

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩЕЙ ШИХТЫ И ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

В. В. ПЕРЕМИТЬКО, В. И. СУХОМЛИН, О. Л. КОСИНСКАЯ, А. И. ПАНФИЛОВ

Днепропетровский государственный технический университет.

51918, г. Каменское, ул. Днепростроевская, 2. E-mail: welding@dstu.dp.ua

Изучено влияние наложения внешнего магнитного поля при дуговой наплавке по предварительно нанесенной легирующей шихте (углеродсодержащие волокна + SiO_2) на твердость и структуру металла, а также на изменение указанных показателей в пределах единичных валиков. Установлено, что углеродсодержащие волокна, нанесенные на наплавляемую поверхность деталей, вызывают при наплавке локальное обогащение углеродом жидкой фазы, которая при охлаждении распадается на ферритно-карбидную смесь, что приводит к увеличению твердости металла. Дополнительное наложение в процессе наплавки внешнего магнитного поля способствует интенсивному перемешиванию сварочной ванны, что приводит к получению более однородной структуры и твердости. Получены аналитические зависимости твердости наплавленных слоев от количества углеродсодержащих волокон, $\text{SiO}_2 + \text{Fe}$ и индукции магнитного поля. Результаты исследований могут быть использованы при разработке технологии изготовления и восстановления деталей, эксплуатирующихся в условиях абразивного изнашивания. Библиогр. 9, табл. 1, рис. 10.

Ключевые слова: дуговая наплавка под флюсом, углеродсодержащие материалы, модифицирующие компоненты, внешнее магнитное поле, наплавленный металл, твердость, микроструктура

Электродуговая наплавка под флюсом по легирующей шихте является одним из наиболее простых и экономичных способов получения износостойких слоев на поверхности деталей, эксплуатирующихся в условиях различных видов абразивного изнашивания [1–3]. Также известно, что при использовании этого метода наплавки получение наплавленного металла заданного и однородного химического и микроструктурного состава в наибольшей степени зависит от режима наплавки, химического и фракционного состава легирующей шихты, по которой ведется наплавка [4, 5].

Целью данной работы явилось совершенствование этого способа наплавки за счет применения в качестве легирующей шихты углеродсодержащих и модифицирующих материалов. За основу взята схема дуговой наплавки высокоуглеродистых покрытий по слою шихты, в качестве которой использовались углеродистые волокна [6]. Дополнительно для улучшения химической и структурной однородности наплавленного металла исследовали влияние на этот показатель внешнего магнитного поля, которое по некоторым данным [7, 8] положительно влияет на эти свойства.

В процессе проведения экспериментов на наплавляемую поверхность предварительно накладывались полосы углеродные волокна 3 (рис. 1). При наплавке электродную проволоку устанавливали так, чтобы наплавляемый валик 2 перекрывал примерно 25...35 % углеродсодержащей полосы.

В качестве материала, фиксирующего размещение углеродных волокон (2...4 волокна Т 700SC Togeу на валик) на наплавляемой поверхности, использовали смесь на основе грунтовки, к которой добавляли железный порошок (15...25 мас. %) и аэросил (0,6...1,2 мас. %). Схема размещения

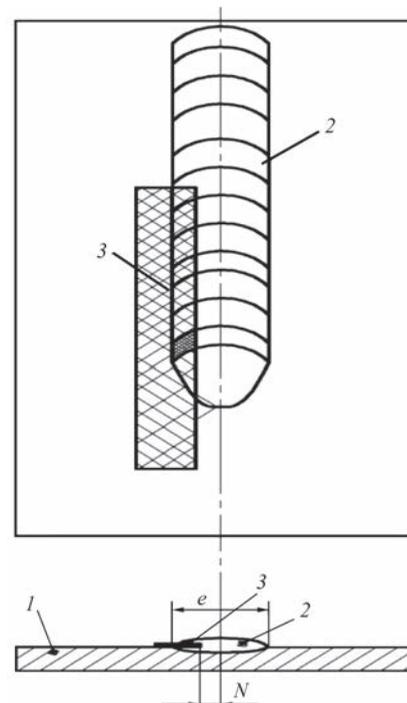


Рис. 1. Схема внесения дополнительных материалов: 1 — образец; 2 — наплавленный валик; 3 — углеродсодержащий материал; N — смещение; e — ширина валика



Рис. 2. Схема внесения дополнительных материалов: 1 — наплавленный валик; 2 — зафиксированные грунтовкой углеродсодержащие волокна перед наплавкой

углеродсодержащих волокон на наплавляемой поверхности представлена на рис. 2.

В экспериментах по наплавке использовали сварочный автомат АДС-1000 с выпрямителем ВДУ-506. Наплавку выполняли проволокой Св-08А диаметром 3 мм под флюсом АН-348А на постоянном токе обратной полярности. Режим наплавки: ток 400...420 А, напряжение на дуге 32...36 В, скорость подачи проволоки 160 м/ч, скорость наплавки 12...16 м/ч, шаг 6...8 мм. Материал образцов — сталь 09Г2С (твердость в состоянии поставки — *HV* 128...143). Для наложения внешнего магнитного поля использовали специальную катушку, которую закрепляли на мундштуке горелки автомата АДС-1000. Питание катушки проводилось постоянным током.

При проведении экспериментов выполняли центральное некомпозиционное планирование второго порядка для трех факторов: концентрации SiO₂ + Fe, количества вносимых углеродсодержащих волокон и индукции внешнего магнитного воздействия. Из наплавленных валиков выреза-

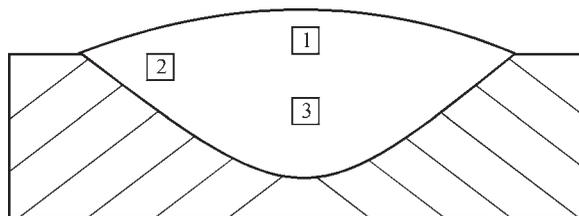


Рис. 3. Схема измерения твердости наплавленных валиков ли образцы для исследования микроструктуры и твердости.

Исходя из полученных данных, самые высокие показатели твердости наплавленного металла фиксируются на периферии наплавленных валиков, выразительный максимум наблюдается при магнитной индукции *B* = 60 мТл; SiO₂ + Fe — 0,8...1,0 мас. %; *n* — 4 шт. (см. таблицу и рис. 3).

Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью программы STATISTICA 6.0 (рис. 4 и 5). Сравнив графики, приведенные на рис. 4 и 5, можно сделать вывод, что в точке 2 (месте, куда наносились дополнительные материалы) при одинаковых режимах наплавки наблюдается возрастание твердости *HRC* на 8...10 единиц.

При увеличении количества углеродсодержащих волокон и магнитной индукции твердость наплавленного металла также растет. Однако, как показывает практика, при значениях магнитной индукции свыше 70 мТл появляются поры из-за интенсивного перемешивания ванны жидкого металла. Уравнение, описывающее влияние всех факторов, имеет вид:

$$HRC = 14,17 + 0,14[c] + 2,72[SiO_2] + 2,57B - 2,03[SiO_2]^2 + 0,1B^2 + 0,0027[c][SiO_2] - 0,035[c]B + 0,49[SiO_2]B,$$

где *[c]* — количество углеродсодержащих волокон в нанесенном слое, шт.; *[SiO₂]* — концентрация аэросила, мас. %; *B* — индукция магнитного поля, мТл.

На рис. 6 представлены графики изменения твердости металла наплавленного валика по традиционной схеме наплавки и использованной в исследованиях.

Таким образом, при внесении дополнительных материалов в виде аэросила и углеродсодержащих волокон Т 700Sc Togeу наблюдается повышение твердости в 1,5...2,0 раза, причем наибольшая твердость фиксируется на периферии валиков.

После измерения твердости был произведен анализ микроструктур. На рис. 7–9 приведены микроструктуры образцов 1, 3 и 6 в зонах 1, 2 и 3 (см. рис. 3 и таблицу). Сравнивая структуру образцов 1 и 3 в зоне 1, можно отметить заметное измельчение как ферритной

Влияние количества углеродсодержащих волокон и магнитной индукции на твердость наплавленного металла

Номер образца	Индукция <i>B</i> , мТл	Количество SiO ₂ + Fe, %	Количество волокон <i>n</i> , шт	Твердость <i>HRC</i> *		
				1	2	3
1	60	1,2	2	18,0	21,0	16,0
2	60	0	2	24,1	25,0	21,9
3	0	1,2	2	24,8	26,2	22,5
4	0	0	2	17,5	20,1	15,2
5	30	0,6	2	22,5	23,8	20,7
6	60	0,6	4	28,7	30,0	26,5
7	60	0,6	0	21,2	22,0	18,8
8	0	0,6	4	23,0	24,5	21,2
9	0	0,6	0	15,0	16,5	14,0
10	30	0,6	2	22,5	24,1	20,3
11	30	1,2	4	26,4	29,0	24,2
12	30	1,2	0	19,0	20,2	16,9
13	30	0	4	24,0	26,0	22,0
14	30	0	0	18,0	18,3	15,7

*Места замеров твердости (см. рис. 3).

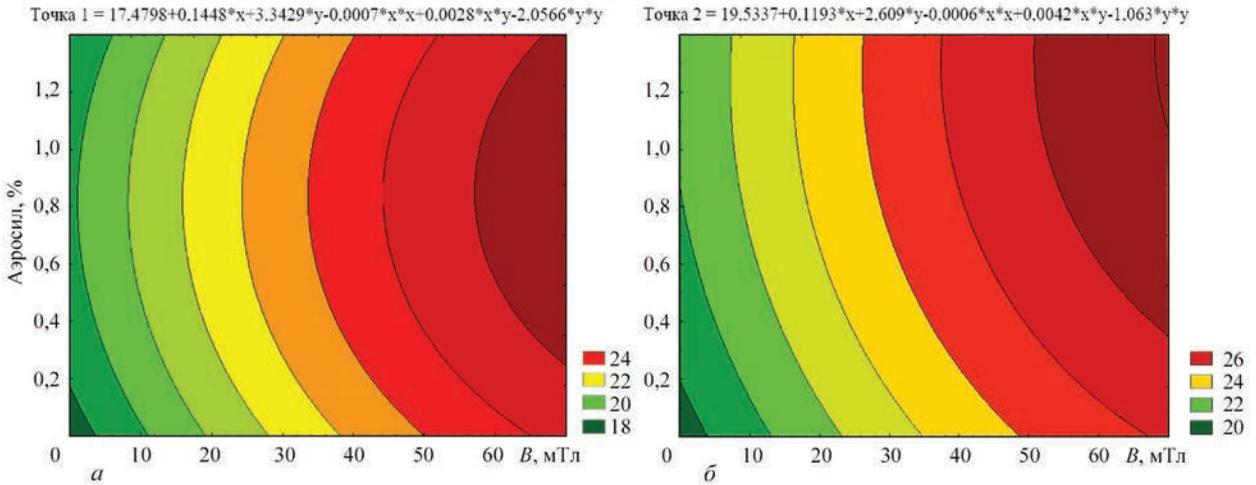


Рис. 4. Зависимости твердости (HRC) в точках 1 (а) и 2 (б) от количества аэросила и величины магнитной индукции

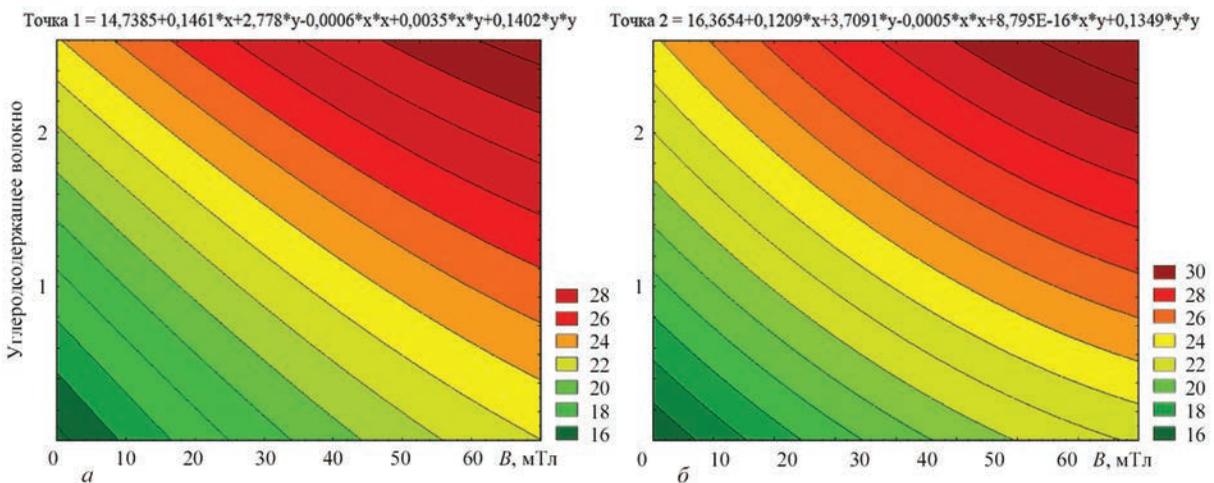


Рис. 5. Зависимости твердости (HRC) в точках 1 (а) и 2 (б) от количества углеродсодержащих волокон и величины магнитной индукции

составляющей, так и областей с ферритно-цементитной смесью.

В образце 1 размер квазиполигональных зерен феррита составляет 20...40 мкм, а в образце 3 — 10...30 мкм. Зерна ферритно-цементитной смеси имеют размер 40...60 мкм в образце 1 и 30...40 мкм в образце 3 (рис. 7, а, б).

Такое измельчение структурных элементов в образце 3 объясняется влиянием внешнего магнитного поля во время дуговой наплавки [8]. Дополнительное перемешивание расплавленного металла в ванне жидкого металла способствует росту скорости охлаждения, а, значит, и увеличению степени переохлаждения при кристаллизации и измельчению всех структурных составляющих.

В зоне 2 влияние на формирование структуры оказывают не только углеродсодержащие волокна и аэросил, но и интенсивный теплоотвод в металл основы. Под его влиянием первичный феррит частично меняет свою морфологию — в структуре появляется игольчатый феррит [9]. Ферритно-цементитная смесь также под воздействием направленного теплоотвода приобретает заметно

вытянутую форму. Перлитные структуры формируются в виде тонких прослоек между рейками игольчатого феррита или в виде больших зерен квазиэвтектоида. Ферритные образования в зоне 2 образца 1 имеют ширину 30...40 мкм и вытянуты на 150...200 мкм, в образце 3 — соответственно 15...20 мкм и 80...150 мкм.

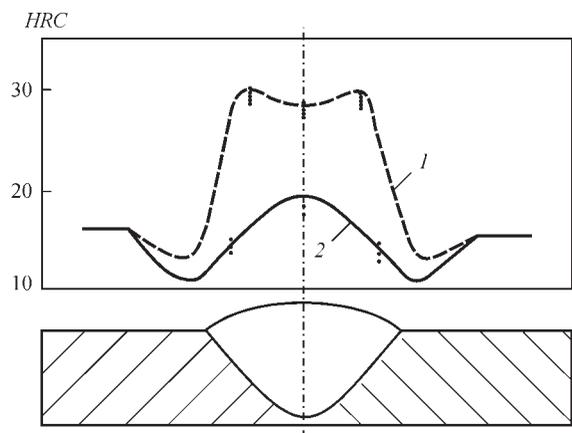


Рис. 6. Графики изменения твердости металла наплавленного валика: 1 — с внесением дополнительных материалов; 2 — без внесения дополнительных материалов

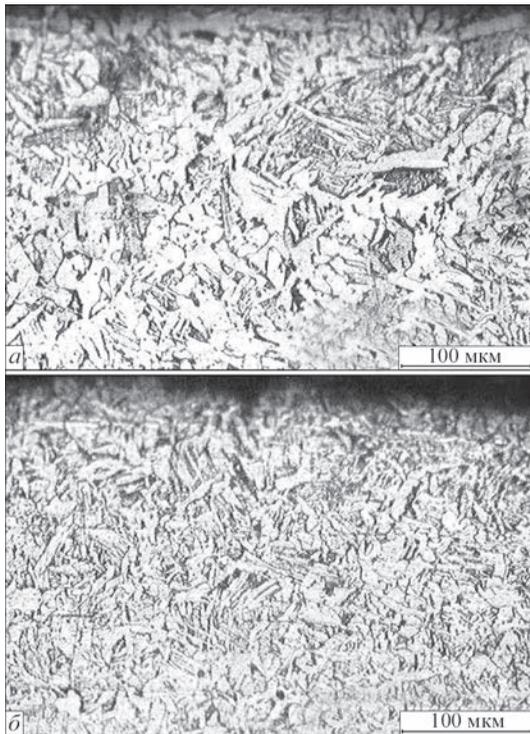


Рис. 7. Микроструктура образцов 1 (а) и 3 (б) в зоне 1

Фактор магнитного поля (для образца 3) способствует перемешиванию металла сварочной ванны и более равномерному распределению частиц SiO_2 , которые играют роль модификатора второго рода, увеличивая количество центров кристаллизации, а углеродсодержащие волокна в зоне 2 поставляют углерод для формирования карбидной фазы. Эти два фактора не только способствуют измельчению конечной структуры, но и увеличивают долю ферритно-цементитной смеси

в образце 3 (рис. 8, а, б). Твердость в этой зоне максимальна.

В зоне 3 образца 1 отмечена наименьшая твердость. Без дополнительного магнитного воздействия формирование градиентных структур проходило практически без участия частиц аэросила SiO_2 . Ширина ферритных участков в этой зоне составляет 25...35 мкм, длина 180...250 мкм. Области ферритно-перлитной смеси имеют ширину 50...80 мкм и длину 250...300 мкм. Ширина рейки игольчатого феррита составляет 20...40 мкм при средней длине до 90 мкм.

Структура образца 3 в зоне 3 формировалась при участии частиц SiO_2 и внешнего магнитного поля. В этой зоне ширина ферритных участков в структуре столбчатых кристаллитов достигает 20...35 мкм при длине 140...180 мкм, ширина областей ферритно-перлитной структуры составляет 35...50 мкм при длине 200...230 мкм. Ширина рейки игольчатого феррита составляет 15...20 мкм при средней длине до 45...70 мкм (рис. 9, а, б).

В образце б, в отличие от образца 3, использовано в два раза меньше SiO_2 и в два раза больше углеродсодержащих волокон. В первую очередь эти изменения повлияли на зону 1. Структура в этой зоне, благодаря меньшему количеству модификатора, интенсивному перемешиванию магнитным полем и дополнительному количеству углерода, имеет равномерное распределение участков квазиполигонального феррита размерами 20...30 мкм, зерен ферритно-цементитной смеси размерами 35...55 мкм и игольчатого феррита с шириной реек 10...20 мкм и длиной 30...55 мкм.

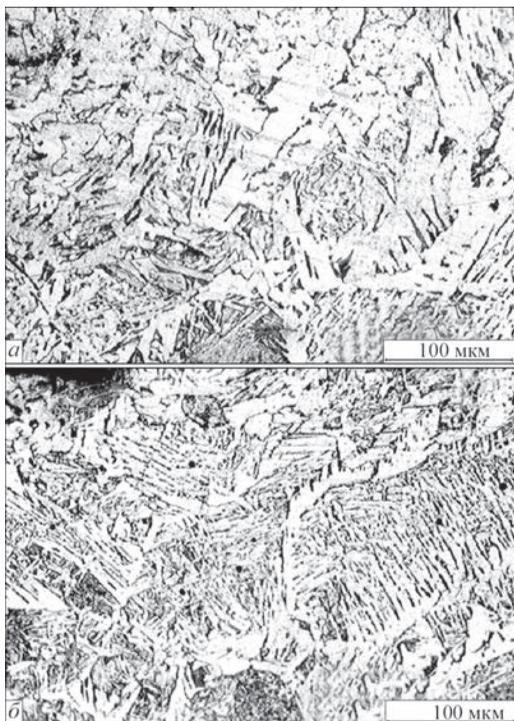


Рис. 8. Микроструктура образцов 1 (а) и 3 (б) в зоне 2

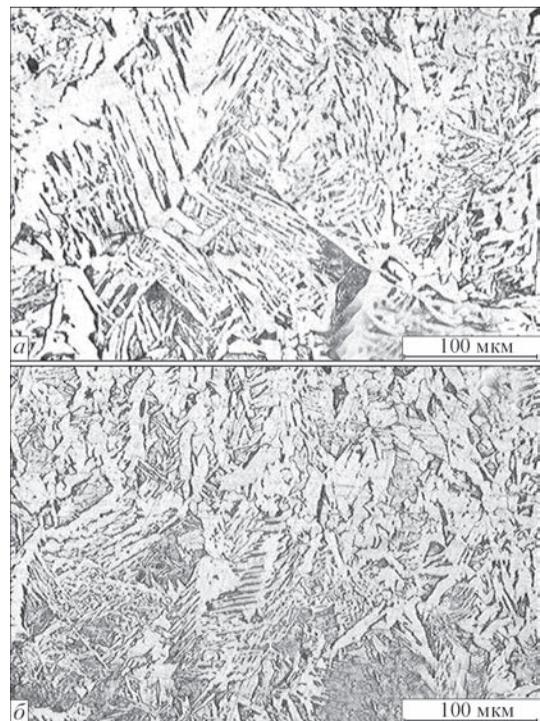


Рис. 9. Микроструктура образцов 1 (а) и 3 (б) в зоне 3

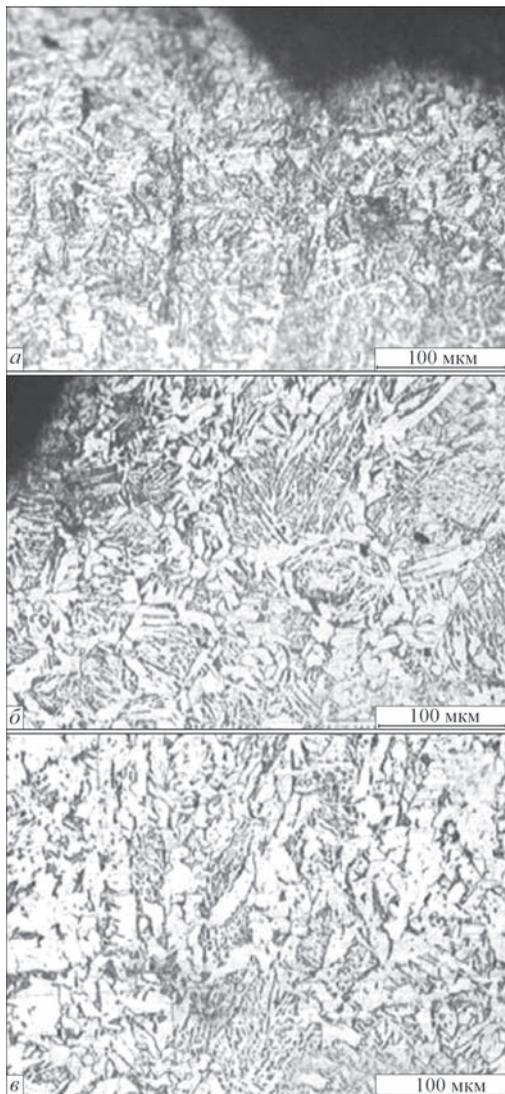


Рис. 10. Микроструктура образца б: а — в зоне 1; б — в зоне 2; в — в зоне 3

Большой суммарный объем ферритно-карбидной смеси (до 50 %) в сочетании с игольчатым ферритом (до 20 %) поспособствовал увеличению твердости HRC образца в зоне 1 на 3,9 единиц по сравнению с образцом 3. В зонах 2 и 3 увеличение твердости также обусловлено измельчением как ферритной составляющей структуры, так и областей квазиэвтектоида и реек игольчатого феррита, что и привело к более высоким значениям HRC среди всех образцов (рис. 10, а–в).

Выводы

1. Предложены аналитические зависимости для определения твердости наплавленных слоев от количества предварительно нанесенных на наплавленную поверхность углеродсодержащих волокон, концентрации $SiO_2 + Fe$ и индукции внешнего магнитного поля.

2. Установлено, что углеродсодержащие волокна, нанесенные на наплавленную поверхность деталей, вызывают при наплавке локальное обо-

гащение углеродом жидкой фазы, которая при охлаждении распадается на ферритно-карбидную смесь, что приводит к увеличению твердости металла. Дополнительное наложение в процессе наплавки внешнего магнитного поля способствует интенсивному перемешиванию сварочной ванны, что приводит к получению более однородной структуры и твердости наплавленного металла.

3. Использование аэросила SiO_2 в качестве модификатора наиболее оправдано в сочетании с наложением при наплавке внешнего магнитного поля. Твердость металла после использования подобной технологии возрастает в приповерхностной зоне наплавленного металла примерно на 20 %.

4. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии наплавки деталей, эксплуатирующихся в условиях интенсивного абразивного изнашивания.

Список литературы

- (2002) *Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин*. Попов В. С. (ред.). Запорожье, ОАО «Мотор Сич».
- Перемитко В. В. (2014) Износостойкая дуговая наплавка по слою легирующей шихты. *Автоматическая сварка*, **8**, 56–59.
- Кузнецов В. Д., Степанов Д. В. (2015) Износостойкая наплавка с вводом в сварочную ванну нанопорошков. *Там же*, **5-6**, 52–56.
- Фруммин И. И. (1961) *Автоматическая электродуговая наплавка*. Харьков, Metallurgizdat.
- Рябцев И. А., Сенченков И. К. (2013) *Теория и практика наплавочных работ*. Киев, Екотехнологія.
- Савуляк В. І., Заболотний С. А., Шенфельд В. Й. (2010) Наплавлення високовуглецевих покриттів з використанням вуглецевих волокон. *Проблеми трибології*, **1**, 66–70.
- Размышляев А. Д. (2000) *Магнитное управление формированием швов при дуговой сварке*. Мариуполь, ПГТУ.
- Рижов Р. М., Кузнецов В. Д. (2010) *Магнітне керування якістю зварних з'єднань*. Київ, Екотехнологія.
- Большаков В. И. (2015) Игольчатый феррит. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, **9**, 10–15.

References

- (2002) *Restoration and improvement of wear resistance and service life of machine parts*. Ed. by V.S. Popov. Zaporozhie, OJSC Motor Sich [in Russian].
- Peremitko, V.V. (2014) Wear-resistant arc surfacing over the layer of alloying charge. *The Paton Welding J.*, **8**, 54-57.
- Kuznetsov, V.D., Stepanov, D.V. (2015) Wear-resistant surfacing with feeding of nanopowders in welding pool. *Ibid.*, **5-6**, 47-51.
- Frumin, I.I. (1961) *Automatic electric arc surfacing*. Kharkov, Metallurgizdat [in Russian].
- Ryabtsev, I.A., Senchenkov, I.K. (2013) *Theory and practice of surfacing works*. Kiev, Ekotekhnologiya [in Russian].
- Savulyak, V.I., Zabolotny, S.A., Shenfeld, V.J. (2010) Surfacing of high-carbon coatings using carbon fibers. *Problemy Trybologii*, **1**, 66-70 [in Ukrainian].
- Razмышляев, A.D. (2000) *Magnetic control of weld formation in arc welding*. Mariupol, PSTU [in Russian].
- Ryzhov, R.M., Kuznetsov, V.D. (2010) Magnetic control of welded joints quality. Kyiv, Ekotekhnologiya [in Ukrainian].
- Bolshakov, V.I. (2015) Acicular ferrite. *Вісник Придніпр. Держ. Академії Будівництва та Архітектури*, **9**, 10-15 [in Russian].

ВПЛИВ ЛЕГУЮЧОЇ ШИХТИ ТА ЗОВНІШНЬОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

В. В. ПЕРЕМІТЬКО, В. І. СУХОМЛИН, О. Л. КОСІНСЬКА, А. І. ПАНФІЛОВ

Дніпровський державний технічний університет.

51918, м. Кам'янське, вул. Дніпробудівельна, 2. E-mail: welding@dstu.dp.ua

Вивчено вплив накладання зовнішнього магнітного поля при дуговому наплавленні по попередньо нанесеній легуючій шихті (вуглецевмісні волокна + SiO_2) на твердість і структуру металу, а також на зміну зазначених показників в межах одиничних валиків. Встановлено, що вуглецевмісні волокна, нанесені на поверхню деталей, що наплавляються, викликають при наплавленні локальне збагачення вуглецем рідкої фази, яка при охолодженні розпадається на феритно-карбідну суміш, що призводить до збільшення твердості металу. Додаткове накладання в процесі наплавлення зовнішнього магнітного поля сприяє інтенсивному перемішуванню зварювальної ванни, що призводить до отримання більш однорідної структури і твердості. Отримано аналітичні залежності твердості наплавлених шарів від кількості вуглецевмісних волокон, $\text{SiO}_2 + \text{Fe}$ і індукції магнітного поля. Результати досліджень можуть бути використані при розробці технології виготовлення та відновлення деталей, що експлуатуються в умовах абразивного зношування. Бібліогр. 9, табл. 1, рис. 10.

Ключові слова: дугове наплавлення, вуглецевмісні матеріали, модифікуючі компоненти, зовнішнє магнітне поле, наплавлений метал, твердість, мікроструктура

EFFECT OF ALLOYING CHARGE AND EXTERNAL MAGNETIC FIELD ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF DEPOSITED METAL

V. V. PEREMITKO, V. I. SUKHOMLIN, O. L. KOSINSKAYA, A. I. PANFILOV

Dniprovsk State Technical University 2 Dneprovskaya Str., Kamenskoe, 51918. E-mail:welding@dstu.dp.ua

Effect of application of external magnetic field in arc surfacing over preliminary alloyed charge (carbon-containing fiber + SiO_2) on hardness and metal properties as well as change of indicated indices within the limits of single beads was investigated. It is determined that carbon-containing fibers applied to the part surface being deposited provoke during surfacing local enrichment with liquid phase carbon, which in cooling decay for ferrite-carbide mixture, that leads to rise of metal hardness. Additional application of the external magnetic field in process of surfacing promotes intensive mixing of weld pool that results in production of more uniform structure and hardness. The analytical dependencies of hardness of deposited layers on amount of carbon-containing fibers, $\text{SiO}_2 + \text{Fe}$ and induction magnetic field were received. The results of the investigations can be used in development of technology for manufacture and restoration of parts operated under abrasive wear conditions. 9 Ref., 1 Tabl., 10 Fig.

Keywords: submerged arc surfacing, carbon-containing materials, modifying components, external magnetic field, deposited metal, hardness, microstructure

Поступила в редакцію 02.07.2018

Международная инженерная ярмарка

1–5 октября 2018 г., г. Брно, Чехия

E-mail: direct-enewsletter@bvvcz

www.bvvcz.msv



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

Київський міський центр електрозварювальної хірургії

та новітніх хірургічних технологій

Тринадцята міжнародна науково-практична конференція

«Зварювання та термічна обробка живих тканин.

Теорія. Практика. Перспективи»

(присвячується 100-річчю Національної академії наук України)

30.11 – 01.12.2018 р.

ІЕЗ ім. Є. О. Патона, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11

E-mail: office@paton.kiev.ua