ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(бакалавра, магістра)

Напрям підготовки (спеціальність) *132 «Матеріалознавство. Відновлення та технічний сервіс автомобілів»*

(Шифр і назва напряму підготовки (спеціальності))

на тему: **«Вибір матеріалу, технології ремонту та зміцнення колінчастого валу Liebherr D904»**

Шифр МРТАМ 24.23592.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу, група *МТВАм-23-1* (Підпис) *С.В. Антонюк* (ініціали, прізвище)

Керівник *к.т.н., доц. каф. ТАМ* (Підпис) *О.Ю. Рудик* (ініціали, прізвище)

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.
(Підпис) *О.В. Духа* (ініціали, прізвище)
5 12 2024 р.

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *інженерії, транспорту та архітектури*
Кафедра *трибології, автомобілів та матеріалознавства*
Освітньо-кваліфікаційний рівень *магістр*
Напрям підготовки (спеціальність) *132 «Матеріалознавство*
Освітньо-професійна програма *Відновлення та технічний сервіс автомобілів»*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *ТАМ*
проф., д.т.н. Диха О.В.
10 10 *2024* року

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

Антонюку Сергію Володимировичу
Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема проєкту (роботи): *Вибір матеріалу, технології ремонту та зміцнення колінчастого валу Liebherr D904.*

керівник проєкту (роботи) *Рудик Олександр Юхимович к.т.н., доцент*
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від *26* *08* 2024 р. № *28 (Д60)*

2. Строк подання студентом проєкту на кафедру *08 грудня 2024 р.*

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) *Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно–технологічна документація з технології ремонту та зміцнення колінчастого валу Liebherr D904*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Загальні відомості та технічні особливості сідельного тягача КамАЗ-910 Євро-5 і його двигуна.
2. Вибір матеріалу колінчастого валу Liebherr D904, опис його структурних перетворень і вплив легуючих елементів на властивості.
3. Дефекти колінчастого валу КамАЗ-910 Євро-5 Liebherr D904 та його ремонт.
4. Відновлення та зміцнення колінчастого валу Liebherr D904.
5. Виправлення КВ Liebherr D904.
6. Проєктування дільниці ремонту КВ Liebherr D904

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) *Графічну частину проєкту представити у вигляді презентації на слайдах (10-20) шт.*

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Літературний огляд*	*30.09.2024*	
2	*Технологічний розділ*	*25.10.2024*	
3	*Дослідницький розділ*	*15.11.2024*	
4	*Оформлення розрахунково- пояснювальної записки*	*22.11.2024*	
5	*Оформлення презентації проекту*	*1.12.2024*	
6	*Нормоконтроль проекту*	*08.12.2024*	
7	*Підписання розділів. Затвердження дати захисту*	*10.12.2024*	

Студент _____ *С.В. Антонюк*
Підпис (прізвище, ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *О.Ю. Рудик*
Підпис (прізвище, ініціали)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	*Літературний огляд*	*30.09.2024*	
2	*Технологічний розділ*	*25.10.2024*	
3	*Дослідницький розділ*	*15.11.2024*	
4	*Оформлення розрахунково–пояснювальної записки*	*22.11.2024*	
5	*Оформлення презентації проєкту*	*1.12.2024*	
6	*Нормоконтроль проєкту*	*08.12.2024*	
7	*Підписання розділів. Затвердження дати захисту*	*10.12.2024*	

Студент Підпис *С.В. Антонюк* ініціали, прізвище

Керівник проєкту (роботи) Підпис *О.Ю. Рудик* ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 89 сторінок, кількість рисунків – 32, таблиць – 13, додатків – 2, кількість джерел згідно з переліком посилань – 51.

Студент гр. МТВАм-23-1 Антонюк С.В.

Тема «Вибір матеріалу, технології ремонту та зміцнення колінчастого валу Liebherr D904».

Об'єкт дослідження: колінчастий вал двигуна Liebherr D904 сідельного тягача КамАЗ-910 Євро-5.

Мета роботи: вибрати матеріал, розробити технологію ремонту та зміцнення колінчастого валу двигуна Liebherr D904 сідельного тягача КамАЗ-910 Євро-5.

Результати та їх новизна: здійснений вибір матеріалу колінчастого валу. Для його відновлення розроблений режим наплавлення галтелей корінних і шатунних шийок, а також носка і хвостовика у вуглекислому газі. Для зміцнення колінчастого валу вибране устаткування і встановлені режими гартування струмом високої частоти (СВЧ) та іонного азотування. Спроєктована відповідна дільниця.

Рекомендації щодо використання результатів роботи: для зміцнення колінчастого валу рекомендоване його іонне азотування.

Перелік ключових слів: КОЛІНЧАСТИЙ ВАЛ, ДЕФЕКТИ, РЕМОНТ, ВІДНОВЛЕННЯ, ЗМІЦНЕННЯ, СВЧ, ІОННЕ АЗОТУВАННЯ, ПРЕС, ДІЛЬНИЦЯ, УСТАТКУВАННЯ

Зміст

Анотація 7

Abstract 8

Перелік скорочень 9

Вступ 11

1 Загальні відомості та технічні особливості сідельного тягача КамАЗ-910 Євро-5 і його двигуна 12

2 Вибір матеріалу колінчастого валу двигуна Liebherr D904, опис його структурних перетворень і вплив легуючих елементів на властивості 15

2.1 Вибір матеріалу колінчастого валу двигуна Liebherr D904 15

2.2 Опис структурних перетворень сталі 38ХН3МА 20

2.3 Вплив легуючих елементів на властивості сталі 38ХН3МА 22

2.4 Переваги та недоліки сталі 38ХН3МА 22

3 Дефекти колінчастого валу КамАЗ-910 Євро-5 Liebherr D904 та його ремонт 23

3.1 Дефекти КВ Liebherr D904 23

3.2 Ремонт КВ Liebherr D904 27

3.2.1 Шліфування КВ Liebherr D904 28

3.2.2 Динамічне балансування КВ 29

4 Відновлення та зміцнення колінчастого валу двигуна Liebherr D904....31
4.1 Зварювання та наплавлення КВ....31
4.2 Електроерозійна обробка КВ....34
4.3 Термічна обробка КВ....36
4.3.1 Індукційне гартування КВ струмами високої частоти....36
4.4 Хіміко-термічна обробка КВ....39
4.4.1 Газове азотування....39
4.4.2 Іонне азотування....40
4.4.3 Режим іонного азотування КВ....46
4.4.4 Властивості азотованого КВ....46
4.5 Дослідження мікротвердості КВ....47

5 Виправлення КВ Liebherr D904....49
5.1 Конструкції пресів для відновлення працездатності КВ....49
5.2 Розробка конструкції пресу та його елементів для виправлення КВ Liebherr D904....53
5.2.1 Призначення, опис конструкції, принцип роботи й технічна характеристика пресу....53
5.2.2 Розрахунок клинового механізму пресу....53
5.2.3 Розрахунки штока....54
5.2.4 Розрахунок напрямних ковзання пресу для виправлення КВ Liebherr D904....55
5.2.5 Розрахунок силового циліндра пресу для виправлення....59
5.2.6 Розрахунок параметрів насосу пресу....61
5.2.7 Розрахунок розмірів трубопроводів пресу....62

6 Проєктування дільниці ремонту КВ Liebherr D904....64
6.1 Кількість постів і ліній ТО....64
6.2 Ритм і такт ремонту КамАЗ_910 Євро-5....64

6.3 Кількість постів у зонах ТО 65
6.4 Розподіл робітників по постах зони ТО-2 66
6.5 Технологічне устаткування для моторної дільниці 67
6.6 Технологічне устаткування дільниці ремонту
(виправлення, гартування, ІА КВ) 68

Висновки 69

Список використаних джерел 72

Додатки 77

Анотація

Колінчастий вал є основною обертовою частиною двигуна КамАЗ Р6 910.15-450 / Євро-5 Liebherr D904. Після встановлення шатуна він може змінювати рух шатуна вгору та вниз (зворотно-поступальний) на круговий (обертовий) рух. Тому матеріал колінчастого валу повинен мати достатню міцність, високу ударну в'язкість і втомну міцність. Обертання колінчастого валу є джерелом живлення двигуна. Як тільки колінчастий вал зламається, транспортний засіб втратить потужність і не зможе продовжувати рух. Колінчастий вал – найбільш навантажена деталь двигуна. На нього діють змінні за величиною і напрямком навантаження, викривлюючи вал одночасно в різних перерізах. Поверхні шийок валу повинні бути стійкими проти зношування протягом багатьох тисяч годин роботи.

Abstract

The crankshaft is the main rotating part of the KamAZ R6 910.15-450 / Euro-5 Liebherr D904 engine. Once the connecting rod is installed, it can change the up and down (reciprocating) motion of the connecting rod to a circular (rotating) motion. Therefore, the material of the crankshaft must have sufficient strength, high impact toughness and fatigue strength. The rotation of the crankshaft is the power source of the engine. Once the crankshaft breaks, the vehicle will lose power and be unable to continue moving. The crankshaft is the most loaded part of the engine. It is subjected to significant loads of variable magnitude and direction, bending the shaft simultaneously in different sections. The surfaces of the shaft necks must be resistant to wear during many thousands of hours of operation.

Перелік скорочень

АТ – автомобільний транспорт.

КШМ – кривошипно-шатунний механізм.

КВ – колінчастий вал.

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання.

ТО – технічне обслуговування.

КП – коробка передач.

ГРМ – газорозподільний механізм або механізм газорозподілу.

СВЧ – струм високої частоти.

C – вуглець.

Cr – хром/

Ni –нікель.

Mo – молібден.

Cu мідь.

Al – алюміній.

W – вольфрам.

Mn – марганець.

Si – кремній.

HRC – твердість за Роквеллом, [МПа].

НВ – твердість за Брінеллем, [МПа].

Ac_1 – критична точка перетворення перліту в аустеніт.

Ac_3 (Acm)– критична точка кінця розчинення фериту в аустеніті.

Ar_1 – критична точка перетворення аустеніту в перліт.

Ar_3 – критична точка початку виділення фериту з аустеніту.

$s_в$ – 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/м^2].

σ_{-1} – межа витривалості на стиск-розтяг (симетричний цикл), [МПа].

□□□□– межа витривалості при випробування на кручення із симетричним циклом вантаження, [МПа].

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

$\sigma_{0,2}$ – границя (межа) текучості, [МПа].

ТП – технологічний процес.

NH_3 – аміак.

N_2 – азот.

Ar – аргон.

РДН – ручне дугове наплавлення.

ПН – плазмове наплавлення.

АНФ – автоматичне наплавлення під флюсом.

ЕЕО – електроерозійна обробка.

ЕЕП – електроерозійний процес.

Н2О – вода.

ЕІ – електроди-інструменти.

ГА – газове азотування.

ІА – іонне азотування.

ТРНС – тиристорний регулятор напруги і струму.

БСР – блок стабілізації розряду.

ТО-1 – перше технічне обслуговування.

ТО-2 – друге технічне обслуговування.

Вступ

Актуальність теми. Сідельний тягач КамАЗ 910 Євро-5 займає вагоме місце у транспортному комплексі України. Його простої, які викликані відмовами двигуна внутрішнього згорання, характеризуються задиром шийок і провертанням вкладишів, що призводить до необхідності ремонту або заміни колінчастого валу.

Новизна роботи. Здійснений вибір матеріалу колінчастого валу. Для його відновлення розроблений режим наплавлення галтелей корінних і шатунних шийок, а також носка і хвостовика у вуглекислому газі. Для зміцнення колінчастого валу вибране устаткування і встановлені режими гартування струмом високої частоти (СВЧ) та іонного азотування. Спроєктована відповідна дільниця.

Можливість використання висновків і рекомендацій у наукових дослідженнях та на практиці: для зміцнення колінчастого валу рекомендоване його іонне азотування.

1 Загальні відомості та технічні особливості сідельного тягача КамАЗ-910 Євро-5 і його двигуна

Витрати на забезпечення працездатності АТ за увесь термін служби у декілька разів перевищують витрати на їх виготовлення. Значна доля витрат і простоїв у ремонті доводиться на двигун (до 32 %), у тому числі на КШМ (до 26%). Однією з головних причин таких витрат є використання стратегії усунення відмов, що в середньому в (5-8) разів дорожче, ніж при попередженні відмов. Для зниження витрат на ремонт доцільна профілактична стратегія.

У процесі експлуатації АТ відбувається зміна їх технічного стану, головними причинами якої є:

– зношування;

– втомне руйнування;

– пластична деформація;

– корозія.

Пластична деформація і втомне руйнування – наслідок конструктивно-технологічних недоробок або порушення правил експлуатації. Вказані явища викликають задир шийок КВ внаслідок провертання вкладишів, а також розлом КВ, що є однією з головних причин ремонту двигунів КамАЗ Р6 910.15-450 / Євро-5.

Надійна робота КВ залежить від:

– товщини масляної плівки у єднанні вкладиш-шийка валу;

– перепаду температур;

– наявності абразивних часток у мастилі;

– роботи елементів системи подачі мастила.

Простої автомобілів КамАЗ, які викликані відмовами ДВЗ, характеризуються провертанням вкладишів – наслідок: необхідність ремонту або заміни КВ. Користувачі АТ проводять певні заходи з виконання вимог заводу-виготівника, які відносяться до організації ТО, а саме: захисту ДВЗ від попадання пилу та інших шкідливих домішок у моторні мастила. Також конструкторами введені

поліпшення у конструкцію ДВЗ, які підвищують ефективність очищення мастила від абразивних часток. Незважаючи на це проведені мероприємства не призвели до відмов ДВЗ КамАЗ внаслідок виходу з ладу КВ.

Сідельний тягач КамАЗ 910 Євро-5 (рис. 1.1) оснащений рядним двигуном КамАЗ Р6 910.15-450 / Євро-5 потужністю 450 к. с., автоматизованою 12-ступінчастою КП ZF Traxon і ведучим гепоїдним мостом Daimler [1, 2].

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд сідельного тягача КАМАЗ-910 Євро-5

Характеристики двигуна КамАЗ Р6 910.15-450 / Євро-5 (рис. 1.2) наступні [3]:

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд двигуна КамАЗ Р6 910.15-450 / Євро-5

– max корисний крутний момент Мкр = 2400 Нм;

– робочий об'єм V = 12,98 л;

– число циліндрів – 6, розташування – рядне;

– тип ДВЗ – дизельний з турбонаддувом.

Проєкт розробки перспективних 6-циліндрових рядних ДВЗ з робочим об'ємом 12 л. (робоча назва «Тибет») було запущено на заводі КамАЗ у 2014 р.

Новий ДВЗ КамАЗ будувався на основі 12-літрового дизеля Liebherr D904, який конструктивно схожий з багатьма рядними дизелями:

– у нього чавунний блок;

– мокрі гільзи (що традиційно для усіх дизелів Liebherr);

– розподільний вал знаходиться у блоці;

– привід клапанів проводиться штангами;

– шестерні ГРМ і насосів — з боку маховика.

Точний робочий об'єм 11,95 л, розміри 130×150 мм. Паливна апаратура Liebherr с Common Rail із системою SCR.

Велика увага була приділена ремонтопридатності ДВЗ: окрім мокрих гільз введені і ремонтні розміри шийок КВ, який можна азотувати або зміцнювати СВЧ — такий КВ можна перешліфовувати.

Вкладиші зі свинцевої бронзи мають додатковий антифрикційний зносостійкий шар (PVD-покриття) виробництва Federal–Mogul.

2 Вибір матеріалу колінчастого валу двигуна Liebherr D904, опис його структурних перетворень і вплив легуючих елементів на властивості

2.1 Вибір матеріалу колінчастого валу двигуна Liebherr D904

КВ Liebherr D904 (рис. Б1, 2.1 [16]) – основна обертова частина ДВЗ. Після операції встановлення шатуна він може змінювати його зворотно-поступальний (догори-донизу) рух на обертовий (круговий). Тому матеріал КВ повинен мати достатню статичну та втомну міцність, високу ударну в'язкість.

Рисунок 2.1 – Колінчастий вал Liebherr D904

При виготовленні КВ дотримуються правильного ТП, щоб уникнути дефектів, поломок, зносу при його експлуатації. КВ виготовляють з (рис. 2.2 – [4]):

– легованих сталей 50Г, 42 ХМФА, 60ХФА, 18Х2Н4ВА, 38ХН3ВА, 38ХН3МА;

– вуглецевих сталей 45, 45ГА;

– високоміцних чавунів (перлітних ВЧ 45-0; ВЧ 50-1,5; ВЧ60-2) і феритних (ВЧ40-0 ВЧ40-6).

Для міцності КВ на вигин приділяють значну увагу на правильність виконання перехідних галтелей, щоб збільшити його втомну міцність і зносостійкість. Тому для цього усі перехідні радіуси галтелей і вихідні кромки масляних каналів старанно полірують.

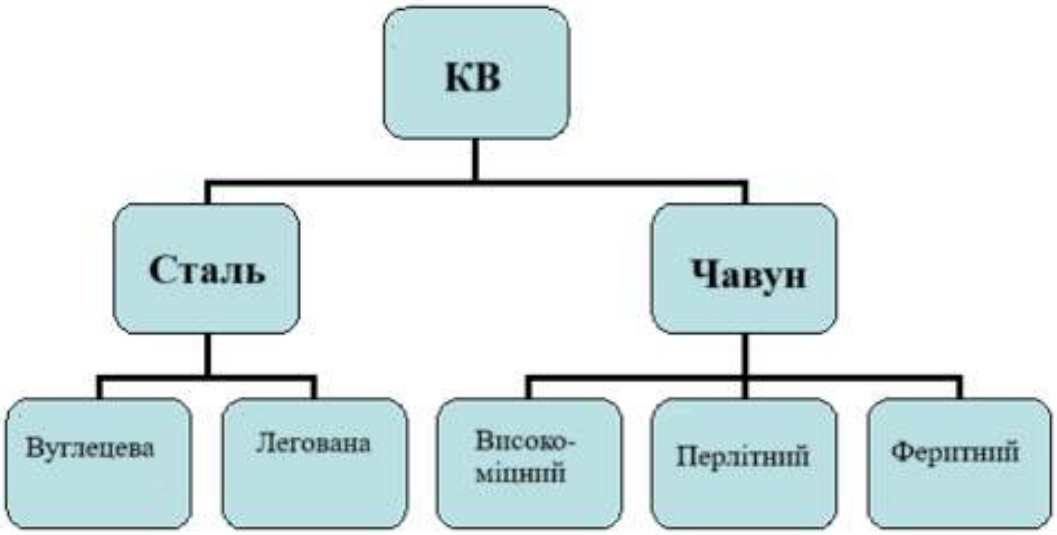


Рисунок 2.2 – Матеріали, які використовують при виготовленні колінчастих валів

Для виготовлення КВ двигуна сідельного тягача КамАЗ-910 Євро-5 Liebherr D904 приймаємо сталь 38ХН3МА. У табл. 2.1 наведена її характеристика [5].

Таблиця 2.1 – Характеристика сталі 38ХН3МА

Замінник	38ХН3ВА
Класифікація	Сталь конструкційна легована
Доповнення	Сталь хромонікельмолібденова
Застосування	Вали, осі, шестерні та інші великі особливо відповідальні деталі
Закордонні аналоги	Японія: JIS, SNC28

Розшифрування марки сталі 38ХН3МА – у сталі міститься:

– 0,38% вуглецю;

– 1 % хрому;

– 3% нікелю (Н);

– до 1% молібдену;

– високоякісна (А).

Хімічний склад сталі 38ХН3МА наведено на рис. 2.3 [6].

C	0,33 - 0,4
Si	0,17 - 0,37
Mn	0,25 - 0,5
Ni	2,75 - 3,25
S	до 0,025
P	до 0,025
Cr	0,8 - 1,2
Mo	0,2 - 0,3
Cu	до 0,3
Fe	~94

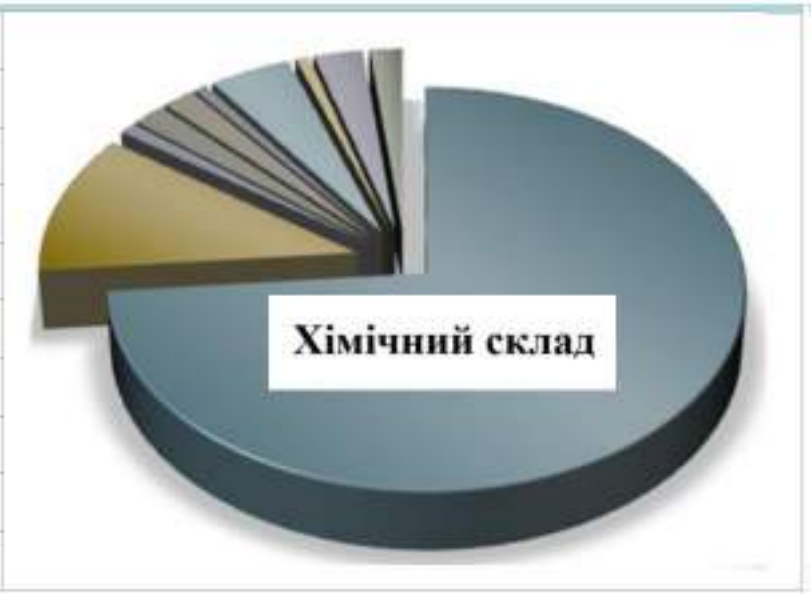


Рисунок 2.3 – Хімічний склад сталі 38ХН3МА (у %)

Властивості та корисна інформація [6]:

– термообробка: гартування та відпуск;

– температура кування, °С: початку 1200, кінця 850;

– твердість матеріалу: НВ 10 -1 = 269 МПа;

– флокеночутливість: чутлива;

– схильність до відпускної крихкості: не схильна.

Температура критичних точок сталі 38ХН3МА наведена у табл. 2.2 [7].

Таблиця 2.2 – Температура критичних точок сталі 38ХН3МА

Критичні точки	Ac_1	Ac_3	Ar_1	Ar_3
Температура, °С	730	770	300	315

Ударна в'язкість сталі 38ХН3МА наведена у табл. 2.3 [8].

Таблиця 2.3 - Ударна в'язкість сталі 38ХН3МА

Стан постачання (заготівка)	**Температура, °С**			
	+20	**-40**	**-60**	**-80**
Гартування в масло з 850 °С + відпуск при 550 °С, охолодження у воді	**981**	**952**	**932**	**932**

Механічні властивості сталі 38ХН3МА наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Механічні властивості при Т=20 оС сталі 38ХН3МА

$s_в$	**$s_т$**	**δ_5**	**ψ**	**KCU**	**Термообробка**
МПа	МПа	%	%	кДж / м^2	-
1080	980	12	0	780	Гартування і відпуск

Ударна в'язкість прутків сталі 38ХН3МА наведена у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Ударна в'язкість сталі 38ХН3МА, KCU (Дж/см2)

Температура, °С				**Термообробка**
+20	-40	-60	-80	
100	97	95	95	Гартування 850 °С, масло. Відпуск 550 ° С, вода

Межа витривалості сталі 38ХН3МА (гартування, відпуск) наведені у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Межа витривалості сталі 38ХН3МА (гартування, відпуск)

σ_{-1}, МПА	□$_{-1}$, МПА	N	$\sigma_{0,2}$, МПа
549	-	10^5	920
461	-	10^6	920
431	294	$5*10^6$	920

Зовнішній вигляд гартувального верстату для КВ наведено на рис. 2.4 [42].

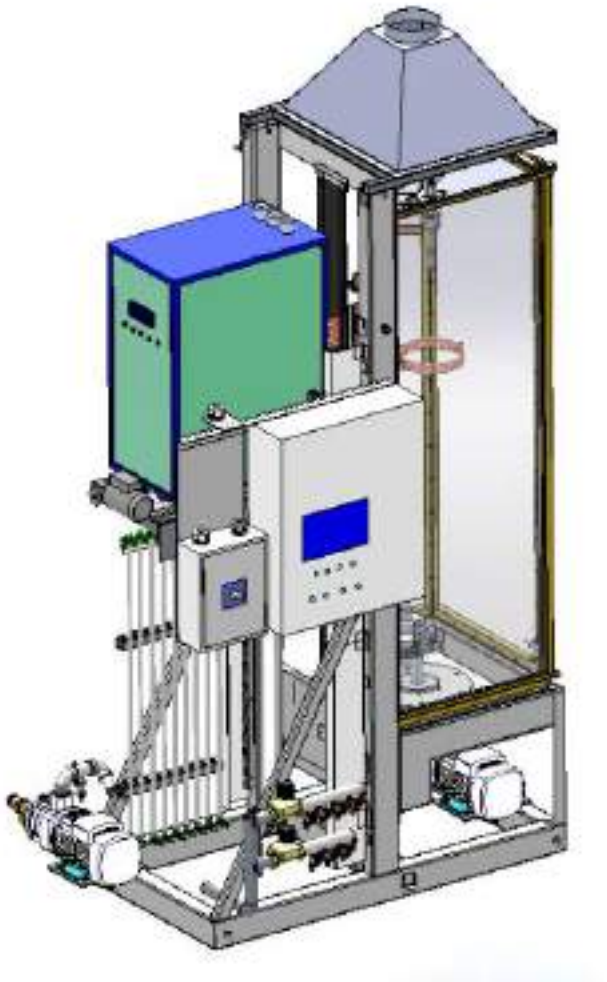


Рисунок 2.4 – Гартувальний верстат «ЕЛСИТ-100/20-70»

Таким чином, сталь 38ХН3МА набуває основних механічних властивостей внаслідок термічного поліпшення – гартування і високого відпуску. Після цього поверхня обробляється азотуванням.

Графік попередньої термообробки та ГА наведено на рис. 2.4.

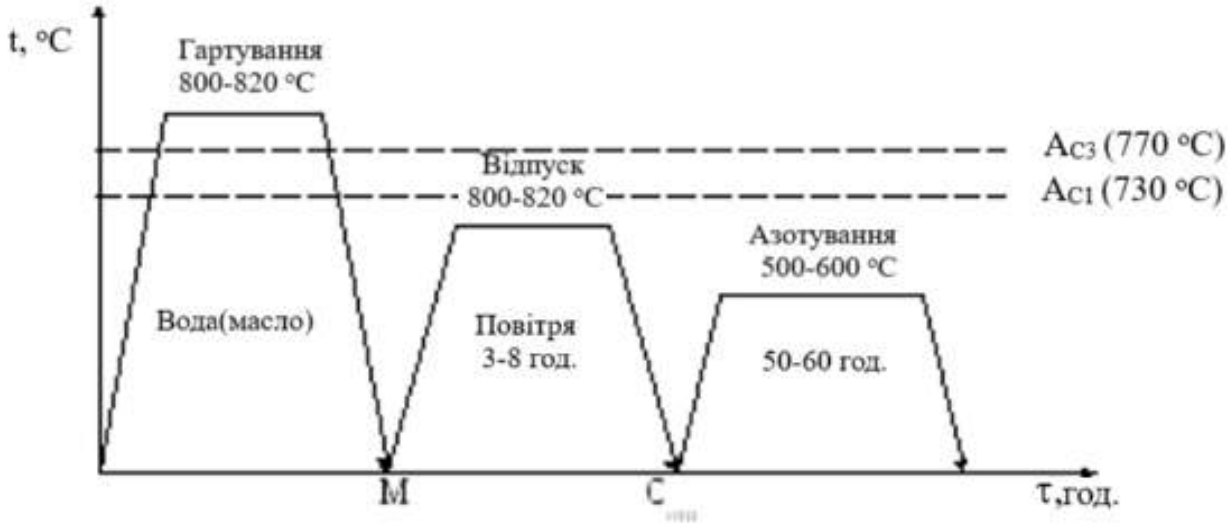


Рисунок 2.4 – Графік попередньої термообробки та ГА

Після вказаного режиму термообробки серцевина набуває наступних механічних властивостей (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Механічні властивості

$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ, %	ψ, %	KCU, МДж/м^2	НВ
1100	1200	12	50	0,8	300

2.1 Опис структурних перетворень сталі 38ХН3МА

Сталь 38ХН3МА – доевтектоїдна. Її піддають повному гартуванню, тобто переводять в 1-фазний аустенітний стан, нагріваючи вище за критичні температури A_{C3}. Утворюється дрібнозернистий аустеніт. Наступне охолодження зі швидкістю $V>V_{кр}$ забезпечує отримання дрібнозернистого мартенситу.

Початкова структура сталі – ферит і перліт. Досягши температури A_{C1}, у сталі починається перетворення перліту на аустеніт. Кристали аустеніту зароджуються переважно на міжфазних поверхнях розділу фериту з цементитом. При цьому відбувається 2 паралельних процеси: поліморфного $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення і розчинення в Fe_γ вуглецю цементиту. Усе це супроводжується подрібненням зерна сталі.

При нагріванні від A_{C1} до A_{C3} відбувається перетворення надмірного фериту на аустеніт. Процес супроводжується дифузією вуглецю, яка призводить до вирівнювання концентрації і невеликому укрупненню зерен аустеніту.

Гартування. При охолодженні сталі із швидкістю $V>V_{кр,}$ утворюється мартенсит – нерівноважна фаза – пересичений твердий розчин впровадження вуглецю в Fe_α. Кристали мартенситу, маючи пластинчату форму, ростуть зі швидкістю, рівній швидкості звуку в сталі. Їх росту перешкоджає межа зерна аустеніту або пластина мартенситу, яка раніше утворилася.

Утворення мартенситу призводить до великого залишкового напруження, підвищення міцності та твердості. При цьому зростає схильність до крихкого руйнування, а це вимагає проведення наступного відпуску.

Відпуск. При відпуску відбуваються наступні процеси:

– розпад мартенситу, який полягає у виділенні С у вигляді карбідів;

– розпадається залишковий аустеніт;

– здійснюються карбідне перетворення і коагуляція карбідів;

– зменшуються недосконаліть кристалічної будови α-твердого розчину і залишкове напруження.

Феритно-карбідну суміш, яка утворюється після високого відпуску, називають сорбітом відпуску.

Легування змінює склад фаз і температурні межі їх утворення. При азотуванні спеціально легованих сталей, які містять активніші нітридоутворюючі елементи (Cr, Mo, Al, V, Ti) досягається значна твердість на поверхні (до 1200). Сталь 38ХН3МА після термообробки в серцевині має твердість НВ=300.

2.2 Вплив легуючих елементів на властивості сталі 38ХН3МА

Si значно підвищує межу плинності, дещо утрудняє роззміцнення сталі при відпуску; знижує в'язкість і підвищує поріг холодноламкості при змісті Si понад 1%.

Mn підвищує межу плинності, проте робить сталь чутливою до перегрівання.

Mo зменшує схильність до відпускної крихкості 2-го роду, покращує властивості сталі в результаті подрібнення зерна, підвищує стійкість до відпуску, збільшує прокалюваність.

Cr, розчиняючись у фериті та цементиті, чинить сприятливий вплив на механічні властивості сталі.

Cr, Ni і Mo ефективно підвищують прокалюваність.

2.3 Переваги та недоліки сталі 38ХН3МА

Переваги:

– мала схильність до крихкого руйнування;

– добра робота при динамічних навантаженнях і в умовах знижених температур;

– мало роззміцнюється при нагріванні.

Недоліки:

– висока вартість;

– знижена оброблюваність різанням;

– схильність до утворення флокенів.

3 Дефекти колінчастого валу КамАЗ-910 Євро-5 Liebherr D904 та його ремонт

3.1 Дефекти КВ Liebherr D904

Статистика за видами зношування і дефектів КВ показує їх структуру і повторюваність (табл. 3.1) – [43].

Таблиця 3.1 – Розподіл основних дефектів КВ (див. рис. 3.1)

Найменування дефектів	Доля, %
Задири на шатунних шийках внаслідок провороту вкладишів (В)	34,93
Тріщини на шийках	9,42
Прогинання осі КВ > 0,9мм (по 3-й корінній шийці)	5,06
Неякісне перешліфування галтелей на шийках	5,77
Задири на корінних шийках внаслідок провороту вкладишів (Г)	4,55
Втомне руйнування КВ	0,72

КВ із задирами по шийках мають тріщини і прогинання осі. Місця розташування дефектів (див. рис. 3.1), позначені наступними буквами:

– А і Б - заломи і задири болтів на задньому та передньому торцях;

– В - зношування шатунних шийок;

– Г - зношування і задири корінних шийок;

– Е - задири поверхні під підшипник первинного валу;

– І - зношування упорних поверхонь півкілець;

– Д – зминання шпонкових пазів;

– Ж - забоїни на противагах.

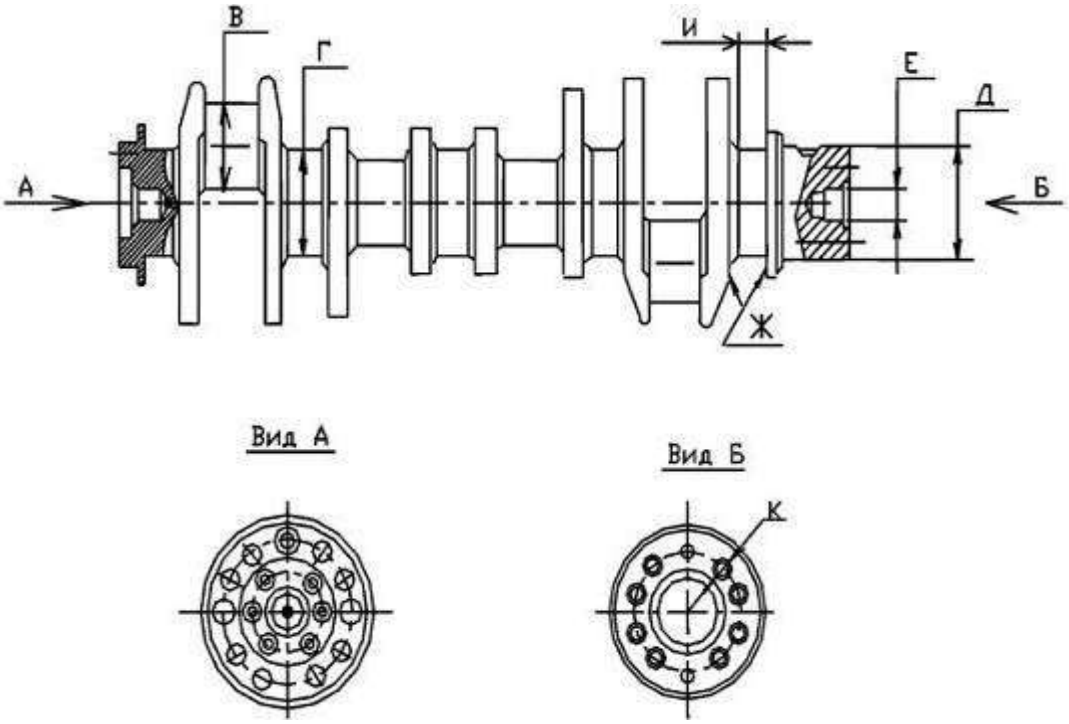


Рисунок 3.1 – Розташування дефектів КВ [18]

При аналізі експлуатаційних дефектів КВ двигуна КамАЗ-910 Євро-5 встановлено, що з одинадцяти найменувань дефектів найбільш поширеними були наступні [43]:

– деформація КВ (69,0 %);

- задир, проворот чи аварійне зношування корінних і шатунних шийок (22,0 %);

– тріщини на корінних і шатунних шийках (7,0 %);

– зминання штифтів, послаблення посадок, зношування різьби під болти кріплення маховика КВ (19,0 %).

Середнє відхилення (по діаметру) від номінального у зоні max зношування корінних шийок – 0,027 мм, а шатунних – 0,029 мм [43].

Биття середньої шийки для нормально зношеного КВ перебуває у межах (0,020 - 0,170) мм, а середня величина биття при цьому – 0,054 мм. Для аварійного зношування – (0,040 - 0,730) мм при середній величині биття 0,227мм.

Причини задиру шийок:

– масляне голодування при роботі шатунних і корінних підшипників КВ;

– зростання похибки форми шийок > 0,05 мм.

Зовнішній вигляд зношування корінної та шатунної шийок наведено на рис. 3.2 і 3.3.

Рисунок 3.2 – Зношування корінної шийки КВ

Рисунок 3.3 – Зношування шатунної шийки КВ

КВ зі втомними руйнуваннями складають 1,10 %. Переважна кількість (92,0 %) зруйнованих КВ має супутні дефекти технологічного та експлуатаційного роду. Найнебезпечніші – поєднання дефектів тріщин і задирів, а також підрізу галтелі та задир. 25 % зруйнованих КВ мали приховані дефекти у зоні зімкнення штампу при штампуванні; це стало початком руйнування.

Допустимі розміри для КВ двигуна КамАЗ Р6 910.15-450 / Євро-5 Liebherr D904 (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Допустимі розміри КВ, мм

1	∅ корінних шийок	94,986 - 95,000
2	Зазор у підшипниках корінних шийок	0,097 - 0,157
3	Допустимий зазор у підшипниках корінних шийок	0,220
4	∅ шатунних шийок	79,988 - 80,000
5	Зазор в підшипниках шатунних шийок	0,160
6	Допустимий зазор в підшипниках шатунних шийок	0,070 - 0,118
7	Осьовий зазор	0,100 - 0,196
8	Допустимий осьовий зазор	0,250
∅ шийки валу під передню противагу КВ, шестерню приводу масляного насоса		
9	Номінальний	115,082 - 115,110
10	Допустимий	115,082
Діаметр шийки валу під задню шестерню КВ		
11	Номінальний	105,072 - 105,097
12	Допустимий	105,062

3.2 Ремонт КВ Liebherr D904

Ремонт КВ включає: перешліфування на ремонтні розміри, а якщо дефекти є серйозніші, то застосовують інші методи відновлення [13]. Тому перед початком відновлювання проводять огляд та дефектування робочих поверхонь КВ:

– візуальний аналіз із замірюванням корінних та шатунних шийок;

– огляд посадочного місць під шестерню та хвостовик;

– перевірка на прогин з наступним рихтуванням та балансуванням.

Ремонт КВ Liebherr D904 виконується у 3 етапи [14, 15]:

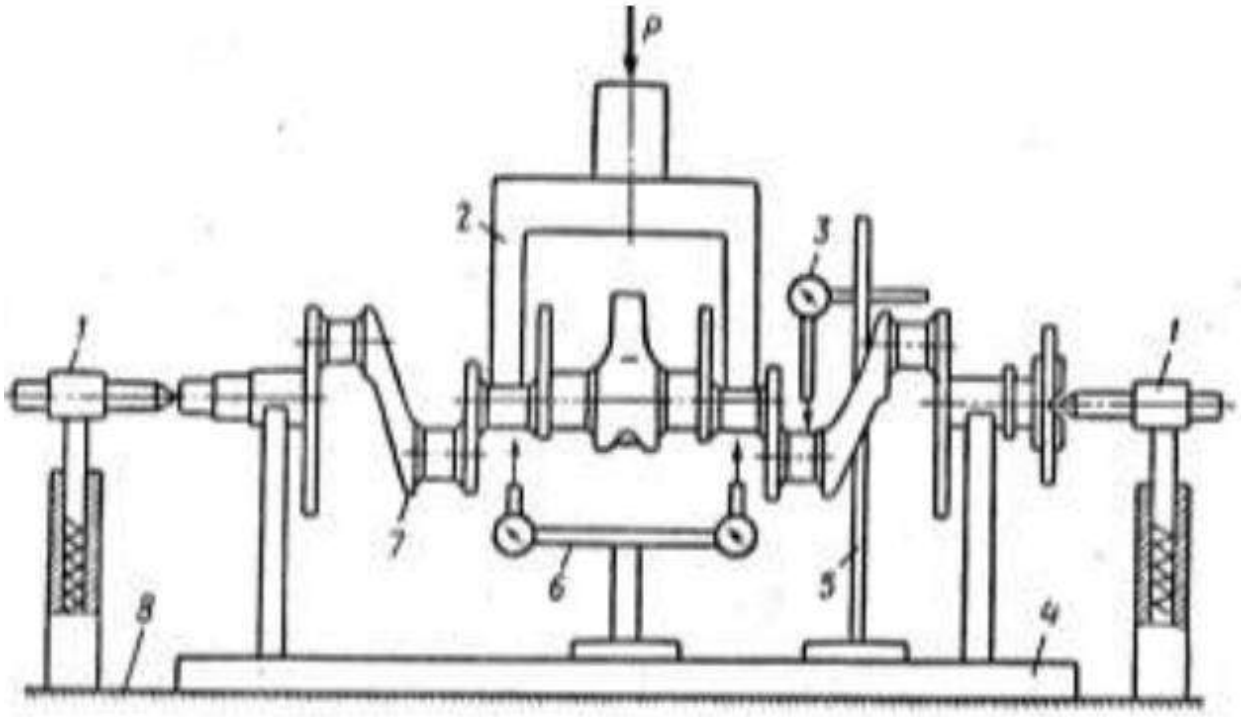
– виправлення;

– шліфування корінних та шатунних шийок;

– балансування КВ.

Вигин КВ (биття середніх корінних шийок відносно осі крайніх шийок) усувається правкою на пресі: КВ встановлюється на призми крайніми шийками (рис. 3.4). Потім пуансоном через мідну прокладку натискують на одну з середніх корінних шийок, вигинаючи у сторону, протилежну вигину.

Прогин КВ під час натискування штока у зворотній бік повинен у (10,0-15,0) разів підвищувати усувний вигин. При цьому навантаження на КВ зберігають протягом (125-250) с. Після випрямлення КВ знову перевіряється на биття для вписування його у допустимі межі. Для контролю використовують індикатор 3 та індикаторну скобу 6 (рис. 3.4).



1 – центри контрольні; 2 – пуансон; 3 – індикатор; 4 – призми; 5 – індикаторний стояк; 6 – індикаторна скоба; 7 – КВ; 8 – стіл преса

Рисунок 3.4 – Схема усунення вигину КВ

3.2.1 Шліфування КВ Liebherr D904

КВ дорога деталь, тому його ремонт (шліфування) набагато дешевше покупки нового [17].

Шліфування КВ — процес, який вимагає спеціального обладнання і достатніх професійних навичок та досвіду персоналу. Його проводять після очищення і промивання внутрішніх каналів з наступною його дефектацією.

Шліфування КВ починається з шатунних шийок, так як вони є найслабшим місцем КВ. Внутрішні напруження шатунних шийок швидко змінюють своє значення після шліфування, що породжує деформацію КВ. Також враховується радіус галтелей шийок, так, як підрізані галтелі через зменшення міцності призводять до поломки КВ.

Перед шліфуванням шатунних шийок виконують:

– балансування КВ спеціальними вантажами;

– вивірювання положення КВ стійкою з індикатором.

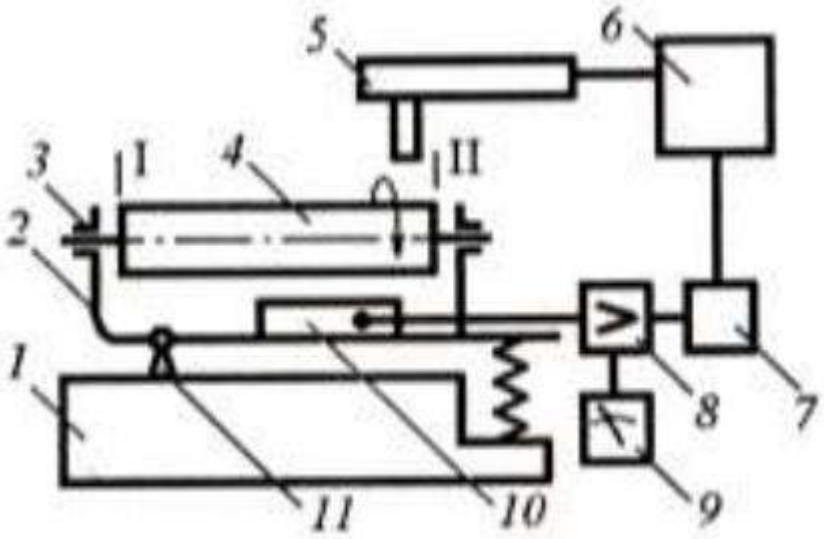
Наступний етап відновлення КВ – шліфування корінних шийок, які мають max знос, щоб визначити їх ремонтні розміри: зменшення їх ∅ пропорційне збільшенню ширини між фланцями, що вимагає наступного шліфування. Після шліфування перевіряють геометрію КВ.

Але мікропрофіль шліфованих поверхонь є недосконалим і гострі виступи мікронерівностей зношують вкладиші напочатку експлуатації ДВЗ. Крім того, гострі мікрозадири країв мастильних отворів пошкоджують вкладиші. Тому наступне доведення шийок КВ після шліфування (полірування) загладжує гострі краї мастильних отворів і вилучає мікронерівності. Його виконують у декілька етапів: спочатку поверхні обробляють дрібнозернистим наждачним папером, а потім – абразивною сумішшю. Ця операція повністю вилучає мікронерівності.

Щоб шліфувати корінні та шатунні шийки, використовуються шліфувальні верстати з пристосуваннями, які зміщують осі корінних шийок відносно осі обертання валу у верстаті [17].

3.2.2 Динамічне балансування КВ

Після ремонту КВ динамічно балансують окремо, а також разом з муфтами зчеплення на балансувальних машинах БМ-У4 або КИ-4274 [11]; також використовуються балансувальні машини з ручним або механізованим усуненням дисбалансу [17]. На рис. 3.5 наведена схема рамної машини для динамічного балансування КВ: рама 2 зв’язана зі станиною 1 шарніром 11 і пружиною, тому здійснює коливальні рухи навколо шарніра.



I–I, II–II – площини центру мас зрівноважених вантажів

1 – станина; 2 – рама; 3 – опори; 4 – КВ; 5 – виконавчий механізм; 6 – комп’ютер; 7 – перетворювач сигналів; 8 – підсилювач; 9 – блок приладів; 10 – акселерометр; 11 – шарнір

Рисунок 3.5 – Схема рамної машини для динамічного балансування КВ

КВ 4 (див. рис. 3.5) встановлюється в опорах 3 рами так, щоб одна із площин проходила через вісь шарніра. КВ обертають з частотою, яка перевищує частоту власних коливань всієї системи. Потім привід вимикається. При зменшенні швидкості обертання КВ коливання рами збільшується і досягає max величини при резонансному числі обертів КВ. За резонансними амплітудами знаходяться величина і напрямок розташування урівноважених мас.

4 Відновлення та зміцнення колінчастого валу двигуна Liebherr D904

4.1 Зварювання та наплавлення КВ

Зварювання і наплавлення складають (40 – 80) % усіх відновлених КВ через:

– простоту ТП і вживаного устаткування;

– можливість відновлення КВ з будь-яких матеріалів;

– низьке собівартість та високу продуктивність;

– отримання на робочих поверхнях КВ нарощуваних шарів будь-якого хімічного складу і товщини (жароміцні, антифрикційні, кислотно-стійкі тощо) [21].

Зварювання застосовується при усуненні механічних пошкоджень у КВ (відколів, тріщин, пробоїн тощо), а наплавлення – щоб нанести металеві покриття на його поверхні для компенсації зношування.

Для усунення механічних пошкоджень деталей застосовуються аргонно-дугове, електродугове, газове, у середовищі CO_2, електроконтактне та інші види зварювання.

Наплавлення – це нанесення зварюванням шару металу на поверхню КВ.

Порядок виконання зварювальних (наплавлювальних) робіт залежить від обраного способу. При цьому особлива увага приділяється вибору матеріалів електродів і присадних прутків, так як від них залежить якість наплавленого металу. Також потрібно вибрати засоби захисту наплавленого металу від окислення і визначити параметри відповідного режиму.

Знос шийки носка і хвостовика КВ також усувають наплавленням з наступним шліфуванням.

Наплавленням отримують КВ з поверхнею, яка відрізняється від основного металу:

– жаростійкістю і жароміцністю;

– високою зносостійкістю при нормальних і підвищених температурах;

– корозійною стійкістю тощо.

Наплавлення проводять як при виготовленні нових КВ, так і в ремонтно-відновних роботах, що подовжує термін їх експлуатації із забезпеченням високого економічного ефекту.

Під час відновлення наплавлення виконується ≅ тим металом, з якого виготовлений КВ, що не завжди доцільно. Тому краще на поверхні отримати метал, який відрізняється від металу КВ.

Наплавлення здійснюється нанесенням розплавленого металу на поверхню КВ, нагрітого до оплавлення або до t змочування рідким наплавленим металом. Наплавленим шаром утворюють металевий зв'язок – одне ціле з основним металом. При цьому хімічний склад наплавленого шару може суттєво відрізнятися від складу основного металу. Товщина наплавленого металу, яка утворена одним або декількома шарами, може бути (0,5-10,0) мм і більше.

Способи наплавлення:

– РДН електродами із стержнями і покриттями спеціальних складів;

– АНФ (електроди можуть вживатись суцільного перерізу і порошкового; складом флюсу, металу електроду і складом наповнювача визначаються властивості наплавленого шару);

– наплавлення неплавкими та плавкими електродами у середовищі захисних газів (при цьому властивості наплавленого шару залежать від матеріалу присадки або електроду);

– ПН (дуга може бути прямої та непрямої дії; можна плазмовим струменем оплавляти шар легованого порошку, який заздалегідь нанесено на поверхню КВ);

– електрошлакове, лазерне, електронно-променеве, а також наплавлення газокисневим полум'ям.

Режим наплавлення галтелей корінних і шатунних шийок, а також носка і хвостовика КВ у вуглекислому газі (CO_2) – [20]:

– електродний дріт Св-08Г2С;

– сила струму 60 А;

– напруга 20 В;

– швидкість наплавлення 18 м/год.;

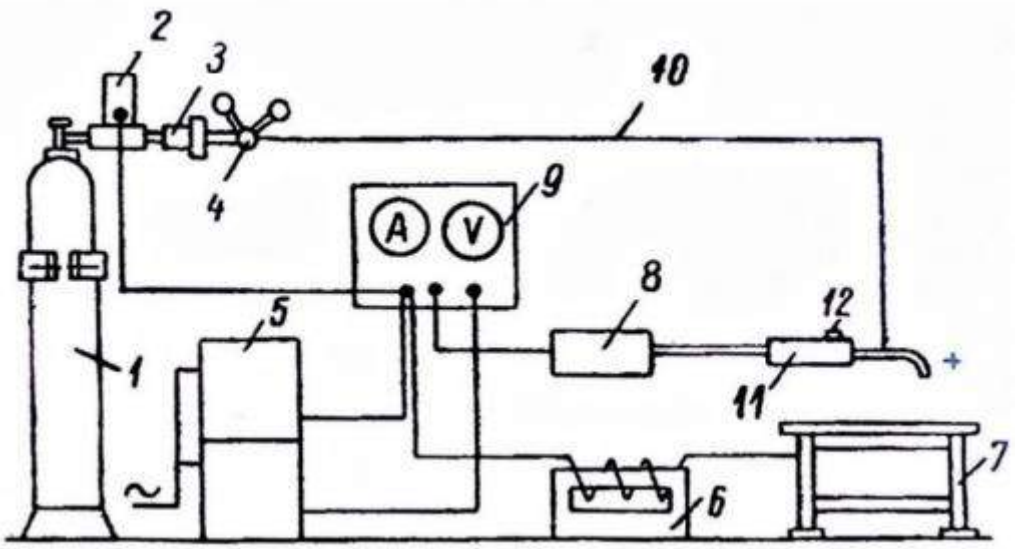
– подача дроту 140 м/год.;

– виліт електрода 8-10 мм;

– індуктивність 6 витків;

– витрата газу 7 $м^3$/хв.

Наплавлення виконують на постійному струмі при зворотній полярності [51]. Джерело струму – селенові випрямлячі ВСГ-3а. Для механізації процесу використовують напівавтомат А-547-р. Схема установки для напівавтоматичного наплавлення наведена на рис. 4.1. Для зміни індуктивності у залежності від ∅ електродного дроту включають в електричне коло різне число витків індуктивної котушки.



1 – балон з вуглекислотою; 2 – підігрівник газу передредукторний електричний; 3 – осушувач газу; 4 – редуктор-витратомір; 5 – випрямлячі селенові ВСГ-3а; 6 – регулятор індуктивності (РСТЕ-24 або РСТЕ-34); 7 – стіл зварювальника; 8 – механізм подачі електродного дроту; 9 – пульт керування; 10 – шланг для подачі газу; 11 – пальник газоелектричний; 12 – кнопка включення

Рисунок 4.1 – Схема установки для напівавтоматичного наплавлення в середовищі CO_2

Під час АНФ зварювальна дуга між кінцем електроду та КВ горить під шаром сипкої речовини (флюсу): електродний дріт та основний метал під дією тепла дуги розплавляються разом з флюсом. В результаті у зоні зварювання утворюється порожнина, яка заповнена парами металу, флюсу і газами. Газова порожнина зверху обмежена оболонкою розплавленого флюсу, який, оточуючи газову порожнину, захищає дугу і розплавлений метал від шкідливої дії навколишнього середовища.

При зміщенні зварювальної дуги розплавлений флюс, який прореагував з розплавленим металом КВ, твердне з утворенням на шві шлакової кірки, яку після припинення зварювання та охолодження металу вилучають від металу шва. Частину флюсу, яку не витратили, спеціальним пневматичним пристроєм збирають у флюсоапарат і використовують надалі [21].

ПН – це процес нанесення покриття плазмовим струменем на КВ, коли його вмикають у ланцюг струму навантаження. При цьому за допомогою плазменного струменя нагрівається поверхня КВ і матеріал, який наноситься.

При ПН (на відміну від аргонодугового) електричну дугу стискують стінками водоохолоджуваного сопла. Газ, який продувають через цю дугу, набуває властивостей плазми – стає іонізованим та електропровідним. Шар газу, який торкається стінок сопла, інтенсивно ними охолоджується із втрачанням електропровідності. При цьому ним виконується функція електричної та теплової ізоляції. А це зменшує ∅ плазменного струменя, який складає 0,70 ∅ сопла. Пазмоутворюючим газом найчастіше буває Ar.

При наплавленні деталей АТ застосовується дріт ∅ (1,50-2,50) мм (залежно від ∅ наплавлюваної деталі) наступних марок: св. 08, св. 5, Нп-65, Нп-30 ХГСА [19].

4.2 Електроерозійна обробка КВ

ЕЕО заснована на вириванні частинок матеріалу з поверхні КВ імпульсом електричного розряду [24, 25]. Так як тривалість електричних імпульсів не

перевищує 0,1 с, то тепло, яке виділяється при цьому, не встигає поширитися вглиб матеріалу. Тому цієї енергії досить, щоб розігріти, розплавити і випарувати деяку кількість речовини. Крім того, тиск, який розвивається частками плазми при ударі об електрод, сприяє ерозії не лише розплавленої, але й розігрітої речовини.

Так як електричний пробій відбувається по найкоротшому шляху, то спочатку відбувається руйнування найближче розташованих ділянок електродів. Продуктивність процесу ЕЕО, якість одержуваної поверхні КВ визначають параметрами електричних імпульсів (їх частотою і тривалістю, енергією).

Інструмент при ЕЕО – тонкий дріт, а робочі рідини повинні забезпечити такі вимоги:

– високі технологічні показники;

– термічну стабільність фізико-хімічних властивостей;

– низьку корозійну активність до матеріалів ЕЕО та оброблюваної заготовки;

При ЕЕО використовують низькомолекулярні вуглеводневі рідини різної в'язкості: H_2O та кремнійорганічні рідини, а також водні розчини 2-атомних спиртів.

Для кожного виду ЕЕО застосовуються робочі рідини, які забезпечують оптимальний режим обробки. На чорнових режимах застосовують робочі рідини із в'язкістю $(5 \div 6) \times 10^{-4} м^2 / с$ (суміш гас-масло індустріальне), а на чистових $-(0,03 - 3) \times 10^{-4} м^2 / с$ (гас, вуглеводнева сировина).

ЕІ забезпечують стабільну роботу у всьому діапазоні робочих режимів ЕЕО та max продуктивність при малому зношуванні. ЕІ мають бути жорсткими з протистоянням умовам механічним та температурним деформаціям.

Поверхні ЕІ не повинні мати тріщини, вм'ятини, подряпини та розшарування. Поверхня ЕІ має мати шорсткість $R_a = 2,5 \div 0,63 мк м$

Для обробки інструментальних, вуглецевих сталей та жароміцних сплавів на Ni основі використовуються графітові та Cu ЕІ. Для чорнової ЕЕО заготовок із цих матеріалів застосовують ЕІ з Al сплавів і чавуну, а при обробці отворів - ЕІ з латуні.

Для обробки твердих сплавів і тугоплавких матеріалів на основі W, Mo та інших матеріалів застосовуються ЕІ з композиційних матеріалів, тому що використання графітових ЕІ не забезпечує високу продуктивність внаслідок низької стабільності ЕЕП, а ЕІ з Cu мають велике зношування (10%) та високу вартість.

Знос ЕІ залежить від:

– матеріалу, з якого він виготовлений;

– параметрів робочого імпульсу;

– властивостей робочої рідини;

– площі оброблюваної поверхні;

– наявності вібрації.

На вибір матеріалу та конструкції ЕІ впливають:

– матеріал КВ;

– площа оброблюваної поверхні;

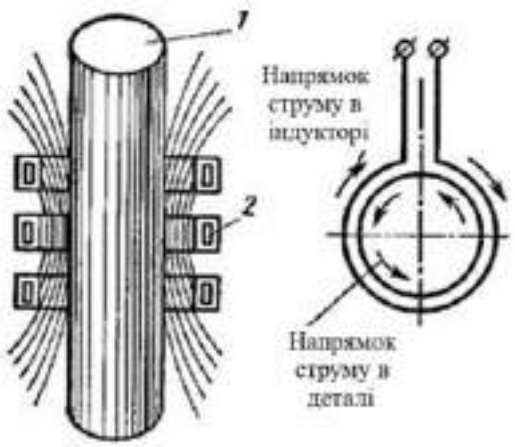
– складність форми поверхні;

– вимоги до точності та серійності КВ.

4.3 Термічна обробка КВ

4.3.1 Індукційне гартування КВ струмами високої частоти

Гартування СВЧ (рис. 4.2) – це вид термічної обробки, при якій КВ нагрівається до певної температури і витримується при ній, а потім швидко охолоджується у гартівному середовищі (вода, масло, солоні та полімерні рідини – [26, 27]).

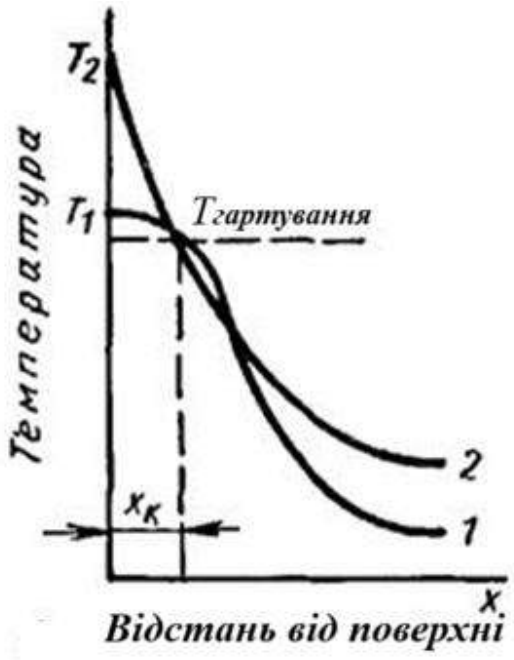


1 – КВ; 2 – індуктор

Рисунок 4.2 – Схема індукційного нагріву

При гартуванні змінюється структура сталі та її властивості. Основні параметри гартування: температура нагрівання, частота струму та швидкість охолодження.

Температуру гартування визначають за діаграмою оптимальних інтервалів гартівних температур для вуглецевих сталей (рис. 4.3).



1 - активний нагрів за допомогою струму; 2 – нагрів внаслідок теплопровідності, $x_к$ - товщина загартованого шару

Рисунок 4.3 – Розподіл температури по перерізу КВ

Швидкість нагрівання залежить від:

– теплової потужності нагрівальної установки;

– хімічного складу сталі;

– маси і розмірів КВ.

Тривалість нагрівання складається з:

– часу нагрівання до заданої температури;

– часу витримки при цій температурі.

Гартування СВЧ застосовують через ряд змінюваних параметрів і можливість індивідуального підходу до кожної деталі, що допускає отримання необхідної твердості і глибини загартованого шару КВ.

Гартування СВЧ забезпечує високу якість КВ і дає наступні стабільні результати порівняно з іншими методами зміцнення:

– великий опір зношуванню і втомному руйнуванню;

– малі деформації;

– відсутність окислення і зневуглецювання.

Через нагрів тільки поверхневих шарів зменшується витрата енергії для нагрівання [28, 29].

Основна перевага гартування СВЧ – виділення теплоти безпосередньо у самому металі КВ. При гартування СВЧ реалізують можливість суттєвої концентрації електроенергії у малому об'ємі нагріваного металу, що допускає нагрівання з великою швидкістю. Цей вид поверхневого зміцнення сприяє виготовленню деталей з дешевої вуглецевої сталі при забезпеченні її високих міцнісних характеристик.

Найзручнішим варіантом буде застосування для гартування СВЧ шліфувального верстата (рис. 4.4 – [42]) в якості механізму обертання і окремо установки СВЧ в якості пристрою зміцнення.

Рисунок 4.4 – Верстат для шліфування шийок КВ AZ CG260-1500

Приймаємо наступний режим гартування СВЧ КВ [50]:

– частота струму 8,5 кГц (генератор ППЧ—600—66);

– температура нагрівання 920 °С;

– тривалість нагрівання 5 с;

– швидкість охолодження в індукторі 450 °С/с;

– тривалість охолодження 9 с;

– повна тривалість поверхневого гартування 5 + 9 = 14 с.

Глибина загартованого шару для корінних і шатунних шийок становить 3,5 мм, а на шийках під сальник – 1,5 мм; твердість після гартування – (52-62) HRC.

4.4 Хіміко-термічна обробка КВ

4.4.1 Газове азотування

ГА – це насичення поверхні КВ N_2 для підвищення твердості, зносостійкості, корозійної стійкості, межі втоми [30, 31].

ГА КВ проводять при t = (500-650) °С у середовищі NH_3. Вище 400 °С починається дисоціація NH_3 за реакцією: NH_3 >> 3H + N. Атомарний N_2, що утворився, дифундує в метал, утворюючи азотисті фази. При температурі азотування нижче 591 °С азотований шар складається з 3-х фаз: ε-нітриду Fe_2N, γ'-нітриду Fe_4N, α-азотистого фериту, який містить близько 0,01% N_2 при кімнатній температурі [44].

При температурі ГА можливе утворення γ-фази, яка при повільному охолодженні розпадається при 591 °С на евтектоїд α + γ'. Твердість азотованого шару збільшується до HV = 1200 і зберігається при повторних нагрівах до (500-600)°С. Цим забезпечується висока зносостійкість КВ при підвищених температурах.

Азотовані сталі значно перевершують за зносостійкістю цементовані та загартовані. Але ГА — тривалий процес: щоб отримати шар товщиною h = (0,2-0,4) мм потрібно (20-50) год.. Підвищення температури прискорює процес, але знижує твердість шару. Щоб захистити місця, які не підлягають газовому азотуванню, застосовують лудіння (для конструкційних сталей) і нікелювання (для жароміцних і нержавіючих сталей), а щоб зменшити крихкість шару азотування жароміцних сталей ведуть у суміші NH_3 та N_2 [32, 33].

4.4.2 Іонне азотування

Іони N_2 під дією енергії електростатичного поля мають швидкість, вектор якої направлений перпендикулярно до катоду (КВ). Під час бомбардування КВ кінетичну енергію іону витрачають на:

– нагрів поверхні до t насичення;

– і відрив електронів та атомів заліза (катодне розпилення).

ІА проводять при зниженому тиску, необхідному, щоб стабільно підтримувати тліючий розряд.

ІА реалізують у 2 стадії:

– очищення поверхні КВ катодним розпиленням;

– власне азотування (насичення поверхневого шару N_2).

Очищення активує поверхні і руйнує окисні плівки. На 2-й стадії нагрівають поверхні КВ до t дифузії і насичення її N_2 з утворенням нітридів. При цьому енергія іона N_2 в 3000 разів більша енергії атома N_2, який отримується при пічному азотуванні.

Під дією іонного бомбардування нітридний шар розкладається з утворенням нітридів заліза ($FeN \rightarrow Fe_3N \rightarrow Fe_4N$) та азотистого α-твердого розчину заліза (α-FeN) – рис. 4.5. Він, дисоціюючи, проникає у глибші поверхневі шари, утворюючи зону внутрішнього азотування.

При ІА будь-яких струмопровідних матеріалів відсутні обмеження маси та розмірів деталей. Установки для ІА можна змонтувати у приміщенні без спеціального фундаменту.

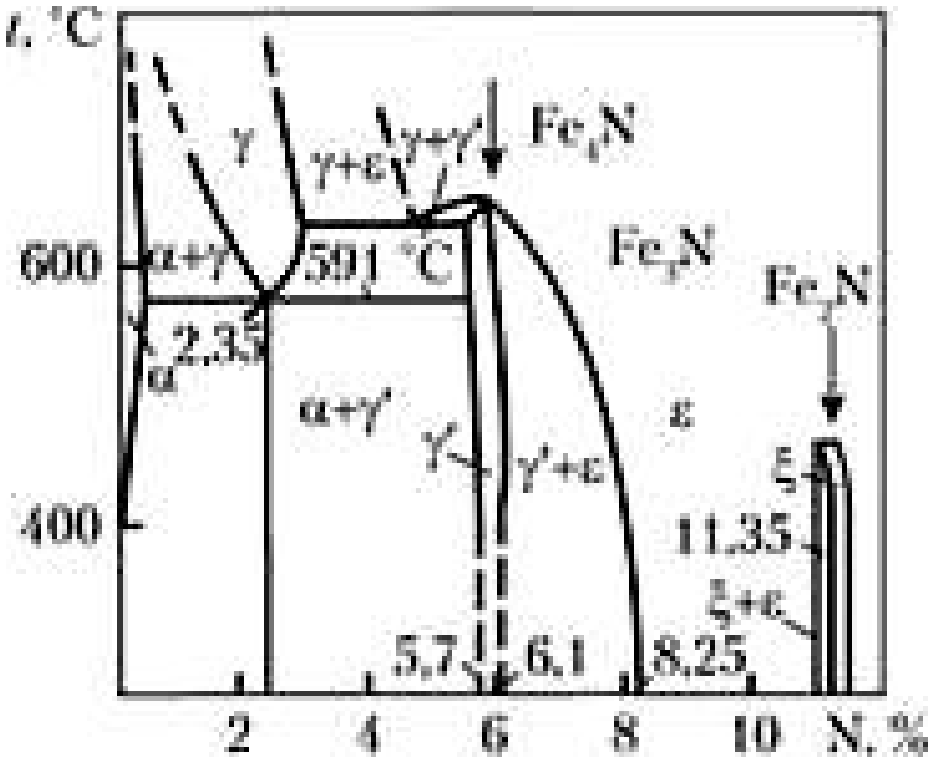


Рисунок 4.5 – Діаграма стану «Fe-N» [35]

У нашій країні освоєно виробництво наступних установок ІА: ОКВ-1566, НГВ 6.6/6-41, НШВ 20.24/6-41, НШВ 29.7/6-41. Застосовують також наступні установки [34]: PVA TePla IVS, ІОН-200І-2, ІОН-25І та інші.

Обладнання для ІА має забезпечувати регулювання і стабільну підтримку електричних і вакуумних характеристик розряду.

Установка для ІА складається з наступних 4-х систем:

– електроживлення;

– забезпечення вакууму;

– газорозподілу;

– автоматичного регулювання параметрами процесу.

ІА включає: підготовчі операції, саме азотування та кінцеві операції.

Підготовчі операції ІА:

– очищення камери та оснащення;

– очищення КВ від бруду;

– обезжирення поверхонь КВ;

– монтаж КВ у вакуумну камеру спеціальною оснасткою.

Процес ІА включає:

– створення у камері вакууму 10^{-2} мм. рт. ст.;

– продувку камери робочим газом;

– відкачування робочого газу з камери і створення вакууму 10-2 мм. рт. ст.;

– іонну очистку КВ;

– знімання напруги в камері і створення у ній потрібного тиску газової суміші;

– досягнення необхідної робочої t процесу;

– проведення режиму ІА при постійних параметрах тиску і t;

– відключення установки, охолодження КВ.

Заключні операції ІА:

– напускання у камеру повітря;

– розвантаження КВ;

– контроль мікротвердості азотованих КВ на мікротвердомірі ПМТ-3.

ІА КВ виконують на установці АТР, яка складається з:

– розрядної камери;

– вакуумної системи;

– системи підготовки і подачі газу;

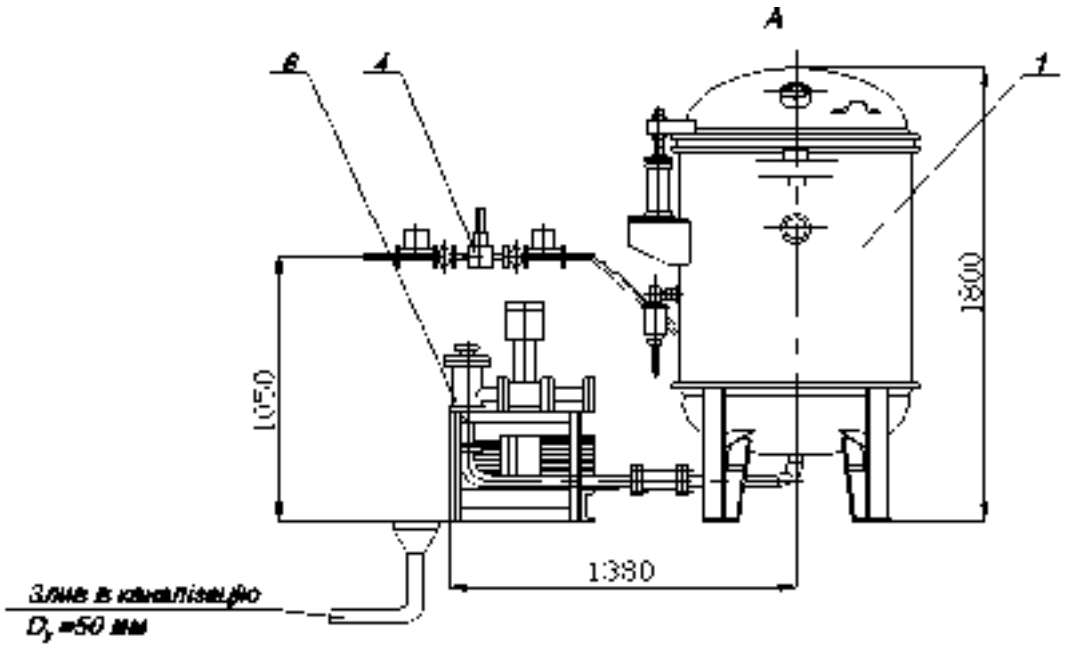
– системи електричного забезпечення (з блоком стабілізації розряду);

– системи управління з контрольно-вимірювальними приладами;

– засобів механізації камери.

Загальний вигляд установки АТР наведено на рис. 4.6.

Розрядну камеру 1 виготовляють з нержавіючої сталі. Вона має внутрішню та зовнішню стінки, між якими протікає охолоджувальна вода. Внутрішній ∅ камери та її висоту розраховують залежно від габаритів і кількості КВ, що одночасно обробляються. Завантаження КВ проводять зверху (при піднятій і відведеній вбік кришці камери). Щоб спостерігати за процесом ІА в камері є 3 вікна: 1-не з них використовують для пірометричного датчика температури.



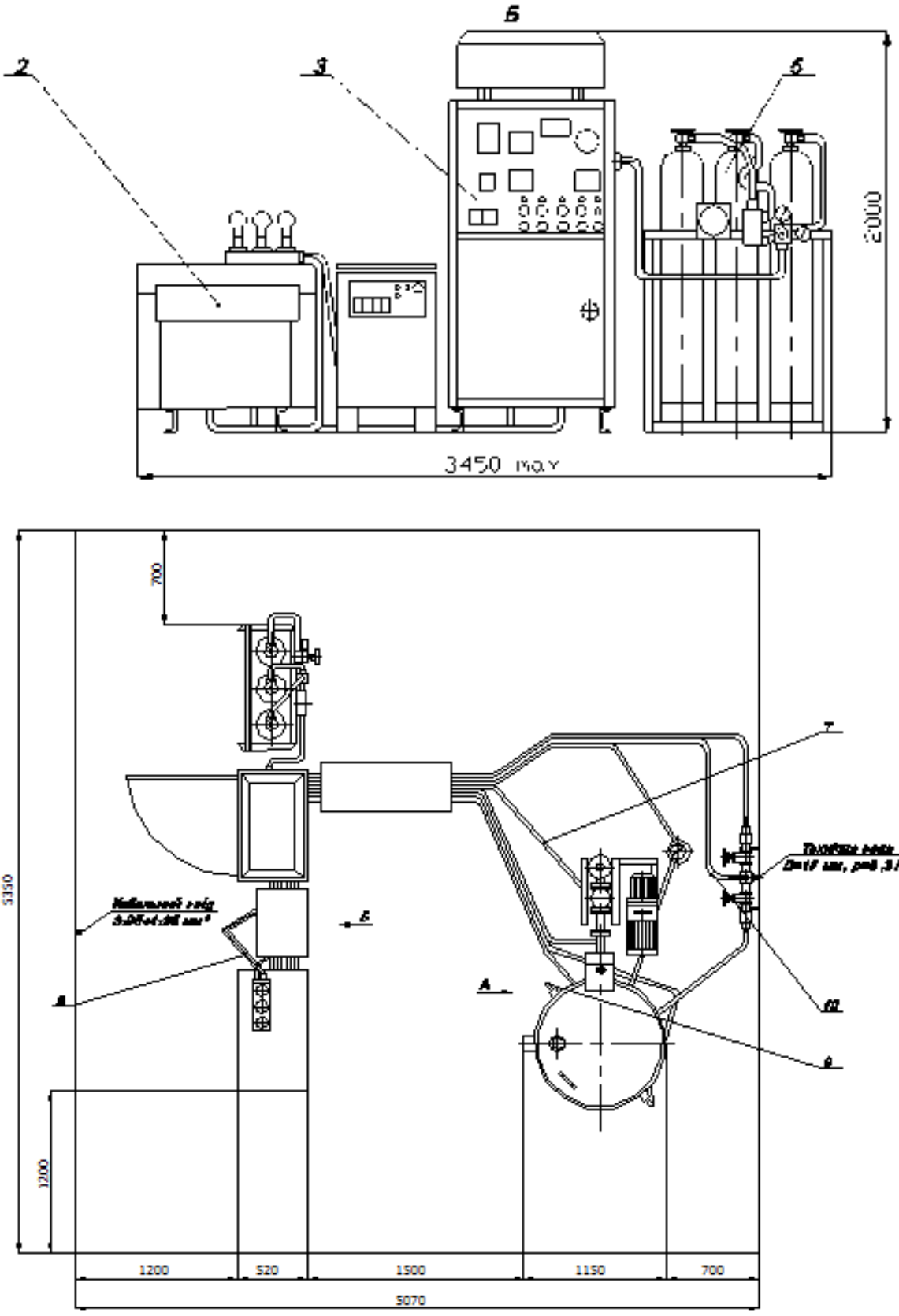


Рисунок 4.6 – Загальний вигляд установки АТР

Вакуумна система міститься у блоці 6. Вона включає:

– 2 вакуумні насоси;

– трубопроводи;

– клапани.

Порядок проведення ІА:

– після завантаження КВ у камеру насос більшої потужності відкачує з неї повітря до тиску 0,01 мм. рт. ст.;

– потім камера продувається N_2 (газове очищення);

– після 2-го відкачування у камеру подається напруга між анодом (стінками камери) і катодом (КВ);

– проводиться іонне очищення КВ;

– потім включається система подачі газу;

– досягається необхідний режим роботи (при сталому режимі вакуум у камері підтримують вакуумним насосом меншої потужності).

Система газопідготовки 5 містить балони з газами N_2 та Ar, вузол дозування, фільтри, бачок змішувач, ротаметр, очищувачі газу від вологи та O_2, дросель і клапани електромагнітного керування. Система підготовки газу забезпечує безперервну подачу газової суміші, яка очищена від механічних домішок (фільтрами), O_2 та H_2O. Задане відсоткове співвідношення газів у суміші забезпечується вузлом дозування. Очищення від O_2 здійснюють у нагрітому до t = (550-600) $^{\circ}$C киснеочищувачі. Очищення газової суміші від H_2O здійснюється цеолітовими ловушками.

Систему електрозабезпечення змонтовано у блоці 2. Вона містить:

– ТРНС;

– підвищуючий трансформатор (підвищує отриману з ТРНС напругу до необхідної для проведення ІА);

– випрямляч (перетворює напругу в постійну, яку подають на електроди у камеру для здійснення ІА);

– БСР (реагує на зміну струму і напруги у ланцюгу живлення камери).

БСР запобігає переходу тліючого розряду в камері у дуговий (при виникненні у камері дугового розряду на шинах, які подають напругу, різко

зростає струм і падає напруга). БСР реагує на це і подає сигнал у систему ТРНС для зменшення струму. БСР також служить органом керування: за його допомогою встановлюють величину струму і напруги, щоб підтримати розряд і досягнути відповідної температури КВ.

4.4.3 Режим іонного азотування КВ

Режим ІА КВ наведено ц табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Режим ІА КВ

Параметри ІА			
Температура, t, ^{0}C	Тиск P, Па	Тривалість азотування τ, хв.	Склад насичуючого середовища, %
560	220	200	75N_2+25Ar

При азотуванні у міру насичення Fe азотом при температурі нижче 590 ºС спочатку утворюється α-твердий розчин впровадження N_2 у Fe, потім шар γ-фази з гранецентрованими кубічними гратками і впорядкованим розташуванням атомів N_2 в центрах елементарних осередків. Зазвичай процес азотування завершується утворенням на поверхні шару ε-фази з гранеподібними гратками і впорядкованим розташуванням атомів в широкому інтервалі концентрацій N_2.

При повільному охолодженні після ІА внаслідок змінної розчинності азоту в α- і ε-фазах відбувається виділення вторинної γ_{II} -фази, і структура азотованої зони від поверхні до серцевини стає наступною: $\varepsilon + \gamma'_{II} \rightarrow \gamma' \rightarrow \alpha + \gamma'_{II} \rightarrow \alpha$.

4.4.4 Властивості азотованого КВ

ІА має ряд переваг і недоліків. Основна перевага – висока твердість зміцненого шару.

Азотовані за вищенаведеним режимом колінчасті вали КамАЗ, виготовлені зі сталі марки 38ХН3МА, мають твердість 900 HV і товщину зміцненого шару (0,45-0,50) мм.

Наступний позитивний момент азотованого КВ – при ІА відбувається поверхневе насичення усієї деталі, а не тільки шийок, як при індукційному гартуванні. Це підвищує міцність КВ на вигин.

Недоліки ІА КВ:

– міцнений шар з високою твердістю важко оброблювати;

– насичення нітридом усієї поверхні валу одночасно знижує його пластичність;

– перегрівання азотованої ділянки призводить до її розриву, а не розширення, як у випадку гартування СВЧ.

4.5 Дослідження мікротвердості КВ

Об'єкти дослідження:

– КВ, зміцнений ІА;

– КВ, зміцнений індукційним гартуванням.

Дослідження мікротвердості КВ проводилося вимірюванням мікротвердості азотованого шару на приладі ПМТ-3 по перерізах, перпендикулярних до досліджуваних поверхонь. За результатами вимірювань побудований графік розподілу мікротвердості за глибиною зміцненого шару (рис. 4.7).

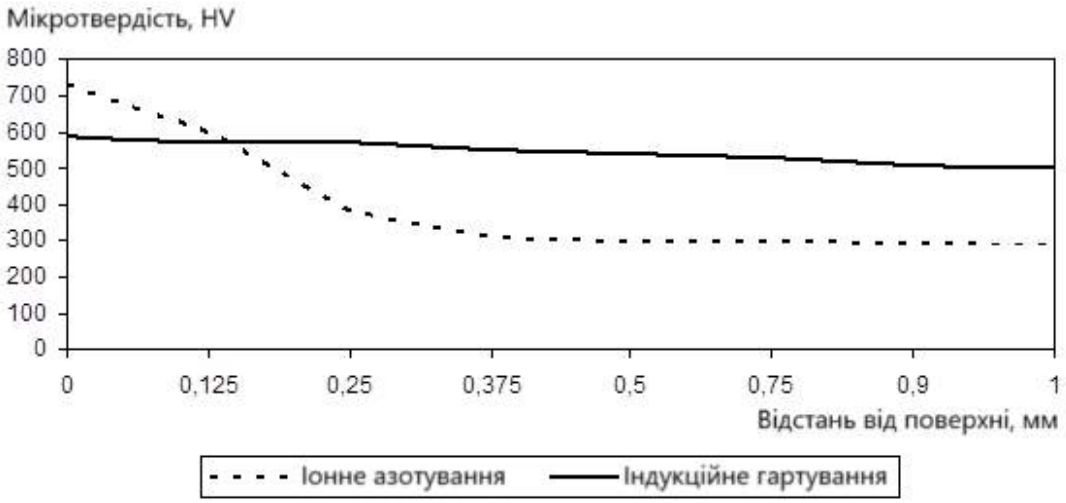


Рисунок 4.7 – Розподіл мікротвердості за глибиною шарів для різних способів зміцнення КВ

5 Виправлення КВ Liebherr D904

5.1 Конструкції пресів для відновлення працездатності КВ

Розглянемо устаткування для відновлення КВ – прес для виправлення СР 150 [45]. Його привід здійснюють гідравлічним циліндром, який створює силу в 8000 кгс, а тиск в гідросистемі створюють механічним гідронасосом. Загальний вигляд пресу СР 150 наведено на рис. 5.1.

Рисунок 5.1 - Загальний вигляд пресу СР 150 компаній «AZspa»

Прес складається з (рис. 5.2):

– зварної станини з напрямними для 2-х пар тяг з перекладинами та настановних призм;

– силового механізму (черв'ячний редуктор з ручним приводом);

– клинового механізму;

– вимірювально-контрольного вузла.

Черв'ячний редуктор – це корпус, в якому є черв'ячне колесо з гвинтовою втулкою. Черв'як встановлений на 2-х кулькових радіально-упорних підшипниках.

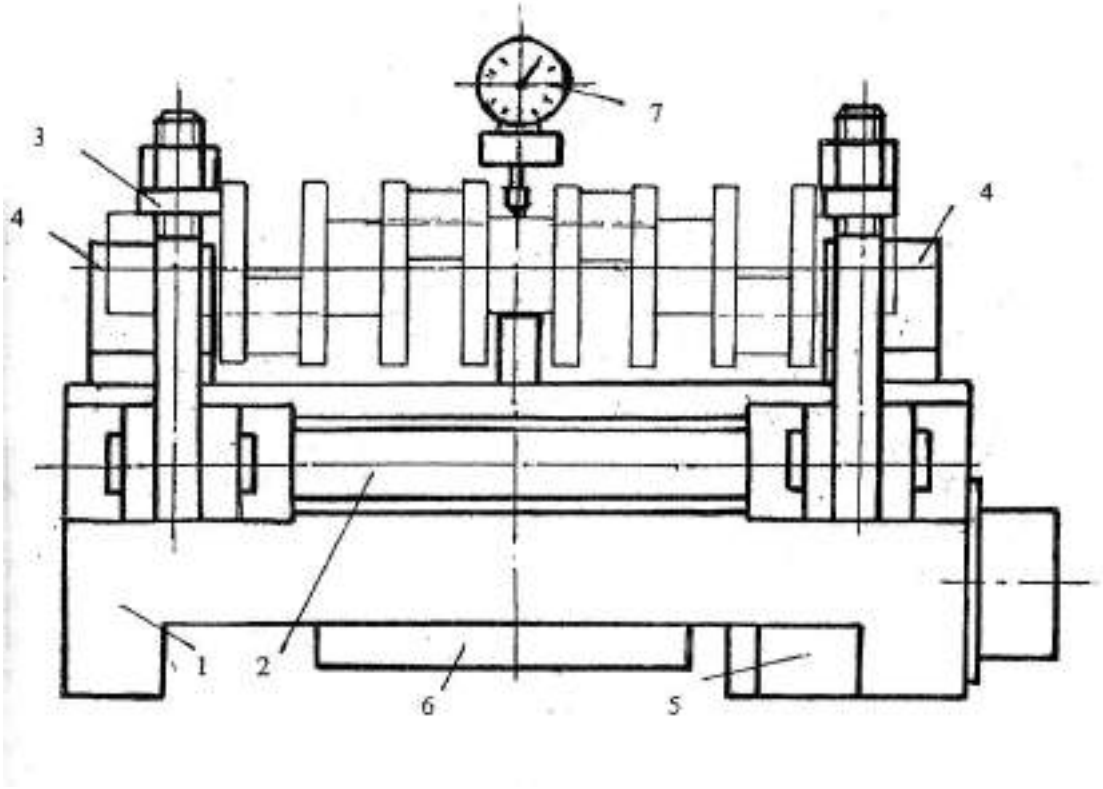


Рисунок 5.2 – Конструкція пресу для виправлення КВ СР 150

Для виправлення КВ встановлюється крайніми опорними шийками на 2-х призмах і закріплюється 2-ма перекладинами гайками. Потім, обертаючи рукоятку черв'ячного гвинта, приводять в обертання черв'ячне колесо. У ньому в осьовому напрямі перемішується гвинт з клином, по похилій поверхні якого переміщується вгору ролик з напрямною штока. Він тисне на середню корінну опорну шийку КВ, згинаючи його на 2-3 мм. Потім тиск штока на КВ знімають і проводять контроль вигину за допомогою вимірювального блоку з точністю 0,01 мм. Ці операції виправлення КВ проводять доти, поки вигин по середній опорній шийці буде не > 0.02 мм.

На рис. 5.3-5.6 наведені інші преси для виправлення КВ [46].

Рисунок 5.3 – Гідравлічний прес для виправлення КВ СР150-250 [36, 37]

Рисунок 5.4 – Прес для виправлення КВ POLEKS модель P-100 (Туреччина) [38]

Рисунок 5.5 – Прес гідравлічний для рихтування SJMC QJY250 [39]

Рисунок 5.6 – Прес для виправлення КВ Pressan (Туреччина) [40]

5.2 Розробка конструкції пресу та його елементів для виправлення КВ

Liebherr D904

5.2.1 Призначення, опис конструкції, принцип роботи й технічна характеристика пресу

Прес (рис. Б2) складається зі зварної станини з 2-ма парами тяг, які пересувають відносно осі КВ. Це дозволяє виправляти КВ різних автомобілів. В основі конструкції пресу лежить принцип передачі сили від гідроциліндра через клиновий механізм.

Щоб виправити, КВ встановлюється крайніми опорними шийками на кріплення та фіксується гайками. Після включення верстата гідроциліндр починає рухатись по напрямній осі і приводить у дію клиновий механізм. По його похилій поверхні переміщується догори шток, який чинить тиск на середню корінну опорну шийку КВ, а вона згинається на розмір до 5 мм. Після цього тиск штока на КВ знімається і контролюють вигин вимірювальним блоком, точність якого 0,01 мм. Такі переходи операції виправлення КВ здійснюють до тих пір, доки вигин по середній опорній шийці буде не > 0.02 мм.

5.2.2 Розрахунок клинового механізму пресу

«А» – Клин, «Б» – повзун, «В» – основа (рис. 5.7).

Сила, яка діє з боку клину на шийку КВ:

$$Q = \frac{W}{tg(\alpha + \phi) + tg\varphi}, \qquad (5.1)$$

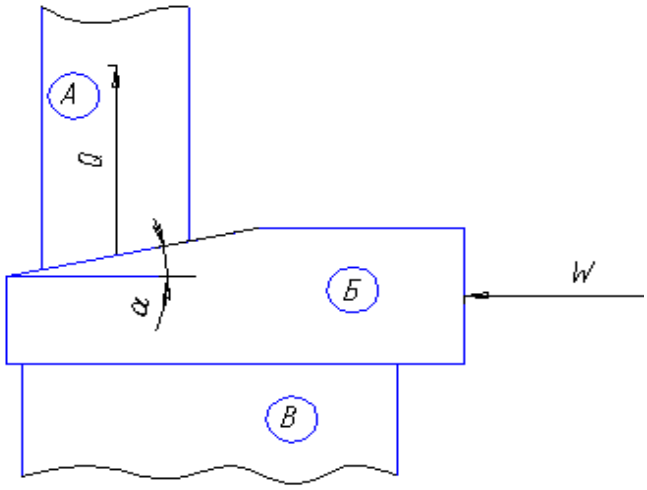


Рисунок 5.7 – Клиновий механізм пресу

де $\phi = arctg\phi' = arctg0.1 = 6^\circ$ – кут тертя ковзання по поверхні клину;

$\varphi = arctg\varphi' = arctg0.017 = 1^\circ$ – кут тертя ковзання на основі «В» (рис. 5.7).

$\alpha = arctg0{,}075 = 4.3^\circ$ – кут клину.

Початкова сила:

$$W = Q \times ((tg(\alpha + \phi) + tg\varphi)) = 500000 \times ((tg(4.3° + 6°) + tg1°)) = 100кН.$$

5.2.3 Розрахунки штока

Напруження зминання корінної шийки КВ:

$$\sigma_{зм} = \frac{Q}{F_{см}} \le [\sigma_{зм}]. \quad (5.2)$$

Площа зминання шийки:

$$F_{зм} = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (5.3)$$

$$F_{зм} = \frac{3.14 \times 9.5^2}{4} = 70.8\ см^2$$

Тому:

$$\sigma_{зм} = \frac{50000}{70{,}85} = 705{,}7\ кг/см^2,$$

що значно менше за допустимого $[\sigma_{зм}] = 4100$ кг/см^2 [47].

Шток виготовлений зі сталі 40 із гартуванням та охолодженням у воді до HRC 50.

Площа зминання штока:

$$F_{зм} = (a \times b) \times 2 \qquad (5.4)$$

$$F_{зм} = (2.5 \times 2.5) \times 2 = 12.50\ см^2$$

Тому:

$$\sigma_{зм} = \frac{50000}{12{,}5} = 4000{,}0\ кг/см^2$$

що менше допустимого $[\sigma_{зм}] = 6000$ кг/см^2.

5.2.4 Розрахунок напрямних ковзання пресу для виправлення КВ Liebherr D904

Початкові дані для розрахунку (рис. 5.8):

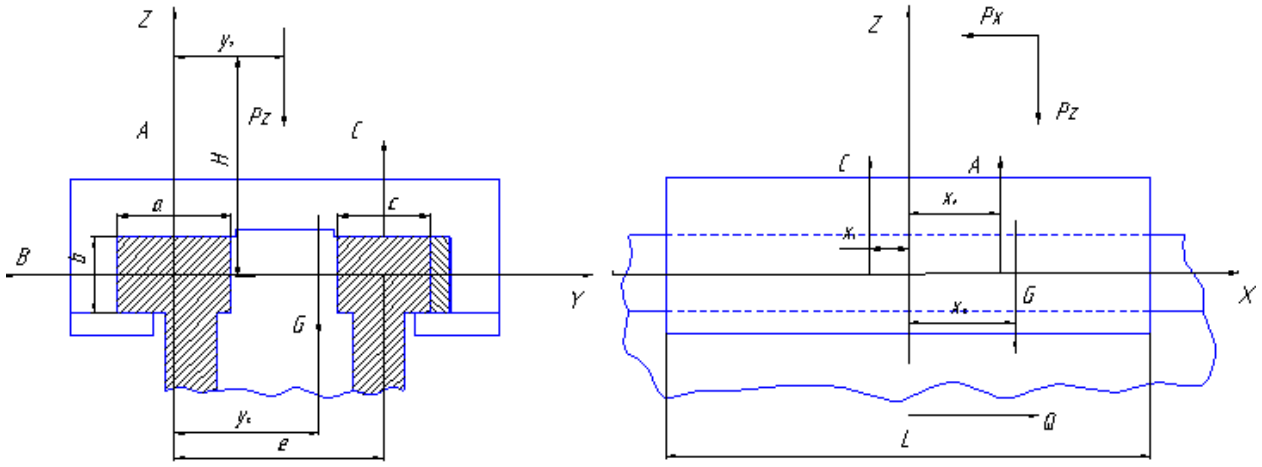


Рисунок 5.8 – Напрямна ковзання пресу

– ширина робочих граней $a = 60\ мм, b = 40\ мм, c = 56мм,$;

– відстань між серединами граней $e = 110{,}5\ мм,$;

– довжина столу $L = 166\ мм,$

– відстані $x_P = 44\ мм, y_P = 58\ мм, x_G = 33\ мм, y_G = 48\ мм, H' = 56\ мм, z_Q = 40\ мм,$

Коефіцієнт тертя $f = 0.08,$ сила $Pz = 500000\ H,$ сила тяжіння рухомих частин $G = 75\ H.$

Для рухомого вузла рівняння рівноваги:

$$\sum X = 0; -Px + Q - fA - fC = 0;$$

$$\sum Y = 0; B = 0;$$

$$\sum Z = 0; -Pz - G + A + C; \qquad (5.5)$$

$$\sum Mx = 0; Pz * y_P + G * y_G - C * e;$$

$$\sum My = 0; Pz * x_P - Px * x_P + G * x_G - Q * z_Q - A * x_A + C * x_C = 0;$$

$$\sum Mz = 0; Px * y_P - Q * \left(e + y_Q\right) + f * C * e = 0;$$

З перших 4-х рівнянь (5.5) знаходять реакції граней напрямних і тягову силу:

$$A = Pz + G - \frac{1}{e} * \left(Pz * y_P + G * y_G\right) = 500000 + 75 - \frac{1}{0.1105} * \left(500000 * 0.058 - 75 * 0.048\right) = 220.5 кН;$$

$$C = \frac{1}{e} * \left(Pz * y_P + G * y_G\right) = \frac{1}{0.1105} * \left(500000 * 0.058 + 75 * 0.048\right) = 249.5\ кН.$$

$$Q = Px + f * \left(A + C\right) = 100000 + 0.18\left(233920 + 258490\right) = 184.3\ кН.$$

Середні тиски на напрямних:

$$p_a = \frac{A}{a * L} \tag{5.6}$$

$$p_a = \frac{220500}{0.060 * 0.166} = 0.21\ МПа.$$

$$p_c = \frac{C}{c * L} \tag{5.7}$$

$$p_c = \frac{249500}{0.049 * 0.166} = 0.32\ МПа.$$

Для визначення максимальних тисків $p_{a\max}, p_{c\max}$ потрібно знати координати $x_{A,} x_C$ рівнодіючих реакцій: використовують 2 останні рівняння рівноваги столу разом з додатковим рівнянням переміщень (це результат деформації поверхонь робочих граней). Це рівняння має наступне припущення: момент зовнішніх сил відносно осі Y

$$M_Y^{/} = Pz * x_P - Px * \left(H + b/2\right) + G * x_G, \tag{5.8}$$

рівний моменту реакцій напрямних відносно тієї ж осі

$$M_Y^{/} = A * x_A - C * x_C, \tag{5.9}$$

розподіляється між напрямними пропорційно їх жорсткості (вона пропорційна їх ширині). Тому рівняння переміщень має наступний вигляд:

$$\frac{A * x_A}{C * x_C} = \frac{a}{c}. \tag{5.10}$$

Знаходимо координати $x_{A,}\, x_C$:

$$x_A = \frac{Px * \left(H + b/2\right) + Pz * x_P + Q * z_Q}{A * \left(\frac{c}{a} + 1\right)} \tag{5.11}$$

$$x_A = \frac{100000 * \left(0.056 + 0.040/2\right) + 500000 * 0.044 + 184300 * 0.04}{220500 * \left(\frac{0.049}{0.060} + 1\right)} = 0.12 \text{ м.}$$

$$x_C = \frac{Px * \left(H^{/} + b/2\right) + Pz * x_P + Q * z_Q}{C * \left(\frac{a}{c} + 1\right)} \tag{5.12}$$

$$x_C = \frac{100000 * \left(0.056 + 0.040/2\right) + 500000 * 0.044 + 175460 * 0.04}{249500 * \left(\frac{0.060}{0.049} + 1\right)} = 0.16 \text{ м.}$$

Максимальні тиски:

$$p_A = \frac{A}{a*L}*\left(1+\frac{6*x_A}{L}\right);\ p_C = \frac{C}{c*L}*\left(1+\frac{6*x_C}{L}\right) \quad (5.13)$$

$$p_A = \frac{220500}{0{,}060*0{,}166}*\left(1+\frac{6*0{,}12}{0{,}166}\right) = 1{,}65\ МПа.$$

$$p_C = \frac{249500}{0{,}059*0{,}166}*\left(1+\frac{6*0{,}16}{0{,}166}\right) = 2{,}07\ МПа.$$

що менше допустимих (2,5-3,0) МПа.

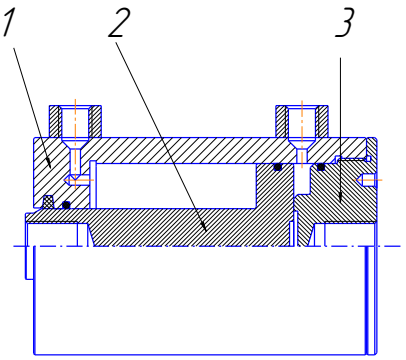
Розрахунки напрямних на жорсткість складаються з визначення контактних деформацій їх робочих граней, припускаючи, що вони пропорційні тискам на гранях:

$$\delta = c*\frac{P_c - P_a}{e}*H^{/} \quad (5.14)$$

$$\delta = \left(10*\frac{2070000-1650000}{0{,}1105}*0{,}056\right)*10^{-12} = 2{,}13*10^{-6}\ м.$$

5.2.5 Розрахунок силового циліндра пресу для виправлення

Силовий циліндр гідроциліндру пресу (рис. Б3) виготовляють з товстостінної безшовної сталевої труби (рис. 5.9).



1 – корпус; 2 – поршень; 3 – кришка

Рисунок 5.9 – Силовий циліндр пресу для виправлення КВ Liebherr D904

Оскільки необхідна сила P = 100 кН, то тиск p = 60 н/м2. Звідси площа поршня (F) і діаметр циліндра (D):

$$F = \frac{P}{p}; \qquad D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} \tag{5.15}$$

$$F = \frac{100000}{6000000} = 0.017 м^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.017}{3.14}} = 0.147 м.$$

Вибираємо найближче > значення D циліндра: D=0.16 м.

Діаметр штока d знаходиться залежно від співвідношення між швидкостями прямого і зворотного ходів поршня з урахуванням його міцності та стійкості. Для звичайних циліндрів діаметр штока обчислюється за наступним рівнянням:

$$\frac{v_1}{v_2} = 1 - \frac{d^2}{D^2} \tag{5.16}$$

Приймаючи $\frac{v_2}{v_1} = \kappa$ і вирішуючи це рівняння відносно d, отримаємо:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{0{,}004}{0{,}003} = 1.3$$

$$d = D\sqrt{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} = 0{,}16\sqrt{\frac{1.3 - 1}{1.3}} = 0{,}072 м.$$

Стінки циліндра перевіряються на міцність:

$$\sigma = \frac{0.4 \times D^2_{вн} + 1{,}3 \times D^2_{нар}}{D^2_{нар} - D^2_{вн}} p_y < [\sigma_z], \tag{5.17}$$

$$\sigma = \frac{0.4 \times 0.08^2 + 1{,}3 \times 0{,}105^2}{0{,}105^2 - 0{,}08^2} \times 60 \times 10^5 = 598 \times 10^5 Па < [\sigma_z],$$

що менше за допустимого напруження $[\sigma_z] = 600 \times 10^5 Па$.

5.2.6 Розрахунок параметрів насосу пресу

Основні параметри насосу – продуктивність і тиск мастила. Для визначення продуктивності виходять з *max* заданої швидкості поршня $v_{\max}$ згідно рівнянню:

$$Q_{\max} = v_{\max} \times F \tag{5.18}$$

$$Q_{\max} = v_{\max} \times F = 0.004 \times (0.08 \times 2) = 85 \times 10^{-6} м^3 / сек.$$

Знайдену кількість мастила збільшують на (15-20)% через витоки в циліндрі, клапанах, трубопроводах тощо. Отже, продуктивність насоса:

$$Q_н = 0.18 \times 85 \times 10^{-6} = 100.3 \times 10^{-6} м^3 / с.$$

При підборі гідроапаратури і розрахунку трубопроводів (щоб визначити тиск, який розвивається насосом) виходять з max тиску в порожнині циліндра з боку штока:

$$p_н = \frac{P}{F} = \frac{4P}{\pi\left(D^2 - d^2\right)} \tag{5.19}$$

$$p_н = \frac{4 \times 50000}{3.14\left(0.08^2 - 0.036^2\right)} = 12.47 \times 10^6 н / м^2$$

Потужність насоса:

$$N_н = \frac{p_н \times Q_н}{\eta_н} \tag{5.20}$$

$$N_н = \frac{12{,}47 \times 10^6 \times 100.3 \times 10^{-6}}{0.98} = 1276.3 вт.$$

5.2.7 Розрахунок розмірів трубопроводів пресу

Внутрішній ∅ труби:

$$d_m = 0.113\sqrt{\frac{Q_н}{v}} \tag{5.21}$$

де $Q_н$, м^3/с— витрата мастила;

v , м/с – швидкість рухи мастила в трубі.

Швидкість руху мастила у системі приймається:

– для всмоктуючих трубопроводів (1,5-2,0) м/с;

– для нагнітаючих 3,5 м/с;

– для місць звуження на коротких ділянках до 5,50 м/с.

$$d_m = 1.128\sqrt{\frac{100.3\times10^{-6}}{1.5}} = 0.009м$$

$$d_m = 1.128\sqrt{\frac{100.3\times10^{-6}}{3.5}} = 0.006м$$

$$d_m = 1.128\sqrt{\frac{100.3\times10^{-6}}{5.5}} = 0.005м$$

Товщина стінки труби:

$$s = \frac{pd_m}{2[\sigma]_p} \qquad (5.22)$$

$$s = \frac{pd_m}{2[\sigma]_p} = \frac{12.47\times10^6\times0.009}{2\times400\times10^5} = 0.0014м$$

$$s = \frac{pd_m}{2[\sigma]_p} = \frac{12.47\times10^6\times0.006}{2\times400\times10^5} = 0.001м$$

$$s = \frac{pd_m}{2[\sigma]_p} = \frac{12.47\times10^6\times0.005}{2\times400\times10^5} = 0.0008м$$

де р, н/м— максимальний тиск;

$[\sigma]_p$ — допустиме напруження при розтягуванні.

Для сталевих труб $[\sigma]_р = 400 * 10^5$ н/м^2.

6 Проєктування дільниці ремонту КВ Liebherr D904

6.1 Кількість постів і ліній ТО

Кількість універсальних постів визначають, виходячи з ритму ремонту і такту поста. Усі види ТО для КамАЗ виконують на потокових лініях, внаслідок того, що добові програми ТО відповідають наступним вимогам: для ТО-1 min кількість обслуговувань – (12-15), а для ТО-2– (5-6) [48, 49].

6.2 Ритм і такт ремонту КамАЗ_910 Євро-5

Ритм виробництва:

$$R_{TO} = \frac{T_{TO} \cdot 60}{N_{сутТО}} \text{, хв.} \quad (6.1)$$

де $T_{смТО}$ – час роботи зони ТО за добу, ТО-1 – 8 год., ТО-2 – 9 год.;

$N_{добТО}$ – добова програма з ТО.

Добова програма з ТО-1 для КамАЗ-910 Євро-5: $N_{добТО-1} = 10$.

Добова програма з ТО-2 для КамАЗ-910 Євро-5: $N_{добТО-2} = 4$.

Такт лінії:

$$\tau_{л\,i} = \frac{t_i * 60}{P_{ті}} + \tau_{п}, \quad (6.2)$$

де $P_{ті}$ – найбільша технологічно необхідна кількість працюючих на посту;

$P_{\tau\ ТО-1} = 8$, $P_{\tau\ ТО-2} = 10$.

t_i - уточнена розрахункова трудомісткість одиниці ТО цього виду

($t_{ТО-1}$ =6,90 люд*год., $t_{ТО-2}$=30,20 люд*год.,);

$\tau_п$ = 3,0 хв. – час для постановки і зняття автомобіля з поста.

$$R_{\text{ТО}-1} = \frac{8 * 60}{(10 + 8)} = 27 \text{ хв.}$$

$$R_{\text{ТО}-2} = \frac{9 * 60}{(4 + 3)} = 78 \text{ хв.}$$

$$\tau_{л\ \text{ТО}-1} = \frac{6{,}9 * 60}{(8 + 7)} + 2 = 28 \text{ хв.}$$

$$\tau_{л\ \text{ТО}-2} = \frac{30{,}2 * 60}{(10 + 10)} + 2 = 79 \text{ хв.}$$

Число ліній ТО-1 і ТО-2:

$$m_{ТО,Л} = \frac{\tau_{Л}}{R_{ТО}} \quad (6.3)$$

$$\text{m}_{\text{ТО}-1} = \frac{28}{27} \approx 1$$

$$\text{m}_{\text{ТО}-2} = \frac{79}{78} \approx 1$$

6.3 Кількість постів у зонах ТО

Кількість постів:

$$X = \frac{T_{ТОпост} \cdot K_{н}}{Д_{р} \cdot t_{см} \cdot P_{ср} \cdot C \cdot \eta}, \quad (6.4)$$

де $T_{TOпост}$ – річний об'єм постових робіт (для вантажних авто трудомісткість постових робіт складає 44,0 % від річного об'єму ($T_{TOпост}$ = 5704512·11,0/1000 = 62749,6 люд*год.);

$K_н$ = 1,12 – коефіцієнт, враховуючий виконання об'єму в max навантажену зміну;

$Д_р$ = 255 днів – число робочих днів зони в році;

$t_{зм}$ = 8 год. – тривалість зміни;

$P_{ср}$ = 1,5 люд. – кількість робітників на посту;

C = 1 – кількість змін;

η = 0,93 – коефіцієнт використання робочого часу поста.

Кількість постів:

$$X_{ТР} = \frac{0,44 * 62749,6 * 1,12}{255 * 8 * 1,5 * 1 * 0,93} = 10,9.$$

Приймається 11 постів.

6.4 Розподіл робітників по постах зони ТО-2

Зона ТО-2 працює в 1-у зміну, тривалість роботи – 9 год., число робочих постів – 2. Розподіл робітників по постах зони ТО-2 наведене у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Розподіл слюсарів з ремонту КамАЗ по постах зони ТО-2

№ поста	Число виконавців на посту	Кваліфікація (розряд)	Обслуговувані агрегати та системи
1	4	II III	Зчеплення, коробка передач, карданна передача, задній міст

	2	III IV	Передній міст і рульове управління
	4	II III	Система живлення, двигун
2	2	III	Кузов, кабіна
	2	II	шини
	4	III	Гальма

6.5 Технологічне устаткування для моторної дільниці

Технологічне устаткування для моторної дільниці розміщене у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Технологічне устаткування для моторної дільниці

Найменування			**К-ть**
Інструментальні шафи для верстатників			2
Токарно-гвинторізні верстати			2
Вертикально-свердлувальний верстат			1
Слюсарні верстаки			3
Слюсарні лещата			3
Настільно-свердлувальний верстат			1
Прес з ручним приводом			1
Верстат для шліфування фасок клапанів			1
Стенди для ремонту двигунів			2
Перевірювальна плита			1
Стелажі для деталей			2
Гідравлічний прес			1
Скриня для обтиральних матеріалів			1
Ванна для миття деталей			2
Верстат для заточування інструментів			1
Підвісна кран-балка			1
Майданчик для двигунів			1

6.6 Технологічне устаткування дільниці ремонту (виправлення, гартування, ІА КВ)

Згідно розділів 2.1, 5.1 і 4.4.2 для дільниці ІА КВ Liebherr D904 КамАЗ-910 Євро-5 прийняте устаткування, яке розміщене у табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Технологічне устаткування для дільниці ІА КВ

№	Найменування	Площа, м^2	Приміт-ки
1.	Шафа інструментальна	0,32	800х400
2.	Верстат для шліфування шийок КВ AZ CG260-1500	1,6	1820х915
3.	Верстат токарногвинторізний	2,1	1900х1100
4.	Гартувальний верстат ЕЛСИТ-100/20-70	1,4	1400х100
5.	Установка для ІА – АТР (камера)	1,08	1000х1080
6.	Установка для ІА (газо- та електрозабезп.)	3,22	2300х1400
7.	Пристосування для виправлення КВ	0,84	1200х700
8.	Ящик для обтирання матеріалу	0,12	400х300
9.	Протипожежне обладнання	---	---

Висновки

Розглянуті загальні відомості та технічні особливості сідельного тягача КамАЗ-910 Євро-5. Його простої, які викликані відмовами двигуна внутрішнього згорання, характеризуються задиром шийок і провертанням вкладишів, що призводить до необхідності ремонту або заміни колінчастого валу.

Вибраний матеріал колінчастого валу двигуна Liebherr D904 – сталь 38ХН3МА, описані її структурні перетворення, вплив легуючих елементів на властивості, переваги та недоліки.

Описані основні дефекти колінчастого валу та їх відсотковий розподіл. Вказані етапи ремонту колінчастого валу (виправлення; шліфування корінних та шатунних шийок; балансування).

Наведені наступні технології відновлення та зміцнення колінчастого валу: зварювання та наплавлення, електроерозійна обробка, індукційне гартування струмами високої частоти, хіміко-термічна обробка (газове чи іонне азотування).

Для відновлення колінчастого валу розроблений режим наплавлення галтелей корінних і шатунних шийок, а також носка і хвостовика у вуглекислому газі (CO_2) напівавтоматом А-547-р (джерело струму – селенові випрямлячі ВСГ-3а): електродний дріт Св-08Г2С; сила струму 100 А; напруга 20 В; швидкість наплавлення 18 м/год.; витрата газу 7 м3/хв.

Для зміцнення колінчастого валу:

1. Вибране устаткування (верстат AZ CG260-1500 і генератор ППЧ—600—66) і встановлені параметри режиму гартування СВЧ (частота струму 8,5 кГц; температура 920 °С; тривалість нагрівання 5 с; швидкість охолодження в індукторі 450 °С/с; тривалість охолодження 9 с). Глибина загартованого шару для корінних і шатунних шийок становить 3,5 мм, а на шийках під сальник – 1,5 мм; твердість після гартування – (52-62) HRC.

2. Вибране устаткування (АТР) і встановлені параметри іонного азотування (температура t = 560 °С, тиск Р = 220 Па, тривалість τ = 200 хв., склад

насичуючого середовища 75N2 % + 25Ar %). При цьому властивості іонноазотованої сталі 38ХН3МА наступні: твердість 900 HV, товщина зміцненого шару 0,45-0,50 мм.

Позитивний момент азотованого колінчастого валу – при іонному азотуванні відбувається поверхневе насичення усієї деталі, а не тільки шийок, як при індукційному гартуванні СВЧ. Це підвищує міцність колінчастого валу на вигин.

Дослідження твердості КВ проводили вимірюванням мікротвердості азотованого шару на приладі ПМТ-3 по перерізах, перпендикулярних до досліджуваних поверхонь. За результатами вимірювань побудований графік розподілу мікротвердості за глибиною зміцненого шару.

Проаналізовано устаткування для відновлення працездатності колінчастого валу – преси для виправлення (СР 150, СР150-250, Р-100, SJMC QJY250, Pressan).

Розроблений прес для виправлення колінчастого валу Liebherr D904 і розраховані його елементи: клиновий механізм, шток, напрямні ковзання, силовий циліндр, насос, трубопроводи.

Спроєктована дільниця ремонту колінчастого валу Liebherr D904 – визначено:

– кількість постів і ліній ТО;

– ритм і такт ремонту КамАЗ_910 Євро-5;

– кількість постів у зонах ТО;

– розподіл робітників по постах зони ТО-2;

– технологічне устаткування для моторної дільниці;

– технологічне устаткування дільниці ремонту (виправлення, гартування, іонне азотування колінчастого валу).

Список використаних джерел

1. КамАЗ п'ятого покоління — детальний огляд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.zr.ru/content/articles/929430-kamaz54901-obzor/

2. КамАЗ Євро-5 – характеристики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.google.com.ua/search?sca_esv=8756ef8d6c466811&sca_upv=1&biw=1053&bih=479&sxsrf=ADLYWILPCezE0Xb_TB0rBpws4nqCYvgBWQ:1726649967460&q=камаз+евро-5+характеристики&sa=X&ved=2ahUKEwjnz9ivkMyIAxX2BdsEHcVzHyw4FBDVAnoECC8QAQ

3. Двигун КамАЗ Р6 910.15-450 / Євро-5-6 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zap-kam.ru/agregaty/dvigateli/divgateli_kamaz-r6.html

4. Виготовлення колінчастих валів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.autoslesar.net/2010-02-23-13-55-26/35-2010-02-12-14-49-25.html

5. Характеристика матеріалу 38ХН3МА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=193

6. Сталь марки 38ХН3МА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/38XH3MA

7. Сталь 38ХН3МА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.lsst.ru/spravochnik-metalloprokata/legirovannaya-stal/stal-38khn3ma/

8. 38ХН3МА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mmetallurg.ru/marochnik-stali/konstrukczionnaya/uglerodistaya-obyiknovennaya/38xn3ma/

9. Ремонт колінчастого валу дизельного двигуна автомобіля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ua.eco-busparts.com/info/repair-main-point-of-crankshaft-in-auto-diesel-77165898.html

10. Дефекти колінчастих валів, ремонт колінчастих валів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kakhovka.paljnycia.cx.ua/articles/defekti-kolinchastih-valiv-remont-kolinchastih.html

11. Дефекти шатунів, колінчастого валу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vpl.org.ua/news/12-04-41-01-11-2021/

12. Вал колінчастий КамАЗ (рем) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://agrolider.ua/remont-114/val-kolenchatyy-kamaz-rem-74013-1005008-20

13. Ремонт колінчатого валу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dvcentre.com.ua/ремонт-колінчатих-валів/

14. Механічна обробка колінчастого валу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://promotor.ua/index.xhtml-18.html?id=21

15. Відновлення колінчастих та інших валів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/7_5_.pdf

16. Колінвал Liebherr D904, D904T [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://spec-zapchasti.com.ua/products/9266921-kolinval-liebherr-d904-d904t/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwl6-3BhBWEiwApN6_kl9I8l2euzuhBrZCrxTPCdm2SRey0vIg3QBRd9qXjqPS2rgzaXcByBoCXaMQAvD_BwE

17. Шліфування колінчатих валів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ua.ovva.com.ua/catalog/shlifuvannja-kolinchatih-valiv.html

18. Аналіз дефектів колінчастих валів КамАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studbooks.net/2375769/tehnika/analiz_defektov_kolenchatyh_valov_kamaz

19. Відновлення деталей зварюванням і наплавленням [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://um.co.ua/1/1-1/1-17774.html

20. Застосування вуглекислого газу для зварювання напівавтоматом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zvarka.info/zastosuvannya-vuglekislogo-gazu-dlya-zvaryuvannya-napivavtomatom/

21. Відновлення деталей зварюванням і наплавленням під шаром флюсу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://referatbank.ru/referat/preview/52758/referat-vosstanovlenie-detaley-svarkoy-naplavkoy-sloem-flyusa.html

22. Плазмове наплавлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://um.co.ua/6/6-8/6-84358.html

23. Електроерозійна обробка металів – про суть процесу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mirstankov.com/uk/elektroerozijna-obrobka-metaliv-pro-sut-procesu/

24. Електроерозійна обробка металу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ua.moldmaking.tech/elektroiskrovaya-obrabotka-metallov/

25. Ступін Б. А. Нетрадиційні методи механічної обробки матеріалів : конспект лекцій / укладачі: Б. А. Ступін, О. В. Івченко, О. Д. Динник, Р. М. Зінченко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 149 с. – Режим доступу: https://core.ac.uk/download/pdf/324220669.pdf

26. Поверхневе загартування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Поверхневе_загартування

27. Поверхневе гартування сталі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studfile.net/preview/10102547/page:9/

28. Класифікація видів гартування, їхнє призначення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studfile.net/preview/5740805/page:12/

29. Поверхневе гартування металів і сплавів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://fizmat.7mile.net/materialoznavstvo/3_4_1-poverhneva-termoobrobka-metalu.html

30. Азотування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Азотування

31. Погребна Н. Е. Способи зміцнення металів: Навчальний посібник / Н.Е. Погребна, В.З. Куцова, Т.В. Котова. – Дніпро: НМетАУ, 2021. - 89 с. – Режим доступу: https://nmetau.edu.ua/file/sposobi_zmitsnennya_metaliv.pdf

32. Азотування сталі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studfile.net/preview/7090264/page:23/

33. Азотування сталі: призначення та особливості технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vseznayko.com.ua/azotuvannja-stali-priznachennja-ta-osob.html

34. Установка для азотування в пульсуючій плазмі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sai.u.cx.ua/articles/ustanovka-dlja-azotuvannja-v-pulsujuchij-plazmi.html

35. Азотування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://stud.com.ua/73706/tehnika/azotuvannya

36. Преси для виправлення колінчастих валів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://lg.net.ua/uk/category/repair-equipment-uk-main/repair-of-crankshafts-and-camshafts-uk/pressi-dlia-pravki-kilenchatih-valov-uk/

37. Гідравлічний прес для правки колінчатих валів СР150-250 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://stanmaster.com.ua/ua/p829493703-gidravlicheskij-press-dlya.html?srsltid=AfmBOooRl9MVSoe00qNy_vp1toVCNs1pen0ep2B60mRuW0d1m9GcWlb8

38. Прес для виправлення колінвалів POLEKS модель P-100 (Туреччина) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://prom.ua/ua/p2017310979-press-dlya-pravki.html?srsltid=AfmBOorDcCHB-5hHEjDaBC_tbuASFeblArCFyVBErFIw1uWcq5GhnwaF

39. Прес гідравлічний для рихтування SJMC QJY250 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sjmc.in.ua/ua/p1101237609-press-gidravlicheskij-dlya.html

40. Прес для виправлення колінвалів Pressan (Туреччина) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://prom.ua/ua/p1665077468-press-dlya-pravki.html?srsltid=AfmBOoraMIdY5bvQpVQLzl4i8GaT2CiwNvDKUYCh7prpJHXDsjKDcpjM

41. Верстат для шліфування шлейок колінчастих валів AZ CG260-1500 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sjmc.in.ua/ua/p1101237603-stanok-dlya-shlifovki.html

42. Загартування СВЧ: гартувальний верстат для колінчастого валу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://xn--h1afsf5c.xn--p1ai/%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%BA%D0%B0-%D1%82%D0%B2%D1%87/%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0

%BA%D0%B0-%D1%82%D0%B2%D1%87-%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D1%87%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BA-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D0%B0

43. Дефекти колінчастих валів ремонт колінчастих валів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kakhovka.paljnycia.cx.ua/articles/defekti-kolinchastih-valiv-remont-kolinchastih.html

44. Азотування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cyclop.com.ua/content/view/137/1/1/59/

45. Прес гідравлічний AZ CP-150 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sjmc.in.ua/ua/p1101237605-press-gidravlicheskij-150.html

46. Конструкції пресів для правки колінчастих валів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kazedu.com/referat/137238/7

47. Бондаренко Л.Ю. Практичні розрахунки на зріз та зминання. Методичні вказівки до практичного заняття з дисципліни «Інженерна механіка. Механіка матеріалів і конструкцій» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальностей 208 «Агроінженерія», 133 «Галузеве машинобудування» та 131 «Прикладна механіка» / Л.Ю. Бондаренко, О.О. Вершков // Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. Мелітополь: 2020. – 24с.

48. Технічне обслуговування автомобілів КамАЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://tegruz.ru/rukovodstvo-kamaz/ekspluatatsiya-kamaz/to-kamaz/

49. Плахотнік О. О. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Організація виробництва» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 274 Автомобільний транспорт / О. О. Плахотнік. Камянське, ДДТУ, 2017. – 85 с.

50. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Лабораторний практикум: посібник для вищих навчальних закладів IIIIV рівнів акредитації /

Авт. колектив: Опальчук А.С., Котречко О.О., Роговський Л.Л., Семеновський О.Є., Роговський І.Л. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://foundry.kpi.ua/wp-content/uploads/2020/05/opalchuk-as-materialoznavstvo-i-tehnologiya-konstrukczijnyh-materialiv.pdf

51. Левкович М.Г. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» / Укладачі: Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 89 с.

Додатки

Додаток А

Наукові праці

ЦЕНТР ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНИХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE

СУЧАСНІ СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ НАУКИ, ОСВІТИ І ТЕХНОЛОГІЙ

CURRENT GLOBAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SCIENCE, EDUCATION AND TECHNOLOGY

Збірник тез доповідей
Book of abstracts

Частина 2
Part 2

20 березня 2024 р.
March 20, 2024

м. Біла Церква, Україна
Bila Tserkva, Ukraine

UDC 629.331

Rudyk O. Yu.
Ph.D., Associate Professor,
Associate Professor of Department of Tribology,
Automobiles and Meterials Science
Antoniuk S. V., Komeev Yu. A.
undergraduates,
Khmelnytskyi National University

USE OF INFORMATION TECHNOLOGY BASED ON SOLIDWORKS SIMULATION FOR CALCULATIONS OF AUTOMOBILE REPAIR EQUIPMENT

Today, information technology (IT) is the most important factor that influences the quality of the education system. The main prerogative is the quality and level of training of students in universities, which is the key to the successful functioning of the education system. The use of IT in

the educational process reveals the creative abilities of students in the learning process, since IT today is the basis and one of the most important factors that have a strong impact on the quality of the education system.

In addition, when the requirements for the quality of graduate training increase, global informatization and the development of the latest IT occur, which will also improve the training of the future specialist. For the modern educational system, learning is, first of all, a cognitive activity that is focused not only on acquiring knowledge and skills. There is also a change in the student's personality: first of all, intelligence increases and the main focus is on self-development. And professional competence, scientific qualifications, and personnel training lead to the formation of a new type of specialist who enthusiastically finds a creative approach to solving a problem.

The authors of [1] based on information technology have looked at the applications of solid-state design and the ongoing verification of the static strength of the attachment for pressing the silent block of the upper part of VAZ cars, and the nut itself. It has been established that the minimum reserve of value is k = 6.315, which is much more than permissible [k] = 3. Therefore, the meta of this research is the possibility of replacing steel 45, from which the nut is made, with cheaper availability repair tanks have steel 15 (DIN analogue: C15E – fig. 1).

Имя:	Сталь 45 ГОСТ 535-88
Тип модели:	Линейный Упругий Изотропный
Критерий прочности по умолчанию:	Максимальное напряжение von Mises
Предел текучести:	8,3e+08 N/m^2
Предел прочности при растяжении:	9,8e+08 N/m^2
Модуль упругости:	2,04e+11 N/m^2
Коэффициент Пуассона:	0,3
Массовая плотность:	7 826 kg/m^3
Модуль сдвига:	7,8e+10 N/m^2
Коэффициент теплового расширения:	1,19e-05 /Kelvin

a

Имя:	1.1141 (C15E)
Тип модели:	Линейный Упругий Изотропный
Критерий прочности по умолчанию:	Максимальное напряжение von Mises
Предел текучести:	4,5e+08 N/m^2
Предел прочности при растяжении:	5,5e+08 N/m^2
Модуль упругости:	2,1e+11 N/m^2
Коэффициент Пуассона:	0,28
Массовая плотность:	7 800 kg/m^3
Модуль сдвига:	7,9e+10 N/m^2
Коэффициент теплового расширения:	1,1e-05 /Kelvin

b

Fig. 1. Properties of steels 45 (a) and 15 (b)
formed by the authors

Through repeated calculations in SolidWorks Simulation, the nut model was divided into finite elements (FE), its stiffness matrix was built; carried out the synthesis of SE of its model; solved the resulting system of algebraic equations and determined the components of the stress-strain state (table 1, fig. 2).

Table 1. The results of the nut research

Steel	TensionVon Mises (max.), σ, MPa	As a result moving URES (max.), h, mm	Еквівалентна деформація ESTRN (max.), δ, mm	Запас міцності FOS (min.), n
45	131,4 Node 23183	0,004 Node 491	0,0004493 Element 6064	6,315 Node 23183
15	132,2 Node 23183	0,004 Node 491	0,0004312 Element 6064	3,405 Node 23183

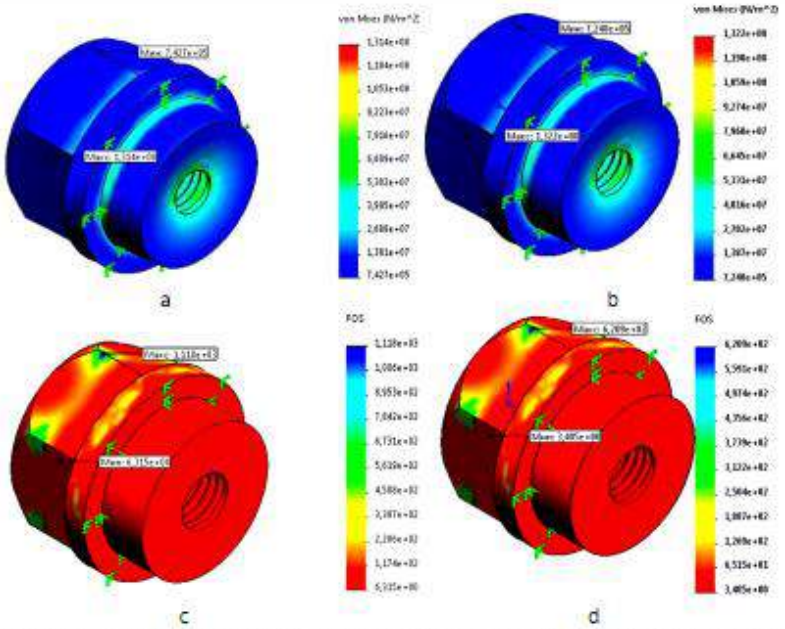


Fig. 2. Plots of the maximum stresses VON (a – steel 45, b – steel 15) and the minimum margin of strength FOS (c – steel 45, d – steel 15) of nut

formed by the authors

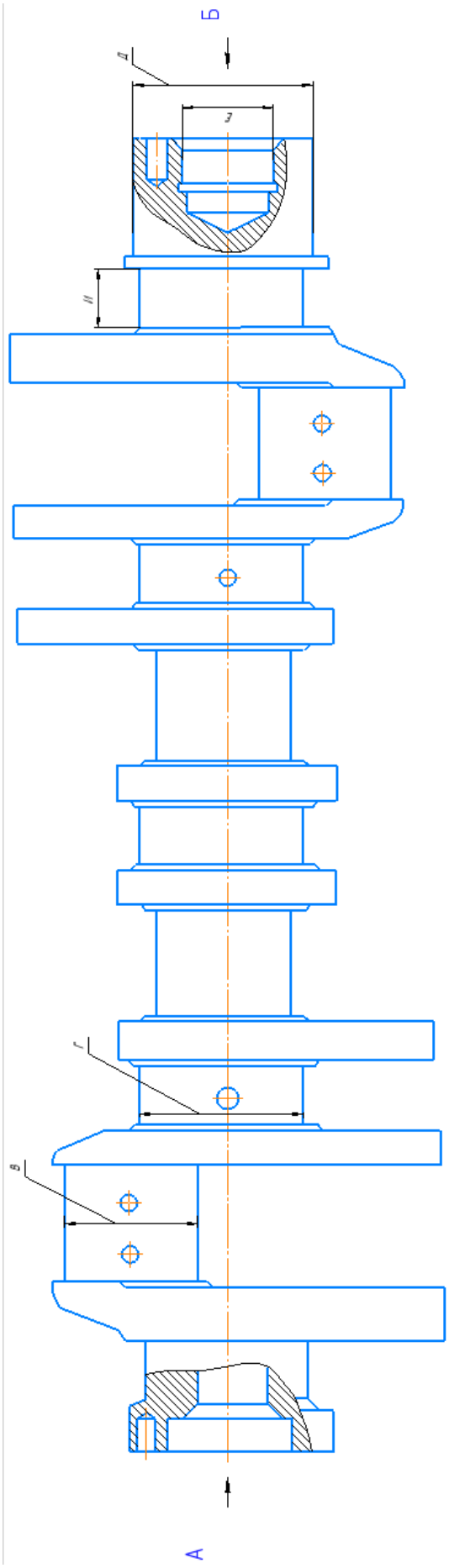
Since the minimum margin of safety factor for a nut made of steel 15 is k = 3.405, which is more than permissible, the margin of safety is sufficient.

List of references

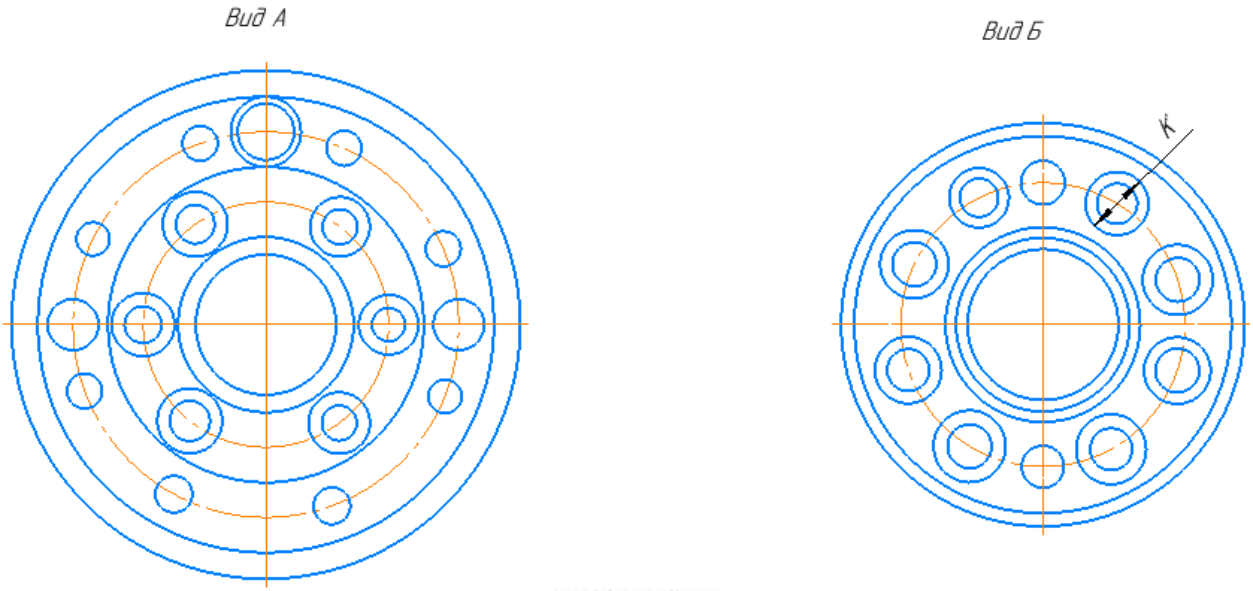
1. Вовк В. Ю., Собко Е. Р., Рудик О. Ю. Розрахунок пристосування для заміни сайлентблоків із застосуванням методу скінченних елементів. *Класичні та прикладні аспекти спадкоємної математичної підготовки у ЗВО : історичний та сучасний погляд молодих вчених і здобувачів вищої освіти* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених (Харків, 08-09 квітня 2021 р.). Харків: ХНАДУ, 2021. С. 123-126.

Додаток Б

Графічне забезпечення дипломної роботи



					МРТАМ 24.23592.000 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



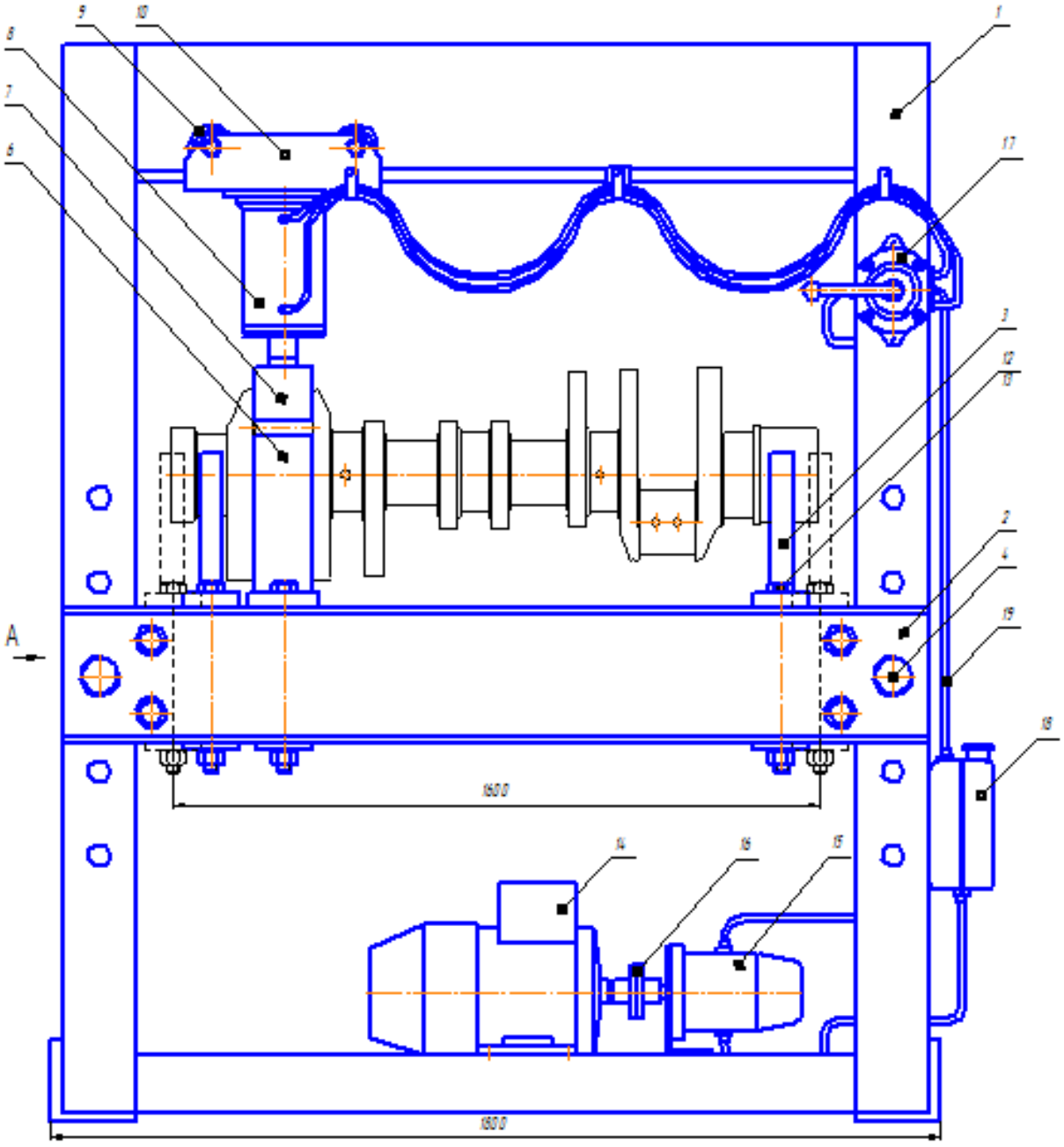
Дефекти

1. Знос, риски на шатунних шийках В $\phi 80 \pm 0{,}0095$
2. Знос, риски на корінних шийках Г $\phi 95 \pm 0{,}011$
3. Знос, риски на поверхні під задній сальник Д $\phi 105_{-0{,}14}$
4. Знос поверхні отвору під підшипник первинного валу Е $\phi 52^{+0{,}008}_{-0{,}023}$
5. Знос поверхонь під упорні півкільця Ж $36{,}2 \pm 0{,}05$
6. Знос, зрив різьби під болти кріплення маховика К М14х1,5-6Н
7. Прогин валу
8. Дисбаланс

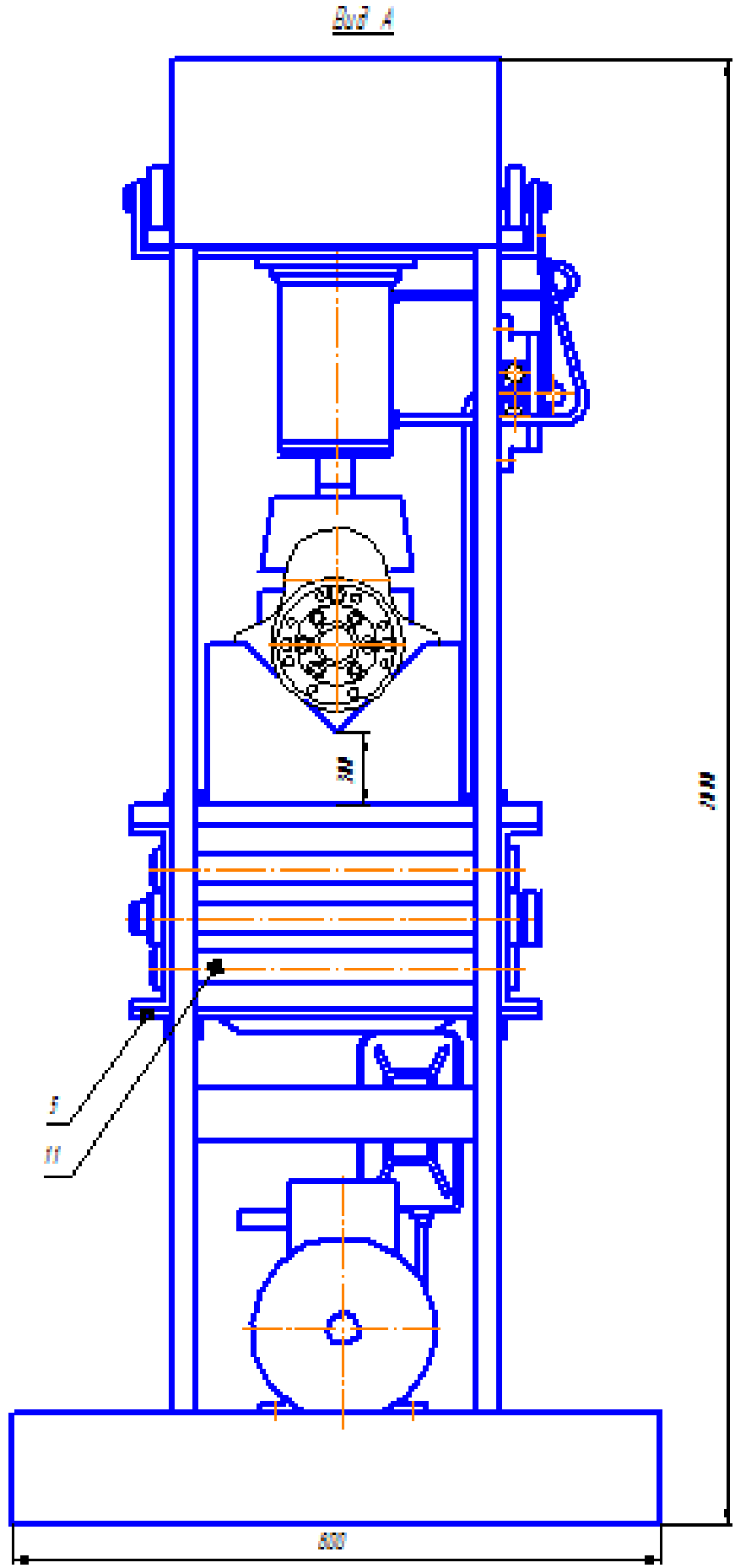
Таблиця ремонтних розмірів колінчастого валу

Позначення розміру	Номінальний розмір	Ремонтний розмір			
		I	II	III	IV
В	$80 \pm 0{,}0095$	$79{,}5^{+0{,}015}_{-0{,}010}$	$79^{+0{,}015}_{-0{,}010}$	$78{,}5^{+0{,}015}_{-0{,}010}$	$78^{+0{,}015}_{-0{,}010}$
Г	$95 \pm 0{,}0110$	$94{,}5^{+0{,}015}_{-0{,}010}$	$94^{+0{,}015}_{-0{,}010}$	$93{,}5^{+0{,}015}_{-0{,}010}$	$93^{+0{,}015}_{-0{,}010}$
И	$36{,}2^{+0{,}05}$	$36{,}2^{+0{,}08}$ или $36{,}5^{+0{,}08}$			

Рисунок Б1 – Вал колінчастий Liebherr D904(Компас 3D)



					МРТАМ 24.23592.000 ПЗ	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					МРТАМ 24.23592.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

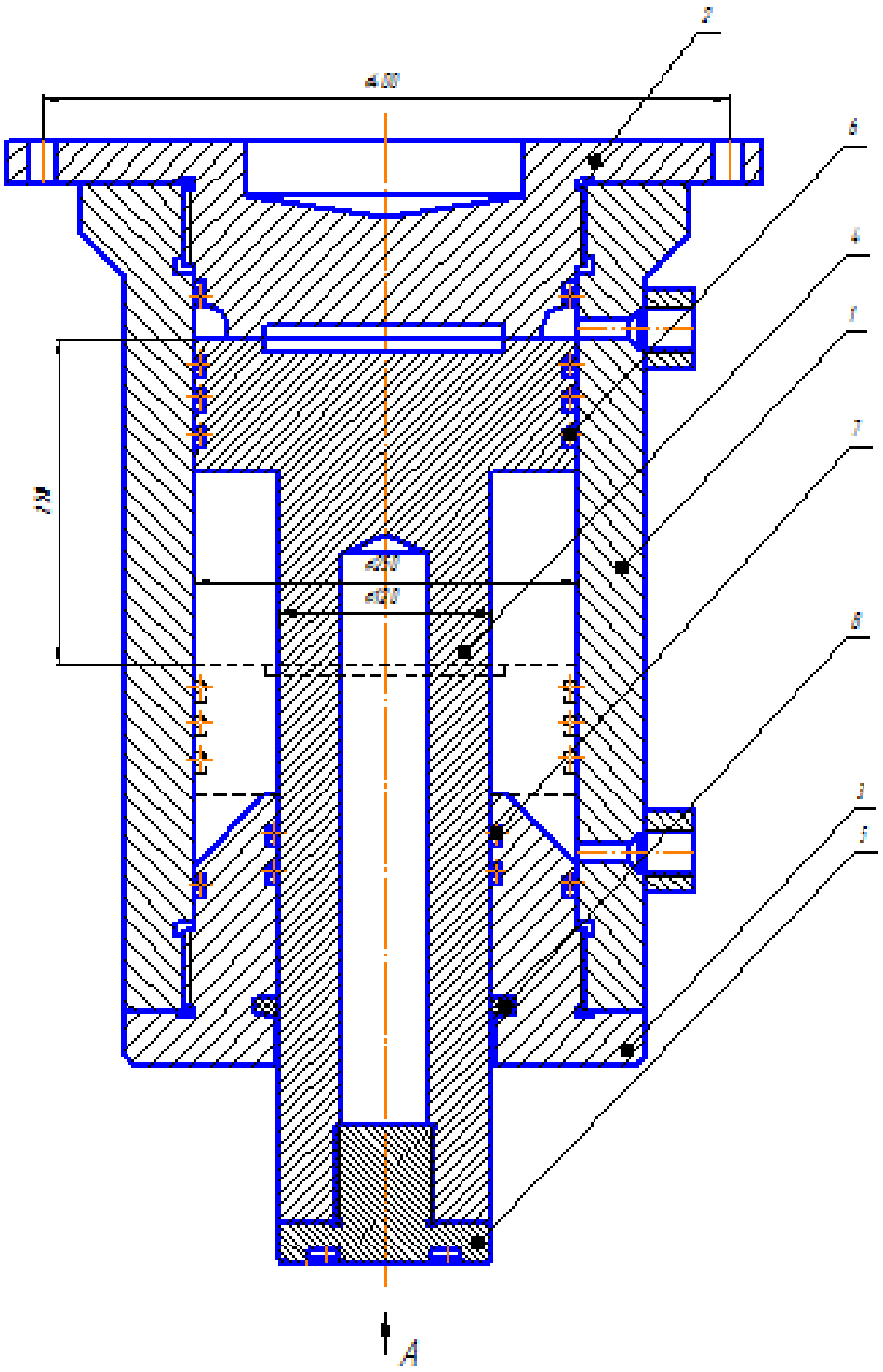
Технічна характеристика

Максимальна довжина валу	1600 мм
Максимальний діаметр шийок	180 мм
Висота від основи V-подібних призм до станини	300 мм
Довжина машини	1800 мм
Ширина машини	800 мм
Висота машини	2000 мм
Маса нетто машини	400 кг
Максимальна сила	25000 кг

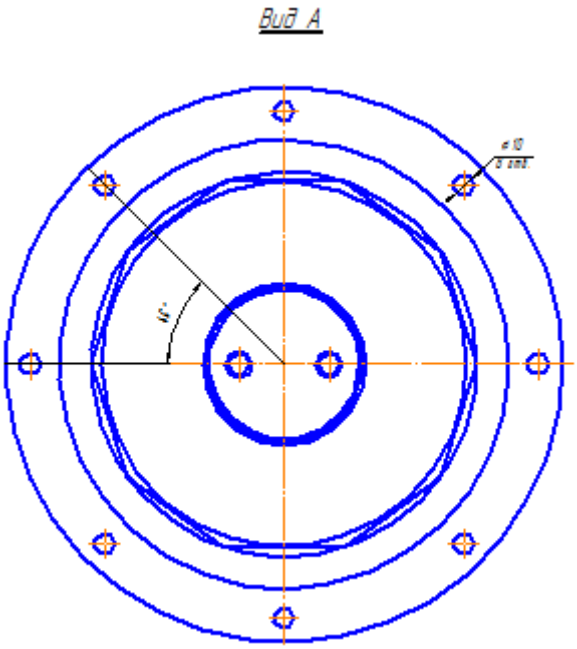
			Складальні одиниці	
1		Рама	1	
2		Под"ємний стіл	1	
3		Призма V-подібна	2	
4		Штифт фіксуючий	2	
5		Пластина	3	
6		Оправка нижня	1	
7		Оправка верхня	1	
8		Гідроциліндр	1	
9		Ролик	4	
10		Кронштейн гідроциліндра	1	
11		Штифт розпірний	4	
		Стандартні вироби		
12	ДСТУ 15589-70	Болт М12	6	
13	ДСТУ 15526-70	Гайка М12	6	
14	ДСТУ 17494	Ел. двиг. 4ААМ56В4ЕЗ	1	
15	ДСТУ 17437-81	Масл. насос НШ-64	1	
16	ДСТУ 20761-80	Муфта фланцева	1	
17	ДСТУ 16517-82	Кран гідравл. Г71-33	1	
18	ТУ 1982-85	Бак масляний	1	
19	ДСТУ 6286-73	Рукав 1 Л-12-9-У	5	

Справ. №
Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взам. інв. №
і дата

Рисунок Б2 – Прес для виправлення КВ Liebherr D904 (Компас 3D)

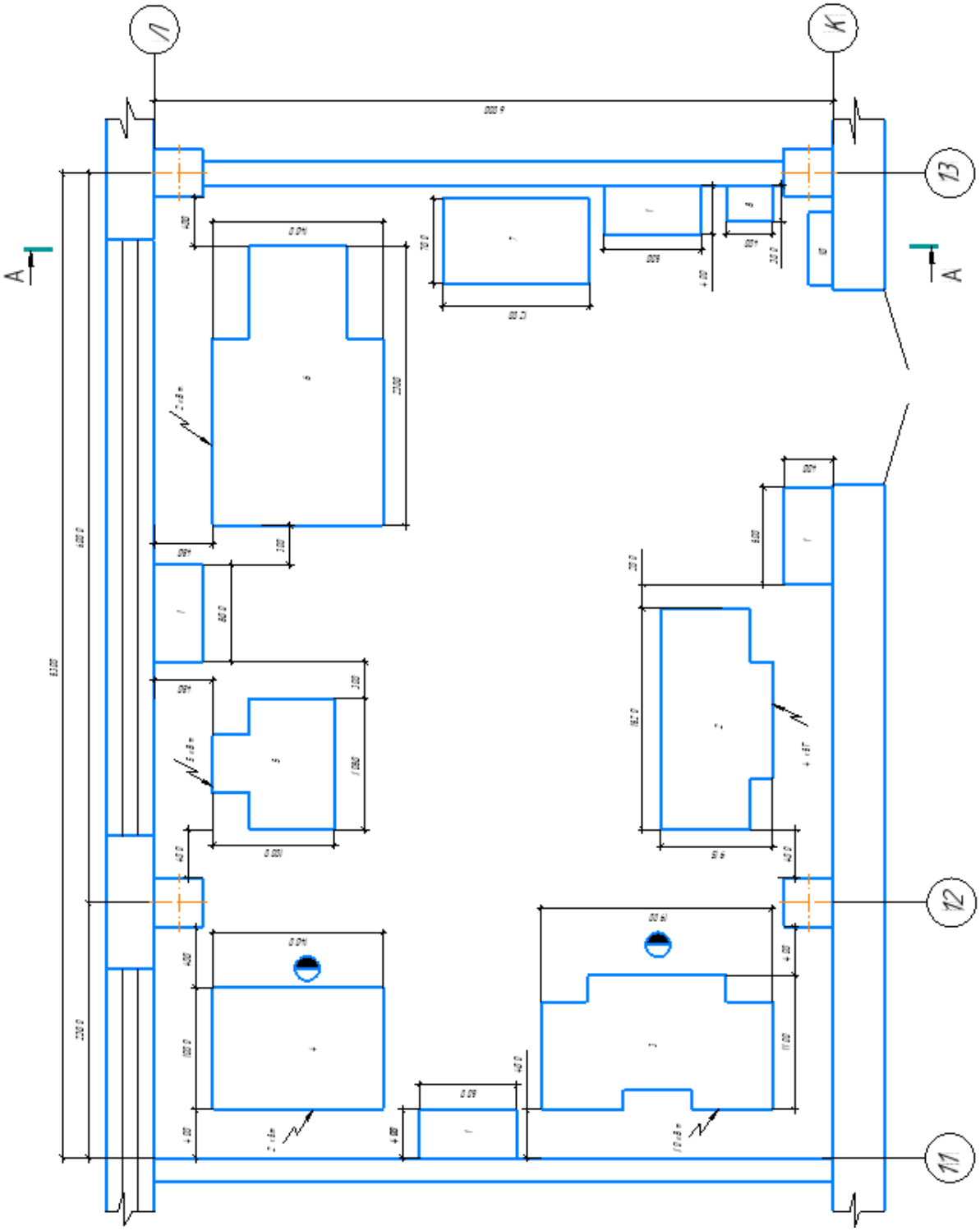


					МРТАМ 24.23592.000 ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

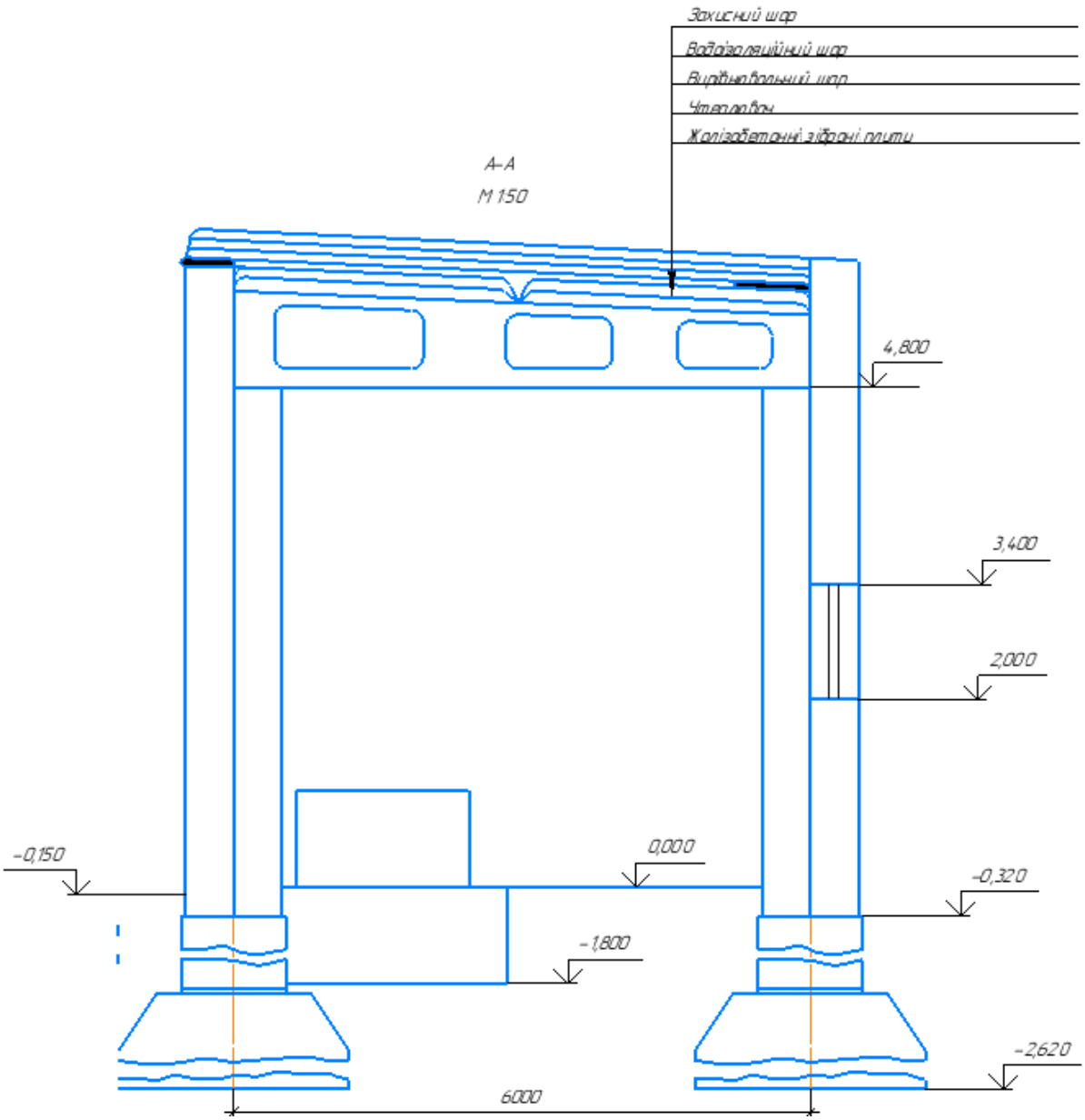


		Складальні одиниці		
1		Корпус	1	
2		Кришка 1	1	
3		Кришка 2	1	
4		Поршень	1	
5		Кришка штока поршня	1	
		Стандартні вироби		
6	ДСТУ 8752-79	Кільце ущільнююче Ф250	5	
7	ДСТУ 8752-79	Кільце ущільнююче Ф120	2	
8	ДСТУ 8752-79	Кільце пиловідбивне	1	

Рисунок Б3 – Гідроциліндр пресу для виправлення КВ Liebherr D904 (Компас 3D)



					МРТАМ 24.23592.000 ПЗ	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Умовне позначення

-ворота двопольні

-місце робоче

-підведення електроенергії

					МРТАМ 24.23592.000 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлікація обладнання

№	Найменування	Площа, м^2	Приміт-ки
1.	Шафа інструментальна	0,32	800x400
2.	Верстат для шліфування шийок КВ AZ CG260-1500	1,6	1820x915
3.	Верстат токарногвинторізний	2,1	1900x1100
4.	Гартувальний верстат ЕЛСИТ-100/20-70	1,4	1400x100
5.	Установка для ІА - АТР (камера)	1,08	1000x1080
6.	Установка для ІА (газо- та електрозабезп.)	3,22	2300x1400
7.	Пристосування для виправлення КВ	0,84	1200x700
8.	Ящик для обтирання матеріалу	0,12	400x300
9.	Протипожежне обладнання	---	---

Рисунок Б4 – Ділянка ремонту колінчастих валів Liebherr D904 (Компас 3D)