

© Остапчук В.Н.

ВИДЫ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ И МЕТОДЫ ИХ НАНЕСЕНИЯ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЯЖЕЛО НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИХ ОБРАБОТКИ

1. Введение

Разработка и широкое внедрение технологии получения на рабочих поверхностях деталей эксплуатационного слоя с физико-механическими характеристиками, обеспечивающими оптимальное условия эксплуатации, является главным направлением в деле повышения ресурса выпускаемых изделий.

Эффективность применения покрытий связана, прежде всего, с повышением срока службы упрочненных деталей. При чем, 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.

Чрезвычайно важную, а в ряде случаев и определяющую роль в машиностроении играют вопросы, касающиеся поверхности твердого тела. Как известно, причина низкого ресурса инструментов и деталей машин связана преимущественно с быстрым износом и коррозионным

повреждением их поверхностных слоев. Для устранения или торможения процессов, негативно воздействующих на работоспособность изделий, применяют различные способы направленного изменения свойств поверхностных слоев материалов, например нанесение износостойких покрытий на основе нитридов, карбонитов тугоплавких металлов [1].

Основное внимание при разработке технологии было уделено получению достоверной объективной и быстрой информации о свойствах исследуемых покрытий. В связи с этим был разработан ряд методик по определению служебных характеристик покрытий:

- определение прочности сцепления покрытий с основой / защищена авторским свидетельством СССР №1265556/;
- определение коэффициента трения покоя;
- определение термостойкости кисти тепло защитных керамических покрытий.

Повышение работоспособности деталей после нанесения износостойких покрытий достигается в результате действия следующих факторов:

- на поверхности инструмента создается барьерный слой, препятствующий распространению диффузий от обрабатываемого материала и уменьшающий его налипание на инструмент;
- повышается поверхностная микро твердость, увеличивающая способность инструмента сопротивляться абразивному изнашиванию;
- уменьшается трение между поверхностью инструмента и обрабатываемым материалом и снижается адгезионное изнашивание [2].

Применительно к тяжело нагруженным деталям двигателей, среди большого количества существующих методов осаждения покрытий наибольший интерес представляет вакуумно-плазменное осаждение, позволяющие наносить покрытия даже на стали с низкой теплостойкостью и обеспечивающее формирование любых композиционных покрытий с требуемым комплексом свойств [3].

Надежность работы машин непосредственно связана с качеством поверхностного слоя деталей, которое характеризуется геометрическими и физико-механическими параметрами.

От качества поверхностного слоя зависят эксплуатационные свойства – сопротивление усталости, износостойкость, коррозионная и жаростойкость, сопротивление контактной усталости и др.

Оптимальная поверхность должна быть достаточно твердой, иметь остаточное сжимающее напряжение, мелко дисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей с большой площадью опорной поверхности.

Физико-механические параметры поверхности достигаются нанесением на них соответствующих покрытий вакуумно-плазменным, детонационно-газовым, лазерным и др. методами.

2. Анализ существующих видов покрытий

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 для обработки деталей машин наибольшее распространение получили покрытия на основе соединений титана-нитрид титана (TiN), карбид 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, которые 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 обрабатываемый (сходящую стружку). В этом случае сопротивление пластическому сдвигу на участке пластического контакта снижается. Это приводит к уменьшению коэффициентов деформации и сил резания.

В связи с этим, для эффективной обработки трудно обрабатываемых материалов разработан ряд покрытий для режущих инструментов применительно к определенным группам жаропрочных и высоколегированных сталей и сплавов.

Эффекты покрытия:

- для жаропрочных деформируемых сплавов и высоколегированных сталей – композиционное покрытие нитридов титан-хром (Ti/CrN), состоящие 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 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 ($\alpha\text{-Me} + \alpha\text{-Me} \rightarrow \gamma\text{-Me} + \gamma\text{-Me}$). Режущий

инструмент с 4-6 такими слоями обладает достаточной 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°C.

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 нанесение 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 детали из нержавеющей сталей, нейзильбера, стекла, керамики.

Поскольку качество покрытия является комплексным показателем, оно оценивалось по следующим параметрам: микро твердость покрытия, толщина и разброс ее значений, интенсивность изнашивания, прочность адгезионной связи покрытия с подложкой и величина остаточных напряжений в покрытии.

Обеспечение высокой прочности адгезионной связи между покрытием и материалом подложки является наиболее важным условием успешной эксплуатации деталей машин с износостойким покрытием. Практика

показывает, что низкая связь обязательно приведет к отслоению покрытия в процессе работы.

Толщина покрытия является также чрезвычайно важным параметром, но далеко неоднозначным. С одной стороны, с ростом толщины покрытия повышается износостойкость контактных площадок инструмента, с другой стороны, это приводит к заметному увеличению числа дефектов в покрытии, снижению прочности адгезионной связи с инструментальным материалом, ухудшению способности покрытия сопротивляться хрупкому разрушению. Что касается микро твердости, то она также оказывает двойственное влияние на работоспособность инструмента сопротивляться абразивному изнашиванию, но в тоже время сильно снижается поверхностную пластичность.

Остаточные напряжения негативно влияют на прочность адгезионной связи покрытия с подложки и, как следствие, уменьшают стойкость инструмента. При испытаниях величина остаточных напряжений оценивалась рентгеновским методом.

Важнейшие свойства композиции покрытие – подложка (управляемые параметры) – зависят от состава, структуры, строения покрытия, типа формируемой связи между покрытием и инструментальным материалом, выбранного метода и технологических параметров процесса покрытия.

Существующее многообразие методов нанесения покрытий условно можно разделить следующие группы – химические, физические и импульсивные нанесения покрытий [4].

Химические методы основаны на гетерогенных химических реакциях в парогазовой среде, окружающей инструмент, в результате которых образуются покрытия. Исходными продуктами служат газообразные галогениды, при взаимодействии которых с другими продуктами служат газообразные галогениды, при взаимодействии которых с другими составляющими смесей (водородом, аммиаком, окисью углерода и т.д.) образуются покрытия. Разложение галогенида происходит вследствие

термической реакции при достаточно высоких температурах, как правило, в пределах $T=800\dots 1100^{\circ}\text{C}$.

В основе физических методов лежит испарение тугоплавких металлов в вакуумное пространство камеры с подачей реакционных газов: N_2 , O_2 , CH_4 и др. Процессы нанесения покрытий происходит в течение 20-60 минут при температурах порядка $200-800^{\circ}\text{C}$, что позволяет использовать эти методы в качестве универсальных для нанесения покрытий на твердые сплавы, быстрорежущие стали, а также на легированные стали.

Метод физического осаждения покрытий обеспечивает хорошую прочность адгезионной связи покрытия с инструментальной матрицей, возможность управления процессом нанесения и формирования композиционных покрытий с требуемым комплексом свойств [4].

Импульсивные методы заключаются в использовании энергии газовой смеси в канале ствола детонационно-газовой установки. Управляемая детонация сообщает частицам наносимого металла, вводимого в ствол установки, высокую скорость и температуру. В точке удара возникает давление, превышающее предел текучести материала покрытия и основы, что обеспечивает необходимые условия для осуществления хорошей связи наносимого материала с подложкой (деталью).

Существенное преимущество импульсивных методов – умеренный нагрев покрываемых поверхностей не превышающих 250°C . Поэтому основа практически не деформируется и не подвергается другим физическим изменениям.

Среди импульсивных методов нанесения износостойких покрытий наибольший интерес представляет метод детонационно-газового упрочнения применяемого для повышения надежности и работоспособности ответственных и тяжело нагруженных деталей машин, работающих в условиях длительного трения, эрозионного воздействия, значительных механических и тепловых нагрузок, определяющих в связи с этим ресурс работы изделия.

Повышение ресурса достигается путем нанесения на рабочие поверхности деталей упрочняющих и защитных покрытий импульсивным высоко энергетическим напылением порошкообразного материала с заданными технологическими характеристиками.

В настоящее время разработана и широко внедрена 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 пламенное 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 250МПа);
- высокая плотность покрытий (до 99%);
- незначительный нагрев детали при напылении (до 250°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 покрытий (шлифование, хонингование, доводка) создается необходимая форма поверхности с заданной точностью. Однако в ряде случаев традиционные технологии не обеспечивают оптимальное качество и точность рабочих поверхностей.

В этих случаях целесообразно использовать технологии поверхностного деформирования (обкатывание и раскатывание шаровым и роликовым инструментом, алмазное выглаживание, ударная обработка специальным инструментом).

Для предварительной оптимизации режима напыления различных порошковых материалов применялся метод математического моделирования, который позволил расчетным путем определять энергетические параметры частиц напыляемого материала при различных вариациях технологического режима и, тем самым, существенно упростить задачу поиска оптимального режима напыления. На всех этапах обработки режимов напыления основным параметром оптимизации была прочность сцепления покрытия с подложкой. Разработаны и внедрены различные структуры детонационных покрытий: от двух и трёхслойных упрочняющих покрытий до многослойных многокомпонентных с изменяющейся по толщине концентрацией керамического компонента тепло защитных покрытий.

Напыление последних осуществлено, благодаря разработанной и реализованной системе практически одновременного (через 1 выстрел) напыление различных порошковых материалов (компонентов), в основе которой положен принцип подачи кислорода в ствол установки по двум независимым параллельным каналам.

Для возможности манипулирования при напылении упрочняемыми деталями с различной конфигурацией был разработан и изготовлен автоматический программируемый универсальный манипулятор с гидроприводом, обладающий пятью степенями свободы, снабженный системой управления, что и детонационная установка.

Технология детонационно-газового упрочнения деталей включает в себя:

- режим напыления единичного пятна покрытия (компонента);
- режим (порядок) обстрела упрочняемой поверхности детали единичными пятнами – напыление единичного слоя покрытия;
- режим (порядок) формирования многослойного покрытия;
- режим охлаждения покрытия (детали с покрытием).

Режим напыления единичного пятна реализуется исключительно работой одной установки ДГУ. Все же остальные составляющие технологии упрочнения обусловлены совместной работой УДГУ, манипулятора перемещения деталей, а также охлаждающего устройства.

Концепция, положения в основу разработки технологии детонационно-газового упрочнения базовых деталей, предусматривает следующие условия (ограничения):

- детонационно-газовое упрочнение детали должно производиться на одной детонационно-газовой установке;
- выполнение всего цикла упрочнения одной какой-либо поверхности каждой отдельно взятой детали должно производиться с одной установки (без открепления и снятия детали) и без переналадки УДГУ манипулятора;
- напыление слоев, содержащих в своём составе два компонента, осуществляется путём поочередного (через один выстрел) напыления каждого из компонентов;
- за один проход (слой) должно напыляться не более двух различных компонентов;
- напыление должно производиться при неизменной дистанции.

Выполнение первых трёх условий становится возможным при использовании детонационно-газового оборудования, а именно: наличие четырёх дозаторов с различными порошковыми материалами, возможность одновременного использования двух разных горючих газов (топлив), либо двух кислородных трактов, системы управления, позволяющей производить каждый последующий выстрел по любой циклограмме из хранящих в оперативной памяти. Оптимизация режима напыления выполнена с учетом этих возможностей.

При этом оптимальным считался режим, обеспечивающий:

- заданное соотношение компонентов покрытия по его толщине;
- заданную толщину покрытия (слоев) и равномерность толщины;
- равномерный нагрев (охлаждение) деталей с покрытием.

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 [5].

3. Вывод

Применение вакуумно-плазменных, ионно-плазменных, детонационно-газовых покрытий увеличивает износостойкость деталей машин и инструмента в 1,5-2 раза, в ряде случаев позволяет заменить дорогостоящую инструментальную сталь на более дешевую конструкцию, получать рабочие поверхности с наперед заданными свойствами (антифрикционными, коррозионностойкими, задиростойкими, инертными к физико-химическому воздействию).

Список использованных источников

1. Григорьев С. Н. Виды износостойких покрытий и методы их нанесения на детали машин / С. Н. Григорьев, А. А. Шеин // Обработка металлов давлением. – 2005. – №5.

2. Григорьев С. Н. Перспективные технологии и оборудование для комбинирований вакуумно-плазменной обработки деталей / С. Н. Григорьев // *Металл. Оборудование. Инструмент.* – 2003. – С. 36–40.
3. Schul, Dubenkropp, G. Einsatz von Hartstoff – Schichten bei der Blechumformung / G. Dubenkropp Schul, J. Vogel // *Blech Rohre Profile.* – 1992. – Vol 39, № 12. – S. 1039–1041.
4. Верещака А.С. Режущий инструмент с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака, И. П. Третьяков. – М. : Машиностроение, 1986. – 192 с.
5. Мовшович А. Я. Повышение стойкости режущих элементов штампов методом нанесения упрочненных покрытий / А. Я. Мовшович, Б. В. Горелик // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением.* – 2005. – № 6. – С. 19-32.

Останчук В.Н. «Виды износостойких покрытий и методы их нанесения на рабочие поверхности тяжело нагруженных деталей машин и инструмента для их обработки».

Приведен анализ технологических возможностей различных видов и методов нанесения упрочняющих покрытий на рабочие поверхности деталей машин и режущего инструмента.

Останчук В.М. «Види зносостійких покриттів і методи їх нанесення на робочі поверхні важко навантажених деталей машин та інструменту для їх обробки».

Приведений аналіз технологічних можливостей різних видів і методів нанесення зміцнювальних покриттів на робочі поверхні деталей машин та ріжучого інструменту.

Ostapchuk V.N. “The types of wear-resistant coatings and the application methods them on the work surfaces of the heavy-loaded machine elements and the work tool for their handing”.

The analysis of technological features of various types and the application methods of strengthening coatings on the work surfaces of the machine elements and the cutting tool is given.