

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ

Бирюков В.П.¹, Горюнов Н.А.², Принц А.Н.¹

¹*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Россия;*

²*Российский университет транспорта, Москва, Россия*

Ключевые слова: лазерная наплавка, микротвердость, момент трения.

Аннотация. Работа посвящена определению влияния режимов лазерной наплавки на размеры валиков, микротвердость покрытий и триботехнические характеристики при трении по стали 40Х и смазке гидравлическим маслом. Получены закономерности изменения момента трения от давления и их значения значительно ниже, чем у наплавов без карбидов и исходной стали. Износостойкость при содержании 10% TiC в покрытии выше в 3 и 6 раз по сравнению с наплавленными слоями без карбидов и основой соответственно.

PREPARATION OF COMPOSITE COATINGS AND DETERMINATION OF THEIR TRIBOLOGICAL PROPERTIES DURING LASER SURFACING

Biryukov V.P.¹, Goryunov N.A.², Printsc A.N.¹

¹*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia;*

²*Russian University of Transport, Moscow, Russia*

Keywords: laser surfacing, microhardness, friction moment.

Abstract. The work is devoted to determining the influence of laser surfacing modes on the size of rollers, microhardness of coatings and tribotechnical characteristics during friction on 40H steel and lubrication with hydraulic oil. The regularities of changes in the moment of friction from pressure are obtained and their values are significantly lower than those of surfacing without carbides and starting steel. The wear resistance at 10% TiC content in the coating is 3 and 6 times higher compared to the deposited layers without carbides and the base, respectively.

Для нанесения композитных покрытий использовали порошки высокоэнтропийного сплава (ВЭС) CrMnFeCoNi полученные с помощью газового распыления [1]. В качестве упрочняющей фазы композитного покрытия применяли порошки карбида титана (TiC) в количестве 5, 10, 15, и 20 мас.%. Для лазерной наплавки выбраны образцы из стали AISI H13 с размерами 200×120×10 мм. Смешанные порошки предварительно наносили на поверхность подложки, а затем уплотняли механически с получением уложенного слоя порошка толщиной 1 мм. Обработку выполняли при мощности лазерного луча 1300 Вт, диаметре пятна 3 мм, скорости сканирования 6 мм/с, с коэффициентом перекрытия дорожек 30%, скорости подачи порошка 2,5 об/мин, расходе защитного газа аргона 3,5 л/мин. Плотность энергии луча лазера составила 86,67 Дж/мм². Испытание на трение и износ выполняли по схеме возвратно-поступательного движения при

высокой температуре на тестере абразивного износа (MDW-02, Китай) при 600°C. Ответным материалом пары трения был шар из твердого сплава YG6 (HV 1521) диаметром 6,35 мм. Толщина и диаметр образца составляли 3 и 20 мм соответственно. Испытания выполняли при усилии нагружения 30 Н (контактное напряжение 3,563 ГПа) с продолжительностью 60 мин и возвратно-поступательным движением с частотой 1 Гц. Длина хода была установлена на уровне 10 мм. Коэффициент трения регистрировался прибором во время испытаний. Микротвердость покрытий составила 223,6; 228,4; 319,4; 344,2 и 362,5 HV, при скорости изнашивания 4,3; 1,679; 0,774, $0,162 \times 10^{-5} \text{ мм}^3 \times \text{Н} \times \text{м}^{-1}$ с химическим составом наплавленных слоев CrMnFeCoNi, CrMnFeCoNi+5%, CrMnFeCoNi+10%, CrMnFeCoNi +15%, CrMnFeCoNi+ 20%TiC соответственно. Коэффициент трения образцов с добавлением TiC был значительно в 1,5-2 раза выше при температуре 600°C, чем без него.

Композитные покрытия ВЭС AlCoCrFeNiTi x ($x = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$) были получены методом лазерной наплавки на образцах стали 1045 с размерами 100×100×10 мм [2]. Для уменьшения образования трещин подложку предварительно нагревали до 200 °C. Лазерную наплавку выполняли с помощью волоконного лазера YLS-400-СТТС-Y11 оснащенного устройством подачи порошка DPSF-2, с выходной мощностью 2400 Вт, со скоростью 5 мм/с, диаметром луча 4,6 мм, с коэффициентом перекрытия дорожек 40%, при расходах порошка 3 г/мин, и инертного газа аргона 3л/мин. Испытания на трение и износ при нормальной и высокой температуре (600°C) на тестере (SIEMENS, HT-1000) при сухом скольжении шара Si3N4 диаметром 5 мм, нагрузке 200 г, с частотой вращения 500 мин⁻¹ на радиусе 4 мм продолжительностью 30 мин. При объемных содержаниях частиц TiC в композитных покрытиях 0.75%, 0.79%, 1.4%, 2.4%, и 2,6% микротвердость покрытий составила 646,0, 661,6, 728,9, 747,6, 833,1 и 860,1 HV_{0.3} соответственно. Покрытие, содержащее 2,6 % TiC, обладало наилучшей износостойкостью при комнатной температуре (25°C) и высокой температуре (600°C).

Покрытия ВЭС FeCoCrAlNiTi x ($x = 0,5, 1,0, 1,5$ и 2,0) были получены на нержавеющей стали 304 с размерами образцов 40×20×10 мм с использованием газового CO₂-лазера при мощности излучения 2 кВт, скорости перемещения 5 мм/с, диаметре пучка 3 мм, с коэффициентом перекрытия дорожек 50%, при расходе аргона 15 л/мин [3]. Микротвердость покрытий FeCoCrAlNiTi x составила 500 HV, а с добавлением Ti от $x = 0,5$, до 2,0 увеличилась с 615 HV до 730 HV, что было по меньшей мере в 3,6 раза выше, чем у подложки из нержавеющей стали 304 (170 HV). Сплав с повышенной твердостью при $x = 2,0$ продемонстрировал лучшую стойкость к кавитационной эрозии среди испытанных образцов в дистиллированной воде, но худшую в 3,5% растворе NaCl, что было связано с тем, что коррозия играла важную роль среди испытанных образцов.

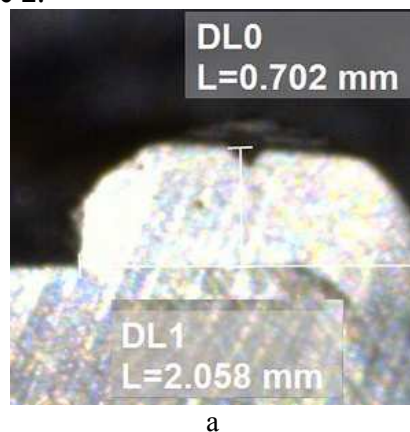
Целью нашей работы было получение композиционных покрытий из более дешевых серийных порошковых материалов с добавлением карбидов титана и определение размеров наплавленных зон и их триботехнических характеристик.

Для проведения экспериментальных исследований применяли лазерный автоматизированный комплекс ИМАШ РАН. Образцы выполнены из стали 40Х размерами 15×20×70 мм. Для изготовления композиционной шихты выбраны порошки на основе никеля и кобальта с размером частиц 40-130 мкм в соотношении 3:1 содержащие Ni-Cr-B-Si-Fe и Co-Cr-W-Si соответственно. В качестве упрочняющей фазы применяли карбид титана (TiC) с размером частиц 40-100 мкм. Шликерные покрытия толщиной 0,7-0,8 мм наносили с использованием связующего вещества на водной основе. Лазерную наплавку проводили при мощности излучения 700-1000 Вт, скорости перемещения 7-10 мм/с диаметрах лазерного пятна 2,5-3,5 мм с перекрытием дорожек 30%. Наплавленные образцы для проведения триботехнических испытаний обрабатывали на плоско шлифовальном станке. Металлографические исследования выполняли с применением металлографического, цифрового микроскопов. Измерение микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ-3М при нагрузке 0,98 Н. Испытания на трение и износ были проведены по схеме плоский образец-торец кольцевого контробразца (сталь 50ХФА HRC 48-51) при изменении нагрузки и скорости. Для смазки использовали масло МГЕ-10-А.

Высота и ширина наплавленных валиков расфокусированным и сканирующим лучом составили 0,6-0,7, 2,0-2,3 и 0,56-0,72 и 3,28-3,9 мм соответственно. На рисунке 1 представлены микрошлифы зон лазерной наплавки расфокусированным (а) и колеблющимся лучом (б).

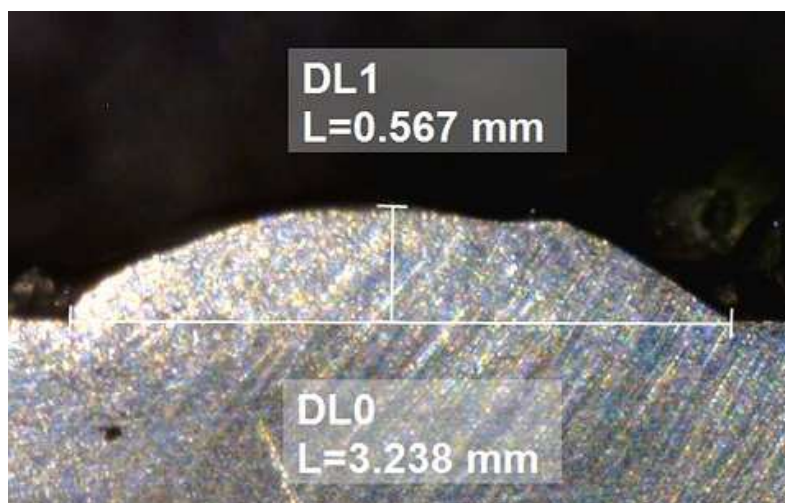
Микротвердость покрытий (Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si), (Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si + 5% TiC) и (Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si + 10% TiC) составила 5320-5680, 6210-6320 и 6450-6580 МПа соответственно.

Закономерности изменения моментов трения от давления на образец представлена на рисунке 2.



а

Рис. 1. Микрошлифы наплавленных дорожек расфокусированным и колеблющимся лучом



б

Рис. 1. Продолжение

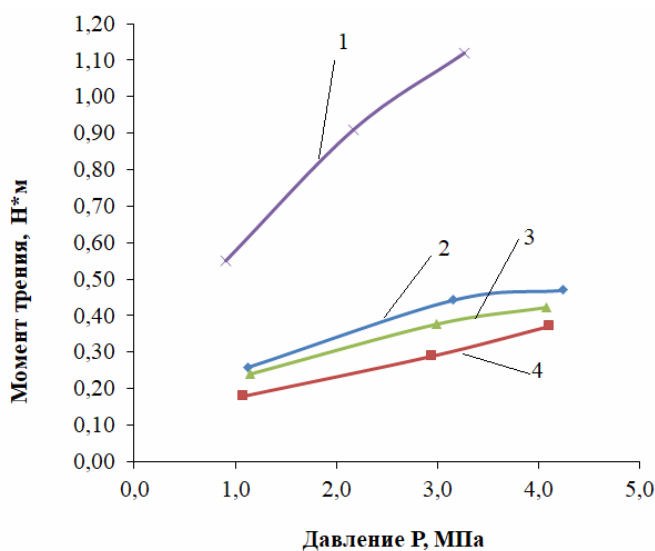


Рис. 2. Изменение моментов трения от давления: 1-сталь 40X HB 260-280, 2 - Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si, 3 - Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si + 5% TiC, 4 - Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si + 10% TiC

Покрyтия композиционным сплавом Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si + 10% TiC имели минимальный момент трения по сравнению с другими наплавленными слоями и сталью 40X во всем диапазоне приложенных давлений при испытании. Износостойкость этого покpытия была в 3 и 6 раз выше, чем покpытия Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si и материала основы стали 40X соответственно.

Выводы

Получены размеры глубины и ширины наплавленных валиков от диаметра пучка, скорости обработки и мощности излучения

расфокусированным и колеблющимся лучом. Моменты трения при наплавке композиционных покрытий Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si+ 10% TiC были значительно ниже, чем наплавленных слоев Ni-Cr-B-Si-Fe + Co-Cr-W-Si и стали 40X соответственно, а износостойкость выше в 3 и 6 раз соответственно.

Список литературы / References

1. Sun D. et al. High-temperature oxidation and wear properties of TiC-reinforced CrMnFeCoNi high entropy alloy composite coatings produced by laser cladding // Surface & Coatings Technology 438 (2022) 128407. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128407>.
2. Liu H. et al. Microstructure and high temperature wear behaviour of in-situ TiC reinforced AlCoCrFeNi-based high-entropy alloy composite coatings fabricated by laser cladding // Optics and Laser Technology 118 (2019) 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.05.006>.
3. Wu C.L. et al. Phase evolution and cavitation erosion-corrosion behavior of FeCoCrAlNiTi_x high entropy alloy coatings on 304 stainless steel by laser surface alloying // Journal of Alloys and Compounds 698 (2017) 761-770. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.12.196>.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading research
Горюнов Николай Алексеевич – студент	Goryunov Nikolay Alekseevich – student
Принц Антон Николаевич – младший научный сотрудник	Printsc Anton Nikolaevich – junior research assistant
laser-52@yandex.ru	

Received 19.06.2022