
Процес електрошлакового наплавлення з використанням електродних порошкових дротів

Іван Рибалко

Кафедра сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О.І. Сідашенка /факультет мехатроніки та інжинірингу, Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна
ORCID 0000-0002-3663-019X

Олександр Сайчук

Харківський державний професійно-педагогічний фаховий коледж імені В.І. Вернадського, Харків, Україна
ORCID: 0000-0001-5118-838X

Андрій Захаров

Кафедра сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні імені О.І. Сідашенка /факультет мехатроніки та інжинірингу, Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна
ORCID 0000-0001-9894-7355

Олена Боровик

Кафедра механічної та електричної інженерії / факультет інженерно-технологічний, Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна
ORCID 0000-0003-3115-7257

Для цитування цієї статті:

Рибалко Іван, Сайчук Олександр, Захаров Андрій, Боровик Олена. Процес електрошлакового наплавлення з використанням електродних порошкових дротів. *International Science Journal of Engineering & Agriculture* Vol. 2, No. 1, 2023, pp. 1-9. doi: 10.46299/j.isjea.20230201.01.

Надійшла до редакції: 26 грудня 2022 р.; **Схвалено:** 31 грудня 2022 р.;

Опубліковано: 01 лютого 2023 р.

Анотація: У даній роботі розглянуто технологію та техніку електрошлакової наплавки, а також приклади промислового застосування електрошлакової наплавки. Цей процес заснований на виділенні тепла електричного розряду у ванні розплавленого флюсу. Електрошлакова наплавка використовується для виготовлення біметалічних деталей, а також для отримання зносостійких покриттів. У процесі наплавлення електричний струм проходить через розплавлений зварювальний флюс, у результаті виділяється тепло, необхідне розплавлення кромки деталей і електрода. Електрод подається у ванну, що складається з рідкого флюсу, обмежену поверхнею, що розплавляється, і спеціальним формуючим пристроєм. Формуючим пристроєм можуть служити графітові, мідні або сталеві накладки. Флюси, що застосовуються, повинні мати певну в'язкість і електропровідність. При використанні флюсів з малою окислювальною здатністю мають місце незначні втрати легуючих елементів наплавлення. Електродами для наплавлення можуть бути зварювальні дроти, стрічки або стрижні великого перерізу. Температура внаслідок низької електро- та теплопровідності досягає більше 2000°C. Швидкість плавлення електрода дуже велика, коефіцієнт плавлення досягає 30 г/А ч., втрати на розбризкування практично відсутні. Кращі умови для наплавлення основного металу та отримання глибокої шлакової ванни створюються

при вертикальному положенні шва, тому електрошлакове наплавлення найчастіше застосовують у поєднанні з примусовим формуванням зварювального шва. Наплавлення починають і закінчують з фіксацією деталі на спеціальних технологічних планках, які потім видаляють з деталі. На початку, поки процес ще не встановився, наплавлений шар може бути недостатньої якості, ця частина шва і залишається на початковій планці, в кінці шва планки застосовуються для виведення усадкової раковини.

Ключові слова: ЕШН, порошкові дроти, струмопідвідний кристалізатор.

1. Вступ

Для електрошлакового наплавлення досить широко використовують суцільні або порошкові дроти як найбільш універсальний та простий у виготовленні електродний матеріал. Електрошлаковим способом електродним дротом можна наплавляти плоскі поверхні і тіла обертання [1].

ЕШН плоских поверхонь проводиться при вертикальному або горизонтальному розташуванні поверхні, що наплавляється. При наплавленні у вертикальному положенні для формування наплавленого шару використовують водоохолоджувані стаціонарні або рухомі кристалізатори та повзуни. На рис. 1 представлена схема ЕШН за допомогою трьох складових повзунів (замість повзунів може бути використаний рухомий кристалізатор).

2. Об'єкт і предмет дослідження

Для того щоб отримати якісне наплавлення, ЕШН треба проводити в зазор, що утворюється поверхнею наплавки, що наплавляється, і повзунами. Електроди при наплавленні можуть здійснювати зворотно-поступальний рух вздовж зазору. Процес у цих випадках починають на підкладці або у спеціальному кристалізаторі. Режими наплавлення (число електродів, струм, напруга, швидкість поперечного переміщення електродів, глибина ванни і т. д.) встановлюються в залежності від необхідних розмірів наплавленого шару з урахуванням складу матеріалу, що наплавляється.

Схема наплавлення плоскої поверхні електродним дротом у горизонтальному положенні наведено на рис. 2. Залежно від товщини шару, що наплавляється, для його формування використовують або неохолоджувані мідні пластини товщиною 5-8 мм, або водоохолоджувані мідні кристалізатори. Наплавлення проводиться одним або декількома електродами як з поперечними коливаннями електродів, так і без них.

3. Мета та задачі дослідження

Метою даного дослідження є аналіз існуючих технологій ЕШН, а також порівняння їхніх переваг та недоліків. Також були поставлені наступні задачі:

1. Дослідити процес електрошлакового наплавлення з використанням електродних порошкових дротів різного складу.
2. Дослідити можливі варіанти ЕШН в різних положеннях.

4. Методи досліджень

Швидкість поперечних коливань електрода вибирається в залежності від ширини деталі, що наплавляється, і режиму наплавлення і повинна бути такою, щоб шлак не встигав затвердіти до моменту повернення електрода у вихідне положення. Застосування кількох електродів забезпечує швидку стабілізацію електрошлакового процесу, а також високу якість зони сплавлення та наплавленого шару.

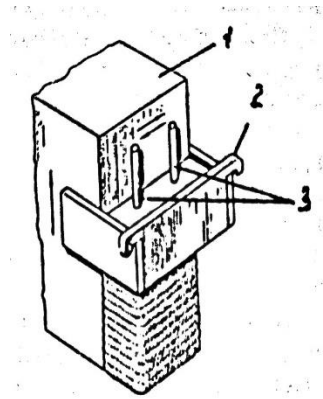


Рис. 1. ЕШН плоскої поверхні у вертикальному положенні за допомогою складових повзунів: 1 –заготовка, що наплавляється; 2 – складовий повзун; 3 – електроди

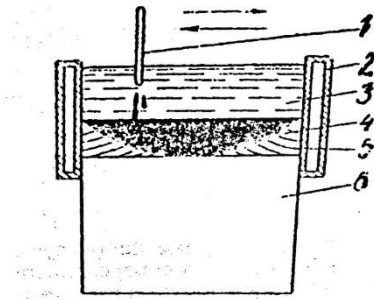


Рис. 2. ЕШН плоскої поверхні електродним дротом у горизонтальному положенні: 1 – електрод; 2 – кристалізатор; 3 – шлакова ванна; 4 – металева ванна; 5 – наплавлений шар; 6 – заготівля

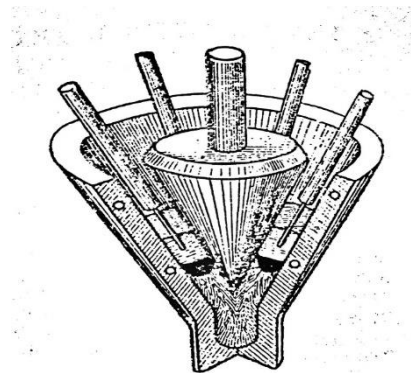


Рис. 3. ЕШН тіл обертання зі змінним діаметром

Техніка наплавлення тіл обертання досить добре розроблена для деталей конічної та циліндричної форм. При напавленні деталей конічної форми (рис. 3) заготовка з вуглецевої або низьколегованої сталі встановлюється з рівномірним по всій поверхні заготовки зазором в мідний кристалізатор, що охолоджується.

У зазор вводяться паралельно твірної кристалізатора мундштуки, через які подається електродний дріт. Для напавлення застосовується схема "розщепленого" електрода. Електроди підключаються паралельно до позитивного полюса джерела живлення, заготовка, що наплавляється до негативного. Починають напавлення одним електродом.

При процесі заготівля і кристалізатор синхронно обертаються. Оскільки від напруги суттєво залежить глибина пропавлення, то в початковій стадії процесу, коли наплавляється частина заготовки, що має менший діаметр, напруга має бути дещо зниженою. При напавленні частини заготівлі, що має більший діаметр, для запобігання появі шлакових включень і непроварів підвищують напругу. табл. 1 наведено орієнтовні режими напавлення заготовки з довжиною, що утворює 150 мм і максимальним діаметром 170 мм.

Таблиця 1. Режими ЕШН конічної заготівлі [2]

Час від початку процесу	Сила струму, А	Напруга, В	Число електродів	Глибина шлакової ванни, мм	Сухий виліт електрода, мм
3	220-250	30-32	1	50	45
15	840-860	32-34	2	40	50
30	820-840	34-35	3	25	50

Наплавлення проводилося на постійному струмі зворотної полярності порошковим дротом ПП-Нп-Х12ВФ діаметром 2,8 мм, флюс АН-22. Для отримання стабільної глибини проплавлення необхідно у процесі наплавлення забезпечувати мінімальні відхилення від заданих значень наступних параметрів режиму: сили струму, напруги, глибини шлакової ванни, розташування електродів щодо поверхні заготівлі.

Для зменшення глибини проплавлення основного металу використовують такі заходи: знижують напругу, видаляють електрод від поверхні, що наплавляється, збільшують частоту обертання заготовки і швидкість коливального переміщення електродів. Наплавлення зовнішніх циліндричних поверхонь з відносно невеликою довжиною утворює (200-300 мм) рекомендується виконувати в стаціонарних кристалізаторах (рис. 4). Процес починають на графітових чи сталевих підкладках.

Після розведення шлакової ванни забезпечується синхронне обертання заготовки та кристалізатора; мундштуки, через які подаються дроти, у процесі наплавлення пересуваються лише вгору. Число електродів і режими наплавлення вибирають залежно від діаметра заготовки та зазору. Наприклад, при діаметрі заготовки 200 мм і зазорі 20 мм рекомендується використовувати шість електродів, а при діаметрі заготовки 300 мм чотири електроди. Сила струму кожному електроді обох випадках 250-300 А.

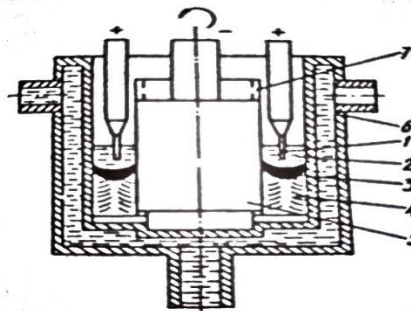


Рис. 4. ЕШН циліндричної зовнішньої поверхні при малій довжині утворюючої:
1 – електродний дріт; 2 – шлакова ванна; 3 – металева панна; 4 – наплавлений шар;
5 – заготівля; 6 – кристалізатор; 7 – вивідна втулка

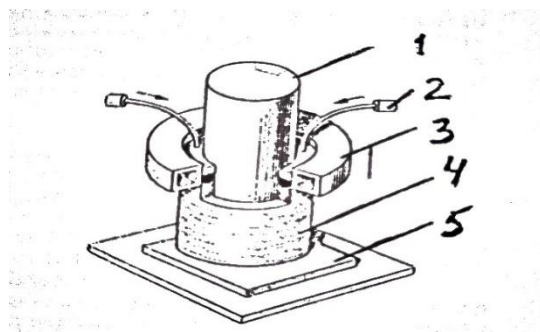


Рис. 5. ЕШН циліндричної зовнішньої поверхні при великій довжині утворюючої:
1 – заготовка, що наплавляється; 2 – електродний дріт; 3 – кристалізатор; 4 – наплавлений шар;
5 – стартова підкладка

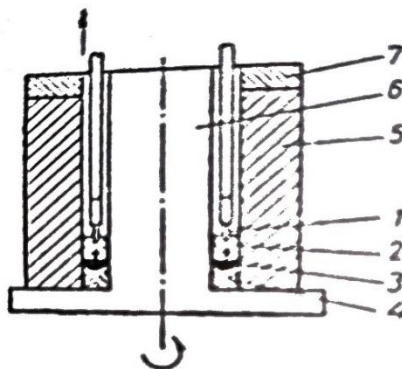


Рис. 6. ЕШН внутрішньої циліндричної поверхні: 1 – електрод; 2 – шлакова ванна; 3 – металева ванна; 4 – наплавлений шар; 5 – заготівля; 6 – мідний стрижень, що охолоджується; 7 – втулка вивідна

Глибина проплавлення основного металу залежить від швидкості обертання кристалізатора та заготівлі, зменшуючись за інших рівних умов з її збільшенням. Внутрішня поверхня кристалізатора виконується з невеликою конусністю, що полегшує витяг з нього наплавленої заготовки.

При необхідності наплавлення циліндричної заготовки великої довжини рекомендується використовувати ЕШН за схемою рис. 5. За першим варіантом наплавлення можна проводити, використовуючи рухомий кристалізатор, нерухому заготовку електроди, які разом з мундштуком здійснюють коливальні рухи по колу заготовки.

За другим варіантом кристалізатор і мундштуки електродів нерухомі, обертається і одночасно переміщується заготівля вниз. Початок процесу здійснюється на підкладках або спеціальному кристалізаторі. Наплавлення закінчується на вивідній втулці, на яку виводиться шлакова ванна. Схема ЕШН внутрішньої циліндричної поверхні представлена рис. 5. У процесі наплавлення стрижень-кристалізатор і заготовка синхронно обертаються, а мундштуки, що подають з дротом, тільки піднімаються вгору в міру наплавлення.

З усіх розглянутих способів найбільше промислове застосування отримало наплавлення зовнішніх циліндричних поверхонь або близьких до них за конфігурацією. Вперше про досвід ЕШН електродним дротом виробів промислового виробництва – прокатних валків (рис. 6), було повідомлено в [3,4]. Надалі ці роботи було продовжено [5-6]. Технологія дозволяє наплавляти валки з гладкою діжкою діаметром від 250 до 900 мм при вертикальному розташуванні осі валка. Під час наплавлення валок обертається, а електроди, число яких може досягати 27, здійснюють коливальні рухи по периметру бочки валка. Перед наплавленням валки підігрівають до 400 °С, після наплавлення необхідна відпустка із уповільненим охолодженням у печі.

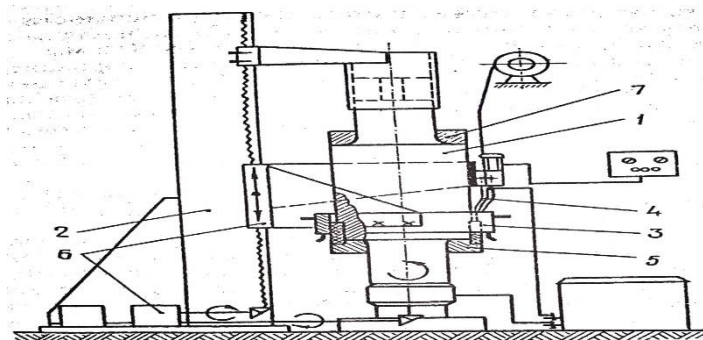


Рис. 7. Принципова схема ЕШН прокатних валків електродним дротом у вертикальному положенні: 1 – валок, що наплавляється; 2 – колона установки; 3 – кристалізатор; 4 – електродний дріт; 5 – стартове кільце; 6 – механізм переміщення кристалізатора; 7 – вивідна втулка

5. Результати досліджень

Запропоновано технологію ЕШН прокатних валків із обертанням валка, але без коливання електродів. Причому як електроди використовуються дроти двох різних марок. По неробочим краях бочки валка наплавляють низьковуглецеву нелеговану сталь, а в середині валка леговану зносостійку сталь [7, 8].

Є повідомлення і про інші варіанти технології ЕШН з вертикальним розташуванням осі валка, що наплавляється [9-10]. Обертання валка при наплавленні не передбачається, але використовуються регульовані коливання наплавочного дроту від початку виникнення дугового процесу, що переходить потім в електрошлаковий, до виходу шлакової ванни на вивідне кільце, розташоване на верхньому торці бочки валка. При використанні дроту діаметром 4 мм продуктивність наплавлення досягає 11,4 кг/год на один електрод. Режим наплавлення один електрод: сила струму 550 А, напруга 32-40 В.

Швидкість наплавлення може змінюватися в залежності від кількості дротів, що подаються, і діаметра валка: від 122 кг/год для валків діаметром 320 мм до 362 кг/год для валків діаметром 915 мм.

Позитивні результати отримані при горизонтальному розташуванні осі валка при наплавленні [11]. Така схема виявилася найбільш прийнятною для валків пілігримових станів для прокатки труб. Наплавку виконують з використанням складових водоохолоджувальних повзунів. Час наплавлення валка пілігримового стану для прокатки труб діаметром 222 мм при використанні п'яти електродів діаметром мм і силі струму на один електрод 550 становить приблизно 3 год. % нижче вартості нових валків.

Для наплавлення циліндричних деталей, у тому числі прокатних валків, запропонований спосіб ЕШН по гвинтовій лінії. Для його здійснення використовують кільця затравки особливої конструкції [12]. Досвід ЕШН прокатних валків електродними дротами дозволив виявити наступні недоліки даної технології: - необхідний високий ступінь надійності електричних і механічних систем у зв'язку з використанням великої кількості механізмів, що подають, та їх коливачів; проблеми отримання наплавленого металу з високим вмістом вуглецю; проблеми забезпечення постійного хімічного складу наплавленого металу при великій довжині виробу, що наплавляється при використанні електродних порошкових дротів через зміни хімічного складу шлаку; велика вартість високолегованих дротів.

Знайшла промислове застосування ЕШН електродним дротом торцевих поверхонь. Було запропоновано наплавляти торцеву поверхню прес-матриць діаметром до 100 мм суцільним дротом Нп-65В10ХЗМФГТ діаметром 4 мм [13]. Наплавлення проводили на постійному струмі зворотної полярності. Кристалізатор з заготовкою, що наплавляється, обертався з частотою $0,02 \text{ с}^{-1}$

Режим наплавлення: напруга 40 В; сила струму 350 А; швидкість подачі дроту 65 м/год. Час наплавлення однієї заготовки 5 хв. Стійкість наплавлених матриць дорівнює або на 20 % вище стійкості матриць, виготовлених із сталі 3Х2В8Ф.

Наплавку пуансонів гарячої формування кілець підшипників проводять у мідному водоохолоджуваному кристалізаторі, що охоплює зовнішню поверхню заготовки, з подачею в шлакову ванну (флюс АНФ-6) одного або двох електродних дротів 3Х2В8 діаметром 3,6 мм [14]. Режим наплавлення для одного дроту: напруга 42...45 В, сила струму 400...500 А, для двох дротів силу струму збільшують до 650...700 А.

За такою ж схемою наплавляють носки оправок прошивних станів діаметром 60...86 мм, довжиною 175...200 мм [15]. Для наплавлення використовують один електродний дріт із нікелевого сплаву ЕП-567 діаметром 4 мм. Режим наплавлення: напруга 30...32, сила струму 450...500 А, флюс АН-348-А. Час наплавлення однієї оправки 15 с. Стійкість наплавлених оправок збільшується в 5-10 разів. До торцевого наплавлення можна віднести і ЕШН в нижньому положенні припливів на поверхні тіл обертання (рис. 8). Для отримання надійного сплавлення процес починають (позиція І) на підвищеній напрузі на електродах (до 65), а дріт

діаметром 3 мм подають зі швидкістю 60... 80 м/ч. Процес наведення шлакової ванни триває 2...3 хв. Площа поверхні, що наплавляється, припадає на один електрод, повинна становити 9...14 см². Режим наплавлення (позиція II): напруга 40...46 В, сила струму 600...700 А. Надійність сплавлення різко підвищується при попередньому підігріванні поверхні, що наплавляється до 250...300 °С [16].

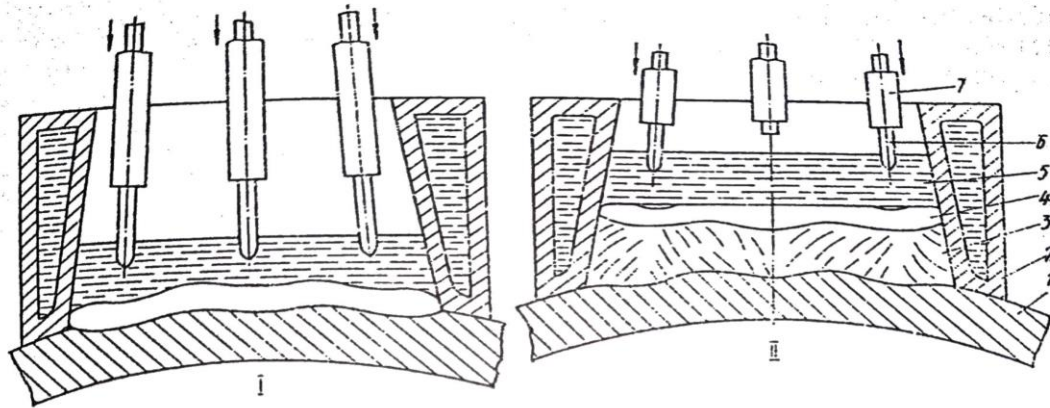


Рис. 8. ЕШН припливів на поверхні тіл обертання: 1 – заготовка, що наплавляється; 2 – нерухомий водоохолоджуваний кристалізатор; 3 – наплавлений шар; 4 –металева ванна; 5 – шлакова ванна; 6 – електрод; 7 - мундштук

6. Висновки

Розроблено технологію відновлення електрошлаковим способом бив молоткових дробарок. Наплавлення проводиться на спеціальній установці дротом, що забезпечує отримання наплавленого металу, що містить 1,9% вуглецю та 12% хрому. Повний час наплавлення одного била 1 год.

З використанням ЕШН електродними дротами наплавляли носок інструменту для брикетування вугілля. Наплавлення проводили у вертикальному положенні одночасно на чотири заготовки інструменту. Наплавлений шар формується з трьох сторін стінками водоохолоджуваного кристалізатора. Для наплавлення використовували дріт діаметром 3 мм з марганцовистої низьковуглецевої сталі. Наплавку вели на постійному струмі зворотної полярності на режимі: напруга 42 В, сила струму 750 А. Після наплавлення заготовки розділяли газовою різкою. За допомогою ЕШН відновлюють елементи ланцюгових передач багатоковшових екскаваторів, які використовують у вугледобувній промисловості. Залежно від зносу деталі застосовують різну техніку і технологію наплавлення: використовують один дріт діаметром 4,0 мм або дві діаметром 3,1 мм, може додатково подаватися легований порошок, електродний дріт може коливатися або повертатися на відповідний кут деталі, що наплавляється. Продуктивність наплавлення становить 20...40 кг/год.

Список літератури:

- 1) Руководство по электрошлаковой сварке / Под ред. Б. Е. Патона. Киев- М.: Машгиз, 1956, 168 с.
- 2) Электрошлаковая наплавка поверхонь виробів композиційним зносостійким сплавом / І.М. Рибалко, О.В. Сайчук, А.В. Захаров, О.М. Потоскаєв // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – Суми: Видавничий дім «Гельветика», 2022. – Випуск 2 (48). – С. 61-65
- 3) Lakatos L. Probleme beim Elektroschlacke процессов. М.: Металлургия. 1969. Auftrag Schweißen von Gusseisen // Schweisstechnik. 1967. N 8. S. 89-92

- 4) Блашкович П., Пекница П. Стойкость наплавленных электрошлаковым способом валков для горячей прокатки листа // Информационные материалы стран членов СЭВ. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона. 1979. № 1. С. 49-51,
- 5) Blaskovic P. Produktion of grooved and pilger rolls using the method of electroslag welding // Zvaranic. 1970. N 9-10. S. 324-330.
- 6) Hano O. Erfahrungen mit dem Auftragschweissen von Walzwerkswalzen in der GSSR // Schweissen und Schneiden, 1971. N. 4. S. 142-145.
- 7) Blaskovits P. Spôsob výroby a obnovi hladkých valcov elektrotroskovým navaraním. A. С. 195109 ЧССР. Заявл. 29.08.77. Опубл. 15.04.82. Мки В23К 25/00.
- 8) Сайчук О.В. Електрошлакове наплавлення на постійному струмі в струмопідвідному кристалізаторі електродом великого перерізу. / О.В. Сайчук, І.М. Рибалко, А.В. Захаров // Scientific Collection «InterConf», (127): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference «Modern Directions and Movements in Science» (October 6-8, 2022; Luxembourg, Grand Duchy of Luxembourg) by the SPC «InterConf». Progress Publishers, 2022. – С. 229-237.
- 9) Ridal K. A., Bagshow T. 7-Welding steelworks rolls // Weld Surfacing and Hardfacing. The Welding Institute. Abington. Cambridge. 1980. P. 40-46.
- 10) Foley W. R., Pres V., Huber W. R. Reclaiming rolling mill rolls by welding // Iron and Steel Eng. 1974. 51. N 4. P. 72-74.
- 11) Ries G. D., Haser I. M., Dobina D. V. A solution to problems in mill roll salvage by welding // Iron and Steel Engineer. 1980. N 8. P. 44—48. // Svetsaren
- 12) Sorby M. J. Developments in the weld surfacing of steel mill rolls (a welding review). 1983. N 1. P. 1-6.
- 13) Hano O. Electroslag surfacing of plain rolls // Zvaranie. 1970. N 9-10. P. 318-324.
- 14) Норкрос Дж. Е. Выплавка толстостенных сосудов давления методом непрерывного электрошлакового переплава / Электрошлаковый переплав. Материалы III Международного симпозиума. Питтсбург, США, 1971, 8-10 июня. Киев: Наукова думка, 1973. С. 261-267.
- 15) Электрошлаковая наплавка пресс-матриц / А.Н. Падун, А.И. Уршанский, А.Д. Киселев, А. Ю. Иконников // Сварочное производство. 1987. № 9. С. 14.
- 16) Соколов Г.Н., Филюшин А.А. Электрошлаковая наплавка торцовых объемов деталей штампов // Современные способы наплавки и их применение. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. 1982. С. 84-89.

The process of electroslag soldering using electrode powder wires

Ivan Rybalko

Department of Service Engineering and Materials Technology in Mechanical Engineering named after O. Sidashenka / Faculty of Mechatronics and Engineering, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID 0000-0002-3663-019X

Oleksandr Saychuk

V.I. Vernadskiy Kharkiv State Professional and Pedagogical Applied College, Kharkiv, Ukraine
ORCID: 0000-0001-5118-838X

Andrii Zakharov

Department of Service Engineering and Materials Technology in Mechanical Engineering named after O. Sidashenka / Faculty of Mechatronics and Engineering, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
ORCID 0000-0001-9894-7355

Olena Borovyk

Department of Mechanical and Electrical Engineering / Faculty of Engineering and Technology,
Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

ORCID 0000-0003-3115-7257

Abstract: This paper examines the technology and technique of electroslag surfacing, as well as examples of industrial application of electroslag surfacing. This process is based on the release of heat from an electric discharge in a bath of molten flux. Electroslag surfacing is used for the production of bimetallic parts, as well as for obtaining wear-resistant coatings. In the surfacing process, the electric current passes through the molten welding flux, as a result, heat is released, which is necessary to melt the edges of the parts and the electrode. The electrode is fed into a bath consisting of a liquid flux bounded by a melting surface and a special forming device. Graphite, copper or steel pads can serve as a forming device. The fluxes used must have a certain viscosity and electrical conductivity. When using fluxes with low oxidizing power, slight losses of surfacing alloying elements occur. Electrodes for surfacing can be welding wires, tapes or rods of large cross-section. Due to low electrical and thermal conductivity, the temperature reaches more than 2000°C. The speed of melting of the electrode is very high, the melting coefficient reaches 30 g/A h, spattering losses are practically absent. The best conditions for surfacing the base metal and obtaining a deep slag bath are created when the seam is in a vertical position, therefore electroslag surfacing is most often used in combination with forced formation of the weld seam. Surfacing begins and ends with fixing the part on special technological bars, which are then removed from the part. At the beginning, while the process has not yet been established, the deposited layer may be of insufficient quality, this part of the seam remains on the initial strip, at the end of the seam, the strips are used to remove the shrinkage shell.

Key words: Electroslag welding (ESW), powder wires, current-driven crystallizer.
