

И. В. Родионов, П. Н. Устинов, И. В. Перинская, Л. Е. Куц

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 12X18H10T

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

e-mail: iv.rodionov@mail.ru

Выполнено экспериментальное исследование процесса лазерной наплавки мелкодисперсного порошка карбида вольфрама в составе обмазки из графитовой пасты на поверхность нержавеющей хромоникелевой стали марки 12X18H10T. Наплавка проводилась в режиме непрерывного излучения при изменении скорости обработки, мощности излучения и плотности линий сканирования.

Ключевые слова: непрерывная лазерная наплавка, порошок карбида вольфрама, нержавеющая сталь, микротвердость, шероховатость поверхности, структура наплавленного слоя.

I. V. Rodionov, P. N. Ustinov, I. V. Perinskaya, L. E. Kuts

INFLUENCE OF LASER SURFACING MODES OF TUNGSTEN CARBIDE POWDER ON THE SURFACE CHARACTERISTICS OF 12Kh18Ni10Ti STEEL

Yuri Gagarin Saratov State Technical University

An experimental study of the process of laser surfacing of fine tungsten carbide powder as part of a graphite paste coating on the surface of stainless chromium-nickel steel 12Kh18Ni10Ti was carried out. Surfacing was carried out in continuous conversion mode while ensuring processing speed, changing speed and line configuration.

Keywords: continuous laser cladding, tungsten carbide powder, stainless steel, microhardness, surface roughness, structure of the deposited layer.

Введение

Анализ научно-технической литературы показал, что все более широкое применение в машиностроении при изготовлении различных металлоизделий находят хромоникелевые сплавы, в частности нержавеющая хромоникелевая сталь 12X18H10T [1–5]. Популярность стали объясняется комплексом ее физико-механических характеристик: высокая свариваемость, повышенная пластичность и ударная вязкость, стойкость к различным видам коррозии. При этом известно, что в ходе эксплуатации сварные соединения данной марки стали

и поверхность изделий в целом могут быть подвержены межкристаллитной коррозии и усталостному разрушению.

Нержавеющие стали используют в большинстве сфер жизнедеятельности человека. Наиболее широко они применяются в автомобильном машиностроении, транспортном машиностроении, пищевой промышленности, медицинской технике и многих других направлениях. Например, шнеки осадительных центрифуг, лопатки газотурбинных двигателей, лопасти судовых винтов, валковые дробилки, буровые долота и т. д.

Наряду со множеством преимуществ нержавеющей стали имеет и некоторые недостатки, такие как недостаточно высокая износостойкость и твердость. Одним из путей решения данной проблемы является создание упрочненного поверхностного слоя с помощью лазерной обработки [6–9].

Процесс обработки воздействием лазерного излучения относится к наиболее эффективным методам модифицирования поверхности с целью повышения ее износостойкости и механической прочности [9, 10]. В частности для этого применяется лазерная наплавка, заключающаяся в нанесении на поверхность изделия покрытия в виде функционального наплавленного слоя путем расплавления основы и присадочного материала. Поскольку основа расплавляется незначительно, свойства наплавленного слоя, главным образом, зависят от свойств применяемого присадочного материала. В качестве наплавленного присадочного материала для повышения твердости и износостойчивости поверхности может использоваться мелкодисперсный порошок карбида вольфрама, широко применяемый в различных сферах промышленности.

Целью работы является исследование влияния режимов лазерной наплавки порошка карбида вольфрама на физико-механические характеристики поверхности нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Материалы и методы исследования

В качестве образца была использована пластина марки стали 12Х18Н10Т размером 150×20 мм. Для последующего формирования наплавленного слоя была произведена предварительная очистка пластины с использованием ультразвуковой ванны «Кристалл-2,5» при интенсивности ультразвуковых колебаний 1,2 Вт/см², частоте колебаний 22 кГц и продолжительности 30 мин.

В качестве экспериментального присадочного материала был выбран порошок карбида вольфрама дисперсностью 1 мкм, который равномерно тонким слоем распределялся по поверхности стальных образцов с предварительно нанесенной графитовой пастой. Графитовая паста обеспечивала удержание порошка карбида вольфрама и выполняла функцию связующего компонента [10]. Общая толщина нанесенного обмазочного слоя составляла 0,1–0,2 мм.

Для наплавления упрочняющего слоя была использована лазерная установка с непрерыв-

ным излучением RAYLOGIC V12 6040 мощностью 30 Вт. Режимы, задаваемые в эксперименте, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы обработки поверхности лазерным излучением

Номер квадрата	Скорость обработки, мм/с	Мощность лазерного излучения, Вт	Плотность линии, dpi
1	100	12	6
2	100	18	6
3	100	24	6
4	150	12	6
5	150	18	6
6	150	24	6
7	200	12	6
8	200	18	6
9	200	24	6
10	100	12	4
11	100	18	4
12	100	24	4
13	150	12	4
14	150	18	4
15	150	24	4
16	200	12	4
17	200	18	4
18	200	24	4
19	100	12	2
20	100	18	2
21	100	24	2
22	150	40	2
23	150	60	2
24	150	82	2
25	200	40	2
26	200	60	2
27	200	80	2

Основными технологическими параметрами являлись скорость обработки (мм/с), мощность лазерного излучения (Вт) и плотность линии (dpi). Мощность лазерного излучения рассчитывалась относительно наибольшего значения, равного 30 Вт. Плотность линии характеризует расстояние между линиями лазерного сканирования в ходе излучения, измеряемое в dots per inch. Указанные технологические параметры обработки изменялись для подбора рационального режима наплавки с целью получения на-

Таблица 2

Результаты измерения микротвердости

Номер квадрата	Микротвердость, ГПа	Номер квадрата	Микротвердость, ГПа
0	1,8	14	5,03
1	3,71	15	3,49
2	4,37	16	3,71
3	3,10	17	3,83
4	3,49	18	3,49
5	4,22	19	3,38
6	3,83	20	3,29
7	3,71	21	3,60
8	3,29	22	4,52
9	3,49	23	3,29
10	4,22	24	3,83
11	2,93	25	4,68
12	3,83	26	3,49
13	3,96	27	3,83

плавленного слоя с наилучшими физико-механическими характеристиками. Было выбрано 27 режимов обработки, каждый из которых формировал на поверхности экспериментальный квадрат с наплавленным слоем размером 5×5 мм.

Микротвердость модифицированной поверхности определялась методом Виккерса с использованием микротвердомера «ПМТ-3М» при нагрузке на индентор 0,9807 Н (ГОСТ 9450–76). Статистическая обработка результатов измерений приведена в табл. 2. Область, подписанная под номером «0», является исходной, т.е. областью поверхности без обработки.

Результаты и их обсуждение

По результатам определения микротвердости была построена гистограмма, показывающая характер изменения величины микротвердости в зависимости от режимов наплавки карбида вольфрама (рис. 1).

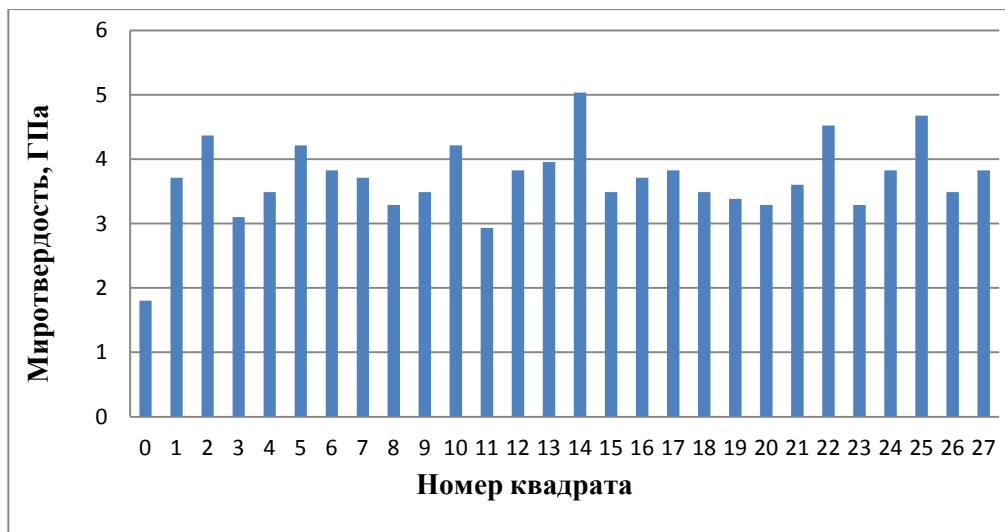


Рис. 1. Изменение микротвердости наплавленного слоя карбида вольфрама при различных режимах лазерного излучения

Наибольшее значение микротвердости было у образца №14, где оно достигало 5,03 ГПа. Образцы № 22 и № 25 также имели повышенную микротвердость – 4,52 ГПа и 4,68 ГПа соответственно. Таким образом, микротвердость поверхности после наплавки порошка карбида вольфрама увеличилась в среднем в 2,5–2,7 раза.

Шероховатость поверхности измерялась с использованием цифрового профилометра «Mitutoyo SJ - 410». Измерения проводились по нескольким базовым линиям с определением среднеарифметического значения параметров

шероховатости R_a , R_z , R_{max} , S_m . Результаты измерения параметров шероховатости представлены в табл. 3. Из представленных данных можно отметить, что наплавка мелкодисперсного порошка карбида вольфрама приводит к заметному повышению как параметров высоты неровностей R_a , R_z , R_{max} , так и шага местных выступов профиля S_m . Данный эффект обусловлен формированием некоторой микрогетерогенности поверхностной структуры при порошковой модификации и получением наплавленного слоя с более развитой микрогеометрией рельефа поверхности.

Таблица 3

Результаты профилометрических измерений

№	Ra, мкм	Rz, мкм	Rmax, мкм	Sm, мкм
0	0,2	2,7	4,5	64,6
1	0,2	2,9	3,9	288,8
2	0,2	2,6	5,1	93,8
3	3,4	13,9	26,1	315,8
4	4,5	21,2	25,1	185,1
5	3,5	19,3	32,3	289,8
6	1,8	9,4	15,2	165,4
7	1,1	6,7	14,1	389,6
8	1,6	8,8	15,8	336,5
9	0,1	0,5	1,0	303,7
10	1,6	9,3	10,3	132,5
11	0,6	5,0	8,6	195,0
12	1,0	10,3	13,5	201,3
13	0,3	2,6	3,8	195,8
14	5,0	26,8	31,2	432,7
15	0,4	5,3	9,0	387,5
16	4,9	27,0	31,0	412,2
17	0,7	6,4	15,1	78,8
18	1,1	6,8	9,4	359,0
19	0,3	5,4	8,6	251,5
20	0,9	10,2	12,2	80,0
21	0,7	8,7	11,8	167,0
22	0,9	6,2	8,0	44,9
23	0,6	4,2	5,6	60,1
24	0,019	0,1	0,1	44,8
25	0,3	3,8	5,7	337,8
26	0,9	7,3	7,5	65,6
27	0,003	0,022	0,03	102,4

Для исследования внедрения вольфрама в модифицированный слой после лазерного воздействия проводился микроспектральный эмиссионный анализ с помощью установки «Спектр-2000». Исследование проводилось в три этапа на разной глубине пробоотбора – 32, 44 и 55 мкм. Областью изучения при микроспектральном анализе являлось выявление наличия вольфрама в поверхности образцов. Результаты микроспектрального анализа приведены на рис. 2, где показана интенсивность спектральных линий содержания вольфрама на различной глубине пробоотбора.

Следует отметить, что содержание вольфрама в модифицированной поверхности сохранялось на самом глубоком проходе (55 мкм), особенно это заметно на последних образцах

под номерами 25, 26 и 27. Это свидетельствует о присутствии вольфрама на всей исследуемой глубине наплавленного слоя, что во многом определяет однородность его структуры и физико-механических свойств.

Для исследования микроструктуры модифицированной поверхности применялся электронный микроскоп JEOL JSM-7100F с возможностью сканирования различных структур кратностью до $\times 10000$. В ходе электронно-микроскопических исследований были выбраны увеличения $\times 500$, $\times 1000$ и $\times 2000$. Исследованию подвергались экспериментальные квадраты под номерами 14 и 25, отличающиеся наибольшими значениями микротвердости, а также исходный квадрат № 0 без обработки для сравнительного анализа (рис. 3–5).

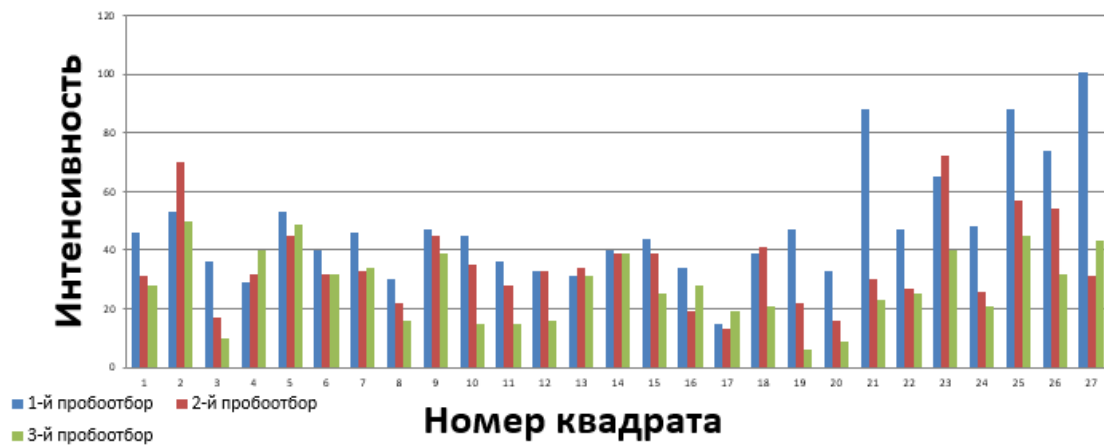


Рис. 2. Изменение содержания вольфрама на различной глубине проботбора при микроспектральном эмиссионном анализе наплавленного слоя карбида вольфрама

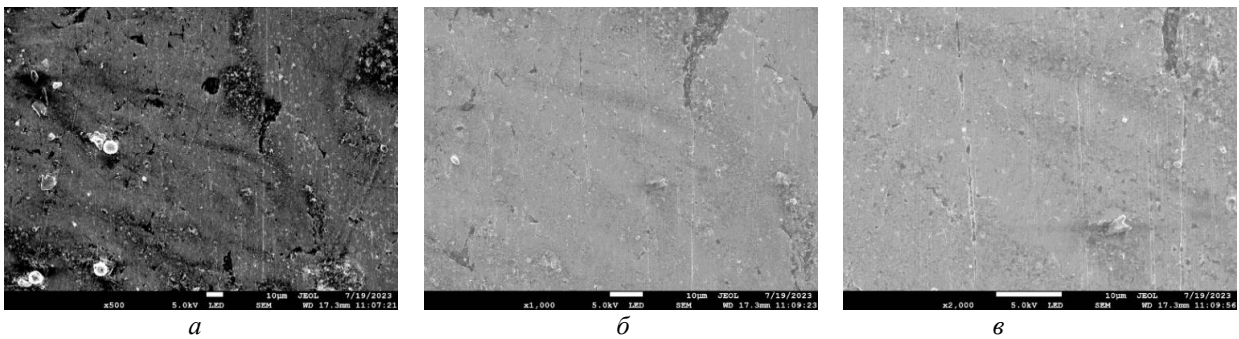


Рис. 3. Структура поверхности образца № 14 с наплавленным слоем карбида вольфрама: а – x500; б – x1000; в – x2000

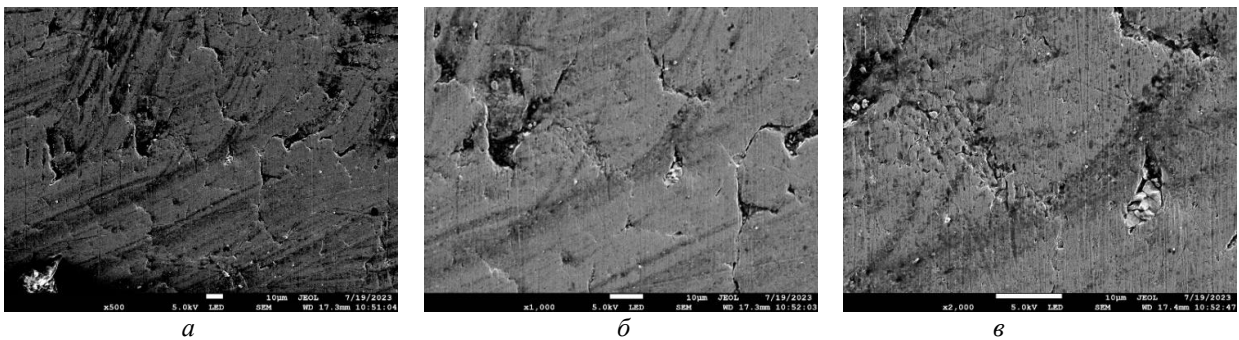


Рис. 4. Структура поверхности образца № 25 с наплавленным слоем карбида вольфрама: а – x500; б – x1000; в – x2000

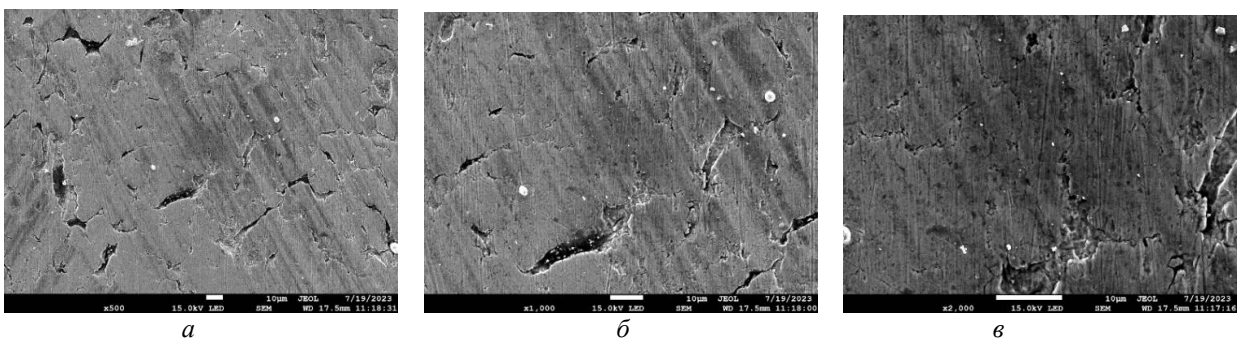


Рис. 5. Структура поверхности образца № 0 без обработки: а – x500; б – x1000; в – x2000

Полученные данные показывают, что структура наплавленного слоя образца № 14 обладает наилучшей равномерностью и однородностью, а структура образца № 25 имеет выраженные неровности и дефекты, которые имеют большие размеры в сравнении с исходным образцом №0. Это согласуется с данными профилометрических исследований, указывающими на преобладание микрогетерогенности поверхности после лазерной порошковой наплавки.

Вывод

Исходя из представленных результатов можно сделать вывод, что изменение режимов лазерного воздействия при непрерывной наплавке порошка карбида вольфрама существенно изменяет физико-механические характеристики поверхности хромоникелевой стали 12X18H10T. В частности, происходит существенное увеличение микротвердости поверхности с 1,8 ГПа до 5,03 ГПа с учетом возрастания параметров шероховатости. Содержание вольфрама в модифицированной поверхности характеризуется повышенной равномерностью по всей глубине пробоотбора, а структура слоя, наплавленного при скорости обработки 150 мм/с, мощности лазерного излучения 18 Вт и плотности линий сканирования 4 dpi (образец № 14) отличается высокой однородностью с присутствием относительно небольшого количества неровностей и слабовыраженных дефектов.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что наплавка порошка карбида вольфрама дисперсностью 1 мкм в составе обмазки из графитовой пасты в режиме непрерывного лазерного излучения при выявленных параметрах технологического воздействия обеспечивает получение наплавленного слоя повышенного качества, который способствует упрочнению поверхности хромоникелевой стали 12X18H10T и расширяет возможности ее эффективного производственного применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еремин, Е. Н. Влияние карбида бора на свойства наплавленного металла на основе дисперсионно-твердеющей хромоникелевой стали / Е. Н. Еремин, А. С. Лосев, А. Е. Маталасова, С. А. Бородин, И. А. Пономарев // Омский научный вестник. – 2017. – № 4 (154). – С. 21–24.
2. Obeidi, M. A. Laser surface texturing of stainless steel 316L cylindrical pins for interference fit applications / M. A. Obeidi // Journal of Materials Processing Technology. – 2018. – Т. 252. – С. 58–68.
3. Тарельник, В. Б. Повышение экологической безопасности формирования износостойких покрытий на поверхностях деталей типа тел вращения из стали 12X18H10T с применением комбинированной технологии на основе электроискрового легирования / О. П. Гапонова, В. Б. Лобода, Е. В. Коноплянченко, В. С. Марцинковский, Ю. И. Семирненко, Н. В. Тарельник, М. А. Микулина, Б. А. Саржанов // Электронная обработка материалов. – 2020. – Т. 56. – № 5. – С. 115–127.
4. Pradhan, K. K. Heat treatment analysis of SS304 for gas turbine application / K.K. Pradhan, C.R. Matawale // Materials Today: Proceedings. – 2020. – Т. 33. – С. 5734–5739.
5. Laroudie, F. Hardening of 316L stainless steel by laser surface alloying / F. Laroudie, C. Tassin, M. Pons // J. Mater. Sci. – 1995. – №30. – С. 3652–3657.
6. Проскуряков, В. И. Формирование состава и характеристик поверхности хромоникелевой стали 12X18H10T при лазерном модифицировании в слое экспериментальной легирующей обмазки / В. И. Проскуряков, И. В. Родионов // Журнал технической физики. – 2022. – Т. 92. – Вып. 1. – С. 84–91.
7. Проскуряков, В. И. Исследование влияния состава легирующей обмазки на изменение структуры и микротвердости нержавеющей стали 12X18H10T / В. И. Проскуряков, И. В. Родионов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 2 (249) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 88–92.
8. Murzin, S. P. Improving tribological properties of stainless steel surfaces by femtosecond laser irradiation / V.B. Balyakin, G. Liedl, A.A. Melnikov // Coatings. – 2020. – Т. 10. № 7. – С. 606.
9. Проскуряков, В. И. Исследование изменения износостойкости поверхности нержавеющей стали, полученной лазерным импульсным легированием в слое обмазки / В. И. Проскуряков, И. В. Родионов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 6 (253) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 61–65.
10. Проскуряков, В. И. Изменение характеристик поверхности стали 12X18H10T при лазерном модифицировании в слое графитовой пасты, содержащей наночастицы диоксида титана / В. И. Проскуряков, И. В. Родионов // Письма в ЖТФ. – 2021. – Т. 47. – Вып. 10. – С. 50–54.