

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології виготовлення корпусу 952252.092 з
дослідженням параметрів обробки поверхонь тонкостінних елементів

Виконав: студент II курсу, групи МПм-61

спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

Блацишин А.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Ткаченко І.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: “Розроблення технології виготовлення корпусу 952252.092 з дослідженням параметрів обробки поверхонь тонкостінних елементів”.

У кваліфікаційній роботі проведено дослідження параметрів процесу фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах. Представлено схему фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах. Для подальшого дослідження динамічної моделі даного процесу розроблено розрахункову схему та виведено рівняння для визначення часу контакту (різання) між зубами фрези та дисковими елементами заготовки, а також проміжку часу між виходом зуба фрези із першого дискового тонкостінного елемента та врізанням у наступний дисковий тонкостінний елемент залежно від конструктивних та технологічних параметрів процесу.

Побудовано графіки залежності кута та часу контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від товщини матеріалу дискового тонкостінного елемента, зовнішнього радіуса фрези та глибини паза на дисковому тонкостінному елементі.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану дискових тонкостінних елементів при фрезеруванні в них пазів. Для досліджень розглянуто різні варіанти фрезерування пазів на дисковому елементі: фрезерування одного паза на суцільній дисковій заготовці; фрезерування паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; фрезерування паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами.

Вдосконалено технологічний процес виготовлення корпусу 952252.092.

ЗМІСТ

Вступ	
1 Аналітична частина	
1.1. Аналіз стану питання.....	
1.2. Висновки та постановка завдань.....	
2 Науково-дослідна частина	
2.1. Дослідження параметрів процесу фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах.....	
2.2. Дослідження напружено-деформованого стану дискових тонкостінних елементів при фрезеруванні в них пазів.....	
2.3. Висновки.....	
3 Технологічно-конструкторська частина	
3.1. Службове призначення деталі.....	
3.2. Вибір способу одержання заготовки.....	
3.3. Формування технологічного процесу	
3.4. Визначення припусків на оброблення.....	
3.5. Визначення режимів різання.....	
3.6. Розрахунок пристосування.....	
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

Тонкостінні деталі широко застосовуються у різних галузях промисловості, зокрема в аерокосмічній, автомобільній та енергетичній галузях у таких виробках, як лопатки, робочі колеса та корпуси двигунів. Як правило, їх виготовляють із суцільної заготовки шляхом видалення до 95% початкового об'єму матеріалу. Проте тонкостінні деталі схильні до виникнення вібрацій під час процесів різання через низьку жорсткість конструкції та низькі демпфувальні властивості.

В процесі механічного оброблення тонкостінних деталей, зокрема при переривчастому різанні, такому як фрезерування, під дією зовнішніх сил різання чи ударних навантажень процес різання може ставати нестабільним: у статичних умовах можуть виникати деформації, а в динамічних - значні вібрації, що погіршують якість обробленої поверхні й призводять до похибок форми деталі.

З динамічної точки зору при механічному обробленні тонкостінних деталей часто виникають нестійкі режими різання та автоколивання, що призводить до збільшення шорсткості обробленої поверхні, інтенсивного зношування ріжучих інструментів і прискореного зношення вузлів верстатів.

Загалом основною проблемою механічного оброблення тонкостінних деталей є вібрації, зумовлені їх низькою жорсткістю. Тому дослідження параметрів процесу фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах є актуальним завданням.

Актуальним є також розроблення технологічного процесу виготовлення корпусу 952252.092.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Аналіз стану питання

Тонкостінні деталі малої жорсткості широко застосовуються в аерокосмічній, автомобільній та енергетичній галузях у таких виробках, як лопатки, робочі колеса та корпуси двигунів. Як правило, їх виготовляють із суцільної заготовки шляхом видалення до 95% початкового об'єму матеріалу. Проте тонкостінні деталі схильні до виникнення вібрацій під час процесів різання через низьку жорсткість конструкції та низькі демпфувальні властивості.

В процесі механічного оброблення тонкостінних деталей, зокрема при переривчастому різанні, такому як фрезерування, під дією зовнішніх сил різання чи ударних навантажень процес різання може ставати нестабільним: у статичних умовах можуть виникати деформації, а в динамічних - значні вібрації, що погіршують якість обробленої поверхні й призводять до похибок форми деталі. Це особливо проявляється під час обробки важкооброблюваних матеріалів, наприклад титанового сплаву, через виникнення значних сил різання. У деяких критичних ситуаціях наявність вібрацій може призвести до пошкодження ріжучого інструменту або самої заготовки.

Тонкостінні деталі виготовляють шляхом видалення значної кількості матеріалу з початкової заготовки в процесі механічної обробки, зазвичай досягаючи коефіцієнта використання матеріалу менше 0,3. Деталі на етапі механічного оброблення характеризуються низькою жорсткістю та постійною зміною їх механічних властивостей. Товщина таких деталей щонайменше в шість разів менша порівняно з двома іншими характерними розмірами, що зумовлює їх високу податливість і схильність до деформації. Це зумовлює як динамічні, так і статичні деформації деталей під час механічного оброблення тазатиску.

З динамічної точки зору при механічному обробленні тонкостінних деталей часто виникають нестійкі режими різання та автоколивання, що

призводить до збільшення шорсткості обробленої поверхні, інтенсивного зношування ріжучих інструментів і прискореного зношення вузлів верстатів. Вимушені вібрації, спричинені динамікою процесу різання, також впливають на якість обробленої деталі, знижуючи її точність.

Сили затиску заготовки та сили різання викликають пружні деформації, що можуть вплинути на кінцеві розміри та шорсткість поверхні деталі. Залишкові напруження після механічного оброблення також призводять до зміни кінцевої геометрії деталі.

Загалом основною проблемою механічного оброблення тонкостінних деталей є вібрації, зумовлені їх низькою жорсткістю. Залежно від причини їх виникнення, вібрації поділяють на автоколивання та вимушені коливання. Явище автоколивання виникає тоді, коли власна частотна характеристика системи збуджується внаслідок процесу різання. Ця втрата стійкості зазвичай пов'язана з вібраціями інструмента під час механічної обробки, але вирішальний вплив має саме частотна характеристика деталі, яка постійно змінюється зі зміною її геометрії. Такий циклічний характер зміни параметрів різання змінює власну частоту системи та призводить до втрати стабільності процесу різання.

Вимушені вібрації або їх посилення виникають у випадках, коли жорсткість деталі є недостатньою для підтримання постійної товщини стружки, що утворюється в процесі різання.

Заготовка та інструмент піддаються деформації під дією сил різання, що спричиняє виникнення їх вібрацій на тій самій частоті, що й частота обертання шпинделя, або на її кратних гармоніках. Обидва випадки змінюють характер контакту між поверхнею заготовки та ріжучою крайкою інструмента, змінюючи ширину зрізу стружки, що впливає на дійсні сили різання. Нестійкі режими різання зазвичай залишають сліди на поверхні деталі, підвищуючи її шорсткість і погіршуючи якість обробленої поверхні.

Інша ключова проблема, пов'язана з низькою жорсткістю тонкостінних деталей, - розмірна похибка, спричинена їх прогином. Ця проблема не враховується під час механічного оброблення жорстких деталей. Під час

механічного оброблення жорстких деталей зазвичай розглядають гнучкість інструментальної системи, хоча вона не завжди враховується у традиційних моделях фрезерування. Однак при механічному обробленні тонкостінних деталей типовою є спільна деформація як деталі, так і ріжучого інструмента.

Статична деформація деталі може виникати внаслідок взаємодії сил різання. У цьому випадку величина деформації зазвичай залежить від стратегії фрезерування (зустрічне чи попутне різання) та режимів різання, які визначають сили різання і, відповідно, деформацію системи. Сучасне високошвидкісне фрезерування зменшує сили різання і викликає менші залишкові напруження у деталі, але цей спосіб оброблення не може повністю усунути деформацію деталі. Ця проблема посилюється у процесах двостороннього фрезерування через відхилення фактичної геометрії деталі від номінальної.

Поверхневі шари деталі, що утворюються внаслідок механічної обробки тонкостінних криволінійних поверхонь, часто не займають запланованого положення у затискному пристосуванні, що призводить до надмірного зрізання матеріалу на окремих ділянках поверхні. Крім того, такі деталі зазвичай більші, ніж деталі, виготовлені з монолітних блоків, тому затискні пристрої не завжди здатні забезпечити необхідні допуски фінішного оброблення, що додатково ускладнює весь процес механічного оброблення.

Різні підходи, розроблені для прогнозування та усунення обох зазначених проблем. На етапах проектування технологічних процесів та технологічної підготовки виробництва використовують обчислювальні моделі та цифрові двійники, які дають змогу обирати параметри або траєкторію інструмента, що забезпечують зменшення автоколивань та деформацій деталі, а також для перевірки конструкції спеціальної оснастки та пристроїв для підвищення жорсткості деталі.

У промисловості для оброблення тонкостінних деталей розроблено різні системи кріплення, пристрої для підвищення їх жорсткості та адаптивні системи керування, засновані на статистичних методах і моделях машинного навчання, що відповідають концепціям Industry 4.0.

Динамічну поведінку та ефективність механічної обробки тонкостінних деталей було широко досліджено у 1990-х роках автором Budak та співавторами [20]. Більшість наукових робіт, спрямованих на розроблення нових методів прогнозування поведінки системи, базується на частотній характеристиці системи та деформаціях, спричинених силами різання. Їх кінцева мета полягає у виборі геометрії інструмента та параметрів різання таким чином, щоб товщина стружки залишалася сталою, а рівень вібрацій був мінімальним. З цією метою, а також для розуміння фізичних основ обробки тонкостінних деталей розроблено аналітичні моделі сил різання, динаміки та деформацій.

Прогнозовані сили різання можуть бути розраховані за допомогою емпіричної моделі, яка адаптується до параметрів різання, інструментів та матеріалу деталі. Геометричні параметри інструментів мають суттєве значення, особливо для зменшення рівня вібрацій деталей.

У статті [12] модель різання представлено для стандартної кінцевої фрези з заокругленою торцевою частиною (рис. 1.1), з урахуванням кутового положення інструмента (λ).

Після розрахунку сил різання можна передбачити стійкість системи на основі частотної характеристики системи та значень параметрів різання. Для цього необхідно визначити кількість ступенів вільності системи. Жорсткість інструмента та заготовки можна розглядати для трьох можливих варіантів (рис. 1.2). Деформація деталі, інструментальної системи або обох складових одночасно може впливати на кінцеву товщину та шорсткість поверхні деталі. З цієї причини дослідники моделювали динамічну деформацію системи для прогнозування реальної кількості зрізаного матеріалу на кожному переході та уникнення необхідності виконання повторного оброблення.

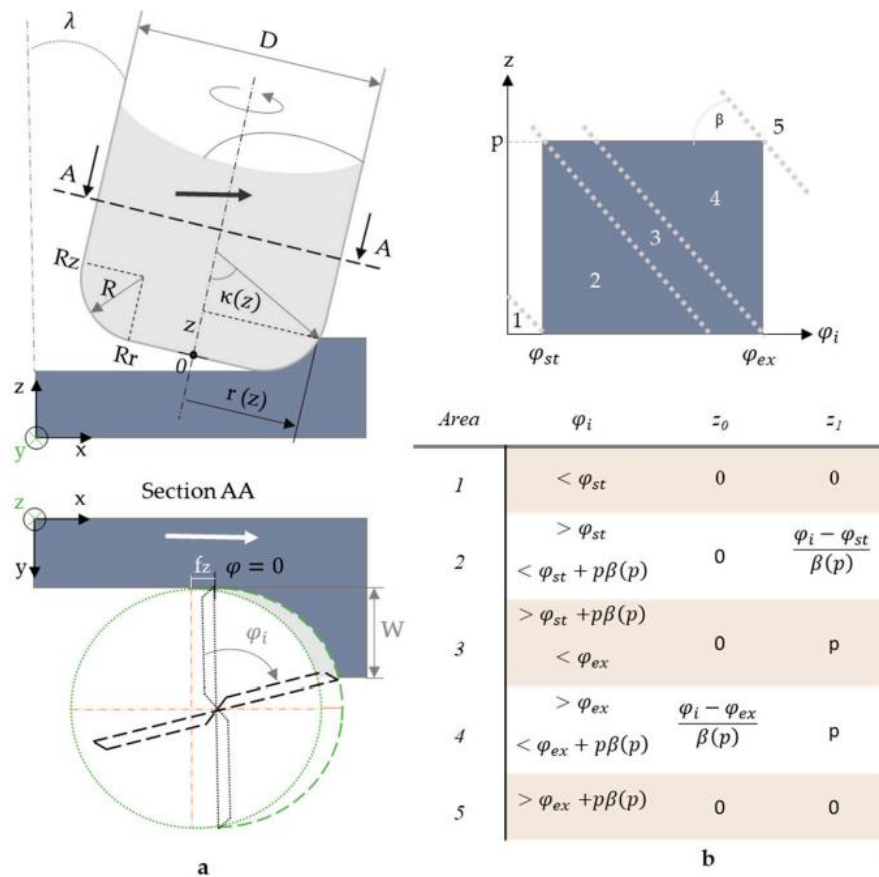


Рисунок 1.1 – Геометричні параметри кінцевої фрези для оброблення тонкостінних деталей та обмеження щодо їх вибору [12]

Основні напрямки досліджень носять аналітичний характер та із використанням методу кінцевих елементів з відповідним програмним забезпеченням. При дослідженні процесу на основі схеми рис. 1.3 фрезерування тонкостінних елементів (рис. 1.4) встановлено зв'язок нормальної сили, прикладеної до заготовки та величини деформації тонкостінного елемента [15]:

$$F = \frac{E}{1-\mu^2} f(a, b, c) (w + \Delta w(u, v))^3. \quad (1.1)$$

У деяких роботах прогнозування деформації заготовки виконується шляхом ітеративних обчислень у межах прийнятого квазістатичного режиму. Аналіз виконується вздовж траєкторії інструмента, і для кожного нового положення інструмента здійснюється ітерація через зміну контакту «заготовка–

інструмент» та зміну жорсткості заготовки.

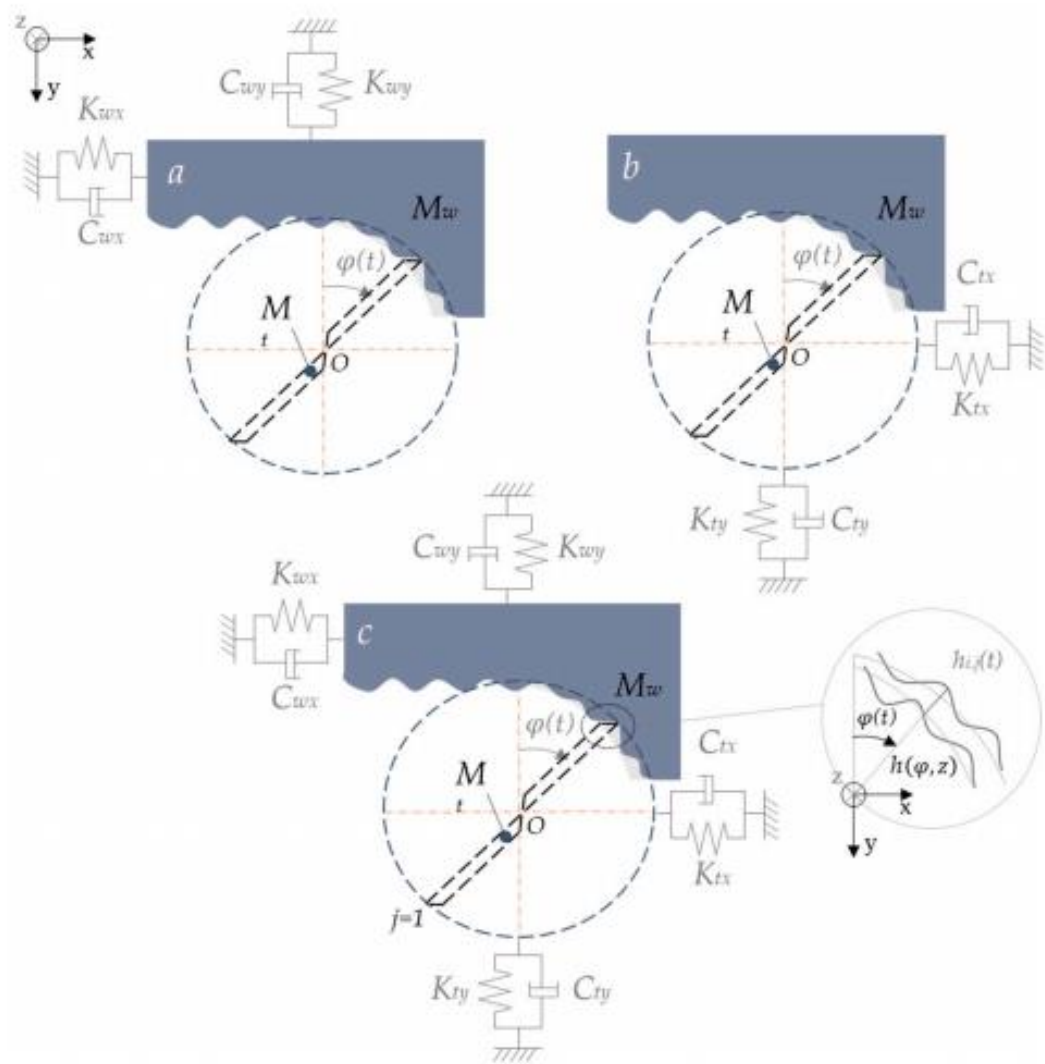


Рисунок 1.2 – Можливі моделі динаміки фрезерування тонкостінних елементів заготовок [12]

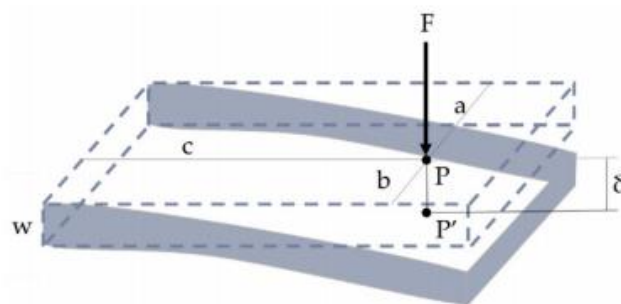


Рисунок 1.3 – Схема деформації тонкостінного елемента [15]

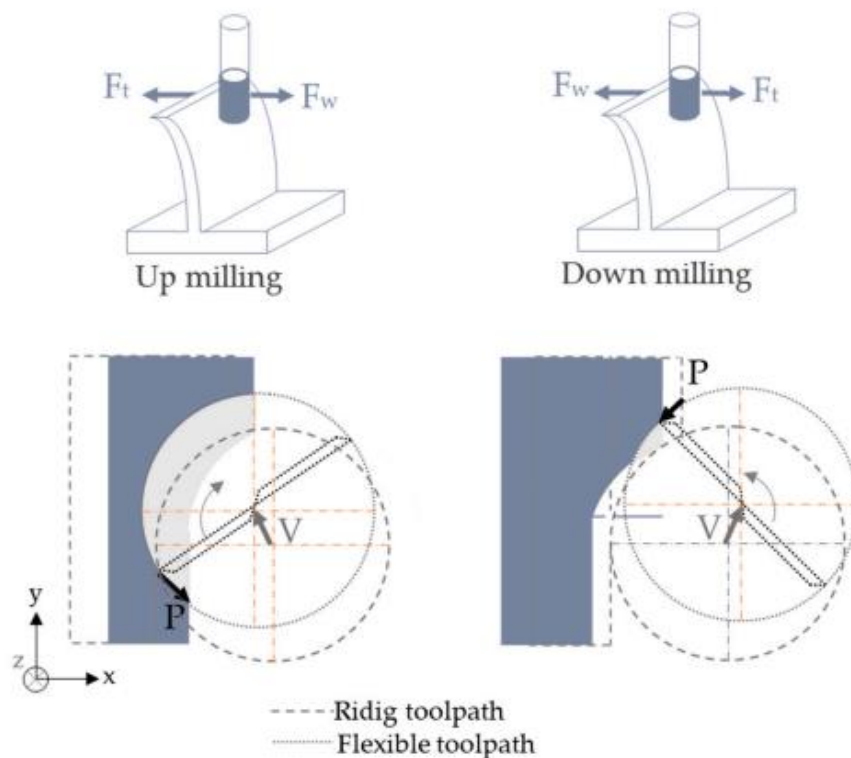


Рисунок 1.4 – Схеми дослідження процесу фрезерування тонкостінних елементів [12]

Деформації, спричинені цими змінами, можуть суттєво коливатись навіть протягом одного оберту шпинделя з фрезою, як показано на рис. 1.5. Відповідно, для кожного нового положення необхідно оновлювати модель залишкового матеріалу, повторно створювати скінченну сітку заготовки, що значно збільшує час обчислень.

У роботі Izamshah та ін. [21] поєднано метод скінченних елементів та статистичні моделі, щоб зменшити час обчислень під час моделювання похибки обробленої поверхні. Ratchev та ін. [22] запропонували для прогнозування прогину деталі запропонували модель на основі підходу до формування поверхні з використанням об'ємних елементів. Аналогічно, Liu та ін. [23] збільшили швидкість обчислень, змінивши метод моделювання: враховано зменшення матеріалу за допомогою булевих операцій та гексадральних алгоритмів мапування, включно з пружним відновленням інструмента та заготовки. Ці моделі перевірено з похибкою менше ніж 15%.

Wang і Si [24] відмовились від підходів із подрібненням сітки або адаптивною сіткою, оскільки обидва способи значно збільшують час розрахунків, не покращуючи точність. Натомість вони моделювали зміну жорсткості деталі шляхом видалення двох елементів, що прилягають до зони контакту фрези із заготовкою, що дозволило підвищити точність прогнозування деформації.

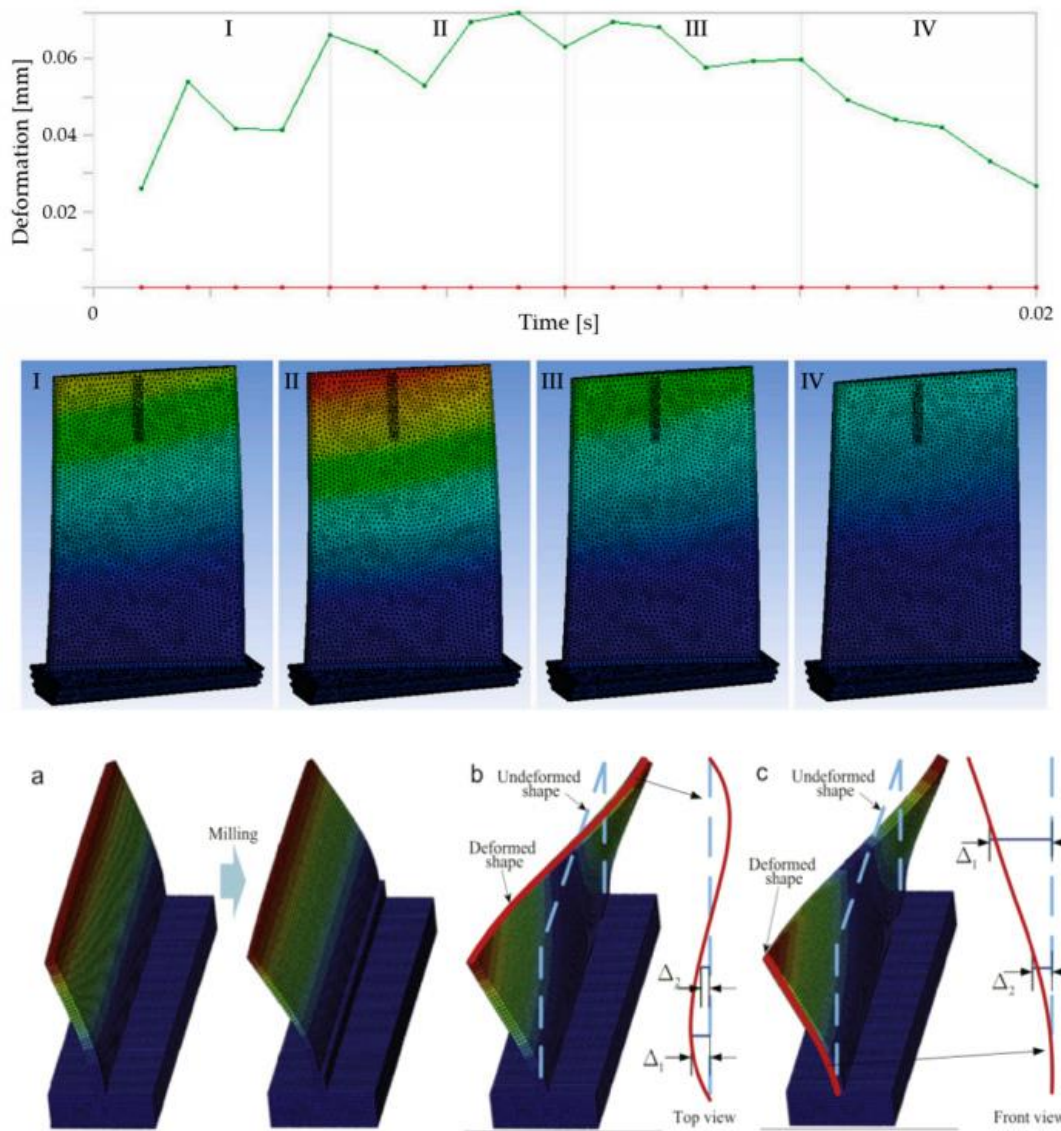


Рисунок 1.5 – Деформації заготовки протягом одного оберту шпинделя з фрезою в процесі різання [18], [19]

У роботах [25], [26] розроблено оснащення та режими фрезерування пазів на тонкостінних витках гвинтових заготовок, що зображено на рис. 1.6 та 1.7. Для цього використано вертикально-фрезерний верстат з ЧПК та дискову фрезу.

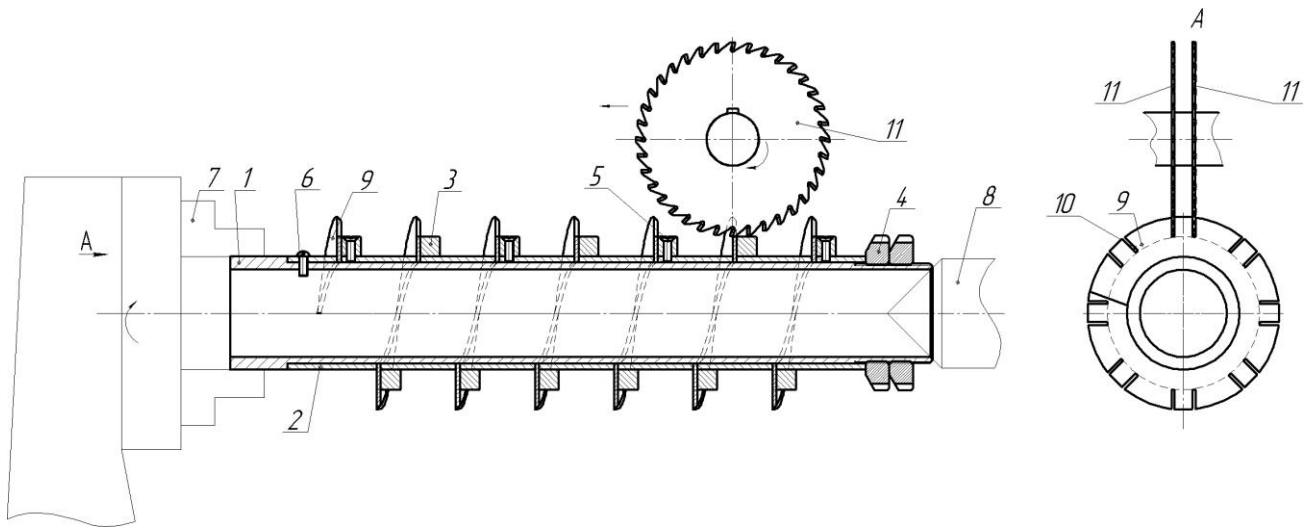


Рисунок 1.6 – Схема процесу фрезерування пазів на тонкостінних витках гвинтових заготовок [25]



Рисунок 1.7 – Виконання процесу фрезерування пазів на тонкостінних витках гвинтових заготовок, використовуючи вертикально-фрезерний верстат з ЧПК [26]

1.2. Висновки та постановка завдань

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що тонкостінні деталі схильні до виникнення вібрацій під час процесів різання через низьку жорсткість конструкції та низькі демпфувальні властивості.

В процесі механічного оброблення тонкостінних деталей, зокрема при переривчастому різанні, такому як фрезерування, під дією зовнішніх сил різання чи ударних навантажень процес різання може ставати нестабільним: у статичних умовах можуть виникати деформації, а в динамічних - значні вібрації, що погіршують якість обробленої поверхні й призводять до похибок форми деталі.

З динамічної точки зору при механічному обробленні тонкостінних деталей часто виникають нестійкі режими різання та автоколивання, що призводить до збільшення шорсткості обробленої поверхні, інтенсивного зношування ріжучих інструментів і прискореного зношення вузлів верстатів.

Загалом основною проблемою механічного оброблення тонкостінних деталей є вібрації, зумовлені їх низькою жорсткістю.

У кваліфікаційній роботі потрібно вирішити такі завдання:

1. Провести дослідження параметрів процесу фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах.

2. Для подальшого дослідження динамічної моделі вивести рівняння для знаходження кута контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом, часу контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом, а також проміжку часу між виходом зуба фрези із першого дискового тонкостінного елемента та врізанням у наступний дисковий тонкостінний елемент залежно від конструктивних та технологічних параметрів процесу.

3. Побудувати графіки залежності кута та часу контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від товщини матеріалу дискового тонкостінного елемента, зовнішнього радіуса фрези та глибини паза на дисковому тонкостінному елементі.

4. Провести дослідження напружено-деформованого стану дискових тонкостінних елементів при фрезеруванні в них пазів.

5. Вдосконалити відомий технологічний процес виготовлення корпусу 952252.092.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1. Дослідження параметрів процесу фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах

При виготовленні деталей машин досить часто виникає завдання фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах. Такий процес супроводжується суттєвими динамічними навантаженнями на інструмент та тонкостінний елемент заготовки. Схема такого процесу зображена на рис. 2.1, рис. 2.2. Дискові тонкостінні елементи 3 базуються центральним отвором на оправці 1 і закріплюються затискними елементами 2 за допомогою загвинчування гайок на різьбову частину оправки. Оправка разом із дисковими тонкостінними елементами закріплюється у патроні 5 ділильної головки та встановлюється на конічний центр 6 вертикально-фрезерного верстата. Фрезерування пазів виконується дисковою фрезою 4 із подачею S вздовж набору дисків.

В процесі такої обробки спостерігається значне деформування дискових тонкостінних елементів заготовки а також виникнення динамічних навантажень на дискову фрезу. При дослідженні динамічної моделі даного процесу виникає необхідність у визначенні часу контакту (різання) між зубами фрези та дисковими елементами заготовки, а також проміжку часу між виходом зуба фрези із першого дискового тонкостінного елемента та врізанням у наступний дисковий тонкостінний елемент (рис. 2.1). Для визначення часових та конструктивних параметрів процесу фрезерування пазів розроблено розрахункову схему, що представлена а на рис. 2.3.

Час контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом визначаємо за рівнянням:

$$t_k = \frac{\Phi}{\omega}, \quad (2.1)$$

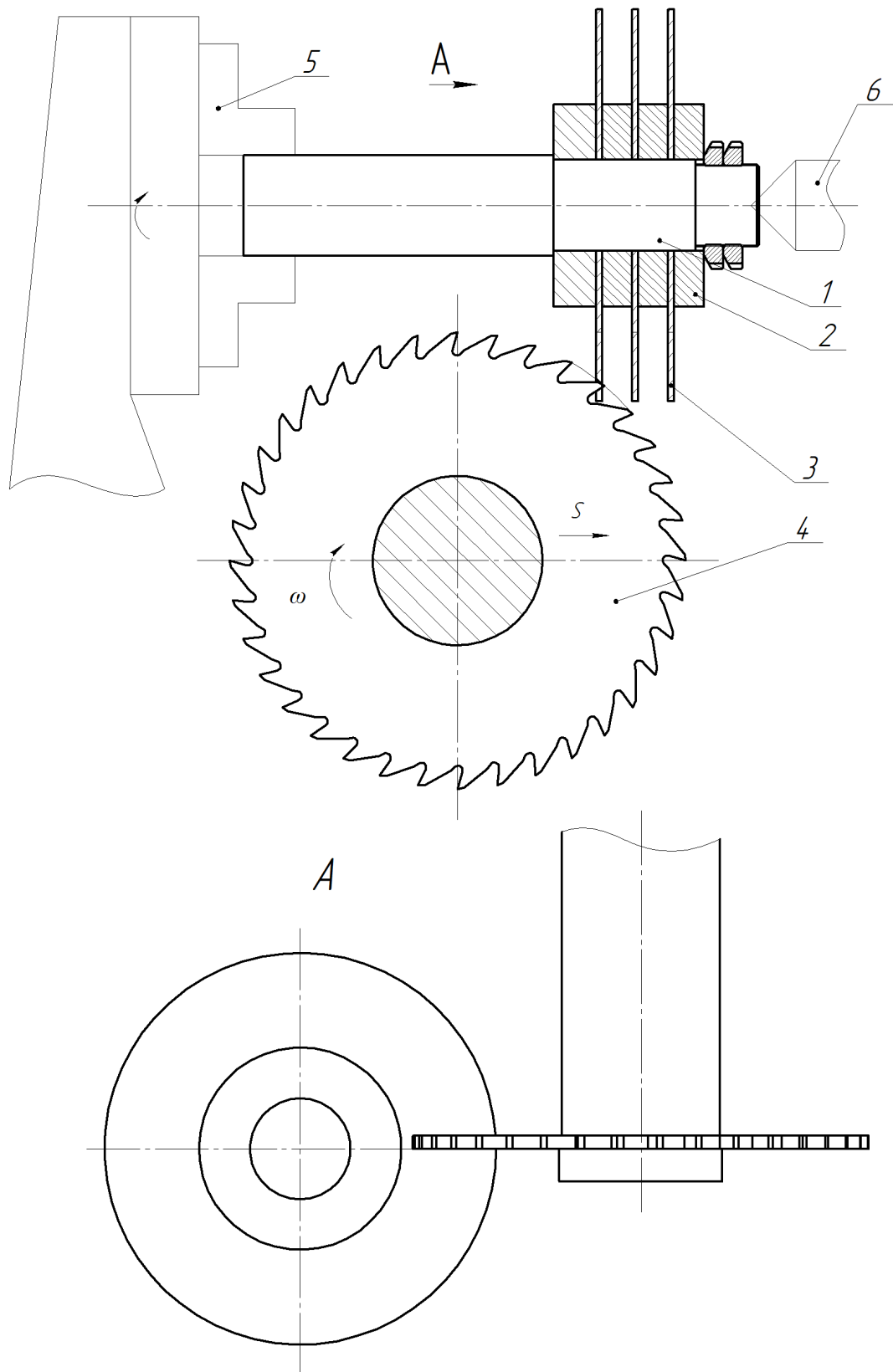


Рисунок 2.1 – Схема фрезерування пазів на тонкостінних дискових елементах на вертикально-фрезерному верстаті: 1 – оправка, 2 – затискні елементи; 3 – дискові тонкостінні елементи; 4 – дискова фреза; 5 – патрон ділильної головки; 6 - центр

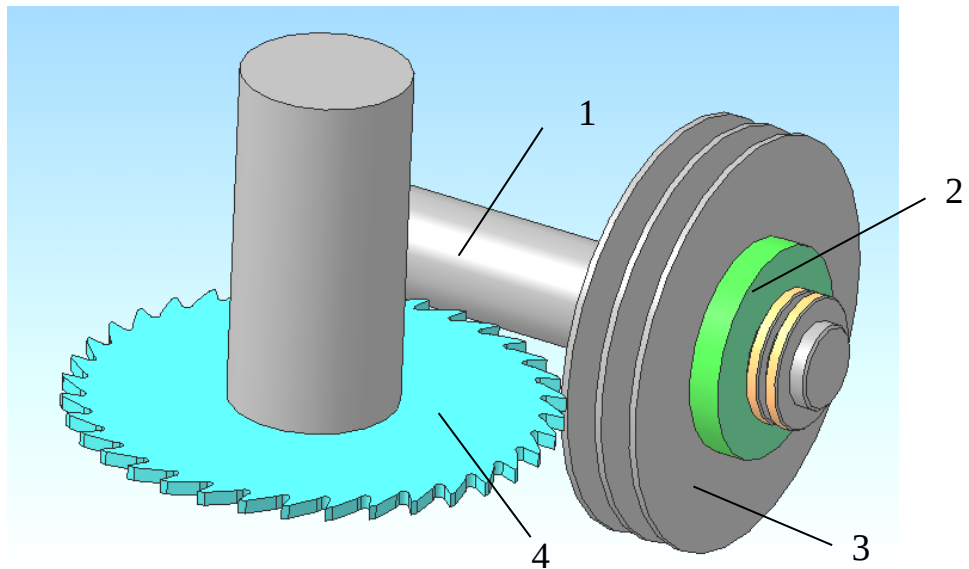


Рисунок 2.2 – Схема фрезерування пазів на тонкостінних дискових елементах на вертикально-фрезерному верстаті: 1 – оправка, 2 – затискні елементи; 3 – дискові тонкостінні елементи; 4 – дискова фреза

де φ - кут контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом (дуги АВ з центром О на осі обертання дискової фрези), рад;

ω - частота обертання дискової фрези, рад/с.

Кут дуги АВ з центром О на осі обертання дискової фрези визначаємо за залежністю:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (2.2)$$

де φ_1 - кут трикутника АОС;

φ_2 - кут трикутника СОВ.

Кут φ_2 трикутника СОВ визначаємо за рівнянням:

$$\varphi_2 = \pi - \gamma - \psi, \quad (2.3)$$

де γ – кут трикутника DCO;

ψ – кут між лінією ВО та горизонтальною прямою.

Кут γ трикутника DCO визначаємо за формулою:

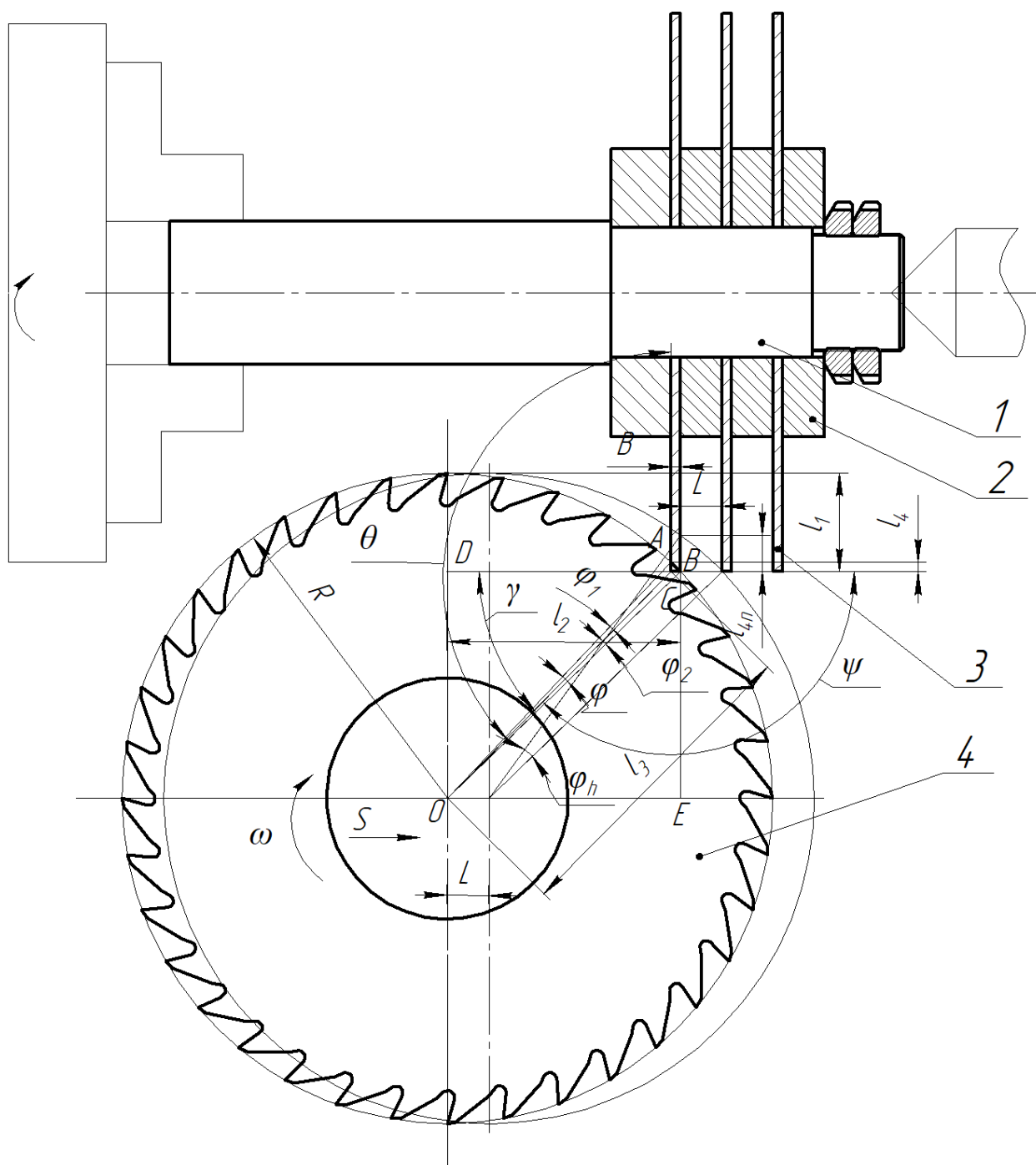


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема для визначення часових та конструктивних параметрів процесу фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах: 1 – оправка, 2 – затискні елементи; 3 – дискові тонкостінні елементи; 4 – дискова фреза

$$\cos \gamma = \frac{l_2}{R}, \quad (2.4)$$

де l_2 - половина хорди зовнішнього радіуса фрези у точці виходу зубів фрези із тонкостінного дискового елемента;

R – зовнішній радіус фрези.

Половину хорди зовнішнього радіуса фрези у точці виходу зубів фрези із тонкостінного дискового елемента визначаємо із залежності:

$$l_2 = \sqrt{2l_1R - l_1^2}, \quad (2.5)$$

де l_1 - глибина паза на дисковому тонкостінному елементі.

Тоді на основі рівнянь (2.4) та (2.5) одержуємо:

$$\gamma = \arccos\left(\frac{\sqrt{2l_1R - l_1^2}}{R}\right). \quad (2.6)$$

Кут ψ між лінією ВО та горизонтальною прямою визначаємо за теоремою косинусів із трикутника ВСО:

$$\psi = \arccos\left(\frac{B^2 + l_3^2 - R^2}{2Bl_3}\right), \quad (2.7)$$

де B – товщина матеріалу дискового тонкостінного елемента;

l_3 - відстань від центра О фрези до вершини С дискового тонкостінного елемента.

Відстань l_3 від центра О фрези до вершини С дискового тонкостінного елемента визначаємо за теоремою косинусів із трикутника ВСО:

$$l_3 = \sqrt{B^2 + R^2 - 2BR\cos\gamma}. \quad (2.8)$$

Із врахуванням рівняння (2.6) одержано:

$$l_3 = \sqrt{B^2 + R^2 - 2B\sqrt{2l_1R - l_1^2}}. \quad (2.9)$$

Підставляємо дані у формулу (2.7):

$$\psi = \arccos \left(\frac{B - \sqrt{2l_1 R - l_1^2}}{\sqrt{B^2 + R^2 - 2B\sqrt{2l_1 R - l_1^2}}} \right). \quad (2.10)$$

Підставляємо дані у формулу (2.3):

$$\varphi_2 = \pi - \arccos \left(\frac{\sqrt{2l_1 R - l_1^2}}{R} \right) - \arccos \left(\frac{B - \sqrt{2l_1 R - l_1^2}}{\sqrt{B^2 + R^2 - 2B\sqrt{2l_1 R - l_1^2}}} \right), \quad (2.11)$$

Кут φ_1 трикутника АОС визначаємо за теоремою синусів:

$$\varphi_1 = \arcsin \left(\frac{-l_4 \cos \psi}{R} \right), \quad (2.12)$$

де l_4 - відстань від точки А до точки С.

Відстань l_4 від точки А до точки С визначаємо із трикутника АСО за теоремою косинусів:

$$l_4 = -l_3 \sin \psi + \sqrt{l_3^2 (\sin^2 \psi - 1) + R^2}. \quad (2.13)$$

Підставляючи рівняння (2.9) у рівняння (2.13), із врахуванням того, що $\sin \psi = \sqrt{1 - \cos^2 \psi}$ одержуємо:

$$l_4 = -\sqrt{B^2 + R^2 - 2B\sqrt{2l_1 R - l_1^2}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{B - \sqrt{2l_1 R - l_1^2}}{\sqrt{B^2 + R^2 - 2B\sqrt{2l_1 R - l_1^2}}} \right)^2} + \sqrt{-\left(B - \sqrt{2l_1 R - l_1^2}\right)^2 + R^2}. \quad (2.14)$$

Підставляємо дані у формулу (2.2):

$$\begin{aligned} \varphi = & \pi - \arccos\left(\frac{\sqrt{2l_1R - l_1^2}}{R}\right) - \arccos\left(\frac{B - \sqrt{2l_1R - l_1^2}}{\sqrt{B^2 + R^2 - 2B\sqrt{2l_1R - l_1^2}}}\right) + \\ & + \arcsin\left(\frac{-l_4\left(B - \sqrt{2l_1R - l_1^2}\right)}{R\sqrt{B^2 + R^2 - 2B\sqrt{2l_1R - l_1^2}}}\right). \end{aligned} \quad (2.15)$$

Частота ω обертання дискової фрези:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (2.16)$$

де n – частота обертання фрези, об/хв.

Відповідно

$$t_k = \frac{30\varphi}{\pi n}, \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} t_k = & \frac{30}{\pi n} \left(\pi - \arccos\left(\frac{\sqrt{2l_1R - l_1^2}}{R}\right) - \arccos\left(\frac{B - \sqrt{2l_1R - l_1^2}}{\sqrt{B^2 + R^2 - 2B\sqrt{2l_1R - l_1^2}}}\right) + \right. \\ & \left. + \arcsin\left(\frac{-l_4\left(B - \sqrt{2l_1R - l_1^2}\right)}{R\sqrt{B^2 + R^2 - 2B\sqrt{2l_1R - l_1^2}}}\right) \right). \end{aligned} \quad (2.18)$$

Проміжок часу обертання зуба фрези між моментом виходу із першого дискового тонкостінного елемента до врізання у наступний дисковий елемент:

$$\begin{aligned} t_{kn} = & \frac{30}{\pi n} \left(\pi - \arccos\left(\frac{\sqrt{2l_1R - l_1^2}}{R}\right) - \arccos\left(\frac{L - \sqrt{2l_1R - l_1^2}}{\sqrt{L^2 + R^2 - 2L\sqrt{2l_1R - l_1^2}}}\right) + \right. \\ & \left. + \arcsin\left(\frac{-l_{4n}\left(L - \sqrt{2l_1R - l_1^2}\right)}{R\sqrt{L^2 + R^2 - 2L\sqrt{2l_1R - l_1^2}}}\right) \right). \end{aligned} \quad (2.19)$$

де L – відстань між двома послідовними дисковими тонкостінними елементами;

$$l_{4n} = -\sqrt{L^2 + R^2 - 2L\sqrt{2l_1R - l_1^2}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{L - \sqrt{2l_1R - l_1^2}}{\sqrt{L^2 + R^2 - 2L\sqrt{2l_1R - l_1^2}}} \right)^2} + \sqrt{-\left(L - \sqrt{2l_1R - l_1^2} \right)^2 + R^2}. \quad (2.20)$$

На основі рівняння (2.15) побудовано графіки залежності кута φ контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від товщини B матеріалу дискового тонкостінного елемента (рис. 2.4), зовнішнього радіуса фрези R (рис. 2.5) та глибини l_1 паза на дисковому тонкостінному елементі (рис. 2.6).

На основі рівняння (2.18) побудовано графіки залежності часу t_k контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від товщини B матеріалу дискового тонкостінного елемента (рис. 2.7), зовнішнього радіуса фрези R (рис. 2.8) та глибини l_1 паза на дисковому тонкостінному елементі (рис. 2.9).

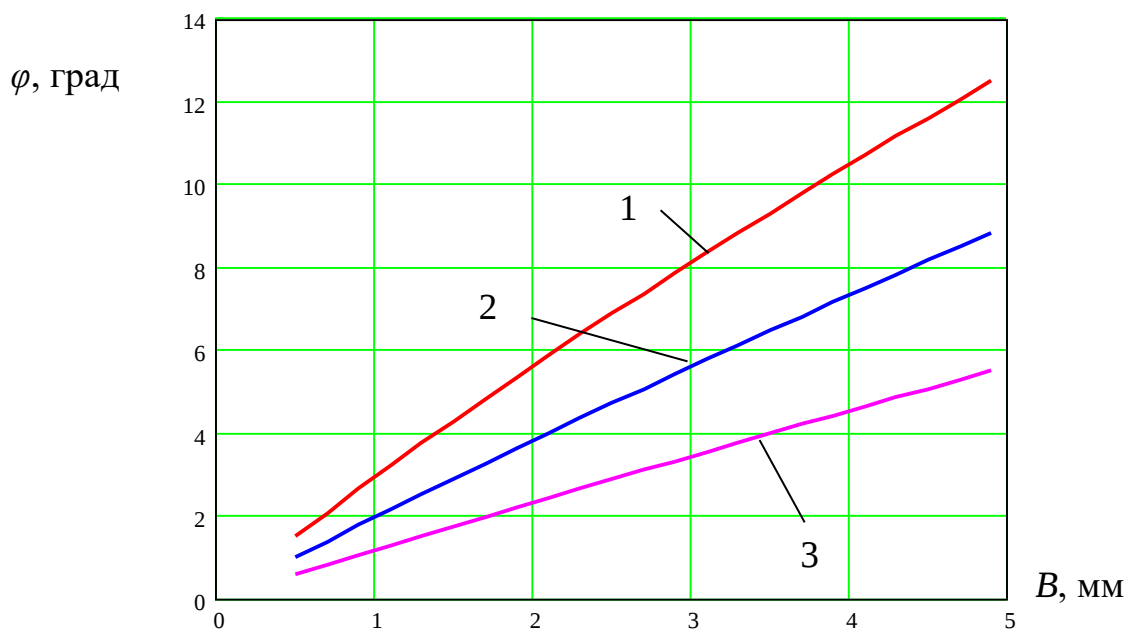


Рисунок 2.4 – Графіки залежності кута φ контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від товщини B матеріалу дискового тонкостінного елемента, $l_1 = 21$ мм: 1) $R=40$ мм; 2) $R=50$ мм; 3) $R=70$ мм

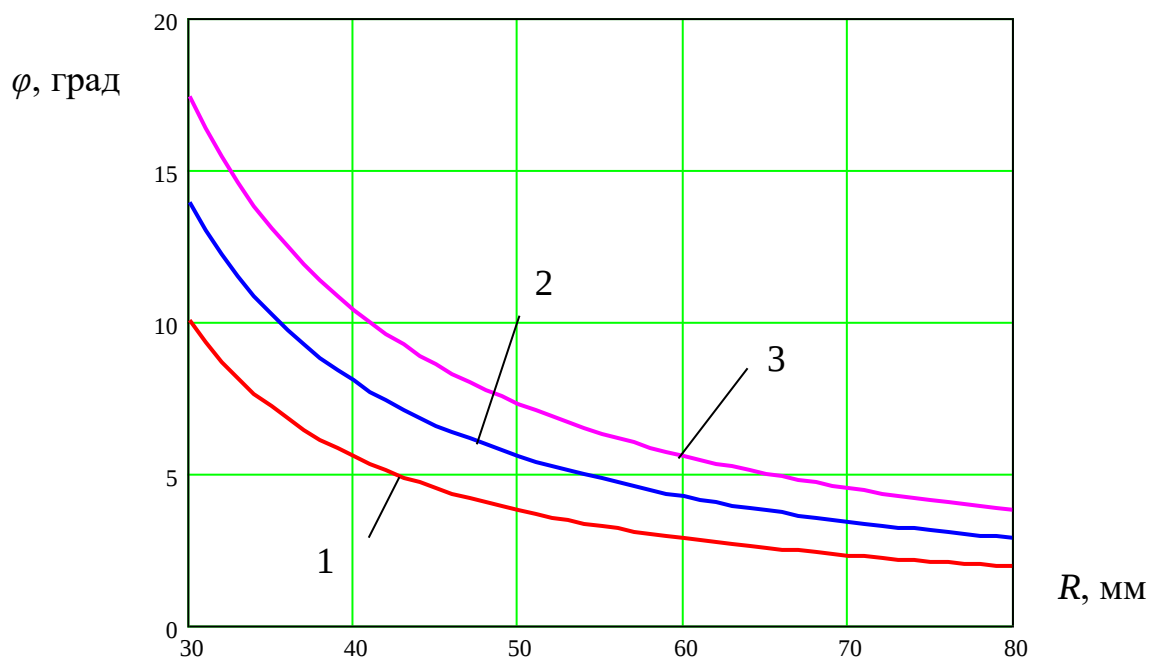


Рисунок 2.5 – Графіки залежності кута φ контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від зовнішнього радіуса фрези R , $l_1 = 21$ мм:

1) $B=2$ мм; 2) $B=3$ мм; 3) $B=4$ мм

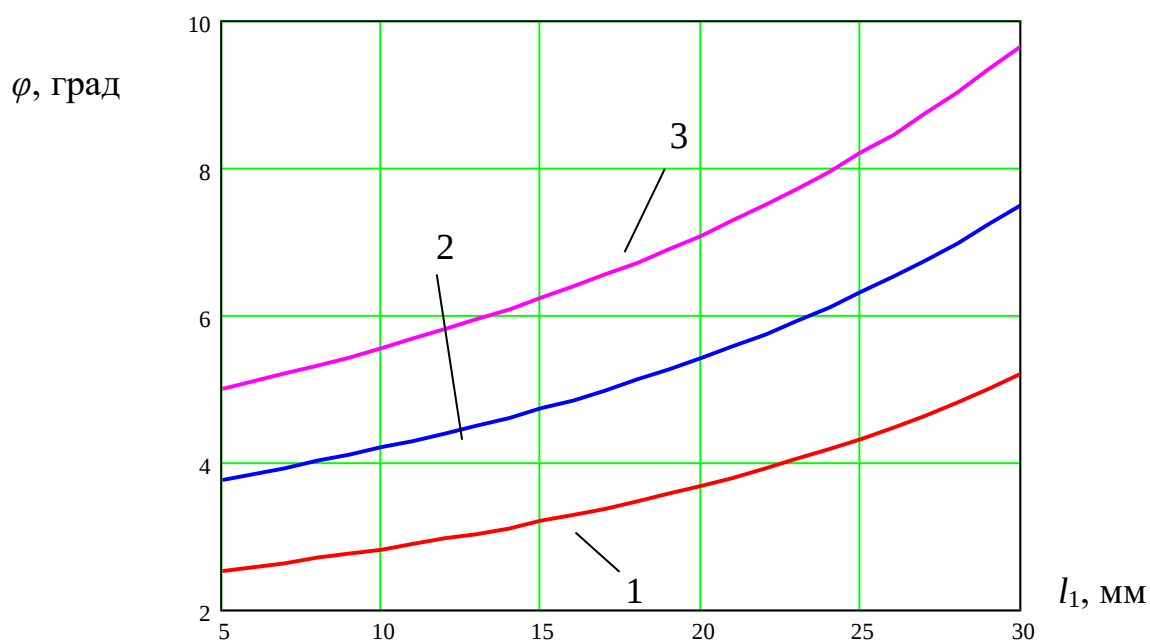


Рисунок 2.6 – Графіки залежності кута φ контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від глибини l_1 паза на дисковому тонкостінному

елементі $R=50$ мм: 1) $B=2$ мм; 2) $B=3$ мм; 3) $B=4$ мм

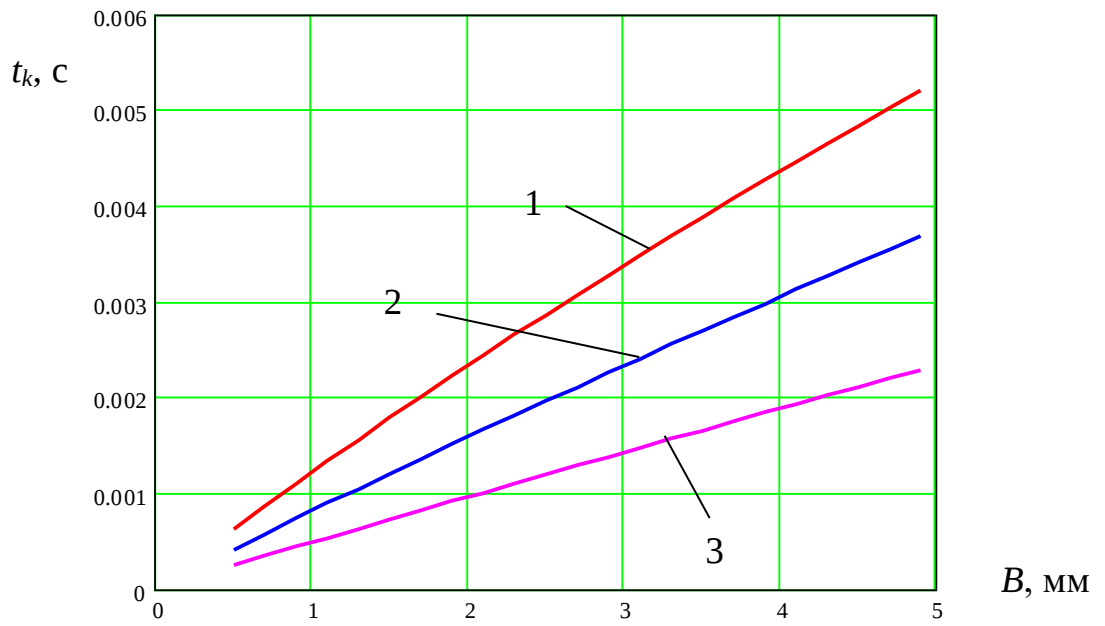


Рисунок 2.7 – Графіки залежності часу t_k контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від товщини B матеріалу дискового тонкостінного елемента, $l_1 = 21$ мм, $n=400$ об/хв: 1) $R=40$ мм; 2) $R=50$ мм; 3) $R=70$ мм

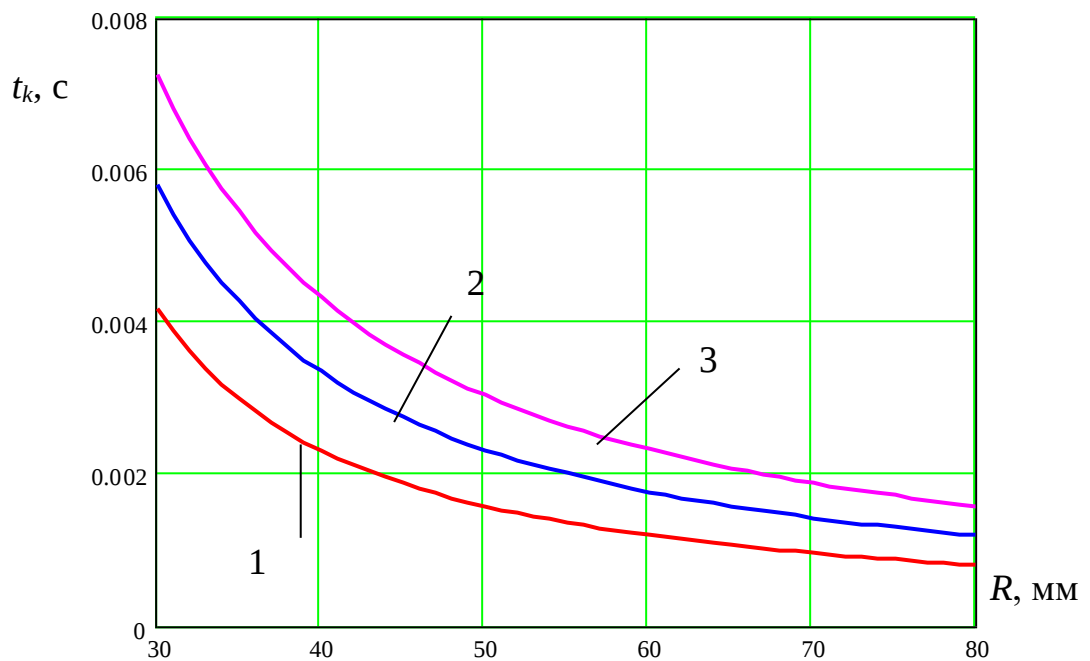


Рисунок 2.8 – Графіки залежності часу t_k контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від зовнішнього радіуса фрези R , $l_1 = 21$ мм:

$n=400$ об/хв: 1) $B=2$ мм; 2) $B=3$ мм; 3) $B=4$ мм

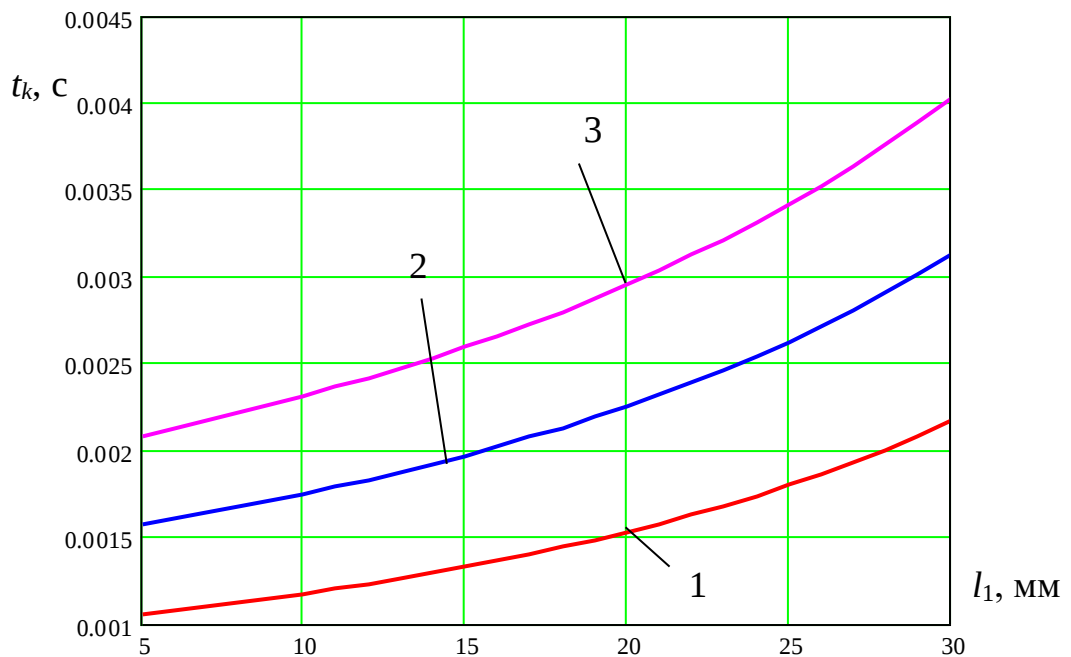


Рисунок 2.9 – Графіки залежності часу t_k контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від глибини l_1 паза на дисковому тонкостінному елементі $R=50$ мм, $n=400$ об/хв: 1) $B=2$ мм; 2) $B=3$ мм; 3) $B=4$ мм

Із аналізу графіків рис. 2.4 – 2.9 встановлено, що збільшення товщини B матеріалу дискового тонкостінного елемента та глибини l_1 паза на дисковому тонкостінному елементі призводить до зростання кута φ контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом та часу t_k контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом, при цьому збільшення зовнішнього радіуса фрези R призводить до зменшення величин вказаних параметрів.

2.2. Дослідження напружено-деформованого стану дискових тонкостінних елементів при фрезеруванні в них пазів

Під час дослідження параметрів процесу фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах проведено трьохмірне проектування спеціальної оправки для базування та затиску дискових елементів (рис. 2.2), що встановлюється в патроні ділильної головки та центра вертикально-фрезерного верстата. Наступним етапом є дослідження напружено-деформованого стану

дискових тонкостінних елементів під час фрезерування в них пазів дисковою фрезою. Внаслідок дії сили різання на обмежену ділянку під час фрезерування паза в тонкостінному дисковому елементі відбувається деформація останнього із виникненням внутрішніх напружень. Для визначення величини вказаних деформацій та напружень використано метод кінцевих елементів, застосовуючи відповідне прикладне програмне забезпечення.

Для досліджень розглянуто різні варіанти фрезерування пазів на дисковому елементі:

1. Фрезерування одного паза на суцільній дисковій заготовці.
2. Фрезерування паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом.
3. Фрезерування паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами.

Під час досліджень здійснено:

- 1) Вибір матеріалів дискових тонкостінних елементів, затискних елементів, оправки;
- 2) Накладання фіксованих обмежень на зовнішню циліндричну частину оправки, що закріплюється у патроні ділильної головки вертикально-фрезерного верстата та прикладання сили різання на частину паза, формоутворення якого виконується дисковою фрезою (рис. 2.10);
- 3) Генерування сітки кінцевих елементів розробленої комп'ютерної моделі (рис. 2.11);
- 4) Виконання процесу розрахунку величини деформацій та напружень на дисковому тонкостінному елементі із зображенням у вигляді кольорових моделей із відповідною шкалою.

В результаті виконаних розрахунків у середовищі прикладного програмного забезпечення одержано графічне відображення величин напружень (рис. 2.12) та деформацій (рис. 2.13) на дискових тонкостінних елементах при трьох різних послідовностях фрезерування паза, а також частин дискового тонкостінного елемента, що мають найменший запас міцності (рис. 2.14).

Аналізуючи результати моделювання на рис. 2.13 та 2.14, встановлено, що при силі різання 400 Н під час фрезерування одного паза на суцільній дисковій заготовці максимальні напруження виникають безпосередньо у місці контакту зуба фрези із диском (149 МПа), а також при основі диска (95 МПа).

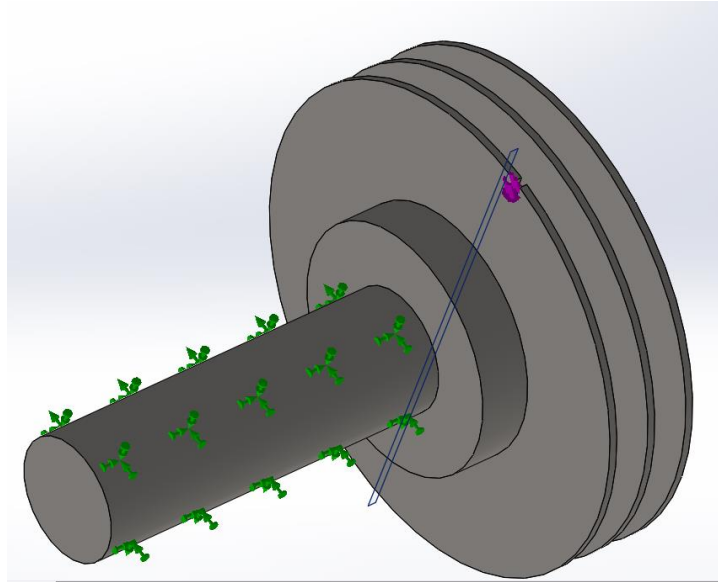


Рисунок 2.10 - Накладання фіксованих обмежень на зовнішню циліндричну частину оправки та прикладання сили різання на частину паза

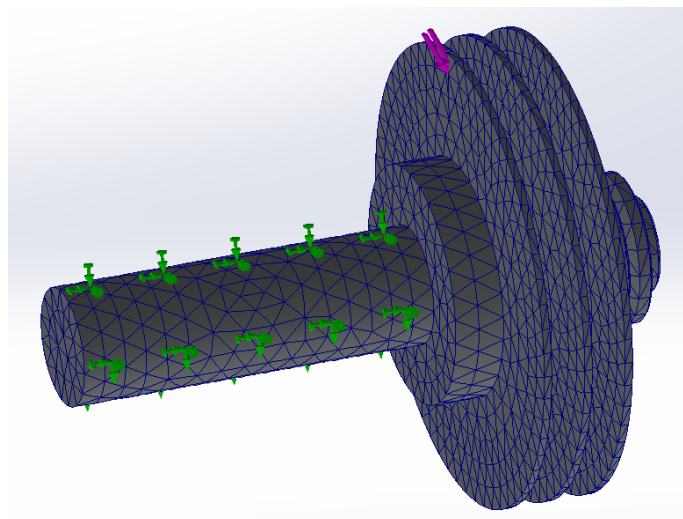
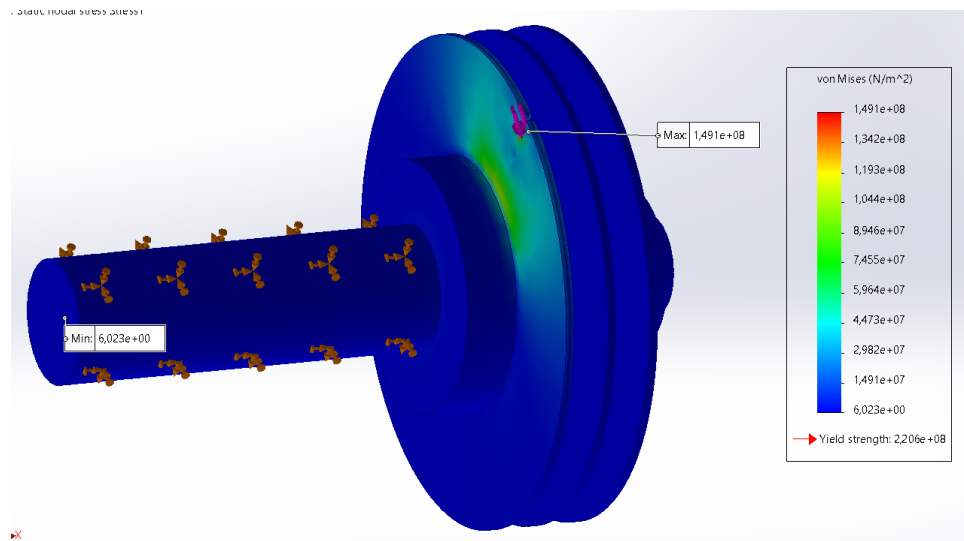
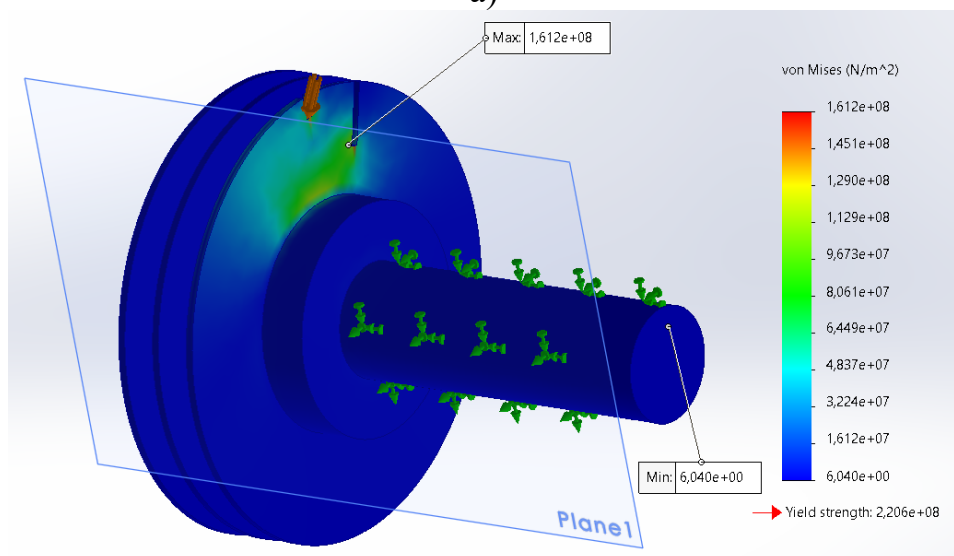


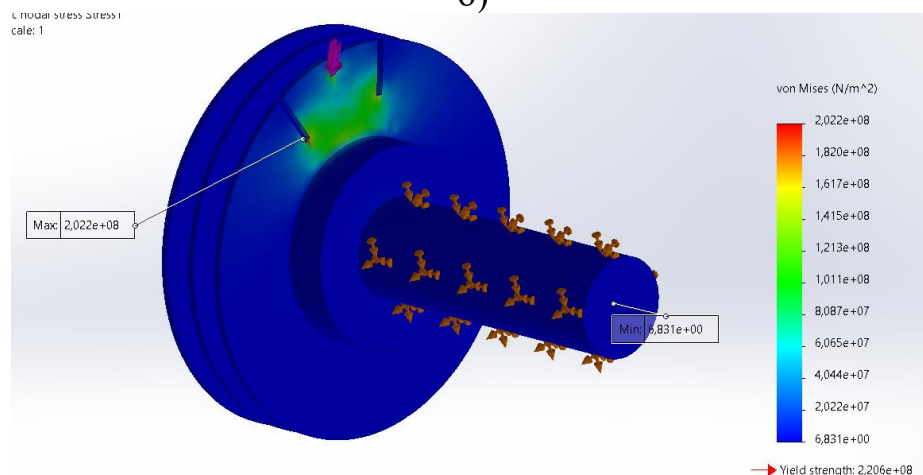
Рисунок 2.11 - Генерування сітки кінцевих елементів розробленої комп'ютерної моделі оправки із дисковими тонкостінними елементами



а)

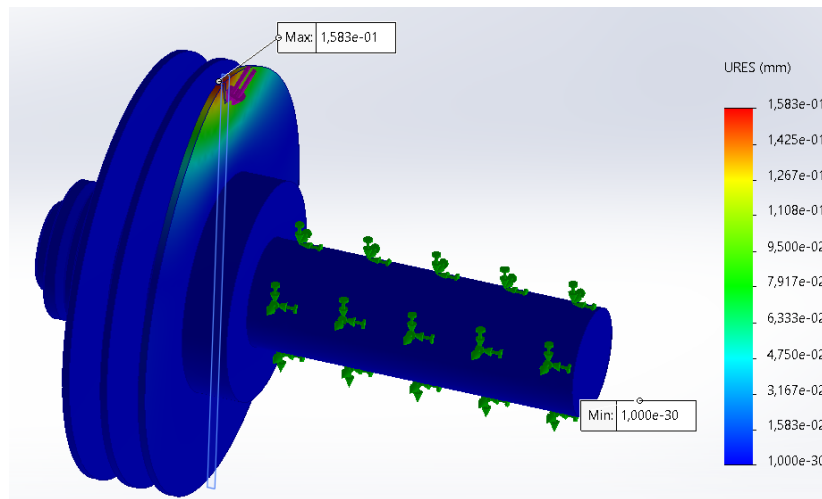


б)

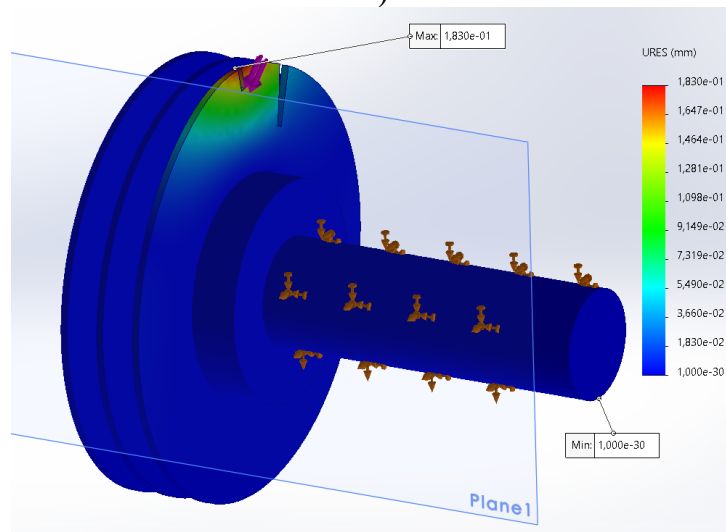


в)

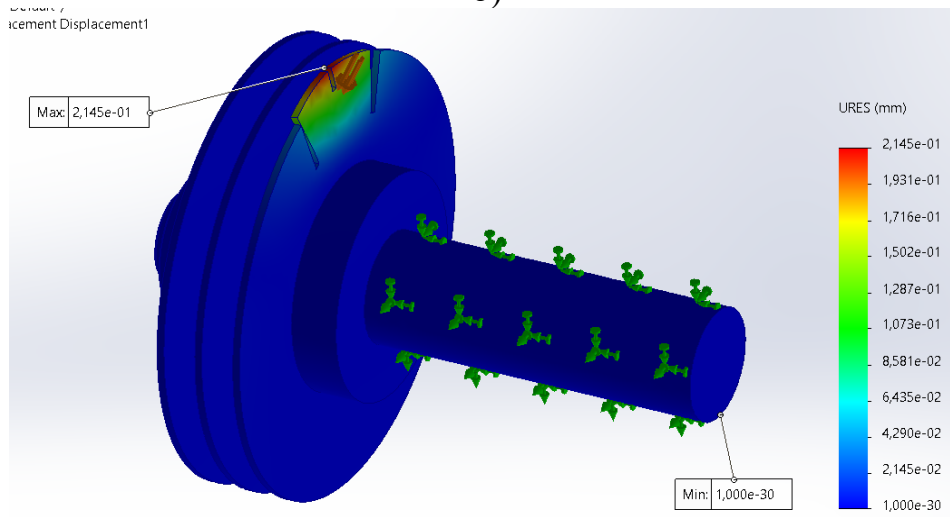
Рисунок 2.12 – Величини напружень що виникають на дискових тонкостінних елементах при дії сили фрезерування паза: а) при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці; б) при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; в) при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами



a)

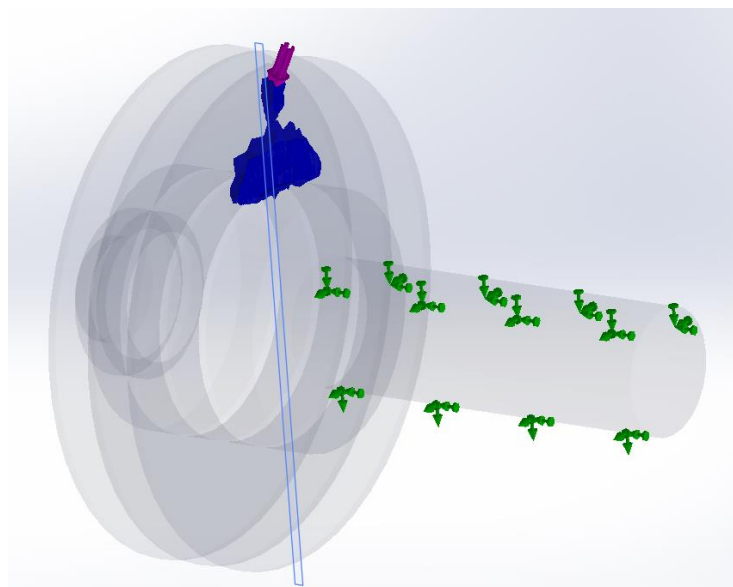


б)

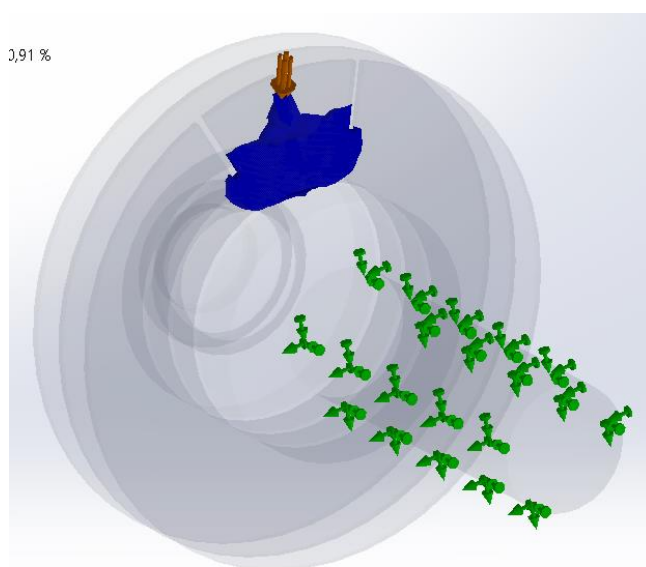


в)

Рисунок 2.13 – Величини деформацій дискових тонкостінних елементів при дії сили фрезерування паза: а) при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці; б) при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; в) при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами



а)



б)

Рисунок 2.14 – Визначення місць дискового тонкостінного елемента, що мають найменший запас міцності: а) при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці; б) при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами

Під час фрезерування паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом максимальні напруження виникають у заглибленні сусіднього паза (161 МПа), а також при основі диска (143 МПа). Під час фрезерування паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами максимальні напруження виникають у заглибленнях сусідніх пазів (202 МПа), а також при основі диска (132 МПа).

Максимальні напруження при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами є у 1,36 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці. Максимальні напруження при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом є у 1,08 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці.

Найбільші деформації виникають на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента і становлять: 0,158 мм при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці; 0,183 мм при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; 0,215 мм при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами.

Максимальні деформації на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами є у 1,36 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці. Максимальні деформації на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом є у 1,16 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці.

Місцями, що мають найменший запас міцності є заглиблення пазів а також основа дискового тонкостінного елемента.

Одержані величини напружень не перевищують границю текучості матеріалу дискового тонкостінного елемента, а деформації не суттєво знижують точність фрезерування пазів.

При зміні сили різання від 100 Н до 700 Н одержали графіки залежності максимальних напружень (рис. 2.15), що виникають у дисковому тонкостінному елементі при трьох різних послідовностях фрезерування паза.

Також одержали графіки залежності максимальних деформацій (рис. 2.16) на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента при трьох різних

послідовностях фрезерування паза.

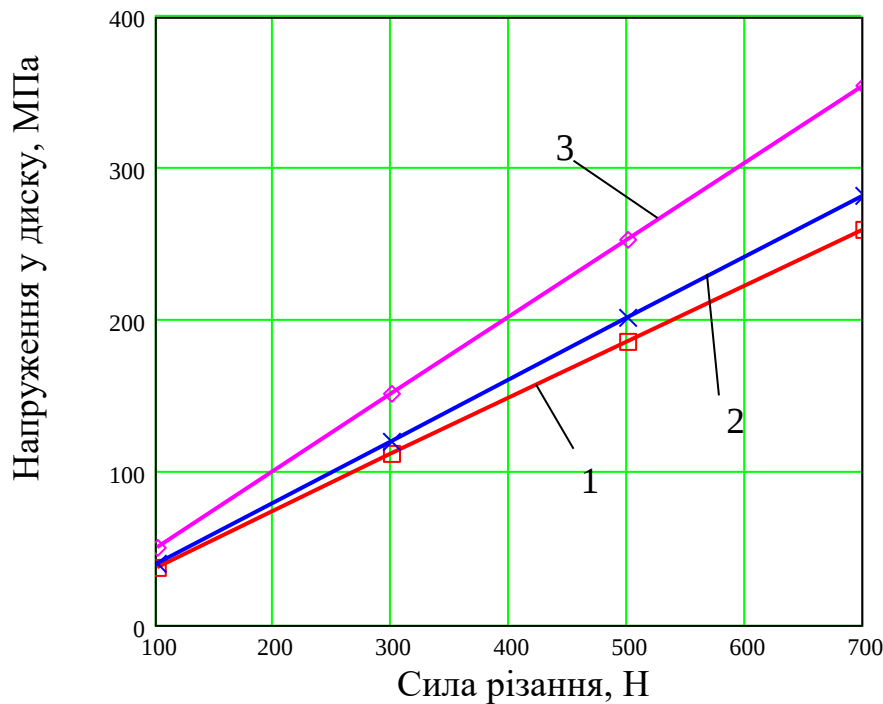


Рисунок 2.15 - Графік залежності максимальних напружень, що виникають у дисковому тонкостінному елементі від величини сили фрезерування паза: 1) при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці; 2) при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; 3) при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами

На основі графіків рис. 2.15 – 2.16 встановлено, що величини напружень та деформацій, що виникають у дискового тонкостінного елемента лінійно залежать від величини сили фрезерування паза. Мінімальна величина напружень у дисковому тонкостінному елементі при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці дорівнює 37 МПа, максимальна – 260 МПа, при цьому мінімальна та максимальна величини деформації кромки диска становлять 0,039 мм та 0,277 мм відповідно, жорсткість дорівнює 2527 Н/мм. Мінімальна величина напружень у дисковому тонкостінному елементі при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом

дорівнює 40 МПа, а максимальна – 282 МПа, при цьому мінімальна та максимальна величини деформації кромки диска становлять 0,046 мм та 0,32 мм відповідно, жорсткість дорівнює 2188 Н/мм.

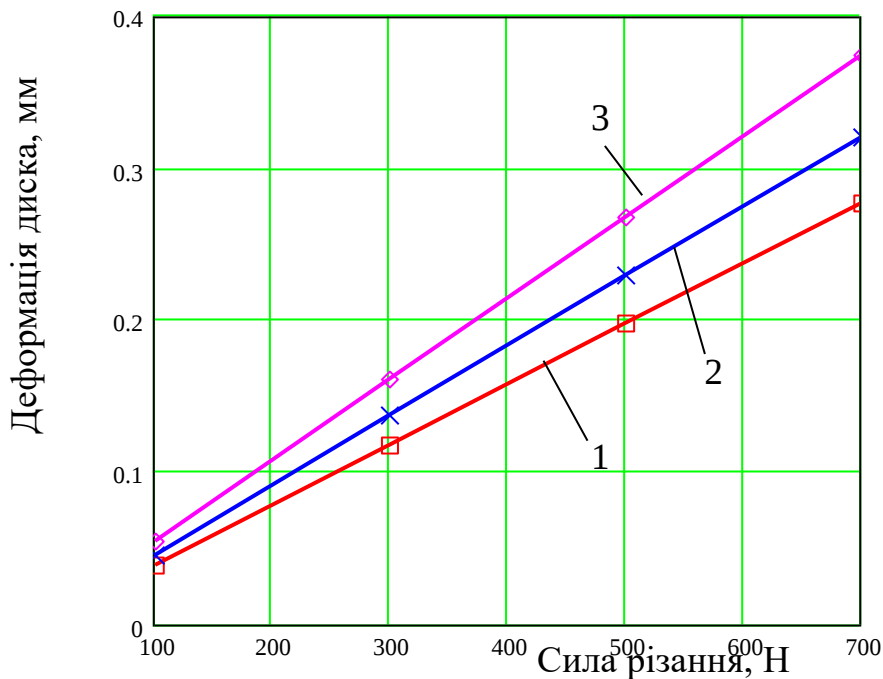


Рисунок 2.16 - Графік залежності максимальних деформацій на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента від величини сили фрезерування паза: 1) при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці; 2) при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; 3) при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами

Мінімальна величина напружень у дисковому тонкостінному елементі при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами дорівнює 51 МПа, а максимальна – 354 МПа, при цьому мінімальна та максимальна величини деформації кромки диска становлять 0,054 мм та 0,375 мм відповідно, жорсткість дорівнює 1867 Н/мм.

2.3. Висновки

В розділі представлено схему фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах. Для подальшого дослідження динамічної моделі даного процесу розроблено розрахункову схему для визначення часу контакту (різання) між зубами фрези та дисковими елементами заготовки, а також проміжку часу між виходом зуба фрези із першого дискового тонкостінного елемента та врізанням у наступний дисковий тонкостінний елемент.

Виведено рівняння для знаходження кута контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом, часу контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом, а також проміжку часу між виходом зуба фрези із першого дискового тонкостінного елемента та врізанням у наступний дисковий тонкостінний елемент залежно від конструктивних та технологічних параметрів процесу.

Побудовано графіки залежності кута та часу контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від товщини матеріалу дискового тонкостінного елемента, зовнішнього радіуса фрези та глибини паза на дисковому тонкостінному елементі.

Встановлено, що збільшення товщини матеріалу дискового тонкостінного елемента та глибини паза на дисковому тонкостінному елементі призводить до зростання кута контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом та часу контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом, при цьому збільшення зовнішнього радіуса фрези призводить до зменшення величин вказаних параметрів.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану дискових тонкостінних елементів при фрезеруванні в них пазів. Для досліджень розглянуто різні варіанти фрезерування пазів на дисковому елементі: фрезерування одного паза на суцільній дисковій заготовці; фрезерування паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; фрезерування паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами.

Встановлено, що при силі різання 400 Н під час фрезерування одного паза на суцільній дисковій заготовці максимальні напруження виникають безпосередньо у місці контакту зуба фрези із диском (149 МПа), а також при основі диска (95 МПа).

Під час фрезерування паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом максимальні напруження виникають у заглибленні сусіднього паза (161 МПа), а також при основі диска (143 МПа). Під час фрезерування паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами максимальні напруження виникають у заглибленнях сусідніх пазів (202 МПа), а також при основі диска (132 МПа).

Максимальні напруження при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами є у 1,36 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці. Максимальні напруження при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом є у 1,08 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці.

Найбільші деформації виникають на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента і становлять: 0,158 мм при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці; 0,183 мм при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; 0,215 мм при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами.

Максимальні деформації на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами є у 1,36 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці. Максимальні деформації на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом є у 1,16 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Службове призначення деталі

Деталь “Корпус” 952252.092 є одним із базових елементів промислових світильників призначених для освітлення виробничих та складських приміщень з підвищеною пожежною небезпекою.

Основними поверхнями деталі, що визначають її поєднання з іншими елементами світильника є: різьбові отвори М6 – 7Н, через які кріпиться відбивач за допомогою байонетних пазів, що забезпечує легке його знімання при монтажі та експлуатації. Крізь отвір Ø15Н14 кріпиться патрон. Отвір Ø14Н8 служить для точного позиціонування тримача патрона, який проходить крізь нього в корпусі. Отвори Ø5Н14 призначені для з'єднання даної деталі із корпусом світильника за допомогою гвинтів та гайок, що забезпечує легке його знімання при монтажі та експлуатації. Торець 95Н14 призначений для точного з'єднання корпуса із ковпаком. Решта поверхонь визначають конструктивні особливості корпуса, 12 ребер жорсткості підвищують міцність корпуса та забезпечують збільшення його тепловіддачі.

Основні технічні вимоги до основних поверхонь деталі представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Аналіз технічних вимог

Позначення поверхні	Зміст технічної вимоги	Метод виконання	Метод контролю
1	2	3	4
Торець 1	95h14, Ra12,5	Обточування чорнове при поперечній подачі	Штангенциркуль
Отвір 2	Ø14Н8, Ra 3,2	Розвертання чистове	Калібр–пробка двохсторонній, двохграничний Ø14Н8
Отвір 3	Ø18Н14, Ra12,5	Зенкерування чорнове	Штангенциркуль

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4
Отвір 4	Ø15H14, Ra12,5	Свердління із застосуванням кондуктора	Штангенциркуль
Різьбові отвори 5 - 7	M6-7H, Ra12,5	Нарізання різби мітчиком	Калібр-пробка різбовий двохсторонній, двохграничний M6-7H
Фаски 8 – 10	1×45°, Ra12,5	Центрування	Кутомір універсальний
Отвори 11 - 14	Ø5H14, Ra12,5	Свердління із застосуванням кондуктора	Калібр–пробка двохсторонній, двохграничний Ø5H14

Елементи базового технологічного процесу виготовлення корпусу представлено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Елементи базового технологічного процесу виготовлення корпусу 952252.092

Операція	Технологічне обладнання	Технологічне оснащення
1	2	3
005 Токарно - гвинторізна	Токарно гвинторізний верстат 1A616	Оправка спеціальна Притискач спеціальний
010 Вертикально - свердлильна	Вертикально – свердлильний верстат 2H118	Кондуктор спеціальний
015 Вертикально - свердлильна	Вертикально – свердлильний верстат 2M112	Кондуктор спеціальний
020 Вертикально - свердлильна	Вертикально – свердлильний верстат 2M112	Підставка спеціальна
025 Вертикально - свердлильна	Вертикально – свердлильний верстат 2M112	Підставка спеціальна
030 Різьбонарізна	Різьбонарізний верстат 2056	Підставка спеціальна
035 Вертикально - свердлильна	Вертикально – свердлильний верстат 2H118	Кондуктор спеціальний

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3
040 Вертикально - свердлильна	Вертикально – свердлильний верстат 2Н118	Підставка спеціальна
045 Вертикально - свердлильна	Вертикально – свердлильний верстат 2Н118	Підставка спеціальна

3.2. Вибір способу одержання заготовки

Матеріал деталі “Корпус” 952252.092, що відповідає її експлуатаційним вимогам, є алюмінієво-кремнієвий сплав АК12, що має високі показники рідкотекучості та добрі ливарні властивості.

Для умов середньосерійного типу виробництва проведено порівняння двох методів отримання заготовки:

Перший метод: лиття під тиском, що дозволяє одержати точну заготовку із малою товщиною стінок.

Другий метод: лиття в кокіль.

Для корпусу складної форми масу заготовки визначено за рівнянням:

$$Q = q + m_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

$q = 0,39$ кг – маса деталі;

Маса припуску:

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho. \quad (3.2)$$

Результати розрахунків припусків для поверхонь корпусу, що необхідно обробляти механічним способом, тобто різанням представлено у таблиці 3.3.

Ескізи двох варіантів заготовок, що можуть використовуватися для виготовлення корпусу представлено на рис. 3.1, 3.2.

Відповідно до рівняння (3.2) розраховуємо об’єми припусків запропонованих двох варіантів заготовок:

Таблиця 3.3 – Припуски деталі “Корпус” 952252.092

Оброблювана поверхня	Параметр шорсткості	Допуск заготовки, мм.	Загальний припуск, мм.	Розмір заготовки з граничним відхиленням
1) лиття під тиском				
Торець 95h14	Rz 50	0,5	1,0	96 ± 0,25
2) лиття в кокіль				
Торець 95h14	Rz 200	0,9	1,6	96,6 ± 0,45

Об’єми припусків циліндричної форми:

$$V_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}, \quad (3.3)$$

де D – діаметральний розмір, мм;

H – величина припуску, мм.

- лиття під тиском:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (154^2 - 152^2) \cdot 1}{4} = 480,42 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot 15^2 \cdot 2}{4} = 353 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 2}{4} = 157 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 18}{4} = 1059 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot 16^2 \cdot 4,5}{4} = 904 \text{ мм}^3$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{пр}_i};$$

$$V_{\text{пр}} = 480,42 + 353 + 157 + 1059 + 904 = 2953 \text{ (мм}^3\text{)} = 2,95 \text{ см}^3.$$

- лиття в кокіль:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (154^2 - 152^2) \cdot 1,6}{4} = 768,64 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot 15^2 \cdot 3}{4} = 530 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 3}{4} = 236 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot 5^2 \cdot 18}{4} = 1059 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{пр5}} = \frac{\pi \cdot 16^2 \cdot 4,5}{4} = 904 \text{ мм}^3$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{пр}_i};$$

$$V_{\text{пр}} = 768,64 + 530 + 236 + 1059 + 904 = 3897,6 \text{ (мм}^3\text{)} = 3,9 \text{ см}^3.$$

Загальні маси припусків:

— лиття під тиском:

$$m_{\text{пр1}} = 2,95 \cdot 2,6 = 7,67 \text{ (г)} \approx 0,0077 \text{ кг.}$$

— лиття в кокіль:

$$m_{\text{пр2}} = 3,9 \cdot 2,6 = 10,14 \text{ г} \approx 0,0101 \text{ кг.}$$

Визначаємо маси заготовок:

— лиття під тиском:

$$Q_1 = 0,39 + 0,0077 = 0,3977 \text{ кг.}$$

— лиття в кокіль:

$$Q_2 = 0,39 + 0,0101 = 0,4001 \text{ кг.}$$

Оскільки товщина стінки під час литва в кокіль більша на 1 мм, ніж для литва під тиском і складає 3мм, то вага заготовки для литва в кокіль зростає на

$$50\%. \text{ Тобто } Q_2 = 0,4001 + \frac{0,4 \cdot 50}{100} = 0,6 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}, \quad (3.4)$$

— ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{0,39}{0,3977} = 0,98.$$

— ЛИТТЯ В КОКІЛЬ:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{0,39}{0,6} = 0,65.$$

Для умов середньосерійного типу виробництва, забезпечення технічних вимог та конструктивних параметрів деталі “Корпус” 952252.092 вибираємо спосіб виготовлення заготовки - литво під тиском.

3.3. Формування технологічного процесу

Проводимо проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Корпус” 952252.092.

В проектному варіанті пропонуємо обробку всіх отворів деталі виконувати на вертикально-свердлильних верстатах з ЧПК замість звичайних вертикально-свердлильних і різьбонарізних верстатів.

Операція 005. Токарно-гвинторізна

1. Підрізати торець 1 із переднього супорта, витримуючи розмір $95_{-0,87}$.

Операція 010. Свердлильна з ЧПК.

1. Центрувати 5 отворів 4 , 11– 14 із zenкуванням фаски, витримуючи розмір $\varnothing 8^{+0,43}$; $\varnothing 3,15^{+0,3}$; $\varnothing 31 \pm 0,3$; $34 \pm 0,3$; $1 \times 45^\circ$, послідовно.

2. Свердлити чотири отвори 11 – 14, витримуючи розмір $\varnothing 5^{+0,3}$; $\varnothing 31 \pm 0,3$; $34 \pm 0,3$ послідовно.

3. Свердлити отвір 4, витримуючи розмір $\varnothing 15^{+0,43}$.

Операція 015. Свердлильна з ЧПК.

1. Центрування отвору 2.

2. Свердління отвору 2.

3. Zenкування отвору 3.

4. Чорнове розвертання отвору 2.

5. Чистове розвертання отвору 2, витримуючи розмір $\varnothing 14H8$.

6. Зенкерувати отвір 1, витримуючи розмір відповідно до ескізу

Операція 020. Свердлильна з ЧПК.

1. Центрувати три отвори 5 – 7 із зенкуванням фаски, витримуючи розмір $\varnothing 8^{+0,43}$; $\varnothing 3,15^{+0,3}$; $\varnothing 108 \pm 0,3$; $1 \times 45^\circ$, послідовно.

2. Свердлити три отвори 5 – 7, витримуючи розмір $\varnothing 4,95^{+0,3}$; $\varnothing 108 \pm 0,3$; $18 \pm IT15/2$, послідовно.

3. Нарізати різьбу в трьох глухих отворах 5 – 7, витримуючи розмір М6-7Н $\varnothing 108 \pm 0,3$; $14 \pm IT15/2$, послідовно.

Операція 025. Контроль.

3.4. Визначення припусків на оброблення

Для розрахунку припусків використано аналітичні та табличні методи, що відображено у таблиці 3.5.

Схема розташування припусків та допусків при обробленні поверхні $14H8(^{+0,027})$ представлено на рис. 3.3.

Таблиця 3.5 – Розрахункові припуски деталі “Корпус” 952252.092

Технологічні операції та переходи обробки поверхонь	Квалітет (клас точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Міжопераційні (проміжні) розміри з граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Різьбовий отвір М6–7Н, Ra 12,5					
Нарізання різьби мітчиком	7	Ra 12,5	-	-	М6–7Н
Свердління без кондуктора	-	-	0,3	$4,95/2=2,475$	$\varnothing 4,95^{+0,3}$
Заготовка	15	Rz 50	-	4,95	-

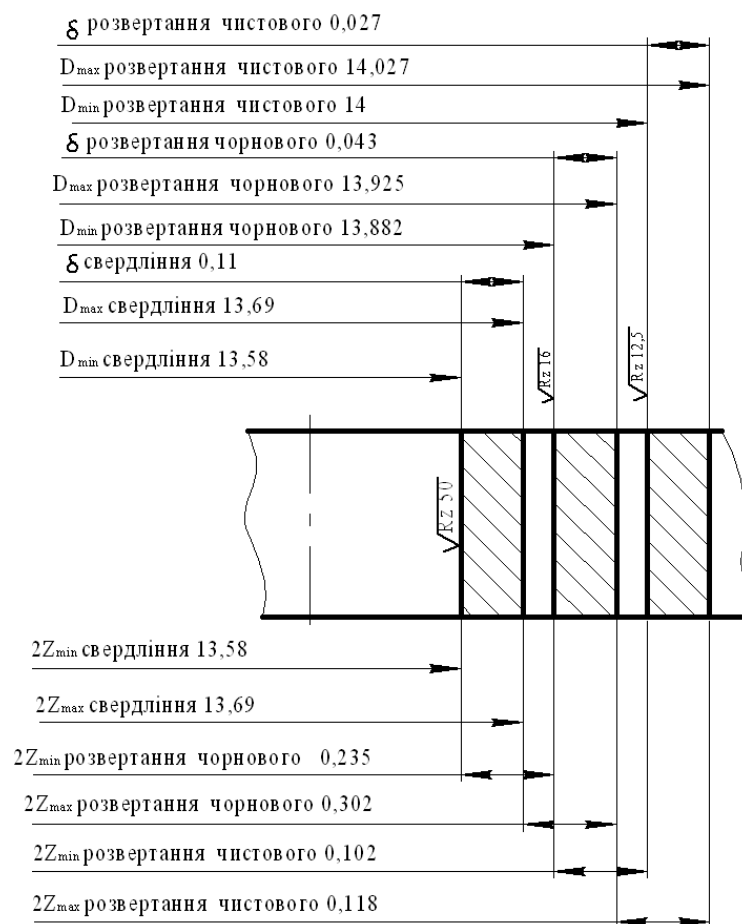


Рисунок 3.3 – Схема розташування припусків та допусків при обробленні поверхні 14H8(^{+0,027})

Закінчення таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
Отвір Ø5H14, Ra 12,5					
Свердління без кондуктора	14	Ra 12,5	0,3	5/2=2,5	Ø5 ^{+0,3}
Заготовка	15	Rz 50	-	5	-
Торцева поверхня 95h14, Ra 12,5					
Обточування чорнове при поперечній подачі	14	Ra 12,5	0,87	1	95 _{-0,87}
Заготовка	15	Rz 50	0,5	1	96±0,25
Отвір Ø15H14, Ra 12,5					
Свердління без кондуктора	14	Ra 12,5	0,43	15/2=7,5	Ø15 ^{+0,43}
Заготовка	15	Rz 50	-	15	-

3.5. Визначення режимів різання

Для розрахунку режимів різання процесів виготовлення деталі “Корпус” 952252.092 використано аналітичні та табличні методи, що відображено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Режими різання процесів виготовлення деталі “Корпус” 952252.092

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _м , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _м , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Токарно-гвинторізна Перехід 2 Підрізати торець 1 із переднього супорта, витримуючи розмір 95 _{-0,87} .	1,0	4	1	60	0,12	700	330,7	-	0,044	0,51
010 Свердлильна з ЧПК Перехід 2 Центрувати 5 отворів 4, 11– 14 із зенкуванням фаски, витримуючи розмір Ø8 ^{+0,43} ; Ø3,15 ^{+0,3} ; Ø31±0,3; 34±0,3; 1×45°, послідовно	1,57 5	12	5	40	0,1	580	12	-	1,1	0,08
Перехід 3 Свердлити чотири отвори 11 – 14, витримуючи розмір Ø5 ^{+0,3} ; Ø31±0,3; 34±0,3 послідовно.	2,5	5,5	4	40	0,15	1000	15,2	-	0,52	0,1

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 4 Свердлити отвір 4, витримуючи розмір $\varnothing 15^{+0,43}$	7,5	6	1	40	0,18	950	40	-	0,035	0,12
015 Свердлильна з ЧПК Перехід 2 Свердління отвору 2	6,8	14	1	40	0,12	1000	44	-	0,07	0,6
Перехід 3 Розвертання чорнове отвору 2	0,14 1	24,5	1	50	1,6	240	10,5	-	0,06	0,07
Перехід 4 Розвертання чистове отвору 2	0,05 9	24,5	1	50	0,6	350	15	-	0,15	0,06
Перехід 4 Зенкеру- вання чорнове отвору 3	2,0	6	1	60	0,2	710	40,2	-	0,028	0,09
020 Свердлильна з ЧПК Перехід 2 Центрувати три отвори 5 – 7 із зенкуванням фаски, витримуючи розмір $\varnothing 8^{+0,43}$; $\varnothing 3,15^{+0,3}$; $\varnothing 108 \pm 0,3$; $1 \times 45^\circ$, послідовно	1,575	11	3	40	0,12	580	12	-	0,66	0,08
Перехід 3 Свердлити три отвори 5 – 7, витримуючи розмір $\varnothing 4,95^{+0,3}$; $\varnothing 108 \pm 0,3$; $18 \pm IT15/2$, послідовно	2,475	21	3	60	0,12	1100	17	-	0,39	0,09

Закінчення таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 4 Нарізати різьбу в трьох глухих отворах 5 – 7, витримуючи розмір М6-7Н Ø108±0,3; 14±ІТ15/2, послідовно	0,2	20	3	40	1,0	340	6,2	-	0,21	0,07

Для розрахунку технічних норм часу процесів виготовлення деталі “Корпус” 952252.092 використано аналітичні та табличні методи, що відображено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахунки технічних норм часу операцій виготовлення деталі “Корпус” 952252.092

Номер та назва операції	T _о , хв	Допоміжний час, T _д , хв			T _{оп} , хв	Час обслуговування, T _{обс} , хв			T _{шт} , хв	T _{п.з} , хв	п, шт	T _{шт.к} , хв
		T _у	T _{пер}	T _{вим}		T _{тех.об}	T _{орг.об}	T _{від}				
005 Токарно– гвинторізна	0,044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	133	1,4
010 Свердлиль- на з ЧПК	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,7
015 Свердлиль- на з ЧПК	0,374	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0,8
020 Свердлиль- на з ЧПК	1,26	0,14	0,63	1,14	3,17	0,16			3,33	22		3,49

3.6. Розрахунок пристосування

З закріплення та базування заготовки деталі “Корпус” 952252.092 на 020 свердлильній з ЧПК операції на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК проведено проектування спеціального пристосування.

Базування заготовки для виконання переходів 020 операції виконується у пристосуванні по зовнішній конічній поверхні $\varnothing 86\text{мм}$ та по торцю $21,5\text{мм}$ у цанзі поз. 14. Кутове положення заготовки забезпечується за рахунок базування виступу деталі у додатковому пазу цанги.

Затиск виконується за допомогою вертикального пневмоциліндра із гільзою 6, поршнем 2 та штоком 10. На штоці 10 закріплено цангу 14, конічна поверхня якої переміщується по конічній поверхні корпусу 12 внаслідок чого відбувається стиснення чотирьох пелюстків цанги і затиск заготовки.

Креслення конструкції спроектованого пристосування представлено у графічній частині роботи та у додатках.

Похибку установки заготовки у спроектованому пристосуванні розраховано за відомим рівнянням [11]:

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{\Delta \varepsilon_6^2 + \Delta \varepsilon_3^2 + \Delta \varepsilon_{\text{пр}}^2}. \quad (3.5)$$

На 020 свердлильній з ЧПК операції виконується послідовне свердління трьох отворів і нарізання в них різьби М6-7Н в розмір $108 \pm 0,3$.

Похибка установки визначаємо для розміру $108 \pm 0,3$ мм. Похибка базування дорівнює допуску на базову поверхню $\Delta \varepsilon_{62} = \delta$. При цьому $\delta = 0,4\text{мм}$.

Похибка закріплення при встановленні деталі у цангу по поверхні, одержаній литвом під тиском: $\varepsilon_3 = 100$ мкм.

Похибка виготовленого пристосування: $\varepsilon_{\text{пр}} = 150$ мкм.

Підставляємо дані у рівняння (3.5):

$$\Delta \varepsilon_y = \sqrt{400^2 + 100^2 + 150^2} = 439 \text{ мкм} = 0,439 \text{ мм}.$$

Допустима похибка установки для досягнення розміру $108 \pm 0,3$ мм:

$$\Delta \varepsilon_{y,d} = \delta_1, \quad (3.6)$$

де $\delta_1 = 0,6$ мм.

Умова забезпечення точності розміру $108 \pm 0,3$ мм виконується, оскільки:

$$0,439 \text{ мм} < 0,6 \text{ мм}.$$

Розрахункову схему пристрою для визначення необхідної сили затиску заготовки під час свердління отвору $\varnothing 4,95$ мм на 020 свердлильній з ЧПК операції представлено на рисунку 3.4.

Умова затиску заготовки визначається тим, що момент різання свердлом $M_{\text{різ}}$ буде меншим за момент тертя $M_{\text{тр}}$, що виникає при затиску деталі:

$$KM_{\text{різ}} = \sum M_{\text{тр}}, \quad (3.7)$$

де $K = 3,7$ - коефіцієнт запасу.

Момент різання свердлом отвору $\varnothing 4,95$ мм [16]:

$$M_{\text{різ}} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.8)$$

де $D = 4,95$ мм;

$S = 0,17$ мм/об;

$K_p = 1,0$ для сплаву АК12 [16];

$C_m = 0,005$; $y = 0,8$; $q = 2,0$ [16].

Підставляємо дані у формулу (3.5):

$$M_{\text{різ}} = 10 \cdot 0,005 \cdot 4,95^{2,0} \cdot 0,17^{0,8} \cdot 1,0 = 0,29 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент тертя $M_{\text{тр}}$, що виникає при затиску деталі:

$$\sum M_{\text{тр}} = Q \cdot R \cdot f_1 \quad (3.9)$$

де Q – сила затиску заготовки;

$f_1 = 0,2$ – коефіцієнт тертя між матеріалами заготовки і цанги;

$R = 43$ мм – радіус поверхні затиску заготовки.

На основі рівнянь (3.8) та (3.9) одержуємо:

$$Q = \frac{K \cdot M_{\text{різ}}}{f_1 \cdot R}. \quad (3.10)$$

Підставляючи дані у рівняння (3.10):

$$Q = \frac{3,7 \cdot 290}{0,2 \cdot 43} = 124,8 \text{ Н.}$$

Для затиску заготовки необхідно забезпечити умову:

$$Q \leq W, \quad (3.11)$$

де W – сила затиску, що забезпечується механізмами пристрою.

Силу затиску, що забезпечується механізмами пристрою визначаємо за формулою:

$$W = \frac{F_{\text{шт}}}{\text{tg}\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right)} - Q_1 \text{tg}\left(\frac{\alpha}{2} + \varphi\right), \quad (3.12)$$

де Q_1 – сила стискання пелюстка цанги;

α – кут конуса цанги $\alpha = 30^\circ$.

φ – кут тертя; $\varphi = 8^\circ$ [16].

Сила стискання пелюстка цанги [11]:

$$Q_1 = 0,17 \cdot 10^3 \frac{t \cdot d^3 \cdot S_{\text{max}}}{l^3}, \quad (3.13)$$

де $l = 110 \text{ мм}$;

$t = 4 \text{ мм}$;

$d = 162 \text{ мм}$;

$S_{\text{max}} = 0,1 \text{ мм}$.

$$Q_1 = 0,17 \cdot 10^3 \frac{4 \cdot 162^3 \cdot 0,1}{110^3} = 217,2 \text{ Н.} \quad (3.14)$$

Тягова сила на штоці пневмоциліндра [11]:

$$F_{\text{шт.тяг.}} = 0,785 \cdot (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.15)$$

$$F_{\text{шт.тяг.}} = 0,785 \cdot (0,1^2 - 0,022^2) \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 2689,2 \text{ Н.}$$

Підставляючи дані у рівняння (3.12):

$$W = \frac{2689,2}{\text{tg}\left(\frac{30}{2} + 8\right)} - 217,2 \text{tg}\left(\frac{30}{2} + 8\right) = 6310,6 \text{ Н.}$$

При умові $W = 6310,6 \text{ Н} > Q = 124,8 \text{ Н}$ забезпечено нерівність (3.11) тому заготовка корпусу буде надійно закріплена на 020 свердлильній з ЧПК операції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Заходи електробезпеки на дільниці механічної обробки деталей

Для забезпечення електробезпеки працівників у зоні експлуатації та обслуговування електротехнічного обладнання на дільниці виготовлення деталей реалізовано низку технічних і організаційних заходів відповідно до чинних нормативно-правових документів.

З метою зниження ризику ураження електричним струмом в умовах підвищеної електробезпеки (наявність металоконструкцій, пилу, вологості) використовується система пониженого електроживлення. Зокрема, у портативному електроінструменті, контрольних приладах та світильниках застосовується живлення напругою до 42 В змінного струму або 60 В постійного струму. У приміщеннях з особливою небезпекою ці значення знижуються до 12 В або 24 В. При цьому використовуються понижувальні трансформатори з гальванічною розв'язкою обмоток, що виключає можливість появи небезпечної напруги на вторинному колі.

Контроль електричної ізоляції є обов'язковим елементом експлуатації. Опір ізоляції електроустановок напругою до 1000 В повинен становити не менше 0,5 МОм для кожної фази відносно землі та між фазами. Регламентовано проведення планових випробувань ізоляції мегаомметром та оформлення відповідної технічної документації.

До складу стаціонарних захисних засобів входить система заземлення із застосуванням контурів із штирьових або стрічкових електродів, які забезпечують перехідний опір заземлювального пристрою не більше 4 Ом для систем TN і не більше 10 Ом — для IT та TT систем. Заземлення виконується із приєднанням усіх доступних неструмоведучих металевих частин, які можуть опинитися під напругою при пошкодженні ізоляції.

Система захисту від непрямого дотику реалізується через автоматичне вимкнення живлення, яке ґрунтується на використанні автоматичних вимикачів

із вбудованими пристроями захисту від струмів витоку з номінальним струмом спрацювання не більше 30 мА. Час вимкнення струму у разі пошкодження повинен не перевищувати 0,2 с.

Всі електроустановки оснащені механічними або електромагнітними блокуваннями, які запобігають можливості доступу до струмоведучих частин без попереднього знеструмлення. Крім того, використовуються елементи подвійної або посиленої ізоляції, наприклад, корпуси інструментів, покриті діелектричними матеріалами (пластик, гума, композити), що забезпечують додаткову ізоляцію при можливих пошкодженнях первинної оболонки.

На випадок аварійних ситуацій — зокрема, падіння дротів на землю — передбачено дії відповідно до інструкцій з безпеки: вихід із зони крокової напруги здійснюється шляхом пересування дрібними кроками або зістрибуванням на одній нозі, не допускаючи одночасного контакту з точками з різним потенціалом. Відомо, що зона потенційного розтікання струму може досягати радіусу 20 метрів, де напруга може знижуватись за експоненціальним законом.

Організаційні заходи електробезпеки включають:

- допуск до роботи тільки осіб, які досягли 18 років, пройшли медичний огляд, інструктаж та професійну підготовку;
- наявність відповідної групи з електробезпеки (не нижче II для допоміжного персоналу та III–IV для оперативного та ремонтного);
- ведення журналу обліку інструктажів, перевірки знань та електротехнічних нарядів;
- виконання робіт за нарядом-допуском або за розпорядженням керівника робіт (з обов'язковим оформленням оперативної документації).

Перед початком ремонтних або пусконаладжувальних робіт проводиться:

- знеструмлення електрообладнання з накладанням блокувальних пристроїв на органи керування;
- перевірка відсутності напруги індикаторами (контактними або безконтактними);

- встановлення переносних заземлювальних пристроїв;
- встановлення попереджувальних знаків «Не вмикати — працюють люди», «Заземлено» тощо.

Висновок: реалізація комплексу зазначених заходів дозволяє забезпечити високий рівень електробезпеки персоналу, запобігти виробничим травмам, пов'язаним з ураженням електричним струмом, та забезпечити відповідність дільниці сучасним вимогам охорони праці та електротехнічної безпеки.

4.2. Підвищення стійкості виробничих об'єктів

Під стійкістю роботи виробничих об'єктів розуміють здатність об'єкта виготовляти встановлені види продукції в обсязі і номенклатурі, що відповідають вимогам певних планів в умовах надзвичайних ситуацій, а також пристосованість цього об'єкта до відновлення в умовах його ушкодження. Для об'єктів, які не пов'язані з виробництвом матеріальних цінностей, стійкість визначається їх здатністю виконувати свої функції.

Більш підготовленими до стійкої роботи будуть ті об'єкти, які реально оціняють чинники, що можуть формувати стан об'єкта і розвиток подій в умовах надзвичайних ситуацій.

Підвищення стійкості технічних систем і об'єктів досягається здебільшого організаційно-технічними заходами, яким завжди передували дослідження стійкості конкретного об'єкта.

На першому етапі дослідження аналізують стійкість і уразливість його елементів в умовах надзвичайних ситуацій, а також оцінюють небезпеку виходу з ладу чи руйнування елементів, чи всього об'єкта в цілому. На цьому етапі аналізують: надійність устаткування і технологічних комплексів; наслідки аварій окремих систем виробництв; розповсюдження вибухової хвилі по території підприємства під час вибухів посудин, комунікацій, ядерних зарядів; розсівання речовин, що звільняються під час надзвичайних ситуацій; можливість вторинного утворення токсичних, пожежо- і вибухонебезпечних сумішей тощо

Кожного разу для виявлення впливів небезпечних чинників необхідно виявити склад тих елементів, на які впливають ті небезпеки, чи які беруть участь у формуванні впливів.

На другому етапі досліджень розробляються заходи з підвищення стійкості і підготовки об'єкта до відновлення його дії після надзвичайних ситуацій. У плані зазначаються об'єм і кошторис планованих робіт, джерела фінансування, основні матеріали та їх кількість, машини і механізми, робоча сила, відповідальні виконавці, термін виконання тощо.

Дослідження стійкого функціонування об'єкта починається задовго до початку його експлуатації. На стадії проектування це якоюсь мірою робить проєктант. Таке саме дослідження об'єкта проводиться відповідними службами на стадії технічних, економічних, екологічних та інших видів експертиз. Кожна реконструкція чи розширення об'єкта також потребує нових досліджень щодо його стійкості. Отже, дослідження стійкості — це не одноразова дія, а тривалий, динамічний процес, який потребує постійної уваги з боку керівництва, технічного персоналу, служб цивільної оборони.

Будь-який виробничий об'єкт містить наземні будівлі і споруди основного і допоміжного виробництва, складські приміщення та приміщення адміністративно-побутового призначення. У будинках та спорудах основного і допоміжного виробництва розміщується типове технологічне обладнання, мережі газо-, тепло-, електропостачання. Між собою приміщення і споруди з'єднані мережею внутрішнього транспорту, мережею енергоносіїв і системами зв'язку й управління. На території виробничих об'єктів можуть бути розташовані споруди автономних систем електро- і водопостачання, а також окремі технологічні пристрої, що знаходяться окремо від інших будівель і споруд. Будинки і споруди побудовані за типовими проєктами з уніфікованих матеріалів. Проєкти виробництва виконуються за єдиними нормами технологічного проєктування, що зумовлює середній рівень щільності забудови (звичайно 30—60 %). Все це дає підстави вважати, що для всіх об'єктів, незалежно від профілю виробництва і призначення, характерні загальні чинники, що впливають на стійкість об'єкта, його роботу в умовах НС.

На працездатність виробничого об'єкта мають негативний вплив специфічні умови і перш за все — район його знаходження. Він визначає рівень і вірогідність впливу небезпечних чинників природного походження (сейсмічний вплив, селі, зсуви, тайфуни, цунамі, кількість гроз, липневих дощів та ін.). Тому велика увага приділяється дослідженню й аналізу району розташування об'єкта. Одночасно з'ясовуються метеорологічні умови району (кількість опадів, напрямки дії пануючих вітрів, максимальна і мінімальна температура найбільш спекотного та найбільш холодного місяців, вивчається рельєф місцевості, характер ґрунту, глибина залягання ґрунтових вод, їх хімічний склад). На стійкість об'єкта впливають: характер забудови території (структура, тип, щільність забудови), наявність розташованих поблизу об'єкта суміжних виробництв, транспортні магістралі, природні умови місцевості (лісові масиви — джерела пожеж; водні об'єкти — можливі транспортні комунікації, вогнеогороджуючі зони і одночасно джерела повеней та ін.).

Район розташування може відігравати роль головного чинника в забезпеченні захисту і працездатності об'єкта в умовах необхідного виходу з експлуатації штатних шляхів подання сировини чи енергоносіїв. Наприклад, наявність річки поблизу об'єкта дозволяє при порушенні шляхових і трубопровідних магістралей здійснити подачу матеріалів, сировини і комплектуючих водним транспортом.

Під час вивчення стійкості об'єкта дають характеристику будинкам основного і допоміжного виробництва, а також будинкам, які не беруть участь у виробництві основної продукції у випадках НС. Визначають основні особливості їх конструкції, технічні відомості, поверховість, розміри, вид каркасу, стикові заповнення, світові прорізи, покрівлю, перекриття, ступень зношення, вогнетривкість будинків, кількість робітників і службовців, які одночасно працюють у приміщеннях (найбільша робоча зміна), наявність убудованих в будинок сховищ чи сховищ, які знаходяться поблизу від основних будинків, наявність в будинках засобів евакуації та їх пропускну здатність.

Під час оцінки внутрішнього планування території об'єкта визначається чинники прогнозування наслідків таких процесів: витікання тяжких і легких

газів чи токсичного диму; розсіювання продуктів горіння у внутрішніх приміщеннях; пожежі цистерн, колодязів, фонтанів; нагрівання і випаровування рідини в басейнах та місткостях; вплив на людину продуктів горіння та інших хімічних речовин; радіаційного теплообігу під час пожеж; утворення ударної хвилі в результаті вибухів пари, посудин, що працюють під тиском, вибухів у зачинених і відчинених приміщеннях; розповсюдження полум'я в будинках і спорудах об'єкта тощо.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено дослідження параметрів процесу фрезерування пазів на дискових тонкостінних елементах. Для подальшого дослідження динамічної моделі даного процесу розроблено розрахункову схему в рівняння для визначення часу контакту (різання) між зубами фрези та дисковими елементами заготовки, а також проміжку часу між виходом зуба фрези із першого дискового тонкостінного елемента та врізанням у наступний дисковий тонкостінний елемент залежно від конструктивних та технологічних параметрів процесу.

Побудовано графіки залежності кута та часу контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом від товщини матеріалу дискового тонкостінного елемента, зовнішнього радіуса фрези та глибини паза на дисковому тонкостінному елементі.

Встановлено, що збільшення товщини матеріалу дискового тонкостінного елемента та глибини паза на дисковому тонкостінному елементі призводить до зростання кута контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом та часу контакту зуба фрези із дисковим тонкостінним елементом, при цьому збільшення зовнішнього радіуса фрези призводить до зменшення величин вказаних параметрів.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану дискових тонкостінних елементів при фрезеруванні в них пазів. Для досліджень розглянуто різні варіанти фрезерування пазів на дисковому елементі: фрезерування одного паза на суцільній дисковій заготовці; фрезерування паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; фрезерування паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами.

Встановлено, що при силі різання 400 Н під час фрезерування одного паза на суцільній дисковій заготовці максимальні напруження виникають безпосередньо у місці контакту зуба фрези із диском (149 МПа), а також при

основі диска (95 МПа).

Під час фрезерування паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом максимальні напруження виникають у заглибленні сусіднього паза (161 МПа), а також при основі диска (143 МПа). Під час фрезерування паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами максимальні напруження виникають у заглибленнях сусідніх пазів (202 МПа), а також при основі диска (132 МПа).

Максимальні напруження при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами є у 1,36 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці. Максимальні напруження при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом є у 1,08 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці.

Найбільші деформації виникають на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента і становлять: 0,158 мм при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці; 0,183 мм при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом; 0,215 мм при фрезерування паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами.

Максимальні деформації на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із двома попередньо сформованими сусідніми пазами є у 1,36 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці. Максимальні деформації на зовнішній кромці дискового тонкостінного елемента при фрезеруванні паза на дисковій заготовці із одним попередньо сформованим сусіднім пазом є у 1,16 рази більшими ніж при фрезеруванні одного паза на суцільній дисковій заготовці.

Розроблено технологічний процес виготовлення корпуса 952252.092.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Пилипець М.І., Комар Р.В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин. Тернопіль, 2019. 58 с.
3. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. 148 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М. Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни «Проектування та виробництво заготовок» Частина І. Розробка креслення та технології виготовлення литої заготовки. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 71 с.
6. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
7. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
8. Розмірні ланцюги: навчально-методичний посібник / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Капаціла Ю.Б, Ткаченко І.Г. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.
9. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
10. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисциплін “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин ” та “Технологія машинобудування” для студентів спеціальностей 131 “Прикладна механіка” і 133 “Галузеве машинобудування” на тему “Структура технологічного процесу. Принципи побудови технологічних операцій” / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. - Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 53 с.

11. Дячун А. Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.
12. Irene Del Sol, Asuncion Rivero, Luis Norberto López de Lacalle and Antonio Juan Gamez. Thin-Wall Machining of Light Alloys: A Review of Models and Industrial Approaches, Materials. No 12. 2019. doi:10.3390/ma12122012.
13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.
14. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : Навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.
15. Yan Q., Luo, M., Tang K. Multi-axis variable depth-of-cut machining of thin-walled workpieces based on the workpiece deflection constraint. CAD Comput. Aided Des. 2018. 100. P. 14–29.
16. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
17. Кубах В.-Н.В., Прокопів О.В., Блащишин А.О. Дослідження параметрів процесу завальцювання кульок у тонкостінні циліндричні втулки. Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів "Актуальні задачі сучасних технологій": 11-12 грудня 2025 р.: тези доп. Тернопіль: вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. С. 126.
18. Han Z., Jin H., Fu Y., Fu H. Cutting deflection control of the blade based on real-time feedrate scheduling in open modular architecture CNC system. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2017. 90. P. 2567–2579.
19. Yang Y., Zhang W., Ma Y., Wan M. International Journal of Machine Tools And Manufacture. 2016. 109. P. 36-48.
20. Budak E. Mechanics and Dynamics of Milling Thin Walled Structures. Ph.D. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada. 1994.

21. Izamshah R.A., Mo J.P.T., Ding S. Hybrid deflection prediction on machining thin-wall monolithic aerospace components. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.* 2011. 226. P. 592–605.

22. Ratchev S., Govender E., Nikov S., Phuah K., Tsiklos G. Force and deflection modelling in milling of low-rigidity complex parts. *J. Mater. Process. Technol.* 2003. 143–144. P. 796–801.

23. Liu S.M., Shao X.D., Ge X.B., Wang D. Simulation of the deformation caused by the machining cutting force on thin-walled deep cavity parts. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. 92. P. 3503–3517.

24. Wang L., Si H. Machining deformation prediction of thin-walled workpieces in five-axis flank milling. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018. 97. P. 4179–4193.

25. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Гупка А. Б. Технологічні особливості виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2025. Вип. 11 (42). Ч. I. С. 75- 83.

26. Гевко І. Б., Дячун А. Є., Дубиняк Т. С., Стібайло О. Ю., Золотий Р. З. Дослідження операцій технологічного процесу виготовлення ножів-подрібнювачів на спіралях шнеків. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2025. Вип. 11 (42), Ч. II. С. 99 - 108.

27. Ivan Hevko, Andrii Diachun, Oleg Lyashuk, Yuriy Vovk, Andriy Hupka Study of Dynamic and Power Parameters of the Screw Workpieces with a Curved Profile Turning. *Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. IV. DSMIE 2021.* Springer, Cham. P. 385-394.

28. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

29. Andriy Diachun, Vasyl Vasylyuk, Oleg Korol, Volodymyr Myhailiuk, Ivan Golovaty, Andriy Kuras. Investigation of geometrical parameters in screw surfaces whirling process. *Вісник Тернопільського національного технічного університету.* 2021. № 1(101). С. 68–78.

30. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ivan Kuchvara, Yuriy Vovk, Volodymyr Dzyura. Study of power parameters of forming profile elliptical screw workpieces. *The*

International Journal of Integrated Engineering. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia Publisher's Office, 2021. Vol. 13 No. 4. P. 142-151.

31. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Третьяков О.Л. Дослідження деформації заготовки в процесі нарізання зовнішніх радіусних канавок пристроєм із декількома різцями. Перспективні технології та прилади. Зб. наук. праць. Луцьк, 2018. Вип. 12. С. 105-110.

32. Ляшук О.Л., Дячун А.Є., Клендій В.М., Третьяков О.Л. Дослідження силових параметрів процесу зміцнення гвинтових поверхонь робочих органів деформуючими пуансонами. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ, 2018. №. 1 (66). С. 38-43.

33. Окіпний І.Б., Сенчишин В.С., Ткаченко І.Г., Комар Р.В., Дячун А.Є. Кваліфікаційна робота магістра. Методичні вказівки для здобувачів другого (освітньо-професійного) рівня вищої освіти за спеціальністю G9 Прикладна механіка галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво. Тернопіль : 2025. 40 с.

34. Гевко І. Б., Ляшук О. Л., Дячун А. Є., Гупка А. Б., Третьяков О. Л. Технологічне проєктування та виготовлення гвинтових транспортно-технологічних робочих органів : монографія. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. 457 с.

35. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник. Тернопіль, 2022. 150 с.