

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 упрочнение 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, целью которых является как повышение прочности

несущих деталей и защиты их от коррозии, так и снижение износа деталей, подверженных при контактом 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 коэффициент 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 теплосменах – более чем в 2 раза. В случае применения в качестве основного материала сплава на основе молибдена сопротивление ползучести при теплосменах возрастает на 35–60 %, жаро-

прочность – 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 621.81

## ОБОСНОВАНИЕ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

*В.П. ИВАНОВ, Т.В. ВИГЕРИНА*

*Полоцкий государственный университет, Беларусь*

*Поддержание автомобильного парка в технически исправном состоянии при эксплуатации состоит из воздействий двух видов: технического обслуживания и ремонта. Воздействия первого вида направлены на уменьшение интенсивности разрушительных процессов по мере использования автомобилей своевременным выявлением и экономически эффективным предупреждением неисправностей в плановом порядке.*

Наиболее сложным и трудоемким видом ремонта является капитальный ремонт, при котором устраняются любые неисправности с полным восстановлением ресурса. В настоящее время капитальный ремонт техники сводится к ремонту агрегатов и заключается в экономически эффективном восстановлении их надежности в результате наиболее полного использования остаточной долговечности деталей [1].

Практика показывает, что научно обоснованные процессы и организация ремонта машин позволяют достичь нормативной наработки техники, а в отдельных случаях и превзойти наработку новых изделий.

Восстановление деталей позволяет использовать их материал, форму и остаточную долговечность, что сокращает потребление запасных частей, энергии и материалов, а также способствует охране окружающей среды (масса отходов при восстановлении деталей в 20 раз меньшая, чем при их изготовлении). Только за счет исключения металлургического процесса при восстанов-

лении одной тонны стальных деталей экономят 180 кВт-ч электроэнергии, 0,8 т угля, 0,8 т известняка и 175 м<sup>3</sup> природного газа [1]. Таким образом, использование восстановленных деталей при ремонте агрегатов является актуальным, эффективным и ресурсосберегающим мероприятием.

Цель работы – обоснование рентабельности ремонта автомобильных агрегатов с применением восстановленных деталей.

Обоснование рентабельности основывалось на учете количественно изменяющихся статей затрат на технологические операции ремонта автомобильных агрегатов в различных вариантах. Ограничениями решений являлось обеспечение нормативной послеремонтной наработки отремонтированных агрегатов, обусловленной наработкой составляющих деталей. Объект исследования являлись автомобильные агрегаты (двигатели ведущие мосты и коробки передач).

Восстанавливаемые детали агрегатов утрачивают работоспособность в большинстве случаев из-за незначительного износа небольшого числа поверх-