

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»

Освітньо-професійна програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

на тему: «Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМБ-5234
автобуса ПАЗ-32053»

Шифр: ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ

Виконав: студент 3 курсу, група МТВАс -19-2  Ю.І. Пивлюк

Керівник  к.т.н., доц. О.Ю. Рудик

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  Дітка О.В.

2 06 2022 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Фізико-технічний факультет інженерної механіки
Кафедра технічної, автомобільної та матеріалознавства

Спеціальність: «Інженерія механіки»
Напрямок спеціальності: «Автомобільна інженерія»
Напрямок спеціальності: «Автомобільна інженерія»
Напрямок спеціальності: «Автомобільна інженерія»
Напрямок спеціальності: «Автомобільна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою Г.А.М.

Діяха О.В.

« 30 » квітня 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Павлюку Юрію Івановичу

1. Тема проекту:

«Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-5234 автобуса ПАЗ-32053»

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

Затверджено наказом університету від 1 березня 2022р. № 18

2. Строк надання студентом проекту на кафедру: 10.06.2022 р.

3. Надані дані до проекту:

1) Технічні умови на механізми відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-5234 автобуса ПАЗ-32053.

2) Річна програма відновлення деталей.

3) Рекомендації літературного вивчення і наміреного пошуку.

4. Задат повнотематичної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Завдання відповідності й технічна характеристика автобуса ПАЗ-3205 та його двигуна

2. Дефекти колінчастих валів та способи їх усунення

3. Конструкція, умови роботи, властивості матеріалу колінчастого валу

4. Розробка технологічного процесу відновлення колінчастого валу

5. Консультанти розділів роботи

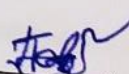
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	

6. Дата видачі завдання: 20 квітня 2022р.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)
1	Огляд літературних джерел	01.05.2022
2	Загальні відомості й технічна характеристика автобуса ПАЗ-3205 та його двигуна	05.05.2022
3	Дефекти колінчастих валів та способи їх усунення	10.05.2022
4	Конструкція, умови роботи, властивості матеріалу колінчастого валу	15.05.2022
5	Технологія одержання високоміцного чавуну	22.05.2022
6	Розробка технологічного процесу відновлення колінчастого валу	30.05.2022
7	Оформлення презентаційних матеріалів	05.06.2022

Студент


Павлюк Ю.І.

Керівник роботи


Рудик О.Ю.

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 90 сторінок, кількість рисунків – 12, таблиць – 14, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 20.

Студент гр. МТВАс-19-2 Павлюк Ю.І.

Тема «Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-5234 автобуса ПАЗ-32053»

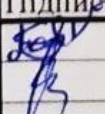


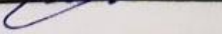
Дана бакалаврська дипломна робота присвячена розробці технологічного процесу відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-5234 автобуса ПАЗ-32053. Матеріалом її виготовлення є чавун магнієвий високоміцний ВЧ-50-1,5 ДЕРЖСТАНДАРТ 7293-85 (СТ СЭВ 4558-84). В дипломній роботі вирішувались наступні завдання:

1. Навести загальні відомості й технічну характеристику автобуса ПАЗ-32053 та його двигуна, методику ремонту кривошипно-шатунного механізму, виконання робіт при технічному обслуговуванні двигуна.
2. Розглянути особливості конструкції колінчастого валу та умови його експлуатації, дослідити виявлені дефекти, проаналізувати відновлення різними методами та інші проблеми.
3. Представити загальні відомості про матеріал колінчастого валу (високоміцний чавун): застосування, структуру, технологію одержання, властивості, термічну обробку.
4. Розробити технологічний процес (ТП) відновлення колінчастого валу: вибрати раціональний спосіб відновлення, план і розрахунок операцій.

Перелік ключових слів: ПАЗ-32053, двигун ЗМЗ-5234, колінчастий вал, автоматичне наплавлення під шаром легируючого флюсу, технологія відновлення.

Зміст

Вступ.....	6
1 Загальні відомості й технічна характеристика автобуса ПАЗ-32053 та його двигуна.....	8
1.1 Загальні відомості й технічна характеристика автобуса ПАЗ-32053	8
1.2 Ремонт кривошипно-шатунного механізму	10
1.3 Виконання робіт при технічному обслуговуванні двигуна.....	11
2 Дефекти колінчастих валів та способи їх усунення	13
2.1 Послідовність виявлення дефектів колінчастого валу.....	14
2.2 Відновлення колінчастого валу механічним виправленням тиском або наклепом	17
2.3 Проблеми шліфування колінчастого валу	20
3 Умови роботи та властивості матеріалу колінчастого валу	24
3.1 Особливості матеріалу колінчастого валу.....	24
3.2 Умови роботи колінчастого валу при експлуатації.....	25
3.3 Загальні відомості про матеріал колінчастого валу	25
3.4 Структура високоміцного чавуну.....	26
3.5 Властивості високоміцного чавуну	29
3.6 Технологія одержання високоміцного чавуну.....	31
3.6.1 Сфероїдизуючі модифікатори	32
3.6.2 Церієві модифікатори.....	33
3.6.3 Комплексні модифікатори	34
3.6.4 Способи введення в розплав сфероїдизуючих модифікаторів	34

ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата
Виконав	Павлюк			
Перевір.	Рудик			
Н.контр.	Бабак			
Затвер.	Диха			
Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-5234 автобуса ПАЗ-32053				
		Літера	Аркуш	Аркушів
			4	40
ХНУгр.МТВАс-19-2				

3.7 Термічна обробка високоміцного чавуну

3.8 Застосування високоміцного чавуну

4 Розробка технологічного процесу відновлення колінчастого валу.....

4.1 Ремонтне креслення колінчастого валу

4.2 Вибір раціональних способів відновлення колінчастого валу

4.3 План операцій технологічного процесу

4.4 Призначення операцій технологічного процесу автоматичного
наплавлення шийок валу під шаром легуючого флюсу

4.5 Планування шліфувальної операції 005

4.6 Планування токарної операції 025

Висновки по роботі.....

Список літератури.....

Додатки.....

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Відновлення колінчастого валу двигуна ЗМЗ-5234 автобуса ПАЗ-32053	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Павлюк						4	
Перевір.	Рудик							
Н.контр.	Бабак					ХНУгр.МТВАс-19-2		
Затвер.	Диха							

Вступ

Актуальність теми. ПА3-32053 — автобус із одними автоматичними дверима для приміських маршрутів і пневматичною гальмівною системою з ABS. За всю історію виробництва даного автобуса встановлювалися різні типи двигунів, серед яких найпоширенішим є карбюраторний бензиновий двигун ЗМЗ-5234. Його працездатність залежить від стану колінчастого валу. На нього діють змінні за величиною й напрямку зусилля; при цьому вал згинається одночасно в різних перетинах. Щоб протистояти таким навантаженням, вал повинен бути жорстким і міцним. При цьому важлива його втомна міцність. Поверхні шийок валу повинні протистояти зносу протягом тисяч годин роботи.

Новизна роботи. Вибраний раціональний спосіб відновлення колінчастого валу, розроблений відповідний технологічний процес (ТП) план і розрахунок операцій.

Можливість використання висновків і рекомендацій у наукових дослідженнях та на практиці: для відновлення зношених шийок валу застосували автоматичне наплавлення під шаром легуючого флюсу:

- для подачі електродного дроту в зону горіння дуги використали наплавочну головку моделі ОКС-5523;
- джерелом струму служив перетворювач ПСУ-500-2 і випрямляч ВС-600;
- використали флюс марки МАФ-2, зварювальний дріт Св-08А;
- ширина валика рівна 2,5 діаметра електроду;
- валики накладають так, щоб кожний наступний перекривав попередній на 1/2-1/3 його ширини;
- припуск на механічну обробку після наплавлення становить 2,0-3,0 мм;
- западини між валиками вище лінії обробки поверхні після наплавлення;
- перед наплавленням відновлювані поверхні шийок валів зачищають абразивною шкуркою до блиску;
- щоб зняти з електродного дроту залишки мастила перед входом дроту в наплавочну головку, встановлюють гумові шайби;
- отвори масляних каналів перед наплавленням (орієнтовно за 3-5 год.) закупорюють графітовою пастою.

Наплавлення шийок проводили у такому режимі:

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- напруга дуги 22-26 В;
- сила зварювального струму 170-230 А;
- частота обертання валу 2,7-4,0 об/хв.
- швидкість подачі дроту при його діаметрі 1,6 мм становить 1,6-2,0 м/хв.

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Загальні відомості й технічна характеристика автобуса ПАЗ-32053 та його двигуна

1.1 Загальні відомості й технічна характеристика автобуса ПАЗ-3205

ПАЗ-3205 — автобус малого класу, є базовою й класичною моделлю заводу з 1989 року. За всю історію виробництва даного автобуса встановлювалися різні типи двигунів, серед яких найпоширенішим є карбюраторний бензиновий двигун ЗМЗ-5234 [1].

ПАЗ-32053 — автобус із одними автоматичними дверима для приміських маршрутів і пневматичною гальмівною системою з ABS (це наступне покоління, яке змінило ПАЗ-3205). Зовні відрізняється від базової моделі 3205 висотою аварійних дверей і зменшеним вікном двері. Випускався з 2001 по 2021 рік у різних модифікаціях:

ПАЗ-3205 — базовий варіант із бензиновим карбюраторним двигуном ЗМЗ-5234 представлений на рис. 1.1 [1].



Рисунок 1.1 – ПАЗ-32053 (базовий варіант із бензиновим карбюраторним двигуном ЗМЗ-5234)

Коротка технічна характеристика автобуса ПАЗ 32053 наведена у табл. 1.1 [2]

Таблиця 1.1 – Коротка технічна характеристика автобуса ПАЗ 32053 [2]

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд двигуна ЗМЗ 5234

1.2 Ремонт кривошипно-шатунного механізму

Технічний стан механізмів двигуна визначають:

- зовнішнім обстеженням;
- перевіркою їх роботи на різноманітних режимах;
- проривом газів у картер двигуна;
- контролем над витратою мастила;
- перевіркою зміни якості мастила;
- вимірюванням тиску мастила в системі мащення;
- перевіркою герметичності циліндрів;
- прослуховуванням роботи двигуна.

Основними ознаками несправностей механізмів двигуна є падіння компресії та поява стукотів. На втрату компресії двигуна вказують:

- утруднений пуск двигуна;
- втрата його потужності;
- підвищена витрата палива та мастила.

Падіння компресії відбувається через:

- пригорання або зношування поршневих кілець;
- зношування поршнів і циліндрів;
- нещільного прилягання клапанів до сідел або головки до блоку циліндрів.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

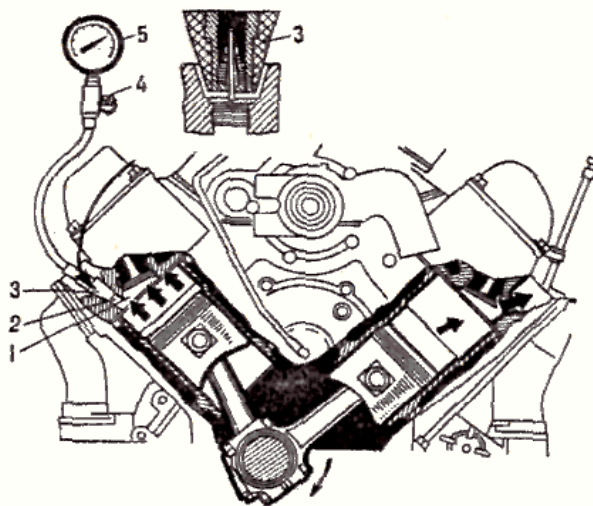
ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ

Арк.

Причинами стукотів двигуна є зношування деталей кривошипно-шатунного механізму. Про зношування корінних і шатунних підшипників свідчить падіння тиску мастила, яке повинне бути при частоті обертання колінчастого валу двигуна 1000 хв^{-1} не менше 250 кПа.

1.3 Виконання робіт при технічному обслуговуванні двигуна

Герметичність циліндрів двигуна перевіряють компресометром на прогрітому двигуні (температура охолоджуючої рідини повинна бути не менше $80 \text{ }^\circ\text{C}$). На двигуні для цього викручують усі свічі й повністю відкривають дросель карбюратора. Установлюють наконечник 3 (рис. 1.3) компресометра 5 в отвір 2 під свічку й прокручують колінчастий вал стартером протягом 2-3 с. Тиск по манометру компресометра 5 повинен бути 700-720 кПа. Після перевірки компресії в одному циліндрі 1 випускають повітря з компресометра через клапан 4 і послідовно перевіряють компресію у всіх інших циліндрах. Різниця тиску в циліндрах двигуна не повинна перевищувати 100 кПа.

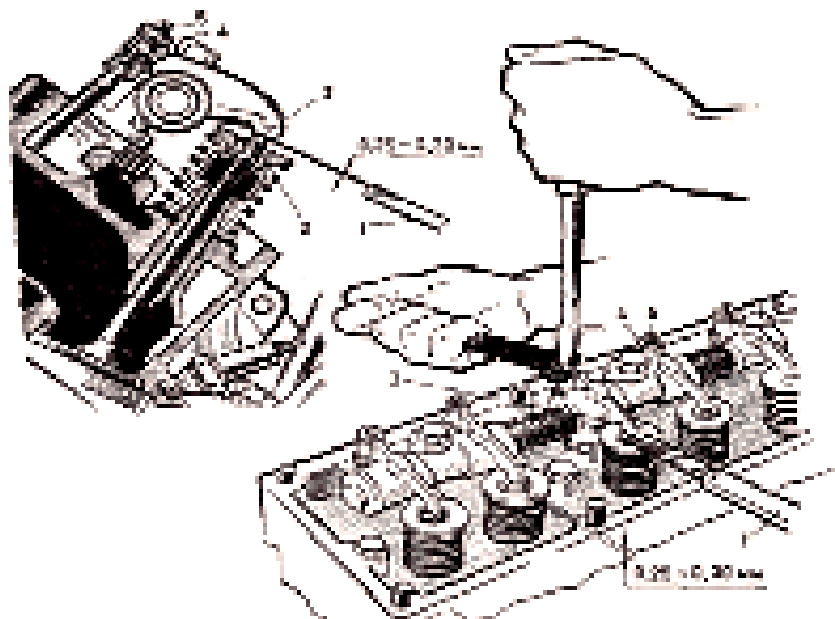


1 – циліндр; 2 – отвір під свічку; 3 – наконечник; 4 – клапан; 5 – компресометр

1.3 – Перевірка компресії у циліндрах двигуна

Регулюють клапани (рис. 1.4) на холодному двигуні при повністю закритих клапанах – при положенні поршнів у верхній точці кінця такту стиснення.

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – щуп; 2 – стержень; 3 – коромисло; 4 – контргайка; 5 – гвинт регулювальний

1.4 – Перевірка теплових зазорів клапанів

Для регулювання необхідно:

- зняти кришки головок циліндрів і встановити поршень 1-го циліндра наприкінці такту стиснення по мітках установаження запалювання;
- встановити щуп 1 між коромислом 3 і стержнем 2 клапана, товщина якого становить 0,20-0,30 мм (для двигуна ЗМЗ-5234);
- послабити контргайку 4 і регулювальним гвинтом 5 відрегулювати зазор, щоб щуп був трохи затиснутий;
- закріпити контргайку 4, утримуючи викруткою регулювальний гвинт 5, повторно перевірити зазор;
- згідно порядку роботи циліндрів двигуна відрегулювати зазори в інших циліндрах.

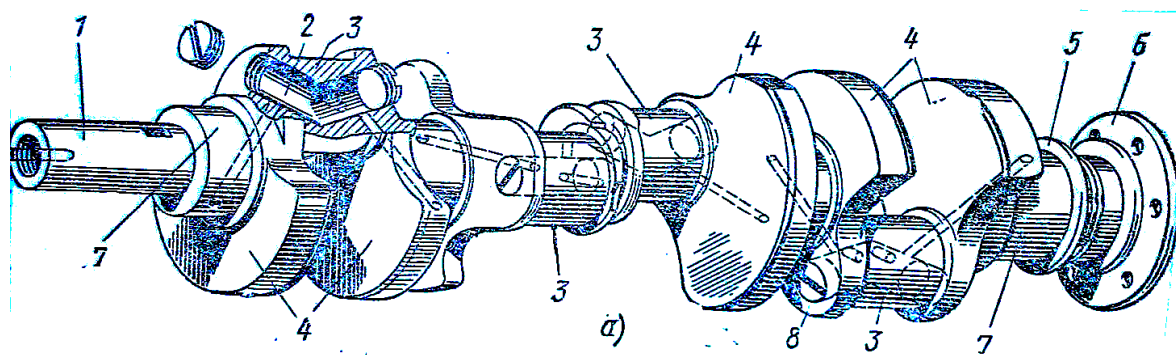
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ

Арк.

2 Дефекти колінчастих валів та способи їх усунення

Колінчастий вал має наступні частини (рис. 2.1): корінні 7 і шатунні 3 шийки, щоки 8, противаги 4, передній кінець 1 і задній кінець (хвостовик) з мастиловідбивачем 5, мастилозгінною різьбою і фланцем 6 для кріплення маховика. Шатунні шийки служать для з'єднання колінчастого валу шатунами. Корінні шийки валу входять в підшипники, встановлені у блоці циліндрів. Шоки з'єднують корінні і шатунні шийки валу, утворюючи коліно або кривошипи. Противаги, які розташовані на колінчастому валу, розвантажують корінні підшипники від сил інерції та створюваних ними моментів.



1 – передній кінець; 2 – брудовловлювач; 3 – шатунні шийки; 4 – противаги; 5 – мастиловідбивач; 6 – фланець; 7 – корінні шийки; 8 – щоки

Рисунок 2.1 – Будова колінчастого валу

Для підвищення зносостійкості і довговічності шатунних і корінних шийок їх гартують струмами високої частоти (СВЧ, після чого шліфують і полірують).

Колінчастий вал — деталь не тільки дуже дорога, але й найнавантаженіша. На нього діють змінні за величиною й напрямку зусилля вагової величини; при цьому вал згинається одночасно у різних перетинах. Щоб протистояти таким навантаженням, вал повинен бути жорстким і міцним. При цьому важлива його втомна міцність (здатність витримувати змінні навантаження). Поверхні шийок валу повинні протистояти зносу протягом тисяч годин роботи [4].

Найпоширеніші ушкодження валу відбуваються через недостатнє змащення. В основному це задири шийок, які завжди супроводжуються:

- збільшенням зазору в підшипниках;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

– зношуванням робочих поверхонь з грубими кільцевими рисками, а іноді перегрівом і навіть розплавленням вкладишів.

При задирюванні шийок, який супроводжується місцевим нагріванням поверхні шийки (деколи у 100-ні градусів) порушується співвісність корінних шийок валу (вал стає викривленим [4]).

У багатьох майстернях на деформацію валу не звертають уваги: шліфують викривлені вали під ремонтні розміри. У результаті посадкові поверхні шківів, шестірень, маховиків, а також робочі поверхні під сальники після шліфування викривленого валу, опиняються неспіввісними корінним шийкам (набувають взаємне биття $> 0,1$ мм). Згідно технічним умовам заводів-виготовлювачів таке биття не повинне перевищувати 0,010-0,020 мм [4].

При битті поверхні в 0,10 мм навіть найкращий і дорогий сальник нездатний забезпечити герметичність. Вал стає нерівноваженим — його балансування через зсув осей обертання шийок від їхнього вихідного положення порушується.

2.1 Послідовність виявлення дефектів колінчастого валу

Технологія ремонту колінчастого валу починається з контролю як самого валу, так і зазорів у корінних і шатунних підшипниках. Результати контролю дають відповідь на запитання про складність необхідного ремонту [5]:

- він не вимагає ремонту;
- вимагає шліфування шийок та інших поверхонь;
- ушкоджений так, що не може бути якісно відремонтований.

Перед ремонтом колінчастого валу потрібно перевірити наявність усіх можливих дефектів [4]:

- співвісності шийок;
- биття;
- еліпсності й конусності шийок;
- дисбалансу.

Для перевірки валу встановлюється на призми крайніми корінними шийками, а в середніх за допомогою стійки з індикатором вимірюють биття. Перевіряється також биття хвостовика й поверхонь сальників. Потім

						ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

проводиться ретельне вимірювання діаметрів корінних і шатунних шийок. При цьому звертають увагу на зношування середньої й крайніх корінних шийок (воно може бути підвищеним), а також на еліпсність шатунних шийок. Останній вимір виконують у декількох площинах — при наявності еліпсності \min розмір шийки утворюється у напрямку, зсунутому на 20-40 ° проти обертання від площини, яка проходить через радіус кривошипну [4].

Починають ремонт із визначення зазорів у шатунних і корінних підшипниках, так як за величиною цього зазору можна зробити висновок, чи потрібно шліфувати ці шийки [5].

Контроль зазорів у підшипнику пропонується проводити з використанням пластмасового дроту й спеціальної шкали (рис. 2.2). Відрізок цього дроту 1 розташовується на шийці, потім установлюють кришку 3 із вкладишем 2 (інший вкладиш у постелі) і затягуються болти (корінні – з моментом 8,2 кГс*м, шатунні –5,2 кГс*м). Потім кришки знімають і по шкалі 4 визначається величина сплющування каліброваного дроту, а за нею – розмір зазору в підшипнику [5].

Дійсний зазор обчислюють за формулами [5]:

$$\begin{aligned} Z_k &= (D_k - 2 T_k) - D_{ф.к.}; \\ Z_{ш} &= (D_{ш} - 2 T_{ш}) - D_{ф.ш.}; \end{aligned} \quad (2.1)$$

де Z_k – зазор у корінному підшипнику;

$Z_{ш}$ – зазор у шатунному підшипнику;

D_k – діаметр постелі корінного підшипника;

$D_{ш}$ – діаметр постелі шатунного підшипника;

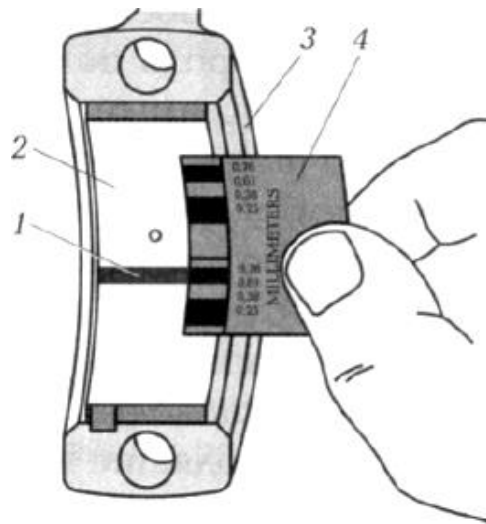
T_k – товщина вкладиша корінного підшипника;

$T_{ш}$ – товщина вкладиша шатунного підшипника;

$D_{ф.к.}$ – фактичний розмір шийки корінного підшипника;

$D_{ф.ш.}$ – фактичний розмір шатунної шийки.

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – калібрований дрiт; 2 – вкладиш; 3 – кришка пiдшипника; 4 – шкала
Рисунок 2.2 – Вимiрювання зазору в пiдшипниках колiнчастого валу

Частiше використовується наступний спiсiб визначення дiйсного зазору в пiдшипниках: на шийку колiнчастого валу уздовж осi кладуть смужку паперу (10x12 мм), установлюють кришки й проводять затягування болтiв. Якщо колiнчастий вал не повернути – то зазор (дiаметральний) дорiвнює товщинi паперу (писальна $\cong 0,10$ мм; ватман $\cong 0,20$ мм). Аналогiчно перевiряють зазор у шатунних пiдшипниках [5].

Якщо зазор не перевищує граничний (корiннi пiдшипники – 0,150 мм, шатуннi – 0,100 мм), то вкладишi не мiняють. Якщо зазор бiльше граничного, то використовують номiнальнi або ремонтнi вкладишi без шлiфування колiнчастого валу. Але при заміні вкладишiв без перешлiфування колiнчастого валу термiн iх служби складе: 100 % – новий двигун; 58 % – перша заміна вкладишiв; 44 % – друга заміна; 29 % – третя заміна [5].

Рiшення про перешлiфування колiнчастого валу ухвалюють тiльки пiсля його контролю. Вiн вiдрiзняється вiд перевiрки, яку проводять при дефектуваннi або збираннi двигуна. Хоча в обох випадках перевiряють геометрiю валу, але в даному випадку вибiр технологiї ремонту залежить вiд результатiв контролю [5].

Для перевiрки вал установлюють на призми крайнiми корiнними шийками, а в середнiх за допомогою iндикаторного стояка вимiрюють биття. Перевiряють також биття поверхонь сальникiв та хвостовика. Потiм проводиться

вимірювання діаметрів шатунних і корінних шийок. Останнє вимірювання виконують у декількох площинах (при наявності еліпсності міні розмір шийки отримують у напрямку, зміщеному на 20-40° проти обертання від площини, яка проходить через радіус кривошипу).

Якщо биття середніх шийок щодо крайніх не більше 0,1 мм, то вал шліфують без ризику недотримання його дисбалансу. При підвищеному битті шийок після шліфування виникає дисбаланс, який потрібно усунути.

На жаль, у вітчизняній ремонтній практиці засвоєне лише балансування валів 4-циліндрових рядних і опозитних двигунів, а також рядних 6-циліндрових і V-подібних 12-циліндрових. Інші типи валів (2-, 3- і 5-циліндрових двигунів) відбалансувати проблематично. Тому при битті корінних шийок > 0,1 мм перед шліфуванням виконують виправлення валу [5].

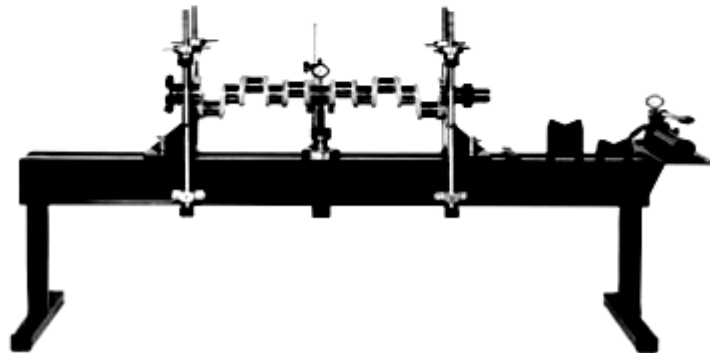
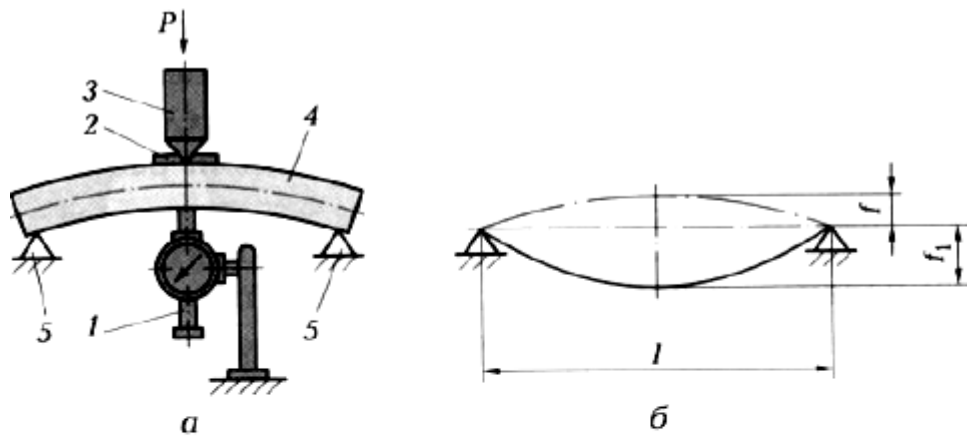
Останнім часом розроблені спеціальні методи виправлення колінчастих валів. Найпоширеніший — на пресі. Вал установлюють на призми крайніми корінними шейками й, забезпечуючи передачу зусилля на середню шийку, перегинають у протилежну сторону на величину, яка перевищує прогин приблизно в 10 разів [4].

2.2 Відновлення колінчастого валу механічним виправленням тиском або наклепом

Обидва ці методи виправлення валів є одними із способів усунення залишкових деформацій деталей, отриманих під час експлуатації [5].

Механічне виправлення тиском виконують в холодному стані або нагріваючи. Для валів діаметром до 200,0 мм виправлення в холодному стані виконують у тому випадку, коли величина прогину не перевищує 1,0 міліметр на 1 метр довжини валу. Схема холодного виправлення валів наведена на рис. 2.3 [5].

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – індикатор; 2 – прокладка; 3 – натискний шток; 4 – вал; 5 – призми опори; (в) – стенд для виправлення сталевих колінчастих валів

Рисунок 2.3 – Монтажна (а) і розрахункова (б) схеми виправлення валу

Розмір стріли прогину рівна 1/2 величини биття валу, заміряного індикатором. При виконанні операції виправлення вал 4 установлюють на призми-опори 5 гвинтового або гідравлічного пресу опуклою стороною нагору й перегинають натисканням штоку 3 преса через прокладання 2 з кольорового сплаву так, щоб зворотна величина прогину була в 10-15 разів більше прогину [5].

Зусилля виправлення [6]:

$$P = 6,8 \cdot 10^3 \sigma_m d^3 / l, \quad (2.2)$$

де: P – сила правки, кН;

σ_m – границя текучості матеріалу валу, МПа;

d – діаметр перетину валу, м;

l – відстань між опорами, м.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Виходячи з величини зусилля виправлення вибирають прес. Холодне механічне виправлення має істотний недолік – це небезпека зворотної дії, яка викликана через виникнення неврівноважених внутрішніх напружень. Вони з часом після урівноваження призводять до об'ємної деформації валу. Ще й при холодному виправленні знижується втомна міцність й несуча здатність валу через утворення в його поверхневих шарах місць із розтягувальними напруженнями. Зниження втомної міцності досягає 15-40% [5].

Для підвищення якості холодного виправлення вал витримують під пресом тривалий час. Деколи використовується метод подвійного виправлення, який полягає в первісному перегині валу з наступним виправленням у зворотний бік.

Стабілізації виправлення валу досягають наступною термообробкою, але в тоді можливо порушити первинну термічну обробку валу. Цей спосіб дає кращі результати, ніж попередні, але він дорожчий [5].

Виправлення наклепом (карбуванням), схема якого наведена на рис. 2.4 не має недоліків, властивих виправленню тиском. Вона проста й має невелику трудомісткість. Ним досягають високої якості виправлення валу, яка визначається стабільністю процесу в часі. Правильне карбування – це висока точність обробки (до 0,020 мм) і зниження втомної міцності деталі. Можливо виправляти вал за рахунок ненавантажених його ділянок [5].

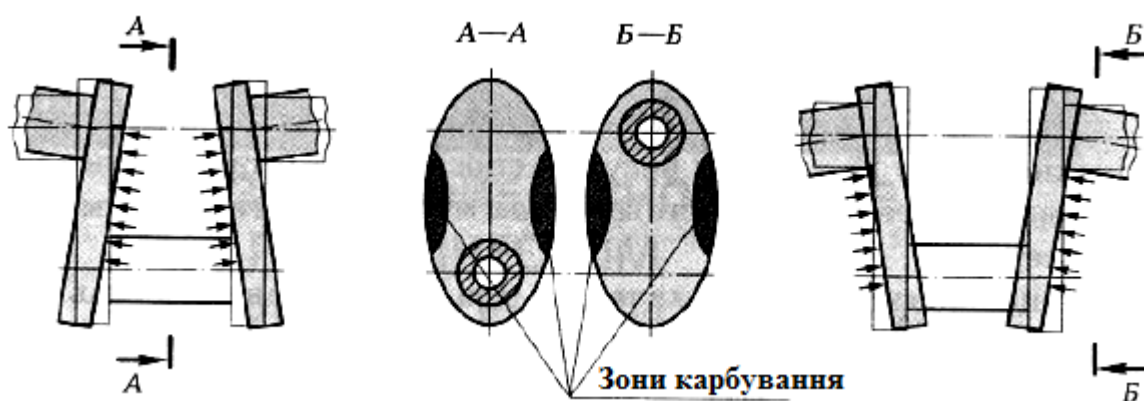


Рисунок 2.4 – Схема правки колінчастого валу наклепом (карбуванням)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ

Арк.

Інструмент для карбування – пневматичні й ручні молотки. Від ударів у поверхневому шарі валу виникають місцеві напруження стиску, які викликають стійку деформацію деталі [5].

Тривалість виправлення наклепом залежить від енергії удару, матеріалу деталі, конструкції ударного бойка.

Якщо при контролі визначено що зношування шийок перевищує максимальне ремонтне зменшення, то такий вал вибраковується або відновлюються шийки наплавленням, напилюванням або зваренням.

Чавунні колінчаті вали правлять методом наклепу. Після визначення биття шийок вал установлюються так, щоб внутрішня поверхня шийки із задирами була звернена нагору. Потім спеціальною оправкою (тупе зубило), направленою в жолобник шийки (пневматичним молотком) наклепують жолобники з перекриттям утворених лунок. Потім індикатором періодично перевіряють вал на биття і доводять його до значення 0,050-0,080 мм. Тривалість виправлення цим способом становить 10-15 хв.. При цьому підвищується втомна міцність валу, знижуються напруження в небезпечному перерізі. Виправлення не сприяє виникненню залишкових деформацій, не потрібно нагрівати вал, забезпечується висока точність [4].

У внутрішніх каналах близько заглушок накопичується багато бруду. Тому потрібно вилучити заглушки й промити внутрішні канали. Якщо цього не зробити, бруд обов'язково зіпсує найкраще шліфування [4].

2.3 Проблеми шліфування колінчастого валу

Слабке місце колінчастого валу — шатунні шийки, включаючи жолобники (переходи від шийки до щік-противагів). Після шліфування шатунних шийок внутрішні напруження в їхньому поверхневому шарі можуть змінити своє значення, що стане причиною деформації всього валу. Якщо корінні шийки шліфувати раніше шатунних, то вал деформується — вісь корінних шийок зігнеться, а самі шийки отримають взаємне биття.

Найпідданіші деформації нежорсткі вали — із шатунними шийками малого діаметру, які не мають противаг із двох сторін шатунної шийки. Спроба

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

шліфувати такі вали, починаючи з корінних шийок, закінчується невдачею — отримується підвищене биття й еліпсність шийок [4].

Однак не завжди шатунні шийки шліфують у першу чергу. При шліфуванні шатунних шийок вал установлюють у патронах верстата. І якщо поверхня валу, яка затискується кулачками патрона, некондиційна, а відновлена (наприклад, хвостовик валу наварювався), то спочатку шліфують настановну базу, а потім — шатунні шийки. А якщо не так, то виникне похибка базування і шатунні шийки стануть непаралельними корінним.

На сьогодні для шліфування колінчастих валів застосовують спеціалізовані верстати із пристосуваннями, які зміщують вісь корінних шийок щодо осі обертання валу у верстаті. Це потрібно для шліфування шатунних шийок [4].

Для збереження радіусу жолобникових щік і не підрізати їх, на краях шліфувального кола передбачені радіуси, рівні до радіусам жолобників. Цю операцію необхідно робити для валів, у яких на краях шийок немає канавок для виходу шліфувального кола. У результаті концентрації напружень у підтятих жолобниках відбувається зниження міцності (вали ламаються).

Щоб шліфувати шатунні шийки, вал установлюють у патрони верстата так, щоб його вісь обертання могла проходити через одну шатунну шийку. Але зміщений вал, який обертається навколо осі однієї з шатунних шийок, буде незбалансованим. А дисбаланс при обертанні призведе до деформації валу й елементів верстата. В результаті знижується якість обробки — з'являється еліпсність шийки (ї вісь стане непаралельною осі корінних шийок). Щоб зменшити дисбаланс валу, застосовують спеціальні вантажі, які закріплюють на планшайбах напроти патронів верстата [4]. Маса й розташування балансувальних вантажів підбирається залежно від маси валу й радіуса кривошипа.

За допомогою стійки з індикатором встановлюється положення валу (вісь обертання валу повинна збігатися з віссю оброблюваної шийки). Так як більшість колінчатих валів (в 4-х і 6-циліндрових двигунів) мають парні шатунні шийки, які лежать на одній осі, то при вивірці осі обертання таких валів її роблять відразу для пари шийок, розташованих на одній осі [4].

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Домагатися збігу осей парних шийок доцільно не тільки з чисто геометричних міркувань: збіг осей — це однаковий:

- кут випередження запалювання;
- хід поршнів у всіх циліндрах.

Врізне шліфування шийок проводять кількома проходами з поперечною подачею в межах 0,050 мм/об при постійному проміжному контролі. Для нежорстких валів подачу знижують до 0,030 мм/об. Час між проходами збільшують, проводять виходжування (коли коло й вал обертаються без зняття припуску [4]).

Ширина шліфувального кола завжди менша ширини шийки. Для забезпечення обробки шийки по всій ширині, коло подають по осі шийки до торкання щік. Цю операцію виконують з так обережністю — при врізанні в щоки (противаги) вал вібрує, що призводить до огранювання поверхні шийки.

Для шліфування корінних шийок правильна схема базування валу — установка його в центрах: задній центр повинен бути нерухомим (фіксується стопором), інакше через прослизання в центровій фасці вал буде обертатися нерівномірно, і шийки після шліфування будуть некруглими [4].

При шліфуванні в центрах потрібно замінити планшайби з патронами на центри. Через великі витрати часу в багатьох майстернях для ремонту колінчастих валів використовуються 2 верстати — 1-й для шатунних шийок (з планшайбами й патронами), 2-й — для корінних (з центрами). Це робиться для заощадження часу. При цьому сила стиснення валу центрами повинна бути \min (бо вал здеформується), а після шліфування корінних шийок при знятті з верстата вал розігнеться й стане кривим [4].

Перед установкою валу в центрах потрібно контролювати биття поверхонь шийки, хвостовика, заднього сальника. Якщо биття більше 0,01-0,02 мм, то необхідно виправити центрові фаски або відновити зношену посадкову поверхню центрів верстата.

Шліфувати починають із шийок з максимальним зносом (перша або середня), щоб визначити ремонтний розмір корінних шийок. При цьому не потрібно забувати про торцеві поверхні упорного підшипника — деякі двигуни з фланцевим корінним вкладишем при зменшенні корінних шийок одночасно

збільшується ширина між фланцями. А це вимагає додаткового шліфування відповідних поверхонь на валу [4].

Чітке шліфування забезпечує конусність, еліпсність і взаємне биття шийок (до 0,003 мм). Після шліфування згадують про профіль мікронерівностей отриманих поверхонь: гострі виступи мікронерівностей у початковий період експлуатації двигуна викличуть зношування вкладишів при одночасному забрудненні системи мащення продуктами зношування (мастило стане сірим). Гострі (з мікрозаусенцями) краї мастильних отворів ушкоджують вкладиші, залишаючи на них борозни. Жолобники з грубою після шліфування поверхнею викличуть втомне руйнування валу.

Щоб усунути мікронерівності та згладжування гострих країв мастильних отворів потрібно довести шийки валу після шліфування. Остаточна фінішна обробка валу проводиться суперфінішуванням або поліруванням. Суперфінішування дає якіснішу поверхню, але потрібне спеціальне устаткування. Його застосовують у масовому виробництві. В умовах СТОА краще полірувати: вручну за декілька переходів — спочатку дрібнозернистим наждаковим папером, який вставляють у кліщі-захвати, а далі — абразивною пастою. При зніманні не більше 0,001 мм полірування повністю усуває мікронерівності [4].

Якщо вал був прошліфований, то можливо, що хвостовик і поверхні сальників неспіввісні корінним шийкам (іноді биття на цих поверхнях більше 0,1-0,15 мм, що у 10 разів більше припустимого). Тоді перед шліфуванням потрібно підібрати вкладиші необхідного ремонтного розміру [5]).

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 Умови роботи та властивості матеріалу колінчастого валу

3.1 Особливості матеріалу колінчастого валу

Матеріал колінчастого валу: чавун магнієвий високоміцний ВЧ-50-1,5 ДЕРЖСТАНДАРТ 7293-85 (СТ СЭВ 4558-84). Металева основа – перлітно-феритна [7, 8, 9] – рис. 3.1.

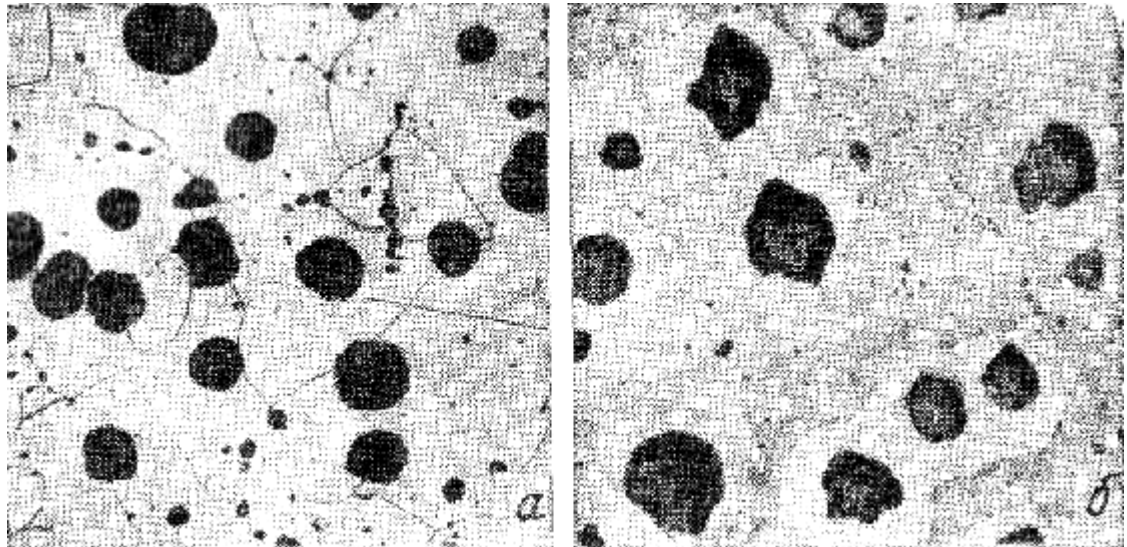


Рисунок 3.1 – Мікроструктури: високоміцний чавун на феритній (а) і ферито-перлітній (б) основі

Букви ВЧ означають – високоміцний чавун. Цифри після букв:

– межа міцності на розтяг $\sigma_s = 50 \text{ кгс/мм}^2$ (500 МПа);

– через дефіс – відносне видовження $\delta = 1,5\%$.

Деталь відноситься до класу «вали».

Шорсткість робочої поверхні: $R_a = 0,63 \text{ мкм}$, корінних і шатунних шийок $R_a = 0,32 \text{ мкм}$.

Точність обробки поверхонь: G8.

Базовими поверхнями при виготовленні колінчастого валу є центрові отвори (торці).

Твердість матеріалу HB 187-255.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ

Арк.

Термообробці піддаються шатунні й корінні шийки (загартування СВЧ).

3.2 Умови роботи колінчастого валу при експлуатації

Деталь зазнає значні вібраційні, знакозмінні, ударні динамічні навантаження.

Характер зношування: абразивний. Має місце тертя ковзання.

Деталь працює в умовах досить високої температури.

Можливі зміни структури матеріалу деталі відсутні.

У процесі роботи відбувається зношування шатунних і корінних шийок, отворів, шпонкової канавки, різьби; виникаюче ударне навантаження викликає появу обломів і тріщин будь-якого характеру й розташування, вигинів валу.

3.3 Загальні відомості про матеріал колінчастого валу

Чавуном називають сплав заліза з вуглецем та іншими елементами, які містять більше 2,14 % С.

Високоміцні чавуни (ДЕРЖСТАНДАРТ 7293-79) – різновид сірих чавунів, які отримують при модифікації їх магнієм або церієм. Графітові вclusions в цих чавунах мають кулясту форму. Такі чавуни при високій межі міцності до 12 МПа мають і відносно високе видовження до 17%.

Високоміцний чавун з кулястим графітом або ВЧКГ – це конструкційний матеріал з високими міцнісними властивостями й достатніми експлуатаційними характеристиками. У чавунах форма зерна графіту впливає на їх міцнісні характеристики. У високоміцному чавуні ВЧКГ графітні вclusions мають кулясту форму. Тому ВЧКГ за механічними властивостями суттєво перевершує сірий чавун та успішно конкурує зі сталлю. Високоміцний чавун з кулястим графітом вигідно відрізняється від сталі гарними ливарними властивостями (високою рідкотекучістю, меншою усадкою, малою схильністю до утворення гарячих тріщин тощо), простотою процесу виплавляння й меншою вартістю.

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Кулястий графіт також називають сфероїдальним або глобулярним графітом [7, 8].

У 1943 році на з'їзді Американської Асоціації Ливарів (AFS) J.W. Bolton фантазував на тему керування формою графіту в сірому чавуні. Через кілька тижнів американець Keith Dwight Millis у дослідницькій лабораторії «International Nickel Company» (INCO) зробив наступне відкриття: при додаванні магнію у розплав чавуну в ковші, у виливку утворюється не пластинчастий графіт, а графіт практично ідеальної кулястої форми. Тому можна фактично вважати роком народження високоміцного чавуну з кулястим графітом (ВЧКГ) 1943 рік [8].

Рекомендований хімічний склад чавуну ВЧ-50-1,5 наведено у табл. 3.1[14].

Таблиця 3.1 – Чавун ВЧ-50-1,5: масова доля елементів, %

Марганець Mn	Фосфор P	Сірка S	Хром Cr	Мідь Cu	Нікель Ni
0,3-07	0,1	0,02	0,15	-	-

3.4 Структура високоміцного чавуну

Високоміцний чавун — чавун, який має графітні включення сфероїдальної форми. Іноді позначається як чавун з кулястим графітом [12].

Графіт сфероїдальної форми має менше відношення його поверхні до об'єму і менший надрізуючий вплив на металеву основу. Це визначає найбільшу суцільність основи і тому підвищену міцність й тріщиностійкість чавуну. Структура металевої основи чавунів з кулястим (сфероїдальним) графітом залежно від хімічного складу чавуну й параметрів технологічного процесу може мати різну структуру [12].

За структурою металевої основи високоміцні чавуни бувають феритні (ферит + кулястий графіт – допускається до 20% перліту), перлітні (допускається до 20% перліту), феритно-перлітні (ферит + перліт + кулястий графіт), перлітні (перліт + кулястий графіт), перліто-цементито-феритні й

аустенітні [8, 9]. Високоміцний чавун також може мати трооститну, троостито-феритну, мартенситну, перліто-цементитну й ін. структуру [9, 11].

Феритний та аустенітний чавуни відрізняються високими пластичними властивостями (відносне подовження 5,0-35,0 %, ударна в'язкість 2,0-20,0 кгс•м/см²). До аустенітного чавуну відносять такі чавуни, як номаг і нирезист (мають різний вміст Ni). Високі фізико-механічні властивості аустенітних чавунів зберігаються незмінними до температури 600 °С. Такий чавун використовують при низьких температурах (до -250 °С). Перлітний і трооститний чавуни мають високу міцність (межа міцності на розтяг 60,00-140,00 кгс/мм²) при відносно невисоких пластичних властивостях (відносне подовження становить 2,0-6,0 %, ударна в'язкість 2,00-6,00 кгс•м/см²). Перлітна структура утворюється за допомогою Ni, Cu, Cr, Mn й Pb. Чавун з перлітною й трооститною структурами має високу зносостійкість; чавун з трооститною і троостито-феритною структурами одержується ізотермічним загартуванням [9, 11].

Їх одержують модифікуванням магнієм, церієм, ітрієм, які вводять у рідкий чавун у кількості 0,020-0,080 %. Кулястий графіт – слабший концентратор напружень, ніж пластинчастий, тому менше знижує механічні властивості чавуну [8].

Під дією Mg графіт у процесі кристалізації приймає не пластинчасту, а кулясту форму. Кулястий графіт, маючи мінімальну поверхню при даному об'ємі, значно менше послабляє металеву основу чавуну, ніж пластинчастий. На відміну від пластинчастого чавуну він не є активним концентратором напружень. Тому ці чавуни мають високі механічні властивості (не поступаються ливарній вуглецевій сталі).

Включення графіту в структурі чавуну мають різну форму. У високоміцних сплавах графітні фрагменти кулясті. Вони сприяють зниженню концентрації напружень і надають металу підвищену пластичність і механічну стійкість, аналогічно показникам сталі. Отже, високоміцний чавун можна використати замість сталевих сплавів: у числі його додаткових переваг – антикорозійні властивості, зносостійкість, довговічність експлуатації, жароміцність й металоємність виробничого процесу. Це зменшує його собівартість [9].

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Особлива перевага високоміцного чавуну – високі механічні властивості, обумовлені наявністю у структурі кулястого графіту. Він менше пластинчастого графіту у сірому чавуні послаблює робочий переріз металевої основи та не виявляє на неї сильної надріжуючої дії. Завдяки цьому навколо включень графіту менше створюються концентратори напружень. Чавун з кулястим графітом має не тільки високу міцність, але й пластичність [9].

Одержання в структурі чавуну кулястої форми графіту засноване на роздільній або спільній обробці рідкого чавуну магнієм, кальцієм та іншими присадками, які містять зазначені речовини [8].

S має вплив як на структуру, так і на механічні властивості високоміцного чавуну з кулястим графітом. На практиці регулювання кількості фериту в нетермообробленому стані здійснюється підбором вмісту S у металі. При вмісті 3,00-3,30 % S сприяє одержанню стійкої феритної структури у литому стані. Але пластичність чавуну при цьому знижується, а при кількості $S > 3,50$ % буде крихкість навіть при звичайному вмісті Mn й P. Тому рекомендують приймати вміст S на рівні 2,00-2,40 %, а для одержання чистого фериту – застосовують термічну обробку. Вміст S не повинен бути $> 2,30$ %, щоб уникнути негативного впливу його на ударну в'язкість.

На противагу S Mn у високоміцному чавуні з кулястим графітом зменшує кількість фериту й збільшує кількість перліту. Це збільшує межу міцності й зменшує пластичність. Тому для одержання високої пластичності вміст Mn не повинен бути $> 0,40$ %. У тих випадках, коли в литій структурі допускається деяка кількість перліту, вміст Mn може становити 0,40-0,80 %. Щоб знизити поріг холодноламкості рекомендують вміст Mn знижувати до 0,30 % і менше.

Mg – надзвичайно активний елемент. Уведений у рідкий чавун, він вступає у хімічну взаємодію з усіма елементами, крім Fe, утворюючи оксиди, нітриди, сульфідні й інші з'єднання. Цим він очищає чавун від неметалічних включень і газів, різко підвищує щільність. Тому в результаті цих складних фізико-хімічних реакцій відбуваються зміни властивостей чавунів: змінюється форма графіту на кулястий і підвищується пластичність і міцність.

Вміст P у чавуні з кулястим графітом не повинен перевищувати 0,10 %. А якщо ні, то утворення фосфідної евтектики призводить до зниження відносного подовження й ударної в'язкості. У тих випадках, коли чавун з кулястим

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

графітом використовують для товстостінних виливків, вміст Р зменшують через його ліквідацію.

У високоміцному чавуні сірка, як правило, вилучається завдяки присадці глобулізуючих елементів, але вихідний вміст сірки має важливе практичне значення. З одного боку, вміст сірки впливає на механічні властивості, а з іншого – затрудняє модифікування: низький вихідний вміст сірки є найважливішою умовою одержання високих показників властивостей у виливках з ВЧКГ.

На практиці чавуни з кулястим графітом для одержання визначених властивостей легують тими самими елементами, що й сірий чавун. Слід зазначити, що навіть невелике легування Mn, Ni, Cr, Mo і Cu підвищує як механічні властивості ВЧКГ, так і деякі спеціальні властивості (ерозії, корозії, опір зношуванню, повзучості тощо). Магній і церій, які застосовують як сфероїдизатори, залишаються у чавуні з кулястим графітом у кількості 0,03 % і 0,02 % відповідно, а надвисокий вміст магнію й церію призводить спочатку до утворення цементиту в литій структурі, а потім до «перемодифікування» (утворення пластинчастого графіту). Тому залишковий вміст магнію й церію не повинен перевершувати відповідно 0,08 % і 0,05 %.

У цілому вміст домішок різних металів у вихідному чавуні є найстійкішою спадкоємною ознакою, яка сильно впливає на процеси сфероїдизації графіту й структуроутворення металевої основи.

3.5 Властивості високоміцного чавуну

Властивості високоміцних чавунів (ВЧ) різноманітні, однак їх відмінною рисою є комбінація гарних ливарних властивостей і високих міцнісних характеристик. До властивостей ВЧ відносяться також:

- гарна обробка різанням;
- висока пластичність;
- низька чутливість до концентраторів напружень;
- стійкість до циклічних навантажень.

Ливарні властивості ВЧКГ:

- висока рідкотекучість;

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- мала схильність до утворення гарячих тріщин;
- мала усадка.

Вимоги до механічних властивостей ВЧ регламентовані стандартом СТ СЕВ 4558-84 [8].

ВЧ мають високі ливарні властивості: рідкотекучість практично всіх марок ВЧ — до 600 мм, усадка у виливках — до 1 мм. Ліквация в цих чавунів практично відсутня. Крім того, виливки з ВЧ мають високу оброблюваність різанням (фрезеруванням, точінням, шліфуванням тощо), високі зміцнюваність і прокалюваність. Важливою експлуатаційною властивістю деталей, виготовлених з ВЧ, є їхня припрацьовуваність у вузлах тертя й тиску [8].

Популярність ВЧ і його широке застосування у виробництві металевих виробів і конструкцій обумовили такі його механічні характеристики, як гарний тимчасовий опір, підвищена ударна в'язкість, значне відносне подовження та висока границя текучості. Крім того, ВЧ має всі переваги СЧ. Він відрізняється високою міцністю на стиск та втомною міцністю, підвищеними ливарними властивостями, легко піддається механічній обробці [9].

У цілому, ВЧКГ має механічні властивості сталі (іноді перевершують їх) і ливарними властивостями сірого чавуну (СЧ – висока рідкотекучість, відсутність схильності до утворення тріщин тощо). Тому виливки з такого чавуну широко використовують у промисловості. Наприклад, термін служби ливарних форм з ВЧКГ вище в 1,50-2,50 рази форм з СЧ [9].

Чавун з кулястим графітом часто використовують у верстатобудуванні. Він дозволяє створювати складні литі деталі для верстатів та устаткування важкого машинобудування, які мають масу > 150 тонн (циліндри та станини кувальних пресів, матрицетримачі машин інжекційного пресування, поршні та інші вироби), знижуючи масу цих деталей та зберігаючи достатню твердість. Такий чавун - відмінний матеріал для ручних інструментів (калібрів, гайкових ключів, струбцин тощо). Чавун з кулястим графітом широко використовують для виробництва запірної й регулюючої арматур, яка працює в рідких і газових середовищах (сольових, кислотних і лужних) [9].

У таблиці 3.2 наведені механічні властивості чавуну ВЧ-50-1,5 у литому стані або після термічної обробки [9, 11, 14, 15].

						ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 3.2 – Механічні властивості чавуну ВЧ-50-1,5 у литому стані або після термічної обробки

Тимчасовий опір при розтягу σ_B , МПА (кгс/мм ²)	Умовна границя текучості σ_{02} , МПА (кгс/мм ²)	Відносне подовження, δ , %	Твердість по Брінеллю, НВ
500 (50)	320 (32)	1,5	153-245

3.6 Технологія одержання високоміцного чавуну

Розроблена технологія одержання виливків із сірого ливарного чавуну зі структурою у вигляді кулястого графіту. Цей чавун порівняно зі звичайним сірим ливарним чавуном має високі механічні властивості, поєднуючи в собі властивості сталі й чавуну. Конструкційний матеріал, який застосовується для лиття деталей зі структурою кулястого графіту, одержав назву високоміцного чавуну. Технологія його одержання наступна. Перед розливанням у форму в рідкий чавун, що перебуває в розливному ковші, уводять присадки Mg в межах 0,03-0,07 % від загальної маси розплаву. Цей процес називають модифікуванням [8].

Модифікування чистим Mg викликає спалах, тому його уводять у випарник (металева або графітова коробка з отворами) у вигляді лігатури — сплавів Mg з S або Ni. У процесі модифікування ливарного СЧ в розплавленому стані при охолодженні вилівка змінюється його мікроструктура. Одержувана мікроструктура кулястого графіту не послабляє металеві основи вилівка: після модифікування в чавунних виливках у кілька разів збільшується міцність, твердість та ударна в'язкість порівняно з вихідним матеріалом [8].

Найважливішою вимогою до хімічного складу рідкого металу при одержанні ВЧКГ є низький вміст S — до 0,03%. При цьому зниження її вмісту сприяє зменшенню витрати дорогих модифікаторів [16].

Технічними умовами допускається вміст S не більше 0,012 %. Скласти шихту з таким низьким вмістом S практично неможливо, тому завданням плавки є десульфурація. У зв'язку з цим використання для плавки дугових печей з основною футеровкою у цьому випадку є виправданим, незважаючи на високе пилогазовиділення й шум.

При наведенні основного шлаку рекомендують вводити вапно (6 кг/т металу) для зниження надлишкової кількості S на 0,001 %. Вміст у чавуні демодифікаторів Pb, Bi, Sn, Sb, As, Ti, Al навіть у незначних кількостях перешкоджає сфероїдизації графіту. З урахуванням цього потрібно ретельно відбирати шихтові матеріали. Не допускається використовувати брухт невідомого походження. Крім первинних матеріалів і повернення використовують сталеві відходи ковальсько-пресового виробництва [16].

Температура чавуну при модифікуванні ВЧКГ повинна бути вище, ніж при модифікуванні СЧ (1480-1530 °С). Це пояснюють тим, що на випаровування Mg, уведеного в розплав, потрібна більша кількість теплоти (при введенні кожного 1 % Mg температура чавуну знижується на 80-90 С).

3.6.1 Сфероїдизуючі модифікатори

Куляста форма графіту в чавуні досягається використанням модифікаторів, що містять магній, церій та ітрій. Модифікатори на основі Mg, у свою чергу, розділяють на металевий Mg і магнійвмісні лігатури. Металевий Mg має щільність у 4 рази меншу, чім розплавлений чавун, тому при простому введенні його в метал він спливає й згоряє сліпучим яскравим полум'ям. При примусовому зануренні його в розплав чавуну при температурі 1400 °С Mg випаровується й тиск його парів досягає 0,7 МПа. Пари Mg, виходячи з розплаву, викликають інтенсивне перемішування й викиди металу. Над поверхнею розплаву пари Mg згоряють (в металі залишається не більше 1/10 кількості введеного в нього Mg [16]).

Для поліпшення засвоєння Mg розплавом використовують магнійутримуючі лігатури, Mg-S-Fe, Mg-Ni, Mg-Cu, Mg-Ni-Cu тощо. Особливо широке поширення одержали важкі лігатури, які утримують близько 85 % Ni.

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Щільність такої лігатури вище, чим рідкого чавуну, що в комбінації з відносно низьким вмістом Mg визначає її гарне засвоєння й незначний піроефект [16].

Але Ni вертається в шихту й практично не чадіє в процесі плавки. Враховуючи, що частка повернення при виробництві ВЧКГ становить не менше 40%, вміст Ni в металі швидко росте від плавки до плавки, якщо в шихті використовується більше 10 % повернення. Це створює організаційні труднощі, які пов'язані з використанням надлишків повернення чавуну, модифікованого Ni-Mg лігатурою. Враховуючи відбілюючу дію Mg, роблять вторинне модифікування феросиліцієм ФС75 у кількості від 0,3 до 1 % (залежно від товщини стінки вилівка [16]).

3.6.2 Церієві модифікатори

Температура кипіння церію (Ce) становить 3450 °С, тому при введенні його в розплав чавуну не спостерігається викидів металу, і, крім того, температура розплаву нижча (1390-1410 °С). Однак, для його рівномірного розподілу необхідно примусово перемішувати метал [16].

Ce, так само як і Mg, є активним десульфуратором, але, на відміну від Mg, не утворює чорних плям у структурі виливків при підвищеному вмісті S у вихідному чавуні[16].

Щоб одержати ВЧКГ, Ce застосовують у вигляді наступних лігатур: фероцерій, мишметал, церієвий мишметал, сиитмиш тощо, що містять близько 50 % церію [16].

3.6.3 Комплексні модифікатори

Поряд з Mg, який чинить сфероїдизуючу дію й перемішування, у комплексні модифікатори входить Si, який запобігає відбілюванню. Ce і кальцій у комплексних модифікаторах сприяють зв'язуванню надлишку Si [16].

Модифікатор ФЦМ5, що містить 5 % Mg, успішно застосовувався при литті колінчастих валів. У модифікаторах марок ЖКМК 1-ЖКМК10 крім Fe містяться Mg, Ca, S і рідкісноземельні елементи [16].

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У наш час найбільше застосування мають модифікатори ФСМГ5 і ФСМГ6, що містять відповідно 5 і 6 % Mg. Їх використовують для ковшового модифікування. Сфероїдизуючі модифікатори в роздрібненому стані не підлягають тривалому зберіганню (елементи, які входять до них, легко окислюються. Ітрієві модифікатори не одержали промислового застосування [16].

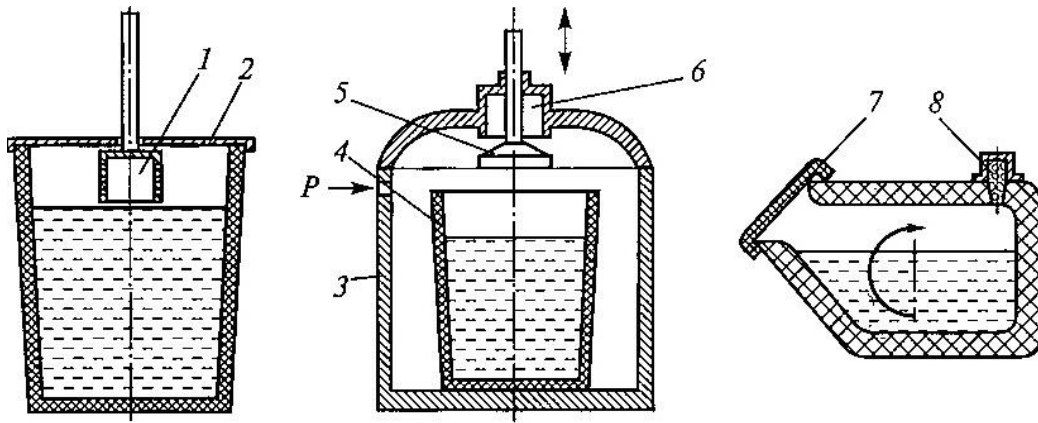
3.6.4 Способи введення в розплав сфероїдизуючих модифікаторів

Із усього різноманіття способів уведення в розплав сфероїдизуючих модифікаторів до теперішнього часу набули застосування лише кілька способів, які задовольняють умовам техніки безпеки й забезпечують високий коефіцієнт засвоєння модифікатора. Спосіб уведення модифікатора вибирають із урахуванням масштабів виробництва й вартості застосовуваного устаткування [16].

Для лабораторних і дослідницьких робіт, а також при невеликих обсягах виробництва кращий спосіб уведення модифікатора під дзвіночком у ковші з металевою кришкою (рис. 3.2, а).

У шамотографітовий або сталевий дзвіночок 1 з отворами в бічних стінках закладається паперовий пакет з навішенням модифікатора. Пакет закріплюється у дзвіночку в'язальним дротом. Кришка 2 надягається на штангу дзвіночка й установлюється на ківш. Дзвіночок опускається у глиб металу. При використанні важкої Ni-Mg лігатури широко використовують введення її під струмінь у розливальний ківш [16].

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 — дзвіночок; 2 — кришка; 3 — корпус автоклава; 4 — ківш з металом; 5 — мішалка; 6 — порожнина для модифікатора; 7 — кришка ковша; 8 — модифікатор

Рисунок 3.2 – Способи введення в розплав сфероїдизуючих модифікаторів: а — під дзвіночком; б — в автоклаві; в — у герметизованому ковші-конвертері

При використанні в якості модифікатора металевого Mg найкращі результати дає застосування автоклаву (рис. 3.2, б). У сталевий корпус автоклаву 3 при знятій кришці встановлюється ківш із металом 4. У порожнину 6 кришки закладається навішення Mg й закривається мішалкою 5. Кришка встановлюється на корпус автоклаву, стик між ними герметизований. Між кришкою й штоком мішалки стоїть ущільнююча манжета. Після подачі повітря в автоклав під тиском P пневматичний циліндр опускає мішалку вниз. При цьому модифікатор падає в метал, який перемішують при зворотно-поступальному русі мішалки [16].

Широке поширення одержали також герметизовані ковші, принцип дії яких показаний на рис. 3.2, в. У бічну порожнину ковша закладається навішення модифікатора 8. Після заливання металу ківш закривається кришкою й повертається у вертикальне положення [16].

Установлено, що мінімальна кількість залишкового Mg, необхідна для одержання кулястої форми графіту в чавуні, повинна бути не менше 0,03 %. З урахуванням коефіцієнта засвоєння модифікатора кількість Mg, що вводиться з модифікатором, повинна бути 0,40 %. При використанні комплексних

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

сфероїдируючих модифікаторів сумарний вміст у них Mg, Ca й рідкісноземельних елементів повинен бути еквівалентний зазначеному вище вмісту Mg [16].

Витрата модифікатора залежить від його складу, способу введення в метал, вмісті в металі S, температури металу й інших факторів (становить від 0,150 % для металевого Mg, що вводиться в автоклав, до 2,50 % для лігатур при додаванні їх у ківш). Необхідна й достатня кількість модифікатора, що вводиться, уточнюється тільки дослідним шляхом [16].

3.7 Термічна обробка високоміцного чавуну

Необхідну структуру металевої основи формують в процесі лиття й наступної термообробки (ТО). Для поліпшення механічних властивостей виливок з ВЧ піддають різним видам ТО: загартуванню з наступною відпусткою, відпалу й нормалізації [8].

Особливістю ТО чавуну, на відміну від сталі й кольорових металів, є строгіший облік структури й механічних властивостей матеріалу у вихідному стані. При ТО чавунні деталі нагрівають й охолоджують з такою швидкістю, яка гарантує від утворення зовнішніх і внутрішніх тріщин і деформацій. У виробках великого перетину й складної конфігурації рекомендують знижену швидкість нагрівання й охолодження. Небезпечною є підвищена швидкість нагрівання в температурній області пружного стану. Для чавуну цей інтервал перебуває при температурах від кімнатної до 500 °С. При вищих температурах швидкість нагрівання можна збільшити (табл. 3.3 [10]).

3.8 Застосування високоміцного чавуну

ВЧКГ використовуються для заміни литої сталі у виробках відповідального призначення (валки гарячої прокатки, станини й рами прокатних станів, молотів і пресів). Порівняно зі сталлю вони мають незрівнянно вищі ливарні властивості й на 8-10 % меншу щільність (це знижує масу машин). Навіть кування відповідального призначення з легованих сталей можна замінити на виливки з

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВЧКГ. Приклад цього – колінчасті вали дизельних автомобільних двигунів, до яких висувають високі вимоги за статичною і втомною міцністю [9].

Таблиця 3.3 – Види термічної обробки деталей з ВЧ

Термічна обробка	Режим обробки	Призначення термообробки	Область застосування
Низько-температурний відпал	Повільне нагрівання до 500 °С, витримка 2-3 год., охолодження з піччю до 200 °С	Зняття внутрішніх напружень (на 80-90%)	Виливки складної конфігурації
Відпал графітуючий	Нагрів до 900-950°С, витримка 2-5 год., охолодження з піччю	Покращення оброблюваності різанням	Виливка, що мають у литому стані структурно вільний цементит
Нормалізація й відпустка	Нагрівання до 900-950 °С, витримка 2-5 год., охолодження на повітрі. Відпустка: нагрівання до 550-600 °С, охолодження з піччю	Підвищення межі міцності (на 40%) і зносостійкості	Виливка, що вимагають підвищеної міцності й зносостійкості (наприклад, колінчасті вали)
Загартування	Нагрівання до 900 °С, охолодження в маслі	Підвищення твердості й зносостійкості	Області застосування обмежені у зв'язку зі схильністю до утворення термічних тріщин
Ізотермічне загартування	Нагрівання до 850-880 °С, витримка 30-45 хв., перенос у ванну з температурою 300-350 °С, витримка 60 хв.	Значне підвищення межі міцності, збільшення зносостійкості	Дрібні вироби простої конфігурації, які працюють на інтенсивному зношуванні
Поверхнєве загартування з нагріванням струмами високої частоти	Загартування з 950-1100 °С залежно від структури вихідного чавуну	Підвищення границі витривалості, різке збільшення зносостійкості	Високонантажені вироби, що вимагають підвищеної зносостійкості.

Основна область застосування ВЧ – виробництво деталей відповідального призначення в машинобудуванні, автомобілебудуванні, будівництві й інженерних комунікаціях. ВЧ застосовуються у різних областях техніки, ефективно замінюючи сталь у багатьох продуктах і пристроях. З них виготовляють устаткування прокатних станів (прокатні валки масою до 12 т), ковальсько-пресове устаткування; у турбобудуванні – корпус парової турбіни, лопатки напрямного апарата, у дизелі-, тракторо- і автомобілебудуванні – колінчасті вали, поршні й відповідальні багато інших деталей, що працюють при високих циклічних навантаженнях і в умовах зношування [9].

З ВЧКГ виготовляють виливки розважуванням від десятих часток кілограма до декількох десятків тонн. Властивості ВЧКГ дуже різноманітні, тому ВЧ застосовують: замість СЧ — для подовження терміну служби виливків (виливниць, прокатних валків, поршневих кілець, поршнів тощо); замість сталі — з метою спрощення й здешевлення виробництва, зменшення кількості металу й раціоналізації конструкції виливків (колінчастих валів, шестірень, траверс тощо); замість кольорових сплавів — з метою скорочення витрат дефіцитних металів і зменшення вартості машин. Поряд з конструкційними ВЧ застосовують високоміцні чавуни зі спеціальними властивостями: жаростійкий, стійкий у різних агресивних середовищах, антифрикційний ВЧ з низьким коефіцієнтом тертя і т.д. [8].

Чавун з кулястим графітом застосовують у хімічному й нафтовому машинобудуванні (деталі насосів і компресорів, труби, покриття й кільця бурових машин, засувки й арматури крекінгових установок, корпуси автоклавів), в автотракторній промисловості й сільськогосподарському машинобудуванні (розподільні й колінчасті вали, гальмові барабани, картери коробок передач і задніх містків, маточини коліс, сошники плугів, зуби борін, шестірні сіялок, диски луцильників), у верстатобудуванні (корпуса токарних патронів, супорти, шпинделі, важелі механізмів затискачів револьверних верстатів і верстатів-автоматів, задні бабки, шестірні, шківні токарних і шліфувальних верстатів), для виготовлення шахтних і тунельних тубінгів тощо [9].

Найвідоміша на сьогоднішній день область застосування ВЧ — це виробництво труб із ВЧКГ: зростання виробництва виливків з ВЧКГ

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

обумовлений винятково сприятливою комбінацією фізико-механічних, експлуатаційних і механічних властивостей цього матеріалу, а також економічними міркуваннями, обсяг виробництва й споживання виливків з ВЧКГ безупинно збільшується [8].

Найпоширенішим у світовій практиці способом одержання ВЧ є магнієвий процес, заснований на введенні в розплав металевого Mg, магнієвих лігатур і комплексних модифікаторів, що містять Mg [8].

Менша питома вага й значно вища рідкотекучість порівняно зі сталлю робить чавун з кулястим графітом високоефективним при використанні в автомобільній промисловості. Він знижує масу автомобіля, тим самим збільшує його потужність. З такого чавуну роблять колінчасті вали, картери, шестірні тощо [11].

Незважаючи на достатню кількість наукових робіт на цю тему, дотепер дискусійними залишаються такі важливі питання, як оптимальний склад модифікатора, умови й технології модифікування, механізм утворення графіту, режими термообробки й інші [8].

4 Розробка технологічного процесу відновлення колінчастого валу

4.1 Ремонтне креслення колінчастого валу

На ремонтному кресленні місця, що підлягають відновленню, виконують суцільною основною лінією. Граничні відхилення розмірів проставляють у вигляді умовних позначок, поруч із якими в дужках поміщають їхні числові значення. Допуски на вільні розміри 14, 15, 16 квалітетів проставляють з округленням до десятих часток міліметра.

На ремонтних кресленнях зображуються тільки ті види, розміри й перетини, які необхідні для відновлення деталі (рис. 4.1). Ремонтні й приганяльні розміри, а також розміри деталі, ремонтуваної зняттям мінімального необхідного шару металу, позначають буквами, а їх числові значення й інші дані вказують на виносних лініях або в таблиці, що міститься в

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

правій верхній частині креслення. На ремонтному кресленні поміщають також технологічні вимоги й вказівки.

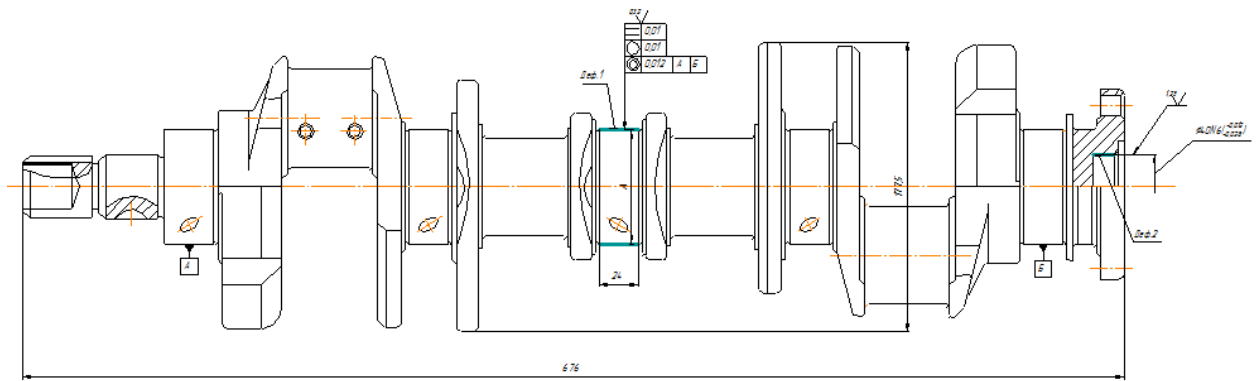


Рисунок 4.1 – Ремонтне креслення колінчастого валу

4.2 Вибір раціональних способів відновлення колінчастого валу

Кожна деталь повинна бути відновлена з мінімальними трудовими й матеріальними витратами при забезпеченні максимального строку її служби після ремонту. При обґрунтуванні способу усунення дефектів колінчастого валу слід розглянути:

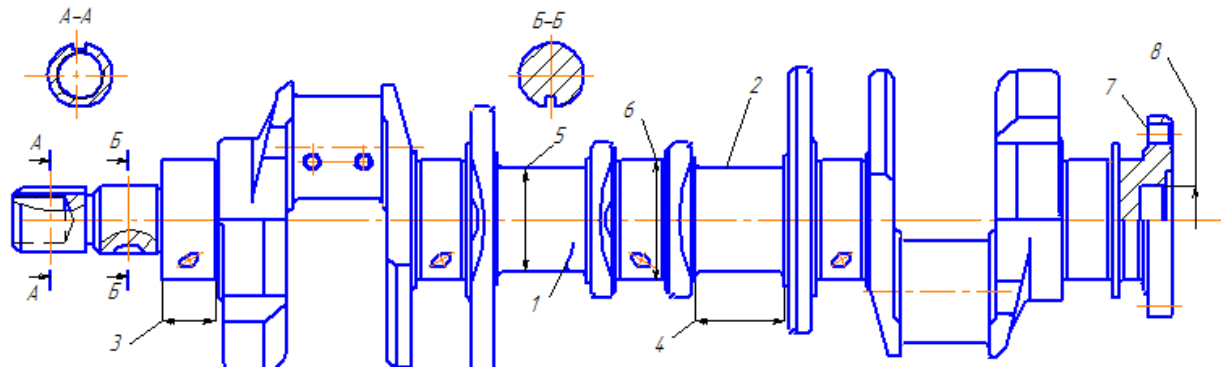
- конструктивні особливості деталі; матеріал колінчастого валу, можливі зміни структури, твердості, зносостійкості;
- число й види дефектів;
- можливі для даного матеріалу сучасні способи усунення кожного дефекту колінчастого валу окремо;
- можливість наступної механічної обробки колінчастого валу;
- техніко-економічну доцільність усунення дефектів прийнятим способом.

Дефекти колінчастого валу наведені на рис. 4.2.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ

Арк.



Ескіз див. на звороті		Деталь: Вал колінчастий				
		№ деталі: 66-1005011				
		Матеріал: Високоміцний чівун ВЧ-50-15 ГОСТ 7293-85			Твердість: НВ 187-255	
Позначення по ескізу	Найменування дефектів	Спосіб установлення дефекту та вимірвальні інструменти	Розміри, мм			Висновок
			номінальний	допустимий без ремонту	допустимий для ремонту	
1	Облами чи тріщини любого характеру й розміщення	Огляд Дефектоскоп	-	-	-	Бракувати
2	Згин валу	Призи. Індикатор	0,02	0,05	більше 0,05	Ремонтувати. Правка
3	Збільшення довжини передн. корінної шийки	Індикаторне пристосування для вимірювання довжини шийки	30,5 ^{+0,050}	30,90	-	Бракувати при збільшенні довжини шийки >30,90 мм
4	Знос шатунних шийок	Шаблон 52,2 мм	52 ^{+0,100}	52,20	-	Бракувати - довжина шийок більше 52,20 мм
5	Знос шатунних шийок	Мікрометр 50-75 мм	60 ^{+0,011}	-	-	Ремонтувати Шліфування до ремонтного розміру або наплавка

Позначення по ескізу	Найменування дефектів	Спосіб установлення дефекту та вимірвальні інструменти	Розміри, мм			Висновок
			номінальний	допустимий без ремонту	допустимий для ремонту	
6	Знос корінних шийок	Те саме	70 ^{+0,011}	-	-	Те саме
7	Знос отворів у фланці під долти кріплення маховика	Правка пластинчаста 12,05 мм	12 ^{+0,027}	12,05	більше 12,05	Ремонтувати. Розгортання до ремонтного розміру 12,25 ^{+0,031} разом з маховиком
8	Знос отворів під підшипник напрямного кінця ведучого валу коробки передач	Правка пластинчаста 40,00 мм або нутрімір індикаторний 35-40 мм	40 ^{+0,012} 40 ^{+0,028}	40,00	більше 40,00	Ремонтувати. Постановка втулки

Рисунок 4.2 – Дефекти колінчастого валу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ

Арк.

		застосовності;	
Вид і характер дефекту	1. Шийку з деформованими поверхнями на 0,015 мм із номінальним розміром	1. Відповідає розв'язку по попередньому параметру	1. РР
	2. Отвір з деформованими стінками на 0,020 мм	2. Відповідає розв'язку по попередньому параметру	2. ДРД
Умови роботи	1. Ударні, вібраційні, знакозмінні навантаження, граничне тертя ковзання	1. Відповідає розв'язку по попередньому параметру	1. РР
	2. Ударні, знакозмінні, вібродинамічні навантаження	2. Відповідає розв'язку по попередньому параметру	2. ДРД

де ДРД – додаткова ремонтна деталь, РГЗ - ручне газове зварювання, РДЗ - ручне електродугове зварювання, НФ – наплавлення під шаром флюсу, ВНД – вібродугове наплавлення, НВГ – наплавлення в середовищі вуглекислого газу, ПН – плазмове напилювання, СМ – синтетичні матеріали, РР – спосіб ремонтних розмірів, З – залізнення, Х – хромування, Д – пластичне деформування.

Настановними базами називають оброблювані поверхні, за допомогою яких вони орієнтуються на верстаті або в пристосуванні стосовно різального

						ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

інструменту. Настановними базами можуть бути центрові отвори, фаски, шийки, торці, гнізда тощо.

Настановні бази вибирають для кожної операції окремо. Базові поверхні вибирають з таким розрахунками, щоб при установці й затиску деталей не зміщалося з доданого їй положення й не деформувалося під дією зусиль різання й затисків. Найбільшої точності при механічній обробці досягають при обробці деталі на одній базі з однієї установки.

Якщо на деталі збереглося базова поверхня, по якій вона оброблялася при виготовленні, її слід використати при відновленні. Але базові поверхні найчастіше зазнають зношування, використовувати їх у цьому випадку не рекомендують. При відновленні деталі треба насамперед відновити основну базову поверхню, використовуючи допоміжну базу або створити нову базу.

При виборі базових поверхонь необхідно прагнути до того, щоб ТП забезпечив технічні вимоги на пряmolінійність, паралельність, перпендикулярність осей і поверхонь оброблюваної деталі.

Базовими поверхнями при відновленні корінних шийок є фаски отвору під різьбу храповика й отвору під кульковий підшипник.

Базовими поверхнями при відновленні отвору під кульковий підшипник є шийки під маточину шківів й задня корінна шийка.

4.3 План операцій технологічного процесу

Рекомендована послідовність розробки маршрутного ТП:

1. Вивчити типовий ТП відновлення деталі даного класу й усвідомити його побудову.
2. Призначити вміст операції та їх послідовність при усуненні групи дефектів, що входять у маршрут.
3. Розробити вміст переходів (для кожної операції призначити допоміжні й технологічні переходи з урахуванням об'єднання однойменних операцій по різних дефектах маршруту).
4. Для кожної операції призначити устаткування, пристосування, вимірювальний і різальний інструменти, розряд роботи. Устаткування слід

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

		підшипник, необертовий центр	верстата
2. Полірувати шийки	Бруски білого електрокорунду марки ЛОЗ-3	Те саме	(\varnothing 69,75 ^{-0,013} мм L = 35 мм Ra = 0,32 мкм
015. Токарна			
1. Установити колінчастий вал на верстат	Токарно- гвинторізний верстат моделі 16K20	Шийка під маточину шківа, задня корінна шийка, люнет	Вісь вала співвісна з віссю шпинделя верстата
2. Розточити отвір під підшипник	Різець розточувальний з пластиною з твердого сплаву T15K6	-	(\varnothing 50 мм L = 30 мм Ra = 1,25 мкм
020. Пресова			
1. Установити колінчастий вал на підставку преса	Прес гідравлічний 10т	Шийка під маточину шківа, задня корінна шийка	Вісь колінчастого валу співвісна з віссю штока пресу
2. Запресувати втулку в отвір	Пуансон	Те саме	-
025. Токарна			
1. Установити колінчастий вал на верстат	Токарно- гвинторізний верстат моделі 16K20	Шийка під маточину шківа, задня корінна шийка,	Вісь валу співвісна з віссю шпинделя

						ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

		люнет	верстата
2. Розточити отвір у втулці	Різець розточувальний пластиною твердого сплаву Т15К6	3 3	Те саме $\varnothing 40_{-0,028}^{-0,012}$ мм L = 30 мм Ra = 1,25 мкм
030. Контрольна			
1. Перевірити діаметр корінних шийок	Важільний мікрометр МР 75 ДЕРЖСТАНДАР 4381-87	-	$\varnothing 69,75_{-0,013}$ мм
2. Перевірити діаметр отвору під підшипник	Нутромір 18-50 ДЕРЖСТАНДАРТ 868-82	-	$\varnothing 40_{-0,028}^{-0,012}$ мм
3. Перевірити шорсткість корінних шийок	Зразки шорсткості	-	Ra = 0,32 мкм
3. Перевірити шорсткість отвору під підшипник	Те саме	-	Ra = 1,25 мкм

4.4 Призначення операцій технологічного процесу автоматичного наплавлення шийок валу під шаром легуючого флюсу

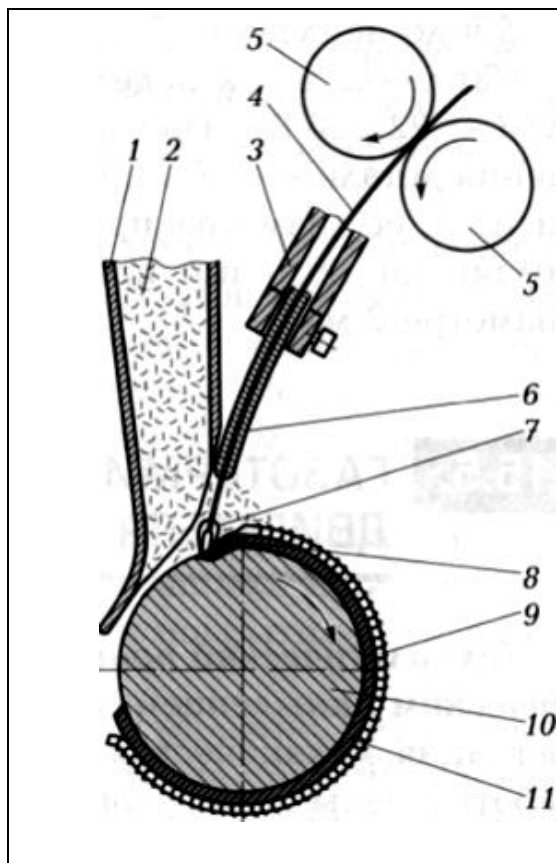
Автоматичне наплавлення шийок валу під шаром легуючого флюсу – одне з найпростіших способів відновлення зношених колінчастих валів: напавлений метал у процесі його охолодження самозагартовується до необхідної твердості, а термічної обробки валів після наплавлення не потрібно. При цьому дещо знижується втомна міцність колінчастих валів, що практично не позначається на їх працездатності. При точному дотриманні режиму наплавлення вал після ремонту має достатній ресурс (майже як новий [17]).

						ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

Процес автоматичного наплавлення колінчастих валів виконують за схемою, наведеною на рис. 4.2: деталь 10 закріплена у спеціальній установці на базі токарного верстата та обертається із частотою 2-5 об/хв. відносно наплавочної головки. Вона подається у зварювальну ванну 8 за допомогою роликів 5 через змінний наконечник 6 і мундштук подачі електродного дроту 3. Флюс 2 через мундштук подачі флюсу 1 рівномірно подається в зону електричної дуги: він у процесі наплавлення закриває товстим шаром зварювальну ванну й дугу, що горить між деталлю й дротом. Найменше оголення електричної дуги викликає порушення стабільності процесу, поганому формуванню шва, розбризкуванню електродного металу, утворенню в наплавленому металі раковин і пір. Щоб флюс краще тримався на поверхні шийки валу, електродний дріт подають до деталі під кутом відносно zenіту. А щоб поверхня наплавлення 11 була рівнішою, утворений валик повинен перекривати раніше наплавлений метал не менше 1/3 [17].

Щоб подавати електродний дріт в зону горіння дуги використовують наплавочні головки моделей ОКС-Ю31Б, ОКС-1252А та ін.. Головка ОКС-5523 працює в напівавтоматичному режимі й має безступінчасте регулювання швидкостей подачі електродного дроту й універсальні центрозміщувачі [17].

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – мундштук подачі флюсу; 2 – флюс; 3 – мундштук подачі електродного дроту; 4 – електродний дріт; 5 – ролики, які подають електродний дріт; 6 – змінний наконечник; 7 – електрична дуга; 8 – зварювальна ванна; 9 – застиглий флюс; 10 – вал; 11 – наплавлений метал

Рисунок 4.2 – Схема автоматичного наплавлення шийки колінчастого валу під шаром легуючого флюсу [17]

Джерелами струму при автоматичному наплавленні під шаром флюсу служать перетворювачі ПСГ-500, ПСУ-500-2 і випрямляч ВС-600. Флюс марки МАФ-2, зварювальні дроти Св-08 і Св-08А [20].

Колінчастий вал наплавляють повільно, не допускаючи перегріву. Багатошарові наплавлення (більше трьох шарів) для чавуну не рекомендуються. Краща якість наплавлення одержується при ширині валика, яка рівна 2,5 діаметра електроду. Валики накладають так, щоб кожний наступний перекривав попередній на 1/2-1/3 його ширини. Припуск на механічну обробку після наплавлення становить 2,0-3,0 мм. При цьому западини між валиками повинні бути вище лінії обробки поверхні після наплавлення [18].

Перед наплавленням відновлювані поверхні шийок валів зачищають абразивною шкуркою до блиску. Щоб зняти з електродного дроту залишки мастила перед входом дроту в наплавочну головку, встановлюють гумові шайби [19].

Отвори масляних каналів колінчастих валів перед наплавленням закупорюють графітовою пастою. Цю операцію виконують заздалегідь, щоб паста встигнула затвердіти (орієнтовно за 3-5 год. до наплавлення [19]).

Наплавлення шийок проводять у такому режимі:

- напруга дуги 22-26 В;
- сила зварювального струму 170-230 А;
- частота обертання валу 2,7-4,0 об/хв.

Швидкість подачі дроту залежить від її діаметра. При діаметрі дроту 1,6 мм швидкість її подачі становить 1,6-2,0 м/хв., при $\varnothing 1,80$ мм – 1,50-1,80 м/хв., при $\varnothing 2,0$ мм - 1,30-1,70 м/хв. [19].

Особливо уважно перевіряють вали з перегрітими шийками, які утворились після руйнування підшипників (вони можуть мати тріщини й глибокі задири). Таку перевірку виконують магнітним дефектоскопом. Глибокі тріщини, що проникають у тіло валу, – основа для вибракування [19].

На операції шліфування шийок валу перед його установкою на верстаті перевіряють центрові фаски. Тому вал ставиться у центрах і вимірюється биття хвостовика й поверхні заднього сальника. Якщо биття перевищує 0,01-0,02 мм, – правлять центрові фаски валу (інакше шліфувати корінні шийки буде неможливо). Способи виправлення фасок: 1) шабрування, 2) притирання і 3) проточування. 1-й спосіб простий, але неточний; 2-й – точний, але трудомісткий; найкращі результати дає проточування валу на токарному верстаті з використанням люнету [19].

Остання підготовча операція перед шліфуванням валу – видалення заглушок і промивання внутрішніх каналів: у внутрішніх каналах біля заглушок накопичується велика кількість бруду, який псує шліфування валу і ремонт двигуна зійде нанівець [19].

Якщо риси на шийках глибокі або їх овальність (після вимірювання) перевищує 0,050 мм, проводять їхнє шліфування таким чином, щоб одержати (залежно від ступеня зношування) діаметри, що відповідають найближчим ремонтним розмірам, і радіуси жолобників шийок (див. рис. 4.2 [19]).

Для шліфування колінчастого валу застосовують спеціалізовані шліфувальні верстати (рис. 4.3) із пристосуваннями, що дозволяють змістити вісь корінних шийок щодо осі обертання валу у верстаті (необхідно для шліфування шатунних шийок). Зсув центрів здійснюють переміщенням головок 2 і 7 по напрямним ползкам 1 і 8. Вал від провороту в центрах фіксують

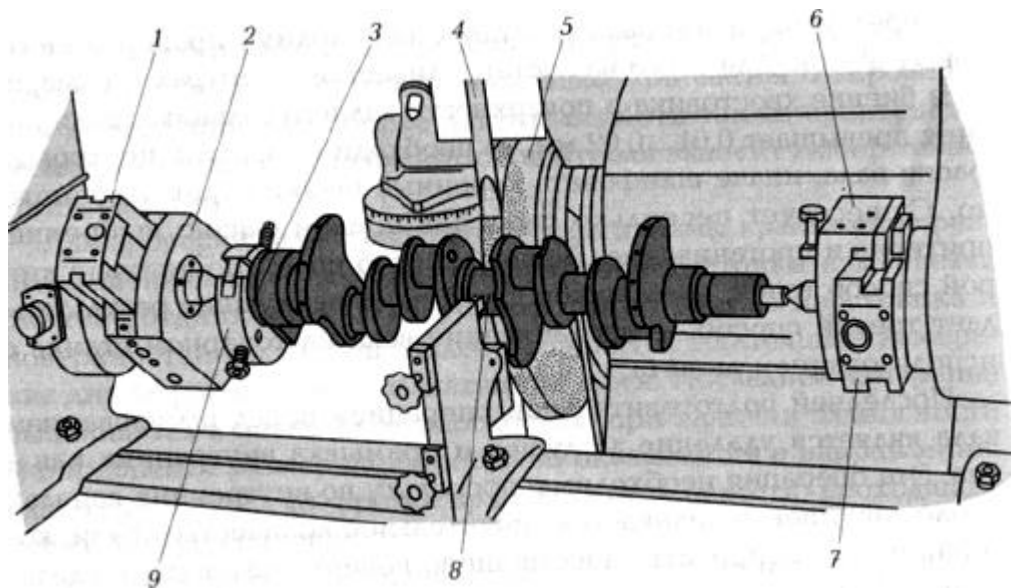
						ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

повідцем 11, установленим на фланець 3. У процесі обробки шліфувальне коло 5 і вал 9 охолоджують через трубку 4 для підведення охолодної рідини [19].

Як показує практика, результат шліфування валу залежить не від моделі шліфувального верстата, а від його стану (його дефекти й неточності при налагодженні унеможливають якісний ремонт валу [19]).

Погана підготовка шліфувального кола (биття більше 0,003-0,004 мм) призводить до дроблення, при якому поверхня шийки набуває характерного «багатогранного» вигляду. До таких же наслідків призводить недостатній натяг пасків приводу планшайби передньої бабки верстата [19].

Неспіввісність центрів передньої й задньої бабки є причиною неправильного обкатування центрових фасок та еліпсності шийок валу. Якщо вона виявлена, то причина – у зношуванні напрямних стола верстата. Тоді ремонтують не вал, а верстат [19].



1, 7 – напрямний полозок; 2, 6 – головки; 3 – фланець; 4 – трубка для підведення охолодної рідини; 5 – шліфувальне коло; 8 – шийка валу; 9 – повідець

Рисунок 4.3 – Шліфування шийок колінчастого валу на шліфувальному верстаті [19]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Велике значення має співвісність патронів верстата (припустиме значення неспіввісності не повинне бути вищим 0,040-0,050 мм на довжині валу). Цей параметр забезпечує паралельність осі шатунних і корінних шийок. Його визначають станом верстата, а вимірювати непаралельність шийок на колінчатому валу неможливо [19].

При неспіввісності патронів вал, затиснутий у них, обертається по складній траєкторії; тому шатунні шийки, які розташовані попарно, після шліфування опиняються на різних радіусах і зрушеними по колу. Неспіввісність патронів усувається проточуванням їх кулачків у токарному верстаті (базування по зовнішньому діаметру патрона).

При налагодженні верстата перевіряють конусність шийок (не більше 1,0-2,0 мкм). Цей параметр регулюють спеціальною конусною лінійкою верстата [19].

Вплив жорсткості закріплення валу у верстаті: люфти у з'єднаннях верстата призводять до дроблення або еліпсності шийок.

Після шліфування й наступного доведення шийок колінчастий вал промивають, щоб видалити залишки абразиву, а канали валу при вийнятих заглушках промивають бензином під тиском. Ретельне видалення абразиву необхідне, так як його зерна, проникаючи у порівняно м'який метал вкладишів, працюють далі як різці.

Перед установкою колінчастого валу у двигун контролюються розміри шийок і жолобників. Основні параметри, які характеризують якість шліфування колінчастого валу надані у табл. 4.4 [19].

Таблиця 4.4 – Основні параметри, які характеризують якість шліфування колінчастого валу

Параметр	Номінальне значення	Максимально припустиме значення
Еліпсність, мм	0,003	0,005
Конусність шийок, мм	0,002	0,005

Відхилення розмірів шийок, мм	0,007	0,015
Взаємне биття корінних шийок, мм	0,010	0,030
Биття хвостовика й поверхонь під сальники щодо корінних шийок, мм	0,010	0,030
Непаралельність осей шатунних і корінних шийок, мм/довжина валу	0,050	0,200

Щоб усунути мікронерівності та згладжування гострих крайок мастильних отворів, необхідно довести шийки валу після шліфування. Остаточна фінішна обробка валу проводять суперфінішуванням або поліруванням: суперфінішування дає якіснішу поверхню, але вимагає спеціального устаткування. Тому доступніше й полірування: його проводять вручну в кілька переходів (спочатку дрібнозернистим наждаковим папером, а потім - абразивною пастою). При зніманні не більше 0,001 мм полірування повністю усуває мікронерівності [19].

4.5 Планування шліфувальної операції 005

Найменування деталі: вал колінчастий.

Матеріал: чавун ВЧ-50-1,5 ДЕРЖСТАНДАРТ 7293-85 (СТ СЭВ 4558-84).

Твердість: HB 187-255.

Маса: 15 кг.

Устаткування: верстат для шліфування колінчастих валів моделі 3А423.

Спосіб установки: фаски отв. під різьбу, храповик й отв. під обертовий кульковий підшипник, необертовий центр.

Необхідна точність і чистота поверхні: $T_d = 0,013$ мм; $R_a = 0,63$ мкм.

Розмір виробничої партії: 633 одиниці.

Тип і матеріал інструменту: шліфувальне коло ПП 600x32x305 24А 50ПСМ27КВА35 ДЕРЖСТАНДАРТ 2424-75.

Зміст операції наведено у табл. 4.5.

						ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 4.5 – Зміст операції

№ переходу	Зміст переходу
1	Установити колінчастий вал на верстат
2	Шліфувати 5 корінних шийок з $\varnothing 70$ мм до $\varnothing 69,75_{-0,013}$ мм на довжині $L = 35$ мм

Припуск на обробку:

$$H = \frac{d_{\text{МАКС}} - d_{\text{МИН}}}{2} = \frac{70 - 69,75}{2} = 0,125 \text{ мм} \quad (4.1)$$

Поперечна подача $S_{\text{ш}}^i$ й колова швидкість V_f :

$$S_{\text{ш}}^i = 0,005 - 0,010 \text{ мм}; \quad (4.2)$$

$$V_f = 20,0 - 35,0 \text{ м/хв.} \quad (4.3)$$

Шліфування проводимо за методом врізання, тому поздовжню подачу не вибираємо.

Розрахункова частота обертання колінчастого валу:

$$n_{\delta} = \frac{1000 \cdot V_f}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 70} = 136,50 \text{ об/хв.} \quad (4.4)$$

Фактична частота обертання $n_{\delta} = 142$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$V_{\delta} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\delta}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 142}{1000} = 31,2 \text{ м/хв.} \quad (4.5)$$

Основний час:

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$t_o = \frac{H \cdot i \cdot K_c}{n_o \cdot S_{ii}^i} = \frac{0,125 \cdot 5 \cdot 1,5}{142 \cdot 0,005} = 1,31 \text{ хв.} \quad (4.6)$$

де $K_c = 1,20-1,70$.

Допоміжний час на установку:

$$T_{д.у.} = 1,00 \text{ хв.} \quad (4.7)$$

Допоміжний час на перехід:

$$T_{д.п.} = 1,2 \cdot 4 + 0,70 = 4,00 \text{ хв.} \quad (4.8)$$

Допоміжний час на вимірювання:

$$T_{д.в.} = 1,00 \text{ хв.} \quad (4.9)$$

Допоміжний час на операцію:

$$T_d = T_{д.у.} + T_{д.п.} + T_{д.в.} = 1,00 + 4,00 + 1,00 = 6,00 \text{ хв.} \quad (4.10)$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_d = 1,31 + 6,00 = 7,31 \text{ хв.} \quad (4.11)$$

Додатковий час:

$$T_{дод} = \frac{T_{оп} \cdot K}{100} \quad (4.12)$$

де $K = 7 \%$.

$$T_{дод} = \frac{7,31 \cdot 7}{100} = 0,650 \text{ хв.} \quad (4.13)$$

Штучний час:

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{дод} = 7,310 + 0,650 = 7,960 \text{ хв.} \quad (4.14)$$

Нормований час:

$$T_{норм} = T_{шт} + \left(\frac{T_{пз}}{X}\right), \quad (4.14)$$

де $T_{пз} = 8 \text{ хв.}$;

X - кількість деталей у партії.

$$T_{мин} = 7,960 + (8/633) = 7,96 \text{ хв.} \quad (4.15)$$

Дані розрахунків зводимо у табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Зведена таблиця

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Тип і матеріал інструменту: різець розточувальний з пластиною з твердого сплаву Т15К6.

Зміст операції наведено у табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Зміст операції

№ переходу	Зміст переходу
1	Установити колінчастий вал на верстат
2	Розточити отвір у втулці з $\varnothing 38$ мм до $\varnothing 40$ мм на довжині $L = 30$ мм

Режими обробки.

Припуск на обробку:

$$H = \frac{D_{\text{МАКС}} - D_{\text{МІН}}}{2} = \frac{40 - 38}{2} = 1 \text{ мм} \quad (4.16)$$

Припуск знімаємо за один прохід, $i = 1$; глибина різання дорівнює припуску на обробку $t = i = 1$.

Нормативна подача $S_n = 0,080$ мм/об.

Фактична подача $S_f = 0,060$ мм/об.

Нормативна швидкість різання $V_n = 186$ м/хв.

Розрахункова частота обертання:

$$n_{\delta} = \frac{1000 \cdot V_n}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 186}{3,14 \cdot 40} = 1480 \text{ об/хв.} \quad (4.17)$$

Фактична частота обертання $n_{\delta} = 1250$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$V_{\delta} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\delta}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 1250}{1000} = 157 \text{ м/хв..} \quad (4.18)$$

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Основний час:

$$t_o = \frac{l_p \cdot i}{n_o \cdot S_o} = \frac{42 \cdot 1}{1250 \cdot 0,06} = 0,56 \text{ хв.}, \quad (4.19)$$

де l_p – розрахункова довжина обробки;

n_o – фактична частота обертання;

S_o – фактична подача.

Розрахункова довжина обробки:

$$l_p = l + y. \quad (4.20)$$

де l - довжина за робочим кресленням;

y – величина перебігу різця, $y = 2$ мм.

$$L = 40 + 2 = 42 \text{ мм.} \quad (4.21)$$

Допоміжний час на установку:

$$T_{ду} = 1,32 \text{ хв.} \quad (4.22)$$

Допоміжний час на перехід:

$$T_{дп} = 0,5 \text{ хв.} \quad (4.23)$$

Допоміжний час на вимірювання:

$$T_{дв} = 0,20 \text{ хв.} \quad (4.24)$$

Допоміжний час на операцію:

$$T_d = T_{ду} + T_{дп} + T_{дв} = 1,32 + 0,5 + 0,2 = 2,02 \text{ хв.} \quad (4.25)$$

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{o}} + T_{\text{в}} = 0,56 + 2,02 = 2,58 \text{ хв.} \quad (4.26)$$

Додатковий час:

$$T_{\text{доп}} = \frac{T_{\text{оп}} * K}{100} \quad (4.27)$$

де $K = 8\%$.

$$T_{\text{доп}} = \frac{2,58 * 8}{100} = 0,21 \text{ хв.} \quad (4.28)$$

Штучний час:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{доп}} = 2,58 + 0,21 = 2,79 \text{ хв.} \quad (4.29)$$

Нормований час:

$$T_{\text{шкл}} = T_{\text{шт}} + \left(\frac{T_{\text{пз}}}{X}\right) \quad (4.30)$$

де $T_{\text{пз}} = 11 \text{ хв.}$

X – кількість деталей в партії.

$$T_{\text{шкл}} = 2,79 + (11/632) = 2,80 \text{ хв.} \quad (4.31)$$

Дані розрахунків зводимо в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Зведена таблиця

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Елементи режиму різання і норми часу на операцію		Переходи	
Найменування	Спосіб одержання	1	2
Припуск H , мм	Розрахунки	-	1,00
Глибина різання t , мм	Розрахунки	-	1,00
Число переходів, i	Розрахунки	-	1,00
Довжина робочого ходу l_p , мм	Розрахунки		42,00
Швидкість різання V_H , м/хв.	Норматив	-	186,00
Швидкість різання V_ϕ , м/хв.	Розрахунки	-	157,00
Подача по нормативу S_H , мм/об.	Норматив		0,80
Подача фактична S_ϕ , мм/об.	Розрахунки		0,60
Частота обертання n_p , хв. ⁻¹	Норматив	-	1480,0
Частота обертання n_ϕ , хв. ⁻¹	Розрахунки	-	1250,0
Допоміжний час (установка) $t_{ду}$, хв.	Розрахунки	1,320	-
Допоміжний час (перехід) $t_{дп}$, хв.	Розрахунки	-	0,50
Допоміжний час (вимірювання) $t_{дв}$, хв.	Розрахунки	-	0,20
Оперативний час $T_{оп}$, хв.	Розрахунки	-	2,580
Додатковий час $T_{доп}$, хв.	Розрахунки	-	0,650
Штучний час $T_{шт}$, хв.	Розрахунки	-	2,790
Нормований час T_H , хв.	Розрахунки	-	2,800
Підготовчо-заключний час $T_{пз}$, хв.	Норматив	-	11,0

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ

Арк.

Висновки по роботі

Наведені загальні відомості й технічна характеристика автобуса ПАЗ-3205 та його двигуна, методика ремонту кривошипно-шатунного механізму, виконання робіт при технічному обслуговуванні двигуна.

Розглянуті особливості конструкції колінчастого валу та умови його експлуатації, досліджена послідовність виявлення дефектів, проаналізоване відновлення різними методами та проблеми шліфування.

Представлені загальні відомості про матеріал колінчастого валу (високоміцний чавун): структура, технологія одержання, властивості, термічна обробка та застосування.

Розроблений технологічний процес відновлення колінчастого валу: вибраний раціональний спосіб відновлення, план і розрахунок операцій.

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Список літератури

1. ПА3-3205 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%90%D0%97-3205>
2. ПА3-3205 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://interdalnoboy.com/avtobusi/avtobus_641_paz-32053.html
3. Двигун ЗМЗ 5234 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avtodvigateli.com/marki/zmz-523-4.html>
4. Дефекти колінчастих валів, способи їх усунення й використовуване устаткування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://bstudy.net/680588/tehnika/defekty_kolenchatyh_valov_sposoby_ustraneniya_i_spolzuemoe_oborudovanie
5. Характерні дефекти колінчастих валів і способи їх усунення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://bstudy.net/601378/tehnika/harakternye_defekty_kolenchatyh_valov_sposoby_ustraneniya
6. Схеми холодної правки валу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mash-xxl.info/page/111217200082068050221191108140156249028251229047/>
7. Чавун з кулястим графітом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://umlz.com.ua/chugun-s-sharovidnym-grafitom/>
8. Де застосовується високоміцний чавун ВЧКГ — високоміцний чавун з кулястим графітом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://instrument16.ru/interesnoe/gde-primenyaetsya-vysokoprochnyj-chugun.html>
9. Структура ВЧ 50: Високоміцний чавун, високоміцний чавун ВЧ 40, ВЧ 50, ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80, виливок високоміцного чавуну [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>
10. Полевой С. Н. Упрочнение машиностроительных материалов / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М.: Машиностроение, 1994. – 242 с.

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

11. Чавун з кулястим графітом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://umlz.com.ua/chugun-s-sharovidnym-grafitom/>

12. Високоміцний чавун [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%8B%D1%81%D0%BE%D0%BA%D0%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

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

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

15. Високоміцний чавун з кулястим графітом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/6175909/page:3/>

16. Технологія одержання високоміцного чавуну з кулястим графітом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://markmet.ru/tehnologiya_metallov/tehnologiya-polucheniya-vysokoprochnogo-chuguna-s-sharovidnym-grafitom

17. Наплавка шийок колінчастих валів під шаром флюсу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://msd.com.ua/osnovy-svarochnogo-proizvodstva/naplavka-sheek-kolenchatykh-valov-pod-sloem-flyusa/>

18. Зміцнення методами наплавлення й напилювання легуючими металами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/monograf/2/52.pdf>

19. Характерні дефекти колінчастих валів, способи усунення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://bstudy.net/601378/tehnika/harakternye_defekty_kolenchatykh_valov_sposoby_ustraneniya

20. Зварювання і наплавлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/4206237/page:16/>

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					ДРМТВА 22.19074.000. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		