезпечення, яке використовується для проектування і виробництва виробів.

САМ є комп'ютерною технологією для проектування і випуску робочої документації. Системи САМ використовуються для проектування виробів і програмування виробничих процесів, зокрема, верстатів з ЧПУ. У САМ-системах використовуються моделі і збірки, створені в CAD-системах, для формування траєкторій переміщення інструментів, які керують верстатами, що

створюють фізичні деталі по проектам. Програмне забезпечення CAM найбільш часто використовується для обробки прототипів і готових деталей.

- максимально автоматизована CAM-система, заснована на обробці типових конструктивно-технологічних елементів з використанням бази знань рекомендованих режимів різання. Дозволяє розробляти надійні ефективні УП для фрезерних, токарних, токарно-фрезерних і верстатів з ЧПУ.

У даному розділі представлена токарно-фрезерна обробка деталі "Корпус" (рис.2.1) з ілюстрованими переходами та описом операцій. Як програму для реалізації обробки деталі було обрано PowerMill (компанії Autodesk) - пакет для підготовки високоефективних керуючих програм для токарно-фрезерних верстатів з ЧПУ, а також SOLIDWORKS для тривимірного моделювання деталі та заготівлі.

PowerMill має високий ступінь автоматизації розробки керуючих програм для фрезерної обробки рахунок функції автоматичного розпізнавання типових конструктивно-технологічних елементів в CAD-моделях. Можливо, як повністю автоматичне розпізнавання типових елементів, так і їх інтерактивне або навіть ручне завдання. При 3D-обробці можуть бути повністю автоматично розпізнані будь-які типи конструктивних елементів, навіть якщо вони взаємно накладаються або перетинаються

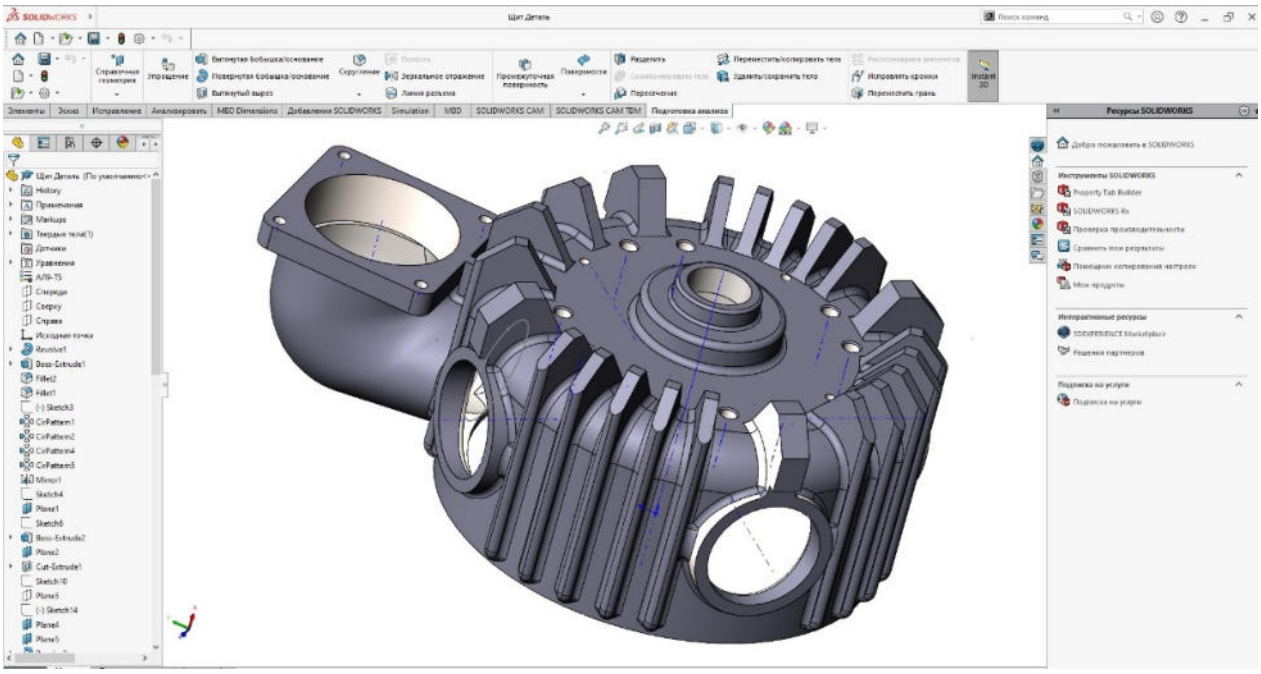


Рис. 2.1 – Моделювання деталі у SolidWorks

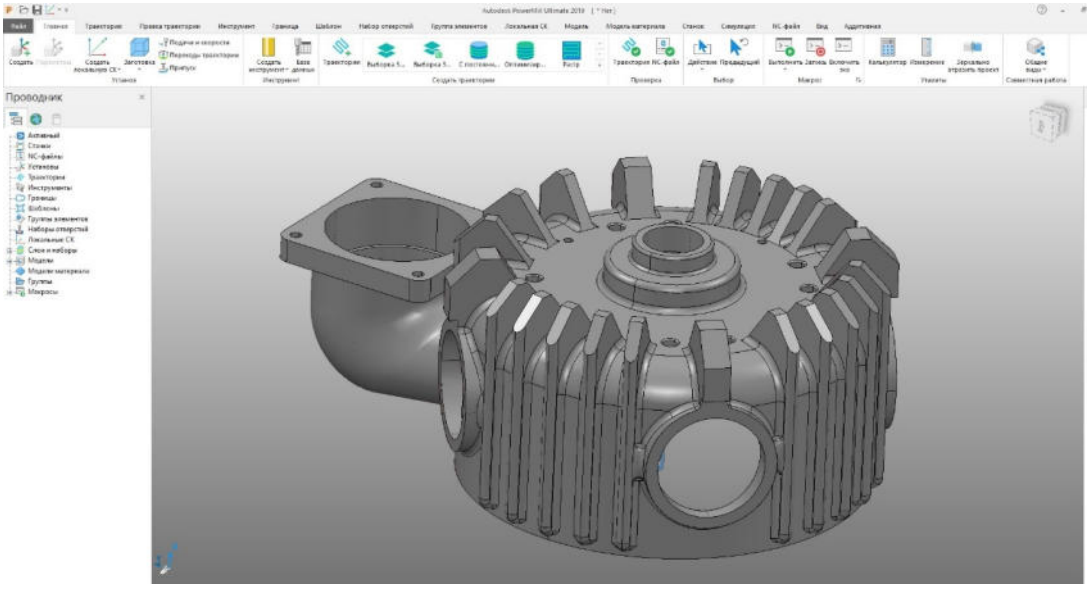


Рис. 2.2 – Імпорт моделі деталі до PowerMill

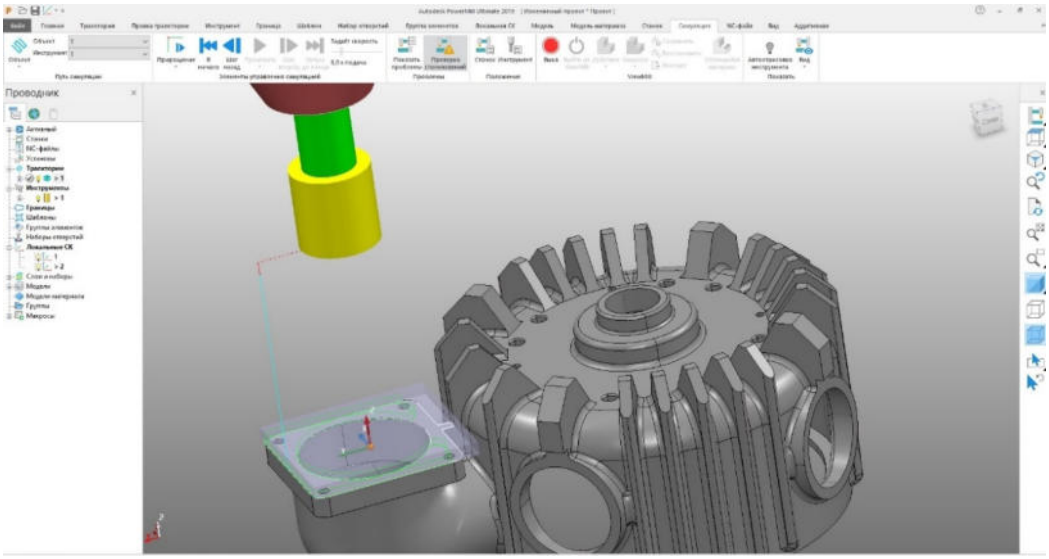


Рис. 3 – Фрезерування торцьових поверхонь

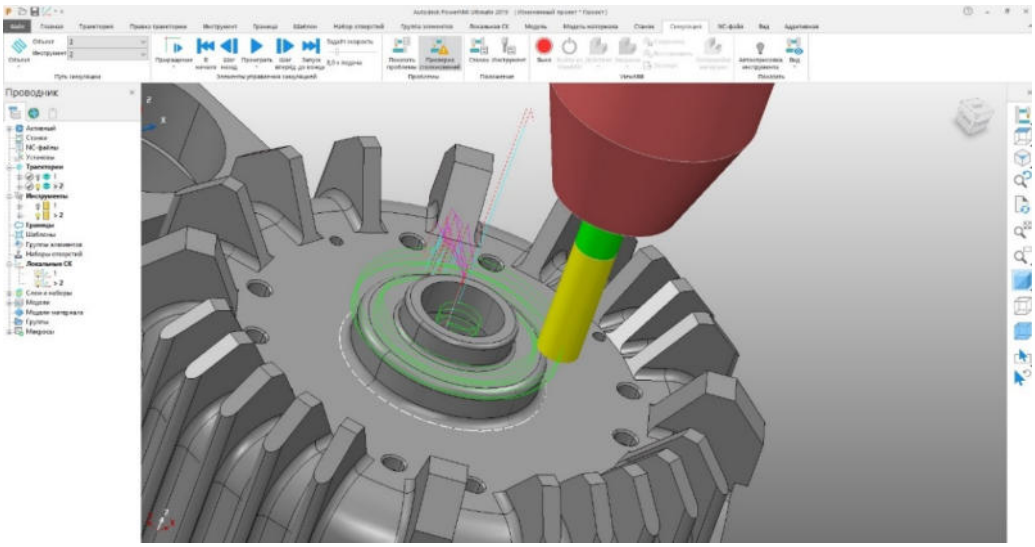


Рис. 4 – Фрезерування маточини деталі зовні

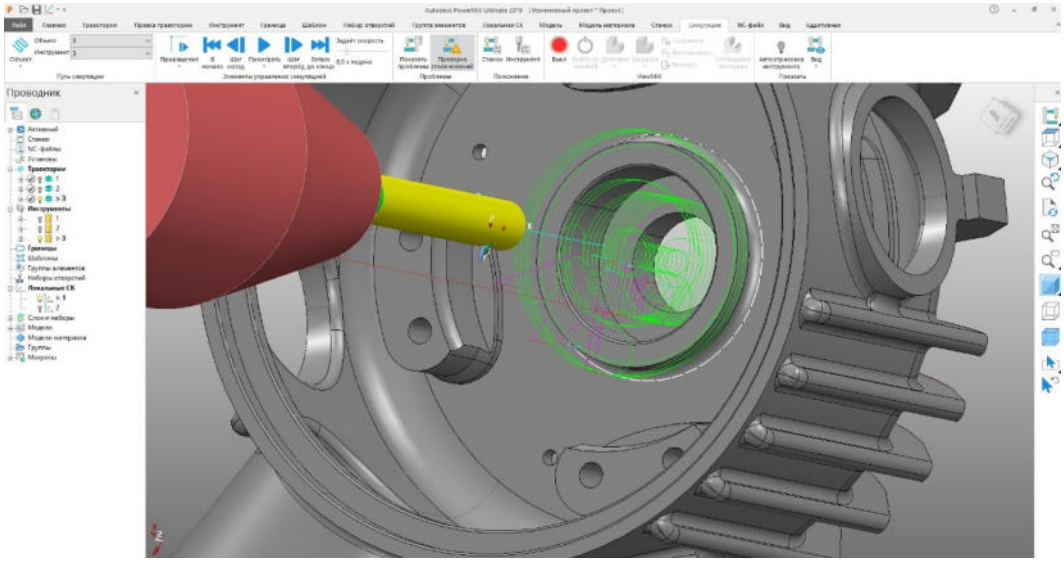


Рис. 5 – Фрезерування маточини деталі в середині

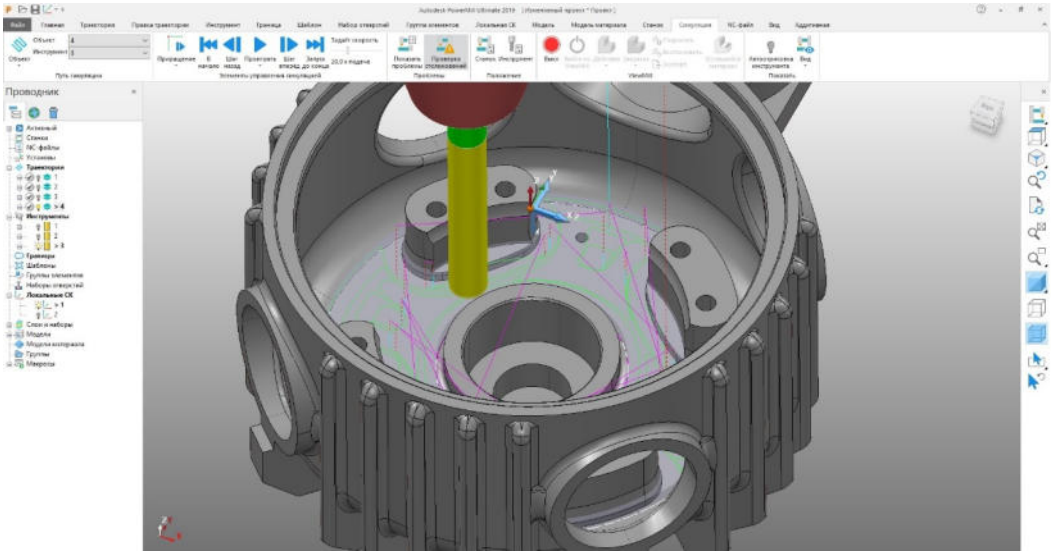


Рис. 6 – Фрезерування пласких поверхонь

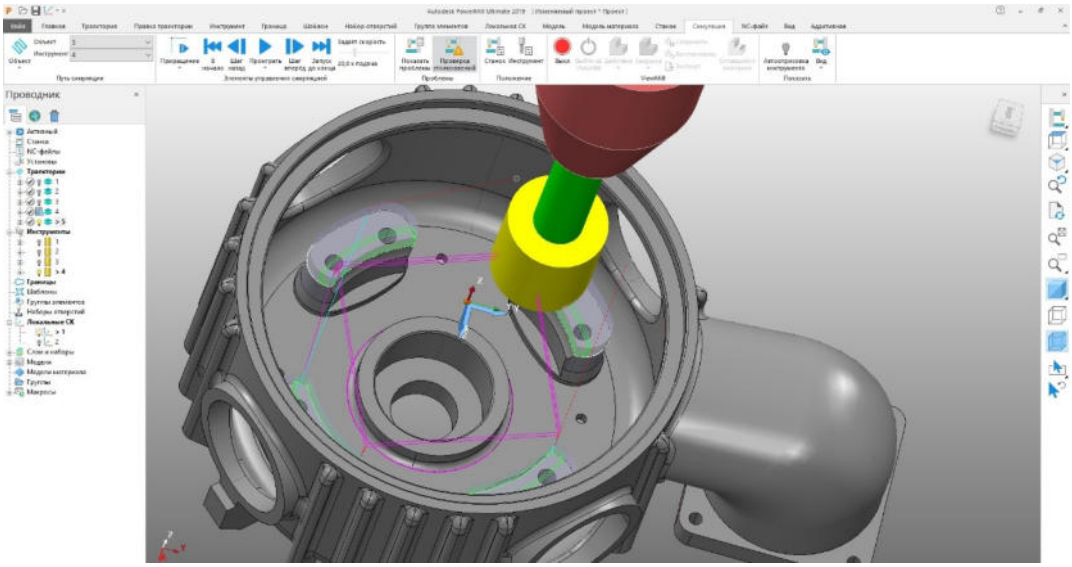


Рис. 7 – Фрезерування бобишок в середині

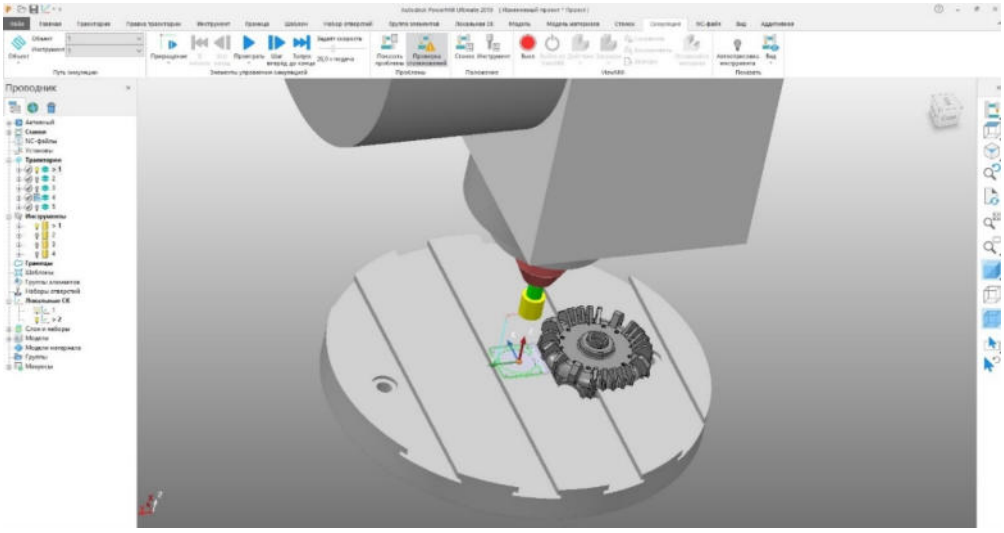


Рис. 8 – Загальний вид деталі на верстаті в симуляторі CAM-програми

Рис.9 – Багатоцільовий верстат з ЧПК для якого розрахований GM-код

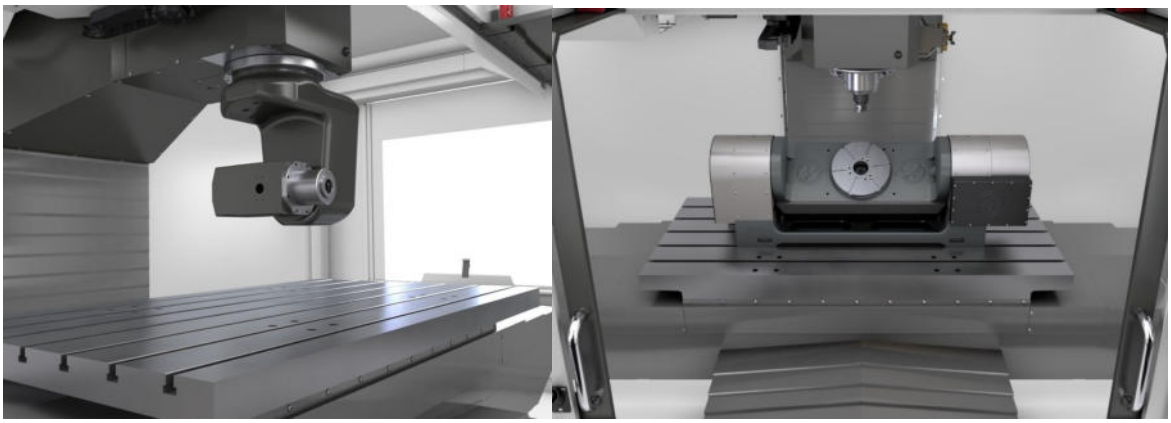


Рис. 10 – Компоновка робочої зони верстата

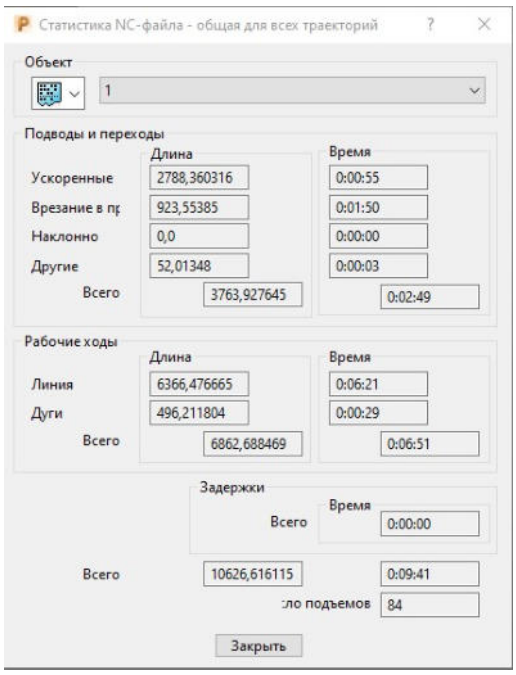


Рис. 11 – Статистичні дані за всіма операціями

Після повної обробки як результат отримуємо не тільки графічне відображення результату, але і машинний код для верстата, тобто. відбувається генерація керуючої програми. Частина цієї програми представлена рисунку 12.

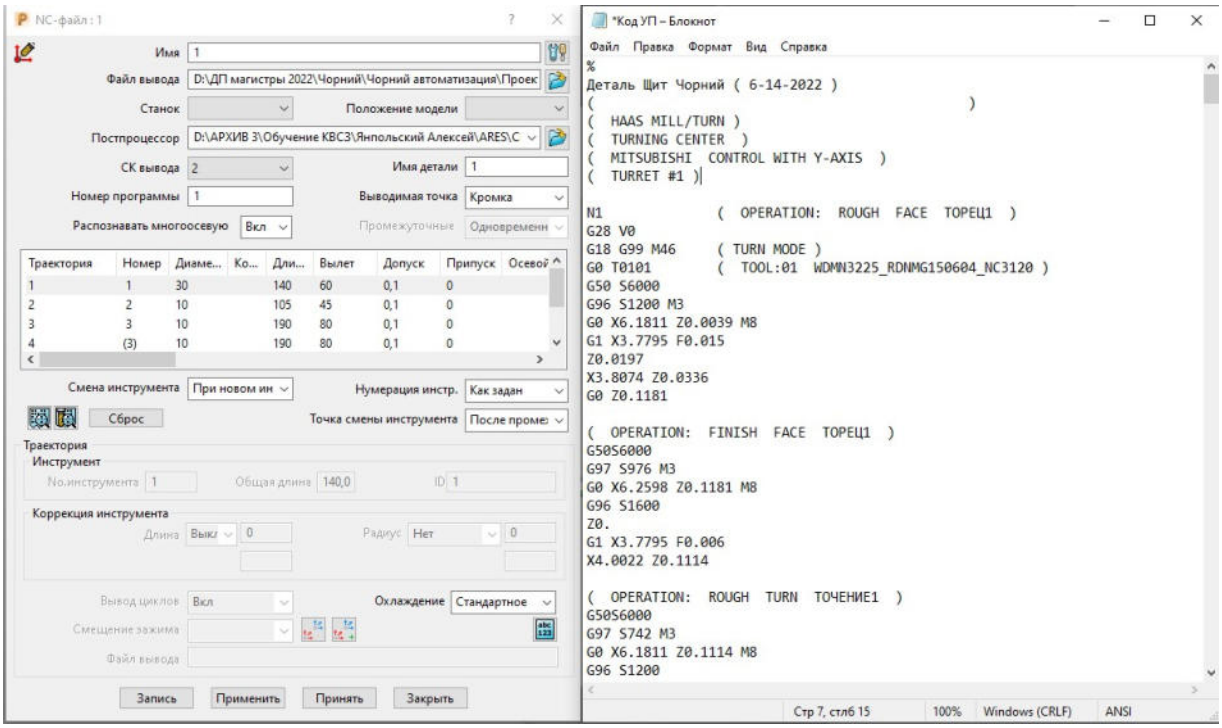


Рис. 12 – Процес постпроцесування GM-коду

Висновок: дані технічні можливості програм та обладнання на сьогоднішній день дозволяють виключити на 90% можливість появи небажаного браку ще на стадії проектування та створення УП для верстатів, що, в свою чергу, позитивно відбивається на економічній ефективності. Також варто додати, що застосування таких обробних центрів дозволяє скоротити значний верстатний парк, тобто. відбувається комбінування можливостей різних моделей в одному верстаті.

3 Конструкторський розділ

3.1 Проектування спеціального пристосування

При механічній обробці різанням на заготовку діють сили різання, об'ємні сили, а також сили другорядного і випадкового характеру. Ці сили можуть призвести до зміщення заготовки у пристосуванні в процесі різання. Тому, при розробці конструкції пристосування, особлива увага приділяється розрахунку необхідної сили закріплення. Сила закріплення повинна забезпечити незмінність положення заготовки щодо установочних елементів пристосування, запобігти її зрушення або поворот під дією сил різання, тобто забезпечити надійне закріплення протягом всього часу обробки.

Необхідну величину сили закріплення визначають шляхом вирішення задачі статики, розглядаючи рівновагу заготовки під дією прикладених до неї сил і моментів. Для цього необхідно скласти розрахункову схему.

Розрахункова схема повинна містити:

- схему установки заготовки;
- сили і моменти різання, що діють на заготовку;
- сили закріплення заготовки;
- реакції установочних і затискних елементів;
- сили і моменти тертя в місцях контакту заготовки з установочними і затискними елементами.

Розрахункова схема складена для найбільш несприятливого режиму різання, коли сили і момент, що прагнуть змінити положення заготовки в пристосуванні, максимальні. Цим режимом є п'ятий перехід - одночасне розточування двох отворів.

Величини сил та плечі їх дії надані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Pz_1, Н	Pz_2, Н	l_1, мм	L_2, мм
556,8	626,4	10	17,5

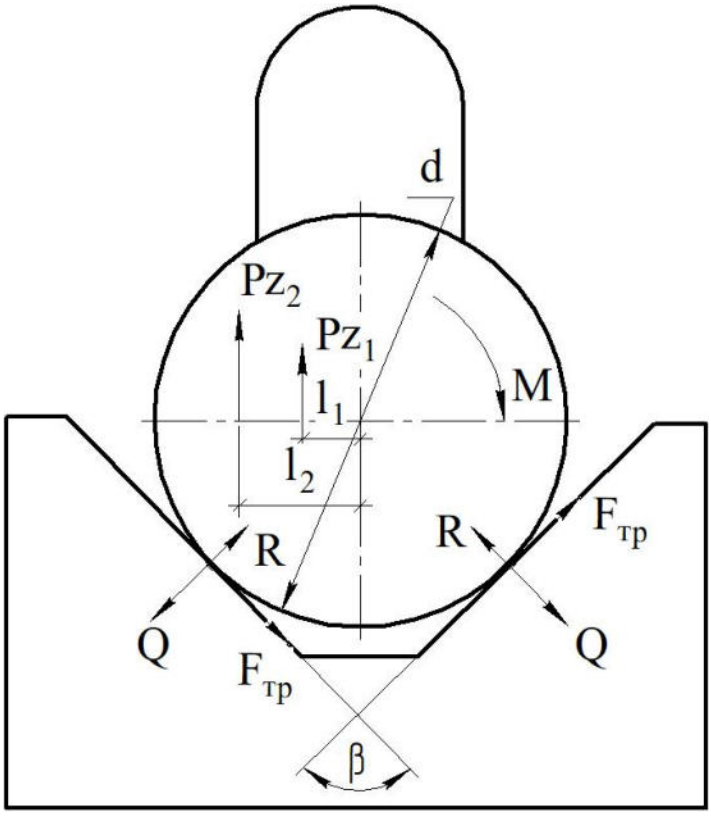


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема по знаходженню сили закріплення заготовки при установці її у призму: d – діаметр деталі (140 мм); β – кут призми (90º); $Pz_{1,2}$ – сили різання 4 Q – сила закріплення; M – момент сили різання, діючого на заготовку; R – реакція установочної поверхні призми; $F_{тр}$ – сила тертя по установочному елементу.

Для знаходження необхідної сили затискання необхідно отримати рівняння рівноваги, для цього складаємо розрахункову схему (рис.3.1). Рівняння рівноваги буде мати наступній вигляд:

$$kM = 2F_{тр}\frac{d}{2}, \tag{3.1}$$

$$kM = fRd, \tag{3.2}$$

$$M = Pz_1 \cdot l_1 + Pz_2 \cdot l_2, \tag{3.3}$$

$$R = Q, \tag{3.4}$$

Отже

$$Q = \frac{k(Pz_1 \cdot l_1 + Pz_2 \cdot l_2,)}{fd} = \frac{1{,}5 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}3 \cdot (556{,}8 \cdot 10 + 626{,}4 \cdot 17{,}5)}{0{,}25 \cdot 82} = 1651(\text{Н}) \tag{3.5}$$

де k – коефіцієнт запасу закріплення, що знаходиться за формулою:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2, \tag{3.6}$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу (приймають $k_0 = 1{,}5$);

k_1 – коефіцієнт, враховуючий збільшення сили різання при затупленні ріжучого інструменту (приймаємо $k_1 = 1{,}05$);

k_2 – коефіцієнт, враховуючий непостійність сили затискання (для ручного затискання $k_2 = 1{,}3$);

f – коефіцієнт тертя по установочному елементу (приймаємо f = 0,25);

Визначення мінімального діаметру затискного гвинта здійснюється за формулою:

$$d_{min} = 1{,}4\sqrt{\frac{Q}{[\sigma]}} = 1{,}4\sqrt{\frac{1651}{80}} = 6{,}36 \text{ (мм)} \tag{3.7}$$

де [σ] – допустима напруга на розтяг для сталі 45 [σ] = 80…100 МПа (приймаємо 80 МПа).

Приймаємо діаметр затискного бовта 10 мм.

Для забезпечення затискного зусилля Q гвинту необхідно повідомити момент, величина якого розраховується за формулою:

$$M_{зат} = Q\frac{d_{ср}}{2}tg(\alpha + \varphi_{пр}) = 1651 \cdot \frac{7{,}188}{2} \cdot 0{,}1536 = 911 \text{ (Нм)}, \tag{3.8}$$

$$tg\alpha = \frac{t}{\pi d_{ср}}, \tag{3.9}$$

$$tg\varphi_{пр} = \frac{f_{тр}}{\cos\beta}, \tag{3.10}$$

де $d_{ср}$ – середній діаметр різьби (таб.3.2);

t – шаг різьби (таб.3.2);

$f_{тр}$ – коефіцієнт тертя на площині(таб.3.2);

β – половина кута при вершині профілю витка різьби (таб.3.2).

Таблиця 3.2 – Параметри закріплюючого гвинта для розрахунку моменту

$d_н$, мм	$d_{ср}$, мм	t, мм	α, °	β, °	$tg(\alpha + \varphi_{пр})$
8	7,188	1,25	3°10'	30 °	0,1536

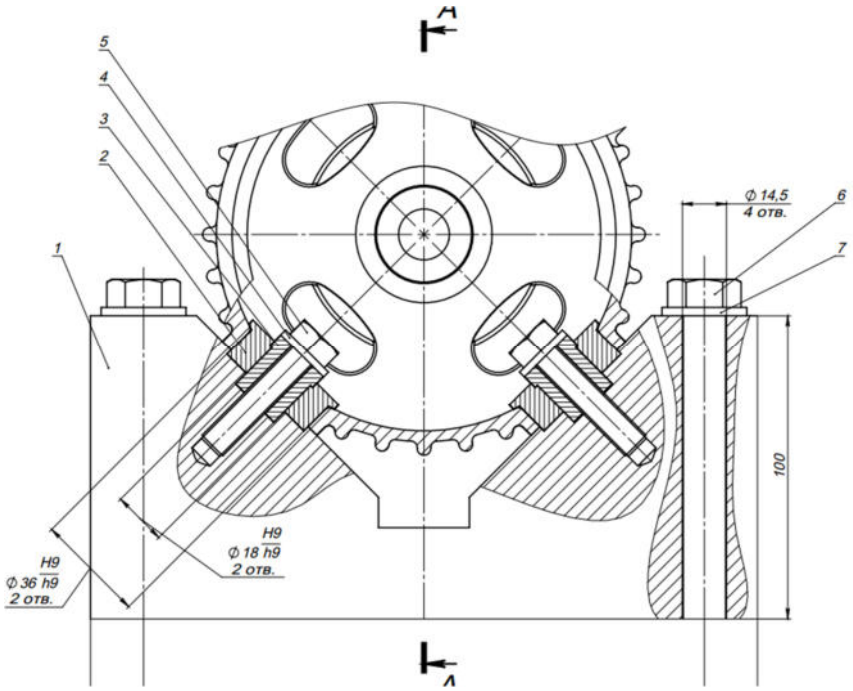


Рис 3.2 Спеціальний затискувальний пристрій кресленик

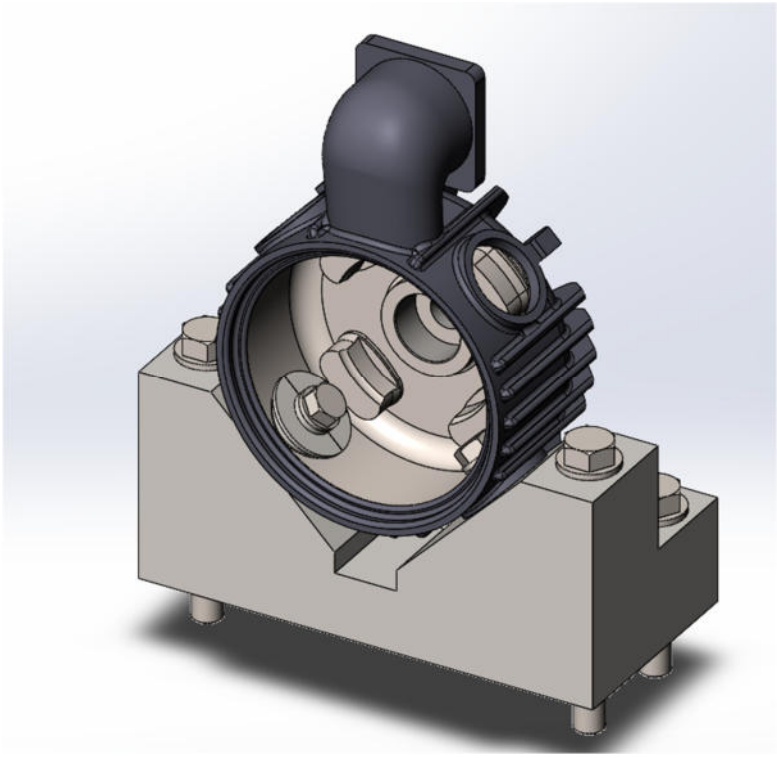


Рис 3.3 Спеціальний затискувальний пристрій у збірці

4 Науковий розділ

4.1 Постановка задачі дослідження

Навчитися розраховувати навантаження які сприймає деталь, за допомогою CAE-системами SolidWorks Simulation, методом скінченних елементів.

МСЕ – числова техніка знаходження розв'язків інтегральних та диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Це дуже актуальний метод у сучасному житті при різних побудовах, таких як аеро, морська, автомобільна та біометрична індустрія.

Виглядає це як розкладання сітки тривимірного тіла на маленькі трикутники, тобто апроксимація.

При побудові дискретної моделі безперервної величини діють у такий спосіб:

1. У розглянутій області фіксується кінцеве число крапок. Крапки ще мають назву вузли.
2. Значення безперервної величини в кожній вузловій крапці вважається змінною. Її потрібно визначити
3. Область визначення безперервної величини розбивається на кінцеве число підобластей, які називаються елементами. Ці елементи у сукупності апроксимують форму областю.
4. Для кожного елемента визначається свій поліном, але поліном підбираються таким чином, щоб зберігалося безперервність величини уздовж границь елемента.

Даний метод має наступні переваги:

1. Властивості матеріалів суміжних елементів, не обов’язково однакові, можливо розраховувати збірки.
2. Навіть криволінійні області можливо апроксимувати, це дає змогу використовувати МСЕ для складної геометрії.
3. Розмір елементів можливо змінити, це дає змогу зробити області розрахунку або сітку більш або менш щільною.
4. Можливе використання змішаних граничних умов, навантажень.

Головний недолік, це потреба у досить потужній обчислювальній техніці, але на даний момент, ця проблема не завжди є актуальною.

4.2 Автоматизація проектних процедур засобами SolidWORKS Simulation

Для того, щоб зробити розрахунок навантажень до нашої деталі, нам потрібні три її основні характеристики.

- Матеріал;
- Форма деталі;
- Граничні умови та навантаження.

Матеріал нам вже відомий, це АЛ9-Т5 ДСТУ 2839-94 Группа В51.

Форму деталі ми також маємо, це тривимірна модель деталі яку спроектували згідно із кресленником. Рис 4.2

Граничні умови та навантаженні ми призначаємо самі, або вже їх маємо, це дозволяє нам зробити перевірочний розрахунок деталі у CAE-системі.

Почнемо покроковий розрахунок нашої деталі.

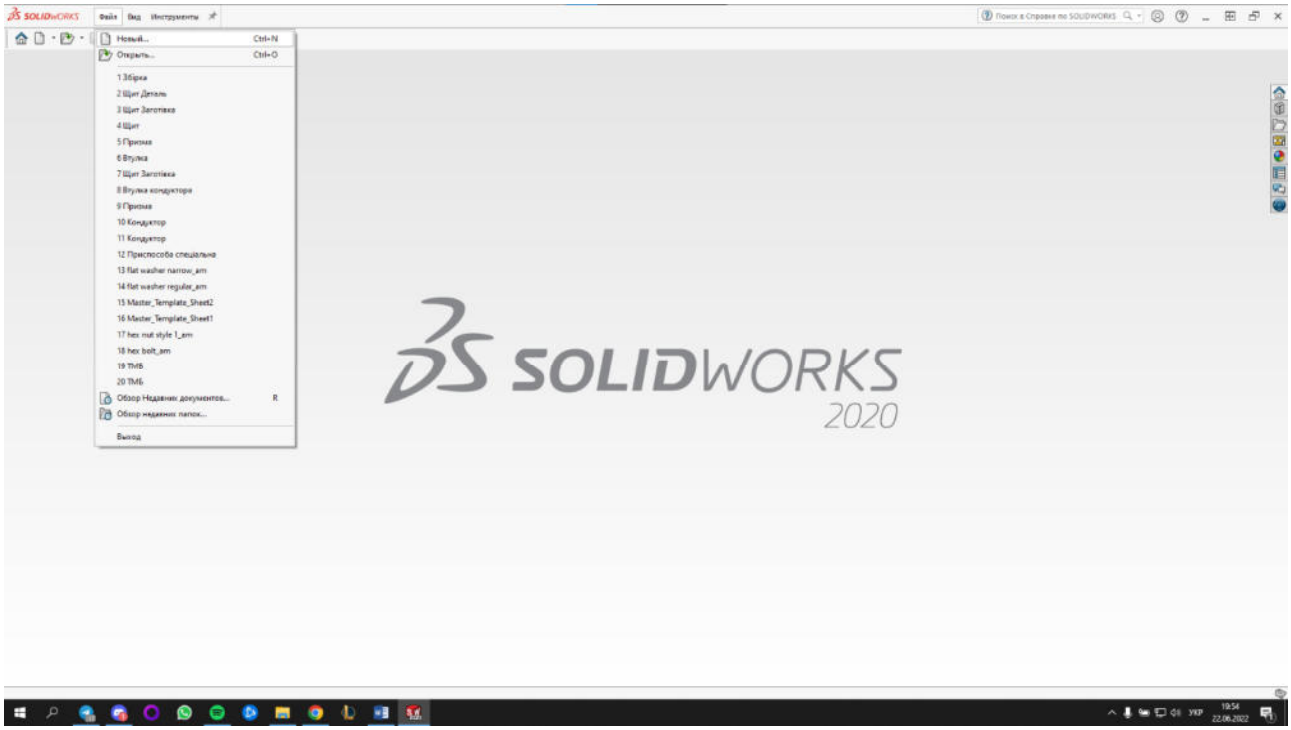


Рис 4.1 Вікно програми SolidWorks 2022

Перший крок, це відкриття програми, обираємо файл та відкрити провідник, щоб обрати нашу деталь.

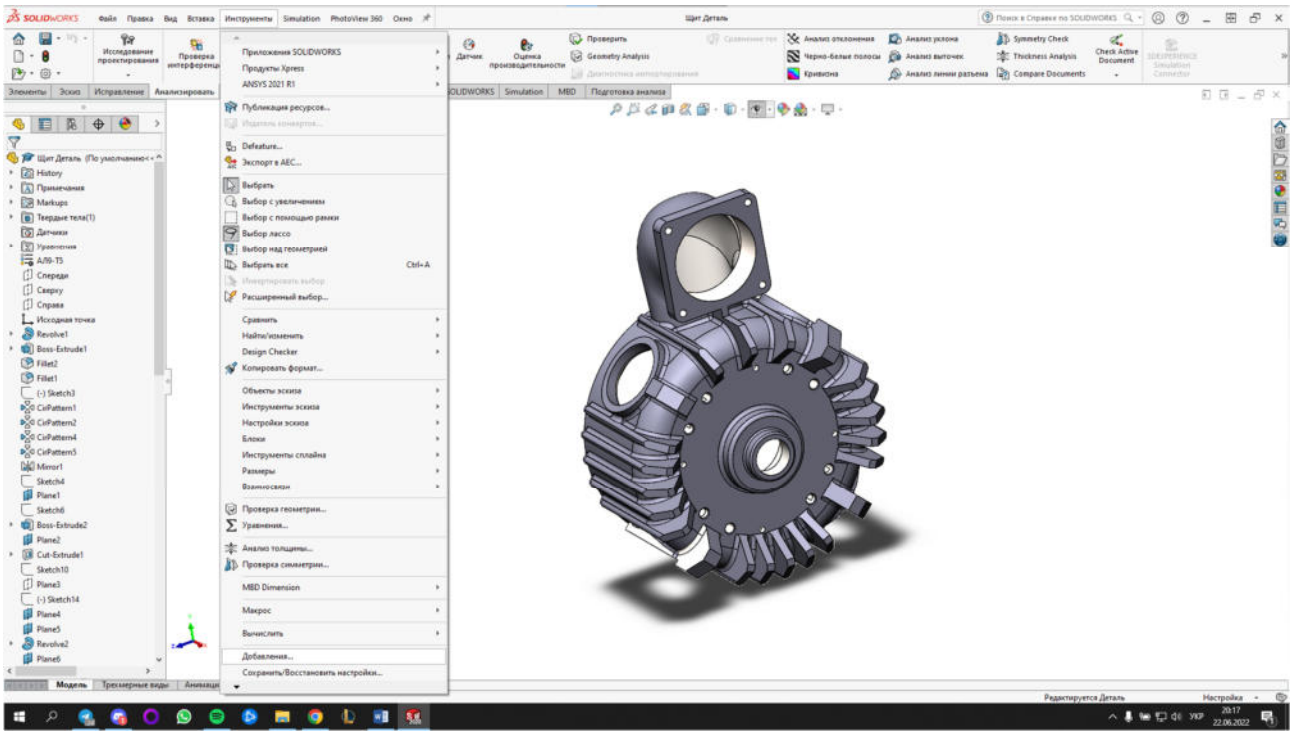


Рис 4.2 Добавлення інструменту Simulation

Тепер нам потрібно увімкнути інструмент для розрахунку МСЕ, за наступним алгоритмом.

Інструменти – Добавлення – SOLIDWORKS Simulation, поставити галочки зліва, щоб добавити у шкалу швидкого доступу програми та справа, щоб увімкнути інструмент.

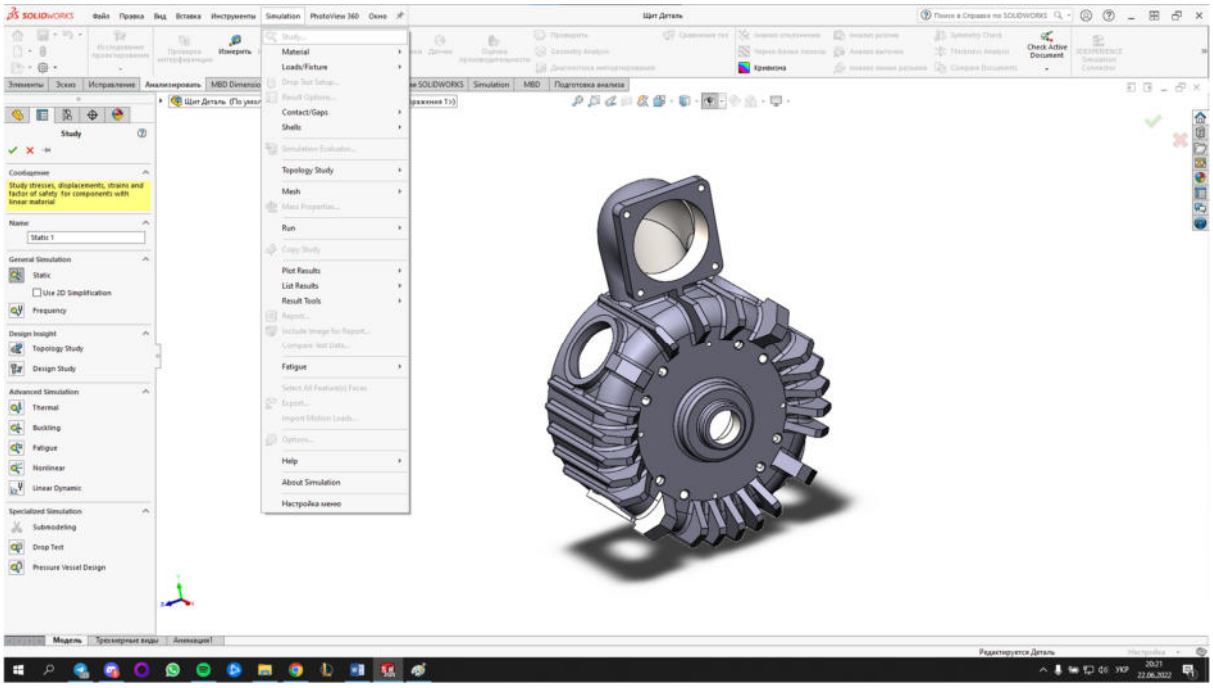


Рис 4.3 Перехід до Simulation

Для переходу до розрахункової частини, обираємо Simulation, Study тобто аналіз та тип аналізу, статичний. Також якщо необхідно тут можна обрати інші види аналізу, частотний, температурний, тощо.

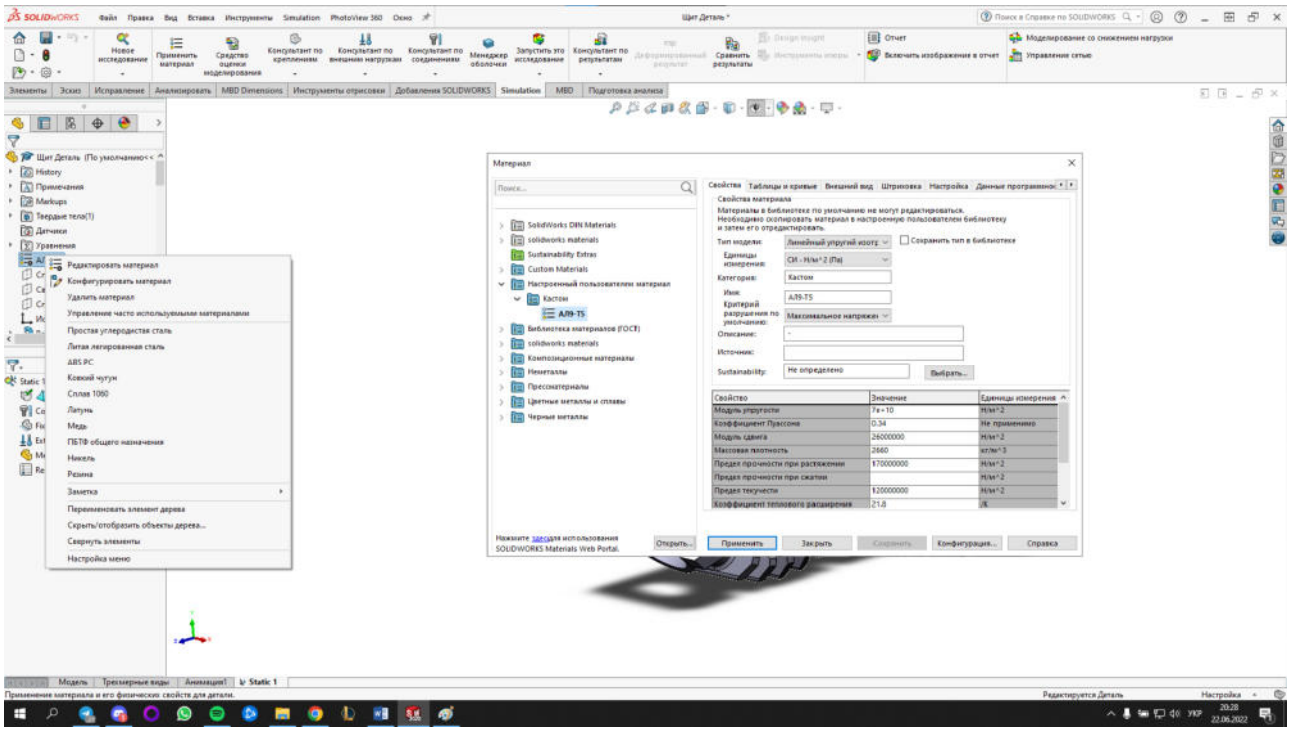


Рис 4.4 Обирання матеріалу деталі

Тепер нам потрібно обрати матеріал нашої деталі, тобто сплав алюмінію.

Обираємо матеріал, зазвичай вій невідомий та через контекстне меню редагуємо матеріал.

Зазвичай бібліотека SolidWorks має достатню кількість матеріалів, але потрібного сплаву не було знайдено, тому створимо потрібний нам.

Обираємо папку «Налаштовані користувачем матеріали», потім через контекстне меню створюємо нову категорію(у нашому випадку це «Кастом»), а потім через контекстне меню папки «Кастом» створимо новий матеріал, Рис 4.5 а потім задамо механічні властивості сплаву АЛ9, текучість, щільність, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, тощо. Рис 4.6

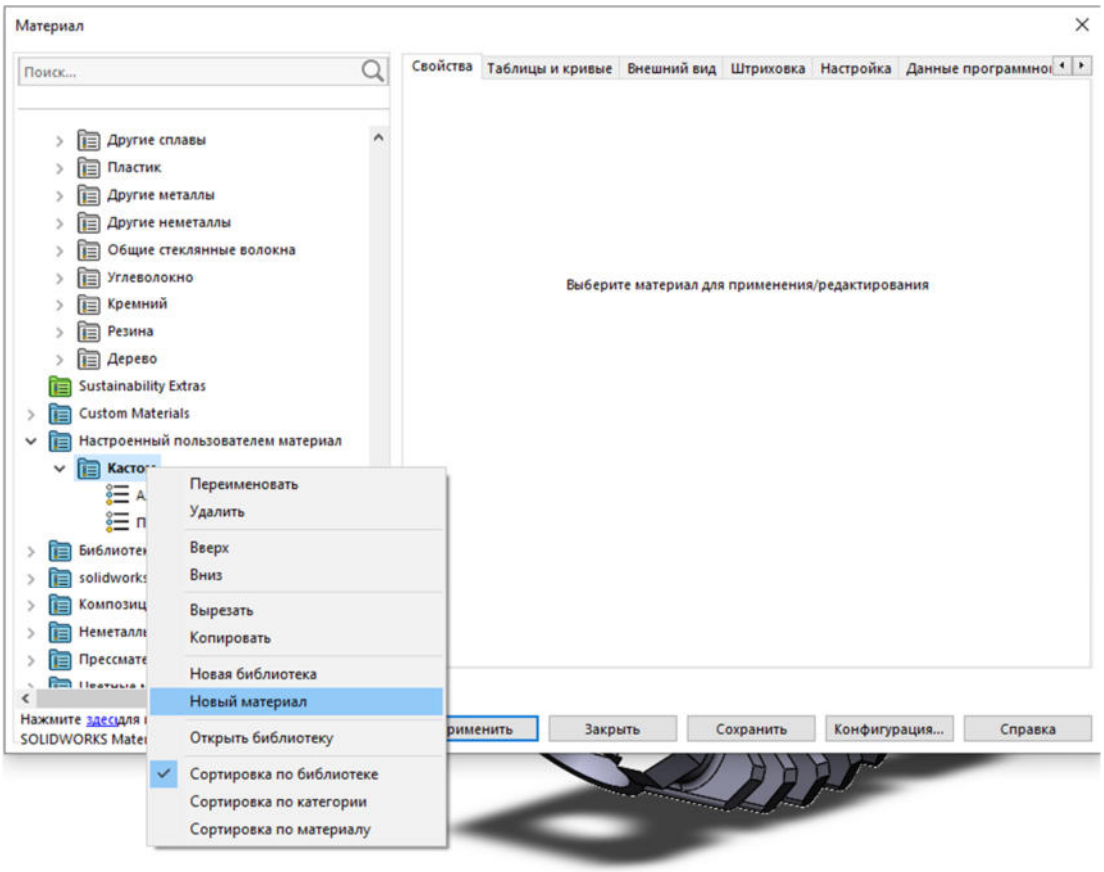


Рис 4.5 Створення сплаву АЛ9-Т5 ДСТУ 2839-94

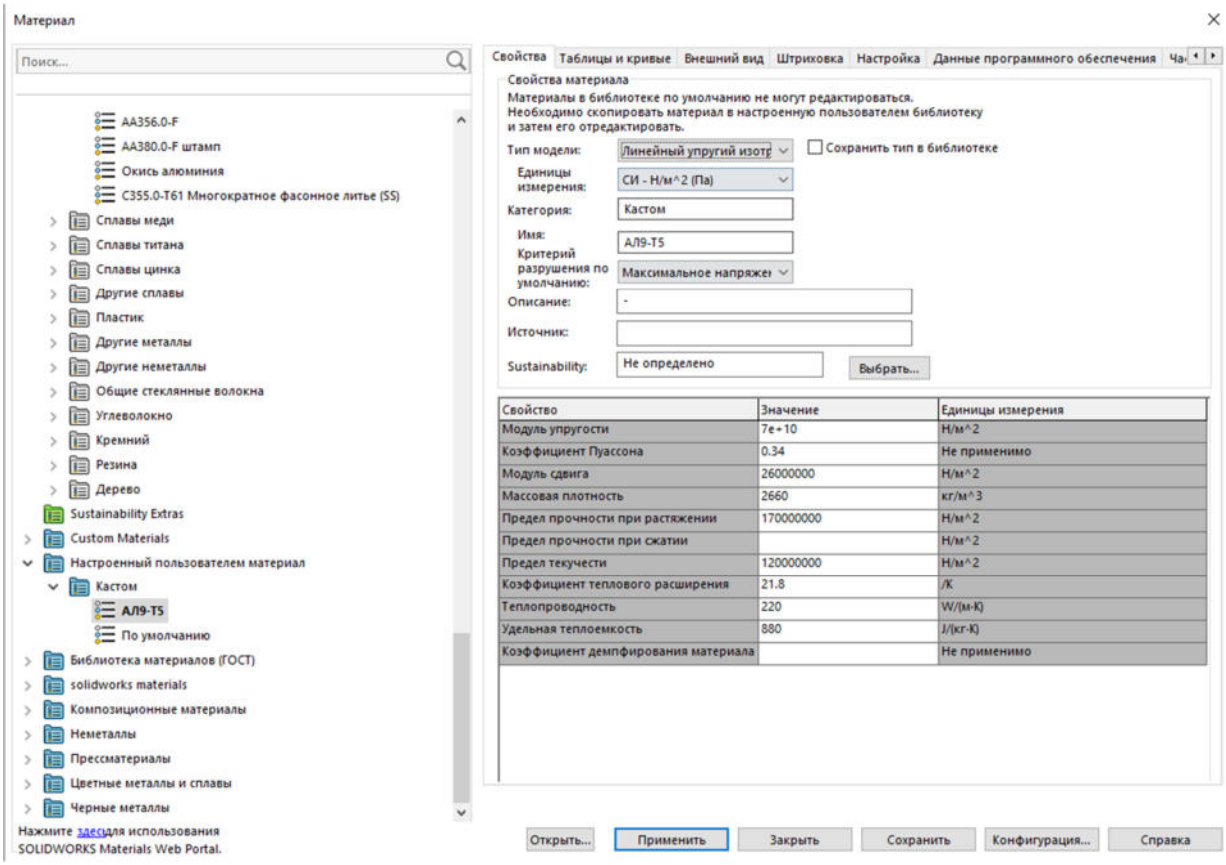


Рис 4.6 Завдання механічних властивостей

Тепер ми маємо, тривимірну деталь із заданим матеріалом, так що тепер черга до граничних умов та навантажень. Обираємо «Консультант із кріплення», та через трей (малесенький трикутник нижче) обираємо «Фіксовану геометрію», Рис 4.7 та вказуємо відповідні поверхні, що торкаються іншої частини двигуна для призначення до них фіксованої геометрії, тобто це торець та дві діаметральні поверхні. Рис 4.8

Фіксована геометрія блокує переміщення тіла у просторі по усім шести ступеням свободи.

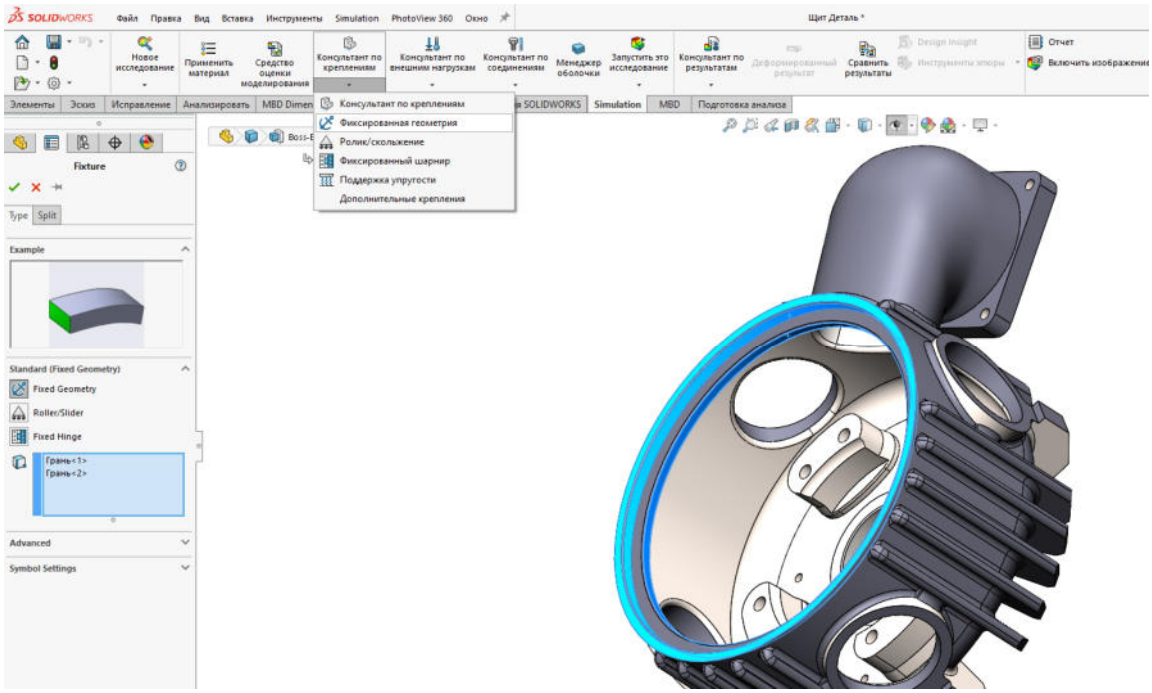


Рис 4.7 Фіксована геометрія

Тепер задамо навантаження, обираємо «Консультант із зовнішніх навантажень», через трей обираємо потрібне навантаження, в даному випадку це тиск, який сприймає Корпус через крипіжні гвинти навколо отворів. Рис 4.8

Також задамо числове значення навантаження, 50 Н.

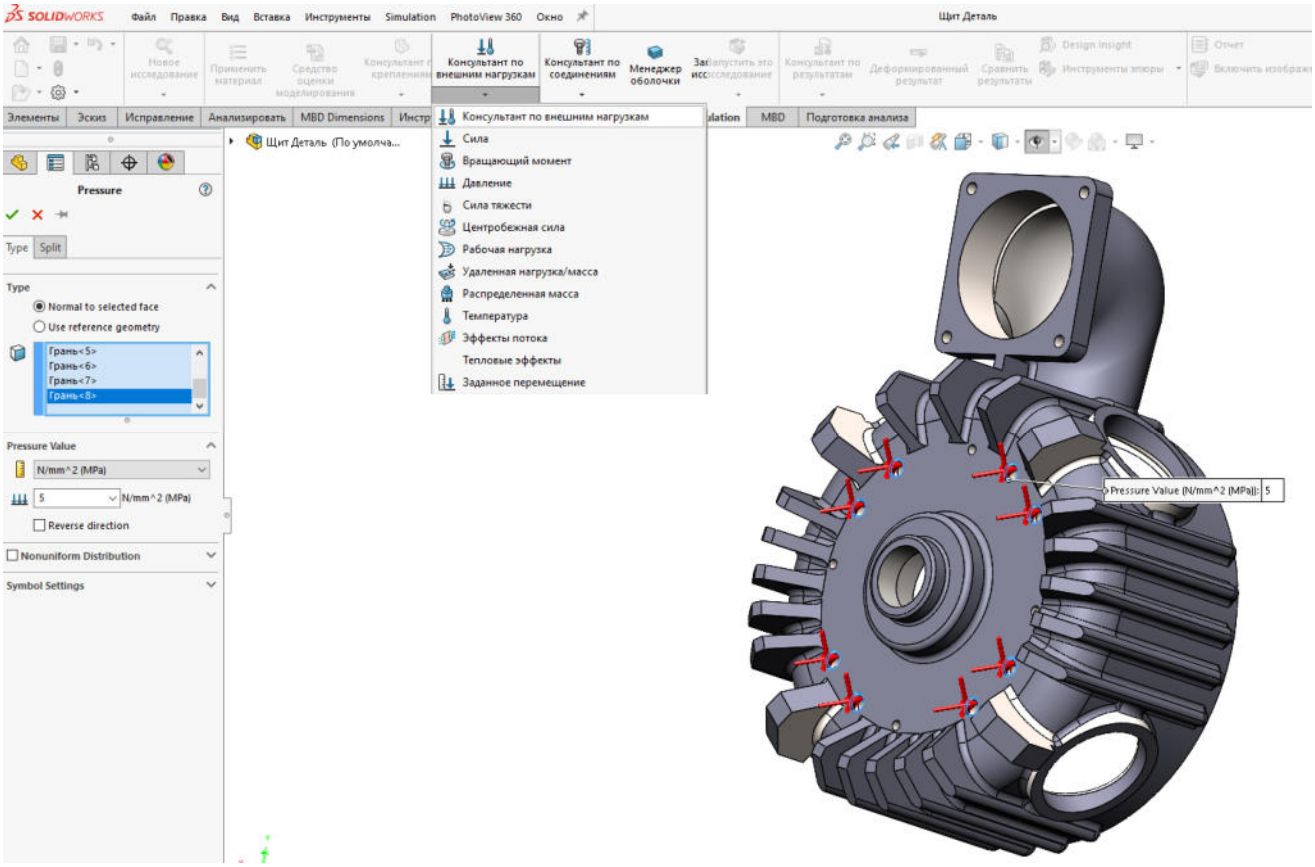


Рис 4.8 Навантаження біля отворів

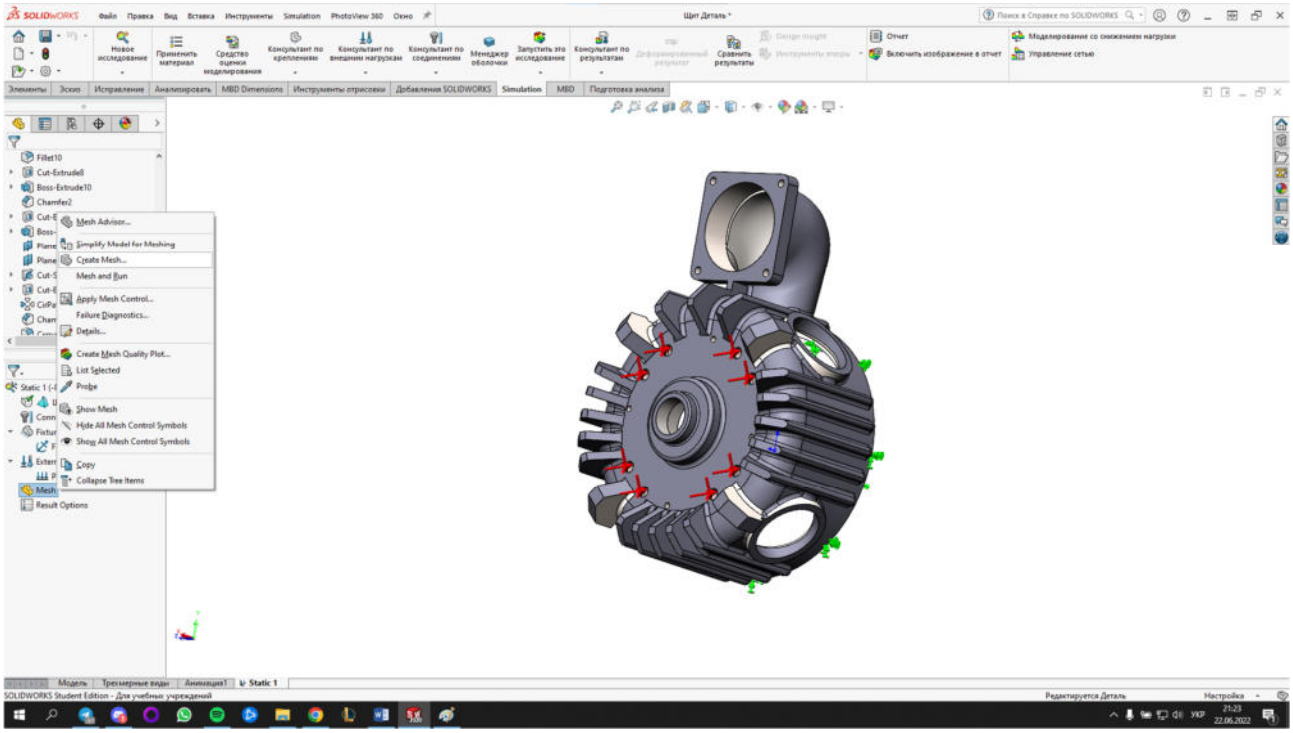


Рис 4.9 Створення сітки

Тепер потрібно створити сітку моделі для розрахунку. Контексте меню по mesh(сітка) – create mesh(створити сітку) рис 4.9

Обираємо щільність сітки, пам’ятаємо, що чим щільніша сітка, тим біль точний аналіз, але це потребує більшого часу на розрахунок, та навпаки. Так як геометрія складна, сітка більш щільна, ніж середнє значення. Рис 4.10

Якщо нам потрібні більш детальні налаштування сітки, то їх можливо зробити у вікні mesh quality (якість сітки)

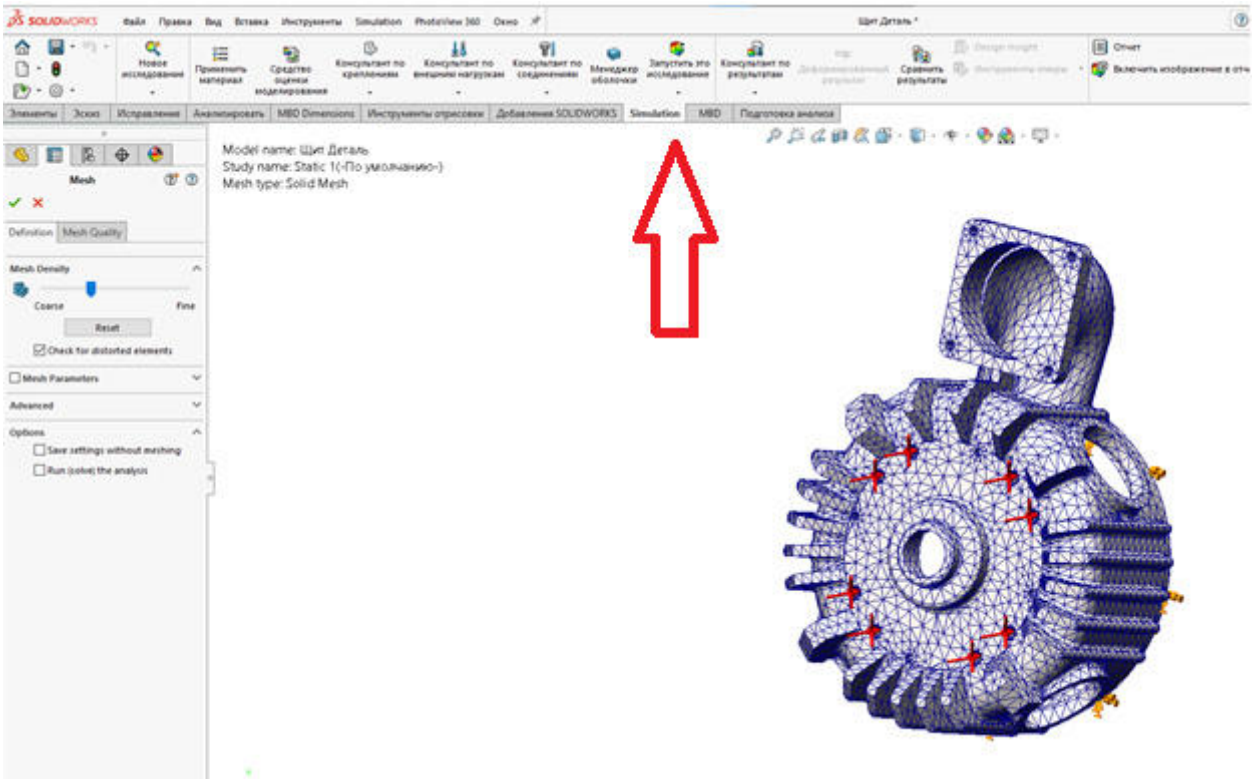


Рис 4.10 Налаштування сітки та запуск аналізу

Тепер нам лишилося лише запустити аналіз та візуалізувати результати розрахунку, для цього натиснемо «Запуск цього аналізу»

4.3 Візуалізація та оптимізація результатів розрахунку

Тепер після аналізу, ми маємо візуалізацію результатів розрахунку, де ми маємо змогу бачити наступні результати разом із їхніми епюрами.

- (stress) напруження та їх локалізація, рис 4.12, також під епюрою бачимо допустимі навантаження.
- (displacement) зміщення деталі під дією навантажень, рис 4.13
- (strain) деформації, рис 4.14

Але також по стандарту розрахунок ведеться у науковій системі, але нам потрібна система SI, тому після розрахунку змінимо її, рис 4.11 обираємо

контекстне меню за першу епюру напружень, edit definition (змінити визначення) та змінюємо:

- Визначення напруги, якщо потрібно, в нас це Н/м.
- Deformed shape (ступінь деформації) відповідає за візуалізацію навантажень із перебільшенням у відсотках.
- Display Options (дисплей налаштувань) все що стосується легенди або епюри, максимальні/мінімальні значення, тощо.
- Останнє вікно дає можливість перейти до системи SI.

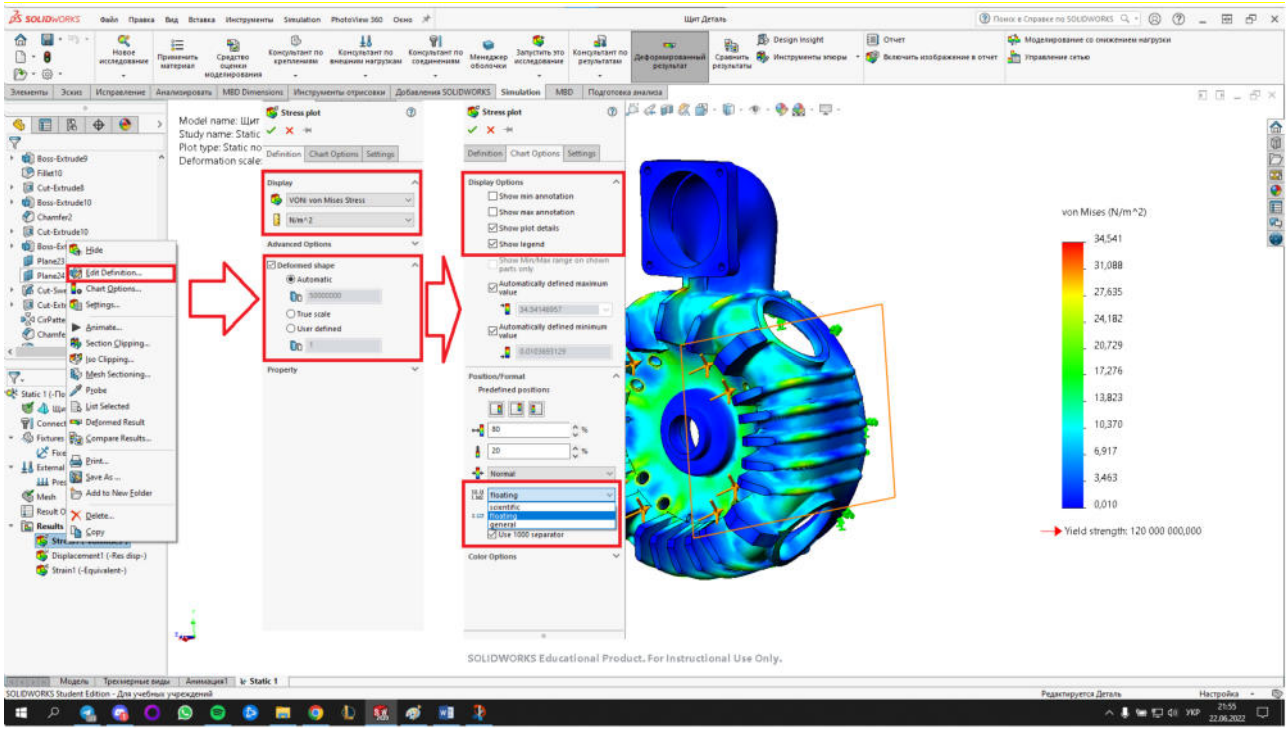


Рис 4.11 Налаштування системи результатів епюр

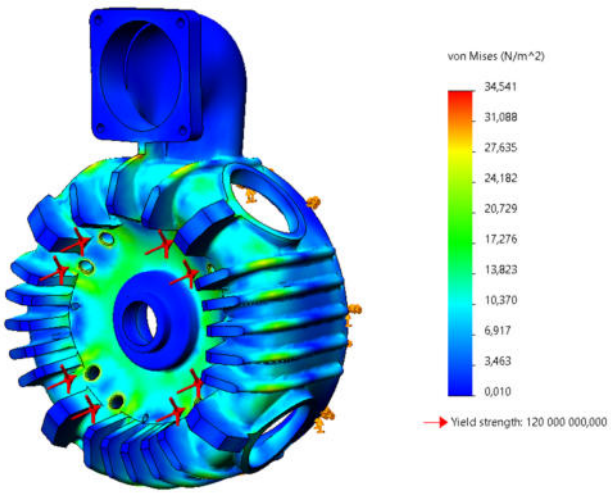


Рис 4.12 Епюра напружень

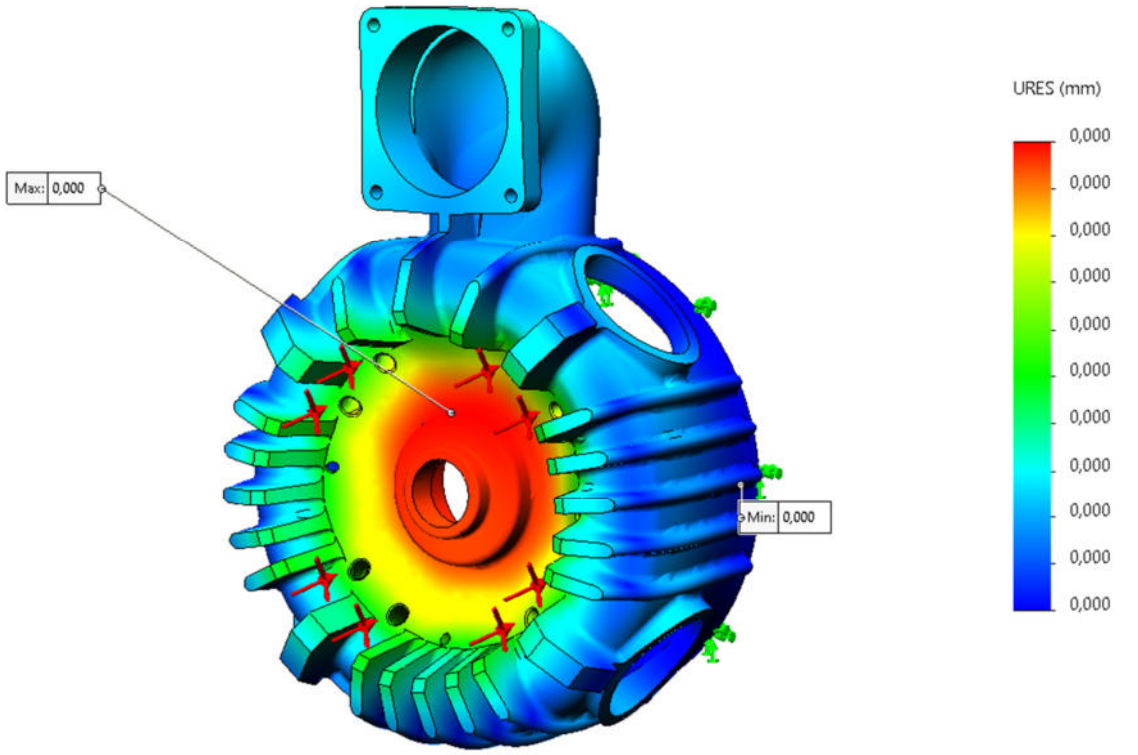


Рис 4.13 Епюра зміщень

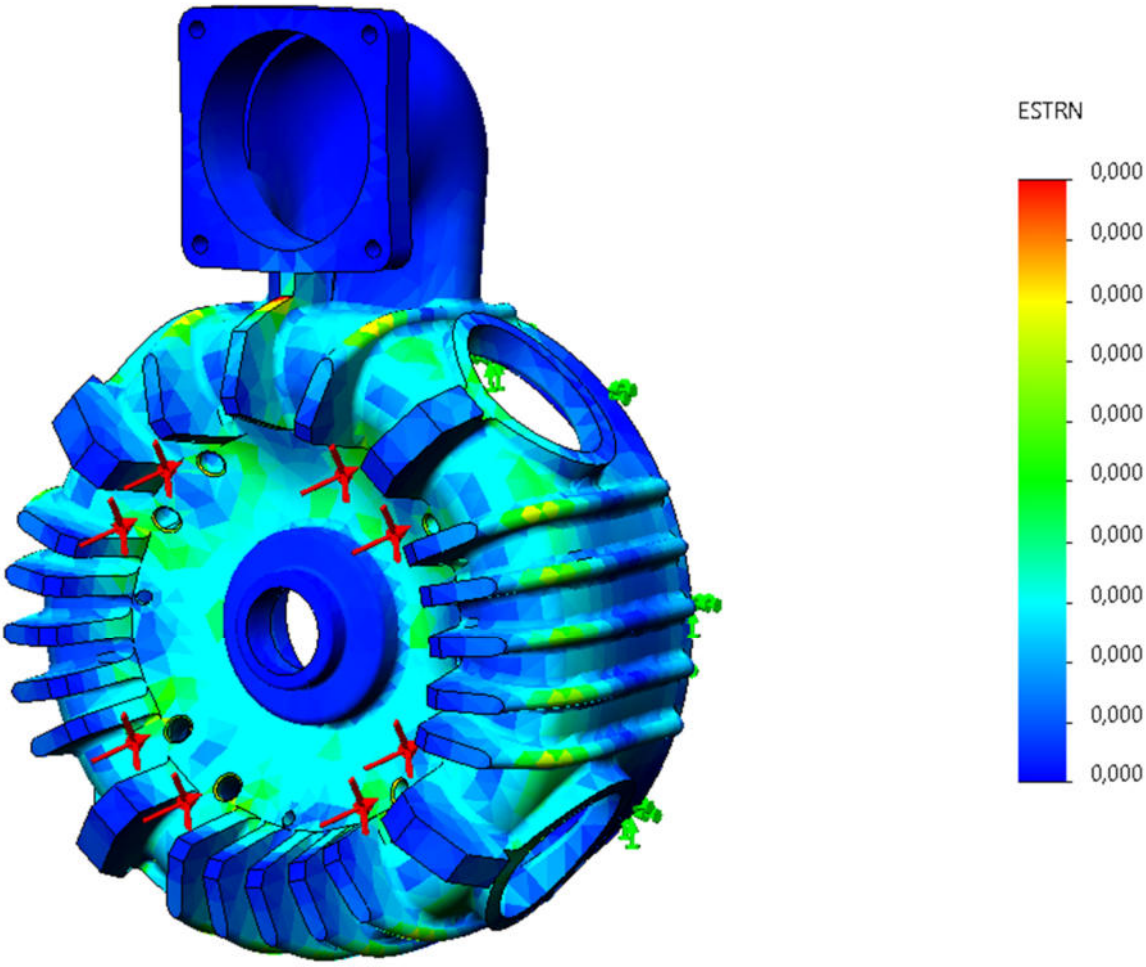


Рис 4.14 Епюра деформацій

Усі значення епюр, у допустимих значеннях, бо числові параметри не виходять за рамки допустимих або не критичні.

Тепер зробимо аналіз запасу міцності рис 4.15

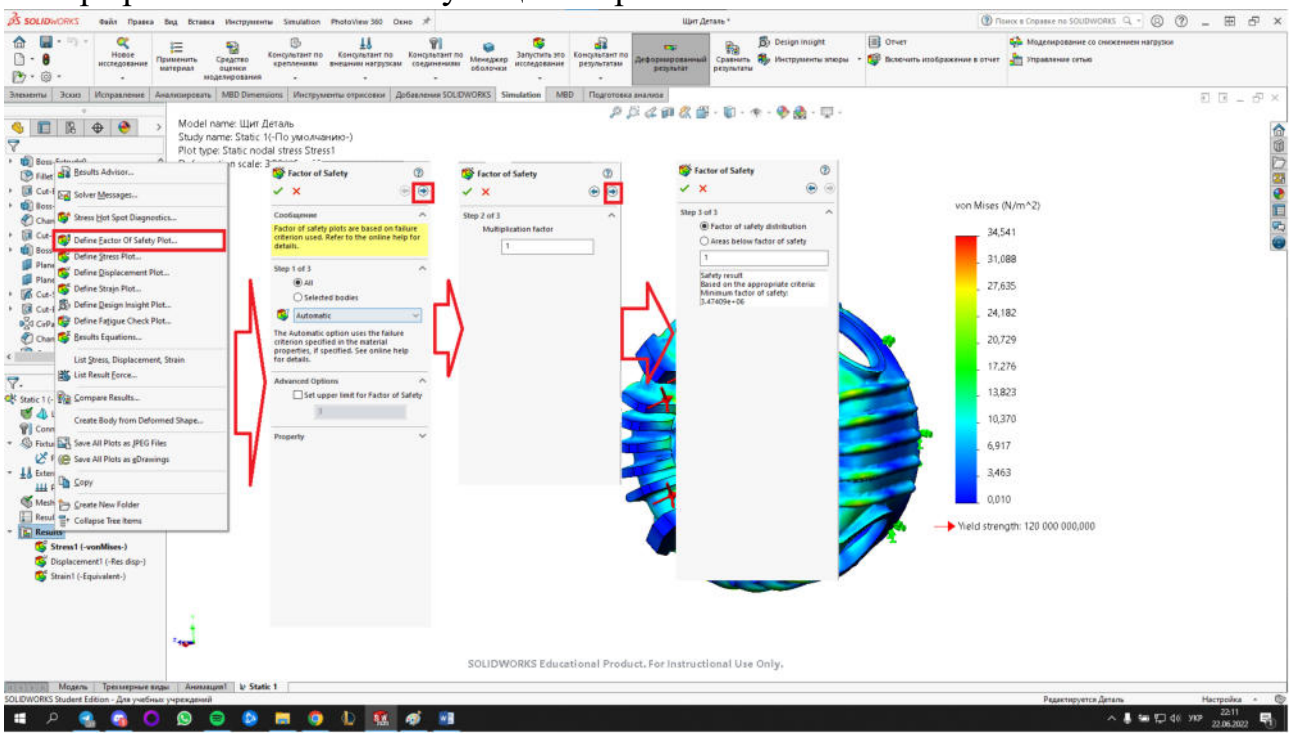


Рис 4.15 Налаштування для запасу міцності

Обираємо контекстне меню results(результати) – Define factor of safety plot (визначити запас міцності) – обираємо усі тіла – множник коефіцієнту, якщо це дуже важлива деталь, наприклад для транспортувань людей, тоді добавляємо його – Останнє (factor of safety distribution) розподілення запасу міцності.

Готово, маємо результат, 3.5. рис 4.16

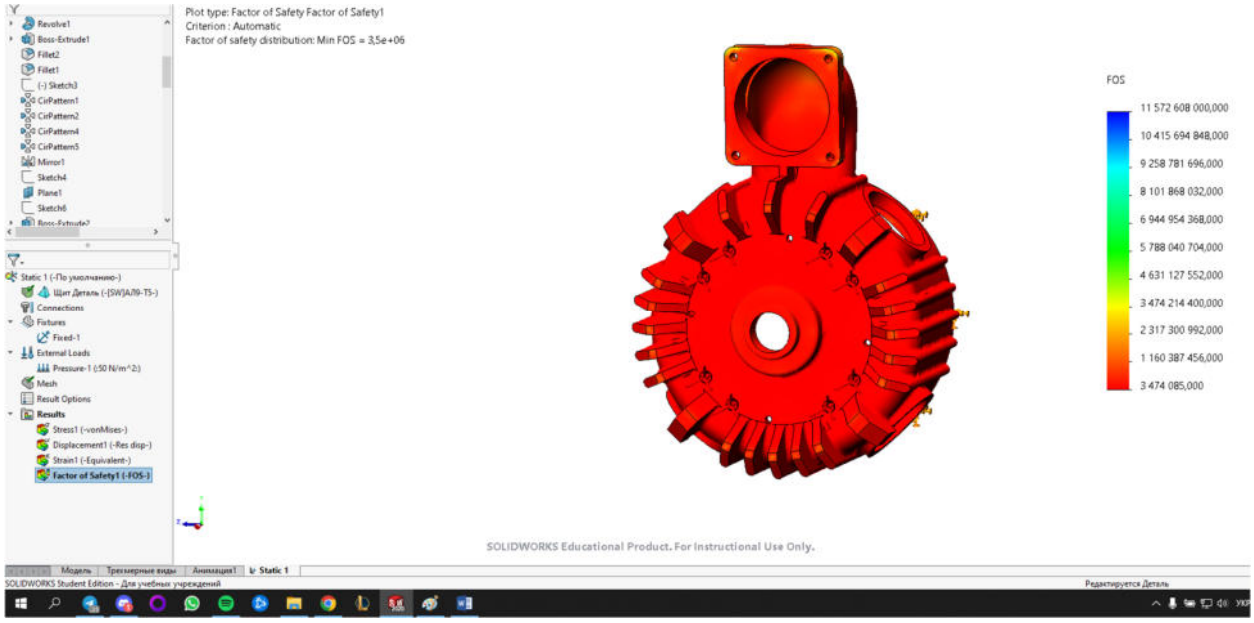


Рис 4.16 Запас міцності

ВИСНОВОК

В процесі написання магістерської дипломної роботи, були виконані наступні завдання:

створений технологічний процес виготовлення деталі «Корпус»;

- спроектований спеціальний пристрій для закріплення деталі «Корпус» на столі верстата;
- отримані навички у об’єктно-візуальному програмуванні;

У результаті автоматизації, була створена база даних «Розрахунок розмірів виливка яка містить інформацію про параметри якості і точності виливки, розміри заготовки та їх відхилення. Для вибірки необхідних даних створено ряд запитів. Дана модель бази даних дозволяє не тільки переглядати наявну інформацію, а також вводити нову інформацію та редагувати її. Для зручності перегляду та введення інформації створені форми по кожній таблиці та запиту, та кнопочна форма, яка дозволяє швидко отримувати доступ до засобів видання даних. Створені звіти дають можливість, після їх виведення на друк, переглянути всю необхідну інформацію про розміри виливка та якості її поверхонь.

Результатом цієї роботі стало:

- поліпшення рівня автоматизації технологічного проектування для більш ефективного набуття практичних навичок;
- використання та модернізація сучасних методик розрахунку при технологічному проектуванні;
- мотивація випускників на створення персональних баз даних, щоб підвищити свій професійний рівень.

В науково дослідному розділі виконаний аналіз статичних навантажень на конструктивні елементи деталі Корпус засобами програми SOLIDWORKS Simulation.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Довідник користувача ЄКТС [Електронний ресурс]. https://kpi.ua/files/ECTS.pdf (дата звернення: 04.11.2017).

2 ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.

3 ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.

4 ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.

5 ДСТУ ГОСТ 3.1105:2014 Єдина система технологічної документації. Форми та правила оформлення документів загального призначення.

6 ДСТУ ГОСТ 2.104-2006. Єдина система конструкторської документації. Основні написи.

7 ДСТУ ГОСТ 3.1103:2014. Єдина система технологічної документації. Основні написи. Загальні положення.

8 ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.

9 ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Система управління якістю. Вимоги.

10 ДСТУ 2391:2010 Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять.

11 Освітньо-професійна програма вищої освіти для бакалавра спеціальності 131 Прикладна механіка / В.А. Дербаба, О.О. Богданов, С.Т. Пацера, С.О. Циганок; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2023. – 29 с.

12 Закон України «Про вищу освіту» [Електронний ресурс]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18.

13 Національна рамка кваліфікацій. [Електронний ресурс]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-п.

14 Стандарт вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 13 Механічна інженерія, спеціальність 131 Прикладна механіка. Затверджено і введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 20.06.2019 р. № 865.

15 Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу здобувачів вищої освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», затвердженого Вченою радою університету 22.01.2019, протокол № 2 (із змінами та доповненнями від 29.09.2022, затвердженими Вченою радою університету, протокол № 9).

16 Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», затверджене Вченою радою університету 11.12.2018, протокол № 15.

17 Положення про оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти, затверджене Вченою радою університету від 26.12.2017, протокол № 20 (із змінами та доповненнями від 18.09.2018, 11.12.2018 та 08.12.2021, затвердженими Вченою радою університету).

18 Положення про проведення практики здобувачів вищої освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», затверджене Вченою радою університету 11.12.2018, протокол № 15.

19 Положення про систему запобігання та виявлення плагіату в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка», затверджене Вченою радою університету 13.06.2018, протокол № 8.

20 Салов В.О. Макет методичних рекомендацій до виконання кваліфікаційних робіт : мет. посіб. для наук.-пед. пр-ів. / В.О. Салов ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2019. – 37 с.

21 Добрянський, С.С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

22 Технологія конструкційних матеріалів. Організація самостійної та практичної роботи : навчальний посібник / [Шиліна О.П., Савуляк В.І., Шенфельд В.Й., Янченко О.Б.]. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 110 с.

23 Літовченко, П.І. Технологія конструкційних матеріалів [Текст] : навч. посіб. / П.І Літовченко, Л.П. Іванова. – Х. : НА НГУ, 2016. – 306 с.

24 Швець С.В. Металорізальні інструменти : навчальний посібник / С.В. Швець. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 272 с.

25 Матеріалознавство : навч. посіб. / В.І. Бузило, В.П. Сердюк, А.В. Яворський, О.А. Гайдай / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 243 с.

26 Залога В.О., Зінченко Р.М.. Система "PowerShape". Основи 3D моделювання: Метод. вказівки з курсів "Комп’ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп’ютерні технології в інструментальному виробництві". Суми : Сумський держ ун-т, 2009.

27 Залога В.О., Зінченко Р.М. Система "PowerShape" Поверхневе моделювання: Метод. вказівки з курсів "Комп’ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп’ютерні технології в інструментальному виробництві". Суми : Сумський держ ун-т, 2010.

28 Залога В.О., Зінченко Р.М. Система "PowerShape" Створення САПР за допомогою макросів: Метод. вказівки з курсів "Комп’ютерні технології у верстатобудуванні" та "Комп’ютерні технології в інструментальному виробництві"/ Суми : Сумський держ ун-т, 2011.

29 Металорізальні верстати: Навч. посіб. для студ. механічних спец. вищ. навч. закл./ В.Н. Бочков, Р.І. Сілін, О.В. Гаврильченко: Р.І. Сілін (ред.). Нац. ун.-т «Львівська політехніка», 2009 – 268 с.

30 Інноваційне обладнання автоматизованого виробництва. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 158с.

31 Обладнання автоматизованого виробництва: Верстати з числовим програмним керуванням: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посібник для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин», спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Металорізальні верстати та системи»/ Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 19,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 115 с.

32 Величко О.Г. Інноваційна діяльність у сферах техніки, технології, технічного регулювання і забезпечення якості: підручник / Величко О.Г., Должанський А.М., Віткін Л.М., Янішевський О.Е., Клюєв Д.Ю.; Донецьк : Свідлер, 2010. – 120 с.

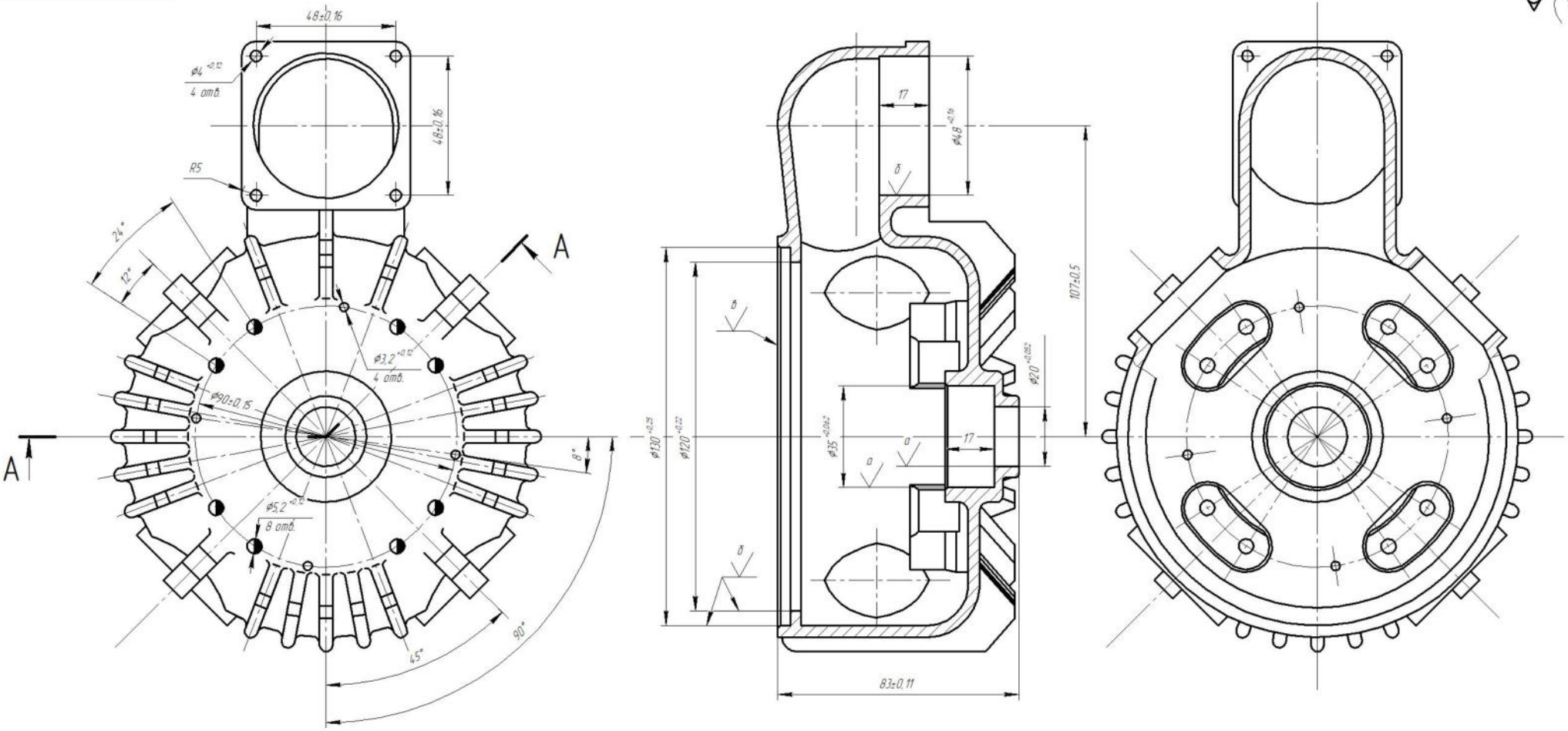
33 Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об’єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2008.

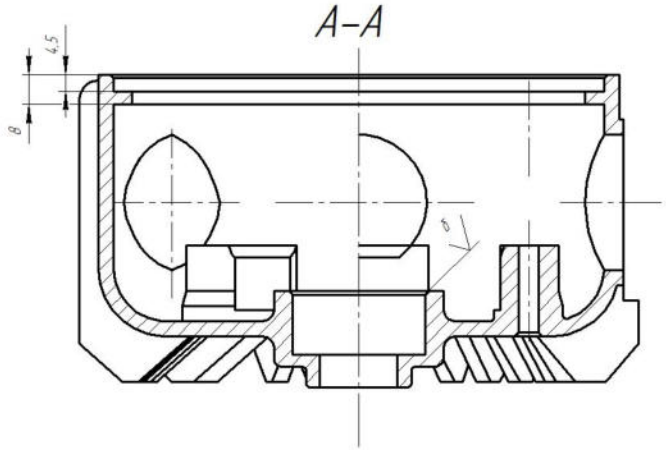
34 Онофрейчук Н.В. Основи обробки та програмування на верстатах з числовим програмним керуванням: підруч. / Н.В. Онофрейчук. – Львів : Світ, 2019. – 352 с.

35 Герасимчук О.П., Селезньов Е.Л., Шимчук С.П. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: навчальний посібник. – Луцьк : Луцький НТУ, 2019. – 168 с.

36 Функціональні модулі систем мехатроніки з пневматичними, електромеханічними та гідравлічними виконавчими пристроями [Електронний ресурс]: навч. посіб / О.П. Губарев, О.С. Ганпанцурова, К.О. Бєліков, А.М. Муращенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 14,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 104 с.

ТМБМЗ.131-ОППМ.25.01.01





1. 60...65 НВ
2. а $\sqrt{}$ = $\sqrt{Ra\ 1,6}$; б $\sqrt{}$ = $\sqrt{Ra\ 3,2}$; в $\sqrt{}$ = $\sqrt{Ra\ 6,3}$
3. Овальність і конусність поверхні з розміром ø35 не більше 0,013.
4. Незазначені граничні відхилення за Н14, h14
5. Внутрішню поверхню, крім оброблюваних поверхонь, щита лакувати емаллю ЕП-274 за інструкцією ЦА-687.
6. Зовнішні поверхні, крім посадкових і оброблюваних місць, покрити емаллю МЛ-12, чорного кольору, система №116 за інструкцією ВІАМ №850-76.

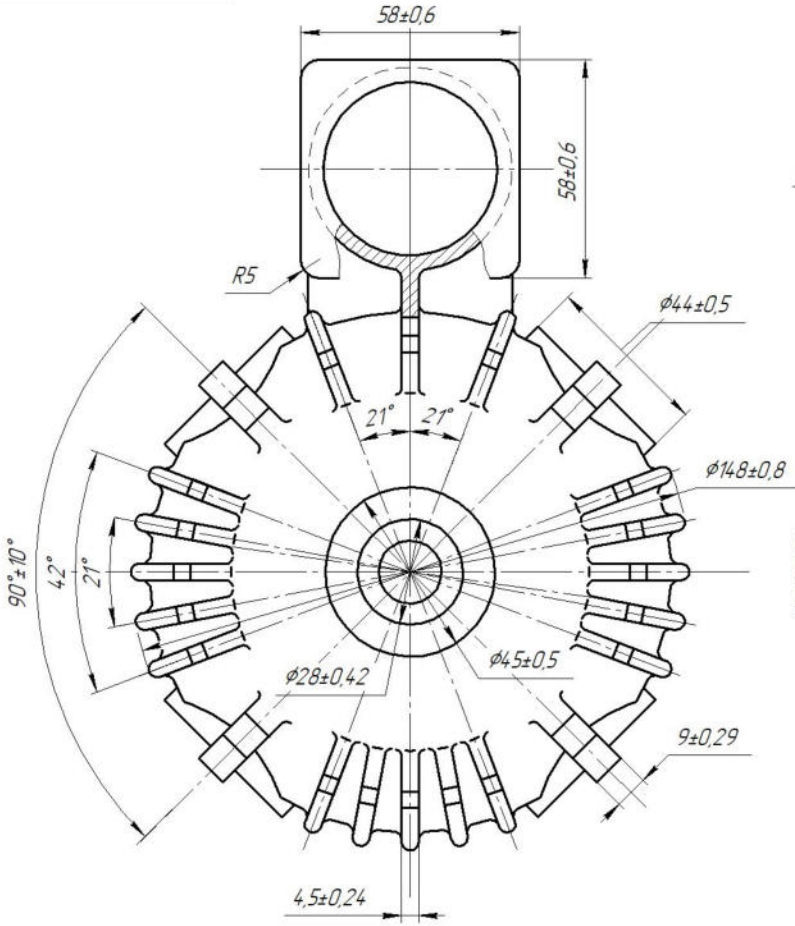
					ТМБМЗ.131-ОППМ.25.01.01			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Корпус	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Бурков					0,81	1:1
Пров.		Дербаба				Лист	Листов 1	
Т.контр.								
Н.контр.		Рубан			АЛ9-Т5 ДСТУ 2839-94	НТУ "ДП" ММФ		
Утв.		Дербаба						

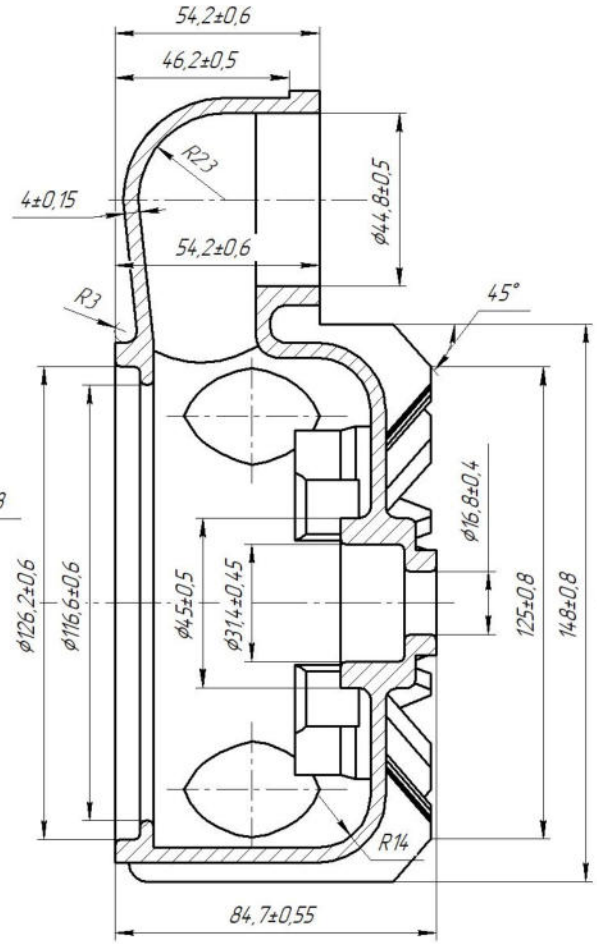
Копировал Формат А2

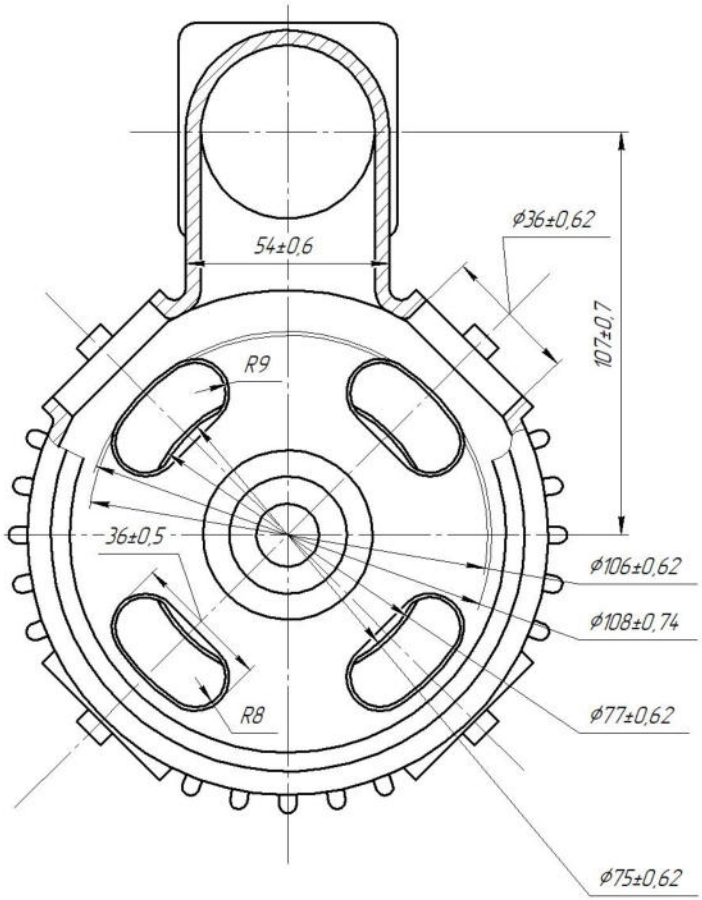
Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

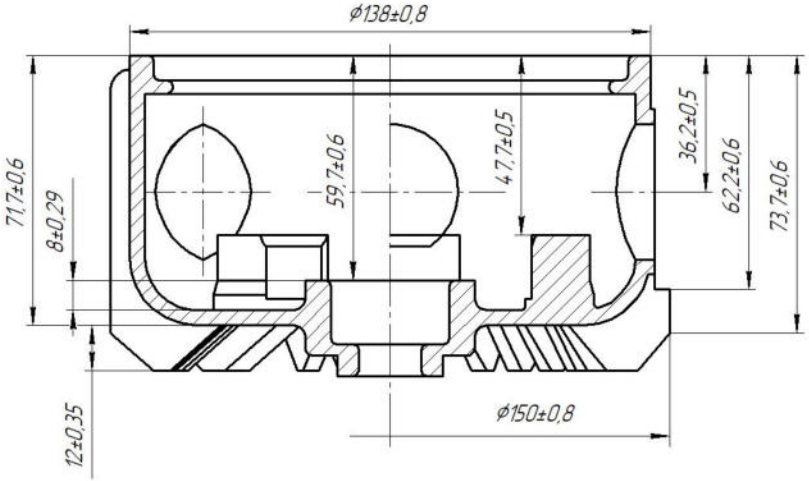
ТМБМЗ.131-ОППМ.25.01.02

Ra 10 (√)









1. 60...65 HB
2. Точність відливання 7-5-8-5 0,24 См ГОСТ 26645-85.
3. Ливарні ухили 1° у бік збільшення розмірів.
4. Незазначені ливарні радіуси R1,5.
5. Овальність і конусність поверхні з розміром ϕ35 не більше 0,013.
6. Інші вимоги за ДСТУ 1583-93

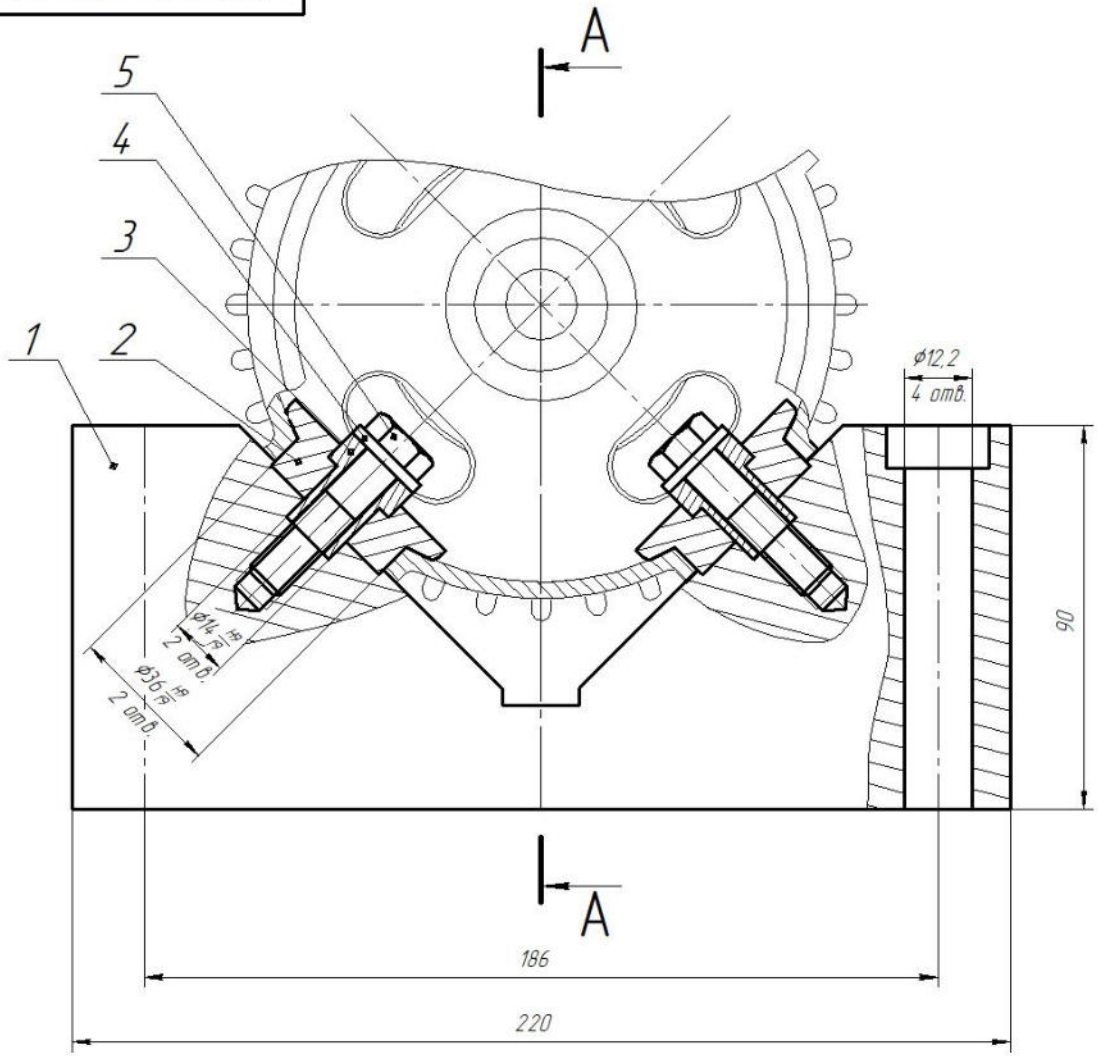
					ТМБМЗ.131-ОППМ.25.01.02		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Корпус (Заготовка)	Лит.	Масса: 0,9 / Масштаб: 1:1
Разраб.		Буряков				Лист	Листов: 1
Пров.		Дербова					
Т.контр.							
Н.контр.		Рубан			АЛ9-Т5 ДСТУ 2685-95	НТУ "ДП" ММФ	
Утв.		Дербова					

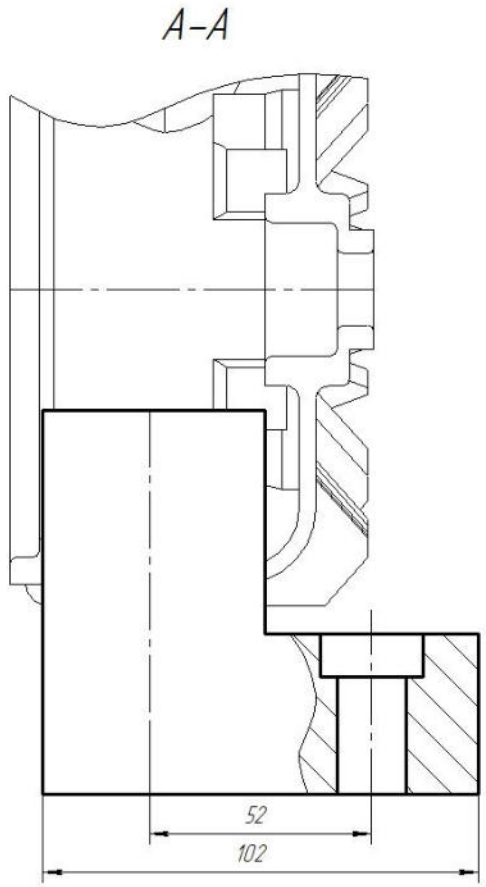
Копировал

Формат А2

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

ТМБМ3.131-ОПМ.25.01.03 СК





Технічні характеристики

1. Зусилля затискання 2612 Н
2. Призначено для використання на верстаті S500U

Технічні вимоги

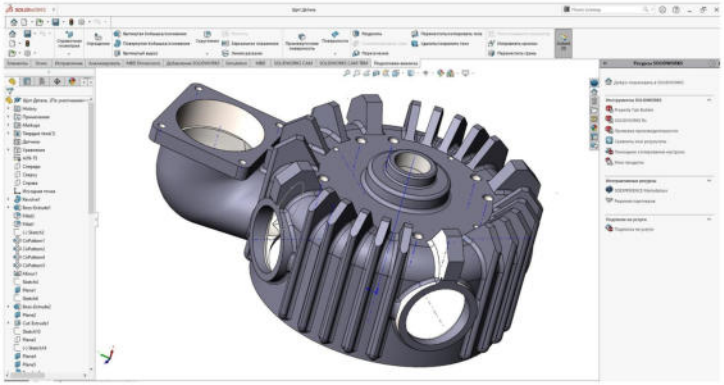
1. Провести базування заготовки.
2. У випадку затирання притискної шайби, підігнати її діаметр.
3. Розміри для справок

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТМБМ3.131-ОПМ.25.01.03 СК		
Разраб.		Бурков			Пристосування спеціальнне	Лит.	Масса	Масштаб 1:5
Пров.		Дербада				Лист	Листов 1
Т.контр.						НТУ "ДП" ММФ	
Н.контр.		Рубан					
Утв.		Дербада					

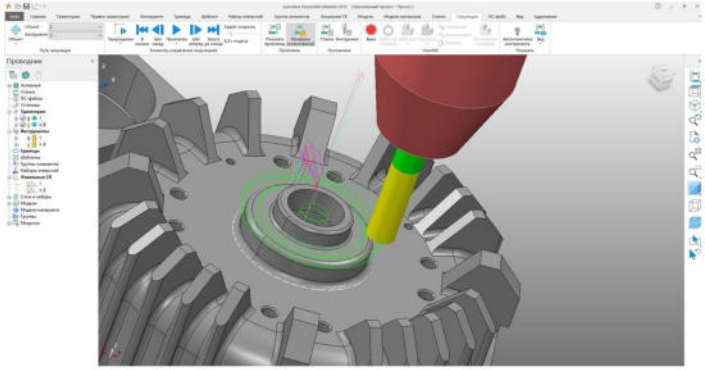
Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копировал | Формат А3

Автоматизований процес виготовлення деталі "Корпус" у Autodesk PowerMill

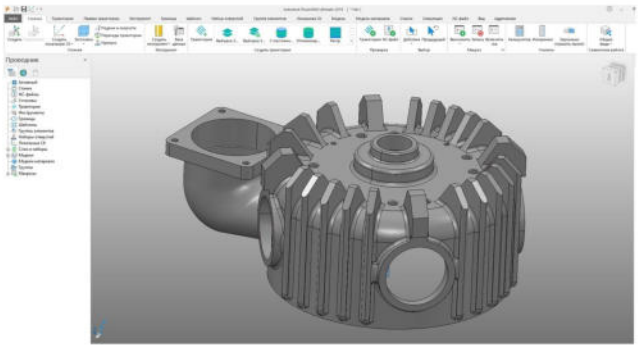


Моделювання твердотільної деталі "Щит" в SOLIDWORKS

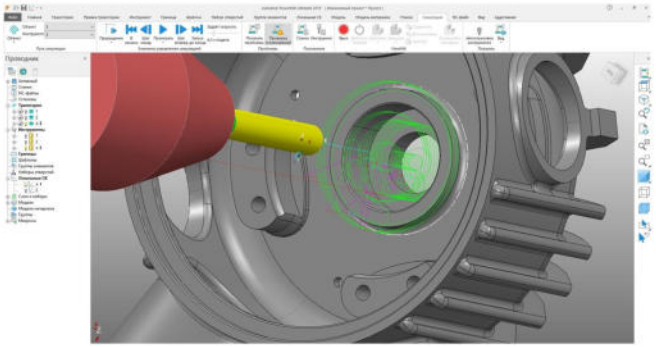


Фрезерування деталі. Перехід 2

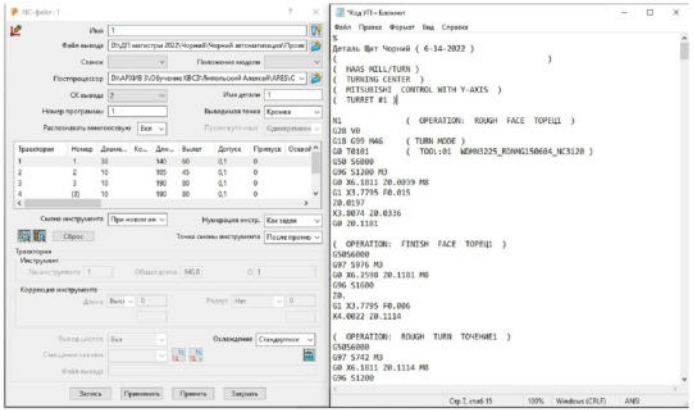
Статистика по переходам в PowerMill



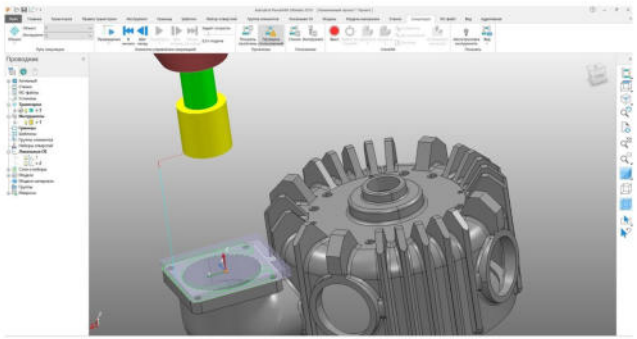
Імпорт 3Д-моделі до CAM системи



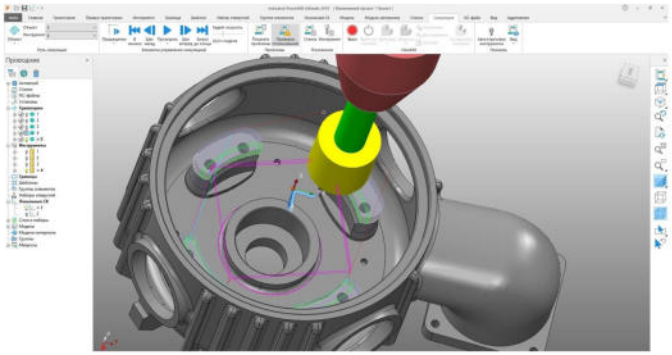
Фрезерування деталі. Перехід 3



Керуюча програма (GM-код)



Фрезерування деталі. Перехід 1



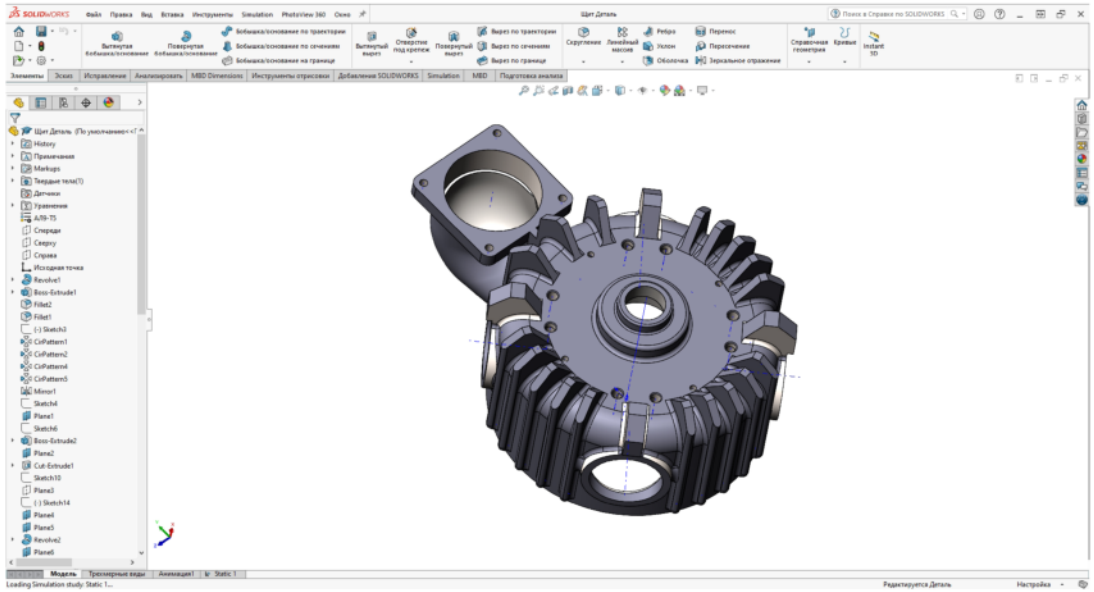
Фрезерування деталі. Перехід 4

Багатоцільовий верстат з ЧПК

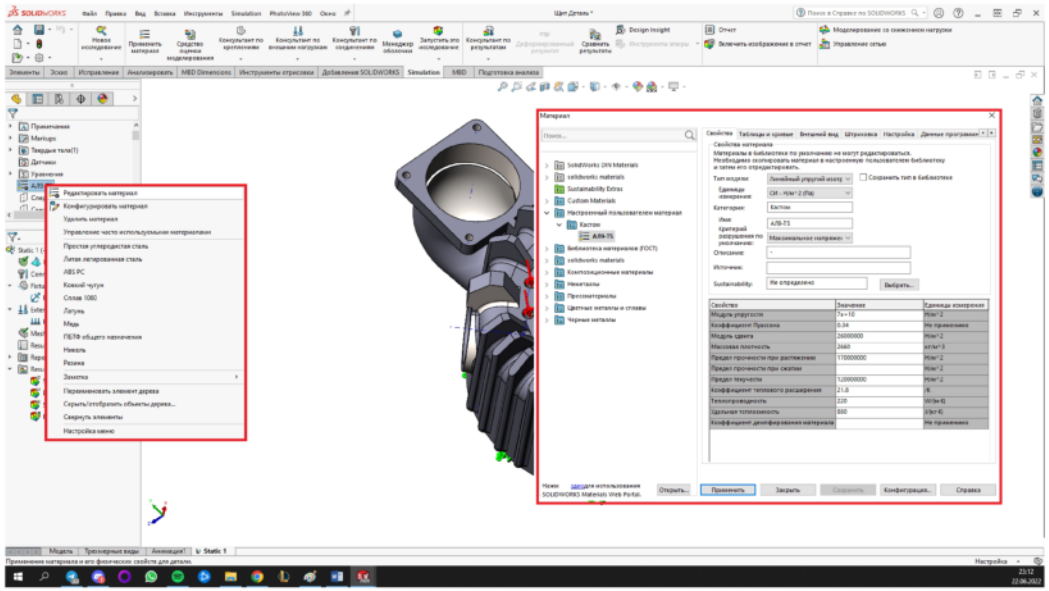
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ТМБМЗ.131-ОПТМ.250106	Лист

Копировал Формат А1

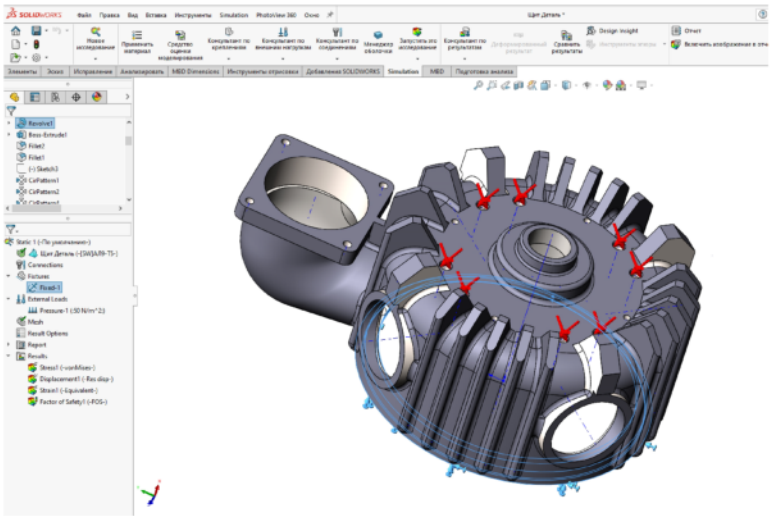
Візуалізація та розрахунок Методом Скінчених Елементів у SolidWorks Simulation



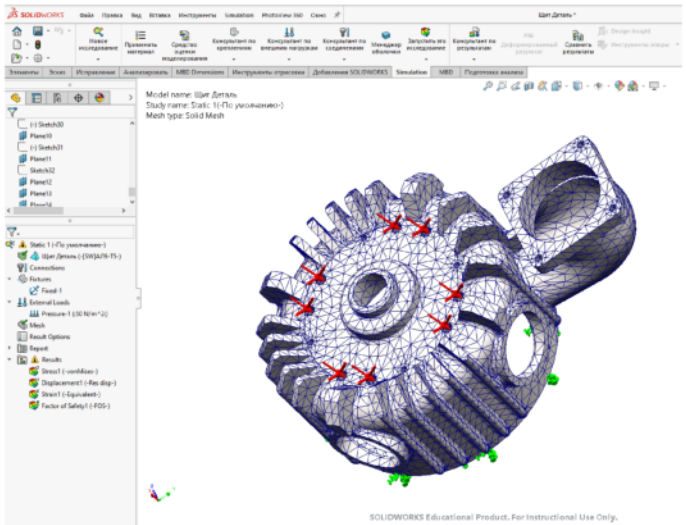
Моделювання твердотільної деталі "Щит" в SOLIDWORKS



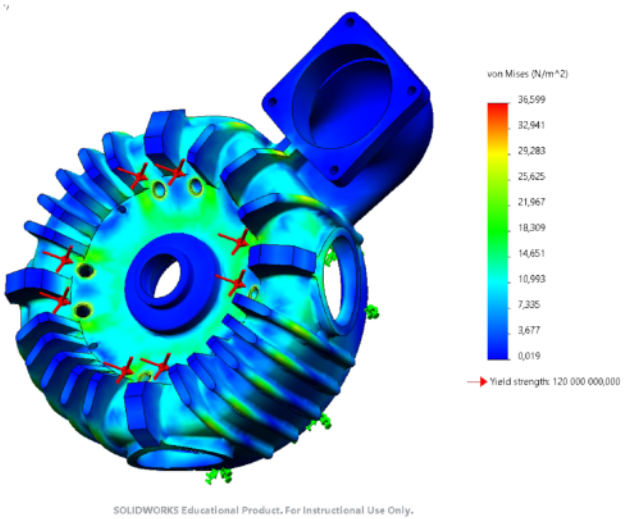
Задання матеріалу його механічних властивостей



Завдання граничних умов та навантажень



Створення сітки та запуск аналізу



Оптимізація деталі за кількістю матеріалу при допустимих навантаженях та отримання звіту