



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **131085** (13) **C2**

(51) МПК (2026.01)

B23K 9/18 (2006.01)**B23K 9/04** (2006.01)**B23K 103/04** (2006.01)**B23K 103/06** (2006.01)**B22D 19/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**(21)** Номер заявки: **а 2024 05577****(22)** Дата подання заявки: **26.11.2024****(24)** Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **30.07.2026****(41)** Публікація відомостей
про заявку: **23.04.2025, Бюл.№ 17****(46)** Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: **29.07.2026, Бюл.№ 30****(72)** Винахідник(и):**Щетинін Сергій Вікторович (UA),
Щетиніна Віра Іванівна (UA)****(73)** Володілець (володільці):**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ
ЗАКЛАД "ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ",
вул. Гоголя, 29, ауд. 314, м. Дніпро,
Дніпропетровська обл., 49044 (UA)****(56)** Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

UA 119594 C2, 10.07.2019

UA 8802 U, 15.08.2005

UA 65092 A, 15.03.2004

RU 2283709 C2, 20.09.2006

CN 106312251 A, 11.01.2017

CN 104148788 A, 19.11.2014

WO 97/18921 A1, 29.05.1997

WO 2017/079996 A1, 18.05.2017

(54) СПОСІБ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ВИСОКОШВИДКІСНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ І ЧАВУНУ**(57)** Реферат:

Винахід належить до галузі електродугового наплавлення і може бути використаний при зміцненні та відновленні деталей прокатного обладнання в чорній металургії та важкому машинобудуванні. Спосіб електродугового високошвидкісного наплавлення високовуглецевих сталей і чавуну включає наплавлення із попереднім і супутнім підігріванням та термічну обробку після наплавлення, яке здійснюють вузькими валиками, ширину яких встановлюють

відповідно до виразу: $B_B = (10 \div 11) \cdot 10^4 \frac{U D_E}{V}$, де B_B - ширина валика, мм; U - напруга на дузі,

B ; D_E - діаметр електрода, мм; V - швидкість наплавлення, мм/год. Спосіб дозволяє забезпечити якісне формування наплавленого шару металу, підвищення тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості.

UA 131085 C2

Винахід належить до галузі електродугового наплавлення і може бути використаний при зміцненні та відновленні деталей прокатного обладнання в чорній металургії та важкому машинобудуванні.

Деталі прокатного обладнання (високовуглецеві та чавунні валки прокатних станів), що експлуатуються при високих, змінних температурах, значних питомих тисках, агресивних середовищах, виготовляються із схильних до утворення кристалізаційних і холодних тріщин високовуглецевих сталей і чавуну. Виникнення тріщин приводить до відшарування, зниження тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості наплавленого металу. Більшість існуючих способів запобігання виникненню кристалізаційних і холодних тріщин при електродуговому наплавленні високовуглецевих сталей і чавуну ґрунтуються на підвищенні погонної енергії і не забезпечує відсутності тріщин і відшарувань, підвищення корозійної стійкості та зносостійкості наплавлених деталей.

Відомий спосіб електродугового наплавлення високовуглецевих сталей, прийнятий як аналог, за яким для запобігання виникненню кристалізаційних і холодних тріщин наплавлення здійснюють на підвищеній погонній енергії [Прохоров Н.М. Фізичні процеси у металі при зварюванні / Н.М. Прохоров. -Т.ІІ. -К.: Металургія, 1976. - 600 с].

Однак при цьому способі не забезпечується відсутність кристалізаційних і холодних тріщин, так як при підвищенні погонної енергії зростає тепловкладення, швидкість кристалізації знижується, збільшується зерно, міжатомна відстань зростає, міжатомні зв'язки зменшуються і знижується тріщиностійкість наплавленого металу.

Найбільш близьким рішенням до винаходу, який взятий за прототип, є спосіб електродугового високошвидкісного наплавлення високовуглецевих сталей, в якому проводять попереднє і супутнє підігрівання та термічну обробку після наплавлення [Технологія, матеріали, обладнання /І.О. Рябцев, І.О. Кондратьєв, Є.Ф. Перепльотчиков, Ю.М. Кусков. - Київ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, 2015. - 402 с].

Однак недоліком прототипу є те, що важко забезпечити відсутність кристалізаційних і холодних тріщин і відшарувань при наплавленні високовуглецевих сталей і чавуну (прокатних валків), і підвищення тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості наплавлених валків.

В основу винаходу поставлено задачу підвищення якості формування наплавленого металу (шару) на деталях з високовуглецевих сталей та чавуну способом електродугового швидкісного наплавлення.

Поставлена задача вирішується за рахунок технічного результату, який полягає у підвищенні якісних показників наплавленого металу (шару) на деталях з високовуглецевих сталей та чавуну, а саме забезпечення запобігання виникненню кристалізаційних та холодних тріщин та забезпечення підвищення тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості.

Для досягнення вищевказаного технічного результату в способі електродугового високошвидкісного наплавлення високовуглецевих сталей і чавуну, що включає наплавлення із попереднім і супутнім підігріванням та термічну обробку після наплавлення, відповідно до винаходу, наплавлення здійснюють вузькими валиками, ширину яких встановлюють відповідно до виразу:

$$B_B = (10 \div 11) \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V},$$

де B_B - ширина валика, мм;

U - напруга на дузі, В;

D_E - діаметр електрода, мм;

V - швидкість наплавлення, мм/год.

Пропонований спосіб, як і відомий спосіб електродугового високошвидкісного наплавлення, складається з таких подібних ознак:

- наплавлення із попереднім і супутнім підігріванням,
- термічна обробка після наплавлення.

У результаті зіставного аналізу пропонованого способу та прототипу встановлено, що спосіб, який заявляється, має нові умови виконання дій, пристроїв (пристосувань, інструментів, обладнання тощо):

- наплавлення здійснюють вузькими валиками, ширину яких встановлюють відповідно до виразу:

$$B_B = (10 \div 11) \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V},$$

де B_B - ширина валика, мм;

U - напруга на дузі, В;

D_E - діаметр електрода, мм;

V - швидкість наплавлення, мм/год.

Поміж відмінними ознаками та технічним результатом є причинно-наслідковий зв'язок.

Завдяки тому, що наплавлення здійснюють вузькими валиками, ширину яких встановлюють відповідно по виразу:

$$B_B = (10 \div 11) \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V},$$

де B_B - ширина валика, мм;

U - напруга на дузі, В;

D_E - діаметр електрода, мм;

V - швидкість наплавлення, мм/год.

стало можливим забезпечити зниження тепловкладення, мікростворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій і зварювальних напруг, підвищення тріщиностійкості, корозійної стійкості і зносостійкості наплавлених деталей.

Згідно з рентгеноструктурним аналізом та дослідженнями деформації і зварювальних напруг встановлено електромагнітну природу утворення тріщин, які виникають, коли зварювальні напруги стають більше міжатомних зв'язків і межі міцності металу. Міжатомні зв'язки виникають на міжатомній відстані, рівній 10^{-10} м. Зі зростанням міжатомної відстані, міжатомні зв'язки зменшуються, тому для підвищення тріщиностійкості необхідно зменшувати тепловкладення за рахунок концентрації дуги. Ефективним способом концентрації дуги є зменшення діаметра електрода, напруги на дузі і підвищення швидкості зварювання. При зменшенні діаметра електрода посилюється пінч-ефект - стиснення дуги під дією власного магнітного поля, відрив крапель з торця електрода, зменшується температура крапель і металу зварювальної ванни, зі зменшенням якої скорочується міжатомна відстань і зростають міжатомні зв'язки, що забезпечує підвищення тріщиностійкості наплавлених деталей. При зниженні напруги на дузі ширина валика зменшується за рахунок площі, якою обертається дуга. Особливо ефективно зростання швидкості наплавлення, що забезпечує одночасно охолодження, зменшення радіуса дуги, ширини валика, глибини проплавлення і концентрацію, зростання швидкості кристалізації, подрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, корозійної стійкості і зносостійкості наплавлених деталей. Пропонована закономірність підтверджена при наплавленні конусів засипних апаратів доменних печей високохромистим чавуном. Зменшення ширини валика в пропонованому співвідношенні від напруги на дузі, діаметра електрода і швидкості наплавлення забезпечує зниження тепловкладення, кількості вуглецю, мінімальні мікростворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій і зварювальні напруги, зростання швидкості кристалізації, подрібнення мікроструктури, скорочення міжатомної відстані, підвищення міжатомних зв'язків, тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості високовуглецевих сталей і чавуну.

Пропонований винахід оснований на ефективному способі одночасного зниження ширини валика, тепловкладення, мікростворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, підвищення швидкості наплавлення, кристалізації і подрібнення мікроструктури за рахунок зменшення напруги на дузі, діаметра електрода і швидкості наплавлення.

Отже, даний спосіб виявляє свої особливості - одночасне зниження тепловкладення, мікростворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, підвищення швидкості наплавлення і кристалізації, подрібнення мікроструктури тільки за певних умов, коли наплавлення здійснюють вузькими валиками, величину яких встановлюють відповідно до виразу:

$$B_B = (10 \div 11) \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V},$$

де B_B - ширина валика, мм;

U - напруга на дузі, В;

D_E - діаметр електрода, мм;

V - швидкість наплавлення, мм/год.

Виходить, ці умови є суттєвими, а наплавлення вузькими валиками в заявленій закономірності, забезпечує виникнення нового ефекту зниження тепловкладення, мікростворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій, зварювальних напруг, зростання швидкості наплавлення і кристалізації, подрібнення мікроструктури, підвищення тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості високовуглецевих сталей і чавуну.

При наплавленні вузькими валиками, ширина яких менше за $B_B = 10 \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V}$, збільшується щільність тепловкладень, зростає глибина проплавлення та кількість вуглецю у наплавленому металі, що призводить до зниження тріщиностійкості, корозійної стійкості і зносостійкості у наплавлених деталей.

5 При наплавленні вузькими валиками, ширина яких більше за $B_B = 11 \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V}$, зростають тепловкладення, мікроспотворення кристалічної решітки, мікронапруги, щільність дислокацій та зварювальні напруги, що призводить також до утворення тріщин, до зниження швидкості наплавлення й кристалізації, укрупнення мікроструктури та зниження тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості деталей з високовуглецевих сталей і чавуну.

10 Технічне рішення, що заявляється, не відомо з рівня техніки й тому є новим. Технічне рішення, що заявляється, має винахідницький рівень. Технічне рішення, що заявляється, може бути застосовано у промисловості, тому що його технологічне й технічне виконання не представляє труднощів.

Таким чином, технічне рішення, що заявляється, відповідає критеріям винаходу.

15 Спосіб електродугового високошвидкісного наплавлення високовуглецевих сталей і чавуну здійснюється наступним чином.

20 Здійснювалося автоматичне електродугове наплавлення робочих прокатних валків з схильної до утворення тріщин високовуглецевої сталі 90ХФ. Наплавлення відбувалося порошковим дротом ПП-Нп-25Х5ФМС діаметром $2,8 \cdot 10^{-3}$ м під пемзовидним флюсом АН-26П. Як джерело живлення використовували випрямляч ВДУ 1204. Автоматичне наплавлення здійснювалося на швидкості наплавлення 75 м/год. Результати проведених досліджень впливу ширини валика на якість формування зварних швів, тріщиностійкість і зносостійкість наплавлених деталей представлено в таблиці.

Таблиця

Ширина валика	Кількість прокатаного металу, тис. тонн	Довжина тріщини, мм	Знос валка, мм
1. Ширина валика за прототипом	500	25,0	5,0
2. Ширина валика згідно з пропонованим рішенням			
2.1 Мінімальна ширина валика $B_B = 10 \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V} = 10,0$ мм	500	12,5	2,5
2.2 Максимальна ширина валика $B_B = 11 \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V} = 11,0$ мм	500	12,5	2,5
3. Ширина валика за межами пропонованого діапазону			
3.1 Ширина валика менше пропонованого діапазону $B_B = 0,9 \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V} = 9,0$ мм	500	15,0	3,0
3.2 Ширина валика більше пропонованого діапазону $B_B = 12 \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V} = 12,0$ мм	500	17,0	3,3

25 У результаті проведених досліджень встановлено, що електродугове високошвидкісне наплавлення високовуглецевих сталей і чавуну вузькими валиками, ширину яких встановлюють залежно від напруги на дузі, діаметра електрода швидкості наплавлення відповідно до виразу:
 $B_B = (10 \div 11) \cdot 10^4 \frac{UD_E}{V}$, є оптимальним.

30 Використання пропонованого способу, в порівнянні з існуючими, забезпечує за рахунок високошвидкісного наплавлення вузькими валиками наступні переваги:

зростання швидкості обертання дуги по торцю електрода і зварювальній ванні;
 концентрацію дуги, підвищення пінч-ефекту, подрібнення крапель і зменшення температури крапель і зварювальної ванни та тепловкладення;

зростання тепловкладення в бокові кромки зварювальної ванни, електричного опору, зменшення струму, спрямованого вниз магнітного тиску, відсутність підрізів, підвищення швидкості наплавлення і кристалізації;

5 зростання швидкості наплавлення і кристалізації пропорційно зменшенню ширини валиків, подрібнення мікроструктури, зменшення міжатомної відстані, збільшення міжатомних зв'язків, підвищує тріщиностійкість, корозійну стійкість та зносостійкість високовуглецевих сталей і чавуну;

10 зменшення тепловкладення, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг, щільності дислокацій і зварювальних напруг, що приводять до утворення тріщин, коли стають більше міжатомних зв'язків;

збільшення тепловкладення в зону термічного впливу і відсутність холодних тріщин;

збільшення ударної в'язкості за рахунок зменшення зварювальних напруг і подрібнення мікроструктури, що характеризує тріщиностійкість;

15 зменшення кількості наплавленого металу і вуглецю, що підвищує тріщиностійкість, корозійну стійкість і зносостійкість високовуглецевих сталей і чавуну.

Упровадження пропонованого способу електродугового високошвидкісного наплавлення при відновленні і зміцненні високовуглецевих і чавунних валків прокатних станів, дозволяє забезпечити якісне формування наплавленого металу (шару), підвищення тріщиностійкості, корозійної стійкості та зносостійкості.

20

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

25 Спосіб електродугового високошвидкісного наплавлення високовуглецевих сталей і чавуну, що включає наплавлення із попереднім і супутнім підігріванням та термічну обробку після наплавлення, який **відрізняється** тим, що наплавлення здійснюють вузькими валиками, ширину яких встановлюють відповідно до виразу:

$$B_B = (10 \div 11) \cdot 10^4 \frac{U D_E}{V},$$

де B_B - ширина валика, мм;

U - напруга на дузі, В;

30 D_E - діаметр електрода, мм;

V - швидкість наплавлення, мм/год.