

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

Механіко-машинобудівний факультет

Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Рубана Владислава Миколайовича

академічної групи 131М-22ЗН-1 ММФ

спеціальності 131 Прикладна механіка

спеціалізації _____

за **освітньо-професійною програмою** «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва» **на тему:** Дослідження методами комп'ютерного моделювання ремонтної технології механічного оброблення контактної поверхні колісної пари локомотиву

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної	проф. Пачера С.Т.			лб

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. Узв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Дніпро
2024

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
технологій машинобудування та
матеріалознавства
_____ доц. Дербіба В.А.
« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра

студент Рубан Владислав Миколайович академічної групи 131м-22зн-1 ММФ
спеціальність 131 Прикладна механіка
спеціалізація _____
за освітньо-професійною програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного
виробництва»
на тему: Дослідження методами комп'ютерного моделювання ремонтної
технології механічного оброблення контактної поверхні колісної пари
локомотиву
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 30.04.2024р. за №383-с

Розділ	Зміст	Термін Виконання
	Аналіз технологічності конструкції виробу	

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

Завдання видано

проф. Пандера С.Г.

Дата видачі завдання: 29.01.24

Дата подання до екзаменаційної комісії: 29.04.24

Прийнято до виконання _____ Рубан В.М.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 с, 38 рис, 8 табл., 4 додатки, 38 джерел.

Тема: Дослідження методами комп'ютерного моделювання ремонтної технології механічного оброблення контактної поверхні колісної пари локомотиву.

Широке використання колісних пар призвело до підвищення вимог довговічності та зносостійкості контактної поверхні колісних пар. Тому актуальним є дослідження, спрямоване на визначення можливості підвищити надійність інструменту, який застосовується при відновлювальному ремонті.

Об'єкт дослідження (розробки) у кваліфікаційній роботі – ремонтна технологія механічної обробки контактної поверхні колісної пари.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан різального інструменту.

Методика досліджень – моделювання методом скінчених елементів за допомогою програми SolidWorks Simulation.

Окрім того з метою автоматизації комп'ютерного моделювання процесу фрезерування для розрахунків миттєвого поперечного перерізу шару f створено спеціалізований віртуальний прилад, для чого використано середовище NI LabVIEW 7.1.

Наукова новизна – залежності впливу конструкторсько-технологічних факторів на напружено-деформований стан різальних пластин.

Практична цінність – рекомендації стосовно вибраних робочих процесів при відновленні контактної поверхні колісних пар.

Ключові слова: колісна пара, контактна поверхня, спеціальна фасонна фреза, віртуальний прилад, алгоритм розрахунку.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Аналіз технологічності конструкції виробу машинобудування.....	8
1.1 Характеристика об'єкта виробництва.....	8
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	11
1.2.1. Визначення напрямку аналізу технологічності конструкції.....	11
1.2.2. Методика оцінки технологічності розробки.....	12
1.3 Визначення виду ремонту для колісних пар.....	17
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	20
2.1. Обґрунтування способу обробки.....	20
2.2. Вибір методу обробки профілю контактної поверхні, розробка маршруту обробки деталі.....	20
2.3. Обґрунтування вибору верстату.....	22
3 РОЗДІЛ СПЕЦІАЛЬНИЙ. Віртуальний прилад для моделювання та розрахунків параметрів процесу фрезерування тіла обертання методом зовнішнього дотику циліндричною фрезою.....	31
3.1 Аналіз відомих математичних моделей процесу фрезерування циліндричною фрезою плоскої поверхні.....	31
3.2 Створення віртуального приладу для моделювання та розрахунків параметрів процесу фрезерування тіла обертання методом зовнішнього дотику циліндричною фрезою.....	38
4. РОЗДІЛ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ. Комп'ютерне моделювання експлуатаційних навантажень в процесі різання спеціальними фрезами.....	41
4.1. Комп'ютерне моделювання складових елементів спеціальних фрез.....	41
4.2. Визначення напружено-деформованого стану елементів спеціальних фрез в процесах різання.....	48

4.2.1. Розрахунок напружено-деформованого стану пластин.....	50
4.2.2. Розрахунок напружено-деформованого стану корпусу фрези.....	53
4.2.3. Розрахунок напружено-деформованого стану зуба.....	57
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	61
ДОДАТКИ.....	66

ВСТУП

Сучасному етапу розвитку транспортних машин, як в нашій країні, так і за кордоном, властива тенденція до збільшення об'ємів перевозок рейковим транспортом, і зокрема, при використанні змішаних схем транспорту: залізнично-конвеєрному, автомобільно-залізничному. Таким чином, рейковий транспорт будучи сполучною ланкою між здобиччю, переробкою і транспортуванням, грає важливу роль в загальному комплексі видобутку корисних копалин, а його техніко-економічні показники чинять істотний вплив на роботу усієї транспортної системи.

Однією з найважливіших проблем рейкового транспорту є підвищення довговічності і зносостійкості контактної поверхні колісних пар. У складних фізико-механічних умовах контактної взаємодії, за наявності високих статичних і динамічних навантажень, температурної дії і присутності абразиву відбувається інтенсивний знос контактної поверхні коліс і бандажів, а також верхньої будови колії, що знижує їх довговічність, зменшує міжремонтний термін, призводить до великих економічних витрат на їх відновлення або ремонт.

Процес відновлення контактної поверхні колісних пар являє собою складну технологічну операцію, яка характеризується відносно невисокою продуктивністю і цілим рядом особливостей.

Для процесу відновлення контактної поверхні колісних пар характерне коливання в широкому діапазоні припуску, твердості обробленої поверхні. В залежності від виду пошкодження контактної поверхні колісної пари глибина різання є змінною величиною і може досягати 14...16 мм, а твердість обробки поверхні – до 900 НВ і більше.

Перераховані фактори та їх зміна в процесі обробки приводять, до значних коливань теплової та силової навантажень на інструмент, що тягне за собою передчасний вихід інструменту зі строю внаслідок викришування

і поломок пластин, а також пластичних деформацій і руйнування елементів механічного кріплення.

Тому розробка і реалізація методів і способів підвищення ефективності процесу відновлення контактної поверхні колісних пар є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якої дасть можливість підвищити надійність роботи рухомого складу залізничного транспорту.

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 ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. К.М.Янгеля».

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Аналіз технологічності конструкції виробу машинобудування

1.1 Характеристика об'єкта виробництва

Колісна пара є найбільш відповідальним вузлом рухомого складу. Колісні пари [1] локомотива сприймають і передають на рейки вертикальні навантаження від маси локомотива, під час руху взаємодіють із рейковою колією, сприймаючи удари від нерівностей колії та горизонтальні сили. Через колісну пару передається обертальний момент тягового двигуна, а в місці контакту коліс із рейками в тяговому і гальмівному режимах реалізуються сили зчеплення. Від справного стану колісної пари залежить безпека руху поїздів, тому до вибору матеріалу, технології виготовлення окремих її елементів і матеріалу, технології виготовлення окремих її елементів і формування колісної пари висувають особливі вимоги. В умовах експлуатації за колісними парами необхідний ретельний догляд і

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

торцевої поверхні двома болтами М16 кріпиться стопорна планка, що захищає гайку від відвертання.

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

1 - колісний центр; 2 - бандаж; 3 – кільце бандажне; 4 - зубчасте колесо, 5 – вісь

На підматочинну частину напресовано колісні центри. Між шийкою і підматочинною частиною знаходиться передпідматочинна частина. Частина призначається під моторно-осьові підшипники. Діаметри зазначених частин осі різні. Підматочинну частину осі виготовляють найбільшого діаметра, для того щоб зменшити концентрацію напруги, що виникає при запресовуванні колісного центра на вісь.

Колісні центри виготовляють з подовженою маточиною під встановлення зубчастого колеса, або з нормальною, при встановленні великого зубчастого колеса на вісь. Колісний центр запресовують на вісь у холодному стані на горизонтальному гідравлічному пресі, обладнаному манометром і спеціальним приладом для знімання індикаторної діаграми запресовування.

На обід колісного центра з натягом насаджують бандаж, який закріплюють стопорним кільцем.

Бандажі колісних пар виготовляють із високоякісної сталі. Поверхні бандажа надають необхідну форму шляхом механічної обробки на токарних верстатах.

Профіль контактної поверхні бандажа (рис. 1.2) забезпечує збереження постійного зазору між гребенем бандажа й головкою рейки, необхідного для вільного руху локомотиву. Гребінь бандажа запобігає сходу колісної пари з рейок.

11.0

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

Рисунок 1.2 – Профіль бандажа колісної пари ДМетІ ЛР [1, 3]

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

Таблиця 1.2 – Механічні властивості колісних пар

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

В процесі експлуатації бандажі зношуються, тому правильність профілю контактної поверхні періодично перевіряють спеціальними шаблонами. Якщо зношення більше допустимого — бандажі колісних пар проточують на спеціальних фрезерних верстатах, без викочування колісних пар з-під локомотиву.

Система технічного обслуговування та ремонту локомотивів встановлюється з метою забезпечення стійкої роботи, підтримання його технічного стану та підвищення експлуатаційної надійності локомотивів. Вона передбачає такі види планового технічного обслуговування і ремонту: технічне обслуговування - ТО-1; ТО-2; ТО-3; ТО-4; поточний ремонт - ТР-1; ТР-2; ТР-3.

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

1.2.1. Визначення напрямку аналізу технологічності конструкції

Безперервне удосконалення конструкції виробу обумовлюється його призначенням та умовами експлуатації. Конструкція повинна бути найменш

трудомісткою та матеріаломісткою, технологічною при виготовленні, надійною і зручною при експлуатації.

Технологічність конструкції [5] характеризується сукупністю оптимальних витрат праці, засобів, матеріальних ресурсів і часу в процесі технічної підготовки виробництва, виготовлення, експлуатації та ремонту виробу. Ці показники оцінюються у порівнянні з існуючими однотипових конструкцій виробу. Технологічна конструкція відрізняється від існуючої високими експлуатаційними показниками, мінімальними трудо- і матеріаломісткістю, а також собівартістю. У свою чергу, показники технологічності суттєво залежать від технологічного процесу виробництва заготовок, їх обробки різанням та складання деталей.

Технологічність конструкції вирішується за наступними напрямками: **виробничому**, що визначається щодо виготовлення виробу; **експлуатаційному** – до підготовки та обслуговуванні виробу під час експлуатації, транспортуванні й зберіганні, а також виконанні його технічного обслуговування; **ремонтному** – зручності й простоти ремонту. Таким чином, відпрацювання конструкції на технологічність полягає в конструктивних та технологічних рішеннях.

1.2.2. Методика оцінки технологічності розробки [5]

Об'єктивна оцінка технологічності конструкції проводиться за показниками, які розподіляються на основні й додаткові (техніко-економічні, технічні). Основними показниками є трудомісткість виготовлення конструкції машини і технологічна собівартість, що визначається сумою витрат на здійснення технологічного процесу виготовлення без урахування вартості комплектуючих виробів. Складовими технологічної собівартості є вартість матеріалу, заробітна плата робітників з відповідними нарахуваннями, витрати на енергію, технічне обслуговування, ремонт та амортизації обладнання, інструменту і

пристроїв, а також вартість змазуючих, охолоджуючих і обтирочних матеріалів.

Маса виробу. У процесі конструювання розробник завжди прагне отримати мінімальну масу виробу шляхом правильного його розрахунку, вибору конструктивних форм деталей, що забезпечують можливість отримання заготовок з мінімальними припусками на обробку, і застосуванням високоміцних матеріалів. Знаходження розрахунковим шляхом дійсних напружень у деталях дає можливість конструктору встановлювати розміри й форми деталей і, як наслідок, отримати їх масу без підвищених запасів щодо міцності. При мінімальній масі виробу трудомісткість його виготовлення буде найменшою.

Технологічність конструкції за цим показником характеризуються не тільки виробничо-технологічним, але і експлуатаційним фактором. Практика показує, що при великій масі виробу, наприклад тролейбуса, для його пресування потрібні великі витрати енергії. Тому важливим показником є матеріаломісткість виробу, яка являє собою відношення маси M до його потужності N .

Використовані матеріали. Крім розглянутого вище показника оцінка технологічності конструкції може проводитися за допомогою коефіцієнта використання матеріалу. Конструкція виробу, що передбачає використання мінімальної кількості різних марок сталей, чавунів та інших матеріалів, буде відрізнятися високою технологічністю. Збільшення кількості ускладнює процеси виробництва заготовки, обробки різанням і процесу виробництва в цілому. В даному разі для виготовлення заготовок потрібне велике число нагрівальних агрегатів і пристроїв для забезпечення відповідних температурних режимів, ускладнюється обробка різанням бо вимагає застосування різних різальних інструментів у зв'язку із значним різновидом конструкційних матеріалів, збільшуються їх запаси на підприємстві, ускладнюються умови зберігання.

Взаємозамінюваність складальних одиниць і деталей. Поточне виробництво побудовано на взаємозамінності складальних одиниць і деталей. У разі її відсутності значно підвищується трудомісткість виготовлення, тому що складання проводиться за методом пригонки і заважає роботі конвейера, ускладнює процес зміни зношуваних деталей при ремонті виробу.

У різних галузях машинобудування застосовують різні методи досягнення заданої точності. Найбільш поширеним, наприклад, у автомобілебудуванні, є метод повної взаємозамінюваності. Знаходить застосування також складання з неповною взаємозамінюваністю. Але деякі деталі, спряжені з високою точністю (2-3 мкм), складають методом групової взаємозамінюваності. Масове виготовлення деталей з високою точністю викликає певні труднощі, тому їх виготовлення здійснюється з розширеними виробничими допусками та послідовним сортуванням на групи за видами спряжених деталей. Технологічність виробу значно підвищується, якщо при виготовленні забезпечується принцип незалежності обробки деталей, складання окремих складальних одиниць.

Уніфікація складальних одиниць і деталей. Підвищення технологічності конструкції досягається за рахунок застосування великого числа уніфікованих складальних одиниць і деталей. Уніфікація узагальнює конструктивні рішення без оформлення спеціального документу, нормалізація – у вигляді усередні-заводських і відомчих нормалей, а стандартизація – державних стандартів.

Нормалізацією можуть бути охоплені складальні одиниці, деталі, елементи з'єднання, сортамент матеріалів та ін. При використанні уніфікованих складальних одиниць і деталей скорочується обсяг робіт при проектуванні, значно зменшуються трудомісткість і собівартість виготовлення через можливість використання високопродуктивного обладнання, стандартизованого інструменту. Крім того, скорочується номенклатура запасних частин, бо на різні типи засобів замість зношуваних

вузлів і деталей можна встановлювати нові, знижується трудомісткість ремонту. Наприклад, для кількох модифікацій вантажних автомобілів і автобусів використовується один тип двигуна, рульовий механізм, прилади електрообладнання, підшипники та ін. Таким чином, уніфікація складальних одиниць і деталей дозволяє, знижуючи вартість зазначених виробів і забезпечуючи їх виготовлення, випускати більше їх модифікацій.

Уніфікувати можна діаметри отворів та валів і допуски на них, діаметри і довжину болтів, різьбові, шліцьові й шпоночні з'єднання, модулі зубчастих коліс, марки, профілі та розміри заготовок і т.д. У результаті уніфікації різко скорочується асортимент різальних, вимірювальних і інших інструментів, що в кінцевому підсумку спрощує постачання цехів, ліній та робочих місць. Отже, збільшення числа уніфікованих конструктивних елементів підвищує технологічність конструкції.

Коефіцієнт уніфікації деталей, що характеризує технологічність конструкції, дорівнює

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

технологічніша.

Сумарна оцінка технологічності конструкції може бути визначена за трудомісткістю і матеріалоемністю.

За трудомісткістю технологічність конструкції визначається за формулами:

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

В процесі конструювання можливо виконувати оцінку, виходячи із середньої трудомісткості з використанням альбомів типових деталей і вузлів, трудомісткість яких відома.

Оцінка технологічності *за матеріалоємністю* визначається відношенням чистої маси деталі до норми розходу, або відношенням чистої маси деталі до маси заготовки по варіантам, які порівнюються :

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

1.3 Визначення виду ремонту для колісних пар

У сучасних умовах та невеликих об'ємах ремонту локомотивів практично для всіх підприємств УЗ раціональним є партійний метод форми організації (виробництва), оскільки при цьому методі найбільш повно дотримується ремонт колісних пар згідно виробничої програми ремонту.

Для розрахунку мінімального випуску виробів [6], при якому доцільно використовувати потокову лінію у розглянутий період, використовується співвідношення:

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.

Математична модель контактної поверхні локомотивних колісних пар
може бути описана системою рівнянь

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.

Додаток 1.4 – крива профілю контактної поверхні локомотивних
колісних пар

Значення похибки апроксимації R^2 дорівнює одиниці, що свідчить про
точність обраної моделі.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Обґрунтування способу обробки

Припуски на механічну обробку можуть бути визначені або розрахунково-аналітичним, або табличним методами. Для заданого виробу застосовано табличний метод.

Таблиця 2.1. – Припуски на фрезерну обробку

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

Метод обробки поверхні вибрані з урахуванням класу деталі, вимог до точності розмірів і заданої шорсткості обробленої поверхні [11]. Також

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

й
и

i
а

Для контролю якості обробленої поверхні пропонується застосування HEXAGON ABSOLUTE ARM - Абсолютна Рука. Легкі, стабільні, портативні та високопродуктивні лазерні сканери перетворюють Абсолютну Руку 7-вісь у багатофункціональний інструмент для тривимірного контролю, аналізу та цифрування даних, який може використовуватися всюди [12].

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



Рисунок 2.1 - Вимірювальна рука Absolute Arm 7-Axis

Характеристики [13] HEXAGON ABSOLUTE ARM

1 - Максимально допустима поздовжня похибка вимірювання – згідно [ISO 10360-12: 2016](#).

2 - Максимально допустиме відхилення щупа, розмір - відповідно до ISO 10360-12: 2016.

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

Температура зберігання: від -30 °C до +70 °C (-22 °F .. 158 °F)

Відносна вологість: 10%.. 90% без конденсації

Висота над рівнем моря: 0..2000 м (0..6600 футів)

Параметри електроживлення

Напруга мережі: 110В..240В.

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

Обертання шпинделів фасонних профільних фрез здійснюється від двигуна постійного струму, через з'єднувальні муфти і циліндричні зубчасті передачі.

Обертання оброблюваної колісної пари здійснюється від двигуна постійного струму, через черв'ячну пару і циліндричні зубчасті передачі.

Діапазон безступеневого регулювання чисел обертів фрези і чисел обертів роликів (колісної пари) наведені в таблиці 2.4.

У фрезерних бабках передбачено ручне переміщення пінолей за

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

Рейки керування і механізми рухомих рейок монтується на тумбах і кріпляться до фундаменту. Вони розташовані перед і за верстатом, поєднуючи його, таким чином з цеховими рейками. Рейки розташовані над роликами. Під час обробки профілю робочої поверхні колісної пари, рухомі рейки за допомогою гідроциліндрів, відведені.

Управління рейками здійснюється кнопками, розташованими на пульті управління.

Положення рухомих рейок контролюється кінцевими вимикачами із загорянням сигнальних ламп.

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



Рисунок 2.2 - Колесофрезерний верстат КЖ20 (КЗВВ)

Технічна характеристика колесофрезерного верстата моделі КЖ20ТФ1 наведена в таблиці 2.4

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.

Метою системи технічного обслуговування і ремонту - управління технічним станом рухомого складу впродовж терміну його служби до списання, що дозволяють забезпечити рівень його надійності в експлуатації.

На верстатах КЖ20 проводять технічне обслуговування, ремонту рухомого складу ТО – 4.

ТО – 4 планується за необхідністю та виконується з метою підтримки контактної поверхні бандажів колісних пар без викачування з-під локомотивів і МВРС в межах, встановлених Інструкцією по формуванню, ремонту і утриманню колісних пар тягового рухомого складу залізниць колії 1520 мм, на верстаті типу КЖ20 - 1,5 години на 1 колісну пару [1].

Комплект фасонних фрез для верстата КЖ20 (рис. 2.3), застосовується для відновлення контактної поверхні колісних пар без викочування з-під локомотива на колесофрезерних верстатах моделі КЖ20 у локомотивних депо.

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

Рисунок 2.3 – Комплект фасонних фрез для верстата КЖ20

В якості пластин (рис. 2.4) для спеціальних фрез до верстата КЖ20 використовують пластини RNUX 1212 MO TN марки сплавів КС - 25, Т14К8 [15, 17, 18].

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.

переривчастому різанні; чорного фрезерування суцільних поверхонь; розсвердлювання литих і кованих отворів, чорного зенкерування та інших подібних видів обробки вуглецевих і легованих сталей.

Тверді сплави в даний час є поширеним інструментальним матеріалом, широко застосовуваним в інструментальній промисловості. За рахунок наявності в структурі тугоплавких карбідів твердосплавний інструмент має високу твердість HRA 80 – 92 (HRC 73 – 76), теплостійкість (800-1000 °C), тому ними можна працювати зі швидкостями, в кілька разів перевищують швидкості різання для швидкорізальних сталей. Однак, на відміну від швидкорізальних сталей, тверді сплави мають знижену міцність ($\sigma_{\text{и}}=1000 - 1500$ МПа), не володіють ударною в'язкістю.

У класифікації відмов інструменту виділені дві основні групи - знос і руйнування. Руйнування, в свою чергу, прийнято розділяти на пластичне і крихке, а крихке руйнування - на викришування і відколи. Причиною появи Викришування (відділення невеликих частинок в межах зони контакту) прийнято вважати циклічні термічні і силові напруги в різучому клині, які призводять до втомного руйнування матеріалу різучого інструменту.

Відколи - руйнування ріжучої частини, викликане виключно несприятливим силовим навантаженням з боку сили різання. Характер руйнувань - відколи великих частин леза, що розвиваються із зони передньої поверхні, розташованої за межами контакту інструменту зі стружкою - приводить до висновку про виникнення в цій зоні критичних

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

Дивитись 2.4. Цифрові технології та інновації в промисловості

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

Технологія відновлювального ремонту має наступну послідовність:

1. Оператор верстата подає локомотив, зі знятими підшипниковими кришками буксових вузлів, за допомогою лебідки на верстат.
2. Зупиняє на колісній парі, що підлягає усуненню дефектів робочої поверхні, з панелі управління верстатом центрує колісну пару.
3. Убирається допоміжна рейка.
4. Підводяться привідні ролики, які передають обертальний рух подачі колісній парі з заданою швидкістю.
5. Включається привід обертання фрези

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.

3 РОЗДІЛ СПЕЦІАЛЬНИЙ. Віртуальний прилад для моделювання та розрахунків параметрів процесу фрезерування тіла обертання методом зовнішнього дотику циліндричною фрезою

3.1 Аналіз відомих математичних моделей процесу фрезерування циліндричною фрезою плоскої поверхні [20]

Фрезерування характеризується кінематичною схемою, що базується на поєднанні двох рівномірних рухів: обертального руху колісної пари і обертального руху циліндричної фрези. В результаті траєкторія відносного робочого руху будь-якої точки леза являє собою витягнуту циклоїду

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

рисунки 3.1 – траєкторія робочого руху вістря леза циліндричної фрези [20]

При співвідношенні швидкості руху заготовки і обертання різця, яке має місце в фрезеруванні за траєкторією трохоїдної лінії форма кривої порівняно мало відрізняється від дуги кола. Тому для спрощення розмірів шару, що підлягає зрізу, при фрезеруванні трохоїда може бути замінена на коло діаметром, рівним діаметру D траєкторії різальної кромки.

Обертальний рух фрезерного інструменту є основним рухом різання. При відомій швидкості обертання n_i і діаметрі інструменту D_ϕ швидкість різання визначено за формулою

$$V = \pi \cdot D_\phi \cdot n_i / 1000. \quad (3.1)$$

В довідниковій літературі швидкість різання в процесах фрезерування циліндричними фрезами із твердосплавними пластинами повинна бути у межах 80 – 150 м/хв. А подача на зуб відповідно 0,08 – 0,13 мм/зуб.

Рух контактної поверхні (\varnothing 1250 мм) колеса - це рух подачі. Швидкість цього руху визначається:

- хвилиною подачею $S_{хв}$,
- подачею на оберт інструменту $S_{об} = S_{хв} / n_d$ інструменту, де n_d – швидкість обертання деталі.

В результаті здійснення різальних і подавальних рухів знімається шар матеріалу глибиною t .

Значення подачі зуба S_z використовуються в теоретичних дослідженнях і при розрахунку даних різання при фрезеруванні. У виробничих умовах, наприклад, при налаштуванні фрезерних верстатів, використовується хвилинна подача S_{min} . Це пов'язано з тим, що більшість фрезерних верстатів не мають кінематичного зв'язку між шпинделем і механізмом подачі, який має власний привід регулювання.

При фрезеруванні можливі дві комбінації напрямку обертання різця і руху заготовки (рис. 3.2).

Якщо вектори швидкості V і подача V_s в точці зіткнення B з оброблюваною поверхнею спрямовані в протилежні сторони (рис. 3.2 б), то таке фрезерування називається зустрічним, а якщо в одному напрямку (рис. 3.2 а), то - попутним. Зустрічні і попутні варіанти фрезерування однаково часто використовується на виробництві.

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

швидкості головного руху різання; 3, 9 – напрямок швидкості руху подачі;
4 – робоча площина; 5 – інструмент; 6 – заготовка; 7 – оброблювана
поверхня; 8 – оброблена поверхня; 1–3 – рух заданих точок *A* і *B* леза
інструменту; 9 – рух заданої точки *B* на заготовці

Товщина шару матеріалу, який знімається з заготовки за один прохід,
виміряна перпендикулярно до оброблюваної поверхні, дорівнює глибині

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

перпендикулярною осі різця, миттєва товщина шару зрізу a , визначена як

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

Развертка по $R\theta_2$

б

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

Оскільки всі точки різальної кромки фрези лежать на циліндричній різальній поверхні, то миттєва товщина шару, що оброблюється при будь-якому куті нахилу гвинтової канавки ω , включно і рівних нулю, відповідає тому ж миттєвому куту контакту і визначається відрізком pq , тобто не залежить від кута ω .

Формула (3.3) показує, що при русі зубця уздовж різальної поверхні змінюється товщина шару зрізу в даній точці леза. У разі зустрічного

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

Зображення 3.1 [20] – Геометричний модель для визначення товщини зрізаного шару при циліндричному фрезеруванні

При проходженні радіуса фрези через точку A в кінці робочого циклу попереднього зуба значення кута $\theta = \theta_m$ і товщини $a = a_m = S_z \sin \theta_m$ досягають максимуму. У перерізі BC стає рівним нулю. Рівняння (3.1) в цій точці не застосовується.

У разі попутного фрезерування (різальний рух – D_{r2}) входження зубця фрези в контакт із заготовкою супроводжується швидким збільшенням товщини до значення a_{max} в момент проходження радіуса через початкову

точку A робочого циклу попереднього зуба. По закінченні робочого циклу кут контакту θ стає рівним нулю і, згідно з рівнянням (3.1), товщина шару, що зрізається, також зменшується до нуля.

Під час перерізу, що виконується в роботі (див. рис. 3.2, а) з робочого

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

перерізу, що має площу df :

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.

3.2 Створення віртуального приладу для моделювання та розрахунків параметрів процесу фрезерування тіла обертання методом зовнішнього дотику циліндричною фрезою

Розроблена розрахункова схема круглого зовнішнього фрезерування контактної поверхні колеса локомотива з урахуванням кругової траєкторії

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

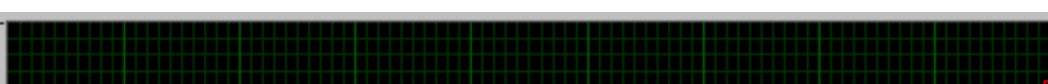
Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 18.06.2024р.

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

можливості для використання у навчальному процесі. дослідження, що виконуються в рамках випускних кваліфікаційних робіт та базуються на технологіях National Instruments, дозволяють підвищити якість вивчення технічних дисциплін та сформувати початкові навички і вміння, необхідні

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

0,55



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

Аргумент X

Рисунок 3.8 – Графік підінтегральної функції, реалізований при
застосуванні підпрограми **Wafeform Graf**

4 РОЗДІЛ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ СПЕЦІАЛЬНИМИ ФРЕЗАМИ

4.1. Комп'ютерне моделювання складових елементів спеціальних фрез

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

оптимальному взаємному розташуванні пластин. У даному випадку чистота обробки підвищується, знижується навантаження на кожну окрему пластину, якщо частота їх установки збільшується.

Однак конструкція зубів фрези не дозволяє розташувати на одному зубі більш 14 пластин стандартного діаметра 12 мм, крім того, при зменшенні товщини перегородок знижується їх експлуатаційна стійкість, пластини розбовтуються в гніздах, що приводить до виходу з ладу як окремих пластин, так і зубів у цілому.

Спеціальна фреза [26] (рис.4.1) є складною конструкцією, яка складається з унікальних деталей, пластин і кріпильних елементів.

Спеціальна фреза складається з: 1) корпус, 2) зуб, 3) гвинт, 4) клин, 5) кільце, 6) кільце, 7) гвинт, 8) гвинт установчий, 9) пластина, 10) гвинт, 11)

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

застосовується метод обертання, який розглядається в курсі нарисної геометрії при вивченні розділу «Методи перетворення ортогональних проекцій».

Метод ґрунтується на нерухомості площин проекцій, а об'єкт змінює своє розташування відносно площин проекцій. При цьому об'єкт може змінювати положення до необхідного окремого положення. Така зміна положення об'єкту може бути виконана шляхом обертання об'єкта навколо осі - прямої, прийнятої за вісь обертання. Так пряма прийнята за вісь може бути: прямою проектуючою, прямою рівня, або прямою загального положення [27, 28].

В сучасному машинобудуванні важливу роль грає якісна технологічна підготовка, одне з головних місць в ній займає система автоматизованого проектування і конструювання виробів (САПР), використання яких дозволяє істотно скоротити час, підвищити якість та конкурентоздатність

продукції. САПР дозволяє візуально контролювати результати конструювання шляхом побудови тривимірної моделі на кожному етапі [29, 30].

Проектується тривимірна модель пластини з замком під гвинт з головкою спеціальної форми. Поступово встановлюються пластини і розташовуються на свої місця, відповідно контактної поверхні колеса. Кожний отвір під пластину має свої дві координати X і Y , глибину h і кут нахилу α [31].

Тривимірне моделювання конструювання пластини з замком під гвинт

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

Автоматизація проектування за допомогою комп'ютерних технологій ґрунтується на системному підході, на створенні та впровадженні систем автоматизованого проектування технічних об'єктів (САПР), завдяки яким вирішується весь комплекс задач від аналізу завдання до розробки повного обсягу конструкторської документації, що дозволяє скоротити час, підвищити якість при конструюванні конкурентних високотехнологічних виробів.

Конструкція спеціальної фрези має бути такою, щоб кожна пластина

обробляла нову ділянку контактної поверхні локомотивного колеса при відновлювальному ремонті на верстаті КЖ20. Проте саме ця вимога і створює значні складнощі при проектуванні і виготовленні спеціальних фрез.

На першому етапі моделювання задається геометрія контактної поверхні локомотивного колеса, яка повинна з'явитися після обробки його контактної поверхні колісних пар. На наступному етапі моделювання по заданих значеннях габаритних розмірів корпусу спеціальної фрези і параметрів циліндричного і конічного хвостовиків проектується заготовка. САПР дозволяє візуально контролювати результати конструювання шляхом побудови тривимірної моделі в процесі виконання кожного етапу в системі SolidWorks.

Далі задаються геометричні параметри паза шпонки на циліндричному хвостовику, пазів для передачі обертального моменту, а також пазів, в яких безпосередньо розташовуватимуться зуби фрези. Кількість пазів під зуби, їх глибина і ширина, кут їх нахилу відносно осі корпусу задаються залежно від умов різання. Програма SolidWorks дозволяє моделювати технологічні операції, які виконуються на екрані монітора із заготовкою корпусу фрези, оскільки це б відбувалося за допомогою технологічних операцій точного фрезерування, точіння, свердління і так далі. Потім робиться формування пазів для клинів, різьбових отворів під кріплення зубів і фіксуючих кілець (рис. 4.6).

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

кріплення зубів передбачаються додаткові клини, які притискають кожен зуб до стінки паза, виконаного в корпусі. Залежно від технологічного оснащення виробництва клини можуть бути різної геометричної форми, як, відповідно, і їх пази в корпусі.

Далі відповідно до вибраного робочого профілю поверхні колісних пар виконується моделювання заготовки зуба. Геометричні розміри знаходяться залежно від розмірів пазів в корпусі. Збільшення кількості зубів для фрези сприяє поліпшенню чистоти обробки поверхонь, слід вносити зміни в конструкцію як корпусу фрези, так і заготовки зубів. В даному випадку є обмеження ваговими характеристиками фрези, її габаритними розмірами, а також міркуваннями міцності її конструкції.

Збільшення кількості зубів, яка була б доцільна з точки зору якості обробки, якщо залишати незмінній конструкцію заготовки зубів, призводить до істотного збільшення діаметру фрези, її маси, а також моменту на приводному валу верстата. Подібні рішення є спірними і повинні розглядатися окремо для кожної пропонованої конструкції. При

цьому обов'язково повинен виконуватися розрахунок на міцність, що дозволяє оцінити напружено-деформований стан усіх елементів фрези.

Згідно технології виготовлення фрез спочатку в заготовках зубів виконуються отвори під пластини, потім пронумеровані зуби встановлюють, в відповідні за номером, пази корпусу. Наступне, ліве (базове) кільце і праве кільце кріпляться до корпусу гвинтами.

Далі проводиться токарна обробка зібраної фрези, при якій проводиться так зване «розкриття зубів». Це досить відповідальна операція, оскільки при неправильному монтажі і надмірному розкритті ослабляються посадочні місця окремих пластин, що може призводити до їх викришування. Недостатнє розкриття зубів також погано, оскільки в цьому випадку може відбуватися наволочення металу колеса на елементи фрези (зуби), що погіршує якість обробки профілю робочої поверхні коліс. Останньою технологічною операцією, що проводиться над зубами, встановленими в корпусі, є видалення задирки металу, які обов'язково з'являються при операції розкриття.

При моделюванні окремих елементів фрез з використанням пакету SolidWorks спочатку «обточування» зубів за заданим профілем, внаслідок

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

У залежності, від вибраних геометричних розмірів зубів і пластин, проектується кріпильні елементи або вибираються з бібліотеки стандартних кріпильних виробів у разі, якщо застосовані стандартні пластини. Послідовно з готових елементів комплектуємо кожен зуб. При

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

Останнім етапом є остаточне складання фасонної фрези. При цьому в корпусі закріплюються гвинтами фіксуючі кільця. Послідовно встановлюються раніше зібрані зуби і фіксуються в корпусі гвинтами. Вказані гвинти фіксують зуби у вертикальному напрямі. У горизонтальному (осьовому) напрямі зуби фіксуються настановними гвинтами, які притискають зуби до базового кільця. Після чого встановлюються клини в пази, притискаючи зуби до корпусу фрези і фіксуючи їх в окружному напрямі. Таке кріплення ножів забезпечує їх точне розташування в корпусі і працездатність фрези під впливом циклічних навантажень. На рис. 4.9 показана модель фасонної фрези у зборі.

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

спеціальних фрез в процесах різання

Аналіз конструкції збірної фасонної фрези (рис. 4.9) показав, що дослідження напружено-деформованого стану (НДС) її елементів є просторовою задачею теорії пружності. Розрахунок на міцність корпусу збірної фасонної фрези ускладнюється наявністю пазів під зуби та клини, отворів під різьбу.

Вирішення тривимірної задачі теорії пружності для тіла скінчених розмірів складної форми є достатньо складною і трудомісткою задачею навіть при використанні сучасних чисельних методів теорії пружності. Тому для визначення НДС блока доцільно використовувати інженерні методики.

Приймаємо наступні припущення:

1. Співвідношення між поздовжніми і поперечними розмірами такі, що корпус збірної фасонної фрези можна розглядати як стрижневу рамну систему.
2. Корпус є жорсткою конструкцією.
3. Припускається, що корпус не деформується.

4. Вісь фрези є геометричним місцем центрів ваги його поперечних перетинів.

5. Поперечний перетин корпусу має вісь симетрії, яка лежить у серединній площині корпусу.

6. Відношення розмірів поперечного перетину корпусу до його діаметру таке, що може розглядатися, як брус малої кривини.

7. Центр вигину перетину корпусу співпадає з його центром ваги.

8. Вісь крутильних моментів у кожному поперечному перетині корпусу співпадає з дотичною до вісі корпусу, яка з'єднує центри ваги поперечних перетинів.

Існуючі CAD програми, в тому числі і CAD-система SolidWorks [32], побудовані на максимальній візуалізації процесу проектування (виготовлення) будь-якої деталі на моніторі комп'ютера, для реального уявлення користувачем її виробництва. Причому, можливості CAD-системи SolidWorks широко використовують на підприємствах при переході до САМ програмами, при виробництві виробів на верстатах з ЧПУ, з допомогою, наприклад, формату STEP.

CAD-система SolidWorks дає можливість вибору користувачу методів побудови твердотільної моделі, або з одного ескізу можна створити твердотільну модель тіла обертання або поетапно до поверхні додаючи ділянку за ділянкою до отримання необхідної твердотільної моделі.

Використовуючи отримані результати обчислень, перевіримо напружено-деформований стан пластин, пропонованих конструкцій, за допомогою пакета Simulation, інтегрований в CAD-систему SolidWorks [33, 34].

Simulation містить тільки елементи просторових тіл у вигляді тетраєдрів і оболонок у вигляді трикутників. Цей на перший погляд обмежений вибір дозволяє моделювати переважну більшість інженерних задач [35-38].

Дослідження напружено-деформованого стану будь-якої твердотільної моделі слід розділити на кілька етапів: створення твердотільної моделі, яка відображає геометричні властивості; підготовка даних, які відображають механічні властивості матеріалу деталі; завдання граничних умов; завдання навантажень, що діють на деталь; перехід від геометрії твердотільної моделі до кінцево-елементної сітки; розрахунок.

4.2.1. Розрахунок напружено-деформованого стану пластин

Проведемо дослідження напружено-деформованого стану пластин, Ø12мм і висотою 12мм RNUX 1212 MO TN для існуючих спеціальних фасонних фрез і пластин Ø12 мм.

Виконаємо перший етап створенням твердотільної моделі пластини рис. 4.1. У прямокутній системі координат ХУ і центром О створюємо коло діаметром Ø12мм, за допомогою команди «Основа-витягнути» отримуємо циліндр 12x12мм.

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

На другому етапі, для початку роботи над напружено-деформованого стану вибираємо вкладку Simulation і вибираємо «Нове дослідження». У дереві дослідження вибираємо назву нашої деталі і вибираємо «Застосувати / редагувати матеріал».

Наступним етапом задаємо граничні умови. У дереві дослідження на

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

На четвертому етапі задаємо силу, діючу на пластину в процесі різання. Для цього на торцевій поверхні задаємо майданчик, для кращої візуалізації рівну двом площам зрізу. У дереві дослідження вибираємо вкладку «Зовнішні навантаження» і вибираємо «Сила» і задаємо величину відповідно заданої площі зрізу (рис.4.12).

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

на показано на рис. 113.

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.

мінімальний коефіцієнт запасу міцності для пластини з розмірами $12 \times 10 - 0,24$ розташування напружень пропорційне навантаженню.

4.2.2. Розрахунок напружено-деформованого стану корпусу фрези

Корпус фасонної фрези (рис.4.6) представляє собою масивну деталь,

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

нормалізовані, покращувані і піддаються поверхневій термообробці деталі, від яких потрібна підвищена міцність.

Вибираємо вкладку Simulation і вибираємо «Нове дослідження». У дереві дослідження вибираємо назву нашої деталі і вибираємо «Застосувати / редагувати матеріал».

**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.

Біоіраємо вкладку Situation далі «запуск вирішальною програми для поточного дослідження». В результаті маємо епюри напружено-

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.

Становить 1, /.

4.2.3. Розрахунок напружено-деформованого стану зуба

Зуб фасонної фрези має спеціальні отвори для пластин і отвори для їх кріплення гвинтом М4. Заготовка зуба має однакову геометрію для всіх зубів, але відрізняється розташуванням отворів під пластини.

Матеріал зуба сталь 45, пластин Т14К8. Вибираємо вкладку Simulation і вибираємо «Нове дослідження». У дереві дослідження вибираємо назву нашої деталі і правою кнопкою миші вибираємо «Застосувати / редагувати матеріал».

Зуб в корпусі фасонної фрези фіксується всіма поверхнями по периметру. Призначаємо поверхні для закріплення. У дереві дослідження на вкладці «Кріплення» правою кнопкою миші вибираємо «Зафіксована геометрія» вибираємо фіксовані поверхні: бокові поверхні фіксуються торцевими кільцями, а фронтальна і тилова поверхні в корпусі фасонної фрези.

Для визначення контакту між зубом і пластиною у дереві

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

і призначаємо розмір скінчених елементів, для зуба, розмір скінчених елементів, задаємо в автоматичному режимі (рис.4.21).

**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.

ВИСНОВКИ

Конструкція виробу «Колісна пара» є обмежено технологічна, бо для механічної обробки в процесі відновлення контактної поверхні в складі локомотиву потрібно застосувати унікальні засоби:

- спеціальний унікальний верстат для обробки контактної поверхні колісних пар;
- спеціальний унікальний інструмент для забезпечення обробки криволінійної контактної поверхні, профіль якої задано координатним методом;
- спеціальний контрольно вимірювальний інструмент.

Підвищення ефективності відновлення контактної поверхні колісних пар можливе за рахунок розробки та використання нових конструкцій спеціальних фасонних фрез є актуальною науково-технічною задачею для сучасного машинобудування.

Представлена технологія проведення відновлення профілю контактної поверхні колісних пар.

Обґрунтовано вибір верстату.

Проаналізовано відмови інструменту.

**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.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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

[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ipm.lviv.ua/specialcouncils/dysertaciyakulyk/mobile/index.html>

5. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 275 с.

6. Пошванюк А. Б. Удосконалення технології ремонту та утримання колісних пар пасажирських вагонів. Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавр за спеціальністю 273. Український державний університет науки і технологій Львівський інститут. Львів, 2022. – 51с.

7. Програмне забезпечення інженерних розрахунків: Лекції [Електронний ресурс]: навч. посіб. для підготовки бакалаврів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Сідоров Д.Е., І. О. Казак. – Електронні

текстові дані (1 файл: 9,6 М байт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 244 с.

8. Кундрат А.М., Кундрат М.М. Науково-технічні обчислення засобами MathCAD та MS Excel. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2014. – 252 с. ISBN № 978-966-327-269-6.

9. Дьомін Р. Ю. Стійкість рухомого складу від сходження з рейок: монографія / Р. Ю. Дьомін, Ю. В. Дьомін, Г. Ю. Черняк, О. В. Сергієнко. – Сєверодонецьк : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2022. – 232 с., 85 рис., 19 табл. ISBN 978-617-11-0221-7

10. Карімов І. К. Інформаційно-обчислювальні системи в економіці: Навч. посібник / Карімов І. К. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2009. – 250 с.

11. ДСТУ 2391:2010 Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять. Чинний від 2011-07-01. – Київ: Держспоживстандарт України, 2011. – 38 с.

12. Вимірювальна рука Absolute Arm 7-Axis. [Електронний ресурс]. –

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

17. Різець чашковий RNUX 1212 M0TN [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rostresurs-dnepr.com.ua/ua/p558482890-rezets-chashechnyj-rnux.html>

18. Кошман Є.О., Рубан В.М. Аналіз матеріалу різальних елементів спеціальних фрез. Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації» / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2022. - С.72-73.

19. Тверді сплави - основні властивості, класифікація, область застосування. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://instrumentservis.ua/news/tverdye-splavy-osnovnye-svoystva-klassifikatsiya-oblast-primeneniya.html>

20. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.

21. Śladkowski A.; Ruban V. Types of special-form mills defects for KZh20 machine-tool. Scientific Journal of TNTU. 2020. Vol 98. № 2. P. 80–90.

22. Бахман С.О. Підвищення ефективності лезової обробки цільнокатаних коліс та бандажів залізничних колісних пар шляхом використання сучасного технологічного обладнання. Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті: Матеріали Міжнародного науково-технічного семінару, 26–27 березня 2024 р. – Київ: АТМ України, 2024. – С. 7 – 11.

23. What is NI LabVIEW? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ni.com/en/shop/labview.html>

24. Програмно-апаратний комплекс LabVIEW : лабораторний практикум для студентів спеціальностей «Галузеве машинобудування» і «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / С.В. Смутко, П. С. Майдан, С. П. Лісевич. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – 100 с.

25. Основи проектування комп'ютерно-інтегрованих технологічних комплексів: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Я. Ю. Жураковський, Є. С. Черьопкін. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,75 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 155 с

26. UA 119973. Збірна фасонна фреза для ремонтного відновлення профілю поверхні кочення колеса рухомого складу машин рейкового транспорту. №а201507376 заявл. 22.07.2015. Опубл. 25.10.2017. Бюл.№20. 5 с. : ил.

27. Швець С.В. Металорізальні інструменти: Навчальний посібник. / С.В. Швець //– Суми: Видав. СумДУ, 2007. – 185 с.

28. Хмеленко О.С., Нарисна геометрія : підручник / О.С. Хмеленко Київ, Конкорд, 2008. -440с.

29. Холодняк Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: навчально-методичний посібник з виконання практичних робіт / Ю. В. Холодняк; ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 152 с.

30. Козяр М.М., Фещук Ю.В., Парфенюк О.В. Комп'ютерна графіка: SolidWORKS: навчальний посібник / М.М. Козяр, Ю.В. Фещук, О.В. Парфенюк. – Херсон: Олді-плюс, 2018. - 252с.

31. Рубан В.М. Фрези для ремонту поверхні кочення колісних пар машин рейкового транспорту на верстатах КЖ20 / В.М. Рубан. Національний університет «Львівська політехніка». Збірник наукових праць III-ої Всеукраїнської науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні». 2-6 лютого 2015р. – С. 92-94.

32. Чому варто обрати SOLIDWORKS 3D CAD? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://solidworks.softico.ua/solidworks-3d-cad/>

33. Рудик О. Ю. SolidWorks Simulation як засіб сучасного навчального середовища / О. Ю. Рудик, Д. І. Королівський // Засоби і технології сучасного навчального середовища : матеріали конф., м. Кіровоград, 22-23

трав. 2015 р. / відп. ред: С. П. Величко. – Кіровоград : ПП “Ексклюзив-Систум”, 2015. – С. 69-71.

34. Why Choose SOLIDWORKS Simulation? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-simulation>

35. What is Simulation? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.goengineer.com/solidworks/simulation/solidworks-simulation>

36. Золоторог М.В., Рубан В.М. Визначення напружено-деформованого стану спеціальних фасонних фрез. Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації» / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2022. - С.70-71.

37. К. С. Заболотний, О. Л. Жупієв, і Ю. О. Косенко, «Розробка методики повірочних розрахунків дискових затворів з використанням пакетів SOLIDWORKS FLOW SIMULATION і SOLIDWORKS SIMULATION», *ВМТ*, вип. 2, Лис 2017. – С.49-57.

38. Степчин, Я. А., & Степчин, О. А. (2017). Особливості моделювання теплофізичних процесів зони різання в системі SOLIDWORKS SIMULATION. *Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки"*, (1(79)), 41–47. [https://doi.org/10.26642/tn-2017-1\(79\)-41-47](https://doi.org/10.26642/tn-2017-1(79)-41-47)

ДОДАТКИ

**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.**