

ПОВЫШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ

Бирюков В.П., Принц А.Н., Якубовский А.А.

Ключевые слова: микротвёрдость, момент трения, интенсивность изнашивания, скорость скольжения.

Аннотация. В работе представлены результаты металлографических исследований и триботехнических испытаний образцов с лазерной наплавкой композицией из серийных порошковых материалов с преобладанием в их основе никеля, кобальта и железа с добавкой карбида вольфрама (WC) 5-10 масс. %. Износостойкость композиционных металлокерамических покрытий и скорость скольжения при заедании выше, по сравнению с закаленной сталью.

IMPROVEMENT OF TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF COMPOSITE CERMET MATERIALS BY LASER CLADDING

Biryukov V.P., Prints A.N., Yakubovsky A.A.

Keywords: microhardness, friction moment, wear rate, sliding speed.

Abstract. The paper presents the results of metallographic studies and tribotechnical tests of samples with laser surfacing with a composition of serial powder materials with a predominance of nickel, cobalt and iron in their base with the addition of tungsten carbide (WC) 5-10 wt. %. The wear resistance of composite cermet coatings and the sliding speed during jamming are higher compared to hardened steel.

Одним из актуальных направлений повышения прочности, жаростойкости коррозионной стойкости и износостойкости наплавленных покрытий является применение высокоэнтальпийных сплавов. Лазерную наплавку на подложку в виде пластины стали Q235 с размерами 40×20×10мм проводили импульсным твердотельным Nd:YAG - лазером, с фокусным расстоянием линзы 160 мм, частотой следования импульсов 4Гц, с перекрытием пятен 50% [1]. Для покрытия использовали порошковую смесь высокоэнтальпийных сплавов (ВЭС) FeCoCrAlCu-TiC_x (x = 0, 10, 30, 50 вес. %) с размером частиц 45-100 мкм. Удельная скорость износа и средний коэффициент трения составили $9,6 \times 10^{-5}$ мм³/Нм и 0,48 соответственно. Механизмы изнашивания покрытия FeCoCrAlCu-50%TiC отнесены к абразивному и окислительному видам.

В качестве подложки использовали пластины алюминиевого сплава 5083 с размерами 50×30×10 мм. Для лазерной наплавки применяли порошки ВЭС AlFeCoNiCrCu – Si_x (x=0-8,62 ат.%) с чистотой 99,9% [2]. Обработку выполняли CO₂-лазером при мощности лазера 1850 Вт, скорости сканирования луча 120 мм/мин, диаметре пятна 1,2 мм, расходе порошка 5,6 г/мин в среде аргона. Средняя твердость покрытий ВЭС AlFeCoNiCrCu – Si_x повышалась с увеличением содержания кремния до 8ат. % и составила 536, 587, 592 HV_{0.2}. При дальнейшем увеличении содержания кремния до 10 ат.%

она снизилась до 573 HV_{0.2}. Наименьшая скорость износа среди исследованных покрытий, составила $2,63 \times 10^{-7} \text{ мм}^3/\text{Нм}$.

Порошковые покрытия $\text{Al}_x\text{Mo}_0.5\text{NbFeTiMn}_2$ ($x=1, 1.5, 2$) ВЭС с чистотой 99.8%, размером частиц 40-55 мкм наплавливали лучом лазера на сталь Q235 [3]. Лазерную обработку образцов проводили при мощности излучения 1,9 кВт, лучом диаметром 5мм, со скоростью сканирования 2,7 м/мин, с коэффициентом перекрытия дорожек 40%. Коэффициент трения подложки Q235 составлял около 0,71, а среднее значение коэффициентов трения различных покрытий составляло 0,54 (Al1), 0,43 (Al1.5) и 0,41 (Al2), соответственно. Покрытие $\text{Al}_2\text{Mo}_0.5\text{NbFeTiMn}_2$ ВЭС показало износостойкость в 2 раза выше материала основы.

Основным недостатком применения высокоэнтропийных сплавов является их высокая стоимость. Для устранения этого недостатка предложено применение трех серийных порошковых материалов с низкой стоимостью для получения свойств покрытий близких к высокоэнтропийным сплавам или квази-ВЭС сплавам.

Целями работы являются определение триботехнических свойств композиционных металлокерамических покрытий полученных лазерной наплавкой с добавлением карбидов вольфрама.

В проведенных исследованиях использовали автоматизированный лазерный технологический комплекс ИМАШ РАН. Образцы изготавливали из стали 65Г размерами 15×20×70 мм. Для изготовления композиционной (квази-ВЭС) шихты выбраны порошки на основе никеля, кобальта и железа в соотношении 2:1:2 соответственно с размером частиц 40-150 мкм. Порошок карбида вольфрама фирмы «Höganäs», Швеция с размером частиц 53-106 мкм добавляли в шихту 5-10 масс. %. Шликерные покрытия наносили толщиной 0,88-1,0 мм. В качестве связующего материала использовали водный раствор оксиэтилцеллюлозы. Металлографические исследования, наплавленных покрытий, выполняли на микротвердометре ПМТ-3 при нагрузке 0,98 Н, металлографическом микроскопе и цифровом микроскопе АМ226.

Для определения триботехнических характеристик покрытий проводили испытание при нормальной температуре по схеме плоскость (наплавленный образец) – втулка (сталь 40Х, 49-52 HRC). Скорость скольжения и давление на образец изменялись ступенчато в интервале 0,25–3,0 м/с и 1–5 МПа соответственно. Для смазки применяли турбинное масло ТП22С. Результаты триботехнических испытаний определялись как среднее арифметическое по трем образцам.

Лазерная наплавка образцов выполнялась на оптимальных режимах расфокусированным лучом и с поперечными колебаниями луча по нормали к вектору скорости лазерной обработки. При этом высота и ширина наплавленных дорожек изменялась в пределах 0,65-0,97, 0,73-1,3 мм и 1,98-2,31 и 3,2-5,3 мм соответственно. Микротвердость образцов улучшенной стали 65Г, закаленной

стали 65Г, квази-ВЭС, квази-ВЭС + 5 WC масс%, квази-ВЭС + 7,5 WC масс% и квази-ВЭС + 10 WC масс% составила 310-340HV, 620-690HV, 650 – 770HV, 710 – 790HV, 760 – 970 HV и 890 -1170HV соответственно. Площадь поперечного сечения единичного наплавленного валика при поперечных колебаниях луча больше, чем при наплавке дефокусированным лучом и поэтому производительность обработки возрастает в 1,8-2.2 раза в зависимости от режимов обработки образцов. На рис. 1 представлены графики зависимостей момента трения от давления.

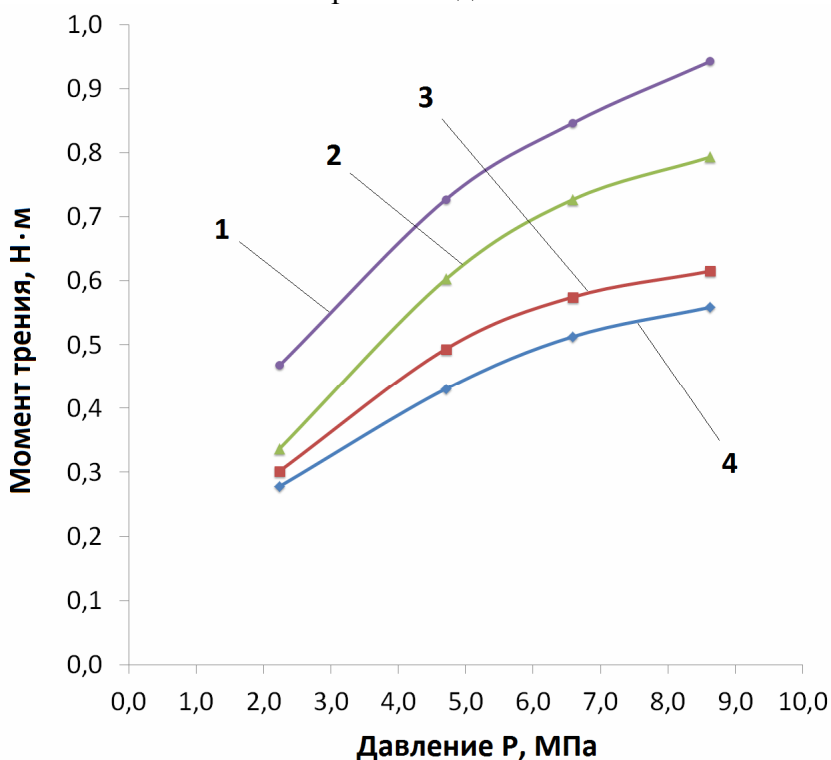


Рис. 1. Зависимость моментов трения от давления: 1 – квази – ВЭС; 2 – квази – ВЭС + 5 WC масс%; 3 – квази – ВЭС + 7,5 WC масс% ; 4 – квази – ВЭС + 10 WC масс%

При возрастании давления наблюдается общая тенденция к увеличению момента трения. Для композиционного покрытия квази-ВЭС (рис. 1, кривая 1) с увеличением нагрузки с 2,24 до 8,63 МПа момент трения увеличивался с 0,27 до 0,94. Минимальные моменты трения 0,27-0,55 получены для покрытий с добавками 10 масс. % WC.

В таблице 1 представлены результаты испытаний на заедание в зависимости от частоты вращения или скорости скольжения при давлении 4МПа.

В таблице 2 представлены результаты испытаний на интенсивность изнашивания образцов по стали 40Х.

Табл. 1. Допустимая частота вращения (скорость скольжения)

№ п/п	Способ наплавки и термообработки стали 65Г	Частота вращения/ скорость скольжения, мин ⁻¹ / м/с
1	Квази – ВЭС + 10 WC масс%	1400 / 2,05
2	Квази - ВЭС + 7,5 WC масс%	1100 / 1,61
3	Квази - ВЭС + 5 WC масс%	900 / 1,32
4	Квази - ВЭС	700 / 1,03
5	Закаленная сталь 65Г	610 / 0,89
6	Улучшенная сталь 65Г	450 / 0,66

Табл. 2. Результаты испытаний на интенсивность изнашивания образцов

№ п/п	Способ наплавки и термообработки стали 65Г	Интенсивность изнашивания образца Icp ₁ и контробразца Icp ₂	
		Icp ₁ ×10 ⁻⁹	Icp ₂ ×10 ⁻⁹
1	Квази – ВЭС + 10 WC масс%.,	3,0159	9,7554
2	Квази - ВЭС + 7,5 WC масс%	4,2459	10,9521
3	Квази - ВЭС + 5 WC масс%	4,8693	9,3173
4	Закаленная сталь 65Г	7,3271	8,2053
5	Улучшенная сталь 65Г	9,0933	8,8346

Анализ результатов на заедание от скорости скольжения при постоянном давлении показал, что композиционные квази-ВЭС покрытия значительно превосходят улучшенную и закаленную сталь 65 Г по этому параметру. Износостойкость, величина обратная интенсивности изнашивания значительны выше материала основы.

Выводы

Проведенные исследования по лазерной наплавке композиционных квази-ВЭС сплавов показали, что введение карбидов вольфрама значительно повышает их микротвердость и уменьшает момент трения. Производительность лазерной обработки при поперечных колебаниях луча повышается в среднем 2 раза.

Полученные покрытия превосходят материал основы по скорости скольжения при заедании и износостойкости.

Список литературы / References

1. Jiang P.F., Zhang C.H., Zhang S., Zhang J.B., Chen J., Liu Y. Fabrication and wear behavior of TiC reinforced FeCoCrAlCu-based high entropy alloy coatings by laser surface alloying // Materials Chemistry and Physics. 2020. DOI:10.1016/j.matchemphys.2020.123571.

2. Yanzhou Li et al. Phase assemblage and wear resistance of laser-cladding Al_{0,8}FeCoNiCrCu_{0,5} Si_x high-entropy alloys on aluminum // Materials Research Express. 2020. DOI:10.1088/2053-1591/aba9f7
3. Gu Z., Xi S., Mao P., et al., Microstructure and wear behavior of mechanically alloyed powder Al_xMo_{0.5}NbFeTiMn₂ high entropy alloy coating formed by laser cladding // Surface and Coatings Technology. 2020. DOI:10.1016/j.surfcoat.2020.126244

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, laser-52@yandex.ru	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate technical sciences, leading researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, laser-52@yandex.ru
Принц Антон Николаевич – младший научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия, tosha.prints.94@mail.ru	Prints Anton Nikolaevich – junior researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, tosha.prints.94@mail.ru
Якубовский Антон Алексеевич – студент, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия, anton.at444@gmail.com	Yakubovsky Anton Alexeevich – student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia, anton.at444@gmail.com

Received 10.06.2021