

УДК 621.791.75

DOI:

Псарьова І. С., Гулаков С. В., Бурлака В. В., Кудінова К. В.

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ РОБОЧОГО ШАРУ НА ВИСОКОВУГЛЕЦЕВІ СТАЛІ**

Для виготовлення деталей і інструменту в металургійному виробництві (валків прокатних станів, ножів гарячого різання металу, роликів рольгангів, правильних роликів і ін.) використовуються високовуглецеві сталі [1, 2], наприклад, 90ХФ.

При зміцненні або відновленні деталей дуговим наплавленням необхідно забезпечити високі технологічні характеристики процесу – стабільність самого ходу наплавлення, якісне формування наплавленого шару та зони сплаву основного металу з наплавленим (в тому числі і навколошовної зони), високу однорідність або, навпаки, заданий характер зміни властивостей [3, 4], хороше відділення шлакової кірки при наплавленні під флюсом.

Реалізація цього процесу при використанні в якості основного металу високовуглецевих сталей зустрічається з рядом труднощів [3]:

1 – можливість появи в навколошовній зоні (зоні термічного впливу в основному металі) і перших шарах наплавлення малопластичних структур, схильних до уповільненого руйнування. Дугове наплавлення на такі сталі можливе при супутньому підігріві до 600...700 °С [5, 6]. При такому попередньому і супутньому підігріві, особливо деталей великої маси, наприклад, прокатних валків масою 20 - 25 тонн, різко погіршуються умови роботи зварників через потужне теплове та інфрачервоне випромінювання, збільшується трудомісткість і ймовірність появи дефектів в наплавленому шарі через погану віддільність шлакової кірки.

2 – інтенсивне виділення газів при наплавленні перших шарів. Це пояснюється взаємодією вуглецю, що входить до складу основного металу, з киснем повітря, внаслідок чого в зварювальній ванні утворюються гази СО та СО<sub>2</sub>. Надалі це призводить до формування швів з високим вмістом пір (рис. 1). Наявність пір в наплавленому металі першого і другого шарів ускладнює видалення шлакової кірки з валика, який наплавляється, що тягне за собою велику кількість шлакових включень в нанесеному шарі.

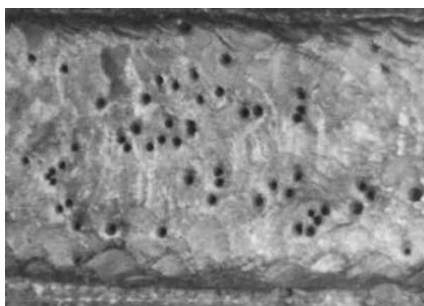


Рис. 1. Пори в наплавленому металі

Першу проблему отримання зони термічного впливу із задовільними властивостями у високовуглецевій сталі авторами робіт [4, 7] вдалося вирішити, показавши, що в процесі дугового наплавлення з супутнім підігрівом до температур, що перевищують температуру початку мартенситного перетворення, розпад аустеніту відбувається в умовах, близьких до ізо-термічних. При цьому кінцева структура і властивості навколошовної зони визначаються, в основному, температурою супутнього підігріву і мало залежать від погонної енергії процесу наплавлення. Це дозволило знизити температуру попереднього і супутнього підігріву до

420 °С і забезпечити необхідний характер формування навколошовної зони з заданим розподілом властивостей від основного металу до наплавленої поверхні.

Слід, однак, відзначити, що такий нагрів деталей масою до 20 ... 25 тон і підтримка зазначеної вище температури супутнього підігріву протягом десятків годин вимагає великих витрат теплової енергії і суттєво впливає на економічні показники процесу зміцнення.

*Метою роботи є* вдосконалення технології дугового наплавлення робочого шару на високо вуглецеві сталі, що забезпечує формування перехідної зони від основного металу до наплавленого шару з заданим характером зміни властивостей, відсутності мало пластичних структур в зоні термічного впливу основного металу та пор в перших наплавлених шарах.

При наплавленні робочого зносостійкого шару на високовуглецеві сталі необхідно нанесення підшару, що відокремлює основний метал від легованого зносостійкого шару. В іншому випадку в процесі експлуатації інструменту можливі відколи наплавленого шару (рис. 2).

До вибору матеріалу підшару пред'являється ряд вимог [8, 9], основним з яких є плавний перехід від основного металу до наплавленого (рис. 3) з виключенням в цій зоні мало пластичних структур. У зв'язку з цим необхідно вибрати матеріал перехідного шару від основного металу до зносостійкого робочого і технологію його нанесення, що забезпечує відсутність в перехідному шарі різких змін властивостей. Для цього запропоновано при багатощаровому наплавленні перші шари формувати у вигляді низьковуглецевого підшару (м'якого прошарку) [8]. Однак, практика наплавлення зносостійкого шару на низьковуглецевий підшар показала низьку опірність наплавлених деталей сповільненому руйнуванню [9, 10].



Рис. 2. Відкол металу робочого шару, наплавленого на сталь 90ХФ

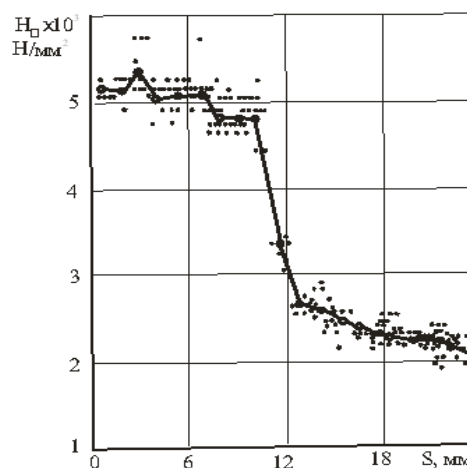


Рис. 3. Розподіл мікротвердості від поверхні наплавленого робочого шару до основного металу

Причини формування зазначених дефектів вивчали на зразках зі сталі Ст. 3 розмірами 25 × 100 × 250 мм. Підкладка з цієї сталі імітувала низьковуглецевий підшар. Наплавлення висотою 25 мм здійснювали дротами Св-08А і Нп-30ХГСА під флюсом ЖСН-5 [11] на ребро пластини. Це забезпечило необхідну жорсткість підкладки і високі залишкові напруги після наплавлення. Після закінчення 25 ... 30 годин після наплавлення в зразках відзначена поява холодних тріщин (рис. 4). Попередній і супутній підігрів до 250 ... 300 °С не привів до усунення зазначених вище дефектів.

Вивчення мікроструктури і вимір твердості в зоні відколу показало наявність мартенситу і істотну неоднорідність властивостей в цій зоні (рис. 5 і 6), що суперечить даним, наведеним в роботах [8, 12], де показано, що достатньою мірою запобігання холодних тріщин у вигляді відколів є нанесення низьковуглецевого підшару і високотемпературний підігрів, що виключають появу мартенситного прошарку в перших наплавлених шарах.



Рис. 4. Характер руйнування наплавленого зразка

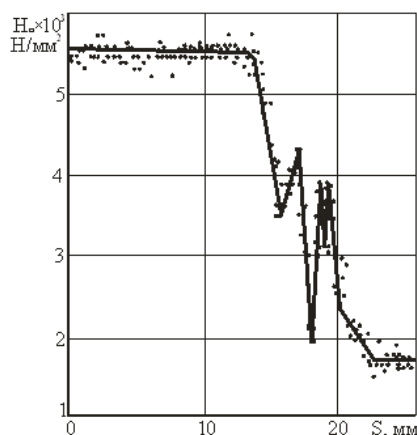
Рис. 5. Мікроструктура перехідної зони від основного металу до наплавленого.  $\times 600$ 

Рис. 6. Розподіл мікротвердості по висоті наплавленого шару

З літературних даних відомо, що зі зниженням вмісту вуглецю в сталі зростає температура початку мартенситного перетворення [13].

При наплавленні можливо легування низьковуглецевого підшару за рахунок розведення в ньому основного металу і металу робочого шару, що підвищує стійкість переохолодженого аустеніту і знижує критичну швидкість охолодження, при якій утворюється мартенсит.

Для визначення причин появи мартенситної структури в області сплавлення підшару і зносостійкого шару були виготовлені зразки розміром  $3 \times 6 \times 40$  мм із сталей з вмістом вуглецю від 0,1 до 1%. При цьому зразки були розділені на три групи за змістом хрому - безхромісті і з вмістом хрому 1 і 3%. Вибір хрому в якості легуючого елемента обумовлений тим, що для наплавлення робочого шару і в якості основного металу, що піддається наплавленню, використовують, в основному, хромісті сталі [14].

Проводили аустенітизацію металу зразків. Режим аустенітизації (температура нагріву –  $900$  °C, швидкість нагріву –  $350 \dots 400$  °C/c, витримку при  $900$  °C –  $2 \dots 3$  с) вибирали з умов досить повної гомогенізації аустеніту. Нагрівання зразків здійснювали струмом, що проходить через зразок.

Після аустенітизації, знижуючи температуру ізотермічної витримки, визначали температуру початку мартенситного перетворення, а по термокінетичній діаграмі розпаду аустеніту – критичну швидкість охолодження, при якій в структурі утворювалося не менше 80% мартенситу. Результати експериментів наведені на рис. 7 і 8. На ці ж графіки нанесені дані, взяті з літературних джерел [15, 16], що підтверджують відповідність експериментальних і літературних даних.

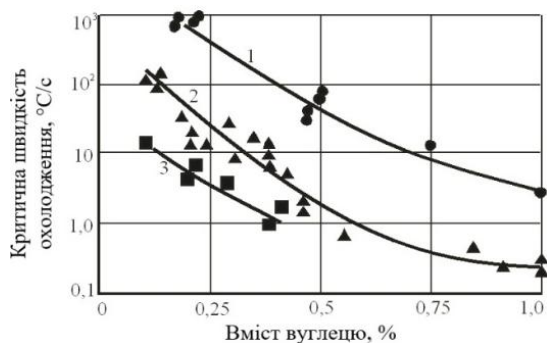


Рис. 7. Вплив вмісту вуглецю та хрому (1 – 0%; 2 – 1%; 3 – 3%) в сталі на критичну швидкість охолодження

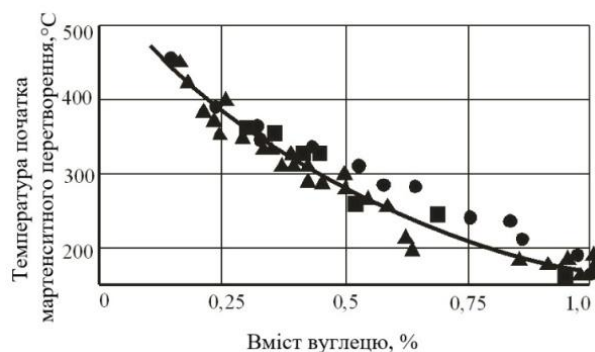


Рис. 8. Вплив вмісту вуглецю та хрому в сталі на температуру початку мартенситного перетворення. Позначення див. на рис. 7

При наплавленні на високовуглецеві сталі низьковуглецевого підшару з подальшим нанесенням на нього зносостійкого шару вміст вуглецю, хрому та інших легуючих елементів змінюється в широких межах від складу основного металу до складу зносостійкого шару. В районі низьковуглецевого підшару за рахунок розведення його і перемішування з основним металом і легуючим шаром можуть утворюватися ділянки, леговані хромом з низьким вмістом вуглецю.

Температура початку мартенситного перетворення металу такого складу може перевищувати 400 ... 430 °C і мати низьку критичну швидкість охолодження (рис. 7 і 8). Так для сталі з вмістом вуглецю 0,20...0,25 % і хрому – 3 % температура початку мартенситного перетворення становить 400 ... 430 °C, а критична швидкість охолодження – 4...6 °C/c. При наплавленні з погонною енергією 2...2,5 МДж/м з попередніми і супутнім підігрівом до 300 °C швидкість охолодження навколошовної зони, розрахована за відомими методиками [16, 17], дорівнює 10...12 °C/c, тобто вище критичної. Тому в зазначених ділянках можливий бездифузійний розпад аустеніту з утворенням мартенситної структури [18], в той час як в основному металі і легovanому робочому шарі, критична швидкість охолодження наведених вище ділянок, мартенсит не утворюється, так як точка  $M_H$  у цих сплавів лежить значно нижче температури супутнього підігріву, а тривалість підігріву (рівна тривалості процесу наплавлення, і для великих прокатних валків становить десятки годин) перевищує час повного розпаду аустеніту при температурі, що дорівнює температурі супутнього підігріву [7].

Усунути появу відколів і забезпечити плавну зміну механічних властивостей від наплавленого робочого шару до основного металу при дуговому наплавленні середньовуглецевих хромистих сталей на високовуглецеві можна нанесенням середньовуглецевого підшару такої товщини, щоб при перемішуванні його з основним металом і легуючим шаром виключити прошарок з вмістом вуглецю менше 0,3...0,35 % і застосуванням супутнього підігріву не нижче 400...450 °C.

Дугове наплавлення підшару дротом Нп-30ХГСА на сталь 90ХФ з подальшим нанесенням робочого шару завтовшки до 50...60 мм дозволила отримати в перехідному шарі від основного металу до зносостійкого шару метал з вмістом вуглецю 0,4...0,5 % і уникнути відколів наплавлення через появу холодних тріщин.

Зниження інтенсивності процесу пороутворення при дуговому наплавленні робочого шару на високовуглецеву сталь сприяє збільшенню часу існування зварювальної ванни для забезпечення її дегазації до моменту затвердіння металу ванни, і/або обмеження умов взаємодії вуглецю з киснем повітря.

Одним із шляхів збільшення вкладення теплоти в зварювальну ванну, що дозволяє підвищити час її існування, є застосування порошкових електродів, до складу шихти яких вводиться екзотермічна суміш [19, 20]. Такий технологічний процес відрізняється простотою реалізації, слід при цьому зазначити, що додаткова теплота виділяється на торці електрода, а

не в області основного металу; має місце також обмеження кількості екзотермічної суміші в осерді на рівні: залізної окалини 16 – 20 % і алюмінієво-магнієвого порошку 6 – 8 % [21]. В іншому випадку екзотермічна реакція, що плавить електрод, триватиме і після згасання дуги.

Для вирішення зазначених вище проблем автори роботи [22] пропонують при дуговому наплавленні перших шарів на високовуглецеві сталі здійснювати цей процес шляхом додаткового введення в зварювальну ванну технологічних термітних сумішей за рахунок попереднього їх напилення на поверхню, яка піддається наплавленню. При цьому рекомендується напилювати окремими шарами оксид заліза і алюміній, розділяючи їх буферним шаром.

Ініціювання екзотермічної реакції проводиться теплом дуги.

Недоліком цієї технології, як було сказано вище, є можливість самовільного горіння шихти при припиненні процесу наплавлення, що порушує хід технологічного процесу зміцнення.

Вирішити задачу підвищення якості процесу зміцнення (відновлення) дуговим наплавленням деталей і інструменту з високовуглецевих сталей можна, розділивши джерела подачі в зварювальну ванну складових елементів екзотермічної суміші, що знімає обмеження в її кількості.

Для організації цього процесу попередньо здійснюють нанесення на зміцнюючу поверхню шару алюмінію. Таке нанесення доцільно реалізувати методом напилення, наприклад, дугового.

Введення в зварювальну ванну оксиду заліза проводиться в процесі дугового наплавлення з шихти порошкового дроту (стрічки). В цьому випадку екзотермічна реакція буде проходити тільки під час наплавлення в області зварювальної ванни і припиниться відразу після відключення зварювального струму.

Для наплавлення, як правило, використовують термітну суміш - залізна окалина плюс алюмінієвий порошок в стехіометричному співвідношенні:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 75%, Al – 25%. При взаємодії цих елементів в зварювальній ванні буде виділятися додаткова теплота, що дозволить знизити швидкість охолодження навколошовної зони і забезпечити більш повну дегазацію металу ванни.

Додатковий ефект можна отримати, якщо збільшити вміст алюмінію в екзотермічній суміші більше 25%. Тоді після закінчення екзотермічної реакції алюміній, що залишився, почне взаємодіяти з киснем повітря, не даючи вуглецю окислюватися. Це пояснюється наступним фактором.

В порядку спадання сили спорідненості хімічних елементів до кисню вони розташовуються в наступних два ряди [23, 24]:

- 1) при температурі 3500 К – C; Ti; Al; Mn; Si; Fe; Ni;
- 2) при температурі 1700 К – Al; Ti; Si; C; Mn; Fe; Ni.

Зіставлення цих рядів показує, що зі зниженням температури розкислююча здатність вуглецю падає, а при температурі, близької до температури затвердіння сталеві зварювальної ванни, більш енергійними розкислювачами стають алюміній, титан і кремній.

Наведені вище міркування перевірені експериментально, для чого на пластину зі сталі 90ХФ за допомогою металізатора ЕМ-17 був напилений шар алюмінію. Джерело живлення – ВДУ-506. Параметри режиму напилення: ток дуги 280...300 А, напруга на дузі 32...34 В. Дистанція напилення 140 мм. Напилення пластини здійснювали у вигляді двох паралельних смуг: одна смуга в один шар, друга – в два.

Дугове наплавлення здійснювали на пластину, що піддалася напилюванню, порошковим дротом діаметром 3,6 мм, до складу шихти якого входив гематит, у вигляді трьох валиків: один – по поверхні пластини без напиляного шару, а два, що залишилися, - по напилених смугах. Перед наплавленням пластину нагрівали до температури 400...420 °С. Наплавлення здійснювали під шаром флюсу АН-60, використовуючи зварювальний апарат АД-231

і випрямляч ВДУ-506. Параметри режиму наплавлення: напруга на дузі 30...32 В. Струм дуги 300...320 А, швидкість наплавлення 30 м/год.

Якість наплавленого шару оцінювали по стабільності протікання процесу наплавлення (рівню флуктуацій зварювального струму), якості формування, віддільності шлакової кірки, наявності пір, твердості металу навколошовної зони.

Порівняльні результати наведено в таблиці 1

Таблиця 1

## Результати впровадження запропонованої технології

Варіант наплавлення	Рівень флуктуацій зварювального струму, %	Якість формування	Віддільність шлакової кірки	Кількість пір у шві довжиною 300 мм	Твердість навколошовної зони, HRC
Наплавлення на пластину без напиленого шару	25	задовільна	погана	52	35...37
Наплавлення на пластину з одним шаром напиленого алюмінію	10	добра	задовільна	5	30...32
Наплавлення на пластину з двома шарами напиленого алюмінію	8	добра	добра	немає	28...30

## ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано вводити екзотермічну суміш в зону зварювальної ванни окремими складовими – дуговим напилюванням алюмінію на поверхню, що зміцнюється, і залізної окалини в осерді порошкового електрода. Це дозволяє суттєво збільшити долю суміші в активній зоні та виключити процес її некерованого горіння.

Як показали результати роботи, додаткове введення теплоти в основний метал при використанні термітної суміші дозволило знизити ймовірність утворення пор в перших шарах, наплавлених на високовуглецеві сталі і підвищити їх якість, поліпшити формування.

Збільшення кількості напиляного алюмінію вище стехіометричного співвідношення для організації екзотермічної реакції в ще більшій мірі покращує якісні характеристики шару, наплавленого на високовуглецеву сталь.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Полухин П. И. Тонколистовая прокатка и служба валков / П. И. Полухин, Ю. Д. Железнов, В. П. Полухин. – М. : Металлургия. 1967. – 338 с.
2. Морозов Н. П. Производство и эксплуатация крупных опорных валков / Н. П. Морозов, В. А. Николаев, А. М. Легун. – М. : Металлургия, 1977. – 128 с.
3. Гулаков С. В. Наплавка рабочего слоя с регламентированным распределением свойств / С. В. Гулаков, Б. И. Носовский. – Мариуполь : Издательство ПГТУ, 2005. – 170 с.
4. Матвиенко В. Н. Исследование условий формирования макроразнородных композиций при широко-слойной наплавке / В. Н. Матвиенко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії.– № 1 (32), 2014.– С. 210 – 214.
5. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка / И. И. Фрумин.– Харьков : Металлургиздат, 1961. – 421 с.
6. Ксендзык Г. В. Остаточные напряжения в цилиндрических деталях после электродуговой и электрошлаковой наплавки / Г. В. Ксендзык // Автоматическая сварка. – 1968. – № 10. – С. 35 – 39.



7. Гулаков С. В. Выбор температуры подогрева при дуговой наплавке крупных прокатных валков из стали типа 9ХФ / С. В. Гулаков, Л. К. Лещинский, Б. И. Носовский // Сварочное производство. – 1980. – № 6. – С. 34 – 35.
8. Багрянский К. В. Об отколах слоя хромистой стали, наплавленного на сталь марки 55Х и 65ХГ / К. В. Багрянский, В. Н. Кальянов, П. Ф. Лаврик // Автоматическая сварка. – 1983. – № 9. – С. 26 – 30.
9. Лещинский Л. К. Причины разрушений наплавленного рабочего слоя опорных валков / Л. К. Лещинский, Б. И. Носовский, С. В. Гулаков, К. К. Степнов и др. // Автоматическая сварка. – 1977. – № 3. – С. 19 – 23.
10. Hummitsch Werner. Auftrag schweißen von walzwerkswalzen // Schweißen und Schneiden. – 1968. – № 12. – S. 626 – 634.
11. Наплавочные материалы стран – членов СЭВ: Каталог / Под ред. И. И. Фрумина, В. В. Еремеева, Киев – Москва : Международный центр научной и технической информации, 1979. – 620 с.
12. Багрянский К. В. Электродуговая сварка и наплавка под керамическим флюсом / К. В. Багрянский. – Киев : Техніка, 1976. – 184 с.
13. Лахтин В. М. Металловедение и термическая обработка металлов / В. М. Лахтин. – М. : Металлургия, 1977. – 408 с.
14. Гулаков С. В. Исследование и разработка технологии и оборудования для наплавки рабочего слоя прокатных валков с регламентированным распределением свойств. Канд. дис. 05.03.06. – М., 1982. – 200 с.
15. Попов А. А. Справочник термиста / А. А. Попов, Л. Е. Попова. – Москва – Свердловск : Машгиз, 1961. – 408 с.
16. Шоршоров М. Х. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке / М. Х. Шоршоров, В. В. Белов. – М. : Наука, 1972. – 219 с.
17. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н. Н. Рыкалин. – М. : Машиностроение, 1951. – 196 с.
18. Лебедев Ю. М. Структурные превращения при сварке стали 30ХГСА и ее свариваемость / Ю. М. Лебедев, В. В. Летучий, С. М. Цюх // Сварочное производство. – 1986. – № 12. – С. 19 – 20.
19. Vlasov A. F Heating and melting of electrodes with exothermic mixture in coating / A. F. Vlasov, N. A. Makarenko, A. M. Kushchy // The Paton Welding J. – 2014. – № 6/7. – P. P. 147–150.
20. Vlasov A. F Intensification of arc and electroslag processes of welding by 7 means of exothermal mixture introduction / A. F. Vlasov, N. A. Makarenko, D. A. Volkov // The Paton Welding J. – 2017. – № 1. – P. P. 14–19.
21. Власов А. Ф. Экзотермические смеси в металлургии и сварке / А. Ф. Власов // Университетская наука-2016 : в 4 т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 19-20 мая 2016 г.) / ПГТУ. – Мариуполь, 2016. – Т. 2. – С. 120–121.
22. Патент 98737 Україна. МПК В23К 9/04. Спосіб відновлення і зміцнення деталей / С.В.Гулаков, В.О.Роянов, В.М.Матвієнко; ПГТУ - № а 2011 05865; Заявл. 10.05.2011; Опубл. 11.06.2012, Бюл. № 11.
23. <https://proisvodim.com/o-ximicheskomy-srodstve-k-kislороду.html>.
24. Багрянский К. В. Сварка никеля и его сплавов / К. В. Багрянский, Г. С. Кузьмин. – М. : Машгиз, 1963. – 170 с.

## REFERENCES

1. PI Polukhin, Yu. D. Zhelezov, VP Polukhin. Thin sheet rolling and roll service - М. : Металлургия. 1967. - 338 p.
2. Morozov NP Production and operation of large support rolls / NP Morozov, VA Nikolaev, AM Legun. - М. : Металлургия, 1977. - 128 с.
3. Gulakov SV Surfacing of the working layer with a regulated distribution of properties / SV Gulakov, BI Nosovsky. - Mariupol: PSTU Publishing House, 2005. - 170 p.
4. Matvienko VN Investigation of the conditions for the formation of macro-heterogeneous compositions in wide-layer surfacing / VN Matvienko // Bulletin of the Donbass State Engineering Academy. – № 1 (32), 2014. – P. 210 – 214.
5. Frumin II Automatic electric arc surfacing / II Frumin. – Kharkov: Metallurgizdat, 1961. - 421 p.
6. Ksendzyk GV Residual stresses in cylindrical parts after electric arc and electroslag surfacing / GV Ksendzyk // Automatic welding. - 1968. - № 10. - P. 35 - 39.
7. Gulakov SV Selection of heating temperature during arc surfacing of large rolled rolls made of steel type 9HF / SV Gulakov, LK Leshchinsky, BI Nosovsky // Welding production. – 1980. – № 6. - P. 34 - 35.
8. Bagryansky KV On chips of a layer of chromium steel deposited on steel grade 55X and 65HG / KV Bagryansky, VN Kalyanov, PF Lavrik // Automatic welding. – 1983. - № 9. - P. 26 - 30.
9. Leshchinsky LK Causes of destruction of the welded working layer of the support rolls / LK Leshchinsky, BI Nosovsky, SV Gulakov, KK Stepanov, etc. // Automatic welding. - 1977. - № 3. - P. 19 - 23.
10. Hummitsch Werner. Subtraction of swells from waltz rolling mills // Schweißen und Schneiden. - 1968. – № 12. – P. 626 - 634.

11. Surfacing materials of CMEA member countries: Catalog / Under. ed. II Frumina, VV Ereemeeva, Kiev - Moscow: International Center for Scientific and Technical Information, 1979. - 620 p.
12. Bagryansky KV Electric arc welding and surfacing under ceramic flux / KV Bagryansky. -Kiev: Technology, 1976. - 184 p.
13. Lakhtin VM Metallurgy and heat treatment of metals / VM Lakhtin. - М.: Металлургия, 1977. - 408 с.
14. Gulakov SV Research and development of technology and equipment for surfacing of the working layer of rolling rolls with a regulated distribution of properties. Cand. dis. March 5, 2006 - М., 1982. - 200 p.
15. Popov AA Handbook of thermistor / AA Popov, LE Popova. - Москва - Свердловск: Машгиз, 1961. - 408 с.
16. Shorshorov MH Phase transformations and changes in the properties of steel during welding / MH Shorshorov, VV Belov. - М.: Наука, 1972. - 219 с.
17. Rykalin NN Calculations of thermal processes during welding / NN Rykalin. - М.: Машиностроение, 1951. - 196 с.
18. Lebedev Yu. M. Structural transformations during welding of steel 30HGSA and its weldability / Yu. M. Lebedev, VV Letuchiy, SM Tsyukh // Welding production. - 1986. - № 12. - P. 19 - 20.
19. Vlasov A. F Heating and melting of electrodes with exothermic mixture in coating / A. F. Vlasov, N. A. Makarenko, A. M. Kushchy // The Paton Welding J. - 2014. - № 6/7. - P. P. 147-150.
- 20 Vlasov A. F Intensification of arc and electroslag processes of welding by means of exothermal mixture introduction / A. F. Vlasov, N. A. Makarenko, D. A. Volkov // The Paton Welding J. - 2017. - №1. - P. P. 14-19.
21. Vlasov AF Exothermic mixtures in metallurgy and welding / AF Vlasov // University Science-2016: in 4 vols.: thesis. report international scientific and technical conf. (Mariupol, May 19-20, 2016) / PSTU. - Mariupol, 2016. - Vol. 2. - P. 120-121.
22. Patent 98737 Ukraine. IPC B23K 9/04. Method of restoration and strengthening of details / SV Gulakov, VO Royanov, VM Matvienko; PSTU - № a 2011 05865; Application 10.05.2011; Publ. 11.06.2012, Bull. № 11
23. <https://proisvodim.com/o-ximicheskoy-srodstve-k-kislorodu.html>.
24. Bagryansky KV Welding of nickel and its alloys / KV Bagryansky, GS Kuzmin. - М.: Машгиз, 1963. - 170 с.

#### АВТОРИ / АВТОРЫ / AUTORS

Псарьова І. С. – канд. техн. наук, доц. ПДТУ;  
Псарева І. С. – канд. техн. наук, доц. ПГТУ;  
Psareva I. S. – candidate of technical science, associate professor PSTU.  
E-mail: psareva.irina@gmail.com

Гулаков С. В. – д-р техн. наук, проф. ПДТУ;  
Гулаков С. В. – д-р техн. наук, проф. ПГТУ;  
Gulakov S. V. – doctor of technical sciences, professor PSTU.  
E-mail: segul@ukr.net

Бурлака В. В. – д-р техн. наук, доц. ПДТУ;  
Бурлака В. В. – д-р техн. наук, доц. ПГТУ;  
Burlaka V. V. – doctor of technical sciences, professor PSTU.  
E-mail: VladimirV.Burlaka@gmail.com

Кудінова К. В. – канд. техн. наук, ПДТУ;  
Кудінова Е. В. канд. техн. наук, доц. ПГТУ;  
Kudinova E. V. doctor of technical sciences, associate professor PSTU.  
E-mail: kinushakev@gmail.com

ПДТУ – Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь.

ПГТУ – Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь.

PSTU – Priazovskiy State Technical University, Mariupol.



## АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ANNOTATION

**Псарьова І. С., Гулаков С. В., Бурлака В. В., Кудінова К. В. Удосконалення технології дугового наплавлення робочого шару на високовуглецеві сталі. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2020. № 1 (48).**

Робота спрямована на вирішення проблеми відновлення і зміцнення дуговим наплавленням деталей і інструменту, виготовлених з високовуглецевих сталей. Показано, що для реалізації цього процесу необхідний попередній і супутній підігрів наплавлюваної деталі і нанесення між основним металом і шаром, що наплавляється, проміжного прошарку із заданими властивостями, забезпечивши їх плавну зміну по висоті. Попередній і супутній підігрів тягне за собою істотні енергетичні витрати: витрата газу, електроенергії.

Наплавлення робочого шару на високовуглецеві сталі супроводжується появою пір в перших шарах в результаті взаємодії вуглецю в складі основного металу з киснем повітря з утворенням газів CO і CO<sub>2</sub> в зварювальній ванні. В роботі запропонований метод зниження інтенсивності пороутворення шляхом використання екзотермічних сумішей, що дозволяє за рахунок додаткового підігріву основного металу і металу ванни збільшити час її існування, забезпечивши більш повну її дегазацію.

Запропоновано збільшити в складі екзотермічної суміші вміст алюмінію більше 25%, що дозволило після завершення екзотермічної реакції використовувати алюміній, що залишився, для зв'язування кисню, не даючи йому взаємодіяти з вуглецем. Це призводить до зменшення пороутворення.

**Ключові слова:** дугове наплавлення, високовуглецеві сталі, пори, попередній і супутній підігрів, екзотермічна суміш.

**Псарева И. С., Гулаков С. В., Бурлака В. В., Кудина Е. В. Совершенствование технологи дуговой наплавки рабочего слоя на высокоуглеродистые стали. Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. 2020. № 1 (48).**

Работа направлена на решение проблемы восстановления и упрочнения дуговой наплавкой деталей и инструмента, изготовленных из высокоуглеродистых сталей. Показано, что для реализации этого процесса необходим предварительный и сопутствующий подогрев наплавляемой детали и нанесение между основным металлом и наплавляемым слоем промежуточной прослойки с заданными свойствами, обеспечив их плавное изменение по высоте. Предварительный и сопутствующий подогрев влечет за собой существенные энергетические затраты: расход газа, электроэнергии.

Наплавка рабочего слоя на высокоуглеродистые стали сопровождается появлением пор в первых слоях в результате взаимодействия углерода в составе основного металла с кислородом воздуха с образованием газов CO и CO<sub>2</sub> в сварочной ванне. В работе предложен метод снижения интенсивности порообразования путем использования экзотермических смесей, что позволяет за счет дополнительного подогрева основного металла и металла ванны увеличить время ее существования, обеспечив более полную ее дегазацию.

Предложено увеличить в составе экзотермической смеси содержание алюминия более 25%, что позволило после завершения экзотермической реакции использовать оставшийся алюминий для связывания кислорода, не давая ему взаимодействовать с углеродом. Это приводит к уменьшению порообразования.

**Ключевые слова:** дуговая наплавка, высокоуглеродистые стали, поры, предварительный и сопутствующий подогрев, экзотермическая смесь.

**Psareva I. S., Gulakov S. V., Burlaka V. V., Kudina E. V. Improving the technology of arc surfacing of the working layer on high-carbon steels. Herald of the DSEA. 2020. № 1 (48).**

The work is aimed at solving the problem of restoration and hardening of parts and tools made of high carbon steels by means of arc surfacing. It is shown that for the implementation of this process, preliminary and concurrent heating of the deposited part is required and an intermediate layer with specified properties has to be formed between the base metal and the deposited layer, ensuring smooth change of properties depending on height. Preliminary and concurrent heating entails significant energy costs: gas, electricity consumption.

Surfacing of the working layer on high-carbon steels is accompanied by the appearance of pores in the first layers as a result of the interaction of carbon in the composition of the base metal with atmospheric oxygen with the formation of CO and CO<sub>2</sub> gases in the weld pool. In the work, a method for reducing the rate of pore formation by using exothermic mixtures is proposed, which allows, due to additional heating of the base metal and the metal of the welding pool, to increase the time of its existence, ensuring more complete degassing of the molten metal of the welding pool.

It was proposed to increase the aluminum content in the composition of the exothermic mixture by more than 25%, which made it possible to use the remaining aluminum to bind oxygen after completion of the exothermic reaction, preventing it from interacting with carbon. This leads to a decrease in pore formation rate.

**Keywords:** arc surfacing, high-carbon steels, pores, preliminary and concurrent heating, exothermic mixture.