



Системи автоматизованого проєктування технологічних процесів зміцнення та відновлення

Методичні вказівки до самостійної роботи

САПР ТП зміцнення та відновлення

*Методичні вказівки до самостійної роботи
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності G8 «Матеріалознавство»*

*Затверджено на засіданні
кафедри трибології, автомобілів
та матеріалознавства.
Протокол від 19.03.2026 № 7*

САПР ТП зміцнення та відновлення: методичні вказівки до самостійної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G8 «Матеріалознавство» / О.Ю.Рудик. - Хмельницький: ХНУ, 2026.– 45 с.

Укладачі: О.Ю.Рудик, к.т.н., доц.

Відповідальний за випуск: Диха О. В., д-р техн. наук, проф.

Редактор-коректор: Яремчук В. С.

Технічне редагування і верстка: Карпанасюк В. П.

Макетування здійснено редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету (м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1). Підписано до друку __. __.2026. Зам. № __, електронне видання, 2026.

© ХНУ, 2026

Зміст

Завдання на самостійну роботу	6
Вступ	6
1 Постановка задачі для створення САПР ТП зміцнення та відновлення, визначення складу вхідних та вихідних даних	7
2 Інфологічна схема бази даних	9
3 Даталогічна схема бази даних	10
4 Опис призначення вузла й умов роботи деталі	10
5 Технічні умови на дефектацію і ремонт деталей	11
6 Критерії вибору способів усунення дефектів валу водяного насоса	12
6.1 Дефект №1	13
6.2 Дефект №2	13
6.3 Дефект №3	14
7 Вибір способів усунення дефекту №1 (ділянка валу під ущільнювальною шайбою)	14
7.1 Вибір способу усунення дефекту за конструкторсько-технологічними характеристиками	14
7.2 Вибір способу усунення дефекту за показниками фізико-механічних властивостей	15
7.3 Вибір способу усунення дефекту за іншими характеристиками	16
8 Вибір способу усунення дефекту №2 (зношування шпонкової канавки)	17
9 Вибір способу усунення дефекту №3 (зношення різьби М14х1,5-6g)	17
10 Визначення оптимальних способів усунення дефектів валу водяного насоса	18
11 Визначення оптимального режиму хромування в саморегулюючому електроліті ділянки валу під ущільнювальною шайбою	19
11.1 Доробка інфологічної схеми бази даних	19
11.2 Доробка даталогічної схеми бази даних	20
11.3 Використання мови SQL для створення таблиць	20
11.4 Використання Visual Basic for Application для створення таблиць	22
11.5 Математичне моделювання ТП у середовищі Mathcad (лінійна та поліноміальна апроксимація за методом найменших квадратів)	23
11.5.1 Визначення параметрів лінійного рівняння а і b для набору вихідних даних x_i, y_i, розміщених у масиві DATA	23

11.5.2 Апроксимація степенними поліномами	26
11.5.3 Функція лінійного згладжування linfit	29
11.5.4 Застосування лінійної інтерполяції даних зносостійкості	30
11.6 Використання мови структурованих запитів SQL для роботи з таблицями	32
12 Опис способів відновлення валу водяного насоса	34
12.1 Опис способу відновлення ділянки валу водяного насоса під ущільнювальною шайбою хромуванням у саморегулюючому електроліті	34
12.2 Опис способу відновлення шпонкової канавки валу водяного насоса вібродуговим наплавленням	37
12.3 Опис способу відновлення різьби M14x1,5-6g валу водяного насоса насталуванням	40
13 Розробка технологічного процесу	42
Література	43
Додатки	44

Завдання на самостійну роботу

Визначити оптимальні способи і режими та розробити технологічний процес відновлення валу водяного насоса автомобіля Урал-375Д.

Вступ

Планування виробничих процесів зв'язано з визначенням послідовності виконання окремих технологічних операцій, необхідних для виготовлення, зміцнення чи відновлення даної деталі і вибором відповідного інструментального оснащення. Отримана послідовність операцій фіксується у вихідному документі - маршрутно-технологічній карті. Реалізація цих функцій - типова рутинна робота, що включає все нове і нове повторення схожих чи навіть просто співпадаючих дій. Системи автоматизованого планування технологічних процесів (САПР ТП):

- зменшують обсяг канцелярської роботи інженерів-технологів;
- забезпечують можливість розробки раціональних і оптимальних ТП.

На даний час всі технологічні САПР, якщо не вважати програмування для верстатів із ЧПК, зводяться до автоматизації оформлення технологічної документації - для прискорення вибору використовуються бази даних (БД) з устаткування, оснащення тощо, застосовуються типові ТП. Програмний комплекс для рішення задачі зміцнення та відновлення деталей автомобільного транспорту повинен містити наступні основні функціональні режими:

- можливість вибору оптимального методу зміцнення чи відновлення деталі з наступним вибором оптимального режиму;
- проектування на основі техпроцесу-аналогу (автоматичний вибір відповідної технології з архіву з наступною доробкою в діалозі);
- формування ТП з окремих блоків, які зберігаються в бібліотеці типових технологічних операцій і переходів;
- об'єднання окремих операцій архівних технологій;
- автоматична доробка типової технології на основі даних, переданих з параметризованого креслення "Компас-Графік", AutoCAD чи іншої САПР;
- введення інформації про ТП у діалоговому режимі за допомогою спеціальних процедур доступу до довідкових БД тощо.

У кожному конкретному випадку технологу повинна бути надана можливість вибору оптимального сполучення режимів проектування, взаємодоповнюючих один одного. З цього погляду САПР ТП – це, насамперед, система управління базами даних (СУБД). Від того, як реалізовані функції обробки даних, від їхніх логічних взаємозв'язків залежать інші показники системи.

1 Постановка задачі для створення САПР ТП зміцнення та відновлення, визначення складу вхідних та вихідних даних

Суть процесу створення САПР ТП зміцнення і відновлення полягає в тому, щоб спроектувати відповідну базу даних (БД). Для цього необхідно:

- зібрати необхідні відомості з предметної області (основні деталі водяного насоса; дефекти валу водяного насоса, вимоги до відремонтованої деталі; способи усунення дефектів);
- зібрати вимоги користувачів до результатів (згідно кінцевої мети проектування – вибір оптимального способу зміцнення-відновлення);
- відобразити ці знання про предметну область у підходящій системі управління базами даних у виді системи баз даних.

Microsoft Access - найпопулярніша сьогодні настільна СУБД. Успіх Microsoft Access полягає в прекрасній реалізації продукту, розрахованого як на починаючого, так і кваліфікованого користувача.

СУБД Microsoft Access для роботи з даними використовує процесор баз даних Microsoft Jet, об'єкти доступу до даних і засіб швидкої побудови інтерфейсу – Конструктор форм. Для одержання роздруківок використовуються конструктори звітів. Автоматизація рутинних операцій може бути виконана за допомогою макрокоманд. У випадку недоліку візуальних засобів, можна звернутися до створення процедур і функцій. При цьому як у макрокомандах можна використовувати виклики функцій, так і з коду процедур і функцій можна виконувати макрокоманди.

В Microsoft Access вбудована мова програмування Visual Basic for Application, яка дозволяє створювати масиви, свої типи даних, викликати DLL-функції, контролювати роботу додатків за допомогою OLE Automation. Можна навіть цілком створювати БД за допомогою кодування, якщо в цьому з'являється необхідність.

MS Access має один з найкращих наборів візуальних засобів серед аналогічних програмних продуктів. Одна з основних переваг MS Access – тісна інтеграції з популярним офісним пакетом Microsoft Office.

Уся робота з БД здійснюється через вікно контейнера бази даних. Звідси здійснюється доступ до всіх об'єктів: таблицям, запитам, формам, звітам, макросам, модулям.

Убудована мова запитів SQL дозволяє максимально гнучко працювати з даними і значно прискорює доступ до зовнішніх даних.

Для введення, перегляду і роздруківки звітів з інформацією БД застосовуються форми, до переваг використання яких відносяться:

- при введенні даних у поля форми додаток може зчитувати словник даних сервера й автоматично перевірити допустимість даних відповідно до правил цілісності;
- поле введення у формі може представляти список припустимих значень, з яких вибирається потрібне;

- командні кнопки у формі можуть виконувати дії, зв'язані з виведенням у формі поточним записом.

Створення форм у клієнтському додатку віднімає більше половини часу. Однак при використанні форм у MS Access надається велике число засобів автоматизації. Форми й елементи керування можна модифікувати програмно.

Поряд із введенням і збереженням даних важливою задачею є їхній аналіз і представлення. Комп'ютерні системи використовують звіти і запити для зчитування і представлення даних таким чином, щоб забезпечити корисність інформації, сприяти прийняттю рішень або підтримувати комерційні додатки.

Часто звіти не показують точно ту інформацію, яка комусь необхідна для ухвалення важливого рішення, адже передбачати всі можливі варіанти звітів при розробці БД досить складно. Для рішення задач оперативного створення тимчасових звітів служать засоби генерації запитів.

Система побудови запитів у Access не має собі рівних серед СУБД масового використання. Практично усі види запитів, які можна побудувати програмно, у Access можна побудувати візуально. Виключення складають наскрізні запити (SQL pass-through), запити на зміну структури даних (DDL) і запити об'єднання.

У Access надається можливість створювати найрізноманітніші запити вибірки, причому вони можуть модифікувати вихідні дані. Також представлена розвита система фільтрів. Фільтри – одна з найсильніших сторін Access. Фільтри будуються за допомогою запитів або установкою критеріїв.

Візуально можна побудувати запити додавання, вилучення, відновлення, створення таблиць. Таблицю можна створити в іншій БД. Перехресні запити, які можна створити за 10 хв., дозволять зекономити тижні роботи.

Використання наскрізних запитів дозволяє контролювати роботу будь-якого сервера БД, знаходячись у середовищі розробки MS Access.

Запити можна складати програмним шляхом. При цьому можливі два варіанти:

- запуск безпосередньо команд SQL; для цього необхідно створити змінну рядкового типу і запустити її за допомогою макрокоманди RunSQL;
- використання об'єктів доступу до даних.

Інструментальні засоби розробки дозволяють розширити можливості клієнтського додатка, зробити його гнучким і зручним для роботи. Як інструментальні засоби розробки MS Access пропонує:

- макроси;
- убудовану мову програмування Visual Basic;
- убудовані утиліти системи захисту.

Макрокоманди, які можна поєднувати в макроси, роблять різноманітні дії, а за допомогою параметрів цим діям можна додати гнучкість, яку можна домогтися тільки за допомогою кропіткого програмування. У Access є

більше 50 макрокоманд. Для створення макросу використовують Конструктор макросів. Макрокоманди можуть містити в собі умови. За допомогою Конструктора макросів створюють меню.

Access володіє кращим убудованим захистом серед усіх настільних додатків СУБД. Можна створювати групи користувачів, привласнювати права доступу до всіх об'єктів, у тому числі і модулів. Система захисту доступна тільки при відкритій БД. Кожному користувачеві можна надати індивідуальний пароль. Система захисту доступна як за допомогою візуальних засобів, так і програмним шляхом. Можна закрити БД від перегляду зовнішніми програмами.

Visual Basic є універсальною мовою програмування, однак у СУБД MS Access вона використовується як мова програмування для обробки БД. Основні можливості Visual Basic можуть бути реалізовані завдяки наявності в ньому об'єктів для доступу до даних – Data Access Object (DAO), 32-розрядного процесора даних – JET і призначених спеціально для роботи з даними елементів керування. Процесор даних у Visual Basic підтримує всі стандартні операції зі створення, зміни і вилучення таблиць, індексів і запитів. Формат БД процесора даних Visual Basic відповідає форматові Access. JET також забезпечує підтримку цілісності і перевірку даних на рівні полів і записів. Для зміни даних JET дозволяє використовувати мову SQL.

2 Інфологічна схема бази даних

Процес проектування інформаційних систем починається з побудови інфологічної моделі даних, тобто ідентифікації сутностей.

Основна мета проектування БД – це скорочення надмірності збережених даних, а отже, економія обсягу використовуваної пам'яті, зменшення витрат на багаторазові операції відновлення надлишкових копій і усунення можливості виникнення протиріч через збереження в різних місцях відомостей про один й той самий об'єкт. Так званий "чистий" проект БД ("Кожний факт в одному місці") створюють, використовуючи методологію нормалізації відносин.

Нормалізація – це розбивка однієї таблиці на дві (або більше), які володіють кращими властивостями при включенні, зміні і вилученні даних. Остаточна мета нормалізації зводиться до одержання такого проекту БД, у якому кожен факт з'являється лише в одному місці, тобто виключена надмірність інформації. Це робиться не стільки з метою економії пам'яті, скільки для виключення можливої суперечливості збережених даних.

Кожна таблиця в реляційній БД задовольняє умові, відповідно до якої в позиції на перетині кожного рядка і стовпця таблиці завжди знаходиться єдине атомарне значення, і ніколи не може бути безлічі таких значень. Будь-яка таблиця, що задовольняє цій умові, називається нормалізованою. Фактично, ненормалізовані таблиці, тобто таблиці, які містять повторювані

групи, навіть не допускаються в реляційній БД. Усяка нормалізована таблиця автоматично вважається таблицею в першій нормальній формі (скорочено 1НФ).

Таблиця знаходиться в першій нормальній формі (1НФ) тоді і тільки тоді, коли кожний з її рядків не містить у будь-якому своєму полі більше одного значення і кожне з її ключових полів не порожнє.

3 Даталогічна схема бази даних

Виконується відображення інфологічної схеми в логічну схему з використанням конкретної СУБД. При відображенні в реляційну СУБД інфологічна схема перетворюється в набір зв'язаних двовимірних таблиць.

4 Опис призначення вузла й умов роботи деталі

Водяний насос (рис. 4.1) служить для створення примусової циркуляції охолоджуючої рідини в системі охолодження.

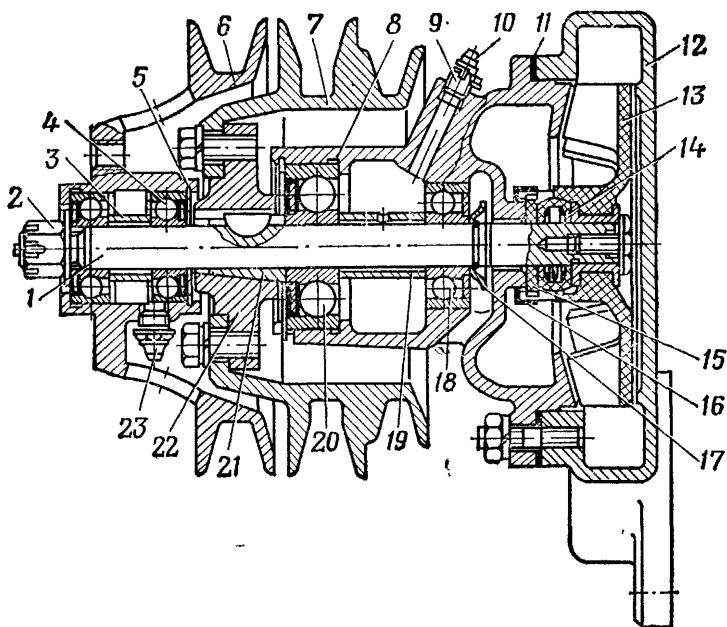


Рисунок 4.1 - Водяний насос

У литому чавунному корпусі 12 на двох шарикопідшипниках 18 і 20 установлений вал 1. Від осевих переміщень шарикопідшипники

утримуються конусною втулкою 21, розпірною втулкою 19 і відбивачем 17 зі стопорним кільцем. На задній кінець валу 1 щільно насаджена крильчатка 13, яка стопориться болтом. Для запобігання витоку рідини з насоса в маточині крильчатки змонтований сальник, який складається з текстолітової шайби 15 і гумової манжети, що притискаються до корпусу насоса пружиною 14. Сальник саморегулюючий і не вимагає підтяжки.

На передній кінець валу 1 насоса насаджується конусна втулка 21 і маточина 22 шків 7 водяного насоса (крутний момент передається сегментною шпонкою). Шків привода вентилятора 6 обертається на шарикопідшипниках 4 і утримується від осових переміщень упорною шайбою 5, розпірною втулкою 3, гайкою 2.

Перелік основних деталей водяного насоса наведений у табл. 4.1

Таблиця 4.1. Основні деталі водяного насоса

Назва деталі	Кількість деталей у вузлі	Матеріал деталі	Твердість заготовки, HB	Термообробка	Твердість після термообробки, HRC
Вал	1	Сталь 45	241...285	СВЧ	52...62
Корпус підшипників	1	СЧ18	170...229		
Корпус насоса	1	СЧ18	143...179		
Крильчатка	1	АЛ1	95		
Шків вентилятора	1	Сталь 45	241...285		

5 Технічні умови на дефектацію і ремонт деталей

5.1 Корпус водяного насоса.

Не допускаються [6, с. 20]:

- діаметр отвору під передній підшипник більший 62,04 мм;
- діаметр отвору під задній підшипник більший 47,04 мм.

5.2 Шків вентилятора.

Не допускається діаметр отвору під підшипник вентилятора більший 40,03 мм.

5.3 Вал водяного насоса.

Не допускаються (рис. 5.1):

- діаметр шийки валу під текстолітову шайбу сальника менший 16,98 мм;
- непрямолінійність валу більша 0,05 мм;
- зрив чи зминання різби більше трьох ниток;
- товщина ущільнювальної текстолітової шайби сальника менша 3 мм.

Вал водяного насоса є його основною деталлю (передає обертання від вентилятора до крильчатки, яка переганяє воду в системі охолодження). Підвищені вимоги при його експлуатації та ремонті повинні пред'являтися до

$\varnothing 17^{+0,012}_{+0,001}$

під ущільнювальною шайбою, так як незадовільний (зношений) стан даної циліндричної поверхні може викликати протікання охолоджуючої рідини і попадання її в підшипники, що приведе вихід водяного насоса з ладу. Аналіз дефектів і вимог до відремонтованої деталі наведені у табл. 5.1

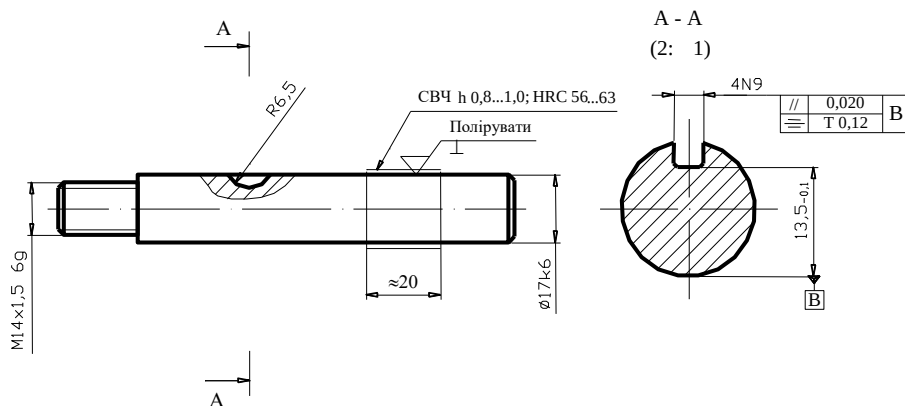


Рисунок 5.1 - Вал водяного насоса

Таблиця 5.1. Дефекти валу водяного насоса, вимоги до відремонтованої деталі

№ деф.	Назва дефекту	Метод чи прилад контролю	Номінальний розмір, мм	Гранич. допуст. розмір, мм
1	Знош. $\varnothing 17$	Скоба важіль.СР	$\varnothing 17(+0,012 +0,001)$	$\varnothing 16,98$
2	Знош. шпонкової канавки	Штангенцирк.ШЦ-П	$4(+0,045 -0,055)$	3,85
3	Знош. різьби M14x1,5-6g	Різьб. крокомір	M14x1,5-6g	$h = 1,02$

На вал діють напруження кручення.

Матеріал валу - сталь 45 із твердістю заготовки HB 241...285, частина даної деталі (під ущільнювальною шайбою) гартується (СВЧ) і при цьому загартований шар має твердість HRC 52...62.

6 Критерії вибору способів усунення дефектів валу водяного насоса

При виборі способу відновлення деталей необхідно враховувати [5, с. 278]:

- їх матеріал, хімічний склад і властивості;
- термообробку і поверхневу твердість, можливість відновлення;
- умови роботи (характер навантаження і посадки, геометричну форму);

- величину і характер зношення, товщину нанесеного відновлюючого шару;
- допустимі величини деформації, зниження поверхневої твердості та витривалості на втому;
- механічну обробку наплавленого металу і деформованої ділянки;
- продуктивність відновлення, працездатність та економічність відновлення (включаючи усі операції техпроцесу).

Основна вимога, яку необхідно виконати при відновленні валів, є забезпечення:

- розмірів і шорсткості відновлюваних поверхонь;
- твердості відновлюваних поверхонь; - суцільності покриття;
- міцності зчеплення нанесених шарів з основним металом;
- симетричності, співвісності, радіального і торцевого биттів оброблених поверхонь;
- паралельності бічних поверхонь зубів, шліцевих поверхонь і шпонкових пазів осі валу чи утворюючим базових поверхонь.

6.1 Дефект №1

Згідно креслення деталі (рис. 5.1) і технічних умов на її дефектацію і ремонт для відновлення ділянки валу водяного насоса під ущільнювальною шайбою служать наступні критерії:

- мінімальний діаметр відновлювальної поверхні – 17 мм;
- мінімальна товщина нарощеного шару, мм

$$h_{\min} = (\varnothing_{\text{номінальний}} - \varnothing_{\text{гранично допустимий}}) + \text{припуск на механічну обробку} = (17,012 - 16,98) + 0,25^* \cong 0,282;$$

(*Залежить від методу відновлення; після вибору методу може коректуватися);

- максимальна товщина нарощеного шару – 0,4* мм (*Залежить від методу відновлення; після вибору методу може коректуватися);
- мінімальна твердість HRC 52.

6.2 Дефект №2

Шпонкові пази відновлюють при зношуванні по ширині більше 0,065...0,095 мм. Для відновлення шпонкового паза валу водяного насоса служать наступні критерії:

- мінімальна товщина нарощеного шару, мм

$$h_{\min} = \text{макс. зношування по ширині} + \text{припуск на обробку} = 0,095 + 0,25^* \cong 0,345;$$

- максимальна товщина нарощеного шару – 0,5* мм;
- мінімальна твердість HB 241;
- відсутність пор, тріщин;

6.3 Дефект №3

Для відновлення різьби M14x1,5 6g валу водяного насоса (при зрізі робочої висоти профілю $h = 1,082$ мм) служать наступні критерії:

- мінімальна товщина нарощеного шару, мм
$$h_{\min} = h + \text{припуск на обробку} = 1,082 + 0,25^* \cong 1,33;$$
- максимальна товщина нарощеного шару – 1,5* мм;
- твердість HB 241...285;
- крихкість.

7 Вибір способів усунення дефекту №1 (ділянка валу під ущільнювальною шайбою)

7.1 Вибір способу усунення дефекту за конструкторсько-технологічними характеристиками

Газотермічне напilenня

Газополуменеве, електродугове, плазмове і детонаційне - не підходять через великий мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні (20...25 мм).

Вакуумні методи нанесення покриття

Термічне випарення, іонне розпилення, активоване реакційне розпилення, іонне осадженням, електронно-променеве плазмове напilenня, конденсація з іонним бомбардуванням (КІБ), іонно-променеве модифікування, осадження з газової фази - не підходять через малу товщину нарощуваного шару металу (максимальна товщина покриття -0,05 мм).

Наплавлення

Відкритою дугою, під флюсом - не підходять через великий мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні (50 мм).

Електродугове в CO_2 – не підходить (мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні 10 мм при товщині нарощуваного шару металу 0,8...1,2 мм.

Вібродугове - підходить (мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні 10 мм при товщині нарощуваного шару металу 0,3...2 мм.

Електрошлакове - не підходить через велику товщину нарощуваного шару металу (3...4 мм).

Автоматичним електрошлаковим наплавленням стрічки - не підходить через великий мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні (20...25 мм) при товщині нарощуваного шару металу 0,5...45 мм.

Електродугове стрічковим електродом, електродугове самозахисною порошковою проволокою - не підходять через великий мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні (20...45 мм).

Плазмове - не підходить через велику товщину нарощеного шару металу (1...3 мм).

Електронно-променеве - не підходить через великий мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні (30 мм) при товщині нарощуваного шару металу 0,3...2,5 мм.

Лазерне – підходить (мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні 10 мм при товщині нарощуваного шару металу 0,5...4 мм.

Електроімпульсне – підходить (мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні 15 мм при товщині нарощуваного шару металу 0,3...2,5 мм.

Електроіскрове легування - підходить (мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні 5 мм при товщині нарощуваного шару металу 0,008...0,2 мм.

Гальванічні покриття

Електролітичне хромування – підходить по всім показникам (мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні 1 мм при товщині нарощуваного шару металу 0,01...0,4 мм.

Насталювання (залізнення) - підходить (мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні 1 мм при товщині нарощуваного шару металу 0,5...3 мм.

Електролітичне нікелювання з карбідом кремнію - не підходить через малу товщину нарощуваного шару металу (0,03...0,07 мм).

Електрофоретичне карбідохромове покриття - підходить (мінімально-припустимий діаметр відновлюваної поверхні 3 мм при товщині нарощуваного шару металу 0,4...0,5 мм.

Нікель-фосфатування і нікель-борування - не підходять через малу товщину нарощуваного шару металу (0,005...0,015 мм).

Хіміко-термічна обробка

Азотування, дифузійне хромування, сульфохромування - не підходять через малу товщину нарощуваного шару металу (0,01...0,05 мм).

7.2 Вибір способу усунення дефекту за показниками фізико-механічних властивостей

Наплавлення

Відкритою дугою, під флюсом - не підходять через недостатню твердість нарощеного шару (HRC 26...50).

Вібродугове - не підходить через нерівномірну твердість.

Лазерне – не підходить через недостатню твердість нарощеного шару (HRC 49...50).

Електроімпульсне – не підходить через недостатню твердість нарощеного шару (HRC 19...40).

Гальванічні покриття

Електролітичне хромування – підходить (HRC 49...65).

Насталювання (залізнення) – не підходить через недостатню твердість наріщеного шару (HRC 35...50).

7.3 Вибір способу усунення дефекту за іншими характеристиками

Наплавлення

Вібродугове - не підходить через наявність газових пор, раковин.

Індукційне – не підходить через підвищену крихкість.

Електроіскрове легування - не підходить через наявність пор.

Вібронаплавлення порошкового дроту не бажана до застосування через наявність нерівномірності у структурі покриття.

Мікронаплавлення в середовищі вуглекислого газу з доданням аргону небажане до застосування через низьку продуктивність.

Гальванічні покриття

Електролітичне хромування – підходить (відсутність пор, висока корозійна стійкість).

Хромування в електроліті з каталітичними добавками і електрофоретичне карбідохромове покриття застосовуються рідко й устаткування для них дуже дороге, тому їх не будемо застосовувати.

У табл. 7.1 наведені прийнятні до використання способи усунення дефекту №1 валу водяного насоса.

Таблиця 7.1. Способи усунення дефекту №1 валу водяного насоса

№ деф.	№ спос. усун. деф.	Спосіб усун. деф.	Мін d віднов. пов., мм	Мін h нарош. шару, мм	Макс h нарош. шару, мм	Макс. тверд., HRC	Відсут. пор	Короз. стійк.	Облад.
1	1	КІБ	1	0,005	0,04	65	Так	Так	ВУ-1Б, ІЕТ, ННВ
1	2	Наплавл. в CO2	10	0,8	1,2	54	Ні	Ні	УД- 209, У-653, ПДПГ- 500
1	3	Вібродуг. наплавл.	10	0,3	2	56	Ні	Ні	ОКС- 6559, ОКС- 1252
1	4	Хромуван. електроліт.	1	0,01	0,4	65	Так	Так	УАГП, АГ-24, АЛГ- 433

8 Вибір способу усунення дефекту №2 (зношування шпонкової канавки)

У табл. 8.1 наведені прийнятні до використання способи усунення дефекту №2 валу водяного насоса.

Таблиця 8.1. Способи усунення дефекту №2 валу водяного насоса

№ деф.	№ спос. усун. деф.	Спосіб усунення дефекту	h нарош. шару, мм	Макс. тверд., НВ	Відеуг. тріщин	Облад.
2	1	Наплавлення в CO ₂	0,8...1,2	540	Ні	УД-209, У-653, ПДПГ-500
2	2	Вібродугове наплавлення	0,3...2	560	Так	ОКС-6559, ОКС-1252
2	3	Хромування електролітичне	0,01...0,4	800	Так	УАГП, АГ-24, АЛГ-433
2	4	Газопорошкове наплавлення	0,1...0,8	560	Так	Пост 01.05-148, ТС17МУ
2	5	Лазерне наплавлення	0,5...4	560	Так	ЛТ 1-2, ЛГН-702
2	6	ЕІЛ	0,008...2	650	Так	ЕФІ, ІЕТ, ЕЛФА, Елітрон

9 Вибір способу усунення дефекту №3 (зношення різьби М14х1,5-6g)

У табл. 9.1 наведені прийнятні до використання способи усунення дефекту №3 валу водяного насоса.

Таблиця 9.1. Способи усунення дефекту №3 валу водяного насоса

№ деф.	№ спос. усун. деф.	Спосіб усунення дефекту	Мін d віднов. пов., мм	h нарош. шару, мм	Твердість, НВ	Крих- кість	Обладнання
3	1	Наплавл. в CO ₂	10	0,8...1,2	190...540	Ні	УД-209, У-653, ПДПГ-500
3	2	Вібродуг. наплавл.	10	0,3...2	200...560	Ні	ОКС-6559, ОКС-1252
3	3	Газопорошк. наплавл.	20	0,1...0,8	200...560	Ні	Пост 01.05-148, ТС17МУ
3	4	Лазерне наплавл.	20	0,5...4	250...560	Ні	ЛТ 1-2, ЛГН-702
3	5	ЕІЛ	5	0,008...2	450...800	Так	ЕФІ, ІЕТ, ЕЛФА, Елітрон
3	6	Хромуван. електроліт.	1	0,01...0,4	450...800	Так	УАГП, АГ-24, АЛГ-433
3	7	Насталюван.	1	0,01...3	250...400	Ні	ОГ-10591
3	8	Електроімп. наплавл.	15	0,3...2,5	500...765	Ні	УАНЖ-6

10 Визначення оптимальних способів усунення дефектів валу водяного насоса

Згідно запиту на вибірку з табл. 7.1 оптимального способу усунення дефекту №1 валу водяного насоса вибираємо спосіб хромування в саморегуючому електроліті (табл. 10.1).

Таблиця 10.1. Вибір способу усунення дефекту №1

Назва деталі	Назва дефекту	Спосіб усунення дефекту
Вал	Зношування $\varnothing 17(+0,012 +0,001)$	Хромування електролітичне

Для внесення додаткових способів усунення дефекту №1 створена форма „Способи усунення дефекту №1 валу водяного насоса” (рис. 10.1).

Рисунок 10.1 - Форма „Способи усунення дефекту №1 валу водяного насоса”

Згідно запиту на вибірку з табл. 8.1 оптимального способу усунення дефекту №2 валу водяного насоса вибираємо спосіб вібродугового наплавлення (табл. 10.2).

Таблиця 10.2. Вибір способу усунення дефекту №2

Назва деталі	Назва дефекту	Спосіб усунення дефекту
Вал	Зношування шпонкової канавки	Вібродугове наплавлення

Згідно запиту на вибірку з табл. 9.1 оптимального способу усунення дефекту №3 валу водяного насоса вибрано спосіб, відмічений у табл. 10.3.

Таблиця 10.3. Вибір способу усунення дефекту №3

Назва деталі	Назва дефекту	Спосіб усунення дефекту
Вал	Зношування різьби М14х1,5 6g	Насталювання

11 Визначення оптимального режиму хромування в саморегулюючому електроліті ділянки валу під ущільнювальною шайбою

11.1 Доробка інфологічної схеми бази даних

Після визначення оптимального способу усунення дефекту №1 розробляється інфологічна схема даних для визначення оптимального режиму відновлення вибраним способом.

11.2 Доробка даталогічної схеми бази даних

Відображення інфологічної схеми в даталогічну наведено на рис. 11.1.



Рисунок 11.1 - Доробка даталогічної схеми бази даних

11.3 Використання мови SQL для створення таблиць

Для забезпечення одночасного доступу до даних багатьох користувачів, нерідко розташованих досить далеко один від одного і від місця збереження

БД, створені мережні мультикористувацькі версії СУБД. Спільна робота користувачів у мережах можлива тільки при наявності стандартної мови маніпулювання даними, якою стала SQL (Structured Query Language – мова структурованих запитів) - інтерпретована мова, яка описує операції (створення, обробка і витяг) над реляційними БД. SQL - найуживаніша мова управління БД у системах клієнт/сервер. Основна її перевага - розробка запитів у будь-якій системі управління даними, сумісною з SQL. На сьогоднішній день SQL підтримують понад сто СУБД, які працюють як на персональних комп'ютерах, так і на великих ЕОМ.

Створення таблиці ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМСКЛАД – керуючий запит:

```
CREATE TABLE      ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМСКЛАД
(№_Електроліту    INTEGER NOT NULL UNIQUE PRIMARY KEY,
Назва_електроліту VARCHAR,
CrO3               VARCHAR,
SrSO4              VARCHAR,
K2SiF6             VARCHAR,
K2Cr2O7            VARCHAR);
```

Введення рядка 1 у таблицю ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМСКЛАД – запит на додавання:

```
INSERT INTO      ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМСКЛАД
VALUES           ('1', 'Сульфатний (універсальний)', '250', NULL, NULL, NULL);
```

Таблиця 11.2. ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМСКЛАД

№ Електроліту	Назва_електроліту	CrO3	SrSO4	K2SiF6	K2Cr2O7
1	Сульфатний (універсальний)	250			
2	Сульфатно- кремнієфторидний	230-250	5,5-6,5	18-20	
3	Сульфатно- кремнієфторидний з добавкою біхромату калію	175	6-8	20	110

Створення таблиці ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ - керуючий запит:

```
CREATE TABLE      ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ
( №_Електроліту   INTEGER NOT NULL UNIQUE PRIMARY KEY,
Температура_град_С VARCHAR,
Катодна_щільність_струму_А_дм2 VARCHAR,
Вихід_по_струму_відсотки VARCHAR,
Швидкість_осадження_хрому_мкм_хв VARCHAR);
```

Введення рядка 1 у таблицю ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ – запит на додавання:

```
INSERT INTO      ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ
VALUES           ( '1', '45-70', '50-100', '17-24', '1,0' );
```

Таблиця 11.3. ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ

№_Електроліту	Температура град С	Катодна щільність струму А дм2	Вихід по струму відсотки	Швидкість осадження хрому мкм хв
1	45-70	50-100	17-24	1,0
2	55-65	40-80	17-22	0,9
3	40-70	30-60	17-20	0,8

11.4 Використання Visual Basic for Applications для створення таблиць

Часто виникає необхідність динамічного створення таблиць за допомогою прикладної програми. Скористаємось мовою програмування Visual Basic for Applications:

```
'Створення таблиці "ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ"
Sub CreateTable()
    'Оголошення змінних Table, Catalog (файл бази даних), Key
    Dim Table As New Table
    Dim Catalog As New ADOX.Catalog
    Dim Key As New ADOX.Key
    'Підключення до бази даних VBA1.mdb: повторити текст _
    'до фрагменту Data Source= і ввести шлях до каталогу, _
    'в якому знаходиться створювана база даних
    Catalog.ActiveConnection = _
    "Provider = Microsoft.Jet.OLEDB.4.0;Data " & _
    "Source=D:\VBA1.mdb"
    'Введення назви таблиці
    Table.Name = "Електроліти_Хімсклад1"
    Table.ParentCatalog = Catalog
    'Визначення полів таблиці
    Table.Columns.Append "ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ", adInteger
    Table.Columns.Append "Назва_електроліту", adVarChar
    Table.Columns.Append "Твердість_HV", adVarChar
    Table.Columns.Append "Зчеплення_відсотки", adVarChar
    Table.Columns.Append "Зношення_мг", adVarChar
    'Додання створеної таблиці у каталог Catalog
    Catalog.Tables.Append Table
    'Визначення первинного ключа і додання його у таблицю
    Key.Name = "№_Електроліту"
    Key.Type = adKeyPrimary
    Key.Columns.Append "№_Електроліту"
    Catalog.Tables("ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ").Keys.Append Key, Key.Primary
    'Закриття поточного з'єднання з каталогом
    Set Catalog.ActiveConnection = Nothing
End Sub
'Щоб програма запустилась - зберегти БД
```

Введення рядка 1 у таблицю ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ – запит на додання:

```
INSERT INTO      ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ
VALUES          ( '1', '1070', '75', '0,5' ) ;
```

Таблиця 11.4. ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ

№_ Електроліту	Твердість _НВ	Зчеплення відсотки	Зношення мг
1	1070	75	0,5
2	1230	68	0,35
3	950	78	0,3

11.5 Математичне моделювання ТП у середовищі Mathcad (лінійна та поліноміальна апроксимація за методом найменших квадратів)

MathCAD є інтегрованою системою програмування, орієнтованою на проведення математичних, інженерно-технічних, статистичних та економічних розрахунків. MathCAD містить: текстовий редактор, обчислювач і графічний процесор.

Текстовий редактор служить для введення і редагування текстів. Обчислювач системи MathCAD забезпечує обчислення по складним математичним формулам, має великий набір убудованих математичних функцій, забезпечує обчислення рядів, сум і добутків, визначених інтегралів і похідних. Графічний процесор служить для створення графіків.

Запис команд у системі MathCAD мовою, дуже близькою до стандартної мови математичних розрахунків, значно спрощує постановку і розв'язок задач. У такий спосіб головні аспекти рішення математичних задач зміщуються з їхнього програмування на алгоритмічний і математичний опис.

11.5.1 Визначення параметрів лінійного рівняння а і b для набору вихідних даних x_i , y_i , розміщених у масиві DATA

а) Розрахунок через мінімізацію суми квадратів відхилень.

$$DATA := \begin{pmatrix} 0 & 2 & 4 & 6 & 8 & 10 & 12 & 14 & 16 & 18 & 20 & 22 \\ 0 & 34 & 48 & 57 & 64 & 72 & 81 & 88 & 97 & 105 & 112 & 120 \end{pmatrix}^T \quad \begin{matrix} <-----значення x_i \\ <-----значення y_i \end{matrix}$$

де x_i – шлях тертя, $\times 10^3$ м;

y_i – знос, мм.

В нульовому стовпчику масиву DATA містяться значення x_i , причому, як бачимо ці значення розташовані в масиві неупорядковані. При обробці подібних масивів рекомендується попередньо упорядкувати дані в масивах, тобто розташувати значення x_i в порядку їх зростання. Звичайно, при такому сортуванні не повинен порушуватися порядок відповідності значень x_i , y_i . Використаємо для сортування даних вбудовану функцію `csort`, яка розташує в порядку зростання значення елементів вибраного стовпчика. При цьому елементи іншого стовпчика автоматично перенесуться в відповідні рядки.

`SORT_DATA_X := csort(DATA,0)`

$$\text{SORT_DATA_X}^T =$$

0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
0	34	48	57	64	72	81	88	97	105	112	120

Розбиваємо масив `SORT_DATA_X` на окремі вектори X і Y та визначаємо допоміжну змінну i .

$$X := \text{SORT_DATA_X}^{\langle 0 \rangle} \quad Y := \text{SORT_DATA_X}^{\langle 1 \rangle} \quad i := 0.. \text{rows}(X) - 1$$

Визначаємо апроксимуючу функцію у вигляді рівняння прямої лінії

$$F(a, b, x) := a + b \cdot x$$

Визначаємо змінну S (суму квадратів відхилень)

$$S(a, b) := \sum_i \left(F(a, b, X_i) - Y_i \right)^2$$

Необхідно визначити такі значення параметрів a і b , при яких $S(a, b)$ має мінімальне значення. В ідеальному випадку, коли всі точки лежать на одній прямій, сума квадратів відхилень дорівнює нулю. Отже, можна задатися цією умовою та сформувати відповідний розрахунковий блок `GIVEN...MINERR`.

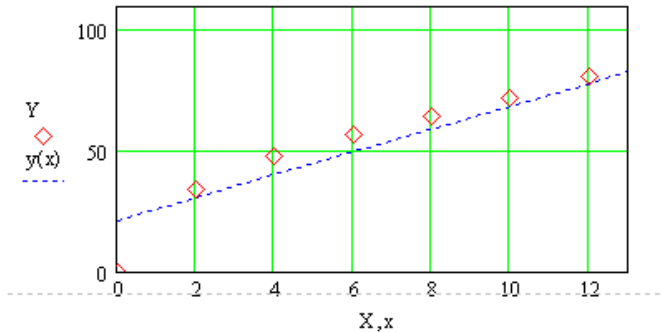
`a := 1` `b := 1` привласнення значень початковим наближенням

$$\text{Given} \quad S(a, b) = 0 \quad \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} := \text{Minerr}(a, b) \quad \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 21.205 \\ 4.724 \end{pmatrix}$$

Отже, нами отримані значення параметрів рівняння прямої лінії, що найкращим чином (з позицій метода найменших квадратів) описує вихідні дані. З урахуванням отриманих значень визначимо апроксимуючу функцію та припишемо їй діапазон зміни значень, який відповідає діапазону значень x_i у векторі X .

$$y(x) := a + b \cdot x \quad x := \min(X), \min(X) + \frac{\max(X) - \min(X)}{100} \dots \max(X)$$

Нанесемо на графік вихідні дані у вигляді окремих точок одночасно з прямою лінією, параметри якої нами розраховані.



б) Розрахунок через застосування вбудованих функцій `intercept` та `slope`.

Попередній розв'язок, крім визначення параметрів рівняння прямої лінії, насамперед мав за мету продемонструвати головну ідею метода найменших квадратів. Власне, реалізація методу здійснена за рахунок можливостей функції `Minerr`. Більш простішим розв'язком є розв'язок з застосуванням функцій `intercept`, `slope`.

З аналітичної геометрії відомо, що геометричним змістом параметрів a і b є, відповідно, відрізок, що відсікається по осі ординат (англ. - `intercept`) та нахил (`slope`) лінії до осі ординат. Отже, якщо вихідні дані знаходяться в векторах X , Y і існують підстави вважати, що Y знаходиться в лінійному зв'язку з X , то:

- `intercept(vx,vy)` - повертає значення вільного члена a (величини відрізка, що відсікає пряма по осі ординат);
- `slope(vx,vy)` - повертає значення нахилу прямої до осі абсцис.

Застосовуємо ці функції для даної задачі.

`a1 := intercept(X,Y)`

`a1 = 21.205`

`b1 := slope(X,Y)`

`b1 = 4.724`

Як бачимо, отримано такі самі результати, як і в п. а).

Мірою тісноти лінійного зв'язку між величинами x і y може служити величина коефіцієнта кореляції, яку можна обчислити з застосуванням функції `corr(vx, vy)`. Чим ближче коефіцієнт кореляції до 1 (або до -1 у

випадку негативного кута нахилу), тим певніше можна вказати на лінійну кореляцію між величинами векторів.

$$\text{corr}(X, Y) = 0.97482$$

11.5.2 Апроксимація степенними поліномами

Будь-який масив експериментальних даних можна описати і іншими видами апроксимуючих функцій. Якщо апроксимуючою функцією є степенний поліном, то маємо випадок поліноміальної апроксимації.

В свою чергу поліноміальна апроксимація в середовищі MathCAD може бути реалізована декількома шляхами.

Наприклад, розглянутий масив даних DATA_SORT_X потрібно апроксимувати поліномом другого ступеня $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2$, тобто підібрати такі значення параметрів a , b , c , щоб забезпечувався мінімум суми квадратів відхилень розрахованих значень полінома від дослідних значень.

а) Розв'язок з використанням розв'язуючого блоку.

$$\text{SORT_DATA_X}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1	0	34	48	57	64	72	81	88	97	105	112

$$X := \text{SORT_DATA_X}^{(0)} \quad Y := \text{SORT_DATA_X}^{(1)} \quad n := \text{rows}(X) - 1$$

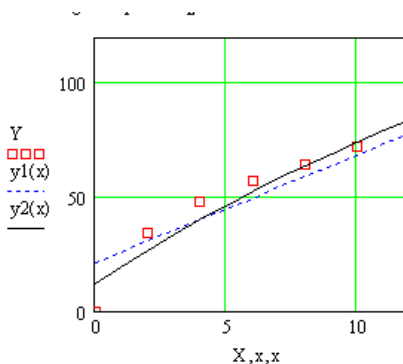
Загальний хід обчислень в цілому є аналогічним п. 11.5.1:

$$y2(a, b, c, x) := a + b \cdot x + c \cdot x^2 \quad a := a1 \quad b := b1 \quad c := 1$$

Given

$$\sum_{j=0}^n \left[\left(y2(a, b, c, X_j) \right) - Y_j \right]^2 = 0 \quad a2 := \text{Minerr}(a, b, c) \quad a2 = \begin{pmatrix} 12.148 \\ 7.441 \\ -0.124 \end{pmatrix}$$

$$y2(x) := a2_0 + a2_1 \cdot x + a2_2 \cdot x^2 \quad y1(x) := a1 + b1 \cdot x \quad x := 0..14$$



Незручність розрахункового блоку полягає в тому, що для параметрів a , b , c необхідно завдавати початкові наближення. Значення початкових наближень для параметрів a і b були побудовані на підставі попередньої апроксимації рівнянням прямої лінії. Для параметра c було використане формальне значення, що дорівнює одиниці. В загальному випадку, особливо коли необхідно знайти велику кількість параметрів апроксимації, використання блоку GIVEN...MINERR може викликати труднощі, пов'язані з відсутністю інформації про коректні значення початкових наближень. Тому для проведення поліноміальної апроксимації необхідно мати більш надійні засоби.

б) Застосування для поліноміальної апроксимації матричних операторів.

Очевидно, що задача апроксимації вихідного набору даних поліномом другого ступеня зводиться до розв'язання наступної системи рівнянь:

$$\begin{aligned}
 a \cdot (X_0)^0 + b \cdot (X_0)^1 + c \cdot (X_0)^2 &= Y_0 \\
 a \cdot (X_1)^0 + b \cdot (X_1)^1 + c \cdot (X_1)^2 &= Y_1 \\
 a \cdot (X_2)^0 + b \cdot (X_2)^1 + c \cdot (X_2)^2 &= Y_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 \text{rows}(X) = 12 \quad a \cdot (X_{11})^0 + b \cdot (X_{11})^1 + c \cdot (X_{11})^2 &= Y_{11}
 \end{aligned}$$

Ця система є перевизначеною, тому для неї можна застосувати алгоритм розв'язку з застосуванням співвідношень матричної алгебри. Необхідно тільки коректно сформулювати матрицю коефіцієнтів при невідомих a , b , c .

$$i := 0 .. \text{rows}(X) - 1$$

$$N_{i,0} := 1 \quad N^{(1)} := X \quad N^{(2)} := X^2 \quad - \text{формування матриці коефіцієнтів}$$

+

$$a2 := (N^T \cdot N)^{-1} \cdot N^T \cdot Y \quad a2 = \begin{pmatrix} 12.148 \\ 7.441 \\ -0.124 \end{pmatrix}$$

Отже, нами одержані такі самі значення коефіцієнтів апроксимації, але розв'язок не потребував початкових наближень.

Даний підхід можна використати і при апроксимації поліномами більш високих степенів. Якщо вихідний масив описувати кубічною параболою,

тобто поліномом $y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3$ достатньо дещо модифікувати наведений масив N, додавши до нього стовпчик, що містить куби елементів вектора X.

$$N^{(3)} := X^3 \quad a3 := (N^T \cdot N)^{-1} \cdot N^T \cdot Y \quad a3 = \begin{pmatrix} 12.148 \\ 7.441 \\ -0.124 \end{pmatrix}$$

$$y3(x) := a3_0 + a3_1 \cdot x + a3_2 \cdot x^2 + a3_3 \cdot x^3$$

Відповідно, степінь полінома можна підвищити. Зокрема, коефіцієнти полінома 7 степені можуть бути обчислені через додавання відповідних стовпчиків матриці коефіцієнтів.

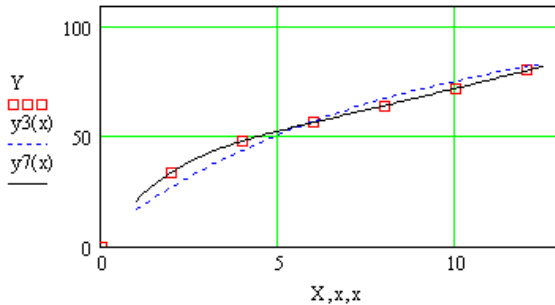
$$N^{(4)} := X^4 \quad N^{(5)} := X^5 \quad N^{(6)} := X^6 \quad N^{(7)} := X^7 \quad a7 := (N^T \cdot N)^{-1} \cdot N^T \cdot Y$$

$$a7^T = \begin{pmatrix} -4.369 \times 10^{-4} & 26.276 & -6.192 & 0.917 & -0.079 & 4.002 \times 10^{-3} & -1.096 \times 10^{-4} & 1.25 \times 10^{-6} \end{pmatrix}$$

$$y7(x) := a7_0 + a7_1 \cdot x + a7_2 \cdot x^2 + a7_3 \cdot x^3 + a7_4 \cdot x^4 + a7_5 \cdot x^5 + a7_6 \cdot x^6 + a7_7 \cdot x^7 \quad x := 1, 1.1 .. 12.5$$

Апроксимуючу функцію $y7(x)$ можна виразити більш компактно:

$$y7(x) := \sum_{j=0}^7 a7_j \cdot x^j$$



Якщо обчислити суми квадратів відхилень, які мають місце при різних степенях апроксимуючого полінома:

$$\sum_i (y1(X_i) - Y_i)^2 = 668.023 \quad \sum_i (y2(X_i) - Y_i)^2 = 342.309 \quad \sum_i (y3(X_i) - Y_i)^2 = 144.154$$

$$\sum_i (y7(X_i) - Y_i)^2 = 1.143$$

то можна побачити, що підвищення степені сприяє зменшенню суми квадратів відхилень значень апроксимуючої функції від вихідних дослідних даних. З наведених прикладів випливає, що з цієї точки зору поліном 7 ступеня найкращим чином описує аналізований масив даних. Однак, слід відзначити, що при використанні поліномів високих степенів для апроксимації конкретних досліджуваних систем може статися ситуація, коли поліном неадекватно описує експериментальні дані

При високих степенях апроксимуючого багаточлена розраховані дані починають повторювати похибки експерименту. Тому сума квадратів відхилень при цьому вже є недостатнім критерієм адекватності полінома експериментальному масиву даних і слід застосовувати інші критерії, зокрема дисперсію адекватності.

11.5.3 Функція лінійного згладжування `linfit`

Якщо апроксимуюча функція може бути представленою у вигляді лінійної комбінації деяких інших функцій, то в цьому випадку можна використати функцію `linfit(vx,vy,f)`.

Апроксимуємо масив даних M функцією $f(x) = A + B \cdot x + C \cdot \sin(x)$

Вихідний масив даних:

$$M := \begin{pmatrix} 0 & 2 & 4 & 6 & 8 & 10 & 12 \\ 0 & 34 & 48 & 57 & 64 & 72 & 81 \end{pmatrix}^T$$

Сортування:

$$M1 := \text{csort}(M, 0) \quad M1^T = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 4 & 6 & 8 & 10 & 12 \\ 0 & 34 & 48 & 57 & 64 & 72 & 81 \end{pmatrix}$$

Визначення апроксимуючого виразу у вигляді вектора f для подальшого використання `linfit`:

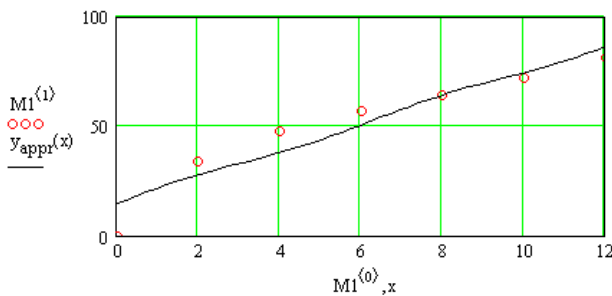
$$f(x) := \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ \sin(x) \end{pmatrix} \quad \text{coef} := \text{linfit}(M1^{(0)}, M1^{(1)}, f) \quad \text{coef} = \begin{pmatrix} 14.619 \\ 6.046 \\ 1.3 \end{pmatrix}$$

Визначення емпіричної формули за розрахованими коефіцієнтами апроксимації.

$$y_{\text{appr}}(x) := \text{coef}_0 + \text{coef}_1 \cdot x + \text{coef}_2 \cdot \sin(x)$$

Графічне представлення результатів обчислень.

$$x := \min(M1^{(0)}, \min(M1^{(0)})) + \frac{\max(M1^{(0)}) - \min(M1^{(0)})}{50} \dots \max(M1^{(0)})$$



Цілком очевидно, що функція `linfit` може бути застосованою до поліноміальної апроксимації.

11.5.4 Застосування лінійної інтерполяції даних зносостійкості

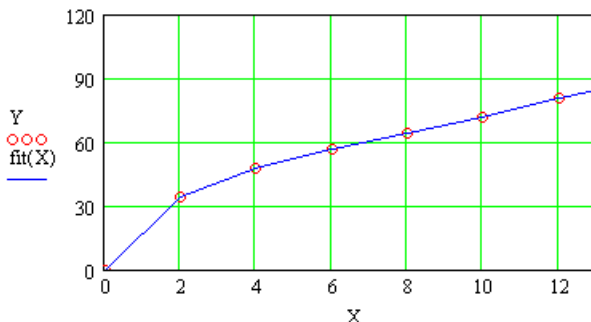
Лінійна інтерполяція полягає в тому, що задані точки (x_i, y_i) послідовно з'єднуються прямолінійними відрізками, і функція $f(x)$ наближається ламаною лінією з вершинами в даних точках.

Лінійну інтерполяцію в MathCAD можна здійснити за допомогою вбудованої функції `linterp`.

`linterp(vx,vy,x)` - повертає значення в точці x , обчислене лінійною інтерполяцією даних з точками, координати яких знаходяться у векторах vx , vy .

Використаємо для інтерполяції дані масивів X і Y з п. 11.5.1:

$$fit(x) := linterp(X, Y, x)$$



$$fit(X)^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	34	48	57	64	72	81	88	97	105

$$Y^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	34	48	57	64	72	81	88	97	105

Як бачимо, при розрахунках дотримується основна умова інтерполяції - розрахункові значення в вузлах інтерполяції повністю співпадають з заданими таблично значеннями Y .

Серед інших засобів інтерполяції розглянемо роботу функцій `pspline`, `cspline`, `interp`:

- `pspline(vx,vy)` - розраховує коефіцієнти параболічного сплайна, побудованого за векторами vx,vy . При цьому коефіцієнти розраховані коефіцієнти параболічного сплайна розміщуються у векторі vp .

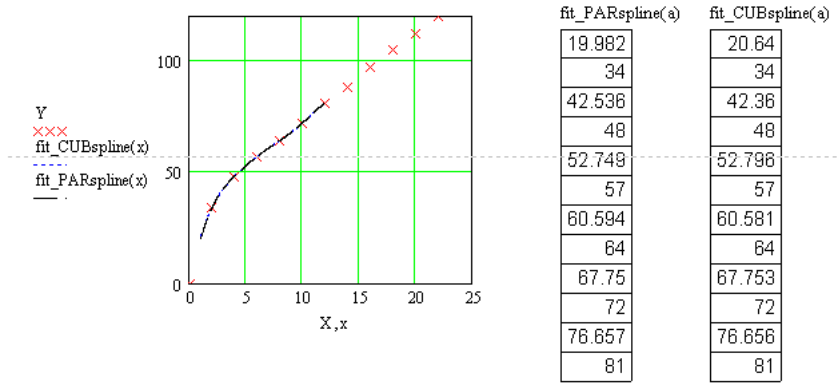
- cspline(vx,vy) - розраховує коефіцієнти кубічного сплайна, побудованого за векторами vx,vy. При цьому коефіцієнти розраховані коефіцієнти кубічного сплайна розміщуються у векторі vs.

- interp(vs,vx,vy,x) - значення сплайну в точці x, розраховане за вихідними векторами vx і vy та коефіцієнтами кубічного сплайну vs.

Отже, при сплайн-інтерполяції задані точки з'єднуються відрізками парабол 2-го порядку (pspline) або відрізками кубічних парабол (cspline). За допомогою функції interp можна розрахувати будь-які значення аргументу між вузлами інтерполяції.

```
P := pspline(X,Y)      S := cspline(X,Y)

fit_PARspline(x) := interp(P,X,Y,x)
fit_CUBspline(x) := interp(S,X,Y,x)  x := 1,1.01..12      a := 1..12
```



11.6 Використання мови структурованих запитів SQL для роботи з таблицями

ЕЛЕКТРОЛІТИ – запит на вибірку:

SELECT

ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМСКЛАД.Назва електроліту,
 ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ.Швидкість осадження хрому мкм_хв,
 ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ.Твердість_HV,
 ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ.Зчеплення_відсотки,
 ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ.Зношення_мг
 FROM

(ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМСКЛАД INNER JOIN
 ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ
 ON ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМСКЛАД.№_Електроліту =

ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ.№_Електроліту)
 INNER JOIN ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ
 ON ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМСКЛАД.№_Електроліту=
 ЕЛЕКТРОЛІТИ_ФізХімВЛАСТИВОСТІ.№_Електроліту ;

Результат виконання запиту – табл. 11.5.

Таблиця 11.5. Запит на вибірку ЕЛЕКТРОЛІТИ

Назва_електроліту	Швидкість_осадження_хрому_мкм_хв	Твердість_НВ	Зчеплення_відсотки	Зношення_мг
Сульфатний (універсальний)	1,0	1070	75	0,5
Сульфатно-кремнієфторидний	0,9	1230	68	0,35
Сульфатно-кремнієфторидний з добавкою біхромату калію	0,8	950	78	0,3

ОПТИМАЛЬНИЙ ЕЛЕКТРОЛІТ - запит на вибірку:

```
SELECT Назва електроліту, Зношення_мг
FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ
WHERE Зношення_мг =
      ( SELECT Min (Зношення_мг)
        FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ ) ;
```

Результат виконання запиту – табл. 11.6.

Таблиця 11.6. Запит на вибірку ОПТИМАЛЬНИЙ ЕЛЕКТРОЛІТ

Назва електроліту	Зношення мг
Сульфатно-кремнієфторидний з добавкою біхромату калію	0,3

РЕЗУЛЬТУЮЧА ТАБЛИЦЯ - запит на вибірку:

```
SELECT
      [Деталі].[Назва деталі],
      [Дефекти].[Назва дефекту],
      [ВСУД№1].[Спосіб усунення дефекту],
      [ОптЕ].[Назва_електроліту]
FROM
      [Основні деталі водяного насоса] AS Деталі,
      [Дефекти валу водяного насоса, вимоги до
        відремонтованої деталі] AS Дефекти,
      [Вибір способу усунення дефекту №1] AS ВСУД№1,
      [ОПТИМАЛЬНИЙ ЕЛЕКТРОЛІТ] AS ОптЕ
WHERE
```

[Деталі].[Код деталі] = [Дефекти].[Код деталі]

AND

[Дефекти].[Назва дефекту] = [ВСУД№1].[Назва дефекту] ;

Результат виконання запиту – табл. 11.7.

Таблиця 11.7. Запит на вибірку РЕЗУЛЬТУЮЧА ТАБЛИЦЯ

Назва деталі	Назва дефекту	Спосіб усунення дефекту	Назва_електроліту
Вал	Зношування Ø17(+0,012 +0,001)	Хромування електролітичне	Сульфатно- кремнієфторидний з добавкою біхромату калію

12 Опис способів відновлення валу водяного насоса

12.1 Опис способу відновлення ділянки валу водяного насоса під ущільнювальною шайбою хромуванням у саморегулюючому електроліті

Процес нанесення покриття на деталі містить у собі три групи операцій: підготовку деталі до нанесення покриття, нанесення покриття й обробку деталі після покриття.

Підготовка деталей до нанесення покриття містить у собі наступні операції: механічну обробку поверхонь, що підлягають нарощуванню; очищення деталей від окислів і попереднє знежирення; монтаж деталей на підвісне пристосування; ізоляцію поверхонь, які не підлягають покриттю; знежирення деталей з наступним промиванням у воді; анодну обробку (декапірування).

Попередня механічна обробка деталі має мету додати відновлюємих поверхням правильну геометричну форму. Здійснюється ця обробка відповідно до рекомендацій з механічної обробки відповідного матеріалу.

Очищення деталей від окислів шляхом обробки шліфувальною шкуркою чи м'якими кругами з полірувальною пастою. Попереднє знежирення деталей роблять шляхом промивання в розчинниках (уайт-спіриті, дихлоретані, бензині й ін.).

При монтажі деталей на підвісне пристосування необхідно забезпечити надійний їхній електричний контакт із струмопідвідною штангою, сприятливі умови для рівномірного розподілу покриття по поверхні деталі і для вилучення пухирців кисню, які виділяються при електролізі.

Для захисту поверхонь, які не підлягають нарощуванню, застосовують: цапон-лак у суміші з нітроемалями у співвідношенні 1:2, наносячи його кілька шарів при пошаровому сушінні на повітрі; чохли з поліхлорвінілового пластикату товщиною (0,3...0,5) мм; футляри, втулки, екрани, виготовлені з

не електропровідних кислотостійких матеріалів (ебоніт, текстоліт, вініпласт і т.д.).

Остаточне знежирення підлягаючих нарощуванню поверхонь деталей найчастіше роблять шляхом електрохімічної обробки в лужних розчинах наступного складу, кг/м³: їдкий натр - 10, сода кальцинована - 25, тринатрійфосфат - 25, емульгатор ОП-7 3-5. Режим знежирення: температура (70...80) °С, щільність струму (5...10) А/дм², тривалість процесу (1...2) хв.

Деталі при електрохімічному знежиренні завішують на катодну штангу. При електролізі на поверхні деталі виділяється водень, який хімічно зриває жирову плівку й у такий спосіб прискорює процес омилення й емульгування жирів. Щоб уникнути наводорожування змінюють полярність на зворотну й на протязі (0,2...0,3) хв. обробляють деталі на аноді.

Деталі простої форми можна знежирювати також шляхом протирання кашкою віденського вапна, що складається із суміші окису кальцію й окису магнезії з добавками 3% кальцинованої соди і 1,5% їдкого натру. Цю суміш розводять водою до пастоподібного стану і наносять на деталі волосяними кистями.

Після знежирення деталі промивають у гарячій, а потім у холодній воді. Суцільна, без розривів, плівка води на знежиреній поверхні свідчить про достатню якість вилучення жирів.

Декапірування (анодну обробку) роблять для вилучення найтонших оксидних плівок з поверхні деталі і забезпечення найміцнішого зчеплення гальванічного покриття з підложкою. Ця операція безпосередньо передуює нанесенню покриття.

При хромуванні анодну обробку роблять в основному електроліті. Деталі завішують у ванну для хромування і для прогріву витримують (1...2) хв. без струму, а потім піддають обробці на аноді на протязі (30...45) хв. при анодній щільності струму (25...35) А/дм². Після цього, не виймаючи деталі з електроліту, переключають їх на катод і наносять покриття.

Обробка деталей після нанесення покриття включає наступні операції:

- нейтралізацію деталей від залишків електроліту;
- промивання деталей у холодній і гарячій воді;
- демонтаж деталей з підвісного пристосування і вилучення ізоляції;
- механічну обробку деталі до необхідного розміру;
- термічну обробку (при необхідності).

Цей порядок виконання заключних операцій зберігається при нанесенні покриття з будь-яких електролітів, однак конкретні процеси мають деякі особливості.

Так, якщо деталі піддавалися хромуванню, то їх спочатку промивають у ванні з дистильованою водою (для уловлювання електроліту), а потім - у проточній воді, після чого занурюють на (0,5...1) хв. у (3...5) % - ний розчин кальцинованої соди (для нейтралізації залишків електроліту) і остаточно промивають у теплій воді. Потім деталі знімають з підвісних пристосувань,

вилучають з них ізоляцію і сушать у сушильній шафі при температурі (120...130) °С. У деяких випадках для зняття внутрішніх напружень у хромових покриттях деталі проходять термообробку з нагріванням до (180...200) °С в масляній ванні і витримкою при цій температурі на протязі (1...2) год.

Хромування у саморегулюючому електроліті відрізняється від інших видів електролітичного хромування тим, що при введенні в електроліт замість сірчаної кислоти важкорозчинних солей сірчано-кислого стронцію SrSO_4 і кремнієвого калію K_2SiF_6 у кількості, що перевищує їхню розчинність, електроліт стає стійким, тому що автоматично підтримується постійна концентрація іонів SO_4 і SiF_6 . При надлишку в електроліті зазначених солей, що перевищують їхню розчинність, частина солей буде знаходитися в розчині у виді дисоційованих іонів, а частина на дні ванни у вигляді твердої фази. При зміні концентрації хромового ангідриду концентрація іонів SO_4 і SiF_6 буде автоматично підтримуватися постійною за рахунок часткового розчинення солей. Отже, необхідність у частих коректуваннях електроліту відпадає. Застосовують наступний склад електроліту (г/л): хромовий ангідрид 200...300; сульфат стронцію 5,5...6,5; кремнієфторид калію 18...20. Щільність струму $D_k = (50...100) \text{ А/дм}^2$; $t = (50...70) \text{ }^\circ\text{C}$; вихід по струму (17...18) %.

У саморегулюючому електроліті можна одержувати всі три види хромових покриттів. Швидкість відкладення осаду при щільності 60 А/дм^2 і $t = (55...65) \text{ }^\circ\text{C}$ досягає (45...50) мкм/год.

Внаслідок агресивності електроліту свинцева футерівка ванни не придатна через сильне роз'ятрування. Найкращим матеріалом для ванн є нержавіюча сталь 1Х18Н9. Як матеріал для анодів застосовують свинцево-олов'яні сплави, з яких кращим є припій ПОС-10. Внаслідок агресивної дії електроліту на метал необхідно захищати поверхні деталей, які не підлягають хромуванню. Ізоляційними матеріалами можуть бути вінілпласт, поліхлорвініл, плетиглас, а також спеціальні склади.

В даний час розроблені і досліджені нові склади саморегулюючих електролітів, які значно усувають недоліки сульфатно-кремнієфторидного електроліту (склад сульфатно-кремнієфторидного електроліту з добавкою біхромату калію, г/л): $\text{CrO}_3 = 250$; $\text{SrSO}_4 = 6...8$; $\text{K}_2\text{SiF}_6 = 20$; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = 110$; режим хромування $D_k = (30...100) \text{ А/дм}^2$; $t = (40...70) \text{ }^\circ\text{C}$; вихід по струму (17...24) %.

Принципова схема установки для хромування в саморегулюючому електроліті наведена на рис. 12.1.

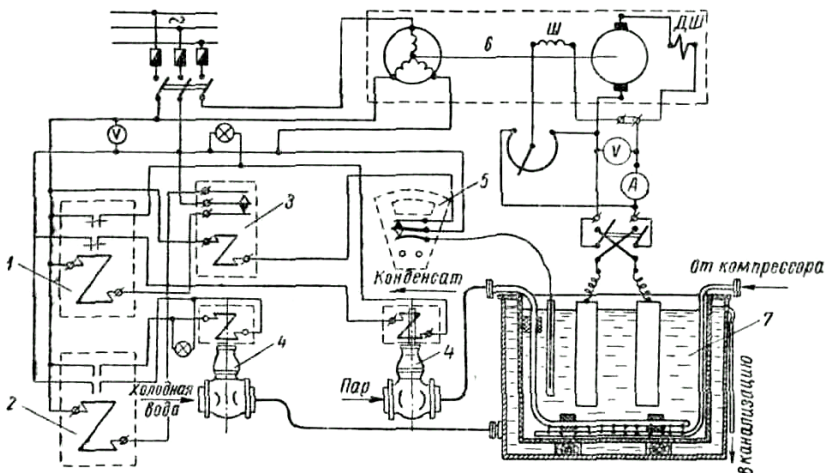


Рисунок 12.1 - Принципова схема установки для хромування в саморегулюючому електролізі:

1, 2 — магнітні пускачі, 3 — реле МКУ-48; 4 — кран з електромагнітом, 5 — манометричний термометр ТС-100; 6 — мотор-генератор, 7 — ванна з пристроєм для підігріву і перемішування електроліту

12.2 Опис способу відновлення шпонкової канавки валу водяного насоса вібродуговим наплавленням

Вібродугове наплавлення — це різновидність електродугового наплавлення металевим електродом [3, с. 118]. Вібрація електрода та охолодна рідина визначають істотні кількісні та якісні відмінності процесів при вібродуговому напавленні і характеризують його як окремий своєрідний спосіб наплавлення. На рис. 12.2 наведено принципову схему вібродугової установки з електромеханічним вібратором.

На супорті токарного верстата закріплюють наплавлювальну головку (ОКС-6569; ОКС-1252). Для живлення дуги використовують джерела постійного струму з жорсткою зовнішньою характеристикою (генератори АНД-500/250, селенові випрямлячі ВСГ-3М, ПС-300, ПС-500).

До наплавлюваної поверхні деталі 7, яка обертається в центрі токарного верстата, роликами подавального механізму з касети 3 через вібруючий мундштук 5 подається електродний дріт. Внаслідок вібрації і коливання мундштука від ексцентрикового механізму її дріт періодично дотикається до поверхні деталі і оплавляється під дією імпульсних електричних розрядів, що надходять від генератора 16. В електричній схемі послідовно вмикається котушка індуктивності. Під дією вібратора мундштук разом з дротом вібрує з частотою 110 Гц і має амплітуду коливання до 4 мм (практично 1,8...3,2 мм).

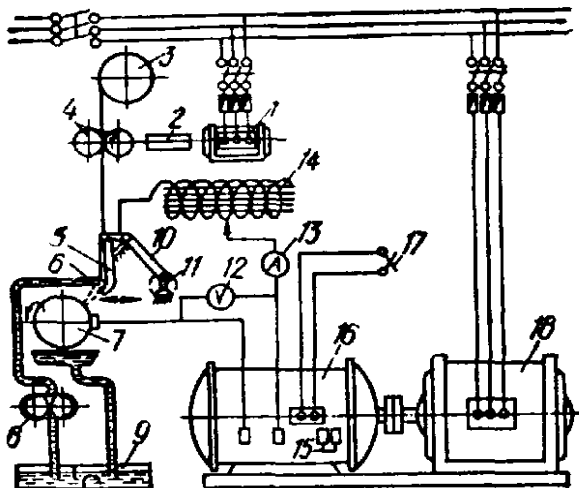


Рисунок 12.2 - Принципова схема установки для вібродугового наплавлення:

1 — двигун для привода механізму подачі дроту; 2 — редуктор головки; 3 — касета для дроту; 4 — ролики для подачі дроту; 5 — мундштук головки; 6 — сопло для подачі рідини; 7 — наплавлювана деталь; 8 — насос для подачі рідини; 9 — резервуар для рідини з відстійником; 10 — шатун механічного вібратора; 11 — ексцентрик вібратора; 12 — вольтметр; 13 — амперметр; 14 — котушка індуктивності (дросьель); 15 — перемикач; 16 — генератор; 17 — реостат генератора; 18 — електродвигун

Вібрація електрода під час наплавлення забезпечує стабільність процесу за рахунок частих збуджень дугових розрядів та сприяє перенесенню електродного дроту невеликими порціями, що допомагає краще формувати наплавлені валики. Завдяки вібрації процес наплавлення може відбуватися при низькій напрузі (12...18 В).

Охолоджуюча рідина (4...6 %-ний розчин кальцинованої соди у воді) захищає метал від окислення.

Якість зварювання наплавлюваного металу з основним залежить від кількох факторів. Основними з них є полярність струму, індуктивність, крок наплавлення (подача супорта на один оберт деталі), кут підведення електрода до деталі, якість очищення та підготовки поверхні, що наплавляється, а також товщина шару наплавлення.

Високоякісне зварювання одержують при зворотній полярності (плюс до електрода, мінус до деталі), коли крок наплавлення становить 2,3...2,8 мм/об, а кут підведення дроту до деталі — 15...30°. Швидкість подачі електрода не

повинна перевищувати 1,65 м/хв., наплавлення — 0,5...0,65 м/хв., товщина наплавленого шару, при якій забезпечується надійне сплавлення, — 2,5 мм. Структура і твердість наплавленого шару залежать від хімічного складу електродного дроту та кількості охолодної рідини. Під час наплавлення дротом Нп-80 (з вмістом вуглецю 0,75...0,85 %) валик в охолодній рідині загартовують на високу твердість і частково відпускають, утворюючи цим неоднорідну структуру від мартенситу гартування до тростосорбіту відпуску з твердістю від HRC 24 до HRC 54. При напавленні низьковуглецевим дротом Св-08 отримують твердість поверхні наплавлення HRC 12...17. Основним показником міцності наплавленої деталі є міцність на втому, яка в основному залежить від трьох параметрів: кількості охолодної рідини, що подається в зону наплавлення, величини кроку і швидкості наплавлення.

Технологія вібродугового наплавлення передбачає відновлення деталей із спрацюванням циліндричних зовнішніх і внутрішніх поверхонь, конічних зовнішніх бокових поверхонь шліців та шпонкових канавок і плоских поверхонь.

Для наплавлення внутрішніх циліндричних поверхонь головку розміщують на верстаті так, щоб площа мундштука збігалася з віссю деталі. Деталі надають обертання, а головці — поздовжнього переміщення. Конічні зовнішні поверхні наплавляють дротом, підведеним збоку. Необхідне при цьому поперечне переміщення головки здійснюють вручну. Для наплавлення бокової поверхні шліців і шпонкових канавок деталей встановлюють у горизонтальній площині та закріплюють нерухомо, а головку переміщують паралельно осі деталі, після накладання першого валика головку зміщують на величину кроку наплавлення і наплавляють другий валик. Аналогічно наплавляють плоскі поверхні. При цьому деталі встановлюють на верстаті за допомогою опорних пристроїв.

Товщина одношарового наплавлення, залежно від його режимів, може становити 0,5...0,2 мм.

Підготовка поверхонь до наплавлення полягає в очищенні їх від бруду та іржі. Всі отвори та пази, які необхідно зберегти, закладають мідними або графітовими вставками так, щоб вони виступали над поверхнею на величину, що перебільшує чисту товщину наплавленого шару, тоді їх легше видалити після наплавлення. Центри деталей перевіряють і виправляють.

Вібродугове наплавлення під шаром флюсу має ряд переваг:

- дає можливість отримувати наплавлений шар без пор, тріщин; деформація деталі мінімальна і не перевищує допусків посадочних місць;
- мінімальна зона термічного впливу. Для комбінованого наплавлення під шаром флюсу вібруючим електродом можна застосовувати головки (ОКС-1252, ОКС-6569). При використанні електродного дроту марки Нп-80 і флюсу АН-348А твердість наплавленого шару становить HRC 36...38. Для збільшення твердості наплавленого шару до HRC 52...54 до флюсу АН-348А додають 2 % ферохрому і 2 % сріблястого графіту.

Оптимальний режим наплавлення: напруга 28...30 В; сила струму 70...75А (діаметр дроту 1,6 мм); швидкість подачі дроту 1,3 м/хв; швидкість наплавлення 0,5...0,6 м/хв; амплітуда вібрації 1,8...2 мм.

Недоліком вібрودугового наплавлення є зменшення до 40 % міцності на втому наплавлених деталей. Цей показник можна поліпшити термообробкою.

При нагріванні напавленої деталі до 150...200 °С усадка зменшується на 15...20 % і настільки ж підвищується міцність на втому; при нормалізації (температура нагрівання 800...900 °С) — на 35...45 %.

Нормалізація з наступним загартуванням струмами високої частоти підвищує міцність на втому до 80 % порівняно з новою деталлю. Найбільш простим і доступним способом зменшення напружень і підвищення міцності на втому є поверхневе наклепування шляхом обкатки роликми після остаточної механічної обробки деталі.

Несправності установок для вібрودугового наплавлення викликані великою кількістю факторів, які впливають на нормальний хід процесу. Так, несплавлення шару з деталлю є результатом малого кроку наплавлення (менше 1,1 мм/об), низької напруги (менше 12 В) і недостатньої сили струму.

Сильне розбризкування електродного матеріалу відбувається внаслідок недостатньої індуктивності зварювального кола, неправильного кута встановлення мундштука відносно деталі, потрапляння охолодної рідини безпосередньо в дугу.

Погане формування шару, недостатня стабільність процесу наплавлення можуть бути внаслідок малої сили струму, надто великої індуктивності зварювального кола, неправильного вибору кута встановлення мундштука відносно деталі, а також подачі рідини (дуже близько до дуги).

Раковини і пори в напавленому шарі є результатом неправильного кута розміщення мундштука відносно деталі, поганої вібрації електрода та забрудненості дроту.

Тріщини в напавленому шарі мають місце при напавленні пружинного високовуглецевого дроту з подачею рідини. Для зменшення кількості тріщин слід подавати рідину на відстань 20...40 мм від зони наплавлення і зменшити її кількість.

12.3 Опис способу відновлення різьби М14х1,5-6g валу водяного насоса насталуванням

Порівняно з хромуванням насталування має ряд переваг: швидкість осадження заліза значно вища, ніж при хромуванні, тому що електрохімічний еквівалент його приблизно втричі більший, ніж хрому; насталуванням можна одержувати якісні покриття товщиною більше 1 мм з високими механічними властивостями; вихідні матеріали для приготування

електролітів недорогі і загальнодоступні. Електролітичне осадження заліза виконують у водних розчинах хлористих солей.

Електроліти можна поділити на дві групи: гарячі та холодні. Вибір того чи іншого залежить від призначення покриттів, умов роботи деталей, продуктивності процесу і виробничих можливостей підприємства.

Порівняно велика катодна поляризація, що супроводжує процес настилювання, сприяє утворенню дрібнозернистих покриттів. Із зменшенням густини струму та збільшенням температури й концентрації хлористого заліза ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) в електроліті катодна поляризація знижується, що створює умови для одержання м'яких, крупнозернистих осадів.

Процес осаджування заліза з хлористих електролітів здійснюється за допомогою розчинів анодів, виготовлених з низьковуглецевої сталі.

Під час розчинення анодів на їх поверхні утворюється нерозчинний шлам, до складу якого входять вуглець, сірка, фосфор та інші домішки. Шлам потрапляє до електроліту, забруднює його і тим самим погіршує якість покриття. Для запобігання цьому аноди поміщають в чохлах, виготовлених з кислотостійкого матеріалу (склотканини), у ванну, яка з середини облицьована вуглеграфітовими, антегітовими плитками марки АТМ-1, і заливають електроліт. Матеріалом для виготовлення електроліту є стружка низьковуглецевих сталей 10, 20 (взята з-під верстатів), які розчиняють у соляній кислоті до припинення виділення бульбашок. Реакція травлення $\text{Fe} + 2\text{HCl} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$.

Перед цим стружку знежирюють у 10 %-ному розчині каустичної соди при температурі 80...90 °С і промивають гарячою водою. Отриманий електроліт фільтрують через скловолокнисту тканину та, додаючи соляної кислоти, доводять його до питомої ваги 1,12. Такий електроліт містить 200...250 г/л $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Кислотність його визначають за кольором (робочий електроліт повинен бути світло-зелений).

Електроліт можна також готувати шляхом розчинення у воді хлористого тривалентного заліза ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Такий спосіб простіший, швидший, ніж травлення стружки в соляній кислоті.

Хлористе залізо розчиняють у дистильованій воді. Потім до нього додають соляну кислоту (10...15 г/л), підігрівають до 80...90 °С і пропускають струм густиною 10...15 А/дм² протягом 30...40 год. при відношенні $S_a : S_k = 1 : 2$, де S_k — площа катода, а S_a — площа анода. При цьому тривалентне залізо відновлюється до двовалентного і електроліт стає світло-зеленим.

Схему установки для холодного настилювання під дією асиметричного струму промислової частоти показано на рис. 12.3. При цьому характеристикою режиму є відношення катодної густини струму D_k до анодної D_a , яке позначають через β .

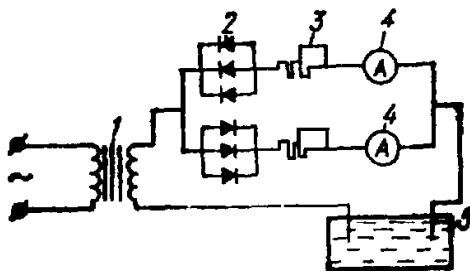


Рисунок 12.3 - Схема установки для холодного насталоування під дією асиметричного струму промислової частоти:

1 — трансформатор ТС-500; 2 — діоди; 3 — реостати; 4 — амперметри; 5 — електролітична ванна

Перед насталоуванням деталі піддають наступній обробці:

1. Промивання в 10 %-ному розчині каустичної соди у воді при температурі 70 °С.
2. Промивання у гарячій воді.
3. Електричне знежирювання у ванні зі складом електроліту, г/л: каустична сода (NaOH)—65; кальцинована сода (Na₂CO₃) — 25; рідке скло (Na₂SiO₃) — 15. Температура електроліту 60...70 °С, густина струму 10...15А/дм². Витримування: якщо деталь катод — 1...2 хв., якщо анод — 2...3 хв.
4. Промивання у гарячій воді.
5. Анодна обробка у 30 %-ному розчині сірчаної кислоти при кімнатній температурі. Густина струму 20...50 А/дм² з витримуванням 24 хв. Катодами є свинцеві пластини площею в 3...4 рази більшою за площу деталей (анодів).
6. Промивання деталей у холодній воді (поверхня деталей повинна бути світло-матового кольору без темних плям).
7. Націплювання деталей на катодний шланг і витримування без струму протягом 0,5...1 хв.
8. Промивання в холодній, а потім у гарячій воді. Швидкість осадження заліза при густині катодного струму 30 А/дм² досягає 11,7 мкм/хв. з твердістю 6000 МПа.

13 Розробка технологічного процесу

Перед розробкою технологічного процесу відновлення деталі вибираються бази, проводяться основні операції з підготовки деталі до відновлення. Під час розробки схеми технологічного процесу послідовність операцій устанавлюється з урахуванням особливостей відновлюваної деталі (табл. 13.1).

Таблиця 13.1. Схема технологічного процесу

05	Мийна. Мийка й очищення валу від мастила і бруду.
	Мийна машина.
10	Транспортувальна.
15	Дефектовочна. Виявлення зношених поверхонь і різьби.
	Штангенциркуль, крокомір різбовий.
20	Транспортувальна.
25	Наплавочна. Наплавлення поверхні шпоночної канавки.
	Установка для автоматичного наплавлення.
30	Транспортувальна.
35	Гальванопокриття. Нарощування діаметра валу.
	Гальванічна ванна.
40	Транспортувальна
45	Гальванопокриття. Відновлення різьби.
	Гальванічна ванна.
50	Транспортувальна.
55	Горизонтально-фрезерна. Фрезерування шпоночної канавки.
	Горизонтально-фрезерний верстат та інструмент.
60	Транспортувальна.
65	Круглошліфувальна. Шліфування валу.
	Круглошліфувальний верстат.
70	Транспортувальна.
75	Різьбонарізна. Прогін різьби плашкою.
	Токарно-гвинторізний верстат.
80	Транспортувальна.
85	Контрольна.
	Штангенциркуль, крокомір різбовий.
90	Транспортувальна.

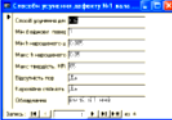
Література

1. Системи автоматизованого проектування: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізації «Комп'ютерноінтегровані системи та технології в приладобудуванні» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; автори: К. С. Барандич, О. О. Подолян, М. М. Гладський. – Електронні текстові дані (1 файл 3,05 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 97 с. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/45614/1/SAPR_KL.pdf
2. Методичні вказівки до практичної, самостійної та індивідуальної роботи з дисципліни «Основи САПР» для студентів спеціальностей 133 – «Галузеве машинобудування» [Електронний ресурс] / уклад. Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський. Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/ivanchuk_metodykaz_praktrob_osnovu_sapr/
3. Селезньов Д.Е. Основи САПР SolidWorks: Навчальний посібник/ Д.Е. Селезньов, Ю. В. Муравинець, В.С. Пуць – Луцьк: ЛНТУ, 2023. – 140 с. – Режим доступу: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2025-02/САПР%20посібник.pdf>
4. Основи мови запитів SQL. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/osnovi-movi-zapitiv-sql-445584.html>
5. Основи побудови SQL запитів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://foxminded.ua/sql-zapyty/>
6. SQL в Access: основні поняття, глосарій і синтаксис. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://support.microsoft.com/uk-ua/topic/sql-v-access-osnovni-ponyattya-glосарій-i-sintaksis-444d0303-cde1-424e-9a74-e8dc3e460671>
7. Лекції з VBA (Visual Basic For Application) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uadoc.zavantag.com/text/10326/index-1.html>
8. VBA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/test/vba-813902.html>
9. MathCAD [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/10004454/page:35/>
10. Урал-375Д-4320 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrtehwiki.fandom.com/uk/wiki/Урал-375Д-4320>

ДОДАТКИ

Плакати 1

ВИБІР СПОСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ ВАЛА ВОДЯНОГО НАСОСА

Таблиці	Основні деталі водного насоса - Код деталі - Назва деталі - К-ть деталей у вузлі - Матеріал - Твердість заготовки, НВ - Термообробка - Твердість після термообробки, HRC Дефекти вала водного насоса, виникли... - Код деталі № дефекту - Назва дефекту - Метод чи прилад контролю - Номинальний розмір, мм - Гранично допустимий розмір, мм Способи усунення дефекту... № дефекту № способу усунення дефекту - Спосіб усунення дефекту - Мін діаметр поверхні, мм - Мін h нарощеного шару, мм - Макс твердість, HRC - Висутність пор - Корозійна стійкість - Обладнання						
Форми							
Запити SQL	<pre> SELECT (Основні деталі водного насоса) (Назва деталі), (Дефекти вала водного насоса, виникли до з'явлення нового дефекту) (Назва дефекту), (Способи усунення дефекту) (№ вала водного насоса) FROM (Дефекти вала водного насоса, виникли до з'явлення нового дефекту) (№ дефекту) = (Способи усунення дефекту) (№ вала водного насоса) OR (Дефекти вала водного насоса, виникли до з'явлення нового дефекту) (№ дефекту) = (Способи усунення дефекту) (№ вала водного насоса) OR (Дефекти вала водного насоса, виникли до з'явлення нового дефекту) (№ дефекту) = (Способи усунення дефекту) (№ вала водного насоса) WHERE ((Способи усунення дефекту) (№ вала водного насоса) (Мат.наращення) >= 10) AND ((Способи усунення дефекту) (№ вала водного насоса) (Мат.наращення) >= 0.07) AND ((Способи усунення дефекту) (№ вала водного насоса) (Макс твердість) >= 52) AND ((Способи усунення дефекту) (№ вала водного насоса) (Висутність пор) <= 0.01) AND ((Способи усунення дефекту) (№ вала водного насоса) (Корозійна стійкість) <= 0.01) </pre> Вибір способу усунення дефекту №1 <table> <tr> <th>Назва деталі</th><th>Назва дефекту</th><th>Спосіб усунення дефекту</th></tr> <tr> <td>Вал</td><td>Запущенный в работу (0.012-0.001)</td><td>Запущенный в работу (0.012-0.001)</td></tr> </table>	Назва деталі	Назва дефекту	Спосіб усунення дефекту	Вал	Запущенный в работу (0.012-0.001)	Запущенный в работу (0.012-0.001)
Назва деталі	Назва дефекту	Спосіб усунення дефекту					
Вал	Запущенный в работу (0.012-0.001)	Запущенный в работу (0.012-0.001)					

Плакати 2

ВИБІР--РЕЖИМУ--ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО--ХРОМУВАННЯ--ВАЛА--ВОДЯНОГО--НАСОСА

Керуючі запити SQL, використання VBA Створення таблиць ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМІКАЛІ <pre> CREATE TABLE ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМІКАЛІ (№_Хіміката INT NOT NULL, Опис TEXT, PRIMARY KEY (№_Хіміката)) CREATE TABLE ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ (№_Режиму INT NOT NULL, Опис TEXT, PRIMARY KEY (№_Режиму)) </pre> Створення таблиць ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ <pre> CREATE TABLE ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ (№_Режиму INT NOT NULL, Опис TEXT, PRIMARY KEY (№_Режиму)) </pre> Створення таблиць ЕЛЕКТРОЛІТИ_НАВЛАСТІВСТІ <pre> CREATE TABLE ЕЛЕКТРОЛІТИ_НАВЛАСТІВСТІ (№_Властивості INT NOT NULL, Опис TEXT, PRIMARY KEY (№_Властивості)) </pre> Вибір даних з таблиць ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМІКАЛІ, ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ, ЕЛЕКТРОЛІТИ_НАВЛАСТІВСТІ <pre> SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМІКАЛІ SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_НАВЛАСТІВСТІ </pre>	Запити на вибірку мовою SQL ЕЛЕКТРОЛІТИ <pre> SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМІКАЛІ SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_НАВЛАСТІВСТІ </pre> ОПТИМАЛЬНИЙ ЕЛЕКТРОЛІТ <pre> SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМІКАЛІ SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_НАВЛАСТІВСТІ </pre> РЕЗУЛЬТУЧА ТАБЛИЦЯ <pre> SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_ХІМІКАЛІ SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_РЕЖИМИ SELECT * FROM ЕЛЕКТРОЛІТИ_НАВЛАСТІВСТІ </pre>
---	---

Плакати 3

Математичне моделювання ТП у середовищі Mathcad

