

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

Механіко-машинобудівний факультет

Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Чорнобривця Артема Леонідовича
(ПІБ)

академічної групи 131М-22Н-1
(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 системи Solid Simulation в розрахунок автоматизованої технології обробки деталі «Щит» на верстаті з ЧПК

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.04.2024 за №382-с

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.

Дніпро 2024

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)
В.А. Дербаб
(прізвище, ініціали)
«_____» _____ 2024 року

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

студенту Чорнобривець А.Л. академічної групи 131м-22н-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

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

на тему **Дослідження і інтеграція системи Solid Simulation в розрахунок автоматизованої технології обробки деталі «Щит» на верстаті з ЧПК**

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.04.2024 № 382-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
--------	-------	------------------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Чорнобривець А.Л.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

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

Тема «Дослідження і інтеграція САЕ-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 САЕ системі.

Мета дипломного проекту: введення САЕ 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 комплекту технологічної документації.

Конструкторський розділ складається з інформації проектування спеціального пристосування.

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

Об'єктом дослідження в дипломному проекті є використання САЕ 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.

ТЕХПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ЗАГОТОВКА, ОБРОБКА, ПРИПУСК, ОПЕРАЦІЯ, ВЕРСТАТ, ПРИСТРІЙ, ЛИТТЯ, САЕ СИСТЕМА, SOLIDWORKS .

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 «ВаріУС».

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	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

Деталь «Щит» входить до складу електричного двигуна МВ-1000БЗ чотирьополюсного, компаундного трьохшвидкісного, постійного струму, призначеного для приводу паливопідкачуючого центробіжного насосу ЕЦН 11А2, що встановлюється у повітряному транспорті або якв данному випадку встановлений всередині УМГ-300.

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 18.06.2024р.**

Діаметром 35 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.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

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

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

х
ї
у
ї
і
и

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 шайбі 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, 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 заготовки, вільно вести обробку всіх поверхонь деталі, здійснювати контроль оброблених поверхонь, застосовувати швидкодіючі верстатні пристосування.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

2 Технологічний розділ

2.1 Встановлення виробничої програми випуску деталей

Виробнича програма випуску деталей встановлюється в залежності від

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Φ 250

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 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 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

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Номинальний 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 термообробних кольорових легких сплавів литтям під тиском наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

(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.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

83JS11	83	1.1	0.32	1.2	1.7	84.7±0.55
--------	----	-----	------	-----	-----	-----------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$$\Gamma_{в.т} = \frac{G_d}{G_3} = \frac{0,9}{0,9} = 0,9, \quad (4.5)$$

де G_d - маса готової деталі;

G_3 - 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

		Ra,	Метод обробки
Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.			

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 оброблятися, так як установча та технологічна бази збігаються. Мінімальну трудомісткість конкретної обробки при високій концентрації і продуктивності, а також відсутність витрат на переналадження, забезпечить використання фрезерно-розточного верстату.

Обробка деталі здійснюється в двох сторін. З однієї сторони 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 «Щит» наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

МОН	Припуск, мкм	Гозрахунковий розмір, мкм	Допуск, мкм	Гозмір, мм	Припуск, мм
Ø35H9 (+0,062)				d _{max} d _{min}	7 7

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

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 циліндричним поверхням та їх 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

№	Зміст інструментально	Ріжучий Інструмент	Пержка	Цанга	Патрон	Режими різання
---	-----------------------	--------------------	--------	-------	--------	----------------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

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	15 0170	-			S=0.1-0.5 мм/об

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

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 $Ra_{6,3}$, з цього вибираємо подачу з 2-ї групи. Визначаємо її як $S_0 = 0,2$ мм/об.

Коригуємо подачу з урахуванням поправочних коефіцієнтів:

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

Де K_{sd} - коефіцієнт що враховує вид отвори, глухе або наскрізне;

K_{sm} - 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.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Приймаємо частоту обертання шпинделя верстата 2000об/хв.

Таким чином, дійсна швидкість різання дорівнює:

$$\pi \times D \times n = 314 \times 52 \times 2000$$

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

5	1,2	0,1	37	137	1200	0,290
	0,6	0,00		175,8	1600	0,039

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$T_{пз}$ - підготовчо-заключний час;

n - кількість деталей в партії.

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

$$T_{\text{дод}} = (T_{\text{дод}} + T_{\text{дод}}) \cdot [1 + (T_{\text{обс}} + T_{\text{отд}})]$$

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

з П

$$+ 0,034 + 0,027 + 0,017 = 1,59 \text{ хв.}$$

(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 $0,066 \times 12 = 0,792$ хв;
- підведення і відведення головки шпинделя до оброблюваної поверхні $0,12 \times 12 = 1,44$ хв;
- поворот стола на 180° у процесі виконання переходів в операції 0,3 хв;
- установка і зняття захисного щита 0,04 хв;
- відійти в початкове положення і запустити програму з пульта 0,15 хв.

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

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

- час на завмер штангенциркулем діаметра 48 мм, 0,2 хв;
- час на завмер штангенциркулем діаметрів 35 мм и 20 мм, $0,1 \times 2 = 0,2$ хв;
- час на завмер контрольним шаблоном фасок $1 \times 45^\circ$ на діаметрах 130 мм и 35 мм, $0,1 \times 2 = 0,2$ хв.

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

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, контрольнo-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;

- 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

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Таблиця 2.12

Операція 10. Програмна					
Модель	Прийосування	T_o	T_v	$T_{пз}$	$T_{шк}$

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Характеристика переходу						
Перехід	t, мм	S, мм/хв	$L_{рх}$, мм	V, м/хв	n, об/хв	T_i , хв

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

2.7 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 САД-системах, для формування траєкторій переміщення інструментів, які керують верстатами, що створюють фізичні деталі по проектам. Програмне забезпечення САМ найбільш часто використовується для обробки прототипів і готових деталей.

- максимально автоматизована САМ-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 "Щит" (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 САД-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

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рис. 2.1 – Моделювання деталі у SolidWorks

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рис. 2.2 – Імпорт моделі деталі до PowerMill

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рис. 3 – Фрезерування торцевих поверхонь

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

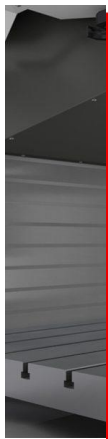
Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

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



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

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.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Стр 7, стлб 15 100% Windows (CRLF) ANSI

Рис. 12 – Процес постпроцесування GM-коду

Висновок: дані технічні можливості програм та обладнання на сьогоднішній день дозволяють виключити на 90% можливість появи небажаного шлюбу 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. Спеціальний 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 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

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

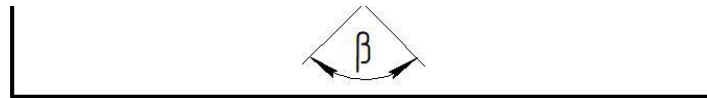


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема по знаходженню сили закріплення заготовки при установці її у призму: d – діаметр деталі (140 мм); β – кут призми (90°); $P_{z_{1,2}}$ – сили різання; Q – сила закріплення; M – момент сили різання, діючого на заготовку; R – реакція установочної поверхні призми; $F_{тр}$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

Для знаходження необхідної сили затискання необхідно отримати

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

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

Визначення мінімального діаметру затискного гвинта здійснюється за формулою:

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

$$d_{\text{зат}} = d_{\text{ср}} \cdot \cos \beta \cdot \left(\frac{1}{f_{\text{тр}}} + \frac{t}{d_{\text{ср}}} \right)$$

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

t – шаг різьби (таб.3.2);

$f_{\text{тр}}$ – 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_H , мм	d_{cp} , мм	t , мм	α , °	β , °	$\text{tg}(\alpha + \varphi_{np})$
------------	---------------	----------	--------------	-------------	------------------------------------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

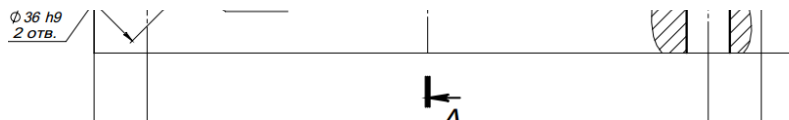


Рис 3.2 Спеціальний затискувальний пристрій кресленник

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

Рис 3.3 Спеціальний затискувальний пристрій у збірці

4 Науково-дослідний розділ

4.1 Постановка задачі дослідження

Навчитися розраховувати навантаження які сприймає деталь, за допомогою САЕ-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 зберігалосся 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 процесів засобами SolidWORKS Simulation

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Рис 4.1 Вікно програми SolidWorks 2022

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

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.



Рис 4.2 Додавлення інструменту Simulation

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

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

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

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.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Рис 4.4 Обирання матеріалу деталі

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

Обираємо матеріал, зазвичай він 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

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

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 18.06.2024р.

це тиск, який сприймає щит через крипіжні гвинти навколо отворів. Рис 4.8
Також задамо числове значення навантаження, 50 Н.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

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 18.06.2024р.

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, механізмів/зміщень/деформацій тощо.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.

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 18.06.2024р.

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

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**

ВИСНОВКИ

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.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

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

14 Стандарт вищої освіти України бакалаврського рівня. Галузь знань 13
Механічна інженерія. Спеціальність 131 Прикладна механіка. [Електронний
ресурс]. [https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-
osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/06/25/131-prikladna-mekhanika-bakalavr.pdf](https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/06/25/131-prikladna-mekhanika-bakalavr.pdf).

15 Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу
здобувачів вищої освіти Національного технічного університету «Дніпровська
політехніка», затвердженого Вченою радою 22.01.2019, протокол № 2.

16 Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти Національного
технічного університету «Дніпровська політехніка», затверджене Вченою
радою 11.12.2018 (протокол № 15). 36

17 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).

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

19 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.

**Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 18.06.2024р.**