

Шмыков С.Н., кандидат экономических наук, доцент;

Ипатов А.Г., кандидат технических наук, доцент;

Малинин А.В., аспирант

*ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет»,
г. Ижевск, Российская Федерация*

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ КЕРАМИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ АЛМАЗНЫМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ

Аннотация. В работе рассмотрена технология наращивания восстановительного покрытия, заключающаяся в формировании тонкого восстановительного покрытия методом короткоимпульсного лазерного оплавления керамической композиции на основе карбонитрида бора с последующим алмазным выглаживанием. Описана технология формирования покрытия и результаты исследований покрытия после алмазного выглаживания.

Abstract. The paper considers the technology of building up a restorative coating, which consists in forming a thin restorative coating by the method of short-pulse laser melting of a ceramic composition based on boron carbide with subsequent diamond smoothing. The technology of coating formation and the results of research of the coating after diamond smoothing are described.

Ключевые слова: Восстановительное покрытие, высокоскоростная лазерная наплавка, керамическая композиция, алмазное выглаживание.

Keywords: Restorative coating, high-speed laser surfacing, ceramic composition, diamond smoothing.

Введение. Восстановление изношенных деталей машин сопряжено с обеспечением требуемого ресурса изделия, которое невозможно без дополнительных технологических операций по упрочнению восстановительного слоя. Поэтому в современном ремонтном производстве широкое применение находят комбинированные технологии восстановления, которые подразумевают синтез восстановительного слоя методами наплавки с последующим упрочнением наплавленного слоя различными методами [1-3]. Комбинированные технологии восстановления несомненно имеют высокую актуальность в виду отсутствия в ремонтном производстве технологических процессов наращивания восстановительных покрытий с высокими физико-механическими свойствами [4,5]. В работе [6] представлена технология восстановления изношенных деталей машин высокоскоростной лазерной наплавкой керамических материалов. В работах отмечается высокая износостойкость, задиростойкость восстановительных керамических покрытий. При этом отмечается, что формируемые покрытия имеют сложности в финишной обработке, поскольку обладают высокой твердостью по-

верхности. В данной работе предлагается использовать технологию алмазного выравнивания восстановительных керамических покрытий. Использование алмазного выравнивания позволяет обеспечить высокую чистоту, точность поверхности и формирует упрочненный слой за счет наклепа.

Материалы и методика исследований. Комбинированная технология нанесения восстановительного керамического слоя состоит из следующих последовательных операций (табл.1).

Таблица 1 – Маршрутная карта технологии комбинированной наплавки керамического восстановительного слоя

№ операции	Наименование операции	Оборудование, приспособление, инструмент
005	Моечная	Раствор «Лабомид 315»
010	Дефектовочная	Микрометром МК Н25 ГОСТ 6507-90, профилометра TIME TR200, призмы I-1-1 ГОСТ 5641-66, индикатор ИЧ02 кл. 0 ГОСТ 577-68
015	Механическая (шлифовальная)	Станок круглошлифовальный 3У131, круг 1 450х10х305 15А 32 С2 7 К 35м/с АА 1 кл. ГОСТ 2424-83
020	Слесарная (подготовительная)	Шаровая планетарная мельница АГО-2С, порошки карбида бора В ₄ С марки F5, нитрида бора гексагонального BN марки А, оксида магния MgO марки ОСЧ 11-2 и оксида лития LiO марки ХС, весы ВЛЭ 1023С1
025	Наплавочная (лазерная наплавка)	Иттербиевый волоконный лазер, защитная камера (цеховая), приводной электродвигатель, порошковый присадочный материал, 5% раствор канифоли в спирте
030	Механическая (алмазное выравнивание)	Станок токарно-винторезный 95ТВ, алмазный выравнивающий инструмент 1419–0104, масло индустриальное И40, опорный ролик (специальный)
035	Контрольная	Микрометром МК Н25 ГОСТ 6507-90, профилометра TIME TR200, призмы I-1-1 ГОСТ 5641-66, индикатор ИЧ02 кл. 0 ГОСТ 577-68

Подробная технология нанесения восстановительного керамического покрытия методом высокоскоростного лазерного синтеза описана в работе [7,8] и представлена на рисунке 1. Высокоскоростной лазерный синтез восстановительного керамического покрытия осуществляется с использованием короткоимпульсного лазерного генератора.

Восстанавливаемое изделие помещается в защитную камеру 3, которая на $\frac{3}{4}$ заполнена жидкой порошковой суспензией. Вращением шагового электродвигателя 8 на поверхности восстанавливаемого изделия при помощи валика 5 наносится тонкий слой порошкового керамического по-

крытия. После нанесения порошкового керамического покрытия на поверхности изделия включается подача аргона и осуществляется наплавка керамического восстановительного покрытия. Толщина керамического покрытия колеблется от 0,15 до 0,5 мм в зависимости от количества слоев.

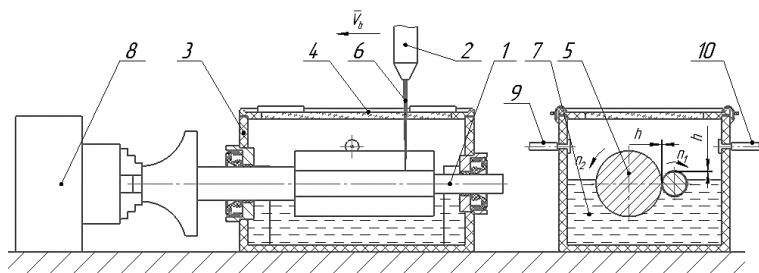


Рисунок 1 – Схема синтеза восстановительного покрытия (на примере вала ТКР)

- 1 – восстанавливаемое изделие, 2 – лазерный излучатель,
3 – камера для защиты от окисления, 4 – кварцевое стекло, 5 – валик выравнивающий, 6 – лазерное излучение, 7 – порошковая керамическая суспензия,
8 – шаговый электродвигатели для привода восстанавливаемого изделия;
9 – канал для подачи аргона; 10 – канал выхлопа.

С целью достижения необходимых параметров шероховатости и чистоты поверхности восстановительное керамическое покрытие подвергается алмазному выглаживанию по схеме, представленной на рис.2.

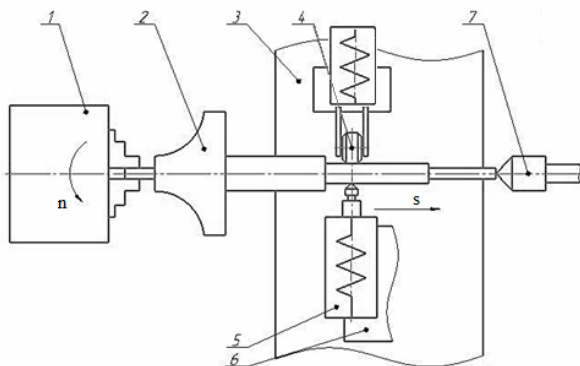


Рисунок 2 – Схема алмазного выглаживания(на примере вала ТКР):

- n – вращение изделия; s – продольное перемещение алмазного выглаживателя;
1 – шпиндель станка; 2 – восстанавливаемое изделие; 3 – суппорт станка;
4 – поддерживающий ролик; 5 – пружинный алмазный выглаживатель;
6 – резцедержатель суппорта; 7 – центра

Алмазное выглаживание осуществляется на токарном станке с использованием разработанного на кафедре «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ пружинного алмазного выглаживателя. Выглаживание осуществляется с большим усилием нагружения на алмазный наконечник, поэтому при выглаживании предусмотрен поддерживающий ролик, предупреждающий от изгиба вала. Скорость алмазного выглаживания составляет 20 м/мин, при продольной подаче выглаживателя 0,05 мм/об. В качестве инструмента использовали алмазный наконечник с радиусом сферы 3,5 мм.

Результаты исследований. У исследуемого керамического слоя после алмазного выглаживания трещин и отслоений не наблюдается (состояние поверхности выглаженного слоя получено при помощи оптического инвертируемого микроскопа Olympus-53X) (рис. 3). Поверхность ровная без видимых дефектов, шаржирование поверхности от алмазного наконечника не наблюдается. Трещин на поверхности от напряжений деформаций также не обнаружены. Наблюдаются небольшие вмятины (глубиной не более 10-15 мкм) вызванные дефектом поверхности восстанавливаемого изделия. Шероховатость поверхности после алмазного выглаживания составляет Ra 0,16, при исходной шероховатости поверхности Ra 3,2.

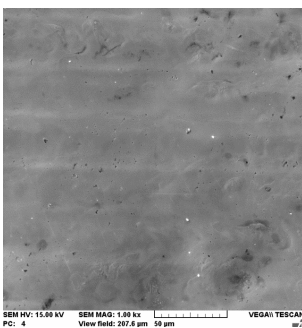


Рисунок 3 – Керамическое восстановительное покрытие после алмазного выглаживания

Основная задача алмазного выглаживания сводилась к формированию упрочнённого слоя. Поэтому нами была исследована микротвердость исследуемого образца по глубине от поверхности сферы при помощи микротвердомера ПМТ – 3М (рис. 4).

Исходная микротвердость восстанавливаемого изделия составила 2,62 ГПа. После алмазного выглаживания микротвердость поверхности керамического покрытия составила 21 ГПа, при микротвердости керамического восстановительного покрытия без алмазного выглаживания 5,5-7,2 ГПа. Повышение микротвердости поверхности составляет более чем в

3,3 раза. Эффективная глубина наклепанного слоя составляет 20 мкм, после которого микротвердость соответствует исходной микротвердости керамического слоя.

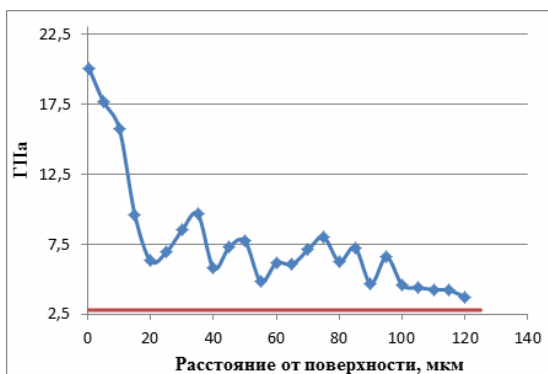


Рисунок 4 – Изменение микротвердости по глубине упрочненного слоя (красной линией представлена величина микротвердости восстанавливаемого изделия)

Выводы. Представленные в работе результаты исследований комбинированной технологии нанесения керамического восстановительного покрытия показали возможность получения восстановительных покрытий с упрочненной поверхностью и низкой шероховатостью. Шероховатость поверхности после алмазного выглаживания составляет $Ra\ 0,16$ при микротвердости поверхности в 21 ГПа, что более чем в 3 раза превышает микротвердость керамического покрытия без алмазного выглаживания. Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке технологических процессов восстановления изношенных деталей машин, а также использованы при дальнейших научных исследованиях.

Список использованной литературы

1. Выбор состава наплавленного слоя в комбинированной технологии восстановления и упрочнения почвообрабатывающего инструмента / С. С. Самотугин, В. В. Буцукин, А. Г. Казак [и др.] // Сварочное производство. – 2024. – № 3. – С. 43-49. – EDN KWWXUN.
2. Коломейченко, А. В. Комбинированная технология восстановления и упрочнения втулок шестеренных гидромоторов с использованием газодинамического напыления / А. В. Коломейченко, В. Н. Логачев, Н. В. Титов // Технический сервис машин. – 2022. – № 4(149). – С. 68-77. – DOI 10.22314/2618-8287-2022-60-4-68-77. – EDN KGTYP.
3. Коломейченко, А. В. Комбинированные способы восстановления и упрочнения деталей машин с использованием МДО-покрытий / А. В. Коломейченко, В. Н. Логачев, Н. В. Титов // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 115. – С. 150–157. – EDN QNRVSH.

4. Лялякин, В. П. Восстановление и упрочнение деталей машин в агропромышленном комплексе России и Белоруссии / В. П. Лялякин, В. П. Иванов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2004. – № 2. – С. 2-7. – EDN QVGREO.

5. Восстановление деталей машин: состояние и перспективы / В. И. Черноиванов, И. Г. Голубев; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Федер. гос. науч. учреждение «Рос. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исслед. по инж.-техн. обеспечению агропром. комплекса» (ФГНУ «Росинформагротех»). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010.

6. Ипатов, А. Г. Упрочнение и восстановление короткоимпульсной лазерной наплавкой деталей керамическими материалами / А. Г. Ипатов // Сельский механизатор. – 2025. – № 10. – С. 27-29. – DOI 10.47336/0131-7393-2025-10-27-28-29. – EDN NLESEN.

7. Физико-механические свойства керамических покрытий, получаемых короткоимпульсной лазерной наплавкой порошковой смеси на основе бора / А. Г. Ипатов, М. Н. Ерохин, С. П. Казанцев [и др.] // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 71-76.

8. Kharanzhevskiy, E.V., Ipatov, A.G., Makarov, A.V. et al. Towards eliminating friction and wear in plain bearings operating without lubrication. Sci Rep 13, 17362 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44702-6>

УДК 631.353.722

Василевский П.Н.¹, старший преподаватель;

Бондаренко А.Д.², студент

¹ *Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь*

² *Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РОТОРНЫХ КОСИЛОК МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Аннотация. В работе рассмотрены методы повышения эксплуатационного ресурса режущих элементов роторных косилок, функционирующих в условиях интенсивного абразивного и ударного изнашивания. Основное внимание уделено нитроцементации с последующей закалкой и низким отпускком, обеспечивающей формирование упрочненного диффузионного слоя с повышенной микротвердостью. Показано, что применение поверхностного упрочнения позволяет увеличить износостойкость ножей, улучшить стабильность режущих свойств и повысить срок службы сменных деталей. Отмечена перспективность электроискрового легирования и лазерной модификации поверхности.

Abstract. This paper examines methods for increasing the service life of rotary mower cutting elements operating under conditions of intense abrasive and impact wear. Primary attention is paid to nitrocarburizing followed by hardening and low-temperature tempering, which ensures the formation of a hardened diffusion layer with increased