

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Механіко-машинобудівний
(факультет)

Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Чорного Богдана Олександровича
(ПІБ)

академічної групи 131М-20н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»
(офіційна назва)

на тему: «Дослідження і інтеграція САЕ-систем при розрахунку автоматизованої технології обробки деталі складної геометрії на верстаті з ЧПК»
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Кваліфікаційної роботи	Дербаба.В.А			
Розділів				
Аналітичний	Дербаба В.А			
Спеціальний	Дербаба В.А			
Науково-дослідницький	Дербаба В.А			

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

_____ **В.В. Проців** _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

студенту _____ **Чорний Б.О** _____ академічної групи _____ **131М-20н-1** _____
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності _____ **131 Прикладна механіка** _____

за освітньо-професійною програмою _____
Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва
(офіційна назва)

на тему **Дослідження і інтеграція САЕ-систем при розрахунку автоматизованої технології обробки деталі складної геометрії на верстаті з ЧПК**

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Аналіз технологічності конструкції деталі. Додається 2D-кресленик деталі (A2) та 2D-кресленик заготовки (A2)	Лютий 2022 р.
Технологічний	Автоматизована розробка технологічного процесу обробки Конічного колеса з круговими зубцями. Додається 3D-модель деталі, Графічний матеріал з налаштуваннями технології (A1)	Березень 2022 р.
Спеціальний	Проект різцевої головки для нарізання зубчастого вінця з круговими зубцями. Додається графічний матеріал з із складальним креслеником різцевої головки (A1)	Квітень 2022 р.
Науково-дослідницький	Алгоритм застосування принципу модульності у автоматизованому проектуванні технології обробки конічного колеса з круговими зубцями. Додається графічний матеріал з алгоритмічною моделлю (A1 два листа)	Квітень 2022 р.

Завдання видано _____
(підпис керівника)

_____ **Дербаба В.А** _____
(прізвище, ініціали)

Дата видачі _____ **12.01.2022 р.** _____

Дата подання до екзаменаційної комісії _____ **30.05.2022 р.** _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

_____ **Чорний Б.О** _____
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 52 с, 16 рис, 29 табл, 26 джерел посилань.

Тема «Дослідження і інтеграція CAE-систем при розрахунку автоматизованої технології обробки деталі складної геометрії на верстаті з ЧПК»

Комплект технологічної документації на аркушах в формі маршрутно-операційного технологічного процесу на деталь «Щит». Графічна частина проекту розташована на сьомих аркушах формату А1.

Об'єкт проектування: технологічна підготовка виробництва деталі «Щит» в організаційно-технічних умовах серійного виробництва, з використанням верстатів з ЧПК а розрахунками у CAE системі.

Мета дипломного проекту: введення CAE системи до автоматизації проектування ливарної заготовки при розробці операційного технологічного процесу для виготовлення деталі «Щит».

Аналітичний розділ проекту містить характеристику об'єкта виробництва, обґрунтування застосованих матеріалів та вимог до точності поверхонь, а також якісний аналізи технологічності конструкції деталі.

В технологічному розділі виконано комплекс робіт технологічного проектування, спрямованих на розробку маршрутно-операційного процесу механічної обробки та підготовлені данні для оформлення комплексу технологічної документації.

Конструкторський розділ складається з інформації проектування спеціального пристосування.

Спеціальний розділ відображає алгоритм роботи проектування ливарної заготовки та розрахунок навантажень у CAE системі SOLIDWORKS.

Об'єктом дослідження в дипломному проекті є використання CAE систем на прикладі SOLIDWOKRS Simulation.

Практичне значення проекту полягає в використанні компютерних технологій у процесі моделювання, розрахунках та знання з верстатів з ЧПК у виробництві.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ».

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 деталей	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.....	
3 Спеціальний розділ	24
3.1 Проектування спеціального пристосування	24
4 Науковий 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
Додаток А Набір креслеників щодо затискувального пристрою.....	47
Додаток Б Відгук Керівника Дипломного Проекту	48

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 САЕ 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 багатомоделне 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.

САЕ система дозволяє:

- Аналізувати конструкції різної 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 САЕ системи використовують метод кінцевих елементів для детального розрахунку. Цей метод добре підходить до аналізу газових або рідинних потоків.

1 Аналітичний розділ

1.1 Характеристика об'єкта виробництва

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

деталь розташована у закритому корпусі. Електродвигун працює в умовах температури від $+50^{\circ}\text{C}$ до -60°C .



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

Рис 1.3 Відповідальні отвори

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

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

ДСТУ 2839-94 Група 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 «Щит» 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 щита є 4-и виступи, пронизані отворами для кріплення.

Аналізуючи вимоги робочого креслення, приходимо до висновку, що матеріал деталі забезпечує необхідні механічні властивості, ергономічну форму необроблених 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 щита, можуть бути використані для базування в спеціальному пристосуванні, яке представляє собою призму з отворами під притискувальні шайби з гвинтами. Таке пристосування дозволяє обробити всю деталь з одного установа, так як технологічні, вимірювальні та конструкторські бази будуть суміщені. Для повної обробки деталей 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 СПД. 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, оброблених 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.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

ср

де B_{cp} – середнє значення параметра шорсткості, що визначається за формулою:

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

де B – числове значення параметра шорсткості за шкалою Ra;

n_i - число поверхонь з відповідним числовим значенням параметра шорсткості.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

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

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

де $N_{\text{и}}$ – 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:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi} = \frac{2020 \cdot 25}{250} = 202, \quad (2.2)$$

де a – періодичність запуску деталей у виробництво, днів;

Φ – 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 вилівок.

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

Для виготовлення вилівок складної конфігурації та високої розмірної точності з кольорових сплавів застосовують метод лиття під тиском. Цим способом отримують вилівки 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 вилівок по газовим раковинам та порам;
- в процесі твердіння розплав знаходиться під тиском, що зменшує ймовірність утворення у вилівках 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 вилівка 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 вилівка 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 вилівка 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 вилівка, ступенем викривлення, ступенем точності поверхонь і класом точності маси. Обов'язковому застосуванню підлягають класи розмірної точності і точності маси вилівка.

Рекомендовані і прийняті значення норм точності при отриманні виливків з термообробних 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 вилівка до 250 мм	6-10	7
Ступінь жолоблення	Відношення довжини до діаметру більше 2	3-6	5
Ступінь точності поверхні	Найб. габаритний розмір вилівка 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 вилівка.

Значення припусків і допусків на розміри заготовки, встановлені згідно з прийнятими вихідними даними відповідно до ДСТУ 2839-94, наведені у таблиці

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

Ø20H9	20	0,8	0,32	0,9	1,6	Ø16,8±0,4
-------	----	-----	------	-----	-----	-----------

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

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

$$K_{в.т} = \frac{G_{д}}{G_{з}} = \frac{0,81}{0,9} = 0,9, \quad (2.3)$$

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

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

4 шт $\varnothing 4^{+0,12}$			Свердління
4 шт $\varnothing 3,2^{+0,12}$			Свердління
1,5×45° на $\varnothing 130$	-	-	Точіння
1,5×45° на $\varnothing 35$	-	-	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 обробляться, так як установка та технологічна бази збігаються. Мінімальну трудомісткість конкретної обробки при високій концентрації і продуктивності, а також відсутність витрат на переналагодження, забезпечить використання фрезерно-розточного верстату.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

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($\pm 0,11$)мм. Припуски визначаються розрахунковим методом, результати відображені у таблицях 2.5 та 2.6 відповідно.

Таблиця 2.5

МОП $\varnothing 35H9 (+0,062)$	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							

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

торцям. Інструмент та оснащення обрані з каталогу TaeguTec 2022. Зміст та оснащення операції приведено у таблиці 2.7. Усе підходить 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.	АХСТ 060202R-AL Без покриття K10	TE90AX 314-12-06	CSR 20-12	HSK A 63 TMC 20-105	S=0.1-0.5 мм/об V=800-900м/мин

2	Фрезерування внутрішнього $\varnothing 130^{+0,25}$ мм.	<i>E 242</i>	<i>E 127</i>	<i>G 155</i>	<i>G 42</i>	$t=1.7$ мм <i>E 288</i>
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

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 (LxВxН), 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.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

K_{V_d} - коефіцієнт, що враховує тип отвору, наскрізне;

$K_{V_{и}}$ - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

$K_{V_{п}}$ - коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

K_{V_0} - коефіцієнт, що враховує вплив охолодження.

Визначаємо частоту обертання шпинделя для забезпечення даної швидкості різання:

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

де D - діаметр отвору, мм.

Приймаємо частоту обертання шпинделя верстата 2000об/хв.

Таким чином, дійсна швидкість різання дорівнює:

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

Знайдемо машинний час на зенкерування, п'ятий перехід:

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

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

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

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

$$\begin{aligned}
 T_0 &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8 + T_9 + T_{10} + T_{11} + T_{12} = \\
 &= 0,681 + 0,043 + 0,035 + 0,025 + 0,016 + 0,296 + 0,289 + 0,025 + 0,092 + \\
 &\quad + 0,034 + 0,027 + 0,017 = 1,59 \text{ хв.}
 \end{aligned}$$

(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.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

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

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

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, $1,0 \times 12 = 12$ хв;

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

T_v	установка і зняття захисного щита		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 $\varnothing 130, \varnothing 120$		$2 \times 0,16$
		$\varnothing 48$		0,2
$\varnothing 35, \varnothing 20$		$2 \times 0,1$		
контроль шаблоном				
	фаски		$2 \times 0,1$	
$T_{оп}$	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
$T_{шт}$	Штучний час на виконання операції (ф.2.9)	5,54
$T_{штк}$	Штучно - калькуляційний час (ф.2.8)	5,84

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

3	Фрезерування $\varnothing 120$ мм					
4	Фрезерування $\varnothing 35$ мм					
5	Фрезерування $\varnothing 20$ мм					
6	Фрезерування $\varnothing 48$ мм					
7	Свердлення отворів $\varnothing 3.2$ мм					
8	Свердлення отворів $\varnothing 4$ мм					
9	Свердлення отворів $\varnothing 5.2$ мм					
11	Зенкерування фаски на $\varnothing 35$ 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					
	0,6			175,8	1600	0,289
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	0,024

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

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 статички, 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

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

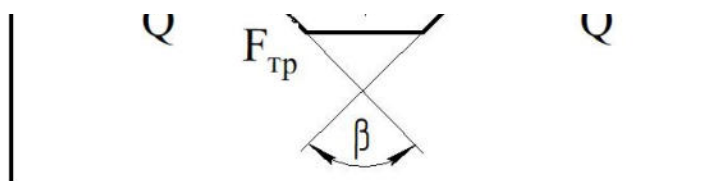


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема по знаходженню сили закріплення заготовки при установці її у призму: d – діаметр деталі (140 мм); β – кут призми (90°); $P_{z1,2}$ – сили різання; Q – сила закріплення; M – момент сили різання, діючого на заготовку; R – реакція установочної поверхні призми; $F_{тр}$ – 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 наступний вигляд:

$$kM = 2F_{\text{тр}} \frac{d}{2}, \quad (3.1)$$

$$kM = fRd, \quad (3.2)$$

$$M = Pz_1 \cdot l_1 + Pz_2 \cdot l_2, \quad (3.3)$$

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

Визначення мінімального діаметру затискного гвинта здійснюється за формулою:

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

де $[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 45 $[\sigma] = 80 \dots 100$ МПа (приймаємо 80 МПа).

Приймаємо діаметр затискного бовта 10 мм.

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

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

$$\text{tg}\alpha = \frac{t}{\pi d_{\text{cp}}}, \quad (3.9)$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{пр}} = \frac{f_{\text{тр}}}{\cos\beta}, \quad (3.10)$$

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

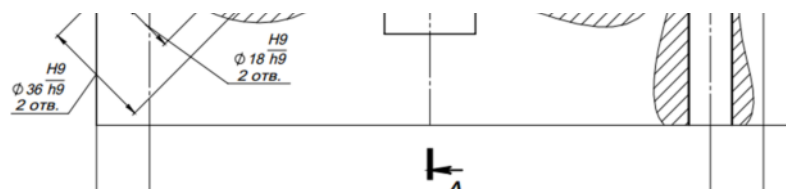
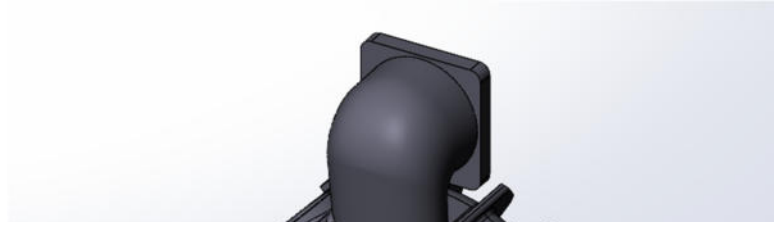


Рис 3.2 Спеціальний затискувальний пристрій кресленик



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

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 зберігалася 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.

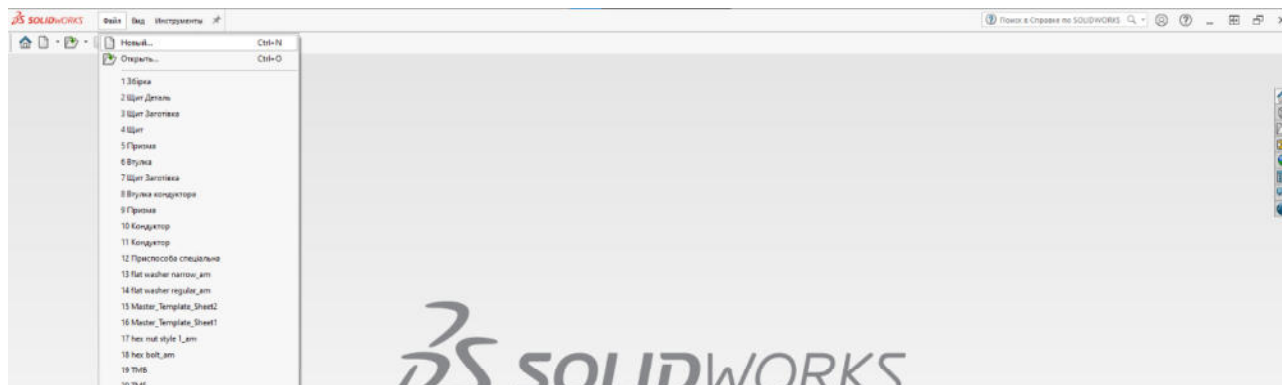
- Матеріал;
- Форма деталі;
- Граничні умови та навантаження.

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

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

Граничні умови та навантаження ми призначаємо самі, або вже їх маємо, це дозволяє нам зробити перевірений розрахунок деталі у САЕ-системі.

Почнемо покроковий розрахунок нашої деталі.



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

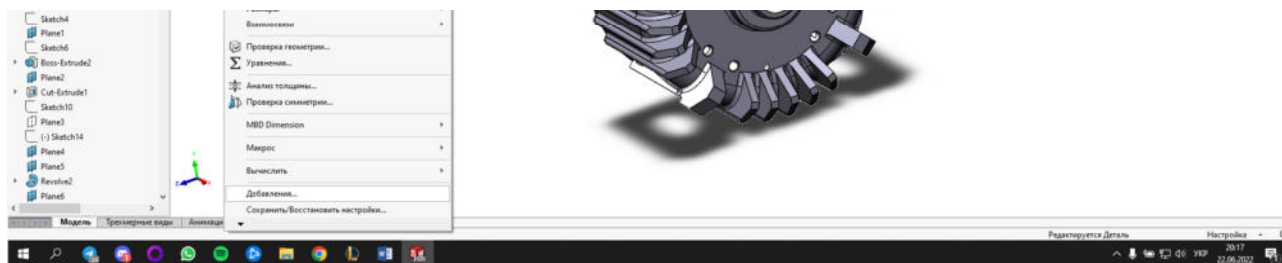
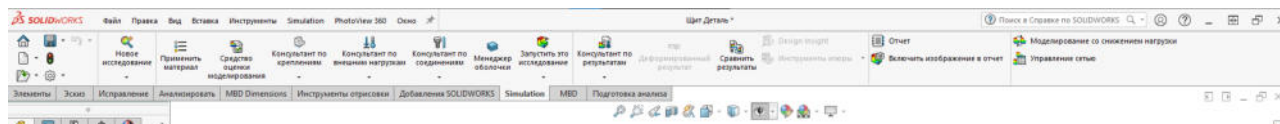


Рис 4.2 Добавлення інструменту Simulation

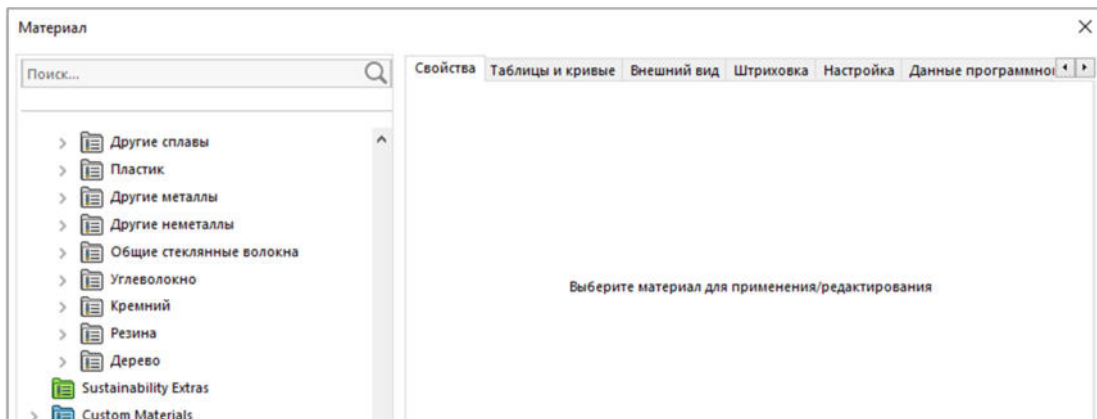
Тепер нам потрібно увімкнути інструмент для розрахунку МСЕ, за наступним алгоритмом.



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

потріюного сплаву не було знайдено, тому створимо потріюнии 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



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

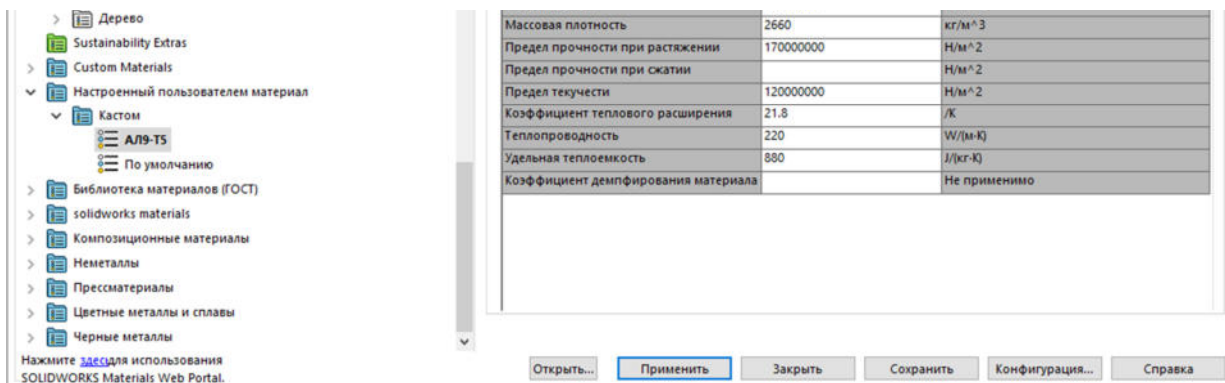
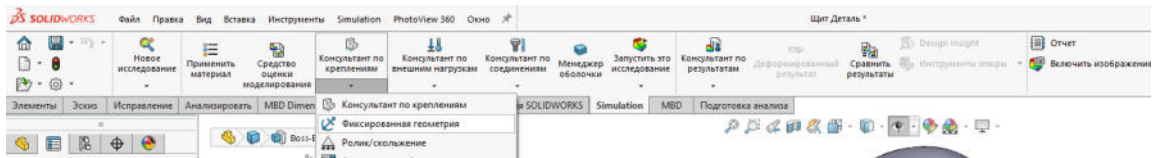


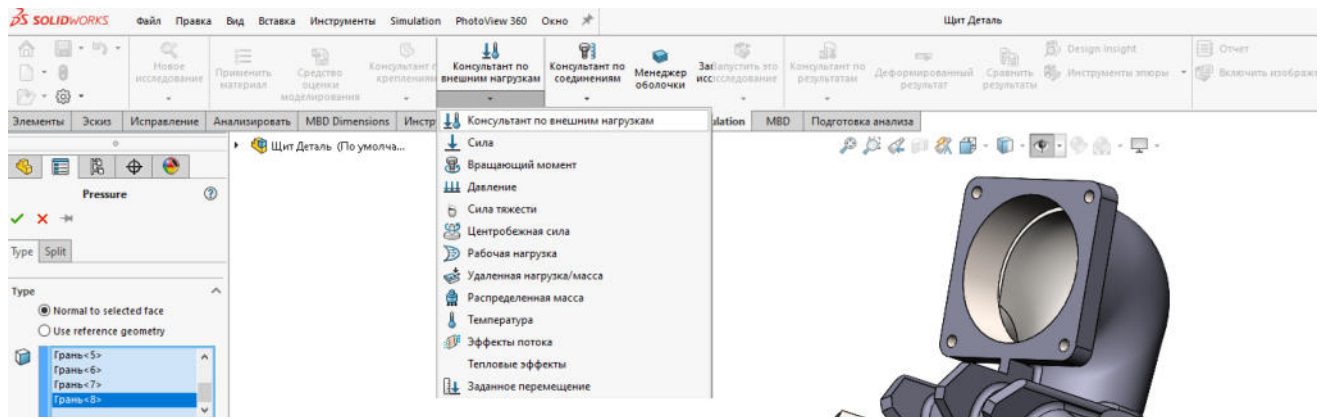
Рис 4.6 Завдання механічних властивостей

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.



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

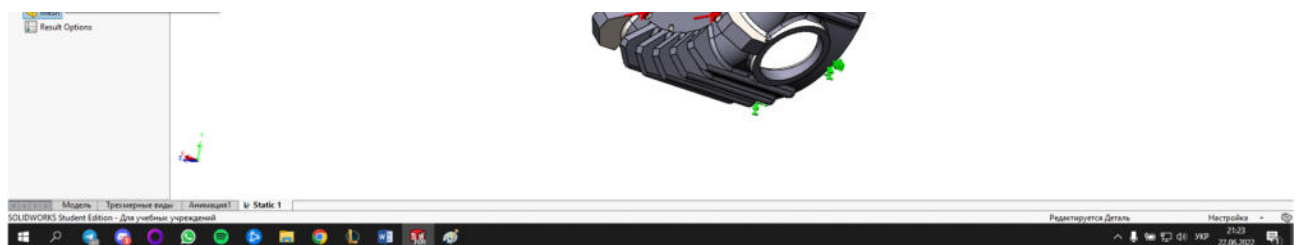
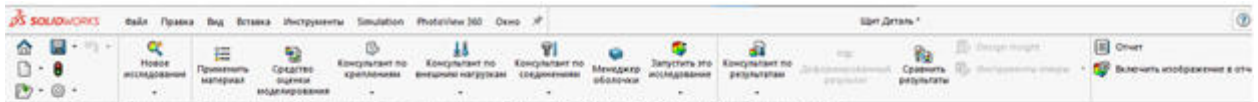


Рис 4.9 Створення сітки

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 більш 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)



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.

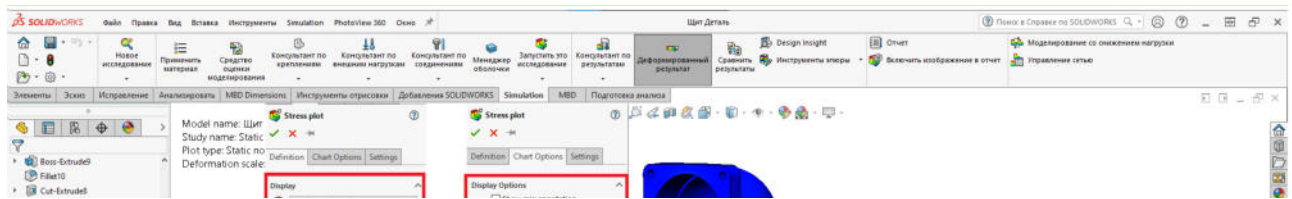
Тепер після аналізу, ми маємо візуалізацію результатів розрахунку, де ми маємо змогу бачити наступні результати разом із їхніми епюрами.

- (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:

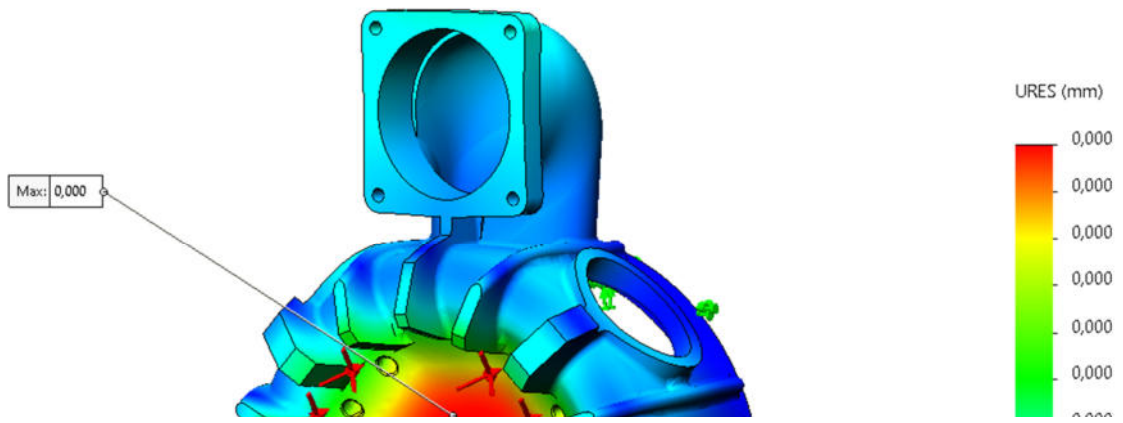
- Визначення напруги, якщо потрібно, в нас це Н/м.
- Deformed shape (ступінь деформації) відповідає за візуалізацію навантажень із перебільшенням у відсотках.
- Display Options (дисплей налаштувань) все що стосується легенди або епюри, максимальні/мінімальні значення, тощо.
- Останнє вікно дає можливість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



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 28.06.2022р.



Рис 4.12 Епюра напружень



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

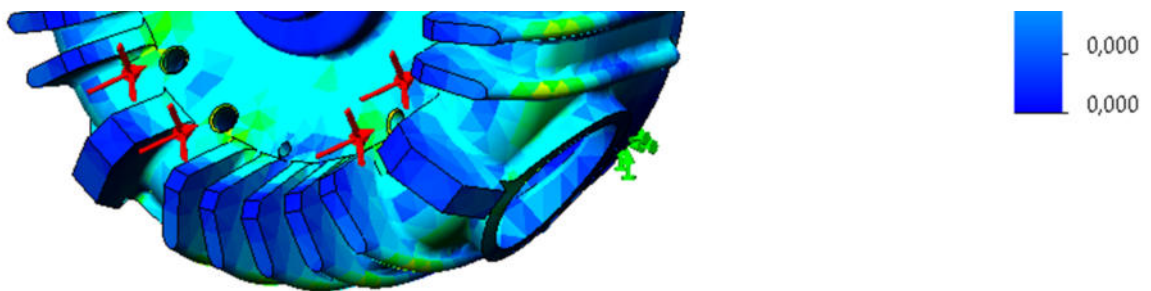
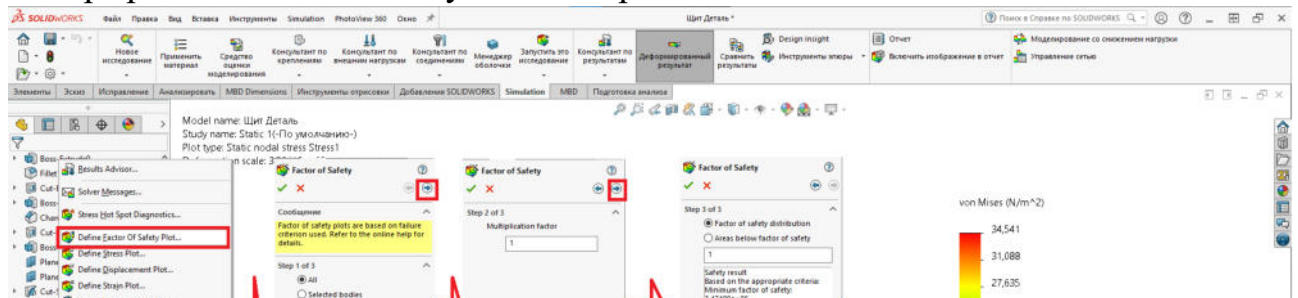


Рис 4.14 Епюра деформацій

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



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 28.06.2022р.

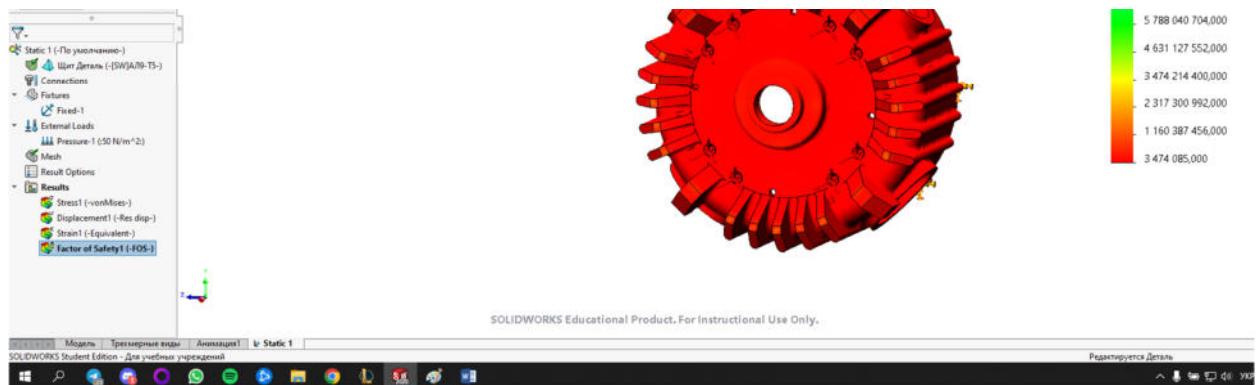


Рис 4.16 Запас міцності

Висновок

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

- створений технологічний процес виготовлення деталі «Щит»;
- спроектований спеціальний пристрій для закріплення деталі «Щит» на столі верстата;
- отримані навички у об'єктно-візуальному програмуванні;

У результаті автоматизації, була створена база даних «Розрахунок розмірів вилівка яка містить інформацію про параметри якості і точності вилівки, 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 кнопчна 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 вилівка та якості її поверхонь.

Результатом цієї роботи 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.

Перелік посилань

- 1) Довідник користувача ЄКТС [Електронний ресурс].
<https://kpi.ua/files/ECTS.pdf> (дата звернення: 04.11.2017).
- 2) ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
- 3) ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання.
- 4) ДСТУ 3.1105-2011. Єдина система технологічної документації. Форми та правила оформлення документів загального призначення
- 5) ДСТУ 2.104-2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи (2.104-2006, IDT).
- 6) ДСТУ 3.1103:2014 Єдина система технологічної документації. Основні написи. Загальні положення (3.1103-2011, IDT).
- 7) ДСТУ 3.1102:2014 Єдина система технологічної документації. Стадії розробки та види документів. Загальні положення (3.1102-2011, IDT).
- 8) Закон України «Про вищу освіту» [Електронний ресурс].
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
- 9) Національна рамка кваліфікацій. [Електронний ресурс].
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-п>.
- 10) Стандарт вищої освіти України бакалаврського рівня. Галузь знань 13 Механічна інженерія. Спеціальність 131 Прикладна механіка. [Електронний ресурс].
<https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishchaosvita/zatverdzeni%20standarty/2019/06/25/131-prikladna-mekhanika-bakalavr.pdf>.
- 11) Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу здобувачів вищої освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», затвердженого Вченою радою 22.01.2019, протокол № 2.
- 12) Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,
затверджене

Вченою радою 11.12.2018 (протокол № 15).

13) Положення про оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти, затверджене Вченою радою від 26.12.2017, протокол № 20 (у редакції, що ухвалена Вченою радою 18.09.2018, протокол № 11).35

14) Положення про проведення практики здобувачів вищої освіти
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,
затверджене

Вченою радою 11.12.2018 (протокол № 15).

15) Положення про систему запобігання та виявлення плагіату в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка», затверджене Вченою радою 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) O. Bohdanov, V. Protsiv, V. Derbaba & S. Patsera. (2020). Model of surface roughness in turning of shafts of traction motors of electric cars. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, (1), 41-45. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-1/041>

22. Ю.Г. Кравченко. Визначення і взаємозв'язок кутів зсуву і тертя при стружкоутворенні / Ю.Г. Кравченко, В.А. Дербаба, Д.В. Смагін // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2020 – № 61. – 193-201. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/61.193>

23. Kravchenko, Yu., & Derbaba, V. (2020). Empirical definition of the shearing angle and chip-edge contact length when cutting. Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 63, 123-133. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/63.123>

24. Дербаба В.А. Дослідження і удосконалення методики випробувань верстата на геометричну і кінематичну точність / В.А. Дербаба, В.С. Носачов, З.М. Різо

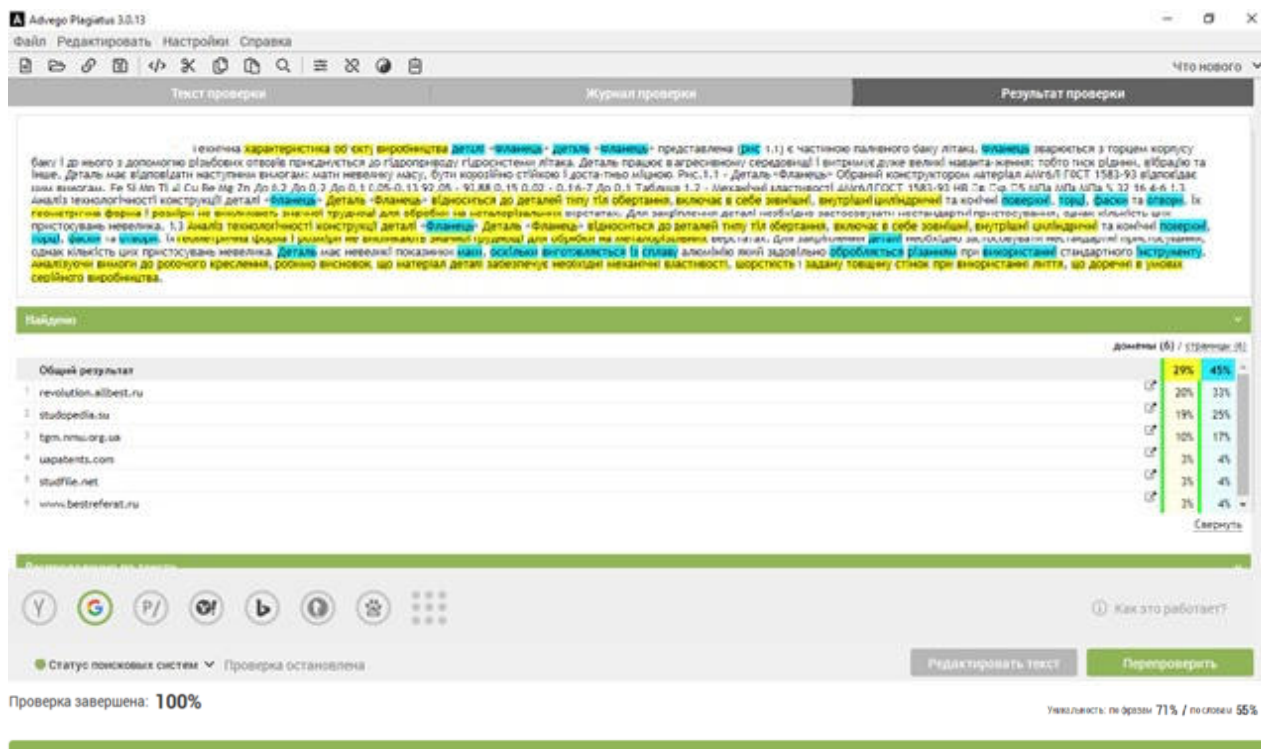
// Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021 – № 64. С.198-212 <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.198>

25. Проців В.В. Сучасні полімерні матеріали та технології в 3D-прінтингу / В.В. Проців, В.А. Козечко, В.А. Дербаба, О.О. Богданов// Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2021 – № 65 – С.107-117. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.107>

Результат перевірки унікальності тексту випускної кваліфікаційної роботи магістра Чорний Б.О.

Advego Plagiat <https://advego.com/antiplagiat/>

Дата перевірки: 30 травня 2022 року;
Інструмент перевірки: ADVEGO Plagiat 3.0.16 for Windows 10 x64 bit
Пошукові системи: Google, DuckDuckGo
Зміст перевірки: пояснювальна записка та додатки роботи
Кількість перевірених символів: 41167
Унікальність за фразами, %: 71
Унікальність за словами, %: 55
Збіги, %: 29
Рейт, %: 45



Виконавець кваліфікаційної роботи _____ Б.О. Чорний
Керівник кваліфікаційної роботи _____ В.А. Дербаба
Перевірив текст _____ В.А. Дербаба
Завідувач кафедри _____ В.В. Проців

