

ПРИМЕНЕНИЕ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАПРАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

1. Постановка проблемы

Повышение долговечности и износостойкости деталей подвижных сопряжений машин и их рабочих органов является одним из наиболее актуальных научных направлений развития современного машиностроения.

Эксплуатация направляющих элементов технологической оснастки связана с многократным скольжением втулки относительно колонки. Долговечность работы направляющих элементов, под которой понимают ее способность работать в течение определенного времени, чаще всего определяется не поломками колонок и втулок, а износом их поверхностей, т.е. изменением их размеров под влиянием трения.

Повышение износостойкости трущихся поверхностей можно осуществить нанесением различных покрытий на ее рабочие поверхности и упрочнением поверхностным пластическим деформированием.

Перспективным направлением повышения стойкости направляющих элементов технологической оснастки, является нанесение на их рабочие поверхности упрочняющих покрытий вакуумно-плазменным и детонационно-газовым методами.

В последнее время развивается новое направление вакуумно-плазменной технологии – ионная имплантация. Это процесс, при котором практически любой элемент может быть внедрен в поверхностный слой твердого тела посредством пучка высокоэнергетических ионов (энергия ионов составляет от нескольких кэВ до десятков МэВ). Наиболее часто ионная имплантация используется для повышения износостойкости и коррозионной стойкости

материалов за счет образования упрочненного слоя, имеющего диффузионное сцепление с основой без ярко выраженной поверхности раздела. Толщина этого слоя может значительно превышать глубину пробега ионов (при энергии ионов 0,1 МэВ толщина слоя составляет 0,1 мкм).

В свою очередь, ионно-плазменное нанесение покрытий в вакууме — наиболее эффективный процесс, так как позволяет получить слой, толщина которого измеряется в микрометрах и который является принципиально новым материалом с высокими показателями прочности, износостойкости, твердости и в то же время эластичен. Однако полученный материал (покрытие) имеет адгезионное сцепление с основой, а не диффузионное.

2. Цели исследования

Наиболее перспективным способом является сочетание технологий ионной имплантации и ионно-плазменного нанесения покрытий заданного газового состава и толщины. С этой целью вакуумный ионно-плазменный метод нанесения покрытий трансформируется в метод плазмохимической имплантации, имеющий следующие основные преимущества:

- глубокая газовая диффузия (от 0,05 до 0,3 мм в зависимости от температуры подложки);
- диффузия испаряемого металла в поверхностные слои основы (от 0,05 до 0,3 мм в зависимости от температуры подложки);
- получение переходного по структуре слоя в основном материале, на который затем наносится покрытие с заданными, в том числе особыми свойствами.

3. Изложение основного материала

Предпосылкой для разработки метода плазмохимической имплантации и детонационно-газового нанесения покрытий служат следующие положения. При использовании вакуумного ионно-плазменного способа нанесения

покрытий при постоянной площади «активной зоны» мощность теплового потока определяется выражением

$$M = U_{on} I,$$

где U_{on} – опорное напряжение;

I – ионный ток.

Наибольшее влияние на состояние поверхности оказывает кинетическая энергия ионного потока

$$W = \frac{1}{Z} \varepsilon,$$

где Z – средняя кратность заряда;

ε – средняя энергия ионного потока.

В таблице 1 приведены параметры ионной составляющей плазменного потока материалов, наиболее часто используемых в вакуумно-плазменных технологиях.

Таблица 1 – Параметры ионной составляющей плазменного потока

Материал	Атомная масса	Средняя кратность	Степень ионизации	Средняя энергия ионов в пучке.	Ионный ток. А
		%			
Титан	47,90	2,05	50	75,93	2,0
Цирконий	91,92	2,33	50	93,24	2,3
Молибден	95,94	2,35	90	151,56	4,5'

В результате подстановки указанных величин в формулы и расчета по этим формулам установлено, что кинетическая энергия и мощность теплового потока ионов молибдена больше, чем, например, у титана, в 4 и 2 раза соответственно. Чем выше степень ионизации испаряемого материала, тем больше плотность ионного потока.

Сравнительные испытания на статический изгиб образцов из термообработанной стали XI2M и таких же образцов, подвергнутых бомбардировке ионами титана и хрома (энергия активации 113,13 и 129,89

кДж/моль соответственно) показали, что во втором случае прочность образцов повышается на 27 и 13% соответственно. После имплантации, не прерывая вакуумного процесса, наносят покрытие.

Технологический процесс нанесения ионно-плазменных покрытий является многопараметрическим. Каждый из параметров (или их сочетание) может оказать влияние на базовый состав, структуру и свойства покрытия. Выделение количественной связи между параметрами ионно-плазменного процесса, с одной стороны, и базовым составом и структурой покрытия с другой стороны, позволяет направленно изменять эти свойства и, в конечном счете, управлять работоспособностью упрочняемого изделия. Так, изменение только одного параметра — давления в вакуумной камере — при осаждении многослойного и монослойного покрытий на основе нитрида титана изменяет фазовый состав по количеству нитридов следующим образом: в монослойном покрытии среднее содержание титана и нитрида титана составляет 15 и 85%, в многослойном — 47 и 54% соответственно.

Монослойное покрытие из-за большой толщины и твердости отличается значительной хрупкостью и может разрушиться в результате вибрации и ударов при работе. Многослойное покрытие по прочностным характеристикам соответствует условиям обработки металлов штамповкой, однако стойкость инструмента с таким покрытием может быть ниже стойкости инструмента с монослойным покрытием, так как единичные твердые слои многослойного покрытия всегда тоньше износостойкого слоя монослойного покрытия и располагаются на мягкой фазе.

В связи с этим возникает необходимость разработки процесса получения многослойных покрытий большей плотности, близких по фазовому составу к монослойным покрытиям.

С этой целью исследовали изменение толщины покрытия в зависимости от величины опорного напряжения U_{on} при различных давлениях p_e в вакуумной камере. Установлено, что вначале при повышении опорного напряжения толщина покрытия увеличивается при любом рабочем давлении в

вакуумной камере и достигает своего максимума, когда $U_{on} = 100-150$ В. При дальнейшем повышении опорного напряжения толщина покрытия уменьшается и будет тем меньше, чем ниже $p_с$. Так, при $p_с = 10^{-3}$ Па уже при $U_{on} = 400$ В покрытие не образуется, а при $U_{on} > 400$ В происходит распыление поверхности. Аналогично протекает процесс и при $p_с = 10^{-2}$ и 10^{-1} Па, однако распыление поверхности происходит при $U_{on} = 670 - 700$ В и при $U_{on} > 1600$ В.

Полученные зависимости толщины покрытия от опорного напряжения и давления в вакуумной камере позволили разработать принципиально новый технологический процесс нанесения многослойных покрытий, обладающих стабильными особыми свойствами. Полученное новым способом покрытие на основе нитрида титана представляет собой конструкцию, состоящую из сотен тончайших, чередующихся по твердости слоев. Химический состав покрытия, определенный путем сравнения интегральных интенсивностей интерференционных линий титана и нитрида титана, состоит из 7-9% α -Ti и 93—91% γ -Ti, имеет плотность 6,18 г/см³ и микротвердость порядка 37 ГПа. Нанесение такого покрытия на направляющие элементы штампов увеличило их износостойкость в 2,1-2,4 раза.

Таким образом, сочетание ионной имплантации и вакуумного ионно-плазменного нанесения покрытий трансформировано в процессе плазмохимической имплантации, позволяющей повысить износостойкость, прочность и коррозионную стойкость направляющих элементов технологической оснастки.

Детонационный способ является одним из перспективных методов получения износостойких покрытий и заключается в использовании энергии детонации газовых смесей в стволе установки. Управляемая детонация сообщает частицам наносимого материала, вводимого в ствол установки, высокую скорость и температуру. В точке удара возникает давления превышающие предел текучести материала покрытия и основы, что обеспечивает необходимые условия для осуществления хорошей связи наносимого материала с подложкой (деталью).

Детонационные покрытия наносились на направляющие колонки, изготовленные из стали 20. В качестве наносимого порошкового материала использовалась механическая смесь карбида вольфрама с кобальтом ВК5. Напыление производилось по режиму: скорострельность – 2 выстрела в секунду, дистанция напыления – 150 мм, соотношение рабочих компонентов $O_2:N_2:C_2H = 30:40:30$ %, толщина получаемых покрытий 0,20-0,25 мм.

После шлифовки толщина твердосплавного покрытия составляла 0,10-0,12 мм. Таким образом, удалось получить рабочую направляющую колонку, представляющую собой стальной стержень, заключенный, а твердосплавную оболочку. При этом колонка сохраняла все преимущества твердого сплава и одновременно исключала его недостатки.

При отработке режимов детонационно-газового упрочнения для отобранных порошковых материалов предварительно была проведена оптимизация режимов стрельбы по разработанной математической модели, а также экспериментально проверены режимы нанесения покрытий.

В качестве критерия оптимизации принимали адгезионную прочность, твердость покрытия, его толщину, напыляемую за единичный выстрел, коэффициент использования порошка.

Адгезионную прочность определяли по штифтовой методике с использованием конических штифтов, твердость по методу Венкерса, усталостную прочность - по схеме «пульсирующего контакта» на специальном испытательном стенде, коэффициент трения скольжения - на разрывной машине усилием $P = 5$ кН по схеме [1].

Анализ результатов испытаний по совокупной оценке служебных характеристик показал, что оптимальное упрочняющее покрытие должно обладать:

- твердостью не менее 800Н;
- адгезионной прочностью не ниже 200Мпа;
- прочностью на срез $\tau_{ср}=500$ Мпа;
- толщиной – 200 – 300мкм.

Для моделирования процесса износа направляющих элементов была сконструирована специальная установка на базе токарного станка 16К20. Испытывались колонки с покрытием TiN и BK15. Величина износа определялась путем замера линейных размеров по 11 сечениям колонки на приборе «Талерунд» с точность до 0,1 мкм.

Направляющие втулки были изготовлены из стали 38ХМЮА.

До испытания, затем через каждые 50 тис. циклов и после окончания испытаний были записаны круглограммы. Каждая пара трения была испытана при количестве циклов - 200 тыс., при постоянном нагружении – 50 кгс. Смазка пары производилась один раз за восемь часов путем набивки ее в смазочные канавки направляющей втулки.

Анализ полученных результатов показывает, что максимальный износ колонок происходил в зоне постоянного контакта со втулкой. Износ колонок по другим сечениям составил: для стали 20-2,4 мкм для стали 38ХМЮА – 0,7 мкм. Наименьший износ имели образцы с покрытиями из BK15 и TiN

Износ натуральных образцов с покрытиями из BK15 при испытании на специальной установке составил 0,1-0,2 мкм, что в 3-4 раза меньше износа колонок из стали 38ХМЮА и в 12-15 раз меньше износа колонок, выполненных из стали 20.

Наилучшие показатели при испытании на износостойкость получены на втулках с покрытием из TiN. Износ обнаружен по трем сечениям из одиннадцати и не превышал 0,2-0,4 мкм, что в 5-6 раз меньше износа колонок из стали 38ХМЮА.

Технологические методы обработки оказывает большое влияние на износостойкость образцов в самих направляющих элементов. Детали, подвергнутые поверхностному пластическому деформированию, имеют износ в 1,5-2 раза меньше, чем шлифованные.

Выводы

1. На основании данных испытаний для системы направления технологической оснастки необходимо рекомендовать пару - направляющая колонка с детонационным покрытием ВК15 и втулка с покрытием на основе TiN, так как эти покрытия показали высокие эксплуатационные свойства и практически не имели износа.

2. Применение детонационно-газового метода для упрочнения направляющих колонок технологической оснастки позволило увеличить износостойкость в 1,6-2,2 раза, заменить дорогостоящую инструментальную сталь на более дешевую конструкционную, исключить термическую обработку (цементация, закалка, азотирование) рабочих поверхностей.

Список использованных источников

1. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-химических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохова. – Новосибирск : Наука, 1986 – 175 с.

2. Вакуумно-плазменное нанесение износостойких покрытий / Н. Д. Жолткевич, А. А. Этингант, В. М. Горелик, О. В. Пылинин. – М. : ЦНИИ информации, 1984 – 40 с.

3. Повышение ресурса модулей технологическими методами / В. А. Богуслаев, А. И. Долматов, А. Я. Мовшович [и др.]. – Запорожье : ОАО «Мотор Сич», 2003. – 269 с.

Ищенко Г.И., Мовшович А.Я., Резниченко Н.К. «Применение упрочняющих покрытий для повышения износостойкости направляющих элементов технологической оснастки».

Рассмотрены различные способы нанесения упрочняющих покрытий на направляющие элементы оснастки (ионно-плазменный метод, ионная имплантация, плазмохимическая имплантация, детонационно-газовый метод) и оценено влияние этих способов на повышение стойкости штампов.

Установлены необходимые характеристики упрочняющих детонационных покрытий и определены наиболее перспективные покрытия.

Ключевые слова: упрочняющие покрытия, ионная имплантация, плазмохимическая имплантация, детонационные покрытия, повышение стойкости штампов, перспективные покрытия.

Ищенко Г.І., Мовшович О.Я., Резніченко М.К. «Застосування зміцнюючих покриттів для підвищення зносостійкості направляючих елементів технологічного оснащення».

Розглянуті різні способи нанесення зміцнюючих покриттів на направляючі елементи оснащення (іонно-плазмовий метод, іонна імплантація, плазмохімічна імплантація, детонаційно-газовий метод) і оцінений вплив цих способів на підвищення стійкості штампов. Встановлені необхідні характеристики зміцнюючих детонаційних покриттів і визначені найбільш перспективні покриття.

Ключові слова: зміцнюючі покриття, іонна імплантація, плазмохімічна імплантація, детонаційні покриття, підвищення стійкості штампов, перспективні покриття.

Ischenko G.I., Movshovich A.Ya., Reznichenko N.K. “Application of consolidating coverages for the increase of wearproofness of sending elements of the technological rigging”.

The various methods of strengthening the loaded die surfaces by coating i.e. ionoplasmic method, ionic implantation plasmochemical implantation and gas-detonation method are considered. The influence of die working with these methods on the improvement of die endurance is estimated. The required strengthening characteristics of the detonational coatings are settled. The most prospective coatings are proposed.

Keywords: consolidating coverages, ionic implantation, implantation, detonation coverages, increase of firmness of stamps, perspective coverages.

Стаття надійшла до редакції 11 травня 2010 р.