

на сильну кореляційну залежність.

Висновки та напрямки подальших досліджень. В результаті проведених досліджень була отримана лінійна математична модель процесу змішування в технічній системі безперервної дії «роторний змішувач-конвеєр», а також визначені її раціональні конструктивні параметри, що впливають на якість змішування матеріалу.

Список літератури

1. **Винарский М.С.** Планирование эксперимента в технологических исследованиях / **М.С. Винарский, М.В. Лурье.** - К. : Техника, 1975. - 168 с. .
2. **Ковшов В.Н.** Постановка инженерного эксперимента / **В. Н. Ковшов.** - Киев-Донецк : Вища школа, 1982. - 120 с.
3. **Белай Г.Е.** Организация металлургического эксперимента - учеб. пособие [для вузов] / **Г. Е. Белай, В. В. Дембовский, О. В. Соценко** / под ред. В. В. Дембовско-го. - М. : Металлургия, 1993. - 256 с.
4. **Гуливец А.А.** Методика поиска решения творческих задач по созданию способов воздействия на материальные объекты / **А. А. Гуливец, И. В. Засельский, Г. Л. Зайцев, К. В. Федоренко** // Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі : Зб. наук. праць. Вип. V. – Кривий Ріг : Видавничий відділ НметАУ, 2008. – С. 245 – 247.
5. **Стренк Ф.** Перемешивание а аппараты с мешалками / **Ф. Стренк** // Пер. с польск. под ред. Щупляка И. А. — Л.: «Химия», 1975. — 384 с.
6. **Белай Г.Е.** Организация металлургического эксперимента / **Г.Е. Белай, В.В Дембовский. и др.** // Учебное пособие для вузов. — М.: Металлургия, 1993. — 256 с.: ил. — ISBN 5-229-00835-0.
7. **Бакланов Н.А.** Перемешивание жидкостей / **Н.А. Бакланов** // Л.: Химия, 1979. — 64 с.: ил.
8. **Рыжов П. А.** Математическая статистика в горном деле / **П. А. Рыжов.** – М. : Высшая школа, 1973. – 287 с.
9. **Ахназаров С. Л.** Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии – учеб. пособие [для химико-технологических вузов] / **Ахназаров С. Л., Кафаров В. В.** – М. : Высш. школа. – 1978. – 319 с., ил.
10. **Учитель А. Д.** Экспериментальные исследования динамики вибромашины, работающей в режиме «биений» / **А. Д. Учитель, В. И. Засельский, С. В. Швед, И. В. Засельский** // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – № 3. – С. 102–104.

Рукопис подано до редакції 01.03.2021

УДК 658.567.1:621.794.42]:621.774

Є.А. МАНІДІНА, К.В. БЕЛОКОНЬ, О.С. ВОДЕННИКОВА,
В.Г. РИЖКОВ, кандидати техн. наук, доценти, О.О. ТРОЇЦЬКА, канд. біол. наук, доц.
Запорізький національний університет

УТИЛІЗАЦІЯ СОЛЯНОКИСЛИХ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ТРАВІЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета. Визначити параметри переробки солянокислих відпрацьованих травільних розчинів прокатного виробництва з отриманням залізного коагулянту.

Методи дослідження. При виконанні роботи використовувались санітарно-гігієнічні, аналітичні, математичні, статистичні методи дослідження. Статистична обробка результатів проводилась з використанням комп'ютеризованої програми Microsoft Excel.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що за результатами проведених експериментальних досліджень у роботі:

встановлено вплив параметрів обробки відпрацьованих травільних розчинів на якість отриманого коагулянту;
розроблена апаратно-технологічна схема переробки відпрацьованих травільних розчинів з отриманням залізного коагулянту.

Практична значимість. Запропонована технологія утилізації солянокислих відпрацьованих розчинів, яка може бути рекомендована для використання на металургійних підприємствах України. Матеріали роботи впроваджені у навчальний процес кафедри прикладної екології та охорони праці Запорізького національного університету.

Результати. Встановлено, що найбільш перспективними методами обробки солянокислих відпрацьованих травільних розчинів є методи з отриманням товарного продукту. Визначено, що переробку солянокислих відпрацьованих травільних розчинів найбільш доцільно проводити з одержанням коагулянту. Встановлено, що при витраті повітряної суміші, що містить озон, 0,5 л/хв повне окиснення ферум (II) хлориду до ферум (III) хлориду відбувається через 36 хв від початку обробки. При витраті повітряної суміші, що містить озон, 1,5 л/хв повне окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду відбувається через 18 хв від початку обробки. Встановлено, що повне окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду за допомогою озону відбувається в 1,5 рази швидше ніж киснем. Експериментально встановлено, що ефективна доза коагулянту ферум (III) хлориду для осадження коричневого залізного

пігменту в розчині становить 62 мг/л. Розроблена принципова апаратурно-технологічна схема переробки солянокислих відпрацьованих розчинів з отриманням коагулянту – ферум(III) хлориду.

Ключові слова: прокатне виробництво, солянокислий відпрацьований травильний розчин, ферум(II) хлорид, озон, утилізація, ефективна доза коагулянту

doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-35-39

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В результаті дії на метал високих температур на його поверхні утворюється окалина. Склад окалини залежить від режиму температурної обробки металу та складається із трьох оксидів: FeO, Fe₃O₄, Fe₂O₃. Відомо, що при низькій температурі окалина в своєму складі буде містити лише два оксиди: Fe₃O₄, Fe₂O₃. Дані оксиди розчиняються в травильних кислотах з різною швидкістю. Оксид FeO розчиняється найбільш швидко, повільніше розчиняється оксид заліза Fe₃O₄, а повільніше за всіх – Fe₂O₃. Процес травлення сталевих заготовок у сірчаній кислоті та у соляній кислоті мають значні відмінності: різні швидкості розчинення заліза в цих кислотах, різна кінетика процесу [1,2].

Сьогодні на металургійних підприємствах травлення металу найчастіше відбувається за допомогою соляної кислоти. Процес травлення в розчинах соляної кислоти проходить при температурі 20-30 °С, що обумовлено високою летючістю її парів, які шкідливо впливають на організм обслуговуючого персоналу та викликають корозію обладнання. Використання травильного розчину відбувається до зниження концентрації кислоти в розчині до 5-7% [2].

Склад відпрацьованих травильних розчинів сильно відрізняється, тому що він залежить від хімічного складу свіжої ванни й категорії оброблюваного металу. Однак загальною характерною рисою всіх стічних вод травильних відділень є низька концентрація кислот і висока концентрація іонів металів. Приблизний склад відпрацьованих травильних розчинів [1,2] : 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.

Аналіз досліджень і публікацій. Теоретичний аналіз показав, що солянокислі відпрацьовані розчини можливо перероблювати з одержанням цінних продуктів: бішофіту (MgCl₂·6H₂O), пігментів (FeOОН), коагулянтів (FeCl₃). За результатами теоретичних досліджень встановлено, що переробка відпрацьованих солянокислих травильних розчинів з одержанням залізного коагулянту FeCl₃ є найбільш економічно-доцільною [2-11].

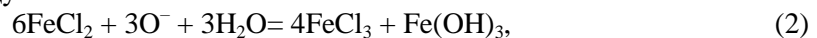
У разі наявності на підприємстві відпрацьованих азотнокислих травильних розчинів (ВАТР) більш економічно застосовувати для окислення ферум(II) хлориду заліза пароповітряну суміш з ВАТР за запропонованою нижче технологією [10]:

обробка розчину, що містить ферум(III), пароповітряною сумішшю;

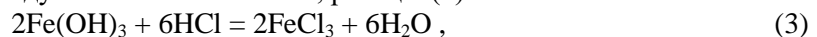
розпад ферум(III) нітрату з виділенням атомарного кисню, реакція (1):



окиснення ферум(II) хлориду атомарним киснем за реакцією (2) з утворенням ферум(III) хлориду та ферум(III) гідроксиду:



взаємодія ферум(III) гідроксиду з соляною кислотою, реакція (3):



при охолодженні суспензії утворюється кристалічний коагулянт за реакцією (4):



Отже саме наявність в розчині атомарного кисню (формула (2)) буде обумовлювати швидкість та повноту протікання процесу окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду. А реакція (1) необхідна лише для насичення розчину атомарним киснем.

Постановка завдання. Метою роботи є визначити параметри переробки відпрацьованих солянокислих травильних розчинів прокатного виробництва з отриманням залізного коагулянту – ферум(III) хлориду.

Викладення матеріалу та результати. Процес коагуляції та очищення води залежить від таких чинників: доза коагулянту, іонний склад та рН води, яка очищається, температура розчину. Також на процес коагуляції буде впливати і склад коагулянту [12,13].

Відомо, що при оптимальній дозі коагулянту досягаються максимальне видалення з води забруднюючих речовин і мінімальні залишкові концентрації заліза у воді. Встановлення оптимальної дози коагулянту відбувалося при кількісному визначенні прозорості води "за шрифтом".

Концентрацію загального заліза та ферум(II, III) іонів у модельному розчині визначають фотокolorиметричним методом із сульфосаліциловою кислотою (КНД 211.1.4.040-95) [14]. Фотометрування проб проводять при довжині хвилі 410-440 нм для загального заліза й при довжині хвилі 490-520 нм для заліза(III).

Вимірювання величини водневого показника проводили з використанням рН-метра типу рН-150 і приладу EZDO-7200-PH-TDS-SALT (погрішність приладів 0,05-2 %).

Математична обробка експериментальних даних проводилась на основі перевірки нормальності розподілу випадкової величини [15].

Для дослідження процесу утилізації відпрацьованого солянокислого травильного розчину була використана лабораторна установка, яка включала: водяну баню, реактор, озонатор-компресор, підігрівач. У якості відпрацьованого травильного розчину використовували модельний розчин, що містив 60-80 г/л соляної кислоти та ферум(II) хлориду концентрацією 200-240 г/л. У реактор поміщали 150 мл приготовленого модельного розчину. Для підігріву розчину використовували водяну баню. Температура розчину підтримувалась у межах 20-30 °С. Витрата повітря, яке насичене озоном, через модельний розчин підтримувалась в межах 0,5-1,5 л/хв. Час проведення процесу окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду змінювався від 2 хв до 50 хв.

На рис.1 та рис.2 наведені результати проведених досліджень по визначенню оптимального часу процесу окиснення озоном ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду. Процес відбувався при температурі 30 °С. Оцінювання проводилось за зміною кількості ферум(III) іонів в перерахунок на вміст ферум(III) хлориду в кінцевому розчині. Точково проводили визначення концентрації ферум(II) іонів.

За результатами досліджень встановлено, що при витраті повітряної суміші, яка містить озон, 0,5 л/хв повне окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду настає через 36 хв від початку обробки (рис.1).

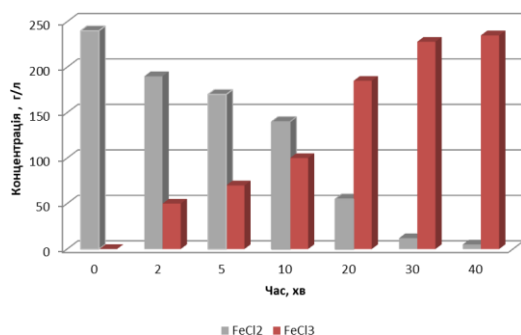


Рис. 1. Вплив часу барботування озоном модельного розчину на кількість утворення ферум(III) хлориду: температура процесу 30 °С, витрата повітря 0,5 л/хв

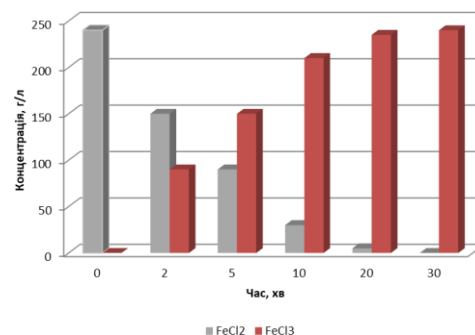


Рис. 2. Вплив часу барботування озоном модельного розчину на кількість утворення ферум(III) хлориду: температура процесу 30 °С, витрата повітря 1,5 л/хв

Повне окиснення хлориду заліза(II) до хлориду заліза(III) настає через 18 хв від початку обробки, при витраті повітряної суміші, яка містить озон, 1,5 л/хв (рис.2). Зменшення часу окиснення при збільшенні витрати повітря, насиченого озоном, обумовлено більшою кількістю озону, який пройшов через розчин. Для підтвердження ефективності окиснення ферум(II) хлориду саме озоном проводилось визначення ефективності окиснення ферум(II) хлориду киснем повітря (рис.3).

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що повне окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду озоном відбувається в 1,5 рази швидше ніж киснем (рис.2 та рис.3).

Час ведення процесу переробки солянокислих відпрацьованих розчинів буде залежати від висоти шару розчину, площі поверхні нагріву та температури процесу. Дані параметри можуть бути рекомендовані для кожного підприємства в залежності від вихідних даних у технічному завданні.

Встановлення ефективної дози коагулянту відбувалося для очищення модельних вод, які містять завислі речовини у вигляді коричневого залізоокисного пігменту. Ефективність дози коагулянту визначалось по каламутності (ДСТУ ISO 7027-2003. Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT)). Відповідно до експериментальних даних ефективна доза для осадження коричневого залізоокисного пігменту становить 62 мг/л (рис.4). При збільшенні дози коагулянтів більш ніж оптимальне значення спостерігалось повторне забруднення води, що визначалось збільшенням каламутності (рис.4).

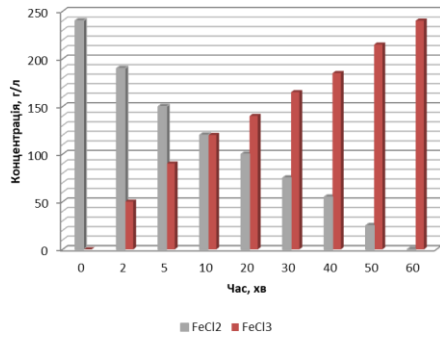


Рис. 3. Вплив часу барботування киснем повітря модельного розчину на кількість утворення ферум(III) хлориду: температура процесу 30 °С, витрата повітря 1,5 л/хв

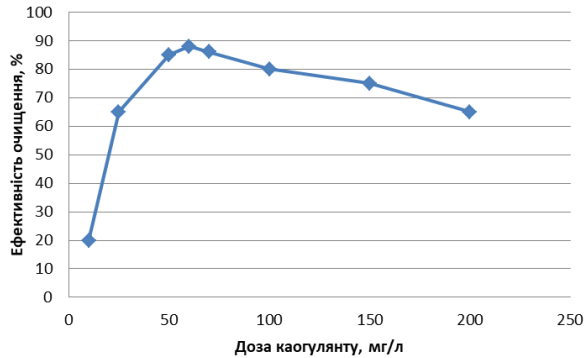


Рис. 4. Встановлення ефективної дози коагулянту

За результатами проведених експериментальних досліджень розроблена апаратурно-технологічна схема утилізації солянокислих відпрацьованих травильних розчинів з одержанням коагулянту FeCl₃·6H₂O(рис. 5).

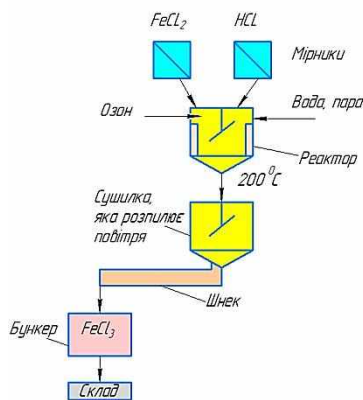


Рис. 5. Принципова апаратурно-технологічна схема утилізації відпрацьованих солянокислих травильних розчинів з одержанням коагулянту FeCl₃

Відповідно до розробленої апаратурно-технологічної схеми (рис.5) процес одержання коагулянту можна розділити на наступні стадії:

- окиснення озоном ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду – випаровування розчину;
- розпилення та сушка суспензії (кристалізація);
- збір, пакетування та транспортування коагулянту на склад.

Висновки та напрямок подальших досліджень. За результатами теоретичних досліджень встановлено, що найбільш перспективними методами обробки солянокислих відпрацьованих травильних розчинів є методи з одержанням коагулянту – ферум(III) хлориду. У результаті експериментальних досліджень визначено, що при витраті повітряної суміші, яка містить озон, 0,5 л/хв повне окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду відбувається через 36 хв від початку обробки розчину. Встановлено, що при збільшенні витрати повітря, яке містить озон, до 1,5 л/хв відбувається пришвидшення процесу окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду та становить 18 хв від початку обробки.

При порівнянні тривалості процесу повного окиснення розчину ферум(II) хлориду киснем та озоном встановлено, що використання озону дозволить скоротити час обробки розчину більш ніж у 1,5 рази (на відмінну від кисню). Експериментально визначено, що ефективна доза коагулянту – ферум(III) хлориду для осадження коричневого залізного пігменту в розчині становить 62 мг/л.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблена принципова апаратурно-технологічна схема утилізації солянокислих відпрацьованих травильних розчинів з одержанням коагулянту.

У подальших дослідженнях доцільно розглянути вплив зміни температури на швидкість процесу окиснення ферум(II) хлориду, визначити вплив параметрів роботи озонатора на повноту окиснення ферум(II) хлориду до ферум(III) хлориду.

Список літератури

1. Травление сталей и чугуна. [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://metal-archive.ru/cinkovanie/4543-travlenie-staley-i-chuguna.html>.
2. Наркевич И.П., Печковский В.В. Утилизация и ликвидация отходов в технологии неорганических веществ. – М: Химия, 1984. – 240 с.
3. Способ регенерации соляной кислоты из отработанных травильных растворов. [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.freepatent.ru/patents/2061102>.
4. Способ и устройство для регенерации используемых для травления металлов растворов. [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.freepatent.ru/patents/2330902>.
5. Способ регенерации отработанных растворов соляной кислоты. [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.freepatent.ru/patents/2294982>.
6. Способ регенерации оксида железа и хлористоводородной кислоты. [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.freepatent.ru/patents/2495827>.
7. Ламзина И.В., Тарасов А.П., Желтобрюхов В.Ф. Разработка технологии процесса нейтрализации травильных растворов металлургических производств / И.В. Ламзина, А.П. Тарасов, В.Ф. Желтобрюхов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2016. – №4. – С. 9-15.
8. Бучило Э. Очистка сточных вод травильных и гальванических отделений. – М.: Металлургия, 1974. – 200 с.
9. Винникова О.С. Пашаян А.А., Лукашов С.В. Проблемы утилизации травильных растворов сталепрокатных заводов / О.С. Винникова, А.А. Пашаян, С.В. Лукашов // Экологические проблемы регионов Украины: материалы IX Всеукраинской науч. конф. студентов, магистров и аспирантов. Одесса, 2007. – С.45-47.
10. Добровольский И.П., Селихов А.Б. Перспективные направления переработки солянокислых отработанных травильных растворов с получением бишофита, пигментов и коагулянтов / И.П. Добровольский, А.Б. Селихов // Вестник Челябинского государственного университета, 2008. – № 17. – С. 28-31.
11. Манідіна Є.А., Смотряев Р.В., Троїцька О.О. та ін. Technology of sulfur oxide (IV) emissions neutralizing with the production of iron oxide pigment / Є.А. Манідіна, Р.В. Смотряев, О.О. Троїцька, Н.В. Беренда, В.Г. Рижков, Р.О. Бакарджиев // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти, 2019 – № 7. – С. 50-61.
12. Запольский А. К., Баран А. А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. – Л.: Химия, 1987. – 203 с.
13. Смирнов Д.И., Генкин В.Б. "Очистка сточных вод в процессах обработки металлов". – М.: "Металлургия", 1989. – с. 28.
14. Методика фотометричного визначення заліза (III) та заліза (II) з сульфосаліциловою кислотою в стічних водах: КНД 211. 1.4.040-95. – [Чинний від 01.07.95].- К. : Мінекобезпеки України, 1995. 12 с. – Керівний нормативний документ.
15. Агаєв І.М. Азы статистики в мире химии: Обработка экспериментальных данных. – Санкт-Петербург: НОТ, 2015. – 614 с

Рукопис подано до редакції 01.04.2021

УДК 621.9.044

В.П. НЕЧАЄВ, А.О. РЯЗАНЦЕВ, кандидати техн. наук, доценти, С.В. РЕБРОВА, асист.,
Д.О. ЛАВРИНЕНКО, асп.
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА СТІЙКІСТЬ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ПЛАЗМОВО-МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ

Мета. Метою даної роботи є вдосконалення технології обробки деталей з важкооброблюваних матеріалів, а саме – дослідження й наукове обґрунтування параметрів процесу плазмово-механічної обробки поверхонь деталей з легованих сталей для підвищення продуктивності обробки, забезпечення необхідного періоду стійкості різального інструменту.

Методи дослідження. Результати роботи з плазмово-механічної обробки отримані шляхом теоретичних і експериментальних досліджень. Теоретичні дослідження полягають у визначенні факторів, які впливають на інтенсивність зношування різального інструменту в умовах плазмово-механічного точіння й стругання. Експериментальні дослідження засновані на комплексному вивченні взаємозв'язку основних показників механічної обробки з факторами попереднього плазмового нагрівання припуску.

Наукова новизна. У результаті проведених досліджень були отримані дані про особливості протікання процесу спрацьовування інструментального матеріалу, динаміку параметрів зношування інструменту при нагріванні заготовки плазмовою дугою. Виявлена залежність зростання фаски зношування від параметрів нагрівання поверхневого шару заготовки, установлений розподіл нормальних та дотичних напружень на контактних поверхнях різучого клину.

Практичне значення. Розроблений процес плазмово-механічної обробки та рекомендації з вибору параметрів нагрівання та різання дозволяють збільшити продуктивність обробки заготовок із середньо легованих сталей при забезпеченні заданих параметрів стійкості різучої частини інструменту.