

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод автоматизованого керування температурними режимами технологічного процесу гартування

Назва теми

КВРАКІТР.2023203.02.07 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Назва

Виконав:

студент II курсу, група АКІТРм-23-2


Підпис

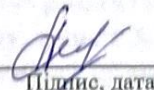
АНТОН ЛУЦЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис, дата

Ірина ФОРКУН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 13 » грудня 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Валерій МАРТИНЮК

01 вересня 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Луценко Антону Михайловичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Метод автоматизованого керування температурними режимами технологічного процесу гартування

Керівник роботи Форкун Ірина Валеріївна, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.

3 Вихідні дані до роботи Аналіз відомих методів гартування металів. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення





4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Дослідження технологічного процесу гартування виробів з металу. Розробка моделі технологічного процесу гартування виробів. Розробка автоматизованої системи керування температурними режимами гартування металів. Розробка SCADA системи. Висновки

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	10.09.2024р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2024р.	Виконано
3	Огляд відомих методів гартування металів	15.10.2024р.	Виконано
4	Алгоритмічне проектування	30.10.2024р.	Виконано
5	<u>Розробка програмного забезпечення</u>	10.11.2024р.	Виконано
6	Висновки	15.11.2024р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до ДР	20.11.2024р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2024р.	Виконано

Студент


Підпис

Антон ЛУЦЕНКО

Ім'я, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Ірина ФОРКУН

Ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод автоматизованого керування температурними режимами технологічного процесу гартування».

Автор роботи: Луценко Антон Михайлович.

Керівник роботи: Форкун Ірина Валеріївна, к.т.н., доцент

Пояснювальна записка: 101 с., 43 рис., 16 табл., 1 дод., 70 джерел.

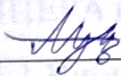
Графічна частина: 13 презентаційних слайдів.

Ключові слова: ПРОЦЕС, ГАРТУВАННЯ, БАК, МАШИНА, ВИРІБ.

Мета роботи: розробка системи автоматичного регулювання температури під час гартування металу.

В рамках магістерської атестаційної роботи вивчено та проаналізовано основні етапи та параметри процесу зміцнення металевих виробів. Процес загартування також відрізняється, враховуючи властивості сталі. Зверніть увагу на доступні типи армування. Проаналізовано гартівне технологічне обладнання.

На основі проведених досліджень розроблено алгоритм автоматичного керування температурним станом процесу гартування виробу, на основі якого розроблено систему, що дозволяє уникнути отримання бракованих виробів будь-якого температурного стану.



Підпис студента

02.12.2024

Дата

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРТУВАННЯ ВИРОБІВ 3 МЕТАЛУ.....	7
1.1 Дослідження та аналіз процесу гартування металевих виробів	7
1.2 Аналіз температурних параметрів режиму гартування виробів.....	13
1.3 Технологічне обладнання яке застосовують для процесу гартування	17
1.4 Постановка задач досліджень	23
1.5 Висновки до першого розділу	24
2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРТУВАННЯ ВИРОБІВ	26
2.1 Розробка інформаційно-параметричної моделі	26
2.2 Розробка способу опису основних параметрів	29
2.4 Розрахунок нагрівача електричної муфельної печі	39
2.5 Обрання пристрою виміру температури	46
2.6 Обрання баку для гартування	49
2.7 Висновки до другого розділу.....	55
3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМИ РЕЖИМАМИ ГАРТУВАННІ МЕТАЛІВ.....	56
3.1 Вибір програмного засобу	56
3.2 Розробка алгоритму автоматизованої системи управління температурним режимом при гартуванні металів.....	60
3.2 Розробка мнемосхеми	68
3.3 Висновки до третього розділу	79
4 РОЗРОБКА SCADA СИСТЕМИ	80
4.1 Розробка інтерфейсу системи.....	80
4.2 Оцінка розробленої системи за допомогою повного факторного експерименту.....	88

	3
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	92
ВИСНОВКИ	93
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95
ДОДАТОК А Стаття у фаховому журналі.....	102

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АСУ – автоматизована система управління;
- БАВ – блок аналогового вводу;
- БДЗ – баки для гартування;
- ГКП – газова камерна піч;
- ЕД – еталонний датчик;
- ЕМП – електрична муфельна піч;
- ЕКП – електрична камерна піч;
- ЗП – задаючий пристрій;
- ІЧВ – індикатор червоного кольору;
- ІЧК – індикатор чорного кольору;
- МП – муфельна піч;
- ПТО – платиновий термометр опору;
- ТЕН – трубчастий електричний нагрівач;
- ТО – технологічне оснащення;
- ТОБ – термічна обробка;
- ТП – технологічний процес;
- СВЧ – струм високої частоти;
- СДЗ – середовище для гартування;
- УЗК – ультразвуковий контроль;
- НМІ – human-machine interface, людино-машинний інтерфейс;

ВСТУП

Актуальність роботи З кожним днем металургійна галузь стрімко розширює свої межі. Завдяки успішній розробці «парків» металевих матеріалів, здатних змінювати свої властивості, ми виготовляємо різноманітні сплави. Ці матеріали мають широкий діапазон фізико-механічних властивостей. Постійне прагнення до вдосконалення існуючих технологій дозволить зробити металеві конструкції більш міцними і зменшити вагу. Тому термічна обробка є невід'ємним етапом виготовлення металевих деталей, оскільки вона може змінювати структуру і властивості металів і сплавів в заданому напрямку.

Термічна обробка (ТО) — це ряд операцій, що включають нагрівання, старіння та охолодження твердого сплаву з метою отримання заданих властивостей шляхом зміни внутрішньої структури. ТОВ можна використовувати на сталі, чавуні та деяких сплавах кольорових металів. ТОВ включає: відпал, гартування, нормалізацію (термообробку), обробку холодом.

Зміцнення металу відбувається при нагріванні металу вище температури, при якій змінюється кристалічна решітка (критична температура) [9]. Критична температура різна для кожного металу та сплаву. Після нагрівання метал швидко охолоджується, зазвичай у воді або маслі.

У більшості випадків зміцнення сталевих виробів (деталей), що використовуються в техніці (ТО), в основному залежить від деформаційного стану матеріалу. Основними проблемами досі були отримання високої продуктивності литого металу та його деформація.

Для вирішення цієї проблеми найчастіше проводиться високотемпературне термічне зміцнення, яке є пріоритетним для обслуговування. Тому що в процесі гартування метал стає твердішим, але при цьому знижується його пластичність і в'язкість, особливо якщо цикл «нагрівання-охолодження» повторюється кілька разів. Процес управління гартуванням виробу покращить властивості литого металу, що є актуальним, а аналіз температурного діапазону дозволить врахувати всі характеристики

впливу температури на якість обробки продукту, що стане передумовою його вдосконалення.

Метою випускної роботи магістра є розробка методу автоматизованого контролю температури протягом гартування металу.

Об'єкт дослідження – процеси керування температурними режимами гартування металів.

Предмет дослідження – устаткування гартування металів.

Методи дослідження – теорія множин, теорія алгоритмів, методи математичного моделювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- дослідити та проаналізувати процес гартування виробу;
- дослідити та проаналізувати параметри інтервалу температур твердіння виробів;
- вибрати і перевірити обладнання для процесу гартування виробів;
- розробити автоматизовані системи контролю температури протягом гартування виробів;
- провести експериментальні дослідження для оцінки створених систем.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРТУВАННЯ ВИРОБІВ З МЕТАЛУ

1.1 Дослідження та аналіз процесу гартування металевих виробів

Метою гартування та відпустки сталі є підвищення твердості та міцності. Багато деталей і виробів вимагають гартування і відпуску сталі.

«Зміцнення» засноване на рекристалізації під час нагрівання, що перешкоджає перетворенню аустеніту (високотемпературний градецентричний метаморфізм заліза та його сплавів, як показано на рис. 1.1, а) у перліт (вулканічну породу, як показано на рис. 1.1), б) швидким охолодженням.

Нерівноважною структурою загартованої сталі є мартенсит (гольчастий/лускоподібний і рейково-мішковий тип, див. рис. 1.1, в) і троостит (структурний склад залізовуглецевого сплаву, див. рис. 1.1, в). 1.1, г) і сорбіт (дисперсна суміш фериту і цементиту, отримана при високих швидкостях охолодження сталі)» [9].

Нижче наведено методи гартування сталі, особливості технології нанесення, так як від них безпосередньо залежить якість виробу і його довговічність, а якщо їх не враховувати, то можна отримати збільшення крихкості структури загартованого виробу або м'якості поверхневого шару.

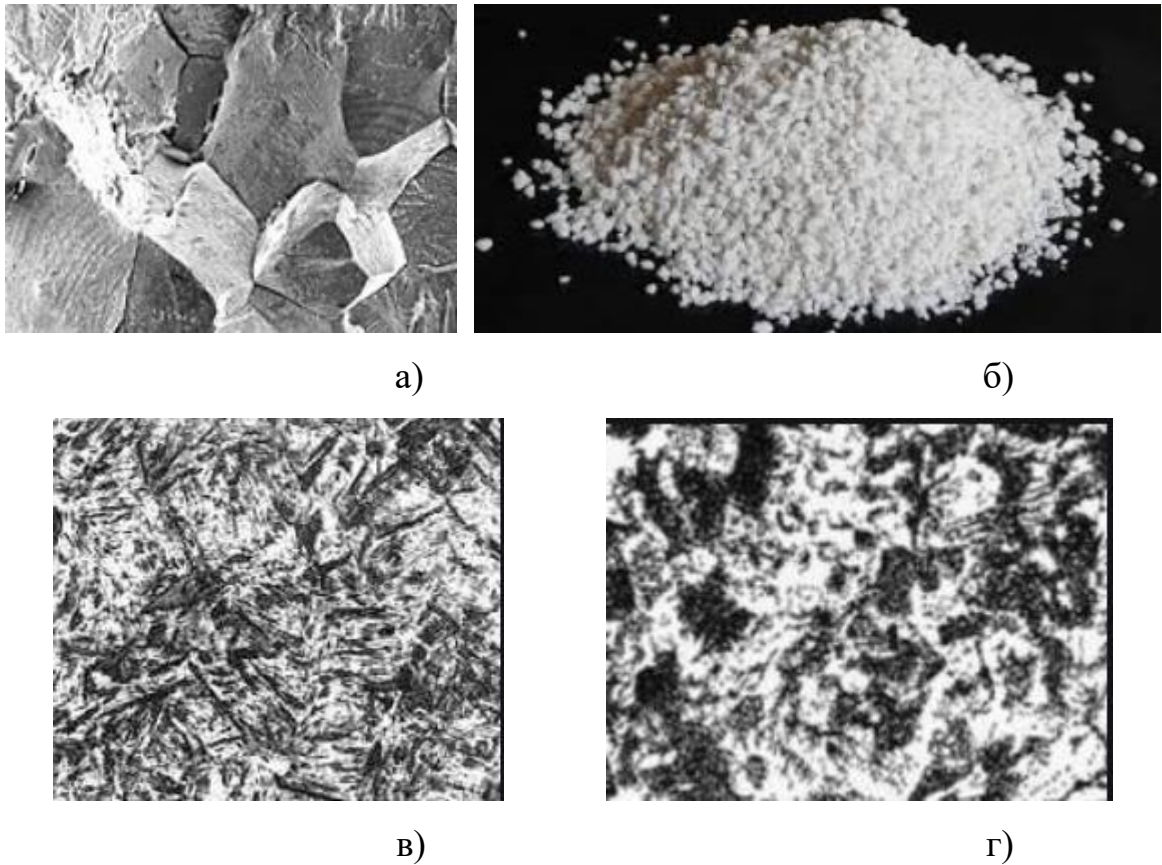
Особливості загартовування сталі.

Існує два види загартовування:

- відсутність поліморфних перетворень (кольорові метали);
- поліморфне перетворення (сталь).

Поліморфне перетворення після гартування не відбувається – для кольорових металів використовується так зване «старіння» металу.

Після поліморфного трансформаційного зміцнення з метою зменшення крихкості і нормалізації в'язкості і пластичності металу проводять відпал, який дещо знижує міцність.



а) аустеніт; б) перліт; в) мартенсит; г) троостіт

Рисунок 1.1 – Вид структури матеріалів

Залежно від температури нагріву гартування поділяють на два види:

- метал повністю загартований;
- метал не повністю загартований.

При повному затвердінні структура сталі стає аустенітною.

Для інструментальних сталей застосовують неповне гартування.

Коли доєвтектоїдна сталь нагрівається до температури між точкою A_{c1} і A_{c3} (неповне гартування), в структурі швидко охолодженої сталі разом із загартованою ділянкою в процесі нагрівання з'явиться нерозчинений ферит, що різко знижує твердість і силу [9]. Тому для доєвтектоїдних сталей нагрівання має бути вище точки A_{c3} для повного зміцнення.

У заєвтектоїдній сталі надлишковою фазою є цементит, твердість якого не нижче мартенситу або навіть перевищує його, тому сталь достатньо нагріти на $30-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ вище точки A_{s1} . Тому температура нагріву для повного гартування

сталі становить 820-840 °С. Температуру гартівного нагріву сталі вибирають за діаграмою стану, наведеною на рис. 1.2 [10].

Температура в точці Е приблизно 1147 °С. Температура в точці К приблизно 727 °С. Температура в точці G приблизно 900 °С. Температура в точці Р приблизно 700 °С.

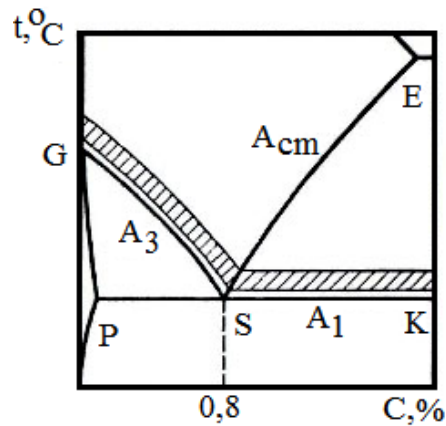


Рисунок 1.2 – Вибір температури нагріву сталі під гартування по діаграмі стану

Зміцнення класифікується за типом матеріалу, наприклад, коли розглядається сталь, воно може бути доевтектоїдним (сталь із вмістом С нижче евтектоїдної концентрації <0,8% (див. рис. 1.2)) і заевтектоїдним (>0,8%).

Перетворення мікроструктури доевтектоїдної сталі під час гартування показано на рисунку 1.3, а, б [9, 10].

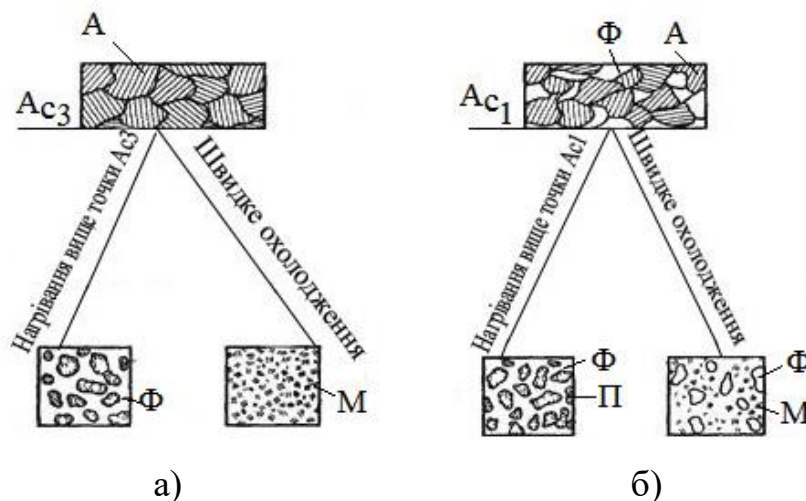


Рисунок 1.3 – Структурні перетворення в доевтектоїдної сталі при загачуванні:

а) повне гартування; б) неповне гартування

На рис. 1.3 введені позначення: А – аустеніт; М – мартенсит; П – перліт; Ф – ферит.

Перетворення які є структурними в заєвтектоїдній сталі при гартуванні наведені на рис. 1.4, а, б [9, 10]. На рисунку 1.4 позначено: А – аустеніт; М – мартенсит; П – перліт; Ф – ферит; Цп – цементит.

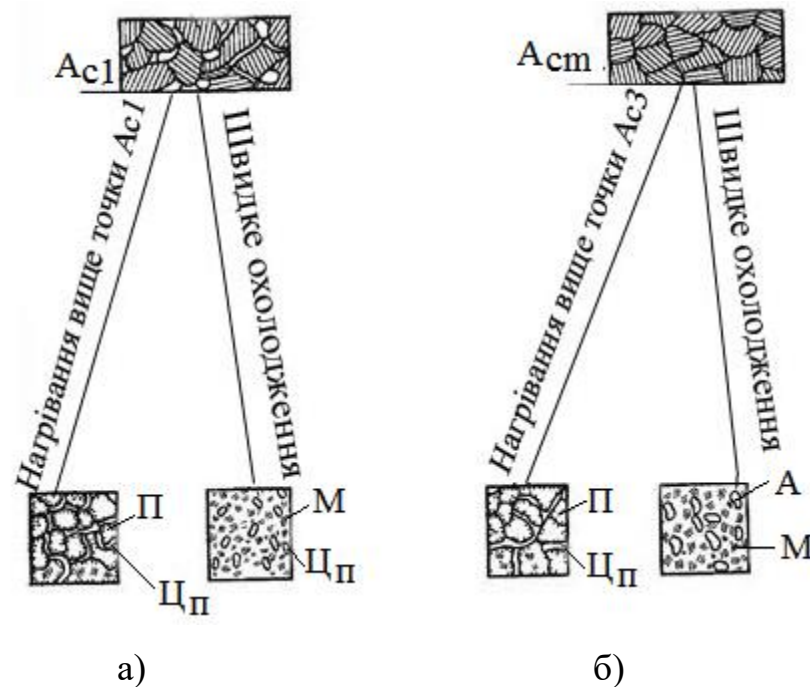


Рисунок 1.4 – Структурні перетворення в заєвтектоїдній сталі при загачуванні, де а) повне гартування; б) неповне гартування

Результати аналізу показали, що доєвтектоїдна сталь простої форми має кращий ефект зміцнення в тому самому середовищі. Для гартування сталей більш складної форми застосовують гартування в двох середовищах або ступінчасте гартування.

Було виявлено, що в процесі виготовлення деяких виробів загартовувався не весь метал, а лише його частина. Наприклад, тільки ріжучі кромки ріжучих інструментів. При цьому межа між загартованим металом і незагартованим металом (хамон) помітна неозброєним оком.

Швидкість охолодження визначається типом охолоджувального

середовища.

«Технологія гартування сталі вимагає швидкого охолодження в діапазоні від 650 до 400 °С. Тривалість нагріву під час гартування залежить від типу нагрівального пристрою. Перевірені дані свідчать, що гартування ділянки 1 мм в електропечі займає від 90 секунд до 2 хвилин, Якщо у полум'яній печі це займає 1 хвилину, то в соляній ванні – 30 секунд, у свинцевій – найкоротший час (від 6 секунд).

Швидкість охолодження заготовки під час гартування повинна забезпечувати отримання заданої структури. Критична швидкість зміцнення сильно змінюється в залежності від наявності в сталі легуючих компонентів.

Для простого залізовуглецевого сплаву ця швидкість дуже висока.

Наявність у сталі кремнію і марганцю сприяє зміцненню до мартенситу, оскільки для цієї сталі С-подібна крива на діаграмі ізотермічного перетворення аустеніту зміститься вправо і критична швидкість зміцнення зменшується [10].

При зануренні гарячого продукту в середовище гасіння утворюється парова плівка, через яку відбувається відносно повільне охолодження (фаза плівкового кипіння). Залежно від використовуваної для гартування рідини температура досягає такого значення, при якому парова плівка розривається і рідина кипить на поверхні металу. Швидкість охолодження значно прискорюється. Цей процес називається бульбашковим кипінням.

Коли метал достатньо охолоне і рідина більше не кипить, процес охолодження починає сповільнюватися. Відбувається так званий конвективний теплообмін» [10].

Зміцнення металу можна розглядати з точки зору теплоносія, тобто воно залежить від використовуваного охолоджувача.

Тому загартовування поділяють на:

- періодичне гартування (для виробів з високовуглецевої сталі);
- ступеневе гартування (для гартування сталей складнішої форми);
- ізотермічне гартування (для гартування легованої сталі);
- гартування в охолоджувачі (для гартування виробів з вуглецевої або

легованої сталі).

Переривчасте загартовування проводиться за двох обставин. Спочатку в основне середовище, потім в охолоджуючу рідину (масло). Тобто продукт спочатку швидко охолоджується (наприклад, у воді), а потім охолоджується в повільно остигає рідині.

Поетапне гартування відбувається безпосередньо в середовищі гартування. У цьому середовищі температура вище мартенситної точки марки сталі. Під час охолодження і старіння в цьому середовищі загартований метал набуває температури гартівної ванни в усіх точках перетину. Надалі потрібне повільне охолодження, під час якого відбувається безпосередньо твердіння.

Встановлено, що до переваг такого гартування можна віднести те, що після такої обробки виріб не має канавок і на виробі не утворюються тріщини.

Основним недоліком цього виду гартування є те, що його можна застосовувати як для заготовок з вуглецевої сталі малого перерізу (8-10 мм), так і для виробів з легованої сталі великого перерізу (до 30 мм).

Здійснення ізотермічного зміцнення аналогічно ступінчастому. Виріб витримують у твердіючій середовищі до тих пір, поки не відбудеться ізотермічне перетворення кристалічної решітки і не утвориться аустеніт. Необхідно викликати повний розпад аустеніту. Як охолоджувач можна використовувати розплавлену сіль.

До переваг такого гартування можна віднести те, що після такої обробки сталевий виріб майже не деформується, а після ступінчастого гартування на виробі не утворюються тріщини.

Гартування в охолоджувачі – нагрітий виріб з вуглецевої або легованої сталі занурюють у загартовувальну рідину до повного охолодження металу.

На жаль, гартування в одному середовищі підходить не для всіх сталевих матеріалів, оскільки температура сталі зі змінним перетином падає швидше в цьому температурному діапазоні, викликаючи нерівномірність температури та більшу внутрішню напругу, що призводить до викривлення та деформації продукту. тріщина.

1.2 Аналіз температурних параметрів режиму гартування виробів

На основі аналізу процесу гартування виробу були обрані наступні види гартування, щоб виріб не мав борозен і тріщин – прогресивне гартування та ізотермічне гартування.

У процесі прогресивного гарту сталевий виріб спочатку поміщають у соляну ванну, температура самої соляної ванни повинна бути вище температури, при якій відбувається мартенситне перетворення (240-250 °C). Після соляної ванни сталь переводять в масло або повітря.

При ізотермічному твердінні (в гарячому середовищі). Охолоджують до температури трохи вище початку мартенситного перетворення (200-300 °C) в залежності від марки сталі.

Існує багато способів гартування і подальшого відпуску сталі, які були розглянуті в розділі 1.1, і вони істотно відрізняються один від одного. Найважливішими режимами нагріву можна назвати [11]:

- температура нагріву;
- час, необхідний для нагріву;
- час витримки металу при заданій температурі;
- швидкість охолодження.

Незалежно від використовуваного методу гартування в будь-якому випадку повинна бути забезпечена рівномірність нагріву, інакше відбудеться перебудова атомної решітки і можуть виникнути серйозні дефекти.

Повністю загартований зазвичай використовується для сталі та деталей, які менш схильні до тріщин або деформації.

Процес гартування сталі передбачає використання коробчастої печі, яка нагріває середовище до температури 800 °C і підтримує її протягом тривалого часу.

«У більшості випадків ступінчасті методи нагріву передбачають досягнення температури 500°C на першому етапі, підтримання її протягом певного періоду часу для забезпечення рівномірності нагрівання та підвищення

температури до критичного рівня.

Холодне гартування сталі не призводить до перебудови всієї атомарної мережі, що визначає лише незначне підвищення експлуатаційних властивостей.

Аналізуючи процес твердіння, можна виділити наступні температурні діапазони:

- температура нагріву;
- температура, якій піддається метал;
- температура охолодження.

Температура нагріву. Якщо гартування проводиться в соляній ванні, то температура самої соляної ванни повинна бути вищою за температуру, при якій відбувається мартенситне перетворення (240-250 °С).

Швидкості нагрівання і витримки продукту в різних печах наведені в таблиці. 1.1-1.2 [10].

Зазначена кількість дійсна лише тоді, коли в піч завантажено певну кількість деталей.

Таблиця 1.1 – Нагрівання виробів круглої форми в різних печах

Тип печі	Температура у печі, град.	Швидкість нагріву 1 мм діаметру виробу, сек
Електрична піч	800	35-40
Нафтова піч	800	30-35
Соляна ванна	800	10-12
Соляна ванна	1300	5-6
Свинцева ванна	800	5-6

Нормальна температура нагріву для гартування становить на 30-50 °С вище верхньої критичної точки [12].

Таблиця 1.2 – Нагрівання виробів квадратних та прямокутних форм в різних печах

Тип печі	Температура печі, град.	Час нагріву 1 мм діаметра або товщини виробів з перетином, сек	
		квадратним	прямокутним
Електрична піч	800	50-60	60-75
Полум'яна піч	800	45-50	55-60
Соляна ванна	800	15-18	18-22

Дрібнозернисті сталі можна нагрівати до температур, що значно перевищують верхню критичну точку 100-120 °С [12].

Тому сталь нагрівають в інтервалі температур АС1-АС2 (рис. 1.5).

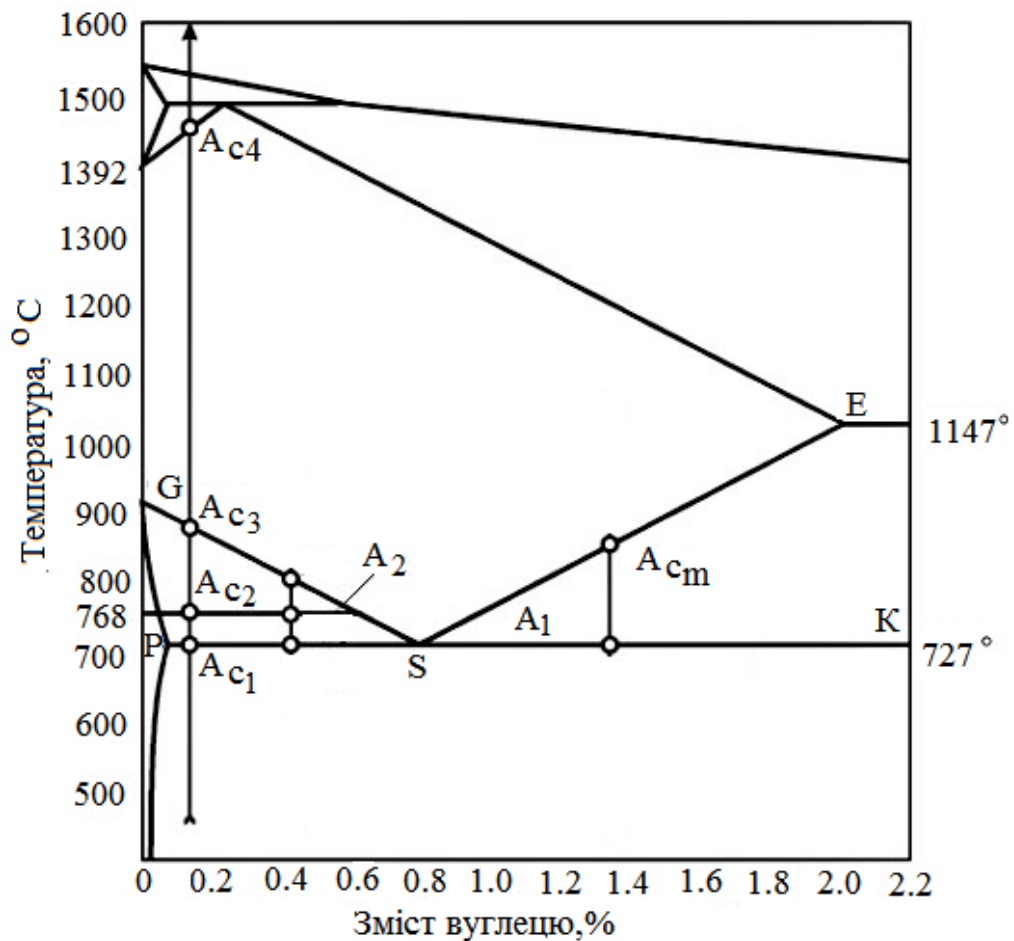


Рисунок 1.5 – Діаграма залізо-вуглець

Температура впливу металу також залежить від виду матеріалу.

Температура охолодження залежить від середовища, в якому відбувається охолодження:

1. Вода (оптимальна температура води для охолодження загартованої деталі 30 °С).

Гартування і подальше охолодження у воді проводять в таких умовах:

- під час процесу цементації металу;
- при поверхневому зміцненні;
- заготовки простих форм.

2. Теплоносій складається з каустичної соди (оптимальна температура 60 °С).

При використанні цієї охолоджуючої рідини колір загартованого заліза стане світлішим.

У таблиці 1.3 наведено солі, які найчастіше використовують у соляних ваннах [9].

Таблиця 1.3 – Солі, які застосовуються для соляних ванн

Склад суміші	Вага, %	Температура плавління, °С	Рекомендовані температурні режими роботи, °С
Селітра калію	56	153	175-500
Нітрит калію	44		
Кухонна сіль	44	660	720-900
Калій хлористий	56		
Барій хлористий	100	960	1100-1350

3. Охолоджуюча рідина, що складається з мінерального масла (оптимальна температура вище 100 0С, але це вплине на появу тріщин). Такий спосіб охолодження і гарту в мінеральній масляній рідині застосовують для тонкостінних виробів.

У таблиці 1.4 наведено дані щодо масел, які використовуються для гарту та відпустки сталі [9].

Таблиця 1.4 – Масла, які застосовуються для гартування сталі

Найменування	Температура спалаху в град
Веретенне 2	165
Веретенне 3	170
Машинне Л	180
Машинне С	190
Машинне СУ	200
Цилиндрове 2	215
Вапор	320

4. Теплоносій у складі гарячого масла або слабозрпавленої солі (оптимальна температура вище 200 °С). Це середовище охолодження призначене для прогресивного ізотермічного твердіння.

5. Теплоносій складається з гасу (оптимальна температура 35-38 °С).

1.3 Технологічне обладнання яке застосовують для процесу гартування

Основним обладнанням у процесі гартування виробів є піч. Ми розглянемо найпоширеніші види печей.

Класифікація термічних печей базується на ознаках [13]:

– за типом (конфігурацією) камер і розташуванням відносно підлоги сховища: камери (камери горизонтально розташовані з формою паралелепіпеда) (камери прямокутної або циліндричної форми, розташовані вертикально); переносна камера з кришкою циліндричної або прямокутної форми (розташована горизонтально на підлозі майстерні або на металевій підставці з довгою прямокутною або циліндричною камерою); кільце (камера, тобто круглий тунель); башта (кілька камер з високими камерами –

розташована вертикально на підлозі цеху (декілька коротких камер (секцій), з'єднаних між собою безпосередньо або за допомогою); вестибюля (представляє собою циліндричну горизонтально розташовану обертову камеру (зазвичай комбінацію двох типів камер));

– залежно від температурного режиму: камерні (це духовки, температура приблизно однакова по всій камері); ступінчаста зміна температури по довжині камери); комбінований тип (піч, що реалізує два-три температурні режими безперервно і послідовно);

– за джерелом тепла: електричний нагрів (за допомогою резистивних нагрівальних елементів), електроіндукційна піч;

– за ступенем полімеризації нагрівального середовища: газова; вакуумна піч, тобто піч, яка використовує рідке нагрівальне середовище і має шар помилкового кипіння.

Розрізняють також наступні типи термічних печей на рідкому та твердому паливі (рис. 1.6, рис. 1.7), високочастотні (СВЧ) та високочастотні нагрівальні пристрої [13].

Основним обладнанням термічного цеху є піч. Вони використовують рідке і газоподібне паливо, а також електроенергію. Робочий простір: повітря, захист, газове середовище.

Розглянемо коробчасту піч (муфельну піч).

Печі з внутрішнім розташуванням нагрівачів (коли нагрівачі не видно, оскільки вони розташовані за стінками камери) називаються муфельними, якщо нагрівачі розташовані зовні – коробчатими (рис. 1.6) [13].

Загальними перевагами використання коробчатої печі є рівномірний розподіл температури, висока точність регулювання всіх параметрів термообробки, можливість створення різноманітних температурних і часових режимів.

Недоліки загального використання коробчастих печей полягають у тому, що вони не відповідають вимогам поточного виробництва, а також виникають втрати тепла при періодичному завантаженні та вивантаженні металів.



Рисунок 1.6 – Камерна піч для гартування

Розглянемо найпоширеніші печі.

Перший тип – газова камерна піч (ГКП) показана на рисунку 1.7 [9].

Газконтроль контролює всі внутрішні процеси, які здійснюються в умовах максимальної безпеки, завдяки головному елементу – газовому клапану. Повітряний клапан — це ущільнювач, який запобігає викиду тиску за межі самого пристрою.

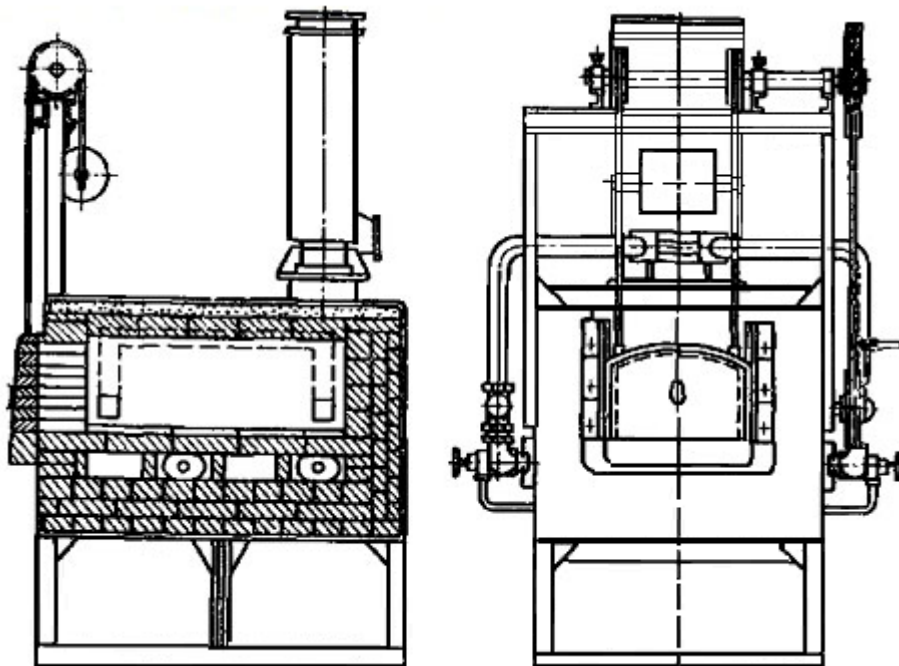


Рисунок 1.7 – Газова камерна піч

Наступний тип печі для гартування – електрична камерна піч (ЕКП)

показана на рис. 1.8 [9].

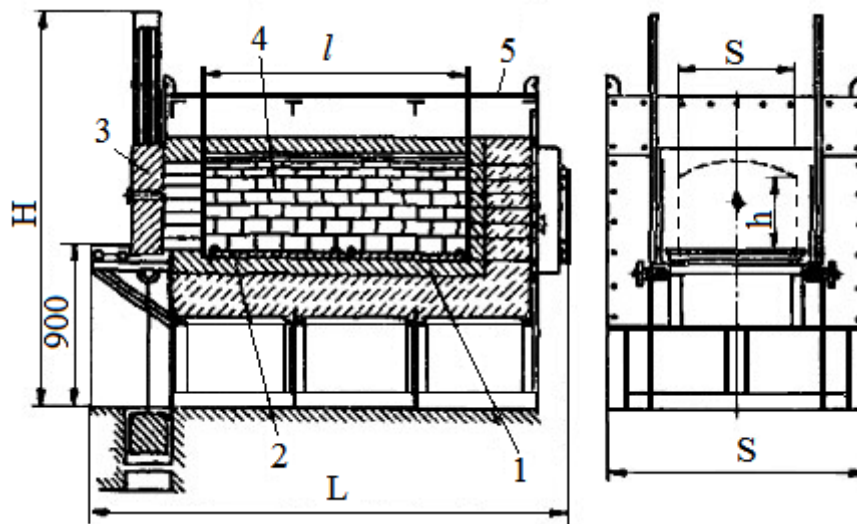


Рисунок 1.8 – Електрична камерна піч, де 1 – облицювання з шамотного фасонної цегли; 2 – жароміцна плита; 3 – засувка; 4 – камера нагрівання; 5 – корпус

Стандартний робочий діапазон електричних коробчастих печей становить 700 градусів, чого зазвичай достатньо для виконання найбільш трудомістких завдань.

Робота електричної коробчатої печі полягає в штучній циркуляції атмосфери в топці, але цей процес повинен відбуватися рівномірно і дуже плавно. «Під час цього процесу виділяється теплове випромінювання» [13].

У невеликих цехах і майстернях використовують печі, що опалюються газом, нафтою або коксом.

Третій тип печей — лабораторна муфельна піч (МП) (рисунок 1.9). Ця піч оснащена автоматичною системою контролю температури за допомогою цифрового термостата та твердотільного безконтактного реле. Фехралеві нагрівачі розміщені на трубках у нішах на бічних стінках топки. Топка виготовлена з вогнетривкого ізоляційного матеріалу з мікропористого волокна. Підлога в кімнаті плитка. На плиті та дверцятах є вентиляційні отвори із заглушками[14].



Рисунок 1.9 – Лабораторна муфельна піч

Тому на основі проведених досліджень можна провести порівняння коробчатих печей.

Різниця між електричною та масляною піччю:

- без диму;
- не потрібна система димовидалення;
- гарні показники теплоізоляції;
- легке регулювання температури,
- можливість використання контрольованої атмосфери.

Недоліки електричної духовки:

- продукт нагрівається довше, оскільки передача тепла відбувається за допомогою випромінювання (використання вентиляторів для циркуляції повітря в робочому просторі прискорює нагрівання);
- з міркувань безпеки необхідно використовувати заземлену піч;
- високі експлуатаційні витрати.

Існують печі, в яких метал гартується в розчині солі або масла. Виготовляє прямокутні або циліндричні ванни (рис. 1.10, а, б, в). Гартівною рідиною є масло або вода [13].



Рисунок 1.10 – Ванни для охолодження: а) ванна циліндричної форми; б) ванна прямокутної форми; в) ванна прямокутної форми;

Особливості конструкції:

- виключити «парові сорочки»;
- оригінальна система змішування затверділих рідин (вертикальний змішувач з електроприводом і направляючим екраном), що забезпечує ламінарний потік;
- система контролю температури в лазні (шафа управління, термостат, датчики).

Деякі параметри гартової ємності наведені в таблиці. 1,5 [15].

Таблиця 1.5 – Характеристики ванн для гартування металів

Найменування	Середовище гартування	Розміри робочої зони, мм, Д-Ш-В / діаметр-висота	Маса садки, кг	Потужність, КВт (нагрівачі + двигуни)
ВЗ 8.16.8/0,4П	вода	1600-800-800	300	32,4
ВШЗ 7.15/0,8	вода	Ø700-висота 1500	260	36
ВМ 10.6.6/0,6	масло	1000-600-600	60	11
ВШМ 6.30/0.6*	масло	Ø600-висота 3000	385	24

Для нагрівання в процесах термічної обробки найбільш широко використовуються електропечі: ящикові печі з нагрівачами з металу або карбиду кремнію, шахтні печі, ванни печі, тигельні ванни, конвеєрні печі, печі штовхачі і барабанні печі.

Теплове обладнання – печі за типом конструкції поділяють на періодичні та безперервні.

Сьогодні підбір складного технологічного обладнання є дуже складним завданням.

Як правило, найбільш широко використовуються коробчасті печі з фіксованими або висувними підлогами. Вибір коробчатої печі полягає в поліпшенні структури матеріалу і підвищенні його міцності, твердості, зносостійкості, в'язкості та інших властивостей.

«Порівняно з безперервними печами, перевага коробчатих печей полягає в тому

Універсальність, тобто можливість кожного разу завантажувати різні продукти, в тому числі ті, які незручно транспортувати в безперервній печі, і можливість змінювати режими нагрівання або термообробки в широкому діапазоні» [16].

1.4 Постановка задач досліджень

В даний час активно йде перехід виробництва металовиробів на шлях інтенсивного розвитку. Металургія є найпотужнішою галуззю промисловості.

На основі досліджень та аналізу процесу гартування виробу було встановлено, що різні сталеві матеріали можуть досягти значного підвищення міцності за допомогою гартування та відпуску, але існують труднощі з дотриманням проміжних значень параметрів під час процесу процес затвердіння.

Основною метою в управлінні процесом гартування виробів є підтримання температури в робочій зоні, оскільки в загартованій сталі вихідні

властивості після термічної обробки залежать від температури гартування, яка є основним параметром для структурних параметрів загартованої сталі. Аустеніт і мартенсит.

Для кожної автоматизованої системи управління метою її створення є забезпечення найбільш повного використання потенційних можливостей об'єкта управління для вирішення поставлених перед ним завдань.

Отже, для створення автоматизованої системи керування (АСУ) необхідно вибрати основні параметри та відобразити їх у розробленій системі.

Стандарти ефективності ACS визначаються набором показників, кожен з яких описує аспект певної системи.

Тому при розробці САУ в технологічному процесі гартування виробу спочатку необхідно проаналізувати різні види гартування та обладнання для їх реалізації, а потім вирішувати проблему вибору температурного режиму.

Тобто метою магістерської сертифікаційної роботи є автоматизація контролю температури під час гартування металу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити та проаналізувати процес гартування виробу;
- дослідити та проаналізувати параметри інтервалу температур твердіння виробів;
- вибір і перевірка обладнання для процесу гартування виробів;
- розробка автоматизованих систем контролю температури під час гартування виробів;
- провести експериментальні дослідження для оцінки створених систем;
- проекти пояснювальної записки згідно з рекомендаціями [1] та ДСТУ 3008:2015 [2].

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі було проведено дослідження та аналіз процесу гартування виробу та встановлено, що існують термічні та холодіві гартування,

але останнє не призводить до змін, які реорганізують всю атомну сітку, що визначає лише незначне збільшення експлуатаційні характеристики.

У цьому розділі аналізуються параметри температурного діапазону гартування продукту та встановлюється, що температуру нагріву гартування сталі слід вибирати відповідно до складу металу та матеріалу. отримані механічні властивості. Помилки, допущені при виборі режиму зміцнення, можуть призвести до підвищення структурної крихкості або підвищення м'якості поверхні. Незалежно від використовуваного методу гартування в будь-якому випадку повинна бути забезпечена рівномірність нагріву, інакше відбудеться перебудова атомної решітки і можуть виникнути серйозні дефекти.

Для деталей більш складної форми застосовують періодичне зміцнення. Встановлено, що до переваг прогресивного зміцнення можна віднести те, що після такої обробки на виробі не з'являються борозни і не утворюються тріщини. До переваг ізотермічного гартування можна віднести те, що оброблені таким способом сталеві вироби майже не деформуються і, як і після ступінчастого гартування, у виробі не утворюються тріщини. Гартування в одному охолоджувачі підходить не для всіх сталей.

Температурні діапазони включають: Температура нагріву. Старіння та охолодження. Температура нагріву для гартування залежить від виду матеріалу і його структури, а також від типу печі або нагрівальної рідини (сольова ванна).

Найважливіше при гартуванні металевих виробів – чітко дотримуватися процесу, оскільки будь-яке відхилення може призвести до небажаних наслідків. Провести процес гартування сталі можна навіть в домашніх умовах, якщо виконати все технічно.

2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРТУВАННЯ ВИРОБІВ

2.1 Розробка інформаційно-параметричної моделі

На основі аналізу процесу зміцнення та технічного оснащення для його реалізації в першому розділі та в публікації [8] обрано основні параметри, що характеризують предмет даного дослідження.

Використання методів інформаційного моделювання для виконання завдань управління в рамках технічних процесів удосконалення продукції висуває вимоги до розробки формальних правил обміну даними та управління інформацією. Формування та формалізація загальних правил і концепцій управління інформацією, розробка та використання інформаційних моделей пов'язані з необхідністю формалізації цих моделей.

Тому для представлення параметрів, що впливають на якість процесу зміцнення, у вигляді моделі інформаційних параметрів рекомендується використовувати теорію множин (набір елементів довільної природи).

Модель інформаційних параметрів складається з множини параметрів у виразі (2.1):

$$TP_q = \langle P_{qm}, P_{qt}, TM_q \rangle, \quad (2.1)$$

де P_{qm} – параметри машини для гартування;

P_{qt} – параметри баку для гартування;

TM_q – режимами гартування.

Параметри гартівної машини мають значний вплив на отримання більш міцної і твердої поверхні виробу, тому що при виборі невиправданої конфігурації виникне нерівномірний нагрів і гартування тріщин. Отже, параметри гартівної машини (печі) можна формалізувати у вигляді набору характеристик:

$$P_{qm} = \langle T_{qm}^i, HS_{qm}^i, M_{qm}^i, S_{qm}, Vl_{qm}, PH_{qm}^i, t_{qm}^i \rangle, \quad (2.2)$$

де T_{qm}^i – тип машини для гартування сталі (печі), при $i = 1 \dots 3$ (1 – камерні, 2 – шахтні, 3 – печі з висувним подом);

HS_{qm}^i – тип джерела тепла машини для гартування, при $i = 1 \dots 3$ (1 – мазутні, 2 – газові, 3 – електричні);

M_{qm}^i – модель машини для гартування, при $i = 1 \dots N$; N – кількість модифікацій моделі машини для гартування;

S_{qm} – розміри машини для гартування;

Vl_{qm} – об'єм машини для гартування;

PH_{qm}^i – спосіб розташування нагрівачів, при $i = 1 \dots 2$ (1 – із закритим муфелем (розташування нагрівачів – внутрішнє), 2 – відкритим муфелем (розташування нагрівачів – зовнішнє));

t_{qm}^i – температура робочого об'єму машини для гартування, при $i = 1 \dots 3$ (1 – низькотемпературні, 2 – середньотемпературні, 3 – високотемпературні).

Розміри машини для гартування можна представити виразом:

$$S_{qm} = \langle a, b, d \rangle, \quad (2.3)$$

де a – висота машини для гартування;

b – ширина машини для гартування;

d – діаметр машини для гартування, якщо вона циліндричної форми.

Параметри баку для гартування (P_{qt}) – також важливі, бо від них залежить процес витримки при температурі що задана, тому їх можна описати виразом:

$$P_{qt} = \langle M_{qt}^i, Sh_{qt}^i, S_{qt}, Sa_{qt}, Vl_{qt}, Md_{qt}^i, Pw_{qt}, t_{qt} \rangle, \quad (2.4)$$

де M_{qt}^i – модель баку для гартування, при $i = 1 \dots N$; N – кількість модифікацій моделі машини для гартування;

Sh_{qt}^i – форма баку для гартування, при $i = 1 \dots 2$ (1 – прямокутна, 2 – циліндрична);

S_{qt} – розміри машини для гартування (якщо розмір бака невеликий, то при частому гартуванні рідина буде дуже швидко нагріватися, що матиме негативне позначення на результатах гартування);

Sa_{qt} – розміри області для гартування;

Vl_{qt} – об'єм машини для гартування;

Md_{qt}^i – речовина витримки виробу при $i = 1 \dots 4$ (1 – вода, 2 – масло, 3 – полімер, 4 – солі);

Pw_{qt} – потужність машини для гартування;

t_{qt} – максимальна температура при зануренні в бак.

Температурні режими гартування (TM_q) можна описати, як:

$$TM_q = \langle t_h, t_e, t_c \rangle, \quad (2.5)$$

де t_h – температура нагрівання;

t_e – температура витримки металу;

t_c – температура охолодження.

Тому як нагрівання відбувається поступово, то температура нагрівання матиме склад:

$$t_h = \langle t_h^1, t_h^2, t_h^3 \rangle, \quad (2.6)$$

де t_h^1 – температура нагріву у першій зоні нагріву;

t_h^2 – температура нагріву у другій зоні нагріву;

t_h^3 – температура нагріву у третій зоні нагріву.

Подібним чином відбувається ситуація із температурою витримки (вона відбувається поступово), тож можна запропонувати наступний вираз:

$$t_e = \langle t_e^1, t_e^2 \rangle, \quad (2.7)$$

де t_e^1 – температура витримки у першій зоні нагрівання;

t_e^2 – температура витримки у другій зоні нагрівання.

Таким чином, розроблена модель інформаційних параметрів містить параметри, які не тільки впливають на якість процесу гартування, але й є набором ключових характеристик при виборі гартівного обладнання.

2.2 Розробка способу опису основних параметрів

На основі створення інформаційної параметричної моделі для опису параметрів процесу зміцнення необхідно сформулювати правила математичного представлення допустимих діапазонів значень кожного елемента параметричної моделі у такому вигляді: Вираз (2.1).

На основі аналізу параметрів, їх можливих діапазонів значень і описів, які вони можуть приймати, пропонується наступна форма запису, в якій будуть застосовані наступні значення змінних: числові та вербальні.

Для параметрів, заданих числами, формальний запис матиме такий

ВИГЛЯД:

$$P^i = \begin{cases} p^1, \text{ якщо } p_i \leq P \leq [\text{значення}], \\ p^2, \text{ якщо } [\text{значення}] \leq P \leq [\text{значення}], \\ \dots \\ p^n, \text{ якщо } [\text{значення}] \leq P \leq p_j. \end{cases} \quad (2.8)$$

де P^i – позначення i -го параметра машини/баку для гартування;

p^1, p^1, p^n – ідентифікатори діапазонів значень;

p_i, p_j – граничні значення, які: $p_i \rightarrow \min$; $p_j \rightarrow \max$.

$[\text{значення}]$ – виділені порогові значення параметра діапазону.

Параметри, які задаються лінгвістичними змінними будуть представлені в наступному вигляді:

$$P^i = \begin{cases} p^1, \text{ якщо} & P = [\text{слово}], \\ p^2, \text{ якщо} & P = [\text{слово}], \\ \dots & \\ p^n, \text{ якщо} & P = [\text{слово}]. \end{cases} \quad (2.9)$$

де P^i – позначення i -го параметра машини/баку для гартування;

p^1, p^1, p^n – ідентифікатори діапазонів значень;

$[\text{слово}]$ – лінгвістичне позначення параметру, наприклад, параметр, Md (середовище охолодження виробу: слово 1 – вода, слово 2 – масло, слово 3 – полімер, слово 4 – солі).

Тож параметр тип машини для гартування (печі):

$$T_{qm} = \begin{cases} T_{qm}^1, \text{ якщо} & T_{qm} = [\text{камерні}], \\ T_{qm}^2, \text{ якщо} & T_{qm} = [\text{шахтні}], \\ T_{qm}^3, \text{ якщо} & T_{qm} = [\text{печі з висувним подом}]. \end{cases} \quad (2.10)$$

Параметр тип джерела тепла машини для гартування може обіймати значення:

$$HS_{qm} = \begin{cases} HS_{qm}^1, \text{ якщо} & HS_{qm} = [\text{мазутні}], \\ HS_{qm}^2, \text{ якщо} & HS_{qm} = [\text{газові}], \\ HS_{qm}^3, \text{ якщо} & HS_{qm} = [\text{електричні}]. \end{cases} \quad (2.11)$$

Параметр об'єм машини для гартування, як правило, матиме декілька значень, але можна обирати якесь одно з них.

$$Vl_{qm} = \begin{cases} Vl_{qm}^1, \text{ якщо} & Vl_{qm}^{\min} \leq Vl \leq 9, \\ Vl_{qm}^2, \text{ якщо} & 9 \leq Vl \leq 12, \\ Vl_{qm}^3, \text{ якщо} & 12 \leq Vl \leq 16, \\ Vl_{qm}^4, \text{ якщо} & 16 \leq Vl \leq Vl_{qm}^{\max}. \end{cases} \quad (2.12)$$

Параметр спосіб розташування нагрівачів може обіймати значення:

$$PH_{qm} = \begin{cases} PH_{qm}^1, \text{ якщо} & PH_{qm} = [\text{внутрішнє розташування нагрівачів}], \\ PH_{qm}^2, \text{ якщо} & PH_{qm} = [\text{зовнішнє розташування нагрівачів}]. \end{cases} \quad (2.13)$$

Параметр температура робочого простору машини для гартування як

правило, має декілька значень, але можна задати тільки одно з них.

$$t_{qm} = \begin{cases} t_{qm}^1, \text{ якщо} & t_{qm}^{\min} \leq t \leq 400, \\ t_{qm}^2, \text{ якщо} & 400 \leq t \leq 800, \\ t_{qm}^3, \text{ якщо} & 800 \leq t \leq t_{qm}^{\max}. \end{cases} \quad (2.14)$$

Параметр форма баку для гартування може бути:

$$Sh_{qt} = \begin{cases} Sh_{qt}^1, \text{ якщо} & Sh_{qt} = [\text{прямокутна}], \\ Sh_{qt}^2, \text{ якщо} & Sh_{qt} = [\text{циліндрична}]. \end{cases} \quad (2.15)$$

Параметр об'єм баку для гартування, як правило, має кілька значень, але можна обрати тільки одно з них.

$$Vl_{qt} = \begin{cases} Vl_{qt}^1, \text{ якщо} & Vl_{qt}^{\min} \leq Vl \leq 5, \\ Vl_{qt}^2, \text{ якщо} & 5 \leq Vl \leq 8, \\ Vl_{qt}^3, \text{ якщо} & 8 \leq Vl \leq 10, \\ Vl_{qt}^4, \text{ якщо} & 10 \leq Vl \leq Vl_{qt}^{\max}. \end{cases} \quad (2.16)$$

Параметр середовище витримки виробу обирається з наступних значень:

$$Md_{qt} = \begin{cases} Md_{qt}^1, \text{ якщо} & Md_{qt} = [\text{вода}], \\ Md_{qt}^2, \text{ якщо} & Md_{qt} = [\text{масло}], \\ Md_{qt}^3, \text{ якщо} & Md_{qt} = [\text{полімер}], \\ Md_{qt}^4, \text{ якщо} & Md_{qt} = [\text{соль}]. \end{cases} \quad (2.17)$$

Параметр потужність машини для гартування може приймати одне з наведених значень:

$$P_{w_{qt}} = \begin{cases} P_{w_{qt}}^1, \text{ якщо} & P_{w_{qt}}^{\min} \leq t \leq 220 \\ P_{w_{qt}}^2, \text{ якщо} & 220 \leq P_{w_{qt}} \leq P_{w_{qt}}^{\max}. \end{cases} \quad (2.18)$$

Параметр максимальна температура при зануренні в бак може приймати одне з наведених значень:

$$t_{qt} = \begin{cases} t_{qt}^1, \text{ якщо} & t_{qt}^{\min} \leq t \leq 500 \\ t_{qt}^2, \text{ якщо} & 500 \leq t \leq t_{qt}^{\max}. \end{cases} \quad (2.19)$$

Максимальна температура при зануренні в резервуар залежить від середовища, в якому відбувається процес старіння, оскільки якщо це вода, то максимальна температура повинна бути 30 0С.

Параметр температури нагріву першої зони нагріву може приймати такі значення:

$$t_{h1} = \begin{cases} t_{h1}^1, \text{ якщо} & t_{h1}^{\min} \leq t_{h1} \leq 400 \\ t_{h1}^2, \text{ якщо} & 400 \leq t_{h1} \leq t_{h1}^{\max}. \end{cases} \quad (2.20)$$

Параметр температура нагрівання у другій зоні нагрівання може приймати одне з значень:

$$t_{h2} = \begin{cases} t_{h2}^1, \text{ якщо} & t_{h2}^{\min} \leq t_{h2} \leq 700 \\ t_{h2}^2, \text{ якщо} & 700 \leq t_{h2} \leq t_{h2}^{\max}. \end{cases} \quad (2.21)$$

Параметр температура нагрівання у третій зоні нагрівання може

приймати одне з наведених значень:

$$t_{h3} = \begin{cases} t_{h3}^1, \text{ якщо} & t_{h3}^{\min} \leq t_{h3} \leq 800 \\ t_{h3}^2, \text{ якщо} & 800 \leq t_{h3} \leq t_{h3}^{\max}. \end{cases} \quad (2.22)$$

Параметр температура витримки у першій зоні нагрівання може приймати одне з наведених значень:

$$t_{e1} = \begin{cases} t_{e1}^1, \text{ якщо} & t_{e1}^{\min} \leq t_{e1} \leq 20 \\ t_{e1}^2, \text{ якщо} & 20 \leq t_{e1} \leq t_{e1}^{\max}. \end{cases} \quad (2.23)$$

Параметр температура витримки у другій зоні нагрівання:

$$t_{e2} = \begin{cases} t_{e2}^1, \text{ якщо} & t_{e2}^{\min} \leq t_{e2} \leq 500 \\ t_{e2}^2, \text{ якщо} & 500 \leq t_{e2} \leq t_{e2}^{\max}. \end{cases} \quad (2.24)$$

2.3 Вибір печі для технологічного процесу гартування виробів

Піч вибиралася з урахуванням конкретної ситуації (матеріал і розміри виробу) та моделі інформаційного пошуку (2.2).

Інформацію про загартування таких виробів, як свердла, дивіться на рисунку 2.1 Рекомендований тип сталі: U8 (вміст вуглецю в цій сталі становить 0,76-0,83%), яка є високовуглецевою сталлю. Габаритні розміри: 130×130×35 мм. Діаметр отвору ножа: 40 мм. Вага 90 г Робочий хвіст загартований.

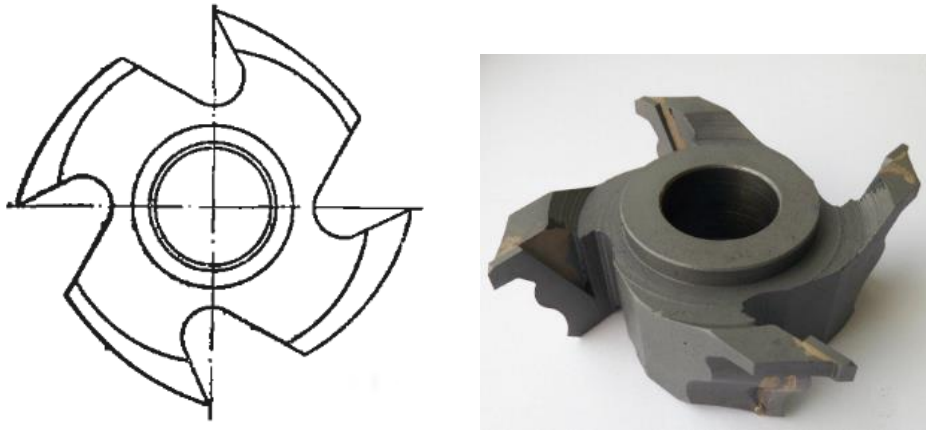


Рисунок 2.1 – Фреза насадна

Для того, щоб вибрати піч для гарту, спочатку необхідно визначити температурний діапазон і об'єм робочої камери в печі.

Розглянемо безпосередньо процеси гарту, вони починаються при 800 ... 820 °С:

1. Співвідношення часу попереднього і кінцевого нагріву загартування інструменту повинно бути однаковим, а діапазон температур – 400 ... 500 °С;
2. Виходячи з площі поверхні інструменту і його об'єму, можна визначити точний час нагріву. Це особливо важливо при нагріванні заготовки в сольовому розплаві: для розплаву він повинен становити 8 ... 14 хв, для водного розчину – 15 ... 30 хв;
3. Загартований продукт охолоджують у воді, температура води (незалежно від пори року і температури приміщення витримки) повинна бути в межах 18 ... 25 °С;
4. При більш низьких температурах підвищується ризик розтріскування виробу, а при більш високих температурах твердість інструменту нерівномірна. Такі ж дефекти можуть виникати і при забрудненні зміцнювального середовища мінеральними та органічними залишками [17];
5. Сталь U8 не може твердіти на повітрі.

Для загартування вибирають переривчастий тип, оскільки він використовується для виробів з вуглецевої сталі.

Переривчасте загартовування проводиться за двох обставин. Спочатку в

основне середовище, потім в охолоджуючу рідину (масло). Тобто продукт спочатку швидко охолоджується (наприклад, у воді), а потім охолоджується в повільно остигає рідині.

Тому обраний ЕМП придатний для зміцнення різних деталей в діапазоні робочих температур 400 – 1400 °С (високотемпературний нагрів).

Вибираючи тип нагрівального елемента, в першу чергу розглядайте використання доступних трубчастих електронагрівачів (ТЕН) [18].

Надійно зарекомендували себе ТЕН, а також звичайні електроспіралі з хромонікельових сплавів [19].

Тому була обрана ніхромова дріт, яка має максимальну робочу температуру 1200 °С.

Розглянемо процес охолодження.

Загартування цієї сталі У8 дозволяє використовувати досить жорсткі охолоджуючі середовища (воду або водно-сольові розчини).

Температура критичної точки сталі У8:

– початок аустенітного перетворення, нагрівання від вихідного перліту до 720 °С.

– кінець аустенітного перетворення – 740 °С.

– початкова і кінцева температури перетворення аустеніту в перліт при охолодженні є стабільними і знаходяться в межах 700 °С.

– мартенситне перетворення починається при 810 °С і закінчується при 245 °С.

Загалом сталь У8 є липким матеріалом. Тому особливих вимог до точності режиму термічної обробки немає.

При роботі рекомендується вибирати електромуфельну піч (ЕМП) для реалізації технологічного процесу (ТП) загартованих сталевих виробів. Зазвичай для термічної обробки дрібних деталей широко застосовуються муфельні печі з електропідігрівом.

Піч, всередині якої розташований нагрівач (коли нагрівач не видно, тому що він розташований за стінкою камери), називається муфельної піччю.

Крім того, ЕМП було обрано тому, що його можна використовувати не тільки для гартування, але й для інших термічних процесів, а також ЕМП можна використовувати в лабораторних і промислових умовах. Загальний вигляд електричної муфельної печі наведено на рисунку 2.1 [17].

На рисунку 2.2 зображено нагрівальний елемент – ніхромовий дріт (або кантель), обмотаний навколо муфельної печі (закрита камера, в якій розміщуються матеріали, що нагріваються в печі), або розміщений у кільцевому просторі, використовується для нагрівання муфельної печі та її вмісту.

При високих температурах електричний глушник нагрівається світловими стрижнями або променистими елементами, де сталь нагрівається прямим випромінюванням.

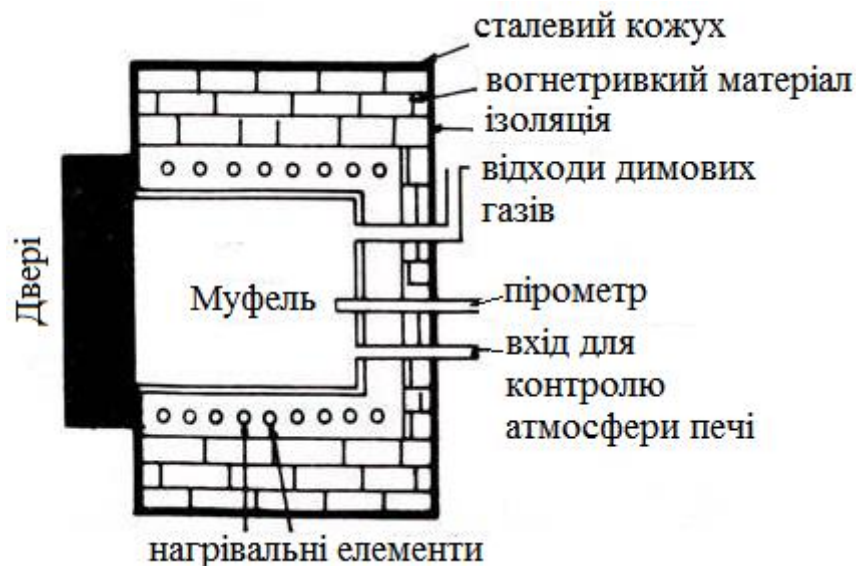


Рисунок 2.2 – Загальний вид електричної муфельної печі

Муфельна піч являє собою порожнисту кубічну або циліндричну камеру (реторту), виготовлену зі спеціальних вогнетривких матеріалів.

Є два типи ЕМП: горизонтальна, як показано на рисунку 2.1 і є вертикальним. Потужність горизонтальних електромагнітних полів у кілька разів перевищує потужність вертикальних електромагнітних полів.

Залежно від того, як розміщений нагрівач, печі можна поділити на:

- закрыта муфельна піч (внутрішнє розташування нагрівача);
- відкрита муфельна піч (нагрівач розташований зовні).

Обрано зовнішнє розташування обігрівача.

Питома продуктивність печі становить приблизно 120-160 кг/м² год. [17].

У таблиці наведені приблизні терміни нагріву виробів в ЕРС. 2.1[19].

Таблиця 2.1 – Орієнтовний часу нагрівання виробу в печі

Оснащення	Температура у печі, °С	Орієнтовний часу нагрівання виробу на 1 мм, сек.		
		Круглий перетин	Квадратний перетин	Прямокутний перетин
ЕМП	800	40-50	50-60	60-75

На рис. 2.3 наведена узагальнена структурна схема взаємозв'язків обладнання при гартуванні.

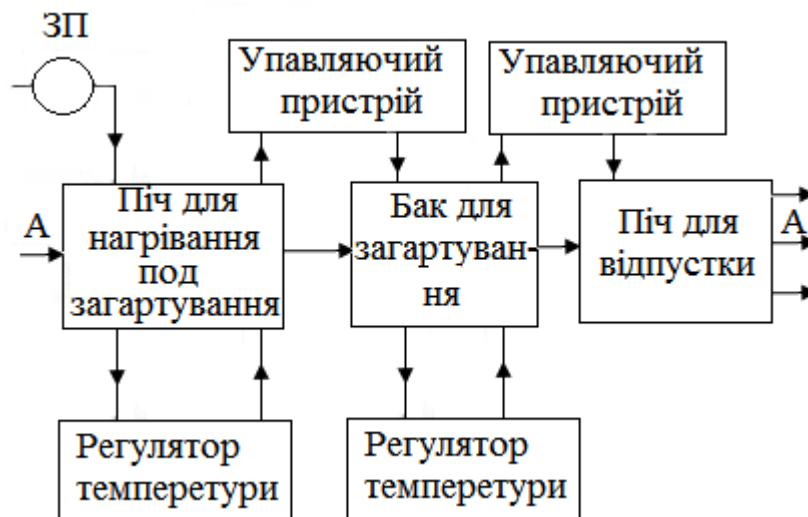


Рисунок 2.3 – Загальна структурна схема взаємозв'язку обладнання при гартуванні

На рисунку 2.3: ЗП – пристрій налаштування (компонент системи автоматичного регулювання, за допомогою якого встановлюється необхідне значення величини регулювання або задається закон його зміни (алгоритм); А – напрямок руху виробу в процесі гартування.

На рисунку 2.4 наведена спрощена схема ЕРС.

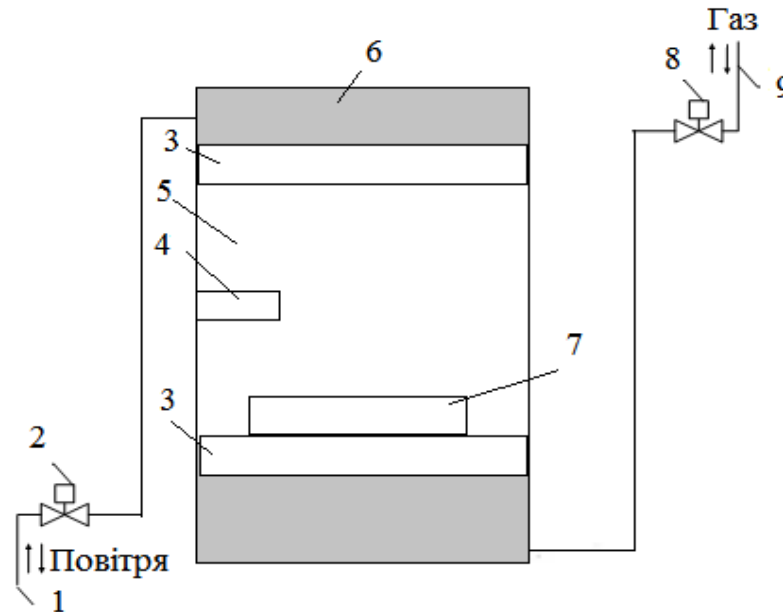


Рисунок 2.4 – Спрощена схема електричної муфельної печі

На рис. 2.4 ЕМФ складається з елементів: 1 – повітряна магістраль; 2 – повітряна заслінка; 3 – нагрівачі (ніхромовий дріт); 4 – пірометр/термопара; 5 – камера; 6 – корпус; 7 – зона постійної температури; 8 – газова заслінка; 9 – газова магістраль.

2.4 Розрахунок нагрівача електричної муфельної печі

Як нагрівальний елемент використовується ніхромовий дріт, але необхідно визначити діаметр і довжину цього дроту, або яку потужність можна отримати за допомогою дроту або стрічки з заданими параметрами і т.д. Тому проведемо розрахунки для електричних муфельних нагрівачів.

При правильному вирішенні цього завдання необхідно враховувати наступні параметри:

- струм через нагрівач;
- робоча температура;
- тип сітки та інші.

Виходячи з цих умов, вибирайте матеріал утеплювача. Робоча температура нікель-хромових сплавів до 1200 °С.

Нікель-хромовий сплав також обраний тому, що:

- гарні механічні властивості як при низьких, так і при високих температурах;
- має гарні технологічні властивості (пластичність і зварюваність);
- легко обробляється;
- матеріал не старіє, але є немагнітним.

По-перше, в даній магістерській атестаційній роботі ми розглянемо дані про найбільш поширені матеріали, які використовуються при виготовленні ЕМП-нагрівачів.

Нагрівальний елемент (ТЕН) є одним з найважливіших елементів печі, так як забезпечує нагрів, має найвищу температуру і визначає ККД всього опалювального агрегату.

Тому утеплювач повинен відповідати багатьом вимогам:

1. Фізичні властивості матеріалу нагрівача повинні бути постійними.

Деякі матеріали, наприклад карборунд, неметалічний нагрівач, з часом змінюють свої фізичні властивості, зокрема електричний опір, що ускладнює умови їх експлуатації.

Для стабілізації опору використовують трансформатори з великою кількістю ступенів і різними діапазонами напруг [19, 20].

2. Продуктивність процесу нагрівача, тобто матеріал повинен бути пластичним і мати хорошу здатність до зварювання, щоб з нього можна було виготовляти дроти, стрічки тощо.

3. Нагрівач в електропечі повинен бути виготовлений з матеріалів з високим питомим опором. Тобто, якщо матеріал має високий опір, він буде нагріватися сильніше.

Якщо ви використовуєте матеріал з меншим опором, вам знадобиться нагрівач більшої довжини і меншої площі поперечного перерізу.

Довші опалювальні прилади не завжди можна поставити в піч.

Слід враховувати, що чим більше діаметр дроту, з якого виготовлений нагрівач, тим довше буде термін його служби.

4. Нагрівач в електропечі повинен мати достатню теплостійкість (накипостійкість) і термостійкість.

"Термічна міцність – це механічна міцність при високих температурах. Термостійкість відноситься до здатності металів і сплавів протистояти газовій корозії при високих температурах" [19].

У більшості випадків вихідними даними для розрахунку ЕРС нагрівачів є:

- потужність, яку повинен забезпечити нагрівач;
- максимальна температура, необхідна для здійснення відповідного процесу (загартування тощо);
- розміри робочого простору ЕМП.

Якщо потужність печі не вказана, її можна визначити на основі практичних правил.

При розрахунку нагрівача необхідно отримати діаметр і довжину (для проводів) або площу перетину і довжину (для смуг), необхідні для виготовлення нагрівача.

Розрахуємо діаметр і довжину ТЕНу. Відомо, що напруга живлення (U) становить 220 В. Але загалом, є два варіанти підключення до мережі:

- підключено до побутової мережі однофазного струму – тоді $U = 220$ В;
- промислова мережа трифазного струму – $U = 220$ В (між нейтраллю і фазою) або $U = 380$ В (між будь-якими двома фазами).

Крім того, окремо проводяться розрахунки для однофазних підключень.

Обрано домашню мережу однофазного струму.

Температура нагрівача 800 °С. В якості нагрівального елемента використовується нікель-хромовий дріт Х20Н80 (нікель + хром).

При виборі потужності ЕРС необхідно враховувати обсяг топки, який залежить від обсягу продукту.

Обрано EMF Snol 8.2 (рис. 2.5). Розміри Ш-44 × Г-56 × В-51 см, межі студії наступні: ширина – 20 см, глибина – 30 см, висота – 13,3 см.

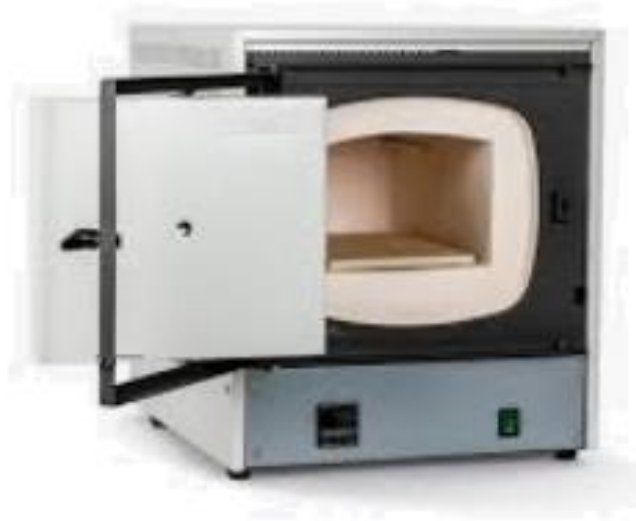


Рисунок 2.5 – ЕМП Snol 8,2

У таблиці 2.2 наведені значення об'єму муфельної камери та рекомендованої питомої потужності [19].

Об'єм 7980 см³ (9 л), рекомендована питома потужність 180 Вт/л.

Значення в таблиці виражені в певних діапазонах, тому беремо приблизне середнє значення, тому $P = 180$ Вт.

Таблиця 2.2 – Значення об'єму муфельної печі та питома потужність

Об'єм муфельної камери печі, л	Рекомендована питома потужність печі (Вт/л)
1 ÷ 5	300 ÷ 500
6 ÷ 10	120 ÷ 300
11 ÷ 50	80 ÷ 120
51 ÷ 100	60 ÷ 80
101 ÷ 600	50 ÷ 60

На початку потрібно визначити силу струму, що буде проходити через нагрівальний елемент:

$$I = U / R, \quad (2.25)$$

тоді сила струму буде 0,82 А.

Кінець таблиці 2.3 – Припустимий струм ніхромового нагрівачу

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,5	1,77	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1,4	1,54	7,25	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1,3	1,33	6,6	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1,2	1,13	6,0	9,8	14,0	15,8	18,7	21,6	24,3
1,1	0,95	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1	0,785	4,85	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2
0,9	0,636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5	16,5
0,8	0,503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	12,3	14,0
0,75	0,442	3,4	5,3	7,55	8,4	9,95	11,25	12,85
0,7	0,385	3,1	4,8	6,95	7,8	9,1	10,3	11,8
0,65	0,342	2,82	4,4	6,3	7,15	8,25	9,3	10,75
0,6	0,283	2,52	4,0	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7
0,55	0,238	2,25	3,55	5,1	5,8	6,75	7,6	8,7
0,5	0,196	2,0	3,15	4,5	5,2	5,9	6,75	7,7
0,45	0,159	1,74	2,75	3,9	4,45	5,2	5,85	6,75
0,4	0,126	1,5	2,34	3,3	3,85	4,4	5,0	5,7
0,35	0,096	1,27	1,95	2,76	3,3	3,75	4,15	4,75
0,3	0,085	1,05	1,63	2,27	2,7	3,05	3,4	3,85
0,25	0,049	0,84	1,33	1,83	2,15	2,4	2,7	3,1
0,2	0,0314	0,65	1,03	1,4	1,65	1,82	2,0	2,3
0,15	0,0177	0,46	0,74	0,99	1,15	1,28	1,4	1,62
0,1	0,00785	0,1	0,47	0,63	0,72	0,8	0,9	1,0

За таблицею 2.3 визначено силу струму 0,82А, температуру нагрівача 800°С, обрано хромонікельовий дріт діаметром $d=1\text{мм}$ і площею поперечного перерізу $S=0,00785\text{ мм}^2$.

Загальне правило вибору діаметра дроту можна сформулювати так: необхідно вибирати провід, який пропускає силу струму не менше струму, розрахованого через нагрівач.

Примітки:

– якщо нагрівач знаходиться всередині рідини, що нагрівається, навантаження (допустимий струм) можна збільшити в 1,1-1,5 рази;

– при вимкненому нагрівачі (наприклад, в коробчастій електропечі) навантаження потрібно зменшити в 1,2-1,5 рази (менший коефіцієнт для товстіших проводів, більший для тонших)» [19].]

Далі визначаємо довжину ніхромового дроту.

$$R = \rho \cdot l / S, \quad (2.27)$$

де R – електричний опір провідника (нагрівача), Ом;

ρ – питомий електричний опір матеріалу нагрівача, Ом · мм²/м;

l – довжина провідника (нагрівача), мм;

S – площа поперечного перерізу провідника (нагрівача), мм².

Тому в якості нагрівача використовували ніхромовий дріт діаметром 0,1 мм. Відповідно до ДСТУ 12766.1-10 «Технічні умови для проводів високоомних прецизійних легованих» номінальний питомий опір дроту хромонікель марки Х20Н80 становить 1,1 Ом мм²/м ($\rho = 1,1\text{ Ом мм}^2/\text{м}$) (табл. 2.4). [21].

Таблиця 2.4 – Питомий електроопір ніхрому (номінальне значення)

Марка сплаву	Діаметр, мм	Питомий електроопір $\rho_{\text{ном}}$, мкОм·м
X20H80-н	від 0,1 до 0,5 включ.	1,08
	від 0,5 до 3,0 включ.	1,11
	більш 3,0	1,13
X15H60, X15H60-н	від 0,1 до 3,0 включ.	1,11
	більш 3,0	1,12
X23Ю5Т	Всі діаметри	1,39

Таким чином, довжину нагрівача становитиме:

$$l = R \cdot S / \rho = 268 \cdot 0,00785 / 1,11 = 1,9 \text{ м.}$$

В результаті проведених розрахунків визначено, що необхідна довжина ніхромового дроту 1,9 м з діаметром дроту 1 мм.

2.5 Обрання пристрою виміру температури

«Термопари можна виготовляти практично з будь-якого матеріалу з термоелектричними властивостями» [22].

Наприклад, суміш матеріалів у термопарі підбирається для конкретної поведінки та завдання.

Термопари викликають зміну вихідної напруги при зміні температури, тоді як термістори (резистори, опір яких змінюється залежно від температури) і платинові термометри опору викликають зміну опору, коли зміна температури подається на чутливий елемент.

При виборі ЕМР Snol 8.2 необхідно вибрати термопару та її матеріал.

У таблиці 2.5 наведено порівняння основних показників термопар,

терморезисторів і платинових термометрів опору.

Таблиця 2.5 – Порівняння показників пристроїв виміру температури

Назва пристрою	Температурний діапазон	Точність	Стабільність (до вібрацій)	Ціна
Термопара	200 °С ÷ 1700 °С *	Тип J ± 2,2 °С (± 0,75 %) від показань (стандартний) Тип S ± 0,6 °С (± 0,75 %) від показань (спеціальний)	Стабільно (±2 ÷ 10 °С на 1000 год. роботи)	Низька ціна
Термістор	0 °С ÷ 100 °С	± 0,001 °С ÷ ± 0,01 °С	Дуже стабільно (±0,0009 °С)	Середня ціна
Платиновий термометр опору	200 °С ÷ 1000 °С **	0,006 °С ÷ 0,04 °С	Дуже стабільно (± 0,05 °С після закінчення 1000 год. роботи при температурі <300 °С)	Висока ціна

Примітка: * є сумарним діапазоном температур для найпоширеніших типів термопар. Одну термопару не можна використовувати у всьому зазначеному діапазоні. ** — сумарний температурний діапазон найпоширеніших платинових термометрів опору. Один платиновий термометр опору не можна використовувати у всьому зазначеному діапазоні.

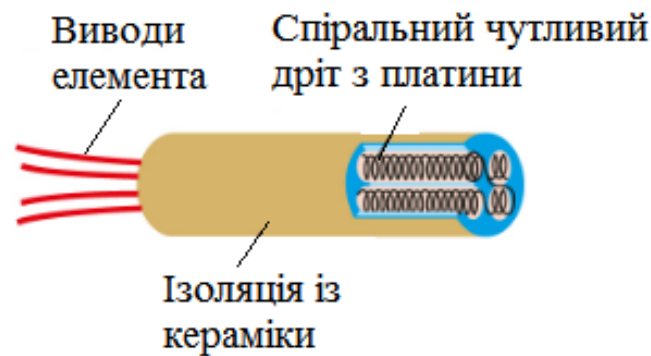
Визначено, що точність в основному залежить від типу термопар.

Вибір обладнання для вимірювання температури залежить від необхідної точності.

Обрано прилад для вимірювання температури – платиновий термометр опору, якісніший за вимірювану термопару.

Платинові термометри опору (ПТО) (рис. 2.6, а, б) точні і дають стабільні показання.

Деякі еталонні термопары мають рівні похибки та стабільності, що наближаються до рівня платинових термометрів опору (або навіть стандартних платинових термометрів опору) за високих температур.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Платиновий термометр опору: а) структура ПТО; б) загальний вид ПТО

Далі розглянемо температурну залежність похибки для різних рівнів точності.

У таблиці 2.6 наведено похибку в залежності від температури для найбільш часто використовуваних типів класів А і В. 2.6[19].

Таблиця 2.6 – Залежність похибок від температури

Температура	Клас А		Клас В	
	⁰ С	Ом	⁰ С	Ом
-200	± 0,55	± 0,24	± 1,3	± 0, 56
-100	± 0,35	± 0,14	± 0,8	± 0,32
0	± 0,15	± 0,06	± 0,3	± 0,12
100	± 0,35	± 0,13	± 0.8	± 0,30
200	± 0,55	± 0,20	± 1,3	± 0,48
300	± 0,75	± 0.27	± 1,8	± 0,64
400	± 0,95	± 0,33	± 2,3	± 0.79
500	± 1,15	± 0,38	± 2,8	± 0,39
600	± 1,35	± 0,43	± 3,3	± 1,06
650	± 1,45	± 0,46	± 3,6	± 1,13
700			± 3,8	± 1,17
800			± 4,3	± 1,28
850			± 4,6	± 1,34

2.6 Обрання баку для гартування

З огляду на модель інформаційного параметра (2.4) було обрано модель танка.

Загартувальний бак (БДЗ), як і електропіч, є основним обладнанням термічних цехів і станцій [23].

БДЗ в різних середовищах (вода, олія, полімери, солі) застосовують для гартування виробів після нагрівання і старіння в гарячих камерних печах.

Передача шихти (відливок) з коробчатої печі здійснюється маніпулятором, що забезпечує максимально швидке переміщення від печі до

накопичувальної ємності.

Передача шихти з шахтних печей і прокатних печей у відпускні резервуари здійснюється за допомогою цехових мостових кранів та іншого обладнання, якщо шихта невелика за вагою. Крім того, садки можна розміщувати в кошиках і тому подібних термостійких пристроях.

БДЗ виготовляється із сталевих пластин, приварених до сталевій рами, що складається з профілів зі 100% перевіреними зварними швами ультразвуковим контролем (УЗК) [23].

Танкове обладнання[24]:

- нагрівачі для нагрівання рідин для темперування;
- змішувальний циркуляційний насос;
- охолоджувач, підключений до системи зовнішнього оборотного водопостачання;
- бортова всмоктувальна установка, підключена до системи примусової витяжки.

Найбільш поширені БДЗ прямокутної та циліндричної форми (рис. 2.7, а, б), поділяються на механізовані та немеханізовані.

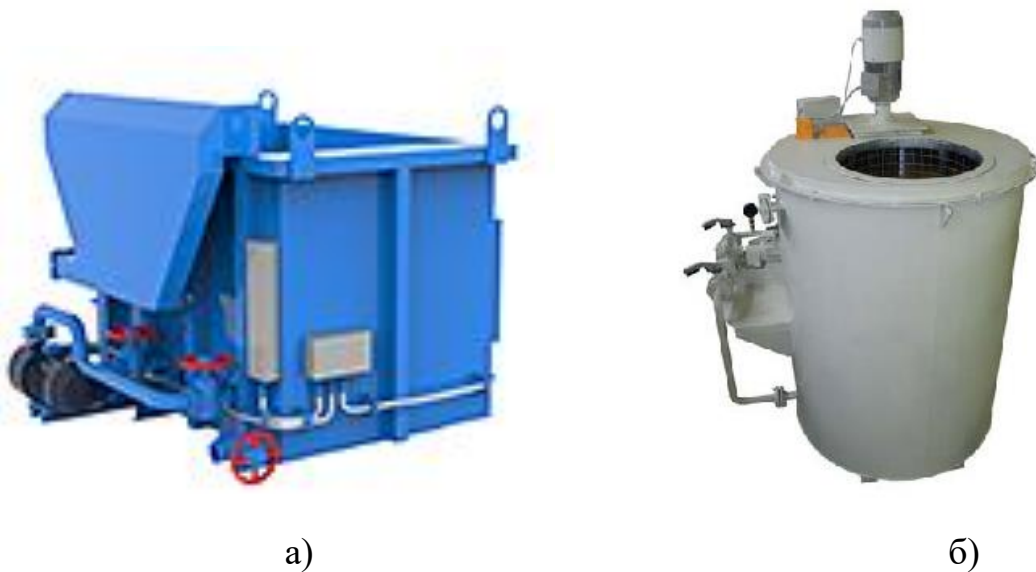


Рисунок 2.7 – Баки для гартування: а) прямокутний бак; б) циліндричний

Для вибору ДБЗ необхідно визначити:

- об'єм резервуара залежить від максимального розміру клітки;
- температура при зануренні в резервуар.

Але слід звернути увагу на те, який тип середовища гасіння використовується, тобто чи потрібна система охолодження середовища.

Тому при розробці автоматизованої системи контролю температурного стану процесу гартування необхідно не тільки контролювати та управляти температурним станом самого процесу гартування, а й:

- температурою середовища для гартування (СДЗ)
- переміщення СДЗ;
- паро та газовидаленням;
- аварійною системою зливу;
- аварійною системою пожежогасіння.

Часто застосовують здвоєні баки для води і масла.

Немеханізовані баки діляться на дві групи баки без охолодження і баки з охолодженням рідини для гартування [24].

Принципова схема БДЗ рис. 2.8.

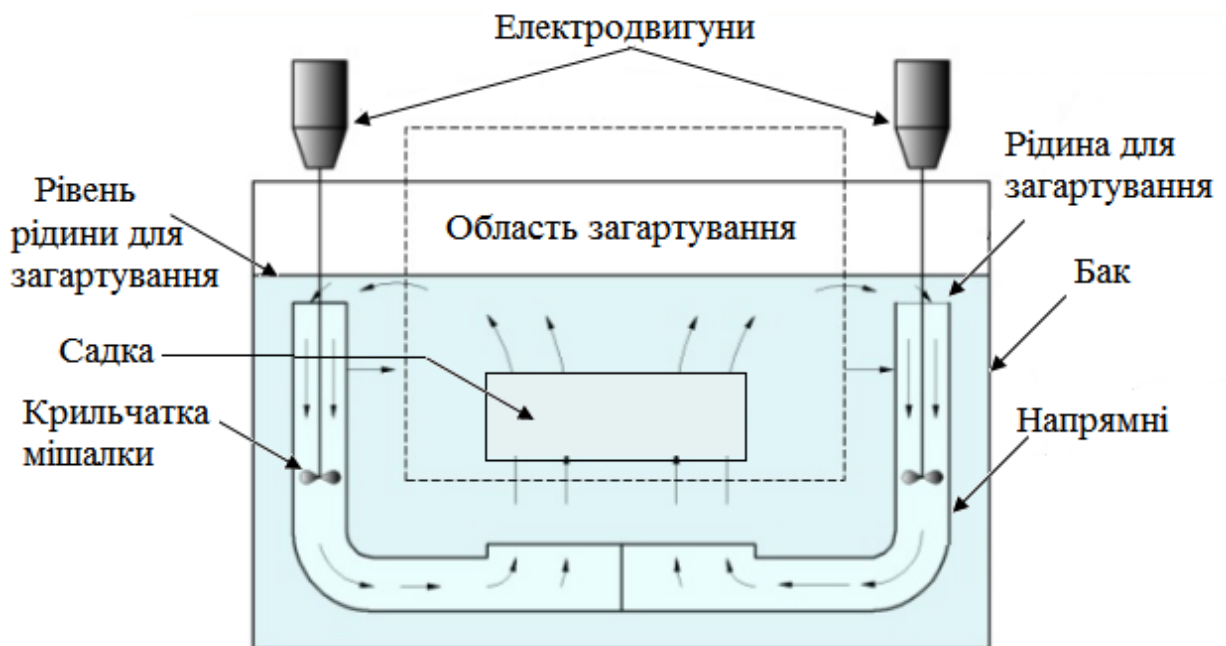


Рисунок 2.8 – Принципова схема бака для гартування

В результаті аналізу існуючого БДЗ було обрано даний БДЗ за умови гартування продукту об'ємом 9 л. – Танк БТ 200-12, характеристики для вибору даної моделі наведені в таблиці. 2.7 (рис. 2.9) [25].

Таблиця 2.7 – Характеристики БТ 200-12

Найменування характеристик	Значення
Модель БТ 200-12	
Об'єм	12
Розміри області для гартування, мм	300 × 150 × 300
Розміри бака, мм	400 × 200 × 420
Потужність, кВт	1,4
Вага, кг	8
Напруга мережі	однофазна 230 В змінного струму
Макс. температура при зануренні в бак	200 °С

Металевий корпус заізолюваний від гартуючого резервуара. Конструкція бака виконана із штампованої нержавіючої сталі з системою охолодження.



Рисунок 2.9 – Бак гартування БТ 200-12

Схема системи керування гартуванням в баку наведена на рис. 2.10.

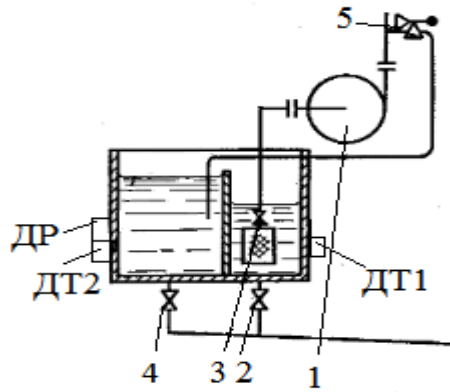


Рисунок 2.10 – Схема системи управління гартуванням в баку

ДТ1 – датчик температури (Зона 1); ДТ2 – датчик температури (Зона 2);
 ДР – датчик рівня рідини; 1 – насос вода/масло; 2 – заслінка В2; 3 – вентиль зброду; 4 – запірний кран баку.

Крім того, ВТ 200-12 був обраний для виконання умови, щоб рівень гартівної рідини був не менше 100-150 мм від краю резервуара.

Так як тип гасіння є переривчастим, і цей тип виконується в двох середовищах:

- 1) У первинному середовищі (вода) – продукт швидко охолоджується;
- 2) В охолоджувальній рідині (маслі) – повільно охолоджуйте в охолоджувальній рідині.

Необхідно вибрати, яке масло використовувати в якості охолоджуючої рідини.

Критерії вибору масла:

- температура спалаху у відкритому тиглі повинна бути на $30 \pm 0^\circ\text{C}$ вищою за температуру процесу;
- швидкість охолодження.

Для підвищення ефективності процесу загартовування в олію додають добавки: мийні та антисептичні речовини;

Домішки у воді по-різному впливають на здатність охолоджувати.

Наприклад, додавання 5-10% солі і їдкого лугу може значно підвищити охолоджувальну здатність води.

При застосуванні добавки у водному розчині перманганату калію 5% або 7% швидкість охолодження зменшується в інтервалі температур мартенситного перетворення (це середня швидкість охолодження між чистою водою та нафтою) [26].

Охолоджувальна здатність води різко змінюється в залежності від її температури.

Швидкості охолодження сталі у водних розчинах наведені в таблиці. 2.8 [26].

Таблиця 2.8 – Швидкість охолодження сталі в водних розчинах

Середовище для гартування	Швидкість охолодження сталі, °C/C при температурах, °C	
Вода при температурі, °C	650 – 550	330 – 200
18	600	270
28	500	270
50	100	270
10 % розчин NaOH в воді при 18 °C	1200	300
10 % розчин MaCl в воді при 18 °C	1100	300
Мінеральне масло	100 – 150	20 – 50
Спокійне повітря	3	1

Визначення швидкості охолодження залежить від типу охолоджувального середовища. Технологія загартування сталі, як згадувалося в розділі 1, вимагає швидкого охолодження в діапазоні від 650 до 400 0C.

Зазвичай $t_{н.с.} - t_{к.с.} < 20$ 0C і $t_{к.с.}$ – початкова і кінцева температури середовища, що твердне.

Мінеральне масло було вибрано як охолоджуючу рідину, тому що, хоча воно має нижчу швидкість охолодження при температурах частини 300 – 100 0C, завдяки цьому вироби, загартовані в маслі, мають меншу внутрішню напругу і не утворюються тріщини від загартування.

2.7 Висновки до другого розділу

У другій частині розроблено модель інформаційних параметрів, яка містить параметри, які не тільки впливають на якість процесу відпуски, але й служать набором ключових характеристик при виборі відпускового обладнання.

Для процесу гартування виробу було обрано тип печі. Вибір обумовлений горизонтальною електромуфельною піччю, оскільки вона компактна і призначена для гартування різних деталей в діапазоні робочих температур 400 – 1400 °С, тобто підходить для гартування високовуглецевої сталі, яка гартується нижче 100 °С. Температура досягає 820 0С. ЕМР Snol 8.2 має розміри Ш-44 × Г-56 × В-51 см і межі студії наступні: 20 × 30 × 13,3 см обрано тому, що він підходить для темперування виробів розміром 13 × 13 × 3,5 див.

Для загартування вибирають переривчастий тип, оскільки він використовується для виробів з вуглецевої сталі.

Періодичне загартування проводиться в двох середовищах: вода і охолоджуюча рідина (масло). Тому в якості охолоджуючої рідини вибирають мінеральне масло, оскільки внутрішня напруга продукту, загартованого в цьому маслі, невелика і немає гартівних тріщин.

Обрано зовнішнє розташування обігрівача. В якості ЕРС нагрівального елемента обрано ніхромовий дріт з максимальною робочою температурою 1200 °С.

Розраховано параметри електронагрівача муфельної печі, а саме: довжина хромонікельового дроту 1,9 м, діаметр дроту 1 мм.

За результатами розрахунку встановлено, що при силі струму 0,82 А і температурі нагрівача 820 °С діаметр ніхромового дроту повинен бути 0,1 мм, а площа поперечного перерізу 0,00785 мм².

Вибирайте платиновий термометр опору для вимірювання температури, оскільки він має більшу точність і стабільність показань, ніж термопари та термістори.

Для гартування була обрана ємність типу ВТ 200-12, оскільки вона має відповідні розміри (розміри зони гартування 300 × 150 × 300) і відповідає основним умовам: рівень гартівної рідини повинен бути не менше 100 150 мм від краю бака.

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМИ РЕЖИМАМИ ГАРТУВАННІ МЕТАЛІВ

3.1 Вибір програмного засобу

Сучасна АСУ являє собою технологічний процес – людино-машинну систему, керовану за допомогою автоматизованих систем збору даних та обчислювальних комплексів [27].

З самого початку ми розглянемо функціональні можливості Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), оскільки ця система є невід’ємною частиною сучасних автоматизованих систем управління процесами, або їх також називають середовищами візуалізації [27].

Вибір «потрібної» SCADA-системи – складне завдання.

Система SCADA – це спеціалізоване програмне забезпечення, яке забезпечує двосторонній зв'язок між операторами процесу (планувальниками) і системами керування процесами.

Переваги SCADA включають:

- зручність інтерфейсу;
- повнота та наочність наданої інформації;
- простота використання засобів контролю підвищує ефективність взаємодії диспетчерів із системою та знижує ризик помилок контролю.

У SCADA оператор зазвичай несе загальну відповідальність за управління системою, і за звичайних обставин йому лише час від часу потрібно налаштувати параметри для оптимальної продуктивності.

Системи SCADA здатні архівувати всі параметри, які необхідно контролювати, які представлені у вигляді дискретних даних та історичних трендів – це дозволяє аналізувати результати роботи системи за необхідний період часу.

В SCADA легко виявити причини несправностей або погіршення якості виробленої продукції.

Інтерфейс роботи в SCADA показаний на рисунку 3.1[28].

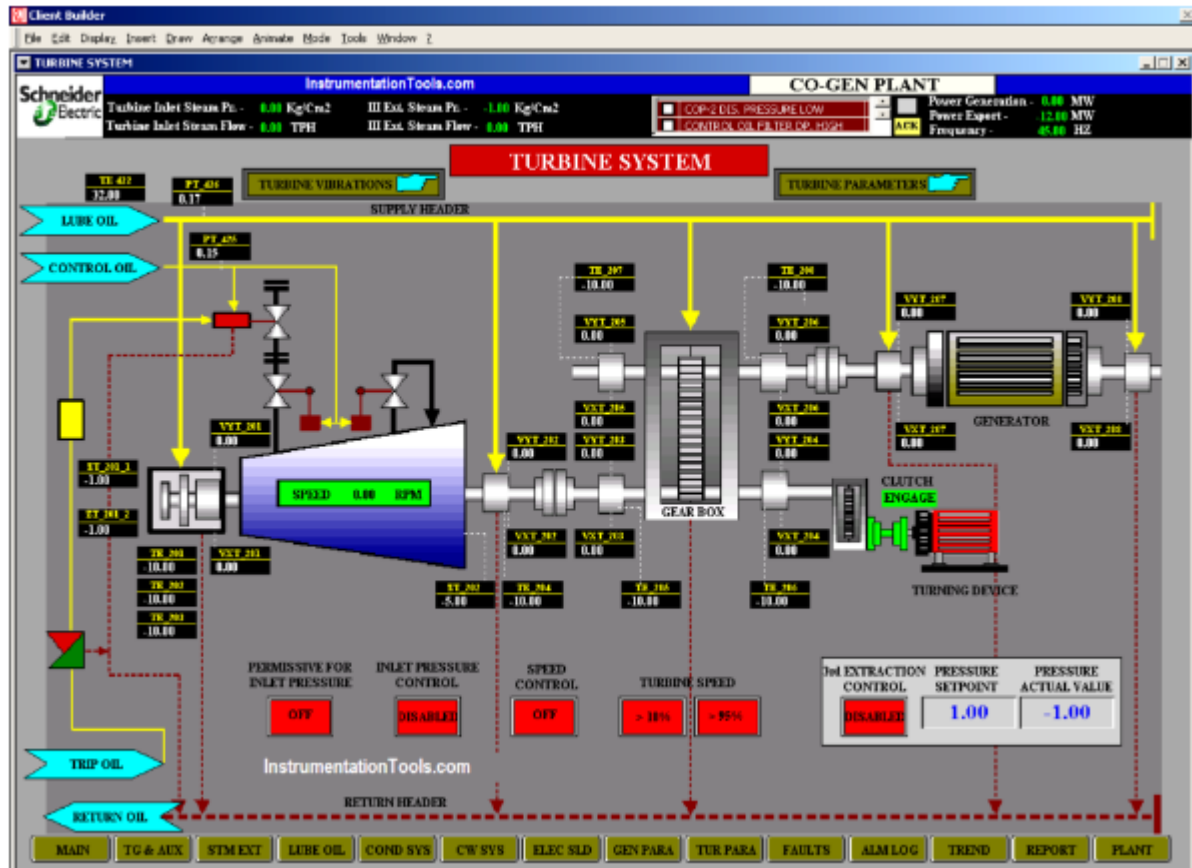


Рисунок 3.1 – Інтерфейс оператора в SCADA

Для надійної та зручної в обслуговуванні системи потрібні кілька рівнів або рівнів інтерфейсу оператора (див. рис. 3.1): апаратний рівень, рівень контролера та рівень керування. На рівні контролера та керування інтерфейс людини і машини (НМІ) також може надавати можливість змінювати програми контролера.

Основним недоліком SCADA залишається висока ціна технічної підтримки.

Застосування загального SCADA для конкретних завдань також є дорогим (трудомістким) [29].

Визначено, що SCADA є основним і найкращим методом автоматичного керування складними процесами.

Далі розглянемо систему режиму трасування SCADA.

Trace Mode — це перша інтегрована інформаційна система для управління промисловим виробництвом, яка об'єднує продукти SOFTLOGIC-SCADA/HMI-MES-EAM-HRM в єдиний блок. Серед них MES (Manufacturing Execution System) – система управління виробничими процесами EAM (Enterprise Asset Management) – система управління активами підприємства (Human Resources Management) – управління персоналом [30].

Режим трасування складається з модулів вимірювання та виконання (час виконання). Використовуйте цю систему інструментів для розробки ACS. Модуль виконання використовується для запуску проектів, розроблених у системі інструментів режиму трасування (рис. 3.2) [31] в режимі реального часу.

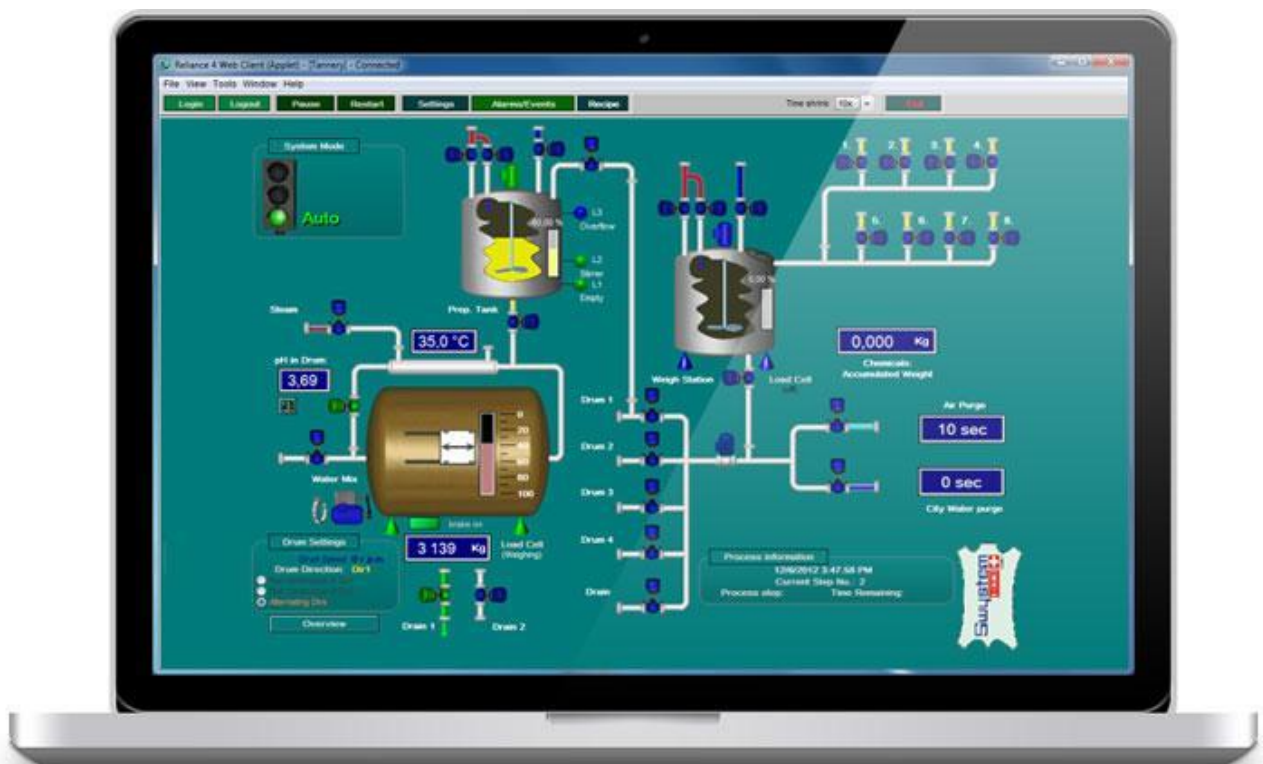


Рисунок 3.2 – Інтерфейс оператора в Trace Mode

Однією з переваг режиму відстеження є те, що система містить безкоштовні драйвери для понад 2000 контролерів.

Одним з недоліків режиму трасування є необхідність знання спеціальної

мови програмування для створення нестандартних функціональних блоків.

Хоча режим трасування є одним із найпотужніших і найгнучкіших режимів у своєму роді, він орієнтований на легкодоступні та недорогі програмні засоби, такі як MS-DOS, Windows або NetWare, але для роботи подібних режимів за кордоном часто потрібні унікальні операційні системи.

Розглянемо систему Genie.

Система Genie, розроблена компанією AdvanTech, є інструментом для створення програмного забезпечення для збору даних і управління плануванням операцій [32].

Система Genie має модульну та відкриту архітектуру.

Розробка системи спрощена до розміщення користувачем функціональних блоків у вікні завдань і встановлення зв'язків між функціональними блоками, визначених алгоритмом обробки даних.

На рисунку 3.3 наведено приклад операторського інтерфейсу в Genie з різними елементами візуалізації технічного процесу [32].



Рисунок 3.3 – Приклад інтерфейсу оператора Genie з різними елементами візуалізації технологічного процесу

Відкритість архітектури дозволяє Genie легко взаємодіяти з іншими

програмами для обміну даними під час виконання політик.

В роботі була обрана система Genie, тому що її легко освоїти, особливо в порівнянні з SCADA і Trace Mode.

Genie є найкращим інструментом для передової розробки програмного забезпечення в багатьох проектах систем управління процесами, в тому числі з обмеженим бюджетом.

Однією з переваг Genie є те, що людино-машинний інтерфейс реалізований за допомогою стандартних інструментів, знайомих технікам-операторам.

Тому сьогодні на ринку програмного забезпечення існує велика кількість систем SCADA, більшість з яких мають приблизно однаковий набір функцій і дозволяють задовольнити основні вимоги верхнього рівня системи управління вашим процесом виберіть Genie, тому що ця система проста в застосуванні Learn і може ефективно вирішувати такі завдання, як контроль температурного стану процесу відпустки.

3.2 Розробка алгоритму автоматизованої системи управління температурним режимом при гартуванні металів

Запропоновано розробити алгоритм розробки систем регулювання температури відпуску. Розглянемо розроблений алгоритм (рисунок 3.4).

Процес загартування буде проходити в три етапи:

1 – Нагрів;

2 – Експозиція;

3 – Охолодження в двох середовищах (вода і масло).

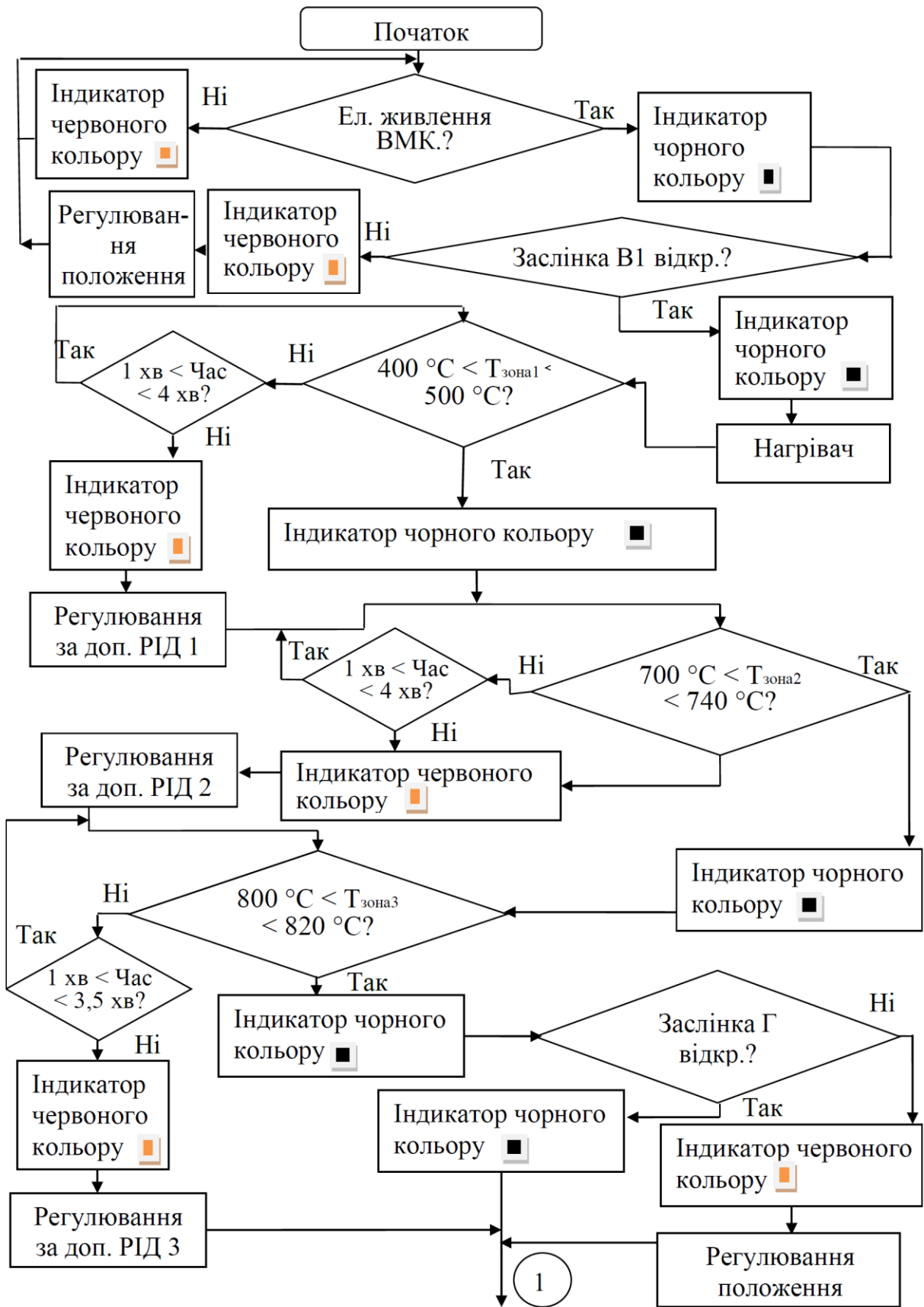
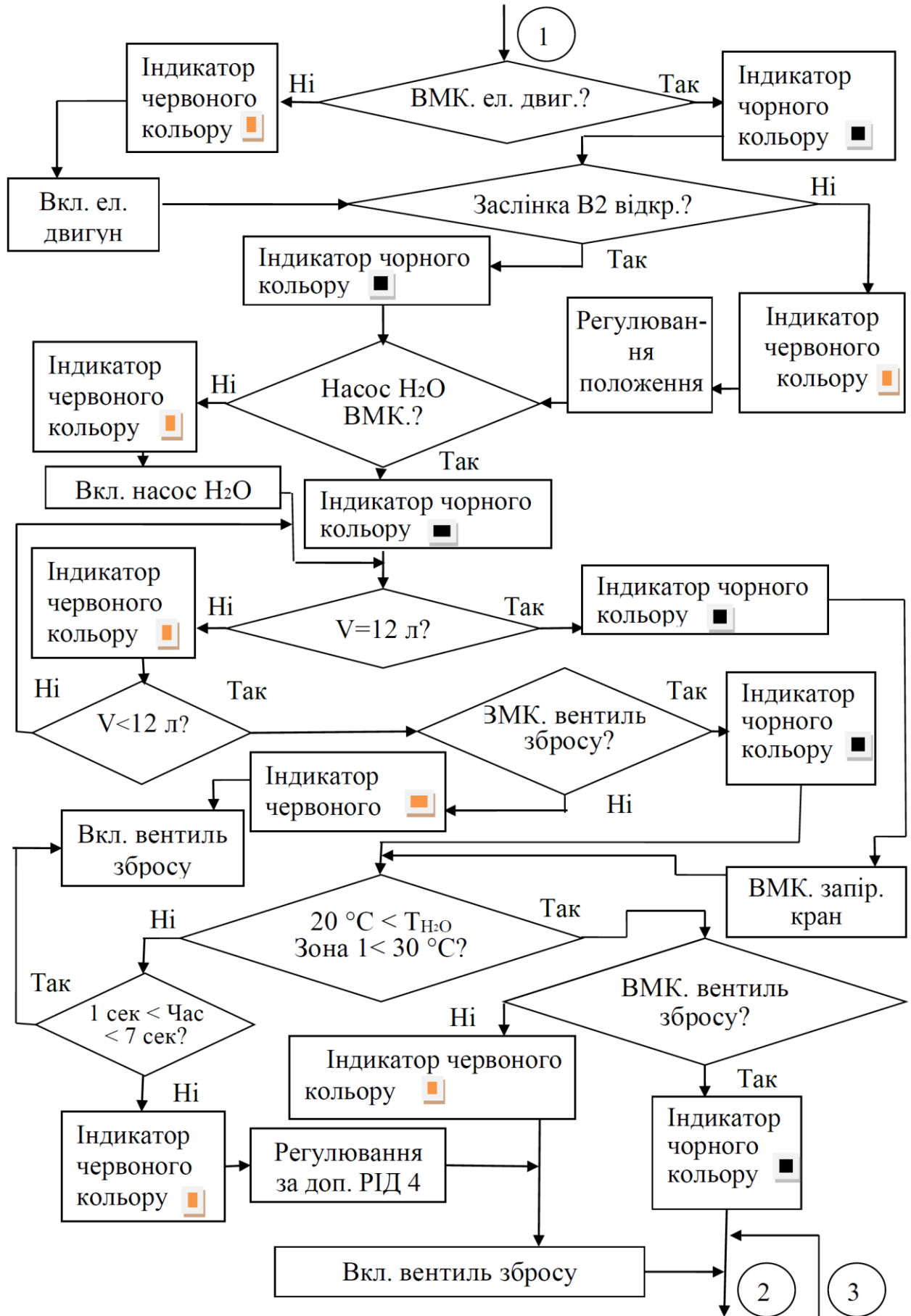
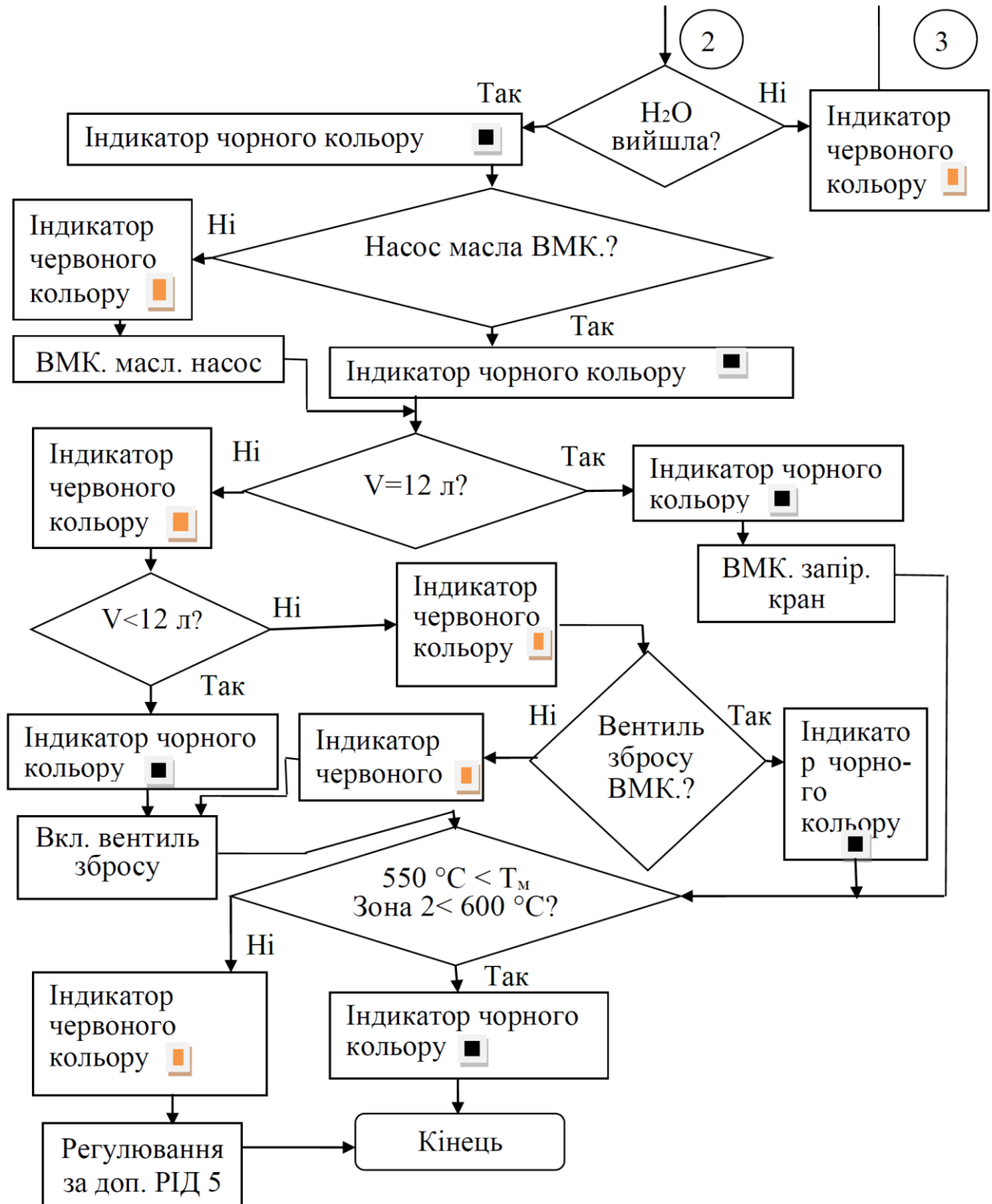


Рисунок 3.4 – Алгоритм регулювання температурного режиму гартування



Продовження рис. 3.4



Закінчення рис. 3.4

1) Перший етап – нагрівання. Потрібно перевірити чи ввімкнено живлення.

Для цього використовуйте дворозрядний регулятор потужності:

За відповідною командою управління компоненти підключаються

Блок живлення може працювати в наступних режимах:

– відкритий ($0^\circ 90^\circ$);

– закрито ($90^\circ 0^\circ$).

Індикатор горить червоним, якщо живлення не подається, інакше індикатор горить чорним (ІРС).

2) Далі потрібно перевірити, чи відкрита заслінка В1 (подача повітря).

Якщо В1 відкритий, ІСР засвітиться (перейдіть до пункту 3).

Якщо В1 не відкривається, індикатор світиться червоним (ІЧ), тобто необхідно відрегулювати положення заслінки В1, що можна досягти за допомогою перемикача.

Електрика вже підведена до нагрівального елемента – ніхромового дроту, а значить, він поступово нагрівається.

Ми зазвичай поділяємо процес нагріву та витримки на три зони, де «Зона 1» — це зона, де температура поступово нагрівається до $500\text{ }^\circ\text{C}$, оскільки в більшості випадків ступінчаста техніка нагрівання передбачає досягнення температури рівно $500\text{ }^\circ\text{C}$. Перший етап становить 0°C , потім температуру підтримують протягом певного періоду часу для забезпечення рівномірного нагріву, а температуру підвищують до

Ключова марка ($820\text{ }^\circ\text{C}$) [9].

«Зона 2» – температура підвищується до $740\text{ }^\circ\text{C}$, потім «Зона 3» – температура підвищується до $820\text{ }^\circ\text{C}$.

3) Перевірити температурні умови зони 1, тобто чи виконується умова $400\text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{зона1}} < 500\text{ }^\circ\text{C}$.

При дотриманні умов загоряється ЩП, що означає, що процес йде за технологією (перейти до пункту 4).

Якщо умови не виконуються, загоряється ІЧ-світлодіод, це означає, що потрібно перевірити, чи є ще час для подальшого нагріву до 500°C хром-нікель-дротом, тобто перевірка часу 1 хвилина $<$ часовий пояс 1 $<$ 4 хвилини?

Якщо час не минув, продовжте нагрівання та знову перевірте $400\text{ }^\circ\text{C} <$

$T_{zone1} < 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Якщо час закінчився, загоряється ІЧ-світлодіод, що символізує несправність, що вимагає регулювання температури нагріву за допомогою RID 1 (RT-820).

4) Чи потрібно знову контролювати температурний стан, але вже в «Зоні 2» і має бути виконана умова $700 \text{ }^{\circ}\text{C} < T_{zone2} < 740 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Якщо нагрів у «Зоні 2» знаходиться в межах заданого діапазону, загоряється ІКП (перейти до пункту 5).

Якщо умови не виконуються, загоряється ІС, це означає, що потрібно перевірити, чи є ще час для подальшого нагріву до 740°C ніхромовим дротом, тобто перевірка часу $1 \text{ хвилина} < \text{час Zone2} < 4 \text{ хвилини}$.

Якщо час не минув, продовжуйте нагрівання та знову перевірте $700 \text{ }^{\circ}\text{C} < T_{zone2} < 740 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Якщо час минув і ІЧ-світлодіод світиться, це вказує на несправність і вимагає регулювання температури нагріву за допомогою RID 2.

5) Третій етап – експозиція. Контроль діапазону температур у «Зоні 3», тобто чи потрібно виконувати умову $800 \text{ }^{\circ}\text{C} < T_{zone3} < 820 \text{ }^{\circ}\text{C}$?

Якщо нагрів у «Зоні 2» знаходиться в межах заданого діапазону, загоряється ІКП (перейти до пункту 6).

Якщо умови не виконуються, загоряється ІСР, це означає, що потрібно перевірити, чи є ще час для подальшого нагрівання до 820°C , тобто перевірка часу $1 \text{ хвилина} < \text{часовий пояс 3} < 3,5 \text{ хвилини}$.

Якщо час не минув, продовжте нагрівання та знову перевірте $800 \text{ }^{\circ}\text{C} < T_{zone2} < 820 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Якщо час минув і ІЧ-світлодіод світиться, це вказує на несправність і температуру нагріву необхідно відрегулювати за допомогою RAD 3.

6) Далі потрібно перевірити, чи відкритий кран Г (газ), якщо так, загориться ВЧД (перейти до пункту 7).

Якщо він не увімкнений, світиться ІС, що означає, що його потрібно включити за допомогою перемикача (відрегулювати положення заслінки).

7) Третя ступінь – охолодження також буде розділена на дві зони: "Зона 1" – охолодження водою; "Зона 2" – охолодження масла.

Щоб нагріти воду, яку виріб повільно охолоджує, потрібно включити електродвигун. Тобто спочатку перевірте, чи включений мотор.

Якщо вони увімкнені, ІСР засвітиться (перейдіть до пункту 8).

Якщо вони не увімкнені, то інфрачервоні ліхтарі увімкнені, тобто їх потрібно увімкнути за допомогою вимикача.

8) Потрібно перевірити, чи відкрито положення клапана В2 (вода).

Якщо клапан В2 відкритий, ІСР світиться (перейдіть до пункту 9).

Якщо клапан В2 не відкритий, загоряється ІС, що означає, що його потрібно відкрити за допомогою вимикача.

9) Потрібно перевірити, чи увімкнено насос Н₂О (для подачі води).

Якщо насос Н₂О увімкнено, ІСР також увімкнено (перейдіть до кроку 10).

Якщо насос Н₂О не увімкнено, загориться ІЧ-індикатор, що означає, що його потрібно увімкнути за допомогою вимикача.

10) Рівень рідини повинен бути 12 літрів, тобто умова огляду V=12 літрів.

При дотриманні умов загоряється ЩП і потрібно закрити запірну арматуру вимикачем (перейти до пункту 11).

Якщо умова не виконується, то засвітиться ІЧ-світлодіод, це означає, що вам потрібно знати, якщо V<12 л, то вам потрібно почекати, поки загартований бак заповниться.

Якщо V>12 літрів, є надлишок води і її потрібно долити до 12 літрів. Тому вам потрібно перевірити, чи відкритий зливний клапан Н₂О.

Якщо так, загоряється ЩП і рівень води повинен впасти до 12 літрів.

Якщо ні, загориться інфрачервоне світло, і вам потрібно буде за допомогою перемикача відкрити зливний клапан Н₂О.

11) Потрібно перевірити температурний режим водяного охолодження 20 °С < TН₂О Зона 1 < 30 °С?

При дотриманні умов необхідно злити воду і залити в бак мінеральне масло, для чого необхідно відкрити зливний кран Н₂О (перейти до пункту 12).

Якщо умови не виконуються, потрібно перевірити, чи є ще час для подальшого нагріву до 30°C , тобто перевірка часу $1 \text{ секунда} < \text{часовий пояс} 1 < 7 \text{ секунд}$.

Якщо час не минув, продовжуйте нагрівання та повторно перевірте $20^{\circ}\text{C} < \text{ТН}_2\text{O Зона} 1 < 30^{\circ}\text{C}$.

Якщо час минув і ІЧ-світлодіод світиться, це вказує на несправність і температуру нагріву необхідно відрегулювати за допомогою RAD 4.

12) Потрібно перевірити, чи відкритий випускний клапан H_2O .

Якщо умови виконуються і ІЦП загоряється, воду потрібно злити (перейти до пункту 13).

Якщо умови не виконуються, ІЧ світиться, тобто його потрібно включити за допомогою вимикача.

13) Перевірте, чи витікає вода. Якщо так, ІСР засвітиться (перейдіть до пункту 14).

Якщо ні, загоряється ІС, що означає, що потрібно повернутися до пункту 12.

14) Потрібно перевірити, чи включений насос подачі масла.

При виконанні умов загоряється ІЦП (перейти до пункту 15).

Якщо умови не виконуються, ІЧ світиться, тобто його потрібно включити за допомогою вимикача.

15) Рівень масла повинен бути 12 літрів, тобто умова огляду $V=12$ літрів.

При дотриманні умов загоряється ІЦН і потрібно перекрити запірну арматуру вимикачем (перейти до пункту 16).

Якщо умова не виконується, то засвітиться ІЧ-світлодіод, це означає, що вам потрібно знати, якщо $V < 12$ л, то вам потрібно почекати, поки загартований бак заповниться.

Якщо $V > 12$ літрів, масла забагато, і його потрібно долити до 12 літрів. Тому необхідно перевірити, чи відкритий запобіжний клапан.

Якщо так, ІСР загоряється, і масло повинно стекти до рівня 12 літрів.

Якщо ні, ІС відкрито, і вам потрібно використовувати перемикач, щоб

відкрити запобіжний клапан.

16) Перевірте діапазон температури масла $550\text{ }^{\circ}\text{C} < T_m \text{ Зона } 2 < 600\text{ }^{\circ}\text{C}$

Якщо умови виконуються, загоряється ПЧ-світлодіод, що означає, що продукт буде охолоджуватися при цій температурі до повного охолодження.

Якщо умови не виконуються, загоряється ПЧ-світлодіод і необхідно відрегулювати температуру нагріву за допомогою RAD 5.

3.2 Розробка мнемосхеми

Одним з головних модулів Genie є «Конструктор стратегій», де в «Редакторі завдань» розробляються стратегії, що містять мнемоніки.

Стратегія — це набір із одного чи кількох завдань, однієї чи кількох екранних форм і базового сценарію.

Задача – це набір функціональних блоків, які відображаються у вікні задачі у вигляді значків [32].

Мнемосхема складається з блоків і зв'язків між ними.

Зв'язки між функціональними блоками в процесі розробки стратегії можуть бути встановлені через видимі та невидимі зв'язки. Зв'язки між значками блоків видно у вікні редактора завдань.

Завдання 1 – вікно завдань 1 у редакторі завдань, де ми будемо розробляти мнемоніку.

Нехай блок типу AI (блок аналогового входу) являє собою елемент, підключений до датчика, який буде контролювати необхідні параметри.

Функціональні блоки ШІ призначені для отримання інформації від пристроїв з підсистемами введення аналогового сигналу та передачі індикації сигналу іншим функціональним блокам і елементам відображення (рис. 3.5).

Поле «Тег» — це ім'я тегу в системі Genie.

Поле Description – це поле, яке використовується для введення опису пристрою (значення в цьому полі залишається стандартним).

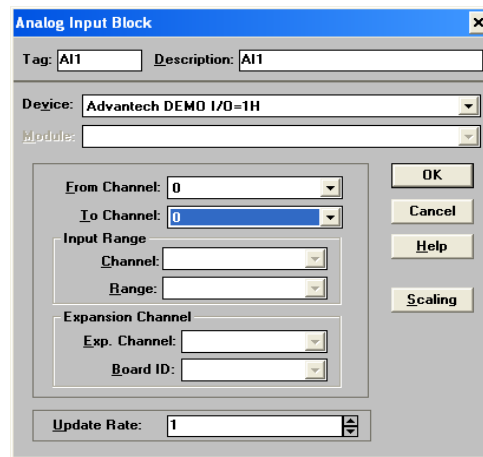


Рисунок 3.5 – Вікно для налаштування елемента AI

Поле «Пристрій» використовується для вибору пристрою, до якого буде підключатися пристрій. Тип такого пристрою буде відображено в полі Модуль діалогової панелі, але оскільки ви працюєте з демонстраційною версією програми, будуть підключені демонстраційні пристрої Advantech.

Після вибору пристрою або блоку аналогового входу необхідно встановити параметри From Channel і To Channel (опитування списку каналів), з якого інформація буде надходити на блок аналогового входу. Кількість апаратних каналів, з яких аналоговий вхід може отримувати інформацію, може бути від 1 до 16.

Вхідний діапазон – діапазон вхідного сигналу. Поля цього набору параметрів (Канал і Діапазон) дозволяють задати для кожного каналу діапазон вхідного сигналу, який подається на канал і приймається на виході функціонального блоку.

Канал розширення – комутатор/підсилювач для аналогових сигналів. Ця група дозволяє описати параметри додаткової плати перемикача/підсилювача аналогового сигналу, підключеної до одного з каналів основної плати введення аналогового сигналу.

Частота оновлення – як часто ви оновлюєте.

Значення в цьому полі є роздільником, який дозволяє викликати блок аналогового введення та сканувати відповідний канал аналогового пристрою введення рідше, ніж виклик усієї задачі, що містить функціональний блок.

Наприклад, якщо завдання викликається (сканується) кожні 50 мілісекунд. Щоб блок аналогового введення, що міститься в цьому завданні, викликався кожні 250 мс, у полі «Частота оновлення» потрібно встановити значення 5. У цьому випадку вихідне значення блоку аналогового входу буде оновлено. Це завдання викликається кожні п'ять разів, що містить цей блок.

Щоб з'єднати блок AI 1 з блоком BASIC SCRIPT 1, необхідно скористатися інструментом «Провідник» (рис. 3.6) і вибрати канал, до якого буде здійснено підключення.

Зв'язок функціональних блоків у рамках завдання є основним видом організації взаємодії між блоками.

Блок введення даних AI має тільки вихідні канали і не має права приймати дані, тому його можна підключити до будь-якого пристрою, але не до нього (він не отримує дані).



Рисунок 3.6 – Вікно вибору каналу з'єднання

У цьому завданні блок основного сценарію BASIC SCRIPT використовується повторно, оскільки він розроблений для забезпечення максимальної гнучкості для програмування в Genie, дозволяючи реалізувати ефективні обчислення, логічні операції, умовні перетворення та цикли. Синтаксис і функціональність мови програмування, яка використовується в цьому блоці, сумісні з мовою, що використовується в Microsoft Visual Basic і Microsoft Visual Basic for Applications (VBA).

БАЗОВИЙ СКРИПТ 1 підключається до блоку двопозиційного регулювання ОНФ 1 за допомогою провідних елементів (рис. 3.7) та до входу (введення) ОНФ 1. Визначити основні значення параметрів блоку ОНФ 1

(рисунок 3.8).

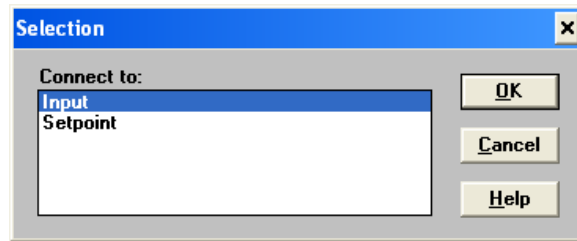


Рисунок 3.7 – Вікно обрання з'єднання

Блок ONF призначений для реалізації найпростішого дворозрядного алгоритму керування і має вхід (на який подається сигнал зворотного зв'язку від об'єкта керування) та дискретний вихід, логічний стан якого залежить від поточного значення на вході, уставки, і значення порогів включення та виключення.

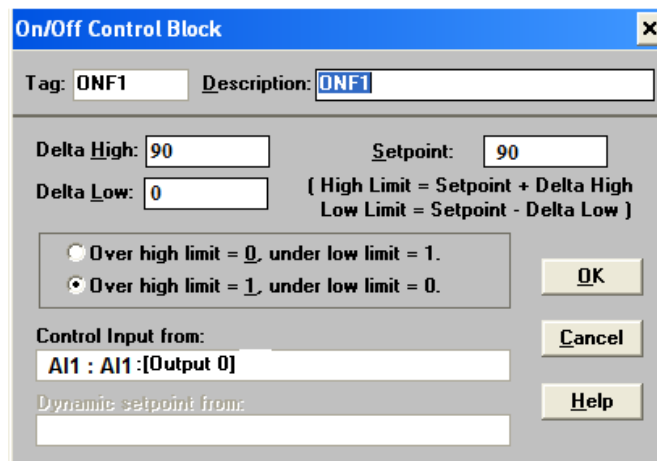


Рисунок 3.8 – Вікно налаштування блоку двопозиційного керування

Поля Delta High і Delta Low є пороговими значеннями включення та виключення.

Delta High має містити значення, яке визначає область нечутливості регулятора при формуванні вихідного сигналу, включаючи об'єкт керування. Верхня контрольна межа визначається шляхом додавання порогу виключення до встановленого значення.

Оскільки компоненти живлення можуть працювати в наступних режимах:

- відкритий (0° - 90°);
- закрити (90° - 0°);

Потім потрібно встановити налаштування на 90.

Поле уставки.

Це поле повинно містити значення, яке порівнюється з сигналом зворотного зв'язку на вході блоку. Цей параметр може бути фіксованим, або це може бути динамічно змінний сигнал від іншого функціонального блоку стратегії.

Control Input from – Керуючий вхід з виходу каналу 0 (це поле автоматично заповнюється самою системою під час встановлення значення для блоку ONF 1).

Нехай «вище верхньої межі = 1, нижче нижньої межі = 0» (тобто якщо значення сигналу вище верхньої межі, то ми призначаємо значення 1 (живлення ввімкнено), якщо нижче нижньої межі = 0 (живлення вимкнено)).

Так само блок архівування тривог ALOG 1 підключається до блоку ONF 1.

Пристрій призначений для збереження в архіві інформації про зафіксовані аварійні події, пов'язані з сигналами, що надходять на вхід блоку архівації сигналізації. Цей блок має входи і виходи.

У блоці ALOG 1 введіть інформацію, при яких значеннях блок живлення має значення «Включено», коли він знаходиться в цьому положенні – «Вимкнено», і якщо під час запуску процесу гартування блок живлення перемикається. вимкнено – це "аварійка" .

Надзвичайна ситуація – будь-яке відхилення від цільового плану.

Конфігурація блоку ALOG 1 показана на рисунку 3.9.

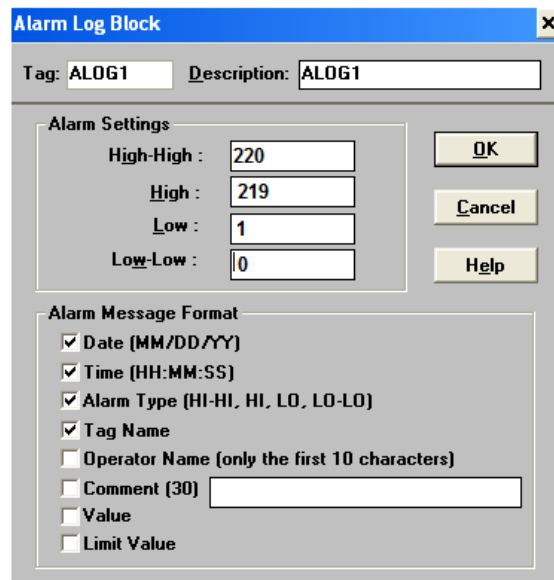


Рисунок 3.9 – Вікно налаштування блоку ALOG 1

Alarm Settings – Значення параметрів будильника. Значення сигналу на вході блоку належать до наступних діапазонів:

- 1 – вище верхньої межі High-High;
- 2 – максимальне значення High;
- 3 – нижче нижнього граничного значення Low-Low;
- 4 – мінімальне значення для Low.

Формат інформації про тривогу Формат інформації про тривогу:

- Поле дати (MM/DD/PP) – Дата (місяць, число, рік);
- Поле Time HH:MM:SS – Час (година, хвилина, секунда);
- Тип сигналу поля (високий-високий, високий, низький-низький, низький) – Тип сигналу (верхня межа; максимальне значення; нижня межа; мінімальне значення);
- Поле назви тегу – Ім'я тегу;
- Ім'я оператора поля – Ім'я оператора (лише 10 символів).

Модуль AI 1 – приймає сигнал від датчика положення силового елемента.

Вікно Редактора завдань разом із розробленою мнемосхемою показано на рисунку 3.10.

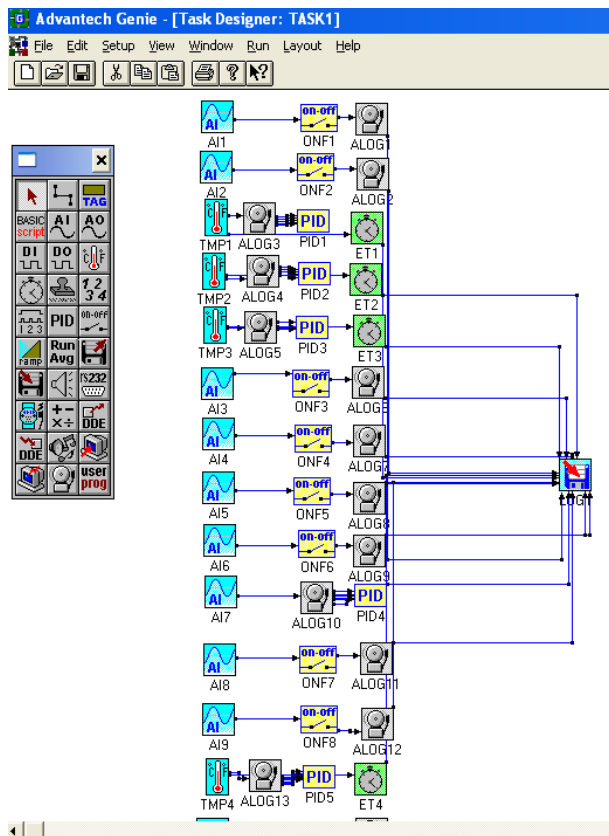


Рисунок 3.10 – Редактор «Задач»

Усі елементи мнемосхеми в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Елементи мнемосхеми і пристрої, які підключаються до них

Елементи мнемосхеми	Позначення	Пристрій/Елемент для процесу гартування
Блок аналогового вводу (БАН) 	AI 1	Елемент живлення Визначена сила струму 0,82 А
Блок аналогового вводу	AI 2	Заслінка повітряна – повітряна заслінка, що забезпечує зональне регулювання подачі повітря
Блок виміру температури 	TMP 1	Давач температури (Зона 1) від 400 0С до 500 0С (платиновий термометр)

Кінець таблиці 3.1 – Елементи мнемосхеми і пристрої, які підключаються до них

Блок таймера  ET1	ET 1	Таймер
Елементи мнемосхеми	Позначення	Пристрій/Елемент для процесу гартування
Блок вимірювання температури	TMP 2	Датчик температури (Зона 2) від 700 °С до 740 °С (платиновий термометр)
Блок таймера	ET 2	Таймер
Блок вимірювання температури	TMP 3	Датчик температури (Зона 3) від 800 °С до 820 °С
Блок таймера	ET 3	Таймер
Блок аналогового вводу	AI 3	Газова заслінка
Блок аналогового вводу	AI 4	Електричний двигун
Блок аналогового вводу	AI 5	Заслінка В2 (для охолодження)
Блок аналогового вводу	AI 6	Насос Н ₂ О/Масло
Блок аналогового вводу	AI 7	Датчик виміру рівня рідини V = 12 л
Блок аналогового вводу	AI 8	Вентиль збросу (скидання)
Блок аналогового вводу	AI 9	Запірний кран баку
Блок вимірювання температури	TMP 4	Датчик температури в баку (Зона 1) від 20 °С до 30 °С (платиновий термометр)
Блок аналогового вводу	AI 10	Насос масла
Блок вимірювання температури	TMP 5	Датчик температури в баку (Зона 1) від 550 °С до 600 °С (платиновий термометр)

Блок AI 1 – отримує сигнал від датчика НХ 03-Р (діапазон номінального вхідного струму 3А), при відсутності живлення виникає аварійна ситуація, тому використовується блок ALOG 1. Введіть наступну інформацію: значення блоку живлення, положення – «Ввімкнено» і в цьому положенні – «Вимкнено», а якщо блок живлення вимикається під час початку процесу гартування – це «аварійна ситуація». ". ALOG 1 підключається до блоку двопозиційних

перемикачів ONF 1.

Блок AI 2 отримує сигнал від заслінки BELIMO LU24A. Якщо живлення немає, це аварійна ситуація, тому використовується блок ALOG 2, який підключається до блоку двопозиційного перемикача ONF 2.

Блок TMP 1 – отримує сигнал від платинового термометра, якщо значення температури не в діапазоні від 400 °C до 500 °C, є аварійна ситуація, тому використовується блок ALOG 3, це можна вирішити за допомогою керування PID 1 (Рис. 3.11).

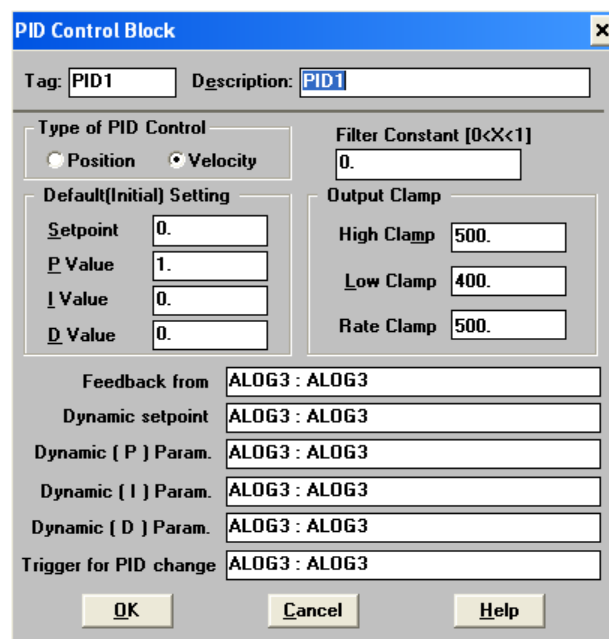


Рисунок 3.11 – Вікно налаштування блоку ПІД-регулювання

В налаштуваннях вибирається тип регулювання по швидкості, щоб під час регулювання позиції на виході блоку формувалася абсолютне значення керуючого впливу, необхідного для стабілізації параметра.

Обмеження швидкості визначає максимально дозволена швидкість наростання вихідного сигналу ПІД-регулятора, виміряну в одиницях за хвилину. Скажімо, це дорівнює 600.

Рисунок 2 Обмеження вхідного сигналу 3.11 від 400 до 500.

У цьому наборі полів початкове значення встановлено на коефіцієнт $P = 1$, оскільки керування в режимі 1 (пропорційне регулювання) означає, що в

режимі 1 виконується найпростіше пропорційне регулювання.

При цьому керуючий вплив формується у вигляді різниці між стабільним значенням сигналу зворотного зв'язку і вимірюваним значенням, помноженим на масштабний коефіцієнт (P).

Чим більше пропорційний коефіцієнт, тим швидше реагує регулятор. Іншими словами, регулятор може швидше обчислити різницю між уставкою і значенням сигналу зворотного зв'язку. Пропорційний регулятор можна отримати, встановивши нульові значення в полях коефіцієнта I (коефіцієнт інтегральної ланки регулятора) і коефіцієнт D (коефіцієнт диференціальної ланки регулятора) в діалоговій панелі налаштування параметрів. Блок управління ПІД.

Блок TMR 2 – отримує сигнал від платинового термометра, якщо значення температури не в межах від 700 0C до 740 0C, це вказує на аварійну ситуацію, тому за допомогою блоку ALOG 4 її можна вирішити за допомогою ПІД-регулювання 2.

Блок TMR 3 – отримує сигнал від платинового термометра, якщо значення температури не в межах від 800 0C до 820 0C, це вказує на аварійну ситуацію, тому за допомогою блоку ALOG 5 її можна вирішити за допомогою ПІД-контролю 3.

БЛОК AI 3 – отримує сигнал від драйвера газового клапана BELIMO LU24A, якщо живлення не подається, то виникає аварійна ситуація, тому використовується блок ALOG 6, який підключено до блоку двопозиційного перемикача ONF 3.

Модуль AI 4 – Приймає сигнали від електродвигуна Snol 8.2. Якщо двигун не працює, то це аварійна ситуація, тому використовується блок ALOG 7, який підключається до блоку двопозиційного перемикача ONF 4.

Блок AI 5 – отримує сигнал від драйвера поворотної заслінки Danfoss SYLAX. Якщо заслінка не відкривається, то аварійна ситуація, тому використовується блок ALOG 8, який підключається до блоку двопозиційного перемикача ONF 5.

Блок AI 6 – отримує сигнали від драйвера Н2О/масляного насоса, встановленого в баку для загартовування. Якщо насос не включається, це аварійна ситуація, тому використовується блок ALOG 9, який підключається до блоку двопозиційного перемикача ONF 6.

Блок AI 7 – приймає сигнали від датчика рівня (ультразвуковий датчик UP30, робочий діапазон 30-500 мм), встановленого в темперовій ємності. Якщо насос не включається, це аварійний стан, тому використовується блок ALOG 10, який підключається до блоку PID 4.

Блок AI 8 – отримує сигнал від механічного датчика положення (клапан скидання), так як необхідно «злити» надлишок води до досягнення 12 літрів.

Датчик положення встановлений біля приводу скидного клапана. AI 8 підключений до ALOG 11, який підключений до блоку двопозиційного перемикача ONF 7.

Блок AI 9 – отримує сигнал від механічного датчика положення (запірний клапан). Датчик положення встановлений біля приводу клапана запірної арматури. AI 8 підключений до ALOG 12, який підключений до блоку двопозиційного перемикача ONF 8.

Блок TMP 4 – отримує сигнал від платинового термометра, якщо значення температури не в межах від 20 0C до 30 0C, це вказує на аварійну ситуацію, тому за допомогою блоку ALOG 13 її можна вирішити за допомогою ПІД-регулювання 4.

Блок AI 10 – отримує сигнали від драйвера Н2О/масляного насоса, встановленого в резервуарі для темперування. Якщо насос не включається, це аварійна ситуація, тому використовується блок ALOG 14, який підключається до блоку двопозиційного перемикача ONF 9.

Блок TMP 5 – отримує сигнал від платинового термометра, якщо значення температури не в діапазоні від 550 0C до 600 0C, це вказує на аварійну ситуацію, тому за допомогою блоку ALOG 15 її можна вирішити шляхом керування за допомогою PID 5.

3.3 Висновки до третього розділу

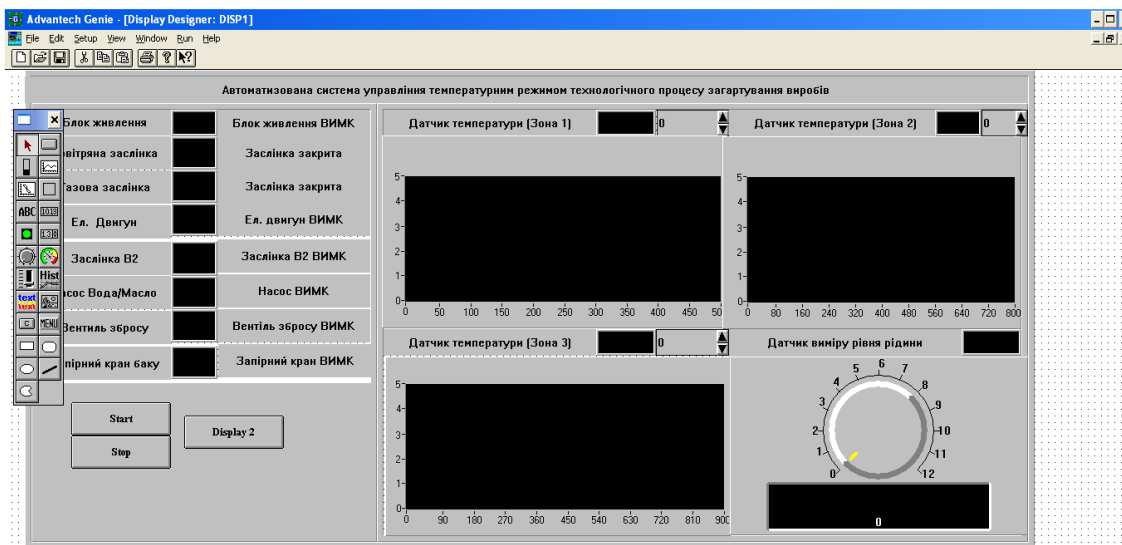
Розділ аналізує SCADA-системи: Deep Tracer та Genie. На цій основі аналізу вибрано програмний інструмент Genie.

Розроблено алгоритм автоматичної системи контролю температури під час гартування металу, на основі якого розроблено систему керування, що складається з мнемосхем та інтерфейсів.

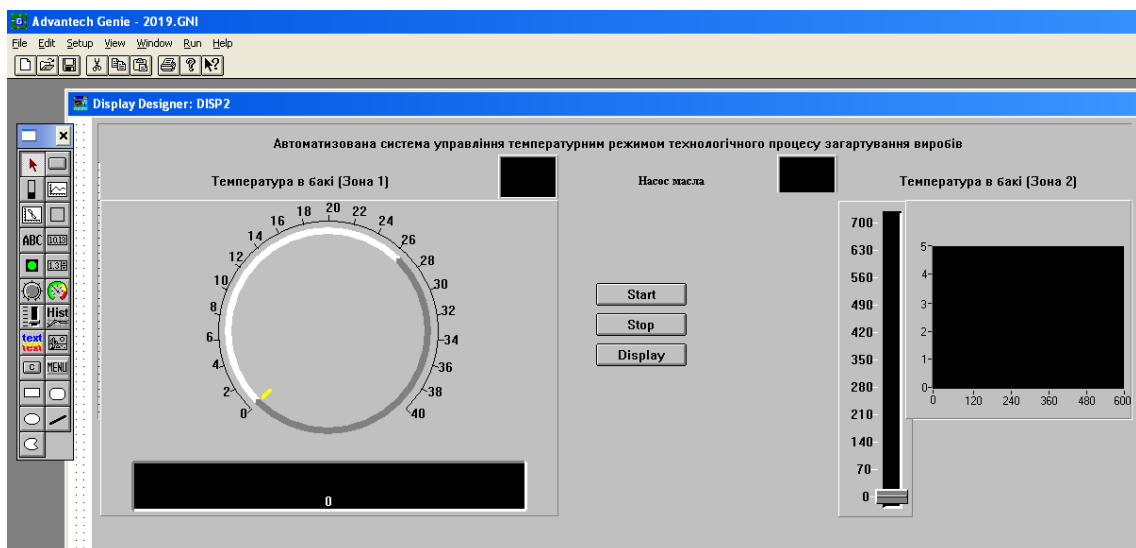
4 РОЗРОБКА SCADA СИСТЕМИ

4.1 Розробка інтерфейсу системи

Кожна стратегія має власну екранну форму – інтерфейс, розроблений у редакторі форм. Зв'язки між іконкою блоку «Редактор задач» і елементами відображення «Редактора форм» невидимі, вони називаються з'єднаннями. Розроблене вікно інтерфейсу системи складається з двох екранів, як показано на рисунку 4.1, а, б.



а)



б)

Рисунок 4.1 – Вікно розробленого інтерфейсу системи: а) Display 1; б) Display 2

У цьому середовищі розробки є візуальні елементи та елементи керування, обидва типи елементів використовуються в магістерській роботі.

Для відображення напису на інтерфейсі виберіть елемент візуалізації «Рядок тексту». Вікно налаштування параметрів компонента показано на рисунку 4.2.

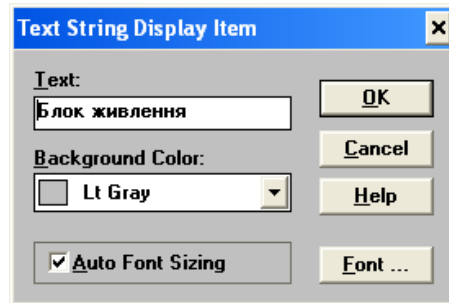
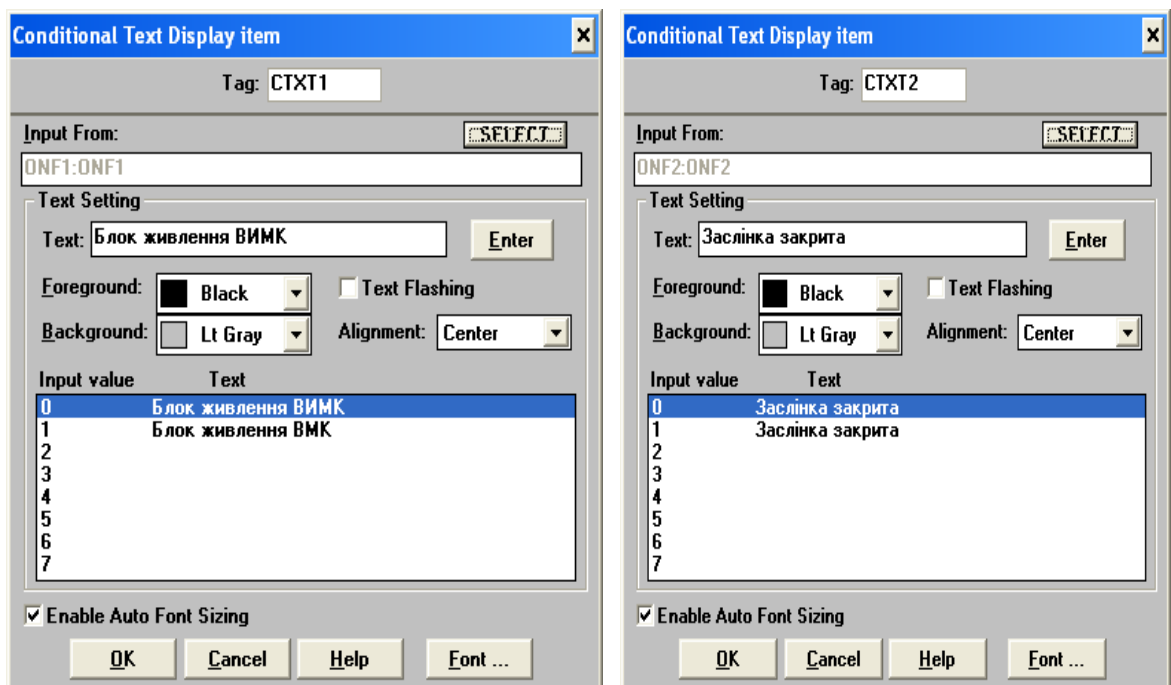


Рисунок 4.2 – Вікно налаштування параметрів елементу «Текстовий рядок»

Для представлення процесу у реальному часі використано елемент візуалізації «Поле виведення тексту за умовою» (рис. 4.3, а, б).



а)

б)

Рисунок 4.3 – Вікно налаштування параметрів елементу СТХТ: а) налаштування СТХТ для блоку ONF1; б) налаштування СТХТ для блоку ONF2

Для представлення температури гартування обрано елемент візуалізації

СТХТ «Графік X(Y)» (рис. 4.4).

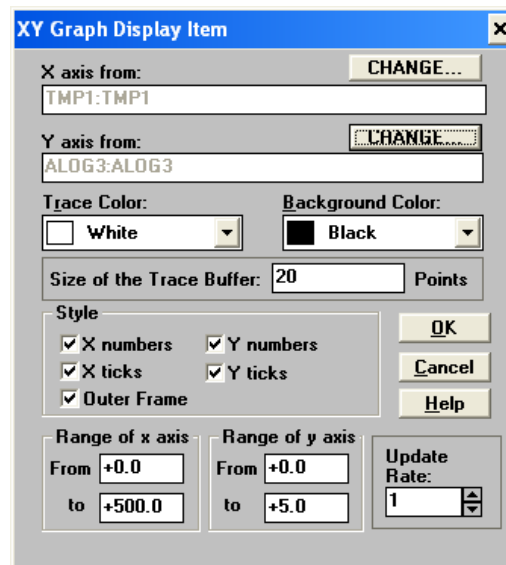



Рисунок 4.4 – Вікно налаштування параметрів елемента СТХТ «Графік X(Y)»

Елемент відображення «Графік X (Y)» дозволяє встановити графічну залежність вихідних параметрів одного функціонального блоку від виходу іншого функціонального блоку під час виконання стратегії. При цьому можна вибрати колір внутрішніх ділянок траси та графіка.

Контроль значення температури NCTL «інкрементний регулятор» (рис. 4.5) .

Поле рівня дозволу призначене для захисту функцій керування, пов'язаних із дельта-регулятором. Рівень дозволу може мати значення від 0 до 255. Що більше значення, то вищий рівень дозволу. Таким чином, якщо ви встановите рівень дозволу, що дорівнює 100 для регулятора, користувачі з правами доступу 100 і вище зможуть змінити значення його виводу.

Поле «Значення кроку» визначає величину, на яку зменшується/збільшується вихідне значення регулятора при одноразовому натисканні лівої кнопки миші на кнопки зменшення/збільшення, розташованій праворуч від області відображення вихідного значення.

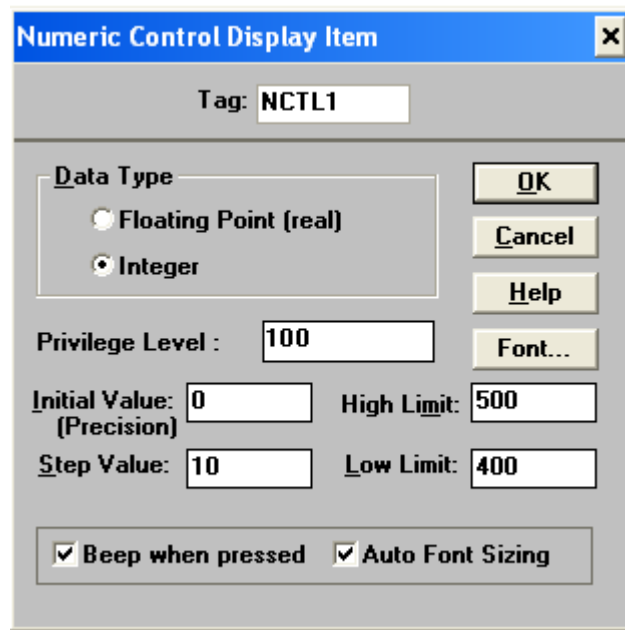


Рисунок 4.5 – Вікно налаштування параметрів елемента NCTL
«Інкрементний регулятор»

Поле Initial Value (Precision) визначає вихідне значення інкрементного контролера під час запуску стратегії.

Елемент управління «аналоговий регулятор» використовується для контролю температури в термостатичному баку та регулювання рівня рідини в баку (рис. 4.6).

Поле «Відображати поточне значення» (Display Current Value) – Цей перемикач дозволяє вмикати/вимкнути відображення поточного значення регулятора на комбінованому числовому індикаторі.

Жива ручка (режим регулювання) вибирає плавне регулювання.

Поле Decimal Places — це кількість десяткових знаків.

Поле початкового значення визначає вихідне значення аналогового регулятора при запуску стратегії.

Поле рівня дозволу призначене для захисту функцій керування, пов'язаних із імітованим контролером. Рівень дозволу може мати значення від 0 до 255. Що більше значення, то вищий рівень дозволу. Таким чином, якщо ви встановите рівень дозволу, що дорівнює 30 для регулятора, користувачі з правами доступу 30 і вище зможуть змінити значення його виводу.

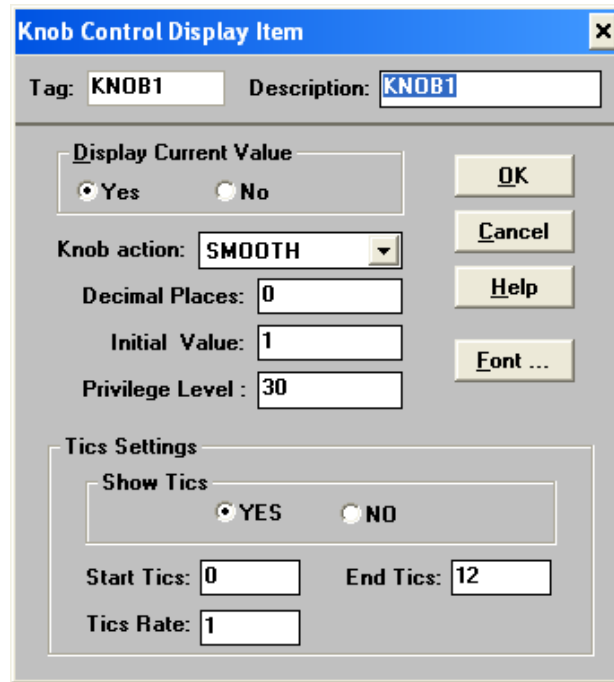




Рисунок 4.6 – Вікно налаштування параметрів елемента KNOB
«Аналоговий регулятор»

Елемент управління SPIN «Моторний регулятор». Цей елемент використано для керування температурою в баку гартування (при охолодженні

маслом)  (рис. 4.7).

Поле Slider Action (Adjustment Mode) дозволяє встановити плавний або дискретний режим зміни для вихідного значення контролера.

Елемент індикації «Індикатор» використовується для візуалізації аварійних ситуацій , які підключені до блоків ALOG.

Цей елемент відображення є єдиним індикатором, призначеним для відображення логічного стану відповідного дискретного виходу функціонального блоку стратегії.

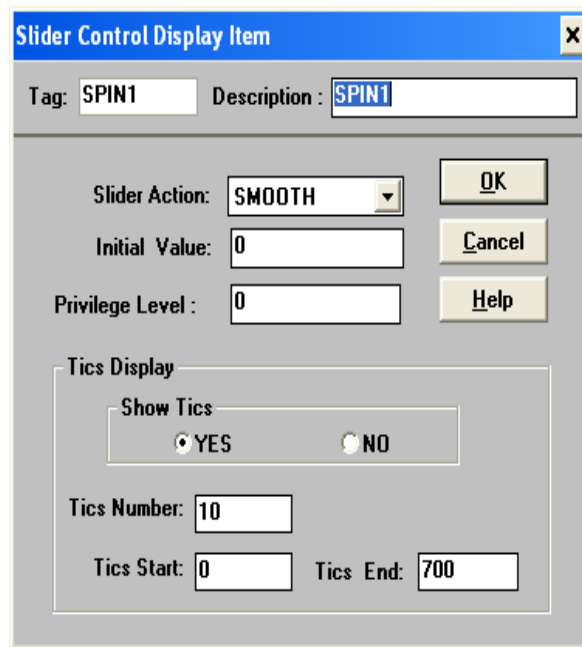


Рисунок 4.7 – Вікно налаштування параметрів елемента SPIN
«Моторний регулятор»

Індикатор змінюється на стан «Ввімкнено», коли на виході пов'язаного з ним функціонального блоку з'являється логічний блок.

Індикатор переходить у стан «вимкнено», а на виході функціонального блоку, з яким він пов'язаний, з'являється логічний нуль.

Ви можете використовувати діалогову панель «Параметри індикатора», щоб установити розмір, форму та колір індикатора для різних станів.

Введення з поля – елемент відображення можна пов'язати з однією зі змінних завдання, включених до політики. Перед початком налаштування параметрів елемента індикації «Індикатор» необхідно встановити зв'язок з функціональним блоком і відобразити логічний стан його виходу. Для цього натисніть кнопку «Вибрати...» діалогової панелі та виберіть у діалоговій панелі «Зв'язок» ідентифікатор завдання, ідентифікатор функціонального блоку та номер підключеного виходу функціонального блоку.

Коли стратегія починає виконання, стан логіки на виході підключеного функціонального блоку відображається відповідним кольором індикатора, в даному випадку чорним – все в порядку, червоним – аварійна ситуація (рис. 4.8).

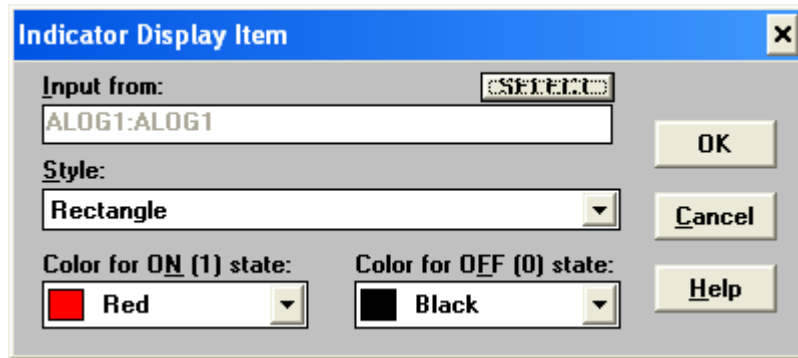


Рисунок 4.8 – Вікно налаштування параметрів елемента «Індикатор»

Елемент керування «Кнопка команд (кнопка меню)».

Цей елемент управління призначений для створення командної кнопки у вікні, що відображає форму, що дозволяє контролювати процес виконання політики.

Для елемента управління «Кнопка меню» може бути реалізована одна з наступних двох функцій: Перемикання операцій/дисплеїв (операція або перемикання вікна форми відображення).

Функція «Дії» дозволяє вибрати одну з наступних дій, коли ви натискаєте кнопку меню:

- стратегія запуску;
- Припиніть виконання стратегії;
- PAUSE зупиняє виконання політики;
- RESUME відновлює виконання після завершення;
- CLOSE завершує виконання політики та припиняє сеанс виконання

Genie.

Вікно налаштування параметрів «Command Button» елемента MENUB показано на рисунку 4.9.

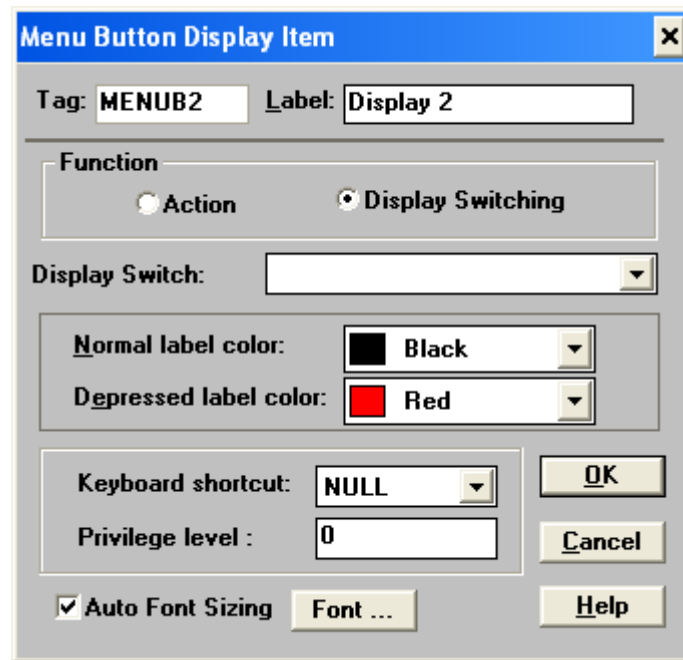
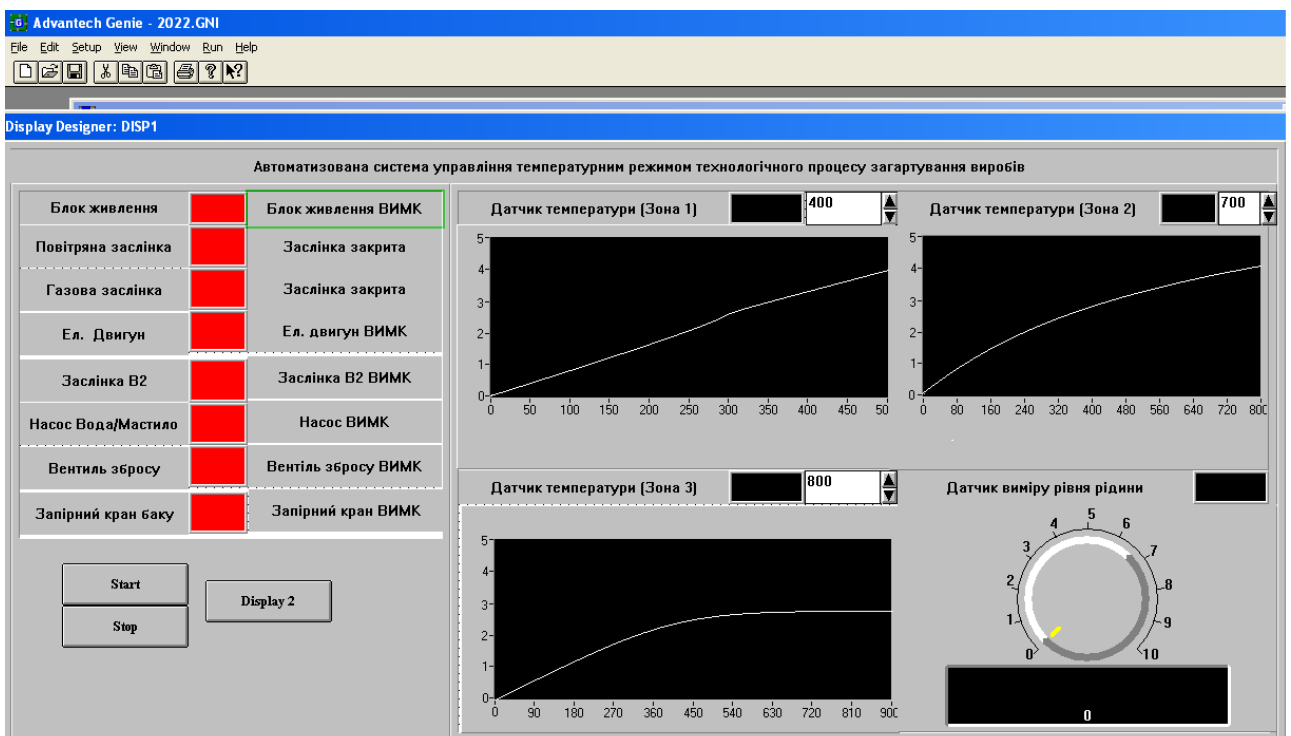


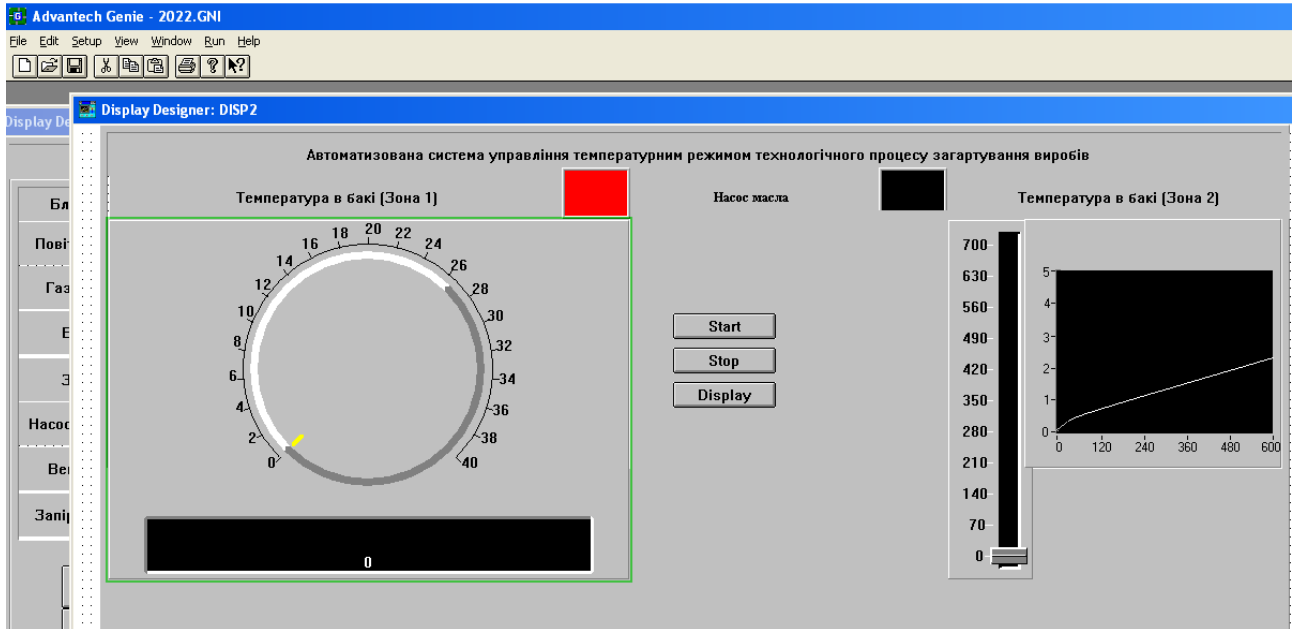
Рисунок 4.9 – Вікно налаштування параметрів елемента
«Командна кнопка»

У полі Keyboard shortcut (клавiші) можна обрати клавiші для управління дією.

Інтерфейс запропонованої системи у режимі запуску представлено на рис. 4.10.



а)



б)

а) Display 1; б) Display 2

Рисунок 4.10 – Вікно інтерфейсу системи в режимі запуску

4.2 Оцінка розробленої системи за допомогою повного факторного експерименту

Для проведення експериментів була обрана програма, яка спеціально керує температурним діапазоном відпустки.

На сучасному ринку програмного забезпечення існує багато програмних пакетів SCADA, серед яких система управління потребує самостійної розробки. Тобто для цього експерименту була обрана портативна версія програми EQ-MTS02 компанії MTL.

Така система лише візуалізує температурні параметри процесу гарту.

Однією з особливостей процесу керування EQ-MTS02 (рис. 4.11) є необхідність завантаження «температурної» кривої в терморегулятор [33].

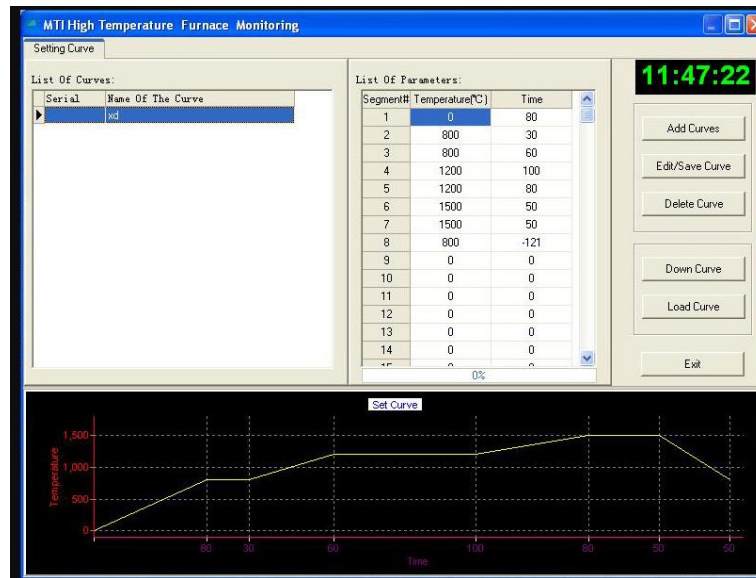


Рисунок 4.11 – Інтерфейс системи EQ-MTS02

Обрано G-Quench як другу систему керування.

Симулятор приймає як вхідні дані параметри загартування, індивідуальні властивості печі та матеріалу, а також розмір і форму обробленої заготовки для отримання кривої охолодження та прогнозування твердості після загартування. G-Quench працює в режимі реального часу з промисловим обладнанням для постійного моніторингу та контролю процесу гартування під час моделювання.

Загальний тип програмного забезпечення, що використовується для моделювання та керування процесами вприскування інструментальної сталі, показано на рисунку 4.12[34].

Система показана на рисунку 4.12 Візуалізація параметрів процесу гартування. Прямим результатом моделювання є крива охолодження за заданих умов.

У поєднанні з індивідуальними фазовими діаграмами матеріалу ця крива надає дані про фази, через які проходить сталь під час процесу гартування. Чистим ефектом моделювання є визначення швидкості зміцнення та очікуваної кінцевої твердості матеріалу на заданій глибині.

Контроль температури здійснюється за допомогою терморегулятора.

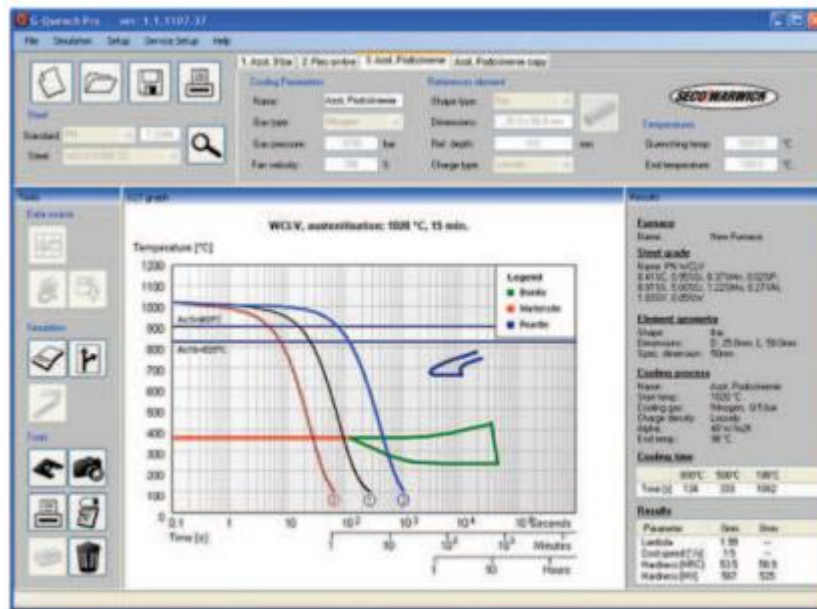


Рисунок 4.12 – Інтерфейс системи G-Quench

Індивідуальні параметри установки гарту багато в чому визначають реальний хід процесу, тому програмне забезпечення налаштовується на відповідну версію печі.

Проведений порівняльний аналіз наведено в таблиці 4.1.

Під час аналізу було виявлено, що багато параметрів, присутніх у моделюванні G-Quench, не можуть бути використані в розробленій системі, що спрощує інтерфейс оператора процесу контролю температури відпуску (розміри виробу, властивості матеріалу, тобто відсоток елементів, які складають матеріал тощо).

В якості експерименту було обрано визначення надійності системи за методом Міллса [35].

Щоб застосувати цю модель, перед початком тестування в програму навмисно вводяться помилки.

Тому систему запускали тричі. Припустимо, що перед тестуванням є 3 помилки в програмі і вони типові.

Результати роботи наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Порівняльний аналіз систем управління температурним режимом гартування

Назва	Управління температурою	Візуалізація параметрів	Відкритість системи	Адаптивність
EQ-MTS02	тільки одним регулятором температури (або однією зоною нагріву)	дані у таблицях Excel	-	-
G-Quench	управління кількома регуляторами температури (спеціалізованого типу)	«дані візуалізуються» за допомогою цифрового індикатору	-	+
Розроблена система	управління кількома регуляторами температури будь-якого типу (або кількома зонами нагріву)	«дані візуалізуються» за допомогою цифрового індикатору	+	+

Таблиця 4.2 – Результати отримані після прогонів систем

Номер прогону	EQ-MTS02		
	1	2	3
N (помилки)	-	2	2
G-Quench			
N	2	3	3
Розроблена система			
N	3	3	3

Тому після третього запуску не всі помилки були знайдені в змодельованій системі, і програма була не дуже коректною, на відміну від розробленої системи.

4.3 Висновки до четвертого розділу

Розроблена система була оцінена за допомогою повних факторних експериментів. Для проведення експериментів були обрані програми, які спеціально контролюють температурний діапазон темперування: EQ-MTS02, G-Quench, оскільки вони безкоштовні та портативні.

В якості експерименту обрано визначення надійності системи за методом Міллса. Результати експерименту показали, що після третього запуску не всі помилки в змодельованій системі були виявлені, і програма була не дуже коректною, на відміну від розробленої системи.

ВИСНОВКИ

У першій частині роботи досліджено та проаналізовано технологічний процес загартованих виробів шляхом аналізу параметрів температурної системи відпуску виробу, встановлено, що температуру нагріву відпускної сталі слід вибирати з урахуванням; склад металу та механічні властивості, які необхідно отримати. Температурні діапазони включають: температури нагріву, витримки та охолодження.

У другій частині розроблено модель інформаційних параметрів, яка містить параметри, які не тільки впливають на якість процесу відпуски, але й служать набором ключових характеристик при виборі відпускного обладнання. Для процесу гартування виробу було обрано тип печі. Вибір зупинився на горизонтальній електромуфельній печі, оскільки вона компактна і призначена для гарту різних деталей в діапазоні робочих температур 400 – 1400 °С, тобто підходить для гарту високовуглецевої сталі, яка гартується нижче 100 °С. Температура досягає 820 0С. EMF Snol 8.2 має розміри Ш-44 × Г-56 × В-51 см і має наступні студійні межі: 20 × 30 × 13,3 см, оскільки підходить для темперування виробів розміром 13 × 13 × 3,5

Для загартування вибирають переривчастий тип, оскільки він використовується для виробів з вуглецевої сталі.

Періодичне загартування здійснюється в двох середовищах: вода і охолоджуюча рідина (масло). Тому в якості охолоджуючої рідини вибирають мінеральне масло, оскільки внутрішня напруга продукту, загартованого в цьому маслі, невелика і немає гартівних тріщин.

Обрано зовнішнє розташування обігрівача. В якості ЕМП нагрівального елемента обрано ніхромовий дріт з максимальною робочою температурою 1200 °С.

За результатами розрахунку встановлено, що при силі струму 0,82 А і температурі нагрівача 820°С діаметр ніхромового дроту повинен становити 1 мм, а площа поперечного перерізу 0,00785 мм².

Обрано платиновий термометр опору для вимірювання температури,

оскільки він має більшу точність і стабільність показань, ніж термопари та термістори.

Для гартування була обрана ємність типу ВТ 200-12, оскільки вона має відповідні розміри (розміри зони гартування $300 \times 150 \times 300$) і відповідає основним умовам: рівень гартівної рідини повинен бути не менше 100-150 мм від краю бака.

У розділі 3 аналізує SCADA, режим трасування та Genie, і на цій основі вибрано програмний інструмент Genie.

Розроблено алгоритм автоматичної системи контролю температури під час гартування металу, на основі якого розроблено систему керування, що складається з мнемосхем та інтерфейсів.

Розроблена система була оцінена за допомогою повних факторних експериментів. Для проведення експериментів були обрані програми, які спеціально контролюють температурний діапазон темперування: EQ-MTS02, G-Quench, оскільки вони безкоштовні та портативні.

В якості експерименту обрано визначення надійності системи за методом Міллса. Результати експерименту показали, що після третього запуску не всі помилки в змодельованій системі були виявлені, і програма була не дуже коректною, на відміну від розробленої системи.

Розроблена автоматизована система контролю температурного діапазону процесу гартування дозволяє уникнути отримання бракованої продукції, оскільки контролюються всі температурні діапазони і підбирається раціональний датчик температури (платиновий термометр опору).

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lin, J. Microstructure evolution in metal forming processes [Текст] / J. Lin, B. Daniel, P. Maciej. – Elsevier: Woodhead Publishing, 2012. – 416 p.
2. Dukhan, N. Metal foams: fundamentals and applications [Текст] / N. Dukhan. – Destech Publications, Inc, 2013. – 432 p.
3. Boyer, S. A. SCADA: supervisory control and data acquisition. International Society of Automation [Текст] / S. A. Boyer. USA: ISA, 2009. – p. 257.
4. Korecki, M. Wołowiec Meeting standards for die heat treatment [Текст] / M. Korecki, J. Olejnik, P. Kula, E. Wołowiec // International Heat Treatment and Surface Engineering. – 2014. – № 4. – P. 183 – 187.
5. Дубчак В. М. Вища математика в прикладах та задачах. Навчальний посібник / В.М.Дубчак, В.М.Пришляк, Л.І.Новицька. – Вінниця: ВНАУ, 2018. – 254 с
6. Харченко А.П. Вища математика в прикладах і задачах, частина І: Навчальний посібник / А.П.Харченко, В.О.Гаєвська, Г.В.Лисянська. – Х:НТМТ, 2017. – 194 с
7. Харченко А.П. Вища математика в прикладах і задачах, частина ІІ: Навчальний посібник / А.П.Харченко, В.О.Гаєвська, Г.В.Лисянська. – Х:НТМТ, 2017. – 233 с
8. Вища математика: базовий підручник для вузів / В.С.Пономаренка. – Х.: Фоліо, 2016. – 669 с
9. Герасимчук В. С. Вища математика. Повний курс у прикладах і задачах / В.С.Герасимчук, Г.С.Васильченко, В.І.Кравцов. – К.: Книги України ЛТД, 2015. – 470 с
10. Практикум з вищої математики: Навчальний посібник / За ред. В.О.Ковалю. – Ж: ЖДТУ, 2008. – 448 с
11. Вища математика. Загальний курс: Збірник задач та вправ. / А.Д.Тевяшев, О.Г.Литвин. URL: <https://www.twirpx.com/file/277182/> (дата

звернення 12.05.2021)

12. Вища математика. Збірник задач: Навчальний посібник / В.П.Дубовик. URL: https://issuu.com/erudytnet/docs/1dubovik_v_p_yurik_i_i_vishcha_mate (дата звернення 12.11.2024)

13. Коруд В.І., Електротехніка: Підручник / В.І. Коруд, О.Є. Гамола, С.М. Малинівський; За заг. ред. В.І. Коруда. – 3-є вид., переробл. і доп. – Львів: Магнолія Плюс, 2006. – 447 с.

14. Михайленко В.Є., Інженерна та комп'ютерна графіка: Підручник / В.Є. Михайленко, В.В. Ванін, С.М. Ковальов; За ред. В.Є. Михайленка. – 6-е вид. – К.: Каравела, 2012. – 368 с.

15. Титаренко М.В., Електротехніка: Навчальний посібник/ М.В. Титаренко. – К.: Кондор, 2013. – 240 с.

16. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : Підручник / М. С. Будіщев. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с.

17. Колонтаєвський Ю. П. Промислова електроніка і мікросхемотехніка / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков. під ред. А. Г. Соскова. – Вид. 2-ге, виправл. і доповн. – Харків : ХДАМГ, 2003. – 281 с.

18. Костін М. О. Теоретичні основи електротехніки [Текст]: підручник у 3 т. / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Дніпро: Видво ДНУЗТ, 2006. – Т. 1. – 336 с; 2007.– Т.2.– 276 с; 2011. – Т.3, Ч.1. – 224 с; 2012.– Т.3, Ч.2. – 352 с.

19. Гуржій А. М. Електротехніка та основи електроніки : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Гуржій, С. К. Мещанінов, А. Т. Нельга, В. М. Співак. – Київ : Літера ЛТД, 2020. – 288 с.

20. Електрика та магнетизм : підручник / Л. Д. Дідух. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2020. – 464 с. – Режим доступу : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31412..>

21. Автоматика та електропривод техніки реєстрації інформації [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Г. Г. Власюк, В. М. Співак, К. О. Трапезон, В. Б. Швайчен-ко. – Київ : Освіта України, 2010. – 159 с. – Режим доступу:

<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19129>.

22. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / Ю. П. Колонтаєвський. – Київ : Каравела, 2006. – 384 с.

23. Макаренко В. В. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Акустотехніка» [Електронний ресурс] / В. В. Макаренко, В. М. Співак ; НТУУ «КПІ». -Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 314 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19099>.

24. Панчевний Б. І. Загальна електротехніка: теорія і практика / Б. І. Панчевний, Ю. Ф. Свергун. – 2-ге вид. – Київ : Каравела, 2004. – 440 с.

25. Воробйова О. М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / О. М. Воробйова, Ю. В. Флейта. – Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. – 208 с.

26. Бойко В. І. Мікрокомп'ютерна техніка / В. І. Бойко, А. Т. Нельга. – 2-ге вид. – Київ : Науково-методичний центр вищої освіти, 2008. – 254 с.

27. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.

28. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г.,Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.

29. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.

30. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського.– Вінниця, 2017. -270 с.

31. Загальна електротехніка з основами автоматичного керування: Навчальний посібник / Т.В.Левченко. – К., 2010. – 358 с.

32. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний

посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.

33. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.

34. Електроніка та мікросхемотехніка: Навчальний посібник / За ред. проф. В.Ф. Яковлева. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 329 с.

35. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум. - К.: Каравела, 2003. – 440 с.

36. Монтаж електрообладнання і систем керування / За заг. ред. проф. Яковлева В.Ф. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 348 с.

37. Довідникова книга з електроенергетики: навчальний посібник/ П.В. Волох, М.П. Цоколенко, Л.В. Ревенко, В.А. Грічаненко та ін. –К. : Аграрна освіта, 2014. – 506 с.

38. Електроніка і мікропроцесорна техніка / Сенько В.І., Лисенко В.П., Юрченко О.М., Лукін В.Є., Руденський А.А. — К. : «Агроосвіта», 2015. — 676 с.

39. Електропостачання агропромислового комплексу : підруч. / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К. : Аграрна освіта, 2011. – 448 с.

40. Ремонт машин та обладнання : підручник / [Сідашенко О.І. та ін.]; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К. : Агроосвіта, 2014. – 665 с.

41. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 584 с.; іл.

42. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 434 с.; іл.

43. Комп'ютери та комп'ютерні технології : навч. посіб. Ч. 1.

Програмування в математичному пакеті MathCAD / В.П. Лисенко. І.М. Болбот. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 229 с.

44. Костинюк Л.Д. Моделювання електроприводів/ Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С Паранчук.. – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2004. – 404 с.

45. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Підручник/ В.І. Ткачук. – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2006. – 440 с.

46. Півняк Г.Г. Сучасні частотно-регульовані електроприводи зі широтно-імпульсною модуляцією: Монографія/ Г.Г. Півняк, О.В Волков.. – Дніпропетровськ, НГУ, 2006. – 470 с.

47. Ісікова, Н. П. Проектування інформаційних систем [Текст] : навч. посіб. / Н. П. Ісікова, Т. В. Решетняк. — Краматорськ : ДДМА, 2020. — 111 с.

48. Мікропроцесорна техніка : підручник / Ю. І. Якименко, Т. О. Терещенко, Є. І. Сокол та ін. / за ред. Т. О. Терещенко. – Київ : Політехнік, 2003. – 440 с.

49. Алексієв О. П. Мікроконтролери для транспортних і промислових застосувань.: архітектура та програмування : навч. посіб. / О. П. Алексієв, О. Б. Богаєвський, В. П. Волков. – Харків : ХНАДУ, 2004. – 156 с.

50. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої». – Ч. 2 : «Однокристальні мікро контролери» для студентів спеціальностей 092206 «Електричні машини та апарати» і 092205 «Електропобутова техніка» усіх форм навчання / уклад. Ю. С. Грищук. – Харків : НТУ «ХП», 2003. – 43 с.

51. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів[Текст]:навч. посіб./ Б.О. Пальчевський.-Львів:Світ,2007.-392с.

52. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування[Електронний ресурс]:навч. посіб. .-Текст. і граф. дані. / О.В. Барало, П.Г. Самойленко, С.Є. Гранат [та ін.]-Київ:Аграрна освіта,2010.- Систем.вимоги: Adobe Reader/ Foxit Reader.– Режим доступу: доступний тільки для користувачів НБ ХНУ.-Назва з екрана.

53. Автоматизація технологічних процесів. Розробка програми

керування технологічним процесом автоматизованого переміщення продукції[Текст]:метод. вказівки до лаб. роботи для студентів спец. 133 "Галузеве машинобудування", 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка", 208 "Агроінженерія" уклад.: С. Л. Горященко, М. В. Лук'янюк, П. С. Майдан, А. О. Поліщук .-Хмельницький:ХНУ,2021.-19с.

54. Шарбатіан М.Д. Розробка математичної моделі і системи керування процесом шлакоутворення у ванні конвертера[Текст]:автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук; спец. 05.13.07/ М.Д. Шарбатіан.-К.:КІА,2006.-17с

55. Автоматичне та комп'ютерне керування електромеханічними системами[Електронний ресурс]:метод. вказівки до вивчення дисципліни для студ. спец. «Електроенергетика. електротехніка та електромеханіка» уклад. О. Г. Тимощук .-Текст. і граф. дані. (3,93 Мб) .-Хмельницький:ХНУ,2017.-Систем.вимоги: Adobe Reader/ Foxit Reader.– Режим доступу: доступний тільки для користувачів НБ ХНУ.-Назва з екрана

56. Куценко Ю.М. Монтаж електрообладнання і систем керування[Електронний ресурс]:підручник за заг. ред. проф. В.Ф.Яковлева .- Текст. і граф. дані. (9,2 Мб)/ Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев.-Київ:Аграрна освіта,2009.-Систем.вимоги: Adobe Reader/ Foxit Reader.– Режим доступу: доступний тільки для користувачів НБ ХНУ.-Назва з екрана.

57. Лежнюк П.Д. Оцінка якості оптимального керування критеріальним методом[Текст]:монографія/ П.Д. Лежнюк, В.О. Комар.-Вінниця:УНІВЕРСУМ,2006.-108с.

58. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування[Текст]:підруч. для вузів.-2-ге вид. переробл. і доповн./ М.Г. Попович, О.В. Ковальчук.-К.:Либідь,2007.-656с.

59. Лежнюк П.Д. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами[Текст]:монографія/ П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, О.Б. Бурикін.-Вінниця:Універсум,2008.-123с.

60. Васюра А.С. Методи і засоби нейроподібної обробки даних для

систем керування[Текст]:монографія/ А.С. Васюра, Т.Б. Мар тинюк, Л.М. Куперштейн.-Вінниця:Універсум,2008.-175с.

61. Контроль та керування хіміко-технологічними процесами[Текст]:лаб. практикум для студ. напрямів підготовки "Хімічна технологія" та "Хімічна інженерія" уклад. О.І. Стремецький .- Хмельницький:ХНУ, 2009.-31с.

62. Навчально-методичний посібник “Взаємна індукція у колах змінного струму”. / укл. Щерба А.А., Грудська В. П., Чибеліс В.І., Спінул Л.Ю. - К.: ВПЦ «Політехніка».- 2006.

63. Розрахунок електричних кіл постійного струму. Навчальне видання. / Уклад.: І.А. Курило, І.Н. Намацалюк, А.А. Щерба. – К.: НТУУ “КПІ”, ФЕА, 2006. – 51 с.

64. Розрахунок електричних кіл синусоїдного однофазного струму. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт. / Уклад.: І.А. Курило, І.Н. Намацалюк, А.А. Щерба. – К.: НТУУ “КПІ”, 2004. – 82 с.

65. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теоретичних основ електротехніки: цикл 1./ Укл. А.А. Щерба, В.С. Бойко, В.І. Чибеліс, І.А. Курило.– К., НТУУ "КПІ", 2008. – 28 с.

66. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теоретичних основ електротехніки: цикл 2./ Укл. А.А. Щерба, В.С. Бойко, В.І. Чибеліс та інші. – К., НТУУ "КПІ", 2008. – 36 с.

67. Метельский В.П. Электричні машини та мікромашини/ В.П. Метельский. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2001. – 600 с.

68. Шевченко В.П. Электричні машини Ч.1. Машини постійного струму/ В.П. Шевченко, Л.Я. Белікова. – О.: ОДПУ, 2000. – 120 с.

69. Шевченко В.П. Трансформатори: навч. посіб./ В.П. Шевченко, Л.Я. Белікова. – О.: Наука і техніка, 2001. – 129 с.

70. Шевченко В.П. Машини змінного струму: навч. посіб./ В.П. Шевченко, Л.Я. Белікова. – О.: Наука і техніка, 2005. – 270 с.

Додаток А
**Стаття у фаховому журналі (подана до редакції журналу «Вісник
Хмельницького національного університету»)**

МАКАРИШКІН Денис

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0003-3447-811X>
makaryshkinde@khmnu.edu.ua

ФОРКУН Юрій

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-7906-4191>
forkynjv@khnu.km.ua

СЛИВА Артур

Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0009-0004-0930-7823>

ЛУЦЕНКО А.М.

Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГАРТУВАННЯ ВИРОБІВ

У роботі було проведено дослідження та аналіз процесу гартування виробу та встановлено, що існують термічні та холодіві гартування, але останнє не призводить до змін, які реорганізують всю атомну сітку, що визначає лише незначне збільшення експлуатаційні характеристики.

Розроблено модель інформаційних параметрів, яка містить параметри, які не тільки впливають на якість процесу відпустки, але й служать набором ключових характеристик при виборі відпускового обладнання. Ключові слова: гартування, математична модель, технологічний процес, інформаційні параметри.

MAKARYSHKIN Denys, FORKUN Yuriy, SLYVA Artur, LUTSENKO A.M.

Khmelnitskyi National University

DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF PRODUCT HARDENING

The work conducted a study and analysis of the hardening process of the product and found that there are thermal and cold hardening, but the latter does not lead to changes that reorganize the entire atomic lattice, which determines only a slight increase in operational characteristics.

The parameters of the temperature range of hardening of the product were analyzed and it was established that the heating temperature of the steel hardening should be selected in accordance with the composition of the metal and the material. obtained mechanical properties. Errors made when choosing the hardening mode can lead to increased structural brittleness or increased surface softness.

It was established that the advantages of progressive hardening include the fact that after such treatment, grooves do not appear on the product and cracks do not form. The advantages of isothermal hardening include the fact that steel products treated in this way are almost not deformed and, as after step hardening, cracks do not form in the product. Hardening in one cooler is not suitable for all steels.

Temperature ranges include: heating and cooling temperatures. The heating temperature for hardening depends on the type of material and its structure, as well as the type of furnace or heating liquid (salt bath).

The most important thing when hardening metal products is to strictly follow the process, since any deviation can lead to undesirable consequences.

An information parameter model has been developed, which contains parameters that not only affect the quality of the tempering process, but also serve as a set of key characteristics when choosing tempering equipment.

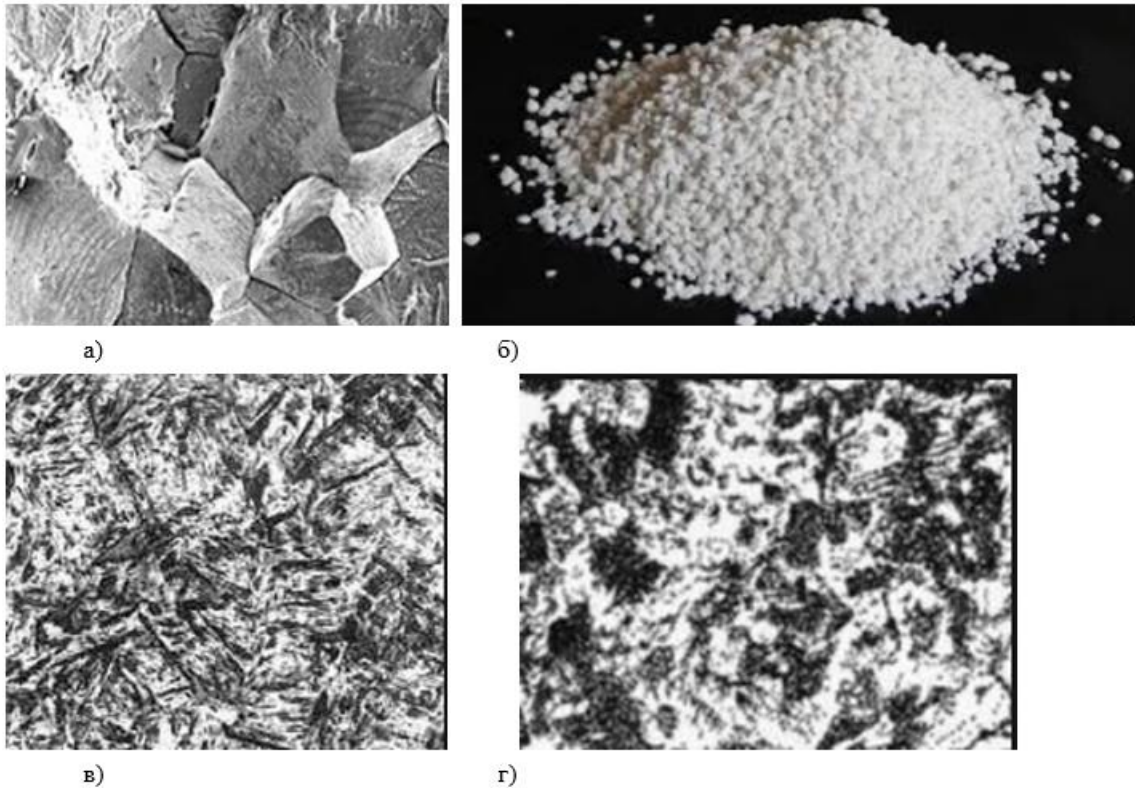
Keywords: hardening, mathematical model, technological process, information parameters.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Метою гартування та відпуски сталі є підвищення твердості та міцності. Багато деталей і виробів вимагають гартування і відпуску сталі.

«Зміцнення» засноване на рекристалізації під час нагрівання, що перешкоджає перетворенню аустеніту (високотемпературний градецентричний метаморфізм заліза та його сплавів, як показано на рис. 1, а) у перліт (вулканічну породу, як показано на рис. 1), б) швидким охолодженням.

Нерівноважною структурою загартованої сталі є мартенсит (гольчастий/лускоподібний і рейково-мішковий тип, див. рис. 1, в) і троостит (структурний склад залізовуглецевого сплаву, див. рис. 1, в). 1, г) і сорбіт (дисперсна суміш фериту і цементиту, отримана при високих швидкостях охолодження сталі)» [1].



а) аустеніт; б) перліт; в) мартенсит; г) троостіт

Рис. 1 – Вид структури матеріалів

Розбір почнемо з вивчення методів гартування сталі, особливостей технології нанесення, так як від них безпосередньо залежить якість виробу і його довговічність, а якщо їх не враховувати, то можна отримати збільшення крихкості структури загартованого виробу або м'якість поверхневого шару.

Вивчимо особливості загартовування. Існує два види загартовування:

- відсутність поліморфних перетворень (кольорові метали);
- поліморфне перетворення (сталь).

Поліморфне перетворення після гартування не відбувається - для кольорових металів використовується так зване «старіння» металу. Після поліморфного трансформаційного зміцнення з метою зменшення крихкості і нормалізації в'язкості і пластичності металу проводять відпал, який дещо знижує міцність. Залежно від температури нагріву гартування поділяють на два види:

- Метал повністю загартований;
- Метал не повністю загартований.

При повному затвердінні структура сталі стає аустенітною. Для інструментальних сталей застосовують неповне гартування. Коли доєвтектоїдна сталь нагрівається до температури між точкою A_{c1} і A_{c3} (неповне гартування), в структурі швидко охолодженої сталі разом із загартованою ділянкою в процесі нагрівання з'явиться нерозчинений ферит, що різко знижує твердість і сила [9]. Тому для доєвтектоїдних сталей нагрівання має бути вище точки A_{c3} для повного зміцнення.

У заєвтектоїдній сталі надлишковою фазою є цементит, твердість якого не нижче мартенситу або навіть перевищує його, тому сталь достатньо нагріти на $30-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ вище точки A_{s1} . Тому температура нагріву для повного гартування сталі становить $820-840\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температуру гартівного нагріву сталі вибирають за діаграмою стану, наведеною в [1].

Температура в точці E приблизно $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура в точці K приблизно $727\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура в точці G приблизно $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура в точці P приблизно $700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Зміцнення класифікується за типом матеріалу, наприклад, коли розглядається сталь, воно може бути доєвтектоїдним (сталь із вмістом C нижче евтектоїдної концентрації $<0,8\%$ і заєвтектоїдним ($>0,8\%$)).

Результати аналізу показали, що доєвтектоїдна сталь простої форми має кращий ефект зміцнення в тому самому середовищі. Для гартування сталей більш складної форми застосовують гартування в двох середовищах або ступінчасте гартування.

Було виявлено, що в процесі виготовлення деяких виробів загартовувався не весь метал, а лише його частина. Наприклад, тільки ріжучі кромки ріжучих інструментів. При цьому межа між загартованим металом і незагартованим металом (хамон) помітна неозброєним оком.

Швидкість охолодження визначається типом охолоджувального середовища. Технологія гартування сталі вимагає швидкого охолодження в діапазоні від 650 до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тривалість нагріву під час гартування залежить від типу нагрівального пристрою. Переверені дані свідчать, що гартування ділянки 1 мм в електропечі займає від 90 секунд до 2 хвилин, якщо у полум'яній печі це займає 1 хвилину, то в соляній ванні – 30 секунд, у свинцевій – найкоротший час (від 6 секунд).

Швидкість охолодження заготовки під час гартування повинна забезпечувати отримання заданої структури. Критична швидкість зміцнення сильно змінюється в залежності від наявності в сталі легуючих компонентів.

Для простого залізвуглецевого сплаву ця швидкість дуже висока. Наявність у сталі кремнію і марганцю сприяє зміцненню до мартенситу, оскільки для цієї сталі C-подібна крива на діаграмі ізотермічного перетворення аустеніту зміститься вправо і критична швидкість зміцнення зменшується [1].

При зануренні гарячого продукту в середовище гасіння утворюється парова плівка, через яку відбувається відносно повільне охолодження (фаза плівкового кипіння). Залежно від використовуваної для гартування рідини температура досягає такого значення, при якому парова плівка розривається і рідина кипить на поверхні металу. Швидкість охолодження значно прискорюється. Цей процес називається бульбашковим кипінням. Коли метал достатньо охолоне і рідина більше не кипить, процес охолодження починає сповільнюватися. Відбувається так званий конвективний теплообмін» [1, 2].

Зміцнення металу можна розглядати з точки зору теплоносія, тобто воно залежить від використовуваного охолоджувача. Тому загартовування поділяють на:

- періодичне гартування (для виробів з високовуглецевої сталі);
- ступеневе гартування (для гартування сталей складнішої форми);
- ізотермічне гартування (для гартування легованої сталі);
- гартування в охолоджувачі (для гартування виробів з вуглецевої або легованої сталі).

Переривчасте загартовування проводиться за двох обставин. Спочатку в основне середовище, потім в охолоджуючу рідину (масло). Тобто продукт спочатку швидко охолоджується (наприклад, у воді), а потім охолоджується в повільно остигає рідині.

Поетапне гартування відбувається безпосередньо в середовищі гартування. У цьому середовищі температура вище мартенситної точки марки сталі. Під час охолодження і старіння в цьому середовищі

загартований метал набуває температури гартівної ванни в усіх точках перетину. Надалі потрібне повільне охолодження, під час якого відбувається безпосередньо твердіння. Встановлено, що до переваг такого гартування можна віднести те, що після такої обробки виріб не має канавок і на виробі не утворюються тріщини. Основним недоліком цього виду гартування є те, що його можна застосовувати як для заготовок з вуглецевої сталі малого перерізу (8-10 мм), так і для виробів з легованої сталі великого перерізу (до 30 мм).

Здійснення ізотермічного зміцнення аналогічно ступінчастому. Виріб витримують у твердіючій середовищі до тих пір, поки не відбудеться ізотермічне перетворення кристалічної решітки і не утвориться аустеніт. Необхідно викликати повний розпад аустеніту. Як охолоджувач можна використовувати розплавлену сіль. До переваг такого гартування можна віднести те, що після такої обробки сталевий виріб майже не деформується, а після ступінчастого гартування на виробі не утворюються тріщини. Гартування в охолоджувачі - нагрітий виріб з вуглецевої або легованої сталі занурюють у гартувальну рідину до повного охолодження металу.

На жаль, гартування в одному середовищі підходить не для всіх сталевих матеріалів, оскільки температура сталі зі змінним перетином падає швидше в цьому температурному діапазоні, викликаючи нерівномірність температури та більшу внутрішню напругу, що призводить до викривлення та деформації продукту, тріщин.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Незважаючи на значну кількість проведених досліджень, лишається потреба в удосконаленні математичних моделей опису процесу гартування сталі, для більш точного і швидкого налагодження технологічного процесу.

Формулювання цілей статті

В даний час активно йде перехід виробництва металовиробів на шлях інтенсивного розвитку. Металургія є найпотужнішою галуззю промисловості. На основі досліджень та аналізу процесу гартування виробу було встановлено, що різні сталеві матеріали можуть досягти значного підвищення міцності за допомогою гартування та відпуску, але існують труднощі з дотриманням проміжних значень параметрів під час процесу процес затвердіння.

Основною метою в управлінні процесом гартування виробів є підтримання температури в робочій зоні, оскільки в загартованій сталі вихідні властивості після термічної обробки залежать від температури гартування, яка є основним параметром для структурних параметрів загартованої сталі.

Для кожної автоматизованої системи управління метою її створення є забезпечення найбільш повного використання потенційних можливостей об'єкта управління для вирішення поставлених перед ним завдань.

Отже, для створення автоматизованої системи керування (АСУ) необхідно вибрати основні параметри та відобразити їх у розробленій системі. Стандарти ефективності визначаються набором показників, кожен з яких описує аспект певної системи.

Тому при розробці АСУ в технологічному процесі гартування виробу спочатку необхідно проаналізувати різні види гартування та обладнання для їх реалізації, а потім вирішувати проблему вибору температурного режиму, шляхом проведення ґрунтовного математичного моделювання.

Метою роботи є розробка моделі автоматизації контролю температури під час гартування металу.

Виклад основного матеріалу

Використання методів інформаційного моделювання для виконання завдань управління в рамках технічних процесів удосконалення продукції висуває вимоги до розробки формальних правил обміну даними та управління інформацією. Формування та формалізація загальних правил і концепцій управління інформацією, розробка та використання інформаційних моделей пов'язані з необхідністю формалізації цих моделей. [3, 4]

Тому для представлення параметрів, що впливають на якість процесу зміцнення, у вигляді моделі інформаційних параметрів рекомендується використовувати теорію множин (набір елементів довільної природи).

Модель інформаційних параметрів складається з множини параметрів у виразі:

$$TP_q = \langle P_{qm}, P_{qt}, TM_q \rangle, \quad (1)$$

де P_{qm} – параметри машини для гартування;

P_{qt} – параметри баку для гартування;

TM_q – режимами гартування.

Параметри гартівної машини мають значний вплив на отримання більш міцної і твердої поверхні виробу, тому що при виборі невиправданої конфігурації виникне нерівномірний нагрів і гартування тріщин. Отже, параметри гартівної машини (печі) можна формалізувати у вигляді набору характеристик:

$$P_{qm} = \langle T_{qm}^i, HS_{qm}^i, M_{qm}^i, S_{qm}, Vl_{qm}, PH_{qm}^i, t_{qm}^i \rangle, \quad (2)$$

де T_{qm}^i – тип машини для гартування сталі (печі), при $i = 1 \dots 3$ (1 – камерні, 2 – шахтні, 3 – печі з висувним подом);

HS_{qm}^i – тип джерела тепла машини для гартування, при $i = 1 \dots 3$ (1 – мазутні, 2 – газові, 3 – електричні);

M_{qm}^i – модель машини для гартування, при $i = 1 \dots N$; N – кількість модифікацій моделі машини для гартування;

S_{qm} – розміри машини для гартування;

Vl_{qm} – об'єм машини для гартування;

PH_{qm}^i – спосіб розташування нагрівачів, при $i = 1 \dots 2$ (1 – із закритим муфелем (розташування нагрівачів - внутрішнє), 2 – відкритим муфелем (розташування нагрівачів - зовнішнє));

t_{qm}^i – температура робочого об'єму машини для гартування, при $i = 1 \dots 3$ (1 – низькотемпературні, 2 – середньотемпературні, 3 – високотемпературні).

Розміри машини для гартування можна представити виразом:

$$S_{qm} = \langle a, b, d \rangle, \quad (3)$$

де a – висота машини для гартування;

b – ширина машини для гартування;

d – діаметр машини для гартування, якщо вона циліндричної форми.

Параметри баку для гартування (P_{qt}) – також важливі, бо від них залежить процес витримки при температурі що задана, тому їх можна описати виразом:

$$P_{qt} = \langle M_{qt}^i, Sh_{qt}^i, S_{qt}, Sa_{qt}, Vl_{qt}, Md_{qt}^i, Pw_{qt}, t_{qt} \rangle, \quad (4)$$

де M_{qt}^i – модель баку для гартування, при $i = 1 \dots N$; N – кількість модифікацій моделі машини для гартування;

Sh_{qt}^i – форма баку для гартування, при $i = 1 \dots 2$ (1 – прямокутна, 2 – циліндрична);

S_{qt} – розміри машини для гартування (якщо розмір бака невеликий, то при частому гартуванні рідина буде дуже швидко нагріватися, що матиме негативне позначення на результатах гартування);

Sa_{qt} – розміри області для гартування;

Vl_{qt} – об'єм машини для гартування;

Md_{qt}^i – речовина витримки виробу при $i = 1 \dots 4$ (1 – вода, 2 – масло, 3 – полімер, 4 – солі);

Pw_{qt} – потужність машини для гартування;

t_{qt} – максимальна температура при зануренні в бак.

Температурні режими гартування (TM_q) можна описати, як:

$$TM_q = \langle t_h, t_e, t_c \rangle, \quad (5)$$

де t_h – температура нагрівання;

t_e – температура витримки металу;

t_c – температура охолодження.

Тому як нагрівання відбувається поступово, то температура нагрівання матиме склад:

$$t_h = \langle t_h^1, t_h^2, t_h^3 \rangle, \quad (6)$$

де t_h^1 – температура нагріву у першій зоні нагріву;

t_h^2 – температура нагріву у другій зоні нагріву;

t_h^3 – температура нагріву у третій зоні нагріву.

Подібним чином відбувається ситуація із температурою витримки (вона відбувається поступово), тож можна запропонувати наступний вираз:

$$t_e = \langle t_e^1, t_e^2 \rangle, \quad (7)$$

де t_e^1 – температура витримки у першій зоні нагрівання;

t_e^2 – температура витримки у другій зоні нагрівання.

Таким чином, розроблена модель інформаційних параметрів містить параметри, які не тільки впливають на якість процесу гартування, але й є набором ключових характеристик при виборі гартівного обладнання.

На основі створення інформаційної параметричної моделі для опису параметрів процесу зміцнення необхідно сформулювати правила математичного представлення допустимих діапазонів значень кожного елемента параметричної моделі у вигляді виразу (1).

На основі аналізу параметрів, їх можливих діапазонів значень і описів, які вони можуть приймати, пропонується наступна форма запису, в якій будуть застосовані наступні значення змінних: числові та вербальні. [3, 4]

Для параметрів, заданих числами, формальний запис матиме такий вигляд:

$$P^i = \begin{cases} p^1, \text{ якщо } p_i \leq P \leq [\text{значення}], \\ p^2, \text{ якщо } [\text{значення}] \leq P \leq [\text{значення}], \\ \dots \\ p^n, \text{ якщо } [\text{значення}] \leq P \leq p_j. \end{cases} \quad (8)$$

де P^i – позначення i -го параметра машини/баку для гартування;

p^1, p^1, p^n – ідентифікатори діапазонів значень;

P_i, P_j – граничні значення, які: $P_i \rightarrow \min; P_j \rightarrow \max$.

$[\text{значення}]$ – виділені порогові значення параметра діапазону.

Параметри, які задаються лінгвістичними змінними будуть представлені в наступному вигляді:

$$P^i = \begin{cases} p^1, \text{ якщо} & P = [\text{слово}], \\ p^2, \text{ якщо} & P = [\text{слово}], \\ \dots & \\ p^n, \text{ якщо} & P = [\text{слово}]. \end{cases} \quad (9)$$

де P^i – позначення i -го параметра машини/баку для гартування;

p^1, p^1, p^n – ідентифікатори діапазонів значень;

$[\text{слово}]$ – лінгвістичне позначення параметру, наприклад, параметр, Md (середовище охолодження виробу: слово 1 – вода, слово 2 – масло, слово 3 – полімер, слово 4 – солі).

Тож параметр тип машини для гартування (печі):

$$T_{qm} = \begin{cases} T_{qm}^1, \text{ якщо} & T_{qm} = [\text{камерні}], \\ T_{qm}^2, \text{ якщо} & T_{qm} = [\text{шахтні}], \\ T_{qm}^3, \text{ якщо} & T_{qm} = [\text{печі з висувним подом}]. \end{cases} \quad (10)$$

Параметр тип джерела тепла машини для гартування може обіймати значення:

$$HS_{qm} = \begin{cases} HS_{qm}^1, \text{ якщо} & HS_{qm} = [\text{мазутні}], \\ HS_{qm}^2, \text{ якщо} & HS_{qm} = [\text{газові}], \\ HS_{qm}^3, \text{ якщо} & HS_{qm} = [\text{електричні}]. \end{cases} \quad (11)$$

Параметр об'єм машини для гартування, як правило, матиме декілька значень, але можна обирати якесь одно з них.

$$Vl_{qm} = \begin{cases} Vl_{qm}^1, \text{ якщо} & Vl_{qm}^{\min} \leq Vl \leq 9, \\ Vl_{qm}^2, \text{ якщо} & 9 \leq Vl \leq 12, \\ Vl_{qm}^3, \text{ якщо} & 12 \leq Vl \leq 16, \\ Vl_{qm}^4, \text{ якщо} & 16 \leq Vl \leq Vl_{qm}^{\max}. \end{cases} \quad (12)$$

Параметр спосіб розташування нагрівачів може обіймати значення:

$$PH_{qm} = \begin{cases} PH_{qm}^1, \text{ якщо} & PH_{qm} = [\text{внутрішнє розташування нагрівачів}], \\ PH_{qm}^2, \text{ якщо} & PH_{qm} = [\text{зовнішнє розташування нагрівачів}]. \end{cases} \quad (13)$$

Параметр температура робочого простору машини для гартування як правило, має декілька значень, але можна задати тільки одно з них.

$$t_{qm} = \begin{cases} t_{qm}^1, \text{ якщо} & t_{qm}^{\min} \leq t \leq 400, \\ t_{qm}^2, \text{ якщо} & 400 \leq t \leq 800, \\ t_{qm}^3, \text{ якщо} & 800 \leq t \leq t_{qm}^{\max}. \end{cases} \quad (14)$$

Параметр форма баку для гартування може бути:

$$Sh_{qt} = \begin{cases} Sh_{qt}^1, \text{ якщо} & Sh_{qt} = [\text{прямокутн\`а}], \\ Sh_{qt}^2, \text{ якщо} & Sh_{qt} = [\text{циліндрична}]. \end{cases} \quad (15)$$

Параметр об'єм баку для гартування, як правило, має кілька значень, але можна обрати тільки одно з них.

$$Vl_{qt} = \begin{cases} Vl_{qt}^1, \text{ якщо} & Vl_{qt}^{\min} \leq Vl \leq 5, \\ Vl_{qt}^2, \text{ якщо} & 5 \leq Vl \leq 8, \\ Vl_{qt}^3, \text{ якщо} & 8 \leq Vl \leq 10, \\ Vl_{qt}^4, \text{ якщо} & 10 \leq Vl \leq Vl_{qt}^{\max}. \end{cases} \quad (16)$$

Параметр середовище витримки виробу обирається з наступних значень:

$$Md_{qt} = \begin{cases} Md_{qt}^1, \text{ якщо} & Md_{qt} = [\text{вода}], \\ Md_{qt}^2, \text{ якщо} & Md_{qt} = [\text{масло}], \\ Md_{qt}^3, \text{ якщо} & Md_{qt} = [\text{полімер}], \\ Md_{qt}^4, \text{ якщо} & Md_{qt} = [\text{соль}]. \end{cases} \quad (17)$$

Параметр потужність машини для гартування може приймати одне з наведених значень:

$$Pw_{qt} = \begin{cases} Pw_{qt}^1, \text{ якщо} & Pw_{qt}^{\min} \leq t \leq 220 \\ Pw_{qt}^2, \text{ якщо} & 220 \leq Pw \leq Pw_{qt}^{\max}. \end{cases} \quad (18)$$

Параметр максимальна температура при зануренні в бак може приймати одне з наведених значень:

$$t_{qt} = \begin{cases} t_{qt}^1, \text{ якщо} & t_{qt}^{\min} \leq t \leq 500 \\ t_{qt}^2, \text{ якщо} & 500 \leq t \leq t_{qt}^{\max}. \end{cases} \quad (19)$$

Максимальна температура при зануренні в резервуар залежить від середовища, в якому відбувається процес старіння, оскільки якщо це вода, то максимальна температура повинна бути 30 0C.

Параметр температури нагріву першої зони нагріву може приймати такі значення:

$$t_{h1} = \begin{cases} t_{h1}^1, \text{ якщо} & t_{h1}^{\min} \leq t_{h1} \leq 400 \\ t_{h1}^2, \text{ якщо} & 400 \leq t_{h1} \leq t_{h1}^{\max}. \end{cases} \quad (20)$$

Параметр температура нагрівання у другій зоні нагрівання може приймати одне з значень:

$$t_{h2} = \begin{cases} t_{h2}^1, \text{ якщо} & t_{h2}^{\min} \leq t_{h2} \leq 700 \\ t_{h2}^2, \text{ якщо} & 700 \leq t_{h2} \leq t_{h2}^{\max}. \end{cases} \quad (21)$$

Параметр температура нагрівання у третій зоні нагрівання може приймати одне з наведених значень:

$$t_{h3} = \begin{cases} t_{h3}^1, \text{ якщо} & t_{h3}^{\min} \leq t_{h3} \leq 800 \\ t_{h3}^2, \text{ якщо} & 800 \leq t_{h3} \leq t_{h3}^{\max}. \end{cases} \quad (22)$$

Параметр температура витримки у першій зоні нагрівання може приймати одне з наведених значень:

$$t_{e1} = \begin{cases} t_{e1}^1, \text{ якщо} & t_{e1}^{\min} \leq t_{e1} \leq 20 \\ t_{e1}^2, \text{ якщо} & 20 \leq t_{e1} \leq t_{e1}^{\max}. \end{cases} \quad (23)$$

Параметр температура витримки у другій зоні нагрівання:

$$t_{e2} = \begin{cases} t_{e2}^1, \text{ якщо} & t_{e2}^{\min} \leq t_{e2} \leq 500 \\ t_{e2}^2, \text{ якщо} & 500 \leq t_{e2} \leq t_{e2}^{\max}. \end{cases} \quad (24)$$

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У роботі було проведено дослідження та аналіз процесу гартування виробу та встановлено, що існують термічні та холодкові гартування, але останнє не призводить до змін, які реорганізують всю атомну сітку, що визначає лише незначне збільшення експлуатаційні характеристики.

Проаналізовано параметри температурного діапазону гартування продукту та встановлюється, що температуру нагріву гартування сталі слід вибирати відповідно до складу металу та матеріалу. отримані механічні властивості. Помилки, допущені при виборі режиму зміцнення, можуть призвести до підвищення структурної крихкості або підвищення м'якості поверхні. Незалежно від використовуваного методу гартування в будь-якому випадку повинна бути забезпечена рівномірність нагріву, інакше відбудеться перебудова атомної решітки і можуть виникнути серйозні дефекти.

Для деталей більш складної форми застосовують періодичне зміцнення. Встановлено, що до переваг прогресивного зміцнення можна віднести те, що після такої обробки на виробі не з'являються борозни і не утворюються тріщини. До переваг ізотермічного гартування можна віднести те, що оброблені таким способом сталеві вироби майже не деформуються і, як і після ступінчастого гартування, у виробі не утворюються тріщини. Гартування в одному охолоджувачі підходить не для всіх сталей.

Температурні діапазони включають: температура нагріву та охолодження. Температура нагріву для гартування залежить від виду матеріалу і його структури, а також від типу печі або нагрівальної рідини (сольова ванна).

Найважливіше при гартуванні металевих виробів – чітко дотримуватися процесу, оскільки будь-яке відхилення може призвести до небажаних наслідків. Провести процес гартування сталі можна навіть в домашніх умовах, якщо виконати все технічно.

Розроблено модель інформаційних параметрів, яка містить параметри, які не тільки впливають на якість процесу відпустки, але й служать набором ключових характеристик при виборі відпускового обладнання.

Література

1. Lin, J. Microstructure evolution in metal forming processes [Текст] / J. Lin, B. Daniel, P. Maciej. – Elsevier: Woodhead Publishing, 2012. – 416 p.
2. Dukhan, N. Metal foams: fundamentals and applications [Текст] / N. Dukhan. – Destech Publications, Inc, 2013. – 432 p.
3. Temperature Control System for Controlling MTI Furnaces with Computer - EQ-MTS02 [Електронний ресурс]. - Режим доступу : [www/ URL: https://www.mtixtl.com/temperaturecontrolsystemforcontrollingmtisfurnacebyusingcomputereq-mts02.aspx](http://www.mtixtl.com/temperaturecontrolsystemforcontrollingmtisfurnacebyusingcomputereq-mts02.aspx) - 16.12.2013 p.
4. Korecki, M. Wołowiec Meeting standards for die heat treatment [Текст] / M. Korecki, J. Olejnik, P. Kula, E. Wołowiec // International Heat Treatment and Surface Engineering. – 2014. – № 4. – P. 183 – 187.

References

1. Lin, J. Microstructure evolution in metal forming processes [Tekst] / J. Lin, B. Daniel, P. Maciej. – Elsevier: Woodhead Publishing, 2012. – 416 r.
2. Dukhan, N. Metal foams: fundamentals and applications [Tekst] / N. Dukhan. – Destech Publications, Inc, 2013. – 432 r.
3. Temperature Control System for Controlling MTI Furnaces with Computer - EQ-MTS02 [Elektronnyi resurs]. - Rezhym dostupu : [www/ URL: https://www.mtixtl.com/temperaturecontrolsystemforcontrollingmtisfurnacebyusingcomputereq-mts02.aspx](http://www.mtixtl.com/temperaturecontrolsystemforcontrollingmtisfurnacebyusingcomputereq-mts02.aspx) - 16.12.2013 r. - Zahl. z ukranu.
4. Korecki, M. Wołowiec Meeting standards for die heat treatment [Tekst] / M. Korecki, J. Olejnik, P. Kula, E. Wołowiec // International Heat Treatment and Surface Engineering. – 2014. – № 4. – R. 183 – 187.

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Луценко Антон Михайлович

Тема: Метод автоматизованого керування температурними режимами технологічного процесу гартування

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 102

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка методу автоматизованого контролю температури протягом гартування металу
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі було проведено дослідження та аналіз процесу гартування виробу та встановлено, що існують термічні та холодкові гартування, але останнє не призводить до змін, які реорганізують всю атомну сітку, що визначає лише незначне збільшення експлуатаційні характеристики. У другому розділі проаналізовано SCADA-системи: Deerp Tracer та Genie. На цій основі аналізу вибрано програмний інструмент Genie. Розроблено алгоритм автоматичної системи контролю температури під час гартування металу, на основі якого розроблено систему керування, що складається з мнемосхем та інтерфейсів, У третьому розділі розроблено модель інформаційних параметрів, яка містить параметри, які не тільки впливають на якість процесу відпустки, але й служать набором ключових характеристик при виборі відпускового обладнання. У четвертому розділі розроблена система була оцінена за допомогою повних факторних експериментів. Для проведення експериментів були обрані програми, які спеціально контролюють температурний діапазон темперування: EQ-MTS02, G-Quench, оскільки вони безкоштовні та портативні. В якості експерименту обрано визначення надійності системи за методом Міллса. Результати експерименту показали, що після третього запуску не всі помилки в змодельованій системі були виявлені, і програма була не дуже коректною, на відміну від розробленої системи.
4. Позитивні сторони роботи: розроблено метод автоматизованого контролю температури протягом гартування металу.

5. Негативні сторони роботи: наявні стилістичні та граматичні помилки

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (3,50/D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Сергей Иванович Вольфович доктор фізико-математичних наук
Кіровоградського національного технічного університету

"13" лютого 2024 р.

(підпис)

Завідувачу кафедри АКІТгаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Луценко Антон Михайлович

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРм-23-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2024

дата



підпис

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Антон ЛУЦЕНКО

Співавтор:

Назва: МКР Луценко

Науковий керівник: Ірина ФОРКУН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 3.9%

Коефіцієнт подібності 2: 2.5%

Мікропробіли: 13

Заміна букв: 7

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2024-12-13 08:14:26.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-12-13

Дата

Фк М.В. Федун
експерт

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 4.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилки в документах: 12%**

ID: 158536 Назва: МКР Метод автоматизованого керування температурними режимами технологічного процесу гартування Додано в БД: 2024-12-13 Автора: Антон ЛУЦЕНКО Керівники: Ірина ФОРКУН Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	94615	883	4482 (5%)	64 (7%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМПІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод автоматизованого керування температурними режимами технологічного процесу гартування

Автор: Луценко Антон Михайлович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Форкун Ірина Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальнозживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;




3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 3,9% і адресується до 25 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Ірина ФОРКУН