

УДК 621.793

## ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЕ НАПЫЛЕНИЕ КАК МЕТОД ВОСТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ КАРЬЕРНОЙ ТЕХНИКИ

**Комаров Д.С., Трезер И.А.,  
Комаров А.С., студент гр. ИИБ-241.2, II курс**  
Научный руководитель: **Кузин Е. Г.**, к.т.н., доцент  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске  
г. Прокопьевск

**Аннотация.** Одним из перспективных направлений решения по поддержанию механизмов и узлов горнодобывающей техники в исправном состоянии является метод газотермического напыления. В процессе напыления частицы напыляемого материала ускоряются в потоке горячего газа (аргона или азота) и при соударении с обрабатываемой поверхностью образуют устойчивое покрытие. Метод газотермического напыления может применяться для создания защитных покрытий от износа, воздействия высоких температур, коррозии и окисления. В работе рассмотрены типичные причины износа деталей, проведено сравнение наиболее распространенных способов их восстановления. Сделан вывод о технологической целесообразности использования газотермического напыления.

**Ключевые слова:** газотермическое напыление, восстановление деталей, упрочнение поверхностей, эффективность восстановления, карьерная техника.

**Abstract.** One of the promising solutions for maintaining the mechanisms and components of mining equipment in good condition is the method of gas thermal spraying. During spraying, the particles of the sprayed material are accelerated in a stream of hot gas (argon or nitrogen) and form a stable coating upon impact with the treated surface. The gas thermal spraying method can be used to create protective coatings against wear, high temperatures, corrosion and oxidation. The paper examines the typical causes of wear of parts, and compares the most common ways to restore them. The conclusion is made about the technological feasibility of using gas thermal spraying.

**Keywords:** gas-thermal spraying, part restoration, surface hardening, restoration efficiency, and mining equipment.

Процесс ведения выемочно-погрузочных работ на добывающих предприятиях Кемеровской области сопряжен с высокой интенсивностью работ и ведется в несколько смен. Это требует от техники высокой надежности и простоты технического обслуживания и ремонта.

На разрезах Кемеровской области работы осуществляются импортным и отечественным оборудованием. В работе [2] авторы рассмотрели

характеристики экскаваторно-автомобильных комплексов, используемых на разрезах Кузбасса. Так, на предприятиях АО «УК «Кузбассразрезуголь» задействовано:

- 66 экскаваторов отечественного производства (ЭКГ-10, ЭКГ-12, ЭКГ-15, ЭКГ-18, ЭКГ-32);
- 31 экскаватор зарубежного производства (Liebherr R994, Liebherr R9350, Terex RH90C, Terex RH120, Komatsu PC5500, P&H-2800, P&H-4100, WK-35 и другие);
- транспортировка вскрыши производится в основном карьерными самосвалами БелАЗ. Количество БелАЗ-7513 -122 машины, БелАЗ-7530 -242 машины [2].

Применение большого и разнообразного парка спецтехники при добыче полезных ископаемых создает постоянный спрос на восстановление деталей и механизмов.

Процесс изнашивания деталей сопровождается сложными физико-техническими явлениями и разнообразными влияющими на него факторами. Процесс происходит неравномерно, в зависимости от качества материалов и поверхностей сопряженных деталей, свойств контактов, режимов работы механизмов и узлов, качества смазывающих материалов, концентрации загрязнений и абразивных частиц. Основным видом износа является механическое изнашивание [3], включающее в себя абразивный и усталостный износ.

Одной из значимых причин отказов карьерной техники является неисправность коленчатого вала. Коленчатый вал работает в условиях периодических нагрузок от сил давления газов, сил и моментов инерции, которые в совокупности создают большие скручивающие и изгибающие моменты, скручивающие продольные колебания вала, создающие дополнительные напряжения.

Шейки валов являются важными элементами, обеспечивающими посадку подшипников и передачу вращательного движения в машинах и механизмах. Коренные и шатунные шейки, галтели подвергаются контактному изнашиванию, при этом шатунные шейки в поперечнике приобретают эллипсность, а по длине, вдоль оси вала-эллипсность. Коренные шейки, в основном, по длине изнашиваются равномерно, а в сечении приобретают овал.

На шейках валов могут наблюдаться задиры, которые, как правило возникают при масляном «голодании» при работе коренных и шатунных подшипников коленчатого вала. Причиной служит недостаточное количество имеющегося в системе моторного масла, засорение масляных каналов и, как следствие, непоступление масла в трущиеся узлы и поверхности. Износ коленчатого вала представлен на рисунке 1.

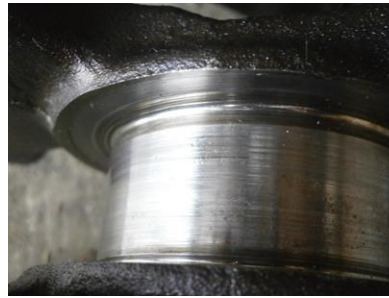


Рисунок 1- Износ коленчатого вала

В таблице 1 приведены типичные причинами износа шеек валов.

Таблица 1 — Типичные причины износа валов

| Наименование износа | Описание                                                                                   |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Абразивный          | Возникает в процессе попадания в зону контакта шейки с подшипником твердых частиц          |
| Фреттинг-коррозия   | Возникает в процессе малых перемещений сопряженных поверхностей                            |
| Адгезионный         | Развивается в результате смазочного голодания и высоких контактных давлений                |
| Коррозионный        | Следствие воздействия агрессивных сред, попадание влаги                                    |
| Усталостный         | Возникает в результате циклических нагрузок                                                |
| Деформационный      | Развивается в результате перегрузок или неправильной установки элементов вала, подшипников |

Изношенная или неисправная деталь должна быть восстановлена с минимальными затратами ресурсов при обеспечении максимального срока службы после ремонта.

В таблице 2 приведены наиболее распространенные способы восстановления работоспособности деталей.

Таблица 2 — Наиболее распространенные способы восстановления работоспособности деталей

| Преимущества                                                                                                                                                                                                | Недостатки                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Электролитическое хромирование                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                    |
| Твердость покрытия (до 65-70 HRC), высокая износостойкость и точность размеров, устойчивость к коррозии, низкий коэффициент трения, возможность нанесения слоев от 0,01 мм. Срок выполнения работ до 5 дней | Ограничение толщины наносимого слоя, токсичность производства, высокая вероятность расслоения толстых слоев, длительность процесса |

| Лазерная наплавка                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Небольшое термическое воздействие, высокая адгезия наплавленного слоя, отсутствие пористости, возможность влияния на свойства нанесенного материала, точность нанесения, минимальная обработка после нанесения. Срок выполнения работ до 6-7 дней                          | Ограничения по наплавленным материалам, невозможность нанесения тонкого покрытия, узконаправленный метод, сложность работ с зеркалирующими поверхностями, низкая производительность                                       |
| Ремонтные втулки                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |
| Восстановление при сильных износах, скорость ремонта, простота технологии, невысокая требовательность к используемым материалам и оборудованию. Срок выполнения работ до 2-3 дней                                                                                          | Снижение прочности конструкции, риск ослабления посадки, необходимость учета теплового расширения применяемых материалов, недолговечность ремонтного узла, сложность в соблюдении геометрии и параметров ремонтных втулок |
| Наплавка с последующей механической обработкой                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                           |
| Возможность восстановления значительного износа до 10 мм и более, хорошая адгезия, большой выбор наплавленных материалов. Срок выполнения работ до 5-6 дней                                                                                                                | Нагрев и деформация детали в процессе наплавления, возможность образования трещин, высокая трудоемкость контроля наплавки и последующей обработки                                                                         |
| Газотермическое напыление                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                           |
| Большой диапазон напыляемого слоя толщиной 0,1-12 мм и более, широкий спектр наплавленных материалов, минимальный нагрев детали в процессе напыления, универсальность процесса, повышение прочности изделия, высокая производительность. Срок выполнения работ до 3-4 дней | Пористость покрытия (детонационное 1-2 %, дуговая металлизация 2-10 %, HVOF 1-2 %), необходимость предварительной подготовки поверхности перед нанесением, многоэтапный процесс                                           |

Из таблицы 2 видно, что применяемые методы восстановления деталей имеют ряд существенных недостатков: нагрев обрабатываемого изделия в процессе обработки; изменение сходных механических свойств обрабатываемого металла; ограничение на повторное восстановление при наплавке и установке втулок; риск изменения геометрических размеров детали после ремонта.

Метод газотермического напыления (ГТН) не имеет вышеуказанных недостатков. При ГТН напыляемый материал разогревается до пластичного или расплавленного состояния и наносится методом напыления (наплавления)

на подготовленную поверхность. Процесс ГТН представляет собой нагрев и ускорение распыляемого материала, перенос его на подготовленную поверхность с помощью напыления или наплавления. Процесс переноса происходит в среде транспортирующего газа или плазмы при соударении частиц наплаваемого материала с обрабатываемой поверхностью, на которой формируется покрытие. Покрытие формируется путем наложения отдельных слоев.

На свойства формируемого покрытия влияют:

- качество обработки подготовленной поверхности;
- характеристики распыляющего устройства и состав струи газа;
- расстояние от распыляющего устройства до обрабатываемой поверхности;
- скорость, температура, траектория движения расплавленных частиц;
- взаимодействие напыляемых частиц с обрабатываемой поверхностью.

Эти и другие исходные параметры образуют технологию нанесения покрытия.

Газотермическое напыление – современный эффективный способ восстановления карьерной техники, обеспечивающий высокое качество работ при ремонте. При этом адгезионная прочность сцепления покрытия с основой составляет (HVOF, HVOF) более 70 МПа. Основные сдерживающие факторы широкого применения газотермического напыления в горнодобывающей отрасли – высокая стоимость комплекса оборудования, преобладание традиционных подходов в практике ремонта, недостаточная информированность потребителей о преимуществах метода.

Таким образом, поломка карьерной техники приводит к простоям оборудования и значительным финансовым затратам. Наиболее перспективным направлением восстановления шеек валов является газотермическое напыление (ГТН). Перспективность использования метода газотермического напыления заключается в его технологичности, эффективности и многофункциональности. Данный способ является хорошей альтернативой традиционным методам.

### Список литературы:

1. Анализ свойств газотермических покрытий: [учеб. пособие]: в 2 ч. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. Ч. 1: Основные методы и материалы газотермического напыления /Ю. С. Коробов, В. И. Панов, Н. М. Разиков. – 80 с. URL: <https://goo.su/RC0Cik> (дата обращения 04.02.2026). - Текст: электронный.

2. Воронов, Ю.Е., Воронов, А.Ю., Ожогин, Р.В., Карин, А.В. Характеристика экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса // Сборник материалов XII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева». — Кемерово: КузГТУ, 2020. – ISBN 978-5-00137-141-0. URL: [clck.ru/3SqFEx](http://clck.ru/3SqFEx) (дата обращения 04.02.2026). - Текст: электронный.

3. Молодык, Н.В., Зенкин, А.С. Восстановление деталей машин: справочник // – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с. URL: <https://goo.su/bwQAr> (дата обращения 04.02.2026). - Текст: электронный.

4. Пантелеенко, Ф.И., Лялякин, В.П., Иванов, В.П., Константинов, В.М. Восстановление деталей машин: Справочник – М.: Машиностроение, 2003 – 672 с. URL: <https://goo.su/Oysj2fa> (дата обращения 04.02.2026). - Текст: электронный.