

УДК 621.793.7: 620.178.53: 539.4:539.67

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ НАНЕСЕНИЕМ НА ИХ ПОВЕРХНОСТЬ ПОКРЫТИЙ

**А.В. ДУДАН**

*Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Беларусь*

**Е.К. СОЛОВЫХ**

*Центральноукраинский национальный технический университет, Кропивницкий, Украина*

**М.Ф. КОВАЛЕВ, М. ГОЛОВАЩУК**

*Национальный транспортный университет, Киев, Украина*

**В.Н. КУЛЫЖСКИЙ**

*Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина*

*В работе показана целесообразность и отмечены перспективы использования различных методов упрочнения и нанесения покрытий для повышения прочности несущих деталей, защиты их от коррозии и износа. Показано, что разработанные в настоящее время технологические методы упрочнения позволяют повысить прочность и, в частности, пределы выносливости деталей более чем в 2 раза, а сроки службы за счет этого - в десятки раз. Физическая природа эффекта упрочнения, вызванного технологическими приемами обработки поверхности изделия, связана с образованием в поверхностных слоях сжимающих напряжений, приводящих к переходу очага зарождения усталостной трещины от рабочих напряжений с поверхности в глубь детали ниже слоя с сжимающими напряжениями. Эффект упрочнения зависит как от механических свойств материала в сечении, так и от результирующей положения эпюр остаточных напряжений (вызванных упрочнением) и рабочих напряжений.*

В процессе эксплуатации большинство деталей любых машин подвергается силовым воздействиям, вызывающим крайне неоднородное напряженное состояние. При этом во всех случаях максимальные напряжения, обусловленные главным образом изгибом и кручением или их совместным действием, возникают в наружных слоях материала несущих деталей, где и появляются первые трещины, приводящие к разрушению. Следует учесть и сильное влияние на разупрочнение поверхностных слоев внешней среды, приводящей во многих случаях к коррозии, которая понижает прочность, особенно усталостную. На несущую способность деталей, подверженных в процессе эксплуатации трению и износу, влияют и поврежденные поверхностные слои материала.

Поэтому большое практическое значение в машиностроении приобретают различные методы упрочнения поверхности деталей машин, це-

люю которых является как повышение прочности несущих деталей и защиты их от коррозии, так и снижение износа деталей, подверженных при контактном взаимодействии трению и износу.

В зависимости от типов деталей и материалов, из которых они изготовлены, условий их эксплуатации применяют различные виды и технологии упрочнения поверхности. Отметим следующие виды упрочнения поверхности элементов конструкций:

- химико-термическая обработка (ХТО), в том числе газовая цементация, газовое азотирование, жидкостное борирование, твердофазное борирование;
- газотермическое напыление (ГТН), в частности газопламенное (ГПН), электродуговое (ЭДН), плазменное и детонационное;
- гальванические покрытия;
- электроискровое легирование (ЭИЛ) и легирование лазерное;

- электронно-лучевое упрочнение;
- химическое осаждение из газовой фазы;
- вакуумное осаждение, в том числе химико-технологическая обработка в тлеющем разряде;
- ионная имплантация;
- парогазовая конденсация и др.

Значительное распространение получили методы повышения прочности элементов конструкций и деталей машин, подверженных действию повторно-переменных нагрузок. К их числу следует отнести упрочнение поверхности путем наклепа, обкаткой роликами или обдувкой металлической дробью, а также поверхностной закалкой с нагревом током высокой частоты (ТВЧ), цементацией, цианированием и др.

Рассмотрим характерные виды упрочнения элементов конструкций и деталей машин путем нанесения на их поверхность специальных металлических слоев. Среди методов упрочнения поверхности изделий важное место занимают наплавка и напыление как средства поверхностного упрочнения деталей машин при изготовлении и восстановлении. Указанные типы покрытий обеспечивают значительное повышение работоспособности и долговечности машин и механизмов за счет увеличения износостойкости, коррозионной стойкости и других эксплуатационных свойств деталей в зависимости от их назначения.

Для упрочнения деталей металлургического оборудования и сельскохозяйственном машиностроении широкое распространение получила наплавка износостойкими материалами. Заслуживает внимания плазменное напыление гильз цилиндров дизельных двигателей с целью их защиты от кавитации. При этом имеется возможность установить пороговое значение прочности сцепления покрытия, при котором происходит смена механизма разрушения композиции. Исследования показали, что максимальный эффект по защите гильз цилиндра двигателя от кавитации удается достичь за счет увеличения прочности материала покрытия, а также адгезионной прочности покрытия с основой, превышающей критическое пороговое значение. При этом удается сохранить ресурс работы изделия при снижении в два раза толщины наплавленного защитного слоя.

Наряду с упрочнением покрытиями путем напыления и наплавки, используется метод нанесения покрытий дискретной структуры. Покрытие представляет собой отдельные островки — «точки», получаемые с помощью специальных металлических электродов. При этом минимальный

износ достигается, когда островки занимают 60 % поверхности упрочняемой детали. Указанные островки имеют высокую твердость по сравнению с твердостью основного металла. Такое упрочнение эффективно для снижения износа трущихся поверхностей деталей машин и трущихся о грунт поверхностей элементов землеобрабатывающих машин.

Особого внимания заслуживают покрытия, применяемые в газотурбостроении для упрочнения и увеличения долговечности рабочих лопаток. В этом случае покрытие служит не столько для упрочнения лопатки, сколько для защиты от коррозии, влияющей на долговечность лопатки, а также для тепловой защиты материала лопатки от перегрева и повышения температуры газового потока на входе, а, следовательно, и повышения коэффициента полезного действия (КПД) газовой турбины.

Цель покрытия – повысить весь комплекс технико-экономических показателей газовой турбины, что может быть достигнуто повышением температуры на входе газовой турбины. Для этого необходимо повысить жаростойкость применяемых для изготовления турбинных лопаток материалов путем нанесения на готовое изделие защитных покрытий. Многочисленные исследования показали, что эффективным методом получения такого покрытия является электронно-лучевое испарение и конденсация металла на поверхности в условиях вакуума. При использовании упрочняющих и теплозащитных покрытий (ТЗП) применительно к турбинным лопаткам оправдали себя многослойные покрытия. Позволяет создавать сложные композиционные многослойные покрытия электронно-лучевая технология, которая является одной из наиболее гибких в управлении.

Для обеспечения оптимальной несущей способности изделия с покрытием подбор материала слоев по физико-механическим свойствам и чередование слоев осуществляются так, чтобы не было резкой разницы в физико-механических свойствах в соседних слоях и тем самым можно было бы свести до минимума начальные остаточные напряжения, которые могут возникать при повышении температуры. Такой подход, используемый, в частности, при применении покрытий из тугоплавких материалов на основе ниобия и молибдена для несущих элементов реактивных двигателей, эксплуатируемых в условиях высоких температур, основным материалом которых является сплав на основе ниобия, позволил повысить сопротивление ползучести на 10–20 %,

долговечность увеличить в 3 раза, а при теплообменах – более чем в 2 раза. В случае применения в качестве основного материала сплава на основе молибдена сопротивление ползучести при теплообменах возрастает на 35–60 %, жаропрочность – в 4 раза, а долговечность – в 4–6 раз. Использование для нанесения защитных покрытий электронно-лучевой технологии позволило повысить долговечность композиции «жаропрочный сплав – ТЗП» в 1,5–1,6 раза при испытаниях на термоциклическую ползучесть и в 1,6–2,1 раза при испытаниях на изотермическую ползучесть при снижении скорости ползучести на 40–50 %.

Разработанные в настоящее время технологические методы упрочнения позволяют повысить

прочность и, в частности, пределы выносливости деталей более чем в 2 раза, а сроки службы за счет этого – в десятки раз. Физическая природа эффекта упрочнения, вызванного технологическими приемами обработки поверхности изделия, связана с образованием в поверхностных слоях сжимающих напряжений, приводящих к переходу очага зарождения усталостной трещины от рабочих напряжений с поверхности в глубь детали ниже слоя с сжимающими напряжениями. Эффект упрочнения зависит как от механических свойств материала в сечении, так и от результирующей положения эпюр остаточных напряжений (вызванных упрочнением) и рабочих напряжений.

УДК 681.625.9

## **МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОФИСНОЙ МАКУЛАТУРЫ**

*А.С. КИРИЕНКО*

*Полоцкий государственный университет, Беларусь*

*В статье рассмотрены вопросы решения проблемы накопления офисной макулатуры с помощью персонализированной технологии переработки офисной макулатуры непосредственно в офисах. Представлена технология сухого разрыва бумажного волокна и обоснование целесообразности использования персональной станции переработки офисной макулатуры организациями, имеющими большие обороты бумаги.*

В настоящее время мировые компании повсеместно работают над улучшением и внедрением технологий переработки макулатуры непосредственно вместе ее потребления [1, 2]. На мировом рынке присутствует уже запущенная в производство станция переработки офисной макулатуры от подразделения PaperLab компании Epson. Данная станция перерабатывает 3,6 кг/ч макулатурного сырья, что является достаточно большим объемом для любого офиса и равно 720 листам формата А4 [3]. Станция снижает затраты на пункты хранения, выброса, заключение договоров со

спецавтобазами, предприятиями по переработке отходов, или с третьими лицами сбора макулатуры, которые осуществляют ее вывоз. Также станция решает проблемы экологии, связанные с вредными реагентами (С1), используемыми для отбеливания бумажного сырья на предприятиях.

Соответственно реализация технологического обеспечения использования персонального и компактного оборудования для экологически чистой переработки макулатуры непосредственно на территории организации-пользователя является актуальной задачей, решение которой позво-