

Машинобудування і зварювальне виробництво

6. Позняков В.Д. Структура и свойства сварных соединений стали С390 (S355J2) / В.Д. Позняков, С.Л. Жданов, А.А. Максименко. Автоматическая сварка. 2012. № 8. С. 7—11.

Zaharova I.V., Kurov E.V.

STRUCTURAL TRANSFORMATIONS IN THE HEAT-AFFECTED ZONE OF WELDED JOINTS IN PIPE STEEL

The study investigates the nature of structural transformations in the heat-affected zone (HAZ) of welded joints in 13G1SU pipe steel under different cooling rates simulated by welding thermal cycles. 13G1SU steel is a low-alloy high-strength structural steel widely used in the energy, construction, and pipeline industries, particularly in the production of main pipelines, high-pressure vessels, and welded structures operating under low-temperature conditions.

The reliability of such welded joints is significantly influenced by the microstructure and properties of the HAZ, which are formed as a result of heating and subsequent cooling during welding.

A comprehensive dilatometric and microstructural analysis was performed in the cooling rate range of 100 to 0.3 °C/s. It was established that depending on the thermokinetic conditions, the HAZ microstructure may consist of martensitic-bainitic, bainitic, ferritic-bainitic structures, or mixtures with various phase ratios. At high cooling rates (100 °C/s), a hard bainitic-martensitic mixed structure dominates, reaching hardness values up to 358 HV and demonstrating increased susceptibility to cold cracking. As the cooling rate decreases, the martensite content decreases while the proportion of bainite and polygonal ferrite increases, resulting in reduced hardness and enhanced ductility of the HAZ.

Based on the obtained results, temperature ranges and corresponding cooling rates were identified at which structural states with optimal mechanical properties are formed. Safe cooling regimes for welding 13G1SU steel were determined, which minimize the risk of forming hard and brittle phases in the HAZ. The results provide a foundation for further optimization of welding technologies and improvement of welded joint reliability in critical applications.

Keywords: 13G1SU steel, welding, heat-affected zone, microstructure, bainite, martensite, ferrite, cooling rate, hardness.

Стаття надійшла 24.04.2025р.

УДК 621.791.753.042

doi.org/10.31498/2522-9990292025330209

Щетиніна В.І., Воленко І.В.

ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАНУРЮВАЛЬНИХ БАРАБАНІВ АГРЕГАТУ ЦИНКУВАННЯ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕННЯ

Занурювальний барабан, що забезпечує занурення протравленої в сірчаній кислоті полоси в цинк, при безперервному гарячому цинкуванні, з температурою 718 – 728 К в ванні агрегату цинкування, експлуатується під дією високої температури і агресивного середовища, корозії, руху полоси, розплаву, абразивного зносу і конвективних потоків. В результаті зносу під дією високої температури і агресивного середовища занурювальний барабан виходить з строю, що призводить до зупинок агрегату цинкування, електромагнітного викачування рідкого цинку з ванни, збільшення витрати цинку,

Машинобудування і зварювальне виробництво

матеріаломісткості процесу цинкування і собівартості оцинкованого листа, Тому підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості є важливою науково-технічною проблемою. На основі виробничих випробувань шляхом занурення зразків, наплавлених дротами різних хімічних складів, в цинк безпосередньо в ванні агрегату цинкування в процесі гарячого цинкування встановлено, що основним видом зносу занурювальних барабанів агрегату цинкування є корозія. Ефективним способом підвищення корозійної стійкості є наплавлення корозійностійкого металу корозійностійким хромонікелевим дротом Зв08Х21Н10Г6, що забезпечує аустенітну структуру, і подрібнення мікроструктури, значно знижує знос і підвищує відносну зносостійкість філограм поверхні барабана, що побудовані шляхом вимірювання діаметра наплавлених занурювальних барабанів по довжині бочки після експлуатації в ванні агрегату цинкування підтверджено обраний для наплавлення дріт. Встановлено, що на корозійну стійкість, тріщиностійкість та зносостійкість впливає погонна енергія, зі зниженням якої відносна зносостійкість підвищується внаслідок зростання швидкості наплавлення, кристалізації та подрібнення мікроструктури, зменшення тепловкладення, зварювальних напруг та схильності до утворення кристалізаційних і підсолідусних тріщин. Механізм підвищення корозійної стійкості, тріщиностійкості та зносостійкості при високошвидкісному напавленні на низькій енергії корозійностійким хромонікелевим дротом полягає в забезпеченні структури аустеніту, зростанні швидкості наплавлення, утворенні однорідної мілкодисперсної мікроструктури, зменшенні тепло-вкладень, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій і зварювальних напруг, зростанні швидкості кристалізації, подрібненні мікроструктури, скороченні міжатомної відстані та збільшенні міжатомних зв'язків. Розроблено процес високошвидкісного наплавлення на низькій енергії занурювальних барабанів агрегату цинкування корозійностійким хромонікелевим дротом Зв08Х21Н10Г6, що забезпечує аустенітну структуру, зменшення тепловкладень, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій і зварювальних напруг, подрібнення мікро-структури, скороченні міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, корозійної стійкості та зносостійкості барабанів більш ніж у 4 рази, зниження витрат цинку, матеріалоємності процесу цинкування і собівартості оцинкованого листа.

Ключові слова: занурювальні барабани агрегату цинкування, високошвидкісне наплавлення на низькій енергії, хромонікелевий легований метал, аустенітна структура, мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, зварювальні напруги, щільність дислокацій, міжатомна відстань, швидкість наплавлення і кристалізації, подрібнення мікроструктури, міжатомні зв'язки, корозійна стійкість, тріщиностійкість.

Постановка проблеми. Занурювальний барабан агрегату цинкування, що виконує функцію натягуючого елемента, експлуатується в умовах абразивного зносу, в результаті тертя о смугу, агресивного середовища, внаслідок травлення поверхні сірчаною кислотою для зачистки від цинку після перевалки та високих температур. Тому, підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості занурювальних барабанів агрегату цинкування є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Електродугове наплавлення використовувалось для підвищення зносостійкості занурювальних барабанів лінії алюмоцинкування в цеху холодної прокатки Запорізького металургійного комбінату [1]. Однак, вплив хімічного складу дротів, наплавленого металу та погонної енергії на тріщиностійкість, зносостійкість та корозійну стійкість занурювальних барабанів агрегату цинкування досліджено недостатньо [1–9].

Мета досліджень. Встановлення механізму регулювання типу наплавленого металу і розробка процесу високошвидкісного наплавлення на низькій енергії, що забезпечує

Машинобудування і зварювальне виробництво

підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості занурювальних барабанів агрегату цинкування.

Основний матеріал дослідження. Для забезпечення стійкого технологічного процесу нанесення цинкового покриття на холоднокатану смугу, в цехах холодної прокатки застосовується безперервне гаряче цинкування, яке виробляється шляхом пропускання попередньо підготовленої смуги через ванну з розплавленим цинком, при температурі 718 – 728° K.

Занурювальний барабан агрегату цинкування, що виконує функцію натягуючого елемента, експлуатується в умовах абразивного зносу в результаті тертя о полосу, агресивного середовища, внаслідок травлення поверхні сірчаною кислотою для зачистки від цинка після перевалки та високих температур. Крім того, на занурювальний барабан діють конвективні потоки та рух розплаву в ванні, під дією руху смуги.

В результаті зносу, під дією високої температури та агресивного середовища, занурювальний барабан виходить зі строю, що призводить до зупинок агрегату цинкування, зростанню витрат цинку, матеріалоємності процесу цинкування та собівартості оцинкованого листа. Тому, підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості є важливою науково-технічною проблемою.

Цинк утворює з залізом хімічні сполуки. Одним із способів запобігання утворенню прошарків інтерметалідів, в результаті їх хімічної взаємодії, є легування цинку елементами, що мають більшу хімічну спорідненість до заліза, ніж цинк. Таким елементом є алюміній, який уведений до складу цинкового розплаву. Цинк утворює з алюмінієм евтектику та широку область твердих розчинів [1]. Так як агрегат цинкування експлуатується в умовах високої температури і корозії, основними видами зношування є термічна втома, корозія та зношування, внаслідок тертя металу по металу. Основним видом зношування є корозія, тому наплавлений занурювальний барабан повинен забезпечувати корозійну стійкість та жаростійкість. Міжкристалічна корозія є наслідком випадання карбідів хрому на межі зерен та утворення мікрогальвано пар, що створює напружений стан і посилює ефективність впливу агресивного середовища.

Для підвищення стійкості занурювальних барабанів агрегату цинкування, доцільно проводити наплавлення корозійностійким хромонікелевим дротом типу 18-8 [1], який забезпечує отримання однорідної структури аустеніту [5–7] і крім хрому та нікелю містить легуючі елементи, що покращують їх експлуатаційні властивості, наприклад, титан, ніобій, кремній, молібден та вольфрам.

Стан поверхні занурювального барабана, який забезпечує занурення холоднокатаної смуги в розплав цинку, значною мірою визначає міцність зчеплення цинку зі смугою, формування та регулювання товщини цинкового покриття і, як результат, якість оцинкованого листа, витрати цинку та матеріаломісткість процесу.

Профіль зносу бочки занурювального барабана впливає на різновисхідність цинкового покриття, його "хвилястість" і "вдавлини", а також інші дефекти. Для міцного зчеплення покриття зі смугою сили адгезії між цинком і смугою повинні бути більше сил когезії розплаву цинку. Барабан, занурюючи смугу в розплав, надає додатковий питомий тиск на цинк, який, підсумовуючись з силами адгезії, забезпечує його зчеплення з поверхнею полоси. Для забезпечення міцності та рівномірності зчеплення, знос барабана має бути більш рівномірним.

Істотним фактором, що впливає на знос барабана, поряд з корозійною стійкістю, є тертя у місці контакту зі смугою. Це призводить до регулярних перевалок занурювальних барабанів, після двотижневої експлуатації в лінії агрегату безперервного гарячого цинкування цеху холодної прокатки. Після вивалки та очищення від цинку, шляхом травлення в розчині сірчаної кислоти, занурювальний барабан проточується на токарному станку до відновлення необхідного профілю бочки і усунення слідів корозійного руйнування поверхні. Це

Машинобудування і зварювальне виробництво

призводить до зменшення діаметра бочки барабана і після трьох-чотирьох перевалок до повного виходу з строю.

Проблема наплавлення занурювальних барабанів визначається умовами експлуатації при високій температурі, з взаємодією агресивного середовища

Для визначення типу наплавленого металу, що забезпечує високу зносостійкість і корозійну стійкість в умовах агресивного середовища та високої температури, проведені дослідження впливу хімічного складу зварювальних дротів на властивості наплавленого металу. Наплавлення проводилось на пластини зі сталі 08КП зварювальними дротами типу 08Х21Н10Г6, Х9Г2МФС, 08Х19Н9Ф2С2, 12Х20Н16Г7Т, 12Х12Г12СФ, вибір яких обґрунтований необхідністю забезпечення корозійної та абразивної стійкості. Дослідження проводились в виробничих умовах. Наплавленні зразки занурювали в розплавлений цинк агрегату цинкування. В процесі виробничих випробувань, на зразки впливали конвективні потоки рідкого цинка. Абразивний знос, внаслідок тертя металу по металу був виключений, так як зразки занурювались у ванну агрегату цинкування без контакту з половою. Після випробувань проводились заміри зразків, на підставі яких вибрано дріт для наплавлення занурювальних барабанів.

Проведені дослідження дозволили встановити, що найбільш високу зносостійкість і корозійну стійкість в умовах високих температур забезпечує дріт Зв08Х21Н10Г6, при напавленні яким активного шару занурювального барабана забезпечується отримання хромонікелевої аустенітної сталі, легованої хромом, нікелем і марганцем в кількостях, що забезпечують отримання стійкого аустеніту.

Введення до складу зварювального дроту до 7 – 8 % марганцю дозволяє замінити частину нікелю та забезпечити отримання чистої аустенітної структури. Заміна нікелю марганцем, крім аустенітної структури, підвищує твердість та зносостійкість наплавленого металу.

Перед напавленням, занурювальні барабани піддаються механічній обробці або шліфуванню, до повного видалення поверхневих дефектів типу тріщин, раковин, вм'ятин, фарбувань, сітки корозійних тріщин, нерівномірного зносу. Товщина шару, що знімається, повинна бути не менше 0,005 м, для запобігання попаданню цинку з поверхні бочки в напавлений метал і появи дефектів типу пор, раковин і свищів.

Однією з основних труднощів зварювання та напавлення сталей аустенітного класу [6,9] є запобігання появі кристалізаційних та підсолідусних тріщин, що забезпечується за допомогою введення другої фази безпосередньо в процесі кристалізації, додаткового легування елементами, подрібнення первинної структури, шляхом легування елементами-модифікаторами, підвищення чистоти металу, що сприяє утворенню легкоплавких фаз, та технологічних заходів.

Для підвищення корозійної стійкості, тріщиностійкості та зносостійкості занурювальних барабанів агрегату цинкування, збільшення продуктивності процесу, зниження енергоємності, рекомендується напавлення на низькій погонній енергії, зі швидкістю 75 м/год. При цьому, продуктивність процесу становить 15,2 кг/год.

Напавлення на низькій погонній енергії забезпечує зменшення тепловкладення в напавлений метал занурювального барабану, зниження мікростворень кристалічної решітки, щільності дислокацій та подрібнення структури, зменшення частки участі основного металу і зменшення зони відпуску. В результаті знижуються зварювальні напруги [8,9] і підвищується корозійна стійкість, тріщиностійкість наплавленого занурювального барабана агрегату цинкування, що сприяє забезпеченню підвищення зносостійкості і зниження витратного коефіцієнта металу на 1 тону прокату. Корозійна стійкість і тріщиностійкість визначає зносостійкість і довговічність занурювальних барабанів агрегату цинкування, матеріаломісткість процесу і собівартість прокату.

Ефективним способом підвищення тріщиностійкості є високошвидкісне електродугове напавлення на низькій погонній енергії занурювального барабана агрегату цинкування, при

Машинобудування і зварювальне виробництво

якому змінюються умови існування дуги, зменшується тепловкладення, збільшується швидкість нагріву і охолодження рідкого металу навколошовної зони. Це призводить до зміни умов кристалізації ванни, деформації, зварювальних напруг, подрібненню мікроструктури і якості наплавленого металу.

Подрібнення мікроструктури найбільш ефективно при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії, внаслідок підвищення швидкості нагріву та охолодження, кількості центрів кристалізації, які, розташовуючись попереду фронту зростаючих кристалів, пригнічують їх подальший зріст.

На підставі проведених досліджень, встановлено механізм підвищення тріщиностійкості при високошвидкісному електродуговому наплавленні на низькій погонній енергії занурювальних барабанів агрегату цинкування, за рахунок зменшення деформації, зварювальних напруг, зони відпуску і подрібнення мікроструктури. Для підвищення зносостійкості занурювального барабана агрегату цинкування, рекомендується розробити енергозберігаючий спосіб високошвидкісного електродугового наплавлення на низькій погонній енергії.

Перед наплавленням, занурювальні барабани піддаються механічній обробці або шліфуванню, до повного видалення поверхневих дефектів типу тріщин, раковин, вм'ятин, фарбувань, сітки корозійних тріщин, нерівномірного зносу. Товщина шару, що знімається, повинна бути не менше 0,005 м, для запобігання попаданню цинку з поверхні бочки в наплавлений метал і появи дефектів типу пор, раковин і свищів.

Занурювальний барабан агрегату цинкування ЦХП виготовлений з низьковуглецевої киячкої сталі 08КП, яка не схильна до утворення тріщин, добре зварювальна сталь, тому електродугове наплавлення проводиться без підігріву.

Наплавлення занурювальних барабанів проводилось на постійному струмі оберненої полярності. В якості джерела живлення використовували ВДУ-1204. При зміцнюванні занурювальних барабанів, спочатку проводиться наплавлення буферновідновлюючого шару дротом Зв08Г2С, діаметром 0,004 м під флюсом АН-60, на режимі: струм $I=750-800$ А, напруга на дузі $U=30-32$ В, швидкість наплавлення $V=0,021$ м/с. Потім проводиться наплавлення корозійностійкого шару дротом Зв08Х21Н10Г6 діаметром 0,004 м під флюсом АН-26П, на режимі: $I=700-750$ А, $U=30-32$ В, $V=0,021$ м/с, погонна енергія $q_{\text{п}}/V=1,1$ МДж/м.

Для підвищення тріщиностійкості, розроблено процес наплавлення в аргоні. При зміцненні занурювальних барабанів, спочатку проводиться наплавлення буферновідновлюючого шару дротом Зв08А, Зв08ГА діаметром 0,0024 м в аргоні, на режимі: струм $I=620$ А, напруга на дузі $U=23$ В, швидкість наплавлення $V=0,021$ м/с. Потім проводиться наплавлення корозійностійкого шару дротом Зв08Х21Н10Г6 діаметром 0,0024 м в аргоні, на режимі: $I=620$ А, $U=23$ В, $V=0,021$ м/с, погонна енергія $E_{\text{п}}=q_{\text{п}}/V=0,69$ МДж/м.

Наплавлення занурювальних барабанів проводилося за схемою "спірального намотування або слаломного" зміщення головки наплавлення після кожного обороту, по всій довжині бочки. Наплавлення проводилося з кроком $(8-10) \cdot 10^{-3}$ м, що забезпечувало отримання рівної наплавленої поверхні. Число проходів визначалося, виходячи з початкового діаметру бочки барабана. Кількість проходів забезпечувало отримання корозійностійкого шару товщиною не менше 0,008 м на бік. При цьому, участь основного металу в наплавленому зведено до нуля, що забезпечило заданий хімічний склад, високу зносостійкість і корозійну стійкість.

Після наплавлення вироблялася механічна обробка і занурювальний барабан встановлювали в агрегат цинкування. Після експлуатації наплавлених занурювальних барабанів (рис. 1 а) в агрегаті цинкування, вимірювався діаметр по довжині бочки, і будувалася філограма поверхні барабана (рис.1б). Порівняння зносостійкості наплавлених і стандартних занурювальних барабанів проводилося за даними відносного зносу бочки на 10^3 кг прокату та

Машинобудування і зварювальне виробництво

коефіцієнта зносу на 10^3 кг прокату в одиницю часу (рис.1 в).

Для забезпечення безперебійної роботи агрегату цинкування, робоча поверхня занурювального барабана агрегату цинкування повинна зберігати велику твердість при впливі високих температур, мати достатню корозійну стійкість, абразивну стійкість і тріщиностійкість.

За результатами експлуатаційних даних встановлено, що наплавлення корозійностійкого шару значно знижує знос і підвищує відносну зносостійкість занурювальних барабанів. Основним видом зношування є корозія, тріщиностійкість та зносостійкість визначається корозійною стійкістю.

На зносостійкість впливає погонна енергія, із зменшенням якої відносна зносостійкість підвищується. Це є наслідком збільшення швидкості кристалізації та подрібнення мікроструктури, що призводить до підвищення корозійної стійкості та зносостійкості наплавленого металу. Одночасно з подрібненням структури, при високошвидкісному наплавленні на низькій енергії, зменшується тепловкладення, знижуються зварювальні напруги і схильність до утворення кристалізаційних та підсолідусних тріщин.

При підвищенні швидкості наплавлення посилюється охолодження, зменшуються розміри активних плям, погонна енергія і тепловкладення в основний метал. Це призводить до зниження мікроспотворень кристалічних решітки, мікронапруг, щільності дислокацій і зварювальних напруг, що підвищує зносостійкість наплавленого металу.

З встановленої закономірності впливу погонної енергії на знос впливає, що з підвищенням швидкості наплавлення посилюються конвективні потоки рідкого металу у ванні, що забезпечує утворення однорідної дрібнодисперсної мікроструктури та підвищення корозійної стійкості. Крім того, при підвищенні швидкості наплавлення та зниження погонної енергії, зменшується глибина проплавлення та частка участі основного металу в наплавленому, що підвищує корозійну стійкість, тріщиностійкість та зносостійкість занурювальних барабанів.

На підставі встановленої закономірності впливу погонної енергії на зносостійкість наплавленого металу, розроблено процес наплавлення занурювальних барабанів дротом Зв08Х21Н10Г6, що забезпечує аустенітну структуру, корозійну стійкість, тріщиностійкість і зносостійкість занурювальних барабанів агрегату цинкування.

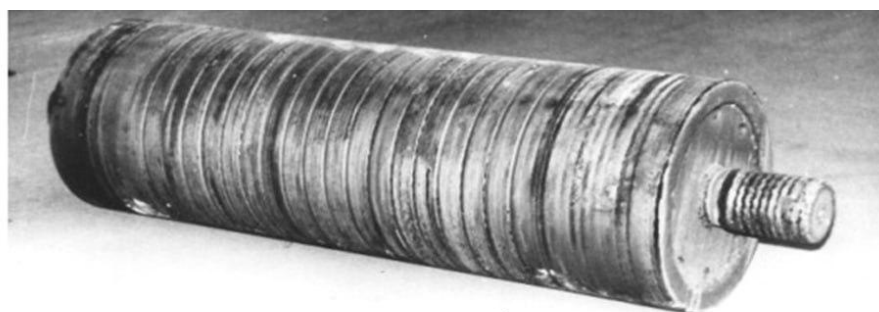
Механізм підвищення корозійної стійкості, тріщиностійкості та зносостійкості при високошвидкісному наплавленні на низькій енергії, полягає у збільшенні швидкості наплавлення, утворенні однорідної дрібнодисперсної мікроструктури, зменшенні тепловкладень, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруги та щільності дислокацій, зварювальних напруг, скорочення міжатомної відстані та зростання міжатомних зв'язків.

Розроблено процес високошвидкісного наплавлення на низькій енергії занурювальних барабанів агрегату цинкування корозійностійким хромонікелевим дротом Зв08Х21Н10Г6, що забезпечує аустенітну структуру, підвищення корозійної стійкості та зносостійкості барабанів, зниження витрат цинку та собівартості оцинкованого листа.

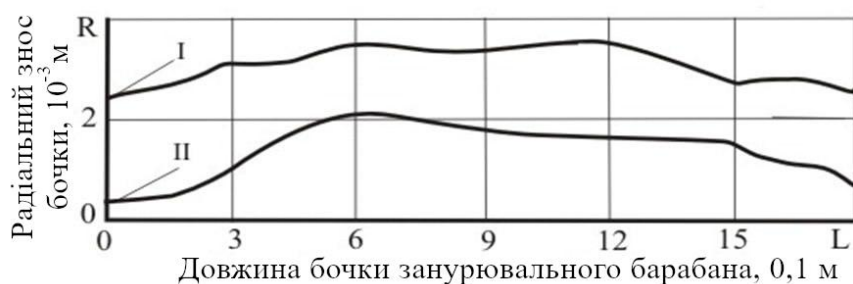
Розроблений процес застосовується для наплавлення занурювальних барабанів та зварювання ванни агрегату цинкування, що значно скорочує час ремонту, зупинки, особливо з урахуванням відкачування цинку з ванни електромагнітним способом та собівартості оцинковки.

Високошвидкісне наплавлення на низькій енергії корозійного шару дозволило підвищити корозійну стійкість, тріщиностійкість, зносостійкість і довговічність занурювальних барабанів агрегату цинкування цеху холодного прокату більш ніж у 4 рази.

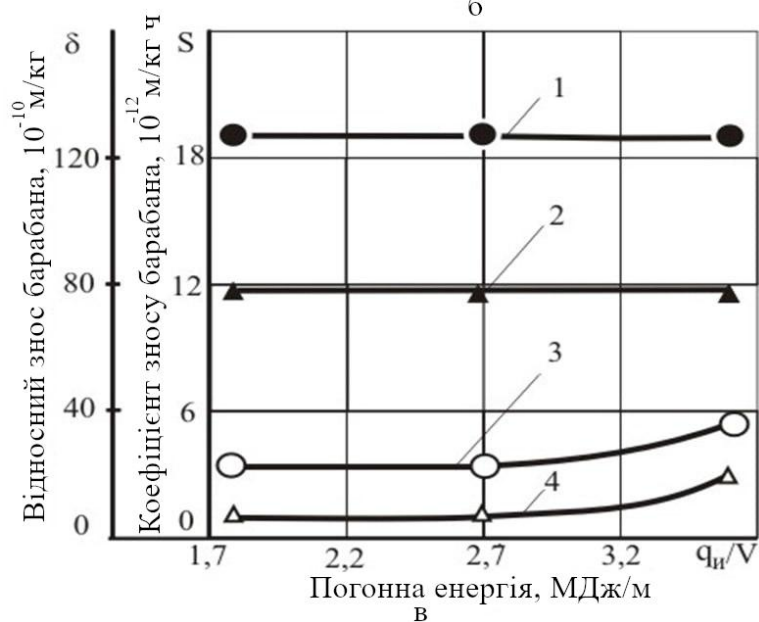
Збільшення зносостійкості наплавлених занурювальних барабанів підвищило якість і випуск оцинкованого листа, за рахунок скорочення часу на перевалки і зупинки стану. Наплавлення занурювальних барабанів впроваджено на ПАТ "Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча".



а



б



в

Рисунок 1 – Погружной барабан агрегата цинкування після експлуатації(а), профілограма зносу після прокатки(б): I – барабан зі сталі 08КП прокатав 3899000кг металу; II – наплавлений барабан, який прокатав 10621000 кг металу. Залежність відносного зносу(1,3) та коефіцієнту зносу(2,4) від погонної енергії(в): зі сталі 08КП(1,2); наплавлений барабан(3,4)

Високошвидкісне наплавлення корозійностійким хромонікелевим дротом Зв08Х21Н10Г6 та Зв0619Н9Т є ефективним способом підвищення корозійної стійкості, тріщиностійкості та зносостійкості деталей металургійного обладнання.

Встановленні закономірності і розроблений спосіб наплавлення на низькій енергії, за рахунок корозійностійкого хромонікелевого дроту, можуть бути використані при високошвидкісному наплавленні.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси наплавлення на низькій енергії елементів конструкції прокатних станів, які забезпечують підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості.

ВИСНОВКИ

Занурювальний барабан, що забезпечує занурення протравленої в сірчаній кислоті смуги в цинк, при безперервному гарячому цинкуванні з температурою 718 – 7280 К, в ванні агрегату цинкування, експлуатується під дією високої температури і агресивного середовища, корозії, руху смуги, розплаву, абразивного зносу і конвективних потоків. В результаті зносу, під дією високої температури і агресивного середовища, занурювальний барабан виходить зі строю, що призводить до зупинок агрегату цинкування, електромагнітного викачування рідкого цинку з ванни, збільшенню витрати цинку, матеріаломісткості процесу цинкування і собівартості оцинкованого листа. Тому, підвищення тріщиностійкості, зносостійкості та корозійної стійкості є важливою науково-технічною проблемою.

На основі виробничих випробувань, шляхом занурення зразків, наплавлених дротами різних хімічних складів, в цинк безпосередньо в ванні агрегату цинкування, в процесі гарячого цинкування встановлено, що основним видом зносу занурювальних барабанів агрегату цинкування є корозія. Ефективним способом підвищення корозійної стійкості є наплавлення корозійностійкого металу корозійностійким хромонікелевим дротом Зв08Х21Н10Г6, що забезпечує аустенітну структуру, і подрібнення мікроструктури, значно знижує знос і підвищує відносну зносостійкість.

Виходячи з аналізу філограм поверхні барабана, що побудовані шляхом вимірювання діаметра наплавлених занурювальних барабанів по довжині бочки після експлуатації в ванні агрегату цинкування, підтверджено обраний для наплавлення дрот. Встановлено, що на корозійну стійкість, тріщиностійкість та зносостійкість впливає погонна енергія, зі зниженням якої відносна зносостійкість підвищується, внаслідок зростання швидкості наплавлення, кристалізації та подрібнення мікроструктури, зменшення тепловкладення, зварювальних напруг та схильності до утворення кристалізаційних і підсолідусиих тріщин.

Механізм підвищення корозійної стійкості, тріщиностійкості та зносостійкості, при наплавленні на низькій енергії корозійностійким хромонікелевим дротом, полягає в забезпеченні структури аустеніту, зростанні швидкості наплавлення, утворенні однорідної мілкодисперсної мікроструктури, зменшенні тепловкладень, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій і зварювальних напруг, зростанні швидкості кристалізації, подрібненні мікроструктури, скороченні міжатомної відстані та збільшенні міжатомних зв'язків.

Розроблено процес високошвидкісного наплавлення на низькій енергії занурювальних барабанів агрегату цинкування корозійностійким хромонікелевим дротом Зв08Х21Н10Г6, що забезпечує аустенітну структуру, зменшення тепловкладень, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій і зварювальних напруг, подрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, корозійної стійкості та зносостійкості барабанів більш ніж у 4 рази, зниження витрат цинку, матеріалоемності процесу цинкування і собівартості оцинкованого листа.

Список використаних джерел

1. Каленський В.К. Відновлення наплавленням деталей агрегату для алюмоцинкування рулонної сталі /В.К. Каленський, А.В. Семеніхін, Д.П. Новікова // Автоматичне зварювання. - 1998. - №2. - С.38 – 44.

Машинобудування і зварювальне виробництво

2. Технологія, матеріали, обладнання / *І.А. Рябцев, І.А. Кондратьєв, Є.Ф. Переплетчиков, Ю.М. Кусков*. – Київ, ІЕЗ ім. О.О. Патона НАНУ, 2015. – 402 с.
3. *Рябцев І.А.* Наплавлення деталей машин та механізмів. – Київ: Екотехнологія, 2004. – 160 с.
4. Вплив погонної енергії на утворення відколів при наплавленні високовуглецевої сталі аустенітними дротами / *В.К. Каленський, Я.П. Черняк, В.Г. Васильєв, Т.Г. Соломійчук* // Автоматичне зварювання. - 2001. - №11. – С. 11–14.
5. *Хакімов О.М.* Методика визначення допустимих термічних циклів зварювання на основі результатів дослідження кінетики фазових перетворень аустеніту/ *О.М. Хакімов* / Зварювальне виробництво. - 1983. - №5. – С.1 – 3.
6. *Волобуєв Ю.В.* Оцінка впливу параметрів термічного циклу зварювання на розмір аустенітного зерна у зоні термічного впливу сталей типу 12ХН4МА / *Ю.В. Волобуєв, В.Г. Федоров, Г.Б. Кулігін* // Зварювальне виробництво. - 1983. - №12. – С.6 – 8.
7. *Степков О.І.* Використання плазмового способу наплавлення для нанесення корозійностійкого шару газонафтохімічної апаратури, що працює у водневих середовищах/ *О.І. Степков, А.В. Алексєєв, О.А. Александров* // Зварювальне виробництво. - 1989. - №5. – С.1 – 3.
8. *Фролов В.В.* Теоретичні основи зварювання/ *В.В. Фролов, В.А. Вінокуров*. - К.: Вища школа, 2002. - 591 с.
9. Вплив погонної енергії на утворення відколів при наплавленні високовуглецевої сталі аустенітними дротиками / *В.К. Каленський, Я.П. Черняк, В.Г. Васильєв, Т.Г. Соломійчук* // Автоматичне зварювання. - 2001. - №11. – С. 11–14.

Shchetynina V.I., Volenko I.V.

INCREASING THE CORROSION RESISTANCE OF THE IMMERSION DRUMS OF THE GALVANIZING UNIT BY THE SURFACING METHOD

The galvanizing unit immersion drum, which ensures the immersion of the strip etched in sulfuric acid into zinc during continuous hot galvanizing with a temperature of 718 - 728 K in the galvanizing bath, is operated under the high temperature and aggressive environment, corrosion, the strip movement, melt, abrasive wear and convective flows action. As a result of wear, under the high temperature and aggressive environment action, the immersion drum is out of order, which leads to the galvanizing unit stopping, electromagnetic pumping of liquid zinc from the bath, zinc consumption an increase, the galvanizing process material intensity and the galvanized sheet cost price an increase. Therefore, increasing crack resistance, wear resistance and corrosion resistance is an important scientific and technical problem.

Based on production tests by immersing samples deposited with various chemical compositions welding wires into zinc directly in the galvanizing unit bath during the hot-dip galvanizing process, it was established that the galvanizing unit immersion drums the main wear type is corrosion. An effective way to increase corrosion resistance is to weld corrosion-resistant metal with corrosion-resistant chromium-nickel wire Sv08Kh21N10G6, which provides an austenitic structure and microstructure refinement, significantly reduces wear and relative wear resistance increases.

The wire selected for surfacing was confirmed from the drum surface profilograms constructed the deposited immersion drums by measuring the diameter along the barrel length after operation in the galvanizing unit bath. It was established that corrosion resistance, crack resistance and wear resistance are affected by the linear energy, with a decrease which the relative wear resistance increases, due to the surfacing speed, crystallization an increase and microstructure refinement, the heat input, welding stresses and the tendency to form crystallization and subsolid us cracks a reduction.

Машинобудування і зварювальне виробництво

The mechanism for increasing corrosion resistance, crack resistance and wear resistance during high-speed low-energy surfacing with corrosion-resistant wire consists of ensuring the austenite structure, increasing the surfacing speed, forming a homogeneous fine-dispersed microstructure, and reducing heat input, the crystal lattice micro distortions, microstresses and dislocation density, welding stresses, increased crystallization rate, the microstructure refinement, interatomic distances reduction and interatomic bonds growth.

A high-speed low-energy of galvanizing unit immersion drums with corrosion-resistant chromium-nickel wire Sv08Kh21N10G6 surfacing process has been developed, which provides an austenitic structure, a homogeneous fine-grained microstructure, heat input, the crystal lattice micro distortions, microstresses and dislocation density, welding stresses, interatomic distances reduction, interatomic bonds, corrosion resistance and wear resistance drums more than 4 times increase, zinc consumption, the galvanizing process material intensity and galvanized sheet cost price reduction.

Keywords: *The galvanizing unit immersion drum, high-speed low-energy corrosion-resistant chromium-nickel metal, an austenitic structure, homogeneous fine-grained microstructure, the crystal lattice micro distortions, microstresses and dislocation density, welding stresses, interatomic distances, interatomic bonds, corrosion resistance and wear resistance.*

Стаття надійшла 12.05.2025 р.

УДК 004.056.53:519.17

doi.org/10.31498/2522-9990292025330211

Щетинін С.В., Десятський С.П.

КЕРУВАННЯ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ ЗВАРЮВАЛЬНОГО СТРУМУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТРУБ

Збільшення виробництва труб зумовлено швидким розвитком трубопровідного транспортування газоподібних, рідких та сипких середовищ, подальшим розвитком містобудування та різних галузей машинобудування.

Широке використання труб обумовлено можливістю транспортування по них різних продуктів і високими механічними властивостями труб, які при порівняно невеликій масі мають значний запас міцності і великий опір вигину і скручування.

Найбільший попит на світовому ринку мають труби для магістральних газо- і нафтопроводів, які експлуатуються при коливаннях температури (від -40 до +50°C) і виготовляються з вуглецевих і низьколегованих сталей.

Україна економічно зацікавлена у транспортуванні газу та нафти через свою територію та будівництво трубопроводів. Тому доцільно розробляти нові способи зварювання труб, що забезпечують підвищення продуктивності, якості та ударної в'язкості зварних з'єднань, зниження енергоємності, матеріаломісткості та собівартості труб.

В даний час якісне формування зварних швів при односторонньому зварюванні забезпечується за рахунок утримання рідкого металу зварювальної ванни спеціальними підкладками, флюсами, мідними та мідно-флюсовими подушками, поперечним магнітним полем.

При зварюванні труб, за розробленим способом, збільшується площа, якою обертається активна пляма, зменшується в 4 рази тиск дуги, що забезпечує при односторонньому високошвидкісному зварюванні якісне формування зворотного валику на флюсовій подушці незалежно від зазору в стику.

Встановлено закономірність розподілу магнітного поля зварювального струму у зварювальній ванні, пластинах та трубах. При протіканні струму пластинами індукція на середині товщини металу дорівнює нулю і зростає при наближенні до поверхні. Максимальне