

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ШИХТЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ СТАЛЕЙ

Бирюков В.П.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Россия*

Ключевые слова: лазерная наплавка, микротвердость, интенсивность изнашивания.

Аннотация. В работе рассмотрено влияние режимов лазерной наплавки многокомпонентной шихты, содержащей две части порошка на основе никеля и одну часть на основе кобальта с добавками ультрадисперсных карбидов титана, на геометрические параметры валков. Определены микротвердость и триботехнические свойства покрытий в паре со сталью 40Х при смазывании гидравлическим маслом. Получены критические скорости скольжения, определяющие предельную работоспособность пары трения до заедания и их значения значительно выше, чем у наплавленных покрытий без карбидов и закаленной стали 50Х. Износостойкость многокомпонентного покрытия с 10% TiC в выше в 1,22 и 5,1 раза по сравнению с наплавленными слоями без карбидов и стали 50Х.

DETERMINATION OF THE EFFECT OF THE CHARGE COMPOSITION ON THE MECHANICAL AND TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF COATINGS DURING LASER SURFACING OF STEELS

Biryukov V.P.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Keywords: laser surfacing, microhardness, wear intensity.

Abstract. The paper considers the influence of laser surfacing modes of a multicomponent charge containing two parts of nickel-based powder and one part of cobalt-based powder with additives of ultrafine titanium carbides on the geometric parameters of the rollers. The microhardness and tribotechnical properties of coatings paired with 40Cr steel when lubricated with hydraulic oil are determined. Critical sliding velocities have been obtained that determine the ultimate performance of the friction pair before jamming and their values are significantly higher than those of deposited coatings without carbides and hardened steel 50Cr. The wear resistance of a multicomponent coating with 10% TiC b is 1.22 and 5.1 times higher compared to the deposited layers without carbides and 50Cr steel.

В экспериментах по лазерной наплавке [1] высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) использовали порошки CoCrFeNiW_x (x : молярное отношение; $x = 0, 0,25, 0,5, 0,75, 1,0$). В качестве подложки была выбрана сталь AISI1045 размером $100 \times 100 \times 10$ мм. Для лазерной наплавки использовалась система с числовым программным управлением (HWL-1500), оснащенная полупроводниковым лазером с максимальной выходной мощностью 1500 Вт. Параметры обработки для лазерной наплавки были следующими: скорость подачи порошка 9,4 г/мин, мощность лазера 1400 Вт, диаметр луча 3 мм, скорость сканирования 5 мм/с, расстояние расфокусировки +30 мм и коэффициент перекрытия 60%. Триботехнические эксперименты с образцами проводились при различных температурах с помощью тестера (НТ-1000) по

схеме «шар-диск». В качестве контролбразца использовали шарик Si_3N_4 диаметром 5 мм. Температура испытания изменялась от 25°C до 800°C . Нагрузка, частота вращения шпинделя и время износа составляли 5 Н, 600мин^{-1} и 30 мин соответственно. С увеличением содержания вольфрама повышается микротвердость покрытия и при W1.0 оно имеет самую высокую среднюю микротвердость 374 HV и минимальную скорость изнашивания при 200°C .

Для получения ВЭС покрытий [2] были выбраны порошки Co, Cr, Fe, Ni и Cu (чистота 99,5%, размер частиц в диапазоне 45-90 мкм. Порошок SiC (чистота 99,5%) с размером около 13 мкм использовали в качестве добавки (0, 5, 10 и 15 мас.%) для повышения механических и электрохимических свойств покрытий ВЭС CoCrFeNiCu. Затем порошки наносили на нержавеющую сталь 316 при комнатной температуре толщиной около 1,5 мм. Лазерную наплавку осуществляли пятном 2×15 мм, при мощности излучения 2 кВт, скорости перемещения 180 мм/мин. Для проверки морфологии, фазы и триботехнических свойств из наплавленных пластин были вырезаны образцы размером $10\times 10\times 10$ мм и $10\times 15\times 10$ мм соответственно. Испытания на трение и износ выполняли на тестере возвратно-поступательного движения MFT-R4000, Китай. Пара трения представляла собой шарик GCr15 диаметром 6 мм – образец с покрытием. Испытание на износ продолжалось 30 мин, при нагрузке 20 Н, длине хода 10 мм, и частоте возвратно-поступательного движения 5 Гц. При содержании SiC 15 мас.%, получена самая высокая износостойкость и твердость покрытия 563,4 HV, что примерно в два раза выше, чем у покрытий ВЭС CoCrFeNiCu.

Для лазерной наплавки покрытий ВЭС [3] были выбраны высокочистые ($>99,99\%$) металлы Fe, Co, Cr, Ni и Mo. Объемные высокоэнтропийные сплавы FeCoCrNi и FeCoCrNiMo0.2 были получены многократной выплавкой в вакуумной печи с индукционным нагревом. Затем ВЭС распыляли газообразным аргоном высокой чистоты для получения порошков ВЭС с размером частиц 100-200 мкм. Материалом подложки, выбраны образцы нержавеющей стали SUS304 с размерами $100\times 100\times 8$ мм. Лазерную наплавку осуществляли при мощности излучения 2100 Вт, скорости перемещения 300 и 400 мм/мин, диаметре пятна 2 мм с коаксиальной подачей порошка и коэффициентом перекрытия дорожек 35%. Результаты коррозионных испытаний показали, что по сравнению с покрытием FeCoCrNi, пассивирующая пленка на поверхности покрытия FeCoCrNiMo0.2 содержит более высокое содержание оксидов Cr и Mo.

Триботехнические испытания [4] покрытий, полученных при лазерной наплавке многокомпонентной шихты, содержащей порошки на основе железа и никеля в соотношении 3:1 с добавлением в шихту карбида титана с размером частиц 40-150 мкм показали значительное повышение износостойкости по сравнению с закаленной сталью 65Г.

Целями настоящего исследования было получение многокомпонентных покрытий с добавками ультрадисперсных карбидов и определение влияния режимов лазерной наплавки на геометрические параметры валиков и определение триботехнических свойств покрытий.

Эксперименты по лазерной наплавке многокомпонентных покрытий выполняли на автоматизированном комплексе ИМАШ РАН. Для экспериментов использовали многокомпонентную шихту, содержащую две части порошка на основе никеля Ni-Cr-Fe-Si-B и одну часть на основе кобальта Co-Fe-Cr-Ni-Si-W. Для повышения механических и трибологических свойств покрытия добавляли ультрадисперсный порошок карбида титана (TiC 5 и 10 об%) с размером частиц 0,5-15 мкм. Обработку образцов стали 50X с размерами 12×20×70 мм выполняли при мощности излучения 700-1000 Вт, скорости перемещения 5-9 мм/с, диаметре пятна 2,3-3,4 мм расфокусированным лучом и с поперечными его колебаниями с частотой 214Гц. Для металлографических исследований применяли цифровой и металлографический микроскопы. Измерение микротвердости выполняли на ПМТ-3. Испытания на трение и износ проводили по схеме плоский образец с покрытием-торец кольцевой втулки контрообразца (сталь 40X, HRC 48-52). В качестве смазочного материала использовали гидравлическое масло МГЕ10А.

По результатам металлографических исследований установлено, что высота и ширина наплавленных валиков расфокусированным и колеблющимся лучом составила 0,5-0,8, 0,65-0,78 мм и 1,8-2,4, 3,2-4,8 мм соответственно. На рисунке 1 показаны микрошлифы единичных наплавленных дорожек расфокусированным (рис. 1, а) и колеблющимся лучом (рис. 1, б). Анализ полученных результатов показал, что производительность обработки колеблющимся лучом выше, чем расфокусированным в 1,6-2,1 раза. Поэтому обработку образцов для испытаний на трение и износ проводили с поперечными колебаниями луча.

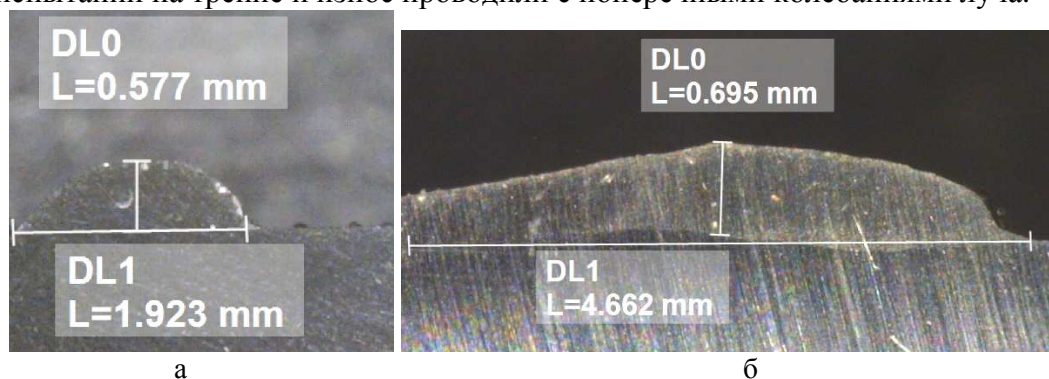


Рис. 1. Микрошлифы единичных наплавленных дорожек расфокусированным и колеблющимся лучом

ДюрOMETрические измерения показали, что микротвердость зон наплавки колеблющимся лучом составила для наплавленной многокомпонентной шихты (Ni-Cr-Fe-Si-B+Co-Fe-Cr-Ni-Si-W) и с добавками ультрадисперсных карбидов (Ni-Cr-Fe-Si-B+Co-Fe-Cr-Ni-Si-W +5% TiC), (Ni-Cr-Fe-Si-B+Co-Fe-Cr-Ni-Si-W +10% TiC), 5460-6020, 6040-6750, 6340-6990МПа.

Критические скорости скольжения, при которых наступало заедание при давлении 1,5 МПа представлены в таблице 1.

Скорость скольжения, при которой наступало заедание в исследуемых многокомпонентных покрытиях с 10% TiC составляла 3,45 м/с, что в 2,61 и 2,143 раза выше, чем закаленной стали 50X и многокомпонентного покрытия без ультрадисперсных карбидов титана.

Интенсивность изнашивания покрытий без карбидов и с 10% содержанием TiC составила $0,284 \cdot 10^{-9}$ и $0,0692 \cdot 10^{-9}$ соответственно, что значительно ниже, чем закаленной стали 50X $-0,347 \cdot 10^{-9}$.

Табл. 1. Критические скорости скольжения при давлении 1,5 МПа

Состав наплавленного покрытия/ материал эталона	Частота вращения/скорость скольжения, мин ⁻¹ /м/с
Ni-Cr-Fe-Si-B+Co-Fe-Cr-Ni-Si-W	1100/1,61
Ni-Cr-Fe-Si-B+Co-Fe-Cr-Ni-Si-W +5% TiC	1900/2,79
Ni-Cr-Fe-Si-B+Co-Fe-Cr-Ni-Si-W +10% TiC	2350/3,45
50X, HRC 47-51	900/1,32

Выводы

Разработана технология лазерной наплавки многокомпонентной шихты с добавлением ультрадисперсных карбидов титана для работы в условиях агрессивных сред и высоких температур. Определены геометрические и механические характеристики покрытий. Микротвердость наплавленных слоев с 10% TiC значительно выше, чем без карбидов и стали 50X, а износостойкость выше в 1,22 и 5,1 раза. Критические скорости скольжения, определяющие предельную несущую способность контактирующих пар при наплаве с 10 TiC выше, чем без карбидов и закаленной стали 50X в 2,143 и 2,61 раза.

Список литературы / References

1. Liu H. et al. Microstructure and high-temperature wear behavior of CoCrFeNiWx high-entropy alloy coatings fabricated by laser cladding // Tribology International. 2022, vol. 172, p. 107574. DOI: 10.1016/j.triboint.2022.107574.
2. Xu L. et al. Microstructure, Mechanical, and Electrochemical Properties of SiC Particle Reinforced CoCrFeNiCu High-Entropy Alloy Coatings // Coatings. 2022, vol. 12, p. 519. DOI: 10.3390/coatings12040519.
3. Influence of Mo on the Microstructure and Corrosion Behavior of Laser Cladding FeCoCrNi High-Entropy Alloy Coatings // Entropy. 2022, vol. 24, p. 539. DOI: 10.3390/e24040539.
4. Бирюков В.П. Повышение износостойкости деталей и почвообрабатывающих орудий в сельхозмашиностроении лазерной наплавкой // Фотоника. 2021. №2. С. 132-143. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.2.132.142.
4. Biryukov V.P. Enhancement the wear resistance of parts and tillage tools in agricultural machinery by laser cladding // Photonics. 2021, no. 2, pp. 132-143. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.2.132.142.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник laser-52@yandex.ru	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researcher
---	--

Received 10.07.2022