

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО–ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ

А.С. Чапайкин¹⁾, В.Е. Громов¹⁾, Т.А. Михайличенко¹⁾, Р.В. Кузнецов²⁾, А.Е. Корочкин³⁾

¹⁾Сибирский государственный индустриальный университет,

пр. Кирова 42, Новокузнецк 654007, Россия,

tchapajkin.s@yandex.ru, vegromov47@mail.ru, archimih@mail.ru

²⁾Кузнецкий машиностроительный завод-Металлургия,

ул. Куйбышева 17/4, Новокузнецк 654027, Россия, kmz@kuzmash.com

³⁾Кузнецкий машиностроительный завод-Горные технологии,

ул. Куйбышева 17/6, Новокузнецк 654027, Россия, korochk@rambler.ru

На подложке из стали 30ХГСА методом плазменной наплавки порошковой проволокой ПП 18Ю в среде азота формировался наплавленный слой толщиной до 10мм. Методами современного физического материало- ведения изучали структуру, дефектную субструктуру, фазовый состав, трибологические и механические свойства наплавки после высокотемпературного отпуска при 580 °С и последующей электронно-пучковой обработки. После отпуска структура наплавленного слоя состоит из зерна размером 7.0 – 22.5 мкм с прослой- ками карбидной фазы составов V_4C_3 , Cr_7C_3 , Fe_3C , $Cr_{23}C_6$, WC_{1-x} . Электронно-пучковая обработка формирует в наплавленном слое тонкий поверхностный слой (30 – 50 мкм) с ячеистой субструктурой субмикронного (100 – 250 нм) размера, характерной для высокоскоростной кристаллизации.

Ключевые слова: быстрорежущая сталь; структура; фазовый состав; электронно-пучковая обработка.

INFLUENCE OF ELECTRON BEAM PROCESSING ON THE STRUCTURE OF SURFACE LAYERS OF PLASMA SURFACED HIGH-SPEED STEEL

Alexandyr Chapaykin¹⁾, Victor Gromov¹⁾, Tatiana Mikhailichenko¹⁾,

Roman Kuznetsov²⁾, Alexander Korochkin³⁾

¹⁾Siberian State Industrial University,

42 Kirova Str., 654007 Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass, Russia,

tchapajkin.s@yandex.ru, vegromov47@mail.ru, archimih@mail.ru

²⁾Kuznetsk Machine-Building Plant-Metallurgy, 17/4 Kuibysheva Str., 654027 Novokuznetsk,

Kemerovo Region – Kuzbass, Russia, kmz@kuzmash.com,

³⁾Kuznetsk Machine-Building Plant-Metallurgy, 17/6 Kuibysheva Str, 654027 Novokuznetsk,

Kemerovo Region – Kuzbass, Russia, korochk@rambler.ru

In this work, the authors used the methods of modern physical materials science to investigate the structure, defective substructure, phase composition, tribological and mechanical properties of the surfacing subjected to high- temperature tempering at 580 °C and subsequent electron beam processing. The deposited layers up to 10 mm thick are formed by plasma surfacing with PP-18YU powder wire in a nitrogen medium. According to the phase composition, the deposited layers consist of α -Fe and carbides of Me_6C composition. After tempering, the polycrystalline structure of the deposited layer contains grains of 7.0 – 22.5 μm in size with layers of the second phase along the boundaries and at the joints of grains with composition V_4C_3 , Cr_7C_3 , Fe_3C , $Cr_{23}C_6$, WC_{1-x} . Electron beam processing forms a thin surface layer (30 – 50 μm) with grains of cellular (columnar) structure of high-speed crystallization of submicron (100 – 250 nm) size. Particles of the second phase of the nanoscale range of globular and faceted shapes were detected in the volume of grains and along the boundaries.

Keywords: high-speed steel; structure; phase composition; electron beam processing; properties.

Введение

Для защиты от изнашивания тяжело-

нагруженных поверхностей деталей ма-
шин, используемых в металлургической,

машиностроительной и горной промышленности, широко применяют плазменную наплавку износостойкими материалами на подложку из конструкционных сталей [1-3]. Наплавка характеризуется широкой номенклатурой наплавочных материалов, в том числе быстрорежущих сталей высокой твердости (P18, P6M5, P2M9 и др.) и позволяет легировать наплавляемый материал различными элементами в процессе наплавки, например, азотом. В настоящее время активно разрабатываются новые технологии применения азота для модификации свойств литых металлических сплавов и покрытий, в результате которых повышаются их износостойкость, ударостойкость, а также коррозионная стойкость [4]. Использование высокотемпературного отпуска значительно повышает эксплуатационные свойства наплавленных материалов.

В последние годы развиваются новые методы и технологии термической обработки металлических изделий с использованием концентрированных потоков энергии, в результате чего изменяется структурно-фазовое состояние и свойства. Большими возможностями при обработке сталей обладает импульсно-периодическая электронно-пучковая обработка, что приводит к преобразованию зеренно-субзеренной и дефектной структуры [5].

Методика проведения исследований

Исследовали образцы из стали 30ХГСА с наплавленным слоем сплава P18Ю. Наплавленный слой получали плазменной наплавкой в среде азота нетоковедущей порошковой проволокой ПП-P18Ю диаметром 3.7 мм на сталь 30ХГСА. Химический состав сплава P18Ю, % мас.: 0.87 C; 4.41 Cr; 17.00 W; 0.10 Mo; 1.50 V; 0.35 Ti; 1.15 Al; 0.06 N (остальное Fe). Исследования образцов проводили в состоянии после наплавки, четырехкратного высокотемпературного отпуска при температуре 580 °C (время выдержки 1 ч и последующего облучения импульсным электронным пучком). Облучение осуществляли при плот-

ности энергии пучка электронов 30 Дж/см² и длительности импульса 50 мкс, число импульсов облучения 5, частота следования импульсов 0.3 с⁻¹. Структуру исследовали с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51, а также сканирующего электронного микроскопа КУКУ-ЕМ6900 с термоэмиссионным вольфрамовым катодом, оснащенного микрозондовой приставкой. Дефектную субструктуру и фазовый состав наплавленного слоя изучали методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (прибор JEM 2100, JEOL).

Результаты и их обсуждение

Сканирующее электронно-микроскопическое изображение структуры наплавленного слоя показало ярко выраженную карбидную неоднородность. Первичные карбиды типа Me₆C скелетообразной формы образуют сетку, с аустенитной оболочкой по внешним границам (рис. 1). Мелкие ячейки с характерными размерами 5-10 мкм имеют однородную аустенитную структуру, а в более крупных формируется внутренняя темная область с аустенитно-мартенситной структурой (рис. 1). Структура темных участков внутри аустенитной оболочки состоит из изолированных вторичных карбидов и мартенсита.

Исследования с помощью просвечивающей электронной микроскопии показали, что наплавленный слой состоит из мартенсита, аустенита и карбидов (карбонитридов) M₆C (Fe₃W₃C - Fe₄W₂C). Карбид формирует каркасную сетку и является основной упрочняющей фазой наплавленного слоя. Методами светлопольного и темнопольного анализа в объеме зерна выявлены частицы второй фазы игольчатой морфологии. Анализ микрорентгенограмм показывает, что это сложные карбиды ванадия состава (Cr,V)₇C₃. Микротвердость поверхностного слоя составляет 4.7 ГПа.

После отпуска (рис. 2) видны структурные изменения в наплавленном слое. Во внутренних областях с аустенитно-мартенситной структурой наблюдается образова-

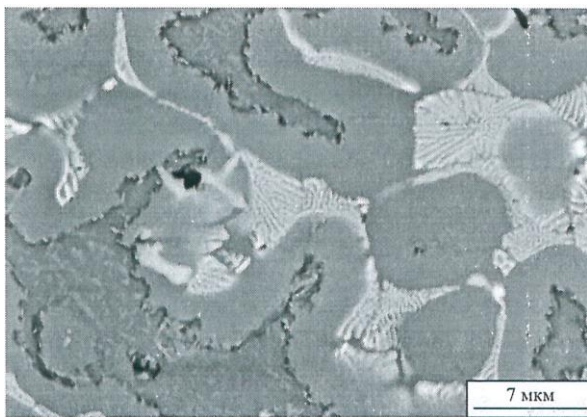


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения наплавленного слоя на глубине 2 мм

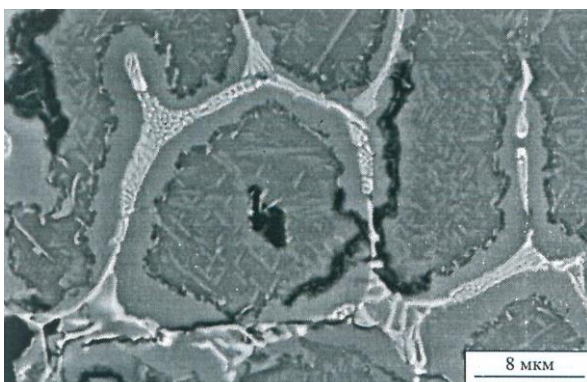


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения наплавленного слоя на глубине 2 мм после отпуска

ние мартенсита, отпущенного с повышенной травимостью и выделения дисперсных карбидов типа MeC , Me_6C .

После дополнительной электронно-пучковой обработки карбидная сетка сохраняется. В маленьких ячейках в областях с аустенитной структурой происходит заживление трещин. В больших ячейках с аустенитно-мартенситной структурой мартенситные иглы исчезают, изолированные карбиды увеличиваются в размерах. Карбидная сетка становится размытой. Установлено, что структура модифицированного слоя имеет столбчатое (ячеистое) строение. Поперечные размеры столбиков

изменяются от 100 до 250 нм. По границам столбиков располагаются частицы второй фазы с поперечными размерами от 10 до 15 нм.

Заключение

Проведены исследования эволюции структуры, элементного и фазового состава, состояния дефектной субструктуры, механических и трибологических свойств слоя, наплавленного сплавом Р18Ю в защитно-легирующей среде азота, подвергнутого высокотемпературному отпуску и дополнительному облучению импульсным электронным пучком в режиме высокоскоростного плавления тонкого поверхностного слоя. Показано, что отпуск приводит к росту микротвердости наплавленного слоя до 5.3 ГПа, а электронно-пучковая обработка обеспечивает повышение износостойкости материала в 3 и более раз, микротвердость при этом не изменяется.

Библиографические ссылки

1. Ryabtsev I., Fomichov S., Kuznetsov V., Chvertko Y., Banin A. Plasma Surfacing. Surfacing and Additive Technologies in Welded Fabrication. Springer, Cham, 2023. URL: (дата обращения: 28.06.2023).
2. Ramkumar P., Karthikeyan M.K., Gupta R.K., et al. Plasma Arc Welding of High Strength 0.3 % C-CrMoV (ESR). Steel. *Transactions of the Indian Institute of Metals* 2017; 70(5): 1317-1322.
3. Fatima S., Khan M., Jaffery S.H.I., et al. Optimization of process parameters for plasma arc welding of austenitic stainless steel (304 L) with low carbon steel (A-36). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L. Journal of Materials: Design and Applications*. 2016; 230(2): 640-653.
4. Емелюшин А.Н., Петроченко Е.В., Нефедьев С.П. Исследование структуры и ударно-абразивной износостойкости покрытий системы Fe-C-Cr-Mn-Si, дополнительно легированных азотом. *Сварочное производство* 2011; (10): 18-22.
5. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Электронно-пучковая модификация поверхности покрытий. *Известия вузов. Физика* 2011; 11(3): 103-111.