

УДК 621.791

**Л. Х. Балдаев**, д.т.н., **С. Л. Балдаев**, к.т.н., **С. А. Маньковский**, к.т.н.,  
ООО «Технологические системы защитных покрытий», г. Щербинка

E-mail: [sman05@list.ru](mailto:sman05@list.ru)

## **Повышение эксплуатационных характеристик горного оборудования путем нанесения защитных покрытий газотермическими методами**

*В статье приведены основные проблемы износа и низкого срока эксплуатации деталей оборудования горнодобывающей отрасли и актуальность их решения. Показаны пути решения данной проблемы с помощью методов газотермического напыления (ГТН). Рассмотрены и проанализированы современные технологии и материалы, применяемые наряду с методами ГТН для создания защитных покрытий от абразивного износа рабочих поверхностей горной техники. Показаны преимущества ГТН по сравнению с другими способами при упрочнении и восстановлении деталей горной техники. Представлен опыт решения проблем и результат работы по упрочнению и восстановлению деталей горнодобывающей отрасли специалистами ООО «Технологические системы защитных покрытий».*

**Ключевые слова:** горное оборудование, защитные покрытия, напыление, наплавка, газотермические методы, абразивный износ.

**L. Kh. Baldaev, S. L. Baldaev, S. A. Mankovsky**

## **Improving the performance of mining equipment by using thermal spray methods by protective coatings**

*The article presents the main problems of wear and low-life parts of the equipment mining industry and the relevance of their decisions. Show the ways of solving this problem by using thermal spraying methods (TSM). Review and assess the latest technology and materials used, along with TSM for protective coating on the abrasive wear of working surfaces of mining equipment. The advantages of TSM compared with other methods for hardening and recovery of mining equipment parts. The experience and results with certain enterprises for strengthening and rehabilitation of mining parts.*

**Keywords:** mining equipment, protective coatings, thermal spraying, welding, thermal spray techniques, abrasion wear.

Как известно в большинстве материалоемких отраслей промышленности, в частности горнодобывающей, большое внимание уделяется увеличению срока службы и восстановлению рабочих поверхностей различных деталей и механизмов. В ряде случаев для увеличения ресурса деталей является целесообразным применение различных способов нанесения защитных и упрочняющих покрытий на

их рабочие поверхности. При этом удается достигнуть значительной экономии дорогостоящих материалов, поскольку деталь выполняется из недорогих материалов, а все необходимые эксплуатационные характеристики обеспечивает защитное покрытие, нанесенное тонким слоем на рабочую поверхность детали.

Горнодобывающее оборудование отрасли эксплуатируется в условиях повышенного абразивного износа в сочетании с давлением, вибрацией, ударами, химической агрессией, результатом чего могут являться не только снижение производительности, потери прибыли, а также к авариям. Примером тому, является интенсивный износ твердыми абразивными частицами участков ковшей экскаваторов и погрузчиков, режущих кромок бульдозеров, шарошечных долот, бурильных головок, деталей узлов дробильно-сортировочных комплексов и т.д.

Увеличение ресурса оборудования, используемого в горнодобывающей и обогащательной отрасли промышленности, является комплексной задачей, зависящей как от используемого материала, так и от способа его нанесения.

Поэтому для решения данной проблемы выбор материала и способа его нанесения для обеспечения защиты от износа, является актуальным.

На практике существуют различные способы решения проблемы износа деталей горного оборудования, но наиболее выгодным и перспективным является нанесение защитных покрытий на рабочих поверхностях методами газотермического напыления.

Наряду с данными методами создания защитных покрытий порошковыми и проволочными материалами, для защиты от абразивного износа большинства рабочих поверхностей горной техники используются различные технологии и широкий класс материалов - легированные стали, белые чугуны, полимеры и др.

Для сравнения рассмотрим традиционно применяемые материалы и технологии упрочнения и восстановления деталей горного оборудования.

Полимерные материалы (резина, полиуретан, эластомер и др.) в основном эффективны в тех случаях, где исключается сухое трение. Поликарбонидные покрытия возможно наносить на внешнюю поверхность агрегатов без остановки производства. Технология напыляемых эластомеров позволяет защищать подвергающиеся износу поверхности различных конфигураций, создавая бесшовный однородный слой высокопрочного покрытия. Для предотвращения износа металла от истирания в горнодобывающей отрасли промышленности, подбираются поликарбонидные покрытия с конкретными свойствами: повышенная твердость, износостойкость, сочетающаяся с высокой ударостойкостью. Эти качества позволяют использовать полимочевину в качестве материала для защиты от воздействия абразивных материалов: руды, угля, гравия, песка и др. [1].

Данный материал нашел свое применение на таких деталях горного оборудования как лотки и транспортеры, кузова самосвалов, ковши экскаваторов, бульдозеров, грейдеров и прочей дорожно-строительной и горнорудной техники и др. (рис. 1).

К недостаткам относятся: высокая себестоимость из-за использования дорогостоящего импортного сырья; обязательное применение дорогостоящего оборудования для нанесения; высокие требования к квалификации рабочих; изменение цветового оттенка в силу недостаточной стойкости к ультрафиолету, умеренная химическая стойкость.



Рис. 1. Полиуретановое покрытие днища вагона думпкара

Использование износостойкой стали позволяет минимизировать простои, реже прибегать к замене узлов и повысить тем самым эффективность производства. Легированные стали (65Г, Хардокс, Г13Л и др.) хорошо противостоят ударам, но ввиду ограниченного содержания в них твердой карбидной фазы (не более 5%) слабо противостоят абразивному воздействию.

Существуют различные варианты применения легированных сталей в деталях и узлах оборудования горнодобывающей отрасли, например изготовление, восстановление, футеровка (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Восстановление (а) и футеровка (б) деталей и узлов с использованием износостойкой стали

Фактический срок службы толстолистовой стали зависит от твердости материала, контактирующего с листом, а также от типа износа.

При работе с горными породами оборудование обычно подвергается изнашивающему воздействию нескольких типов - износ при трении и ударе, часто в сочетании с сильной деформацией. Различные условия износа обычно требуют использования материалов с различным составом и свойствами [2].

Защитные элементы из белого высокохромистого чугуна (ИЧХ28Н2, ИЧХ15М2 и др.) - это недорогое и эффективное решение проблемы износа деталей, как движущихся, так и стационарных. Композитная продукция, состоящая из мягкой углеродистой стали и слоя белого чугуна, в структуре которых содержится до 25% твердых карбидов хрома, с твердостью как минимум 700 НВ обладает высокой износостойкостью. Изнашиваемые части из чугуна выдерживают износ при трении скольжения и умеренный износ при ударе. Стандартное сварочное оборудование и материалы позволяют установить элементы защиты на изнашиваемую поверхность (рис. 3).



**Рис. 3. Защита углового адаптера и боковой поверхности ковша (а) и стойки рыхлителя (б)**

Однако из-за свойственной чугунам хрупкости они малопригодны для ряда машин горной техники или сварного оборудования [3].

Далее рассмотрим примеры традиционных технологий.

Термическая обработка - простая и недорогая технология. Но она дает твердость 55-59 HRC, и при обработке данные показатели являются пределом. А так же при сильном нагреве не избежать коробления деталей.

Показатели газотермического упрочнения поверхности значительно выше - 70-72 HRC. А поскольку нет нагрева, то нет и коробления.

К тому же методы термической обработки применимы только для сталей с особыми свойствами, что для газотермического напыления совершенно не имеет значения.

Гальваническое покрытие хорошо защищает детали от коррозии, удобно своей технологической простотой и возможностью нанесения покрытия на большое количество мелких деталей одновременно. Ограничивающим фактором для применения является размер детали.

При упрочнении деталей методом газотермического напыления получается более твердое покрытие, с более высокой коррозионной стойкостью и адгезией в 2 раза выше, чем при гальваническом покрытии.

С помощью наплавки возможно упрочнение и восстановление геометрии деталей. Технология доступна, относительно недорога и не требует особого оборудования. За счет применения наплавочных электродов (Т-590, Т-620) можно создавать твердые слои, содержащие до 30% карбидной фазы, но для защиты от абразивного износа больших поверхностей ручной метод наплавки весьма трудоемок, к тому же не все стали можно наплавлять. Так как детали машин в горнодобывающей промышленности работают в условиях высокого абразивного износа, они нуждаются в частом восстановлении и защите, а многократное восстановление наплавкой невозможно.

Газотермическое напыление (ГТН) применяется для любых сталей и поверхностей. Методами ГТН возможно многократное восстановление деталей материалами, обладающими очень высокой твердостью. К тому же восстановленная деталь будет обладать высокой износостойкостью, что экономически выгодно [4].

Из анализа возможных способов создания покрытий становится очевидным, что в большинстве случаев уменьшить стоимость, повысить эксплуатационные характеристики, упрочнить поверхность возможно только при помощи методов газотермического напыления [5].

В ООО «ТСЗП» широкое внимание уделяется применению и развитию способов ГТН. В настоящее время разработаны и внедрены в производство технологии создания защитных покрытий на деталях различных отраслей промышленности, в том числе и горнодобывающей отрасли.

При этом используются следующие способы ГТН: плазменное, высокоскоростное, газопламенное, детонационное. Также разрабатываются технологии наплавки: газопорошковой, плазменной, лазерной.

Преимущества ГТН заключаются в относительной простоте реализации процесса нанесения покрытий, минимальной вероятности возникновения трещин и коробления (нагрев поверхности детали в процессе напыления не превышает 150°C, процесс осуществляется с сопутствующим охлаждением), универсальности применения, мобильности, позволяющей наносить покрытия на крупногабаритные, протяженные детали, и обеспечивать возможность напыления покрытий в локальных, труднодоступных местах.

В качестве напыляемых материалов используются промышленно выпускаемые российские и зарубежные аналоги порошковых и

проволочных материалов определенных химических составов и фракций. Из данных материалов можно получить покрытия, обладающие определенными функциональными свойствами и эксплуатационными характеристиками.

В ООО «ТСЗП» разработаны порошковые смеси, обладающие комплексом требуемых свойств, а также ведутся разработки по созданию материалов для получения наноструктурированных покрытий. Например, порошковый материал WC/Co/Cr применяется в сочетании с бронзой, что существенно уменьшает коэффициент трения и снижает износ. Но для условий работы горнодобывающей отрасли целесообразно применение материалов, сочетающих твердость и износостойкость. Одним из таких порошковых материалов является WC/Co/Cr, обладающий следующими характеристиками:

- плотность покрытия не более 1%,
- микротвердость 900...1200 HV,
- прочность сцепления не менее 80 МПа,
- высокая коррозионная стойкость, износостойкость.

Для нанесения данного материала используется один из перспективных способов ГТН - высокоскоростной метод (HVOF).

Метод основан на постоянном горении газа при высоком давлении внутри камеры сгорания, на ось которой подается порошкообразный напыляемый материал. Создаваемое высокое давление в камере сгорания смесью горючего газа (или жидкого топлива) и кислородом обеспечивает в профилированном сопле необходимую высокую скорость газового потока. Благодаря этому напыляемые частицы ускоряются до больших скоростей 600...650 м/с, что ведет к образованию плотных и с высокой адгезией покрытий.

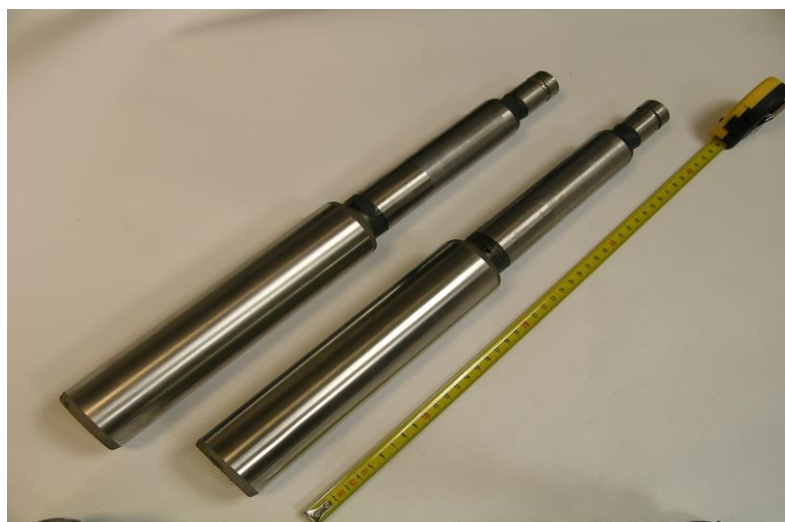
Технология нанесения металлопокрытий складывается из подготовки поверхности, нанесения покрытий и контроля качества [6].

Применительно к деталям горнодобывающей промышленности была отработана технология напыления и выполнен комплекс работ по контролю качества покрытий и металлографические исследования. Результаты исследований подтвердили высокие эксплуатационные характеристики в условиях, характерных для работы данных деталей, что позволило рекомендовать нанесение данного покрытия на поверхности, подверженные абразивному износу.

Также специалистами ООО «ТСЗП» проведена работа по восстановлению изношенных и упрочнению деталей бурового и добывающего оборудования методом высокоскоростного газопламенного напыления для ОАО «Сургутнефтегаз», ВНИИБТ, «Уралмаш-БО», ОАО «Интегра», ООО «Радиус Сервис», ОАО «Волгабурмаш», ООО «Нефтебурсервис».

В ходе работы было произведено газотермическое нанесение

покрытий на обширную номенклатуру деталей, таких как: детали турбобура, ствол и плавающая труба вертлюга, шток выравнивающий гидродомкрата, шток цилиндра подъема мачты, детали гидравлических ударных механизмов, сердечники нелицевые наддолотных амортизаторов, валы насосов, плунжеры насосов, корпус насоса гидромотора, детали телеметрии для горизонтального бурения, промежуточная шестерня, корпус муфты повышенных передач, передний суппорт с главным клапаном и др. (рис. 4).

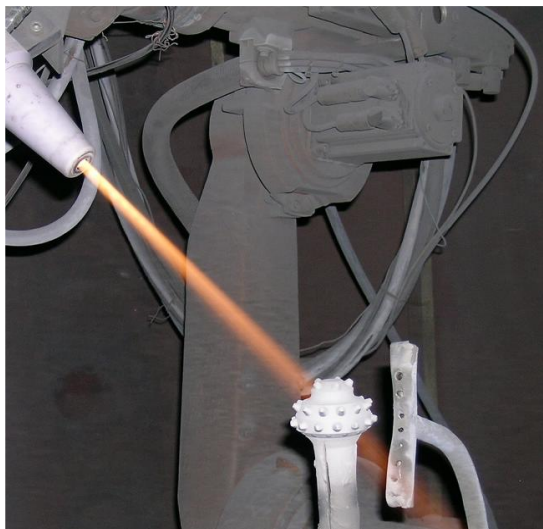


**Рис. 4. Шток гидроцилиндра с защитным твердосплавным покрытием, выполненным высокоскоростным газопламенным напылением**

Проведенные работы по восстановлению и упрочнению деталей бурового и добывающего оборудования методом высокоскоростного газопламенного напыления позволили существенно продлить срок их эксплуатации по сравнению с изделиями без покрытия.

Нанесение защитных покрытий на детали бурового оборудования, в частности матрицу буровой шарошки, выполняется с помощью манипулятора за счет чего исключается влияние человеческого фактора и обеспечивается качество покрытий (рис. 5).

При работе бурового оборудования поверхность буровой шарошки подвержена высокому абразивному износу. Твердосплавные зубья выламываются из материала основы из-за абразивного износа поверхности матрицы. Нанесение покрытия методом высокоскоростного газопламенного напыления позволяют надежно защитить матрицу шарошки от абразивного износа на весь срок службы, продляя ее ресурс до уровня зарубежных аналогов, особенно при проходке сложных пород (рис. 6).



**Рис. 5. Процесс нанесения защитного покрытия с помощью манипулятора на матрицу шарошки путем высокоскоростного напыления**



**Рис. 6. Упрочненные матрицы шарошки путем высокоскоростного напыления порошков твердых сплавов**

Упрочнение матрицы шарошки путем высокоскоростного напыления порошков твердых сплавов позволило предотвратить выпадение твердосплавных зубков из шарошки из-за абразивного износа матрицы, тем самым обеспечило надежную работу бурового инструмента в течение всего заявленного срока службы. При стоимости напыления менее 10% от стоимости готового изделия, средняя продолжительность работы шарошки увеличилась на 20-30%, что позволило производителю вывести шарошки на высоко конкурентный мировой рынок.

Кроме напыления, применяется наплавка зубьев фрезерованных шарошек твердыми сплавами. Применение покрытия на основе карбида вольфрама позволяет увеличить срок службы долота для вращательного бурения и межремонтные циклы бурового оборудования. Даже в мягкой горной среде стальная матрица долот без покрытия быстро изнашивается. Нанесенное методом высокоскоростного газопламенного напыления покрытие на основе карбида вольфрама позволяет предотвратить выпадение алмазных зубьев.

В силу высокой плотности покрытия, нанесенные высокоскоростным газопламенным напылением подлежат шлифованию и полировке до 14 класса чистоты, что позволяет использовать карбид вольфрама для замены гальванического хромирования (рис.7).





а)



б)

**Рис. 7. Шток с напыленным покрытием до шлифования (а), после шлифования (б)**

### **Заключение**

Итак, сжатые сроки, сложные грунты, агрессивные среды требуют применения современных технологий, более надежного оборудования. Для преодоления различного неблагоприятного воздействия на оборудование горнодобывающей отрасли, приводящего к его износу и разрушению (истирание, удары, деформация и т.п.) оно должно быть изготовлено из специального материала.

Исходя из вышеизложенного следует, что решение проблем износа горного оборудования носит комплексный характер, зависящий от выбора материала покрытия и способа его нанесения.

Проведенный анализ способов упрочнения и восстановления деталей показал, что наиболее эффективными являются процессы газотермического напыления.

Практический опыт нанесения защитных покрытий с помощью ГТН специалистами ООО «ТСЗП» позволил получить поверхности с необходимыми свойствами, повысить эксплуатационные характеристики, конкурентоспособность изделий на рынке, увеличить их наработку на отказ, а значит – увеличить проходку, снизить себестоимость работ и получить дополнительную прибыль.

### **Список литературы**

1. Применения технологии напыления полимочевины [Электронный ресурс] ООО «ППУ XXI век» Электрон. дан. – Москва [2005] Режим доступа: [www.ppu21.ru](http://www.ppu21.ru) – загл. с экрана.
2. Горнодобывающая промышленность [Электронный ресурс] / ООО «Завод «Техстроймаш» Электрон. дан. – Санкт-Петербург [2007] Режим доступа: [www.tsm-hardox.ru](http://www.tsm-hardox.ru)– загл. с экрана.
3. Универсальные системы защит от экстремального абразивного износа [Электронный ресурс] Компания МВМ Электрон. дан. – Санкт-Петербург [2005] Режим доступа: [www.mwmining.ru](http://www.mwmining.ru)– загл. с экрана.
4. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др. - Мн.: Беларуская навука, 1998. - 583 с.
5. Балдаев Л.Х. Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. М.: изд-во «КХТ», - 2004. -134 с.
6. Хасуй, А. Наплавка и напыление / А. Хасуй, О. Моригаки; пер. с яп. В.Н. Попова; под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985.- 240с.:ил.