

621.771.07:621.9.14

Ю.І. Усенко⁽¹⁾, доцент, к.т.н.В.І. Іванов⁽²⁾, ст. наук. співр.Т.М. Нестеренко⁽²⁾, доцент, к.т.н.В.К. Тарасов⁽²⁾, доцент, к.т.н.

ДО НАНЕСЕННЯ ШОРСТКОСТІ НА ПОВЕРХНЮ СТАЛЕВОЇ ХОЛОДНОКАТАНОЇ ШТАБИ

⁽¹⁾ Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ,

⁽²⁾ Запорізька державна інженерна академія

Разработана и испытана в опытно-промышленных условиях технология нанесения микро рельефа с заданными параметрами шероховатости на рабочую поверхность валков станов холодной прокатки стальной полосы. Ее применение позволяет существенно повысить срок службы валков, полностью устранить вероятность межвитковой свариваемости рулонов холоднокатаной полосы, а также значительно улучшить качество подготовки ее поверхности под покрытие.

Ключевые слова: стальная холоднокатаная полоса, рулон, прокатный валок, нанесение микро рельефа, параметры шероховатости

Розроблено та випробувано за дослідно-промислових умов технологію нанесення мікрорельєфу із заданими параметрами шорсткості на робочу поверхню валків станів холодної прокатки сталевих штаб. Її використання дозволяє суттєво підвищити термін служби валків, цілком усунути ймовірність міжвиткового зварювання рулонів холоднокатаної штаби, а також значно поліпшити якість підготовки її поверхні під покриття.

Ключові слова: сталеві холоднокатані штаби, рулон, прокатний валок, нанесення мікрорельєфу, параметри шорсткості

Technology for coating of a microrelief with the set parameters of roughness on a working surface of rollers for cold rolling mills of a steel band has been worked out and tested at experienced-industrial conditions. Its application allows substantially to increase essentially service life of rollers, practically completely to eliminate probability of interturn weldability of coils for cold-rolled bands, and also considerably to improve quality of its surface preparation under a coverage.

Keywords: steel cold-rolled band, coil, rolling roller, coating of microrelief, parameters of roughness

Вступ. Стан поверхні сталевих холоднокатаних штаб для глибокого видовжування, величина та рівномірність її шорсткості є найважливішими якісними показниками, що суттєво впливають на зовнішній вигляд металу та міцність захисних покриттів. За інших рівних умов кращі властивості має метал, мікрогеометрія поверхні якого характеризується хаотично розташованими, але рівномірно розподіленими мікрозападинами та мікровиступами заданої висоти. В свою чергу, мікрогеометрія поверхні сталевих штаб після холодної прокатування значною мірою визначається станом мікропрофілю робочої поверхні валків прокатних станів.

Слід зазначити, що під час рекристалізаційного відпалювання на поверхню рулонів холоднокатаної штаби спільно діють певна атмосфера, її тиск та температура. Тиск забезпечує достатньо щільний контакт сусідніх витків рулону штаби, а висока температура та відновлювальна атмосфера створюють умови для очищення її поверхні від оксидних і адсорбційних плівок, що супроводжується міжвитковим зварюванням рулонів. Як наслідок, за наступного розмотування рулонів перед дресироваль-

ними станами на штабі з'являються розривини та лінії зламу, що призводить до додаткових втрат металу.

У той же час виявлено [1], що на появу міжвиткового зварювання рулонів найбільш суттєво впливають сила натягу сталевих штаб під час намотування в рулон, якість мастильного матеріалу, застосованого під час холодної прокатування, а також мікрорельєф та якість поверхні холоднокатаної штаби.

У той же час виявлено [1], що на появу міжвиткового зварювання рулонів суттєво впливають сила натягу сталевих штаб під час намотування в рулон, якість мастильного матеріалу, застосованого під час холодної прокатування, а також мікрорельєф та якість поверхні холоднокатаної штаби.

Експериментами встановлено, що зниження сили натягу сталевих штаб до значення 39,2 кН під час намотування у рулон практично цілком виключає зварювання сусідніх витків, але супроводжується зниженням продуктивності прокатних станів і коефіцієнта використання робочого обсягу печей, а також подовженням процесу відпалювання. Вплив контактного тиску на міжвиткове зварювання рулонів можна зменшити, якщо під час холодної

прокатування сталевих штаби застосовувати відповідні мастильні матеріали. Проте швидке погіршення експлуатаційних характеристик різних емульсій призводить до їх значної витрати.

Результати статистичної обробки результатів численних експериментів, виконаних у цеху холодної прокатки сталевих штаби ВАТ «Нижегородський металургійний завод» (Російська Федерація), вказують на найбільш низьку схильність до зварювання для металу із шорстквою поверхнею, мікрорельєф якої складається з хаотично, але рівномірно розташованих мікрозападин і мікроставів заданої висоти та глибини. Такої мікрогеометрії поверхні холоднокатаної штаби сягають за наявності відповідного мікрорельєфу робочої поверхні литих прокатних валків.

Стан питання. Для забезпечення необхідного рівня шорсткості на робочій поверхні прокатних валків широко застосовують різні механічні методи з використанням гідро- та вільноабразивних часточок [2], які мають низьку суттєвих недоліків: значну витрату електроенергії, стисненого повітря, абразивних часточок і допоміжних матеріалів, а також необхідність використання значних виробничих площин.

Поряд з механічними методами обробки поверхні металів поширюють використання електрофізичні методи [3], насамперед електророзрядна обробка за імпульсним режимом [4], яку здійснюють у середовищі діелектричної рідини, що заповнює простір між електродом-інструментом та електродом-виробом, якого обробляють. Таку технологію слід віднести до найбільш перспективних, тому що на відміну від механічних методів вона є інженерно керованою й екологічно чистою, а на відміну від ультразвукового методу характеризується високою продуктивністю процесу, відносно меншою вартістю обладнання та простотою його обслуговування.

За використанням зазначеного метода здійснюється змінювання шорсткості та властивостей поверхневого шару металу під час дії імпульсних електричних розрядів, яких створено за допомогою керованих джерел постійного струму. Зазначені розряди створюються у діелектричній робочій рідині, що заповнює простір між позитивно зарядженим електродом-інструментом і негативно зарядженим електродом-виробом та відбуваються один за одним з певною частотою. Формування на робочій поверхні виробу високоякісної поверхні з широким діапазоном шорсткості та глибини зміцнення здійснюють за допомогою генератора електричних імпульсів, який створює значну концентрацію енергії.

Численні дослідження у сфері застосування зазначеного методу за тривалим легуванням чавунних і сталевих валків станів гарячої прокатки

виконано у роботах [5-7]. Досягнуто не лише підвищення зносостійкості валків, але й збереження ними первинних розмірів протягом усього процесу експлуатації.

Постановка задачі. Ціллю даного дослідження є виявлення можливості використання електророзрядної обробки за імпульсним режимом для нанесення мікрорельєфу із заданими параметрами шорсткості на робочу поверхню литих валків станів холодної прокатування сталевих штаби.

Головна частина досліджень. У Національній металургійній академії України (НМетАУ) на експериментальному стенді, якого розроблено разом зі співробітниками Запорізької державної інженерної академії [8] виконано комплекс експериментів, спрямованих на визначення можливості застосування зазначеної технології для нанесення мікрорельєфу із заданими параметрами шорсткості на робочу поверхню прокатних валків станів холодної прокатки за умов, максимально наближених до реальних. Під час досліджень варіювали значення робочої напруги, яку підводили до електрода-інструмента (40...300 В), частоту електричних розрядів (50...450 кГц), а також швидкість обертання валків (30...300 хв.⁻¹).

Експерименти показали, що під час зближення поверхонь позитивно зарядженого електрода-інструмента та негативно зарядженого прокатного валка, якого обертають з постійною швидкістю, до відстані декількох десятків мікрометрів у місці найменшого проміжку між ними створюється активна область з високою напруженістю електричного поля, де відбувається електричний розряд, за дією якого створюється зона провідності, яка заповнена нагрітою речовиною (плазмою), що вміщує заряджені часточки: електрони й іони, які здійснюють спрямований рух між електродами.

На зовнішній межі зазначеної зони формується фронт ущільнення, де значення тиску стрибкоподібно зростає від вихідного значення у рідині до значної величини на межі, що призводить до часткового виділення відповідних мікроб'ємів рідкого та пароподібного металу з поверхні валків у місці проходження електричного розряду та його охолодження у діелектричній рідині з утворенням окремих дрібних часточок сферичної форми.

На робочій поверхні прокатного валка у місці дії електричного розряду створюється мікрозападина, яка за формою наближається до кульового сегмента. Після припинення дії розряду протягом певного проміжку часу відбувається

нейтралізація заряджених часточок і наступне відновлення діелектричних властивостей робочої рідини. Реалізацію чергового розряду, як правило, здійснюють у новому місці між двома іншими найближчими точками поверхні електрода-інструмента та електрода-прокатного валка. Імпульсне надходження електричної напруги до електродів супроводжується періодичним перебігом між ними електричних розрядів, а також повторенням процесу електророзрядної обробки поверхні валка. Робоча поверхня валка покривається мікрозападинами у вигляді множини лунок і мікроступів, які накладаються одна на одну, створюють високорозвинений матовий мікрорельєф із шорсткістю $0,8...2,0$ мкм і достатньо високою щільністю мікроступів і мікрозападин – до $90...100$ на 10 мм довжини мікропрофілю.

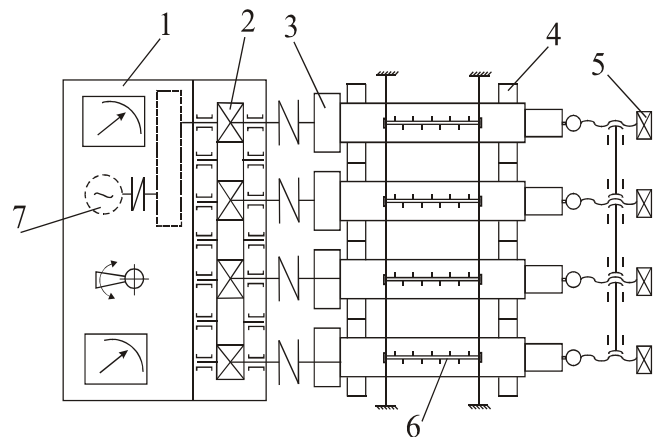
Як свідчать результати рентгеноспектрального аналізу з використанням мікроаналізатора «*Jeol Superprobe-733*», поверхневий шар валків, після електророзрядної обробки, складається з зони, що насичена елементами робочої рідини з утворенням дуже міцних карбідів; зони, яка створена за рахунок дифузії матеріалу електрода-інструмента в шар розплавленого матеріалу валка з утворенням твердих сполук, легованих вольфрамом; зони дрібнозернистої структури, характерної для високошвидкісного загартування та зони пластичної деформації. Таке створення поверхневих шарів на робочому валку підвищує термін його використання, а також міцність мікрорельєфу прокатої сталевий штаби.

На основі виконаних досліджень розроблено та виготовлено за умов дослідного заводу НМетАУ універсальні багатомісні верстати серії ВЕІ для електророзрядної обробки за імпульсним режимом робочої поверхні литих валків станів холодного прокатування штаби та стрічки (рис. 1).

Верстат містить рухливу станину, де змонтовано роликіві опори для закріплення прокатних валків, ванну з робочою рідиною (індустріальне мастило марки 20), двигун приводу обертання валків, генератор імпульсів постійного типу та систему електродних касет (три касети на кожний валок), які є обіймами з діелектричного матеріалу з вільно розташованими електродами-інструментами (мідними пластинами).

Під час роботи верстата системі електродів-інструментів надають зворотно-поступальний рух, що дозволяє усунути вплив дефектів крайки електрода на якість поверхні валка. Конструкція верстата передбачає можливість варіювання в широкому діапазоні швидкості обертання валків, що оброб-

ляють, а також напруги на робочих електродах, а конструкція генератора імпульсів – варіювання частоти та тривалості проходження імпульсів струму. Значна щільність і рівномірність нанесення розрядів щодо всієї площини контакту електродів-інструментів з поверхнею литих прокатних валків, що обробляють, сприяють утворенню рівномірного за усіма напрямками мікрорельєфу із заданими параметрами шорсткості.



1 - пульт управління; 2 - зубчаста передача; 3 - валок; 4 - опора; 5 - регульований упор; 6 - електрод-інструмент; 7 - привід валків

Рисунок 1 – Схема верстата серії ВЕІ

Глибину та діаметр мікрозападин, що створюють на поверхні валків з використанням зазначених верстатів, регулюють змінюванням енергії електричного розряду. Незалежно від твердості поверхні робочих валків прокатних станів можливе одержання її шорсткості $Ra = 0,70...2,50$ мкм із щільністю мікрозападин і мікроступів $50...100$ на 10 мм довжини мікропрофілю.

Верстати серії ВЕІ дозволяють вибирати режими обробки поверхні прокатних валків з широким діапазоном параметрів, що регулюють, не забруднюють навколишнє середовище (наявність захисних ковпаків та зонтів витяжної вентиляції) та забезпечують одержання штаби з рівномірним щодо усіх напрямків мікрорельєфом і шорсткістю поверхні. Головні технічні характеристики верстатів наведено у табл. 1.

Результати промислових випробувань робочих валків станів холодної прокатки сталевий штаби ВАТ «Нижегородський металургійний завод», які оброблено на верстатах ВЕІ-1 і ВЕІ-2, показали, що застосування запропонованої технології дозволяє, з одного боку, в $1,5...2,0$ рази підвищити термін служби валків чистових і передчистових клітей зазначених станів, а з іншого, практично виключити ймовірність зварювання витків рулонів штаби після їх відпалювання.

Таблиця 1 – Технічні характеристики верстатів типу ВЕІ

Найменування параметра	Тип верстата		
	ВЕІ-1	ВЕІ-2	ВЕІ-3
Кількість валків, що обробляють	4	2	4
Діаметр валків, мм	100...150	45...90	200...320
Споживана потужність, кВт	4,0	2,0	6,0
Робоча напруга, В	50...250	0...150	50...250
Частота надходження імпульсів, кГц	0...300	0...200	0...400
Швидкість обертання валків, об/хвил.	70...100	60...200	90...100
Інтервал шорсткості, що задають, мкм	0,8...2,0	0,5...1,2	1,0...2,5
Продуктивність, валків/доба	16...20	8...10	10...16
Габаритні розміри, м	1,08x1,72x0,84	0,60x1,20x0,85	1,20x2,20x0,96

Шляхом реконструкції механічної частини верстата ВЕІ-2 досягнуто принципову можливість його переведення на обробку робочої поверхні валків дресировальних станів.

Поряд з цим результати випробувань, виконаних за заводських умов, свідчать про якісну перевагу поверхонь сталевих штаб, прокатаних у валках після їх обробки на зазначених верстатах [9]. Так, якщо шорсткість поверхні штаби становить $Ra = 0,4...0,7$ мкм, то кількість мікроступів на 10 мм довжини мікропрофілю складає 180...200; якщо $Ra = 0,3...0,6$ мкм, то кількість мікроступів – 120...150; якщо $Ra = 0,1...0,2$ мкм, то кількість мікроступів – 50...100. Одержана щільність мікроступів виключає можливість міжвиткового зварювання рулонів під час наступної термічної обробки, суттєво підвищує якість готової продукції та відкриває широкі можливості для одержання якісних захисних покриттів.

Захисні покриття органічного та неорганічного походження на поверхні сталеві холоднокатаної штаби мають високу адгезію, рівномірність нанесення, а також стійкість під час роботи в агресивному середовищі. Одержання ізотропних повер-

хонь із заданим рівнем шорсткості та глибини зміцнення дозволяє забезпечити мінімальні витрати матеріалів захисного покриття та його високу якість.

Під час удосконалення конструкції верстатів даного типу виконано заміну RC -генератора імпульсів струму новим генератором, до зарядного та розрядного колів якого введено керуючі тиристри, що дозволяють практично цілком використовувати енергію накопичувальних конденсаторів і створювати електричні імпульси малої потужності зі значною частотою надходження [10].

Висновки. Електророзрядний метод обробки за імпульсним режимом робочої поверхні литих прокатних валків дозволяє змінювати структуру та фізико-механічні властивості робочого поверхневого шару в широкому діапазоні. Обладнання, яке розроблено для реалізації запропонованої технології, характеризується компактністю, простотою обслуговування та можливістю легкого переходу з одного режиму роботи на інший, що дозволяє одержувати високоякісну мікрогеометрію поверхні сталеві холоднокатаної штаби.

Бібліографічний список

1. Мелешко, В. И. Прогрессивные методы прокатки и отделки листовой стали [Текст] / В. И. Мелешко, А. П. Качайлов, В. Л. Мазур. – М. : Металлургия, 1980. – 192 с. – Библиогр.: с. 188-191. – 2500 экз.
2. Беляковский, М. Е. Микрогеометрия валков и холоднокатаной ленты [Текст] / М. Е. Беляковский, А. С. Ширинская, П. А. Фирсов // *Металлург.* – 1969. – № 12. – С. 31-32. – Библиогр.: с. 32.
3. Фотеев, Н. К. Физико-химические основы процессов электроэрозионной обработки рабочей поверхности технологической оснастки [Текст] / Н. К. Фотеев // *Электронная обработка материалов.* – 1980. – № 5. – С. 9-17. – Библиогр.: с. 16-17.
4. Лазаренко, Н. И. Электроискровое легирование металлических поверхностей [Текст] / Н. И. Лазаренко // *Электронная обработка материалов.* – 1977. – № 3. – С. 12-16. – Библиогр.: с. 16.
5. Рудюк, С. И. Применение электроискрового способа обработки прокатных валков [Текст] / С. И. Рудюк, В. М. Щекин, А. С. Рудюк и др. // *Сталь.* – 1983. – № 5. – С. 51-54. – Библиогр.: с. 54.
6. Жеребцов В. Н. Особенности технологии, оборудования и перспективы их использования для электроискрового легирования крупногабаритных деталей на металлургических предприятиях [Текст] / В. Н. Жеребцов, В. М. Щекин, В. П. Андреев и др. // *Электронная обработка материалов.* – 1987. – № 6. – С. 59-63. – Библиогр.: с. 63.
7. Рудюк, С. И. Электроискровое упрочнение валков станов горячей прокатки [Текст] / С. И. Рудюк, В. Ф. Коробейник, Г. С. Абрамов, А. Г. Ганжала // *Электронная обработка материалов.* – 1990. – № 4. – С. 64-68. – Библиогр.: с. 68.
8. Усенко, Ю. И. Моделирование экологически чистого процесса импульсной электрохимической подготовки поверхности металла перед покрытием [Текст] / Ю. И. Усенко, Ю. В. Михеев, В. И. Иванов и др. // Тез. докладов Все-

- союзн. совещания «Моделирование физико-химических систем и технологических процессов в металлургии». – Новокузнецк : Наука, 1991. – С. 251-252.
9. **Усенко, Ю. И.** Нанесение микрорельефа на поверхность холоднокатаной полосы [Текст] / Ю. И. Усенко, В. И. Иванов, Т. Н. Нестеренко, В. К. Тарасов // Fundamental and applied science. Materials of XI International research and practice conf. 30.10-07.11.2014. – Sheffield, 2014. – Vol. 18. – P. 14-16. – Библиогр.: с. 16.
10. **Усенко, Ю. И.** Про одержання заданої мікрогеометрії поверхні сталеві холоднокатаної штаби [Текст] / Ю. И. Усенко, В. И. Иванов, Т. Н. Нестеренко, В. К. Тарасов // Наука в інформаційному просторі. Мат. X Міжнар. наук-практ. конф. Дніпропетровськ. 20.11.-21.11.2014. – Дніпропетровськ: ПрГАСиА, 2014. – Т. 3. – С. 62-64. – Библиогр.: с. 64.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2014 р.
Рецензент, проф. В.У. Григоренко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>