

ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ НА СТАЛЬ

Бирюков В.П.¹, Принц А.Н.¹, Савин А.П.¹, Старостин Д.А.², Клеветов Д.В.²

¹*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва;*

²*АО «ВНИИ «СИГНАЛ», г. Ковров*

Ключевые слова: лазерная наплавка, микротвердость, коэффициент трения.

Аннотация. В работе рассмотрен процесс наплавки порошка на основе меди на образцы стали 40Х с применением излучения непрерывного СО₂-лазера. Показано, что коэффициенты трения составляют 0,014-0,021 при испытании образцов наплавленных сканирующим лучом, что в два раза ниже, чем на образцах из литой бронзы. Исследовано влияние поперечных колебаний луча на качество и производительность процесса наплавки. Показано, что при частоте сканирования луча 224Гц производительность наплавки повышается в 1,53 раза.

LASER CLADDING OF COPPER-BASED ALLOYS ON STEEL

Biryukov V.P.¹, Princ A.N.¹, Savin A.P.¹, Starostin D.A.², Klevetov D.V.²

¹*Institute of mechanical engineering n.a. A.A. Blagonravov
of Russian Academy of Sciences, Moscow;*

²*JSC VNII SIGNAL, Kovrov*

Keywords: laser surfacing, microhardness, coefficient of friction.

Abstract. The paper considers the process of surfacing copper-based powder on 40Cr steel samples using continuous CO₂ - laser radiation. It is shown that the friction coefficients are 0.014-0.021 when testing samples deposited with a scanning beam, which is two times lower than on samples of cast bronze. The influence of transverse beam oscillations on the quality and performance of the surfacing process is investigated. It is shown that at a scanning frequency of 224 Hz beam surfacing performance increases by 1.53 times.

Изготовление изделий из меди и ее сплавов приводит к значительным экономическим затратам, а в ряде случаев просто невозможно по причине низкого предела прочности меди и сплавов. Для уменьшения расхода медных сплавов их можно изготавливать путем наплавки медных сплавов на сталь. Применение дуговых методов наплавки сопровождается значительным расплавлением стальной подложки, надрезами материала основы и перемешиванием стали с расплавленным присадочным материалом. Как результат наплавленный слой может содержать до 30% железа. Лазерную наплавку медного слоя проводили проволокой МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 диаметром 1,2мм на стальную пластину СтЗсп толщиной 7 мм [1]. В качестве источника лазерного излучения использовали волоконный лазер ЛС-15, оптическую сварочную головку YW50. Наплавку проводили при мощности излучения 5-10 кВт, варьируя диаметр луча, скорость наплавки и скорость подачи проволоки. Металлографическими исследованиями установлено, что глубина проникновения меди в сталь при мощности излучения, $P = 5$ и 10 кВт и диаметре лазерного пятна $D = 3,6$ мм, составляет 50-130 мкм, а при $P = 10$ кВт и $D = 6$ мм – 100-300 мкм. Среднее содержание железа в наплавленном слое составляет 3,6 и 20,3% соответственно. Микротвердость наплавленного валика при мощности излучения 5 кВт изменяется в пределах 77-115 HV_{0,2}, а при мощности излучения 10 кВт – 77-330 HV_{0,2}.

Эксперименты проводились с использованием диодного лазера мощностью до 1600 Вт [2]. Для наплавки выбран порошок бронзы Cu15Sn0,4P с размерами частиц 150 - 180 мкм. В качестве подложки применяли легированную сталь AISI 4340. На поверхности подложки формировали пятно лазера диаметром 3 мм. Единичные дорожки наплавляли при мощности лазера 1000 Вт, скорости перемещения луча 10 мм/с и расходе порошка 24 г/мин. Средняя плотность мощности излучения составляла 142 Вт/мм². Ширина единичной наплавленной дорожки составляла 3 мм при высоте 0,8 мм. Наплавку поверхности образцов выполняли с коэффициентом перекрытия 66%. Твердость бронзового покрытия HV 172±12 и она выше, чем у фосфористой бронзы 100 HB или 110 HV. Твердость зоны термического влияния, толщиной до 0,5 мм составляла 630±50HV, что значительно выше, чем твердость легированной стали (335±40 HV).

Для наплавки алюминиевой бронзы использовался CO₂-лазер «Комета-2» мощностью излучения 1 кВт [3]. Плотность мощности составляла $\sim 1,27 \cdot 10^5$ Вт/см². В качестве подложки использовалась сталь 45. Единичные дорожки и многослойная наплавка бронзы для испытания образцов на трение и износ были нанесены при скорости перемещения луча 100-300 мм/мин и расстоянии сопла над поверхностью 10-14 мм. В условиях испытания при трении без смазочного материала при скоростях наплавки ниже, 140-160 мм/мин, коэффициент трения стабильный 0,17-0,2 и значительно ниже по сравнению с литыми алюминиевыми бронзами.

Целями работы является определение влияния поперечных колебаний лазерного луча на перемешивание наплавляемой шихты с материалом основы и производительность наплавки.

В экспериментальных исследованиях использовали лазерный комплекс ИМАШ РАН [4]. Образцы изготавливали из стали 40X размерами 15×20×70 мм. Для наплавки выбран порошок на основе меди ПР-БрАМц 9-2 с размером частиц 40-150 мкм. В качестве варьируемых параметров были выбраны мощность излучения $P=700-1000$ Вт, скорость обработки $V=5-10$ мм/с и диаметр пучка $d=1-3$ мм. В качестве дополнительного фактора рассматривалось сканирование луча с фиксированной частотой $f=224$ Гц. Использовался сканатор резонансного типа с упругим элементом, на котором закреплено зеркало. Металлографические исследования наплавленных покрытий проводились на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 0,98 Н, металлографическом микроскопе Альтами MET 1С и цифровом микроскопе АМ413ML.

Структура и химический состав наплавленных слоев исследовались на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 SBH с системой энергодисперсионного анализа с применением режимов отраженных и вторичных электронов.

Для определения трибологических характеристик наплавленных образцов применялась универсальная машина трения МТУ-01. Испытания проводили по схеме «плоскость (наплавленный образец) – кольцо сталь 40X (48-52HRC). Скорость скольжения и давление на образец изменялись дискретно в интервале 0,1-1,1 м/с и 1-3 МПа соответственно. В качестве смазочного материала использовали масло трансмиссионное ТСЗп-8.

Лазерная наплавка образцов выполнялась на оптимальных режимах расфокусированным лучом и с поперечными колебаниями луча по нормали к вектору скорости лазерной обработки. На рис. 1 представлен микрошлиф наплавленной дорожки с размерами $0,75 \times 2,1$ мм, твердостью 181-208HV. При высокочастотном сканировании луча ширина дорожки увеличивается до 3,38 мм при незначительном уменьшении высоты наплавки 0,68 мм (рис 1,б.) Твердость наплавленного слоя находится в пределах 204-224HV. Зона проплавления основы при обработке расфокусированным лучом и сканирующим лучом составила 380 и 150 мкм соответственно. Площадь поперечного сечения единичного наплавленного слоя при сканировании луча в 1,53 раза больше, чем при наплавке расфокусированным лучом.

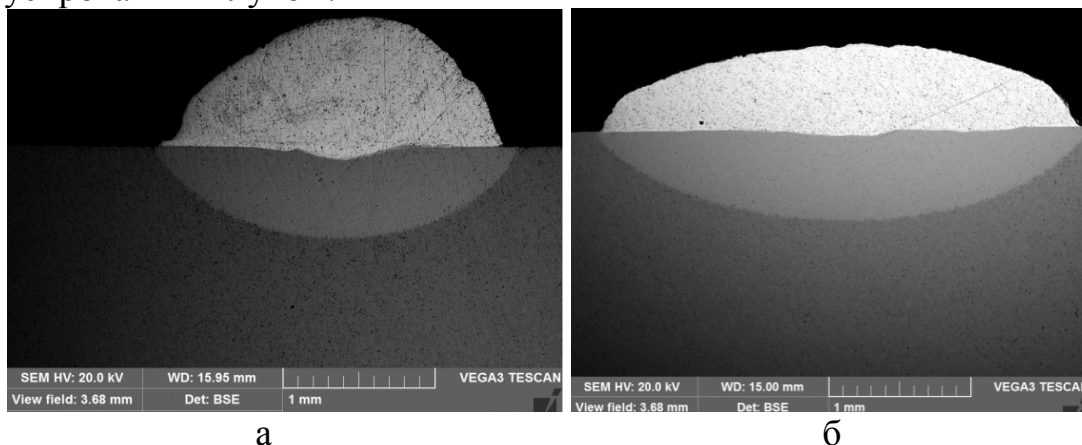


Рис. 1. Наплавка порошка бронзы ПР-БрАМц 9-2 на сталь 40Х $\times 75$:
а - расфокусированным лучом; б - сканирующим с частотой 224 Гц лучом

На рис. 2 показаны зоны сплавления покрытия с основой при обработке расфокусированным лучом и сканирующим лучом соответственно и химический состав. Из представленных результатов следует, что при обработке расфокусированным лучом в наплавленном слое наблюдается большее содержание железа, что является следствием более глубокого проплавления основы.

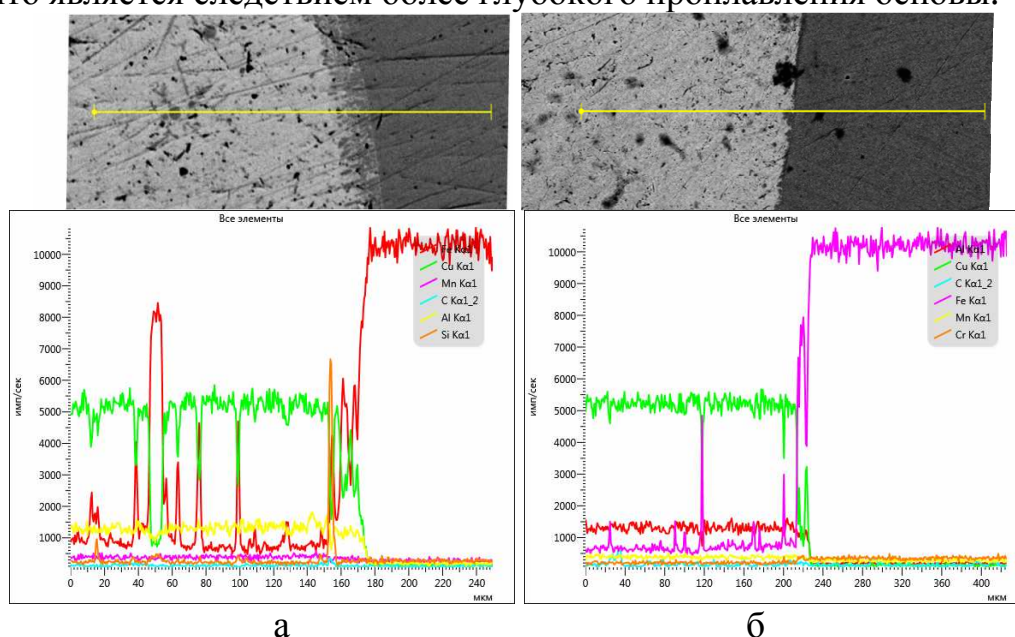


Рис. 2 Результаты элементного анализа: а - при наплавке расфокусированным лучом; б - при наплавке сканирующим лучом с частотой 224 Гц

Коэффициенты трения изменялись в пределах 0,016-0,022 и 0,014-0,021 при испытании образцов наплавленных расфокусированным и сканирующим лучом соответственно, что в два раза ниже, чем на образцах из литой бронзы. Установлено, что площадь поперечного сечения наплавленной дорожки сканирующим лучом в 1,53 раза больше, чем расфокусированным лучом при одних и тех же режимах обработки.

Лазерная наплавка антифрикционных покрытий на стальные поверхности может быть использована в атомном и судовом машиностроении, узлах трения гидравлических агрегатов, в тяжело нагруженных подшипниках скольжения и быстроходных механизмах. Современное технологическое оборудование, оснащенное волоконными, диодными и другими лазерами позволяет наплавлять рабочие поверхности плоских деталей, тел вращения и деталей сложной пространственной формы. Прочность сцепления нанесенных лазерным лучом покрытий на основе меди выше прочности на сдвиг нормализованной и улучшенной стали и составляет 350-480 МПа.

Выводы

Разработана технология лазерной наплавки антифрикционных покрытий на основе меди порошковым материалом ПР-БрАМц 9-2. Коэффициент трения скольжения при использовании в качестве смазочного материала масла трансмиссионного ТСЗп-8 составил 0,016-0,022 и 0,014-0,021 при наплавке расфокусированным и сканирующим с частотой 224 Гц лучом соответственно, что в два раза ниже, чем у литой бронзы.

Производительность лазерной наплавки при поперечных колебаниях луча к вектору скорости наплавки повышается в 1,53 раза по сравнению с наплавкой расфокусированным лучом.

Список литературы

1. Cybulski A.I. et al. Influence of technological parameters on the intermixing of copper and iron by laser cladding of copper-Nickel alloy steel // Welding production. 2017. No. 4. P.37.
2. Arias-González F. et al. Production of phosphor bronze coatings by laser cladding // Procedia Manufacturing. 2017. V.13. P. 177.
3. Devojno O.G., Feldshtein E., Kardapolava M.A., Lutsko N.I. On the formation features, structure, microhardness and tribological behavior of single tracks and coating layers formed by laser cladding of Al-Fe powder bronze // Surface and Coatings Technology. 2019. V.358. P. 195.
4. Biryukov V. P., Dozorov A.V. Laser systems for hardening, surfacing of details and exact cutting of sheet material // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2006. No. 1. P. 60.

Сведения об авторах:

Бирюков Владимир Павлович – к.т.н., ведущий научный сотрудник, ИМАШ РАН, г.Москва;

Принц Антон Николаевич – инженер ИМАШ РАН, г.Москва;

Савин Александр Петрович – инженер ИМАШ РАН, г.Москва;

Старостин Дмитрий Александрович – инженер 1 категории, АО «ВНИИ «СИГНАЛ», г. Ковров;

Клеветов Денис Викторович – ведущий инженер АО «ВНИИ «СИГНАЛ», г.Ковров.