

УДК 69.059

А.Б. Тулинов, д.т.н., проф., **В.А. Иванов**, Российский государственный университет туризма и сервиса

e-mail: master777k@mail.ru

Восстановление износа горного оборудования композиционными материалами

Статья посвящена технологии восстановления поверхностей оборудования, подвергшегося абразивному, коррозионному и кавитационному износам. Приведены характеристики видов износа при этом особое внимание уделено кавитационному износу и его последствиям. Для восстановления описанных дефектов предлагается использовать ремонтные композиционные материалы (РКМ), изготовленные на полимерной основе с различными наполнителями, при этом преимущество отдано композитам с керамическими наполнителями, как наиболее износостойким и в наибольшей степени способствующим устранению различных видов износа в оборудовании и трубопроводных системах. Для решения поставленных задач предлагаются конкретные композиционные материалы, имеющиеся на отечественном рынке. Так же подчеркивается экономическая эффективность восстановительных работ с использованием РКМ.

Ключевые слова: технология восстановления, износ, коррозия, композиционные материалы, керамические наполнители, износостойкость.

A.B. Tulinov, V.A. Ivanov

Restoring the wear of mining equipment composite materials

The article is dedicated recovery technology equipment surfaces subjected to abrasion, corrosion and cavitation wear. The characteristics of the types of wear and tear with special attention paid to the cavitation wear and its consequences. To restore the defects described are encouraged to use repair composite materials (RCM), made of polymer-based with different fillings, with the advantage given to composites with ceramic fillers, as the most durable and most conducive to the elimination of various types of wear in equipment and piping systems. To achieve the objectives proposed concrete composite materials available in the domestic market. Just emphasizes cost-effectiveness of restoration work using RCM.

Keywords: Recovery technology, wear, corrosion, composite materials, ceramic w fillers durability.

Оборудование и системы жизнеобеспечения шахт, рудников, угольных разрезов, железнорудных карьеров и обогатительных фабрик в процессе своей работы подвергаются различным видам износа под

действием динамического напора водной среды и теплоносителей, ударного действия находящихся в них абразивных частиц (песка и др.), коррозионных и кавитационных процессов. Это приводит к появлению различного вида дефектов в виде раковин, трещин, утончения стенок устройств и нередко их разрушениям и, как следствие, к разгерметизации и утечкам жидкостей из систем жизнеобеспечения (рис.1).

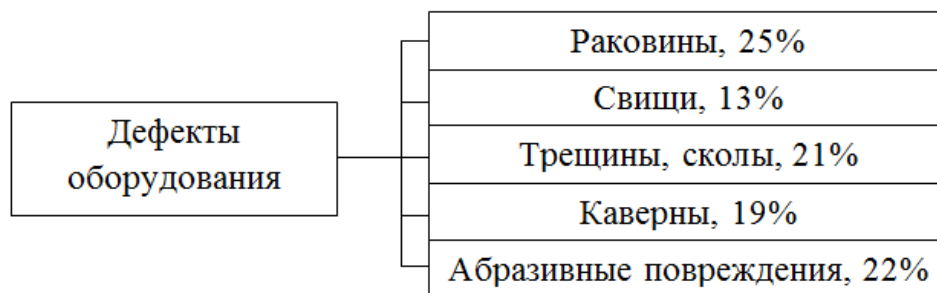


Рис. 1. Дефекты оборудования

В результате утончения стенок, возникающих в результате износа, изменяются проходные сечения, что приводит к потерям давления в оборудовании (рис.2).



Рис. 2. Износ внутренней поверхности улитки центробежного насоса

В результате различных видов износа – абразивного, коррозионного, кавитационного изменяются характеристики эксплуатируемого оборудования, что отрицательно сказывается на его производительности и часто приводит к выходу из строя. Для устранения результатов износа рассмотрены его виды и выбраны соответствующие композиционные материалы и технологии, обеспечивающие восстановление оборудования горной промышленности.

Практика исследований показала, что существует несколько видов абразивного изнашивания, и все они относятся к механическому, т.е. к разрушению и отделению материала от поверхности в результате механических воздействий. Собственно **абразивное изнашивание** – это

механическое изнашивание материалов, в основном при режущем или царапающем действии твёрдых частиц, находящихся в свободном или закреплённом состоянии. **Гидроабразивное изнашивание** – результат действия твёрдых частиц взвешенных в жидкости и перемещающихся относительно изнашивающегося тела. **Ударно-абразивное** изнашивание наблюдается при динамическом контакте взаимодействующих поверхностей, если между ними есть частицы, превосходящие по твёрдости поверхности индентора и покрытия.

Разрушение поверхности происходит под воздействием абразивных материалов. Абразивным материалом называют минерал естественного или искусственного происхождения, частицы которого (зёрна) имеют достаточную твёрдость и обладают способностью резания (царапания).

Полимерные композиционные материалы определённого состава в качестве покрытий способны противостоять абразивному разрушению, ибо благодаря подбору наполнителей можно получить механические характеристики выше характеристик абразивной среды. Поэтому их применение для противодействия абразивному износу представляет определённый интерес.

Оборудование и устройства, изготовленные из металлических материалов и сплавов, при эксплуатации в природных или технологических средах подвержены так же **коррозии**, что вызывает самопроизвольное разрушение металлов вследствие их взаимодействия с окружающей средой. В результате коррозии изменяются свойства металла и часто происходит ухудшение его функциональных характеристик. Это в полной мере относится к оборудованию систем водо- и теплоснабжения, основные узлы и элементы которых выполнены из железоуглеродистых сплавов. Противокоррозионной защитой называют процессы или средства, применяемые для уменьшения или прекращения коррозии металла. Ремонтные композиционные материалы на полимерной основе являются именно таким средством, так как обладают ярко выраженными антикоррозионными свойствами и стойкостью к жидкостным и агрессивным средам.

Особого внимания заслуживает процесс разрушения поверхности металлов под действием кавитационных процессов. Кавитация дословно означает полость, пустота. Под кавитацией понимают явление образования в движущемся по поверхности твёрдого тела потоке жидкости полостей в виде пузырей, наполненных парами, воздухом или газами, растворёнными в жидкости и выделившимися из неё. Это явление обусловлено следующим. В движущемся с большой скоростью потоке при его сужении и наличии препятствий на его пути давление может упасть до значения, соответствующего давлению парообразования при данной температуре. При этом, в зависимости от сопротивления жидкости растягивающим усилиям, может произойти разрыв, нарушение

сплошности потока. Образующаяся пустота заполняется паром и газами, выделившимися из жидкости. Воздух, вовлекаемый в поток, облегчает возникновение кавитации. Образовавшиеся парогазовые пузыри размерами порядка десятых долей миллиметра, перемещаясь вместе с потоком, попадают в зоны высоких давлений. Пар конденсируется, газы растворяются и в образовавшиеся пустоты с большим ускорением устремляются частицы жидкости; происходит сопровождаемое ударом восстановление сплошности потока.

Киносъёмка показала, что кавитационный пузырёк может вырасти за 0,002 с до 6мм в диаметре и полностью разрушиться за 0,001с. По данным В.Я. Карелина, при определённых типах кавитации на площади в 1см² в течение 1с могут образоваться и разрушиться более 30 млн кавитационных пузырьков [1].

Гидродинамическая кавитация наблюдается в трубопроводах, в гидромониторах и в потоках, обтекающих лопасти центробежных насосов и лопасти гидравлических турбин и гребных винтов. Явление кавитации вызывает вибрации, стуки и сотрясения, что приводит к расшатыванию крепёжных связей, обрыву болтов, смятию резьб, фрикционной коррозии стыков, нарушению уплотнений и усталостным повреждениям.

Предпосылки для наступления и протекания кавитационного изнашивания следующие. При замыкании до полного исчезновения парогазовых пузырей у поверхности детали последняя подвергается микроскопическим гидравлическим ударам (рис. 3).



Рис. 3. Схемы гидравлических ударов при сокращении кавитационного пузыря

Из нескольких миллионов образовавшихся кавитационных пузырьков примерно один из 30 тыс. участвует в разрушении. Под действием ударов поверхность металла начинает деформироваться и подвергаться наклёпу; появляются линии сдвига и происходит как бы своеобразное травление с выявлением границ отдельных зёрен. Многократно повторяющиеся удары вызывают разупрочнение и перенаклёп материала на отдельных микроучастках, сопровождающиеся возникновением очагов разрушения в виде трещин. Разрушается прежде всего менее прочная структурная составляющая (в сталях - феррит, в чугунах - графитовые включения). Затем может последовать выкрашивание и более прочных составляющих. Разрушение развивается в

пределах зёрен или по их границам в зависимости от соотношения прочности зёрен и связи между ними [1].

Предупредить кавитацию можно, проектируя гидромеханическую систему так, чтобы во всех точках потока давление не опускалось ниже давления парообразования. Однако возможность кавитации всегда следует учитывать.

Интенсивность кавитационного изнашивания зависит от температуры, свойств жидкости и материала деталей. Влияние вязкости незначительно. С увеличением поверхностного натяжения изнашивание происходит более интенсивно. Введение в воду веществ, образующих и способствующих образованию эмульсий (масла и эмульгаторы), понижает поверхностное натяжение жидкости и снижает кавитационное изнашивание. Наибольшая интенсивность изнашивания под действием кавитации, а так же коррозии наблюдается в воде с температурой 50 °С [2].

Кавитационная стойкость материала определяется его составом и структурой. Повышение содержания углерода в углеродистой стали увеличивает её стойкость. Однако при содержании углерода 0,8% и более она начинает падать. Пластинчатый перлит более стоек, чем зернистый. Введение никеля и хрома в сталь повышает её стойкость за счёт снижения количества феррита, увеличения степени дисперсности и др. Шаровидная форма графита благоприятна. Наиболее стойким является низколегированный чугун (1%Ni, 0,3Mo) с шаровидным графитом и его наиболее целесообразно использовать для корпусов центробежных насосов, заслонок, задвижек и других устройств в системах тепло- и водообеспечения [1].

Таким образом, область кавитационного разрушения часто бывает значительно удалена от зоны возникновения пузырьков. Первоначально происходит прогрессирующее разрыхление материала, приводящее к появлению многочисленных микротрещин, затем начинается выкрашивание мелких частиц. При определённых условиях кавитационная эрозия может в тысячи и даже сотни тысяч раз превосходить скорость коррозионного разрушения в той же среде. На разрушение деталей при кавитационном действии жидких коррозионных сред большое влияние оказывают состав и структура сплава и скорость потока жидкости.

Основными мероприятиями по восстановлению изношенного оборудования и устройств, устранения возникающих дефектов является либо его замена, что дорогостояще и не всегда возможно в виду отсутствия необходимого оборудования и устройств, либо проведения восстановительных работ с использованием энергоёмких технологических процессов каковыми является сварка, наплавка, напыление (рис.4).

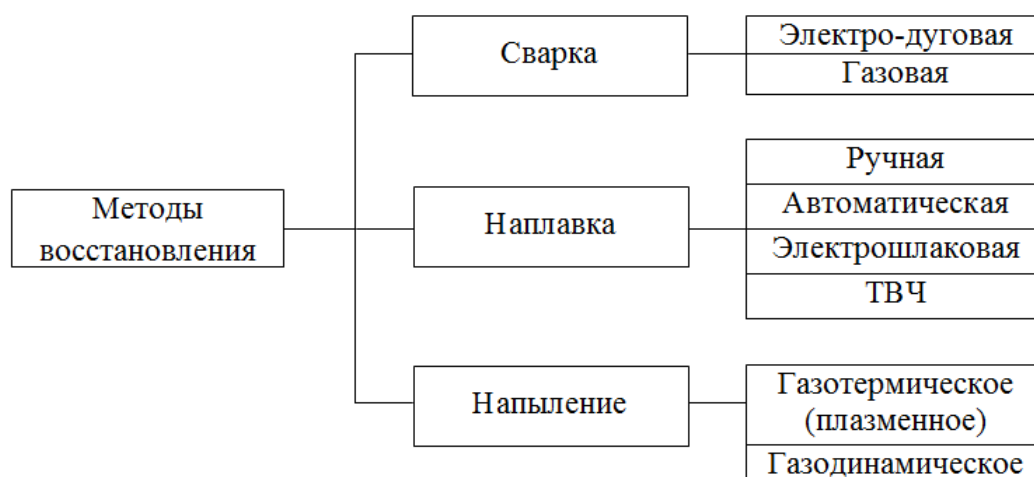


Рис. 4. Классификация методов восстановления изношенных поверхностей

Техпроцесс сварки, хотя и приведёт к устранению трещин, раковин, прорывов, однако, высокотемпературный нагрев в месте возникновения дефектов приводит к изменению структуры и изменению кристаллической решётки в близлежащей к месту сварки зоне. При этом пластичность в околошовной зоне снижается, возникает хрупкость материала, что в дальнейшем может привести к разрушению

Развитие производственного сервиса в различных отраслях промышленности основывается на использовании новых материалов и обработке прогрессивных технологий, в том числе включающих операцию нанесения покрытий.

Защитные покрытия позволяют не только получать новые свойства изделий за счёт образующихся композиций, сочетающих высокую долговечность (износостойкость, специальные свойства) с достаточной надёжностью, но и повышать эксплуатационную стойкость деталей машин и инструментов, восстанавливать изношенные поверхности и, следовательно, снижать потребности в запасных частях. С помощью покрытия достигаются особые свойства рабочих поверхностей благодаря оптимизации характеристик эксплуатируемого изделия. Модифицирование поверхности как метод обеспечивает значительную экономию дефицитных и дорогостоящих легирующих металлов, используемых для объёмного легирования в традиционных технологиях получения сплавов со специальными свойствами. Особо следует подчеркнуть роль покрытий с целью создания поверхностных композиций для увеличения конструктивной прочности в случае резко различающихся свойств основного металла и покрытия.

Для оптимизации технологических процессов нанесения защитных коррозионно- и износостойких покрытий необходимо совершенствовать

существующие и разрабатывать новые методики оценки конструктивной прочности материалов с покрытиями.

Методы исследования свойств покрытий предлагается рассматривать с учётом обратной связи по приведенной ниже структурной схеме (рис. 5).



Рис. 5. Структурная схема методов исследования свойств покрытий

Структурный анализ покрытия должен дополняться и подтверждаться данными изучения механических, физических и других свойств. В свою очередь это позволит обновить технологию и вывести её на новые поисковые рубежи.

Методы нанесения покрытий широки и многообразны. Однако, в настоящее время, с учётом тенденций технологического развития и потребностей ремонтных служб наиболее перспективными следует считать:

- нанесение покрытий из композиционных материалов;
- плазменный метод нанесения покрытий;
- газодинамический метод нанесения покрытий.

Ранее были отмечены недостатки второго и третьего методов, тогда как нанесение покрытий композиционными материалами при восстановлении оборудования является наиболее простым в применении и экономически выгодным методом. Исследование этого метода является актуальной задачей.

В перечисленных выше методах наплавки и напыления, обеспечивающих нанесение покрытий на восстанавливаемые поверхности используются высокотемпературные двухфазные потоки, что приводит к плавлению частиц напыляемых порошков и их взаимодействию с газовой средой с образованием различных соединений (окислов, нитридов и т.п.), вызывающих в ряде случаев нежелательное изменение исходных свойств порошков и самого покрытия. К другим существенным недостаткам следует отнести значительный разогрев деталей и их деформацию, вызванную высокими остаточными напряжениями, недостаточную прочность сцепления частиц между собой и с подложкой, высокую пористость покрытия, использование взрывоопасных газов, сложность в обслуживании оборудования, высокую стоимость оборудования и т.п.

Новые возможности в технологии восстановления различных видов оборудования открывает использование ремонтных композиционных материалов, обладающих хорошей адгезионной прочностью и износостойкостью и способных заменить дорогостоящие энергоёмкие технологии. Эти материалы, последнее время, благодаря своим свойствам, находят всё более широкое применение в промышленном, и ремонтном производствах.

Композиционные материалы, обладающие износостойкими свойствами, могут использоваться при осуществлении ремонтно-восстановительных и профилактических работ в таких отраслях, как горная промышленность, машиностроение, авто и судоремонт, энергетика, химическая и нефтеперерабатывающая промышленность и в других.

С применением ремонтных композиционных материалов можно производить следующие виды работ: нанесение износостойких покрытий, ремонт и защиту корпусных деталей от воздействия окружающей среды; восстановление геометрии деталей разрушенных эрозией и коррозией; заделку и герметизацию трещин, вмятин, пробоин и др [3].

Необходимость в технологиях ремонта оборудования и систем жизнеобеспечения, не требующих значительных финансовых вложений, материальных и трудовых ресурсов, существуют постоянно. Именно таким требованиям отвечают технологии ремонта с использованием ремонтных полимерных композиционных материалов, использование которых не требует дорогостоящей оснастки и оборудования, и часто являются адекватной замене сварке, пайке наплавке. Рациональное использование физико-химических свойств полимерных композиционных материалов позволяет значительно снижать трудоемкость и себестоимость ремонта и сокращать расход материалов на их проведение.

Число производителей металлополимерных композиций постоянно увеличивается как в России, так и за рубежом. И если в нашей стране эти материалы не отличаются стабильным качеством из-за низкого качества входящих компонентов, то зарубежные производители выпускают высококачественную продукцию со стабильными физико-техническими характеристиками.

В настоящее время на Российском рынке предоставлены РКМ таких известных зарубежных фирм, как Дурметалл, Диамант, Локтайт, Бельзона, Униреп, Девкон, Честер Молекуляр и некоторых других.

Из зарубежных фирм, выпускающих металлополимерные композиции и анаэробные клеи, наиболее предпочтительной является польская компания «Chester Molecular», которая поставляет в нашу страну гамму металлополимерных композиций и анаэробных клеев. Материалы этой фирмы отличаются стабильным качеством, по своим физико-техническим характеристикам не уступают материалам, поставляемым в нашу страну известными фирмами «Бельзона» (США), «Дурметалл» (Швейцария), «Диамант» (ФРГ), «Локтайт» (США) и др., но значительно дешевле материалов этих фирм, т.е. по основному соотношению «цена/качество» - являются наиболее привлекательными. Фирма «Честер Молекуляр» предлагает набор металлополимеров, различных по своим характеристикам и возможностям применения, в том числе материалы универсального применения, быстрого отверждения, антифрикционные, для антикоррозионной и кавитационной защиты, специальные виды композитных покрытий, анаэробные клеи и герметики, а также целую гамму сервисных жидкостей и оснастки, необходимых для поведения работ с использованием ремонтных композиционных материалов.

Анализ характеристик ремонтных композиционных материалов различных производителей показал, что для устранения износа металлических поверхностей в оборудовании и агрегатах систем жизнеобеспечения, каковыми являются водо- и теплоснабжение наиболее предпочтительными являются композиты с керамическими наполнителями. Такими материалами являются композиционные материалы фирмы «Честер Молекуляр» (Польша), а именно:

- «Металл Керамик Т» - пастообразной консистенции;
- «Металл Керамик F, FHT, FSL» - эти три вида материалов имеют жидкую консистенцию.

Основные физико-механические характеристики этих материалов представлены в таблице 1.

Анализируя данные таблицы 1 следует отметить, что «Металл Керамик» обладает высокими механическими характеристиками. Кроме этого они стойки к воде, маслам, моторным топливам,

неконцентрированным кислотам и щелочам, а полную химическую стойкость материалы приобретают в течение 7 суток.

Таблица 1.

Физико-механические характеристики материалов Металл Керамик

Группы материалов	Металл Керамик			
Наименования материалов	Керамик Т	Керамик F	Керамик FHT	КерамикFSL
Консистенция	Паста	Жидкость		
Удельная масса композиции, (г/см ³) при 25 °С	2,03	1,90	2,00	2,00
Цвет	серый	Серый, синий	Серый	Серый, синий
Пропорции смешивания(основа : активатор) по массе по объёму	2,5:1 2:1	9:1 упаковка	9:1 упаковка	9:1 упаковка
Жизнеспособность приготовленной композиции при 20 °С, мин	20	15	20	50
Время отверждения до возможности механической обработки, час	3,5	3,5	4	7
Максимальная температуростойкость материала, °С	200	200	220	200
Рабочая температура, °С	-50 +150	-50 +150	-50 +180	-50 +150
Предел прочности, МПа при сжатии (согласно ISO 604) при изгибе (согласно ISO 178) на сдвиг (согласно ISO 4587)	144 90 22,8	120 110 22,9	120 105 15,4	120 10 24
Срок хранения, месяц	36			
Фасовка, кг	1 2 5	0,5 1 3	0,5 1	0,5 1 3

Материалы «Честер-Керамик» успешно применяются для восстановления корабельных гребных винтов, лопастей роторов, для

восстановления поверхностей подвергшихся коррозии и др. Поэтому вполне вероятно, что они могут быть использованы для восстановления различного горного оборудования. Это могут быть корпуса насосов, теплообменники, заслонки, задвижки и другие агрегаты.

Таким образом, как показали результаты исследований, а так же отечественная и зарубежная практика, применение ремонтных композиционных материалов, в том числе с керамическими наполнителями, обеспечивает восстановление различного оборудования и трубопроводных систем, подвергшихся абразивному, коррозионному и кавитационному износам. При этом себестоимость ремонтных работ в 3-10 раз ниже чем при традиционных способах ремонта, когда используются процессы сварки, наплавки, напыления.

Список литературы

1. **Тушинский Л.И.** и др. Методы исследования материалов: Структура, свойства и процессы нанесения покрытий. - М.: Мир, 2004. – 384с.

2. **Семенова И.В.** и др. Коррозия и защита от коррозии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 376с.

3. **Ищенко А.А.** Технологические основы восстановления промышленного оборудования современными полимерными материалами. – Мариуполь: ПГГУ, 2007. – 250с.