

ДУГОВАЯ НАПЛАВКА СЛОЕВ МЕТАЛЛА ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА И РАЗЛИЧНОЙ ТВЕРДОСТИ

В. В. ПЕРЕМИТЬКО, А. И. ПАНФИЛОВ

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

При дуговой наплавке по слою легирующей шихты определены условия получения по зонам отдельных валиков слоев с переменным составом и структурой. На наплавляемую поверхность предварительно наносились углеродсодержащие волокна полосами, ширина и расстояние между которыми выбирались из условия размещения торца электрода со смещением относительно края полос. Для фиксации волокон использовали грунтовку, в которую добавляли железный порошок и аэросил SiO_2 . При проведении экспериментов изменяли количество наносимых слоев, эксцентриситет в расположении полос относительно оси электродной проволоки, а также индукцию внешнего магнитного поля. Установлена разница в твердости металла по ширине наплавленных валиков (до $HRC\ 9\dots 12$) и последовательно нанесенных слоев (до $HRC\ 15\dots 25$). Твердость достигает максимальных значений при эксцентриситете $c = 4$ мм и индукции $B = 40\dots 80$ мТл, а также при $c = 10\dots 12$ мм и B до 40 мТл. Наблюдается возрастание твердости при увеличении количества наносимых слоев. Металлографический анализ зафиксировал увеличение доли закалочных структур (в виде игольчатого бейнита и мартенсита) с $15\dots 22$ до $25\dots 35$ % во втором слое и более 50 % — в третьем. Библиогр. 13, табл. 1, рис. 10.

Ключевые слова: дуговая наплавка по легирующей шихте, наплавленный металл, твердость, микроструктура наплавленного металла, управляющее магнитное поле, углеродсодержащее волокно

Известно, что изнашивание многих деталей машин и механизмов в процессе эксплуатации носит избирательный характер [1–4]. Тем не менее, как правило, при восстановлении таких деталей методами наплавки избирательный характер изнашивания их поверхностей не учитывается [5–7]. Положительный опыт некоторых исследователей [8–11] по получению наплавленных слоев со свойствами, изменяющимися по глубине и по зонам поверхности, дают основание рассматривать этот опыт как перспективный путь повышения работоспособности контактных пар трения при их восстановлении.

В данной работе ставилась задача нанесения дуговой наплавкой металла с изменяющимся составом и структурой по зонам единичных валиков, отдельных слоев и в местах перекрытия соседних валиков и слоев.

В экспериментах использовался способ дуговой наплавки по слою легирующей шихты, который, при некоторых условиях, позволяет эффективно сохранять от полного растворения материалы, дополнительно вводимые в наплавочную ванну [12, 13].

Предварительно на наплавляемую поверхность укладывались углеродсодержащие волокна (Т 700SC Togeу) полосами, ширина a и расстояние b между которыми выбирались из условия размещения торца электродной проволоки со смещением c относительно края упомянутых полос (рис. 1). В качестве материала, фиксирующего размещение

углеродсодержащих волокон, использовали грунтовку, к которой добавляли железный порошок (15...25 мас. %) и аэросил (0,3...0,6 мас. %). Значения показателей a , b и c выбирались также из условия формирования валиков с перекрытием.

В экспериментах использовался сварочный автомат типа АДС-1000, в качестве источника питания — универсальный выпрямитель ВДУ-506.

Наплавку выполняли на образцы плоской формы из стали 20 под флюсом АН-348А проволокой Св-08А диаметром 3 мм. Режим наплавки: ток 400...420 А, напряжение 32...36 В, скорость подачи проволоки 160 м/ч, скорость наплавки 12...16 м/ч, шаг наплавки 6...8 мм, ток постоянный, полярность обратная.

Для управления кристаллизацией металла валиков использовали продольное магнитное поле [12]. Катушку, которая обеспечивала аксиальное магнитное поле, крепили на мундштук горелки через слой электроизоляции. Для измерения твердости на приборе ТК-2 из наплавленных заготовок вырезали образцы толщиной 15 мм.

Для сокращения количества экспериментов выполняли центральное некомпозиционное планирование второго порядка для трех факторов — эксцентриситета в размещении электродной проволоки относительно края полос предварительно нанесенных дополнительных компонентов (от 0 до половины ширины валика, около 6 мм); количества слоев наплавляемого металла (до трех); индукции внешнего магнитного поля (от 0 до 80 мТл) (таблица).

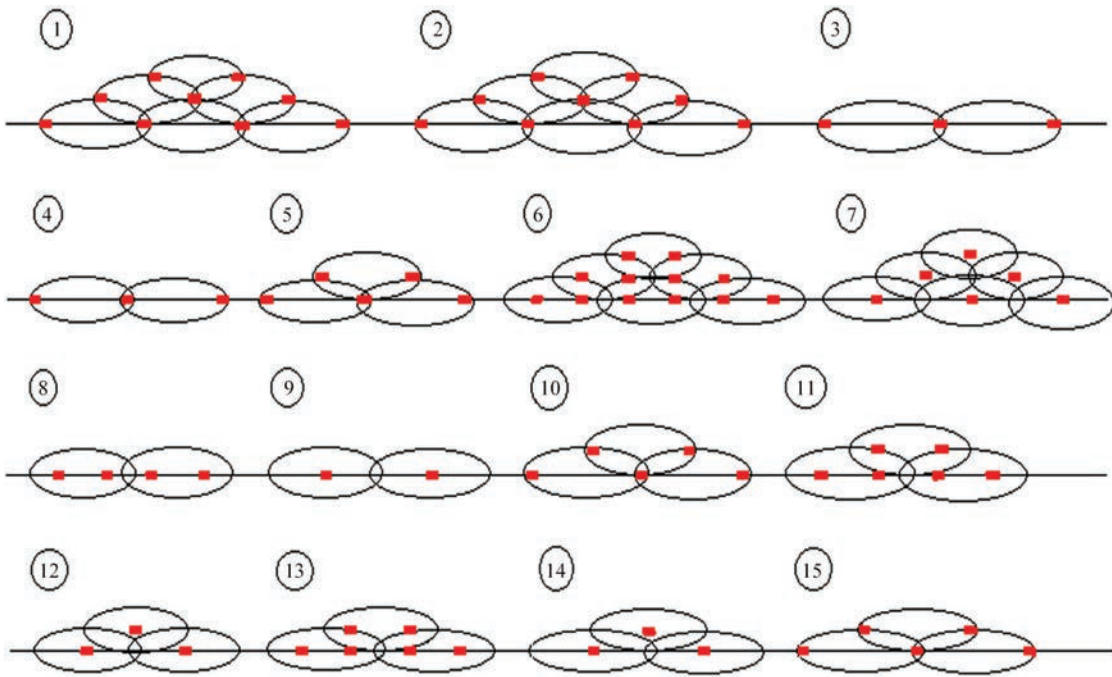


Рис. 1. Схема размещения углеродсодержащих волокон на всех образцах (1–15) с заданным эксцентриситетом (места размещения волокон указаны точками)

На рис. 2 приведены результаты замеров твердости в местах предварительной фиксации дополнительных компонентов (серые), а также в местах дополнительных замеров (черные точки).

Разница в твердости металла по ширине наплавленных слоев должна способствовать увеличению сопротивляемости износу благодаря формированию периодической волнистости контактирующих поверхностей и, как следствие, уменьшению их проскальзывания в случае, например, вращательного рабочего хода деталей.

Обработку экспериментальных данных проводили с помощью программы StatSoft Statistica 6.0. Полученные зависимости между параметрами наплавки представлены на рис. 3, 4.

Как видно из рис. 3, твердость достигает максимальных значений при размещении углеродсодержащего волокна с эксцентриситетом 4 мм и магнитной индукции 40...80 мТл, а также при эксцентриситете 10...12 мм и магнитной индукции до 40 мТл.

Максимальная твердость наблюдается в случае трехслойной наплавки при значениях индукции внешнего магнитного поля 40 мТл (рис. 4).

Микроструктуру наплавленного металла исследовали на растровом электронном микроскопе РЕМ-106И-Selmi.

Показательными являются результаты металлографического исследования образца № 5 (таблица; рис. 5, 6), который наплавлился с фиксации

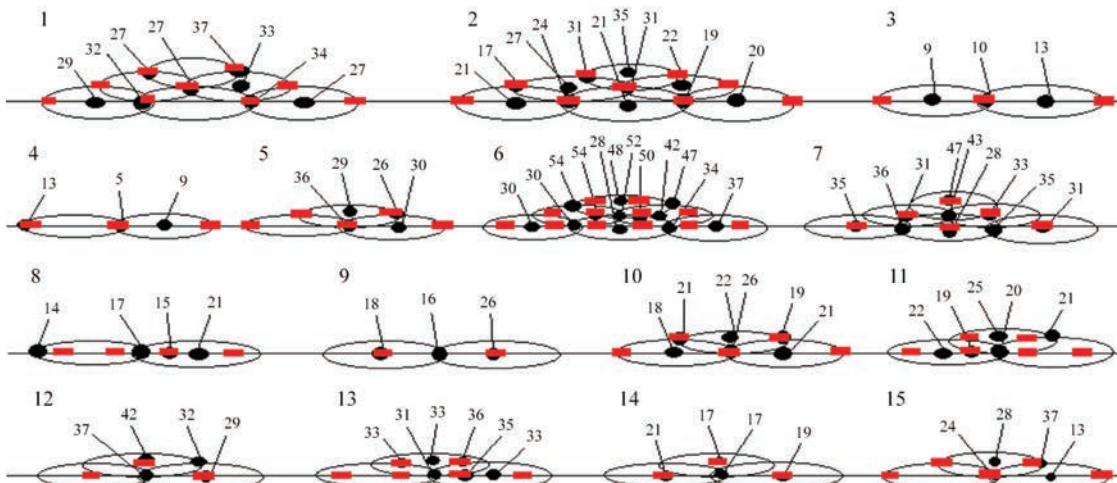


Рис. 2. Твердость *HRC* по зонам наплавленных валиков (места замеров указаны точками, описание серых и черных точек см. в тексте)

Матрица эксперимента

| Номер образца | Количество слоев n | Магнитная индукция B , мТл | Эксцентриситет c , мм |
|---------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1 | 3 | 80 | 8 |
| 2 | 3 | 0 | 8 |
| 3 | 1 | 80 | 8 |
| 4 | 1 | 0 | 8 |
| 5 | 2 | 40 | 8 |
| 6 | 3 | 40 | 4 |
| 7 | 3 | 40 | 0 |
| 8 | 1 | 40 | 4 |
| 9 | 1 | 40 | 0 |
| 10 | 2 | 40 | 8 |
| 11 | 2 | 80 | 4 |
| 12 | 2 | 80 | 0 |
| 13 | 2 | 0 | 4 |
| 14 | 2 | 0 | 0 |
| 15 | 2 | 40 | 8 |

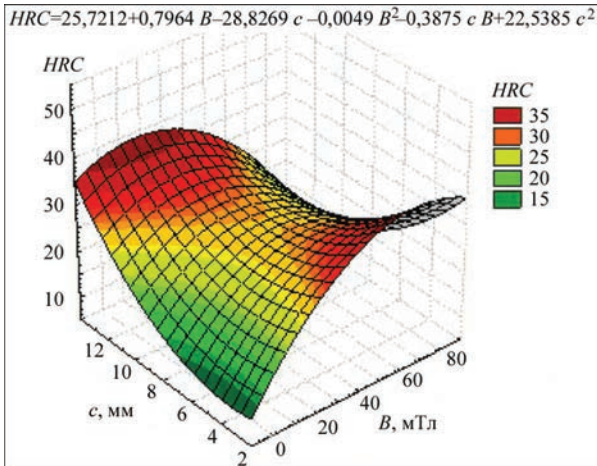


Рис. 3. Зависимость твердости HRC наплавленного металла от величины магнитной индукции B и эксцентриситета c

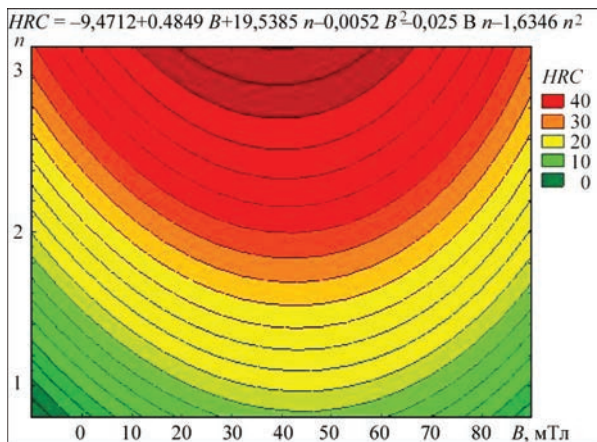


Рис. 4. Зависимость твердости HRC наплавленного металла от количества n наносимых слоев и магнитной индукции B ей углеродсодержащего материала и наложением внешнего магнитного поля.

Анализ микроструктуры образца № 5 показывает, что по всему поперечному сечению нанесенных валиков наблюдается измельчение зерна, что является результатом воздействия внешнего магнитного поля. В местах перекрытия валиков (со-

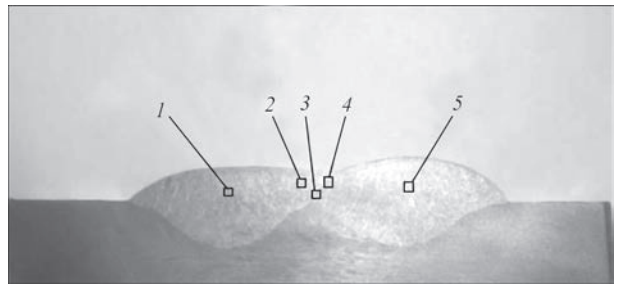


Рис. 5. Образец № 5 (наплавка с внешним магнитным полем $B = 40$ мТл, эксцентриситет $c = 8$ мм); 1–5 — исследуемые точки

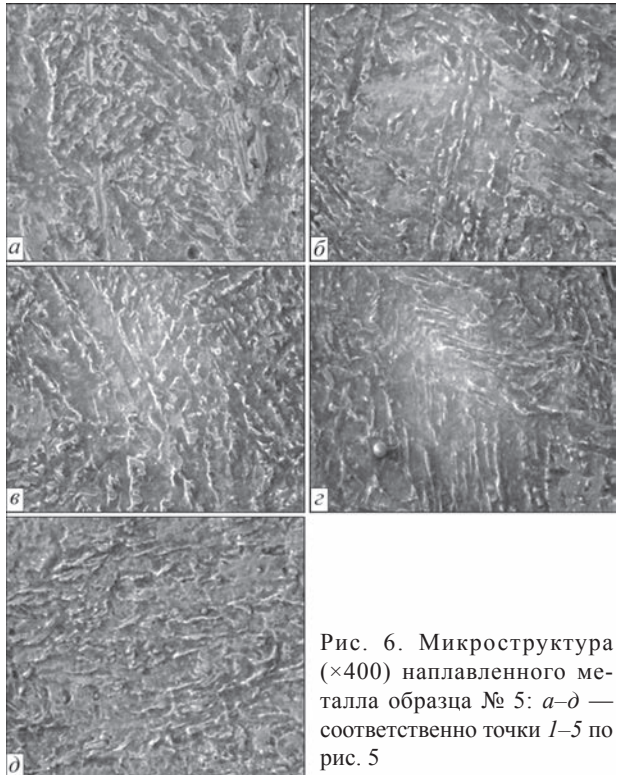


Рис. 6. Микроструктура ($\times 400$) наплавленного металла образца № 5: $a-d$ — соответственно точки 1–5 по рис. 5

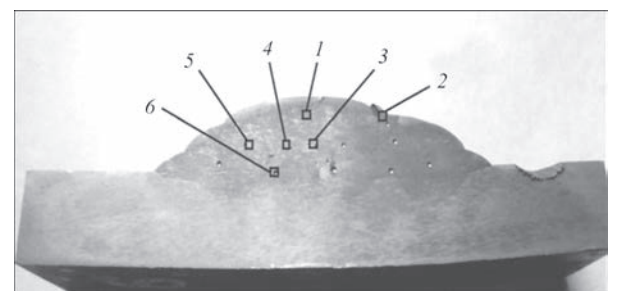


Рис. 7. Образец № 6 (наплавка с внешним магнитным полем $B = 40$ мТл, эксцентриситет $c = 4$ мм); 1–6 — исследуемые точки

ответствуют местам размещения углеродсодержащего материала), фиксируется значительное увеличение доли фаз закалки, количество которых составляет 25...40 %. Перепад твердости для данных зон достигает $HRC 20$.

На образце № 6 (таблица; рис. 7, 8), полученном по схеме трехслойной наплавки, отмечено появление трещин, которые являются следствием увеличения остаточных напряжений и роста со-

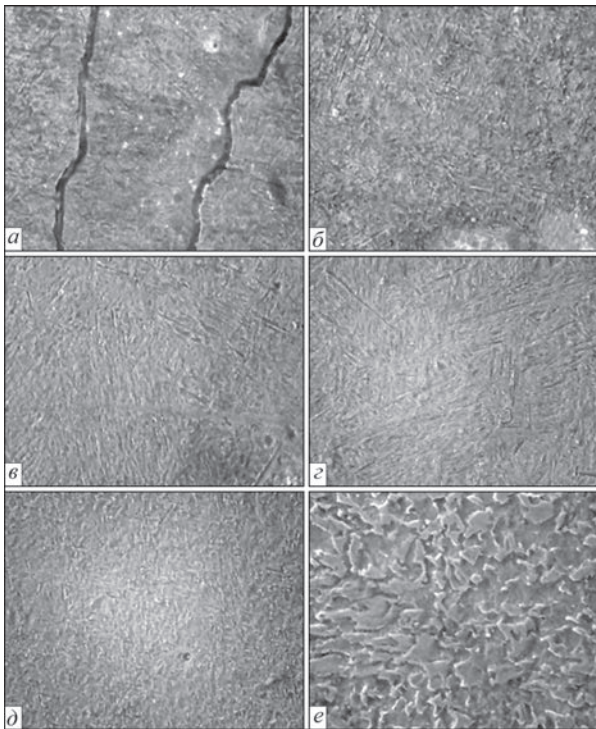


Рис. 8. Микроструктура ($\times 400$) наплавленного металла образца № 6: а–е — соответственно точки 1–6 по рис. 7

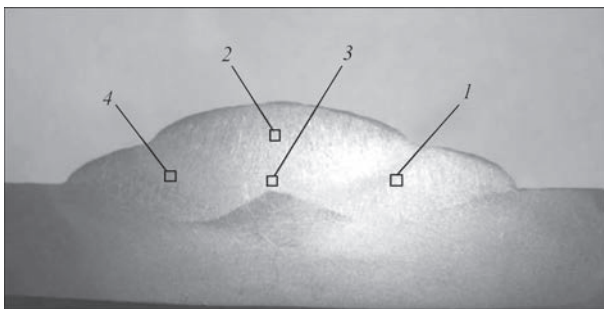


Рис. 9. Образец № 14 (наплавка без использования магнитного поля, эксцентриситет $e = 0$ мм)

держания углерода не только по зонам отдельных валиков, но и по слоям нанесенного металла.

В частности, в микроструктуре третьего слоя наплавленного металла (рис. 7, точка 1) доля мартенсита максимальна и превышает 50%. В микроструктуре наплавленного металла в месте перекрытия второго и третьего слоев (рис. 7, точка 2) также наблюдается повышенное содержание закалочной структуры в виде игольчатого мартенсита. В наплавленном металле второго слоя (точки 3 и 4) структура также закалочная и состоит из бейнита и мартенсита.

На рис. 9 приведен макрошлиф образца № 14 с указанием мест, в которых исследовалась микроструктура наплавленного металла (рис. 10). Наплавку этого образца выполняли без использования магнитного поля и с нулевым эксцентриситетом. В этом случае разница в балле зерна по выбранным точкам практически отсутствует. Значения твердости отличаются незначительно. Очевидно, происходит равномерное распределение по

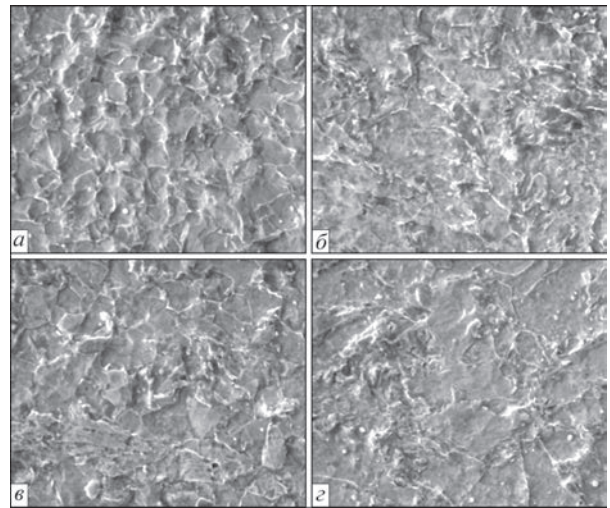


Рис. 10. Микроструктура ($\times 600$) наплавленного металла образца № 14: а–е — соответственно точки 1–4 по рис. 9

объему валиков вносимых материалов с выравниванием содержания углерода.

Выводы

1. Экспериментально подтверждена возможность получения слоев наплавленного металла с переменной структурой и свойствами при дуговой наплавке по предварительно нанесенной на наплавляемую поверхность шихте и действию внешнего магнитного поля.

2. В случае предварительного нанесения на наплавляемую поверхность углеродсодержащего материала выявлено увеличение концентрации углерода от слоя к слою. Это подтверждается увеличением доли закалочных структур в наплавленном металле, которая возрастает с 15...22 до 25...35% во втором слое и более 50% – в третьем. Закалочные структуры представлены игольчатым бейнитом и мартенситом.

3. Получены зависимости для прогнозирования твердости металла, наплавляемого при предварительном нанесении на наплавляемую поверхность отдельными полосами углеродсодержащего и модифицирующего материалов.

Список литературы

1. Гаркунов Д. Н. (1989) *Триботехника*. Москва, Машиностроение.
2. Костецкий Б. И. (1975) *Надежность и долговечность машин*. Киев, Техника.
3. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. (1977) *Основы расчетов на трение и износ*. Москва, Машиностроение.
4. Власов В. М. (1987) *Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей*. Москва, Машиностроение.
5. Фруммин И. И. (1961) *Автоматическая электродуговая наплавка*. Харьков, Metallurgizdat.
6. Тылкин М. А. (1971) *Повышение долговечности деталей металлургического оборудования*. Москва, Metallurgiya.
7. Рябцев И. А., Кондрачев И. А. (1999) *Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования*. Киев, Экотехнология.

8. Лещинский Л. К., Гулаков С. В., Степнов К. К., Носовский Б. И. (1985) Вальки с наплавленным слоем новой конструкции повышают эффективность работы прокатных станов. *Сб. Наплавка. Опыт и эффективность применения*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 17–20.
9. Гулаков С. В., Головачев М. В., Аленгос Н. Н. (1990) Автоматизированное оборудование для дуговой наплавки рабочего слоя с регламентированным распределением свойств. *Сб. Оборудование и материалы для наплавки*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 14–17.
10. Соколов Г. Н., Лысак В. И. (2005) *Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей*. Волгоград, РПК «Политехник».
11. Савуляк В. И., Заболотный С. А., Шенфельд В. Й. (2010) Наплавления высокоуглецевых покрыттий з використанням вуглецевих волокон. *Проблеми трибології*, **1**, 66–70.
12. Перемитко В. В. (2014) Износостойкая дуговая наплавка по слою легирующей шихты. *Автоматическая сварка*, **8**, 56–59.
13. Перемитко В. В., Носов Д. Г. (2015) Оптимизация режимов дуговой наплавки под флюсом по слою легирующей шихты деталей ходовой части гусеничных машин. *Там же*, **5-6**, 49–51.

References

1. Garkunov, D.N. (1989) *Tribo-engineering*. Moscow, Mashinostroenie.
2. Kostetsky, B.I. (1975) *Reliability and service life of machines*. Kiev, Tekhnika.
3. Kragelsky, I.V., Dobychin, M.N., Kombalov, V.S. (1977) *Calculation principles on friction and wear*. Moscow, Mashinostroenie.
4. Vlasov, V.M. (1987) *Working capacity of strengthened rubbing surfaces*. Moscow, Mashinostroenie.
5. Frumin, I.I. (1961) *Automatic electric arc surfacing*. Kharkov, Metallurgizdat.
6. Tylkin, M.A. (1971) *Improvement of life of metallurgical equipment parts*. Moscow, Metallurgiya.
7. Ryabtsev, I.A., Kondratiev, I.A. (1999) *Mechanized electric arc surfacing of metallurgical equipment parts*. Kiev, Ekotekhnologiya.
8. Leshchinsky, L.K., Gulakov, S.V., Stepnov, K.K. et al. (1985) New design rolls with deposited layer increase operating efficiency of mills. In: *Surfacing. Experience and efficiency of application*. Kiev, PWI, 17–20.
9. Gulakov, S.V., Golovachev, M.V., Alengos, N.N. (1990) Automated equipment for arc surfacing of working layer with regulated distribution of properties. In: *Equipment and materials for surfacing*. Kiev, PWI, 14–17.
10. Sokolov, G.N., Lysak, V.I. (2005) *Surfacing of wear-resistant alloys on press dies and tool for hot deforming of steels*. Volgograd, RPK Politekhnik.
11. Savulyak, V.I., Zabolotny, S.A., Shenfeld, V.I. (2010) Surfacing of high-carbon coatings using the carbon fibers. *Problemy Trybologii*, **1**, 66–70.
12. Peremitko, V.V. (2014) Wear-resistant arc surfacing over the layer of alloying charge. *The Paton Welding J.*, **8**, 54–57.
13. Peremitko, V.V., Nosov, D.G. (2015) Optimization of modes of submerged arc surfacing over the layer of alloying charge of caterpillar machine running gear parts. *Ibid*, **5-6**, 44–46.

V. V. Peremitko, A. I. Panfilov

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

ДУГОВА НАПЛАВКА ШАРІВ МЕТАЛУ
ЗМІННОГО СКЛАДУ ТА ТВЕРДОСТІ

При дуговому наплавленні по шару легуючої шихти визначені умови отримання по зонах окремих валиків шарів зі змінним складом і структурою. На наплавлювану поверхню попередньо наносили вуглецевмісткі волокна смугами, ширина і відстань між якими вибиралися з умови розміщення торця електрода зі зміщенням щодо краю смуг. Для фіксації волокон використовували ґрунтовку, в яку додавали залізний порошок і аеросил SiO₂. При проведенні експериментів змінювали кількість шарів, які наносяться, ексцентриситет в розташуванні смуг відносно вісі електродного дроту, а також індукцію зовнішнього магнітного поля. Встановлено різницю в твердості металу по ширині наплавлених валиків (до HRC 9...12) і послідовно нанесених шарів (до HRC 15...25). Твердість досягає максимальних значень при ексцентриситеті $c = 4$ мм і індукції $B = 40...80$ мТл, а також при $c = 10...12$ мм і B до 40 мТл. Спостерігається зростання твердості при збільшенні кількості шарів, які наносяться. Металографічний аналіз зафіксував збільшення частки гартівних структур (у вигляді голчастого бейніту та мартенситу) з 15...22 до 25...35 % у другому шарі і більше 50 % — у третьому. Бібліогр. 13, табл. 1, рис. 10.

Ключові слова: дугова наплавка по легуючій шихті, наплавлений метал, твердість, мікроструктура наплавленого металу, керуюче магнітне поле, вуглецевмістке волокно

V. V. Peremitko, A. I. Panfilov

Dnieper State Technical University.
2 Dneprostroyevskaya, 51918, Kamenskoye, Ukraine.
E-mail: welding@dstu.dp.ua

ARC SURFACING OF LAYERS OF METAL OF VARYING COMPOSITION AND HARDNESS

In arc surfacing over the layer of alloying charge, the conditions for producing layers with variable composition and structure in the zones of separate beads were determined. On the deposited surface the carbon-containing fibres were preliminarily applied in bands, the width and distance between which were selected from the conditions of positioning the end of the electrode with displacement relative to the edge of the bands. To fix the fibres, a primer was used, into which the iron powder and aerosil SiO₂ were added. During the experiments a number of deposited layers, the eccentricity in the arrangement of bands relative to the axis of electrode wire, as well as the induction of external magnetic field were changed. The difference in hardness of the metal across the width of the deposited beads (up to HRC 9...12) and the successively deposited layers (up to HRC 15...25) was established. The hardness reaches its maximum values at the eccentricity $c = 4$ mm and induction $B = 40...80$ mT and also at $c = 10...12$ mm and B up to 40 mT. The increase in hardness is observed with increase in the amount of deposited layers. The metallographic analysis recorded an increase in the fraction of hardened structures (in the form of acicular bainite and martensite) from 15...22 to 25...35 % in the second layer and more than 50% in the third one. 13 Ref., 1 Table, 10 Figures.

Keywords: arc surfacing over the alloying charge, deposited metal, hardness, microstructure of deposited metal, controlled magnetic field, carbon-containing fibr

Поступила в редакцію 16.04.2017