

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

Галузь знань 13 – Механічна інженерія
Спеціальність 132 – Матеріалознавство
Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський
Освітньо-професійна програма – Відновлення та технічний сервіс автомобілів
на тему: «Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0»

Шифр: ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ

Виконав: студент 3 курсу, група МТВАс-20-2  В.В. Речицький

Керівник  К.Т.Н., доц. О.Ю. Рудик

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.
6 06 2023_р.

Хмельницький, 2023 р.

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота студента гр. МТВАс-20-2 Речицького Віктора Вікторовича на тему: «Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0» присвячена розробці технологічного процесу відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 автоевакуатора на базі ГАЗ-3307.

Обсяг пояснювальної записки – 62 сторінки, кількість рисунків – 15, таблиць – 6, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 24.

Об'єкт дослідження: колінчастий вал двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0.

Мета роботи: розробка технологічного процесу відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 автоевакуатора на базі ГАЗ-3307.

Актуальність теми: автоевакуатор на базі автомобіля ГАЗ-3307 з двигуном ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 призначений для евакуації з місця аварії автомобілів вагою до 4 т. Колінчастий вал – найвідповідальніша, найбільш навантажена і дорога деталь двигуна. У процесі експлуатації він схильний до різних несприятливих навантажень (пуск двигуна в холодних умовах, неякісне змащення, робота в заповишених умовах і т.д.), які призводять до необхідності відновлювати пошкоджені ділянки.

Новизна роботи: розроблений технологічний процес відновлення колінчастого валу на основі наплавлення під легуючим флюсом по оболонці (розраховані режими його відновлення і механічної обробки нанесеного покриття).

Перелік ключових слів: АВТОЕВАКУАТОР НА БАЗІ ГАЗ-3307, ДВИГУН ЗМЗ-511.1000402 ЄВРО-0, КОЛІНЧАСТИЙ ВАЛ; ВІДНОВЛЕННЯ

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерної механіки
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ТАМ

Диха О.В.

" 20 " березня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Речицькому Віктору Вікторовичу

1. Тема проекту:

«Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0»

керівник проекту: Рудик Олександр Юхимович, к.т.н., доц.

Затверджено наказом університету від 1.03.2023 р. № 5 (Д_14)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту:

1) Технічні умови на технологію відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0» автосвакуатора на базі ГАЗ-3307.

2) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Загальні відомості й технічна характеристика вантажного автомобіля ГАЗ-3307

2. Двигун ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 для автомобіля ГАЗ-3307

3. Дефекти і несправності чавунного колінчастого валу

4. Вибір матеріалу колінчастого валу

5. Проектування ТП відновлення чавунного колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: 20 березня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літературних джерел	01.05.2023	
2	Загальні відомості й технічна характеристика вантажного автомобіля ГАЗ-3307	05.05.2023	
3	Двигун ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 для автомобіля ГАЗ-3307	10.05.2023	
4	Дефекти і несправності чавунного колінчастого валу	15.05.2023	
5	Вибір матеріалу колінчастого валу	22.05.2023	
6	Проектування ТП відновлення чавунного колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0	30.05.2023	
7	Оформлення презентаційних матеріалів	10.06.2023	

Студент

 Речицький В.В.

Керівник роботи

 Рудик О.Ю.

Зміст

Перелік скорочень

Вступ.....

1 Загальні відомості й технічна характеристика вантажного автомобіля ГАЗ-3307

- 1.1 Загальні відомості про автоевакуатор на базі автомобіля ГАЗ-3307
- 1.2 Технічна характеристика автоевакуатора на базі автомобіля ГАЗ-3307

2 Двигун ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 для автомобіля ГАЗ-3307.....

- 2.1 Технічні характеристики двигуна
- 2.1.1 Будова і комплектація
- 2.1.2 Технічні характеристики.....
- 2.1.3 Вузол циліндрів.....
- 2.1.4 Поршнева частина і колінчастий вал.....
- 2.1.5 Паливна і змащувальні системи
- 2.1.6 Запалювання
- 2.1.7 Несправності
- 2.1.8 Технічне обслуговування.....
- 2.1.9 Ремонт та експлуатація

3 Дефекти і несправності чавунного колінчастого валу18

- 3.1 Прискорений знос шийок.....20

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ			
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Речинський			5.08		У	4	62
Перевір.	Рудик			06.08				
Н.контр.	Бабак			7.08		ХНУг.МТВАс-20-2		
Затвер.	Диха			8.08				

Зміст

Перелік скорочень.....

Вступ.....

1 Загальні відомості й технічна характеристика вантажного автомобіля

ГАЗ-3307

1.1 Загальні відомості про автоевакуатор на базі автомобіля ГАЗ-3307

1.2 Технічна характеристика автоевакуатора на базі автомобіля ГАЗ-3307

2 Двигун ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 для автомобіля ГАЗ-3307.....

2.1 Технічні характеристики двигуна

2.1.1 Будова і комплектація

2.1.2 Технічні характеристики

2.1.3 Вузол циліндрів.....

2.1.4 Поршнева частина і колінчастий вал

2.1.5 Паливна і змащувальні системи.....

2.1.6 Запалювання

2.1.7 Несправності

2.1.8 Технічне обслуговування.....

2.1.9 Ремонт та експлуатація

3 Дефекти і несправності чавунного колінчастого валу

3.1 Прискорений знос шийок.....

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Речицький						4	
Перевір.	Рудик							
Н.контр.	Бабак					ХНУгр.МТВАс-20-2		
Затвер.	Диха							

3.2	Задири на поверхнях шийок
3.3	Прискорений знос поверхонь під півкільця осьового зміщення
3.4	Подряпини на поверхнях шийок
3.5	Биття та прогин
3.6	Відхилення шийок від розміру
3.7	Тріщини

4 Вибір матеріалу колінчастого валу

4.1	Хімічний склад матеріалу колінчастого валу
4.2	Механічні властивості високоміцного чавуну з кулястим графітом
4.3	Мікроструктура високоміцного чавуну з кулястим графітом.....
4.4	Вплив перегріву на будову чавуну

5 Проектування ТП відновлення чавунного колінчастого валу

двигуна 3МЗ-511.1000402 Євро-0

5.1	Сучасні технології відновлення чавунних колінчастих валів.....
5.1.1	Шліфування під ремонтні розміри
5.1.2	Вібродугове наплавлення у водокисневому середовищі
5.1.3	Одношарове наплавлення під флюсом.....
5.1.4	Газоплазмове напилення дротом або стержнями
5.1.5	Газоплазмове напилення порошком.....
5.1.6	Надзвукове газоплазмове напилення
5.1.7	Детонаційне напилення.....
5.1.8	Плазмове напилення.....
5.1.9	Лазерне напилення
5.1.10	Електродугова металізація.....
5.1.11	Холодне напилення

5.1.12	Відновлення наплавленням під легуючим флюсом по оболонці
5.2	Розробка маршрутного ТП.....
5.3	Розробка режимів відновлення шатунних і корінних шийок
5.4	Розрахунок режимів механічної обробки нанесеного покриття
5.5	Визначення норм часу
Висновки	
Список літератури.....	
Додатки.....	

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Перелік скорочень

ТП – технологічний процес.

ТО – технічне обслуговування.

ГРМ – газорозподільний механізм.

ГБЦ – головка блоку циліндрів.

СЧ – сірий чавун.

ВЧ – високоміцний чавун.

ВЧКГ – високоміцний чавун з кулястим графітом.

s_b – межа короткочасної міцності, [МПа].

s_T – межа пропорційності (межа текучості для постійної деформації), [МПа].

δ_5 – відносне подовження при розриві, [%].

ψ – відносне звуження, [%].

KCU – ударна в'язкість, [кДж/м²].

HB – твердість за Брінеллем, [МПа].

HV – твердість за Віккерсом, [МПа].

HRC – твердість за Роквеллом, [МПа].

HRC_c – твердість за Роквеллом, шкала С [МПа].

HRB – твердість за Роквеллом, шкала В [МПа].

HSD – твердість за Шором, [МПа].

T (t) – температура, при якій виходять ці властивості, [Град].

E – модуль пружності першого роду, [МПа].

α – коефіцієнт теплового (лінійного) розширення (діапазон 20° – T), [1/Град].

λ – коефіцієнт теплопровідності (теплоємність матеріалу), [Вт/(м·град)].

ρ – щільність матеріалу, [кг/м³].

C – питома теплоємність матеріалу (діапазон 20° – T), [Дж/(кг·град)].

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

R – питомий електричний опір, [Ом·м].

K_u – коефіцієнт відносної оброблюваності.

$s_{0,2}$ – номінальна межа текучості з допуском навантаження 0,2% від величини пластичної деформації.

t_{-1} – межа витривалості на кручення (симетричний цикл).

s_{-1} – межа витривалості на стиск-розтягнення (симетричний цикл).

N – кількість циклів деформацій/напружень, утримуваних об'єктом під навантаженням до появи втомного руйнування/тріщини.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Автомобільний транспорт є невід'ємною частиною народного господарства нашої країни. Основ рухомого складу цього виду транспорту – автомобілі. Їх експлуатація супроводжується зносом й погіршенням техніко-економічних показників. Тому необхідно використовувати ремонтно-обслуговуючі бази із застосуванням відповідних ТП відновлення пошкоджених деталей, так як для цього потрібно в 4-8 разів менше технологічних операцій у порівнянні з виготовленням нових деталей [1, 19].

Більше 85 % деталей відновлюються при зношуванні менше 0,3 мм, тобто їхню працездатність можна відновити покриттями невеликої товщини [19, 20]. При відновленні колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 потрібно розробити такий ТП, який при невеликих витратах дозволив би збільшити його ресурс.

Тому мета і задачі роботи: спроектувати ТП відновлення чавунного колінчастого валу з розрахунками режимів механічної обробки нанесеного покриття.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Загальні відомості й технічна характеристика вантажного автомобіля ГАЗ-3307

1.1 Загальні відомості про автоевакуатор на базі автомобіля ГАЗ-3307

ГАЗ-3307 – середньотонажний вантажний автомобіль [1].

Автоевакуатор на базі подовженого автомобіля ГАЗ-3307 з бензиновим двигуном ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 призначений для евакуації з місця аварії автомобілів вагою до 4 т на платформі габаритами 5,5 х 2,28 м. Міцна і полегшена конструкція призначена для перевезення будь-яких автомобілів. Габаритні розміри 8,55 х 2,4 х 2 м [2].

Автоевакуатор на базі ГАЗ-3307 є подовженим на 800 мм шасі з суцільнометалевою платформою, закріпленою на рамі автомобіля (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Автоевакуатор на базі ГАЗ-3307

З правого боку встановлений інструментальний ящик. Складові апарелі в складеному стані розміщуються під заднім звісом платформи. Кабіну водія від евакуйованого автомобіля розділяє передня огорожа, встановлена спереду платформи. Вона захищає водія при аварійному зсуві вантажу вперед.

Автоевакуатор на базі ГАЗ-3307 комплектується:

- переднім упором ступінчастої фіксації (для оптимального розміщення автомобіля, що перевозиться, в залежності його від ваги);
- проблісковим маячком;

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- фарею шукачем;
- комплектом кріпильних пасів з ручними натягувачами.

На платформу автоевакуатора на базі ГАЗ-3307 встановлюється професійна електрична лебідка.

Заїзд на евакуатор легко складається і засувається по санчатах у саму платформу.

Платформа евакуатора має міцну передню огорожу, що захищає кабінку не тільки від наїзду завантаженого автомобіля у разі ДТП, але і дах при перекиданні. Абсолютно не заважає огляду в дзеркалах заднього вигляду і віконних отворах задньої стінки. Є ліхтар освітлення платформи для вантаження в темний час доби.

Додаткова комплектація автоевакуатора на базі ГАЗ-3307:

- підкатний візок (дозволяє здійснювати завантаження автомобіля з відсутнім або заблокованим колесом);
- ящик інструментальний (дозволяє розмістити два підкатні візки, кріпильні елементи, а також різні набори робочого і допоміжного інструменту);
- дві додаткові апарелі;
- блок поліспаст (дозволяє змінювати напрям троса або подвоювати тягове зусилля на крюку); додатковий трос з крюками (застосовується при неможливості близько під'їхати до евакуйованого автомобіля);
- комплект додаткових кріпильних пасів.

1.2 Технічна характеристика автоевакуатора на базі автомобіля ГАЗ-3307

Базова модель автоевакуатора – ГАЗ-3307 [2]. Колісна формула – 4х2. Вантажопідйомність, кг – 4000.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 Двигун ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 для автомобіля ГАЗ-3307

2.1 Технічні характеристики двигуна

Двигун ЗМЗ-511.1000402 – карбюраторний бензиновий V-подібний двигун з 8ма циліндрами. Силовий агрегат – екологічний стандарт “Євро-0” [3-6].

2.1.1 Будова і комплектація

Простота будови двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 обумовлює його надійність і практичність (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ

Арк.

У задньому відсіку двигуна знаходиться мастильний насос, вентилятор, генератор і клинова пасова передача, яка співпрацює з шестерінкою колінчастого валу.

2.1.2 Технічні характеристики

Основні параметри технічного плану двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0:

- конфігурація V;
- довжина-ширина-висота – 1,0-1,1-0,8 м;
- маса 262 кг; потужність 125 к. с.; об'єм 4,254 л;
- число циліндрів 8; хід поршня 80/88 міліметрів; Ø циліндра 92 мм;
- ступінь стиснення 7,6; кількість клапанів на циліндр 2;
- порядок роботи циліндрів 1-5-4-2-6-3-7-8;
- номінальна потужність двигуна при частоті обертання колінчастого валу 92 кВт при 3400 об/хв.;
- максимальний крутний момент при частоті обертання колінчастого валу 294 Нм / 2000 – 2500 об/хв.;
- тип палива – бензин АІ-76; витрати палива – 13 л.;
- живлення – карбюратор К135.

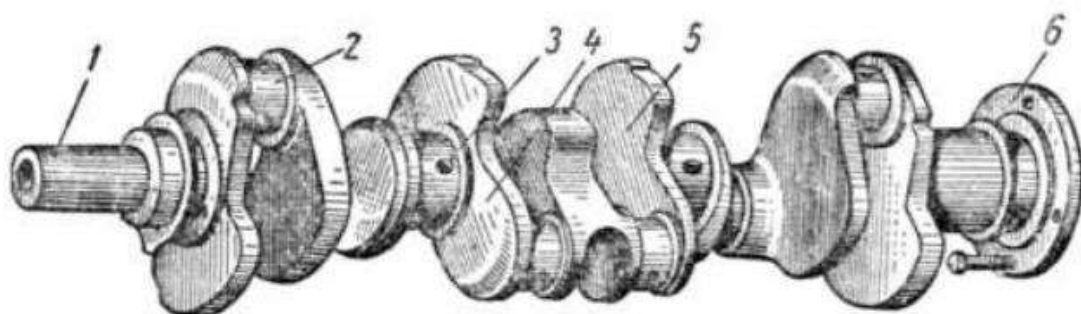
2.1.3 Вузол циліндрів

Блок циліндрів ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 обладнано рідинної сорочкою, яка забезпечує омивання двигуна. Робочі гільзи виготовлюють з чавуну, нижньою частиною вставляють у блок, а додаткову герметизацію забезпечують мідною прокладкою. Це дозволяє замінити гільзи та забезпечує відведення тепла від елементів.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.1.4 Поршнева частина і колінчастий вал

На двигуні ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 – литий колінчастий вал з чавуну високої міцності. Діаметр основних шийок – 70 мм, шатунних – 60 мм. У передній і задній частині колінчастого валу встановлюють сальники, з самопідтискним гумовим елементом. Задню (аналогічну) деталь виконано з шнура з азбесту (рис. 2.2).



1 – хвостовик; 2 – шатунна шийка; 3 – корінна шийка; 4 – щока; 5 –
противага; 6 – фланець з'єднувальний

Рисунок 2.2 – Колінчастий вал

2.1.5 Паливна і змащувальні системи

Карбюраторний двигун ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 оснащений 2ма литими головками блоку циліндрів.

У системі мащення знаходиться масляний шестеренчастий насос, який має привід від розподільного валу. Очищення рідини здійснюють фільтром, а подачу – мастилоприймачем. Двигун має захист від нестачі мастила. При заклинюванні помпи у приводі штифт зрізається і двигун глохне.

2.1.6 Запалювання

Особливість двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 – використання гвинтових впускних каналів і високотурбулентної камери згоряння. Це забезпечує поліпшення характеристик роботи двигуна на низьких оборотах, максимальне згоряння палива та зменшення витрат бензину.

2.1.7 Несправності

Несправності двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Несправності двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0

1	2
Стук клапанів при збільшенні обертів	Використовується неякісний бензин, що призводить до прогорання клапанів (ремонт – заміна пошкоджених елементів).
Малий тиск у системі мащення	Через виведення з ладу масляного наносу або використання неякісного мастила забруднилися канали двигуна, по яких воно рухається. Ремонт – заміна масляного насоса і фільтра. За необхідності виконуються очищення усіх внутрішніх масляних каналів (за допомогою спеціального миючого мастила).
Зменшується тяга двигуна	Слабке місце двигуна – деформація впускного колектора: це відбувається на автомобілях, які мають пробіг більше 300000-400000 км. Потрібно замінити пошкоджений впускний колектор.

1	2
Масило протікає в нижній частині двигуна	Задній корінний підшипник регулярно протікає. Це веде до значної втрати мастила. Потрібно замінити задній корінний підшипник.
Масило протікає у верхній частині двигуна	Прокладка головки блоку циліндрів з часом дубіє та пропускає мастило. Ремонт полягає у її заміні з проведенням огляду клапанів та їх очищенням.
Збільшується (регулярно) максимуму охолоджуючої рідини до t	Через пошкодження термостата і помпи, яка несе відповідальність за рух теплоносія у системі охолодження. Ремонт: 1) демонтується термостат, перевіряється його працездатність і при необхідності проводиться його заміна; 2) замінюється помпа системи охолодження.

2.1.8 Технічне обслуговування

Технічне обслуговування (ТО) машини з двигуном ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 – проста і неклопітка справа, коли він встановлений на ГАЗ-3307. Двигун споживає приблизно 10 л мастила, але при цьому його ресурс складає 250000 км пробігу, якщо регулярно обслуговувати. Основні етапи ТО:

ТО-1 – замінюється мастило, паливний фільтр, підтяжка клапанного механізму.

ТО-2 – замінюється мастило, паливний фільтр, підтяжка клапанного механізму, замінюється паливний фільтр і прокладки клапанної кришки.

ТО-3 – замінюється мастило, паливний фільтр, підтяжка клапанного механізму, замінюється комплект ГРМ, замінюється свічки запалювання, високовольтні дроти.

ТО-4 – замінюється мастило, паливний фільтр, підтяжка клапанного механізму, замінюється паливний фільтр, прокладок клапанної кришки, прокладки ГБЦ і піддону.

2.1.9 Ремонт та експлуатація

Ремонт ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 проводять за поточними поломками. Двигун не ламається через дрібниці. Тому найчастіше відразу проводять капітальний ремонт. Основний технологічний процес(ТП) капітального ремонту двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0:

1. Мийка двигуна.

2. Розбирання. Двигун розбирають на запасні частини, щоб визначити:

- пошкоджені деталі;
- як завдано збитків блоку і колінчастому валу;
- стан головок блоку і поршневої групи.

Обов’язково діагностиці піддають другорядні деталі: водяний і масляний насоси, зчеплення та інші.

3. Діагностика. Досліджують – блок (камери, де відбувається згорання), колінчастий вал (на ремонтпридатність), стан газорозподільного механізму.

4. Вимірювання та визначення розмірів. Колінчастий вал розточують.

Згідно практики, ремонтується колінчастий вал до розміру 1,00 мм (не більше), так як руйнується під навантаженням.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 Дефекти і несправності чавунного колінчастого валу

Колінчастий вал (рис. 3.1) – найвідповідальніша, найбільш навантажена і дорога деталь двигуна. На ньому є 4 шатунні шийки, 5 опор і 6 противаг [4].

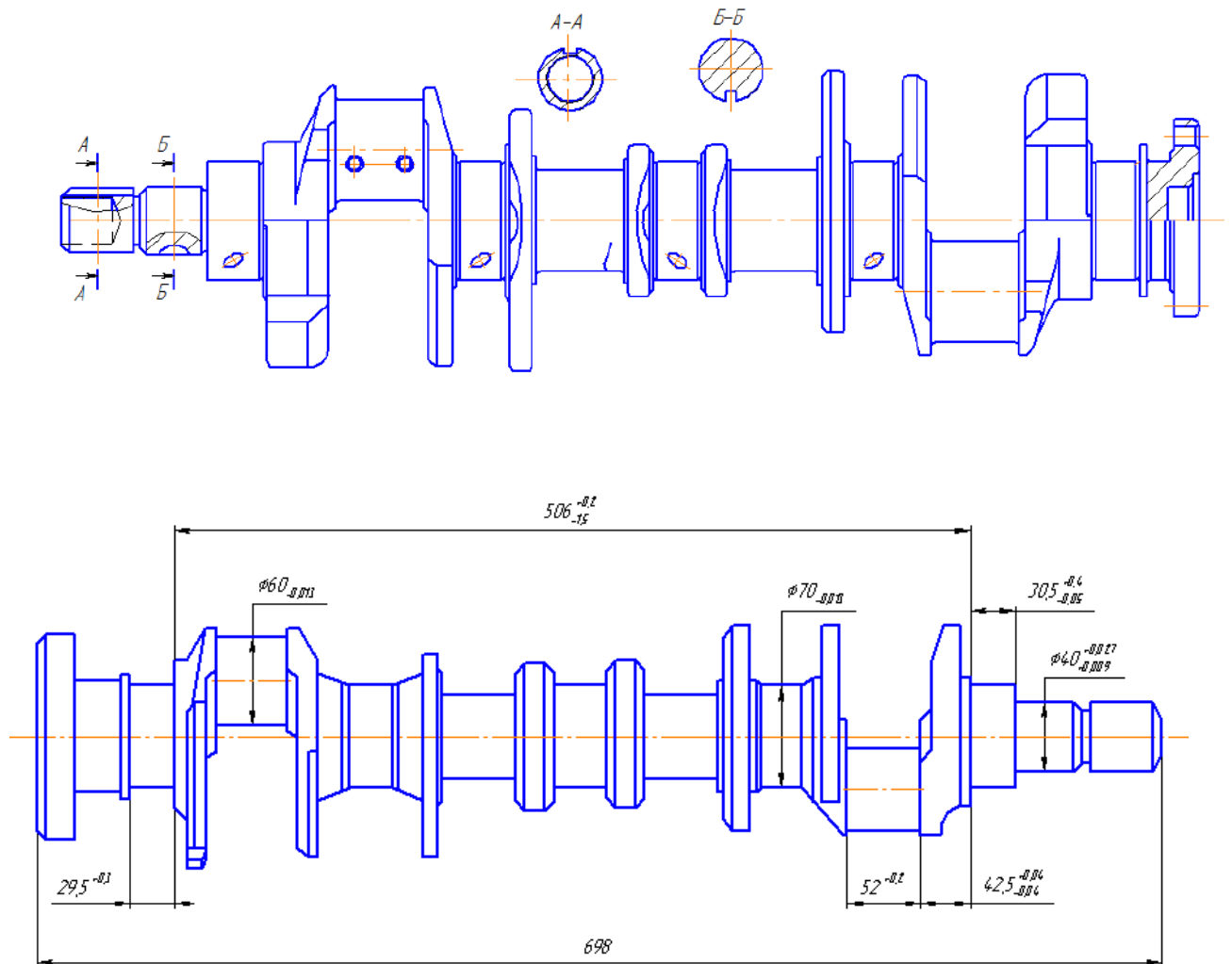


Рисунок 3.1 – Колінчастий вал двигуна 3МЗ-511.1000402 Євро-0

Храповик для провертання колінчастого валу пусковою рукояткою закручено у торцевий отвір носка валу. Він стягує деталі, які знаходяться на носку колінчастого валу: упорну шайбу, мастиловідбивач, шестерню колінчастого валу, маточину шківa. У шпонковий паз маточини вставлено ущільнювач з гуми, щоб запобігати підтіканню мастила (рис. 3.2).

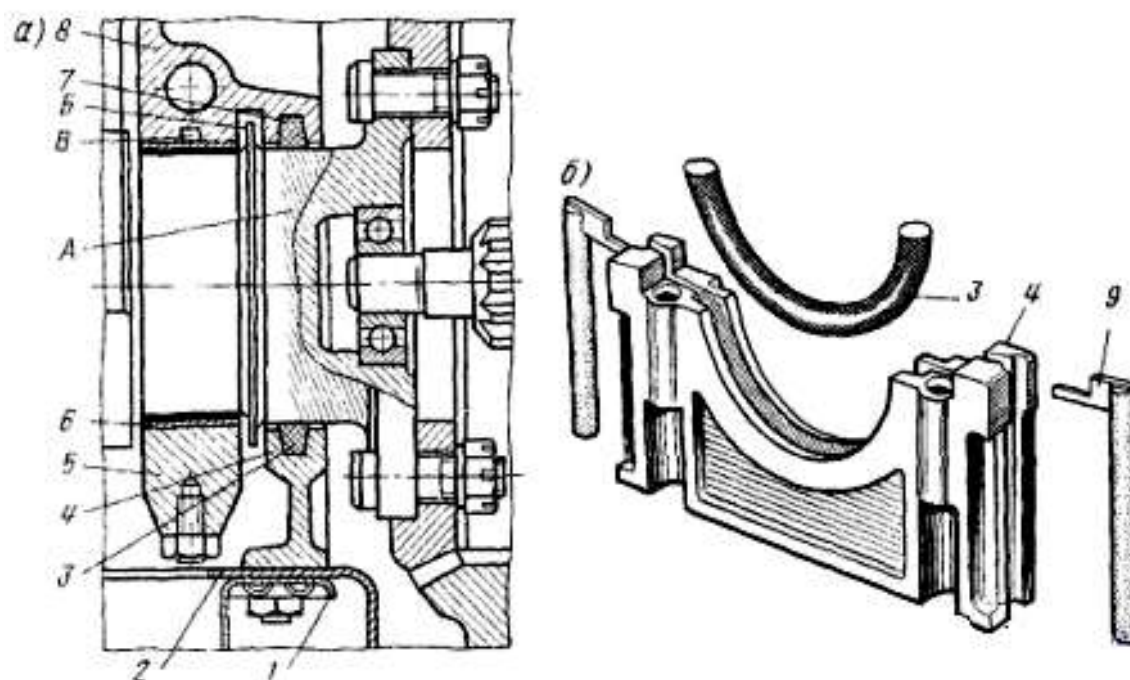
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ

Арк.

Задній кінець носка ущільнюють сальником з азбестового шнура, які просочують мастилографітовою сумішшю та укладають у канавки боків циліндрів і сальників-тримачів. Шийка носка, по якій рухається сальник, оснащено мастилозгінною накаткою А (рис. 3.2).

Щоб зменшити кількість мастила, яке подається до заднього сальника, на колінчастому валі передбачено мастиловідбивний гребінь Б. Бічні поверхні сальникотримача ущільнено гумовими ущільнювачами, які розміщено у ньому.



А – мастилозгінна накатка; Б – гребінь; В – мастилопідвідна канавка
а – задній кінець колінчастого валу; б – сальникотримач та ущільнювач;
1 – масляний картер; 2 – прокладка масляного картера; 3 і 7 – відповідно
нижній та верхній відрізки азбестового шнура; 4 – сальникотримач; 5 – кришка
корінного підшипника; 6 – вкладиш корінного підшипника; 8 – блок циліндрів;
9 – бічний ущільнювач

Рисунок 3.2 – Ущільнення заднього кінця колінчастого валу

Колінчастий вал працює у дуже несприятливих умовах. На нього діють [7, 8]:

- ударні динамічні навантаження;
- сили тертя;
- неурівноважені моменти;
- крутильні коливання і вібрації;
- високі температури;
- статичні навантаження від деталей, що сполучаються.

3.1 Прискорений знос шийок

Дуже швидкий знос шийок колінчастого валу найчастіше пов'язаний з проблемами блоку (рис. 3.3). Обов'язково необхідно перевірити геометрію посадкових місць блоку під підшипники. У цьому випадку колінчастий вал може "бовтатися" в ліжках блоку, що призводить до суттєвого збільшення навантажень і швидкого зносу.



Рисунок 3.3 – Знос шатунної шийки

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.2 Задири на поверхнях шийок

Задири на шийках колінчастого валу, як правило, пов'язані зі станом системи змащування. Тут може бути дуже велике число чинників: неякісне мастило, порушення термінів його заміни, засмічення масляного фільтру, недостатній тиск у системі. Також задири можуть утворитися внаслідок проблем з охолодженням мотора або з порушенням температурного режиму, оскільки перегрів розріджує мастило (рис. 3.4, 3.5). Знос поршневих кілець призводить до попадання частинок пального або продуктів згорання в мастило, що також розріджує його.



Рисунок 3.4 – Задири упорних поверхонь



Рисунок 3.5 – Задири шийки вала

3.3 Прискорений знос поверхонь під півкільця осьового зміщення

Зустрічається значно рідше, ніж подряпини, задири або тріщини. Найчастіша причина – несправність приводу виключення зчеплення внаслідок неправильної експлуатації водієм. У разі такого дефекту необхідно замінити півкільця осьового зсуву і відремонтувати привід зчеплення. Потрібно звертати увагу на правильну експлуатацію для профілактики.

3.4 Подряпини на поверхнях шийок

Цей дефект зустрічається дуже часто. Слід відрізнити подряпини на шийках від втомних тріщин. Подряпина при огляді з лупою має світле дно, тоді як дно тріщини не є видимим (чорного кольору). При поліровці подряпина починає зникати, а тріщина залишається на місці. Подряпини розташовуються прямо на шийці, а тріщини захоплюють частину галтелі. Геометрично подряпина плавна, а тріщина має криву ламану форму. Невеликі подряпини природним чином з'являються при довготривалій експлуатації. Також подряпини утворюються за наявності сторонніх частинок у мастилі.

3.5 Биття та прогин

Більшою мірою до вигину осі схильні вали рядних двигунів з великою кількістю циліндрів. Також вигин частіше зустрічається в колінчастих валах, виготовлених з неякісного м'якого матеріалу. Перевірка колінчастого валу на вигин нескладна:

- вал укладають на призми, встановлені на рівній товстій металевій плиті;
- обертаючи колінчастий вал за допомогою індикатора, перевіряється прогинання його осі.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.6 Відхилення шийок від розміру

Поступовий знос шийок колінчастого валу – природний процес. При установці валу в двигун існують певні вимоги до розміру (вони різні для різних колінчастих валів): допуски для нових колінчастих валів складають не $>0,02$ мм. Допуск колінчастого валу при ремонті двигуна складає не $>0,05$ мм. Колінчасті вали з відхиленнями розмірів шийок не $>0,05$ мм однозначно підлягають шліфуванню на наступний ремонтний розмір.

3.7 Тріщини, злам

Тріщина колінчастого валу – найбільш небезпечний дефект, що призводить до втомного зламу, який виводить з ладу деталі, які з ним сполучаються (рис. 3.6, 3.7).

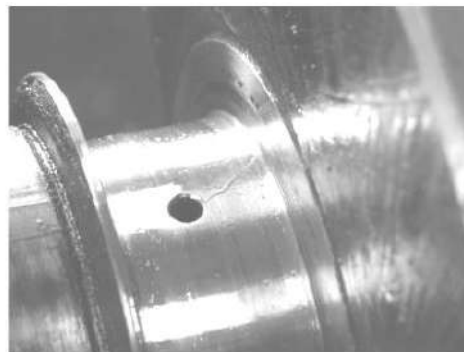


Рисунок 3.6 – Тріщина в шийці колінчастого валу



Рисунок 3.7 – Злам шийки колінчастого валу

На рис. 3.8 і 3.9 наведені макроструктури зламу.



Рисунок 3.8 – Макроструктура зламу у щоці: перехід із зони розвитку тріщини у зону руйнування (50:1)

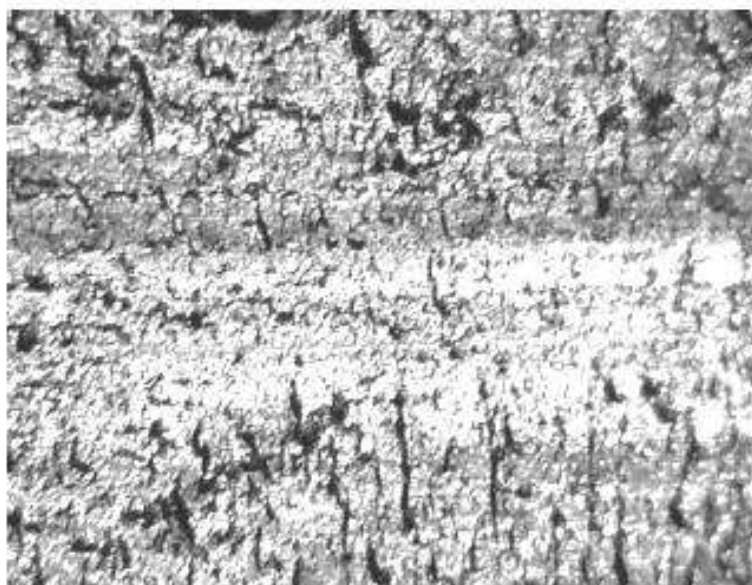


Рисунок 3.9 – Макроструктура поперечного зламу шийки: зона розвитку тріщини (50:1)

4 Вибір матеріалу колінчастого валу

4.1 Хімічний склад матеріалу колінчастого валу

Колінчастий вал відливається з високоміцного модифікованого магнієм чавуну ВЧ 50-1,5 ДЕСТ 7293-85 (СТ СЭВ 4558-84). Хімічний склад високоміцного чавуну ВЧ-50-1,5 наведено у табл. 4.1 [11].

Таблиця 4.1 – Чавун ВЧ-50-1,5: масова доля елементів, %

Вуглець, C	Кремній, Si	Марганець, Mn	Фосфор, P	Сірка, S	Хром, Cr	Мідь, Cu	Нікель, Ni
3,0-3,3	2,2-2,6	0,3-0,7	0,1	0,02	0,15	-	-

Високоміцний чавун з кулястою формою включень графіту (ВЧКГ) називають високоміцним і маркують буквами ВЧ. Далі йдуть числа:

- межа міцності на розтяг $\sigma_b = 500$ МПа;
- відносне видовження $\delta = 1,5\%$.

ВЧКГ — це матеріал, який має відмінні експлуатаційні характеристики, володіє високою міцністю і використовується в конструкційних цілях [9]. При виробництві виливків у сплав додають Mg, який надає графіту не пластинчасту, а кулясту форму. Тому такий чавун має вищі показники якості порівняно з СЧ) і може порівнятися із сталлю за деякими фізико-механічними показниками.

Виплавка такого сплаву проста і основним методом отримання цього чавуну є магнієвий процес. Сам процес є додаванням в розплав металевого Mg магнієвих лігатур, які мають різні комплексні модифікатори.

Структура металевої основи може бути як феритною, так і перлітною. У феритній основі може бути до 20% включень перліту, а в перлітній — до 20% фериту.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

4.2 Механічні властивості високоміцного чавуну з кулястим графітом

Механічні властивості чавуну регламентуються ДЕСТ 7293-85 [12] і представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Механічні властивості високоміцного чавуну з кулястим графітом ВЧ-50-1,5

Тимчасовий опір при розтягу σ_B , МПа	Умовна границя текучості σ_{02} , МПа	Відносне подовження, δ , %	Твердість по Брінеллю, НВ
500	320	7	153-245

4.3 Мікроструктура високоміцного чавуну з кулястим графітом

Мікроструктура високоміцного чавуну підрозділяється на феритну, феритоперлітну, перлітну, перлітоцементитоферитну та аустенітну [9].

Металева основа чавуну ВЧ 50-1,5 – перлітно-феритна (змішана) [9, 12]. У високоміцних чавунах вміст С близько 3-3,3 %. Якщо узяти як модифікатор Mg (до 0,5% від маси виливка), який вводять перед розливанням у рідкий чавун, то графіт, що виділяється, набуває кулясту форму (рис. 4.1).

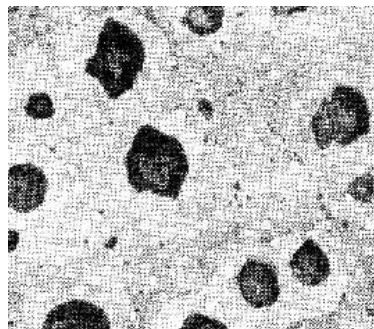


Рисунок 4.1 – Мікроструктура високоміцного чавуну на ферито-перлітній основі (графіт у формі сфероїдів)

4.4 Вплив перегріву на будову чавуну

Нагрівання рідкого чавуну до t , яка перевищує t ліквідусу, супроводжується поступовим розчиненням листочків графіту і кристалів цементиту. При невеликому перегріві чавуну і виливанні його у форму виявляються великі пластинки графіту. При підвищенні перегріву пластинки стають дрібніше. Чим вище t перегріву, тим досконаліше розподіл атомів С між шістьма атомами Fe.

Якщо вилити сплав у форму після високого перегріву, наприклад, з $t=1450^\circ$, то в чавуні з'явиться більше зв'язаного С, ніж після низького перегріву. Пластинки графіту стають дрібними, а загальні властивості чавуну з підвищенням температури перегріву поліпшуються. З підвищенням температури рідкої ванни збільшується інтенсивність окислення Si і Mn, а потім і С. Перегрів чавуну у відбивній або в дуговій електричній печі при високій температурі супроводжується вспінюванням шлаку, а потім кипінням ванни. Це сильно впливає не тільки на будову чавуну (роздрібнення графіту), але і на значне виділення окислу С.

Дуже сильний перегрів чавуну, наприклад, до $(1500-1550)^\circ\text{C}$, вимагає вживання заходів по елімінації пористості, тобто розкислювання та усунення розчиненого активного закису Fe — першоджерела реакції окислення С. Помірно високий перегрів чавуну (до 1450°C), навпаки, є корисною операцією, сприяючою роздрібненню величини первинного зерна аустеніту і, отже, графіту в чавуні доевтектичного складу. Не дивлячись на високу температуру випуску з доменної печі $(1500 - 1550)^\circ\text{C}$, графіт кристалізується у вигляді великих листочків, метал гранично насичений розчиненими газами і тому властивості чавуну першої плавки завжди нижчі за властивості переплавленого чавуну.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

5 Проектування ТП відновлення чавунного колінчастого валу двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0

5.1 Технології відновлення чавунних колінчастих валів

5.1.1 Шліфування під ремонтні розміри

Переваги цього способу – в його технологічній простоті [7]. З устаткування потрібна наявність круглошліфувального верстата і типового оснащення до нього. Але у цього способу є і ряд недоліків. Втрата взаємозамінності деталей, потреба в деталях (вкладиші) з ремонтними розмірами, наявність складських площ під них.

5.1.2 Вібродугове наплавлення у водокисневому середовищі

Наплавлений метал має структуру троститу, яка переходить у сорбітоподібний перліт (HRC 42-48). Він за зносостійкістю поступається ВЧ, проте, колінчасті вали, відновлені таким способом, мають термін служби двигунів за пробігом автомобіля 50000-60000 км. Експлуатаційні властивості таких валів вивчено недостатньо, тому через низьку (порівняно з ВЧ) зносостійкістю наплавленого металу цей спосіб не рекомендують до використання [7, 16].

5.1.3 Одношарове наплавлення під флюсом

Для наплавлення застосовують дроти наступних марок: Св-08, НП-30ХГСА, Св-12ГС, Св-10Х13 тощо. Наплавлення проводиться під флюсами ОСЦ-45, АН-20, АН-348А, АН-15 без і з домішуванням до флюсу графіту,

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

феромарганцю, ферохрому, алюмінієвого порошку, феромолібдену та ін. додатків, щоб отримати наплавлений метал мартенситної структури (твердість HCR 56-62 без пор і тріщин).

Наплавлення проводиться прямою і зворотною полярністю при різному кроці і різних напруг дуги та індуктивності зварювального ланцюга, обертання деталі та швидкості подачі електродного дроту. Усі різновиди одношарового наплавлення під флюсом не дають позитивних результатів. Наплавлений метал має неоднорідну структуру і твердість, містить тріщини, пори та шлакові включення.

5.1.4 Газоплазмове напилення дротом або стержнями

При газоплазмовому напиленні дротом або стержнями матеріал, що розпилюється, безперервно подається в центр ацетилен-кисневого полум'я і там оплавляється. За допомогою розпилюючого (диспергуючого) газу (стислого повітря або азоту) розплавлені краплі видувуються із зони плавлення і у напрямі підготовленої деталі. Газоплазмове напилення дротом – одне з найпоширеніших способів з дуже високою якістю покриття. У автомобілебудуванні щорічно більше 100 т Мо напилюється на вилки перемикачів, кільця синхронізації і поршневі кільця [14].

Термічна енергія: 3160°C; кінетична енергія: до 200 м/с; продуктивність 6-8 кг/год..

5.1.5 Газоплазмове напилення порошком

Порошкоподібні частинки напилюваного матеріалу плавляться або оплавляються в ацетилен-кисневому полум'ї та за допомогою горючого газу, що розширюється, швидшають у напрямі підготовленої поверхні деталі. Якщо

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

потрібно, то для прискорення порошку можна використовувати додатковий газ (аргон або азот). Існує більше 100 різних порошкових матеріалів.

Термічна енергія: 3160°C; кінетична енергія: до 50 м/с; продуктивність 1-6 кг/год..

5.1.6 Надзвукове газоплазмове напилення

При надзвуковому газоплазмовому напиленні відбувається постійне горіння газу при високому тиску усередині камери згорання, на вісь якої подається порошкоподібний напилюваний матеріал. Створюваний високий тиск в камері згорання сумішшю горючого газу і киснем забезпечує у профільованому соплі необхідну високу швидкість газового потоку. Завдяки цьому напилювані частинки отримують великі швидкості, що веде до утворення надзвичайно щільних і з відмінною адгезією покриттів. Достатня температура призводить у процесі напилення до незначних металургійних змін (мінімальне утворення твердого розчину карбідів). При цьому утворюються екстремально тонкі покриття з високою точністю розмірів. Як горючі гази можна використовувати пропан, етан, ацетилен, водень та інші гази.

Термічна енергія: 3160°C; кінетична енергія: до 550 м/с; продуктивність 2-8 кг/год..

5.1.7 Детонаційне напилення

Напилення ударом полум'ям є переривчастим періодичним процесом напилення. Так звані детонаційні гармати складаються з вихідної труби, на кінці якої знаходиться камера згорання. У неї вводиться газопорошкова (ацетилен-кисень-порошок) суміш, яка підпалюється іскрою. Ударна хвиля, що утворюється в трубі, прискорює напилювані частинки. Вони нагріваються у

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

фронті полум'я, отримують високі швидкості у напрямі підготовленої деталі. Після кожної детонації проводиться очищення камери і труби N_2 . Дуже висока якість покриттів виправдовує у багатьох випадках високі фінансові витрати.

Термічна енергія: $3160^{\circ}C$; кінетична енергія: до 600 м/с; продуктивність 3-6 кг/год..

5.1.8 Плазмове напилення

При плазмовому напиленні порошок всередині або зовні плазмового пістолета плавиться плазмовим струменем і прямує до деталі, яка покривається [15]. Плазма генерується електричною дугою, що горить в Ar, Ge, N_2 , H_2 або їх суміші. При цьому відбувається дисоціація та іонізація газів, які отримують високу швидкість на виході й при рекомбінації віддають своє тепло напилюваним частинкам.

Електрична дуга горить між центральним катодом і водоохолоджуванним анодом. Цей спосіб використовують при нормальній атмосфері, в захисному газі (наприклад, Ar), у вакуумі і під H_2O .

Термічна енергія: $20000^{\circ}C$; кінетична енергія: до 450 м/с; продуктивність 4-8 кг/год..

5.1.9 Лазерне напилення

При лазерному напиленні порошок вводиться в лазерний промінь через сопло. Лазерним променем порошок і мала частка підкладки (мкм) плавляться, металургійно з'єднуються. Для захисту зварювальної ванни служить захисний газ.

Термічна енергія: $10000^{\circ}C$; кінетична енергія: до 1 м/с; продуктивність 1-2 кг/год..

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

5.1.10 Електродугова металізація

При електродуговій металізації два дроти однакові або різні за складом плавляться електричною дугою, що горить між ними, і розпилюючим (диспергуючим) газом (повітрям) прискорюється у напрямі деталі, яка покривається. Процес електродугової металізації – це напилення з високою продуктивністю, але він придатний тільки для розпилювання електропровідних матеріалів. Перспективним є використання термореагуючих порошкових дротів. При використанні у процесі розпилюванні N_2 або Ar окислення матеріалів не відбувається.

Термічна енергія: $4000^{\circ}C$; кінетична енергія: до 150 м/с; продуктивність 8-20 кг/год..

5.1.11 Холодне напилення

При холодному напиленні йдеться про нове покоління надзвукового газоплазмового напилення. Кінетична енергія напилюваних частинок при цьому збільшується, а термічна – зменшується. Тому можна створювати майже повністю безоксидне покриття. Порошок нагрівається газовим струменем до $6000^{\circ}C$, відповідним тиском прискорюється до $V > 1000$ м/с і наноситься безперервним потоком на поверхню, яка. Продуктивність напилення – від 3 до 15 кг/год.. Термічна енергія: $500^{\circ}C$; кінетична енергія: 550-1000 м/с; продуктивність 6-8 кг/год..

5.1.12 Відновлення наплавленням під легуючим флюсом по оболонці

Суть способу [16-18]:

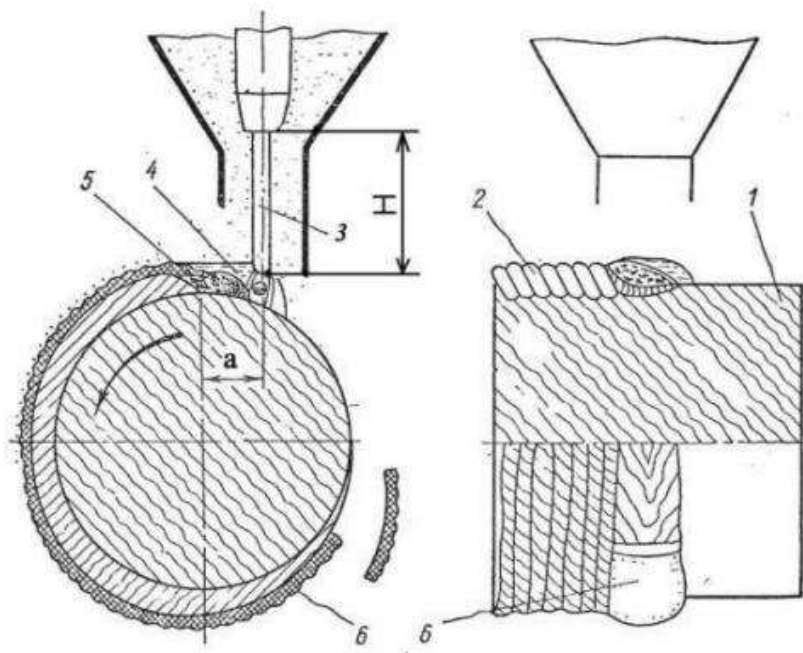
– колінчастий вал обтискають листовою сталлю (оболонкою);

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- її притискують до поверхні колінчастого валу спеціальним пристосуванням;
- її прихоплюють до стику за допомогою зварювання у середовищі CO_2 ;
- автоматичне наплавлення під флюсом по металевій оболонці відбувається після вилучення пристосування (рис. 5.1).

Технічні вимоги:

- шийки після наплавлення мають твердість HRC 55-63;
- очищення масляних каналів та брудовлювачів;
- конусність та овальність шийок не $> \text{Ra } 0,2-0,4$;
- биття корінної шийки середньої відносно крайніх не $> 0,02 \text{ мм}$;
- непаралельність осей корінних і шатунних шийок не $> 0,012 \text{ мм}$.



Н – виліт електроду

1 – колінчастий вал; 2 – шар наплавлений; 3 – електрод; 4 – флюс розплавлений; 5 – ванна розплавленого металу; 6 – кірка шлакова; а – зміщення електроду із zenіту

Рисунок 5.1 – Схема наплавлення під шаром флюсу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ

Арк.

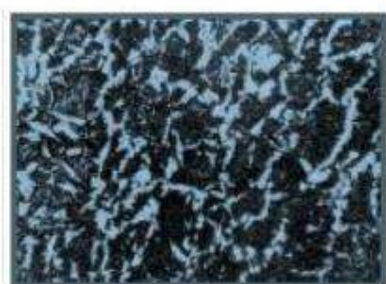
Відомо [16], що для усунення у наплавленому металі тріщин потрібно зменшити у ньому вміст С, Si, Mn, S і Р. Так як ВЧ містить велику кількість цих елементів, то у даній роботі застосували оболонку зі сталі 08 і дріт Св-08Г2С ДЕСТ 2246-70, що містять їх у незначній кількості (С = 0,10-0,15; Mn = 1,80-2,00; Si = 0,90-1,10).

Для наплавлення прийнято флюс АН-348-А (для отримання наплавленого металу мартенситних структури з твердістю HRC 56-62 у флюс додавали графіт ГЛ-1 і ферохром FeCr50C20, забезпечуючи утримання в наплавленого металі вуглецю 0,6-0,8% і необхідну кількість хрому).

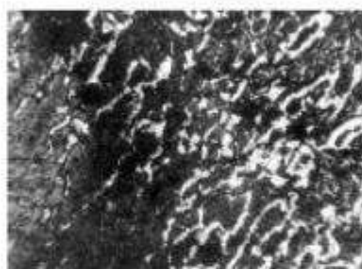
При товщині оболонки 0,8 мм тріщини і пори в наплавленого металі були відсутні, в той час як при звичайних способи наплавлення високоміцного чавуну при вмісті вуглецю (0,6-0,8)% тріщин і пір уникнути не вдається.

Аналіз мікроструктури наплавлених зразків (дріт Св-08Г2С) виявив наступні закономірності:

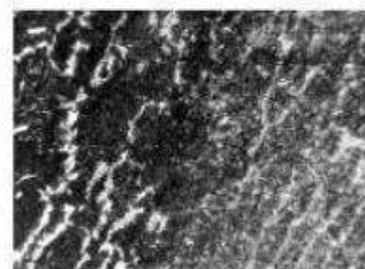
– у зоні наплавлення присутні зони з мілкодисперсним перлітом (рис. 5.2, а), який перебуває в середній частині наплавлення;



а



б



в

а – зона наплавлення; б – перехідна зона; в – зона термічного впливу

Рисунок 5.2 – Мікроструктура зразка, наплавленого дротом Св-08Г2С (200:1)

- в деяких місцях видно зони фериту, які повторюють напрямок плину металу (напрямок кристалізації – рис. 5.2, б, в);
- на відстані $> 3-4$ мм від межі наплавлення ферит представлений великими зернами (рис. 5.2, б), які з наближенням до зони наплавлення стають дуже дрібними; мікротвердість структурних складових в окремих зернах складає 2300-2500 МПа;
- перехідна зона зразків є сукупністю ферито-перлітної структури (рис. 5.2, в); перліт цих зон має зернисту будову.

5.2 Розробка маршрутного ТП

Для здійснення якісних наплавлювальних операцій вимагається проводити підготовку ремонтних поверхонь мийкою. Бруд, жирові та олійні плівки при зварювальних і наплавлювальних роботах призводять до утворення пір і тріщин. Часто поступаючі в ремонт вали мають підвищену деформацію. Для виправлення цього дефекту вимагається передбачити операцію правки. Шліфування корінних шийок валу проводять у центрах верстата.

Для виконання технологічних вимог по биттю корінних шийок, кожен перехід шліфування проводять за одну установку в центрах верстата. Для цього у ТП введена операція правки центрових фасок.

Захисні оболонки встановлюються на підготовлені поверхні шийок валу, які повинні мати шорсткість не нижче $Ra\ 1,25$. Для цього шийки валу шліфують на 1 мм менше останнього ремонтного розміру. Закріплення оболонок до шийок валу проводять зварюванням. Після закріплення оболонок потрібно наплавити галтелі шийок, а після цього – шийки валу, які під ремонтні розміри проводять за два рази (чорновим і чистовим шліфуванням). Обробка отворів олійних каналів проводиться перед чистовим шліфуванням, щоб не зіпсувати номінальні розміри на слюсарних операціях.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

При необхідності готові колінчасті вали, які не пройшли операцію контролю по биттю корінних шийок, правлять на пресі. Для цього у ТП повинна бути передбачена повторна операція правки.

Відновлення номінальних розмірів фланця маховика, шийки під шків вентилятора і різьби в отворі під храповик проводять токарним і слюсарним способом. Для виконання технічних вимог по шорсткості ($Ra\ 0,32$) шийки колінчастих валів полірують.

Технологія відновлення чавунних колінчастих валів автоматичним наплавленням під легуючим флюсом по оболонці наведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Технологія відновлення чавунного колінчастого валу

№ переходу	Найменування операції та переходу	Обладнання та інструмент
1	2	3
1. Мийка		
1.1	Промити колінчастий вал у гарячому розчині каустичної соди (10-15 гр. на 10 л)	Мийна машина ОМ-4267М
2. Слюсарна		
2.1	Установити колінчастий вал у лещата	Верстак слюсарний ВСО-02-04 Ключі Лещата ГМ 7216Н
2.2	Відкрутити пробки брудовловлювачів	
2.3	Зняти та перевернути деталь	
2.4	Повторити 2й перехід для інших шатунних шийок	
2.5	Зняти колінчастий вал	
3. Очистка брудовловлювачів		
3.1	Установити деталь у лещата	Верстак слюсарний ВСО-02-04 Ключі Лещата ГМ 7216Н
3.2	Вибити бруд з 2х брудовлювачів	
3.3	Перевернути деталь	
3.4	Вибити бруд з 2х інших брудовлювачів	Металева щітка 41.7803.4006
3.5	Зняти колінчастий вал	

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
3.6	Поставити деталь на установку для промивання брудовлювачів	Установка для промивання брудовлювачів GrunBaum INJ3000
3.7	Промити брудовлювачі	
3.8	Зняти колінчастий вал	
4. Мийка		
4.1	Промити деталь у гарячому розчині каустичної соди (10-15 гр. на 10 л)	Мийна машина ОМ-4267М
5. Контроль		
5.1	Установити деталь 1ю і 5ю корінними шийками на призми	Контрольна плита Призми ПІ-1 кл.0 35x40x30 Б-608 ДЕСТ 5641
5.2	Перевірити биття 3ї корінної шийки. При битті > 0,2 мм фарбувати червоною фарбою (такий вал правлять на пресі)	Індикатор ІЧ-10 ДЕСТ 577-68 Фарба Металева щітка 41.7803.4006
5.3	Зняти колінчастий вал	
6. Правка		
6.1	Встановити колінчастий вал в електропіч, нагріти його до 400°C	Електропіч СНОЛ (SNOL) 30/1300
6.2	Витягнути вал з електропечі та установити 1ю і 5ю корінними шийками на призми пресу	Призми ПІ-1 Прес ТУ10003 TORIN
6.3	Перевірити биття 3ї корінної шийки та виправити вал до биття, яке не > 0,2 мм	Індикатор ІЧ-02 кл.0
6.4	Зняти колінчастий вал	
7. Центрування		
7.1	Установити колінчастий вал фланцем у патрон, а шийку під шестерню – в люнет	Токарний верстат 1К62, Патрон 3х-кулачковий К11-80
7.2	Виставити колінчастий вал; при цьому забезпечити биття 3ї корінної шийки не > 0,2 мм	Люнет ДІП 300 Індикатор ІЧ-02 кл.0
7.3	Перевірити різцем центрову фаску під <30° на глибину 3 мм	Різець ВК10
7.4	Зняти колінчастий вал	

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
8. Шліфування під наплавлення шатунних шийок		
8.1	Установити вал у центрозміщувачі по 1й та 4й шатунним шийкам	Круглошліфувальний верстат 3м153у
8.2	Шліфувати 1у і 4у шийки до Ø60,8 _{-0,2} мм	Центрозміщувачі
8.3	Повторити переходи 1 і 2 для 2ї та 3ї шатунних шийок	Шліфувальний круг Hitachi Htc-18060HR
8.4	Зняти колінчастий вал	
9. Шліфування під наплавлення корінних шийок		
9.1	Установити колінчастий вал у центри верстата	Круглошліфувальний верстат 3м153у
9.2	Шліфувати усі корінні шийки до Ø67,50 мм	Центри 7032-0115 ДЕСТ 2575-79
9.3	Зняти колінчастий вал	Мікрометр 0кл. МК-25-75 ДЕСТ 6507-90
10. Прихватка оболонок до корінних шийок		
10.1	Надіти оболонку на 1у шийку валу	Металева оболонка
10.2	Вставити колінчастий вал з оболонкою у затискні кільця стенду	Стенд для затиску
10.3	Виставити оболонку	Зварний півавтомат Tesla Weld MIG/MAG/MMA 500
10.4	Опустити колінчастий вал	
10.5	Включити пневмокамеру	
10.6	Прихватити оболонку	
10.7	Виключити пневмокамеру	
10.8	Підняти колінчастий вал	
10.9	Повторити переходи 1-8 для інших корінних шийок	
11. Контроль		
При постукуванні металевого стержня провести перевірку щільності прилягання оболонок. У випадку нещільного прилягання вилучити зубилом оболонку та надіти нову		Металевий стержень
12. Заварювання стику оболонок		
12.1	Покласти деталь на стіл для притиску оболонок	Див. операцію 10
13. Прихватка оболонок до шатунних шийок		
13.Повторити переходи операції 10		Див. операцію 10
14. Контроль		
14.Повторити усі переходи операції 11		Див. операцію 11

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
15. Заварка стику		
Повторити усі переходи операції 12		
16. Слюсарна		
Закрутити пробки у брудовловлювачі		Див. операцію 2
17. Наплавлення галтелей корінних шийок деталі у вуглекислому газі (CO₂)		
17.1	Установити колінчастий вал на установку шийкою під шків вентилятора у патрон, а отвором у фланці – в центр задньої бабки	Установка для наплавлення валів Дип-200
17.2	Наплавити ліві галтелі усіх корінних шийок	
17.3	Повернути мундштук на 180°	Мундштук для наплавлення валів
17.4	Наплавити праві галтелі усіх корінних шийок	Установка для наплавлення валів Дип-200 Штангенциркуль ШЦ-1-125 ДЕСТ-166-74
17.5	Зняти колінчастий вал	
18. Наплавлення галтелей шатунних шийок деталі у вуглекислому газі (CO₂)		
18.1	Установити колінчастий вал в центрозміщувачі	Центрозміщувачі
18.2	Наплавити ліві галтелі 1ї та 4ї шийки до Ø62,9 _{-1,1}	Установка для наплавлення валів Дип-200
18.3	Повернути мундштук на 180°	Мундштук для наплавлення валів
18.4	Наплавити праві галтелі 1ї та 4ї шатунних шийок до Ø62,9 _{-1,1}	Установка для наплавлення валів Дип-200. Штангенциркуль ШЦ-1-125 ДЕСТ-166-74
18.5	Повторити переходи 1, 2, 3,4 для 2ї та 3ї шатунних шийок	
18.6	Зняти колінчастий вал	
19. Наплавлення корінних шийок деталі під флюсом		
19.1	Установити колінчастий вал шийкою під шестерню в патрон і отвором – у фланці в центр задньої бабки	Флюс АН-348-А + 3,5% FeCr50C20 + 4% ГЛ-1

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
19.2	Очистити шийки від іржі та бруду	Установка для наплавлення валів Дип-200
19.3	Зачистити місця наплавлення і прихваток галтелей	Наждачне полотно
19.4	Пробити оболонки над отворами масляних каналів	Бородок 7851-0168 ДЕСТ 7214-72
19.5	Закрити отвори масляних каналів графітовою пастою	15% рідке скло+85% ГЛ-1
19.6	Наплавити шийку до $\varnothing 72,95_{-1,1}$ мм	Установка для наплавлення валів Дип-200
19.7	Повторити 7й перехід для інших шийок	
19.8	Зняти колінчастий вал	
20. Наплавлення шатунних шийок деталі		
20.1	Установити деталь у центрозміщувачі	Центрозміщувачі
20.2	Очистити шийки від іржі та бруду	Установка для наплавлення валів Дип-200. Бородок 7851-0168 ДЕСТ 7214-72
20.3	Зачистити місця наплавлення і прихваток галтелей	
20.4	Пробити оболонки над масляними отворами	
20.5	Закрити отвори масляних каналів пастою графітовою	Див. операцію 19
20.6	Наплавити 1у шатунну шийку до $\varnothing 62,9_{-1,1}$ мм	Установка для наплавлення валів Дип-200
20.7	Повторити 6й перехід для 4ї шийки	
20.8	Повторити переходи 1, 2, 3, 4, 5, 6 для 2ї і 3ї шатунних шийок	
20.9	Зняти колінчастий вал	
21. Попереднє шліфування шатунних шийок		
21.1	Установити колінчастий вал в центрозміщувачі по 1й і 4й шатунним шийкам	Центрозміщувачі Шліфувальний верстат 3А423
21.2	Шліфувати 1у шатунну шийку до $\varnothing 57,5_{-0,2}$ мм	Див. операцію 8
21.3	Повторити перехід 2й для 4ї шатунної шийки	
21.4	Повторити перехід 1й і 2й для 2ї і 3ї шатунних шийок	

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
21.5	Зняти колінчастий вал	
22. Контроль		
Перевірити якість наплавленого шару; раковини, пори, тріщини, шлакові включення не допустимі; зішліфувати метал на бракованих шийках і наплавити новий під легуючим флюсом по оболонці		
23. Попереднє шліфування корінних шийок		
23.1	Установити колінчастий вал у центра круглошліфувального верстата	Див. операцію 9 Шліфувальний верстат ЗА423
23.2	Шліфувати корінні шийки до Ø70 _{-0,08} мм	
23.3	Зняти колінчастий вал	
24. Контроль		
Перевірити якість наплавленого шару; пори, тріщини, раковини, шлакові включення не допустимі; зішліфувати метал на бракованих шийках і наплавити новий під легуючим флюсом по оболонці		
25. Обробка отворів масляних каналів		
25.1	Установити колінчастий вал у корінні постелі блока двигуна на столі свердлувального верстата	Вертикально-свердлувальний верстат EUROTEC
25.2	Роззенкувати отвори масляних каналів на шатунних шийках	Технологічний блок двигуна
25.3	Роззенкувати отвори масляних каналів на корінних шийках	Зенкер Ø10 мм
25.4	Продути отвори масляних каналів	Пістолет 199 ГАРО
25.5	Зняти колінчастий вал	
26. Контроль		
Перевірити якість роззенковки масляних отворів		
27. Кінцеве шліфування шатунних шийок		
27.1	Установити колінчастий вал у центрозміщувачі	Центрозміщувачі Шліфувальний верстат ЗА423 Див. операцію 8
27.2	Шліфувати 1шу шатунну шийку до Ø60 _{-0,013} мм	
27.3	Повторити перехід 2й для 4ї шатунної шийки	
27.4	Повторити переходи 1й, 2й, 3й для 2ї та 3ї шатунних шийок	
27.5	Зняти колінчастий вал	

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
28. Кінцеве шліфування корінних шийок		
27.1	Установити колінчастий вал у центри кругло-шліфувального верстата	Див. операцію 9 Шліфувальний верстат 3А423
27.2	Шліфувати корінні шийки до Ø70 _{-0,013} мм	
27.3	Зняти колінчастий вал	
29. Контроль		
29.1	Установити колінчастий вал 1ю та 5ю корінними шийками на призми	Призми
29.2	Провести зовнішній огляд. Раковини, пори, тріщини, шлакові включення не допустимі	Скоби. Зразки шершавості ДЕСТ 9378-75
29.3	Перевірити Ø шийок	
29.4	Перевірити HRC на одному колінчастому валі з партії	Твердість повинна бути HRC 56-62
29.5	Перевірити биття 3ї корінної шийки, шийок під розподільчу шестерню і під шків вентилятора, биття фланця торцеве	Індикатор ИЧ-10 ДЕСТ 577-68
30. Правка		
30.1	Установити колінчастий вал крайніми шийками на призми	Призми
30.2	Перевірити биття 3ї корінної шийки	Пристосування для правки Індикатор ИЧ-10 ДЕСТ 577-68
30.3	Правити колінчастий вал (биття не>0,05 мм)	
30.4	Зняти колінчастий вал	
31. Виправлення фланця кріплення маховика		
31.1	Торцювати торцеву поверхню фланця зі сторони маховика начисто, забезпечивши биття торця не > 0,04 мм	Патрон 3х-кулачковий K11-80 Люнет ДИП 300 Індикатор ИЧ-10 ДЕСТ 577-68
31.2	Перевірити різцем центрову фаску (60°) на глибину 2,5 мм	Різець підрізний ВК8 Різець прохідний ВК8
31.3	Зняти фаску 3 х 45 по кромці фланця	Фаскомір ДЕСТ 1364 74
31.4	Зняти колінчастий вал	

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
32. Виправлення отвору у фланці під підшипник		
32.1	Закріпити шийку колінчастого валу під розподільну шестерню у патрон і 5у шийку валу – в люнет	Патрон 3х-кулачковий K11-80 Люнет ДИП 300
32.2	Вивірити биття по середній шийці. Воно не повинно бути > 0,05 мм	Індикатор ИЧ-10 ДЕСТ 577-68
32.3	Розточити отвір під ремонтну втулку до $\varnothing 44^{+0,05}$ на довжину 13 мм	Різець розточний ВК8 Нутромір НІ 50-100. ДЕСТ 868-82
32.4	Притупити гострі кромки	Шабер
32.5	Зняти колінчастий вал	
33. Слюсарна		
33.1	Закріпити колінчастий вал у лещатах	Верстак слюсарний ВСО-02-04
33.2	Запресувати ремонтну втулку з розмірами: зовнішній $\varnothing 44,06^{+0,02}$ мм; внутрішній $\varnothing 38,5^{+0,5}$; лінійний 13 _{-0,3} мм	Оправка Молоток ДЕСТ 2310-77 Лещата ГМ 7216Н Мідні прокладки
33.3	Зняти колінчастий вал	
34. Розточка отворів		
34.1	Закріпити колінчастий вал за шийку під маточину шків у патрон та 5ю шийкою – в люнет	ИЧ-10 ДЕСТ 577-68 Люнет ДИП 300
34.2	Вивірити биття по середній шийці. Биття не повинно бути > 0,05 мм	Нутромір
34.3	Розточити отвір у втулці під номінальний розмір до $\varnothing 40^{-0,012}_{-0,028}$ мм	Різець розточний ВК8
34.4	Зняти фаску 2,5 x 60° (по кромці втулки)	Фаскомір
34.5	Зняти колінчастий вал	
35. Відновлення шийки під шків вентилятора		
35.1	Установити вал фланцем кріплення маховика у патрон, а корінною шийкою в люнет; хвостовик підтиснути центром	Патрон 3х-кулачковий K11-80 Люнет ДИП 300
35.2	Вивірити биття по середній шийці. Воно не повинно бути > 0,05 мм	Індикатор ИЧ-10 ДЕСТ 577-68
35.3	Провести накатку зовнішньої поверхні шийки під шків вентилятора	Накатка-рифлення пряма

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
35.4	Проточити шийку під маточину шківів вентилятора до номінального $\varnothing 28^{+0,020}_{+0,003}$ мм	Різець прохідний ВК8 Скоба СР 75 ДЕСТ 11098-75
35.5	Зняти колінчастий вал	
36. Прогонка різьби в отворі під храповик при зриві різьби до 5ти ниток		
36.1	Закріпити колінчастий вал в лещата	Верстак слюсарний ВСО-02-04 Лещата ГМ 7216Н
36.2	Зняти колінчастий вал	
36.3	Перевірити якість прогонки різьби	Мітчик М27х2 Вороток
37. Нарізка ремонтної різьби в отворі під храповик при зриві різьби >5ти ниток		
37.1	Закріпити колінчастий вал фланцем у патрон та 1ю шийкою в люнет	Патрон 3х-кулачковий К11-80 Люнет ДИП 300
37.2	Вивірити биття по середній шийці. Воно не повинно бути > 0,05 мм	Індикатор ІЧ-10 ДЕСТ 577-68
37.3	Розсвердлити отвір із зірваною різьбою до $\varnothing 12$ мм	Свердло $\varnothing 12$ мм
37.4	Нарізати ремонтну різьбу М14х2 на глибину 29 мм	Мітчик М14х2 Вороток
37.5	Проточити фаску 3х30°	Різець розточний ВК8
37.6	Зняти колінчастий вал	
38. Контроль		
Перевірити різьбу М14х2 і фаску 3х30		Пробка різьбова М14х2
39. Полірування шийок		
39.1	Установити колінчастий вал у центри верстата	Пристосування для полірування ОШС-ПЦ Центри 7032-0115 ДЕСТ 2575-79 Алмазна стрічка АС080/63-100% Р9 або 41.2792.4008)
39.2	Полірувати корінні та шатунні шийки валу	
40. Мийка		
Продути та промити колінчастий вал		Пістолет 199 ГАРО Стиснуте повітря Уайт-спирит ДЕСТ 3134-78

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ

Арк.

Продовження таблиці 5.1		
1	2	3
41. Комплектація		
Змастити колінчастий вал, загорнути у промаслений папір і відправити на склад		Масило АИ-20 Промаслений папір

Режим наплавлення галтелей корінних і шатунних шийок у вуглекислому газі (CO₂):

- електродний дріт Св-08Г2С;
- сила струму 100 А;
- напруга 20 В;
- швидкість зварювання 18 м/год.;
- витрата газу 7 м³/хв.

5.3 Розробка режимів відновлення шатунних і корінних шийок

Зварювальний струм [16-18]:

$$I_{зв} = 40\sqrt[3]{D}, \quad (5.1)$$

де D – діаметр колінчастого валу, мм.

Зварювальний струм (А) для шатунних (Ø60,0 мм) і корінних (Ø70,0 мм) шийок:

$$I_{зв} = 40 (3,90) - 40(4,10) = 156,0 - 164,0 \quad (5.2)$$

Приймається $I_{зв} = 160,0$ А.

Напруга при наплавленні приймається $U = 20$ В.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Діаметр дроту приймається $d_{dp} = 1,70$ мм.

Для шийки під шестерню ($\varnothing 40,0$) мм зварювальний струм, А [16]:

$$I_{зв} = 40,0 \cdot 3,50 = 140,0 \quad (5.3)$$

Приймається $I_{зв} = 140,0$ А.

Напруга при наплавленні приймається $U = 18$ В.

Діаметр дроту $d_{dp} = 1,30$ мм.

Швидкість наплавлення [17]:

$$V_H = \frac{\alpha_H \cdot I}{h \cdot S \cdot \gamma}, \text{ м/год.}, \quad (5.4)$$

де $\alpha_H = 10-12$ г/А·год. – коефіцієнт наплавлення:

$I = 160,0$ А – сила струму;

$h = 1,97$ мм – товщина шару, що наплавляється;

$S = 3,50$ мм/об. – крок наплавлення;

$\gamma = 7,85$ г/см³ – густина електродного дроту.

Швидкість наплавлення:

– шатунні шийки:

$$V_{Hш} = \frac{10 \cdot 160}{1,97 \cdot 3,5 \cdot 7,85} = 29,56 \text{ м/год.},$$

– корінні шийки:

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$V_{Hк} = \frac{10 \cdot 160}{1,84 \cdot 3,5 \cdot 7,85} = 31,65 \text{ м/год},$$

– шийки під шестерню:

$$V_{Hш} = \frac{10 \cdot 140}{1,458 \cdot 2,64 \cdot 7,85} = 30,21 \text{ м/год}.$$

Приймається швидкість наплавлення $V_H = (29,0-32,0) \text{ м/год}$.

Частота обертання колінчастого валу:

$$n = \frac{1000 \cdot V_H}{60 \cdot \pi \cdot d}, \text{ хв}^{-1}, \quad (5.5)$$

де d – діаметр колінчастого валу, мм.

Частота обертання колінчастого валу [19]:

–шатунні шийки:

$$n = \frac{1000 \cdot 29,56}{60 \cdot 3,14 \cdot 60} = 2,61 \text{ хв}^{-1},$$

–корінні шийки:

$$n = \frac{1000 \cdot 31,65}{60 \cdot 3,14 \cdot 70} = 2,40 \text{ хв}^{-1},$$

– шийки під шестерню:

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{1000 \cdot 30,21}{60 \cdot 3,14 \cdot 40} = 4 \text{ хв}^{-1}.$$

Частота обертання колінчастого валу $n = (2,5-4,5) \text{ хв}^{-1}$.

Швидкість, з якою подається електродний дріт [20]:

$$V_{\text{ДР}} = \frac{4 \cdot \alpha_H \cdot I}{\pi \cdot d_{\text{ДР}}^2 \cdot \gamma}, \text{ м/год.}, \quad (5.6)$$

де $d_{\text{ДР}} = 1,6 \text{ мм}$ – діаметр електродного дроту.

Швидкість з якою подається електродний дріт:

–шатунні та корінні шийки:

$$V_{\text{ДРшук}} = \frac{4 \cdot 10 \cdot 160}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,85} = 101,42 \text{ м/год.},$$

– шийки під шестерню:

$$V_{\text{ДРшест}} = \frac{4 \cdot 10 \cdot 140}{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 7,85} = 115,92 \text{ м/год.}$$

Крок наплавлення [16]:

$$S = (2,0-2,5)d_{\text{ДР}}, \text{ мм} \quad (5.7)$$

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$S = 3,50$ мм/об. – для шатунних і корінних шийок;

$S = 2,64$ мм/об. – для шийок під шестерню.

Зсув електроду [19]:

$$l = (0,04-0,08)d, \text{ мм} \quad (5.8)$$

де d – діаметр колінчастого валу, мм;

$l = 3,00$ мм – для шатунних шийок;

$l = 3,50$ мм – для корінних шийок;

$l = 2,00$ мм – для шийок під шестерню.

Виліт електроду [19]:

$$\delta = (9,0-13,0)d_{DP}, \text{ мм.} \quad (5.9)$$

$\delta = 17,50$ мм – для корінних і шатунних шийок;

$\delta = 13,10$ мм – для шийок під шестерню.

Товщина покриття h [19]:

$$h = \frac{3}{2} + z_1 + z_2, \text{ мм} \quad (5.10)$$

де 3 – знос колінчастого валу, мм;

$z_1 = (0,10-0,30)$ мм – припуск на обробку перед покриттям на сторону;

z_2 – припуск на механічну обробку після нанесення покриття на сторону,
мм.

$h_{ШатШ} = 1,95$ мм – товщина покриття для шатунних шийок;

$h_{КорШ} = 1,85$ мм – товщина покриття для корінних шийок;

$h_{ШШест} = 1,46$ мм – товщина покриття для шийок під шестерню.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Норма часу на виконання наплавлювальних робіт [21]:

$$T_{Напл} = T_0 + T_{допом} + T_{додатк} + \frac{T_{ПЗ}}{n}, \quad (5.11)$$

де T_0 – основний час:

$$T_0 = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{1000 \cdot V_H \cdot S}, \text{ хв.}, \quad (5.12)$$

де l – довжина ділянки колінчастого валу, що наплавляється, мм;

$n = (10-15)$ шт. – кількість колінчастих валів, що наплавляються.

Шатунні шийки:

$$T_{0шии} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 208}{1000 \cdot 29,56 \cdot 3,5} = 0,38 \text{ год.} = 23 \text{ хв.}$$

Корінні шийки:

$$T_{0кии} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 152,5}{1000 \cdot 31,65 \cdot 3,5} = 0,3 \text{ год.} = 18 \text{ хв.}$$

Шийки під шестерню:

$$T_{0шест} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 45}{1000 \cdot 30,21 \cdot 2,64} = 0,071 \text{ год.} = 4,5 \text{ хв.}$$

$T_{допом} = (2,0-5,0)$ хв. – допоміжний час наплавлення [22];

$T_{додатк}$ – додатковий час [22]:

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{додатк}} = \frac{(T_0 + T_{\text{допом}}) \cdot \text{Дод}}{100}, \text{ хв}, \quad (5.13)$$

де $\text{Дод} = 10-15\%$ – коефіцієнт, який враховує долю додаткового часу від допоміжного та основного.

Шатунні шийки:

$$T_{\text{додатк}} = \frac{(23 + 4) \cdot 14}{100} = 3,8 \text{ хв.}$$

Корінні шийки:

$$T_{\text{додатк}} = \frac{(18 + 4) \cdot 14}{100} = 3,1 \text{ хв.}$$

Шийки під шестерню:

$$T_{\text{додатк}} = \frac{(4,5 + 4) \cdot 14}{100} = 1,2 \text{ хв.}$$

$T_{\text{ПЗ}} = (15-22) \text{ хв.}$ – підготовчо-завершальний час.

Норма часу для шатунних шийок:

$$T_{\text{Нш}} = 23 + 4 + 3,8 + \frac{20}{12} = 32,5 \text{ хв.}$$

Для корінних шийок:

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$T_{Hк} = 18 + 4 + 3,1 + \frac{20}{12} = 26,8 \text{ хв.}$$

Для шийок під шестерню:

$$T_{Hиест} = 4,5 + 4 + 1,2 + \frac{20}{12} = 11,4 \text{ хв.}$$

5.4 Розрахунок режимів механічної обробки нанесеного покриття

Режими шліфування відновлюваних поверхонь наведені у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Режими шліфування колінчастого валу

Спосіб відновлення	Вид обробки	Матеріал та характеристики шліфувального круга	Режим обробки			
			Швидкість обертання круга V_k , м/с	Швидкість обертання деталі, V_d , м/хв	Поздовжня подача каменю, м/хв	Глибина різання, мм
Наплавлення під шаром флюсу	Чорнова	Нормальний електрокорунд, зернистість 45-55, твердість СТ0–СТ1, керамічна зв'язка	24-32	11-14	0,8-1,3	0,01-0,04
	Чистова	Білий електрокорунд, зернистість 20-45, твердість СМ2-СМ3, керамічна зв'язка	31-33	13-16	0,5-0,8	0,009-0,016

Використовується круглошліфувальний верстат 3м153у.

Вибраний шліфувальний круг Hitachi Htc-18060HR.

Діаметр круга $D_{кр} = 600,0$ мм.

Ширина круга $B_{кр} = 20,0$ мм.

Чорнове шліфування шатунних шийок

Розрахункова швидкість шліфування [23]:

$$V_D = \frac{C_v \cdot D_\partial^k}{T^m \cdot t^x \cdot \beta}, \quad (5.14)$$

де $D_\partial = 62,9$ мм – діаметр шліфованої поверхні;

$T = 40$ хв. – стійкість шліфувального круга;

t – глибина шліфування;

$\beta = 0,35$ – розрахунковий коефіцієнт шліфування.

$$V_D = \frac{0,35 \cdot 62,9^{0,3}}{40^{0,5} \cdot 0,05^1 \cdot 0,35} = 11 \text{ м / хв.}$$

Розрахункова частота обертання колінчастого валу [23]:

$$n_\partial = \frac{1000 \cdot V_\partial}{\pi \cdot D_\partial}, \quad (5.15)$$

$$n_\partial = \frac{1000 \cdot 11}{3,14 \cdot 62,9} = 56 \text{ об. / хв.}$$

Подовжня подачу круга приймається $S_{кр} = 0,70$ м/хв.

Швидкість обертання для шліфувального круга [24]:

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n_k}{1000}, \quad (5.16)$$

де D_k – діаметр для шліфувального круга, мм;

$n_k = 1200$ об/хв. – частота обертання для шліфувального круга.

$$V_k = \frac{3,14 \cdot 0,6 \cdot 1200}{1000} = 2,261 \text{ м / хв.}$$

Швидкість переміщення для столу [24]:

$$V_c = \frac{S_{np} \cdot n_o}{1000} \quad (5.17)$$

де S_{np} – переміщення оброблюваного колінчастого валу уздовж його осі за одне обертання;

$$S_{np} = B_k * \beta, \quad (5.18)$$

де B_k – ширина для шліфувального круга, мм;

$\beta = 0,35$ – розрахунковий коефіцієнт шліфування,

$$S_{np} = 20 \cdot 0,35 = 7 \text{ мм / об.},$$

$$V_c = \frac{7 \cdot 56}{1000} = 0,39 \text{ мм / хв.}$$

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Потрібна ефективна потужність при обертанні шліфувального круга [24]:

$$N_{ef} = \frac{P_z \cdot V_k}{1020 \cdot 60}, \quad (5.19)$$

де P_z – сила різання (тангенціальна).

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot V_o^u \cdot S_{np}^x \cdot t^y, \quad (5.20)$$

$$P_z = 10 \cdot 2,7 \cdot 11^{0,5} \cdot 7^{0,55} \cdot 0,05^{0,5} = 58,4 \text{ Н},$$

$$N_{ef} = \frac{58,4 \cdot 2261}{1020 \cdot 60} = 2,16.$$

Потужність (потрібна):

$$N_{III} = \frac{N_{ef}}{\eta}, \quad (5.21)$$

де $\eta = 0,75$ – ККД шліфувального верстата [24].

$$N_{III} = \frac{2,16}{0,75} = 2,9 \text{ кВт}$$

Аналогічно проведені розрахунки корінних шийок і шийок під шестерню – табл. 5.3.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3 – Режими механічної обробки колінчастого валу

Найменування операції	V_{∂} м/хв.	n_{∂} об/хв.	V_K м/хв.	V_c м/хв.	S_{np} мм/об	$N_{пм}$ кВт
Чорнове шліфування шатунних шийок	12	57	2,264	0,394	7,2	2,8
Чистове шліфування шатунних шийок	18,2	96	2,264	0,668	7,2	
Чорнове шліфування корінних шийок	11,8	52	2,264	0,385	7,2	2,4
Чистове шліфування корінних шийок	19,5	86	2,264	0,65	7,2	
Чорнове шліфування шийок під шестерню	9,84	74	2,264	0,52	7,2	2,1
Чистове шліфування шийок під шестерню	15,5	109	2,264	0,74	7,2	

5.5 Норми часу

Норми часу [23]:

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{д}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{ф}}, \quad (5.22)$$

де $T_{\text{шт}}$ – штучний час (хв.);

$T_{\text{осн}}$ – основний час (хв.);

$T_{\text{д}} = 1,55$ хв. – допоміжний час для установки і зняття колінчастого валу з обладнання;

$T_{\text{обс}} = 2,2$ хв. – час на обслуговування робочого місця та устаткування;

$T_{\text{ф}} = 2,2$ хв. – час для фізичних потреб і для відпочинку;

$t = 1,55$ хв. – час на установку та знімання колінчастого валу для обробки у центрах.

Основний час (хв.) [23]:

$$T_{\text{осн}} = \frac{2L \cdot h}{n_{\text{д}} \cdot S_{\text{пр}} \cdot t} \cdot k, \quad (5.23)$$

де L – довжина ходу колінчастого валу (мм);

$$L = L_{\text{нов}} - B_{\text{к}}, \quad (5.24)$$

де $L_{\text{нов}}$ – довжина поверхні, яка обробляється (мм);

$B_{\text{ш}}$ – ширина шліфувального круга, мм

$$L = 52,0 - 20,0 = 32,0 \text{ мм.}$$

h – припуск на обробку поверхні, мм;

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

k – коефіцієнт, який враховує знос круга і точність шліфування; для чорнового шліфування $k = 1,30-1,40$, прийнято $k = 1,35$; при чистовому шліфуванні $k = 1,50-1,70$, прийнято $k = 1,60$.

$$T_{осн} = \frac{2,0 \cdot 32,0 \cdot 2,30}{56 \cdot 7 \cdot 0,05} \cdot 1,35 = 9,88 \text{ хв.}$$

Час, витрачений на чотири шатунні шийки:

$$T_{осн}^4 = 9,88 \cdot 4 = 39,52$$

Штучний час для чорнового шліфування шатунних шийок:

$$T_{шт} = 39,52 + 1,55 + 2,2 + 2,2 = 45,47 \text{ хв.}$$

Штучний час для чистового шліфування шатунних шийок:

$$T_{шт} = 20,35 + 1,55 + 1,15 + 1,15 = 24,2 \text{ хв.}$$

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Наведені загальні відомості й технічна характеристика автоевакуатора на базі ГАЗ-3307 та його двигуна ЗМЗ-511.1000402 Євро-0: будова і комплектація, технічні характеристики вузла циліндрів, поршневої частини, паливної і змащувальні системи, запалювання. Розглянуто ТО, ремонт, експлуатація двигуна.

Представлені загальні відомості про дефекти і несправності чавунного колінчастого валу і його матеріал (високоміцний чавун з кулястим графітом): хімічний склад, механічні властивості, мікроструктура, вплив перегріву на будову чавуну.

Спроекований ТП відновлення чавунного колінчастого валу (шатунні та корінні шийки відновлюються наплавленням під легуючим флюсом по оболонці):

- оболонка зі сталі 08 і дріт Св-08Г2С;
- флюс АН-348-А (для отримання наплавленого металу мартенситних структури з твердістю HRC 56-62 у флюс додавали графіт ГЛ-1 і ферохром FeCr50C20, забезпечуючи утримання в наплавленого металі вуглецю 0,6-0,8% і необхідну кількість хрому).

- зварювальний струм 160,0 А;
- напруга при наплавленні 20 В;
- діаметр дроту 1,70 мм;
- крок наплавлення 3,50 мм/об;
- товщина шару, що наплавляється 1,97 мм;
- виліт електроду 17,50 мм;
- товщина покриття 1,95 мм для шатунних і 1,85 мм для корінних шийок;
- час наплавлення 32,5 хв. для шатунних і 26,8 хв. – для корінних шийок.

Розраховані режими механічної обробки нанесеного покриття.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Список літератури

1. ГАЗ-3307 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГАЗ-3307>
2. Автоевакуатор на базі ГАЗ-3307/3309 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://avtoremtech.ru/spectehnika_evakuator_gaz_3307_3309.html
3. Двигун ЗМЗ-511.1000402 Євро-0 для автомобілів ГАЗ-53, ГАЗ-3307 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://turbosila.org/internet-magazin/product/302446809>
4. Технічні характеристики двигуна ЗМЗ-511 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gardenunion.com.ua/tekhnichni-kharakterystyky-dvyhuna-zmz-511-26/>
5. Бензиновий двигун ЗМЗ-511 (511.1000402) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://optmc.ru/catalogue/10230378381>
6. Двигун ЗМЗ 53 технічні характеристики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://autopark.pp.ua/5236-osoblivost-remontu-dviguna-zmz-53-vse-pro-avto.html>
7. Дефекти і несправності чавунного колінчастого валу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studbooks.net/2457594/tehnika/defekty_neispravnosti_chugunnogo_kolenchatoغو_vala
8. Дефекти колінчастих валів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kolenval.com.ua/defektyi-kolenchatyih-valov/n1>
9. Чавун з кулястим графітом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://umlz.com.ua/chugun-s-sharovidnym-grafitom/>
10. Високоміцний чавун [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%81%D0%BE%D0%BA%D0>

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

[%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%87%D1%83%D0%B3%D1%83%D0%BD](#)

11. Чавун з кулястим графітом для виливків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.cntd.ru/document/1200008852>

12. Структура ВЧ 50 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stankotec.ru/raznoe-2/struktura-vch-50-vysokoprochnyj-chugun-vysokoprochnyj-chugun-vch40-vch50-vch60-vch70-vch80-otlivka-vysokoprochnogo-chuguna.html>

13. Високоміцні чавуни [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.neksova.ru/inside/vch.html>

14. Одношарове наплавлення під флюсом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studbooks.net/2457595/tehnika/odnosloynaya_naplavka_flyusom

15. Плазмове напилення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studbooks.net/2457597/tehnika/plazmennoe_napylenie

16. Технологія відновлення чавунних колінчатих валів двигунів ЗМЗ-53А [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://refs.co.ua/60579-Tehnologiya_vosstanovleniya_chugunnyh_kolenchatyh_valov_dvigateliy_ZMZ_53_A.html

17. Зварювання чавуну [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://profilbaru.com/uk/Зварювання_чавуну

18. Порошкові дроти для підвищення зносостійкості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://studcon.org/poroshkovi-droty-dlya-pidvyshchennya-znosostiykosti?page=2>

19. Коваленко А. В. Конспект лекцій з дисциплін «Ремонт транспортних засобів», "Ремонт технічних засобів електричного транспорту". Частина II / А. В. Коваленко, М. А. Голтв'янський; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 107 с.

20. Кальченко В.І. Відновлення деталей автомобілів: Навчальний посібник / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, В.І. Венжега. – Чернігів: ЧНТУ, 2013. – 192с.

21. Горбатюк С.О. Технологія машинобудування: Навчальний посібник / С. О. Горбатюк, М.П. Мазур, А.С. Зенкін, В.Д. Каразей. – Львів: «Новий світ – 2000», 2009. – 358 с.

22. Ковалевський С. В. Технологія обробки типових деталей і складання машин: конспект лекцій / С. В. Ковалевський, С. Г. Онищук, Ю. Б. Борисенко. – Краматорськ: ДГМА, 2015. – 119 с.

23. Дідик Р. П. Розрахункові операції режимів механічної обробки матеріалів: точіння, свердління, зенкерування, розгортання: навч. посіб. / Р. П. Дідик, В. В. Зіль, С. Т. Пацера. – Д.: Національний гірничий університет», 2013. – 196 с.

24. Митко М.В. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Організація самостійної та практичної роботи : навчальний посібник / М.В. Митко, О.П. Шиліна, С.В. Цимбал – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 98 с.

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Наукові праці

					ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Міністерство освіти і науки України,
Хмельницький національний університет (Україна)
Люблінська Політехніка (Польща)
Університет Вітовта Великого (м. Каунас, Литва)

*Присвячується 60-річчю
Хмельницького національного університету*



СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІНЖЕНЕРІЇ, ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТРАНСПОРТУ

**Збірник тез доповідей
Міжнародної науково-практичної конференції
здобувачів вищої освіти і молодих учених**

**18-19 жовтня 2022 року
м. Хмельницький**

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВАТАМ 23.20103.000. ПЗ

Арк.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ SOLIDWORKS SIMULATION

Анотація: за допомогою CAD/CAM/CAE-системи SolidWorks досліджувалась працездатність переднього мосту автомобіля ЛуАЗ-1302. Визначили максимальні напруження, переміщення, деформації, мінімальний запас міцності сателітів диференціала.

RESEARCH OPERABILITY OF DETAILS AUTOMOBILE USING SOLIDWORKS SIMULATION

Abstract: with the help of the CAD/CAM/CAE-system SolidWorks the performance of the front axle of the LuAZ-1302 car was investigated. The maximum stresses, displacements, deformations, and the minimum margin of safety of the satellites of the differential were determined.

Для підтримки процесу проектування технічних об'єктів розроблені вбудовані інформаційні системи автоматизованого проектування (САПР). Характерним прикладом комплексної САПР є CAD/CAM/CAE-система SolidWorks [1, 2].

CAD-системи (computer-aided design – комп'ютерна підтримка проектування – програми креслення) призначені для рішення конструкторських задач та оформлення конструкторської документації (їх ще називають САПР). Як правило, у сучасні CAD-системи входять модулі моделювання тривимірної об'ємної конструкції (деталі) та оформлення креслень і текстової конструкторської документації (специфікацій, відомостей тощо). Головні тривимірні CAD-системи дозволяють реалізувати ідею наскрізного циклу підготовки і виробництва складних промислових виробів.

CAM-системи (computer-aided manufacturing – комп'ютерна підтримка виготовлення) призначені для проектування виготовлення виробів на верстатах із числовим програмним керуванням і видачі програм для цих верстатів (токарних, фрезерувальних, свердлувальних,

шліфувальних тощо). САМ-системи ще називають системами технологічної підготовки виробництва. У даний час вони є практично єдиним способом для виготовлення складнопрофільних деталей і скорочення циклу їхнього виробництва. У САМ-системах використовують тривимірну модель деталі, створену в САД-системі.

CAE-системи (computer-aided engineering – підтримка інженерних розрахунків) – це клас систем, кожна з яких дозволяє вирішувати визначену розрахункову задачу (групу задач), починаючи від розрахунків на витривалість, аналізу і моделювання теплових процесів до розрахунків гідравлічних систем і машин, процесів ливарного виробництва тощо. У CAE-системах також використовується тривимірна модель виробу, створена в САД-системі. CAE-системи ще називають системами інженерного аналізу.

Функції CAE-систем досить різноманітні, оскільки пов'язані з проектними процедурами аналізу, моделювання, оптимізації проектних рішень. До складу CAE-систем включають програми моделювання полів фізичних величин, зокрема аналізу міцності. Він найчастіше виконується відповідно до методу скінченних елементів (МСЕ).

Суть МСЕ полягає в апроксимації суцільного середовища з нескінченно великим числом ступенів вільності сукупністю підобластей (або елементів), які мають скінченне число ступенів вільності [3]. Між шматками елементами встановлюється взаємозв'язок.

Диференціал — це механізм в автомобілі, який розподіляє крутний момент карданного валу трансмісії між ведучими колесами передньої або задньої осі (залежно від типу приводу), дозволяючи кожному з них обертатися без буксування.

При прямолінійному русі, коли колеса навантажені однаково і мають рівну кутову швидкість обертання, механізм працює як передавальна ланка. Якщо умови руху змінюються (поворот, буксування), навантаження стає нерівномірним. У півосей з'являється необхідність обертатися з різними швидкостями, і, як наслідок, стає необхідним розподілити отриманий крутний момент між ними у певному співвідношенні. Тоді вузол виконує другу важливу функцію: забезпечення безпечного маневрування автомобіля (усувається буксування та ковзання коліс і кожне обертатися з тією швидкістю, яка необхідна для безпечного руху).

Конічний диференціал – це планетарний редуктор, який включає півосьові шестерні з сателітами, поміщеними в корпус (чашку

диференціала) і сприймає крутний момент від головної передачі. Він передає його через сателіти на півосьові шестерні.

Сателіти забезпечують з'єднання корпусу та півосьових шестерень. При прямолінійному русі колеса зустрічають рівний опір дороги. Крутний момент від головної передачі передається на корпус диференціала, разом із яким переміщуються сателіти. Вони, оббігаючи півосьові шестерні, передають крутний момент на ведучі колеса в рівному співвідношенні. Так як сателіти на осях не обертаються, півосьові шестерні рухаються з рівною кутовою швидкістю. При цьому частота обертання кожної із шестерень рівна частоті обертання веденої шестерні головної передачі.

При повороті внутрішнє ведуче колесо зустрічає більший опір, ніж зовнішнє. Внутрішня півосьова шестерня сповільнюється і змушує сателіти обертатися навколо своєї осі, які, у свою чергу, збільшують частоту обертання зовнішньої півосьової шестерні. Рух ведучих коліс із різними кутовими швидкостями дозволяє проходити поворот без буксування.

Як приклад застосування CAD/CAM/CAE-систем проведено дослідження працездатності сателітів диференціала переднього мосту вантажопасажирського позашляховика ЛуАЗ-1302 «Волинь» з двигуном MeM3-245-20 потужністю 53 к.с. (передаточні числа: головної передачі 3,875, першої передачі коробки передач 3,454).

Навантаження на зуб сателіту (9410,8 Н; для розрахунків прийняли 9411 Н) визначили з умови, що колова сила розподілена порівну між усіма сателітами.

На першому етапі комп'ютерного моделювання у SolidWorks створили 3D-модель сателіту. На другому – до моделі застосували програмний модуль SolidWorks Simulation: вибирали тип дослідження напружено-деформівного стану – статичний аналіз [3]. При його проведенні призначили матеріал сателіту (сталь 20ХН3А), вибрали місця кріплення і приклали зовнішнє навантаження (рис. 1).

Потім поділили модель сателіту на маленькі частинки простої форми (елементи), з'єднані у спільних точках (вузлах). При цьому програма аналізу скінченних елементів SolidWorks Simulation розглянула модель як мережу дискретних зв'язаних між собою елементів (сітку [4]) з наступними параметрами: число точок Якобіана 4, розмір елемента 2,45872 мм, допуск 0,122936 мм, всього вузлів 12289, всього елементів 7730.

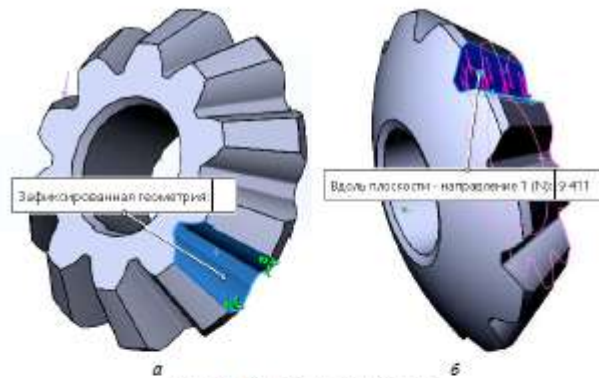


Рис. 1 – Кріплення сателіту (а)
та прикладення до нього навантаження (б)

Програмне забезпечення SolidWorks Simulation, враховуючи з'єднання між елементами, розробила алгебраїчні рівняння, які пов'язують реакцію з властивістю матеріалу, обмеженням і навантаженням. Після упорядкування рівнянь у велику спільну систему для сателіту обчислювались: напруження Von Mises (рис. 2, а), переміщення URES (рис. 2, б), еквівалентна деформація ESTRN (рис. 2, в), запас міцності FOS (рис. 2, г).

Так як мінімальний запас міцності FOS становить $k = 4,176$, тобто вище допустимого $[k] = 2,5$, то сателіт є протездатним.

Таким чином, за результатами напружено-деформівного стану сателіту після прикладення статичного навантаження можна говорити про адекватність побудованої моделі й перспективах комп'ютерного моделювання.

За допомогою віртуальної моделі став можливий аналіз не тільки напружень, переміщень й еквівалентних деформацій сателіту, але і його запасу міцності. Додатковими перевагами моделювання у середовищі SolidWorks Simulation є легкість графічного представлення результатів досліджень.

Ім'я	Тип	Мін	Макс
Напруження1	VON: Напруження Von Mises	3,979e+05N/m ² Вузол: 10794	1,760e+08N/m ² Вузол: 10447

а

Ім'я	Тип	Мін	Макс
Переміщення1	URES: Результуюче переміщення	0,000e+00mm Вузол: 147	2,019e-02mm Вузол: 267

б

Ім'я	Тип	Мін	Макс
Деформація1	ESTRN: Еквівалентна деформація	7,281e-07 Елемент: 3674	5,920e-04 Елемент: 1743

в

Ім'я	Тип	Мін	Макс
Запас міцності1	Авто	4,176e+00 Вузол: 10447	1,847e+03 Вузол: 10794

г

Рис. 2 – Результати розрахунків сателіту:
вузлові напруження (а), переміщення (б), еквівалентна деформація (в),
запас міцності (г)

Література

1. Рудик О.Ю. SolidWorks як інтегрований засіб виконання дослідів автомобільного профілю / О. Ю. Рудик, О. В. Діка // «Системи технології» 3 (128) 2020. – С. 21-35. – Режим доступу: <http://elar.khmn.km.ua/jspui/handle/123456789/8878>
2. Рудик О.Ю. SolidWorks – CAD/CAE-система технічних вузів [Електронний ресурс] / О.Ю. Рудик, П.В. Каплун. – Режим доступу: <http://elar.khmn.km.ua/jspui/handle/123456789/8631>
3. Рудик О.Ю. Застосування SolidWorks Simulation для забезпечення професійної підготовки майбутніх інженерів [Електронний ресурс] / О.Ю. Рудик, А.В. Ружиківський. – Режим доступу: <http://elar.khmn.km.ua/jspui/handle/123456789/8416>
4. Rudyk O. Yu. The impact of the SolidWorks Simulation network quality on the accuracy of the calculations / O. Yu. Rudyk, V. A. Gonchar // Eurasian scientific congress. Abstracts of the 1st International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. – Barcelona, Spain, 2020. – Pp. 185-188. – Access mode: <http://sci-conf.com.ua/iz-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferenciya-eurasian-scientific-congress-17-18-yanvarya-2020-goda-barcelona-ispaniya-arxiv/>