МЕТАЛУРГІЯ

УДК 621.784:621.63--047.44

DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-2/07>**Воденнікова О.С.**

Запорізький національний університет

Воденніков С.А.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Вінник І.І.

Запорізький національний університет

АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ ВИТЯЖНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ В ТРАВІЛЬНОМУ ВІДДІЛЕННІ

Проаналізовано сучасні методи травлення металу та показано, що для видалення окалини з поверхні гарячекатаних виробів на металургійних підприємствах в основному застосовують кислотне травлення розчинами сірчаної або соляної кислот. У процесі кислотного травлення в атмосферу виділяється велика кількість шкідливих та небезпечних газів і парів: оксиди азоту (до 400 мг/м^3), фтористий водень (до 100 мг/м^3), пари сірчаної кислоти (до 200 мг/м^3) та солі металів. Одним з основних технічних засобів, які запобігають потраплянню шкідливих речовин у повітря робочої зони, є встановлення системи витяжної вентиляції, яка забезпечує відведення шкідливих речовин від технологічного обладнання або місць їх утворення.

Показано, що перехід під час травлення металу із сірчаної на соляну кислоти дозволяє знизити втрати металу на 25%, підвищити інтенсивність розчинення окалини, отримати більш чисту поверхню та мати можливість повної регенерації відпрацьованих соляно-кислотних травильних розчинів.

Для умов травильного відділення ВАТ «Запоріжсталь», яке перейшло на соляно-кислотне травлення металу, запропоновано для відводу з технологічних ванн аерозолів, що утворюються, застосування двобортних відсмоктувачів. Кількість повітря, яке видаляється за допомогою бортних 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.

Показано, що допустима температура повітря робочої зони в травильному відділенні для холодної пори року становить $17\text{--}23^\circ\text{C}$ та для теплої пори року – $18\text{--}27^\circ\text{C}$. При цьому зростання температури повітря навколо ванни з 16°C до 40°C прямо пропорційно знижує продуктивність вентиляції $\approx$ на 71%. Аналіз впливу розмірів травильних ванн на продуктивність вентиляції показав, що в разі збільшення ширини (з 0,8 м до 1,4 м) та довжини (з 5 м до 8 м) ванни продуктивність вентиляції збільшується $\approx$ на 48%.

Ключові слова: травильне відділення, травильна ванна, соляно-кислотне травлення, пари кислот, витяжна вентиляція, бортні відсмоктувачі.

Постановка проблеми. Натеper однією з головних задач сучасного виробництва металовиробів є підвищення якості й конкурентоспроможності готової продукції з одночасним зменшенням забруднення навколишнього природного середовища [1]. Так, у процесі травлення металу з поверхні ванн виділяються шкідливі та небезпечні пари кислот, уловлювання яких є досить складним процесом.

Травлення металу дозволяє видаляти з виробів окалину, іржу й оксиди під дією кислот, солей

та лугів у розчинах. Найчастіше застосовується хімічне травлення металу, яке здійснюється зануренням заготовки у ванну з розчиненими хімічними реагентами [2].

Кислотне травлення проводять розчинами сірчаної, соляної та фосфорної кислот. За наявності кремнію в сталі додають фтористоводневу кислоту. Під час травлення в сірчаній кислоті максимальна швидкість травлення відбувається за концентрації кислоти 20–25%. Також для видалення іржі та окалини з поверхні сталі застосовують

розчини 15–20%-ої соляної кислоти за температури 30–40°C [3].

Для видалення окалини з поверхні гарячekanаних виробів на металургійних підприємствах застосовують травлення в сірчаній або соляній кислотах, яке здійснюється періодично або безперервно. Під час травлення металів у кислотах в атмосферу виділяється велика кількість шкідливих газів і парів: оксиди азоту (до 400 мг/м³), фтористий водень (до 100 мг/м³), пари сірчаної кислоти (до 200 мг/м³) та солі металів [4].

Саме тому натеper для умов травильного відділення актуальною проблемою є утилізація викидів парів кислот, які забруднюють виробниче та навколишнє середовище, та дослідження системи уловлювання небезпечних та шкідливих парів кислот.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні одним з основних технічних засобів, які запобігають потраплянню шкідливих речовин у повітря робочої зони, є місцеві відсмоктувачі. Вони представляють собою пристрої для відведення шкідливих речовин від технологічного обладнання або місць їх утворення [5].

Для зменшення виділень парів кислот з технологічних ванн їх обладнують подвійними кришками та гідравлічними затворами у бортів. Також скороченню випарів сприяють піноутворюючі добавки. Застосування піноутворювачів з розрахунку 1 кг/м³ розчину знижує випаровування в 300–400 разів. Для знешкодження викидів травильних агрегатів застосовуються газоочисні системи, де можуть використовуватися пінні апарати, порожнисті скрубери, низьконапірні скрубери Вентурі та фільтри з вініпластових сіток. Для знешкодження кислотних випарів може використовуватися система, що служить для адсорбції кислих компонентів лужними розчинами. Ця система складається з повного скрубера з евольвентними форсунками, краплеуловлювача, циркуляційного збірника, групи насосів-дозаторів та димососів [4].

Згідно з НПАОП 28.0-1.03-08 [6] для забезпечення ефективної вентиляції простору над травильними ваннами необхідно використовувати герметичні повітроводи, розташовані над бортом ванни в зоні найбільш інтенсивного випаровування, а видаляти пару – через всмоктувальні пристрої, розташовані під кутом 90° до поверхні рідини. Відведення шкідливих речовин в атмосферу від травильних ванн необхідно здійснювати через спеціальні фільтри, наприклад ФВГ-Т-3,2. Очищення повітря в кабінах машиніста кранів травильного відділення здійснюється за допомогою фільтра аерозольного типу (касети) з фільтру-

вальним матеріалом з ультратонких полімерних волокон.

У роботі [7] надані практичні рекомендації для проектування вентиляції травильної ванни з передувкою. Ефективна вентиляція травильної ванни з передувкою можлива тільки в тому разі, якщо відстань від дзеркала до верхнього краю ванни достатня для розміщення пакету труєного матеріалу (труб або листів). Виконання цієї умови необхідно, оскільки після травлення метал деякий час витримується над дзеркалом для видалення з нього розчину. В іншому випадку пари кислоти, що виділяються з поверхні металу, виявляються в зоні передувками і будуть поширюватися по приміщенню.

З метою забезпечення необхідної кількості об'ємної витрати повітря, що уловлюється від ванн, для дотримання концентрації шкідливих речовин у робочій зоні приміщень проведено порівняльний аналіз методик розрахунку бортових відсмоктувачів [8].

Практичні приклади розрахунку вентиляційної системи розглянуті в роботі [9], зокрема, приділено увагу розрахунку бортового відсмоктувача ванни періодичного травлення та розрахунку передувки над травильною ванною.

Постановка завдання. Мета роботи – проаналізувати вплив температури виробничого середовища та розмірів травильних ванн на продуктивність вентиляції в травильному відділенні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Натеper в умовах травильного відділення ВАТ «Запоріжсталь» функціонування безперервно-травильного агрегату БТА-4 (рис. 1), продуктивністю близько 1350 т/рік травленого металу, дає змогу перейти від використання сірчаної кислоти на соляну.

Ефективність видалення окалини залежить від її фізико-хімічного складу, товщини, структури та умов травлення. Оптимальні умови травлення створюються тоді, коли окалина містить максимальну кількість вюститу (FeO), а гематит (Fe₂O₃) при цьому відсутній.

Травлення в соляній кислоті йде в зовнішніх та внутрішніх шарах окалини. Соляна кислота досить добре розчиняє не тільки вюстит, але й вищі оксиди заліза, при цьому окалина не відвалюється з утворенням шламу на дні ванни або смуги, а майже повністю переходить у розчин. Встановлено, що втрати металу за соляно-кислотного травлення $\approx$ на 25% менше, ніж за травлення в сірчаній кислоті внаслідок зменшення розчинення чистого заліза. Під час травлення в соляній кислоті підвищується інтенсивність роз-

чинення окалини, більш рідкісний процес перетравлення. Травлення в соляній кислоті призводить до отримання більш чистої поверхні, ніж у разі травлення в сірчаній кислоті. Великою перевагою соляної кислоти є можливість повної регенерації відпрацьованих солянокислих травильних розчинів. Травлення зазвичай здійснюється в гарячому розчині, потім смуга віджимается парами віджимних роликів, промивається, сушиться, підрізується кромка. Оброблена таким чином смуга передається на стани холодного прокату [10].

а

б

Рис. 1. Травильне відділення ВАР «Запоріжсталь»:
а – безперервно-травильний агрегат БТА-4;
б – ванна травильного відділення

Серед основних факторів, що впливають на питому витрату кислоти в процесі травлення соляною кислотою, є: рівень виробництва треного металу, продуктивність і ритмічність роботи установок регенерації, концентрація кислоти в регенераторі, ритмічність роботи агрегатів травлення соляною кислотою та втрати кислоти [11].

Для відведення шкідливих парів соляної кислоти з технологічних ванн для умов ВАР «Запоріжсталь» запропоновано використовувати двобортові 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.

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

Згідно з роботою [12] продуктивність вентиляції (V_n , м³/год.) визначається за формулою:

$$V_n = 3600 \cdot U \cdot a \cdot l, \quad (1)$$

де a – ширина травильної ванни, м; l – довжина травильної ванни, м; U – середня швидкість підйому аерозолі над травильною ванною за рахунок конвективних потоків, м/с:

$$U = 0,155 \cdot \sqrt[3]{Q_0}, \quad (2)$$

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

$$Q_0 = \alpha(t_g - t_{нов}) \cdot \frac{a \cdot l}{1000}, \quad (3)$$

де t_g – температура рідини у ванні, °С; $t_{нов}$ – температура повітря в приміщенні, °С; α – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/м²·град.:

$$\alpha = 2,05 \cdot \sqrt[3]{t_g - t_{нов}}. \quad (4)$$

Змінюючи параметри травильної ванни (довжину від 5 м до 8 м та ширину від 0,8 м до 1,4 м), температуру рідини у ванні (60°С) і температуру повітря навколо ванни (від 16°С до 40°С), отримуємо розрахункові дані продуктивності вентиляції (рис. 2 а-ж).

Аналіз залежностей на рис. 2 показує, що збільшення продуктивності системи витяжної вентиляції в травильному відділенні прямо пропорційно залежить від зростання значень ширини та довжини травильної ванни, що пов'язано з підвищенням площі відкритої поверхні.

Згідно з роботою [13] за доцільний діапазон ширини травильної ванни вибрано інтервал 0,9–1,2 м. За довжини ванни 8 м та температури повітря навколо ванни 16°С продуктивність вентиляції в даному діапазоні знаходиться в межах від 3730–5476 м³/год. до 5300–7775 м³/год. (рис. 2 а).

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [14] категорія робіт у травильному відділенні відноситься до середньої важкості II а, при цьому допустима температура повітря робочої зони в холодну пору року становить 17–23°C та в теплу пору року – 18–27°C. Аналіз даних на рис. 2 показав, що за однакових розмірів ванни (ширині та довжині) необхідна

продуктивність вентиляції в холодну пору року на 29,4% вище, ніж у теплу пору року.

Встановлено, що зростання температури від 16°C до 40°C прямо пропорційно знижує продуктивність вентиляції $\approx$ на 71%, при цьому збільшення ширина ванни з 0,8 м до 1,4 м збільшує продуктивність вентиляції $\approx$ на 48%.

а

б

в

Рис. 2. Залежність продуктивності вентиляції в травильному відділенні від ширини травильної ванни:
 а – при $t_{\text{нов}} = 16^\circ\text{C}$; б – при $t_{\text{нов}} = 20^\circ\text{C}$; в – при $t_{\text{нов}} = 24^\circ\text{C}$; г – при $t_{\text{нов}} = 28^\circ\text{C}$; д – при $t_{\text{нов}} = 32^\circ\text{C}$;
 е – при $t_{\text{нов}} = 36^\circ\text{C}$; ж – при $t_{\text{нов}} = 40^\circ\text{C}$

Висновки. Таким чином, проаналізувавши вплив температури виробничого середовища та розміри травильних ванн на продуктивність вентиляції в травильному відділенні, можна зробити такі висновки:

1. Показано, що під час травлення 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 за соляно-кислотного травлення $\approx$ на 25% менше, ніж у разі травлення в сірчаній кислоті внаслідок зменшення розчинення чистого заліза. Під час травлення в соляній кислоті підвищується інтенсивність розчинення окалини, більш рідкісний процес перетравлення, спостерігається більш чиста поверхня та є можливість повної регенерації відпрацьованих солянокислих травильних розчинів.

2. В умовах ВАТ «Запоріжсталь» під час соляно-кислотного травлення металу запропоновано для відведення шкідливих парів кислот з технологічних ванн використовувати двобортові відсмоктувачі.

3. Аналіз впливу температури виробничого середовища на продуктивність двобортових відсмоктувачів показав, що допустима температура повітря робочої зони в травильному відділенні для холодної пори року становить $17-23^{\circ}\text{C}$ та для теплої пори року – $18-27^{\circ}\text{C}$, при цьому зростання температури повітря навколо ванни з 16°C до 40°C прямо пропорційно знижує продуктивність вентиляції $\approx$ на 71%.

4. Аналіз впливу розмірів травильних ванн на продуктивність вентиляції показав, що в разі збільшення ширини ванни з 0,8 м до 1,4 м продуктивність вентиляції збільшується $\approx$ на 48%.

Список літератури:

1. Ломов І.М. Розробка та освоєння ефективної технології сухого волочіння сталевих катанок після механічного видалення окалини : автореф. дис. ... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.03.05. Дніпропетровськ, 2002. 20 с.
2. Для чего используют травление металла. URL: <https://promplace.ru/obrabotka-metallov-statyi/travlenie-metalla-1478.htm> (дата звернення: 04.11.2020).
3. Акимов Л.С., Опалёв С.Б., Мурзина Л.П. Химические способы очистки металлов и их сплавов от продуктов коррозии : метод. указания к самост. работе студентов по дисциплине «Химия». Москва : МИИТ, 2006. 16 с.
4. Большина Е.П. Экология металлургического производства: курс лекций. Новотроицк : НФ НИТУ «МИСиС», 2012. 155 с.
5. НПА ОП 28.0-1.03-08. Правила охорони праці у метизному виробництві (Чинний від 29.12.2008 р.). Київ : Державний комітет з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду, 2008. 82 с.
6. Кочев А.Г. Вентиляция промышленных зданий и сооружений. Нижний Новгород : Издание ННГАСУ, 2011. 178 с.
7. Схемы удаления паров кислоты от травильных установок. URL: https://www.airpromvent.ru/article/clauses/Shemy_udaleniya_parov_kisloty_ot_travilnyh_ustanovok.html (дата звернення: 04.11.2020).
8. Шарифуллин В.М. Сравнительный анализ методик расчёта бортовых отсосов. *Научный журнал. Москва : Проблемы науки*, 2018. № 3 (26). С. 11–13.
9. Расчёт вентиляционной системы. URL: <https://studfile.net/preview/7198563/page:26/> (дата звернення: 04.11.2020).
10. Травление металла. URL: <http://metallopraktik.ru/novosti/travlenie-metalla/> (дата звернення: 04.11.2020).
11. Расход кислоты на травление. URL: <http://metallopraktik.ru/novosti/rashod-kisloty-na-travlenie/> (дата звернення: 04.11.2020).
12. Расчет бортовых отсосов из технологических ванн травления металлов и сплавов : метод. указания к практическим и лаб. занятиям для студентов спец. 1103, 1105, 1203, 1208 всех форм образования / В.А. Ульянов и др. Нижний Новгород : НГТУ, 2007. Ч. 3. 12 с.
13. Дослідження ефективності використання бортових відсмоктувачів травильних ванн / В.К. Тарасов, О.С. Воденнікова, С.А. Воденніков та ін. *Металургія*. 2020. 1(1). С. 35–41.
14. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень (Чинний від 01.12.1999 р.). Київ : Міністерство охорони здоров'я України. Головне сан.-епідем. упр., 1999. 15 с.

Vodennikova O.S., Vodennikov S.A., Vinnyk I.I. ANALYSIS OF PRODUCTIVITY OF EXHAUST VENTILATION IN THE LAWNING DEPARTMENT

Modern methods of metal etching are analyzed and it is shown that acid etching with solutions of sulfuric or hydrochloric acids is mainly used for removal of scale from the surface of hot-rolled products at metallurgical

enterprises. In the process of acid digestion, large amount of harmful and dangerous gases and vapors are released into the atmosphere: nitrogen oxides (up to 400 mg/m^3), hydrogen fluoride (up to 100 mg/m^3), sulfuric acid vapors (up to 200 mg/m^3) and metal salts. One of the main technical means to prevent harmful substances from entering the air of the working area is the installation of an exhaust ventilation system, which ensures the removal of harmful substances from the process equipment or places of their formation. It is shown that the transition during metal etching from sulfuric to hydrochloric acid allows to reduce metal losses by 25%, increase the intensity of scale dissolution, get a cleaner surface and be able to fully regenerate spent hydrochloric acid etching solutions.

It is proposed to remove from the technological baths of aerosols formed, the use of double-sided suction for the conditions of the etching department of JSC «Zaporizhstal», which switched to hydrochloric acid etching of metal. The amount of air that is removed by on-board extractors is determined depending on the width and height of the pickling bath; the level of hydrochloric acid in the bath; indoor air mobility and the temperature difference between the solution and the ambient air.

It is defined that the allowable air temperature of the working area in the pickling department for the cold and warm seasons is $17\text{-}23^\circ\text{C}$ and $18\text{-}27^\circ\text{C}$, respectively, while the increase in air temperature around the bath from 16°C to 40°C directly proportionally reduces productivity ventilation approximately by 71%. Analysis of the influence of pickling bath sizes on ventilation productivity showed that when the width (from 0.8 m to 1.4 m) and length (from 5 m to 8 m) of the bath increase, the ventilation productivity increases approximately by 48%.

Key words: pickling department, pickling bath, hydrochloric acid etching, acid vapors, exhaust ventilation, on-board extractors.