

**А.И. Долматов, д.т.н., проф.**

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

**А.Я. Мовшович, д.т.н., проф.**

Национальный технический университет «ХПИ»

**Н.Д. Жолткевич, д.т.н., с.н.с.**

Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка

## ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ МАШИН

*В статье рассмотрены пути и методы эффективного повышения эксплуатационных свойств изделий машиностроения за счет улучшения качества поверхностных слоев деталей, а также применяемого при обработке различными методами соответствующего оснащения и инструмента.*

**Ключевые слова:** *поверхностный слой, поверхностное упрочнение, режущий инструмент, методы нанесения покрытий, покрытие, износостойкость.*

**Формирование проблемы.** Известно, что надежность работы машин непосредственно связана с качеством поверхностного слоя деталей, которое характеризуется геометрическими и физико-механическими параметрами.

От качества поверхностного слоя зависят эксплуатационные свойства техники — сопротивление усталости, износостойкость, коррозионная и жаростойкость, сопротивление контактной усталости и др. Оптимальная поверхность должна быть достаточно твердой, иметь остаточные сжимающие напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей с большой площадью опорной поверхности.

Физико-механические параметры поверхности достигаются нанесением на них соответствующих покрытий вакуумно-плазменным, детонационно-газовым, лазерным методами, электроискровым легированием, пластическим поверхностным деформированием (ППД) и др.

В зависимости от назначения изделия, условий его работы, материала и теплостойкости должен быть решен комплекс задач по выбору состава и конструкции покрытия, оптимизации параметров его нанесения. Так при упрочнении режущего инструмента наибольшее распространение получили покрытия на основе соединений титана — нитрид титана (TiN), карбида титана (TiC), карбонитрид-титана (TiCN). Такие покрытия хотя и повышают стойкость режущих инструментов, однако, позволяют решить задачу увеличения работоспособности частично, так как эффективны при обработке легированных конструкционных сталей. При резании высокопрочных сталей и сплавов инструментом с покрытием на основе титана существенного увеличения стойкости не наблюдается.

Пластические деформации в зонах стружкообразования сильно зависят от сопротивления сдвигу на участке пластического контакта. Именно на этом участке наиболее активно реализуются диффузионные процессы между инструментальными и обрабатываемыми материалами, которые и влияют на сопротивляемость срезанного слоя пластическому сдвигу. В частности, при насыщении локальных объемов обрабатываемого материала в зоне пластического контакта легирующими элементами из инструментального материала сопротивление сдвигу будет возрастать, это обязательно приведет к росту коэффициента деформации и сил резания. Если покрытие, наряду с высокой теплостойкостью, химически инертно к обрабатываемому материалу, то оно выполняет роль активного барьера, сдерживающего диффузию атомов инструментального материала в обрабаты-

ваемый (сходящую стружку). В этом случае сопротивление пластическому сдвигу на участке пластического контакта снижается. Это приводит к уменьшению коэффициентов деформации и сил резания [1, 2].

**Целью** данной статьи является выбор наиболее оптимальных покрытий для режущих инструментов.

**Основной материал исследований.** На основе анализа результатов проведенных экспериментальных исследований наиболее эффективными покрытиями есть:

– для жаропрочных деформируемых сплавов и высоколегированных сталей — композиционное покрытие нитридов титан-хром (Ti/CrN), состоящее из 30 % хрома и 70 % титана (по массе);

– для хромистых нержавеющей и хромо-никелевых сталей и сплавов — композиционное покрытие нитридов цирконий гафний (Zr/Hf-N), состоящее из 80 % циркония и 20 % гафния (по массе);

– для титановых сплавов — нитрид циркония (ZrN).

Нанесение этих покрытий на рекомендуемый справочной литературой режущий инструмент позволяет увеличить его стойкость в 1,6–2 раза.

Технологический процесс нанесения вакуумно-плазменных покрытий является многопараметрическим. Каждый из параметров или их сочетание оказывает влияние на фазовый состав, структуру и свойства покрытия. Изменение только одного параметра — давление в вакуумной камере — позволяет получить многослойную конструкцию покрытия с чередующимися по твердости слоями ( $\alpha \cdot \text{Me} + \alpha \cdot \text{Me} \rightarrow \gamma \cdot \text{Me} + \gamma \cdot \text{Me}$ ).

Режущий инструмент с 4–6 такими слоями обладает достаточной пластичностью и эффективен при работе с ударными нагрузками и при прерывистом резании.

Получение покрытий с различными свойствами позволяет разрабатывать улучшенные конструкции деталей машин, при этом работоспособность узлов, в которые они входят, значительно повышается. Так, предложенная технология нанесения покрытия нитрида молибдена на кулак шарнира, а на сопрягаемый упор — нитрида титана, позволила снизить трение в 3 раза, увеличить чувствительность механизма в 3–4 раза и повысить общую долговечность работы механизма парораспределения турбины с 10 месяцев до 4 лет при работе в среде с температурой 260 °С.

Вакуумная технология способна также решать задачи, которые не под силу другим процессам. Для производства головок наведения управляемых аппаратов требуется коэффициент отражения сферической поверхности магнита из сплава ЮНДК-24 не менее 0,9 при работе с термоударами от +60 °С до –180 °С. Разработанный технологический процесс нанесения многослойного покрытия Zr + ZrN общей толщиной 0,4 мкм обеспечивает стабильное получение коэффициента отражения 0,92.

Свойства бомбардировки ионами низких энергий (до 2 кэВ) очищать поверхность от окисных пленок, вскрывать структурные дефекты в поверхностном слое, а также осуществлять интенсивный нагрев поверхности могут быть использованы для создания экологически чистых технологий взамен химико-термических процессов (цианирование, азотирование) и нанесения гальванических покрытий, применяемых для улучшения эксплуатационных характеристик деталей из низкоуглеродистых сталей типа 08кп, 10, 20.

Все большее распространение получает использование вакуумно-плазменных технологий при нанесении защитно-декоративных покрытий на товары народного потребления из нержавеющей сталей, нейзильбера, стекла, керамики, фосфора. Изделия при этом приобретают желаемую цветовую гамму, которая зависит как от состава реактивного газа, так и от толщины покрытия. Повышение надежности и работоспособности наиболее ответственных и тяжело нагруженных деталей машин, работающих в условиях длительного трения, эрозионного воздействия, значительных механических и тепловых нагрузок, определяющих в связи с этим ресурс изделия, достигается методом детонационно-газового упрочнения путем нанесения на рабочие поверхности деталей упрочняющих

и защитных покрытий импульсным высокоэнергетическим напылением порошкообразного материала с заданными технологическими характеристиками.

В настоящее время разработана технология получения на рабочих поверхностях деталей эксплуатационного слоя с физико-механическими характеристиками, обеспечивающими оптимальные условия промышленной эксплуатации изделий.

Основными преимуществами метода детонационно-газового напыления в сравнении с другими методами газо-термического высокотемпературного напыления (электродуговая металлизация, газопламенное и плазменное напыление) являются: возможность нанесения покрытий на холодную деталь (без необходимости предварительного, сопутствующего либо последующего ее нагрева); высокая прочность сцепления (адгезия) покрытия с материалом детали (до 250 МПа); высокая плотность покрытий (до 99 %); незначительный нагрев детали при напылении (до 200 °С), что позволяет наносить покрытия на окончательно обработанные детали; возможность нанесения чрезвычайно широкого круга материалов (металлов и сплавов, различных видов керамики — оксидов, карбидов и т. д., металлокерамики, а также их смесей).

Эффективность применения детонационных покрытий связана, прежде всего, с повышением срока службы упрочненных деталей. Причем, увеличение затрат на их изготовление значительно ниже по сравнению с экономией от увеличения срока их службы. Кроме того, детонационное напыление в целом ряде случаев позволяет заменить дорогостоящие стали и цветные металлы на более дешевые недефицитные материалы за счет придания необходимых эксплуатационных свойств только рабочим поверхностям, непосредственно подверженным влиянию неблагоприятных факторов, вместо упрочнения детали в целом. Все вместе это обуславливает получение значительной экономии материальных и энергетических ресурсов, а также улучшение экологической ситуации.

С помощью широко применяемых технологий окончательной — обработки (шлифование, хонингование, доводка) создается необходимая, форма поверхности с заданной точностью. Однако в ряде случаев традиционные технологии не обеспечивают оптимальное качество и точность рабочих поверхностей.

### Выводы

1. Наиболее целесообразно использовать вакуумную и детонационно-газовую технологию поверхностного упрочнения деталей и инструмента, а также технологию ППД (обкатывание и раскатывание шаровым и роликовым инструментом, алмазное выглаживание, ударная обработка специальным инструментом), электроискровое легирование или комбинацию вышеперечисленных покрытий.

В результате упрочняется поверхностный слой, повышается износостойкость, стойкость к коррозионным воздействиям и др. Во многих случаях удается повысить запас прочности деталей, работающих при переменных нагрузках в 1,5–2 раза.

2. Выбор оптимального метода зависит непосредственно от уровня эксплуатационных конкретных изделий техники, применяемого оборудования и инструмента.

### Литература

1. Мовшович, А.Я. Нанесение упрочняющих покрытий [Текст]: моногр. / А.Я. Мовшович, Н.К. Резниченко, Б.В. Горелик. – Харьков: УИПА, 2012. – 172 с.

2. Веризуб, М.В. Высокие технологии в машиностроении [Текст]: учеб. пособие / М.В. Веризуб, Е. Весткемпер, Ю.М. Внуков, А.И. Грабченко. – Харьков: ХГПУ, ХПИ, 1999. – 435 с.

© А.И. Долматов, О.Я. Мовшович, М.Д. Жолткевич

**А.І. Долматов, д.т.н., проф.**

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

**О.Я. Мовшович, д.т.н., проф.**

Національний технічний університет «ХПІ»

**М.Д. Жолткевич, д.т.н., с.н.с.**

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

## **ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ МАШИН**

*У статті розглянуті шляхи і методи ефективного підвищення експлуатаційних властивостей виробів машинобудування за рахунок покращення якості поверхневих шарів деталей, а також відповідного оснащення та інструменту, що використовується при обробці різними методами.*

**Ключові слова:** *поверхневий шар, поверхнєве зміцнення, різальний інструмент, методи нанесення покриттів, покриття, зносостійкість.*

**A.I. Dolmatov, Doctor of Technical Sciences, Professor**

National Aerospace University N.E. Zhukovsky «KHAI»

**A.Ya. Movshovich, Doctor of Technical Sciences, Professor**

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»

**N.D. Zholtkevich, Doctor of Technical Sciences, Senior Research Associate**

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

## **THE MAIN TRENDS TO IMPROVE RELIABILITY OF THE MACHINES**

*The article deals the ways and methods to effectively improve the performance properties of engineering products by improving the quality of the surface layers of parts, as well as used in the processing of the various methods of the corresponding equipment and instrument.*

**Keywords:** *surface coating, surface strengthening, machining tool, coating methods, coating, wearability.*