

**Міністерство освіти и науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з дисципліни
«Наукові основи вибору матеріалів і технологій»

**для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство»
освітня програма (спеціалізація) «Прикладне матеріалознавство»,
«Термічна обробка» усіх форм навчання**

2022

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Наукові основи вибору матеріалів і технологій» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» освітня програма (спеціалізація) «Прикладне матеріалознавство», «Термічна обробка» усіх форм навчання /Укл.: І.М. Лазечний, О.А. Глотка, Ю.І. Кононенко, Г.Г. Трикоз, О.В. Лисиця. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 104 с.

Укладачі: І.М. Лазечний, к.т.н., доцент
О.А. Глотка, к.т.н., доцент
Ю.І. Кононенко, ст.викладач
Г.Г. Трикоз, асистент
О.В. Лисиця, ст.викладач

Рецензент: О.В. Климов, к.т.н., доцент

Відповідальний
за випуск: В.Ю. Ольшанецький, д.т.н., професор

Затверджено
радою фізико-технічного інституту
Протокол № 9
від ” 10 ” травня 2022 р.

Затверджено на засіданні
кафедри “Фізичне матеріалознавство”
Протокол № 7
від ” 29 ” квітня 2022 р.

ЗМІСТ

ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ	4
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1	
Обґрунтування вибору варіанта термічної обробки на основі техніко-економічного аналізу	8
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2	
Оптимізація вибору матеріалів для типових виробів за різними критеріями	42
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3	
Прогнозування зміни структури, властивостей матеріалів та розмірів виробів при їх зберіганні, випробуваннях та експлуатації	50
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4	
Статистичний аналіз точності технологічних процесів термічної обробки	55
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5	
Обґрунтування вибору матеріалу та технології термічної обробки для заданого виробу	67
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6	
Статистичний аналіз стабільності технологічних процесів термічної обробки та їх статистичне регулювання	74
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	85
Додаток А. Ціни на деякі промислові печі, нагрівальні установки й інше устаткування термічних цехів	89
Додаток Б. Середні норми обслуговування для основних робочих термічних цехів (одиниць устаткування на одного робітника в зміну)	93
Додаток В. Професії і тарифні розряди робітників термічних цехів	96
Додаток Г. Орієнтовні ціни і питомі витрати технологічних і допоміжних матеріалів для термічної обробки	97
Додаток Д. Інтегральна функція нормального розподілу (в інтервалі $-\infty, -z$)	101
Додаток Ж. Інтегральна функція нормального розподілу (в інтервалі $+\infty, +z$)	103

ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Мета: викладання дисципліни полягає в тому, щоб розкрити можливості раціонального вибору матеріалу і технології термічної обробки, які забезпечуватимуть одержання необхідного рівня механічних та експлуатаційних властивостей виробів при умові економного витрачання матеріалів і енергетичних ресурсів в процесі їх виготовлення.

Завдання: полягає в тім, що на основі знань теорії термічної обробки і принципів легування машинобудівних матеріалів, урахувавши при цьому умови роботи виробів при експлуатації, навчити майбутніх фахівців науково обгрунтовувати вибір матеріалів і технологій термічної обробки для окремих груп виробів. При виборі технології необхідно враховувати її переваги та економічну доцільність в порівнянні з іншими спорідненими технологіями. У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати:

загальні компетентності: Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми; здатність генерувати нові ідеї та реалізовувати їх у вигляді обгрунтованих інноваційних рішень; навички використання новітніх інформаційних технологій; здатність до подальшого автономного та самостійного навчання на основі новітніх науково-технічних досягнень; здатність спілкуватися іноземною мовою в професійній (науково-технічній) діяльності;

фахові компетентності: Здатність критичного аналізу та прогнозування характеристик нових та існуючих матеріалів, параметрів процесів їх отримання та обробки; здатність застосовувати отримані знання для стандартизації, сертифікації й акредитації процесів термічної обробки металів, матеріалів та виробів; здатність застосовувати системний підхід до вирішення інженерних проблем на основі досліджень в рамках спеціалізації; здатність інтерпретувати, презентувати і захищати результати науково-дослідницької діяльності в фаховому середовищі та публікувати результати своїх досліджень у наукових фахових виданнях; здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників, безпеки застосування та експертизу конструкторсько-технологічних рішень щодо процесів термічної обробки та обладнання для їх здійснення; здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів проблеми, що вирішується, включаючи виробництво, експлуатацію,

технічне обслуговування та утилізацію компонентів здійснення термічної обробки металі; здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування виробів з застосованими процесами термічної обробки

Очікувані програмні результати навчання: Знання щодо оптимального вибору технологій термічної обробки і обладнання. Знання, що забезпечать можливість теоретично обґрунтовувати конструкції обладнання на основі, загальних принципів конструювання, теорії взаємозамінності, нормативних та довідкових даних для контролю відповідності технічної документації, виробів і технологій стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам. Знання конструкцій, методик вибору і розрахунку, основ обслуговування і експлуатації обладнання, що застосовується в процесах термічної обробки

Змістовий модуль 1. Класифікація матеріалів і видів термічної обробки.

Тема 1. Класифікація конструкційних та інструментальних матеріалів за функціональним призначенням. Класифікація конструкційних та інструментальних матеріалів за функціональним призначенням. Матеріали із підвищеними міцністю та технологічністю. Матеріали, стійкі до спрацювання. Види спрацювань. Матеріали із високими пружними властивостями, стійкі до дії умов експлуатації (середовища, тиску, температури, часу): жароміцні, жаротривкі, корозійностійкі тощо. Інструментальні матеріали.

Тема 2. Класифікація технологічних операцій та процесів термічної обробки. Загальна характеристика, сутність та призначення основних операцій термічного оброблення (відпал I та II роду, гартування, відпускання, старіння, ХТО, в тому числі і комплексні методи оброблення).

Тема 3. Основи вибору матеріалів для деталей машин та інструментів. Основи вибору матеріалів для деталей машин та інструментів. Основні інформаційні джерела при пошуку матеріалів. Визначення експлуатаційних напружень та допустимих рівнів напружень. Чинники, котрі на них впливають. Заходи по підвищенню надійності виробів. Основні складові, котрі визначають цю характеристику. Основні складові довговічності виробів. Заходи по забезпеченню та підвищенню довговічності виробів. Комплексні методи впливу на ресурс виробів: металургійні, конструкторські, технологічні, експлуатаційні.

Тема 4. Вибір матеріалів для виробів із врахуванням змін структури і властивостей в процесі зберігання, експлуатації та забезпечення розмірної стабільності. Зміни структури, хімічного складу, властивостей матеріалів в процесі зберігання та експлуатації виробів. Зміни, котрі відбуваються при зберіганні гум, полімерів, пластмас, сплавів на основі алюмінію. Вплив умов експлуатації на зміни структури, хімічного складу, властивостей корозійнотривких, жаростійких, жароміцних сталей та сплавів. Заходи по зменшенню швидкості протікання цих процесів. Стабільність розмірів виробів та заходи по її забезпеченню.

Тема 5. Комплексні методи оцінки ефективності вибору матеріалу. Комплексні методи оцінки ефективності вибору матеріалу. Несівна здатність виробу, основні чинники впливу. Обґрунтування вибору матеріалу за мінімальною масою при постійній надійності.

Змістовий модуль 2. Основи вибору технології оброблення.

Тема 6. Система технологічної підготовки виробництва (СТПВ).

Система технологічної підготовки виробництва СТПВ. Сутність, призначення, стандарти (ГОСТ 14.003). Складові СТПВ: забезпечення технологічності виробу, розроблення технологічних процесів, проектування технологічного обладнання та пристосувань. Розробка та передача у виробництво нових технологій. Види випробувань виробів.

Тема 7. Статистичний контроль та регулювання якості виробів.

Статистичний контроль та регулювання якості виробів та технологічних процесів: основні терміни та їх визначення: вибірка, проба, точність, стабільність, статистичний контроль та регулювання. Статистичні характеристики матеріалів. Статистичний контроль та регулювання якості виробів: комплексна схема і її використання. Статистичне регулювання технологічних процесів та статистичний аналіз точності та стабільності процесу. Методи визначення точності та стабільності технологічних процесів. Аналіз рекламаций.

Тема 8. Порядок розроблення та передачі продукції у серійне виробництво. Порядок розроблення та передачі продукції у серійне виробництво. Основні етапи по розробці нових деталей, інструментів, приладів, обладнання. Пошукові роботи, науково-дослідні роботи, ескізне проектування. Розроблення технологічної документації. Технічне проектування, дослідно-експериментальні роботи. Виготовлення дослідних зразків виробів, інструментів, машин та проведення випробувань (лабораторних, стендових, натурних). Система державних ви-

пробувань продукції (ГОСТ 16505). Основні терміни, визначення, сутність. Перевірка експлуатаційно-технічної, конструктивної, технологічної, контрольної документації та передача у виробництво.

Тема 9. Матеріалознавчі основи вибору технології оброблення та обладнання. Матеріалознавчі основи вибору технології обробки та обладнання. Вхідні дані для вибору ТП, урахування альтернативних методів оброблення. Критерії оптимізації при виборі технології: енергозатрати, трудові затрати, собівартість, вплив на екологію. Енергозберігальні технології, термічне оброблення в потоці металургійного виробництва. Співставлення вибраних варіантів технології на одно – та багатокритеріальній основах. Обґрунтування вибору обладнання для здійснення вибраного технологічного процесу (річний випуск, умови праці, цехова собівартість). Уніфікація технологій, технологічних пристосувань.

Тема 10. Техніко-економічне обґрунтування вибору варіанта термічної обробки (ТО). Вибір варіантів ТО на підставі техніко-економічного обґрунтування. Цехова собівартість – як базова характеристика запропонованого варіанта ТО. Складові цехової собівартості: основні матеріали, допоміжні матеріали, паливо, електроенергія, заробітна плата. Складові цехової собівартості: силова електроенергія, амортизація обладнання, технологічні речовини, ремонт і обслуговування обладнання, витрати на технологічні пристосування, на утримання виробничої площі. Аналіз цехової собівартості та напрямки по її зниженню.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Обґрунтування вибору варіанта термічної обробки на основі техніко-економічного аналізу

Мета роботи: для заданого виробу (деталі чи інструмента) із врахуванням запропонованих до нього вимог розробити та вибрати ресурсозберігальний технологічний процес на основі техніко-економічного аналізу.

Загальні відомості

У термічному виробництві відбувається безупинний процес впровадження нової техніки. До нової техніки можна віднести: нові і більш сучасні технологічні процеси термічної і хіміко-термічної обробки; застосування нового, високопродуктивного устаткування, засобів механізації і автоматизації; способи організації виробництва та праці, запровадження яких забезпечує підвищення основних техніко-економічних показників виробництва, таких, як збільшення річного випуску продукції з 1 м² площі цеху (y т/м²), збільшення випуску продукції на одного працівника і одного робітника цеху, збільшення випуску продукції в гривнях на одну гривню капітальних вкладень (грн./грн.), а також зниження цехової собівартості продукції.

Рішення про доцільність створення і впровадження нової техніки приймається на основі визначення річного економічного ефекту, що базується на сумарній економії усіх виробничих ресурсів (живої праці, матеріалів, капітальних вкладень). Визначення річного економічного ефекту ґрунтується на співставленні приведених витрат (V_i) за різними варіантами обробки.

Методика розрахунку річного економічного ефекту по базовій і новій техніці. Для розрахунку річного економічного ефекту використовують приведені витрати V_i по кожному варіанту (базовому чи новій техніці). Приведені витрати – це сума поточних витрат (собівартості) і капітальних вкладень, приведених до однакової розмірності відповідно до нормативу ефективності, грн.:

$$V_i = C_i + E_n \cdot K_i \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де C_i – поточні витрати (собівартість) по i -му варіанту, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності капітальних вкладень, рівний 0,15. Економічна сутність коефіцієнту полягає

в мінімальній економії на поточних витратах (собівартості), що повинна бути отримана на кожну гривню додаткових капітальних вкладень;

K_i – капітальні вкладення по i -му варіанту, грн.

Собівартість річної програми C_i розраховується за формулою:

$$C_i = C'_i \cdot M_p, \quad (1.2)$$

де C'_i – технологічна собівартість одиниці продукції, грн./т, грн./шт.;

M_p – річний випуск продукції, т, шт.

Приведені витрати на одиницю продукції можна розрахувати використовуючи питомі показники:

$$B'_i = C'_i + E_n \cdot K'_i, \quad (1.3)$$

де K'_i – питомі капітальні вкладення грн./т, грн./шт.;

$$K'_i = K_i / M_p \quad (1.4)$$

Розрахунок річного економічного ефекту від застосування нових видів обладнання, технологічних процесів, механізації та автоматизації виробництва, способів організації виробництва і праці, що забезпечують економію виробничих ресурсів при випуску однієї і тієї ж продукції, розраховують за формулою:

$$E_p = (B_1' - B_2') \cdot M_p. \quad (1.5)$$

де E_p – річний економічний ефект, грн.;

B_1' – приведені витрати на одиницю продукції, виробленої за допомогою базової техніки, грн./т, грн./шт.;

B_2' – приведені витрати на одиницю продукції, виробленої за допомогою нової техніки, грн./т, грн./шт.;

M_p – річний обсяг виробництва, т, шт.

Якщо у формулу (1.5) підставити значення приведених витрат для базової технології B_1' і для нової техніки B_2' (рівняння (1.3)), то E_p буде дорівнювати:

$$E_p = [(C_1' + E_n K_1') - (C_2' + E_n K_2')] \cdot M_p \quad (1.6)$$

або

$$E_p = [(C_1' - C_2') - E_n \cdot (K_2' - K_1')] \cdot M_p. \quad (1.7)$$

Розрахунок капітальних вкладень необхідно вести з позиції ефективності роботи підприємства, тобто враховувати додаткові капітальні вкладення та їх економію не тільки безпосередньо в термічному виробництві, але й у суміжних виробництвах. Наприклад, впровадження контрольованої атмосфери при гартуванні супроводжується додатковими витратами, але приводить до зменшення трудомісткості механічної обробки і вивільнення виробничих потужностей механічних цехів.

Капітальні вкладення для удосконалення технологічних процесів чи впровадження нової техніки визначаються за формулою:

$$K = K_n \pm K_{cm} \pm K_{cn} \pm K_{ob} \pm K_e \pm K_{mod} \pm K_{zal}, \quad (1.8)$$

де K_n – капітальні вкладення в основне і допоміжне устаткування, грн.;

K_{cm} – капітальні вкладення чи їх економія в суміжних виробництвах, грн. («+» при додатковій потребі, «-» при вивільненні);

K_{cn} – вартість будинків, споруд, пристроїв, грн.;

K_{ob} – зміна в потребі обігових коштів (враховується, якщо його величина складає 5% і більш від K_n); «+» при додатковій потребі, «-» при економії, грн.;

K_e – відновна вартість наявного устаткування, грн. (віднімається, якщо устаткування вивільняється і використовується за призначенням на інших ділянках виробництва; додається, якщо воно використано в складі нових ліній, цехів і т.п.);

K_{mod} – витрати на модернізацію устаткування, якщо воно використовується в складі нової техніки, грн.;

K_{zal} – залишкова вартість устаткування (недоамортизована частина вартості устаткування) у випадку, якщо устаткування йде на брухт, грн.

Звичайно капітальні вкладення на нове обладнання включають не тільки вартість цього устаткування в оптових цінах, але і витрати на транспортування, монтаж, налагодження та освоєння.

При визначенні економічної ефективності суттєве значення має правильний розрахунок собівартості продукції, обробленої за допомогою нової техніки.

Якщо в результаті впровадження нового технологічного процесу не змінюються остаточні фізико-механічні властивості деталей чи якість поверхні, то можна обмежитися розрахунком цехової собівар-

тості термічної обробки. У той же час в багатьох випадках впровадження нової технології не змінює всіх статей собівартості, отже, розрахунок треба проводити тільки по тих статтях, що змінюються, тобто розраховувати технологічну собівартість.

Таким чином, технологічною собівартістю називають витрати, що залежать від конкретного методу обробки.

Технологічна собівартість термічної обробки може включати витрати за наступними статтями.

1. Основні матеріали (у випадку, якщо нові технологічні процеси термічної обробки приводять до зміни матеріалу чи його витрати як результат власне термічної обробки).

2. Допоміжні матеріали для технологічних цілей (контрольована атмосфера, нейтральні гази, олія, вода, солі для розплавів і т.п.).

3. Основна заробітна плата основних робітників.

4. Додаткова заробітна плата основних робітників.

5. Відрахування на соціальне страхування основних робітників.

6. Паливо та енергія на технологічні цілі.

7. Витрати на утримання і експлуатацію устаткування:

– амортизація устаткування;

– витрати на експлуатацію устаткування – силова електроенергія, заробітна плата допоміжних робітників, енергетичні ресурси (вода, пара, стиснене повітря);

– ремонт устаткування.

8. Технологічне оснащення (приспособлення, піддони, кошики, інструменти, штампи для гартівних пресів і т.п.).

9. Витрати на утримання виробничої площі, зайнятої устаткуванням.

10. Інші цехові витрати.

У технологічну собівартість розраховану в термічному цеху, як правило, вартість основних матеріалів, з яких виготовлені вироби, не входить, тому що вона вже закладена в собівартість попередніх стадій. Однак, якщо в результаті виконання конкретного технологічного процесу змінюються припуски, що викликають збільшення чи зменшення колишньої норми витрати металу, або ж використовують матеріал, який має іншу вартість, то такі зміни необхідно враховувати в собівартості.

Порядок розрахунку собівартості термічної обробки 1т деталей наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Розрахунок собівартості термічної обробки 1 т, грн./т

Стаття витрат	Формула для розрахунку	Умовні позначки
1	2	3
Основні матеріали	$C_m = m_m U_m q_{m3} - K_e U_e$	m_m – маса заготовки чи матеріалу, т; U_m – ціна 1 т заготовки чи матеріалу, грн./т; q_{m3} – 1,1...1,5 - коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати; K_e – кількість реалізованих відходів, т; U_e – ціна 1т реалізованих відходів, грн./т;
Допоміжні матеріали для технологічних цілей	$C_{\partial m} = \sum_{i=1}^m \frac{K_{\partial i} \times U_{\partial m i}}{Q_{\partial o d i}}$ $C_{\partial m} = \sum_{i=1}^m q_i U_{\partial m i}$	m – число найменувань допоміжних матеріалів; $K_{\partial i}$ – норма витрати і-го матеріалу, т/год., м ³ /год (див. додаток Г); $Q_{\partial o d i}$ – годинна продуктивність і-го устаткування, т/год. (див. табл.1.3); $U_{\partial m}$ – ціна 1т і-го матеріалу, грн./т, або 1м ³ – грн./м ³ (див. додаток Г); q_i – витрата і-го матеріалу, т чи м ³ на 1 т продукції, що обробляється (див. додаток Г).
Паливо й енергія на технологічні цілі	$C_n = \sum_{i=1}^n \left(\frac{r_i U_z}{Q_{z o d i}} \right)$ $C_n = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_{y c i} q_n U_z}{Q_{z o d i}} \right)$ $C_e = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_{y n i} q_n U_e}{Q_{z o d i}} \right)$	r_i – середні витрати газу, м ³ /год; U_z – ціна газу (34,6 грн./м ³), $N_{y c i}$ – установчі витрати палива в пальниках і-го устаткування, м ³ /год; $q_n = 0,6...0,7$ – коефіцієнт використання потужності пальників; $N_{y n i}$ – установча потужність нагрівачів, і-го устаткування, кВт (див. додаток А); $q_n = 0,5...0,7$ – коефіцієнт використання установчої потужності; U_e – ціна електроенергії (2,5 грн./кВт.-год)
Основна заробітна плата основних робітників	$L_{o c n} = \frac{\sum_{i=1}^k L_{m a p i} P_i q_{n p}}{Q'_{z o d i}}$	K – число груп розрядів основних робітників; $L_{m a p i}$ – тарифна ставка робітника і-го розряду, грн./год ; P_i – число робітників і-го розряду, чол. (норма обслуговування, див. додаток Б); $q_{n p} = 1,1...1,2$ – коефіцієнт, що враховує премії і різні доплати до годинного фонду заробітної плати

1	2	3
Додаткова заробітна плата	$L_d = q_d \cdot L_{осн}$	$q_d = 0,08 \dots 0,12$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату
Відрахування на соціальне страхування	$L_{cc} = q_{cc}(L_{осн} + L_d)$	$q_{cc} = 0,32$ – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування
Амортизація устаткування	$A = \sum_{i=1}^m \left(\frac{B_{\bar{o}i} a}{\Phi_{e_i} Q_{\bar{z}o\bar{o}d_i} 100} \right)$	Φ_{e_i} – ефективний річний фонд часу роботи устаткування, год (див. табл.1.2); $B_{\bar{o}i}$ – балансова вартість устаткування, грн. (див. додаток А); $a = 18,8\%$ – річна норма амортизації
Силова електроенергія	$C_{ec} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_{yn_i} q_{\bar{o}n_i} q_{\bar{o}q_i} C_e}{Q_{\bar{z}o\bar{o}d_i} \eta_i} \right)$	N_{yn_i} – установча потужність електродвигунів, кВт; $q_{\bar{o}n_i}$ – коефіцієнт використання електродвигунів по потужності: 0,5 – для одиничного і дрібносерійного виробництва; 0,6 – для серійного виробництва; 0,8 – для масового виробництва; $q_{\bar{o}q_i}$ – коефіцієнт використання двигунів за часом: 0,6 – для одиничного і дрібносерійного виробництва; 0,7 – для серійного виробництва; 0,85 – для масового виробництва; $C_e = 2,5$ грн./кВт.-год – плата за 1 кВт.-год, враховану лічильником; η_i – ККД електродвигунів
Заробітна плата допоміжних робітників з нарахуваннями	$L_{\bar{o}on} = q_{\bar{o}on}(L_{осн} + L_d + L_{cc})$	$q_{\bar{o}on} = 0,3$ – коефіцієнт, що враховує співвідношення між заробітною платою з нарахуваннями основних і допоміжних робітників
Енергетичні ресурси (вода, пара, стиснене повітря і т.п.)	$C_{ep} = \sum_{i=1}^p \left(\frac{q_{e_i} C p_i}{Q_{\bar{z}o\bar{o}d_i}} \right)$	q_{e_i} – витрати ресурсу т/год, м ³ /год; $C p_i$ – ціна одиниці ресурсу, грн/т, грн/м ³ .
Технологічне оснащення	$C_{осн} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{осн_i} C_{осн_i} \cdot q_{e_i} C_{e_i}}{M_i} \right)$	$q_{осн_i}$ – річні витрати оснащення (піддонів, пристосувань і т.п.), т; $C_{осн_i}$, C_{e_i} – ціна матеріалу оснащення і реалізованих відходів, грн./т; q_{e_i} – маса відходів, т; M_i – річна маса виробів, що оброблюються із використанням і-го оснащення, т.

1	2	3
Витрати на утримання виробничої площі, зайнятої устаткуванням	$C_{пл} = \sum_{i=1}^K \left(\frac{S_i C_{пл}}{\Phi_e Q_{год_i}} \right)$	S – площа, зайнята i -м устаткуванням, m^2 [36]; $C_{пл}$ – 500 грн./рік – витрати на утримання і ремонт $1 m^2$ виробничої площі
Інші цехові витрати: при ручній праці і малій ступені її механізації; при значній ступені механізації й автоматизації праці	$C_{ц} = L_{осн} q_{цц}$ $C_{ц} = \left(L_{осн} + A + C_{ес} + C_{ер} + C_{рем} \right) \cdot q'_{цц}$	$q_{цц} = 0,55 \dots 0,70$ – коефіцієнт, що враховує інші цехові витрати; $q'_{цц} = 1,2 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує інші цехові витрати від суми витрат на заробітну плату і витрат на експлуатацію устаткування
Ремонт	$C_{рем} = C_{рем.ел} + C_{рем.мех}$ $C_{рем.ел} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{P_{ел} C_{рем.ел}}{\Phi_e Q_{год_i}} \right)$ $C_{рем.мех} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{P_{мех_i} C_{р.мех_i}}{\Phi_e Q_{год_i}} \right)$	$C_{рем.ел}$, $C_{рем.мех}$ – вартість ремонту відповідно електричної і механічної частин, грн./т; $P_{ел}$, $P_{мех}$ – число одиниць ремонтної складності відповідно електричної і механічної частин устаткування; $C_{рем.ел}$, $C_{р.мех}$ – вартість утримання одиниць ремонтної складності відповідно електричної і механічної частин устаткування, грн./один.складн.

Примітка. При виконанні практичного заняття в розрахунку технологічної собівартості витрати на ремонт та інші цехові витрати не враховуються. Ціна на газ та електроенергію вказана станом на 2021 р.

При розрахунку річного економічного ефекту враховують лише ті статті технологічної собівартості і додаткових капітальних вкладень, що зазнали зміни при розробці нової техніки.

Розрахунок кількості основного і допоміжного устаткування.

Для вибору найбільш економічно ефективного варіанта технології термообробки розраховують капітальні вкладення по кожному з прийнятих варіантів. Для цього необхідно визначити число одиниць устаткування, що забезпечує виконання обраного варіанта технологічного процесу термічної обробки.

Для встановлення кількості устаткування визначають ефективний фонд часу одиниць устаткування Φ_e , що розраховується як різ-

ниця між номінальним фондом Φ_n і запроєктованими витратами часу на ремонт, налагодження і переналагодження устаткування впродовж року:

$$\Phi_e = \Phi_n (1 - K_p / 100), \quad (1.9)$$

де K_p – нормативні витрати часу на ремонт, налагодження і переналагодження устаткування, у відсотках, до номінального фонду; складають 4...10%.

Номінальний фонд часу Φ_n залежить від числа календарних і неробочих днів в році, кількості робочих змін і тривалості зміни:

$$\Phi_n = [(D_k - D_n)T_z - D_{пв}T_c]Z, \quad (1.10)$$

де D_k – число календарних днів в році;

D_n – число неробочих днів у році (святкових і вихідних);

T_z – тривалість робочої зміни, год.;

$D_{пв}$ – число передвихідних і передсвяткових днів зі скороченою тривалістю робочої зміни;

T_c – час, на який скорочується нормальна тривалість робочої зміни в передвихідні і передсвяткові дні, год.;

Z – кількість робочих змін у добі.

В залежності від режиму роботи основних цехів підприємства для термічних відділень і цехів машинобудівних заводів приймають переривчастий тримісний чи двозмісний режим роботи. Робота термічного підрозділу в одну зміну з економічної точки зору використання устаткування є нерентабельною.

Для термічних цехів металургійних заводів роботу устаткування планують за графіком у три зміни без зупинки на вихідні і святкові дні. У цьому випадку номінальний фонд часу роботи устаткування дорівнює календарному:

$$\Phi_n = D_k \cdot 24. \quad (1.11)$$

Для орієнтовних розрахунків можуть бути використані дані щодо ефективного фонду часу, наведені в табл. 1.2.

Розрахунок кількості устаткування можна робити за спрощеною методикою, тобто за продуктивністю печі $Q_{год}$, що вказується в характеристиці печі:

$$P_p = \frac{M_p}{\Phi_e Q_{год_i}}, \quad (1.12)$$

де P_p – розрахункова кількість печей, шт.;

M_p – річна виробнича програма, т;

$Q_{год}$ – годинна продуктивність печі, т/год.;

Φ_e – ефективний (дійсний) річний фонд часу роботи устаткування, год.

Таблиця 1.2 – Ефективний (Φ_e) річний фонд часу роботи термічного обладнання, год.

Тривалість циклу оброблення виробів та вид обладнання	Номінальний фонд, год	Прос-тої, %	Ефективний фонд, год	Номінальний фонд, год.	Прос-тої, %	Ефективний фонд, год.
	При 2 змінах			При 3 змінах		
При тривалому циклі оброблення виробів	-	-	-	8568	10	7710
При короткому циклі оброблення виробів на обладнанні: механізованому немеханізованому	4140	6	3890	6490	10	5840
	4140	4	3975	6210	6	5840
При обробленні виробів в електричних печах елеваторного типу	4140	5	3995	6210	8	5715
При безперервному режимі роботи обладнання				8760	11	7800

Розрахункова кількість печей, як правило, виходить дробною, тому для визначення кількості прийнятих печей це число варто округлити до цілого у більшу сторону. Коефіцієнт завантаження (K_z) устаткування

$$K_z = P_p / P_{пр} , \quad (1.13)$$

де P_p – розрахункова кількість печей, шт.;

$P_{пр}$ – прийнята кількість печей, шт.

Якщо розробка режимів і технології термічного оброблення спрямована на більш раціональне використання устаткування, тобто підвищення його продуктивності за рахунок скорочення зайнятості устаткування в процесі нагрівання і охолодження садки чи збільшення маси садки завдяки застосуванню відповідних пристосувань, то для визначення кількості устаткування роблять попередній розрахунок продуктивності печі за формулами, приведеними у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Розрахунок годинної продуктивності печей різних типів

Типи печей	Формули для розрахунку	Значення складових
Періодичні садочні печі	$Q_{год} = \frac{M_c}{\tau_{заг}}$ <p>для відпалу</p> $\tau_{заг} = \tau_n + \tau_{\theta} (\tau_{тех}) + \tau_{ох} + \tau_{зв}$ <p>для нормалізації (гартування)</p> $\tau_z = \tau_n + \tau_{\theta} + \tau_{зв}$	$Q_{год}$ – годинна продуктивність, т/год.; M_c – маса садки, т; $\tau_{заг}$ – загальний час обробки, год.; τ_n – час нагрівання, год.; τ_{θ} – час витримки, год.; $\tau_{ох}$ – час охолодження, год.; $\tau_{зв}$ – час на завантаження і вивантаження; $\tau_{тех}$ – технологічний час, год.
Штовхальні печі	$Q_{год} = \frac{60n_t M_{\partial}}{T}$; $T = \frac{\tau}{\gamma}$; $\gamma = \frac{L}{l}$	n_t – число деталей у передаточній партії чи на одному пристосуванні, шт.; M_{∂} – маса деталі, т, T – інтервал штовхання, хв; τ – час обробки, хв; γ – число пристосувань у печі чи передаточних партій, шт.; L – робоча довжина печі, м; l – довжина пристосувань чи передаточних партій, м/шт.
Печі безперервної дії (конвеєрні)	$Q_{год} = v\Pi_k$ $v = \frac{L}{\tau}$	v – швидкість переміщення конвеєра, м/год. ; Π_k – маса виробів на 1 п.м конвеєра чи іншого механізму, т/м; L – довжина робочої частини конвеєрної стрічки, м; τ – час обробки, год.

Кількість генераторних установок для нагрівання СВЧ

$$P_{p.y.} = \frac{M_p \tau_{шт-к}}{\Phi_e 60} , \quad (1.14)$$

де $P_{p.y.}$ – розрахункова кількість установок;

M_p – річна програма, шт.;

$\tau_{шт-к}$ – норма штучно-калькуляційного часу, хв;

Φ_e – ефективний фонд часу роботи одиниці устаткування, год.

Норма штучно-калькуляційного часу нагрівання визначається за формулою:

$$\tau_{um-\kappa} = \tau_{um} + \frac{\tau_{n-3}}{N},$$

$$\tau_{um} = (\tau_o + \tau_\partial) \times \left(1 + \frac{K_o}{100} \right), \quad (1.15)$$

де τ_{um} – норма штучного часу на гартування, хв;

τ_{n-3} – норма підготовчо-заклучного часу на всю партію оброблюваних виробів, за загальномашинобудівними нормативами часу на термічну обробку (нагрівання) СВЧ приймається 15,5 хв [24];

N – кількість виробів в оброблюваній партії, шт.;

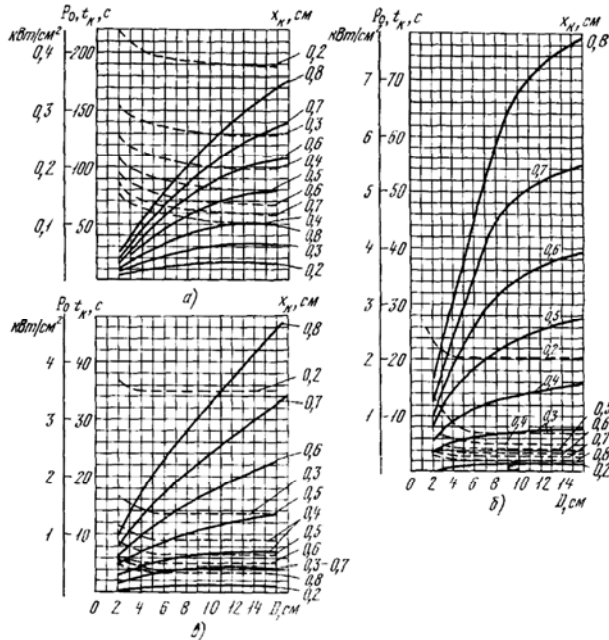
τ_o – норма основного часу (часу індукційного нагрівання та охолодження одного виробу), хв. У випадку одночасного і послідовного нагрівання СВЧ основний час індукційного нагрівання розраховується за формулою $\tau_o = (\tau_{он} + \tau_{ох}) \cdot i$ (де $\tau_{он}$ – норма одночасного нагрівання, хв; $\tau_{ох}$ – час охолодження, приймається рівним часу нагрівання, хв; i – число нагрівань при термообробці однієї деталі. При одночасному нагріванні $i = 1$, а при послідовному число нагрівань визначається в залежності від співвідношення розмірів деталі і поверхні, що нагрівається). В разі послідовного нагрівання, коли охолодження частини деталі після першого нагрівання відбувається під час нагрівання другої ділянки, основний час дорівнює $\tau_o = \tau_{он} + \tau_{ох}$;

τ_∂ – норма допоміжного часу (установки і зняття виробу), хв;

K_o – коефіцієнт, що враховує необхідний час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця, а також відпочинок і особисті потреби робітника, у % до оперативного часу (суми основного і допоміжного часу), за загальномашинобудівними нормативами часу на термічну обробку (нагрівання) СВЧ приймається 8...9% [24].

Час одночасного нагрівання $\tau_{он}$ і норма допоміжного часу τ_∂ визначаються в залежності від способу нагрівання згідно даним [23]. Час $\tau_{он}$ можна визначити по формулі (1.19) (див. далі).

Також для визначення режимів нагрівання СВЧ використовують розрахункові графіки. На рис.1.1 наведено приклад графіків при нагріванні поверхні до 900°C (середня температура для більшості вуглецевих та малолегованих сталей) [49].



а – 250 кГц; б – 8 кГц; в – 2,5 кГц; X_k – глибина загартованого шару, см
 Рисунок 1.1 – Залежність часу нагрівання τ_k (суцільні лінії) та питомої потужності P_0 (штрихові лінії) від діаметру D виробу, що нагрівається при різних частотах

Методика визначення часу та потужності установки СВЧ. Необхідно загартувати вал діаметром 80 мм на глибину $X_k = 4$ мм. З наведених даних в табл. 1.4 гартування необхідно проводити на установці з частотою 2500 Гц. Згідно графіку (рис.1.1, в) при $X_k = 4$ мм та $D = 80$ мм тривалість нагрівання становить близько 6 с, питома потужність $0,85 \text{ кВт/см}^2$.

Отримані дані використовують для проведення експериментального гартування з наступним корегуванням режимів.

В табл.1.5 наведені розрахункові дані режиму нагрівання циліндричних виробів діаметром до 20 мм [50].

Таблиця 1.4 – Залежність частоти току від діаметру виробу та необхідної глибини шару

Частота струму, Гц	Глибина нагрівання, мм	Мінімальні діаметри при нагріванні під гартування, мм	
		найменший можливий	найменший бажаний
50	15...80	100	200
1000	3...17	22	44
2500	2...11	14	28
4000	1,5...9	11	22
8000	1...6	8	16
10000	0,9...5,5	7	14
70000	0,3...2,5	2,7	5,4
400000	0,2...1	1,1	2,2

Примітка. Для гартування деталей на глибину до 2 мм раціонально використовувати лампові генератори (ВЧЗ 4-60/0,066; ВЧЗ 1-100/0,066; ВЧЗ 1-160/0,066; ВЧГ 7-160/0,44; ВЧГ 9-60/0,44; перша цифра після тире вказує на потужність в кВт, а друга – на частоту в МГц); на глибину 2...3 мм – лампові, машинні (ІЗ9-100/2,4; ІЗ9-200/2,4; ІЗ5-250/4; ІЗ1-160/4; ІЗ2-500/4; ІЗ10-100/8; ІЗ7-200/8; ІЗ2-250/10) та тиристорні перетворювачі (ТПЧ-800/1; ТПЧ-250/2,4 ТПЧ-500/2,4; ТПЧ-160/4; перша цифра після тире вказує на потужність в кВт, а друга – на частоту в МГц); більше 3 мм – машинні та тиристорні перетворювачі.

Таблиця 1.5 – Залежність часу нагрівання τ_n та питомої потужності P_0 від діаметру D циліндра та глибини загартованого шару X_k при частоті струму $f \geq 440 \text{ кГц}$

D, мм	X _k , см					
	0,1		0,2		0,3	
	τ_n , с	P_0 , кВт/см ²	τ_n , с	P_0 , кВт/см ²	τ_n , с	P_0 , кВт/см ²
5	0,77	0,85	-	-	-	-
10	1,47	0,80	3,14	0,42	4,25	0,33
15	1,60	0,80	4,53	0,41	6,90	0,28
20	1,90	0,80	5,90	0,39	8,50	0,28

Розрахунок часу нагрівання. Для визначення годинної продуктивності печі необхідно розрахувати час на нагрівання металу, що забезпечує не тільки нагрівання до заданої технологічної температури, але і повною мірою завершення усіх фазових перетворень.

Тому загальна тривалість обробки (див. табл.1.3)

$$\tau_{заг} = \tau_n + \tau_g(\tau_{max}) + \tau_{ох} + \tau_{зв} \quad (1.16)$$

де τ_i – див. у табл. 1.3.

Більшість операцій термічної обробки здійснюється груповими способами, тобто вироби в нагрівальні пристрої завантажують садками чи передаточними партіями в печі періодичної або безперервної дії.

Для визначення часу нагрівання металу τ_n можна використовувати методику наближеного розрахунку. Ця методика ґрунтується на тому, що садка металу складається з простих за формою виробів (куля, циліндр, призма та ін.), що укладенні в один чи кілька рядів з дотриманням визначених відстаней між виробами і без врахування негативної дії нерухомих прошарків середовища.

Тривалість нагрівання, хв:

$$\tau_n = S \cdot k \cdot f \cdot L_n, \quad (1.17)$$

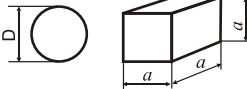
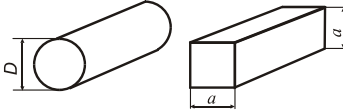
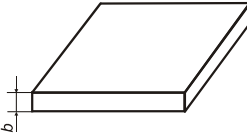
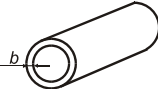
де S – характеристичний розмір виробу, мм (радіус циліндра, половина найменшої сторони призми й ін.);

k – коефіцієнт форми (табл. 1.6);

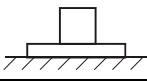
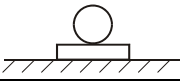
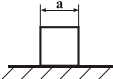
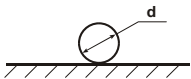
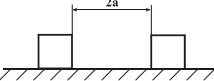
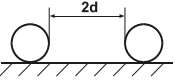
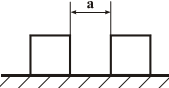

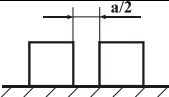
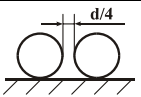
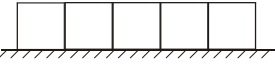

f – фактор розкладки виробів в печі, що впливає на час їх нагрівання (табл. 1.7);

L_n – коефіцієнт легування сталі (табл. 1.8).

Таблиця 1.6 – Коефіцієнти форми k деталей різних перетинів

Вид виробу	Коефіцієнт форми k
	0,75
	1,0
	2,0
	4 – для довгих труб або труб глухих; 2 – для коротких відкритих труб

Таблиця 1.7 – Значення коефіцієнта розташування f в залежності від форми виробів і їх розташування в печі

Форма і розташування виробів	f	Форма і розташування виробів	f
	1,0		1,0
	1,4		1,0
	1,8		1,3
	2,0		1,4
	2,2		1,7
	4,0		2,0

Таблиця 1.8 – Значення коефіцієнта легування L_L в залежності від ступеню легування сталі, температури нагрівання виробів і типу печі

Матеріал	Температура нагрівання, °C		
	600	850	1200
1	2	3	4
<i>Камерні печі</i>			
Конструкційна сталь:			
- нелегована	2,05(1,70)	0,80(0,70)	-
- легувана	2,15(1,80)	0,96(0,80)	-
Інструментальна сталь:			
- нелегована	2,05(1,70)	0,80(0,70)	-
- середньолегувана	2,35(1,95)	1,30(1,10)	-
- високолегувана	2,35(1,95)	1,44(1,20)	0,27(0,22)
Швидкорізальна сталь	2,70(2,25)	1,72(1,35)	0,54(0,45)
<i>Печі-ванни</i>			
Конструкційна сталь:			
- нелегована	0,35	0,33	-
- легувана	0,45	0,43	-

1	2	3	4
Інструментальна сталь:			
- нелегована	0,35	0,33	-
- середньолегована	0,45	0,43	-
- високолегована	0,48	0,45	0,11
Швидкорізальна сталь	0,50	0,47	0,18

Примітка. Без дужок – печі електричні, в дужках – печі паливні.

Час витримки τ_g при заданій температурі може бути прийнято рівним 1 хв на 1 мм умовного перетину для вуглецевих сталей і 1,5...2 хв для легованих сталей при нагріванні в електропечах чи паливних печах при відпусканні, нормалізації та гартуванні.

Можна визначити час витримки при гартуванні, а також при відпусканні за даними, приведеними у табл. 1.9 і 1.10.

Таблиця 1.9 – Тривалість витримки виробів в електричних печах

Умова товщина виробу, мм	Загальний час, хв.				Умова товщина виробу, мм	Загальний час, хв.			
	При гартуванні	При відпусканні, °C				При гартуванні	При відпусканні, °C		
		до 300	300...400	вище 400			до 300	300...400	вище 400
20	20	140	40	30	65	65	185	85	75
25	25	145	45	35	70	70	190	90	80
30	30	150	50	40	75	75	195	95	85
35	35	155	55	45	80	80	200	100	90
40	40	160	60	50	85	85	205	105	95
45	45	165	65	55	90	90	210	110	100
50	50	170	70	60	95	95	215	115	105
55	55	175	75	65	100	100	220	120	110
60	60	180	80	70					

Примітка. Час перебування визначено із розрахунків: при гартуванні 1 хв. на 1 мм товщини; при відпусканні до 300°C – 2 год. + 1 хв. на 1 мм товщини; при відпусканні (300...400) °C – 20 хв. + 1 хв. на 1 мм товщини; при відпусканні вище 400°C – 10 хв. + 1 хв. на 1 мм умовної товщини.

Загальна тривалість процесу цементації у твердому карбюризаторі залежить від необхідної глибини шару, розміру ящика і температури процесу. Орієнтовно можна прийняти, що для нагрівання до робочої температури приблизно 920°C на кожен сантиметр мінімального розміру ящика потрібно 7...9 хв. Час витримки ящику у печі (з момен-

ту досягнення температури цементації) орієнтовно визначається з розрахунку: 0,1 мм/год при глибині шару цементації більше 1,0 мм і 0,15 мм/год при глибині шару менше 1,0 мм. Дані про тривалість цементації у твердому карбюризаторі в залежності від розміру ящика і необхідної глибини шару приведені в табл.1.11.

Таблиця 1.10 – Тривалість витримки виробів в печах-ваннах

Умовна товщина виробу, мм	Загальний час, хв.			Умовна товщина виробу, мм	Загальний час, хв.				
	При гартуванні	При відпусканні, °С			При гартуванні	При відпусканні, °С			
		до 300	300...400			вище 400	до 300	300...400	вище 400
5	4	120	15...20	5	30	13	120	13...25	15
7	5			6	35	14			17
10	6			7	40	16			19
15	8			9	45	18			21
20	9			11	50	21			23
25	11			13					

Примітка. Час визначено із розрахунків: при гартуванні – 2,5 хв. + 0,3 хв. на 1 мм товщини виробу; при відпусканні вище 400°С – 3 хв. + 0,4 хв. на 1 мм товщини виробу.

Таблиця 1.11 – Тривалість цементації у твердому карбюризаторі при температурі 910...930°С в залежності від глибини шару і розмірів цементацийних ящиків.

Мінімальний розмір ящика, мм	Загальна тривалість процесу, год., при глибині шару, мм			
	0,5...0,7	0,7...0,9	0,9...1,2	1,2...1,5
100	4,0...6,0	5,0...6,0	6,0...7,5	7,5...9,0
150	4,5...6,5	5,5...6,5	6,5...8,5	9,0...11,0
200	5,5...7,5	6,5...7,5	7,5...9,5	10,0...12,0
250	6,5...7,5	7,5...8,5	8,5...10,5	11,0...14,0

Примітка. Ящики завантажуються у розігріту піч.

Загальна тривалість газової цементації складається із суми тривалості трьох періодів: нагрівання деталей до робочої температури, витримки при робочій температурі для одержання цементованого шару заданої глибини, а також часу підстужування, якщо воно передбачено технологією.

Час нагрівання до температури цементації розраховується за формулою (1.17), а тривалість другого періоду залежить від температури процесу, необхідної глибини шару та активності карбюризатора і визначається за формулою

$$\tau_{\text{тех}} = \frac{\bar{H}}{\bar{V}}, \quad (1.18)$$

де \bar{H} – середня глибина шару, мм;

\bar{V} – середня швидкість цементації, мм/год (табл.1.12).

В дрібносерійному та серійному виробництвах для газової цементації використовують шахтні печі періодичної дії, у камеру яких подаються рідини – бензол, піробензол, синтин, бутиловий спирт і ін. Дані про тривалість цементації при температурі 930°C в шахтних печах приведені в табл. 1.13.

Таблиця 1.12 – Середні швидкості газової цементації вуглецевих сталей в залежності від температури цементації та глибини шару

Глибина шару, мм	Середня швидкість цементації, мм/год., при температурі, °C				
	900	925	950	975	1000
до 0,50	0,22	0,27	0,37	-	-
0,50...1,00	0,15	0,20	0,27	0,37	0,47
1,00...1,50	0,10	0,15	0,20	0,27	0,37
1,50...2,00	0,10	0,12	0,15	0,70	0,27
2,00...2,50	0,07	0,10	0,12	0,15	0,20

Примітка. Середня швидкість цементації легованих сталей нижче ніж вуглецевих в 1,1...1,5 рази в залежності від рівня легування

Таблиця 1.13 – Тривалість газової цементації в шахтних печах при температурі 930°C в залежності від глибини шару та карбюризатора

Глибина шару, мм	Тривалість цементації, год., в залежності від карбюризатора		
	Піробензол	Гас	Синтин
0,5...0,7	3...4	3...4	2...3
0,7...1,0	4...6	5...7	3...4
1,0...1,3	6...8	7...9	5...6
1,3...1,6	8...10	9...11	6...8
1,6...1,9	10...14	11...15	9...12

Процес ціанування в більшості випадків здійснюється при температурі 830...860°C. В залежності від глибини шару середню швид-

кість можна прийняти 0,1...0,2 мм/год. Верхня границя відноситься до шарів глибиною до 0,5...0,6 мм, а нижня – глибиною 1,0...1,5 мм.

Необхідно зазначити, що ефективна глибина шару при ціануванні не повинна перевищувати 1,0 мм, тому що при товщині шару вище цієї границі імовірно утворення різних дефектів в структурі, що значно знижує міцність.

У той же час, завдяки наявності азоту в ціанованому (нітроцементованому) шарі, деталі мають значно кращі показники міцності, твердості, зносостійкості, ніж після цементації. Тому товщина шару при нітроцементації призначається меншою, ніж при цементації для того самого виду деталей, що робить цей процес більш економічно вигідним оскільки скорочується час насичення.

Норма основного часу індукційного нагрівання СВЧ

$$\tau_{он} = \frac{F_o R^2}{a}, \quad (1.19)$$

де F_o – коефіцієнт Фур'є [22, 31];

R – радіус чи половина товщини деталі, м;

a – коефіцієнт температуропровідності матеріалу виробу, м²/с.

$$a = \lambda / (c \cdot \rho). \quad (1.20)$$

де λ – середній коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К) [22, 51];

c – середня теплоємність сталі, кДж/(кг·К) [22, 51];

ρ – густина сталі, кг/м³ [22, 51].

Для виробів, що нагріваються в печах-ваннах, час нагрівання (наскрізного прогрівання) розраховується за формулою [34]:

$$\tau_n = K_I \left(\frac{V}{F} \right) K_\phi K_i \quad (1.21)$$

де K_I – коефіцієнт, що характеризує питомий час прогрівання та залежить від матеріалу виробу та умов нагрівання, хв/см. Для виробів, що попередньо підігріті до температур 400...500°C в середньотемпературних соляних ваннах K_I може бути розрахований за емпіричною формулою $K_I = 12,5 - 0,025(t_n - 800)$, де t_n – температура нагріву, °С. Для виробів, що попередньо підігріті до температур 860...880°C в високотемпературних соляних ваннах K_I може бути розрахований за емпіричною формулою $K_I = 8 - 0,013(t_n - 1000)$. Значення коефіцієнта K_I

в залежності від складу середовища та температури для деяких марок сталей наведено в табл.1.14.

K_ϕ – критерій форми. Формули для розрахунку наведені в табл.1.15;

V/F – характеристичний розмір. Формули для розрахунку наведені в табл.1.16;

K_i – поправка на ізрізаність канавками фасонної робочої частини інструментів, наведена в табл.1.17.

Таблиця 1.14 – Значення коефіцієнта K_i при нагріванні інструментальних сталей в різних середовищах

Марка сталі	Температура нагрівання, °C	K_i , хв./см, при нагріванні в розплавах		Питомий час прогрівання mK_1 в середовищах			
		78%BaCl ₂ + +22%NaCl*	78%BaCl ₂ **	44%NaCl+ +56%KCl*	100%NaCl*	Свинець*	Повітряне середовище
Вуглецева та низьколегована	800	12,5	-	0,9K ₁	1,2K ₁	0,5K ₁	3K ₁ – 5K ₁ (в залежності від типу та потужності печі)
	850	11,3					
	870	10,8					
	900	10,0					
	950	8,8					
Середньолегована (високо-хромиста та інші)	1000	-	8,0	-	-	-	-
	1050		7,4				
	1100		6,7				
	1150		6,0				
Високолеговані (швидкорізальні та інші)	1180	-	5,7	-	-	-	-
	1200		5,4				
	1210		5,3				
	1220		5,1				
	1230		5,0				
	1240		4,9				
	1250		4,8				
	1274		4,4				
	1300		4,1				
	560		10,3***				

Примітка. * – попередній підігрів до 400...500°C; ** – попередній підігрів до 860...800°C в соляному розчині; *** – нагрівання до температури відпуску в розплаві KNO₃.

Таблиця 1.15 – Формули для розрахунку K_ϕ

Тіло	Співвідношення розмірів тіла	Формула для розрахунку K_ϕ	K_ϕ при		
			$H \rightarrow 0$	$H = D$ або $H = D - d$	$H \rightarrow \infty$
1	2	3	4	5	6
Довгий суцільний циліндр	$\frac{D}{H} \leq 1$	$1 + 0,2 \frac{D}{H}$	-	1,2	1
Короткий суцільний циліндр	$\frac{H}{D} \leq 1$	$1 + 0,2 \frac{H}{D}$	1	1,2	-
Довгий полий циліндр	$\frac{D-d}{H} \leq 1$	$1 + 0,2 \frac{D-d}{H}$	-	1,2	1
Короткий полий циліндр (кільце)	$\frac{H}{D-d} \leq 1$	$1 + 0,2 \frac{H}{D-d}$	1	1,2	-
Шар	-	$K_\phi = 1$	-	-	-
Паралелепіпед	$C \leq B \leq A$	$1 + 0,2 \left(\frac{C}{B} + \frac{C}{A} \right)$	-	1,40*	1**
Куб	-	-	-	1,40*	-
Циліндр Архімеда	$D = H$	-	-	1,2	-
Довгі прямі правильні призми з числом граней N:	$\frac{D}{H} \leq 1$	$1 + 0,2 \frac{D}{H} + \frac{1}{N+1}$	-	-	-
три	-	$1,25 + 0,2 \frac{D}{H}$	-	1,45	1,25
чотири		$1,20 + 0,2 \frac{D}{H}$	-	1,4	1,2
шість		$1,13 + 0,2 \frac{D}{H}$	-	1,33	1,13
Короткі прямі правильні призми з числом граней N:	$\frac{H}{D} \leq 1$	$1 + \frac{H}{D} \left(0,2 + \frac{1}{N+1} \right)$	-	-	-

1	2	3	4	5	6
три	-	$1 + 0,45 \frac{H}{D}$	1	1,45	-
чотири		$1 + 0,40 \frac{H}{D}$	1	1,40	-
шість		$1 + 0,33 \frac{H}{D}$	1	1,33	-

Примітка. * – при $C = A = B$ (куб); ** – при $B \rightarrow \infty$ $A \rightarrow \infty$

Таблиця 1.16 – Співвідношення об'єму до поверхні для тіл простої форми

Тіло	Прийнятий мінімальний розмір (D або C), см	Інші розміри, см	Формула для розрахунку V/F
Шар	діаметр	-	$\frac{D}{6}$
Куб	ребро	-	$\frac{D}{6}$
Суцільний циліндр	діаметр	висота H	$\frac{DH}{4H + 2D}$
Пряма призма, основа якої має вигляд правильного многогранника (трикутник, квадрат, шестикутник та інші)	діаметр вписаного кола	висота H	$\frac{DH}{4H + 2D}$
Полий циліндр (кільце)	зовнішній діаметр	внутрішній діаметр d	$\frac{(D - d)H}{4H + 2(D - d)}$
Пластина	товщина пластини C	Габаритні розміри C, B, A	$\frac{ABC}{2(AB + AC + BC)}$

Примітка. Для розрахунків використовувати розміри в см.

Таблиця 1.17 – Значення коефіцієнта K_i для різних інструментів

Інструмент	K_i	Інструмент	K_i
1	2	3	4
Різбонакатні ролики та інші різбонакатні інструменти; напилки та надфілі; відрізни фрези	0,9	Черв'ячні, різьбові насадні та торцеві насадні фрези	0,65

1	2	3	4
Ножі; плоскі різбові плашки	0,85	Пазові, одно- та двокутові, дискові тристоронні, напівкруглі випуклі та увігнуті фрези; насадні зенкери; корпусу складених інструментів	0,7
Циліндричні фрези; шевери; дискові доб'яки	0,75	Всі гладкі тіла, що не мають канавок	1,0
Круглі плашки	0,45	Напилки круглі	0,9

Ізотермічна витримка ($\tau_{i.e}$) при нагріванні в соляних ваннах може бути розрахована за емпіричними формулами:

для заевтектійних вуглецевих та низьколегованих сталей

$$\tau_{i.e} = 1 + 0,6Cr + 0,4W + 3V - 0,04(t_{\phi} - t_{роз}) \quad (1.22)$$

для високохромистих ледебуритних сталей

$$\tau_{i.e} = 0,2Cr + 0,5W + V + Mo - 0,03(t_{\phi} - t_{роз}) \quad (1.23)$$

для швидкорізальних сталей

$$\tau_{i.e} = 0,08W + 0,2V + 0,15Mo - 0,024(t_{\phi} - t_{роз}) \quad (1.24)$$

де Cr , W , V , Mo – вміст компонентів, %;

t_{ϕ} та $t_{роз}$ – фактична та розрахункова температури нагрівання, °С.

Дозволяє вносити поправку $\Delta\tau_{i.e}$ до загального часу нагрівання для розрахункової температури гартування.

Для вуглецевих сталей $\tau_{i.e}$ розраховано по формулі (1.24) становить 1 хв.

Для інструментів з швидкорізальних сталей співвідношення часу витримки при підігрівах до 500 та 860°С та остаточному нагріванні становить 3:2:1; при підігріванні до 1050...1100°С та остаточному нагріванні – 1:1. Для вуглецевих та малолегованих сталей співвідношення повинно бути не менш ніж 2:1.

Крім зазначених формул і приведених таблиць, для визначення часу нагрівання можна, а іноді необхідно, використовувати й інші літературні джерела, що містять рекомендації щодо розрахунку часу нагрівання [5, 12–14, 17, 20, 21, 23, 25, 27–29, 32–34, 40, 42, 43, 46–48].

Економічне обґрунтування вибору технологічного процесу термічної обробки (приклад розрахунку). Поковки зубчастих коліс зі сталі 45 діаметром 200 мм, товщиною 100 мм і масою 24,5 кг для зниження твердості, поліпшення оброблюваності різанням, усунення крихкості піддають термічній обробці на твердість HB ≤ 200.

Визначити річний економічний ефект від застосування оптима-

льного варіанта термічного оброблення на річну програму 5000 т.

Виходячи з вимог, що висуваються до механічних і технологічних властивостей сталі, заготовку можна піддати повному відпалу чи нормалізації при температурі нагрівання 820...850°C ($A_{c3} = 770^\circ\text{C}$).

Нагрівання сталі вище критичної точки A_{c3} забезпечить повну фазову перекристалізацію перегрітої структури, що приведе до подрібнення зерна аустеніту, зниження крихкості і підвищення міцності. Наступне уповільнене охолодження з піччю чи на повітрі з оптимальних температур повинне забезпечити одержання більш рівноважної структури перліту та фериту, зниження твердості і поліпшення оброблюваності заготовки різанням.

Розглянемо наступні варіанти технології термічної обробки:

I варіант. Відпал з нагріванням заготовок в камерній печі типу СНЗ-8.16.5/10 і наступним охолодженням з піччю до 550°C зі швидкістю 100°C/год;

II варіант. Нормалізація з нагріванням заготовок у камерній печі типу СНЗ-8.16.5/10;

III варіант. Нормалізація з нагріванням заготовок у камерній печі з висувним подом типу СДО-14.28.10/10.

Економічна ефективність розраховується за формулою (1.7). Базовим приймається той варіант, по відношенню до якого визначається економічна ефективність.

Для розрахунку економічної ефективності насамперед варто розрахувати капіталовкладення по кожному варіанту термічного оброблення. Для цього необхідно визначити кількість печей, що забезпечать термічну обробку заданої програми, попередньо підрахувавши масу садки M_c , загальний час нагрівання садки $\tau_{заг}$, тобто зайнятість печі, і годинну продуктивність печі $Q_{год}$. Розрахунок маси садки, часу нагрівання і продуктивності печі приведено у табл. 1.18.

Час нагрівання садки

$$\tau_n = S \cdot k \cdot f \cdot L_n / 60,$$

де S – характеристичний розмір виробу (половина меншої товщини), за яким відбувається прогрів виробу, мм. Для поковки зубчастого колеса $S = 50$ мм, тобто дорівнює половині товщини заготовки;

k – коефіцієнт форми. Для циліндра $k = 1$ (табл. 1.6);

f – фактор розкладки виробів у печі (табл. 1.7): для печі типу СНЗ $f = 4$; для печі типу СДО $f = 4$;

L_d – коефіцієнт легування сталі (табл. 1.8).

На наступному етапі розраховують капітальні вкладення за кожним варіантом термічної обробки (табл. 1.19).

Для розрахунку технологічної собівартості необхідно визначити статті витрат для розглянутих варіантів. Усі дані для розрахунку окремих статей витрат підібрані і внесені в табл. 1.20. Розрахунок виконано за формулами, приведеними у табл. 1.1.

Таблиця 1.18 – Розрахунок часу нагрівання, маси садки і продуктивності печі

Найменування розрахункових величин	Формула для розрахунку	I варіант – відпал СНЗ-8.16.5/10	II варіант – нормалізація СНЗ-8.16.5/10	III варіант – нормалізація СДО-14.28.10/10
Садка печі, т (див. примітку)	$M_c = n \cdot M_3$	36·0,0245 = 0,882	36·0,0245 = 0,882	198·0,0245 = 4,851
Час нагрівання, год (див. формули 1.15, 1.16, 1.17, 1.18, 1.19, 1.21, 1.23, 1.24, 1.25 та примітку)	Для відпалу $\tau_{заг} = \tau_n + \tau_g + \tau_{ох} + \tau_{зв}$ Для нормалізації $\tau = \tau_n + \tau_g + \tau_{зв}$	(50·1·0,8·4)/60 + (50·1)/60 + 3 + 0,5 = 6,99 ≈ 7 год	(50·1·4·0,8)/60 + (50·1)/60 + 0,5 = 3,99 ≈ 4 год	(50·1·4·0,8)/60 + (50·1)/60 + 1 = 4,5 год
Годинна продуктивність печі, т/год (табл. 1.3)	$Q_{год} = \frac{M_c}{\tau}$	0,882/7,0 = 0,126	0,882/4,0 = 0,221	4,851/4,5 = 1,078

Примітка. 1) n – число заготовок, покладених на під печі, шт. Завантаження заготовок у піч здійснюється на піддонах. Вони укладаються на опорну площу рядами. У камерних печах СНЗ-8.16.5/10 заготовки розташовані на піддоні в три ряди, двома ярусами (2 піддони), укладання щільне до зіткнення по зовнішній поверхні. У печі з висувним подом СДО-14.28.10/10 заготовки розташовані в чотири ряди й у три яруси (на 4 піддонах). Відстань від заготовок до стінок печі – не менш 100 мм. По розкладці кількість заготовок (садка) складає: для печі типу СНЗ $n=36$ шт.; для печі типу СДО $n=198$ шт.; 2) M_3 – маса заготовки, т; 3) τ – загальний час зайнятості печі при термообробці однієї садки, год.; 4) τ_n – час нагрівання садки до заданої температури, год.; 5) τ_g – час витримки при технологічній температурі, год.; 6) $\tau_{ох}$ – час охолодження садки з піччю при відпалюванні, год. В обраному режимі відпалювання охолодження відбувається від 850 до 550°C зі швидкістю 100°/год.. Отже, час охолодження складає 3 год.; 7) $\tau_{зв}$ – невраховані втрати часу (на завантаження і вивантаження); призначаються за практичними даними. Для камерної печі СНЗ-8.16.5/10 - $\tau_{зв}=0,5$ год., для печі СДО-14.28.10/10 $\tau_{зв}=1$ год.

Таблиця 1.19 – Розрахунок капітальних вкладень

№ п/п	Найменування розрахункових показників	Формула для розрахунку	I варіант відпал СНЗ-8.16.5/10	II варіант нормалізація; СНЗ-8.16.5/10	III варіант нормалізація СДО-14.28.10/10
1	Розрахунок кількості печей, шт. (формула 1.12)	$P_p = \frac{M_p}{\Phi_e Q_{200} i}$	5000/(5840××0,126) = 6,79	5000/(5840××0,221) = 3,87	5000/(5840××1,078) = 0,79
2	Кількість прийнятих печей, шт.	$P_{np.}$	7	4	1
3	Коефіцієнт завантаження печей (формула 1.13)	K_3	0,97	0,97	0,79
4	Капітальні вкладення, грн.	$K_i = P_{np} \cdot B_{\sigma}$ (B_{σ} – балансова вартість, див. додаток А)	$K_1 = 7 \cdot 550000 = 3850000$	$K_2 = 4 \cdot 550000 = 2200000$	$K_3 = 1 \cdot 820000 = 820000$
5	Питомі капітальні вкладення, грн./т (формула 1.4)	$K_i' = \frac{K_i}{M_p}$	3850000/5000 = 770,0	2200000/5000 = 440,0	820000/5000 = 164,0

Таблиця 1.20 – Вихідні дані для розрахунку технологічної собівартості 1 т продукції

№ п/п	Показники для розрахунку	Умовні позначки показників	I варіант СНЗ-8.16.5/10	II варіант СНЗ-8.16.5/10	III варіант СДО-14.28.10/10	Джерело приведеного показника
1	2	3	4	5	6	7
1	Річна виробнича програма, т	M_p	5000	5000	5000	Завдання
2	Продуктивність печі (розрахункова), т/год.	Q_{200}	0,126	0,221	1,078	Табл. 1.18
3	Розряд робіт терміста	-	5	5	5	Додаток В
4	Тарифна ставка при почасовій оплаті, грн./год	$L_{тар}$	118,33	118,33	118,33	Додаток В
5	Норма обслуговування печей, чол.	P_i	3	2	1	Додаток Б
6	Коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату	q_{∂}	0,1	0,1	0,1	Табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7
7	Коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування	q_{cc}	0,32	0,32	0,32	Табл. 1.1
8	Установча потужність нагрівачів, кВт	N_{yn}	81	81	300	Додаток А
9	Коефіцієнт використання установчої потужності	q_n	0,6	0,6	0,6	Табл. 1.1
10	Вартість електроенергії для промислових нагрівальних пристроїв, грн./кВт-год.	C_e	2,5	2,5	2,5	Табл. 1.1
11	Балансова вартість одиниці устаткування, грн.	B_o	550000	550000	820000	Додаток А
12	Річна норма амортизації, %	a	18,8	18,8	18,8	Табл. 1.1
13	Ефективний річний фонд роботи устаткування, год.	Φ_e	5840	5840	5840	Табл. 1.2
14	Нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності	E_n	0,15	0,15	0,15	формула (1.1)
15	Площа, зайнята устаткуванням, м ² (див. примітку)	S	155,8	89,04	79,3	[36]
16	Річні витрати на поточний ремонт і утримання виробничої площі, грн./м ²	$C_{пл}$	500	500	500	Табл. 1.1

Примітка. Площа S зайнята устаткуванням – добуток площі для однієї печі на кількість печей на програму (з розрахунку).

За отриманими розрахунковими даними величини питомих капітальних вкладень (табл. 1.19) і технологічної собівартості 1т термообробленої продукції (табл. 1.21) визначається економічна ефективність при порівнянні наступних варіантів термічної обробки (I варіант обраний як базовий):

Для варіантів I і II (відпал і нормалізація в печах типу СНЗ-8.16.5/10):

$$E_{p1,2} = \left[(C'_1 - C'_2) - E_n (K'_2 - K'_1) \right] M_p = \\ = \left[(4563,86 - 2656,79) - 0,15(440 - 770) \right] 5000 = 9783000 \text{ грн}$$

Економічний ефект при використанні печі типу СНЗ отриманий за рахунок скорочення часу термічної обробки на 3 год при переході з відпалення на нормалізацію ($\tau = 3$ год. час охолодження садки з піччю до 550°C).

Для варіантів I і III (відпал у камерній печі СНЗ-8.16.5/10 і нормалізація в печі з висувним подом СДО-14.28.10/10):

$$E_{p1,3} = [(4563,86 - 706,44) - 0,15(164 - 770)]5000 = 19741600 \text{ грн.}$$

При заміні відпалювання на нормалізацію в печі типу СДО економічний ефект склав 19741600 грн за рахунок скорочення часу оброблення та застосування більш продуктивного устаткування при нормалізації.

Таким чином, розрахунки показали, що для зниження собівартості термічної обробки 1 т поковок зі сталі 45 варто застосовувати нормалізацію як більш економічно вигідну операцію в порівнянні з відпалом. Причому нагрівання варто виконувати в більш продуктивному устаткуванні, тобто в печах камерних з висувним подом. При цьому забезпечується більш зручне завантаження і вивантаження садки і собівартість термічної обробки знижується приблизно в 3,8 рази (табл. 1.21).

Таблиця 1.21 – Розрахунки технологічної собівартості термічного оброблення продукції (пояснення до розрахункових формул наведені в табл.1.1)

№	Стаття затрат	Формула для розрахунку	I варіант – відпал СНЗ-8.16.5/10	II варіант – нормалізація СНЗ-8.16.5/10	III варіант - нормалізація СДО-14.28.10/10
1	2	3	4	5	6
1	Основна заробітна плата основних робочих, грн./т	$L_{осн} = \frac{\sum_{i=1}^k L_{тар_i} P_i q_{пр}}{Q'_{zod_i}}$ $Q'_{zod_i} = П_{пр} \cdot Q'_{zod}$	(118,33·3·1,1)/(7·0,126) = 442,73	(118,33·2·1,1)/(4·0,221) = 294,49	(118,33·1·1,1)/1,078 = 120,75
2	Додаткова заробітна плата основних робочих, грн./т	$L_{\partial} = q_{\partial} L_{осн}$	0,1·442,73 = 44,273	0,1·294,49 = 29,449	0,1·120,75 = 12,075
3	Відрахування на соціальне страхування, грн./т	$L_{cc} = q_{cc} (L_{осн} + L_{\partial})$	0,32 (442,73 + 44,273) = 155,84	0,32 (294,49 + 29,449) = 103,66	0,32 (120,75 + 12,075) = 42,504
4	Заробітна плата допоміжних робітників з нарахуваннями, грн./т	$L_{дон} = q_{дон} \left(\begin{matrix} L_{осн} + \\ + L_{\partial} + \\ + L_{cc} \end{matrix} \right)$	0,3 (442,73 + 44,273 + 155,84) = 192,85	0,3 (294,49 + 29,449 + 103,66) = 128,28	0,3 (120,75 + 12,075 + 42,504) = 52,59
5	Допоміжні матеріали для технологічних цілей (ендогаз), грн./т	$C_{\partial m} = \sum_{i=1}^m \frac{K_{\partial i} \times \Pi_{\partial m i}}{Q'_{zod_i}}$	(12·26)/0,126 = 2476	(12·26)/0,221 = 1412	—

1	2	3	4	5	6
6	Електроенергія на технологічні цілі, грн./т	$C_e = \frac{N_{ун} q_H \Pi_e}{Q_z}$	(81·0,6·2,5)/0,126 = 964,29	(81·0,6·2,5)/0,221 = 549,77	(300·0,6·2,5)/1,078 = 417,44
7	Силова електроенергія, грн./т	$C_{ec} = \frac{N_{ун} q_{дн} q_{дч} \Pi_e}{Q_z \eta}$	(1,5·0,6·0,7·2,5)/ /(0,126·0,9) = 13,89	(1,5·0,6·0,7·2,5)/ /(0,221·0,9) = 7,99	(2,5·0,6·0,7·2,5)/ /(1,078·0,9) = 2,71
8	Технологічне оснащення, грн./т	$C_{осн} = \frac{q_{осн} \Pi_{осн} - q_в \Pi_в}{M_p}$ $q_{осн} = 0,5 \text{ кг} / \text{ м}$	(2,5·60000 – 2,0·6000)/ /5000 = 27,6	(2,0·60000 – 1,5·6000)/ /5000 = 22,2	(2,5·60000 – 2,0·6000)/ /5000 = 27,6
9	Амортизація устаткування, грн./т	$A = \frac{B_0 a}{\Phi_e Q_{zод} 100}$	(550000·18,8)/(5840·0,126× ×100) = 140,52	(550000·18,8)/(5840·0,221 × ×100) = 80,12	(820000·18,8)/(5840·1,078× ×100) = 24,48
10	Витрати на утримання виробничої площі, грн./т	$C_{пл} = \frac{S \Pi_{пл}}{\Phi_e Q_z}$ S – добуток площі однієї печі на кількість печей на програму	(155,8·500)/ /(5840·0,126) = 105,87	(89,04·500)/ /(5840·0,221) = 34,49	(79,3·500)/ /(5840·1,078) = 6,29
11	Технологічна собівартість 1 т виробів, грн.	$C_i^/$ - сума витрат за статтями (сума по колонці для відповідного обладнання)	4563,86	2656,79	706,439
12	Технологічна собівартість річної програми, грн.	$C_i = C_i^/ M_p$ (формула 1.2)	22819315	13283945	3532195

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Опанувати методику визначення економічної ефективності від використання більш прогресивної технології термічної обробки.
2. Отримати від викладача індивідуальне завдання для виконання роботи.
3. Підготувати форми табл. 1.18–1.21.
4. Підготувати вихідні дані щодо матеріалів виробів, їх технології термічної обробки, технічних характеристик обладнання.

Контрольні запитання для самоперевірки

1. Навести вихідні дані щодо матеріалів, котрі необхідні для розробки технологічних процесів термічної обробки.
2. В якій послідовності і яким чином визначають основні параметри термічної обробки ?
3. Як визначати необхідну кількість обладнання для обробки річної програми?
4. Наведіть перелік складових для визначення цехової технологічної собівартості термічної обробки та поясніть їх сутність.
5. Як визначають капітальні вкладення та питомі капітальні вкладення ?
6. Як розрахувати основну та додаткову зарплату основних робітників, заробітну плату допоміжних робітників ?
7. Яким чином визначають питомі втрати на технологічні матеріали?
8. Як визначають та що означає амортизація устаткування, які чинники впливають на її абсолютну величину ?
9. Що в розглянутих варіантах термічної обробки спрямовано на ресурсо- та енергозбереження ? Як це позначається на технологічній собівартості?
10. Як розраховувати економічний ефект від використання більш прогресивної технології, прогресивного обладнання ?

Порядок виконання роботи і оформлення звіту

При виконанні завдання насамперед необхідно ознайомитися з методикою розрахунку економічного ефекту, а також порядком розрахунку собівартості термічної обробки і т готової продукції. При цьому необхідно враховувати, що при розрахунку річного економічного ефекту порівнюють тільки ті статті технологічної собівартості і додат-

кових капітальних вкладень, що зазнали зміни при розробці порівняльних варіантів термічної обробки.

Вибір режимів і складання технології для порівнюваних варіантів термічної обробки. Відповідно до завдання розробляють повний технологічний процес термічної обробки; основні операції і режими термічної обробки, допоміжні операції технологічного процесу і їхні режими, вибирають основне і допоміжне устаткування, спосіб завантаження і методи контролю.

Приймається спосіб укладання (завантаження) виробів у нагрівальний пристрій, наводиться ескіз садки.

При розробці основних і допоміжних операцій технологічного процесу необхідно вказати склад середовищ, у яких відбувається нагрівання виробів, насичення поверхні виробу при хіміко-термічній обробці, охолодження, промивання та очищення виробів.

У зв'язку з цим для кожного варіанта необхідно скласти технологічну карту по наступному спрощеному зразку (табл. 1.22).

Таблиця 1.22 – Карта технологічного процесу термічної обробки

Ескіз виробу			Технічні вимоги			
			Марка сталі		Твердість	Структура
			Робоча частина			
			Хвостова частина			
№ операції	Назва операції, переходу	Обладнання	Режим нагрівання: температура, °С; час, хв., середовище та його витрати	Режим охолодження: середовище, його температура; склад, витрати; тривалість, хв..	Назва пристосування, кількість, шт.	Умови обробки та контролю

На підставі даних технологічних карт необхідно проаналізувати технологічні операції для порівняльних варіантів і виділити ті з них, що мають відмінності між собою (час обробки, використані матеріали, устаткування, введення додаткових операцій і ін.). Ці дані і складають основу розрахунку річного економічного ефекту від застосування більш економічного варіанту термічної обробки.

Розрахунок економічної ефективності. Щоб з'ясувати економі-

чну ефективність, необхідно розрахувати масу садки, час її нагрівання, а також продуктивність печі для визначеної операції термічної обробки (табл. 1.18). Варто враховувати, що розрахунок часу нагрівання залежить від виду термічної обробки, матеріалу і форми виробів нагрівального пристрою та укладання виробів у ньому (табл. 1.6-1.8), а розрахунок продуктивності печі залежить від її типу (табл. 1.3).

Потім згідно табл. 1.2 встановлюється ефективний річний фонд часу роботи устаткування, розраховується кількість печей і визначаються питомі капітальні вкладення на програму (табл. 1.19).

У той же час варто брати до уваги, що відповідно до завдання й обраної технології термообробки може застосовуватися два чи більше видів устаткування по кожному варіанту. Тому табл. 1.18 і 1.19 зазначають відповідних змін, а послідовність розрахунку збережеться.

Для розрахунку технологічної собівартості термічної обробки 1 т продукції необхідно визначити статті витрат і скласти відомість (табл. 1.21). Для розрахунків відповідно цій таблиці варто попередньо вибрати необхідні дані й оформити їх у виді табл. 1.20.

Потім по формулі (1.7) зробити розрахунок річного економічного ефекту від застосування більш ефективного технологічного процесу термічної обробки.

На завершення необхідно надати порівняльну оцінку більш ефективному варіанту термічної обробки з точки зору забезпечення необхідного рівня властивостей, геометрії і чистоти поверхні виробів, що обробляються. З огляду на величину економічного ефекту для заданої програми, варто зробити висновок про доцільність його впровадження.

Зміст звіту

1. Сутність методики розрахунків цехової собівартості термічної обробки виробів.

2. Стислий аналіз завдання, табл. 1.18 – 1.22 із результатами розрахунків.

3. Аналіз отриманих даних технологічної собівартості по кожному варіанту, основних витратних статей, висновки, рекомендації щодо зниження собівартості, економічний ефект від використання більш прогресивної технології.

Рекомендована література

2, 5, 12–14, 15, 17–40, 42, 43, 45–50, 52, 53.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Оптимізація вибору матеріалів для типових виробів за різними критеріями

Мета роботи: навчитися аналізувати вибір матеріалів для різних виробів на підставі відносної маси виробів, питомої міцності та вартості матеріалів із врахуванням вимог до надійності виробів та статистичних показників властивостей матеріалів.

Загальні положення

Зниження матеріалоємності виробів, вузлів машин та приладів, зменшення витрат матеріалів за умови забезпечення надійності та довговічності продукції завжди буде актуальною задачею машинобудування. Це дозволяє не лише отримати певні економічні переваги, але в багатьох випадках реалізувати конструкторські рішення. Матеріалоємність виробів в значній мірі визначається вибором матеріалу, який базується на співставленні властивостей матеріалів, їх відповідності умовам експлуатації, врахуванні змін структури, хімічного складу та властивостей впродовж експлуатації. Подібний підхід використовувався і при вирішенні навчальних задач в курсових проектах із термічної обробки, спеціальних сталей та сплавів ГТУ, в курсовій роботі із механічних властивостей матеріалів та конструкційної міцності виробів.

Подібний спеціальний підхід до вибору матеріалів повинен бути доповнений кількісними оцінками оптимальності вибору матеріалу при одночасному врахуванні технології виготовлення виробу, в тому числі і термічної обробки. Системний підхід до виробу, що характеризується певним призначенням, дозволяє здійснити вибір варіанта, котрий забезпечує найвищу ступінь його ефективності.

Оптимізація вибору матеріалу із врахуванням надійності виробу. Надійність виробів – це складна властивість, що характеризує безвідмовність, здатність до тривалого зберігання, ремонтпридатність. Надійність залежить від багатьох чинників, тому в більшості випадків оцінюється імовірнісними характеристиками. Так, наприклад, безвідмовність визначається як імовірність того, що дія (механічна, теплова, хімічна і т.ін.), що може виникнути в процесі експлуатації та викликати відмову, не перевищує здатності виробу протистояти появі відмови:

$$P = \text{імов}(R > Q) = \text{імов}[(R - Q) = z > 0],$$

де, R – несівна здатність виробу (здатність об'єкта зберігати під час дії навантаження стан, що відповідає його функціональному призначенню);

Q – експлуатаційне (в тому числі і екстремальне) навантаження;

z – функція роботоспроможності виробу ($z > 0$ – обов'язкова умова роботоспроможності).

В загальному випадку несівна здатність виробів та експлуатаційні навантаження залежать від багатьох чинників і тому мають випадковий характер. Вони можуть бути:

- випадковими величинами;
- функціями випадкових величин;
- випадковими функціями.

Несівна здатність безумовно пов'язана із властивостями матеріалів. На рис.2.1 представлено узагальнену схему для її визначення в межах моделі надійності.

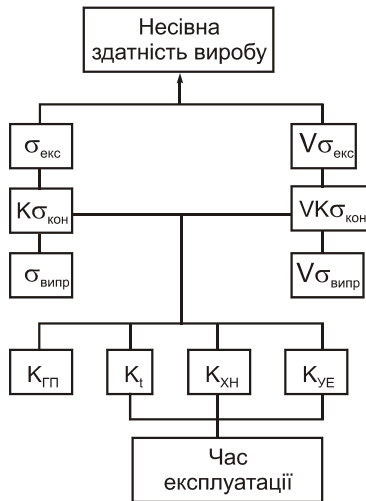


Рисунок 2.1 – Чинники, що впливають на несівну здатність виробів

На схемі: $\sigma_{випр}$ та $\sigma_{екс}$ – значення граничних напружень при стандартних випробуваннях та експлуатаційних навантаженнях; $K\sigma_{кон}$ – коефіцієнт концентрації напружень; K – коефіцієнт (ступінь) впливу відповідно: $ГП$ – геометричних параметрів; t – температури випробувань; XH – характеристики навантажень; $УЕ$ – умов експлуатації (во-

логість повітря, радіація, агресивне середовище, тощо); V – коефіцієнт варіації відповідних напружень.

Коефіцієнт варіації визначається на підставі статистичної обробки експериментальних даних:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}},$$

де σ – середнє квадратичне відхилення;

\bar{X} – середнє значення параметра.

У випадку оптимізації вибору матеріалу із врахуванням надійності виробу можливі наступні варіанти:

- мінімум маси (вартості) при заданій надійності;
- максимум надійності при постійній масі;
- мінімум вартості та маси одночасно при постійній надійності;
- максимум надійності та мінімум вартості одночасно при постійній масі.

У випадку, коли випадкові значення навантажень та здатність виробів нести навантаження розподіляються за нормальним законом і кореляції між ними немає, то для визначення імовірності слід використати таблиці нормального розподілу. Тоді імовірність $P = F_0(Y)$, де F_0

– табульована функція нормального розподілу; $Y = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\bar{R} - V\sigma}$, де \bar{R} та

\bar{Q} – середні значення несівної здатності виробу та навантаження (напруження); $V\sigma$ – коефіцієнт варіації напруження.

Величина $Y=2$, $Y=3$ при імовірності безвідмовної роботи виробу $P=0,977$, $P=0,999$ відповідно. Напруження, що відповідає втраті роботоспроможності матеріалу, визначається за рівнянням:

$$\sigma_p = \sigma_I (1 - Y \cdot V\sigma_I),$$

де, σ_I – прийнята в розрахунках границя плинності, повзучості, тривалої міцності і т.ін.;

$V\sigma_I$ – коефіцієнт варіації границі плинності, повзучості, тривалої міцності і т.ін., в частках.

Із наведеного рівняння можна зробити дуже суттєвий висновок: чим менше значення коефіцієнта варіації характеристик міцності, чим стабільніше значення міцності, тим більша абсолютна величина на-

пруження σ_p . В табл.2.1 наведено значення коефіцієнта варіації границі міцності та границі плинності для деяких матеріалів.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти варіації ($V\sigma_i$) границі міцності та границі плинності різних матеріалів

Матеріал		Сталі середньовугл. малолеговані	Сталі високоміцні середньолеговані	Сплави на основі Al	Сплави на основі Ti	Композ. матеріали	Пластмаси	Кераміка
Коефіцієнт варіації (в частках)	Границя міцності	0,04...0,05	0,04...0,05	0,05	0,04...0,05	0,05...0,11	0,06...0,08	0,07...0,08
	Границя плинності	0,03...0,04	0,03...0,04	0,04	0,03...0,04	0,08...0,1	0,05...0,07	0,05...0,07

Один із найчастіше використовуваних варіантів оптимізації вибору матеріалів є мінімізація маси виробу за умови заданого рівня надійності. Для цього розглядається декілька матеріалів і дані по кожному з них заносяться в табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Оптимізація вибору матеріалу за мінімумом маси виробу (при $P=const$)

Матеріал	Густина, кг/м ³	Визначальна характеристика матеріалу ¹	Коефіцієнт варіації, % ($V\sigma_i \cdot 100\%$)	Еквівалентний розмір, мм, мм ²	Маса виробу, кг	Відносна маса ²

Примітки: 1. Визначальна характеристика – головна механічна властивість матеріалу виробу, котра використовується при обґрунтуванні вибору матеріалу;

2. Визначається як відношення m_i/m_{min} , де m_{min} – маса найлегшого виробу.

Оптимізація вибору матеріалу за показниками їх механічних та фізичних властивостей. У кожному конкретному випадку такий вибір повинен проводитись за характерним показником. Для конструкційних матеріалів найбільш типовими є характеристики міцності, пластичності, ударної в'язкості, границі витривалості тощо. Абсолютний рівень властивостей конкретного матеріалу не може в повній мірі визначити доцільність використання цього матеріалу, тому що він не обумовлює отримання мінімальної маси виробу. Масова характеристика виробу безпосередньо пов'язана із витратами на матеріал та енергетичними затратами в процесі експлуатації.

У зв'язку із зазначеним вибір матеріалу доцільно проводити за питомими показниками, наприклад, питомою границею міцності, питомою границею плинності, питомою границею тривалої міцності:

$$K_{o_i} = \sigma_i / (\rho_i \cdot q),$$

де K_{o_i} – і-та характеристика питомої міцності;

σ_i – і-та характеристика міцності, Н/мм²; МПа;

ρ_i – густина матеріалу, кг/м³; $q = 9,81$ м/с².

Отримані дані для різних матеріалів найліпше заносити в табл.2.3.

Таблиця 2.3 – Результати оптимізації вибору матеріалу за питомими показниками міцності

Матеріал	Густина ρ , кг/м ³	Характеристика міцності σ_i , МПа	Коефіцієнт варіації характеристики міцності $V\sigma_i$ (в частках)	Питома характеристика міцності K_o , км	Питома характеристика міцності із врахуванням надійності та розсіювання властивостей K_p , км	
					$P=0,977; Y=2$	$P=0,999; Y=3$

Для визначення питомих характеристик міцності із врахуванням надійності виробів та розсіювання властивостей матеріалів використовують рівняння:

$$K_{p_i} = \sigma_i (1 - Y \cdot V\sigma_i) / (\rho_i \cdot q) = K_{o_i} (1 - Y \cdot V\sigma_i).$$

Аналіз табл. 2.3 дозволяє зробити декілька важливих висновків:

1. Оптимізація вибору матеріалу здійснюється на комплексній багатокритеріальній основі.

2. Коректним буде вибір заснований на обов'язковому врахуванні вимог до надійності виробів та коефіцієнта варіації характеристики міцності.

Оптимізація вибору матеріалу з врахуванням його вартості.

Відомо, що вартість матеріалу залежить від багатьох чинників, серед яких важливе значення мають хімічний склад, технологія отримання півфабрикатів, обробка поверхні, технологія отримання виробів і т.ін. Однієї вартості при виборі матеріалу недостатньо, тому що матеріали відрізняються за властивостями (це впливає на розміри та масу виробів), за густиною. Тому пропонується враховувати: а) вартість матері-

алу C_i , грн./кг; б) вартість матеріалу, що витрачається на виготовлення одного виробу C_i' , грн./шт.:

$$C_i' = C_i \cdot m_i$$

де m_i – маса виробу із i -го матеріалу;

в) питома вартість C_{num} одного виробу, що припадає на одиницю міцності, грн./($\text{шт} \cdot \text{МПа}$)

$$C'_{num_i} = \left(C_i' / \sigma_{0,2} \right)$$

або

$$C''_{num_i} = \left(C_i' / \sigma_{B_i} \right)$$

Питома вартість підкреслює доцільність використання зміцнювальної термічної обробки. Так, наприклад, при використанні сталі без термічної обробки виробів за умов:

$$C_i = 3,6 \text{ грн/кг}; \quad m_i = 2,4 \text{ кг/шт}; \quad \sigma_{0,2} = 395 \text{ МПа}$$

$$C'_{num} = (C_i \cdot m_i / \sigma_{0,2}) = (3,6 \cdot 2,4 / 395) = 21,87 \cdot 10^{-3} \text{ грн}/(\text{шт} \cdot \text{МПа})$$

Внаслідок використання термічної обробки зростуть характеристики міцності, зменшиться маса виробу та питома вартість. За умови, що $m_i = 1,7 \text{ кг/шт}; \sigma_{0,2} = 900 \text{ МПа}$

$$C'_{num} = (3,6 \cdot 1,7 / 900) = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ грн}/(\text{шт} \cdot \text{МПа}).$$

Отриманні результати слід занести в табл.2.4 та проаналізувати.

Таблиця 2.4 – Оптимізація вибору матеріалу із врахуванням його відносної вартості

Матеріал	Ціна C_i , грн./кг	Густина ρ_i , кг/м ³	Міцність, МПа		Вартість ма- тер. для од- ного виробу C_i' , грн./шт	Питома вартість	
			$\sigma_{0,2}$	σ_B		C'_{num_i} , грн./($\text{шт} \cdot \text{МПа}$)	C''_{num_i} , грн./($\text{шт} \cdot \text{МПа}$)

Таким чином, проаналізувавши дані таблиць 2.2–2.4 приймають рішення щодо оптимізації вибору матеріалу для конкретного виробу.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Описати основи оптимізації вибору матеріалу для конкретного виробу.
2. Отримати від викладача завдання і підготувати вихідні дані для його виконання.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте основні показники механічних властивостей котрі використовують при виборі матеріалів для виготовлення пружин, зубчатих коліс, валів, лопаток турбін ГТУ, вальниць.
2. Як визначається коефіцієнт варіації границі міцності, плинності, ударної в'язкості? Які чинники впливають на величину коефіцієнта варіації?
3. Що таке надійність виробів і які чинники впливають на неї?
4. Охарактеризуйте сутність несівної здатності виробу та чинників, що на неї впливають.
5. Як визначати еквівалентний розмір виробу, від чого він залежить?
6. Як впливає термічна обробка на величину коефіцієнта варіації границі міцності, плинності, витривалості?
7. Які вимоги висувають до технології виготовлення виробів, в тому числі і термічної обробки, котрі спрямовані на підвищення надійності виробів?
8. На які характеристики, яким чином і чому впливають значні розсіювання властивостей матеріалів? Наведіть відповідні рівняння та поясніть їх.
9. Наведіть перелік основних чинників, що впливають на вартість конструкційних та інструментальних матеріалів. Охарактеризуйте кожен із них.
10. Як визначаються та що характеризують питомі вартості матеріалів? Як і чому впливає термічна обробка сталей та сплавів на їх величину?

Порядок виконання роботи

1. За підготовленими вхідними даними (підрозділ «Завдання на підготовку до лабораторної роботи») виконати відповідні розрахунки, передбачені табл.2.2–2.4.
2. Отримані дані занести в табл.2.2–2.4.

3. Підготувати ґрунтовну інформацію щодо матеріалів, які пропонуються для виготовлення заданого виробу (властивості, густина, вартість, технологія отримання півфабрикатів та виробів, тощо).

4. На підставі отриманих вихідних даних та табл.2.2–2.4 прийняти оптимальне рішення щодо вибору матеріалу.

Зміст звіту

1. Основні поняття із оптимізації вибору матеріалу на підставі комплексного підходу.

2. Характеристика виробу, вимоги до матеріалу виробу, властивості запропонованих матеріалів.

3. Заповнені табл.2.2–2.4, аналіз даних таблиць, обґрунтований вибір матеріалу.

4. Висновок по виконаній роботі.

Рекомендована література

11, 16.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Прогнозування зміни структури, властивостей матеріалів та розмірів виробів при їх зберіганні, випробуваннях та експлуатації

Мета роботи: на підставі виконання конкретних завдань отримати навички у визначенні змін розмірів виробів, структури та властивостей матеріалів при зберіганні, випробуванні та експлуатації.

Загальні відомості

При обґрунтуванні вибору матеріалів, технології виготовлення виробів значну увагу приділяють питанням забезпечення стабільності хімічного складу, структури, властивостей матеріалів, стабільності розмірів виробів впродовж усього циклу їх існування (цикл існування – це час від останньої технологічної операції до виведення виробу із експлуатації (відправка у брукт)).

Зміна хімічного складу матеріалу. Вона відбуваються під дією робочого середовища, в якому матеріал знаходиться тривалий час. Так, наприклад, при експлуатації в повітряному середовищі відбуваються знеуглецювання, знелегування, окислення, зменшення вмісту в твердому розчині легувальних елементів, що надають йому захисних функцій. Як приклади: зменшення вмісту алюмінію в γ -твердому розчині в процесі експлуатації нижче 8% призводить до високотемпературної корозії; локальне збіднення α - та γ -твердого розчину на хром (<13%) призводить до локального корозійного руйнування сталі.

У випадку експлуатації виробів при високих температурах та низьких тисках (у вакуумі) хімічний склад сплавів змінюється внаслідок сублимації (через низький парціальний тиск) хрому, марганцю тощо. У разі тривалого нагрівання сталей та сплавів в науглецювальному середовищі слід враховувати можливість збільшення вмісту в сплавах вуглецю, частки карбідів, та, як наслідок, зміни хімічного складу матриці. Як відомо, ефективним заходом проти науглецювання високожаростійких сплавів є введення до їх складу алюмінію (наприклад, сталі 0X23Ю5Т, Х15ЮТ, сплав ХН60Ю3), котрий не лише створює щільну, дифузійно малопроникну плівку, але й змінює термодинамічний потенціал вуглецю в α - або γ -твердому розчині.

Зміни хімічного складу матеріалів в період зберігання можливі за умови взаємодії компонентів середовища та матеріалів. Наприклад,

при зберіганні виробів із порошкових матеріалів можливе їх збагачення киснем, воднем, азотом, вологою. Завдяки високій активності титану та його сплавів при зберіганні можливе газонасичення.

Зміни хімічного складу пластмас та композиційних матеріалів на їх основі обумовлені дією підвищених температур, радіаційного (в тому числі, і природного) опромінювання, дії робочого середовища та часу. Це призводить до вилучення, в першу чергу, летких компонентів з пластмас, які входять до групи пластифікаторів та компонентів, що реагують із робочим середовищем.

Зміни структури та властивостей. Що стосується пластмас, то слід зважити на протікання таких процесів, як деструкція, полімеризація, поліконденсація під дією температури, середовища, навантажень, а досить часто – внаслідок одночасної дії зазначених чинників. Це призводить до зміни фазового складу, підвищення частки кристалічної складової, окрихчення, зменшення еластичності, утворення мікротріщин.

В конструкційних сталях, призначених для холодного штампування, зміни при зберіганні можливі внаслідок деформаційного старіння, закріплення дислокацій та появи зуба плинності на діаграмі деформації. Внаслідок того, що холодноштамповані вироби після витягування, видавлювання, об'ємної штамповки, як правило, не піддаються наступній термічній обробці, структура характеризується підвищеною густиною дислокацій, сталь – пониженою корозійною стійкістю, в'язкістю, пластичністю. У випадку надійного захисту від корозії та відсутності пластичної деформації під час експлуатації при нормальних атмосферних умовах структура та властивості будуть залишатися незмінними.

Максимальні температури експлуатації цементованих (нітроцементованих) сталей зазвичай не перевищують температуру відпуску і тому зміни в мікроструктурі досить тонких поверхневих шарів будуть обумовлені циклічною зміною контактних напружень. Ресурс таких виробів залежить від циклічної довговічності при діючих значеннях напружень.

У випадку важконавантажених виробів в контактних (приповерхневих) шарах можуть розвиватися температури, що перевищують температури відпуску та теплостійкість використаних сталей. Як наслідок, відбуваються розпад мартенситу, зменшення твердості, міцно-

сті, контактної витривалості та границі витривалості матеріалів, зношення та втрати розмірів виробів.

Зміна розмірів виробів в процесі зберігання, експлуатації. Розмірна стабільність виробів в деяких випадках забезпечує точність верстатів, приладів, механізмів, надійність роботи вузлів. Зміна розмірів виробів може бути обумовлена:

- структурною нестабільністю та релаксацією залишкових напружень;
- релаксацією робочих експлуатаційних напружень, одним із проявів якої є повзучість;
- зношенням, в тому числі і корозійним, внаслідок комплексної дії різноманітних чинників.

Основною характеристикою розмірної стабільності є прецизійна границя пружності $\sigma_{0,0001}$, котра характеризує опір матеріалу мікропластичності і оцінюється за величиною напруження, при якому після розвантажування зразка залишкове відносне видовження становить $(1...2) \cdot 10^{-6}$ (0,0001...0,0002%).

При виборі матеріалів для деталей, що експлуатуються при підвищених температурах, розмірну стабільність слід оцінювати за границею повзучості та швидкістю повзучості. Остання характеристика за відомих t , τ , σ та залежності $v_n = A \cdot \sigma^m$ дозволяє розрахувати зміну розмірів виробів $v_n = \delta/\tau$;

$$\delta = v_n \cdot \tau \text{ і при } v_n = 0,2/1000 \text{ та } \tau = 1000 \text{ год}$$

$$\delta = \frac{0,2}{1000} \cdot 1000 = 0,2\%.$$

Наприклад, при початковій довжині $l_0 = 200 \text{ мм}$, абсолютне видовження виробу Δl досягне $\Delta l = \frac{\delta \cdot l_0}{100} = \frac{0,2 \cdot 200}{100} = 0,4 \text{ мм}$.

В тому випадку, коли деталі з'єднувалися по пресовій посадці, збільшення розмірів охоплюючої деталі може призвести до зміни посадки та зниженню надійності вузла.

Інтенсивність (швидкість) зміни розмірів внаслідок зношення залежить від багатьох чинників і в більшості випадків визначається експериментально. Руйнування від корозії (швидкість корозії) залежить від хімічного складу матеріалу, складу та температури робочого середовища. В [42] наведено шкалу балів корозійної стійкості металів

та сплавів та інтервали швидкості корозії. Наприклад, досконало стійкі сплави (1 бал) кородують зі швидкістю $< 0,001$ мм/рік, стійкі (5 бал) – $0,05...0,1$ мм/рік, нестійкі (10 бал) – > 10 мм/рік. Ці дані можуть бути використані для оцінки зміни міцності конструкції в часі та її граничного ресурсу при заданій товщині заготовки.

Прогнозування зміни структури, властивостей матеріалів, розмірів виробів може бути здійснено як на кількісному, так і якісному рівнях.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Опрацювати матеріал щодо технологічних заходів по підвищенню стабільності розмірів виробів – складових елементів вимірювальних приладів, високоточних верстатів тощо. Повторити теоретичний матеріал із дисциплін «Високотемпературна корозія матеріалів ГТУ», «Хімія металів», «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів», що тісно пов'язані із даною лабораторною роботою. Засвоїти методи розрахунків втрати маси, зміни розмірів, конструкційної міцності, граничного зношення виробів в процесі експлуатації.

Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

1. Наведіть основні чинники, що впливають на зміну структури та властивостей матеріалів в процесі зберігання виробів.
2. Які умови зберігання виробів, що виготовлені із пластмас, гум, кераміки, органічного скла, сплавів, регламентуються в технічних паспортах ?
3. Наведіть перелік та охарактеризуйте основні чинники, що впливають на зміну розмірів виробів при їх зберіганні.
4. Яке призначення в технологіях виготовлення виробів додаткової стабілізаційної термообробки (відпалу, відпуску) ?
5. Наведіть та поясніть основні чинники, що впливають: а) на зміну структури та властивостей матеріалів в процесі експлуатації; б) на стабілізацію структури та властивостей матеріалів в процесі експлуатації.
6. Зв'язок між теплостійкістю, жаростійкістю, червоностійкістю, жароміцністю та стабільністю структури і властивостей.
7. На підставі яких даних прогнозують зміни розмірів виробів в процесі експлуатації ?

8. Наведіть та поясніть основні напрямки забезпечення розмірної стабільності виробів в процесі експлуатації.

9. Вплив легування, термічної обробки, фазового складу матеріалів на їх розмірну стабільність в процесі експлуатації.

Порядок проведення лабораторної роботи

Отримати від викладача індивідуальне завдання, в якому зазначені назва виробу, рекомендовані матеріали, середовища, умови зберігання та експлуатації. Із використанням довідникових матеріалів розробити прогнози щодо зміни хімічного, фазового складу, структури, властивостей матеріалів, розмірів та маси виробів. На підставі отриманих даних розробити рекомендації щодо заміни матеріалу, експлуатаційних параметрів, рівня дійсних напружень у виробках.

Зміст звіту

Дані про розглянуті вироби, матеріали, робочі середовища, експлуатаційні параметри виробів. Графіки, таблиці, стовбчасті діаграми за отриманими залежностями, результати розрахунків, висновок, рекомендації.

Рекомендована література

11, 19, 41, 44.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Статистичний аналіз точності технологічних процесів термічної обробки

Мета роботи: На підставі виконання конкретних завдань освоїти основи статистичних методів аналізу технологічних процесів.

Загальні відомості

Статистичні методи управління якістю продукції порівняно із суцільним контролем виробів мають таку важливу перевагу, як можливість виявлення відхилень від оптимального технологічного процесу не тоді, коли вся партія деталей виготовлена, а в процесі виробництва.

Основні складові статистичних методів управління якістю продукції представлено на рис.4.1.

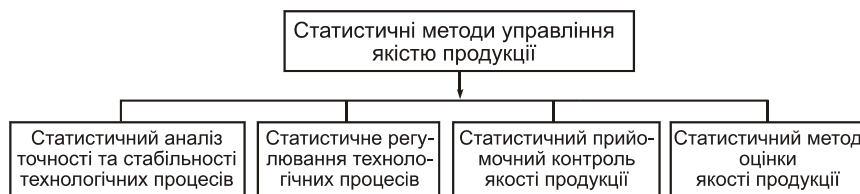


Рисунок 4.1 – Статистичні методи управління якістю продукції

В даній роботі вивчається сутність перших двох складових серед зазначених на рис.4.1 статистичних методів.

Статистичний аналіз точності технологічного процесу – це установлення статистичними методами значень показників точності технологічного процесу. Статистичний аналіз передбачає дослідження чинників та умов, що впливають на якість. Він включає аналіз видів та причин дефектів, аналіз впливу окремих чинників технологічних процесів на показники якості.

Статистичний аналіз точності технологічного процесу. При здійсненні аналізу технологічного процесу досить ефективним способом є графічна обробка експериментальних даних. Візуалізація за допомогою стовбчастих діаграм (гістограм) допомагає розібратися в стані якості виробів у генеральній сукупності, виявити в ній положення середнього значення та характер розсіювання.

Відомо, наприклад, що в процесі термічної обробки у виробках виникає деформація і від її величини та розсіювання залежать затрати на завершальне шліфування (механічне оброблення) виробів. Якщо розсіювання стабільне та незначне, технологічними заходами можна нанівець звести завершальне механічне оброблення. Як приклад розглядається технологічний процес термічної обробки, після якого визначаються абсолютна (мм) та відносна (у відсотках) деформація виробів. Результати цих вимірювань занесено в табл.4.1.

В загальному випадку може досліджуватись твердість, границя міцності, ударна в'язкість і т.ін. Число рекомендованих вимірювань N – в межах 100, але не менше 50.

Таблиця 4.1 – Відносна деформація виробів після термічної обробки, %

0,9	1,5	0,9	1,1	1,0	0,9	1,1	1,1	1,2	1,0
0,5	0,1	0,7	0,8	0,7	0,8	0,5	0,8	1,2	0,6
0,5	0,8	0,3	0,4	0,5	1,0	1,1	0,6	1,2	0,4
0,6	0,7	0,5	0,2	0,3	0,5	0,4	1,0	0,5	0,8
0,7	0,8	0,3	0,4	0,6	0,7	1,1	0,7	1,2	0,8
0,8	1,0	0,6	1,0	0,7	0,6	0,3	1,2	1,4	1,0
1,0	0,9	1,0	1,2	1,3	0,9	1,3	1,2	1,4	1,0
1,4	1,4	0,9	1,1	0,9	1,4	0,9	1,8	0,9	1,4
1,1	1,4	1,4	1,4	0,9	1,1	1,4	1,1	1,3	1,1
1,5	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	1,5

Отримані і занесені в табл.4.1 значення після їх попередньої обробки переносять в бланк реєстрації (табл.4.2). Для цього:

1. Серед отриманих значень (табл.4.1) знаходять максимальне та мінімальне значення

$$x_{max}=1,8\%; x_{min}=0,1\%.$$

2. Визначають розмах (широту розподілу)

$$R = x_{max} - x_{min} = 1,8 - 0,1 = 1,7\%.$$

3. Визначають кількість інтервалів K та ширину інтервалу h :

$K = \sqrt{N} = \sqrt{100} = 10$, $h = R/K = 1,7/10 = 0,17$, після округлення приймають ширину інтервалу $h = 0,2$.

4. Встановлюють границі значення інтервалів.

Найменше граничне значення для першого інтервалу визначають

$$x_{\min} - \frac{\text{одиниця вимірювань}}{2} = 0,1 - \frac{0,1}{2} = 0,05\%$$

де «одиниця вимірювань» становить 0,1% відносної деформації.

Найбільше значення першого інтервалу знаходять після додавання до найменшого граничного значення ширини $h=0,2\%$:

$$0,05 + 0,20 = 0,25\%$$

Таким чином, ширина першого інтервалу: 0,05...0,25%. Ширина другого інтервалу становить 0,25...(0,25+0,2), тобто 0,25...0,45%. Подібним чином розраховують ширину інших інтервалів.

5. Використовуючи табл. 4.1 визначають кількість значень, що потрапили в даний інтервал частоти та накопичені частоти і заповнюють табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Бланк реєстрації густини розподілу деформації

Назва виробу: <i>штанга</i>		Вимірювальний інструмент: <i>мікрометр</i>		Дата:
Характеристика, що вимірюється: <i>довжина</i>		Одиниці вимірювань: <i>мм (мкм)</i>		Величина партії <i>штанг: 1000 шт.</i>
Показник якості термічної обробки: <i>відносна деформація, %</i>		Технологічний процес: <i>термічна обробка</i>		Кількість вимірюваних штанг: <i>100</i>
Інтервал	Значення середини інтервалу	Кількість виробів із відносною деформацією, що потрапили в інтервал	Частота <i>f</i>	Накопичена частота
0,05...0,25	0,15	2	2	2
0,25...0,45	0,35	8	8	10
0,45...0,65	0,55	13	13	23
0,65...0,85	0,75	15	15	38
0,85...1,05	0,95	20	20	58
1,05...1,25	1,15	17	17	75
1,25...1,45	1,35	13	13	88
1,45...1,65	1,55	9	9	97
1,65...1,85	1,75	3	3	100

6. Будують гістограму розподілу (рис.4.2).

По зображеному на гістограмі розподілу можна зробити висновок щодо стану технологічного процесу та, при необхідності, намітити заходи по його поліпшенню. На рис.4.3 наведено приклади різних поєднань густини розподілу із полем допуску $T_n - T_v$ (нижня та верхня границі допуску, значення вказані в завданні).

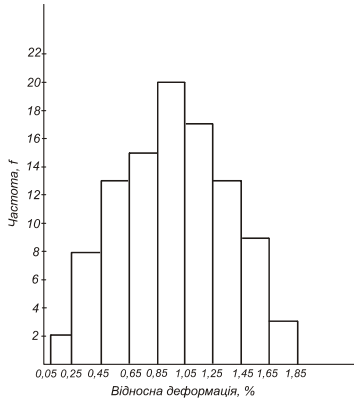


Рисунок 4.2 – Гістограма розподілу деформації штанг

На рис.4.3,а форма розподілу задовільна, її ліва та права частини симетричні. Ширина розподілу складає близько $\frac{3}{4}$ поля допуску, центри розподілу та поля допусків співпадають. На підставі цього роблять висновок про задовільність технологічного процесу.

Схема розподілу на рис.4.3,б відхилена праворуч, тому центр розподілу також зміщений. Є імовірність того, що серед неконтрольованих виробів можуть бути дефектні, що виходять за T_0 . Слід відрегулювати технологічний процес термічної обробки таким чином, щоб центр розподілу співпав із центром поля допусків.

На рис.4.3,в центр розподілу розташований вірно, але широта розподілу співпадає із широтою поля допуску. Тому можлива поява дефектних виробів. Щоб звужити широту розподілу необхідно: обстежити обладнання, пристосування, здійснити термометрування робочого простору, ретельно проконтролювати здійснення технологічного процесу і т.ін.

Коли центр розподілу зміщений (рис.4.2, г), то це свідчить про наявність дефектних виробів і слід негайно вжити заходів: скорегувати технологічні параметри; перемістити центр розподілу в центр поля допуску; звужити широту розподілу.

У випадку, коли центр розподілу співпадає із центром поля допуску, але широта поля допуску менше широти розподілу (рис.4.3, д), можна виявити дефектні вироби по обидві сторони допуску. Необхідно внести зміни в технологічний процес для звуження розсіювання та запобігання появі дефектних виробів.

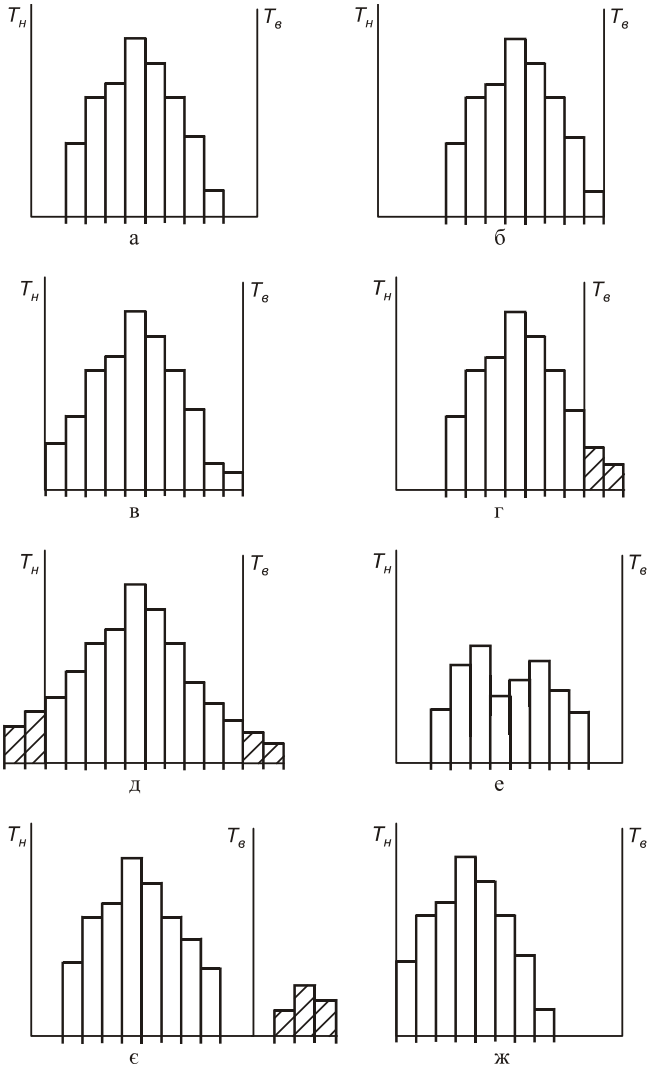


Рисунок 4.3 – Варіанти поєднання густини розподілу із полем допуску (T_H , $T_г$ – нижня та верхня границі допуску)

На рис.4.3,е розподіл має два піка, що можна пояснити наступними причинами:

- вироби виготовлені із різних матеріалів;

– відбулись зміни параметрів технологічного процесу партії виробів;

– в одну контрольовану партію об'єднали виробы, що оброблялись на різному обладнанні.

Головна частина розподілу на рис.4.3, є – в нормі, але деяка частина виробів виходить за верхню границю допуску, утворює своєрідний острівець. Варіанти припущень: термічно оброблені дефектні виробы перемішали із якісними; для виготовлення частини виробів використали недоброякісний матеріал.

Гістограма на рис.4.3,ж відображає випадки грубого порушення результатів при вимірюванні; відхилення від норми технологічних параметрів.

Наведені вище оцінки – якісні. Об'єктивно оцінювати гістограму та технологічний процес слід за кількісними показниками.

Середнє арифметичне \bar{X} визначається

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i \cdot f_i),$$

де x_i – значення середини інтервалу;

f_i – частота кожного інтервалу.

Сума квадратів відхилень S визначається за рівнянням

$$S = \sum (x_i - \bar{X})^2 \text{ або } S = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n},$$

Сума квадратів відхилень характеризує розсіювання значень в усьому комплексі даних.

Дисперсія σ^2 – міра розсіювання на кожну одиницю даних

$$\sigma^2 = \frac{S}{n} = \left\{ \sum x_i^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right\} / n,$$

Середнє квадратичне відхилення σ

$$\sigma = \sqrt{\frac{S}{n}} = \sqrt{\left\{ \sum x_i^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right\} / n},$$

Оцінка точності технологічних процесів. Після з'ясування форми та широти розподілу у співставленні із полем допуску, дослі-

джують можливість виробництва якісних виробів за даним технологічним процесом, тобто за результатами дослідження *кількісно* оцінюють точність технологічних процесів. Для цього використовують коефіцієнт точності технологічного процесу K_m :

$$K_m = \frac{6\sigma}{T},$$

де σ – середнє квадратичне відхилення;

$T = T_g - T_n$ – допуск на контрольований параметр (значення T_g та T_n вказані в завданні).

На рис.4.4 наведено варіанти розподілу контрольованих параметрів. У випадку: $K_m \leq 0,75$ – технологічний процес точний задовільний, корегування не вимагає; $K_m = 0,76...0,98$ – технологічний процес вимагає уважного контролю та нагляду; $K_m > 0,98$ – точність технологічного процесу незадовільна, по обидві сторони поля допуску виявляють дефектні вироби. Необхідно негайно вжити заходів.

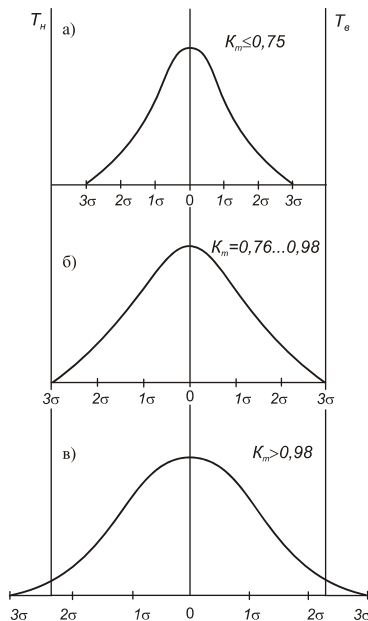


Рисунок 4.4 – Варіанти розподілу контрольованих параметрів за різних значень коефіцієнтів точності технологічних процесів K_m

Щоб разом із гістограмою побудувати криву нормального розподілу, її слід привести в той масштаб, в якому виконані гістограми та емпірична крива. Із урахуванням масштабу:

$$h'_i = y \cdot \frac{n \cdot h}{\sigma},$$

де h'_i – ордината кривої нормального розподілу;

y – табличні значення ординати для $\sigma = 1$;

h – широта інтервалу (по осі абсцис $h = \frac{R}{K}$; для прикладу, що розглядається, $h=0,2$).

Для побудови кривої нормального розподілу необхідно отримати допоміжні дані і заповнити табл.4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунків допоміжних даних для визначення середнього арифметичного відхилення

№ інтервалу	Інтервал	Середина інтервалу	Частота f	U (див. примітку)	$f \cdot U$	$f \cdot U^2$
1	0,05...0,25	0,15	2	-4	-8	32
2	0,25...0,45	0,35	8	-3	-24	72
3	0,45...0,65	0,55	13	-2	-26	52
4	0,65...0,85	0,75	15	-1	-15	15
5	0,85...1,05	0,95	20	0	0	0
6	1,05...1,25	1,15	17	1	17	17
7	1,25...1,45	1,35	13	2	26	52
8	1,45...1,65	1,55	9	3	27	81
9	1,65...1,85	1,75	3	4	12	48
Всього			100		9	369

Примітка: $U_i = (x_{i_{cp}} - x_0) / h$, де $x_{i_{cp}}$ – значення середини i -го інтервалу; x_0 – середина інтервалу із найбільшою частотою (в прикладі, що розглядається, $x_0 = 0,95$); h – широта інтервалу ($h = 0,2$).

За даними таблиці 4.3 визначимо:

середнє значення

$$\bar{X} = x_0 + \frac{\sum(f \cdot U)}{\sum f} \cdot h = 0,95 + \frac{9}{100} \cdot 0,2 = 0,97\%;$$

сума квадратів відхилень

$$S = h^2 \left(\sum(f \cdot U^2) - \frac{\sum(f \cdot U)^2}{\sum f} \right) = 0,2^2 \left(369 - \frac{9^2}{100} \right) = 14,7276\%;$$

дисперсія

$$\sigma^2 = \frac{S}{n} = \frac{14,7276}{100} = 0,1473\%;$$

середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{S}{n}} = \sqrt{0,1473} = 0,384\%.$$

Таблиця 4.4 – Результати розрахунків допоміжних даних для побудови кривої нормального розподілу

x	$z = \frac{x}{\sigma}$	y	$h'_l = y \cdot \frac{n \cdot h}{\sigma}$
0	0	0,3989	20,8
$\pm 0,5\sigma$	0,5	0,3521	18,3
$\pm 1,0\sigma$	1,0	0,2420	12,6
$\pm 1,5\sigma$	1,5	0,1295	6,7
$\pm 2,0\sigma$	2,0	0,054	2,8
$\pm 2,5\sigma$	2,5	0,0175	0,91
$\pm 3,0\sigma$	3,0	0,0044	0,23

Примітка. y – табличне значення ординати для $\sigma = 1$; σ в даному прикладі дорівнює 0,384 %.

За даними табл.4.3 та 4.4 будують гістограму та криву нормального розподілу (рис.4.5).

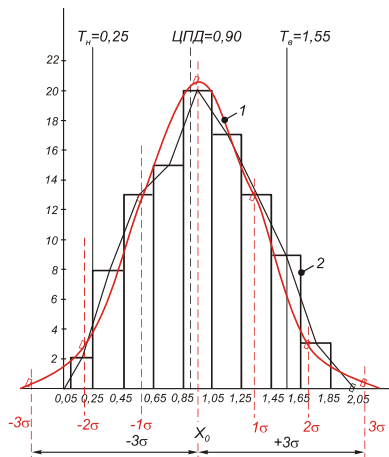


Рисунок 4.5 – Крива нормального розподілу (лінія 1) та гістограма (лінія 2). ЦПД – центр поля допуску

Нормальний розподіл в даному випадку використовують як модель, тому що багато сукупностей вимірювань (результатів випробувань) має розподіл, що наближається до нормального. Із використанням таблиці функції нормального розподілу (додатки Ж та З) можна визначити величину або відсоток дефектних виробів. Якщо, наприклад, технологічний процес налагоджений і відомо, що $x_0 = 0,95\%$, $\sigma = 0,384\%$ із нормативно-технічних документів верхнє та нижнє значення дорівнюють $0,90 \pm 0,65$, то

$$T_{\text{в}} = 0,90 + 0,65 = 1,55\%; \quad T_{\text{н}} = 0,90 - 0,65 = 0,25\%$$

Визначимо відхилення верхнього та нижнього допустимих значень від середніх, кратних σ .

$$z_{\text{в}} = \frac{T_{\text{в}} - \bar{X}}{\sigma} = \frac{1,55 - 0,968}{0,384} = 1,515$$

де

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i \times f_i) = \frac{1}{100} \left(0,15 \times 2 + 0,35 \times 8 + 0,55 \times 13 + 0,75 \times 15 + \right. \\ \left. + 0,95 \times 20 + 1,15 \times 17 + 1,35 \times 13 + 1,55 \times 9 + 1,75 \times 3 \right) = 0,968$$

$$z_{\text{н}} = \frac{T_{\text{н}} - \bar{X}}{\sigma} = \frac{0,25 - 0,968}{0,384} = -1,87$$

Згідно із таблицею ймовірності при $z_{\text{в}} = 1,516$ (0,9357, додаток Ж) та $z_{\text{н}} = -1,87$ (0,0307, додаток Д). Потрапляння нормально розподіленої величини в інтервали $-1,87 \dots 0$ та $0 \dots 1,515$ відповідно дорівнюють: $0,5 - 0,0307 = 0,4693$; $0,9357 - 0,5 = 0,4357$.

Тому отримаємо наступні дані щодо оцінки точності технологічного процесу:

$0,4693 + 0,4357 = 0,905 \approx 90,5\%$ виробів відповідають технічним вимогам;

$0,500 - 0,4693 = 0,0307 \approx 3,1\%$ виробів мають деформацію нижче, ніж передбачену нижнім допуском;

$0,500 - 0,4357 = 0,0643 \approx 6,4\%$ виробів мають деформацію, що перевищує верхній допуск.

Таким чином, близько 9,5% виробів будуть мати деформацію, що відхиляється від технічних вимог, тому цей технологічний процес характеризується низькою точністю.

Наведена методика дозволяє дати оцінку будь-якому технологічному процесу термічної обробки, кількісно оцінити точність процесу, визначити значення параметрів та частку виробів, що вийшли за допустимі границі.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Стисло описати сутність статистичних методів аналізу точності технологічних процесів термічної обробки.
2. Навести методику обробки вибірки експериментальних даних та їх використання для статистичного аналізу.

Контрольні питання

1. Привести та проаналізувати основні складові статистичних методів управління якістю продукції.
2. Сутність та задачі статистичного аналізу точності технологічного процесу.
3. Викласти методику обробки вибірки експериментальних даних на підставі генеральної сукупності, побудови гістограм.
4. Навести та проаналізувати можливі варіанти поєднання густини розподілу із полем допуску.
5. Як визначається коефіцієнт точності технологічного процесу та які чинники на нього впливають.
6. Які заходи слід вжити, щоб зменшити значення K_m ?
7. Які висновки можна зробити щодо точності технологічного процесу, якщо K_m дорівнює: а) менше 0,6; б) 0,9; в) 1,0 ?
8. Як визначити нижню та верхню границі поля допуску на контрольований параметр якості термічної обробки ?
9. Як визначити частку виробів, параметри котрих вийшли за допустимі границі ?
10. Які заходи слід вжити при великих значеннях K_m та частці дефектних виробів ?

Порядок виконання роботи

1. Отримати варіант завдання із вибіркою експериментальних даних та заповнити таблицю (див.табл.4.1.).
2. Обробити отримані дані та заповнити бланк реєстрації (див. табл.4.2).

3. Побудувати гістограму розподілу (див.рис.4.2). Визначити для заданого виробу нижню (T_n) та верхню (T_v) границі допуску. Із використанням даних рис.4.3 прокоментувати гістограму.

4. Визначити середнє квадратичне відхилення та оцінити точність технологічного процесу із використанням коефіцієнта точності K_m (див.рис.4.4).

5. Заповнити таблиці 4.3 та 4.4. Побудувати криву нормального розподілу (рис.4.5).

6. Визначити частку виробів, що відхиляються від технічних вимог.

Зміст звіту

1. Основні положення теорії статистичного контролю технологічних процесів термічної обробки.

2. Заповнені табл. 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, стовбчасті діаграми, крива нормального розподілу.

3. Значення K_m , частка дефектної продукції, висновки щодо точності технологічного процесу.

4. Рекомендації щодо корегування параметрів технологічного процесу з метою підвищення його точності.

Рекомендована література

6, 7, 9, 10, 26.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Обґрунтування вибору матеріалу та технології термічної обробки для заданого виробу

Мета роботи: закріпити навички у виборі матеріалів, технології термічної обробки для різноманітних виробів на підставі вимог до них та умов експлуатації.

Загальні відомості

Вибір матеріалу. Обґрунтований вибір матеріалу забезпечує надійність виробів в умовах експлуатації і в багатьох випадках дозволяє знизити матеріалоемність деталей, вузлів, підвищити економічні показники конструкцій та машин. Для вірного вибору матеріалу слід мати інформацію щодо умов роботи виробу та конструкції вузла, до складу якого він входить. Ця інформація дозволить врахувати:

- напружено-деформований стан, розподіл та епюри напружень по поверхні та перетину виробу;
- характер навантаження (статичне, динамічне, знакозмінне, контактне, циклічне знакопостійне і т. ін.);
- тривалість експлуатації (ресурс) або число циклів навантажень;
- температуру роботи виробів (нормальна, висока, змінна, мінусова і т. ін.);
- робоче середовище (повітря, масляний туман, розчини кислот або лугів, продукти горіння палива, водяна пара, вакуум, атмосферні осадки і т. п.);
- тип тертя та характер зношення (ковзання, кочення, окисне, окисно-абразивне, ерозійне, абразивне, кавітаційне та ін.);
- основні причини виходу аналогічних виробів із ладу, а також конструкційні, технологічні, експлуатаційні заходи по підвищенню надійності та довговічності виробів.

На підставі аналізу умов роботи виробу розробляють вимоги до хімічного складу, властивостей, структури матеріалу, котрі забезпечать технологічність, ремонтпридатність та експлуатаційні надійність і довговічність виробу. При виборі матеріалу в різних послідовностях розглядають його характеристики: механічні та функціональні властивості; хімічний склад і його вплив на різні показники, в тому числі й економічні; технологічні властивості; структуру, її стабільність та можливість зміни в процесі експлуатації.

Механічні та інші властивості матеріалів. Безумовно вибраний матеріал (метал, сплав, композиційний або неметалевий матеріал тощо) повинен забезпечити необхідну для виробу конструкційну міцність – комплекс властивостей, котрі знаходяться в тісній кореляції зі службовими властивостями матеріалу даного виробу із врахуванням форми, розмірів, концентраторів напружень, стану поверхні виробів, характеру навантаження, фізичної та хімічної дії робочого середовища.

Якщо вироби мають нескладну форму, працюють в умовах статичного навантаження (розтяг, згин, стиснення) при нормальній температурі, то для вибору матеріалу достатньо наступних даних: границі плинності ($\sigma_{0,2}$ або σ_T), твердості (ϵ кореляція між $\sigma_{0,2}$ та HB), границі пружності ($\sigma_{0,05}$), модулів пружності при розтягуванні E та в умовах чистого зсуву G. Зазначені характеристики дозволять визначити жорсткість та міцність виробу із використанням відповідних коефіцієнтів запасу міцності.

В тих випадках, коли вироби експлуатуються в складному напружено-деформованому стані, зазнають дії ударних, циклічних навантажень, різних за величиною температур, тоді при виборі матеріалу враховують критичний коефіцієнт інтенсивності напружень KIC, ударну в'язкість (KCU, KCV, KCT), температурний поріг холодноламкості T_{ph} та температуру напівкрихкості T₅₀, роботу зародження (KCS) та розповсюдження (KCr) тріщини, жароміцність (границя тривалої міцності та границя повзучості), термостійкість, контактну витривалість, зносостійкість (в тому числі і опір втраті маси від корозії), границю витривалості та ін. Із наведеного стає зрозумілим, що в цьому випадку значно ускладнюється задача вибору матеріалу. Крім того, необхідно враховувати, що бажання використати високоміцний матеріал і зменшити матеріаломіцність виробу нерідко супроводжується зниженням його надійності.

Необхідно зазначити, що вибраний матеріал під впливом термічної обробки може змінити свій хімічний, фазовий склад, структуру, комплекс властивостей, котрі спрямовані на забезпечення конструкційної міцності. Тому в процесі вибору матеріалу аналізують вплив різних видів термічної обробки на його властивості.

Вплив хімічного складу матеріалів на їх характеристики. Хімічний склад матеріалу визначає його будову, структурний стан, можливі варіанти та режими термічної обробки, технологію отримання матеріалів та виробів, рівень властивостей матеріалів.

В тих випадках, коли вибір стосується різноманітних сплавів, слід керуватися принципом раціонального (достатнього) легування. Використання сплавів, легованих дорогими, дефіцитними елементами, суттєво знижує економічну ефективність від їх застосування, а в декотрих випадках таке застосування взагалі стає недоцільним.

При виборі матеріалу на альтернативній основі вплив хімічного складу оцінюється за зміною властивостей після однотипної термічної обробки. Так, наприклад, при виборі матеріалу для складно навантаженого виробу із групи поліпшувальних сталей розглядають, наприклад, сталі марок 40, 40X, 40ХН, 40ХН2, 40ХН2М після гарту та відпуску при однаковій температурі, наприклад, 550 чи 600°C.

Коли до матеріалу виробу висувають спеціальні вимоги щодо фрикційних, антифрикційних властивостей, корозійної стійкості, жаростійкості, жароміцності, ударної в'язкості, зносостійкості, холодно-стійкості, питомої міцності і т. ін., то розглядають спеціальні сталі, сплави на основі нікелю, алюмінію, міді, титану, магнію, композиційні матеріали, неметалеві матеріали, тобто матеріали із особливими функціональними властивостями.

У сучасному матеріалознавстві отримує розвиток такий напрямок як розробка та використання сплавів із метастабільною аустенітною структурою, схильною до деформаційних фазових перетворень в процесі експлуатації. На основі принципу підвищення енергоємності процесів зношення та руйнування розроблені безнікелеві високоміцні сталі аустенітно-мартенситного, аустенітного, мартенсито-аустенітного класів (08X18Г6СФ, 08X22Г6СФ, 17X16Г12Д2СТЛ та ін.), а також використовують технології термічної обробки відомих, класичних сталей, які дозволяють отримати після гартування велику кількість метастабільного аустеніту (наприклад, після гартування сталі Х12М від 1150°C в структурі фіксується до 75...90 % залишкового аустеніту).

Технологічні властивості матеріалів в багатьох випадках відіграють значну роль у вирішенні питання раціонального вибору матеріалу для виробу. Для виготовлення деталей методами холодного видавлювання, висаджування, обкочування матеріал повинен мати добру пластичність, форму частинок зміцнювальних фаз – близьку до сферичної. Для деталей, що виготовляють глибоким витягуванням при 20°C, використовують переважно однофазні або двофазні сплави із невеликою кількістю другої фази, в тому числі і зміцнювальної (α -

латуні, дуралюміни, α -сплави на основі титану, маловуглецеві сталі із вмістом не більше 0,15% С).

У випадку, якщо заготовки виробів отримують гарячими куванням (в тому числі і ротаційним), штампуванням, пресуванням, видавлюванням, осадженням, важливою характеристикою є пластичність при високих температурах. Наявність при температурі деформування значної кількості карбідів, нітридів, погіршує технологічну пластичність, а перевищення температур плавлення евтектик призведе до утворення в штамповках тріщин, надривів.

Задовільну оброблюваність різанням мають сплави із твердістю 170...280 НВ. Більш низька твердість, наприклад, сплавів із кольорових металів, приводить до суттєвого зростання шорсткості поверхні виробів, налипання матеріалу виробу на різальний інструмент. Сплави на основі нікелю в термічно обробленому стані мають задовільну твердість 260...300 НВ у поєднанні із низькою оброблюваністю різанням (коефіцієнти оброблюваності різанням дорівнюють: $K_{V_{TB\text{ спл}}} = 0,20$; $K_{V_{шв\text{ ст}}} = 0,08$). Для порівняння: зазначені вище коефіцієнти для сталі 45 (як еталона) із твердістю 175 НВ дорівнюють одиниці. Підвищення в'язкості, міцності, опору зсуву, схильності до наклепу, зниження теплопровідності середньо- та високолегованих сталей – причина їх низької оброблюваності різанням. Для значної групи виробів важливими є показники здатності до шліфування та полірування (вимірювальні, штампові та різальні інструменти, вальниці, зубчасті колеса, оболонки, оздоблювальні вироби, вироби домашнього вжитку і т. ін.). Наявність у складі сталей ванадію, титану, ніобію, алюмінію приводить до утворення високотвердих крихких карбідів, карбонітридів, нітридів, котрі знижують ці характеристики та погіршують стан поверхні виробів.

До матеріалів для складних конструкцій (оболонки, корпуси, камери згорання, опори) висувають особливі вимоги щодо зварюваності. Низький вміст вуглецю та легувальних елементів, малі об'ємні зміни, обумовлені фазовими та структурними перетвореннями при охолодженні – складові, що підвищують зварюваність сплавів.

В довідковій літературі для більшості металів та сплавів надається інформація щодо їх технологічних властивостей.

Вибір технології. На експлуатаційні характеристики виробів впливає не тільки вибір матеріалу, а і технологія виготовлення, до якої входить термічна обробка. В деяких випадках без термічної обробки неможливе виготовлення виробів (наприклад, вироби із керамічних,

порошкових, композиційних матеріалів) або інші технологічні операції (обробки) з метою енергозбереження поєднують із термічною обробкою (як, наприклад, пружини підвіски легкових автомобілів, ресорні листи; виконують одноразове нагрівання із наступними гарячою пластичною деформацією та гартom). При будь-якому варіанті технологія термічної обробки повинна забезпечити заданий рівень властивостей матеріалу виробу при мінімальних витратах технологічних речовин, часу, енергоносіїв, трудових ресурсів і т. ін., що врешті решт впливає на собівартість термічної обробки.

Задача вибору технологічного процесу термічної обробки вирішується поетапно:

1. Вибір режиму(ів) термічної обробки на підставі матеріалу та вимог до виробу, типових режимів обробки аналогічних матеріалів та виробів.

2. Визначення параметрів основних операцій термічної обробки (температур, швидкостей нагрівання та охолодження, тривалості на різних технологічних операціях та переходах, склад та витрати робочих середовищ).

3. Вибір додаткових технологічних операцій (рихтування, промивання, поверхневе пластичне деформування (ППД), вилучення окалини).

4. Визначення параметрів додаткових технологічних операцій термічної обробки (зусилля рихтування, час перебування під навантаженням, склад та температура мийного розчину, характеристики робочих тіл для ППД та параметри їх взаємодії із виробами, умови заневолення пружних елементів і т.ін.).

5. Вибір основного і додаткового обладнання, інструментів і приладів для контролю якості термічної обробки, розробка технологічних пристосувань.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Отримати від викладача завдання і підготувати вихідні дані для його виконання.

2. Ознайомитися із умовами експлуатації заданого виробу, роботою вузла та механізму, до складу яких входить виріб, вимогами до матеріалу виробу.

3. Підготувати дані для заповнення карти технологічного процесу термічної обробки (температури, витримки, склад робочих середовищ і т.ін.).

Контрольні питання

1. Вплив умов експлуатації виробів на вибір матеріалу для їх виготовлення.

2. Залежність конструкційної міцності від хімічного складу матеріалу, його структури.

3. Класифікація конструкційних матеріалів за призначенням, хімічним складом та її використання при науковому виборі матеріалу.

4. Класифікація інструментальних матеріалів за призначенням, хімічним складом та їх використання при науковому виборі матеріалу.

5. Чим пояснити розширення використання керамічних інструментальних матеріалів? Наведіть приклади таких матеріалів та виробів із них.

6. Чим пояснити розширення використання композиційних, порошкових матеріалів, полімерів, пластмас, металізованих пластмас? Наведіть приклади таких матеріалів та виробів із них.

7. Чим можна пояснити використання при виборі матеріалів таких їх характеристик, як K_{IC} ; T_{50} ; КСТ; $T_{пх}$?

8. Який зв'язок між технологічністю виробу та цеховою собівартістю термічної обробки?

9. Для наведених викладачем виробів та матеріалів приведіть та охарактеризуйте основні технологічні властивості та чинники, що на них впливають.

10. Основні чинники, що впливають на параметри термічної (хіміко-термічної) обробки.

11. На підставі чого конструктором виробу призначається (призначаються) матеріал(и)-замінники для виготовлення виробу?

12. Послідовність робіт по створенню нових виробів, їх модернізації з метою підвищення довговічності.

Порядок проведення лабораторної роботи

1. Стисло описати умови роботи заданого виробу та вузла, в якому він знаходиться, охарактеризувати вимоги до механічних, технологічних, експлуатаційних властивостей.

2. Вибрати групу(и) матеріалів і на альтернативній основі (не менше трьох матеріалів) на підставі співставлення складу, властивостей, вартості, надійності здійснити вибір одного матеріалу.

3. Всебічно охарактеризувати вибраний матеріал, роль його компонентів, описати схему технології отримання матеріалу та виробу, зміни в хімічному складі, структурі та властивостях в процесі експлуатації.

4. Розглянути декілька варіантів термічної обробки вибраного матеріалу і на підставі порівняння отримуваних властивостей та технічних вимог до матеріалу запропонувати режим термічної обробки виробу.

5. Розробити технологію термічної обробки, навести графік та карту технологічного процесу, описати сутність кожної операції та структуру і властивості матеріалу.

Зміст звіту

1. Загальні положення щодо наукового вибору матеріалів та технологій термічної обробки на основі вимог до матеріалів та умов експлуатації.

2. Характеристика виробу, особливості його конструкції, схеми маршрутної технології виготовлення, вузла, до якого входить виріб, та умови експлуатації.

3. Порядок обґрунтованого вибору матеріалу із посиланням на властивості, структуру. Вартість заготовки виробу, що виготовлений із різних матеріалів.

4. Послідовне викладання відповіді на питання обґрунтування вибору режиму термічної обробки, описання змін структури та властивостей на усіх переходах та операціях. Графік та карта технологічного процесу термічної обробки.

5. Висновки по роботі.

Рекомендована література

1–6, 11–15, 17, 20–25, 27–40, 42–43, 46–52.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Статистичний аналіз стабільності технологічних процесів термічної обробки та їх статистичне регулювання

Мета роботи: освоїти методи аналізу стабільності процесів термічної обробки та їх регулювання із застосуванням статистичного аналізу.

Загальні відомості

Як зазначалось раніше (див. лабораторну роботу №4), статистичний контроль та регулювання якості продукції в термічному виробництві – це невід’ємна складова в задачі організації вискоєфективного виробництва. В даній роботі розглядається сутність основних складових статистичних методів управління якістю продукції (див.рис.4.1). Статистичний аналіз стабільності технологічного процесу дозволяє за допомогою статистичних методів визначити його закономірності протікання в часі, повторюваність та відтворюваність його результатів. Статистичне регулювання технологічного процесу термічної обробки – це корегування параметрів технологічного процесу за результатами вибіркового контролю виробів з метою технологічного забезпечення необхідного рівня якості продукції та попередження виникнення браку. Аналіз стабільності технологічних процесів і їх регулювання тісно між собою пов’язані.

Статистичне регулювання технологічних процесів (СРП) зручно здійснювати за допомогою контрольних карт, що засновані на статистиці, отриманій за результатами вибіркового контролю. До таких статистик відносять: \bar{X} – середнє арифметичне; \tilde{X} – медіана; σ – середнє квадратичне відхилення; R – розмах; P – частка дефектних одиниць продукції і т.ін. На контрольній карті позначають границі регулювання, що обмежують область допустимих значень статистики.

Вихід точки за границю регулювання (або поява її на самій границі) – це сигнал про розлад технологічного процесу. Контрольна карта дозволяє не лише виявити розлад процесу, але й допомагає з’ясувати його причину. Звісно, що контрольна карта – це документ, який може бути використаний для прийняття обґрунтованих рішень по поліпшенню якості продукції.

На підставі аналізу результатів контрольної карти може бути прийнято рішення про перегляд допуску на контрольований параметр, про зміну або модернізацію обладнання, зміну параметрів технологічного процесу. Використовують наступні види контрольних карт:

- середніх арифметичних значень (\bar{X} –карта);
- медіан (\tilde{X} –карта);
- середніх квадратичних значень (σ –карта);
- розмахів (R –карта);
- числа дефектних одиниць продукції (np –карта);
- частки дефектних одиниць продукції (P –карта);
- числа дефектів (C –карта);
- числа дефектів на одиницю продукції (U –карта).

Перші чотири види контрольних карт використовують при контролі за кількісною оцінкою, останні чотири – при контролі за альтернативною системою. При виборі виду контрольної карти слід дотримуватись наступних рекомендацій:

- контрольну карту $\bar{X}-R$ (середніх арифметичних значень та розмаху) використовують при вимірюванні регульованих показників, наприклад, границі міцності, твердості, глибини шару, ударної в'язкості, відносного видовження тощо. Використовують при серійному та масовому виробництві, коли коефіцієнт точності технологічного процесу $K_m = 6\sigma/T$ знаходиться у межах 0,75...0,85; для процесів із високими вимогами до точності та при випуску продукції для авіаційної техніки, автомобілебудування, коли необхідно забезпечити безпеку споживача;

- контрольну карту $\tilde{X}-R$ використовують для менш точних, ніж карта $\bar{X}-R$, процесів;

- контрольну карту P (для частки дефектних виробів) використовують для контролю та регулювання технологічного процесу термічної обробки (після перевірки невеликої кількості виробів та розподілу їх на якісні та дефектні). Частка визначається діленням числа дефектних виробів на число перевірених виробів;

- контрольну карту np використовують у тому випадку, коли контрольованим параметром є число дефектних виробів за умови, що об'єм вибірки $n = const$. Тому ця контрольна карта є подібною до контрольної карти P (варіант $n = const$).

Статистичні методи регулювання технологічних процесів при контролі за кількісною оцінкою. Про розлад технологічного процесу судять як по середньому значенню контрольованого параметра, так і по розсіюванню значень відносно цього середнього значення. Переміщення середнього значення (в будь-яку сторону) відносно середини поля допуску та збільшення розсіювання призводять до збільшення частки дефектної продукції.

При статистичному регулюванні технологічних процесів (СРТП) використовують середнє арифметичне \bar{X} , або медіану \tilde{X} ; перевагу віддають \bar{X} , тому що воно є більш точною оцінкою математичного очікування ρ . На основі вибору будують \bar{X} -карту або \tilde{X} -карту.

При СРТП використовують наступні характеристики розсіювання: середнє квадратичне відхилення σ , або розмах R_i і будують σ -карту або R -карту. Перевагу віддають σ як більш точній оцінці, ніж R .

Контроль СРТП за кількісною ознакою проводять за допомогою подвійної контрольної карти: $\bar{X}-\sigma$, $\bar{X}-R$; $\tilde{X}-\sigma$, $\tilde{X}-R$. Для побудови будь-якої контрольної карти перш за все необхідно попередньо визначити границі регулювання:

- для \bar{X} - та \tilde{X} -карт – верхню $ГР_v$ та нижню $ГР_n$ границі регулювання;
- для σ - та R -карт – одну границю регулювання – $ГР_v$ (що обмежує допустиме розсіювання).

Границі регулювання визначають за допомогою параметрів нормального розподілення μ та σ . Для цього на підставі попереднього дослідження стану технологічного процесу вирішують наступні задачі:

- отримують оцінки параметрів нормального розподілу μ та σ ,
- визначають імовірну частоту дефектної продукції P ;
- визначають коефіцієнт точності $K_m = \frac{6\sigma}{T}$, де $T = T_s - T_n$.

Для попереднього дослідження стабільності технологічного процесу на контроль відбирають, як мінімум, $N = 100$ одиниць продукції, що оброблена на налагодженому обладнанні. Доцільно відбирати одиниці продукції не підряд, а, наприклад, п'яту, десятую п'ятнадцяту і т.п., що дозволяє охопити більший інтервал роботи обладнання і більш вірно оцінити стан технологічного процесу в часі, тобто його стабільність.

У відібраних одиниць продукції контролюють заданий параметр X . Якщо таких параметрів декілька, то відбирають найбільш важливі із них і процедуру дослідження проводять окремо по кожному із цих параметрів (наприклад, твердості, ударній в'язкості, пластичності і т.ін.).

Результати контролю заносять у форму, позначають їх серіями по n одиниць (де n – об'єм вибірки, передбачений для статистичного регулювання досліджуваного технологічного процесу). Об'єм вибірки – від 3 до 10 одиниць продукції. Значення X контрольованого параметра – необхідна вхідна інформація. Загальний об'єм цієї інформації $N = n \cdot K$, де K – кількість вибірок.

За результатами контролю кожної вибірки розраховують статистичні характеристики \bar{X} , \tilde{X} , S , R та заносять їх у таблицю. На підставі цієї інформації визначають оцінки параметрів μ та σ .

Параметр μ (середнє значення контрольованого параметра) отримують як середнє арифметичне K значень \bar{X}_i :

$$\mu = \bar{\bar{X}} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \bar{X}_i, \text{ де } \bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} (i = 1, 2, \dots, K; j = 1, 2, \dots, n).$$

Для оцінки σ (середнього квадратичного відхилення контрольованого параметра) використовують рівняння

$$\sigma = \sqrt{\frac{S}{n}} \cdot C_2,$$

$$\text{де } \bar{S} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K S_i, S_i = \sum (x_i - \bar{x})^2 \text{ або } S_i = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n};$$

C_2 – поправочний коефіцієнт (табл.6.1).

Таблиця 6.1 – Значення поправочного коефіцієнта C_2

Об'єм вибірки, n	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт C_2	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97

Для оцінки σ можна використати залежність $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$, де:

$$\bar{R} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K R_i; d_2 - \text{ поправочний коефіцієнт (табл.6.2).}$$

Таблиця 6.2 – Значення коефіцієнта d_2

Об'єм вибірки, n	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт d_2	1,69	2,06	2,33	2,53	2,70	2,85	2,97	3,08

Імовірна частка дефектної продукції P розраховується за формулою

$$P = 1 - \Phi\left(\frac{T_g - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{T_n - \mu}{\sigma}\right),$$

де T_g , T_n – верхня та нижня границі поля допуску (значення вказані в завданні);

$\Phi(X)$ – функції нормального розподілу (додатки Д та Ж).

З останнього рівняння видно, що частка дефектної продукції тим більше, чим більше σ та чим більше буде відхилення μ від μ_0 (середнього значення контрольованого параметра при налагодженому стані технологічного процесу).

Точність технологічного процесу термічної обробки визначається як властивість технологічного процесу, що обумовлює близькість дійсних та номінальних значень параметрів термічно обробленої продукції.

Вона оцінюється коефіцієнтом точності $K_m = \frac{6\sigma}{T}$, де $T = T_g - T_n$. Чим менше значення K_m , тим більший запас точності і тим вище гарантія бездефектного виготовлення продукції впродовж визначеного часу.

Після попереднього дослідження стану технологічного процесу вибирають контрольні карти, за допомогою яких буде здійснено статистичне регулювання. В табл.6.3 наведено формули для визначення границь регулювання.

Після вибору контрольної карти, наприклад, $\bar{X}-R$, $\tilde{X}-S$ чи іншої, на ній відмічають значення, отримані за результатами вибіркового контролю. Так, наприклад, на \bar{X} -карті відмічають середні арифметичні значення, отримані за результатами вибіркового контролю, тоб-

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad (\text{рис.6.1}).$$

На R -карті (рис.6.1) наносять розмахи, котрі визначають за рівнянням $R = x_{max} - x_{min}$ як різницю між максимальним та мінімальним значенням контрольованого параметра у вибірці.

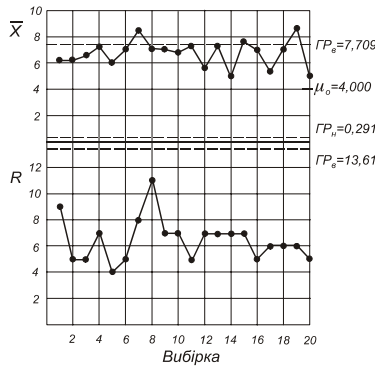
Таблиця 6.3 – Рівняння для визначення границь регулювання

Назва контрольної карти	Границя регулювання	Умови використання
Карта середніх арифметичних значень (\bar{X} -карта)	$GP_{\sigma, n} = \mu_0 \pm A_1 \cdot \sigma$	Якщо σ відома
	$GP_{\sigma, n} = \mu_0 \pm A_1 \cdot S$	Якщо σ невідома
	$GP_{\sigma, n} = \mu_0 \pm A_2 \cdot C_2 \cdot \bar{S}$ $GP_{\sigma, n} = \mu_0 \pm A_3 \cdot \bar{R}/d_2$	
Карта медіан (\tilde{X} -карта)	$GP_{\sigma, n} = \mu_0 \pm A_4 \cdot \sigma$	Якщо σ відома
	$GP_{\sigma, n} = \mu_0 \pm A_4 \cdot \tilde{R}$	Якщо σ невідома
Карта середньоквадратичних значень (S -карта)	$GP_{\sigma} = B \cdot \bar{S}$	
Карта розмахів (R -карта)	$GP_{\sigma} = D \cdot \bar{R}$	

Примітка. Коефіцієнти A_1, A_2, A_3, A_4, B, D – в табл.6.4, C_2 – в табл.6.1; \tilde{X} – медіана K розмахів R_i ; d_2 – табл. 6.2.

Таблиця 6.4 – Значення коефіцієнтів для визначення границь регулювання

Коефіцієнт	Значення коефіцієнтів в залежності від об'єму вибірки n							
	3	4	5	6	7	8	9	10
A_1	1,73	1,5	1,34	1,23	1,13	1,06	1,00	0,95
A_2	1,49	1,29	1,15	1,05	0,97	0,91	0,86	0,81
A_3	1,96	1,63	1,43	1,29	1,18	1,1	1,03	0,98
A_4	1,68	1,4	1,23	1,11	1,02	0,94	0,89	0,84
B	2,57	2,37	2,09	1,96	1,89	1,82	1,77	1,71
D	2,57	2,28	2,11	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78

Рисунок 6.1 – Контрольна \bar{X} - R -карта

Приклад: Прийнято рішення перевести на статистичне регулювання технологічний процес рекристалізаційного відпалення листової сталі 12X18H10T в печі типа ТРО. За показник якості вибрано параметр – відносне видовження $\delta = 40\%$, його відхилення $\delta_B = +5\%$; $\delta_H = -3\%$.

Впровадження СРТП здійснюється в три етапи.

1^{ий} етап. Попереднє дослідження стабільності технологічного процесу. На цьому етапі визначають імовірну частку дефектної продукції $P = I - q$ та коефіцієнт точності $K_m = 6\sigma/T$.

2^{ий} етап. Побудова (заповнення) контрольної карти та вибір плану контролю.

3^{ий} етап. Статистичне регулювання технологічного процесу.

На 1-ому етапі необхідно мати вхідну інформацію, яку отримаємо після випробування серій із 5 зразків (всього 20 серій), котрі відбирались через 1 годину від термічно оброблених листів. Для спрощення розрахунків приймаємо за базу $\delta = 35\%$, результати випробувань (відхилення від $\delta = 35\%$) запишемо в табл.6.4.

$$\mu = \bar{\bar{X}} = \frac{I}{K} \sum_{i=1}^{K=20} \bar{X}_i = \frac{I}{20} \left(\begin{array}{l} 6,2+6,2+6,6+6,4+6,0+6,8+8,4+7,2+ \\ +7,0+6,6+7,6+5,8+7,6+5,2+7,8+6,8+ \\ +5,4+7,0+8,4+5,6 \end{array} \right) = \frac{134,6}{20} = 6,73\%$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}, \text{ де } \bar{R} = \frac{I}{K} \sum_{i=1}^{K=20} R_i$$

По табл.6.2 при $n = 5$ $d_2 = 2,33$.

$$\bar{R} = \frac{I}{20} \cdot 129 = 6,45,$$

$$\sigma = \frac{6,45}{2,33} \approx 2,768.$$

Значення μ та σ дозволяють визначити частку дефектної продукції P на даній операції

$$P = I - \Phi\left(\frac{T_B - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{T_H - \mu}{\sigma}\right),$$

де T_B та T_H – верхня та нижня границі поля допуску. За механічними вимогами ($\delta_B = 40 + 5 = 45\%$; $\delta_H = 40 - 3 = 37\%$).

Таблиця 6.4 – Результати попереднього дослідження стану технологічного процесу

Підприємство – металургійний завод		Статистична обробка результатів аналізу технологічного процесу (контроль за кількісною ознакою)							
Цех холодної прокатки		Обладнання – агрегат ТРО		Контрольована операція – рекристалізаційний відпал				Контрольований параметр $\delta = 40_{-3}^{+5}\%$	
Об'єм контролю N=100		Об'єм вибірки n=5		Засіб контролю – УВМ-1000				Точність контролю 1,0%	
Дата	Час	№ вибірки	Результати контролю					\bar{X}_i	R_i
01. 09	7 ⁰⁰	1	1	5	8	7	10	6,2	9
	8 ⁰⁰	2	6	4	4	8	9	6,2	5
	9 ⁰⁰	3	5	8	7	9	4	6,6	5
	10 ⁰⁰	4	11	3	8	8	7	6,4	7
	11 ⁰⁰	5	7	8	5	6	4	6,0	4
	12 ⁰⁰	6	8	4	9	5	8	6,8	5
	13 ⁰⁰	7	4	12	10	6	10	8,4	8
	14 ⁰⁰	8	7	9	12	1	7	7,2	11
	15 ⁰⁰	9	4	7	6	7	11	7,0	7
02. 09	16 ⁰⁰	10	5	10	6	9	3	6,6	7
	7 ⁰⁰	11	8	5	6	9	10	7,6	5
	8 ⁰⁰	12	3	8	7	2	9	5,8	7
	9 ⁰⁰	13	4	7	11	9	7	7,6	7
	10 ⁰⁰	14	2	6	4	9	5	5,2	7
	11 ⁰⁰	15	10	11	8	6	4	7,8	7
	12 ⁰⁰	16	4	6	9	7	8	6,8	5
	13 ⁰⁰	17	5	9	6	4	3	5,4	6
	14 ⁰⁰	18	10	6	7	4	8	7,0	6
15 ⁰⁰	19	8	12	7	9	6	8,4	6	
	16 ⁰⁰	20	4	5	9	4	5	5,6	5
								134,6	129

Примітка. \bar{X}_i – середньоарифметичне значення контрольованого параметру у вибірці; R_i – різниця між максимальним та мінімальним значенням контрольованого параметру у вибірці.

Раніше для спрощення розрахунків прийнято за базу $\delta = 35\%$, тому із отриманих значень віднімемо 35%, отримаємо $T_g = \delta_g - \delta = 45 - 35 = 10\%$; $\delta_n - \delta = T_n = 37 - 35 = 2\%$.

Визначимо частку P дефектної продукції:

$$P = 1 - \Phi\left(\frac{10 - 6,73}{2,768}\right) + \Phi\left(\frac{2 - 6,73}{2,768}\right) = 1 - \Phi(1,181) + \Phi(-1,709).$$

Значення $\Phi(X)$ знаходимо за додатками Ж та З

$$\Phi(1,181) = 0,8810; \quad \Phi(-1,709) = 0,0436,$$

$$P = 1 - 0,8810 + 0,0436 = 0,1626.$$

Таким чином, імовірна частка дефектної продукції складає 16,26%.

Оцінимо даний технологічний процес із використанням коефіцієнта точності

$$K_m = \frac{6\sigma}{T_g - T_n} = \frac{6 \times 2,768}{10 - 2} = \frac{16,608}{8} = 2,076.$$

Оскільки $K_m = 2,076$ значно більше нормального значення $K_m \leq 0,98$, то даний технологічний процес по точності та стабільності признається незадовільним, близько 16,3% із термообробленого прокату – дефектна продукція.

У зв'язку із тим, що технологічний процес признано незадовільним, необхідно його поліпшити, а потім знову визначити K_m .

2^{ий} етап – побудова контрольної карти та вибір плану контролю. Використовуємо \bar{X} -R-карти. Визначимо границі регулювання для \bar{X} -карти по табл.6.3. Оскільки оцінку σ ми отримуємо на підставі розмаху, то

$$GP_g = \mu_0 + A_3 \cdot (\bar{R}/d_2)$$

$$GP_n = \mu_0 - A_3 \cdot (\bar{R}/d_2)$$

$$\text{де } \mu_0 - \text{середина допуску } \mu_0 = \frac{T_g - T_n}{2} = \frac{45 - 37}{2} = 4\%;$$

$$A_3 = 1,43 \text{ при вибірці } n = 5 \text{ (див.табл.6.4).}$$

$$GP_g = 4 + 1,43 \cdot (6,45/2,33) = 7,709\%$$

$$GP_n = 4 - 1,43 \cdot (6,45/2,33) = 0,291\%$$

Визначимо границю регулювання для R-карти $GP_g = D \cdot \bar{R}$. Значення коефіцієнта D вибираємо по табл.6.4. При вибірці $n = 5$, $D = 2,11$

$$GP_g = 2,11 \cdot 6,45 = 13,61\%.$$

Після визначення границь регулювання, будемо контрольну карту (рис.6.1), для цього обираємо масштаб та наносимо точки за даними табл. 6.4.

3^{тй} етап. Після побудови контрольної карти приступаємо до статистичного регулювання даного технологічного процесу. Для цього слід звернути увагу на те, що \bar{X} значення розташовані біля верхньої границі регулювання симетрично по відношенню до μ_0 , що безумовно приводить до того, що біля 16% термообробленої сталі є дефектною продукцією. Це можна пояснити підвищеною температурою рекристалізаційного відпалу та крупним зерном аустеніту. Для зміни такого становища понижуємо температуру обробки, підвищуємо швидкість руху листів в печі, зменшуємо час їх перебування в печі. Вносимо корективи в технологію, переконаємося в тому, що оброблювана продукція годна. Для цього через кожну годину відбираємо на контроль $n = 5$ зразків, випробуємо їх, визначаємо \bar{X} та R , помічаємо точки на $\bar{X}-R$ -карті. Якщо точки не виходять за границі регулювання, процес продовжується, якщо виходять – здійснюємо налагоджування параметрів (регулювальний вплив).

Завдання на підготовку до лабораторної роботи

1. Описати сутність статистичних методів контролю стабільності технологічних процесів термічної обробки та їх регулювання.
2. Підготувати табл. 6.4 та рис. 6.1 для внесення даних індивідуального завдання.
3. Привести методику статистичної оцінки стабільності технологічного процесу та корегування їх параметрів.

Контрольні питання

1. Сутність та задачі статистичного аналізу стабільності технологічних процесів та їх статистичне регулювання.
2. Охарактеризувати особливості статистичного регулювання технологічних процесів за допомогою контрольних карт.
3. Які контрольні карти використовують при контролі процесів за кількісною оцінкою ?
4. Як визначають μ , μ_0 , σ , R , T_0 , T_n , частку дефектної продукції ?
5. Як впливає кількість зразків у вибірці на середнє квадратичне відхилення σ ?
6. Викласти методику побудови контрольної $\bar{X}-R$ -карти, її використання для статистичного регулювання технологічного процесу термічної обробки.

7. Чим пояснити, що середні значення твердості в окремих партіях вибірки знаходяться вище (нижче) границі регулювання ?

8. Для заданих викладачем X -карти, R -карти здійснити аналіз та запропонувати способи регулювання (корегування) для підвищення точності та стабільності технологічного процесу.

9. Чи може бути процес: а) точним та нестабільним; б) точним та стабільним; в) стабільним, але не точним. Наведіть приклади і надайте до них пояснення.

Порядок виконання роботи

1. Отримати варіант завдання із вибіркою експериментальних даних, заповнити табл.6.4.

2. Результати дослідження стану технологічного процесу, середнє значення \bar{X}_i та розмах R_i занести в табл.6.4

3. Із використанням статистичних методів визначити частку дефектної продукції та коефіцієнт точності технологічного процесу.

4. Визначити верхню та нижню границю регулювання ($ГР_v$, $ГР_n$.) параметра, верхню границю розмаху, побудувати та проаналізувати контрольну $\bar{X} - R$ -карту.

Зміст звіту

1. Основні поняття теорії статистичного аналізу стабільності технологічного процесу та його регулювання.

2. Заповнена табл. 6.4, розрахунки для визначення необхідних величин, $\bar{X} - R$ -карта.

3. Висновки щодо стабільності технологічного процесу, його точності та статистичного регулювання.

Рекомендована література

6, 7, 9, 10, 26

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Наука про матеріали: досягнення та перспективи: монографія. - К.: «Академперіодика», у 2-х т. – 2018. – 395 с.
2. Інженерне матеріалознавство: Підручник / О. М. Дубовий, Ю. О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедева, С.М. Самохін. – Миколаїв: НУК, 2009. – 444 с.
3. Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту [Текст] : монографія / С. А. Клименко [и др.] ; НАН України, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М.Бакуля. – К. : ІНМ ім. В.М.Бакуля, 2009. – 172 с.
4. Балашов Е.П. Статистический контроль и регулирование качества массовой продукции / Е.П. Балашов. – М.: Машиностроение, 1984. – 231 с.
5. Башнин С.А. Технология термической обработки / С.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.
6. Волков Л.И. Надежность летательных аппаратов / Л.И. Волков. – М.: Высшая школа, 1975. – 293 с.
7. Гиссин В.И. Управление качеством продукции / В.И. Гиссин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 256 с.
8. Головин П.Ф. Технология термической обработки металлов с применением индукционного нагрева / П.Ф. Головин, И.В. Зимин. – М.: Машиностроение, 1979. – 119 с.
9. ГОСТ 3.1405-86 ЄСТД. Єдина система технологічної документації. Форми и требования к заполнению и оформлению документов на технологические процессы термической обработки.
10. Гостев В.И. Методы управления качеством продукции: Крупносерийное и массовое производство / В.И. Гостев. – М.: Машиностроение, 1980. – 262 с.
11. Гуляев А.П. Выбор марки стали для деталей машин (основные положения) // МиТОМ. – 198. – №1. – С. 54–59.
12. Гуляев А.П. Инструментальные стали: Справ очник / А.П. Гуляев, К.И. Малинкина, С.М. Саверина. – М.: Машиностроение, 1975, – 270с.
13. Дипломное проектирование термических цехов /Под ред. К.Ф. Стародубова. – Киев: Выща шк., 1974. – 157 с.

14. Долженков И.Е. Основы проектирования термических цехов / И.Е. Долженков, К.Ф. Стародубов, А.А. Спасов. – Киев: Выща школа, 1986. – 214 с.
15. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник. – М.: Машиностроение, 1981. – 319 с.
16. Зоткин В.Е. Методы и критерии оценки эффективности использования материалов // МиТОМ. – 1985. – №7 – С. 46–50.
17. Козловский И.С. Химико-термическая обработка шестерен / И.С. Козловский. – М.; Машиностроение, 1970. – 231 с.
19. Арзамасов Б.Н. Конструкционные материалы: Справочник / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др. Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
20. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Металлургия, 1985. – 255 с.
21. Лахтин Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган. – М.: Машиностроение, 1976. – 255 с.
22. Мастрюков В.С. Теория, конструкция и расчеты металлургических печей / В.С. Мастрюков. – М.: Металлургия, 1986. – Т.2. – 376 с.
23. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. – М.: Машиностроение, 1985. – 490 с
24. Общемашиностроительные нормативы времени на термообработку (закалку) токами высокой частоты конструкционных углеродистых и малолегированных сталей. – 4-е изд. – М.: НИИТруда, 1975. – 70 с.
25. Общемашиностроительные нормативы времени на термическую обработку изделий в печах пламенных, электрических и соляных ваннах. – 4-е изд. – М.: НИИТруда, 1975. – 108 с.
26. Повышение надежности технологических процессов изготовления изделий в машиностроении: Сб. науч. трудов. – Кемерово: Кузбасс. ПТИ, 1979. – 205 с.
27. Поздняк Л.А. Инструментальные стали: Справочник / Л.А. Поздняк, С.А. Тишаев. – М.: Металлургия, 1977. – 167 с.
28. Поздняк Л.А. Штамповые стали / Л.А. Поздняк, Б.М. Скрынченко, С.А. Тишаев. – М.: Металлургия, 1980. – 244 с.
29. Райцес В.Б. Химико-термическая обработка деталей / В.Б. Райцес, В.М. Литвин. – Киев: Техника, 1980. – 152 с.
30. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы / А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1982. – 400 с.

31. Расчет нагревательных и термических печей: Справочник /Под ред. В.М. Тымчака. – М.: Metallургия, 1983. – 480 с.
32. Самохоцкий А.И. Технология термической обработки металлов / А.И. Самохоцкий, Н.Г. Парфеновская. – М.: Машиностроение, 1976. – 310 с.
33. Седов Ю.Е., Адашкин А.М. Справочник молодого термиста / Ю.Е. Седов, А.М. Адашкин. – М.: Высшая школа, 1986. – 238 с.
34. Смольников В.А. Термическая и химико-термическая обработка инструментов в соляных ваннах / В.А. Смольников. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с
35. Соколов К.Н. Оборудование термических цехов / К.Н. Соколов. – Киев; Донецк: Выща школа, 1984. – 328 с.
36. Соколов К.Н. Технология термической обработки и проектирование термических цехов / К.Н. Соколов, И.К. Коротич. – М.: Metallургия, 1988. – 383 с.
37. Солодихин А.Г. Экономика, организация и планирование производства в термических цехах / А.Г. Солодихин, В.П. Калинин. – М.: Машиностроение, 1987. – 302 с.
38. Солодихин А. Г. Технология, организация и проектирование термических цехов / А.Г. Солодихин. – М.; Высш. шк., 1987. – 367 с.
39. Сігова В.І. Технологія і проектне рішення термічних цехів і дільниць: навч. посіб. /В.І. Сігова, В.Б.Юскаєв, А.Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 318 с.
40. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Metallургия, 1980. – 782 с.
41. Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов: Справочник / Д.Г. Туфанов. – М.: Metallургия, 1982. – 352с.
42. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы / М.А. Тылкин. – М.: Metallургия, 1981. – 648 с.
43. Фиргер И.В. Термическая обработка сплавов: Справочник / И.В. Фиргер. – М.: Машиностроение, 1982. – 303 с.
44. Хенкин М.Л. Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении и приборостроении / М.Л. Хенкин. – М.: Машиностроение, 1974. – 255 с.
45. Шубин Р.П. Технология и оборудование термических цехов / Р.П. Шубин, В.С. Приходько. – М.: Машиностроение, 1971. – 279 с.

46. Шубин Р.П. Нитроцементация деталей машин / Р.П. Шубин, М.Л. Гринберг. – М.: Машиностроение, 1975. – 207 с.
47. Шепеляковский К.З. Упрочнение деталей машин поверхностной закалкой при индукционном нагреве / К.З. Шепеляковский. – М.: Машиностроение, 1972. – 287 с.
48. Цырлин Э.С., Курдюмова В.Е., Блинов В.Н. Ионное азотирование деталей станков и режущего инструмента // МиТОМ. – 1983. – № 5. – С. 19–23.
49. Николаев Е.Н. Термическая обработка металлов токами высокой частоты / Е.Н. Николаев, И.М.Коротин. – М.: Высшая школа, 1984. – 207 с.
50. Головин Г.Ф. Высокочастотная термическая обработка. Вопросы металловедения и технологии / Г.Ф. Головин, М.М. Замятин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 239 с.
51. Марочник сталей и сплавов: Справочник /Под ред. В.Г. Сорокина. – М.: Машиностроение. 1989. – 640 с.
52. Шохорі А.В. Термічна обробка металів /А.В. Шохорі, М.Г. Чумак: навчальний посібник. – К.: Либідь, 2002. – 511 с.
53. Будник А.Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць: навчальний посібник /А.Ф. Будник. – Суми: Видво СумДУ, 2008. 212 с.

Додаток А

Ціни на деякі промислові печі, нагрівальні установки й інше устаткування термічних цехів

№ п/п	Устаткування	Марка чи тип	Потужність, кВт	Балансова вартість устаткування (В _б), грн. (приблизно, станом на 2021 р.)
1	2	3	4	5
1	Камерні електропечі: - с металевими нагрівачами - с карборундовими нагрівачами	СНЗ-3.6.2/10	14,6	80550
		СНЗ-4.8.2,5/10	25	142300
		СНЗ-6.12.4/10	58	256900
		СНЗ-6.12.4/12	51	319000
		СНЗ-6.16.5/10	81	347200
		СНЗ-11.22.7/12	140	923000
		СНО-3.6.2/10	14,6	65900
		СНО-4.8.2,5/10	25	128500
		СНО-3.4.2,5/10	81	208000
		СНО-6.12.4/10	71	203100
2	Камерні механізовані агрегати з гартівним баком	СНЗА-5.10.3,2/10		3800000
		СНЗА-8.16.5/10		4200000
3	Камерні печі з висувним подом	СДО-14.20.10/12	210	555000
		СДО-14.28.10/10	300	820000
		СДО-14.36.10/12,5	300	910000
		СДО-23.46.20/10	1080	2635000
4	Вакуумні печі: - камерні	СНВ-1.3.1/16	22	673000
		СНВ-5.10.5/11.5	152	3867000
	- шахтні	СШВ-8.9/11.5	120	1388000
		СШВ-15.15/9	168	5208000
	- елеваторні	СЭВ-5.5/13	260	112000000

1	2	3	4	5
5	Вертикальні електрошахтні печі - для гартування, нормалізації - для відпускання	СШЗ-10.10/10	111	205800
		СШЗ-6.12/10	85	217500
		СШЗ-6.30/10	130	352800
		СШЗ-15.30/10	300	597800
		СШО-3,2.3,2/3.5	6	44000
		СШО-6.12/7	52,2	228500
		СШО-6.20/7	72,2	254800
		СШО-10.10/7	85	308700
		СШО-15.30/7	197,2	539000
		- для цементациї - для азотування	СШЦМ-6.6/9	73,2
СШЦМ-6.12/9	68,2		507000	
СШЦМ-6.20/9	103,2		521000	
США-5,7,5/6	42,5		218900	
США-8.12/6	95,0		347200	
США-8.24/6	120,0	451000		
6	Електричні штовхальні печі - для гартування і нормалізації - для відпускання	СТЗ-5.40.5/10	250	1960000
		СТЗ-6.48.4/10	250	2280000
		СТЗ-5.60.5/7	219	2340000
		СТЗ-10.60.5/7	322	2805000
7	Електричні штовхальні агрегати - для гартування і відпускання - для цементациї	СТЗА-5.40.5/7	581	4774000
		СТЗА-10.47.5/7	808	5005000
		СТЗА-10.40.5/3	732	5320000
		СТЦА-5.60.5/3	577	4455000
		СТЦА-10.60.5/3	697	5544000
		СТЦА-10.100.5/3	912	7150000
		СТЦА-5.100.5/3	920	9553000
		СТЦА-10.100.5/7	1180	10456000

1	2	3	4	5
8	Електричні конвеєрні печі - для гартування і нормалізації - для високотемпературного відпускання - для низькотемпературного відпускання	СКЗ-4.20.1/9	80,5	902000
		СКЗ-1.30.1/9	110,5	1045000
		СКЗ-6.30.1/9	160,5	1056000
		СКЗ-10.40.1/9	279,5	1579000
		СКЗ-4.20.1/7	54,2	689700
		СКЗ-4.30.1/7	75,3 1	812000
		СКЗ-6.40.1/7	108,6	888000
		СКЗ-8.40.1/7	168,8	1084000
		СКО-3.35.4/3	50,2	401500
		СКО-8.56.4/3	64,8	583000
	СКО-І2.55.4/3	90,2	737000	
	СКО-І4.75.4/3	149,2	951500	
9	Конвеєрні агрегати для гартування і відпускання для цементациї	СКЗА-4.20.1/7	149,5	2204000
		СКЗА-4.30.1/7	200,6	2563600
		СКЗА-8.40.1/7	422	2981200
		СКЗА-10.40.1/7	500	3706200
		СКЗА-4.30.1/3	181,8	2088000
		СКЗА-6.30.1/3	239	2181000
		СКЗА-8.40.1/3	387,3	2610000
		СНЦА-5.10.5/3,5	472	5312800
	СНЦА-5.10.5/7,5	472	5597000	
10	Печі інерційного типу	СИЗ-4.20.1/9	88,6	522000
		СИЗ-6.40.1/9	155,6	759800
		СИЗА-6.40.1/3	266	1798000
11	Електричні соляні ванни електродні	СВС-1,5.3.4/8,5	35	49300
		СВС-3,5.8.4/8,5	100	98600
		СВС-3,6.5.5/8,5	160	101500
		СВС-6.9.4,5/8,5	160	110500
		СВС-2.5/13	137	174000
		СВС-1,5.2,5.3,2/13	60	127600
		СВС-3,6.5.5/13	150	142100
		СВС-3,5.8.4/6,5	65	92800
12	Установки підвищеної частоти періодичної дії	ІЗЧ-100/8(8000Гц)	100	43450
		ІЗЗ-200/2,4(2400Гц)	200	51200
		ІЗЗ-100/2,4(2400Гц)	100	43500
		ІЗЧ-200/8(8000Гц)	200	51200

1	2	3	4	5
13	Установки для одержання контролюваних атмосфер	ЭК-60М1 ЭК-125М3 ЭК-250М2 ЭН-60М2	1,7 4,5 5,5 36,0	117800 177000 319000 550420
14	Дробеструменева установка			208000
15	Гідропіскоструминна установка			197100
16	Мийна машина	ММК-400		45200
17	Гартівний бак	ЗБК-400		33400
18	Іонна нагрівальна піч (розміри робочого простору 960×1200 мм)	ОКБ-1566	170	130000
19	Установки обробки холодом	ХКМ	60	480000

Додаток Б

**Середні норми обслуговування
для основних робочих термічних цехів
(одиниць устаткування на одного робітника в зміну)**

№ п/п	Обладнання	Операція	Тип виробництва		
			Дрібно-серійне	Серійне	Крупносерійне, масове
1	2	3	4	5	6
1	Печі камерні електричні та паливні з площею поду до 1м ²	Відпал	0,5	3	4
		Нормалізація	-	2	2,5
		Гартування	-	1	2
		Ціанування	-	-	2,5
		Цементация	-	-	4
		Відпуск	-	2	3
2	Те ж з площею поду 1...3 м ²	Відпал	2	3	4
		Нормалізація	2	2	2,5
		Ціанування	-	-	2,5
		Гартування	1	1	2
		Відпуск	2	2	3
		Цементация в газовому карбюраторі	2	-	-
		Цементация в твердому карбюраторі	-	3	4
3	Печі камерні паливні з висувним подом площею 3...10 м ²	Відпал	1,5	3	-
		Нормалізація	0,7	2	-
		Гартування	0,7	1	-
		Відпуск	1	2	-
		Цементация в твердому карбюраторі	1,5	-	-
4	Те ж з площею більше 10м ²	Відпал	1	-	-
		Нормалізація	1	-	-
		Гартування	0,7	-	-
		Відпуск	1,5	-	-
5	Печі шахтні електричні та паливні з глибиною робочого простору до 1 м	Гартування	-	1	2
		Нормалізація	-	1	2
		Відпуск	-	2	3
6	Те ж з глибиною робочого простору 1...4 м	Відпал	-	-	4
		Гартування	-	1	2
		Ціанування	-	-	2,5
		Цементация	-	-	4
		Відпуск	-	2	3

1	2	3	4	5	6
7	Те ж з глибиною робочого простору більше 4 м	Гартування Нормалізація	0,7 -	0,7 0,7	- -
8	Печі шахтні електричні муфельні	Газова цементація Нітроцементація Газове азотування	- - -	3 2 4	4 - -
9	Печі шахтні електричні безмуфельні	Ціанування Цементація	- -	- -	2,5 4
10	Печі електричні з пересувною камерою та двома контейнерами	Газове азотування	2	4	-
11	Електричні соляні ванни	Гартування Ціанування Відпуск	- - -	1 - 1,5	1 2,5 2,5
12	Електричні масляні ванни з об'ємом робочого простору 1м ³	Низькотемпературний відпуск Старіння	2 2	3 4	3 5
13	Те ж з об'ємом робочого простору більше 1 м ³	Низькотемпературний відпуск	1,5	3	-
14	Установка СВЧ із ламповим генератором	Поверхнєве гартування	-	1	1*
15	Установка СВЧ із машинним генератором	Поверхнєве гартування Нормалізація	1	1	1* 1*
16	Карусельні печі	Гартування	-	-	1
17	Конвеєрні печі та агрегати із укладанням деталей при завантаженні	Відпал Нормалізація Гартування Відпуск	- - - -	- - - -	1 1 1 1
18	Конвеєрні печі та агрегати з механізованим завантаженням деталей	Нормалізація Гартування Відпуск	- - -	- 2 2	2 2 2
19	Печі та агрегати інерційного типу з укладанням деталей при завантаженні	Гартування Відпуск	- -	- -	1 1
20	Печі та агрегати інерційного типу з механізованим завантаженням деталей	Гартування Відпуск	- -	- -	2 2
21	Печі з роликівим подом безперервної дії та агрегати	Гартування Відпуск Нормалізація	2 - -	- - 1	1** 1 1
22	Штовхальні печі та агрегати	Відпуск Гартування Ціанування Цементація	- - - -	1 1 1 1	1** 1** 1** 1**

1	2	3	4	5	6
23	Печі барабанного типу та агрегати	Гартування Ціанування Цементація Відпуск	- - - -	0,7 - - -	2 2,5 4 3
24	Автоматичні лінії термічної обробки інструмента	Гартування Відпуск	- -	0,5 1	- -
25	Агрегати низькотемпературного рідинного ціанування та окремі ванни	Ціанування		0,5	
26	Агрегати камерні	Промивання	-	1	-
27	Апарати для очищення - ручні - механізовані безперервної дії - періодичної дії	Очистка Очистка Очистка	- - -	1 0,5 2	- 0,5 1
28	Преси правильні зусиллям, МН, до 1 1,01...2,50 2,51...5,00 5,01...10,00	Правка Правка Правка Правка	1 0,5 0,33 0,33	1 0,5 0,33 0,33	1 - - -

Примітка. * – для однієї установки, що знаходиться в ізольованому приміщенні, потрібно два робітники в зміну; ** – при гартуванні деталей у пресах середня норма обслуговування повинна бути знижена на 0,3...0,5 одиниць обладнання на одного робітника у зміну в залежності від продуктивності печі чи агрегату.

Додаток В

Професії і тарифні розряди робітників термічних цехів

№	Професія	Діапазони розрядів
1	Заготівельник суміші для цементації, пакувальник	2
2	Ізольовальник	2...3
3	Гартувальник	2...4
4	Гартувальник на електроконтактних машинах	2...3
5	Відпалювальник дроту і каліброваного металу	2...3
6	Правильник на машинах	1...4
7	Терміст на ваннах	2...5
	печах	2...6
	установках СВЧ	2...5
	установці обробки холодом	4

Заробітна плата робітників термічних цехів становить від 12000 до 20000 грн. (від 100 грн/год до 125 грн/год, станом на 2021 р.)

Додаток Г

**Орієнтовні ціни і питомі витрати технологічних
і допоміжних матеріалів для термічної обробки
(ціни приблизні, станом на 2021 р.)**

Найменування і параметри операції	Матеріал	Склад, %	Ціна, грн./т	Витр. на 1 т виробів, кг
1	2	3	4	5
Нагрівання під гартування в розплаві солей при 1000...1300°C	Барій хлористий технічний	100	80000	30...50
Нагрівання під гартування в розплаві солей при 600...900°C	Калій хлористий	100	20000	15...25
	Сода кальцинована технічна	65	15500	10...15
	Натрій хлористий	35	5000	7...14
	Барій хлористий технічний	30	80000	10...15
	Натрій хлористий	70	5000	15...20
	Калій хлористий	50	20000	10...15
	Барій хлористий технічний	50	80000	10...15
	Розкислювачі: Бура	2...4% від маси солей	60000	2...3
Карбюризатор деревинно-вугільний		42000	4...5	
Феросиліцій		45000	2...3	
Калій залізоокисний технічний		100000	1...2	
Карбід кремнію		15000	2...3	
Охолодження при гартуванні в олії при 20...60°C	Масло веретенне	100	40000	15...25
	Масло машинне	100	125000	20...30
	Масло авіаційне	100	656842	15...20
Охолодження при гартуванні у водяних розчинах	Натрій хлористий	10%	5000	8...12
	Натрій їдкий технічний	розчин	11000	8...12
Охолодження при гартуванні в розплаві солей (ізотермічне при 450...550°C)	Калій вуглекислий – технічний (поташ)	45	18000	15...20
	Сода кальцинована технічна	10	11000	3...7
	Натрій хлористий	45	5000	15...20

1	2	3	4	5
Обробка холодом при температурі -60...-70°C	Фреон-22	50	165000	4...6
	Фреон-23	50	775000	4...6
	Двоокис вуглецю тверда	75	30000	300...400
	Бензин авіаційний	25	40000	75...125
Відпускання в розплаві селітри при 300...500°C	Азот рідкий технічний	100	18000	300...400
	Селітра калієва технічна	50	38000	10...15
Відпускання в розплаві лугів при 300...500°C	Натрій азотнокислий технічний	50	43000	10...15
	Натрій їдкий технічний	50	11000	15...20
Відпускання в гарячій олії при 200...300°C	Натрій хлористий	50	5000	10...15
	Масло «Вапор»	100	42000	15...20
Старіння в гарячій олії при 120...150°C	Масло «Віскозин»	100	45000	17...20
	(циліндрова олія)			
Цементация у твердому середовищі на глибину 0,7...1,4 мм при 900...950°C	Масло веретенне	100	40000	20...30
	Масло машинне	100	125000	25...40
Цементация газова на глибину шару 0,7...1,2 мм при 900...950°C	Карбюризатор деревинно-вугільний	25	42000	70...80
	Карбюризатор напівкоксний	75	20000	70...80
Цементация газова на глибину шару 0,7...1,2 мм при 900...950°C	Піробензол	100	80000	17...22
	Гас освітлювальний	100	38000	20...30
	Синтин	100	83250	15...20
Цементация газова на глибину шару 0,7...1,2 мм при 900...950°C в безмуфельних агрегатах	Природний газ		34554*	8...11**
	Ендогаз		26000	95...120**
	Екзогаз		22973	5...6**
	Азот газоподібний технічний для продувки		3000	50...100**
	Аміак рідкий технічний		9100	2...3
	Гази вуглеводні зріджені		30000	15...20
Цементация в рідкому середовищі на глибину до 0,7 мм при 840...900°C	Карбід кремнію	5...10	15000	5...8
	Натрій хлористий	10...15	5000	12...15
	Сода кальцинована технічна	75...85	11000	30...50
Азотування газове на глибину шару 0,3...0,5 мм при 500...560°C	Аміак рідкий технічний	100	9100	20...80
Нітроцементация у твердому середовищі інструмента на глибину шару 0,2...0,35 мм при 520...570°C	Карбюризатор деревинно-вугільний	70	42000	60...80
	Калій залізоцинеродистий технічний	30	100000	25...35
Нітроцементация газова на глибину 0,7...1,2 мм при 840...870°C	Триетаноламін	100	80000	15...20
	Аміак рідкий технічний	5...10	9100	10...15
	Піробензол чи гас чи синтин	90...95	38000	15...20

1	2	3	4	5
Нітроцементация газова на глибину 0,7...1,2 мм при 840...870°C в безмуфельних агрегатах	Природний газ		34554*	8...11**
	Ендогаз		26000	90...120**
	Екзогаз		22973	5...7**
	Аміак технічний		9100	7...9
	Азот технічний для продування		3000	50...100**
Нітроцементация газова інструмента на глибину шару 0,2-0,3 мм при 520-570°C	Гас освітлювальний	70	3300	25...30
	Аміак рідкий технічний	30	9100	10...12
	Триетаноламін	100	80000	15...20
Ціанування в рідкому середовищі на глибину шару до 0,7 мм при 800...850°C	Натрій ціаністий технічний	50	166266	20...25
	Барій хлористий технічний	35	80000	7...12
	Натрій хлористий	15	5000	25...35
Ціанування інструмента в рідкому середовищі на глибину шару 0,2-0,35 мм при 520-570°C	Калій залізосинеродистий технічний	80	100000	30...40
	Натрій їдкий технічний	20	11000	7...12
	Натрій ціаністий технічний	100	166266	25...35
Нейтралізація після ціанування	Калій хромовокислий технічний	1% р-н	82000	5...7
Промивання перед хіміко-термічною обробкою	Купорос залізний технічний	15%р-н	8800	10...20
	Сода кальцинована технічна	50	15500	1
	Емульсол	50	55000	1
	Емульсол	100	55000	3
Ізоляція від цементації об'язкою, покриттям	Картон азбестовий		23000	4...5
	Шнури азбестові		40000	4...5
	Мідь однохлорна	42	372000	2...3
	Сурик свинцевий	17	130000	1...2
	Лаки бакелітові	33	100000	0,5...2,5
	Спирт технічний	8	50000	1...3
	Тальк мелений	50	6000	3
Глина формувальна	25	4400	1	
Рідке скло	25	1220	15...17	
Ізоляція від азотування	Рідке скло	100	1220	40...60
Ізоляція об'язуванням різких переходів при гартуванні	Картон азбестовий		23000	0,8...1,5
	Дріт з низьковуглецевої сталі для армування залізобетонних конструкцій		32000	4...5
Травлення поковок і штамповок	Кислота сірчана технічна	10...15%р-н	3000	25...30
	Кислота соляна	3...5%р-н	2500	25...30
Нейтралізація після травлення	Натрій їдкий технічний	3...5%р-н	69600	3...5
	Сода кальцинована технічна	5...7%р-н	5170	7...10
Абразивне вилучення окалини	Дріб чавунна і сталева технічна		25000	9...11
	Пісок металевий 0,3...0,8 мм		23000	3,6...5

Гідропіскострумінне очищення від окалини	Пісок формувальний		2000	70...80
Відмивання від олії й інших поверхневих забруднень	Калію гідрат окису технічний	5...8%р-н	30000	10...15
	Сода кальцинована технічна	3...5%р-н	5170	5...10

Примітки:

1. Великі значення питомої витрати матеріалів відносяться до виробів малої маси і складної конфігурації.

2. * – Ціна 1000 м³.

3. ** – Витрата на 1 т виробів (м³).

4. Ціни на енергоносії та технологічні речовини: електроенергія – 2,5 грн/кВт-год; аргон – 11,5 грн/м³; аміак – 9,1 грн/кг; азот рідкий – 18 грн/кг; вода технічна – 4,95 грн/м³; вода питна – 25,38 грн/м³; газ природний – 34,55 грн/м³; пара водяна – 1 Гкал = 77,5 грн; повітря стиснене – 320 грн/1000 м³.

Додаток Д
Інтегральна функція нормального розподілу
(в інтервалі $-\infty, -z$)

$-zF(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$
3.90.0000	3.00.0013	2.50.0062	2.00.0227	1.50.0668	1.00.1587	0.50.3085
3.80.0001	2.94.0014	2.49.0064	1.99.0233	1.49.0681	0.99.1611	0.49.3121
	2.98.0014	2.48.0066	1.98.0238	1.48.0694	0.98.1635	0.48.3156
	2.97.0015	2.47.0068	1.97.0244	1.47.0708	0.97.1660	0.47.3197
3.70.0001	2.96.0015	2.46.0069	1.96.0250	1.46.0721	0.96.1685	0.46.3728
	2.95.0016	2.45.0071	1.95.0256	1.45.0735	0.95.1711	0.45.3264
3.60.0002	2.94.0016	2.44.0073	1.94.0262	1.44.0749	0.94.1736	0.44.3300
	2.93.0017	2.43.0075	1.93.0268	1.43.0764	0.93.1762	0.43.3336
3.50.0002	2.92.0017	2.42.0078	1.92.0274	1.42.0778	0.92.1788	0.42.3372
	2.91.0018	2.41.0080	1.91.0281	1.41.0793	0.91.1814	0.41.3409
3.40.0003	2.90.0019	2.40.0082	1.90.0287	1.40.0808	0.90.1841	0.40.3446
3.39.0003	2.89.0019	2.39.0084	1.89.0294	1.39.0823	0.89.1876	0.39.3483
3.38.0004	2.88.0020	2.38.0087	1.88.0300	1.38.0838	0.88.1894	0.38.3520
3.37.0004	2.87.0020	2.37.0089	1.87.0307	1.37.0853	0.87.1921	0.37.3557
3.36.0004	2.86.0021	2.36.0091	1.86.0314	1.36.0869	0.86.1949	0.36.3594
3.35.0004	2.85.0022	2.35.0094	1.85.0322	1.35.0885	0.85.1977	0.35.3632
3.34.0004	2.84.0023	2.34.0096	1.84.0329	1.34.0901	0.84.2004	0.34.3669
3.33.0004	2.83.0023	2.33.0099	1.83.0336	1.33.0918	0.83.2033	0.33.3707
3.32.0004	2.82.0024	2.32.0102	1.82.0344	1.32.0934	0.82.2061	0.32.3745
3.31.0006	2.81.0025	2.31.0104	1.81.0351	1.31.0951	0.81.2090	0.31.3783
3.30.0005	2.80.0026	2.30.0107	1.80.0359	1.30.0968	0.80.2119	0.30.3821
3.29.0005	2.79.0026	2.29.0110	1.79.0367	1.29.0985	0.79.2148	0.29.3859
3.28.0005	2.78.0027	2.28.0113	1.78.0375	1.28.1003	0.78.2177	0.28.3897
3.27.0005	2.77.0028	2.27.0116	1.77.0384	1.27.1020	0.77.2206	0.27.3936
3.26.0006	2.76.0029	2.26.0119	1.76.0392	1.26.1038	0.76.2236	0.26.3974
3.25.0006	2.75.0030	2.25.0122	1.75.0401	1.25.1056	0.75.2266	0.25.4013
3.24.0006	2.74.0031	2.24.0125	1.74.0409	1.24.1075	0.74.2296	0.24.4052
3.23.0006	2.73.0032	2.23.0129	1.73.0418	1.23.1093	0.73.2327	0.23.4090
3.22.0006	2.72.0033	2.22.0132	1.72.0427	1.22.1112	0.72.2358	0.22.4129
3.21.0007	2.71.0034	2.21.0135	1.71.0436	1.21.1131	0.71.2388	0.21.4168
3.20.0007	2.70.0035	2.20.0139	1.70.0445	1.20.1151	0.70.2420	0.20.4207
3.19.0007	2.69.0036	2.19.0143	1.69.0455	1.19.1170	0.69.2451	0.19.4246
3.18.0007	2.68.0037	2.18.0146	1.68.0465	1.18.1190	0.68.2482	0.18.4286
3.17.0008	2.67.0038	2.17.0150	1.67.0475	1.17.1210	0.67.2514	0.17.4325
3.16.0008	2.66.0039	2.16.0154	1.66.0485	1.16.1230	0.66.2546	0.16.4364
3.15.0008	2.65.0040	2.15.0158	1.65.0495	1.15.1251	0.65.2578	0.15.4404
3.14.0008	2.64.0041	2.14.0162	1.64.0505	1.14.1271	0.64.2611	0.14.4246
3.13.0009	2.63.0043	2.13.0166	1.63.0515	1.13.1292	0.63.2643	0.13.4286
3.12.0009	2.62.0044	2.12.0170	1.62.0526	1.12.1314	0.62.2676	0.12.4325
3.11.0009	2.61.0045	2.11.0174	1.61.0537	1.11.1355	0.61.2709	0.11.4364

$-zF(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$	$-z F(z)$
3.10.0010	2.60.0047	2.10.0179	1.60.0558	1.10.1357	0.60.2742	0.10.4602
3.09.0010	2.59.0048	2.09.0183	1.59.0559	1.09.1379	0.59.2776	0.09.4641
3.08.0010	2.58.0049	2.08.0188	1.58.0570	1.08.1401	0.58.2810	0.08.4681
3.07.0011	2.57.0051	2.07.0192	1.57.0582	1.07.1423	0.57.28t3	0.07.4721
3.06.0011	2.56.0052	2.06.0197	1.56.0594	1.06.1446	0.56.2877	0.06.4761
3.05.0011	2.55.0054	2.05.0202	1.55.0606	1.05.1469	0.55.2912	0.05.4801
3.04.0012	2.54.0055	2.04.0207	1.54.0618	1.04.1492	0.54.2946	0.04.4840
3.03.0012	2.53.0057	2.03.0212	1.53.0630	1.03.1515	0.53.2981	0.03.4880
3.02.0013	2.52.0059	2.02.0217	1.52.0643	1.02.1539	0.52.3015	0.02.4920
3.01.0013	2.51.0060	2.01.0222	1.51.0655	1.01.1562	0.51.3050	0.01.4960
3.00.0013	2.50.0062	2.00.0227	1.50.0668	1.00.1587	0.50.3085	0.00.5000

Додаток Ж
Інтегральна функція нормального розподілу
(в інтервалі $+\infty, +z$)

$+zF(z)$	$+z F(z)$	$+z F(z)$	$+z F(z)$	$+z F(z)$	$+z F(z)$	$+z F(z)$
0.00.5000	0.50.6915	1.00.8413	1.50.9332	2.00.9773	2.50.9938	3.00.9987
0.01.5040	0.51.6950	1.01.8438	1.51.9345	2.01.9778	2.51.9940	3.01.9987
0.02.5080	0.52.6985	1.02.8461	1.52.9357	2.02.9783	2.52.9941	3.02.9987
0.03.5120	0.53.7019	1.03.8485	1.53.9370	2.03.9788	2.53.9943	3.03.9988
0.04.5160	0.54.7054	1.04.8508	1.54.9382	2.04.9793	2.54.9945	3.04.9988
0.05.5199	0.55.7088	1.05.8531	1.55.9394	2.05.9798	2.55.9946	3.05.9989
0.06.5239	0.56.7123	1.06.8554	1.56.9406	2.06.9803	2.56.9948	3.06.9989
0.07.5279	0.57.7157	1.07.8577	1.57.9418	2.07.9808	2.57.9949	3.07.9989
0.08.5319	0.58.7190	1.08.8599	1.58.9430	2.08.9812	2.58.9951	3.08.9990
0.09.5359	0.59.7224	1.04.8621	1.59.9441	2.09.9817	2.59.9452	3.09.9990
0.10.5398	0.60.7258	1.10.8643	1.60.9452	2.10.9821	2.60.9953	3.10.9990
0.11.5438	0.61.7291	1.11.8665	1.61.9463	2.11.9826	2.61.9955	3.11.9991
0.12.5478	0.62.7324	1.12.8686	1.62.9474	2.12.9830	2.62.9956	3.12.9991
0.13.6517	0.63.7357	1.13.8708	1.63.9485	2.13.9834	2.63.9957	3.13.9991
0.14.5557	0.64.7389	1.14.8729	1.64.9495	2.14.9838	2.64.9959	3.14.9992
0.15.5596	0.65.7422	1.15.8749	1.65.9509	2.15.9842	2.65.9960	3.15.9992
0.16.5636	0.66.7454	1.16.8770	1.66.9515	2.16.9846	2.66.9961	3.16.9992
0.17.5675	0.67.7486	1.17.8790	1.67.9525	2.17.9850	2.67.9962	3.17.9992
0.18.5714	0.68.7518	1.18.8810	1.68.9535	2.18.9854	2.68.9963	3.18.9993
0.19.5754	0.69.7549	1.19.8830	1.69.9645	2.19.9857	2.69.9964	3.19.9943
0.20.5793	0.70.7580	1.20.8849	1.70.9554	2.20.9861	2.70.9965	3.20.9993
0.21.5832	0.71.7612	1.21.8869	1.71.9564	2.21.9865	2.71.9966	3.21.9993
0.22.5871	0.72.7642	1.22.8888	1.72.9573	2.22.9868	2.72.9967	3.22.9994
0.23.5910	0.73.7673	1.23.8907	1.73.9582	2.23.9871	2.73.9968	3.23.9994
0.24.5948	0.74.7704	1.24.8925	1.74.9591	2.24.9875	2.74.9969	3.24.9994
0.25.5987	0.75.7734	1.25.8944	1.75.9599	2.25.9878	2.75.9970	3.25.9994
0.26.6026	0.76.7764	1.26.8962	1.76.9608	2.26.9881	2.76.9971	3.26.9994
0.27.6064	0.77.7794	1.27.8980	1.77.9616	2.27.9884	2.77.9972	3.27.9995
0.28.6103	0.78.7823	1.28.8997	1.78.9625	2.28.9887	2.78.9973	3.28.9995
0.29.6141	0.79.7852	1.29.9015	1.79.9633	2.29.9890	2.79.9974	3.29.9995
0.30.6179	0.80.7881	1.30.9032	1.80.9641	2.30.9893	2.80.9974	3.30.9995
0.31.6217	0.81.7910	1.31.9049	1.81.9649	2.31.9896	2.81.9975	3.31.9995
0.32.6255	0.82.7939	1.32.9066	1.82.9656	2.32.9898	2.82.9976	3.32.9996
0.33.6293	0.83.7967	1.33.9082	1.83.9664	2.33.9901	2.83.9977	3.33.9996
0.34.6331	0.84.7996	1.34.9099	1.84.9671	2.34.9904	2.84.9977	3.34.9996
0.35.6368	0.85.8023	1.35.9115	1.85.3678	2.35.9906	2.85.9978	3.35.9996
0.36.6406	0.86.8051	1.36.9131	1.86.9686	2.36.9909	2.86.9979	3.36.9996
0.37.6443	0.87.8079	1.37.9147	1.87.9693	2.37.9911	2.87.9980	3.37.9996
0.38.6480	0.88.8106	1.38.9162	1.88.9700	2.38.9913	2.88.9980	3.38.9996
0.39.6517	0.89.8133	1.39.9177	1.89.9706	2.39.9916	2.89.9981	3.39.9997

+zF(z)	+z F(z)	+z F(z)	+z F(z)	+z F(z)	+z F(z)	+z F(z)
0.40.6554	0.90.8159	1.40.9192	1.90.9713	2.40.9918	2.90.9981	3.40.9997
0.41.6591	0.91.8186	1.41.9207	1.91.9719	2.41.9920	2.91.9982	
0.42.6628	0.92.8212	1.42.9222	1.92.9726	2.42.9922	2.92.9983	3.50.9998
0.43.6664	0.93.8238	1.43.9236	1.93.9732	2.43.9925	2.93.9983	
0.44.6700	0.94.8264	1.44.9251	1.94.9738	2.44.9927	2.94.9984	3.60.9998
0.45.6736	0.95.8289	1.45.9265	1.95.9744	2.45.9929	2.95.9984	
0.46.6772	0.96.8315	1.46.9279	1.96.9750	2.46.9931	2.96.9985	3.70.9999
0.47.6808	0.97.8340	1.47.9292	1.97.9756	2.47.9932	2.97.9985	
0.48.6844	0.98.8365	1.48.9306	1.98.9762	2.48.9934	2.98.9986	3.80.9999
0.49.6879	0.99.8389	1.49.9319	1.99.9767	2.49.9936	2.99.9986	
0.50.6915	1.00.8413	1.50.9332	2.00.9773	2.50.9938	3.00.9487	3.901.0000