

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу відновлення колінчастого вала
Volvo Truck

Виконав: студент 4 курсу, групи МАс-41
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Іван МАРТИШКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник
(підпис) Іван ГЕВКО
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль
(підпис) Марія СПРАВСЬКА
(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри
(підпис) Олег ЦЬОНЬ
(прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Олег ЦЬОНЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)
«29» січня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Мартишку Івану Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технологічного процесу відновлення колінчастого вала Volvo Truck

Керівник роботи Гевко І.Б., д.т.н., професор.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » січня 2024 року № 4/7-74

2. Термін подання студентом завершеної роботи 24 червня 2024

3. Вихідні дані до роботи Базовий технологічний процес відновлення колінчастого вала Volvo Trucks

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.
4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Пристрій для шліфувального станка, для шліфування шатунних шийок
колінчастих валів – А1; Схема балансуєчої машини з електромагнітними
компенсаторами – А1; Стенд балансувальний – А1;
Пристрій 9571 - 49 для комплексної перевірки колінчастого вала – А1;
Пристрій для контролю лінійних розмірів – А1;
Випробувальний стенд – А1;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	к.т.н. доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 29.січня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	15.02.2024	
2	Технологічний розділ	14.03.2024	
3	Конструкторський розділ	18.04.2024	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	08.05.2024	
5	Оформлення графічної частини	22.05.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	29.06.2024	

Студент

(підпис)

Іван МАРТИШКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Іван ГЕВКО

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Розроблення технологічного процесу відновлення колінчастого вала Volvo Trucks».

Робота виконана на кафедрі автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра д.т.н., професор Гевко І.Б.

Пояснювальна записка складається з чотирьох розділів і 51 сторінки формату А4 та 6 аркушів формату А1 графічної частини.

Ключові слова: обладнання, технологічний процес, зносостійкість, надійність, колінчастий вал.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Огляд колінчастого валу.....	7
1.2 Технічні вимоги.....	8
1.3 Опис холодного напилення.....	9
1.4 Постановка завдання на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра.....	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	14
2.1 Налаштування параметрів холодного напилення під низьким та високим тиском.....	14
2.2 Корегування параметрів холодного напилення.....	17
2.3 Розробка ТП ремонту колінчастого валу.....	19
2.3.1 Рекомендовані матеріали сировини.....	19
2.3.2 Підготовлений до обробки.....	22
2.3.3 Робота з критичними зонами колінчастого валу.....	23
2.4 Контроль на міцність.....	28
2.5 Розроблений ТП контролю.....	31
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	35
3.1 Статичний структурний аналіз.....	35
3.2 Використання програми ANSYS WORKBENCH.....	35
3.3 Розробка конструкції точильного опорного пристрою.....	38
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	43
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на дільниці ремонту агрегатів.....	43
4.2 Правила безпечного виконання робіт слюсаря – ремонтника на агрегатній дільниці.....	44
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	49
БІБЛІОГРАФІЯ.....	50
ДОДАТКИ	

ВСТУП

У сучасному світі, де питання економії ресурсів та ефективності виробництва стають все актуальнішими, значна увага приділяється не тільки новому обладнанню, але й відновленню вже існуючих машинних деталей. Однією з ключових деталей великотоннажних автомобілів, зокрема вантажівок Volvo, є колінчастий вал, який вимагає високої точності виробництва та обслуговування. Знос цієї деталі може призвести до серйозних поломок двигуна, що, в свою чергу, впливає на безпеку та ефективність транспортного засобу.

Ця кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці технологічного процесу відновлення колінчастого вала вантажівок Volvo. Метою роботи є аналіз існуючих методів відновлення, розробка оптимального технологічного процесу, що відповідає високим вимогам до якості та економічності, а також оцінка можливості його імплементації на виробництві.

Відновлення колінчастих валів не тільки дозволяє продовжити термін служби обладнання, але й сприяє зниженню виробничих витрат, що є важливим аспектом у розробці сталого машинобудування. Таким чином, ця робота вносить свій вклад у розробку ефективних та екологічно чистих технологій у сфері автомобілебудування.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд колінчастого валу

Volvo Group виробляє три моделі колінчастих валів для важких дизельних двигунів різних об'ємів: 11 літрів, 13 літрів та 16 літрів. Змінність габаритів шийок обумовлена різними навантаженнями на підшипники. Довжина цих валів знаходиться в діапазоні від 1066 до 1256 мм, а їхня маса варіюється від 102 до 160 кг. Виготовляються вони шляхом кування з вуглецевих сталей марок C38 та C45, де основна відмінність між ними полягає у вмісті вуглецю: приблизно 0,38% для C38. Доступно чотири варіації сталі C38 та одна C45, вибір яких залежить від об'єму двигуна, місця виробництва та цільового ринкового сегменту. Хімічний склад, механічні властивості, розмір зерен та можливість загартування варіюються в залежності від специфічних вимог до кожного варіанту сталі C38/45, а також від стандартів, що можуть бути змінені чи застосовані.

У двигуні колінчастий вал розташовується внизу, пов'язаний з поршнями, маховиком та гасителем, як зображено на рисунку 1.1. Він складається з кривошипних шийок, основних та штифтових підшипникових шийок, противаг та фланців маховика і гасителя, згаданих на рисунку 1.2. Шийки колінчастих валів містять центральний масляний канал для забезпечення змазки під час роботи. Шийки, що приєднані до поршнів за допомогою шатунів, приводяться в дію тиском від згоряння. Центр основної шийки визначає ось обертання колінчастого вала і фіксується кришками підшипників у корпусі двигуна.

Колінчастий вал призначений для перетворення прямолінійного руху поршнів у обертальний, передаючи енергію з камери згоряння на трансмісію через маховик. Маховик згладжує пульсації потужності двигуна та накопичує енергію, необхідну для обертання валів. Це забезпечує колінчастому валу високу стійкість до змінних навантажень і зносу, що вимагає високої твердості поверхонь та фінішної обробки, особливо в частинах, таких як шийки.

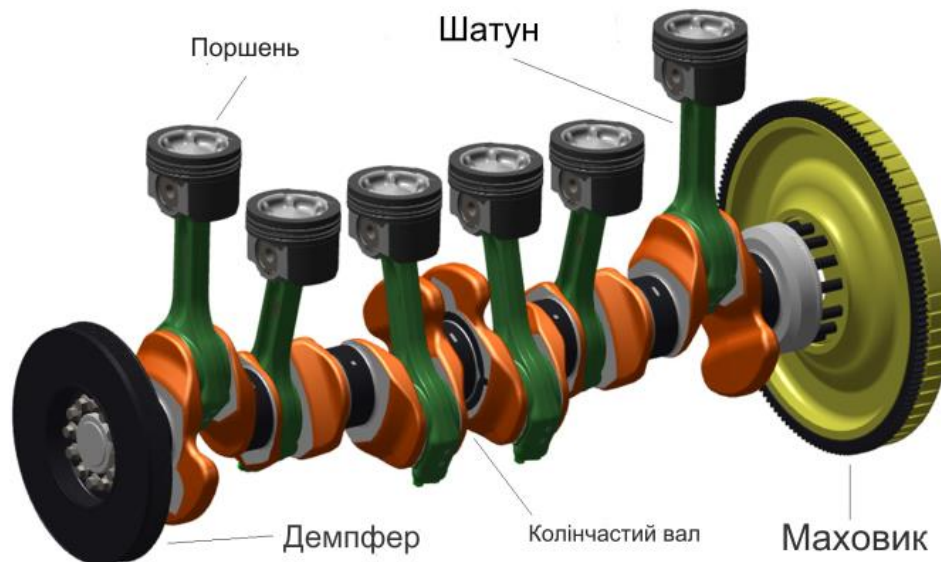


Рис. 1.1. Колінчастий вал з з'єднувальними компонентами.

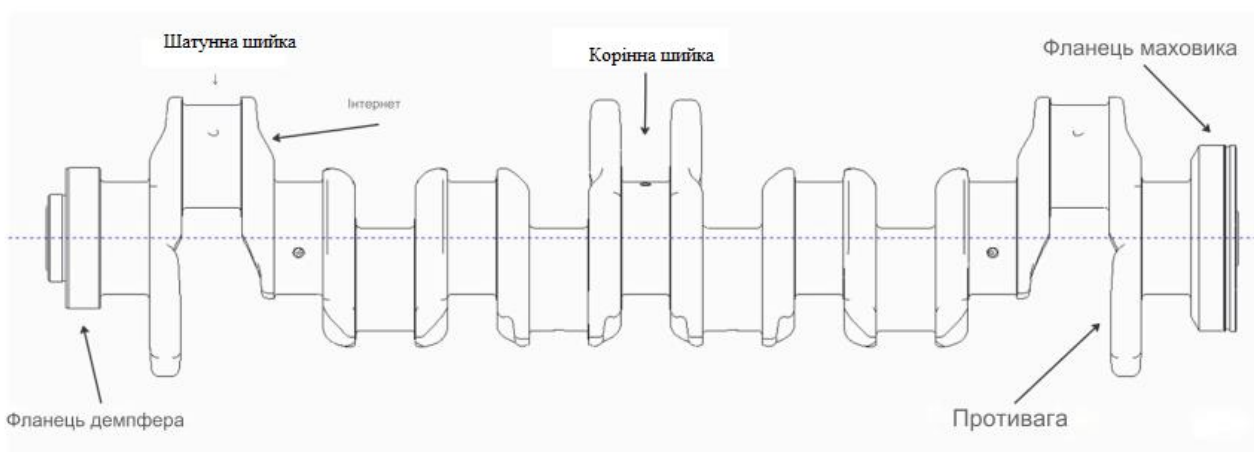


Рис. 1.2. Різні частини колінчастого вала та їх термінологія.

1.2 Технічні вимоги

Вимоги до колінчастого вала щодо шийок включають креслення колінчастого вала, індукційне загартування колінчастого вала та матеріальні вимоги С38/45. Кожен документ із вимогами має свої стандарти для процесів визначення цих вимог. Всі оцінені вимоги представлені в таблиці 1.1 разом із їхнім відповідним змістом.

Таблиця 1.1. Технічні вимоги до колінчастого вала

Документ	Вміст
Сталь С38/45	Хімічний склад Механічні властивості Розмір зерна

	Здатність до загартування
Креслення колінчастого вала	Розміри та допуски Чистота Міцність на згинання при втомі
Геометричні допуски	Шорсткість поверхні Круглість Прямолінійність Паралельність
Індукційне загартування колінчастого вала	Твердість поверхні Глибина шару Структура матеріалу в критичних зонах Структура матеріалу в інших зонах

1.3 Опис холодного напилення

Технологія холодного напилення розрізняється за типами систем тиску: техніка напилення за низьким тиском (ННТ) та техніка напилення за високим тиском (НВТ). Діаграми цих систем можливо переглянути на рисунках 1.3 і 1.4. Головна різниця між ними визначається робочою температурою та тиском газу, детальніше про їх відмінності.

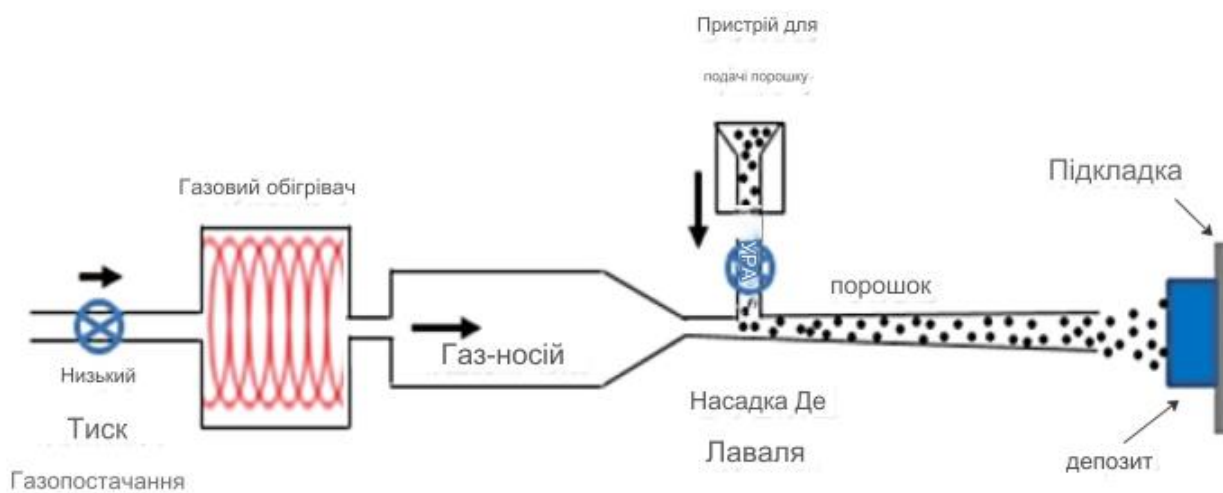
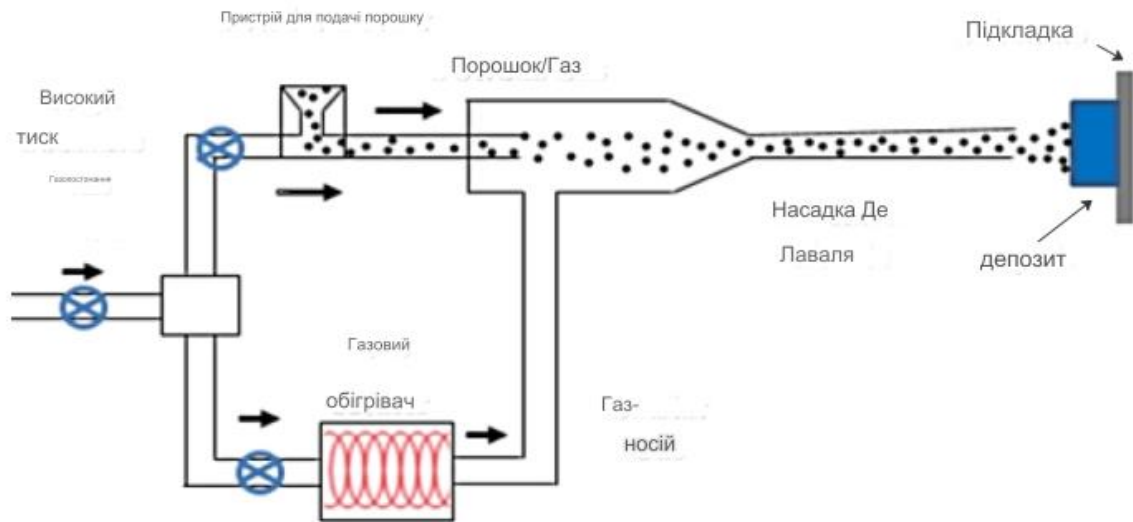


Рис. 1.3. Схематичне зображення системи ННТ.



Рису. 1.4. Схематичне зображення системи НВТ.

Частинки порошку для покриття набирають швидкість завдяки використанню стиснутого газу під високим тиском, як правило, це гелій, азот або повітря, зі швидкістю в діапазоні близько 300 - 1200 м/с. Шар покриття сполучається з базовим матеріалом через перетворення кінетичної енергії на пластичну деформацію та виділення тепла всередині, що спричиняє металургійне та механічне з'єднання. Завдяки тому, що температура процесу нижча за температуру плавлення використаного матеріалу, процес нанесення відбувається у твердому стані. Це відмінність холодного напилення від звичайних теплових методів покриття, де частинки плавляться. Форма сопла може змінюватися, проте найчастіше використовується сопло, яке має форму пісочного годинника та здатне стиснути газ, необхідний для прискорення частинок до надзвукових швидкостей.

Переваги холодного напилення у порівнянні з тепловими методами походять з відмінностей у робочих температурах. Діапазон температур при тепловому напиленні становить 1000 - 5000 °С, в той час як при холодному напиленні цей показник коливається від 350 до 1000 °С, що знижує тепловий вплив методу. Відтак, холодне напилення не схильне до таких явищ, як окислення, залишкові термічні напружки, випаровування, пористість від усадки, на відміну від теплових методів. Незважаючи на те, що цей метод має нижчу температуру газу порівняно з конвенційними тепловими методами, він забезпечує найвищу швидкість часток, різноманітність діапазонів яких

показано на рисунку 1.5. Холодне напылення можливе для виготовлення тонких, товстих чи масивних покриттів вільної форми за допомогою ручного або автоматичного пістолета. Адгезія матеріалу забезпечується за рахунок пластичної деформації вихідного матеріалу, що повинен мати певну пластичність, наприклад, як алюміній, мідь, пластичні сталі, нікелеві сплави чи кераміка в металевій матриці.

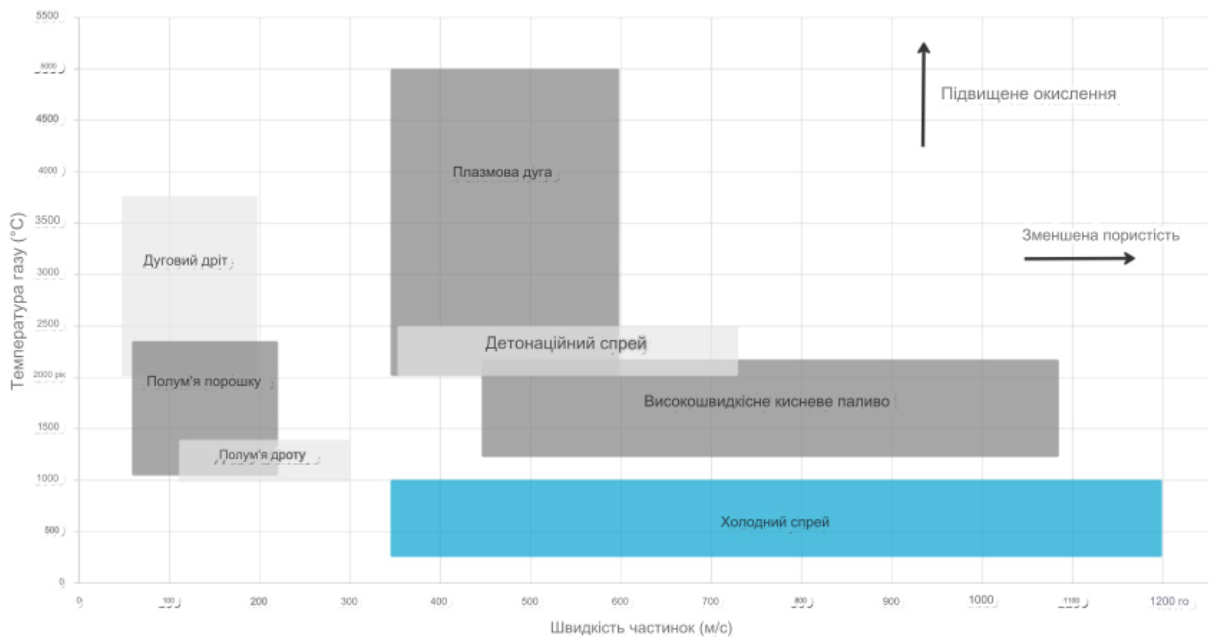


Рис. 1.5. Зіставлення швидкостей часток і температур газів у процесі холодного напылення порівняно з іншими методами теплового покриття поверхонь.

Основною ціллю цього дослідження є аналіз ефективності холодного напылення як техніки відновлення шийок колінчастого валу. Так, характеристики застосованого покриття мають задовольняти специфікації шийок колінвалу. До таких вимог належать висока твердість поверхні для підвищення зносостійкості та міцна адгезія для забезпечення тривалого використання.

Як вже було відзначено, холодне напылення - це метод нанесення покриття з високими швидкостями, що ускладнює аналіз мікроскопічних структур під час удару. Процес адгезії залежить від налаштувальних параметрів, які впливають на удар та характеристики обох матеріалів - основного та покривного, а також їх взаємодію, що робить процес адгезії складним. При з'єднанні на інтерфейсі відбувається металургійне та механічне

зчеплення через перетворення кінетичної енергії у тепло та деформацію. Металургійне зчеплення виникає внаслідок хімічного сполучення між основою та покривним матеріалом, що створює однорідне покриття, в той час як механічне сполучення або замкнення має місце, коли покриття деформується, заповнює мікроскопічні порожнечі в основі та адгезує. Кінетична енергія частинок у політі призводить до пластичної деформації та тепловиділення, спричиняючи деформацію, адіабатичну зсувну нестабільність (ASI) та струмінне формування на межі частинки. ASI виникає, коли атомні структури основи та покривного матеріалу стискаються в безпосередній контакт внаслідок розриву оксидних плівок через високу температуру та тиск на інтерфейсі. Вважається, що металургійне та механічне зчеплення відбувається, коли частинки формують струмені при ударі, що сприяє ASI.

При ідеальному з'єднанні, сила прилипання досягає максимуму, а фактори, що впливають на адгезію покриття до основи, зумовлені конструкцією обладнання, умовами процесу напилення, формою сопла, технічними характеристиками процесу, а також властивостями як покривного матеріалу, так і основи.

У контексті стійкості до зношування, твердість поверхні є ключовим аспектом, який залежить від виду зношування, оскільки вона прямо впливає на трибологічні властивості матеріалів (знос, тертя, змащення). Для шийок колінчастого валу, де переважає абразивний знос, твердість поверхні є вирішальною. Матеріали, які наносяться холодним напиленням, зазвичай мають вищу твердість порівняно з початковими матеріалами через більш дрібну мікроструктуру, що досягається під час холодного напилення, та ефект деформаційного зміцнення, відомий також як зміцнення через деформацію. Цей процес зміцнення ініціюється, коли частинки вражають поверхню з великою швидкістю, спричиняючи пластичну деформацію. Виявлено, що швидкість удару є найбільш критичним чинником, що впливає на твердість нанесеного холодним напиленням покриття, оскільки вона безпосередньо пов'язана зі здатністю частинок до деформації. Отже, будь-який параметр процесу холодного напилення, який впливає на швидкість удару, також опосередковано впливає на твердість.

1.4 Постановка завдання на виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Розробити методику налаштування параметрів холодного напилення для різних умов роботи (низький та високий тиск), враховуючи типи матеріалів та вимоги до покриття. Виконати корегування параметрів холодного напилення на основі тестових результатів для оптимізації процесу. Розробити технологічний процес (ТП) ремонту колінчастого валу. Встановити методи контролю на міцність валів після ремонту. Розробити технологічний процес контролю якості відремонтованих колінчастих валів.

Провести статичний структурний аналіз колінчастих валів, використовуючи теоретичні розрахунки та програмне забезпечення. Використати програму ANSYS WORKBENCH для моделювання напружень та деформацій у колінчастих валах, оцінюючи їх робочі характеристики та міцність. Розробити конструкцію точильного опорного пристрою для оптимізації процесу шліфування колінчастих валів, враховуючи новітні технічні вимоги та стандарти безпеки.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Налаштування параметрів холодного напилення під низьким та високим тиском

Як вже згадувалося, метод холодного напилення розділений на два типи: холодне напилення під низьким тиском (ННТ) та холодне напилення під високим тиском (НВТ). Процедура ННТ здійснюється за нижчим тиском, температурою газу і швидкістю часток порошку, тоді як НВТ працює за значно вищими параметрами, що демонструються в таблиці 2.1. Місце введення порошку в сопло відрізняється між цими процесами. У ННТ порошок подається у розширювальну частину сопла Лавалю, а в НВТ - у звужувальну частину для досягнення більшої швидкості, що видно на рисунках 1.3 та 1.4. Через відмінності в швидкості та тиску властивості матеріалу порошку відрізняються для обох процесів. Вища швидкість у НВТ краще підходить для матеріалів із вищою температурою плавлення та міцністю, ніж для ННТ, але велика міцність частинок може призводити до зносу та забивання сопла.

При застосуванні НВТ матеріал, що напилюється, зазнає інтенсивнішого процесу деформаційного зміцнення через високу швидкість частинок і, як результат, досягає більшої твердості, ніж при ННТ.

Таблиця 2.1: Робочі параметри ННТ та НВТ.

Параметри	ННТ	НВТ
Газ-пропелент	N ₂ Повітря	N ₂ , He
Температура газу (°C)	20 - 650	300 - 1000
Тиск газу (МПа)	0.6 - 1	1 - 5.5
Швидкість газу (м³/год)	15 - 30	50 - 150
Швидкість частинок (м/с)	≤ 600	800 - 1400
Місце впорскування	Післяпаливне	Випереджаюче
Характеристики порошку	Висока температура плавлення, Легший	Низька температура плавлення, Міцніший

Основна увага при оцінці терміну служби холодно напиленого покриття на валах полягає в аналізі його зносостійкості, щоб з'ясувати, чи відповідає вона тривалості життя матеріалів С38 та С45. Вивчення змін швидкості зношування алюмінієвих покриттів за методами ННТ та НВТ, що ННТ-покриття володіє вищою мікротвердістю та опором до зношування. Було встановлено, що з усіх досліджуваних покриттів, ННТ має найменшу пористість, що позитивно впливає на механічні характеристики та стійкість до зношування, зокрема пористість є ключовим елементом, що впливає на інтенсивність зносу.

Рівень нанесення покриття (РНП) визначається як відношення маси, що була фактично нанесена, до загальної маси використаного порошку, тобто до тієї частки сировини, яка була ефективно аплікована на основу. РНП варіюється залежно від таких факторів, як кут впорскування, характеристики поверхні основи, форма сировини та температура контакту. Для кожного окремого поєднання сировини та основи існує свій ідеальний рівень РНП.

Гелій, азот та стиснене повітря зазвичай використовуються як робочі гази для холодного напилення. Азот є дешевшим та доступнішим ніж гелій, тому віддають перевагу азоту. Однак, гелій демонструє вищу ефективність нанесення для твердих матеріалів, таких як сталь, титан і більше металевих основ, а також має найнижчу молекулярну вагу, що сприяє можливостям вищої швидкості, тому часто використовується у системах високого тиску. Повітря, з іншого боку, зазвичай використовується при низькому тиску, оскільки воно сприяє окисленню і використовується з матеріалами, які менше піддаються його впливу, такими як Al, Zn та Sn.

Температура газу опосередковано впливає на міцність адгезії. Підвищення температури збільшує швидкість частинок згідно з рівнянням (2.1).

$$v = \sqrt{\gamma RT} \quad (2.1)$$

де, T - температура газу в соплі (K), R - постійна стала газу, а γ - відношення теплоємностей $\frac{C_p}{C_v}$ - C_p - стала газу за постійного тиску, C_v - стала газу за постійної швидкості.

При підвищенні температури було зафіксовано покращення міцності зчеплення. Вплив температури газу на сполучення сталь на сталь, що спричинило збільшення міцності зчеплення на приблизно 50% при зміні температур від 450 °C до 550 °C, а також зросла твердість на 6%.

Збільшення тиску прискорює частинки, що веде до збільшення кінетичної енергії та поліпшення адгезійних характеристик. При високому тиску частіше застосовують матеріали з вищою густиною для систем НВТ та ННТ. Високий тиск підвищує твердість покриття. Койвулуото та співавтори вивчили зміни твердості міді за низького та високого тисків, внаслідок чого покриття за високого тиску стало на 14% твердіше.

Проміжок між стійкою та деталлю визначає відстань від виходу сопла до поверхні основи. Ця відстань впливає на швидкість частинок, що, в свою чергу, впливає на силу удару та інтерфейсні властивості. Оптимальний Проміжок між стійкою і деталлю визначається двома критеріями: відстанню, на якій зникає ударна хвиля частинок, та відстанню, де швидкість газу перевищує швидкість удару. Виявили, що твердість покриття залежала від вибраних відстаней, при цьому Проміжок між стійкою і деталлю у 20 мм забезпечила найбільшу твердість.

Швидкість переміщення сопла визначає темп, з яким матеріал виходить під час нанесення. Швидкість переміщення сопла має значний вплив на міцність зв'язку, пористість та твердість покриття, впливаючи на швидкість частинок при ударі.

Кут розпилу визначається як кут між дюзою та основою під час нанесення покриття та впливає на силу зчеплення. Найчастіше використовується кут у 90°, однак за результатами досліджень з алюмінієвими сплавами в якості субстрату та сировини найкраща адгезія спостерігалася при куті 60°, що свідчить про те, що прямокутний кут не завжди ідеальний, залежно від потрібних характеристик.

Для холодного напилення використовується сопло Лавалю. Його визначальною особливістю є внутрішня геометрія у формі пісочного годинника, що створює звужувально-розширювальний вихід, зображений на рисунку 2.1. У системах ННТ та НВТ газ подається або до звуження, або до

розширення, проте конструкція сопла залишається незмінною. Довжина бареля - це відстань від горловини сопла до його виходу. При регулюванні сопла Лавалю визначальним є співвідношення розширення, яке визначає співвідношення між виходом та горловиною. Дизайн сопла впливає на такі параметри розпилення, як температура, газ і швидкість. Зазначено, що підвищення таких параметрів, як довжина бареля, діаметр дюзи та форма сопла, сприяє зростанню швидкості частинок.

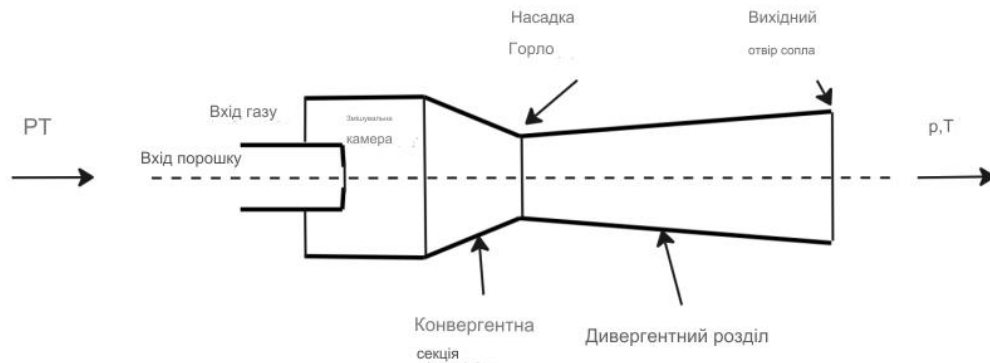


Рис. 2.1. Переріз схеми сопла.

2.2 Корегування параметрів холодного напылення

Фактори, які визначають адгезійну міцність та твердість поверхні, ілюстровані на рисунку 2.2.

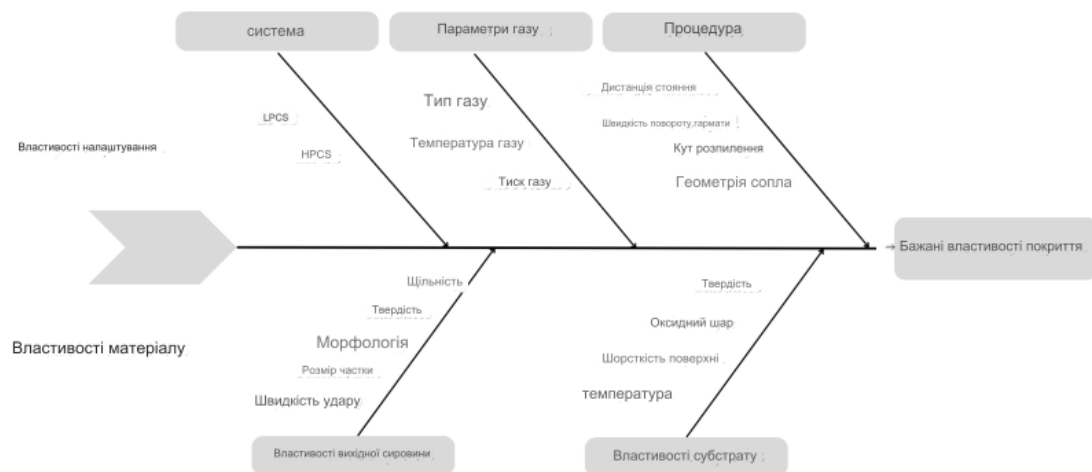


Рис. 2.2. Параметри процесу холодного напылення, що впливають на бажані властивості покриття.

Підсумовуючи, до початку процесу напылення важливо провести аналіз параметрів налаштувань та ефективності нанесення, щоб визначити ідеальні

умови для необхідних характеристик покриття. Основним фактором, що впливає на адгезію та твердість, є швидкість зіткнення, адже вона визначає, наскільки ефективно енергія перетворюється на деформацію частинки. Для шийок валу було досягнуто потрібну твердість від 50 до 58 HRC за допомогою вуглецевої сталі як субстрату (HBT), що є схожим на матеріали колінчастих валів C38 та C45, що свідчить про можливість досягнення необхідної твердості.

Зв'язок між декількома зазначеними параметрами в якості вхідних та вихідних даних за допомогою багатоцільової симуляції. Їхні висновки, представлені в таблиці 2.2, з акцентом на швидкість частинок та твердість покриття, демонструють залежність параметрів, де значення 1 вказує на пряму залежність, а -1 - на обернену. Більше відхилення від нуля означає більший вплив. Результати підтверджують, що швидкість частинок має найбільший вплив на всі вимірювані параметри, оскільки лише твердість частинок не була оцінена. Найсуттєвіший вплив на твердість покриття має швидкість частинок, що має найвищий абсолютний показник серед налаштованих параметрів. Позитивне значення свідчить, що збільшення швидкості сприяє пропорційному зростанню твердості покриття. Оскільки характеристики покриття залежать не лише від матеріалу, а й від системи, обладнання та глибоких знань про системи ННТ і НВТ, вони необхідні для визначення, чи може ремонтowana шийка колінчастого валу відповідати виробничим стандартам.

Таблиця 2.2. Коефіцієнти кореляції між деякими параметрами холодного напилення.

Вхід Вихід	Щільність	Діаметр частинки	Твердість частинки	Тиск газу	Температура газу	Щільність газу	Швидкість частинки	Твердість покладу	Пористість	Ефективність нанесення (DE)	Коеф.т відношення (FR)
Щільність	1	0	0.745	0	0	0	-0.316	0.578	-0.056	0.579	-0.249
Діаметр частинки	0	1	0	0	0	0	-0.431	-0.187	-0.213	0.104	0.097
Твердість частинки	0.745	0	1	0	0	0	0	0.935	0.109	0	-0.324
Тиск газу	0	0	0	1	0.893	0.893	0.594	0.417	-0.682	0.768	0.804
Температура газу	0	0	0	0.893	1	-0.702	0.498	0.297	-0.471	0.592	0.897
Щільність газу	0	0	0	0.893	-0.702	1	-0.341	-0.458	-0.395	-0.738	-0.582
Швидкість частинки	-0.316	-0.431	0	0.594	0.498	-0.341	1	0.682	-0.734	0.803	0.817
Твердість покладу	0.578	-0.187	0.935	0.417	0.297	-0.458	0.682	1	0	0	-0.352
Пористість	-0.056	-0.213	0.109	-0.682	-0.471	-0.395	-0.734	0	1	-0.819	0

2.3 Розробка ТП ремонту колінчастого валу

Частковий, так і повний ремонт шийок валів. Для обох варіантів ремонту рекомендуються композиційні матеріали на основі карбіду вольфраму. Ці матеріали можна обробляти механічно шляхом шліфування, притирки або подібних методів, і вони здатні досягати низької шорсткості поверхні. Попередня обробка не потрібна для неглибоких подряпин, але якщо глибина подряпин становить 1 мм, рекомендується обробити поверхню до глибини подряпини та розширити її на 3-4 мм. Рекомендована процедура включає шліфування для розширення подряпин, що забезпечує краще зчеплення та повне покриття поверхні. Процес обробки наведений на рисунку 2.3.

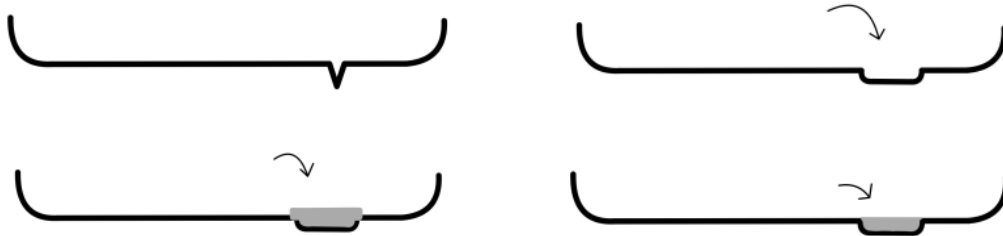


Рис. 2.3. Процес змішування перед нанесенням холодного напилення.

При виборі матеріалу сировинищо важливо обрати матеріал з твердістю, подібною до субстрату, та необхідність металургійної сумісності між сировиною та субстратом. VRC додатково зазначає, що це легко досягти, коли як субстрат використовується сталь, як у даному випадку.

2.3.1 Рекомендовані матеріали сировини

Різноманітні матеріали, які досягають понад 50 HRC за твердістю поверхні. Вони зазвичай є композитом з твердого матеріалу для досягнення необхідної твердості та м'якшого матеріалу, який значно зміцнюється при обробці. Найтвердіші матеріали зазвичай є композитом з карбіду вольфраму у металі. Матеріали, представлені в таблиці 2.3 разом з їхньою твердістю та адгезійною міцністю. Основний метод випробування адгезійної міцності - це випробування на розтяг з використанням клею. Найпоширенішим типом відмови під час цього тесту для цих матеріалів є відмова клею, а не когезійна та

адгезійна відмова покриття. Використаний клей відмовляє при 69 МПа, тому адгезійна міцність покриття перевищує це значення.

Таблиця 2.3. Рекомендовані матеріали сировини та їхні властивості.

Склад матеріалу	Твердість	Адгезійна міцність	Стійкість до температури
WC, Ni, Co, Cr, Fe, Nb+Ta, Mo, & Ti	55 - 64 HRC	69 МПа	1000 °C
WC+SS	40 - 52 HRC	69 МПа	

Матеріали, включають комбінації карбіду вольфраму та металу. Вже були випробування композиту з карбіду вольфраму та нержавіючої сталі, і вони вказують на можливість удосконалення цього композиту до рівня твердості, що перевищує твердість наявних сьогодні порошкових композитів. Матеріал WC+SS все ще перебуває в процесі розробки, його склад ще не встановлено, але його можна адаптувати під специфічні потреби шийок колінчастого валу. Нержавіючу сталь серії 300. Вони зазначають, що температура удару часток в їхньому процесі становить близько 100 °C. Налаштування температури процесного газу високе, до 700 °C, але в процесі розширення через сопло температура газу знижується. Час впливу короткий і шийки служать ефективними тепловими відводами, тому температура поверхні шийок валу малоймовірно досягне рівня, який міг би зіпсувати термообробку. Тестування на розтягнення матеріалів покриття не проводилося. Параметри налаштування процесу холодного напилення представлені в таблиці 2.4 – 2.5.

Таблиця 2.4. Параметри налаштування варіант 1.

Параметр	Значення
Температура газу	400 °C
Тиск	0.5 - 0.6 МПа
Відстань між стійкою та об'єктом	5 - 15 мм
Кут розпилення	70 - 90°
Газ	Стиснене повітря або N2
Швидкість переміщення	50 - 100 мм/с

Таблиця 2.5. Параметри налаштування варіант 2.

Параметр	Значення
Температура газу	650 - 700 °C
Тиск	5.5 - 6.6 МПа
Відстань між стійкою та об'єктом	10 - 30 мм
Кут розпилення	90°
Газ	Стиснене повітря або N2
Швидкість переміщення	100 - 500 мм/с

Оскільки індукційне загартування збільшує температуру обробленої зони вище °C, критично, аби метод холодного напилення не здійснював нагрівання до таких високих температур. Температура впливу часток у їхньому процесі становить близько 100 °C, що відповідає максимально допустимій робочій температурі поверхні.

При безпосередньому нанесенні на ушкоджену шийку колінчастого валу, розміри поверхневих подряпин можуть створювати проблеми. Таблиця 6.1 описує методики холодного напилення на непідготовлену шийку колінчастого валу, включаючи їхні переваги, недоліки, а також аспекти, які потребують уточнення. Процес ілюстровано на рисунку 2.6.

Таблиця 2.6. Плюси та мінуси безпосереднього холодного напилення на шийки валу.

Процес	Перевага	Недолік	Визначення
Нанесення на субстрат	-	Розмір подряпин	Забезпечення заповнення подряпин
Механічна обробка	-	Розміри покриття Два матеріали	Мінімальні розміри покриття Можливість одночасної механічної обробки

При прямому напиленні на ушкоджену шийку колінчастого валу, незначні подряпини на поверхні можуть створити проблеми, тому необхідно

повністю їх заповнити. Через малий розмір цих подряпин, габарити холодно напиленого покриття можуть бути порушені. Важливо точно визначити габарити покриття, особливо при покритті поверхневих дефектів та виконанні механічної обробки до необхідних геометричних стандартів, а також оцінити поведінку покриття при цих розмірах. При механічній обробці до вимог по геометрії, поверхня шийки буде складатися з двох матеріалів: оригінального колінчастого валу та нанесеного холодним способом покриття. Це може викликати проблеми, оскільки одночасна обробка двох різних матеріалів може призвести до різної реакції на ріжучий інструмент, що у свою чергу може вплинути на кінцевий результат.

2.3.2 Підготовлений до обробки

При ініційованій механічній обробці поверхні шийки колінчастого валу, що готується для холодного напилення, досягається точне керування параметрами холодно нанесеного покриття. У Таблиці 2.7 описані етапи холодного напилення на підготовлену поверхню шийки колінчастого валу, зазначено переваги та недоліки, а також визначено ключові деталі, що вимагають уваги. Цей процес ілюстрований на рисунку 2.4.

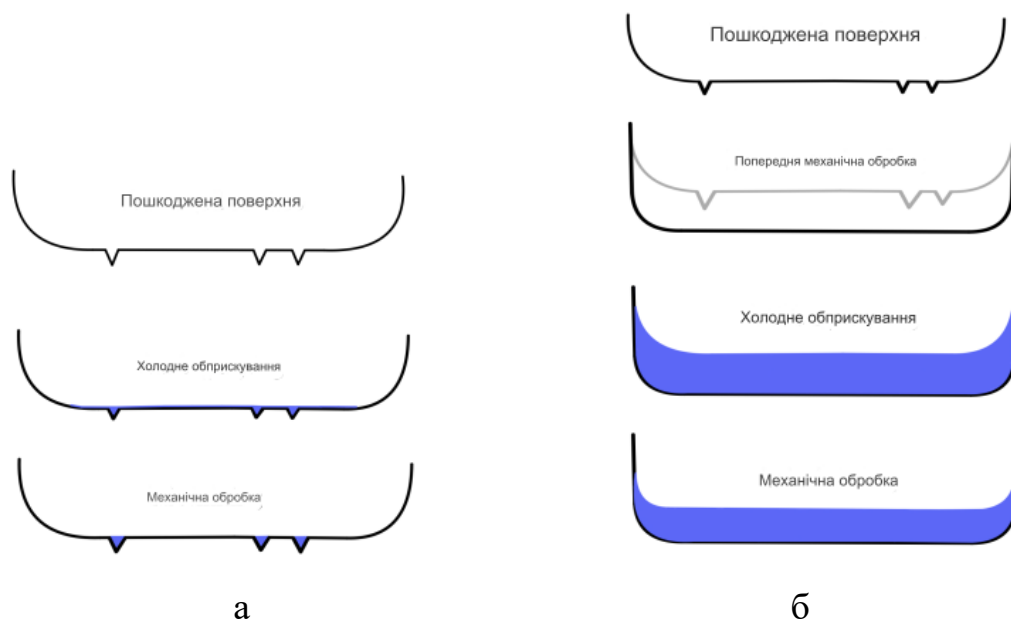


Рис. 2.4. Процеси холодного напилення шийки з попередньою обробкою та без неї: (а) Процес без попередньої механічної обробки (б) Процес з попередньою механічною обробкою

Таблиця 2.7. Переваги та недоліки холодного напилення на поверхні, що були підготовлені до обробки.

Процес	Перевага	Недолік	Визначення
Попередня обробка	Контроль розмірів покриття	Видалення (зони корозії) Видалення зони (зони індукційного загартування)	Максимальне видалення Максимальне видалення зони
Нанесення на субстрат	Рівномірна поверхня субстрату Оптимальні властивості покриття	-	-
Механічна обробка	Один матеріал	-	-

Попередня обробка шийки колінчастого валу методами полірування, шліфування або піскоструминної обробки забезпечує точне керування габаритами холодно нанесеного покриття. Також виникає питання про можливість вилучення критичних і загартованих індукцією зон, та наскільки це реалізовано. Обробка поверхні шийок сприяє покращенню характеристик покриття, та підвищує адгезію, усуваючи дефекти, викликані нерівномірністю субстрату внаслідок подряпин. Обробка лише одного матеріалу при механічній обробці холодно нанесеного покриття дозволяє досягнути повної оптимізації використання обробних інструментів, забезпечуючи відмінну оброблюваність та збільшуючи можливість відповідності геометричним нормам.

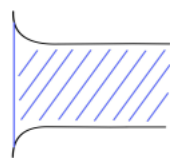
2.3.3 Робота з критичними зонами колінчастого валу

Радіус шийок піддається інтенсивним напруженням внаслідок крутного моменту колінчастого валу та втоми через згин. При застосуванні холодного напилення на радіусі важливо перевірити стійкість матеріалу. Впливи такого

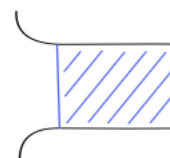
нанесення представлені в таблиці 2.8, а конкретні приклади показано на рисунку 2.5. Під час нанесення на радіус слід точно визначити глибину зняття матеріалу і відновити геометрію радіуса за допомогою механічної обробки. Це забезпечить рівномірність покриття на шийці. Основним недоліком відсутності нанесення на радіус є утворення окружної межі між краєм радіуса та покриттям. Це призводить до зниження оброблюваності поверхні, оскільки обидва матеріали обробляються одночасно. Потрібно встановити дозовану глибину видалення радіусу та товщину покриття.

Таблиця 2.8. Варіанти нанесення холодного напилення на радіуси.

Варіант	Нанесення	Критична зона попереднього шліфування та вдосконалення	Перевага Недолік	Визначення
1	Так	Радіус	Забезпечення рівномірної площі покриття Довговічність напруження покриття	Максимальна глибина видалення
2	Ні	Окружність межа матеріалу	Знижена оброблюваність	Відстань до радіусу



Випадок 1



Випадок 2

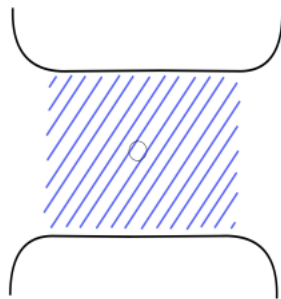
Рис. 2.5. Ілюстрація випадків нанесення на радіус.

Отвір для мастила. Кожна з шести шийок шатуна і три з семи головних шийок оснащені масловідвідними отворами. Плюси та мінуси проведення напилення на ці отвори та наслідки його відсутності викладені у Таблиці 2.9, а різні сценарії демонструються на рисунку 2.6. Під час нанесення покриття на

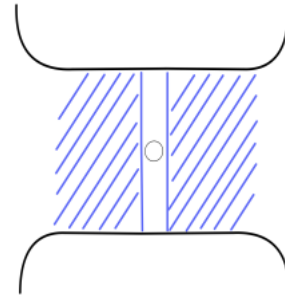
масляний отвір необхідно відновити його радіус. В обох ситуаціях, пов'язаних з масляним отвором, знижується можливість обробки. Якщо отвір залишити без покриття, формується кільцева межа матеріалу неподалік від його радіуса.

Таблиця 2.9. Два випадки холодного напилення на отвори для масла.

Варі- ант	Нане- сення	Критична зона попереднього шліфування та вдосконалення	Перевага Недолік	Визначення
1	Так	Отвір для масла	Забезпечення однорідної зони покриття / Зниження оброблюваності, Відновлення фаски, Довговічність покриття при навантаженні	Максимальна глибина видалення
2	Ні	Окружна межа матеріалу	Без відновлення фаски / Знижена оброблюваність	Відстань до отвору



Варіант 1



Варіант 2

Рис .2.6. Зображення випадків нанесення на отвори для масла.

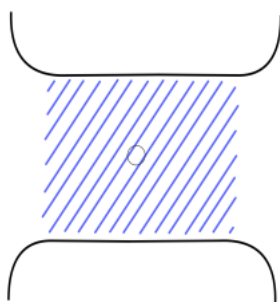
Механічна обробка шийок колінчастого валу виконується за допомогою ротаційного руху. У випадку, коли отвір для масла не підлягає покриттю, передбачається, що 360° зона довкола шийки залишиться без покриття. Непокриття тільки масляного отвору вважається неприпустимим.

Нижня частина шатунних шийок. Унаслідок втоми від згинання нижня частина шатунної шийки зазнає підвищених напружень та класифікується як критична зона. Плюси та мінуси напилення та відмови від нього на нижню

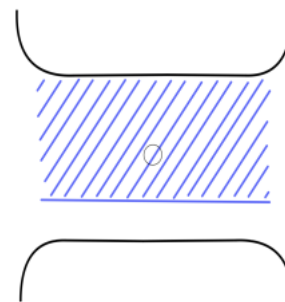
частину шатунних шийок представлені в таблиці 2.10, і сценарії нанесення показані на рисунку 2.7. Під час нанесення покриття необхідно визначити глибину та ширину покриття для забезпечення його стійкості до напружень. Варіант 1 забезпечує рівномірність покриття, оскільки не призводить до утворення осьового розмежування матеріалів, на відміну від варіанту 2. Наявність осьової межі призведе до перпендикулярного обертання колінчастого валу до межі, що спричинить збільшене зношування та розрив покриття.

Таблиця 2.10. Два сценарії холодного напилення на нижню частину шатунних шийок.

Варі- ант	Нане- сення	Критична зона попереднього шліфування та вдосконалення	Перевага Недолік	Визначення
1	Так	-	Забезпечення однорідного покриття / Стійкість покриття до напружень	Максимальні розміри видалення Максимальне напруження покриття
2	Ні	Осьова межа матеріалу	Знижена оброблюваність Підвищене зношування	Відстань до нижньої частини



Варіант 1



Варіант 2

Рис. 2.7. Зображення випадків нанесення на шатунні шийки.

Основна шийка. Комбінована матриця для холодного напилення на всі критичні зони основних шийок показана на рисунку 2.8. Останній стовпець, ОХ, стосується основних шийок без масляних отворів. Для всіх комбінацій

необхідно визначити максимальну глибину покриття за допомогою тестування. Для комбінацій, що включають R2 і O2, потрібно встановити максимальну допустиму ширину і відстань до критичних зон.

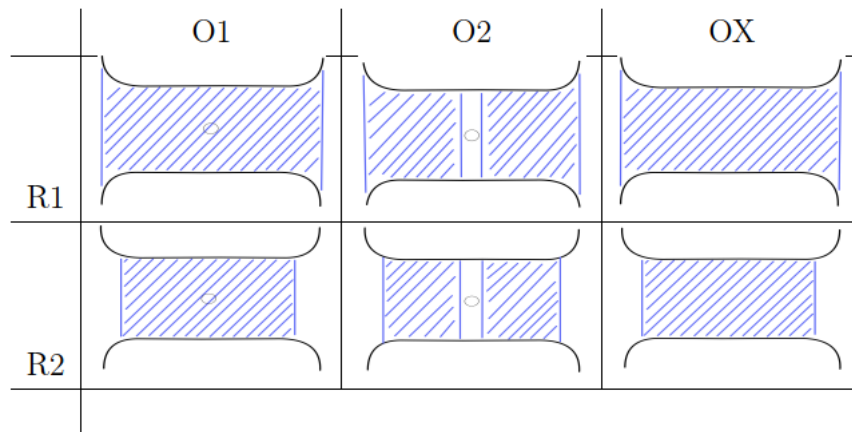


Рис. 2.8. Критичні зони основних шийок.

Шатунні шийки

Варіанти нанесення холодного напилення на всі критичні зони шатунних шийок показані на рисунках 2.9 (LP1) та 2.10 (LP2). Єдиний варіант, який не залишає матеріальної межі між покриттям і субстратом, це R1O1 для LP1. У всіх варіантах LP2 утворюється осьова матеріальна межа, що суттєво знижує оброблюваність, оскільки вся механічна обробка виконується обертальними рухами.

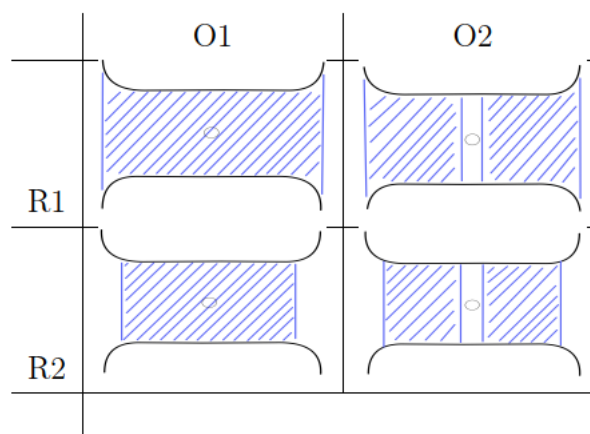


Рис. 2.9. Випадок шатунної шийки 1 (LP1).

Розглянуто різні варіанти ремонту разом із їхніми перевагами та недоліками. Для кожної критичної зони є два підходи: напилення або його відсутність. Основні обмеження застосування холодного напилення як методу ремонту пов'язані з поведінкою покриття в критичних зонах.

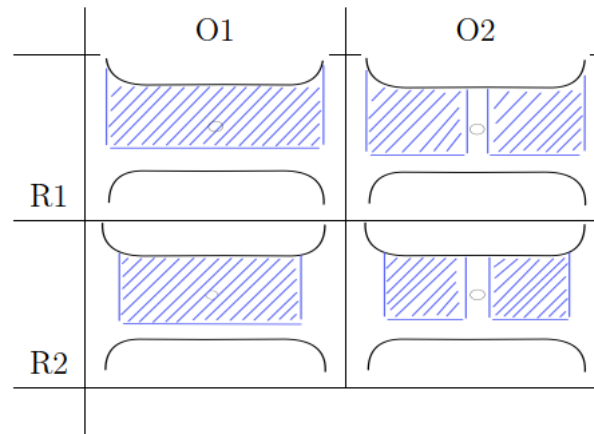


Рис. 2.10. Випадок шатунної шийки 2 (LP2)

2.4 Контроль на міцність

Через високий циклічний рух і різні навантаження на колінчастий вал, необхідно визначити та оптимізувати міцність зчеплення для інтерфейсу покриття на журналах. Оскільки процес холодного розпилення не був впроваджений у Volvo, вимірювання адгезійної міцності потрібно визначити та стандартизувати. Існують різні методи вимірювання адгезійної міцності. Адгезійну міцність можна виміряти за допомогою тесту на адгезію при розтягуванні або тесту на адгезію без розтягування. Існує кілька варіантів тестів без адгезії залежно від навантаження. Різні тести схематично показані на рисунку 2.11.

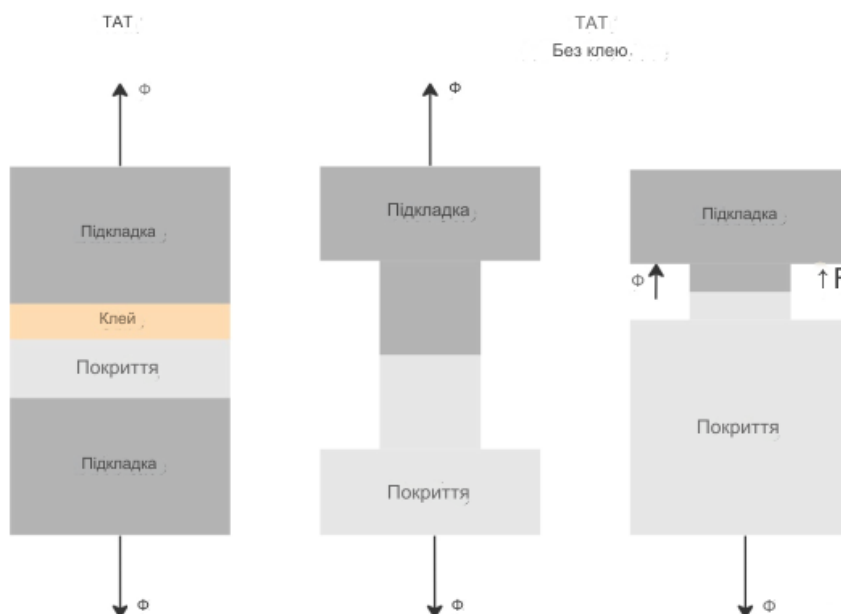


Рис. 2.11. Схеми для тестування адгезії, з адгезією та без адгезії (два варіанти).

Випробування на адгезію при розтягу з використанням зв'язуючого компоненту або без нього визначає величину сили розтягу, необхідної для порушення з'єднання на межі (уніаксіальні напруги) між покриттям і основою, і описується так:

$$\text{Міцність адгезії [МПа]} = \frac{\text{Розривне навантаження}}{\text{Площа перерізу}} \quad (2.2)$$

Заключні результати тесту демонструють відшарування за типом адгезії, когезії та відшарування клейового з'єднання, які зображено на рисунку 2.12. Невизначені результати тесту відображають комбіноване відшарування одного чи декількох заключних типів. Відшарування за типом адгезії виникає, коли лінія розлому площини руйнувань розташована виключно між покриттям та основою. Міцність когезії спостерігається, коли лінія розлому повністю утворена в покритті. Зрештою, відшарування клею з'являється, коли лінія розлому розташована в клейовому шарі. Таке відшарування є наслідком слабшого клею порівняно з міцністю на адгезію та когезію.



Рис. 2.12. Остаточні результати тесту з відповідною площиною руйнування.

Цей метод дозволяє оцінити розтяжні характеристики двох скріплених матеріалів без застосування зв'язувального компоненту. Пробний матеріал спочатку наноситься на підкладку, а потім формується в формат букви "I", де контакт між покриттям і основою розміщений у центрі вимірювальної частини зразка. Випробування, яке не використовує адгезиви, проводиться за різними стандартами, залежно від позиціонування навантажень; одним (ілюстровано на рисунку 2.11). Остаточні результати використання методики тесту без адгезивів

включають адгезійний та когезійний зломи, що видно на рисунку 2.13.

Невизначені результати спостерігаються, коли площина злому площини зрізу розташована у підложці або являє собою поєднання адгезійного і когезійного зломів.



Рис. 2.13. Остаточні результати тесту без адгезії з відповідною площиною руйнування площини зрізу.

Наразі показник зносу для журналів колінчастого валу не встановлено, адже його оцінка здійснюється на основі зміни діаметра. Реалізація випробування на знос для журналів дозволить визначити еталон для С45/С38, що можна порівняти з випробуванням на знос для можливого покриття. Знос визначається як результат ушкодження матеріалу. Для оцінки ушкодження матеріалу від ковзання часток використовуються показники специфічного зносу та загальний коефіцієнт зносу, які описані у рівняннях 2.3 і 2.4. Специфічний коефіцієнт зносу W обраховується як відношення об'єму зношування v до нормальної сили F_n і довжини ковзання d . Загальний показник зносу V є результатом множення специфічного зносу на константу зносу K .

$$W = \frac{v}{F_n d} \quad (2.3)$$

$$V = KW \quad (2.4)$$

Тестування ковзаючого зношування може бути здійснено методом штифт-на-диску, коли пробний зразок встановлюється на ротаційний диск із застосуванням різноманітних навантажень, як вказано на рисунку 2.14. Параметри конфігурації включають: швидкість (м/с), тип середовища, температура (°C), відсоток вологості, оберти двигуна (об/хв), відстань ковзання (м), діаметр траєкторії (м) та тривалість (с).

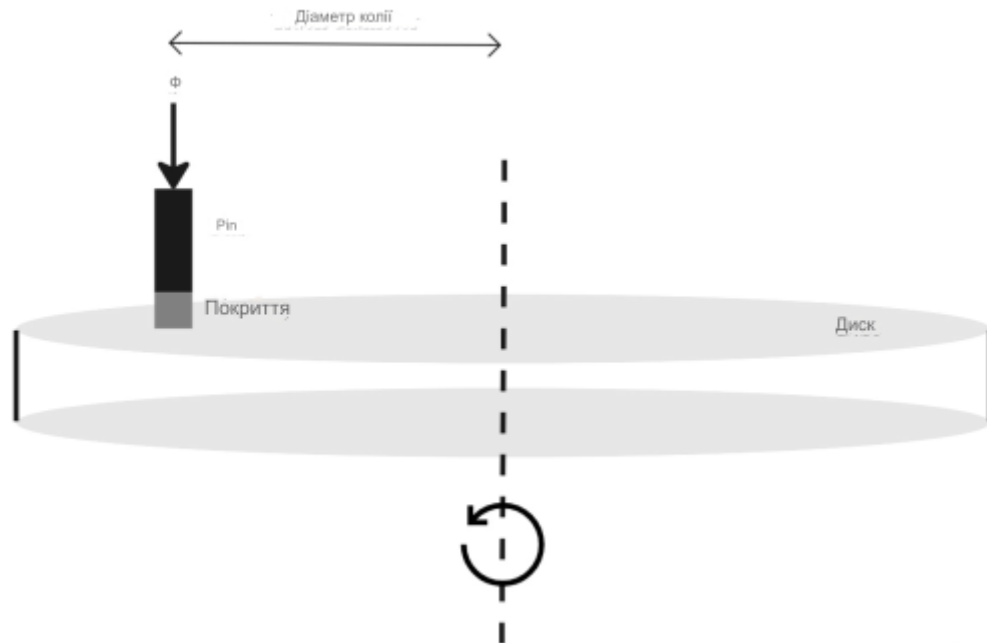


Рис. 2.14. Схематична діаграма триботесту штифт-по-диску.

2.5 Розроблений ТП контролю

Розроблений план перевірок для з'ясування можливості застосування методики холодного напилення для ремонту журналів колінчастого валу. План містить перелік необхідних тестів, опис процедур, цілей, методик вимірювань, оцінку ефективності та верифікацію всіх необхідних критеріїв для можливості реалізації ремонту методом холодного напилення. Запропонований план перевірок, який демонструється на рисунку 2.15, охоплює шість тестів: попередню обробку і тест на твердість/прилипання, перевірку оброблюваності, випробування на втому при згині, випробування на втому при скручуванні, тест на стійкість двигуна та польові випробування, кожен з яких аналізує різні характеристики покриття, нанесеного методом холодного напилення. Також у план включено факультативний тест на швидкість зносу.

Слід провести аналіз підготовки поверхні та структури, щоб з'ясувати, яка попередня обробка журналів колінчастого валу забезпечить оптимальні властивості покриття: міцність прилипання та твердість поверхні. При цьому важливим фактором є шорсткість основи, що впливає на згадані параметри. Якщо твердість поверхні відповідає стандартам для колінчастих валів, то оптимальною є обробка, що забезпечує найвищу міцність прилипання.

Тестування має відбуватися на трьох пробах, характеристики яких ідентичні поверхні виробленого журналу, а саме: мають ту ж твердість та властивості матеріалів (C38/C45). Кожна з трьох проб підлягає різним видам попередньої обробки: полірування (аналогічно поверхні журналу), шліфування та абразивне обприскування. Міцність зчеплення та твердість нанесеного шару слід оцінити через тести на адгезію та твердість.

Процедурні кроки мають бути такими:

Підготовка поверхні зразків.

Нанесення покриття на підготовлені зразки постачальником холодного напилення.

Вимірювання міцності зчеплення та твердості нанесеного шару.

У разі, коли твердість поверхні не відповідає вимогам, необхідно оцінити та оптимізувати матеріал покриття для досягнення потрібної твердості.

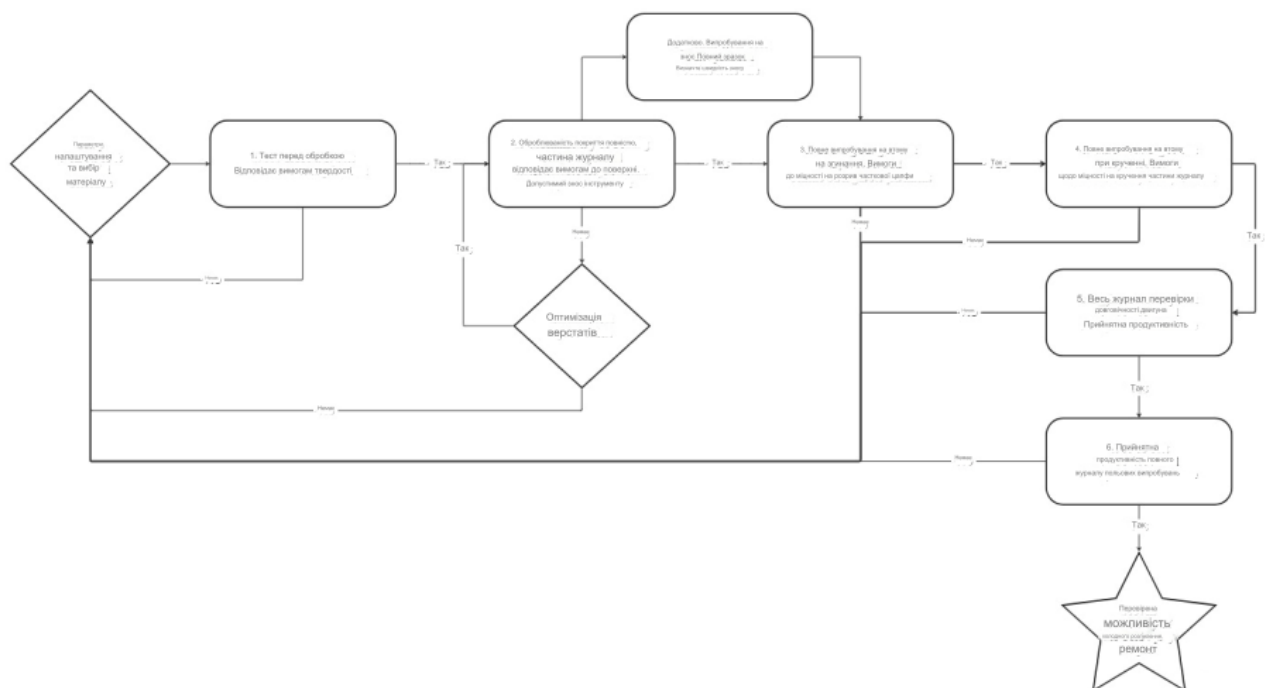


Рис. 2.15. Блок-схема рішень для рекомендованого плану тестування.

Необхідно провести тест на оброблюваність, щоб перевірити, чи поверхня колінчастого валу та нанесене холодним напиленням покриття, як для повного журналу, так і для часткового, відповідають геометричним вимогам колінчастого валу: прямолінійність поверхні, круглість поверхні та шорсткість поверхні. У цьому тесті також вимірюється та оцінюється знос інструменту. Оскільки ремонт повного журналу та часткового журналу перебувають під розслідуванням, слід провести два тести, для кожного випадку відповідно.

Тест на оброблюваність проводиться на зразку журналу колінчастого валу. Журнал колінчастого валу має бути підготовлений з оптимальною попередньою обробкою, яка була визначена у тесті попередньої обробки та мікроструктури, і шліфований та полірований відповідно до стандартів вимог колінчастого валу. Геометрія та деградація інструменту повинні бути виміряні.

Процедура тесту виглядає наступним чином:

Зразок журналу підготовлений з оптимальною поверхневою обробкою з тесту 1.

Постачальник холодного напилення наносить покриття на підготовлені зразки.

Обробка згідно з геометричними вимогами.

Вимірювання геометрії та деградації інструменту.

Для різних випадків необхідно врахувати різні вимірювання та результати.

Тести на стомлюваність реалізуються шляхом фіксації сегменту колінчастого валу до механізму зігну або обертання. На ділянку колінчастого валу застосовується навантаження, після чого проводиться перевірка. Вважається, що тест на стомлюваність за крутним моментом використовує аналогічний процес до тесту на стомлюваність за згином, але з обертовим механізмом замість згинального.

Процедура для обох тестів на стомлюваність за згином і крутним моментом включає:

Попередня обробка зразка журналу з оптимальною підготовкою поверхні, визначеною у тесті 1.

Нанесення покриття на підготовлені зразки постачальником холодного напилення.

Обробка відповідно до геометричних специфікацій.

Вимірювання показників стомлюваності за згином та крутним моментом.

Необхідно провести тест на стійкість двигуна, щоб визначити межі розмірів холодно напиленого покриття, а також встановити критерії адгезійної міцності, міцності матеріалів, зносостійкості покриття, сумісності з підшипниками та мастилом. Це дозволить перевірити ефективність холодно

напиленого покриття, що наноситься на журнали колінчастого валу. У рамках цього тесту фіксуються геометрія, адгезійні та когезійні порушення, знос покриття, знос підшипників та споживання масла.

Випробування на стійкість двигуна слід провести на кількох колінчастих валах, що мають різні характеристики холодного напилення покриття, зокрема глибину та ширину, як для комплексного ремонту журналу, так і для локального. Результати колінчастих валів повинні бути готові з найкращими результатами за результатами тестів на попередню обробку та мікроструктуру, оброблені холодним напиленням, відшліфовані та поліровані відповідно до норм колінчастих валів і вмонтовані в дослідницький двигун. Двигун має функціонувати протягом визначених годин, з перервами, розбирається після кожної перерви та піддається огляду/вимірюванню для забезпечення, що покриття, підшипник чи ефективність роботи зазнали змін.

Методика випробувань різниться для ремонту повного та часткового, і для кожного типу ремонту потрібно враховувати різні показники та результати.

Експлуатаційне випробування двигуна здійснюється шляхом монтажу колінчастого валу, реставрованого за допомогою холодного напилення, у двигун вантажного автомобіля Volvo. Випробування охоплює кілька тисяч кілометрів. У випадку відсутності будь-яких проблем доведено придатність ремонту за технологією холодного напилення.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Статичний структурний аналіз

Цей аналіз визначає переміщення, напруження, деформації та сили в структурах або компонентах під дією навантажень, які не спричиняють значних інерційних чи демпфіруючих впливів. Припускається, що навантаження та реакція структури стабільні, тобто вони змінюються повільно в часі. Типи навантажень у статичному аналізі охоплюють зовнішні прикладені сили та тиски, постійні інерційні сили (наприклад, гравітацію чи обертову швидкість), задані переміщення, температури (для теплового розширення).

3.2 Використання програми ANSYS WORKBENCH

ANSYS - це багатоцільовий комплекс програм для аналізу методом скінченних елементів. Цей метод дозволяє чисельно розбивати складні системи на дрібні фрагменти, звані елементами, розміри яких задає користувач. Програма використовує рівняння для регулювання поведінки цих елементів і вирішує їх, надаючи детальне розуміння діяльності системи в цілому. Середовище ANSYS Workbench є інтуїтивно зрозумілим інструментом для передового аналізу скінченних елементів, що використовується разом з CAD-системами або проектними моделями. ANSYS Workbench слугує для виконання структурного, теплового та електромагнітного аналізів, зосереджуючись на інтеграції існуючої геометрії, налаштуванні моделі скінченних елементів, розв'язанні та аналізі результатів.

Після того як модель поділена на елементи в HyperWorks, збережіть файл у форматі .cdb і імпортуйте його в ANSYS WORKBENCH.

Застосування матеріалу для колінчастого валу

Деталі матеріалу I:

Тип матеріалу: конструкційна сталь

Коефіцієнт Пуассона: 0.3

Модуль Юнга: 2×10^{-5} МПа

Встановлення граничних умов для аналізу:

Граничні умови мають велике значення в аналізі скінченних елементів. Ми прийняли, що обидва віддалені переміщення для підтримки підшипників фіксовані.

Потім накладіть тиск на шатун, як показано на рисунках.

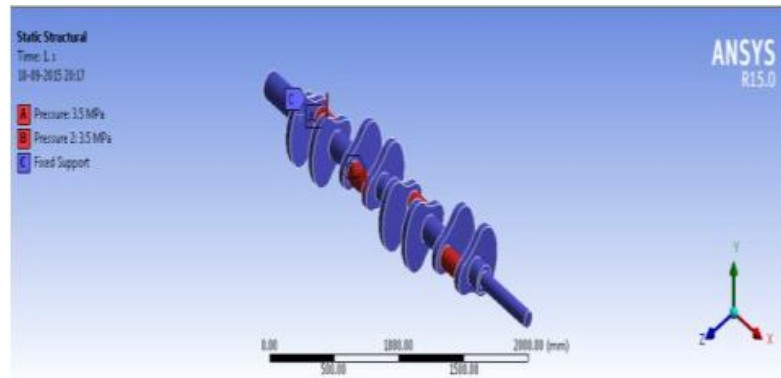


Рис. 3.1. Застосування граничних умов до колінчастого валу

На верхню поверхню шатунного шийки наноситься тиск 3.5 МПа. Запустіть аналіз та отримайте результати:

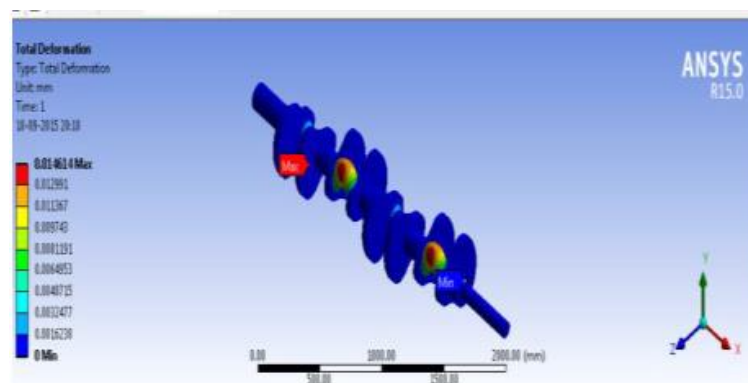


Рис. 3.2. Загальна деформація (мм).

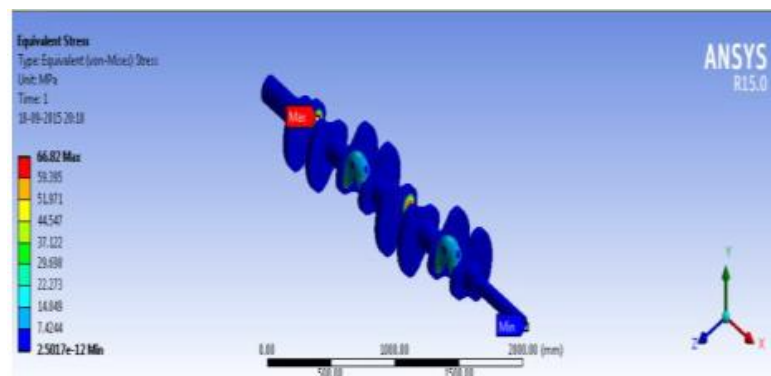


Рис. 3.3. Напруження в колінчастому валу (МПа).

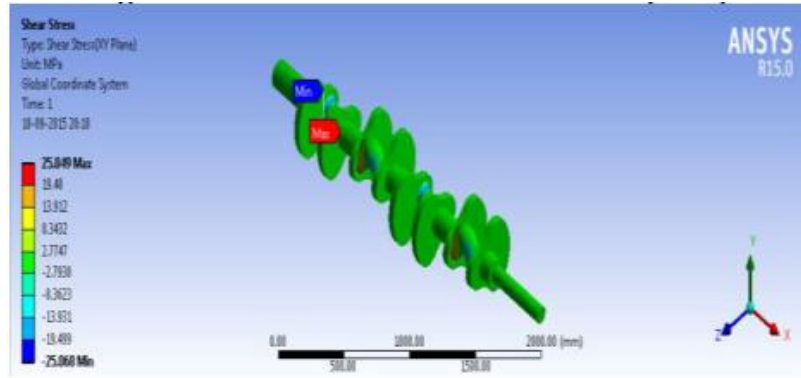


Рис. 3.4. Зсувне напруження в колінчастому валу (МПа).

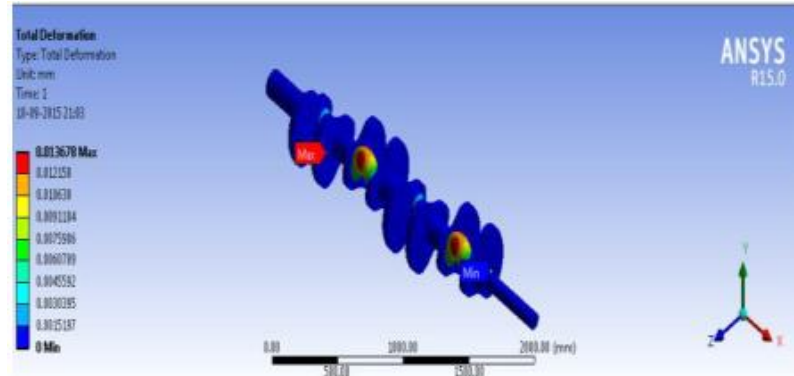


Рис. 3.5. Загальна деформація (мм).

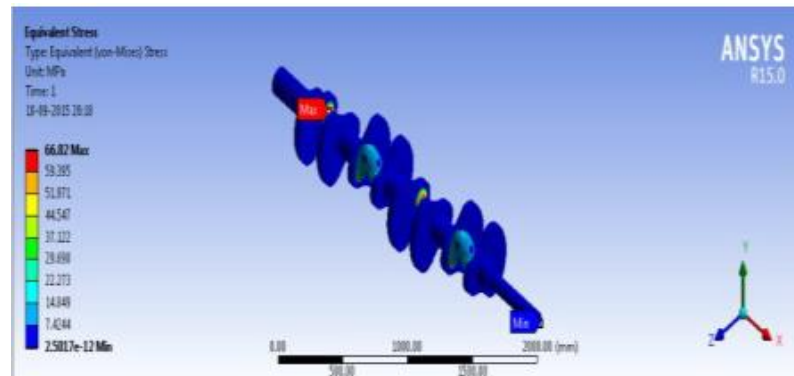


Рис. 3.6. Напруження в колінчастому валу (МПа).

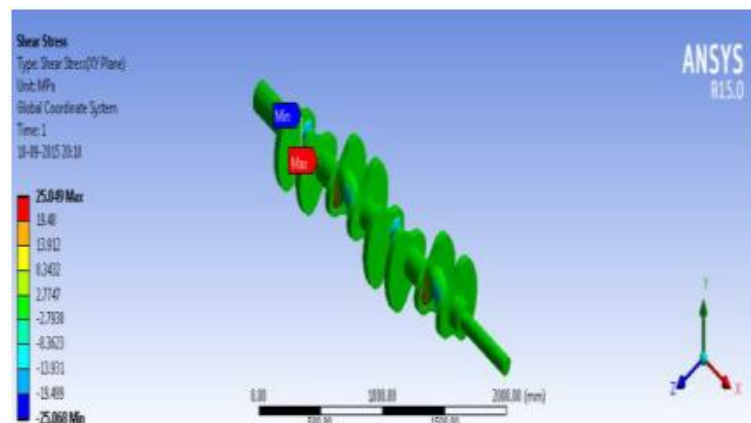


Рис. 3.7. Зсувне напруження в колінчастому валу (МПа).

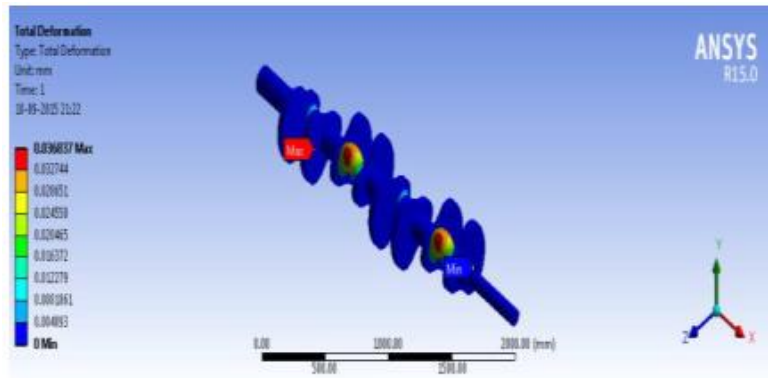


Рис. 3.8. Загальна деформація (мм).

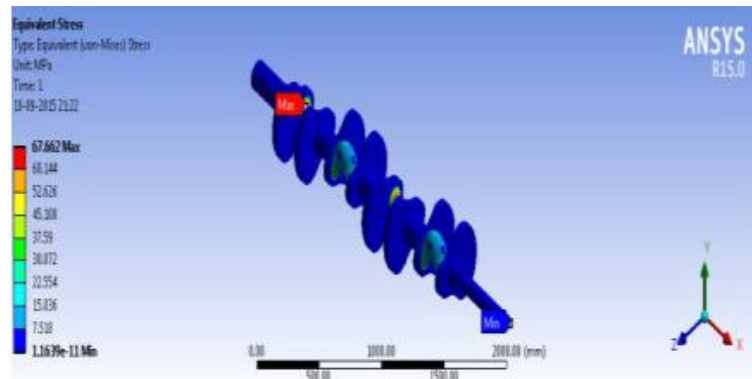


Рис. 3.9. Загальна деформація (мм).

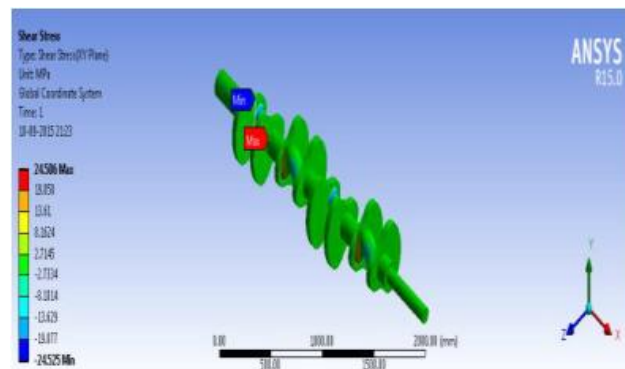


Рис. 3.10. Зсувне напруження в колінчастому валу (МПа).

3.3 Розробка конструкції точильного опорного пристрою

Щоб поліпшити властивості оброблення та допомогти точності обробки валиків шатунів (колінчастого вала), а також зменшити шкідливий вплив відрізного зусилля на ці критерії, було створено новий дизайн підтримувального точильного механізму (див. рис. 3.11).

Метод роботи цього підтримувального механізму ілюстровано на рис. 3.12.

Цей опорний механізм прикріплюється до рами машини за допомогою стяжного ремінця 2, який монтується під базову плиту 1. На базовій плиті 1 фіксується мобільне тіло опори 3. На цьому тілі встановлені монтажний фланець 7, барабан 4 і серводвигун 10. Первинне переміщення поршня 5 опори для заміни деталі виробляється за допомогою фіксуючого болта 6.

Головним елементом у конструкції цієї опори є кулачок з профілем 9 (рис. 3.11).

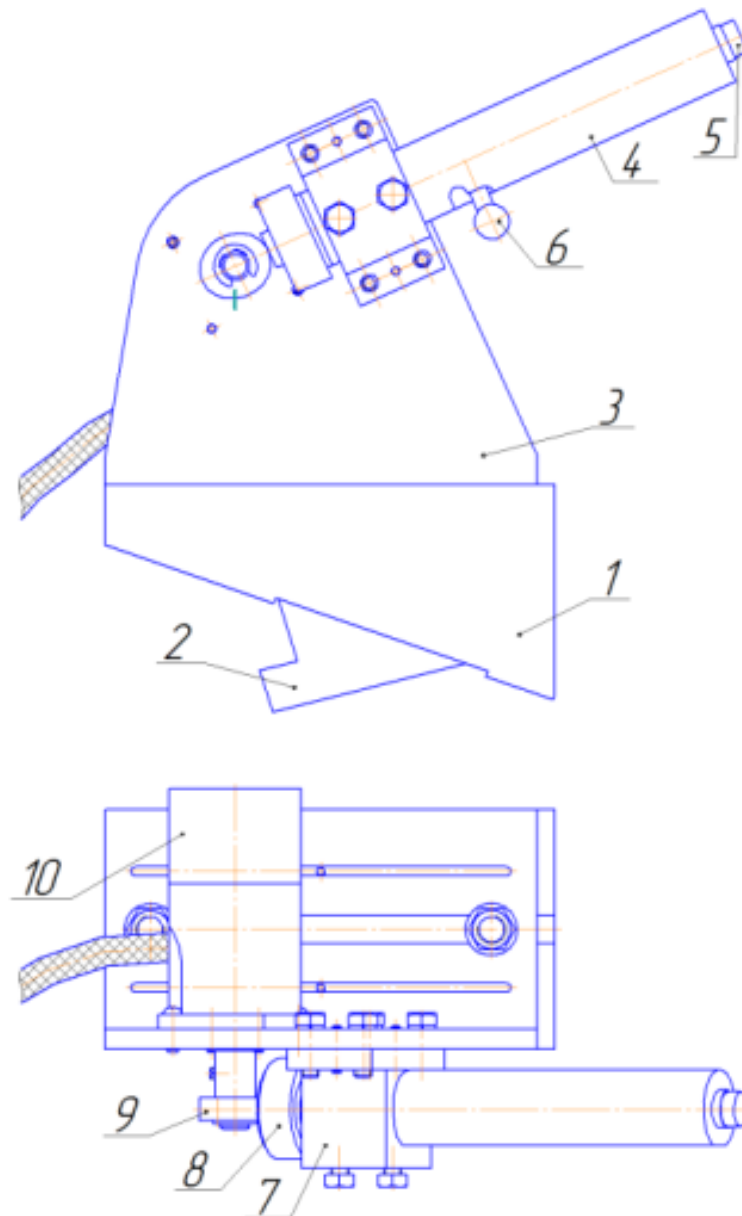


Рис. 3.11. Складові точильного опорного устройства включають:

1 – базову плиту; 2 – стяжний ремінець; 3 – тіло опори; 4 – барабан; 5 – поршень; 6 – фіксуючий болт; 7 – монтажний фланець; 8 – болт з гайкою; 9 – кулачок з профілем; 10 – серводвигун.

Кулачок ідентично відтворює профіль викривлення шийки колінчатого штифта, зумовлений застосовуваною силою шліфування.

Кулачок рухається завдяки серводвигуну 10, водночас переміщаючи толкач, який через пружину зміщує поршень 5 із карбідною облицюванням.

Поршень виробляє вирівнювальну силу F на шийку колінчатого вала, знижуючи таким чином її еластичне викривлення.

Кут α між закритою силою різання P та вертикальною лінією можна обчислити за формулою (3.1).

$$\alpha = \arctan \frac{P_z}{P_y} \quad (3.1)$$

Повернення поршня до свого початкового стану та стабільний контакт толкача з кулачком забезпечуються пружиною. Твердість пружини та первинна притискна сила налаштовуються за допомогою гвинта-гайки 8. Налаштування початкового положення кулачка щодо шийки колінчатого штифта та їхнє синхронне обертання є ключовими для ефективної роботи опори.

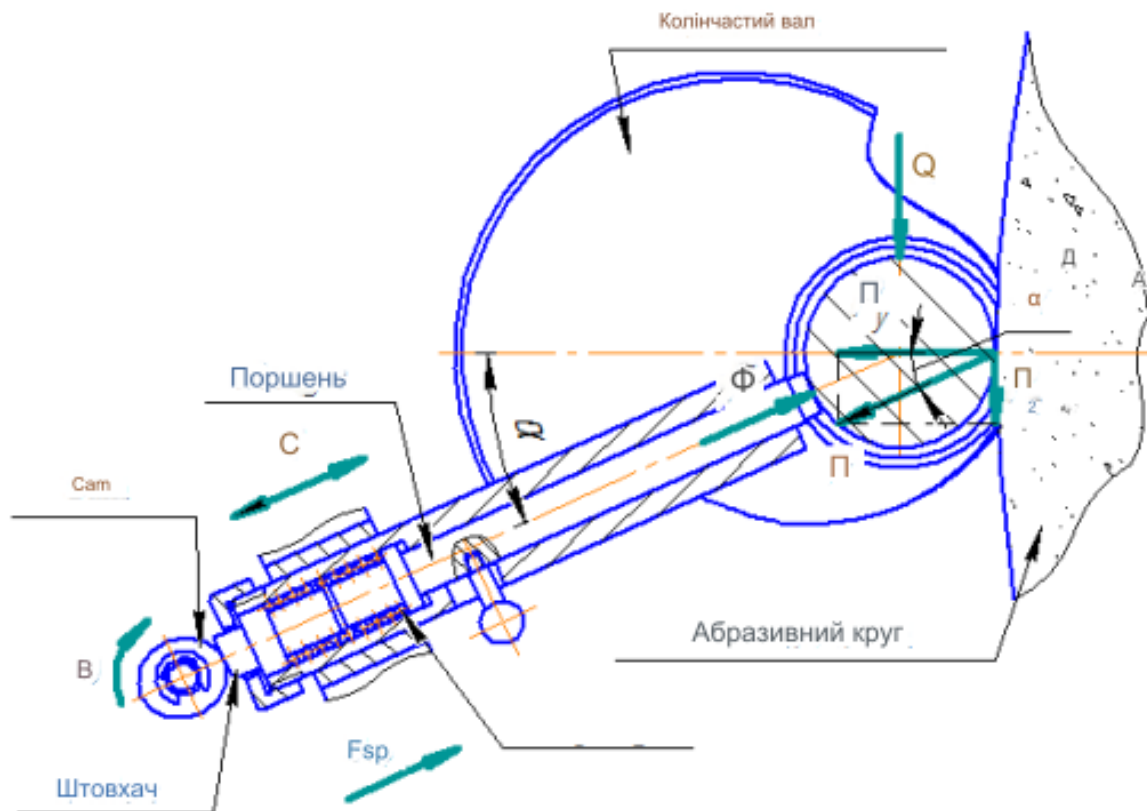


Рис. 3.12. Діаграма функціонування точильного опорного пристрою:

P_y, P_z – елементи сил різання; P - закрита сила різання; Q - маса колінчатого вала; F - вирівнювальна сила; S - переміщення поршня; F_{sp} – первинна сила затискання пружини; ω - обертова швидкість кулачка; α – кут між закритою силою різання P та вертикальною поверхнею.

Ключовим кроком у проекті є встановлення параметрів та твердості пружин.

Силу стиснення пружини при найвищому навантаженні можна обчислити згідно з формулою (3.2):

$$F_3 = \frac{F_2}{(1 - \delta)}, \quad (3.2)$$

Де F_2 – сила пружини при робочому навантаженні;

δ – відносний інерційний зазор.

Критична швидкість переміщення рухомого кінця пружини визначається за формулою (3.3):

$$V_c = \frac{\tau_3 \cdot (1 - \frac{F_2}{F_3})}{\sqrt{2 \cdot G \cdot \rho \cdot 10^{-3}}}, \quad (3.3)$$

Де τ_3 – максимальний зсувний напруження пружини;

G – модуль пружності при зсуві;

ρ – динамічна щільність матеріалу.

Наступним кроком є перевірка умови безперервної роботи на протязі $1 \cdot 10^4$ годин (3.4):

$$\frac{V_{\max}}{V_c} < 1, \quad (3.4)$$

Де $V_{\max}$ – максимальна швидкість переміщення рухомого кінця пружини.

Коректність вибору пружини буде засвідчена виконанням умови (3.4).

Нарешті, аби забезпечити жорсткість конструкції опори та високу якість оброблення колінчастого вала, необхідно встановити жорсткість пружини (3.5):

$$c = \frac{F_2 - F_1}{h}, \quad (3.5)$$

Де h – робочий хід пружини;

F_1 - сила попереднього деформування.

Грунтовне проектування дозволить розробити унікальну конструкцію нового точильного опорного пристрою.

Цей механічний пристрій зможе автоматизувати процедуру шліфування колінчастих валів, виправляючи проблеми, пов'язані з особливостями форми елемента колінчастого вала. Крім того, цей пристрій підвищить точність оброблення та знизить її витрати.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на дільниці ремонту агрегатів

На робітників дільниці під час ремонтних робіт впливають небезпечні й шкідливі фактори:

- можливість мимовільного падіння контрольних гир;
- обертові частини, що рухаються, і механізми технологічного обладнання;
- фізичні навантаження й механічні впливи при підключенні еталонного обладнання та обладнання і пристроїв, що підлягають повірці;
- шкідливі хімічні речовини в повітрі робочої зони;
- можливість одержання хімічних опіків;
- підвищена температура поверхонь устаткування;
- нервово-психічні перевантаження;
- статичні перевантаження;
- робота з обладнанням, що працює під надлишковим тиском;
- підвищений рівень шуму й вібрації;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень пульсації світлового потоку;
- підвищене значення напружень в електричній мережі, замикання якої може пройти через тіло людини;
- напруження зору, уваги;

Всі ці фактори в залежності від терміну дії можуть привести до травмувань та втрати працездатності співробітників дільниці повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки та метрології. Довгострокова робота під дією шкідливого фактора також може привести до професійних та хронічних захворювань.

Аналіз агрегатної дільниці, що всі вище перераховані фактори знаходяться в допустимих межах згідно окрім порушення мікроклімату особливо влітку коли на вулиці підвищена температура.

Пожежна безпека відповідає нормам. Вогнегасники проходять перевірку і в разі необхідності заміну.

4.2 Правила безпечного виконання робіт слюсаря – ремонтника на агрегатній ділянці

Загальні положення. До роботи слюсарем-ремонтником допускаються особи віком не молодше 18 років, які мають посвідчення на право виконання робіт, пройшли медичне обстеження, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки.

Слюсар повинен:

- виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку;
- бути уважним до сигналів рухомого транспорту;
- ходити по тротуарах, доріжках, переходах, спеціально призначених для цього, тримаючись правого боку;
- не торкатись електрообладнання, клем та електродроту, арматури загального освітлення, не відкривати дверці електрошаф;
- не включати і не зупиняти (крім аварійних випадків) машини, верстати та механізми, робота на яких не передбачена адміністрацією;

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть діяти на слюсаря:

- рухомі машини, механізми, незахищені рухомі частини виробничого устаткування; пересувні вироби, заготівлі, матеріали;
- захащеність робочих місць інструментом, пристосуванням, матеріалами, деталями;
- відсутність спеціальних пристроїв, інструменту та обладнання для виконання робіт відповідно до прийнятої технології;
- незахищені струмоведучі частини електрообладнання (електроустановок);
- недостатня освітленість робочої зони;

Слюсарю згідно з діючими нормами видається безкоштовно спецодяг:

- костюм бавовняний;

- рукавиці комбіновані;
- при роботі взимку на повітрі додатково - куртка та брюки бавовняні на теплій підкладці.

Ручні інструменти (молотки, зубила, пробійники тощо) не повинні мати:

- на робочих поверхнях пошкоджень (вибоїн, відколів);
- на бокових гранях у місцях затискання їх рукою задирок та гострих ребер;
- на дерев'яних поверхнях ручок сучків, задирок, тріщин; поверхня повинна бути гладкою;
- наклепів та перегартованих робочих поверхонь.

Гайкові ключі повинні відповідати розмірам гайок та головок болтів і не мати тріщин та забоїн, площини зіва ключів повинні бути паралельними і не повинні бути закатаними. Розвідні ключі не повинні бути ослабленими у рухомих частинах.

Світильники з люмінесцентними лампами напругою 127-220 В допускається застосовувати для місцевого освітлення за умов недоступності їх струмопровідних частин для випадкового дотику.

Освітлювальна арматура і вимикачі повинні мати електро- і гідроізоляцію.

У разі наявності особливо несприятливих умов, коли небезпека ураження електрострумом посилюється тісністю, незручністю, дотиком із заземленими поверхнями, для живлення переносних світильників використовується напруга не вище 12В.

При роботі з пневмо- і електроінструментом слюсар повинен бути навчений по безпечній роботі з ними і проінструктований.

Вимоги безпеки перед початком роботи. Отримати завдання від керівника робіт.

Привести до ладу спецодяг, застібнути або обв'язати рукава, заправити одяг таким чином, щоб кінці його не розвіювались.

Уважно оглянути робоче місце, прибрати все, що заважає роботі.

Впевнитись в тому, що робоче місце достатньо освітлене, а світло не буде засліплювати очі.

Робочий інструмент та деталі розташувати в зручному та безпечному для користування порядку.

Впевнитись в тому, що робочий інструмент, пристосування, обладнання та засоби індивідуального захисту справні і відповідають вимогам охорон праці.

Перед початком робіт електро- пневмоінструментом та на верстатах необхідно пройти інструктаж по безпечній роботі з ними.

Вимоги безпеки під час виконання роботи. Виконувати роботи необхідно згідно з технологічною картою на виконання тієї чи іншої роботи.

При роботі з переносною електродріллю, гайковертом, шліфувальною машиною додержуватись інструкції по експлуатації електроінструмента.

При роботі пневматичним інструментом необхідно:

Працювати тільки справним інструментом. Клапани відрегулювати так, щоб вони легко відкривались, при припиненні натиску на правлячий держак швидко закривались і не пропускали повітря в закритому положенні.

- Працювати тільки в захисних окулярах.

- Користуватись тільки абразивними кругами, одержаними в інструментальній коморі та спеціально призначеними для пневмомашинки.

Забороняється:

- Спрямовувати струмінь повітря на себе або на людей, які працюють поруч.

- Працювати пневмомашинкою за відсутності захисного кожуха над абразивним кругом та наявності уступів, вибоїн, тріщин та стукотіння абразивного круга.

- Працювати бічною поверхнею абразивного круга.

- Працювати пневматичним інструментом з приставних драбин.

- Несправний інструмент здати в інструментальну комору. Ремонтувати його самому забороняється.

Забороняється здувати стисненим повітрям з верстата чи деталей металеву стружку. Для змітання стружки та пилу користуватись волосяною щіткою, перебувати при цьому в захисних окулярах.

На розбирально-складальних роботах застосовувати справні знімачі, гайковерти і ключі. Відкручувати гайки за допомогою зубила і молотка забороняється.

Розбирання і складання агрегатів виконувати тільки на спеціальних стендах, оснащених пристроями для закріплення.

Перевіряти співвісність отворів при складанні вузлів необхідно виконувати за допомогою конусної оправки або бородка. Забороняється робити це пальцем.

Зливати мастила з агрегатів слід тільки у спеціальну тару.

Випадково пролите на підлогу мастило слід негайно засипати тирсою або сухим піском і зібрати у спеціально відведене місце, підлогу витерти.

Забороняється зберігати на робочому місці легкозаймисті рідини та обтиральний промаслений матеріал.

Вимоги безпеки після закінчення роботи. Прибрати робоче місце. Інструмент і пристрої протерти і поскладати їх у відведене для них місце.

Якщо агрегат, що ремонтується, залишається на спеціальних підставках, перевірити надійність їх встановлення. Не залишати його висіти на тросі вантажопідйомного механізму.

Зняти спецодяг, повісити його у спеціально призначене для нього місце.

Забороняється мити руки в мастилі, бензині, гасі і витирати їх ганчір'ям, тирсою, стружкою.

Повідомити керівника робіт про всі недоліки, які були в процесі роботи.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях. Надання першої медичної допомоги.

- Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

При ураженні електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроустановку від джерела живлення, а при неможливості відключення - відтягнути його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал. При відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно робити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця, звернувши увагу на зіниці. Розширені зіниці свідчать про різке погіршення кровообігу мозку. При

такому стані оживлення починати необхідно негайно, після чого викликати швидку медичну допомогу.

- Перша допомога при пораненні. Для надання першої допомоги при пораненні необхідно розкрити індивідуальний пакет, накласти стерильний перев'язочний матеріал, що міститься у ньому, на рану і зав'язати її бинтом якщо індивідуального пакету якимсь чином не буде, то для перев'язки необхідно використати чисту носову хустинку, чисту полотняну ганчірку і т. ін. На те місце ганчірки, що приходить безпосередньо на рану, бажано накапати декілька крапель настойки йоду, щоб одержати пляму розміром більше рани, а після цього накласти ганчірку на рану. Особливо важливо застосовувати настойку йоду зазначеним чином при забруднених ранах.

- Перша допомога при переломах, вивихах, ударах. При переломах і вивихах кінцівок необхідно пошкоджену кінцівку укріпити шиною, фанерною пластинкою, палицею, картоном або іншим подібним предметом. Пошкоджену руку можна також підвісити за допомогою перев'язки або хустки до шиї і прибинтувати до тулуба.

- Перша допомога при теплових опіках. При опіках вогнем, парою, гарячими предметами ні в якому разі не можна відкривати пухирі, які утворюються, та перев'язувати опіки бинтом. При опіках першого ступеня (почервоніння) обпечене місце обробляють ватою, змоченою етиловим спиртом.

- Перша допомога при кровотечі. Підняти поранену кінцівку вгору.

Рану закрити перев'язочним матеріалом (із пакета), складеним у клубочок, придавити її зверху, не торкаючись самої рани, потримати на протязі 4-5 хвилин. Якщо кровотеча зупинилася, не знімаючи накладеного матеріалу, поверх нього покласти ще одну подушечку з іншого пакета чи кусок вати і забинтувати поранене місце (з деяким натиском).

У разі сильної кровотечі, яку не можна зупинити пов'язкою, застосовується здавлювання кровоносних судин, які живлять поранену область, за допомогою згинання кінцівок в суглобах, а також пальцями, джгутом або закруткою. У разі великої кровотечі необхідно терміново викликати лікаря.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота досліджує різні аспекти технології холодного напилення для ремонту колінчастих валів, включаючи аналіз і розробку технологічних процесів та конструкцій. У першому розділі представлено теоретичні основи, огляд колінчастого валу, технічні вимоги до нього, і методики холодного напилення, що дає змогу зрозуміти базові поняття та необхідні умови для роботи.

У технологічному розділі описано різні налаштування процесів напилення, корегування параметрів для різного тиску, і розроблені спеціалізовані технологічні процеси (ТП) для ремонту валів, які включають вибір матеріалів, підготовку до обробки та роботу з критичними зонами. Також включено контроль міцності і розроблений контрольний ТП.

Конструкторський розділ зосереджений на статичному аналізі і використанні програмного забезпечення ANSYS WORKBENCH для розробки конструкції точильного опорного пристрою, що свідчить про високий рівень інженерної підготовки студента.

Останній розділ займається питаннями безпеки життєдіяльності та охорони праці, включаючи аналіз ризиків і рекомендації для безпечного виконання ремонтних робіт.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
2. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.
3. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.
4. Конспект лекцій (частина І) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», 275 «Транспортні технології» галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д.Навроцька., Р.Р. Заверуха., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 132 с.
5. Конспект лекцій (частина ІІ) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д. Навроцька., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 184 с.
6. Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт».-Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 136 с.
7. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
8. Кузьмінський Р.Д., Шарибура А.О Технічний сервіс. Ремонт електрообладнання тракторів і автомобілів Львів 2017 – 376 с

9. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навч. пос.. Гриф МОНМСУ - Ліра-К, 2017 – 288 с.
10. Формальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.
11. Шапко В.Ф., Шапко С.В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. – Харків : Точка, 2016. – 232 с.
12. Шапко В.Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння: Навчальний посібник. - Кременчук: КНУ, 2011. - 194 с.
13. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
14. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
15. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.
16. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
17. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці. Курс лекцій: Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів всіх спеціальностей за освітньо-кваліфікаційним рівнем "бакалавр" / А.І. Ткачук, О.В. Пуляк. – Перевидання, доповнене та перероблене. – Кропивницький: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард". – 2017. – 184с.