Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Кафедра галузевого машинобудування

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕХОНЬ ВАЛ-ШЕСТЕРЕНЬ ШЛЯХОМ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕГУВАННЯ З ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Виконав: ст.гр. 1ЗВ-17м
Бучковький К.В.
Керівник: к.т.н., доц.
Шиліна О.П.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРАВЛЕНІ НА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ВАЛ-ШЕСТЕРНІ

Метою роботи є підвищення якості відновлення робочих опорних поверхонь вал-шестерень шляхом комплексного легування та керуванням твердістю і стабільністю структури за рахунок деформаційного зміцнення та термічної обробки.

Науково-технічною задачею, яка вирішується в даній роботі, є:

1. Обґрунтувати вибір електродугового наплавлення в якості оптимального методу відновлення працездатності деталей типу вал на основі аналітичного огляду, показати ефективність його використання при відновленні.
2. На основі аналізу деталей типу вал показати, що вони являються по кількості та конструктивній значущості визначальними в забезпеченні працездатності конструкцій машин.
3. Удосконалити технологію ремонту деталей типу вал електродуговим напилавленням шляхом управління складом, структурою і властивостями наплавлюваного матеріалу після пластичного деформуванням та термічної обробки.
4. Оптимізувати параметри електродугового наплавлення з урахуванням результатів експериментальних досліджень і математичного моделювання

• Дослідення проводили на зразках зі Ст.3 ДСТУ 2651-94. Наплавлення проводили електродом марки ЦЛ-11 ГОСТ2246-70, діаметр електроду d=3 мм, на зварювальному струмі 65А та електродом АНО-36 (Е 46) ТМ CONTINENT ГОСТ 9466 діаметр d=4 мм, зварювальний струм 110 А.

Таблиця 1 - Хімічний склад електроду марки ЦЛ-11 ГОСТ2246-70

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Nb
0,5	0,77	2	0,004	0,022	19,07	8,8	0,75

Таблиця 2 - Хімічний склад електроду марки АНО-36 (Е 46) ТМ CONTINENT ГОСТ 9466

C	Mn	Si	P	S
0,11	0,65	0,35	0,035	0,030

Деформаційне зміцнення досліджувалось за допомогою твердомірів Бринелля і Роквелла. Спочатку вимірювалась вихідна твердість шару наплавленного метала $HRC_{єо}$, потім вимірювалась твердість у лунці відбитку від вдавлення сталевої кульки тведомера Бринелля.

Ступінь деформаційного зміцнення визначалась за формулою:

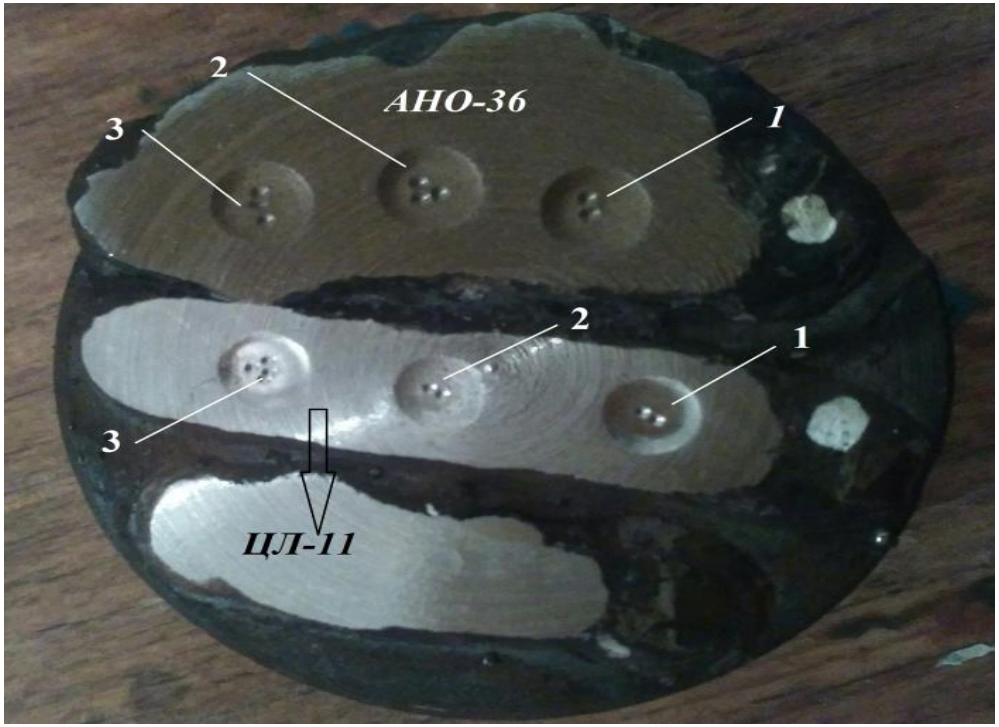
$$\Delta = \frac{(HRC_{зп} - HRC_{зо})}{HRC_{зо}} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

де Δ - ступінь деформаційного зміцненного наплавленного металу, %;

$HRC_{зп}$ – твердість у лунці відбитка після «n» вдавлень сталевої кульки приладу Бринелля;

а твердість за твердоміром Роквелла.

Наплавлений зразок



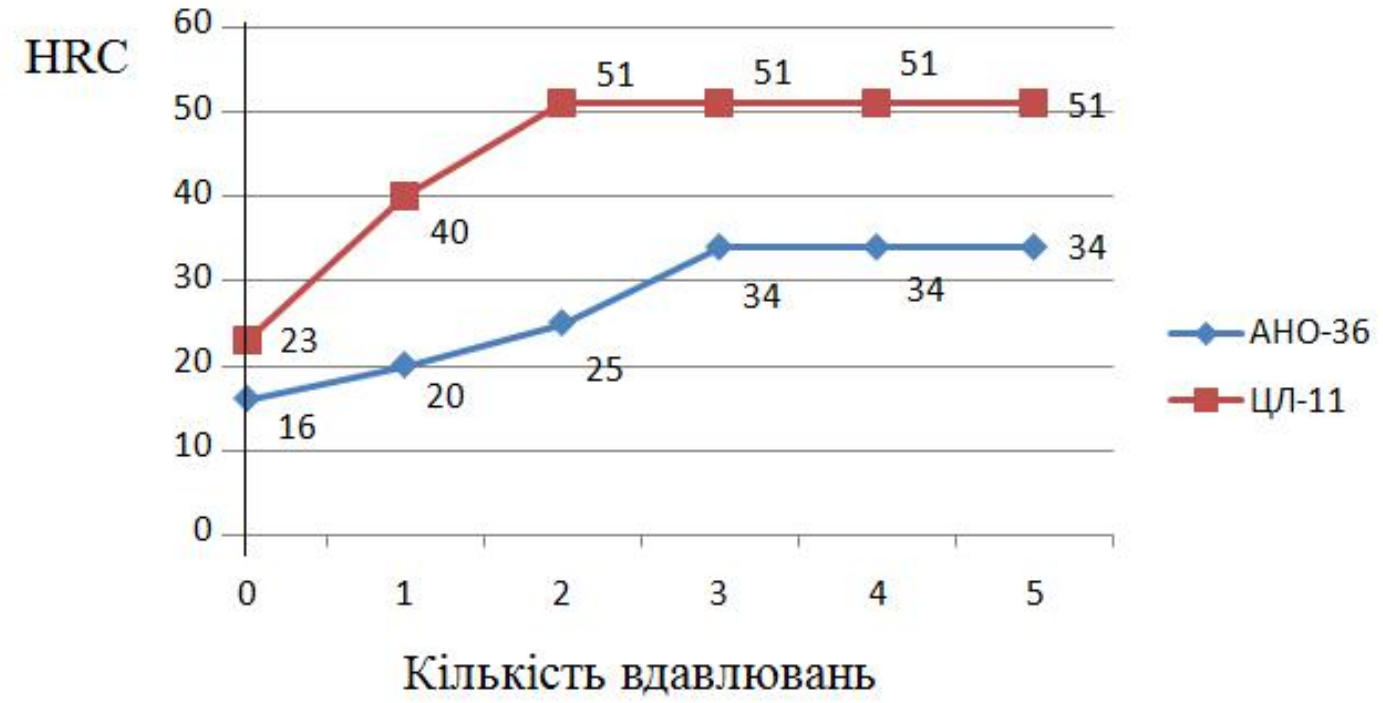
1 – одне вдавлювання
2 – два вдавлювання
3 – три вдавлювання

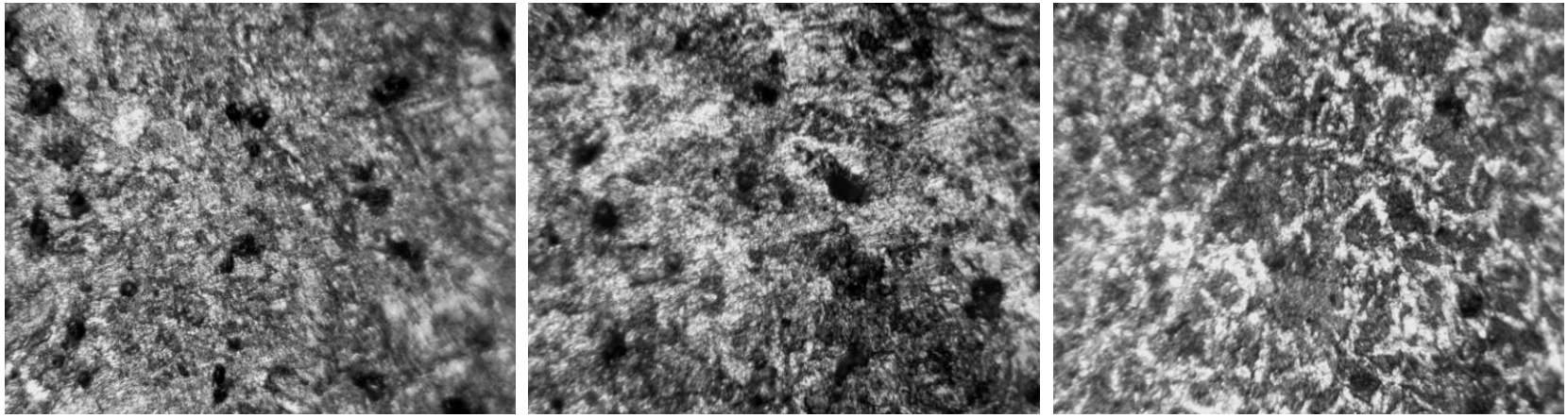
При вивченні за цією методикою здатності до деформаційного зміцнення наплавленного металу з високим вмістом хрому встановлено, що значення максимальної твердості в лунці відбитку практично збігається після другого вдавлювання (табл.3).

Таблиця 3 – Ступінь зміцнення матеріалів

Матеріал електорду	Твердість $HRC_{зо}$	Зміцнення після вдавлень:			Δ,%	Макс. твердість, $HRC_{зп}$
		1	2	3		
ЦЛ-11 ГОСТ2246-70	22–24 / 23	39–41 / 40	48–53 / 51	48–53 / 51	121,7	53
АНО-36 (Е 46) ГОСТ 9466	15–18 / 16	18–21 / 20	23–26 / 25	33–35 / 34	118,8	35

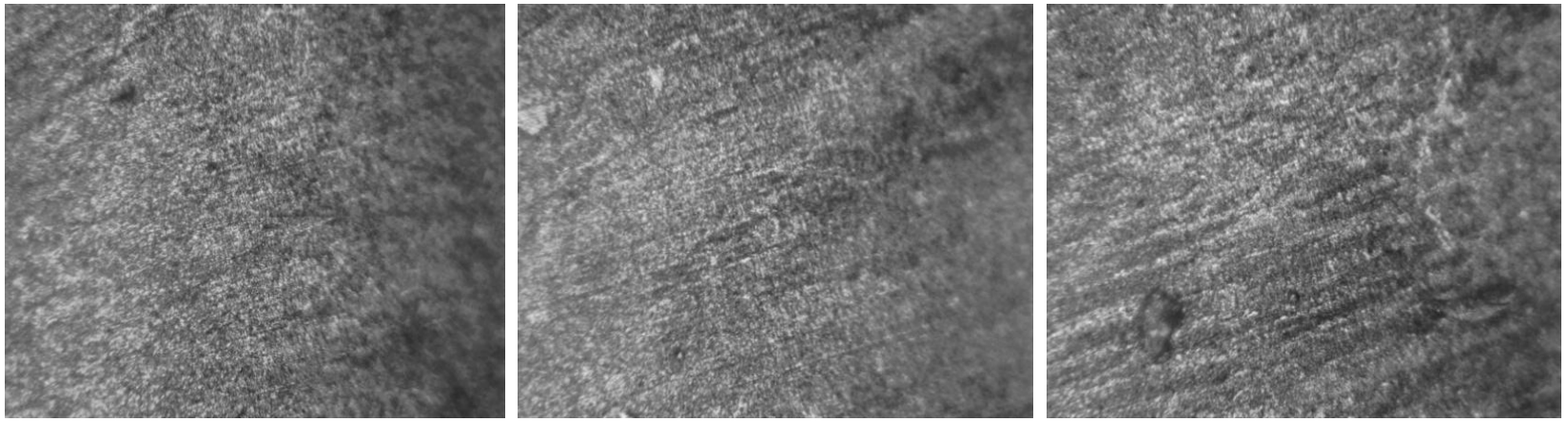
•За результатами проведених досліджень отримали залежність твердості наплавленного шару від кількості вдавлювань індентора Бринеля, а відповідно від степені деформації наплавленного шару





а б в

Мікроструктура наплавленого шару електродом АНО-36 після контактного навантаження (х500)
а – одне вдавлювання; б – два вдавлювання; в – три вдавлювання



а б в

Мікроструктура наплавленого шару електродом ЦЛ-11 після контактного навантаження (х500)
а – одне вдавлювання; б – два вдавлювання; в – три вдавлювання

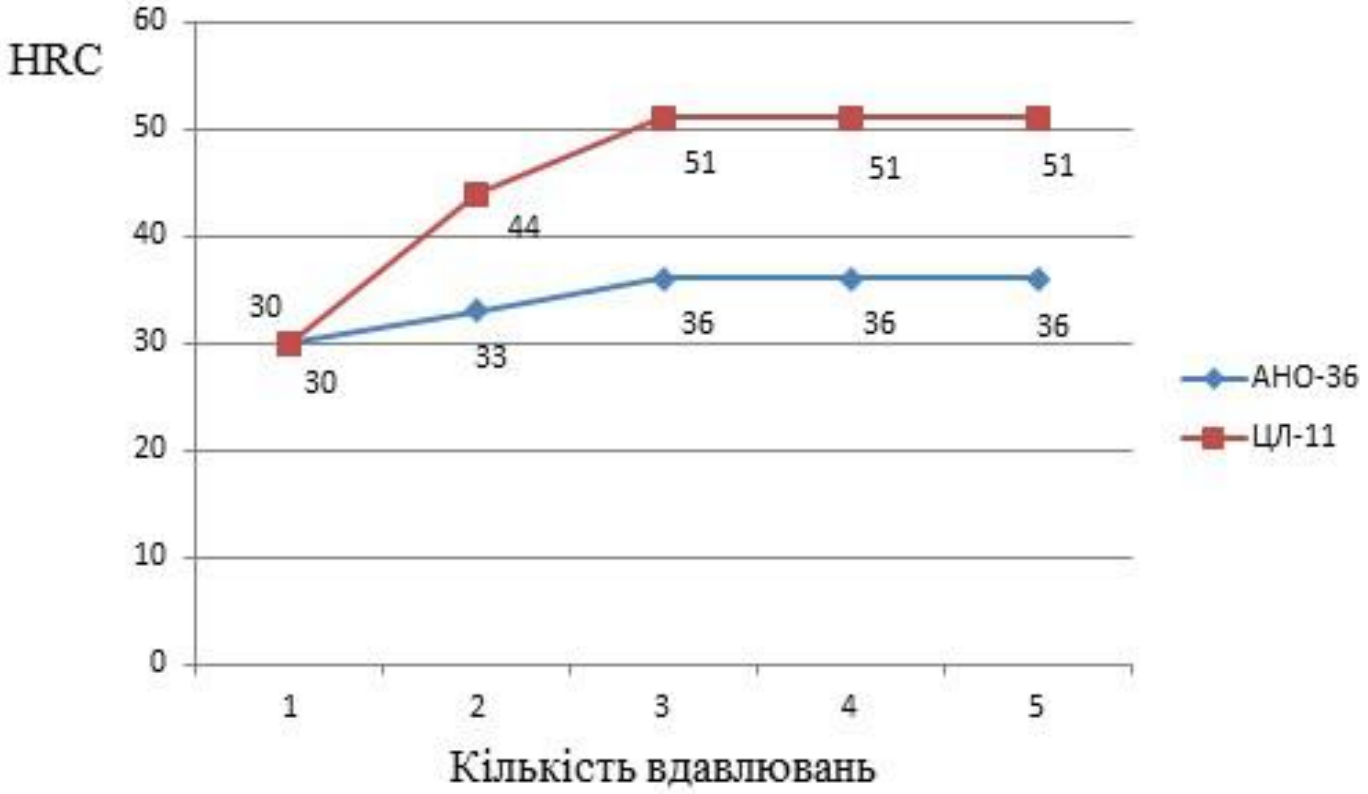
Дослідження впливу термічної обробки на показники твердості та зміни мікроструктури

Після деформаційного зміцнення наплавленої поверхні проведено гартування з наступним відпуском зразків. По закінчені термічної обробки провели дюраметрічні виміри твердості поверхневого шару.

Термічна обробка проведена за наступними режимами:

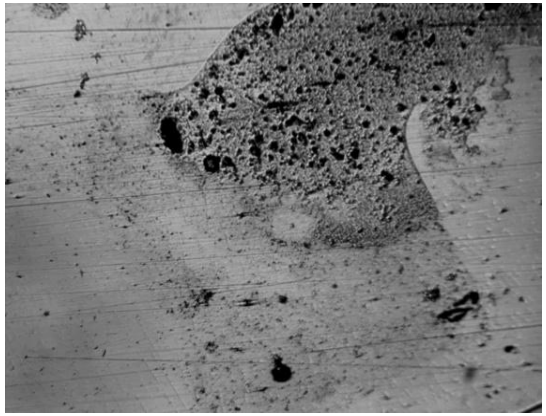
- гартування: тепературa нагрівання 800℃;
- відпуск: тепературa нагрівання 500℃, час витримки 30 хвилин.

Результати досліджень наведені на рисунку



Залежність твердості наплавленного шару від кількості вдавлювань індентора після термічної обробки

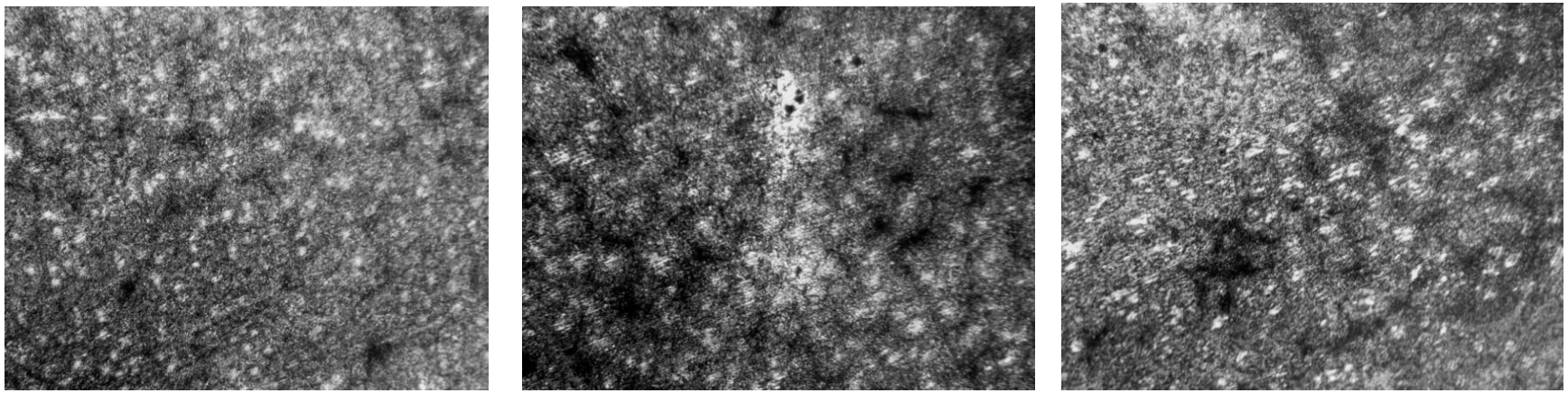
а



б

в

Мікроструктура наплавленого шару електродом АНО-36 після контактного навантаження та термічної обробки (х500)
а – одне вдавлювання; б – два вдавлювання; в – три вдавлювання



а б в

Мікроструктура наплавленого шару електродом ЦЛ-11 після контактного навантаження та термічної обробки (х500)
а – одне вдавлювання; б – два вдавлювання; в – три вдавлювання

Деформаційно зміцнені та загартовані зразки нагрівали до температури 500…550˚С (високий відпуск), чим забезпечили отримання структури перліту відпуску. Мікроструктурні перетворення в процесі термічної обробки призвели до появи сферичної форми легованого перліту у феритній матриці. Відбулася зміна форми структурних складових під дією термічної обробки з пластинчастої форми перліту на зернистий перліт, і майже повністю зняті залишкові напруження, що виникли при гартуванні та наплавленні з деформаційним зміцненням.

Наукова новизна одержаних досліджень

- Встановлено, що в результаті фазових змін під впливом контактних навантажень у наплавленному металі, з утворенням мартенситу деформації, відбувається ефективне зміцнення його основи.
- Показано, що при контактному зміцненні висока твердість поверхні може бути досягнута не тільки за рахунок легуваня наплавленного металлу карбідоутворюючими елементами, але і за рахунок розвитку деформаційного перетворення.
- Показано позитивний вплив термічної обробки на структурні перетворення в поверхневих шарах, що призвело до появи сферичної форми легованого перліту у феритній матриці.
- Запропоновано діагностичний математичний апарат планування багатофакторного експерименту та отримано адекватну регресійну модель в якій обрані фактори, зі збільшенням в інтервалі досліджень, впливають на зносостійкість покриттів

Практичне значення одержаних результатів

- Автором при наплавленні шару металу з визначеним вмістом легуючих елементів показана наявність фазових змін під впливом контактних навантажень з утворенням мартенситу деформації, а поєднання наклепу з деформаційним перетворенням ефективно зміцнює його основу.
- Автором показано позитивний вплив термічної обробки на структурні перетворення в поверхневих шарах, що призвело до появи сферичної форми легованого перліту у феритній матриці, який позитивно впливає на зностійкість та експлуатаційні властивості деталей
- Проведено аналіз міцності установки для автоматизації процесу нанесення покриття з використанням програми міцьносного аналізу АРМ FEM для КОМПАС-3D, згідно якому результати показали її надійність.

РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ВАЛ-ШЕСТЕРЕНІ

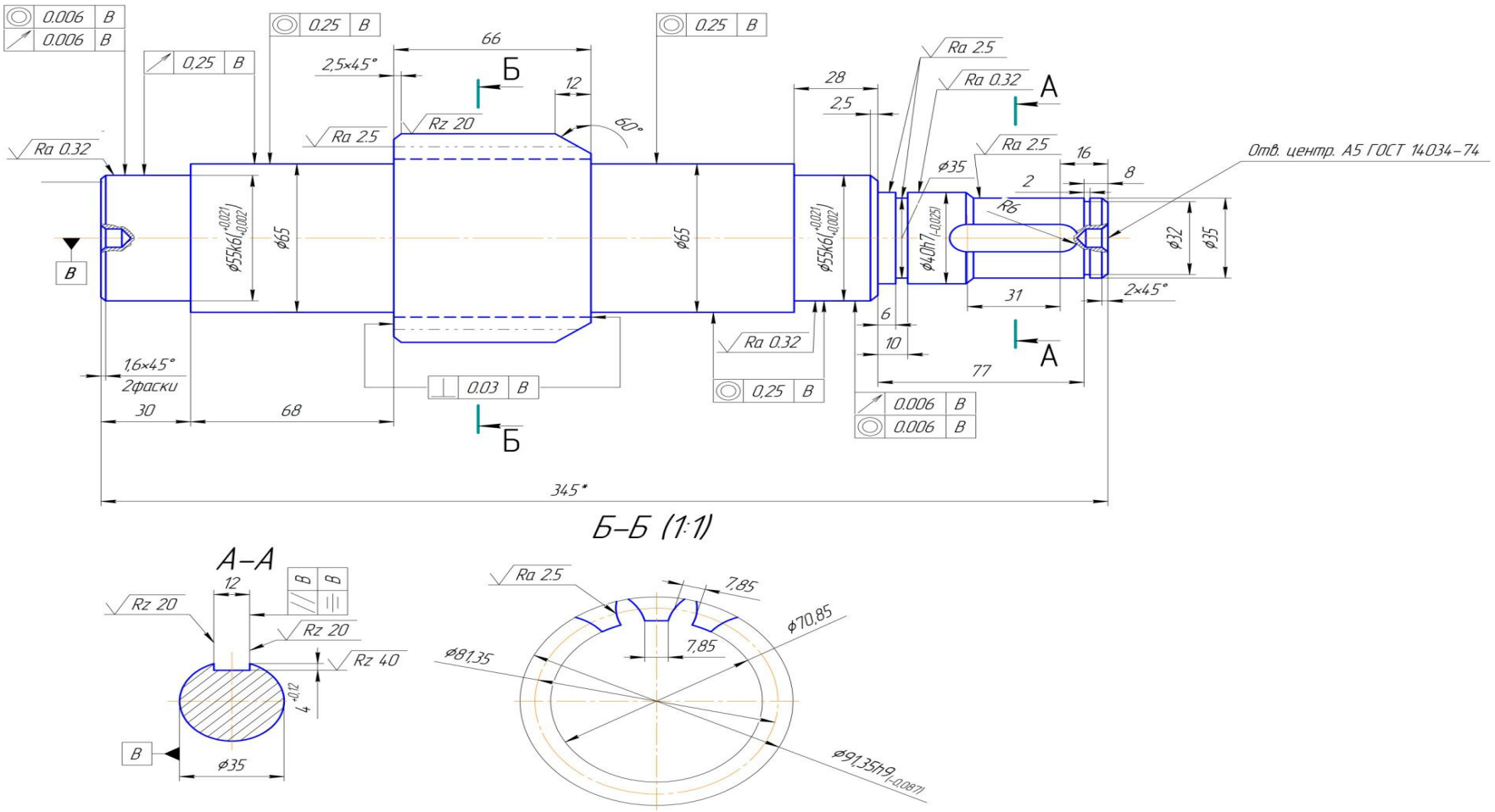


Рисунок 2 – Робоче креслення вал-шестерні

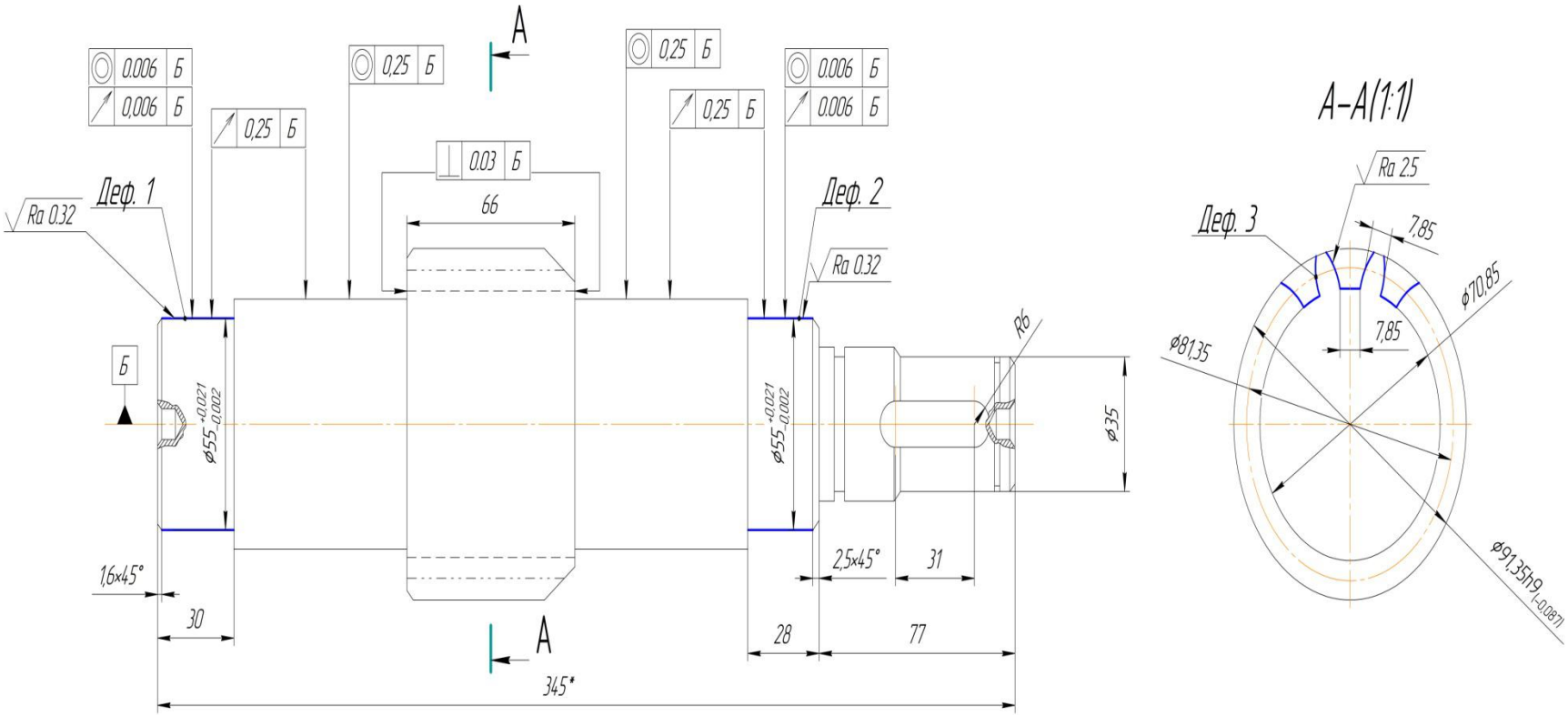
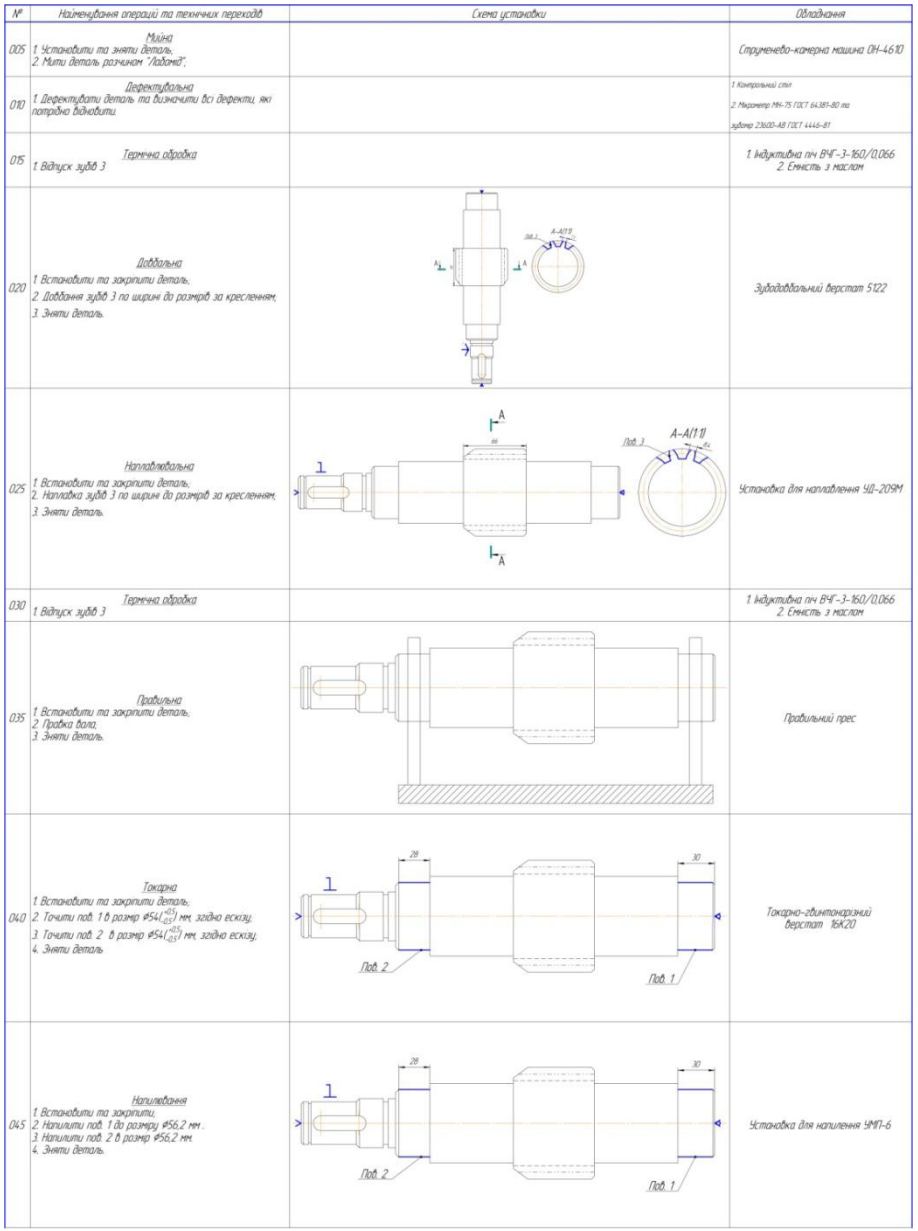


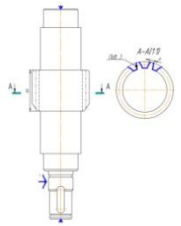
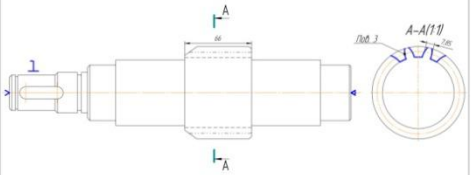
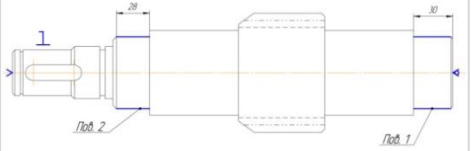
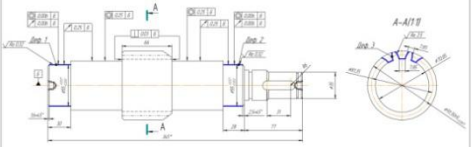
Рисунок 3 – Ремонтне креслення вал-шестерні

Рисунок 4 – Технологічний процес відновлення вал-шестерні

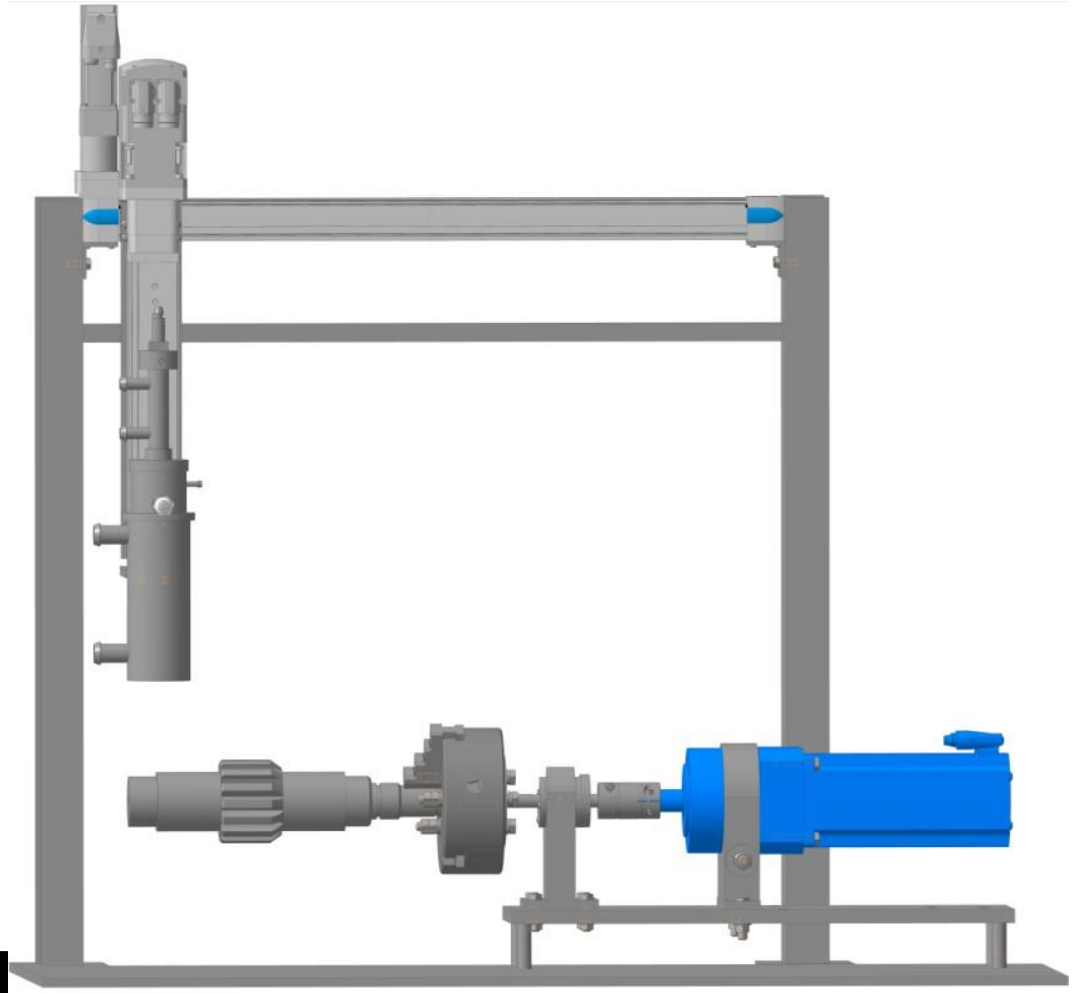


№	Найменування операції та технічних переходів	Схема установки	Обладнання
005	Миїна 1. Установити та зняти деталь. 2. Мити деталь розчином "Лабомід".		Струменево-камерна машина ОН-4610
010	Дефектувальна 1. Дефектувати деталь та визначити всі дефекти, які потрібно відновити.		1. Контрольний стіл 2. Мікрометр МК-75 ГОСТ 6438-80 та зубомір 23600-АВ ГОСТ 4446-81
015	Термічна обробка 1. Відпуск зубів 3		1. Індуктивна піч ВЧГ-3-160/0,066 2. Ємність з маслом
020	Довбальна 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Довбання зубів 3 по ширині до розмірів за кресленням. 3. Зняти деталь.		Зубодовбальний верстат 5122
025	Наплавлювальна 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Наплавка зубів 3 по ширині до розмірів за кресленням. 3. Зняти деталь.		Установка для наплавлення УД-209М
030	Термічна обробка 1. Відпуск зубів 3		1. Індуктивна піч ВЧГ-3-160/0,066 2. Ємність з маслом
035	Правильна 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Правка вала. 3. Зняти деталь.		Правильний прес
040	Токарна 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Точити пов. 1 в розмір $\phi 54(^{+0,5}_{-0,5})$ мм, згідно ескізу. 3. Точити пов. 2 в розмір $\phi 54(^{+0,5}_{-0,5})$ мм, згідно ескізу. 4. Зняти деталь		Токарно-гвинторізний верстат 16К20
045	Напилювання 1. Встановити та закріпити. 2. Напилити пов. 1 до розміру ⌀56,2 мм. 3. Напилити пов. 2 в розмір ⌀56,2 мм. 4. Зняти деталь.		Установка для напилення УМП-6

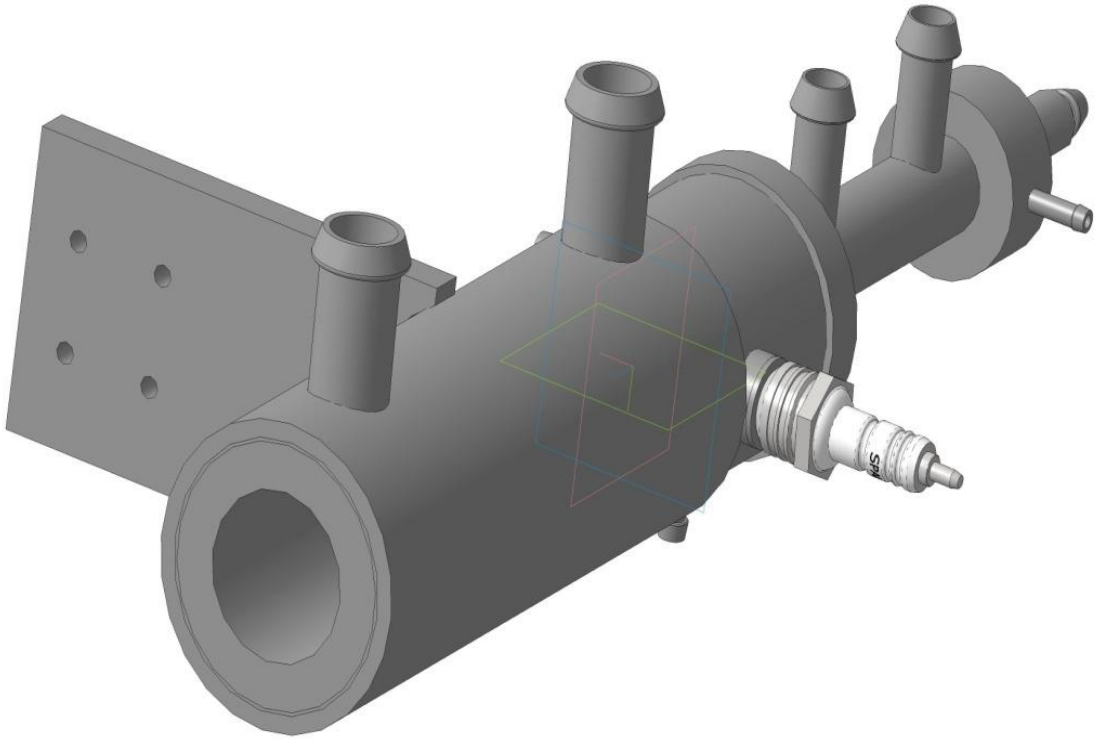
Технологічний процес відновлення вал-шестерні (продовження)

№	Найменування операції та технічних переходів	Схема установки	Обладнання
050	Довбальна 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Довбання зубів 3 по ширині до розмірів за кресленням. 3. Зняти деталь.		Зубодовбальний верстат 5122
055	Термічна обробка 1. Гартування зубів 3		1. Індуктивна піч ВГЧ-3-160/0,066 2. Ємність з водою
060	Мийна 1. Установити та зняти деталь. 2. Мити деталь розчином "Лабомід".		Струменево-камерна машина ОН-4610
065	Шліфувальна 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати зуби 3 по ширині до розмірів за кресленням. 3. Зняти деталь.		Шліфувальний верстат 5А814
070	Шліфувальна (чорнова) 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати поверхню 1 до розміру ⌀55,17 мм. 3. Шліфувати поверхню 2 до розміру ⌀55,17 мм. Шліфувальна (чистова) 4. Шліфувати поверхню 1 до розміру ⌀55k6(⁺⁰·⁰¹⁹₊⁰·⁰⁰²) мм. 5. Шліфувати поверхню 2 до розміру ⌀55k6(⁺⁰·⁰¹⁹₊⁰·⁰⁰²) мм. 6. Зняти деталь.		Круглошліфувальний верстат 3М151
075	Контрольна 1. Установити деталь. 2. Контролювати розмір пов. 1 до розміру ⌀55k6 мм. 3. Контролювати розм пов. 2 до розміру ⌀55k6 мм. 4. Контролювати розм пов. 3 до розміру ⌀70,85h9 мм. 5. Зняти деталь.		Контрольний стіл, інструмент для вимірювання (мікрометр, штангенциркуль, зубомір)

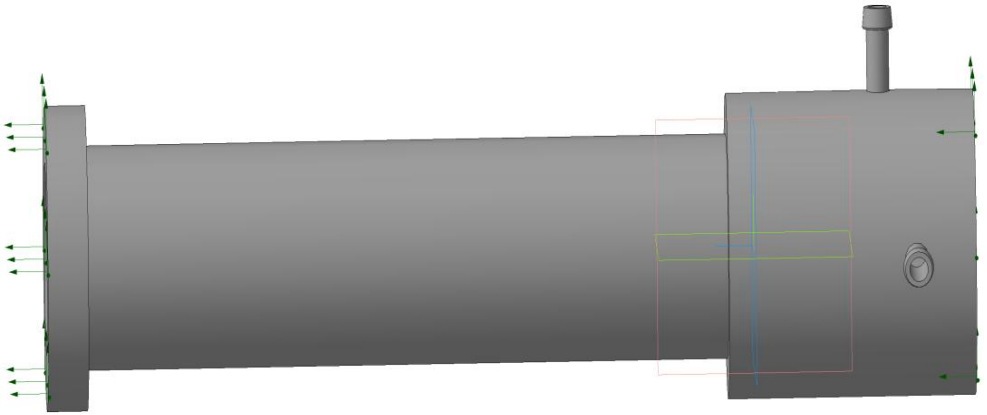
Розробка установки з числовим програмним керуванням



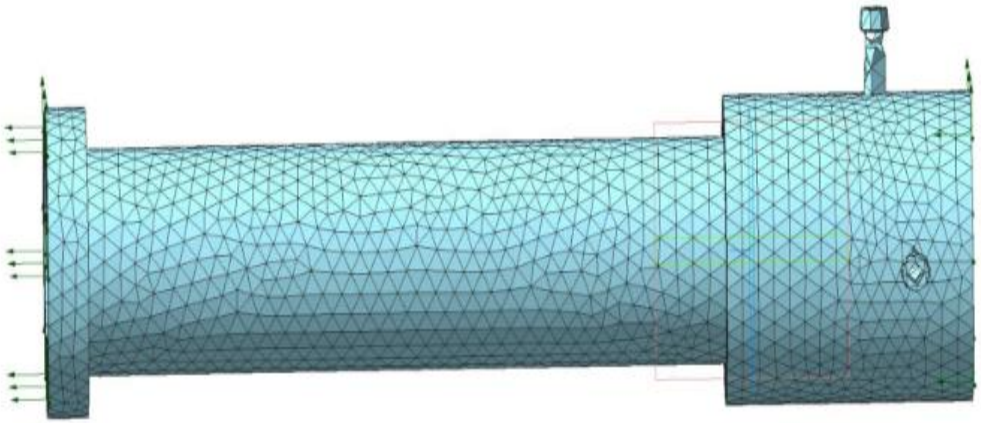
Розробка газополуменевого напилювального пристрою



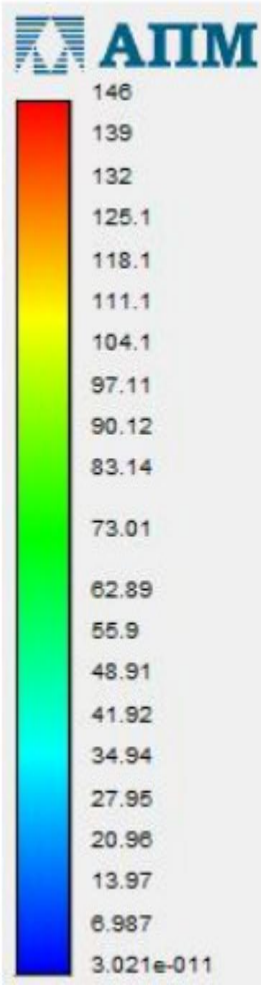
Комп’ютерний аналіз міцності напилювального пристрою

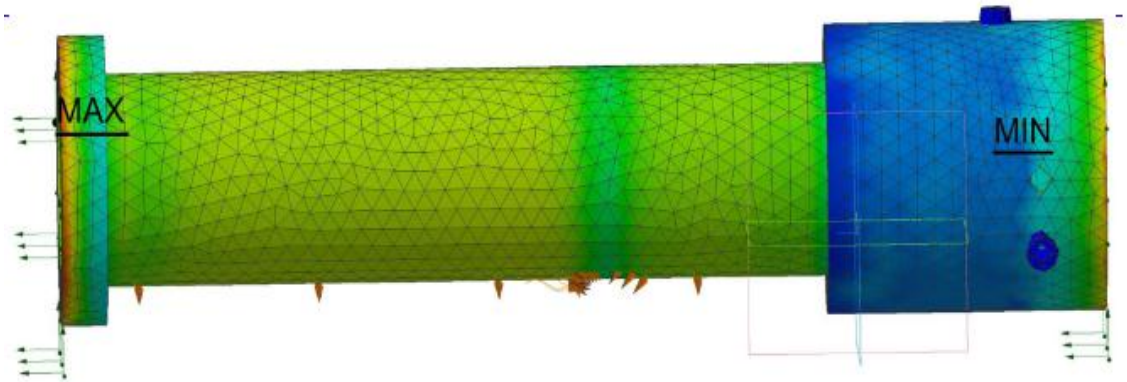


Основна камера згоряння

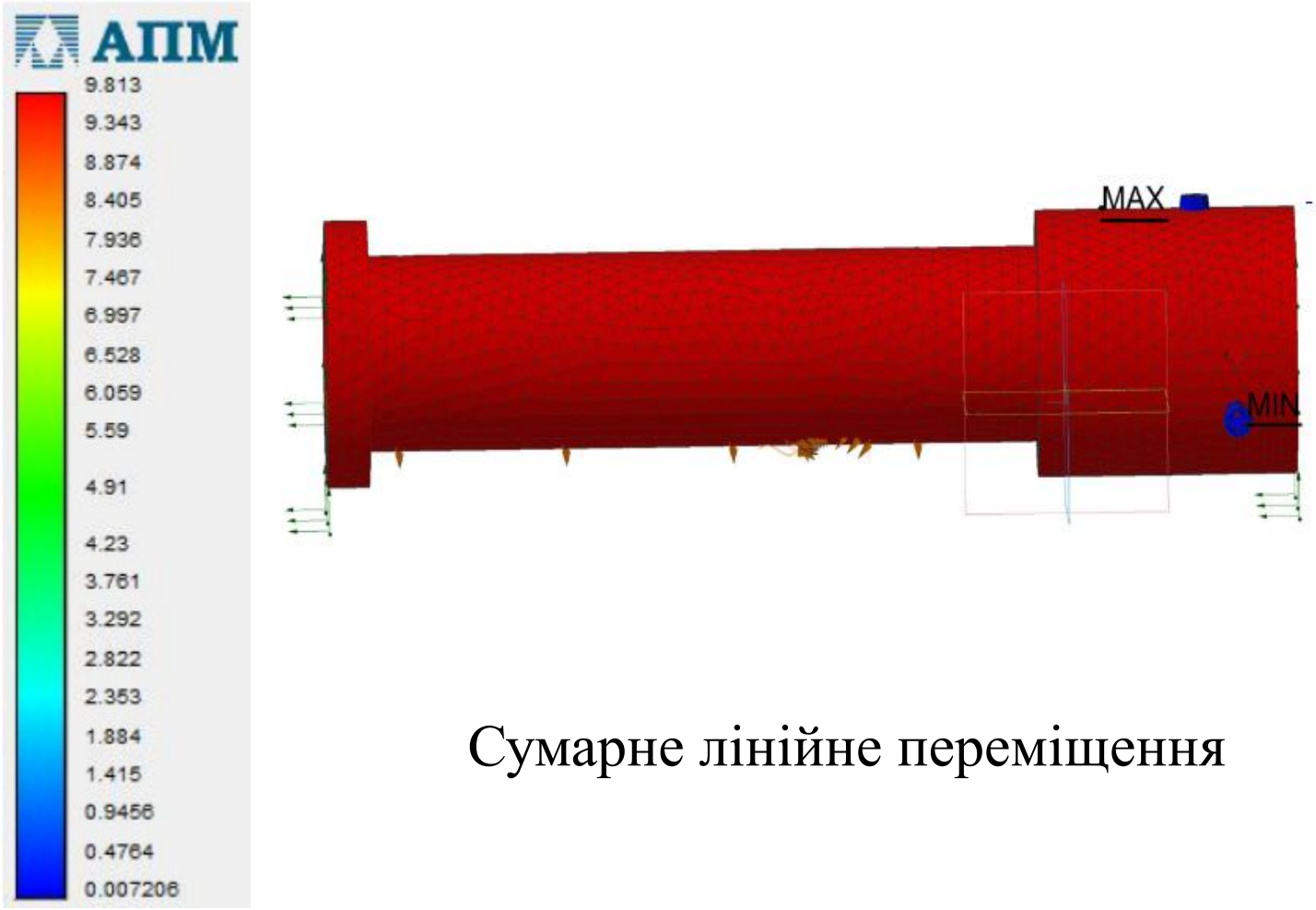


Сітка кінцевих елементів

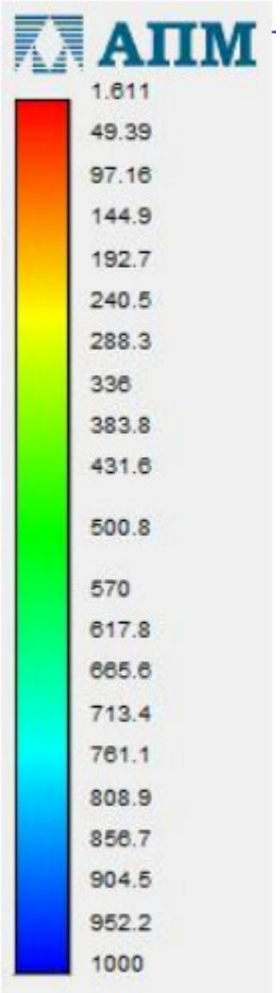


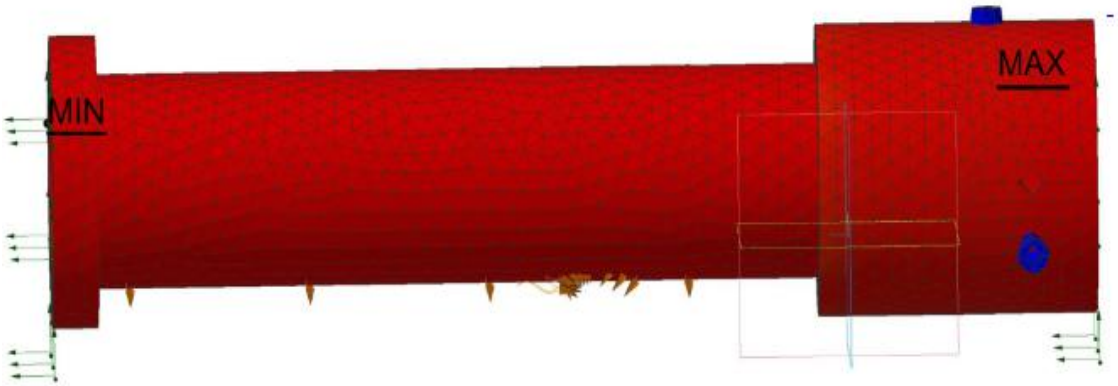


Напруга по Мізесу

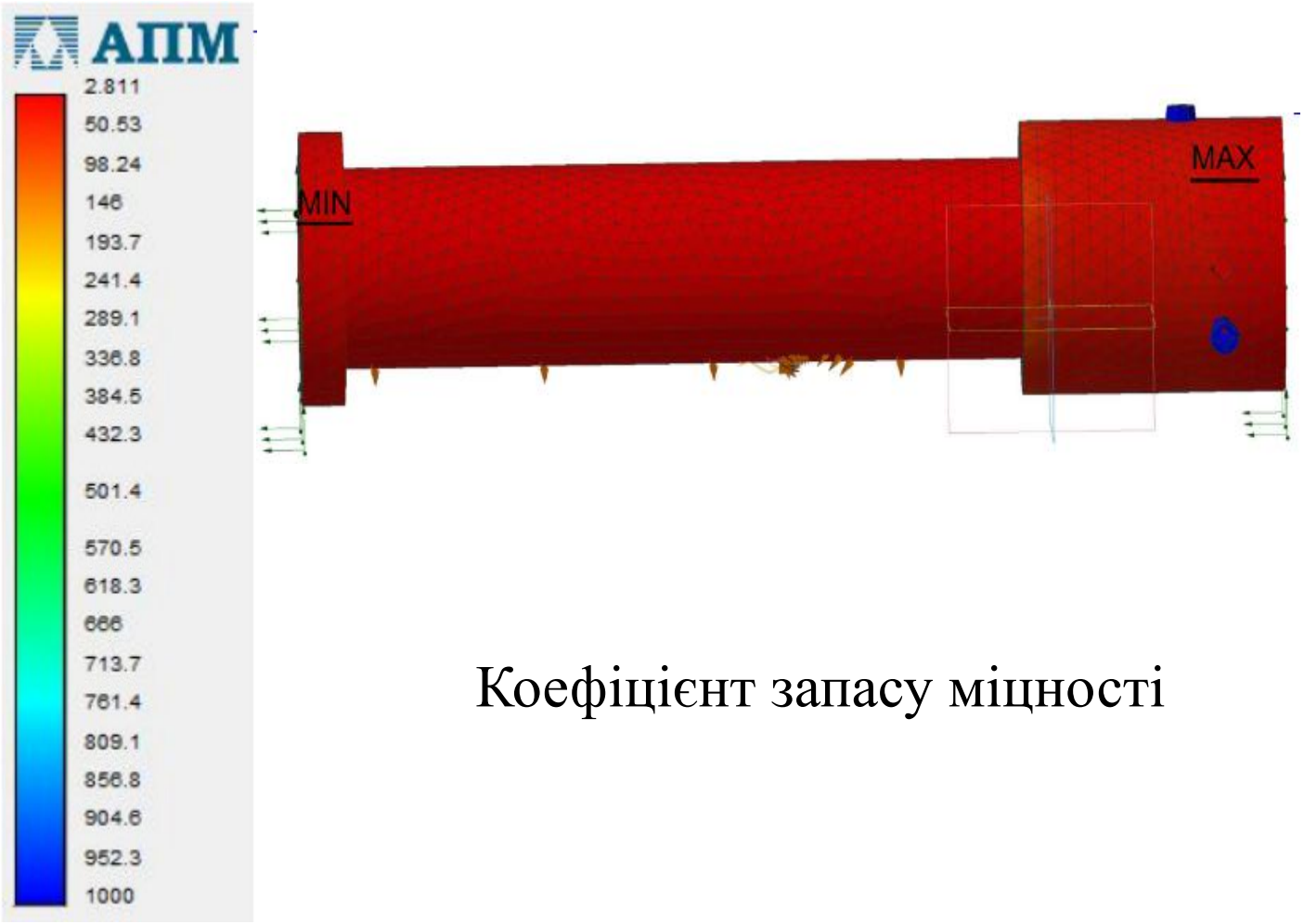


Сумарне лінійне переміщення





Коефіцієнт запасу текучості



Коефіцієнт запасу міцності

ВИСНОВКИ

1. Проведення повного багатофакторного експерименту спланованe в інтервалі допустимих значень трьох факторів: матеріал вал-шестерні; швидкість обертання вал-шестерні і стан поверхонь. Аналіз отриманої моделі показав, що всі обрані фактори, зі збільшенням в інтервалі досліджень, впливають на зносостійкість покриттів в сторону її підвищення, оскільки коефіцієнти в рівнянні регресії, яке моделює процес зношування, від'ємні.
2. Експериментально показана наявність фазових змін під впливом контактних навантажень у наплавленному металі, з утворенням мартенситу деформації. Поєднання наклепу з деформаційним перетворенням ефективно зміцнює його основу. При цьому твердість наплавленного металу електородом АНО-36 після 25 % деформації складає 33 -35 $HRC_э$, у той час як для наплавленної поверхні електродом ЦЛ-11 тільки 22 – 24 $HRC_э$.
3. При дослідженні деформаційного зміцнення висока твердість поверхні може бути досягнута не тільки за рахунок легуваня наплавленного металлу карбідоутворюючими елементами, але і за рахунок розвитку пластичного деформування.

4. Показано позитивний вплив термічної обробки на структурні перетворення в поверхневих шарах, що призвело до появи сферичної форми легованого перліту у феритній матриці та підвищення твердості, що позитивно впливає на зностійкість та експлуатаційні властивості деталей.

5. Результати комп'ютерного моделювання конструкції установки, створеної на основі вузлів фірми FESTO, показали що коефіцієнт запасу міцності за текучістю становить 183, що свідчить про надійну будову конструкції.

6. Технологічний процес відповідає умовам охорони праці. Для забезпечення чистоти повітря і нормалізації параметрів мікроклімату повинна бути передбачено місцевий щілинний газовловлювач «ВЦНИИОТ».

7. Впровадження модернізованого технологічного процесу потребує від інвестора 214568,58 грн. капітальних вкладень. Прибуток за рік виробника складе 2786729,29 грн.

8. При оцінці ефективності інноваційного проекту отримані такі важливих показників, як:

- чистий дисконтований дохід (інтегральний ефект) 5655625,05 грн.;
- внутрішня норма дохідності (прибутковості) 30%;
- термін окупності 0,173 року.

[redacted] ть про високий рівень дохідності для інвестора і підтверд[redacted]сть впровадження технологічного пронесу відновлення дета[redacted]естерні».

Дякую за увагу!!!