

УДК 669.621.81: 658.5

*к.т.н. Козачишен В. А.,  
Козачишена Е. С.  
(ДонГТУ, Алчевск, Украина)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ, УЛУЧШАЮЩИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДЕТАЛЕЙ**

*Наведені результати теоретичних досліджень, розглянуті різноманітні технології нанесення покриттів. Проаналізовано недоліки і переваги розглянутих способів отримання захисного шару певних властивостей.*

**Ключові слова:** *зношення деталей, захисний шар, зміцнення, ресурс, надійність, корозійна стійкість, зменшення тертя.*

*Приведены результаты теоретических исследований, рассмотрены различные технологии нанесения покрытий. Проанализированы недостатки и преимущества рассмотренных способов получения защитного слоя с определенными свойствами.*

**Ключевые слова:** *износ деталей, защитный слой, упрочнение, ресурс, надежность, коррозионная стойкость, уменьшение трения.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Современное металлургическое предприятие – это комплекс основных и вспомогательных производств, на которых эксплуатируется самое разнообразное оборудование. Внезапный выход из строя одного из агрегатов может стать причиной нарушения всего производственного цикла, а также длительного простоя. Залог успешного функционирования металлургического предприятия заключается, прежде всего, в надежной и безотказной работе оборудования. Работоспособность машин в значительной степени зависит от износостойкости деталей. Установлено, что в 70 % случаев причиной выхода из строя машин является износ деталей, поэтому упрочнение их рабочих поверхностей играет особую роль в обеспечении требуемого ресурса.

Одно из наиболее перспективных направлений повышения надежности и долговечности изнашивающихся деталей – упрочнение и/или модифицирование рабочих поверхностей за счет создания поверхностных слоев с более высокими механическими и триботехническими показателями.

### **Анализ исследований и публикаций.**

Анализ научных источников показал, что упрочнение поверхности может осуществляться термической обработкой или с помощью покрытий, полученных различными способами. Одним из перспективных направлений на пути создания высоконадежных, долговечных и конкурентоспособных по параметрам износа деталей является применение современных технологий нанесения функциональных покрытий [1, 2].

### **Постановка задачи.**

В мировой практике наиболее известны и применяются три метода нанесения покрытий – наплавка, напыление и осаждение. Выбор оптимального метода упрочнения осложняется большим количеством подвидов технологий, многовариантностью режимов, а также многообразием применяемых присадочных и других вспомогательных материалов. Многолетний опыт лабораторных исследований и практики эксплуатации показывает, что выбрать универсальный способ нанесения покрытий довольно сложно, так как использование любого из них дает максимальный эффект только в определенном конкретном случае, часто в весьма узком диапазоне эксплуатационных характеристик. Характеристики и требования к свойствам покрытий деталей металлургических машин определяются их функциональными особенностями.

### **Изложение материала и его результаты.**

Наплавка – это нанесение покрытий слоями толщиной в несколько миллиметров из расплавленного присадочного материала на оплавленную металлическую поверхность изделия. В зависимости от вида источника нагрева наплавка может быть термическая, термомеханическая и механическая [3].

Методы наплавки применяются для изготовления деталей с износо- и коррозионностойкими свойствами поверхности.

Кроме того, наплавка применяется для восстановления номинальных размеров изношенных и бракованных деталей, подверженных интенсивному абразивному износу или работающих в условиях высоких динамических, знакопеременных нагрузок.

Преимущества технологий наплавки:

- отсутствие ограничений по размерам наплавляемых зон;
- возможность нанесения покрытий различной толщины;
- возможность получения требуемых размеров восстанавливаемых деталей путем нанесения материала того же состава, что и основной металл;
- использование не только для восстановления размеров изношенных деталей, но и для ремонта изделий за счет ликвидации локальных трещин, пор и других дефектов;

- возможность (при плазменной наплавке) ведения процесса на постоянном токе обратной полярности, повышающим качество и стабильность свойств биметаллических соединений за счет эффекта катодной очистки, который проявляется в удалении окисных и адсорбированных пленок, улучшении смачивания жидким металлом обрабатываемой поверхности; более низкого тепловложения по сравнению с наплавкой на токе прямой полярности и, как следствие, отсутствие или минимальное расплавление подложки;
- возможность многократного проведения процесса, т.е. высокая ремонтпригодность наплавляемых деталей;
- высокая производительность и возможность автоматизации процесса;
- относительная простота и мобильность оборудования.

В то же время технологии имеют ряд недостатков:

- изменения свойств наплавленного покрытия в результате диффузии в него элементов основного металла;
- изменение химического состава основного и наплавленного металла вследствие окисления легирующих элементов и основы металла, сегрегации по плотностям материалов жидкой фазы;
- возможность структурных превращений в основном металле, в частности, образование крупнозернистой структуры, новых хрупких фаз;
- возникновение деформаций в наплавленных изделиях за счет значительного термического воздействия;
- снижение характеристик сопротивления усталости наплавленных изделий;
- возможность возникновения трещин в наплавленном металле и зоне термического влияния, довольно ограниченный выбор сочетаний основного и наплавленного металлов;
- обязательный в отдельных случаях предварительный нагрев и медленное остывание наплавляемого изделия, т.е. увеличение длительности процесса;
- наличие больших припусков на механическую обработку, что приводит к существенным потерям металла наплавки;
- трудоемкость механической обработки наплавленного слоя большой толщины;
- требования преимущественного горизонтального расположения наплавляемой поверхности;
- трудность наплавки при ремонте мелких изделий сложной формы.

Технологии напыления применяются для нанесения защитных покрытий заданных свойств с минимальной толщиной 5 мкм. Процесс напыления заключается в нагреве распыляемого материала высокотемпературным источником с образованием двухфазного газопорошкового потока и формированием покрытия толщиной менее 1 мм на поверхности изделия.

В зависимости от вида используемого источника энергии процессы напыления подразделяются на газопламенные (используется тепло при сгорании горючих газов в смеси с кислородом или сжатым воздухом); электродуговые (распыление расплавленного электрической дугой металла сжатым воздухом); детонационные (используется энергия детонации газовых смесей при взрыве); плазменные (плавление наносимого порошкового материала осуществляется в плазменной струе); высокоскоростные (подача порошка в камеру сгорания с последующим прохождением его в смеси газов через расширяющееся сопло) [2].

Преимущества технологий напыления:

- универсальность процессов, позволяющая наносить покрытия разного функционального назначения;
- малое термическое воздействие на напыляемую основу (температура нагрева не превышает 100 – 150°C), позволяющее исключить структурные превращения, избежать деформаций и коробления изделий;
- возможность нанесения покрытий на изделия, изготовленные практически из любого материала;
- отсутствие ограничений по размерам напыляемых изделий;
- возможность нанесения покрытий на локальные поверхности;
- возможность нанесения многослойных покрытий разнородными материалами;
- гибкость регулирования параметров и режимов, т.е. высокая технологичность процесса;
- возможность получения регламентируемой однородной пористости покрытия для использования в условиях работы со смазкой поверхностей скольжения;
- нанесение равномерного покрытия с минимальными допусками для последующей механической обработки;
- в отдельных случаях возможность эксплуатации напыленных деталей без последующей механической обработки;
- возможность использования напыления для формообразования деталей (напыление производят на поверхности формы оправки, которую после окончания процесса удаляют; остается оболочка из напыленного материала);
- высокая производительность процесса напыления;

– возможность автоматизации процесса.

Недостатки процессов напыления:

- низкая стойкость напыленных покрытий к нагрузкам ударного характера;
- анизотропия свойств напыленных покрытий;
- низкий коэффициент использования напыленного материала при нанесении покрытий на мелкие детали;
- обязательная предварительная активационная обработка (например, абразивно–струйная), что увеличивает длительность и трудоемкость процесса;
- образование аэрозолей напыляемого материала и побочных газов, удаление которых из рабочей зоны требует мощной вытяжной вентиляции;
- повышенный уровень шума и ультрафиолетового излучения (при электродуговом напылении).

При изготовлении деталей машин и механизмов, предусматривающих финишное нанесение тонкопленочных покрытий, применяют методы осаждения. Это методы нанесения защитных покрытий толщиной менее 10 мкм. Отличительными особенностями этих методов является обеспечение высокой адгезионной прочности покрытия к основе за счет специфической подготовки и активации поверхности (нагрев и предварительная очистка поверхностей тлеющим разрядом, бомбардировкой ионами инертных газов).

Формирование покрытий осуществляется за счет обработки ионами в процессе конденсации, осаждения высокоэнергетических ионов, а также атомов и молекул с участием плазмохимических процессов. Процессы осаждения подразделяются на плазменные (нанесение покрытий при атмосферном давлении с использованием дугового или высокочастотного плазмотрона); ионно–плазменные (протекающие в вакууме: материал покрытий переводится в газовую фазу распылением энергетическими ионами или испарением катода, добавкой реакционных газов); ионно–лучевые (аналогичные ионно–плазменным с дополнительным применением электроннолучевых пушек) [1].

Нанесение покрытий методом осаждения имеет следующие преимущества:

- высокая воспроизводимость и стабильность упрочнения;
- использование процесса упрочнения в качестве окончательной финишной операции (нанесение тонкопленочного покрытия толщиной не более 3 мкм, укладываемого в допуски на размеры деталей);

- минимальный нагрев в процессе обработки (не более 100 – 120°С) не вызывает деформаций деталей и позволяет упрочнять инструментальные стали с низкой температурой отпуска;
- возможность упрочнения локальных (по глубине и площади) объемов деталей в местах износа с сохранением исходных свойств материала в остальном объеме;
- высокая адгезионная прочность сцепления покрытия с основой обеспечивает максимальную сопротивляемость истиранию (в том числе, при взаимодействии инструмента с обрабатываемым материалом);
- формирование специфического микрорельефа поверхности способствует эффективному его заполнению смазочно–охлаждающей жидкостью при эксплуатации деталей машин;
- высокая производительность упрочнения;
- возможность упрочнения поверхностей деталей любых габаритов в ручном или автоматическом режимах;
- минимальное потребление и низкая стоимость расходных материалов;
- экологическая чистота процесса в связи с отсутствием отходов при упрочнении;
- минимальный уровень шума, не требующий специальных мер защиты.

Анализируя методы поверхностного упрочнения, мы пришли к выводу, что при использовании какого–либо метода упрочнения улучшение одних важных показателей приводит к ухудшению других, не менее важных. Например, увеличение показателей твердости ведет к снижению пластичности, что с одной стороны приводит к уменьшению схватывания сопряженных поверхностей. С другой стороны, снижение пластичности повышает чувствительность к локальным напряжениям, которые могут привести даже к местному поверхностному разрушению.

При проектировании технологии упрочнения следует исходить из соотношения характеристик и свойств упрочняемых поверхностей к реальным эксплуатационным требованиям. Обработанные поверхности должны обладать определенными физико–механическими свойствами, обеспечивающими условия работы всей детали в общем и ее рабочих поверхностей в частности.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее приемлемым для поверхностного упрочнения является метод осаждения, как наиболее универсальный. Реализация покрытий этим методом не встречает трудностей при обработке сложных фасонных поверхностей, толщина наносимого слоя контролируется и управляется. Результаты применения дан-

ного вида покрытий улучшают триботехнические качества рабочих деталей оборудования. Оценка эффективности различных присадочных материалов будет уточняться в процессе проведения экспериментальных исследований на лабораторной установке, разработанной на кафедре Машин металлургического комплекса и прикладной механики ДонГТУ. Физические, физико–химические, механические параметры, полученные и обработанные в результате лабораторных исследований, в дальнейшем послужат основой создания математической модели.

### **Библиографический список**

1. Маслов А.Р. *Перспективные высокие технологии: справочник* / А.Р. Маслов // *Инженерный журнал*. – 2008. – № 1. – С. 10–24.
2. Тополянский П.А. *Прогрессивные технологии нанесения покрытий – наплавка, напыление, осаждение* / П.А. Тополянский, А.П. Тополянский // *Специализированный журнал РИТМ*. – 2011. – № 1 (59). – С. 28–33.
3. Харламов Ю.А. *Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин: [учебное пособие]* / Ю.А. Харламов, Н.А. Будагьянц. – Луганск: изд-во Восточноукр. Национ. Ун-та им. В. Даля, 2003. – 496 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.*