

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ НА ИХ МИКРОТВЕРДОСТЬ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Бирюков В.П.

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

Ключевые слова: лазерное легирование, микротвердость, износостойкость.

Аннотация. Работа посвящена определению влияния режимов лазерного легирования стали 20Х13 на размеры зон лазерного переплава, микротвердость слоев и триботехнические характеристики при трении по стали 40Х и смазке турбинным маслом. Минимальные моменты трения от давления получены при введении в состав шихты 10% TiC и их значения значительно ниже, чем у слоев с 5% TiC, без карбидов и исходной стали, а износостойкость выше в 2,6, 1,5 и 4,9 раза соответственно.

EFFECT OF LASER ALLOYING OF STEELS ON THEIR MICROHARDNESS AND TRIBOTECHNICAL PROPERTIES

Biryukov V.P.

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

Keywords: laser alloying, microhardness, wear resistance.

Abstract. The work is devoted to determining the influence of laser alloying modes of 20Cr13 steel on the size of laser remelting zones, microhardness of layers and tribotechnical characteristics during friction on 40Cr steel and lubrication with turbine oil. The minimum moments of friction from pressure were obtained when 10% TiC was introduced into the charge and their values are significantly lower than those of layers with 5% TiC, without carbides and the initial steel, and the wear resistance is 2.6, 1.5 and 4.9 times higher, respectively.

Лазерному легированию подвергали образцы [1] стали 12Х13 с помощью непрерывного CO₂-лазера при мощности излучения 7 кВт, скорости перемещения луча 5-10 мм/с, пятном 9×2 мм. На поверхность образца наносили слой порошка на основе никеля с добавками вольфрама и хрома. Толщина легированного слоя не превышала 0,4 мм. В зоне легирования имелись карбиды WC, Cr₇C₃. Максимальная микротвердость легированного слоя составляла 785 HV_{0.2} при ее среднем значении 701 HV_{0.2}, что в 2,2 раза выше, чем у подложки. Исследования кавитационной стойкости легированного слоя выполняли на приборе ультразвуковой ударной кавитации, который включал в себя генератор ультразвуковых волн, в водной среде содержащей 3% NaCl при продолжительности испытаний 10,5 часов. Кавитационный износ легированных лазерным лучом поверхностных слоев стали 20Х13 был практически в 2 раза ниже, чем материала основы.

Лазерное поверхностное легирование [2] образцов стали X12CrNiMo с размерами 100×100×5 мм выполняли порошком MSS (440C) с размером частиц 45-90 мкм с использованием твердотельного Nd:YAG лазера фирмы

«Rofin Sinar» мощностью 4,4 кВт, оснащенного вне осевым соплом для подачи порошка. Обработку выполняли при мощности лазера 1,2 кВт, скорость сканирования 0,016 м/с и 0,10 м/мин, расходе газа 3 л/мин. Лазерное легирование порошком MSS стали X12CrNiMo значительно улучшило значение микротвердости до 1075 HV по сравнению с 302 HV подложки. Значение твердости образца после лазерного легирования в 4 раза выше, чем у исходного образца. Испытания на коррозионную стойкость проводились при температуре окружающей среды с использованием водного раствора NaCl. 3,65 мас.%. Повышенная коррозионная стойкость объясняется эффектами растворения и измельчения карбидов и увеличением пассивирующего действия хрома в твердом растворе легированного слоя.

Для лазерного легирования стали AISI 304 [3], использовали порошки из нержавеющей стали 316L (45-125 мкм) с добавками карбида вольфрама WC (75-180 мкм). Обработку выполняли при мощности лазера 700 Вт, скорость сканирования 12 мм/с, диаметром лазерного пятна 1 мм, расходе порошка 7,6 г/мин, с подачей защитного газа аргона 8 л/мин. Испытание на износ при возвратно-поступательном движении по схеме «шар (диаметром 3 мм, 100Cr6, 58-63 HRC) – плоскость (образец с легированным слоем)» проводили с использованием трибометра (UTM-3, США), при постоянной нагрузке 100 Н, длине хода 15 мм, средней скорости 200 мм/мин и продолжительности испытаний 60 мин. Микротвердость легированных слоев составляла 550 HV0.5 на образцах с содержащих 24,4 мас.% WC, что в 2,55 раза выше, чем у основы 215 HV0,5, и потеря массы 0,7 мг, что значительно ниже, чем у исходной стали 11,9 мг.

Для лазерного легирования [4] использовали образцы стали 20X13 с размерами 12×20×70 мм. На поверхность образцов наносили шликерное покрытие из порошков Fe-Cr-V-W-Mo и с добавлением в шихту 5 об.% нанопорошка карбида тантала (TaC). Для определения оптимальных режимов легирования изменяли мощность излучения в пределах 700-1000 Вт, скорость перемещения 5-9 мм/с, диаметр пятна 1,9-2,5 мм. Обработку проводили расфокусированным и колеблющимся лучом с частотой 214 Гц. Плотность энергии лазерного излучения изменяли в пределах 28,4-96,7 Вт·с/мм². Испытания на трение и износ проводили по схеме: «широкая сторона плоского образца (сталь 20X13 после легирования порошком заданного состава) – торец вращающейся втулки (контроль образец сталь 40X, 49-53 HRC)». Для смазки в зону трения подавали масло турбинное ТП22С по 1 капле в секунду. Введение порошка nano карбида тантала в состав шихты повысило износостойкость в 2,2 и в 5,7 раза по сравнению с легированием порошком Fe-Cr-V-W-Mo и с материалом основы соответственно. Коэффициенты трения для легированных слоев с TaC несколько ниже, чем без карбида и в 1,53 раза ниже, чем у стальных образцов.

Целью нашей работы было получение легированных слоев с использованием порошковых материалов Fe-Cr-V-W-Mo и с добавлением

карбида титана и определение размеров легированных зон и их триботехнических характеристик.

Для выполнения исследований по лазерному легированию применяли лазерный автоматизированный комплекс ИМАШ РАН. Образцы выполнены из стали 20X13 размерами 15×20×70 мм. На поверхность образцов наносили шликерное покрытие толщиной 0,3-0,4 мм содержащее порошок Fe-Cr-V-W-Mo (40-100 мкм) и этот же порошок с добавлением карбида титана (0,5-10 мкм) 5 и 10 об%. Обработку выполняли при мощности луча 700-1000 Вт, скорости перемещения 2-4 мм/с, диаметром пятна 1,3-2,1 мм расфокусированным и колеблющимся лучом с частотой 217 Гц по нормали к вектору линейной скорости легирования с перекрытием дорожек 35%. Металлографические исследования выполняли с помощью цифрового микроскопа AM413 ML (UNICO, United Products and Instruments, США) и инвертированного микроскопа MET 1С (Россия). Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,98 Н. Триботехнические испытания проводили по схеме «плоскость (широкая сторона легированного образца) – торец кольцевого контрообразца (сталь 40Х, 49-54HRC). Для смазки использовали масло ТП22С.

Глубина и ширина зон легирования расфокусированным и колеблющимся лучом составила 0,4-0,7 и 1,0-1,6 мм, 0,42-0,65 и 3,1-4,2 мм соответственно. На рисунке 1 представлен микрошлиф образца стали 20X13 с легированным слоем глубиной 0,5-0,6 мм полученный при обработке колеблющимся лучом.



Рис. 1. Микрошлиф зоны легирования стали 20X13 колеблющимся лучом с частотой 217 Гц

Производительность процесса лазерного легирования колеблющимся лучом в 1,6-2,2 по сравнению с обработкой расфокусированным пятном.

Микротвердость легированных слоев порошками Fe-Cr-V-W-Mo, Fe-Cr-V-W-Mo+5% TiC, Fe-Cr-V-W-Mo+10% TiC составила 6490-7230, 6980-7850, 7130-8100 МПа соответственно.

На рисунке 2 представлены зависимости моментов трения от давления при трении скольжении.

Легированные колеблющимся лазерным лучом поверхности образцов стали 20X13 сплавом Fe-Cr-V-W-Mo + 10% TiC имели самые низкие моменты трения, а значит и коэффициенты трения по сравнению с другими

легированными образцами и материалом основы при давлениях от 1 до 4,2 МПа. Износостойкость легированных слоев с добавлением 10% TiC была в 2,6, 1,5 и 4,9 раза выше, чем зон легирования Fe-Cr-V-W-Mo, Fe-Cr-V-W-Mo+5% TiC и стали 20X13 соответственно.

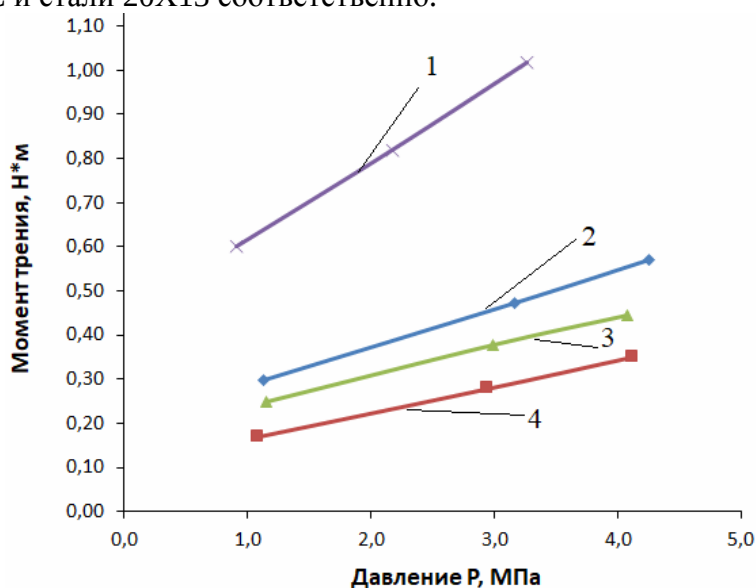


Рис. 2. Зависимость моментов трения от давления:

1 – сталь 20X13 HB 265-295, 2 – Fe-Cr-V-W-Mo, 3 – Fe-Cr-V-W-Mo + 5% TiC, 4 – Fe-Cr-V-W-Mo + 10% TiC

Выводы

Получены геометрические параметры зон лазерного легирования в зависимости от диаметра луча, скорости обработки и мощности излучения расфокусированным и колеблющимся лучом. Производительность процесса легирования при поперечных колебаниях луча практически в 2 раза выше, чем при работе расфокусированным пучком. Моменты трения, при легировании образцов с введением в шихту 10% TiC были ниже, чем слоев Fe-Cr-V-W-Mo, Fe-Cr-V-W-Mo+5% TiC, и стали 20X13, а износостойкость выше в 2,6, 1,5 и 4,9 раза соответственно.

Список литературы / References

1. Yao J, Zhang Q, Kong F. Qingming Ding Laser Hardening Techniques on Steam Turbine Blade and Application // Physics Procedia. 2010, vol. 5, pp. 399-406. DOI: 10.1016/j.phpro.2010.08.161.
2. Popoola A.P.I., Fatoba O.S., Popoola O.M., Pityana S.L. The Influence of Heat Treatment and Process Parameters Optimization on Hardness and Corrosion Properties of Laser Alloyed X12CrNiMo Steel // Silicon. 2016, vol. 8, pp. 579-589. DOI 10.1007/s12633-016-9434-8.
3. Song L, Zeng G., Xiao H., Xiao X., Li S. Repair of 304 stainless steel by laser cladding with 316L stainless steel powders followed by laser surface alloying with WC

- powders // Journal of Manufacturing Processes. 2016, vol. 24, pp. 116-124. DOI: 10.1016/j.jmapro.2016.08.004.
4. Бирюков В.П. Влияние лазерного легирования и наплавки на механические и триботехнические свойства поверхностей сталей // Фотоника. – 2022. – №6. – С. 454-463. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2022.16.6.454.463.
4. Biryukov V.P. The effect of laser alloying and surfacing on the mechanical and tribotechnical properties of steel surfaces // Photonics. 2022, no 6, pp. 454-463. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2022.16.6.454.463.

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

Received 30.10.2022