

2. Грахова Е.В. Анализ факторов рисков инвестиционной деятельности в строительной отрасли Российской Федерации / Е.В. Грахова, И.В. Напольских, Д.В. Напольских // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2018. № 1 (32). С. 88-90.

3. Дмитриева Н.Н., Губкина А.Д. «Умный дом» в современных условиях «умного города» // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2020. № 2(41). С. 51-55.

4. Иванова И.Б. «Цифровой двойник» здания: отличие от BIM- технологий, источники эффективности применения в ЖКХ / И.Б. Иванова, А.Ю.Васильева // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2021. № 2. С.43-49

5. Комраков А.В. Концепция цифрового двойника в управлении жизненным циклом промышленных объектов / А.В. Комраков, А.И. Сухоруков // Научная идея. 2017. №3(3). С. 3-9.

6. Мохначев К.С. Механизмы государственного регулирования инновационной деятельности в России / К.С. Мохначев, Е.С. Мохначева // Фотинские чтения. 2016. № 1 (5). С. 177-184.

УДК 621.793.74

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ШЛИКЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ

канд. техн. наук, доцент **О.В. Дьяченко**, канд. техн. наук, доцент **М.А. Кардаполова**, БНТУ, г. Минск

Резюме – в статье рассмотрены вопросы влияния параметров лазерной обработки на микротвердость и интенсивность изнашивания шликерных покрытий.

Ключевые слова – лазерный переплав, покрытие, шликерное покрытие, легирование, микротвердость, интенсивность изнашивания.

Введение. Поверхностные слои оказывают влияния на физико-механические и эксплуатационные свойства деталей машин. Используя покрытия можно добиться оптимальных свойств поверхностных слоев деталей. Процессы изготовления и ремонта деталей могут быть существенно упрощены с использованием предлагаемого нами способа нанесения на обрабатываемую деталь шликерного покрытия с последующей лазерной обработкой и дополнительным легированием. Лазерный переплав может эффективно повышать микротвердость и устранять пористость и пониженную адгезию покрытия с основой [1 - 3]. Процессы лазерного переплава с дополнительным легированием оказывают существенное влияние на качество соединения между материалом покрытия и материалом основы детали [1 - 3].

Методика Исходные поверхности образцов были подвергнуты дробеструйной обработке, а затем нанесена паста, которая содержала сплав самофлюсующегося порошка ПР-Х4Г2Р4С2Ф [4]. Толщина покрытий поддерживали постоянной, и составила около 0,6 мм, измеряли магнитным толщиномером МТ-40НС. Дополнительное легирование проводили с порошковыми обмазками на основе ТаВ, МоВ и В₄С как по отдельности, так и в составе смесей [4]. После нанесения порошковых слоев, образцы переплавляли с помощью лазерного луча. Для лазерного переплава и легирования использовали непрерывный СО₂-лазер ЛГН-702, с различными параметрами [4]. Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 50 Н. Экспериментальные исследования, касающиеся интенсивности изнашивания, проводили на машине трения МТ-1, используя нагрузки на образцы равные 30, 50 и 70 Н. Исследования покрытий на износостойкость проводили на машине трения, предназначенной для ускорения сравнительных испытаний (рисунок 1). Абразивный диск 1, изготовленный из закаленной стали 45 Ø50 мм и толщиной 2 мм, фиксировали на вертикально расположенной оси. Исследуемый образец 2 поворачивали торцом к диску 1.

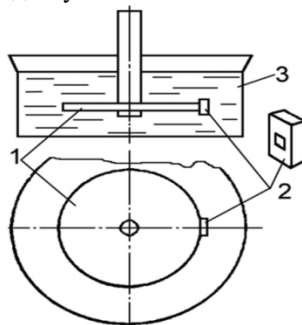


Рисунок 1 – Схема для исследований износостойкости шликерных покрытий.

Для анализа многокомпонентных смесей использовали специальные симплексные планы Шеффе [5 - 7]. Разные полиномы могут использоваться для описания смешанных эффектов, таких как квадратичный канонический многочлен для общей кривизны, кубический канонический многочлен для асимметричной

кривизны третьего порядка, специальный кубический канонический полином для кривизны третьего порядка. Графические изображения некоторых планов показаны на рисунке 2.

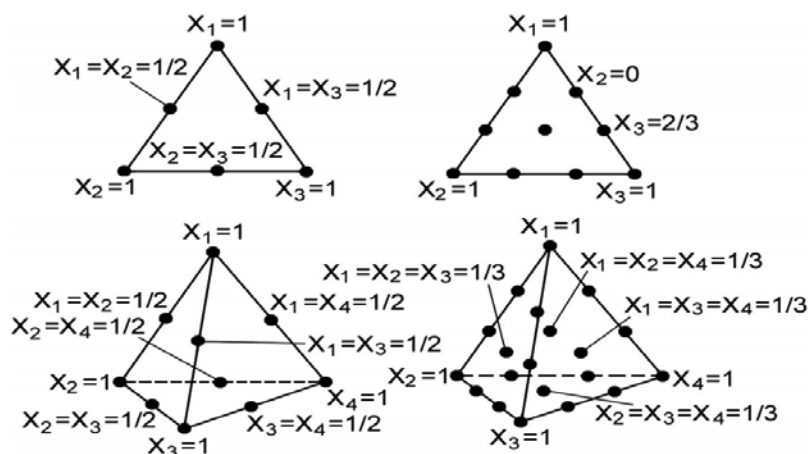


Рисунок 2 – Некоторые $\{2, m\}$, $\{3, m\}$ и $\{4, m\}$ симплекс-решетчатые планы.

Для анализа микротвердости и скорости износа, в данном исследовании использовали формулу кубического полинома Шеффе. Матрица планирования приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица планирования для определения микротвердости и интенсивности изнашивания шликерных покрытий

№	В ₄ С (X ₁)	ТаВ (X ₂)	МоВ (X ₃)
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1/3	2/3	0
5	1/3	0	2/3
6	0	1/3	2/3
7	2/3	1/3	0
8	2/3	0	1/3
9	0	2/3	1/3
10	1/3	1/3	1/3

Математическая обработка результатов и их графическая интерпретация выполняли с использованием программного обеспечения Statistica 12.

Результаты и обсуждение.

С ростом скорости лазерного пятна микротвердость шликерного покрытия, оплавленного лазерным лучом, увеличилась на 10% (рисунок 3).

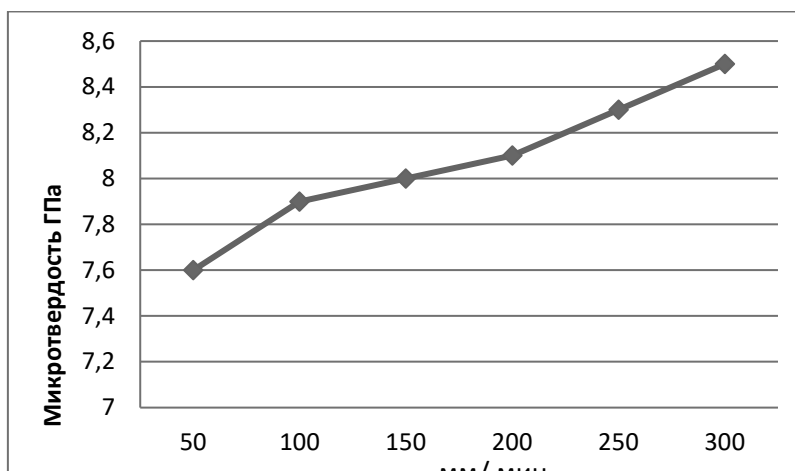


Рисунок 3 – Зависимость микротвердости от скорости лазерного переплава в шликерных покрытиях без легирования.

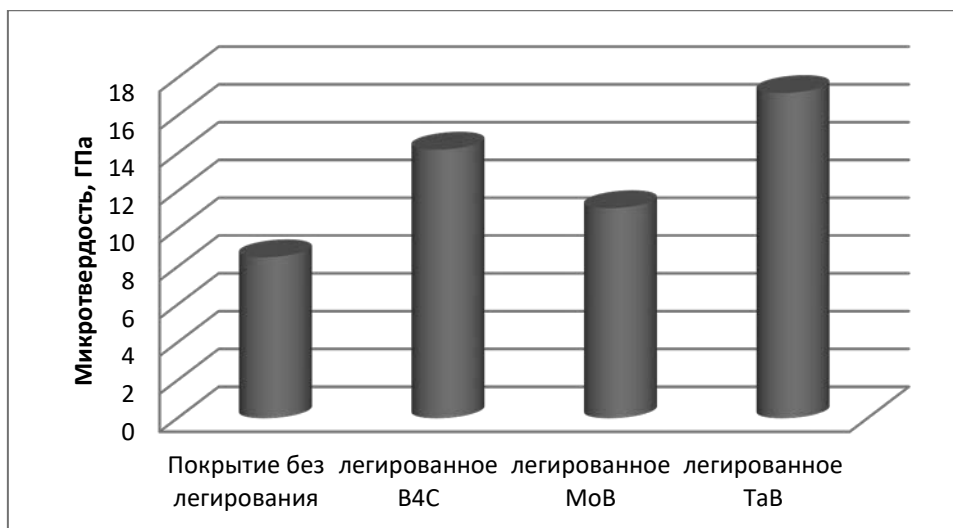


Рисунок 4 – Микротвердость шликерных покрытий в зависимости от наличия легирующих добавок

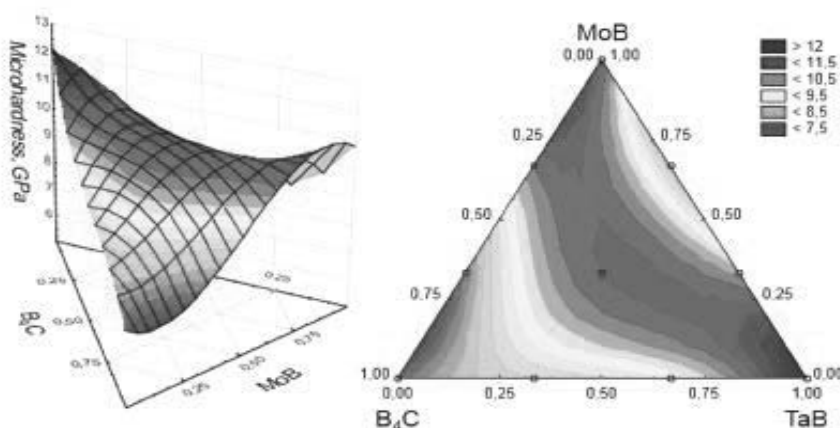


Рисунок 5 – Микротвердость шликерного покрытия после многокомпонентного легирования МоВ, ТаВ и В₄С с оплавлением (3D-изображение и проекции)

Введение легирующих веществ в базовые шликерные покрытия повышает их микротвердость (рисунок 4). Наилучшие результаты достигаются в присутствии ТаВ (до 2-х раз), чуть хуже в присутствии В₄С частиц (до 60%), а также легирование МоВ повышает микротвердость на 20%. Несколько иные результаты были получены в случае многокомпонентного легирования шликерных порошковых покрытий (рисунок 5). Наилучшие результаты достигли при легировании ТаВ (увеличение на 60%), несколько худшие результаты в присутствии МоВ или смесей МоВ и ТаВ (увеличение примерно на 40%). Легирование В₄С влияет не значительно на микротвердость получаемого шликерного покрытия. Износ покрытий зависел от параметров лазерной обработки, фазового состава и величины нагрузки на образцы. Данные зависимости рассмотрены в работах [4, 8]. С увеличением скорости сканирования лазерного луча микроструктура покрытий изменяется от равновесной до квазиэвтектической. Если же скорость сканирования снижается, микроструктура изменяется на дендритную. Эта тенденция справедлива для всех легированных покрытий. Легируя шликерные покрытия ТаВ и МоВ, получаем дополнительные химические реакции и фазовые изменения в их составе. При тех же параметрах лазерной обработки В₄С практически не оказывает воздействия на фазовый состав покрытий. Малые диаметры и низкая скорость сканирования приводит к наилучшим результатам – формированию равновесной твердой структуры [4, 8]. Используя данные из таблицы 1, составили многокомпонентные смеси, содержащие различное количество МоВ, ТаВ и В₄С и нанесли на шликерное покрытие. После лазерного переплава измерили микротвердость и интенсивность их изнашивания. Получены уравнения регрессии (таблица 2). Определили самый износостойкий состав обмазки для лазерного легирования шликерного покрытия, содержащий 2/3 В₄С и 1/3 ТаВ.

Таблица 2 – Уравнения регрессии для шликерных покрытий легированных составом TaB+MoB+B₄C.

Нагрузка, Н	Уравнения регрессии	Интенсивность изнашивания
30	$Y_3 = 0,41X_1 + 0,52X_2 + 0,38X_3 + 0,135X_1X_2 + 0,27X_1X_3 - 0,023X_2X_3 - 1,85X_1X_2(X_1 - X_2) + 0,405X_1X_3(X_1 - X_3) - 2,003X_2X_3(X_2 - X_3) + 11,7X_1X_2X_3$	0,337
50	$Y_5 = 0,44X_1 + 0,56X_2 + 0,6X_3 + 0,473X_1X_2 + 0,405X_1X_3 + 0,225X_2X_3 - 0,877X_1X_2(X_1 - X_2) - 0,18X_1X_3(X_1 - X_3) + 0,36X_2X_3(X_2 - X_3) + 10,17X_1X_2X_3$	0,518
70	$Y_7 = 0,87X_1 + 0,92X_2 + 0,64X_3 - 0,99X_1X_2 - 0,0675X_1X_3 + 0,045X_2X_3 - 0,36X_1X_2(X_1 - X_2) + 0,158X_1X_3(X_1 - X_3) - 0,63X_2X_3(X_2 - X_3) + 11,88X_1X_2X_3$	0,64
Микротвердость, ГПа	$Y = H_{\mu} = 12,14X_1 + 9,67X_2 + 8,04X_3 - 0,3X_1X_2 + 1,8X_1X_3 + 0,54X_2X_3$	H _μ max = 12,14

Анализируя данные, представленные в таблице 1, можно увидеть следующую зависимость, показывающую, что интенсивность изнашивания зависит от параметров лазерной обработки, и, увеличивая нагрузку на образец, можно добиться ее возрастания.

Заключение. Оптимальным составом, обеспечивающим минимальную интенсивность изнашивания шликерных покрытий, является состав, включающий в себя 2/3 B₄C и 1/3 TaB. Твердость и интенсивность изнашивания шликерных покрытий после лазерного легирования не строго коррелируют между собой. Упрочнение покрытий происходит за счет упрочнения матрицы, а также роста количества карбидо-боридной фазы. Лазерное оплавление с дополнительным легированием шликерных порошковых покрытий уменьшает их износ, повышая тем самым срок службы изготовленных и восстановленных деталей. Лазерное оплавление с дополнительным легированием шликерных порошковых покрытий уменьшает их износ, повышая тем самым срок службы изготовленных и восстановленных деталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Yilbas B.S., Patel F., Karatas C. (2013): *Laser controlled melting of HSLA steel surface with presence of B₄C particles.* - Appl. Surf. Sci. - vol.282, pp.601-606.
2. P. Fauchais, A. Vardelle, in: H.S. Jazi (Ed.), *Advanced Plasma Spray Applications*, In Tech, Rijeka 2012, pp. 3–38.
3. C.T. Kwok (Ed.), *Laser surface modification of alloys for erosion and corrosion resistance*, Wood head Publishing Ltd, Cambridge, 2012
4. Feldshtein E.E., Kardapolava M.A. and Dyachenko O.V. (2015): *Microstructure and phase composition of Fe- based self-fluxing alloy coatings formed by laser remelting and superficially modified by laser alloying with B₄C particulates.* - Kovove Materialy = Metal. Mater. - vol.53, No.3, pp. 155-159.
5. Kang, J-J., Wang, C-B., Wang, H-D., Xu, B-S., Liu, J-J. and Li, G-L. (2010) ‘*Microstructure and tribological properties of composite FeCrBSi/FeS layer*’, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J: Journal of Engineering Tribology*, Vol. 224, No. 8, pp. 807–813.
6. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учебное пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюрков / Под ред. А.Г. Григорьянца–М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2006.– 664 с.
7. J.A. Cornell, *Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data*, Third Ed John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002.
8. Feldshtein E.E., Kardapolava M.A. and Dyachenko O.V. (2015) *Structure, phases and tribological behaviour of Fe-based self-fluxing alloy coatings formed by plasma spraying and follow-up flame and laser remelting* - *Int. J. Surface Science and Engineering*, Vol. 9, No. 5, 2015, pp. 395 – 406.

УДК 662.668

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ 3D-ПЕЧАТЬЮ ИЗ ABS

канд. техн. наук, доцент **А. И. Ермаков**, магистрант **Е. В. Гасперович**, **В. А. Ермакова**, ФММП БНТУ, г. Минск; канд. техн. наук **В. М. Поздняков**, ФПБ, г. Минск, доктор техн. наук **А. В. Иванов**, ООО «ARTELELECTRONICS», Республика Узбекистан, г.Ташкент

Резюме – характерной чертой современного машиностроительного производства является нацеленность на снижение металлоемкости изделий, путем замены дорогостоящих металлов и сплавов на пластики [1, 2]. При этом в ходе проектирования и разработки стремятся не только снизить стоимость и массу изделий, но и сохранить или повысить их надежность и долговечность. В тоже время в промышленности возрастает интерес к внедрению безотходных технологий, таких как 3d-печать [3-5]. Одними из наиболее распространенных пластиков для 3d-печати являются ABS и PLA. К основному недостатку изделий из PLA необходимо отнести резкое снижение прочности, сопровождающееся пластическими деформациями, при нагревании выше 50°C [6, 7]. Изделия из ABS такого недостатка не имеют, что делает их более перспективными для практического использования в промышленной сфере [8, 9]. В работе приведены данные о влиянии коэффициента заполнения образцов, в пределах варьирования от 10 до 40%, и температуры сопла, в пределах варьирования от 210 до 240°C на условный предел текучести $\sigma_{рту}$, МПа.