

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт

перший (бакалаврський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему Травлення металу: види, технології, перспективи та проблеми

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1360-з

спеціальності 136 «Металургія»

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Д.Р. Денисов

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри металургійних технологій,
екології та техногенної безпеки, доцент,
к.т.н. Воденнікова О.С.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доцент кафедри металургійних
технологій, екології та техногенної безпеки, с.н.с.,
к.т.н. Проценко В.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ**

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 «Металургія»

(кодифікатор / назва)

Спеціалізація _____

(кодифікатор / назва)

Освітня програма Металургія

(кодифікатор / назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МТЕТЬ
Юрій БЕЛОКОНЬ

в 29 в 01 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Денисову Денису Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Травлення металу: види, технології, перспективи та проблеми

керівник роботи кадр. спец. наук доцент Вадєнімова Оксана Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від "26" грудня 2023 року № 2212-с

2. Строк подання студентом роботи 30.05.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Науково-технічна література, статті у фахових виданнях, матеріали конференцій, патенти та ДСТУ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат. Скорочення та умовні позначки. Вступ. Травлення металу: механізм, види та особливості. Способи утилізації відпрацьованих кислотних розчинів в умовах металургійного виробництва. Вдосконалення процесу травлення листового прокату в умовах ПАТ "Запоріжсталь" за рахунок підвищення ефективності системи уловлювання парів кислот та їх утилізації. Охорона праці та техногенна безпека. Засадні висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Титульний лист – 1. Види травлення металу – 1. Вироби з латуні та міді після травлення – 1. Безкислотне травлення металу – 1. Мікроструктура окатини заліза на гарячкатамному прокаті – 1. Механізм утворення окатини на поверхні металу – 1. Травильні ванни різних виробників – 1.

Травлення м'яса: механізм, види та особливості – 1. Схема травильної ванни з виваленням парів кислот з боку та з торців ванни – 1. Загальні висновки – 1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Травлення м'яса: механізм, види та особливості	доцент О.С. Воденнікова		
Способи утилізації відпрацьованих кислотних розчинів в умовах металургійного виробництва	доцент О.С. Воденнікова		
Вдосконалення процесу травлення листового прокату в умовах ПАТ "Запоріжсталь" за рахунок підвищення ефективності системи уловлювання парів кислот та їх утилізації	доцент О.С. Воденнікова		
Охорона праці та техногенна безпека	доцент О.С. Воденнікова		

7. Дата видачі завдання 29.01.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Срок виконання етапів роботи	Прийнято
1	Реферат. Скорочення та умовні позначки. Вступ	12-18.01.2024	
2	Травлення м'яса: механізм, види та особливості	18-25.02.2024	
3	Способи утилізації відпрацьованих кислотних розчинів в умовах металургійного виробництва	15-24.04.2024	
4	Вдосконалення процесу травлення листового прокату в умовах ПАТ "Запоріжсталь" за рахунок підвищення ефективності системи уловлювання парів кислот та їх утилізації	29-06.05.2024	
5	Охорона праці та техногенна безпека	06-12.05.2024	
6	Загальні висновки. Перелік джерел посилання	13-19.05.2024	

Студент _____ Денис ЛЕНИСОВ
(ПІСЬОМ) (ПРИСІЛКА ТА ПРІЗВИЩО)

Керівник роботи (проєкту) _____ Оксана ВОДЕННИКОВА
(ПІСЬОМ) (ПРИСІЛКА ТА ПРІЗВИЩО)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Юлія БЕЛОКОНЬ
(ПІСЬОМ) (ПРИСІЛКА ТА ПРІЗВИЩО)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 76 с., 31 рис., 29 табл., 70 джерел посилення.

ТРАВЛЕННЯ МЕТАЛУ, ТРАВІЛЬНИЙ РОЗЧИН, БЕЗПЕРЕРВНО-ТРАВІЛЬНИЙ АГРЕГАТ, ТРАВІЛЬНА ВАННА, СОЛЯНО-КИСЛОТНЕ ТРАВЛЕННЯ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Травлення металу: види, технології, перспективи та проблеми.

Мета роботи – розширення уявлень про механізм травлення металу, види та розмірі травільних ванн, окреслити перспективи та проблеми утилізації травільних розчинів.

У розділі 1 розглянуто закономірності та механізм травлення металу, основні види травлення, описано способи переробки відпрацьованих травільних розчинів.

У розділі 2 розглянуто способи утилізації відпрацьованих кислотних розчинів в умовах металургійного виробництва.

У розділі 3 розглянуто можливості застосування соляно-кислотного травлення металу в умовах ПАТ «Запоріжсталь»; проаналізовано вплив розмірів травільних ванн та температури виробничого середовища на продуктивність двохбортових відсмоктувачів.

У розділі 4 проаналізовано потенційно-небезпечні та шкідливі фактори виробничого середовища в цеху холодної прокатки та розглянуто аспекти охорони праці та техногенної безпеки при травленні металу.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	6
ВСТУП.....	7
1 ТРАВЛЕННЯ МЕТАЛУ: МЕХАНІЗМ, ВИДИ ТА ОСОБЛИВОСТІ..	9
1.1 Закономірності та механізм травлення металу.....	9
1.2 Огляд безперервно-травильних агрегатів та травильних ванн.....	22
1.3 Способи переробки відпрацьованих травильних розчинів.....	30
1.4 Розрахунок швидкості травлення.....	31
2 СПОСОБИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ КИСЛОТНИХ РОЗЧИНІВ В УМОВАХ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	33
3 ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТРАВЛЕННЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ В УМОВАХ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» ЗА РАХУНОК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ УЛОВЛЮВАННЯ ПАРІВ КИСЛОТ ТА ЇХ УТИЛІЗАЦІЇ.....	36
3.1. Застосування бортових відсмоктувачів для утилізації парів кислот в травильних відділеннях металургійних підприємств.....	36
3.2. Застосування соляно-кислотного травлення металу в умовах ПАТ «Запоріжсталь».....	38
3.3. Вплив розмірів травильних ванн та температури виробничого середовища на продуктивність двохбортових відсмоктувачів.....	42
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БНЗПЕКА.....	60
4.1 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища в цеху холодної прокатки.....	60
4.2 Охорона праці та техногенна безпека при травленні металу.....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	68

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

США – Сполучені Штати Америки;

БТА – безперервний травильний агрегат;

ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю;

ВТР – відпрацьовані травильні розчини;

ER – швидкість травлення, м/хв.;

T – час, хв.

ВСТУП

Згідно даних Всесвітньої асоціації сталі (worldsteel) за 2022р. [1] у світовому рейтингу виробників сталі Україна опустилася на 25-те місце (6,3 млн. тон сталі на рік) в порівнянні з 14-м місцем (21,4 млн. тон сталі на рік) за підсумками 2021р. Значною мірою Україна відстає від інших країн світу за застосуванням новітніх прогресивних технологій, рівнем технологічного обладнання, енергоємності прокату й екологічної безпеки [2].

На сьогодні наукова спільнота Україна не обходить увагою проблеми металургії та матеріалознавства, зокрема ведуться розробки в напрямку підвищення ефективності виплавки та обробки чорних металів та сплавів [3–8].

Розглядаючи прокатне виробництво варто зазначити, що технологія холодної прокатки листової сталі характеризується високою інтенсивністю виробництва, складним комплексом технологічних операцій, застосуванням потужного механічного, електричного та термічного обладнання [9]. Холодна прокатка – це процес металообробки, який відбувається при температурі нижче температури рекристалізації матеріалу (зазвичай близько кімнатної температури). Холоднокатані деталі також мають покращену обробку поверхні, оскільки на них не утворюється окалина як на гарячекатаних деталях [10], при цьому гаряча прокатка може поліпшити продуктивність технології обробки металу [11].

Підтримка допустимих умов праці в прокатному виробництві України згідно з НПАОП 27.1-1.04-09 «Про затвердження правил охорони праці в прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу» [12] може бути досягнута шляхом дослідження величини та рівня шкідливих чинників у робочій зоні безперервного прокатного стану та розробки раціональних засобів захисту від шкідливих та небезпечних чинників виробничого середовища.

Так для отримання високої якості поверхні холоднокатаних листів одним з першочергових завдань є необхідність видалення окалини з поверхні гарячекатаної смугової сталі. Ефективність видалення окалини залежить від її

хімічного складу, структури, товщини та умов травлення. Важливими характеристиками, що прискорюють процес травлення окалини, є її суцільність (пористість) та наявність тріщин [13].

Саме тому актуальним питанням в прокатному виробництві України постає аналіз сьогоденних технологічних аспектів травлення металу, аналіз його перспектив та проблем.

Мета роботи – розширення уявлень про механізм травлення металу, види та розмірі травильних ванн, окреслити перспективи та проблеми утилізації травильних розчинів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні теоретичні та прикладні завдання:

- проаналізувати відомі види травлення чорних та кольорових металів та сплавів;
- розглянути сучасні способи утилізації відпрацьованих кислотних розчинів в умовах металургійного виробництва;
- проаналізувати засоби захисту від виділень парів кислот в травильному відділенні;
- розглянути можливості застосування бортових відсмоктувачів для утилізації парів кислот в травильних відділеннях металургійних підприємств;
- розглянути можливості застосування соляно-кислотного травлення металу в умовах ПАТ «Запоріжсталь»;
- проаналізувати вплив розмірів травильних ванн та температури виробничого середовища на продуктивність двохбортних відсмоктувачів;
- проаналізувати умови праці в травильному відділенні цеху холодної прокатки.

1 ТРАВЛЕННЯ МЕТАЛУ: МЕХАНІЗМ, ВИДИ ТА ОСОБЛИВОСТІ

1.1 Закономірності та механізм травлення металу

Ефективність процесу травлення залежить від типу сталі та типу обробки поверхні. Наприклад високолеговані сталі, такі як неіржавіюча сталь, потрібно травити у двостадійний процес, часто з використанням травильних ванн, що містять азотну (HNO_3) та плавикову (HF) кислоти. У всіх типах травильних ванн вміст кислоти є критичним параметром для забезпечення якості травлення. Ідеальний вміст кислоти для сталі становить приблизно 5–15 % для соляної кислоти (HCl) та 7–20 % для сірчаної кислоти (H_2SO_4) [14]. При чому слід зазначити, що травлення в соляній кислоті приводить до отримання більш чистої поверхні, ніж травлення в сірчаній кислоті. Також великою перевагою використання для травлення металу соляної кислоти є можливість повної регенерації відпрацьованих солянокислих травильних розчинів. При застосуванні ж соляно-кислотного травлення втрати металу приблизно на 25 % менше, ніж при травленні в сірчаній кислоті внаслідок зменшення розчинення чистого заліза [15]. Кінетика травлення гарячекатанної сталеві смуги більш детально розглядається в роботах [16–18], а вплив мікроструктури окалини на процес травлення гарячекатаної сталеві смуги в роботах [19–22]. Кількість видаленої окалини зазвичай становить від 1 % до 3 % від маси сталі [23].

У промисловості розрізняють кілька видів травлення: електролітичне (катодне та анодне); хімічне; плазмове.

Електролітичне травлення (рис. 1.1) – це обробка металів шляхом занурення виробів у кислотний чи сольовий електроліт.

Хімічне травлення (рис. 1.2) передбачає використання сірчаної, соляної чи азотної кислоти. Процес очищення здійснюється за рахунок виділення водню при контакті з кислотним середовищем. Одним з різновидів цього способу є фотохімічне травлення.



Рисунок 1.1 – Процес електrolітичного травлення [24]



Рисунок 1.2 – Процес хімічного травлення [24]

Плазмове травлення або інно-плазмове («сухе» травлення) (рис. 1.3) передбачає зняття верхнього шару металевого виробу шляхом бомбардування деталі іонами інертних газів [24].



Рисунок 1.3 – Процес плазмового травлення

Травлення металу пастами застосовують як вид очищення для листового прокату з двошарової сталі, наприклад, нержавіючої сталі X18H10T і Ст3. Травильну пасту готують з 200–250 г/л H_2SO_4 , 150–175 г/л $NaCl$ та 15–20 г/л $NaNO_3$. У розчин вводять подрібнену вогнетривку глину до отримання сметаноподібної консистенції. Пасту наносять пензлем на поверхню листів корозійностійких, потім їх укладають горизонтально і витримують протягом доби. Після чого пасту змивають водою і біметал труять за режимом для вуглецевої сталі протягом 10–15 хв., промивають, пасивують і сушать. Для слабого травлення (видалення оксидів) рекомендують насичені водні розчини міді сульфату, сильно підкислені соляною кислотою. Для травлення застосовують також царську горілку (суміш концентрованих кислот): 3 год. HCl + 1 год. HNO_3 . Одночасне травлення та фарбування в темний колір поверхні нержавіючих сталей досягається в розчині, що містить 250 см³ концентрованої HCl і 750 мл води, який додають 50 г нітрату вісмуту і 50 г телуристої кислоти. Для цих же цілей (травлення та фарбування) можна використовувати суміш, що складається з концентрованого розчину 800 мл

FeCl_3 та концентрованої HCl (20 мл) [25].

Так, наприклад, для травлення сталі, алюмінію, міді, латуні застосовується паста GRAFMETAL (рис. 1.4). Вона дозволяє локально видалити невелику кількість металу, створюючи постійний малюнок на його поверхні, який неможливо стерти або змити [26].

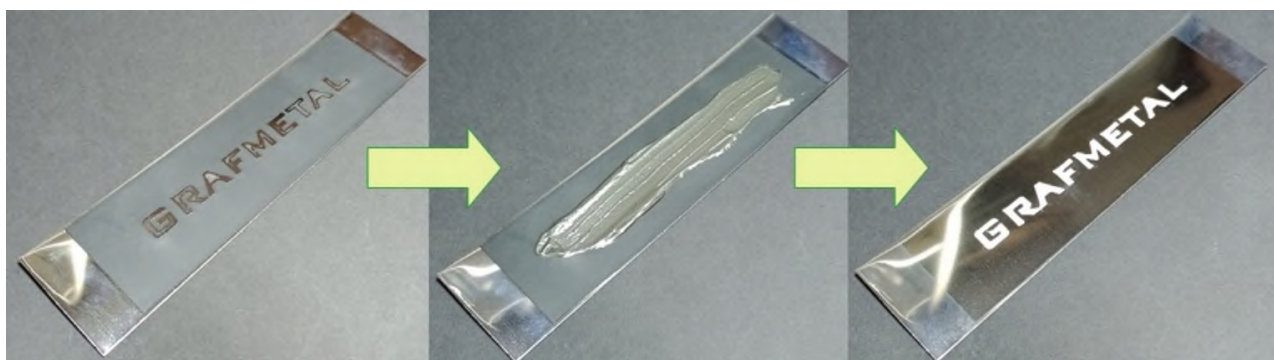


Рисунок 1.4 – Процес травлення металевої поверхні пастою GRAFMETAL [26]

Розглянемо особливості травлення різних видів сталей.

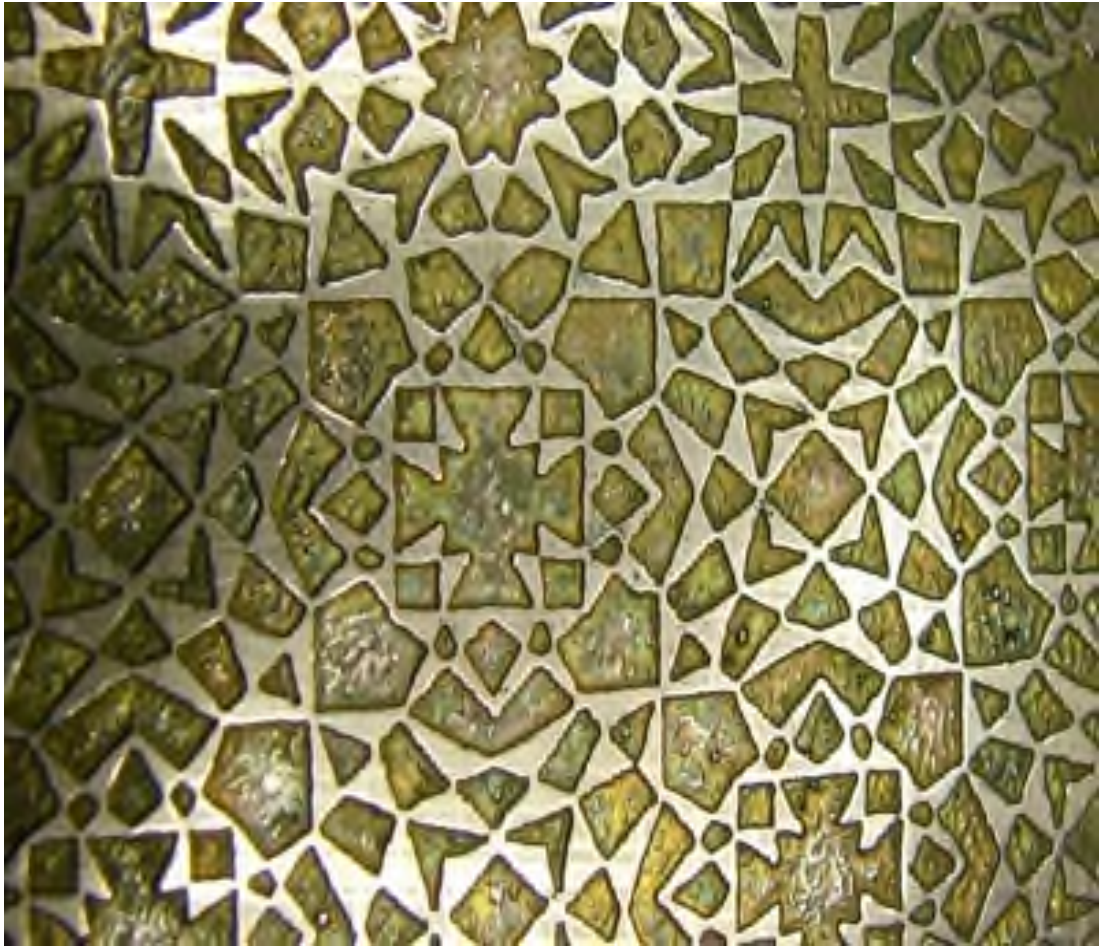
Наприклад, вуглеводні сталі травлять в сірчаному (8–20 %) або соляному (10–20 %) розчинах. До його складу обов'язково повинні входити інгібітори (наприклад, КФ-03).

Нержавіючу та жаростійку сталі обробляють в розчині соляної (12 %), сірчаної (12 %) та азотної (1 %) кислот. В цьому випадку травлення металу кислотою може відбуватися в кілька етапів. Спочатку його поміщають в розчин соляної кислоти, а потім азотної.

Лужними (10–20 %) та кислотними розчинами обробляють алюмінієві вироби. Додавання натрію в луг зробить процес більш рівномірним.

Титан спочатку занурюють в оксид натрію, а потім обробляють сірчаною, азотною або фтористоводневою кислотами.

Мідь (рис. 1.5) обробляється перекисом водню та хромовою кислотою. Застосовуються для цього і солі. Можливе травлення металу хлорним залізом, хлорною міддю та персульфатом амонію [24].



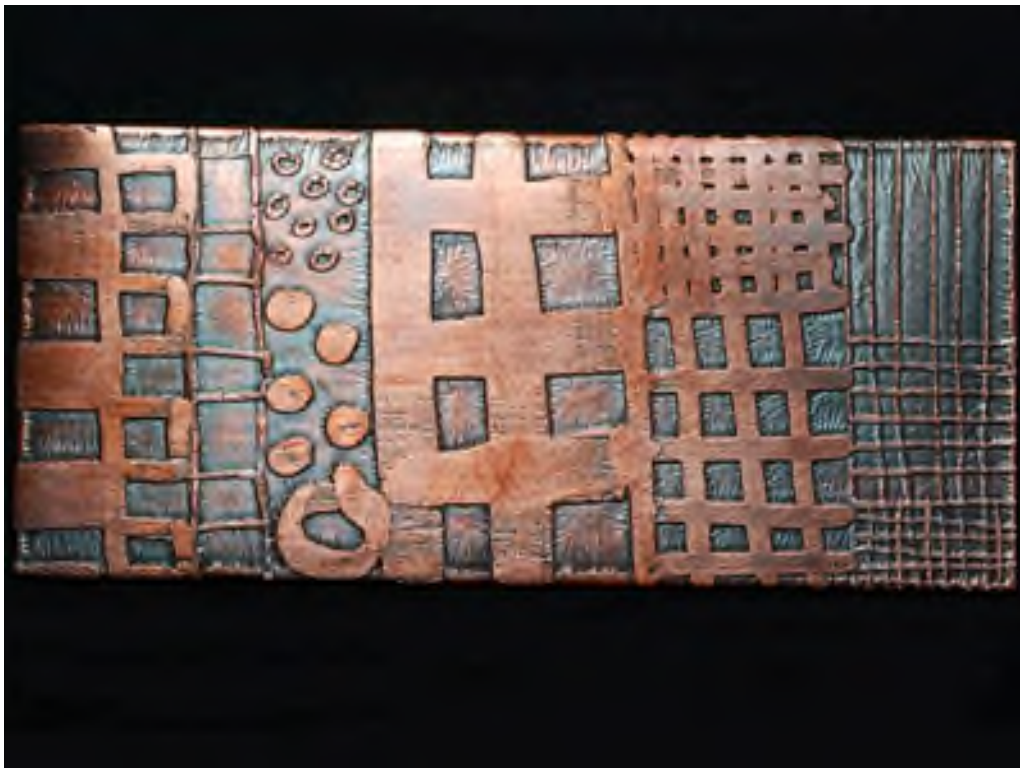
a



б



В



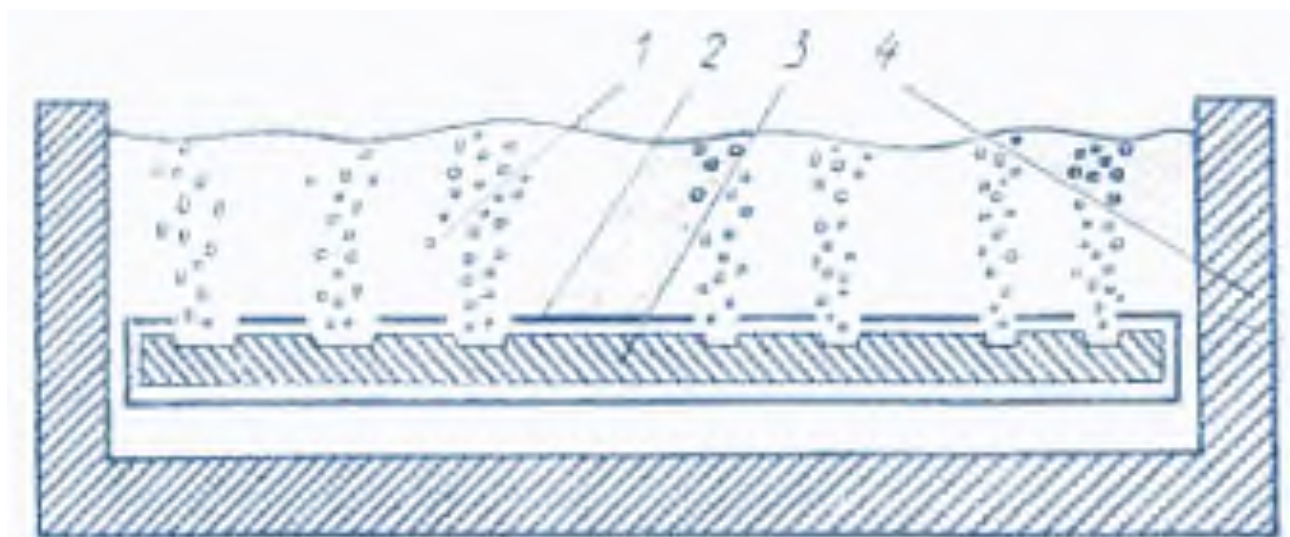
Г

а – травлення латуні, фактурна панель; б – травлення латуні, фактурна з об'ємом; в – травлення міді, фактурна панель; г – травлення міді, поверхня з визирунком

Рисунок 1.5 – Вироби з латуні та міді після травлення [27]

Суть технологічного процесу виготовлення художніх виробів методом травлення (рис. 1.6) полягає в наступному: металевий об'ємний виріб або пластину місцями покривають кислототривким лаком, а потім опускають в травильну ванну, де під дією травильника на відкритих ділянках виробу утворюється поглиблений малюнок. Процес хімічного травлення нескладний, але художнє виконання набагато важче, оскільки вимагає ретельної, клопіткої роботи із створенням композиції малюнка і чіткого перенесення його на підготовлений виріб.

Перед процесом травлення поверхню виробу необхідно зачищати, шліфувати, полірувати, знежирювати, промивати і просушувати. Потім металевий виріб на протязі 1–2 хв. переносять в 15 %-ий розчин сірчаної кислоти і добре промивають в гарячій воді, щоб покривний лак міцно тримався на поверхні металу і в процесі травлення не відшаровувався. Для покриття зазвичай застосовують бітумний лак (наприклад, БТ-577 або БТ-783) або покривну суміш. Компоненти при постійному перемішуванні сплаваються в металевій банці до утворення однорідної маси.



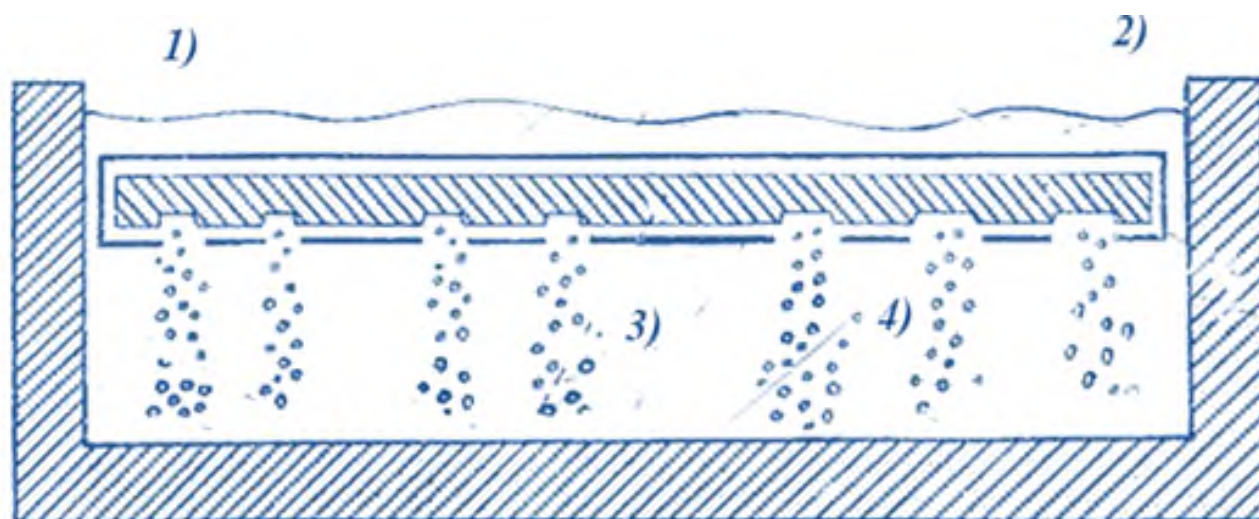
- 1 – травильний розчин; 2 – шар захисного лаку; 3 – металевий виріб;
4 – корпус травильної ванни

Рисунок 1.6 – Схема процесу хімічного травлення [28]

До процесу хімічного травлення відноситься також аналогічний процес

травлення металу азотною кислотою – травлення хлоридом заліза (FeCl_3). Спочатку поверхню металу покривають кислотійким захисним розчином. Наступний етап – ділянки, які піддаються дії травильного розчину (візерунок) вишкрябують рисуwalkою (так званою голкою).

Виріб опускають в травильну ванну (вверх дном) де відкриті ділянки металу піддаються дії розчиненого в теплій дистильованій воді хлориду заліза, внаслідок чого на поверхні створюється поглиблений малюнок (рис. 1.7) Перед травленням поверхня заготовки повинна бути повністю знежирена, інакше захисний розчин не триматиметься на ній. В якості покриття може застосовуватися також бітумний лак, який володіє високою кислотостійкістю. Підігрітий розчин хлориду заліза діє на метал швидше, й рівномірніше протравлює відкриті ділянки виробу [28].



- 1 – травильний розчин; 2 – корпус травильної ванни; 3 – захисний шар лаку;
4 – металевий виріб

Рисунок 1.7 – Схема процесу хімічного травлення [28]

Приклад впливу процесу хімічного травлення на зовнішній вигляд металевої деталі представлено на рис. 1.8.

Однак процес травлення не обов'язково повинен бути повністю кислотним, він може бути нейтральним або лужним. Так компанія Chemetall

має досвід травлення таких матеріалів як сталь, оцинкована сталь, алюміній, чавун або мідь, ґрунтується на використанні фосфатних сполук для видалення органічних та неорганічних забруднень, у тому числі явищ корозії.



а



б

Рисунок 1.8 – Металева деталь (а) та лист після (б) до та після хімічного травлення [29]

Безпосередньо на рис. 1.9 представлено лінію безкислотного травлення (EPS-очищення) Red Bud Industries (США). Лінія виготовляються у двох форматах: для очищення гарячекатаного металу у смузі або у листах.



Рисунок 1.9 – Лінія безкислотного травлення Red Bud Industries (США)

Процес безкислотного травлення деталей представлено на рис. 1.10.

Таким чином, на сьогодні успішна робота травильних ліній залежить від:

- якості окалини на смузі;
- активності травильних розчинів, яка визначає час повного стравлювання окалини;
- якості підготовки окалини смуги перед зануренням в травильний розчин;
- складу і взаємного розташування механізмів лінії.



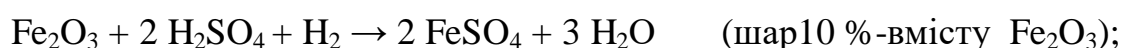
а

б

а – перед обробкою: поверхня з окислами після зварювання; б – після обробки: цинкофосфорткування з нейтральним травленням

Рисунок 1.10 – Процес безкислотного травлення деталей

При травленні заліза та його окислів в розчинах сірчаної чи соляної кислот поряд з утворенням солей заліза одночасно виділяється водень. Реакції розчинення сірчаної кислоти трьох оксидів заліза, що містяться в окалині, більш точно можна описати так:



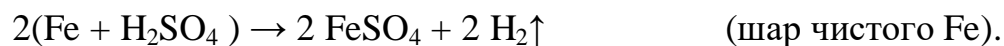
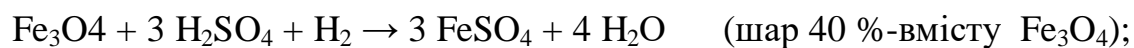


Схема загального розподілу окалини по поверхні рулону представлена на рис. 1.11. Склад та розташування шарів окалини від поверхні розділу метал - окалина у вуглецевій сталі представлено на рис. 1.12 [31].

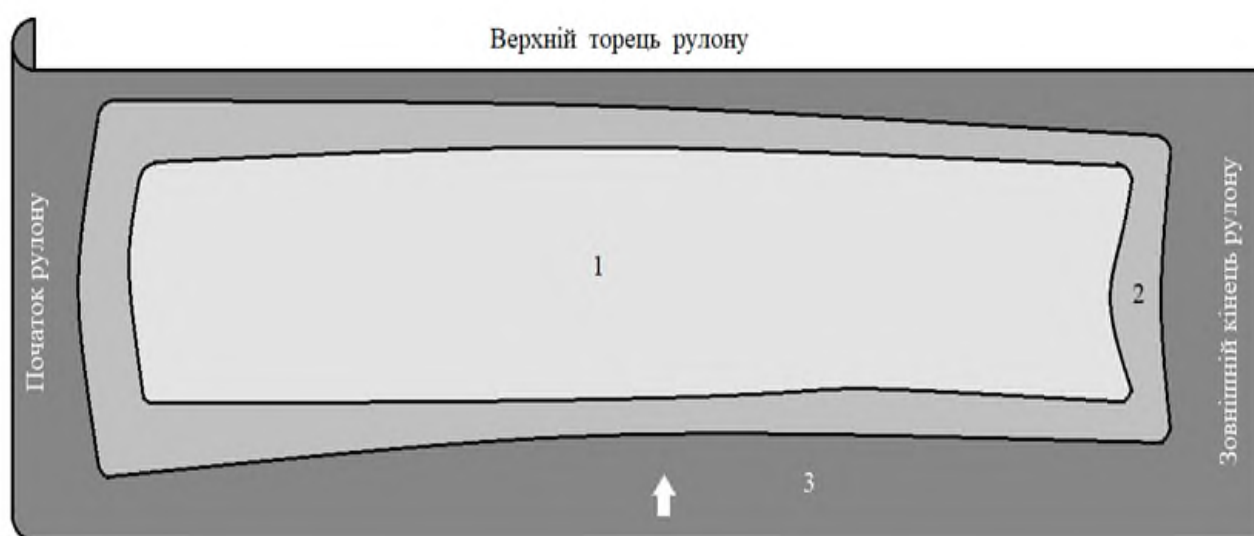


Рисунок 1.11 – Схема загального розподілу окалини по поверхні рулону [31]

Поверхня рулону прокату перед процесом травління є багатошарова. Структура і фізико-хімічні процеси під час охолодження, яке походить від внутрішніх шарів смуги до поверхні рулону, представлені на рис.1.13.

На сьогодні встановлено загальні закономірності кислотного травлення сталей:

- активність розчину зростає тільки до певної межі, а далі починає падати;
- підвищення температури розчину до температури, близької до кипіння,

завжди веде до збільшення його активності;

– в процесі травління розчин насичується гідратами сульфатів заліза структури $\text{FeSO}_4 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$ при $n=1-7$, які з охолодженням розчину або при перевищенні певних концентрацій FeSO_4 в розчині випадають у вигляді кристалів аж до зупинки процесу травління. Але з підвищенням температури розчину до температури, близької до кипіння, при концентрації групи мультігідратів сульфату заліза в діапазоні 5–15 % час травління суттєво зменшується.

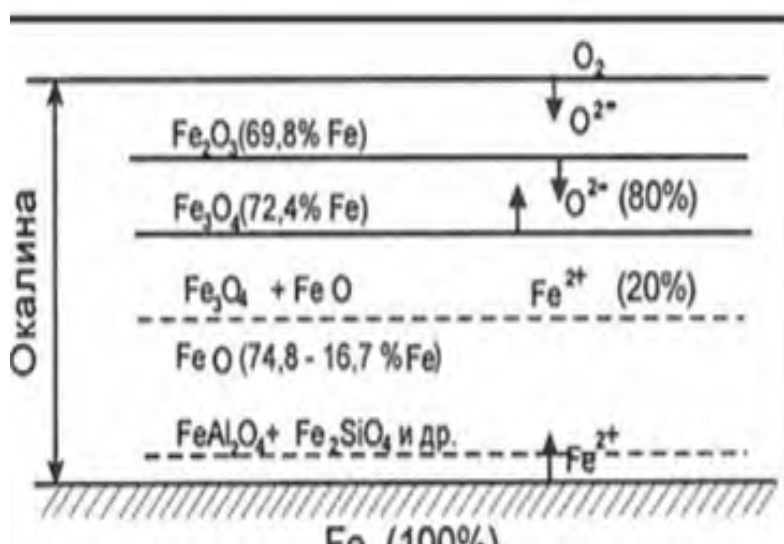


Рисунок 1.12 – Склад та розташування шарів окалини від поверхні розділу метал - окалина у вуглецевій сталі

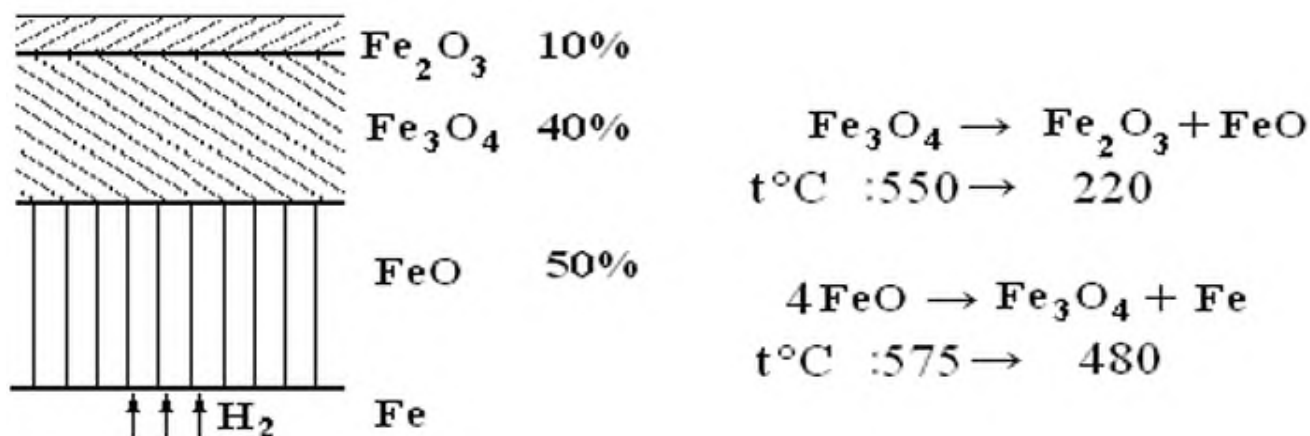


Рисунок 1.13 – Структура поверхні сталюного прокату під час охолодження [31]

1.2 Огляд безперервно-травильних агрегатів та травильних ванн

На рис. 1.12 представлено загальний вид безперервно-травильного агрегату (БТА) травлення вуглецевої листової сталі в розчині сірчаної кислоти.



Рисунок 1.14 – Загальний вид БТА травлення вуглецевої листової сталі в розчині сірчаної кислоти [31]

Зазвичай травильні ванни виготовляються литими, без зварних швів та зазорів. Завдяки відсутності швів гарантується висока герметичність ванн. Серед виробників травильних ванн слід виділити фірму FORTEX - Water Technologies (Республіка Белорусь) (рис. 1.15), ТОВ «Технопласт-Плюс» (Україна) (рис. 1.16), KOERNER KVK (Австрія) (рис. 1.17) та інші.

До всіх травильних ванн висувається низка основних вимог, включно з герметичністю, хімічною інертністю пластику до розчинів, які в ній розміщені, можливістю створювати та підтримувати вказаний тепловий режим, комфорт в обслуговуванні та безпеці експлуатації.

Наприклад, поліпропіленові травильні ванни вважаються одними з найбільш перспективних варіантів. Вони мають підвищену хімічну стійкість, низьку водо- та паропроникність, термостійкість (до 100 °С робочого розчину), стійкість до зношування, підвищений опір, що діє на нього навантаженням ударного характеру, малим водопоглинанням, прийнятною механічною

міцністю, чудовими діелектричними якостями. Цей матеріал зовсім не боїться агресивного впливу різних водних розчинів солей, слабо сприйнятливий до кислот і лугів. Поліпропілен витримує температуру від -5 до +90, поліетилен – від -20 до +80 [32].

Травильне відділення Карагандінського металургійного комбінату (Казахстан) зображено на рис. 1.18.

Таким чином, травильна лінія (рис. 1.19) є однією з найважливіших ділянок виробництва для отримання високоякісного холодного прокату. Від ефективності та якості встановлених форсунок безпосередньо залежить якість металу, який надійде на ділянку холодної прокатки.



Рисунок 1.15 – Травильна ванна FORTEX - Water Technologies (Республіка Беларусь) [32]



Рисунок 1.16 – Травильна ванна ТОВ «Технопласт-Плюс» (Україна) [33]



Рисунок 1.17 – Травильна ванна фірми KOERNER KVK (Австрія) [34]



Рисунок 1.18 – Травильне відділення Карагандінського металургійного комбінату (Казахстан) [35]

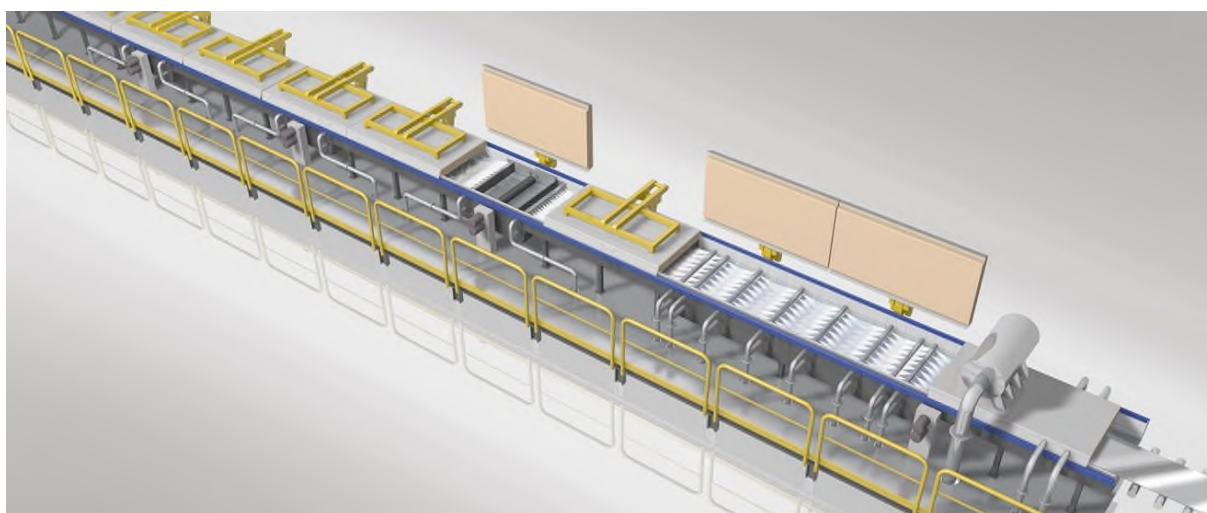


Рисунок 1.19 – Сучасна травильна лінія [36]

Завдяки оптимізації ліній травлення підвищується готовність до роботи з безліччю різних марок сталі, забезпечуючи контроль за натягом смуги, точність її напрямку, високий рівень управління якістю травлення, швидкоплинність і стабільність технологічних процесів та бездоганність відстеження смуги.

Так з метою отримання чистоти смуги найвищого рівня та високу якість поверхні за допомогою надійного та рентабельного технологічного процесу Primetals Technologies пропонує модульні травильні агрегати безперервної та періодичної дії. Агрегат безперервного травлення представлений на рис. 1.20. Його технічні характеристики:

- товщина смуги: 1,8 – 6 мм;
- ширина смуги: 600-1650 мм;
- швидкість обробки: 240 м/хв. [37].



Рисунок 1.20 – Агрегат безперервного травлення [37]

Модульні травильні агрегати поставляються з компактними окаліноломачами (рис. 1.21), а у замовника з'являється вибір між різними концепціями травлення (і Vox, чаші з вихровими потоками або дрібні ванни).



Рисунок 1.21 – Окаліноломач [37]

Баки іVox (рис. 1.22) мають чудову хімічну і термічну стійкість, замінюючи існуючі дрібні ванни.

Резервуар іVox (рис. 1.23) обладнаний усередині занурювальними коробами, через які пропускається смуга, що направляється роликами та опорами ковзання. У цьому процесі травлення використовується потужний потік зі зсувом, який формується вузьким каналом прямокутної форми занурювальних коробів для посилення реакції кислотного розчину; в даному випадку немає необхідності в електронасосі, який потрібен у конструкціях із звичайними баками струминного травлення.



Рисунок 1.22 – Баки травлення і Вох [37]



Рисунок 1.23 – Резервуар для травлення і Вох [37]

Травильне відділення Kobelco (Японія) представлено на рис. 1.24. Компонування лінії безперервного травлення із станом тандемом холодної прокатки (PL-TCM) представлено на рис. 1.25.



Рисунок 1.24 – Травильне відділення Kobelco (Японія) [37]

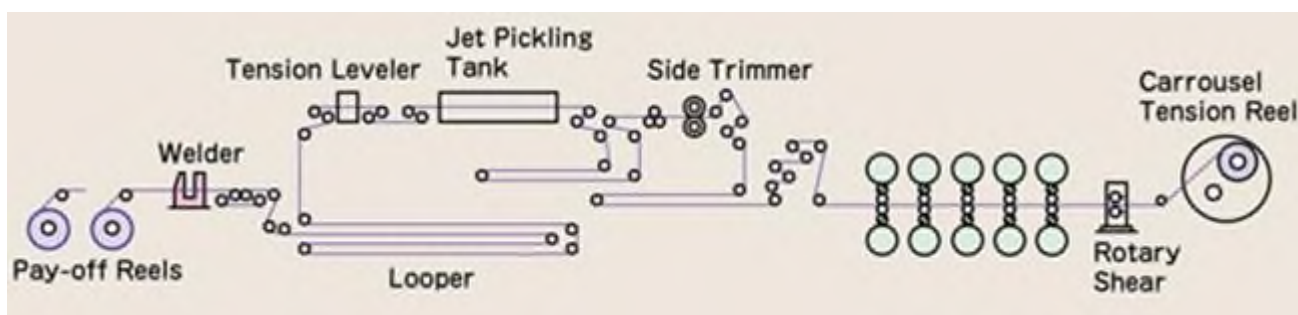


Рисунок 1.25 – Компонування лінії безперервного травлення із станом тандемом холодної прокатки (PL-TCM)

Травильні лінії періодичної дії з унікальними шевронними ваннами малої глибини мають значні переваги щодо інвествират і експлуатаційної гнучкості (при частій зміні типорозмірів сталевих смуги), коли йдеться про річну продуктивність до 1 млн тонн смуги різних марок.

Процес регенерації травильних розчинів гальванічного виробництва представлено на рис. 1.26.



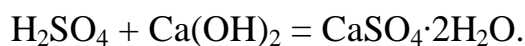
Рисунок 1.26 – Регенерація травильних розчинів гальванічного виробництва [38]

1.3 Способи переробки відпрацьованих травильних розчинів

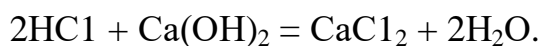
На сьогодні серед способів переробки відпрацьованих травильних розчинів (ВТР) слід відзначити наступні:

1. Нейтралізація вапняним молоком.

У випадку сірчаноокислотного травлення при цьому утворюється гіпс за реакцією:



При нейтралізації відпрацьованих травильних розчинів солянокислотного травлення утворюється хлорид кальцію за реакцією:



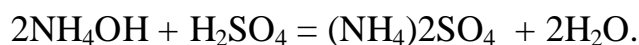
Слід зазначити, що шлам, який утворюється при нейтралізації відпрацьованих травильних розчинів сірчано-кислотного травлення, може скидатися у шламонакоплювач або збезводнюватися на фільтр-пресах. Збезводнений осад, в свою чергу, вивозиться у відвал або реалізується як гіпс.

2. Вакуум-кристалізація з отриманням залізного купоросу ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Розчин сірчаної кислоти при цьому використовується повторно. Залізний купорос може бути реалізований як товарний продукт. Цей спосіб вигідніший за перший, так як залізний купорос приблизно в 5 разів дорожчий за гіпс і його утворюється більше.

3. Аміачна нейтралізація.

Відпрацьовані травильні розчини нейтралізується гідроксидом амонію із отриманням товарного продукту – сульфату амонію за реакцією:



Сульфат амонію використовується у виробництві добрив. Третій спосіб найбільш вигідний і може бути навіть рентабельним [39].

1.4 Розрахунок швидкості травлення

Розрахунок швидкості травлення є найважливішим етапом в матеріалознавстві та інжинірингу, особливо в контексті мікрівиробництва, де потрібен високоточний контроль над видаленням матеріалу. Швидкість

травлення вказує, наскільки швидко матеріал видаляється з підкладки в таких процесах, як мокре та сухе травлення, які є фундаментальними для напівпровідникових пристроїв, мікроелектромеханічних систем та інших структур мікронного масштабу.

Швидкість травлення (ER) можна розрахувати за формулою:

$$ER = \frac{D}{T},$$

де ER – швидкість травлення в мікронах за хвилину;

D – загальна глибина травлення в мікронах;

T – загальний час у хвилинах.

Приклад розрахунку

З урахуванням загальної глибини (D) 3 мікрони при травленні протягом загального часу (T) 20 хвилин швидкість травлення (ER) розраховується таким чином [40]:

$$ER = \frac{D}{T} = \frac{3}{20} = 0,15 \text{ – мікрон/хв.}$$

2 СПОСОБИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ КИСЛОТНИХ РОЗЧИНІВ В УМОВАХ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

При травленні металу розчинами кислот утворюються відпрацьовані травильні розчини, склад яких залежить від вихідних компонентів, що входять до складу травильних розчинів, від способу травлення, його тривалості, періодичності заміни розчину та іншого [41, 42]. Приблизний склад відпрацьованих травильних розчинів згідно роботам [43, 44] наступний: температура розчину – 20–30 °С; водневий показник, рН – 1–2; концентрація ферум(II) хлориду – 120–250 г/л; концентрація соляної кислоти – 20–60 г/л.

Відомо, що скидання великої кількості відпрацьованих травильних розчинів у водоймища завдає істотної шкоди навколишньої природі. По-перше, воно викликає отруєння водойм, збільшення солевмісту в поверхневих та ґрунтових водах, засолення та залужування ґрунтів на прилеглих до водойм територіях. По-друге, відпрацьовані травильні розчини можуть вступати в хімічні реакції та провокувати не лише пожежі, а й навіть вибухи [45]. Запобігання та контроль забруднення навколишнього середовища повинен відповідати Директиві про промислові викиди 2010/75/ЄС (Directive 2010/75/EU on industrial emissions) [46].

Слід зазначити, що найстарішим і найпростішим способом боротьби з відпрацьованим травильним розчином є метод нейтралізації та подальшої утилізації [47–51]. Стічні води металургійних виробництв часто містять відпрацьовані кислоти в незначній концентрації, тому їх часто просто нейтралізують лугами. Метод нейтралізації застосовують за відсутності у цих водах органічних домішок. Процес утилізації стічних вод контролюється значенням рН [52]

Авторами роботи [53] запропоновано спосіб утилізації відпрацьованих кислотних розчинів із вилученням металів для повторного використання. Схема переробки складається з двох стадій: осадження розчинених металів у вигляді оксидів та відновлення оксидів із отриманням шихтової заготовки.

Перевагами запропонованої технології знешкодження відпрацьованих розчинів травильних та гальванічних ванн з подальшою утилізацією цінних кольорових металів (нікелю, хрому, марганцю та інших) є [54]:

- суттєве зниження витрат на забезпечення вимог екологічної безпеки стоків;
- можлива організація як спільного, так і сепаратного вилучення металів із розчинів;
- продуктом переробки є екологічно нешкідлива товарна шихтова заготівля чи готовий метал;
- процес може бути здійснений на модульній ділянці поблизу місця утворення відходів, тому не потребує суттєвих капітальних та експлуатаційних витрат.

Відпрацювання технології в заводських умовах показало ступінь вилучення металів: нікелю – 80–84 %, марганцю 67–72 %. Процес переробки може бути здійснений поблизу місця утворення відходів і вимагає істотних капітальних і експлуатаційних витрат.

Спосіб утилізації відпрацьованих травильних розчинів, що містять сульфати та хлориди заліза (II), розглядається у роботі [55]. Відпрацьовані травильні розчини утилізують окисленням катіонів заліза (II) із застосуванням окислювача та цільовим використанням перероблених розчинів. У якості окислювача застосовують концентрат гіпохлориту натрію, що містить гіпохлорит натрію і гідроксид натрію. Отриману суспензію обробляють мінімальною кількістю мінеральної кислоти до розчинення осаду, а перероблені розчини використовують як коагулянти у процесах водоочищення. Тобто запропонований спосіб дозволяє здійснити кількісну, безвідходну утилізацію залізовмісних відпрацьованих травильних розчинів сталепрокатних заводів та виділити з них ефективні коагулянти для водоочищення.

У роботі [41] встановлено, що найбільш перспективними методами обробки солянокислих відпрацьованих травильних розчинів є методи з отриманням товарного продукту. Визначено, що переробку солянокислих

відпрацьованих травильних розчинів найбільш доцільно проводити з одержанням коагулянту. Авторами розроблена принципова апаратурно-технологічна схема переробки солянокислих відпрацьованих розчинів з отриманням коагулянту – ферум(III) хлориду.

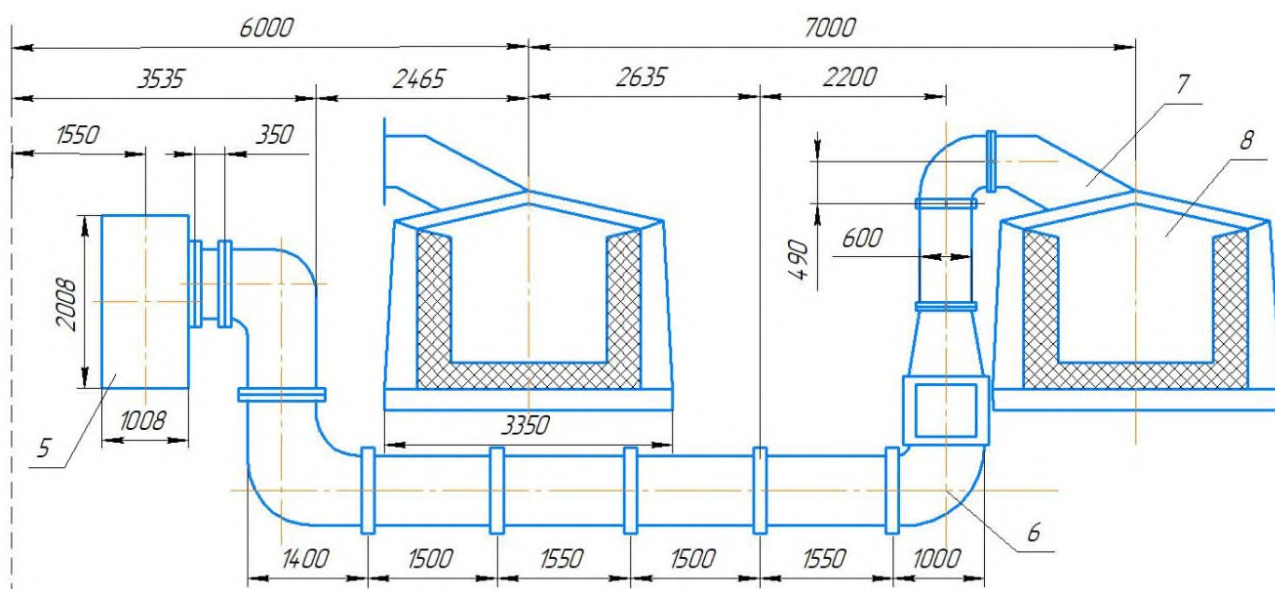
3 ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТРАВЛЕННЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТУ В УМОВАХ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» ЗА РАХУНОК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ УЛОВЛЮВАННЯ ПАРІВ КИСЛОТ ТА ЇХ УТИЛІЗАЦІЇ

3.1. Застосування бортових відсмоктувачів для утилізації парів кислот в травильних відділеннях металургійних підприємств

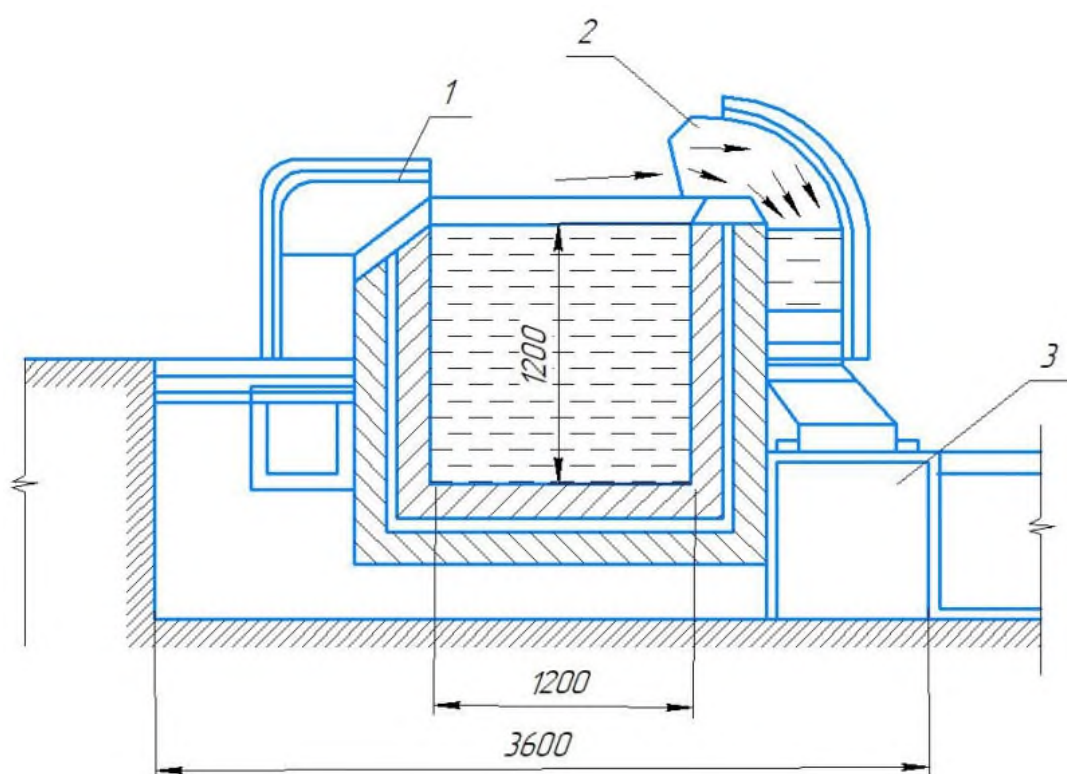
В умовах металургійних підприємств, зокрема травильних відділень, для видалення та утилізації парів кислот, зокрема сірчаної (H_2SO_4) або соляної (HCl), використовують різноманітні засоби вентиляції, серед яких слід виділити витяжну, припливну та загальнообмінну. Загальнообмінну вентиляцію використовують для покращення складу повітря в приміщенні, тобто подають додатково чисте повітря з допомогою припливної вентиляції. При використанні сірчаної кислоти на безперервному травильному агрегаті допускається пристрій відсмоктування зверху укриття (рис. 3.1).

Недоліком такої конструкції є велике винесення парів розчину. При застосуванні соляної кислоти, яка випаровується в багато разів інтенсивніше сірчаної кислоти, проєктуються конструкції відсмоктування парів з розрахунком на мінімальне винесення парів.

Схеми укриття травильної ванни з розчином соляної кислоти передбачають відсмоктування газів, що виділяються з нещільності укриття в торцях агрегату, а також у місцях входу і виходу смуги з агрегату. Система вентиляції забезпечує створення розрідження, що перешкоджає виділенню парів води в навколишнє середовище. Через надзвичайно агресивне середовище вся система, починаючи від укриття до ванни труби, через яку викидається в атмосферу відпрацьоване повітря, повинна захищатися кислотостійкою ізоляцією або виконуватися з полімерів, стійких до різних кислот та агресивних середовищ.



а



б

а – видалення парів кислот з боку; б – видалення парів кислот з торців ванни; 1 – бортове здування; 2 – бортовий відсмоктувач з регулюючим пристроєм; 3 – залізобетонний відсмоктуючий комплекс; 4 – канал для здування; 5 – вентилятор; 6 – повітряпровід; 7 – зонт; 8 – травильна ванна

Рисунок 3.1 – Схема травильної ванни з видаленням парів кислот з боку та з торців ванни

При виконанні конструкції з полімерів необхідно враховувати, що всі елементи системи повинні бути розвантажені шляхом влаштування різних металевих опор. Всі елементи системи вентиляції повинні бути доступні для контролю і виробництва ремонтних робіт. Серед вдалих рішень слід виділити розміщення травильного агрегату піднятим над рівнем підлоги \approx на 3–4 м.

У травильних відділеннях металургійних підприємств для відводу з технологічних ванн аерозолів, що утворюються, використовується примусове газовидалення за рахунок створення розрідження над поверхнею дзеркала ванни. Технічно це забезпечується за допомогою одно- або двохбортових відсмоктувачів. Однобортові відсмоктувачі застосовують для вільно розташованих ванн, двохбортові – для ванн з обмеженим розташуванням біля стін приміщення травильного відділення.

Кількість повітря, яке видаляється за допомогою одно- та двохбортових відсмоктувачів, визначається в залежності від ширини та висоти травильної ванни; рівня рідини (сірчаної або соляної кислот) у ванні; рухливості повітря в приміщенні та різниці температур розчину і навколишнього повітря.

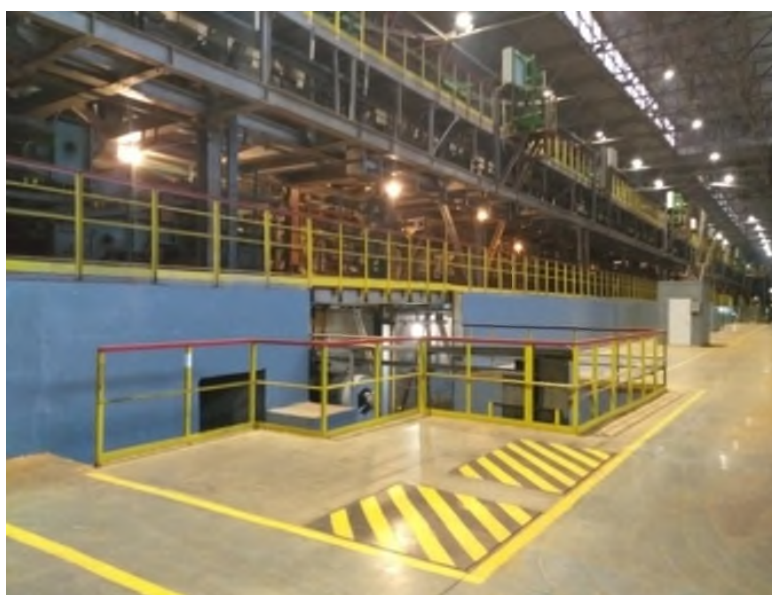
Однобортові відсмоктувачі застосовують для травильних ванн шириною до 600–800 мм. В цілому при ширині травильних ванн 800–1000 мм перевагу надають двохбортовим відсмоктувачам, а при ширині понад 1000 мм – бортовому відсмоктувачу з передувкою на поверхні ванни.

Слід зазначити, що чим більш токсичне виділення парів з поверхні розчину, тим ближче до рівня розчину у травильній ванні потрібно розташувати щілини, щоб не допустити потрапляння небезпечних та шкідливих речовин в зону дихання працюючих [56].

4.2. Застосування соляно-кислотного травлення металу в умовах ПАТ «Запоріжсталь»

На сьогодні в умовах ПАТ «Запоріжсталь» встановлений безперервно-травильний агрегат БТА-4 (рис. 3.2), продуктивністю близько 1350 тис.т/рік

травленого металу. БТА-4 дає змогу повністю припинити викиди парів сірчаної кислоти та скидання промислових вод в річку Дніпро від цеху холодної прокатки №1 (ЦХП-1) та перейти на соляно-кислотне травлення. В зв'язку з цим для відведення шкідливих парів кислот з технологічних ванн доцільно використовувати двохбортові відсмоктувачі [56, 57]. Оптимальні умови травлення створюються тоді, коли окалина містить максимальну кількість FeO , а Fe_2O_3 при цьому відсутній, що підтверджується результатами металографічних досліджень (рис. 3.3).





a





б

а – безперервно-травильний агрегат БТА-4; б – ванна травильного відділення

Рисунок 3.2 – Травильне відділення ПАТ «Запоріжсталь»

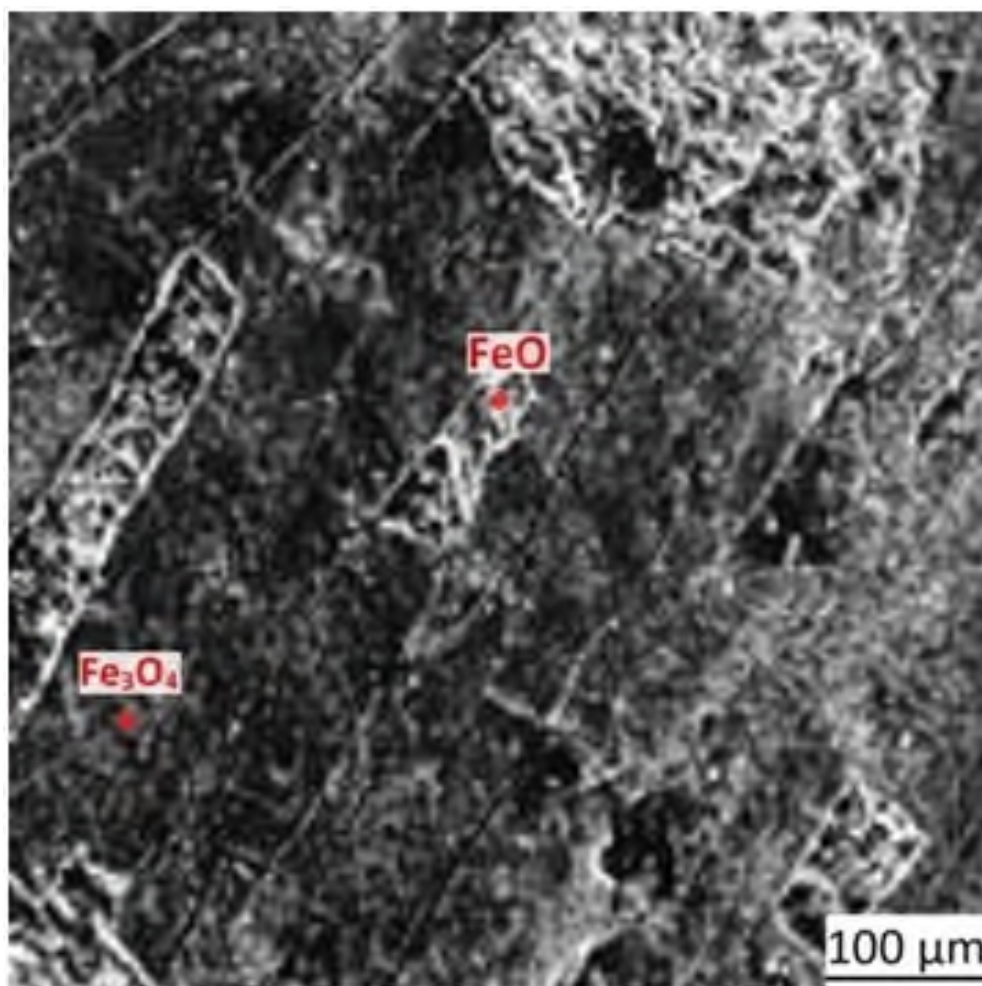


Рисунок 3.3 – Мікроструктура окалини заліза на гарячекатаному прокаті

3.3. Вплив розмірів травильних ванн та температури виробничого середовища на продуктивність двохбортових відсмоктувачів

За допомогою розрахунку продуктивності витяжної вентиляції в травильному відділенні проаналізуємо вплив розмірів травильних ванн та температури виробничого середовища на продуктивність двохбортових відсмоктувачів.

Продуктивність вентиляції в травильному відділенні (V_n , м³/год.) визначалася за формулою [55]:

$$V_n = 3600 \times U \times a \times l, \quad (3.1)$$

де a – ширина травильної ванни, м;

l – довжина травильної ванни, м;

U – середня швидкість підйому аерозолу над травильною ванною за рахунок конвективних потоків, м/с:

$$U = 0,155 \times \sqrt[3]{Q_0}, \quad (3.2)$$

де Q_0 – кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт:

$$Q_0 = a(t_g - t_{нов}) \times \frac{a \times l}{1000}, \quad (3.3)$$

де t_g – температура рідини у ванні, °С;

$t_{нов}$ – температура повітря в приміщенні, °С;

a – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м²·град.:

$$a = 2,05 \times \sqrt[3]{t_g - t_{нов}}. \quad (3.4)$$

Основні розміри травильних ванн наступні: довжина ванни від 5 до 8 м та

ширина ванни від 0,8 до 1,4 м. Температура рідини у травильній ванні складає 60 °С. Температура повітря навколо травильної ванни (в залежності від пори року) знаходиться в межах від 16 до 40 °С.

Обробка розрахункових даних залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від розмірів травильної ванни проводилася кореляційно-регресійним методом в програмі Excel з оцінкою коефіцієнту детермінації R^2 за допомогою лінійної регресії. Величина достовірності апроксимації відображала близькість значення лінії тренду до розрахункових даних.

Змінюючи параметри травильної ванни (довжину від 5 до 8 м та ширину від 0,8 до 1,4 м), температуру рідини у ванні (60 °С) та температуру повітря навколо ванни (від 16 до 40 °С) згідно з формулами (4.1–4.4), отримуємо розрахункові данні продуктивності вентиляції (табл. 3.1–3.28).

Аналіз залежностей, приведених на рис. 3.4, показує, що збільшення продуктивності системи витяжної вентиляції в травильному відділенні прямо пропорційно залежить від зростання значень ширини та довжини травильної ванни, що пов'язано із підвищенням площі відкритої поверхні. При однакових розмірах травильної ванни необхідна продуктивність вентиляції в холодну пору року на 29,4 % вище ніж в теплу пору року. За доцільний діапазон ширини травильної ванни обрано інтервал 0,9–1,2 м. Наприклад, приймаючи довжину травильної ванни 8 м та температуру повітря навколо ванни 16 °С, продуктивність вентиляції в даному діапазоні знаходиться в межах від 45278 до 9549 м³/год. (рис. 3.4а, зелена крива). При цьому обробка розрахункових даних залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни показала, що коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,9993, тобто представлена залежність на 99,93 % описують лінійну лінію тренда.

Встановлено, що зростання температури від 16 до 40 °С прямо пропорційно знижує продуктивність вентиляції приблизно на 71 % (рис. 3.4), при цьому збільшення ширина ванни з 0,8 м до 1,4 м збільшую продуктивність вентиляції приблизно на 48 % (рис. 3.5).

Таблиця 3.1 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 5,0 м та ширині травильної ванни 0,8 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,27375	0,8	5,0	0,16802	2419,481
7,010901	20	1,121744	0,8	5,0	0,161051	2319,132
6,768951	24	0,974729	0,8	5,0	0,153683	2213,038
6,508344	28	0,833068	0,8	5,0	0,145845	2100,17
6,225007	32	0,697201	0,8	5,0	0,137441	1979,157
5,913223	36	0,567669	0,8	5,0	0,12834	1848,102
5,564556	40	0,445164	0,8	5,0	0,118351	1704,254

Таблиця 3.2 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 5,5 м та ширині травильної ванни 0,8 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,401125	0,8	5,5	0,173443	2747,34
7,010901	20	1,233919	0,8	5,5	0,16625	2633,393
6,768951	24	1,072202	0,8	5,5	0,158644	2512,922
6,508344	28	0,916375	0,8	5,5	0,150553	2384,76
6,225007	32	0,766921	0,8	5,5	0,141878	2247,348
5,913223	36	0,624436	0,8	5,5	0,132483	2098,535
5,564556	40	0,489681	0,8	5,5	0,122171	1935,194

Таблиця 3.3 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 6,0 м та ширині травильної ванни 0,8 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,5285	0,8	6,0	0,178547	3085,299
7,010901	20	1,346093	0,8	6,0	0,171142	2957,335
6,768951	24	1,169675	0,8	6,0	0,163313	2822,044
6,508344	28	0,999682	0,8	6,0	0,154984	2678,116
6,225007	32	0,836641	0,8	6,0	0,146053	2523,801
5,913223	36	0,681203	0,8	6,0	0,136382	2356,682
5,564556	40	0,534197	0,8	6,0	0,125767	2173,248

Таблиця 3.4 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 6,5 м та ширині травильної ванни 0,8 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,655875	0,8	6,5	0,183375	3432,786
7,010901	20	1,458267	0,8	6,5	0,17577	3290,409
6,768951	24	1,267148	0,8	6,5	0,167729	3139,882
6,508344	28	1,082988	0,8	6,5	0,159174	2979,743
6,225007	32	0,906361	0,8	6,5	0,150003	2808,049
5,913223	36	0,73797	0,8	6,5	0,14007	2622,108
5,564556	40	0,578714	0,8	6,5	0,129167	2418,014

Таблиця 3.5 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 7,0 м та ширині травильної ванни 0,8 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,78325	0,8	7,0	0,187962	3789,305
7,010901	20	1,570442	0,8	7,0	0,180166	3632,142
6,768951	24	1,36462	0,8	7,0	0,171924	3465,981
6,508344	28	1,166295	0,8	7,0	0,163155	3289,211
6,225007	32	0,976081	0,8	7,0	0,153754	3099,685
5,913223	36	0,794737	0,8	7,0	0,143573	2894,432
5,564556	40	0,62323	0,8	7,0	0,132398	2669,142

Таблиця 3.6 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 7,5 м та ширині травильної ванни 0,8 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,910625	0,8	7,5	0,192334	4154,422
7,010901	20	1,682616	0,8	7,5	0,184357	3982,115
6,768951	24	1,462093	0,8	7,5	0,175923	3799,944
6,508344	28	1,249602	0,8	7,5	0,166951	3606,141
6,225007	32	1,045801	0,8	7,5	0,157331	3398,353
5,913223	36	0,851504	0,8	7,5	0,146913	3173,324
5,564556	40	0,667747	0,8	7,5	0,135478	2926,326

Таблиця 3.7 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 8,0 м та ширині травильної ванни 0,8 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	2,037999	0,8	8,0	0,196517	4527,747
7,010901	20	1,794791	0,8	8,0	0,188366	4339,957
6,768951	24	1,559566	0,8	8,0	0,179749	4141,415
6,508344	28	1,332909	0,8	8,0	0,170581	3930,197
6,225007	32	1,115521	0,8	8,0	0,160752	3703,737
5,913223	36	0,908271	0,8	8,0	0,150108	3458,486
5,564556	40	0,712263	0,8	8,0	0,138424	3189,292

Таблиця 3.8 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 5,0 м та ширині травильної ванни 1,4 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	2,229062	1,4	5,0	0,202475	5102,382
7,010901	20	1,963052	1,4	5,0	0,194078	4890,758
6,768951	24	1,705776	1,4	5,0	0,185199	4667,019
6,508344	28	1,457869	1,4	5,0	0,175754	4428,994
6,225007	32	1,220101	1,4	5,0	0,165627	4173,793
5,913223	36	0,993422	1,4	5,0	0,154659	3897,416
5,564556	40	0,779038	1,4	5,0	0,142621	3594,058

Таблиця 3.9 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 5,5 м та ширині травильної ванни 1,4 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	2,451968	1,4	5,5	0,209011	5793,796
7,010901	20	2,159358	1,4	5,5	0,200343	5553,496
6,768951	24	1,876353	1,4	5,5	0,191177	5299,438
6,508344	28	1,603656	1,4	5,5	0,181427	5029,159
6,225007	32	1,342112	1,4	5,5	0,170973	4739,376
5,913223	36	1,092764	1,4	5,5	0,159652	4425,547
5,564556	40	0,856942	1,4	5,5	0,147225	4081,082

Таблиця 3.10 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 6,0 м та ширині травильної ванни 1,4 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	2,674874	1,4	6,0	0,215162	6506,508
7,010901	20	2,355663	1,4	6,0	0,206238	6236,647
6,768951	24	2,046931	1,4	6,0	0,196803	5951,337
6,508344	28	1,749443	1,4	6,0	0,186766	5647,81
6,225007	32	1,464122	1,4	6,0	0,176005	5322,38
5,913223	36	1,192106	1,4	6,0	0,16435	4969,947
5,564556	40	0,934845	1,4	6,0	0,151558	4583,108

Таблиця 3.11 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 6,5 м та ширині травильної ванни 1,4 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	2,897781	1,4	6,5	0,22098	7239,314
7,010901	20	2,551968	1,4	6,5	0,211815	6939,06
6,768951	24	2,217508	1,4	6,5	0,202125	6621,616
6,508344	28	1,89523	1,4	6,5	0,191816	6283,904
6,225007	32	1,586132	1,4	6,5	0,180764	5921,822
5,913223	36	1,291448	1,4	6,5	0,168794	5529,696
5,564556	40	1,012749	1,4	6,5	0,155656	5099,288

Таблиця 3.12 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 7,0 м та ширині травильної ванни 1,4 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	3,120687	1,4	7,0	0,226507	7991,169
7,010901	20	2,748273	1,4	7,0	0,217113	7659,732
6,768951	24	2,388086	1,4	7,0	0,20718	7309,319
6,508344	28	2,041017	1,4	7,0	0,196614	6936,533
6,225007	32	1,708142	1,4	7,0	0,185285	6536,846
5,913223	36	1,39079	1,4	7,0	0,173016	6103,995
5,564556	40	1,090653	1,4	7,0	0,159549	5628,886

Таблиця 3.13 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 7,5 м та ширині травильної ванни 1,4 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	3,343593	1,4	7,5	0,231777	8761,154
7,010901	20	2,944579	1,4	7,5	0,222164	8397,781
6,768951	24	2,558663	1,4	7,5	0,212000	8013,604
6,508344	28	2,186804	1,4	7,5	0,201188	7604,899
6,225007	32	1,830152	1,4	7,5	0,189595	7166,700
5,913223	36	1,490132	1,4	7,5	0,177041	6692,141
5,564556	40	1,168557	1,4	7,5	0,163261	6171,254

Таблиця 3.14 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни при довжині травильної ванни 8,0 м та ширині травильної ванни 1,4 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	3,566499	1,4	8,0	0,236817	9548,451
7,010901	20	3,140884	1,4	8,0	0,226995	9152,425
6,768951	24	2,729241	1,4	8,0	0,21661	8733,725
6,508344	28	2,332591	1,4	8,0	0,205563	8288,292
6,225007	32	1,952162	1,4	8,0	0,193718	7810,716
5,913223	36	1,589474	1,4	8,0	0,180891	7293,513
5,564556	40	1,246461	1,4	8,0	0,166811	6725,817

Таблиця 3.15 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 16 °С та довжині травильної ванни 5,0 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,27375	0,8	5,0	0,16802	2419,481
7,010901	16	1,432968	0,9	5,0	0,174747	2830,907
6,768951	16	1,592187	1,0	5,0	0,180994	3257,884
6,508344	16	1,910625	1,2	5,0	0,192334	4154,422
6,225007	16	2,229062	1,4	5,0	0,202475	5102,382

Таблиця 3.16 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 16 °С та довжині травильної ванни 5,5 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,401125	0,8	5,5	0,173443	3085,299
7,010901	16	1,576265	0,9	5,5	0,180388	3609,945
6,768951	16	1,751406	1,0	5,5	0,186836	4154,422
6,508344	16	2,101687	1,2	5,5	0,198543	5297,678
6,225007	16	2,451968	1,4	5,5	0,209011	6506,508

Таблиця 3.17 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 16 °С та довжині травильної ванни 6,0 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,528500	0,8	6,0	0,178547	6506,508
7,010901	16	1,719562	0,9	6,0	0,185697	6506,508
6,768951	16	1,910625	1,0	6,0	0,192334	6506,508
6,508344	16	2,292749	1,2	6,0	0,204386	6506,508
6,225007	16	2,674874	1,4	6,0	0,215162	6506,508

Таблиця 3.18 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 16 °С та довжині травильної ванни 6,5 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,655875	0,8	6,5	0,183375	3432,786
7,010901	16	1,862859	0,9	6,5	0,190718	4016,521
6,768951	16	2,069843	1,0	6,5	0,197535	4622,32
6,508344	16	2,483812	1,2	6,5	0,209912	5894,338
6,225007	16	2,897781	1,4	6,5	0,22098	7239,314

Таблиця 3.19 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 16 °С та довжині травильної ванни 7,0 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,78325	0,8	7,0	0,187962	3789,305
7,010901	16	2,006156	0,9	7,0	0,195488	4433,666
6,768951	16	2,229062	1,0	7,0	0,202475	5102,382
6,508344	16	2,674874	1,2	7,0	0,215162	6506,508
6,225007	16	3,120687	1,4	7,0	0,226507	7991,169

Таблиця 3.20 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 16 °С та довжині травильної ванни 7,5 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	1,910625	0,8	7,5	0,192334	4154,422
7,010901	16	2,149453	0,9	7,5	0,200036	4860,869
6,768951	16	2,388281	1,0	7,5	0,207186	5594,019
6,508344	16	2,865937	1,2	7,5	0,220168	7133,438
6,225007	16	3,343593	1,4	7,5	0,231777	8761,154

Таблиця 3.21 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 16 °С та довжині травильної ванни 8,0 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	16	2,037999	0,8	8,0	0,196517	4527,747
7,010901	16	2,292749	0,9	8,0	0,204386	5297,678
6,768951	16	2,547499	1,0	8,0	0,211691	6096,71
6,508344	16	3,056999	1,2	8,0	0,224956	7774,466
6,225007	16	3,566499	1,4	8,0	0,236817	9548,451

Таблиця 3.22 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 40 °С та довжині травильної ванни 5,0 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	40	0,445164	0,8	5,0	0,118351	1704,254
7,010901	40	0,50081	0,9	5,0	0,12309	1994,058
6,768951	40	0,556456	1,0	5,0	0,12749	2294,815
6,508344	40	0,667747	1,2	5,0	0,135478	2926,326
6,225007	40	0,779038	1,4	5,0	0,142621	3594,058

Таблиця 3.23 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 40 °С та довжині травильної ванни 5,5 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	40	0,489681	0,8	5,5	0,122171	1935,194
7,010901	40	0,550891	0,9	5,5	0,127063	2264,269
6,768951	40	0,612101	1,0	5,5	0,131605	2605,781
6,508344	40	0,734521	1,2	5,5	0,139851	3322,867
6,225007	40	0,856942	1,4	5,5	0,147225	4081,082

Таблиця 3.24 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 40 °С та довжині травильної ванни 6,0 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	40	0,534197	0,8	6,0	0,125767	2173,248
7,010901	40	0,600972	0,9	6,0	0,130803	2542,803
6,768951	40	0,667747	1,0	6,0	0,135478	2926,326
6,508344	40	0,801296	1,2	6,0	0,143967	3731,622
6,225007	40	0,934845	1,4	6,0	0,151558	4583,108

Таблиця 3.25 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 40 °С та довжині травильної ванни 6,5 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	40	0,578714	0,8	6,5	0,129167	2418,014
7,010901	40	0,651053	0,9	6,5	0,13434	2829,191
6,768951	40	0,723392	1,0	6,5	0,139141	3255,908
6,508344	40	0,868071	1,2	6,5	0,14786	4151,903
6,225007	40	1,012749	1,4	6,5	0,155656	5099,288

Таблиця 3.26 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 40 °С та довжині травильної ванни 7,0 м

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	40	0,62323	0,8	7,0	0,132398	2669,142
7,010901	40	0,701134	0,9	7,0	0,137699	3123,022
6,768951	40	0,779038	1,0	7,0	0,142621	3594,058
6,508344	40	0,934845	1,2	7,0	0,151558	4583,108
6,225007	40	1,090653	1,4	7,0	0,159549	5628,886

Таблиця 3.27 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 40 °С та довжині травильної ванни 7,5 м

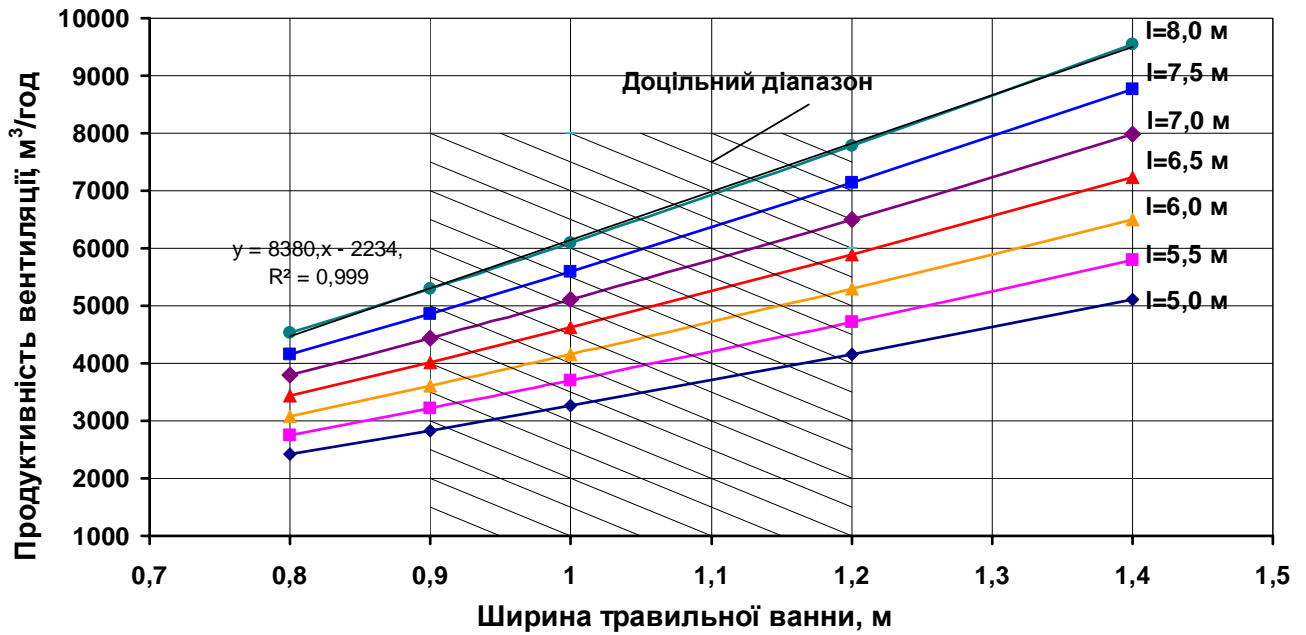
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	40	0,667747	0,8	7,5	0,135478	2926,326
7,010901	40	0,751215	0,9	7,5	0,140903	3423,939
6,768951	40	0,834683	1,0	7,5	0,145939	3940,361
6,508344	40	1,00162	1,2	7,5	0,155084	5024,711
6,225007	40	1,168557	1,4	7,5	0,163261	6171,254

Таблиця 3.28 – Розрахункові данні залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни при температурі повітря навколо ванни 40 °С та довжині травильної ванни 8,0 м

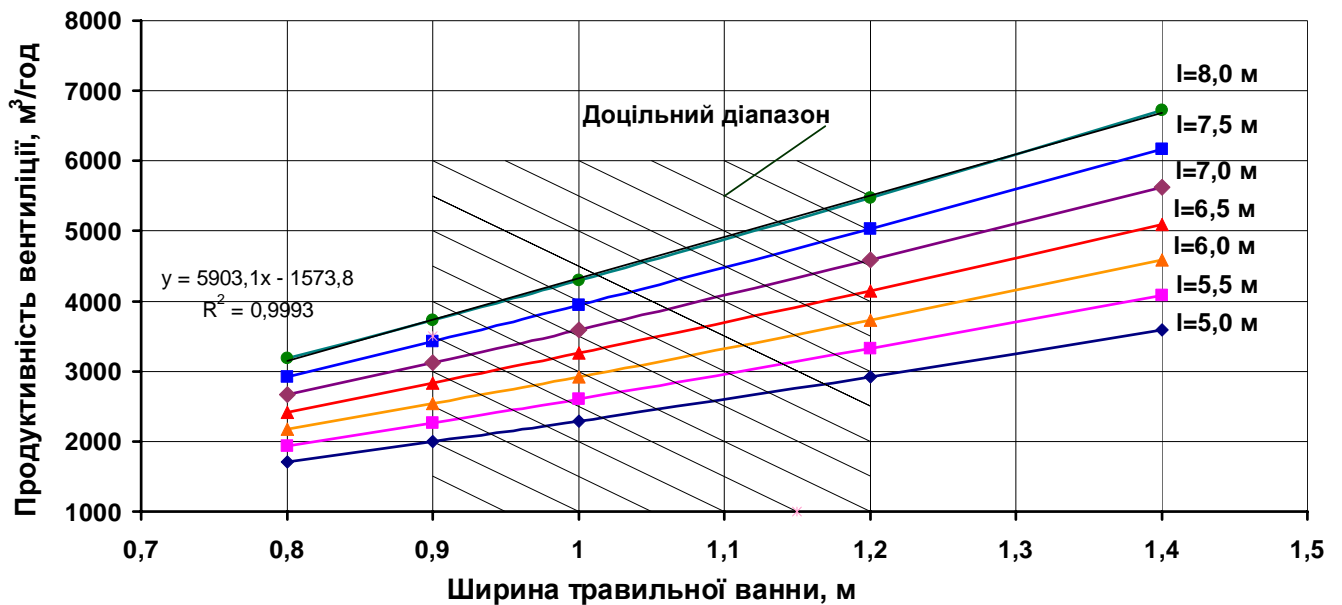
Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град.	Температура повітря навколо травильної ванни, °С	Кількість тепла, що виділяється з травильної ванни в навколишнє середовище визначається, кВт	Ширина травильної ванни, м	Довжина травильної ванни, м	Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м ² ·град	Продуктивності вентиляції, м ³ /год.
7,237214	40	0,712263	0,8	8,0	0,138424	3189,292
7,010901	40	0,801296	0,9	8,0	0,143967	3731,622
6,768951	40	0,890329	1,0	8,0	0,149113	4294,451
6,508344	40	1,068395	1,2	8,0	0,158456	5476,243
6,225007	40	1,246461	1,4	8,0	0,166811	6725,817

Показано доцільність повернення у металургійне виробництво парів кислот у вигляді травильних розчинів. Надано рекомендації щодо напрямку реконструкції травильних ванн з урахуванням типу кислоти, що

використовують, та умов праці у виробничому середовищі травильного відділення.



а

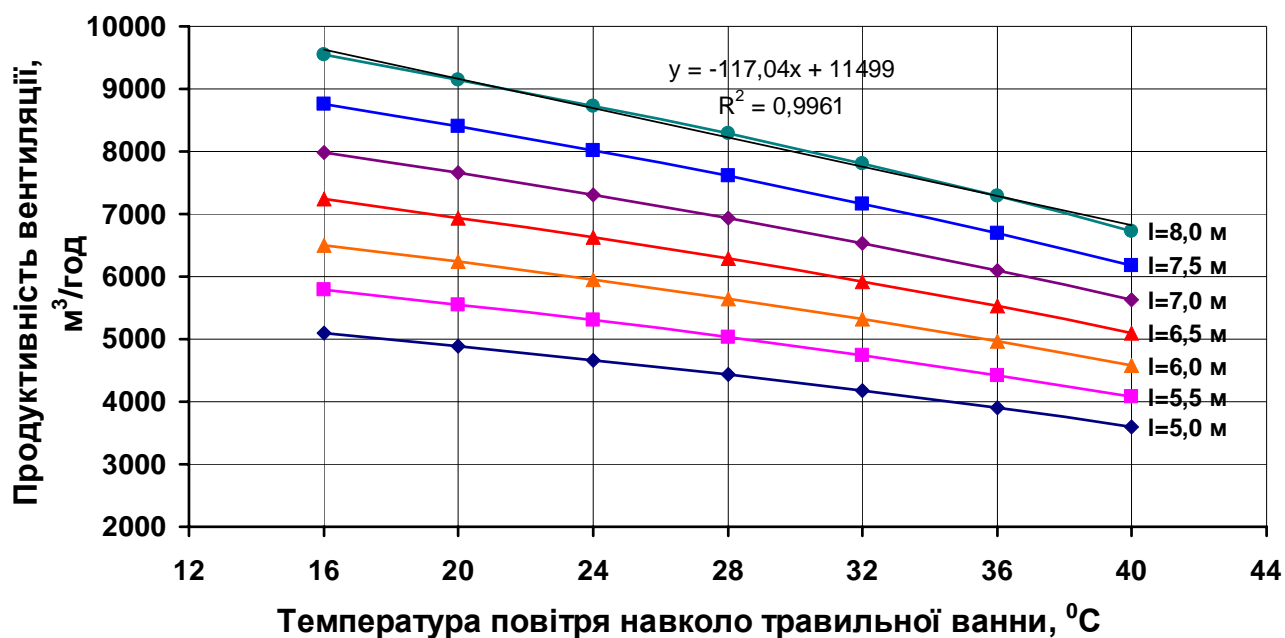


б

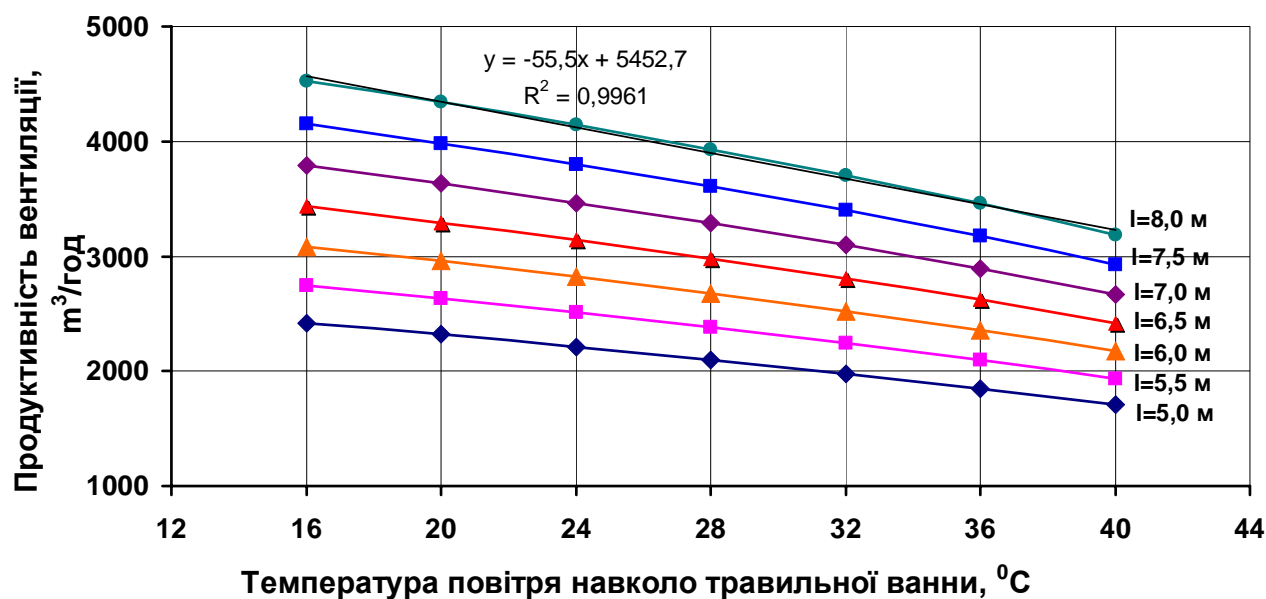
а – при $t_{нов} = 16 \text{ } ^\circ\text{C}$; б – при $t_{нов} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$

Рисунок 3.4 – Залежність продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни

При цьому обробка розрахункових даних залежності продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни показала, що коефіцієнт детермінації R^2 дорівнює 0,9961, тобто представлена залежність на 99,61 % описують лінійну лінію тренда.



а



б

а – при $a = 0,8$ м ; б – при $a = 1,4$ м.

Рисунок 3.5 – Залежність продуктивності вентиляції в травильному відділенні від температури повітря навколо травильної ванни

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища в цеху холодної прокатки

Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища в цеху холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь» показує, що умови і характер праці в цеху відносяться до III класу 3-го ступеня, робоче місце має наявності: 1 фактор 1-го ступеня, 1 фактор 2-го ступеня, 2 фактори 3-го ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими умовами праці (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого середовища трудового процесу в цеху холодної прокатки ВАТ «Запоріжсталь»

Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ГДК)	Фактичне значення	III клас-шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії фактору, %, за зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ ; I клас безпеки масла мінеральні	5	9,2	1,84	-	-	96,6
Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4	19,6	-	4,9	-	60,2
Вібрація (загальна і локальна), дБ	109	121	-	-	12	95,0
Шум, дБА	80	103	-	-	23	100
Тяжкість праці напруженість праці	середня, II.б; помірна	-	-	-	-	-
Кількість шкідливих чинників	-	-	1	1	2	-

Для відведення шкідливих парів соляної кислоти з технологічних ванн для умов ПАТ «Запоріжсталь» запропоновано використовувати двохбортові відсмоктувачі. Кількість повітря, яке видаляється за допомогою борткових відсмоктувачів, визначається в залежності від ширини та висоти травильної ванни; рівня соляної кислоти у ванні; рухливості повітря в приміщенні та різниці температур розчину і навколишнього повітря.

4.2 Охорона праці та техногенна безпека при травленні металу

Травильні відділення розміщують ізольовано від прокатних цехів, обладнуючи прорізи в стіні для подачі листів стулками, що щільно закриваються, або влаштовуються повітряні завіси у разі інтенсивного руху транспортних засобів. Стіни і підлоги травильних відділень виконують з кислотостійких матеріалів. Для стоку води та травильних розчинів підлозі надається ухил у бік каналів для відведення рідин у каналізацію. Металеві конструкції будівлі та обладнання фарбують захисними фарбами для запобігання корозії.

Для запобігання зустрічним і вантажопотоків, що перехрещуються, ванни лужного розплаву, що має високу температуру, розташовують в торці травильного відділення, так як перенесення металу над цими ваннами може викликати викиди гарячого розплаву внаслідок попадання крапель води або травильних розчинів. Для зручності та безпеки обслуговування ванн відстань між ними має бути не менше 1,5 м. Дерев'яні настили навколо ванн роблять суцільними, без відкритих отворів. Висота бортів ванн над підлогою або робочим настилом повинна бути не нижче 800 мм, а ширина бортів – не більше 400–450 мм, так як широкі борти ускладнюють обслуговування ванн при зануренні та вилучення листів. Для попередження шкідливого впливу кислот і лугів та дотримання інших заходів безпеки обслуговування застосовують спеціальні корзини та траверси для листів, за допомогою яких кранівники виробляють захоплення кошика гаків без участі травників.

Аналіз показує, що безпека праці при виконанні операцій, пов'язаних з очищенням та травленням металу (доставки, занурення, збирання та інші) повністю залежить від ступеня їх механізації. Очищення металу перед травленням проводять у закритих камерах. Очисні відділення повністю герметизують та обладнують витяжною вентиляцією.

Більш безпечно травлення листів (рулонів), відсутніх небезпечних частин, крім того, деякі з них повинні мати борти, що унеможливають падіння бунтів убік. Кришки ванн безперервного травлення для переміщення їх кранами забезпечуються причіпними пристроями, що виключають ручне застропування. На лініях безперервного травлення через кожні 20–25 м встановлюють перехідні містки з похилими сходами, поруччями та бортами знизу заввишки не менше 180 мм.

Для оповіщення про пуск установки і на випадок відхилення стрічки від нормального положення в розчині ванни безперервного травлення обладнують світлозвукову сигналізацію та пристрої для регулювання натягу стрічки. Швидка зупинка травильної лінії здійснюється аварійними вимикачами, встановленими з відривом 10–12 м друг від друга. Для зменшення виділення кислотних і лужних парів та травильних газів у ванни з травильними розчинами додають спеціальні присадки або покривають поверхню розчину пластмасовими кульками, а самі ванни обладнують витяжною вентиляцією у вигляді бортових відсмоктувачів або комбінації бортового відсмоктування зі здувом з протилежного боку ванни. Повітропроводи та вентилятори виконують із кислотостійких матеріалів. Ванни зі лужним розчином обладнують механізованими кришками та місцевою витяжною вентиляцією. Пара для обігріву ванн підводиться трубами, опущеними майже до дна ванни.

Керування травильною машиною та вентилі для подачі пари, води та кислоти необхідно виносити за огорожу з тим, щоб унеможливити присутність робітника під парасолькою або витяжною шахтою під час виділення з ванн шкідливої пари. Усі підводи пари до ванн мають теплоізольовані покриття. Освітлення в траншеях кислотопроводів застосовують лише низьковольтове,

напругою трохи більше 36 В.

Кислоти зберігають у спеціальних підземного типу сховищах із кислототривких матеріалів. Кришки баків повинні щільно закриватися та замикатися на замок. Баки постачають спеціальними пристроями для вимірювання рівня кислоти та витяжними трубами, виведеними над дахом будівлі.

Перекачують кислоти та їх розчини, а також здійснюють подачу кислоти зі сховищ та витратних резервуарів у травильні ванни за допомогою насосів із кислотостійких матеріалів трубопроводами, розташованими під підлогою. При виході з ладу кислотопроводів їх негайно зупиняють на ремоприсрій тимчасових ліній не допустимий.

Кислота повинна подаватися в травильні ванни тільки після заповнення їх водою. Для випуску відпрацьованих кислотних розчинів влаштовують спеціальну лінію каналізації кислотостійких труб з відповідними очисними пристроями. Особливих заходів безпеки необхідно дотримуватись при застосуванні таких активних кислот, як плавикова, азотна та суміш азотної та соляної кислоти, які не тільки надають велику вражаючу дію на внутрішні органи людини, але й викликають важкі опіки при попаданні на шкірний покрив.

Прибирання окалини з травильних ванн зазвичай ведуть механізованим способом. Очищення баків для зберігання кислоти від опадів проводять після попереднього провітрювання не менше ніж трое робітників, один з яких старший, що спостерігає за безпекою роботи. Усередині бака може бути тільки одна людина, яка обв'язується кислототривким тросом або шлангом, другий кінець якого виведений назовні і в напівнатягнутому стані знаходиться в руках одного з робітників, що страхують. За першим сигналом працюючий у баку має бути витягнутий назовні. Роботи в баку виробляють у протигазі або у спеціальному респіраторі.

Занурення металу в лужні ванни гарячого розплаву машиніст електрокрана робить після того, як робітники віддаляться із зони розплаву (від

ванни) не менше ніж на 12–15 м. Промивання та сушіння металу здійснюється механізовано.

Сушильно-мийні машини безперервної дії зверху закривають та обладнають витяжною вентиляцією. Всі небезпечні частини приводу, що обертаються, і самої машини забезпечують кислототривкими огорожами. З боку завдання стрічки перед направляючим роликком та з іншого боку машини встановлюють запобіжні проводки. Обертальні частини сушильно-мийних машин травильних ванн перервної дії також огороджують кислототривкими кожухами і обладнають витяжною вентиляцією. Підлога та стіни приміщення для приготування купоросних розчинів на висоту не менше 2 м викладають метлахскою плиткою або іншими кислототривкими матеріалами. Подача купоросу на склад та навантаження його у вагони або автомашини проводиться механізовано.

Робочі травильних відділень повинні працювати в кислотостійкому спецодязі та користуватися захисними засобами - окулярами, гумовими рукавичками, протигазами та інше. У разі попадання кислоти на тіло слід негайно змити кислоту водою протягом 10 хв., а потім прикласти примочку з 5%-ного розчину двовуглекислої соди. Для нейтралізації плавикової кислоти рекомендується застосовувати 5 % розчин сульфату магнію. Робітники травильних відділень повинні проходити медичний огляд не менше одного разу на рік.

При відпалі листової сталі характерними травмами є опіки нагрітим металом, крім того, спостерігається травмування робітників при транспортуванні коробів з листами, а також ковпаків і муфелів відпалювальних печей. Для запобігання травмам при відпалі металу всі операції з подачі, видачі та транспортування листів повністю механізують. Відпалювальні печі, як нові, так і реконструюються, виконують з кроком підом. При влаштуванні газових ковпакових печей герметичність всіх елементів печей забезпечується застосуванням подвійних пісочних затворів, при поєднанні пісочних і гідравлічних затворів [58].

З точки зору охорони праці та техногенної безпеки умови праці в цеху холодної прокатки повинні відповідати наступним нормативним документам:

– НПАОП 27.1-1.04-09. Правила охорони праці у прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу [12];

– ДСТУ prEN 12937-2002. Безпечність машин. Технічні правила та вимоги до підйимально-транспортних засобів (prEN 12937:1997, IDT) [59];

– ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [60];

– НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні [61];

– ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [62];

– ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення [63];

– ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги [64];

– ДСТУ Б EN 15242:2015. Вентиляція будівель. Розрахункові методи визначення витрат повітря на вентиляцію будівель з урахуванням інфільтрації (EN 15242:2007, IDT) [65];

– ДСТУ ISO 9978:2014. Радіаційна безпека. Закриті радіоактивні джерела. Методи випробовування на витік (ISO 9978:1992, IDT) [66];

– ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ; прийнятий з 01.12.1999 р. №42. Київ, 12 с. [67];

– та інші.

Згідно з Наказ № 569 від 19.03.2021 Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості [68] у кожному структурному підрозділі підприємства повинен бути затверджений роботодавцем перелік інструкцій з охорони праці (акти підприємства з охорони праці).

Безпека життєдіяльності, охорона праці та техногенна безпека в цеху холодної прокатки повинні відповідати також даним [69–70].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Процес травлення може бути кислотним (в сірчаній, соляній чи азотній кислотах), нейтральним або лужним. Ефективність процесу травлення залежить від типу сталі та типу обробки поверхні. У промисловості розрізняють кілька видів травлення: електролітичне (катодне та анодне); хімічне; плазмове.

Успішна робота травильних ліній залежить від:

- якості окалини на смузі;
- активності травильних розчинів, яка визначає час повного стравлювання окалини;
- якості підготовки окалини смуги перед зануренням в травильний розчин;
- складу і взаємного розташування механізмів лінії.

2. При травленні металу ефективність видалення окалини залежить від її хімічного складу, структури, товщини та умов травлення, зокрема, вибору виду кислоти (сірчаної або соляної) та технології травлення. Втрати металу при соляно-кислотному травленні \approx на 25% менше, ніж при травленні в сірчаній кислоті внаслідок зменшення розчинення чистого заліза. При травленні в соляній кислоті підвищується інтенсивність розчинення окалини, більш рідкісний процес перетравлення, спостерігається більш чиста поверхня та є можливість повної регенерації відпрацьованих солянокислих травильних розчинів.

3. В травильних відділеннях металургійних підприємств для травлення окалини поступово переходять від використання сірчаної кислоти на соляну кислоту. В зв'язку з цим для відведення шкідливих парів кислот з технологічних ванн в умовах ПАТ «Запоріжсталь» при соляно-кислотному травленні металу запропоновано для відведення шкідливих парів кислот використовувати двохбортові відсмоктувачі. Кількість повітря, яке видаляється за допомогою бортових відсмоктувачів, визначається в залежності від ширини та висоти травильної ванни; рівня соляної кислоти у ванні; рухливості повітря

в приміщенні та різниці температур розчину і навколишнього повітря.

4. Показано доцільність повернення у металургійне виробництво парів кислот у вигляді травильних розчинів. Надано рекомендації щодо напрямку реконструкції травильних ванн з урахуванням типу кислоти, що використовують, та умов праці у виробничому середовищі травильного відділення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. December 2022 crude steel production and 2022 global crude steel production total. URL: <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2023/december-2022-crude-steel-production-and-2022-global-totals/> (дата звернення: 03.09.2023).
2. Производство проката в Украине : современное состояние. URL: <http://uaprom.info/article/5007-proizvodstvo-prokata-v-ukrainesovremennoe-sostojanie.html> (дата звернення: 03.10.2021).
3. Kolobov G.A, Kirichenko A.G, Vodennikova O.S, Panova V.O. Radioactive metals in red mud. *Problems of atomic science and technology*. Series Physics of Radiation Effect and Radiation Materials Science. 2020. No 4(128). pp. 33–39. <https://doi.org/10.46813/2020-128-035>
4. Baboshko D., Saithareiev L., Hubin H, Vodennikova O., Skidin I. *Researching of physicochemical and structural-phase transformations in carbothermal reducing of titanomagnetite concentrates*. Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020) : The International Conference on Sustainable Futures: E3S Web Conferences 166. 2020. pp. 20–27. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016606011>
5. Vodennikova O.S, Koval M.O, Vodennikov S.A. Investigation of Mechanical Properties and Structure of Inconel 718 Alloy Obtained by Selective Laser Sintering from Powder Produced by «LPW». *Metallophysics and Advanced Technologies*. 2021. Vol. 43. No 7. pp. 925–937. <https://doi.org/10.15407/mfint.43.07.0925>
6. Protsenko V., Bondarenko Y., Kruglyak D., Kirichenko A., Vodennikova O. Production of titanium-based alloys by metallothermic reduction of oxide titanium-containing raw materials. *METAL 2021 : 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials: Conference Proceedings* (May 26–28, 2021, Brno, Czech Republic, EU). 2021. pp. 1192–1196. <https://doi.org/10.37904/metal.2021.4261>

7. Skidin I., Vodennikova O., Vodennikov S., Saithareiev L., Telkov S. Parameter analysis of non-metallic inclusion formation in thermite alloys. *Second International Conference on Sustainable Futures : Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2021)*. 2021. № 280. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128007015>
8. Belikov S., Shalomeev V., Tsivirko E., Aikin N., Sheyko S. Microalloyed magnesium alloys with high complex of properties. *Materials Science and Technology Conference and Exhibition 2017*. MS and T 2017. USA. 1 (2017). P.84–91.
9. Тарасов В. К., Воденнікова О. С., Румянцев В. Р., Воденнікова Л. В., Бабошко Д. Ю. Пошук шляхів покращення умов праці в цехах холодної прокатки. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. Сер. : Технічні науки. 2020. Т 31(70). №4. С. 162–169. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.4/23>
10. Hot Rolling vs Cold Rolling – What’s the Difference? URL: <https://blog.thepipingmart.com/other/hot-rolling-vs-cold-rolling-whats-the-difference/> (дата звернення: 03.09.2023).
11. Hot Rolling vs Cold Rolling Steel – What’s the Difference? URL: <https://blog.thepipingmart.com/other/hot-rolling-vs-cold-rolling-steel-whats-the-difference/> (дата звернення: 03.09.2023).
12. НПАОП 27.1-1.04-09. Про затвердження правил охорони праці в прокатному виробництві підприємств металургійного комплексу [Чинний від 2009-07-29]. Київ : Державний комітет з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду, 2009. 65 с.
13. Немного об окалине. URL: <http://metallopraktik.ru/novosti/nemnogo-ob-okaline/> (дата звернення: 03.09.2023).
14. Acid Content of Metal Pickling Baths URL: https://www.mediray.co.nz/media/15551/an_hanna_titrator_ha-hi902_measurement-of-acid-content-in-metal-pickling-baths.pdf (дата звернення: 03.09.2023).
15. Травлення металу. URL: <http://metallopraktik.ru/novosti/travlenie->

metalla/ (дата звернення: 03.09.2023).

16. Jatuphaksamphan Y., Phinichka N., Prapakorn K., Supradist M. Pickling kinetics of tertiary oxide scale formed on hot-rolled steel strip. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. 2020. Vol. 20. No. 1. pp.33–39.

17. Gines M.J.L., Benitez G.J., Perez T., Merli E., Firpo M.A., Eglii W. Study of the picklability of 1.8 mm hot-rolled steel strip in hydrochloric acid. *Latin American Applied Research* (December 2002), 2002. Vol. 32, No.4. pp. 281–288.

18. Locksley Fabián Castañeda Ulloa, Julieta Torres González, Jorge Morales Hernández, Federico Castañeda Zaldívar, Iván Terol, Mercedes Teresita Oropeza Guzmán, José Luis Nava Montes de Oca, René Antaño López. Is pickling rate of A36 steel dependent on the saturation of the pickling bath in acidic sulfate media? *Fuel* (15 December 2014). 2014. Vol.138. pp. 200–202. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.07.102>.

19. Tuck C.W. The effect of scale microstructure on the pickling of hot-rolled steel strip. *Anti-Corrosion Methods and Materials* (1 November 1969). 1969. Vol. 16. No. 11. pp. 22–27. ISSN: 0003-5599. <https://doi.org/10.1108/eb005286>.

20. Chen R.Y., Yuen W.Y.D. Effects of finishing and coiling temperatures on the scale structure and picklability of hot rolled strip, *Iron and Steelmaker* (I and SM) (April 2000). 2000. Vol. 27. No. 4. pp. 47–53.

21. Pickling of Hot Rolled Strip of Carbon Steel in Pickling Lines. URL: <https://www.ispatguru.com/pickling-of-scale-formed-on-hot-rolled-strip-of-carbon-steel/> (дата звернення: 03.09.2023).

22. Rex Chen, W.Y.D. Yuen, T. Mak, Oxide scale growth and its pickling characteristics of hot-rolled steel strip. URL: https://www.researchgate.net/publication/284697695_Oxide_scale_growth_and_its_pickling_characteristics_of_hot-rolled_steel_strip (дата звернення: 03.09.2023).

23. What is Steel Pickling? URL: <https://www.metalsupermarkets.com/what-is-steel-pickling/> (дата звернення: 03.09.2023).

24. Травлення металу. URL: <https://lacover.ua/uk/travlennia-metalu/>
(дата звернення: 03.04.2024)

25. Видалення окалини. URL: <https://www.kbisaev.com/DIY/DIY-handbook/%D1%83%D0%B4%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%8C-%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D1%83> (дата звернення: 03.04.2024)

26. Паста для травлення сталі, алюмінію, міді, латуні. URL: https://docom.com.ua/ua/product/pasta-dlya-travlennya-stali--alyuminiyu--midi--latuni_32771185 (дата звернення: 03.04.2024)

27. Травлення металу – визначення та види. URL: <https://tsvetmet.wordpress.com/2020/07/22/%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%B0-%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%B8-%D0%B2%D0%B8%D0%B4/> (дата звернення: 03.04.2024)

28. Городецький В. І. Технологія виготовлення ювелірних прикрас «Художнє травлення» (спеціалізація художня обробка металу) : навч. посіб. Івано-Франківськ, 2013. 180 с.

29. Травлення металу. URL: <https://metallcleaner.com/uslugi-po-himicheskoy-obrabotke-metallor/travlenie-i-passivacija-nerzhavjushhej-stali/> (дата звернення: 03.04.2024)

30. Лінії без кислотного травлення (EPS-очищення) поверхні. URL: <https://weber.ru/device/proizvoditeli/red-bud-industries/> (дата звернення: 03.04.2024)

31. Ілюнін О.О. Синтез автоматизованої системи інтелектуального керування процесом безперервного травління смугової сталі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю «05.13.07 – автоматизація процесів керування». Харківський національний університет радіоелектроніки,

Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021 р.

32. JLLC «FORTEX-Water Technologies». URL: <https://www.qoovee.com/ar/sooo-forteks-vodnye-tekhologii/> (дата звернення: 03.04.2024)
33. Травильні ванни. URL: <https://tehnoplast-plus.prom.ua/ua/p335152017-travilnye-vanny.html> (дата звернення: 03.09.2023).
34. KOERNER KVK. URL: <https://www.koerner.at/ru/my-predlagaem/vanny-goryachee-cinkovanie.php> (дата звернення: 03.04.2024)
35. Працюючи на перспективу. URL: <https://www.vnedra.ru/novosti/rabotaya-na-perspektivu-11218/> (дата звернення: 03.04.2024)
36. Травлення. URL: <https://www.lechler.com/ru/oblastiprimenenija/travlenie> (дата звернення: 03.04.2024)
37. Primetals. URL: <https://www.primetals.com/ru/portfolio/otdelka-polosy/travilnye-agregaty> (дата звернення: 03.04.2024)
38. Регенерація травильних розчинів. URL: <http://kvantmineral.com/stati/regeneraciya-travilnyx-rastvorov-galvanicheskogo-proizvodstva.html> (дата звернення: 03.04.2024)
39. Переробка відходів. URL: [chrome-extension://efaidnbmnmnibpcajpcglclefindmkaj/file:///C:/Users/user/Downloads/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%205%20\(2\).pdf](chrome-extension://efaidnbmnmnibpcajpcglclefindmkaj/file:///C:/Users/user/Downloads/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%205%20(2).pdf). (дата звернення: 03.04.2024)
40. Калькулятор швидкості травлення. URL: <https://www.calculatorultra.com/ru/tool/etch-rate-calculator.html> (дата звернення: 03.04.2024)
41. Манідіна Є. А., Белоконь К. В., Воденнікова О.С., Рижков В.Г., Троїцька О.О. Утилізація солянокислих відпрацьованих травильних розчинів прокатного виробництва. *Вісник Криворізького національного університету* :

збірник наукових праць. 2021. Вип. 52. С. 35–39. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2021-1-52-35-39>

42. Шкірко І. В. Дослідження впливу сірчаної кислоти на процес кристалізації сульфату заліза з відпрацьованого травильного розчину. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2006. N 5. С. 59–62.

43. Травлення сталей та чавуну. URL: <http://metal-archive.ru/cinkovanie/4543-travlenie-staley-i-chuguna.html> (дата звернення: 03.09.2023).

44. Небезпечні відходи промислових підприємств Утилізація та ліквідація відходів. URL: <https://bodnarivkaeko.lviv.ua/index.php/utylyzatsiia-nebezpechnykh-vidkhodiv-promyslovymy-pidpryemstvamy> (дата звернення: 03.09.2023).

45. Касімов О. М., Айрапетян Т. С. Зворотні і безстічні системи водопостачання промислових підприємств : конспект лекцій з дисципліни (для студентів освітнього рівня «магістр», спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізація (освітня програма) «Раціональне використання і охорона водних ресурсів»), Харків : Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, 2017, 150 с.

46. Gianluca Cusano, Miguel Rodrigo Gonzalo, Frank Farrell, Rainer Remus, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries : Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2017. 1178 p. ISBN 978-92-79-69655-8. <https://doi.org/doi:10.2760/8224,JRC107041>.

47. Xiaomeng Wang, Dan Wang, Jingang Xu, Jingran Fu, Guanyu Zheng, Lixiang Zhou. Modified chemical mineralization-alkali neutralization technology : Mineralization behavior at high iron concentrations and its application in sulfur acid spent pickling solution. *Water Research* (30 June 2022). 2022. Vol. 218. P. 118513, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118513>.

48. Julia Brännberg Fogelström, Amelie Lundius, Hedda Pousette.

Neutralizing acidic wastewater from the pickling process using slag from the steelmaking process A pilot study in the project «Neutralsyra». KTH Skolan för industriell teknik och management. 2017. 47 p.

49. Disposal of Spent Pickle Liquor. URL: <https://www.beyonddiscovery.org/corrosion-resistance-3/disposal-of-spent-pickle-liquor.html> (дата звернення: 03.09.2023).

50. Hoak R. D. Disposal Of Spent Sulfate Pickling Solutions: An analysis of methods for treating spent solutions resulting from sulfuric acid pickling to reduce stream pollution, October 1952, 76 p. <https://www.orsanco.org/wp-content/uploads/2016/10/Disposal-of-Spent-Sulfate-Pickling-Solutions.pdf> (дата звернення: 03.09.2023).

51. Розробка технології процесу нейтралізації травильних розчинів металургійних виробництв. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-protsess-a-neytralizatsii-travilnyh-rastvorov-metallurgicheskikh-proizvodstv/viewer>
<https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-tehnologii-protsess-a-neytralizatsii-travilnyh-rastvorov-metallurgicheskikh-proizvodstv/viewer>

52. Утилізація відпрацьованих кислот та луг: актуальність проблеми. URL: <https://npstc.ru/press/utilizatsiya-otrabotannykh-kislot-i-schelochey-aktualnost-problemy/> (дата звернення: 13.01.2022).

53. Спосіб утилізації відпрацьованих кислот розчинів з вилученням металів для повторного використання. URL: <https://www.science-community.org/ru/node/1903> (дата звернення: 13.01.2022).

54. Ефективні технології утилізації відходів металургії та машинобудування. URL: http://nmetau.edu.ua/i/sci_pdf/9_ru.pdf (дата звернення: 13.01.2022).

55. Спосіб утилізації відпрацьованих травильних розчинів, що вміщує сульфати та хлориди заліза(II): пат. 2428522 RU: МПК C23F 1/46, C23F 1/36; заявл. 15.01.2010; опубл. 10.09.2011.

56. Тарасов В. К., Воденнікова О. С., Воденніков С. А., Лисенко Є.І.,

Макушина М. М. Дослідження ефективності використання бортових відсмоктувачів травильних ванн. *Металургія*. 2020. Вип. 1. С. 118–124. <https://doi.org/10.26661/2071-3789-2020-1-17>

57. Воденнікова О. С., Воденніков С. А., Віннік І. І. Аніліз продуктивності витяжної вентиляції в травильному відділенні. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського*. Сер. : Технічні науки. 2020. Т 31(70). Ч 2. №6. С. 35–41. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-2/07>

58. Охорона праці та БЖД. URL: https://ohrana-bgd.narod.ru/prokat_26.html (дата звернення: 13.01.2022).

59. ДСТУ prEN 12937-2002. Безпечність машин. Технічні правила та вимоги до підйимально-транспортних засобів ; прийнятий з 12.06.2002 р. ; чинний від 01.07.2003. № 357.

60. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою ; прийнятий з 15.06.2016 р. ; чинний від 01.01.2017. № 158.

61. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні ; прийнятий з 30.12.2014 р. ; чинний від 07.04.2023. № 1417.

62. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги ; затверджено та наказом Мінрегіоном України від 31.10.2016 р №237 та введений в дію з 01.06.2017 р. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35с.

63. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення ; прийнятий з 03.10.2018 р. ; чинний від 01.05.2019. № 264.

64. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги ; прийнятий з 08.12.1994 р. ; чинний від 01.01.1996. № 310.

65. ДСТУ Б EN 15242:2015. Вентиляція будівель. Розрахункові методи визначення витрат повітря на вентиляцію будівель з урахуванням інфільтрації (EN 15242:2007, IDT) ; прийнятий з 30.12.2015 р. ; чинний від 01.10.2016.

№ 358.

66. ДСТУ ISO 9978:2014. Радіаційна безпека. Закриті радіоактивні джерела. Методи випробовування на витік (ISO 9978:1992, IDT) ; прийнятий з 20.05.2014 р. ; чинний від 01.10.2014. № 573.

67. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ; прийнятий з 01.12.1999 р. №42. Київ, 12 с.

68. Наказ № 569 від 19.03.2021 Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я на роботі в металургійній промисловості. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0606-21#Text> (дата звернення: 01.03.2024)

69. Забезпечення техногенної безпеки на підприємстві. URL: <https://pro-op.com.ua/article/933-pravila-tehnogenno-bezpeki> (дата звернення: 01.12.2023).

70. Грибан В. Г., Казначєєв Д. Г., Бойко О. І. Безпека життєдіяльності та охорона праці у схемах : навч. посіб. Дніпро : ДДУВС, 2019. 228 с.