

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2025-47-12-16>

ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ ОТ СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ СТАЛИ

Бирюков В.П., Горюнов Я.А.

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

Ключевые слова: лазерная наплавка, микротвердость, шероховатость поверхности, износостойкость, коэффициент трения, скорость скольжения.

Аннотация. Работа посвящена определению влияния режимов лазерной обработке на геометрические параметры валиков при наплавке порошка 20X13H2 на сталь 38ХГМ, микротвердость, триботехнические характеристики покрытия и материала основы в паре трения с объемно закаленным контробразцом из стали 45 с различной шероховатостью поверхности. Площадь поперечного сечения валиков, полученных колеблющимся лучом в 1,4-2,1 раза больше по сравнению обработкой расфокусированным пучком. Микротвердость покрытий при поперечных колебаниях луча была выше на 520-640 МПа по сравнению с наплавкой расфокусированным лучом. Установлено, что минимальными коэффициентами трения обладали образцы с наплавленным покрытием в паре с контробразцом с минимальной шероховатостью поверхности.

DEPENDENCES OF FRICTION COEFFICIENTS ON SLIDING SPEED AND SURFACE ROUGHNESS DURING LASER WELDING OF STEEL

Biryukov V.P., Goryunov Ya.A.

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

Keywords: laser surfacing, microhardness, surface roughness, wear resistance, coefficient of friction, sliding speed.

Abstract. The work is devoted to determining the effect of laser processing modes on the geometric parameters of rollers when surfacing 20Cr13Ni2 powder on 38CrMnMo steel, microhardness, tribotechnical characteristics of the coating and the base material in a friction pair with a volume-hardened countersample made of 45 steel with different surface roughness. The cross-sectional area of the rollers obtained with an oscillating beam is 1.4-2.1 times larger than that obtained with an unfocused beam. The microhardness of the coatings during transverse beam vibrations was higher by 520-640 MPa compared with the defocused beam coating. It was found that the samples with a surfaced coating paired with a counter-sample with minimal surface roughness had minimal friction coefficients.

В качестве базового материала [1] использовалась нормализованная сталь 45 мм размерами 50×25×12 мм. Для лазерной наплавки были использованы порошки на железной основе с различным содержанием никеля и хрома М1 (35,3 HRC), М2 (47 HRC) и М2 (50 HRC). Мощность лазера 1200 Вт, скорость подачи 5 мм/с и расфокусировка на расстоянии 10 мм с перекрытием 50%. Испытания поверхности наплавленного слоя на износ проводились с использованием машины ММ-200. В качестве контробразца использовали сталь марки GCr15 с твердостью 747-715 HV. Максимальная продолжительность цикла составляла 30 минут, и каждый тест повторялся

трижды. Материал М1 обладал меньшей твердостью по сравнению с материалами М2 и М3, однако при определенных условиях он демонстрировал более высокую износостойкость.

Эксперименты по лазерной наплавке [2] были выполнены с использованием порошка на основе железа с добавлением хрома сплава (Fe–Cr) на низкоуглеродистую сталь SS400 для улучшения ее механических свойств и увеличения срока службы изделий. Параметры процесса лазерной наплавки были оптимизированы в ходе экспериментов с использованием метода Тагучи для получения покрытия с наибольшей твердостью. Результаты исследования показали, что скорость износа образцов стали SS400 составляла $1,96 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$ а с покрытием из сплава Fe–Cr она снизилась до $0,0114 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/(\text{Н} \cdot \text{м})$. Износостойкость повышалась с увеличением степени перекрытия дорожек наплавки до 60%.

В экспериментах [3] образцы стали 20Х13 с размерами 40×80×20 мм были наплавлены порошком 20Х13 с помощью полупроводникового технологического лазера PLD-6 производства ООО «НПП» ИНЖЕКТ» при мощности лазерного излучения 5,6 кВт, скорости сканирования луча 3 мм/с со скоростью подачи порошка 35 г/мин. Триботехнические испытания были проведены по схеме: «прямоугольный образец (образец с наплавкой, основа)-торец кольцевого контробразца втулки (сталь 45, HRC49-54)» при давлении на образцы 2 МПа и смазке гидравлическим маслом МГЕ-10А. Микротвердость покрытия порошком 20Х13 составляла 501-575 HV. Интенсивность изнашивания наплавленного покрытия была в 3,16 раза ниже, чем основного материала. Интенсивность изнашивания контробразца из закаленной стали 45 была ниже в паре трения с наплавленным образцом по сравнению с основным материалом. Средние коэффициенты трения для наплавленных образцов имели значения 0,043, а материала основы 0,078.

Целью работы было определение параметров зон наплавки и влияния шероховатости поверхности стального (45, HRC 48-52) контробразца на момент трения в паре с наплавленным покрытием порошком 20Х13Н2 и материалом основы стали 38ХГМ при нанесении на поверхности трения смазки литол 24.

Эксперименты по лазерной наплавке были выполнены при плотности энергии лазерного излучения $25-39 \text{ Вт} \cdot \text{с}/\text{мм}^2$ на плоские прямоугольные образцы из стали 38ХГТ с размерами 12×20×70 мм. Лазерная наплавка была проведена расфокусированным и колеблющимся лучом по нормали к вектору скорости обработки. Для наплавки был использован порошок 20Х13Н2 с размером частиц 40-100 мкм. Определение геометрических параметров зон наплавки и микротвердости были выполнены на цифровом микроскопе и микротвердомере ПМТ-3, оснащенный цифровой камерой.

Триботехнические испытания были проведены по схеме: широкая сторона плоского прямоугольного образца – торцевая поверхность контробразца втулки (сталь 45, HRC 48-52) при предварительно нанесении смазки литол-24 на поверхности трения.

На рисунке 1 представлены графики изменения коэффициентов трения в зависимости от скорости скольжения и шероховатости поверхности контробразца втулки при его обработке наждачной бумагой с зернистостью P600, P1200, P2500.

На рисунке 1 представлен микрошлиф образца с наплавленными дорожками по краям с поперечными колебаниями в центре три дорожки расфокусированным лучом. Высота и ширина наплавленных валиков при обработке расфокусированным и колеблющимся лучом составляли 0,49-0,67, 0,48-0,65 мм и 1,8-2,3 и 3,2-4,5 мм соответственно и площадь поперечного сечения валиков, полученных колеблющимся лучом в 1,4-2,1 раза больше. Глубина проплавления основы составляла 25-67 мкм и 250-350 мкм при обработке колеблющимся лучом и расфокусированным пучком. Микротвердость наплавленных покрытий составляла 4230-6100 МПа, причем твердость покрытий при поперечных колебаниях луча была выше на 520-640 МПа по сравнению с наплавкой расфокусированным лучом.

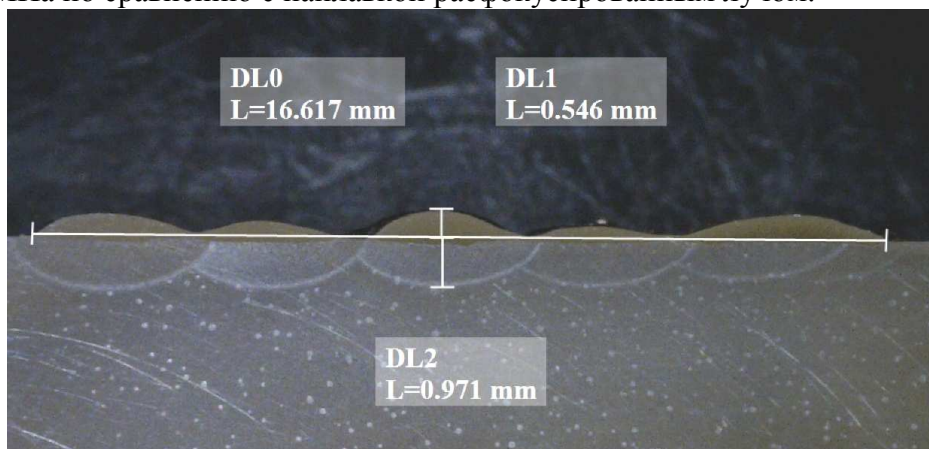


Рис. 1. Микрошлиф образца стали 38ХГМ с наплавленными дорожками порошком 20Х13Н2

На рисунке 2 представлены зависимости коэффициентов трения от скорости скольжения образцов с лазерной наплавкой 2 и материала основы 1 в паре трения с контробразцом из стали 45 при обработке его торца наждачной бумагой зернистостью P600 (рис. 2, а), P1200 (рис. 2, б) и P2500 (рис. 2, в). Анализ полученных результатов показал, что максимальными значениями коэффициентов трения 0,39-0,43 обладал образец стали 38ХГМ в паре с контробразцом стали 45 после обработки торца наждачной бумагой P600. Наплавленный образец порошком 20Х13Н2 имел значения коэффициентов трения 0,28-0,32 в паре с этим же контробразцом.

Минимальные значения коэффициентов трения 0,16-0,2 получены в паре трения образец с наплавкой – контробразец стали 45 после обработки его торца наждачной бумагой P2500, а коэффициенты трения материала основы с этим же контробразцом имели значения 0,25-0,29. Коэффициенты трения

наплавленного образца и образца стали 38ХГМ при трении с контробразцом обработанным наждачной бумагой Р1200 имели промежуточные значения.

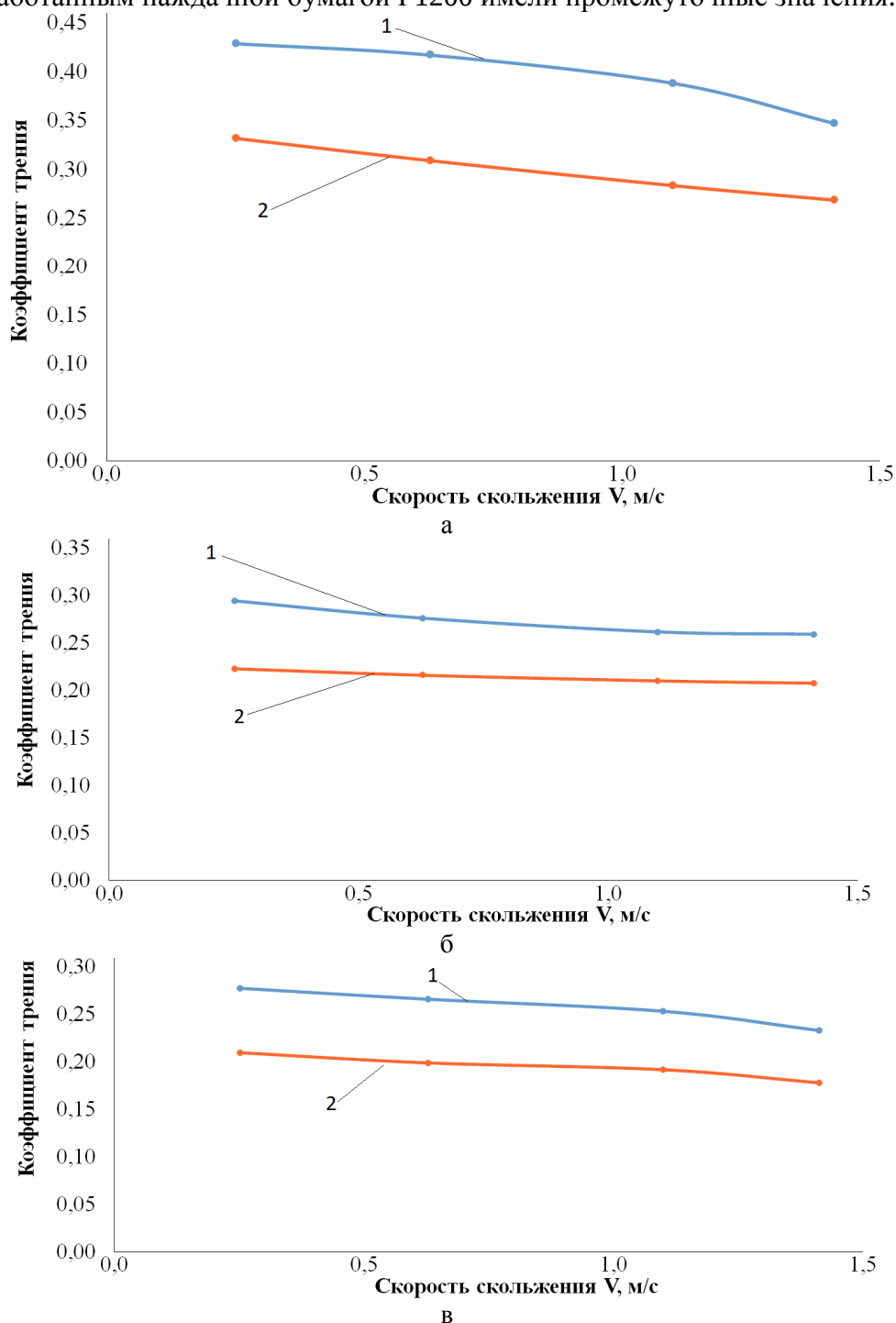


Рис. 2. Изменение коэффициентов трения в зависимости от скорости скольжения при обработке торца контробразца стали 45 наждачной бумагой Р 600 (а), Р1200, (б) и Р 2500 (в): 1 – 38ХГМ, 2 – 20Х13Н2

Выводы. Определено влияние режимов лазерной наплавки размеры наплавленных валиков порошком 20X13H2 образцов стали 38ХГМ. Площадь поперечного сечения валиков, полученных колеблющимся лучом в 1,4-2,1 раза больше по сравнению наплавкой расфокусированным пучком. Микротвердость покрытий при поперечных колебаниях луча была выше на 520-640 МПа по сравнению с наплавкой расфокусированным лучом.

Установлено, что минимальными коэффициентами трения обладали образцы с наплавленным покрытием в паре с контро образцом с минимальной шероховатостью поверхности.

Список литературы

1. Ping L., Junquan Z., Tianchi Z., Fulong Z., Shuangyu L., Fengde L. Microstructure and properties of spiral gradient coating prepared by laser cladding // Materials Research Express. 2025, vol. 12, p. 026508. doi.org/10.1088/2053-1591/adb380.
2. Yang Z.Q., Kuo H.M., Chiang H.C. et al. Enhanced wear resistance of low carbon steel by depositing iron-chromium alloy coating using high-power laser cladding // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2025, vol. 137, pp. 1133-1147. doi.org/10.1007/s00170-025-15271-x.
3. Бирюков В.П., Миряха А.Н., Горюнов Я.А. Определение механических и триботехнических характеристик покрытий при лазерной широкополосной наплавке сталей // Фотоника. – 2025. – №2. – С. 130-140.

Referece

1. Ping L., Junquan Z., Tianchi Z., Fulong Z., Shuangyu L., Fengde L. Microstructure and properties of spiral gradient coating prepared by laser cladding // Materials Research Express. 2025, vol. 12, p. 026508. doi.org/10.1088/2053-1591/adb380.
2. Yang Z.Q., Kuo H.M., Chiang H.C. et al. Enhanced wear resistance of low carbon steel by depositing iron-chromium alloy coating using high-power laser cladding // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2025, vol. 137, pp. 1133-1147. doi.org/10.1007/s00170-025-15271-x.
3. Biryukov V.P., Miryakha A.N., Goryunov Ya.A. Determination of mechanical and tribotechnical characteristics of coatings in laser broadband surfacing of steels // Photonics. 2025, no. 2, pp. 130-140.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researcher
Горюнов Ярослав Алексеевич – младший научный сотрудник laser-52@yandex.ru	Goryunov Yaroslav Alekseevich – junior researcher

Received 18.04.2025