

УТВЕРЖДАЮ

Декан МСФ

 Р.И. Дедюх
«17» ноября 2008 г.

Б.С. Зенин

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для магистрантов, обучающихся по магистерской программе 150614
«Материаловедение и технология наноматериалов и покрытий» направления
150600 «Материаловедение и технология новых материалов»

Издательство
Томского политехнического университета
2008

УДК 621.787.4(076.5)

ББК 34.663я73

З-56

Зенин Б.С.

3-56 Современные технологии модифицирования поверхности металлических материалов и нанесения покрытий: методические указания к выполнению лабораторных работ для магистрантов, обучающихся по магистерской программе 150614 «Материаловедение и технология наноматериалов и покрытий» направления 150600 «Материаловедение и технология новых материалов» / Б.С. Зенин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 23 с.

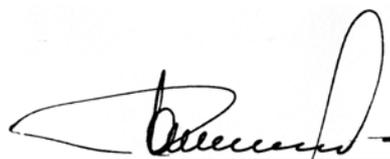
ISBN 5-98298-332-2

УДК 621.787.4(076.5)

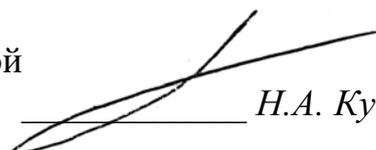
ББК 34.663я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
материаловедения в машиностроении МСФ
«16» июня 2007 г.

Зав. кафедрой ММС
академик РАН

 В.Е. Панин

Председатель учебно-методической
комиссии

 Н.А. Куприянов

Рецензент

Заведующий лабораторией ИФПМ СО РАН,
доктор технических наук
С.В. Панин

ISBN 5-98298-332-2

© Зенин Б.С., 2008

© Томский политехнический университет, 2008

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2008

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом с развитием техники к материалам, из которых изготавливаются детали современных машин и механизмов, предъявляются все более и более повышенные требования. Это связано с более жесткими условиями эксплуатации современной техники: высокие скорости, увеличенные нагрузки, повышенные температуры, агрессивная среда и т. д.

В настоящее время материаловедение и технология получения и обработки материалов являются основой развития современного машиностроения, которое для дальнейшего развития требует повышения качества используемых материалов и создания новых материалов с более высокими или принципиально новыми физическими и механическими свойствами, чтобы обеспечить высокий ресурс современных машин и механизмов.

При решении таких задач необходимо помнить, что, во-первых, свойства материала определяются его химическим составом и структурой, и, во-вторых, что долговечность или срок службы изделий машиностроения во многом определяются качеством поверхностного слоя (и в первую очередь это относится к деталям, работающим в условиях агрессивной среды, в условиях износа, при повышенных температурах). С учетом последнего замечания становится понятной та роль, которую в современном машиностроении отводят технологиям упрочнения поверхности деталей машин и механизмов, работающих в тяжелых условиях и технологиям нанесения упрочняющих и восстанавливающих покрытий. И эта роль в наше время повышается по мере того, как в дополнение к традиционным технологиям упрочнения поверхности, таким как поверхностно пластическая деформация, традиционные методы поверхностной закалки, химико-термической обработки, приходят методы, основанные на принципиально новых технологиях. К таким технологиям можно отнести радиационно-пучковые технологии (РПТ), другое их название – электронно-ионно-квантовые технологии (ЭИКТ), основанные на использовании концентрированных потоков энергии. Использование лазерного излучения, мощных электронных лучей, ионных пучков, потоков высокотемпературной плазмы позволяет получать материалы новых поколений с высокими эксплуатационными характеристиками.

Целенаправленно создавая особую структуру материала поверхностного слоя и изменяя его химический состав ученые и технологи в по-

следние годы создали и внедрили в практику новые классы материалов, такие как композиционные материалы, аморфные материалы, градиентные материалы, наноструктурные материалы и др., которые

Основной задачей направления 150600 «Материаловедение и технология новых материалов» является подготовка специалистов, которые знакомы с принципами, лежащими в основе разработки новых материалов с заданными свойствами и имеют представление о современных технологиях упрочнения поверхности деталей машин и механизмов и нанесения покрытий.

Предлагаемые лабораторные работы по курсу «Современные технологии модифицирования поверхности металлических материалов и нанесения покрытий» предназначены для студентов и магистрантов направления 150600 «Материаловедение и технология новых материалов». Основной целью лабораторных работ является практическое знакомство студентов с современными методами обработки материалов, основанными на использовании высокоэнергетических технологий, таких как радиационно-пучковые технологии (РПТ) и электронно-ионно-квантовые технологии (ЭИКТ).

Представленные лабораторные работы позволяют студентам познакомиться с прогрессивными методами поверхностной обработки материалов, которые соответствуют современному состоянию машиностроительного производства. Общей характеристикой предлагаемых лабораторных работ является использование высокоэнергетических источников в качестве инструмента для обработки поверхности материалов – плазменный разряд, плазменная струя, поток ионов, электронный луч. Повышенные плотности энергетического потока определяют высокую интенсивность процесса упрочняющей обработки и позволяют получать материалы нового качества с высокими эксплуатационными характеристиками.

Другой особенностью предлагаемых работ является то, что в основе их лежат методики, разработанные в свое время для проведения научно-исследовательских работ и адаптированные в последние несколько лет для выполнения учебных студенческих лабораторных работ. С этим связано и место проведения лабораторных работ, часть из которых выполняются в лабораториях кафедры ММС, а часть выполняется на филиале кафедры ММС в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИОННОЕ АЗОТИРОВАНИЕ В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Цель работы

Изучить технологию процесса ионного азотирования, получить образец с упрочненной поверхностью, исследовать характеристики упрочненного поверхностного слоя.

Основные положения

Долговечность деталей во многом определяется состоянием их поверхности. В первую очередь, ее износостойкостью. Одним из методов повышения износостойкости поверхности деталей является азотирование. Азотирование является одним из видов химико-термической обработки (ХТО).

Химико-термическая обработка – это термическая обработка, сочетающая тепловое воздействие с химическим, в результате чего изменяются состав и структура, в первую очередь, в поверхностных слоях. Для изменения химического состава изделие нагревают в активной среде. Во время выдержки изделие диффузионно обогащается элементами из этой среды.

Диффузионную зону после химико-термической обработки на шлифе можно выявить травлением благодаря измененному химическому составу поверхностного слоя. В однофазной зоне концентрации плавно изменяется от поверхности в глубь изделия (рис. 1), и поэтому под микроскопом граница такой зоны размыта или, чаще, вообще не выявляется.



Рис. 1. Распределение концентрации в однофазной зоне в разные моменты времени при постоянной концентрации на поверхности C_n

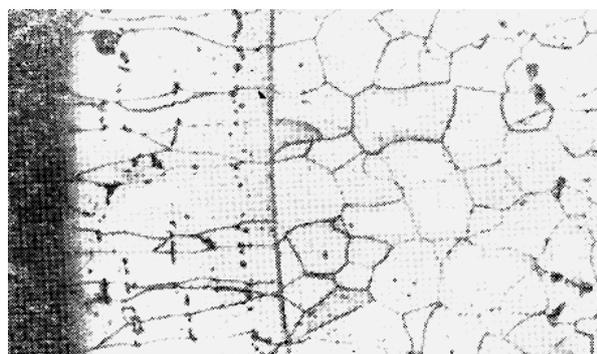
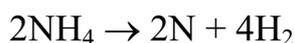


Рис. 2. Микроструктура диффузионной зоны после насыщения железа молибденом при 1200°C ; $\times 200$

Если диффузия сопровождается фазовыми превращениями, то строение диффузионной зоны резко отличается от структуры глубинных слоев. Различие в типе решеток и скачок концентраций на границе новой и исходной фаз обуславливают резкую разницу в травимости по обе стороны от этой границы и способствуют вытравливанию самой границы в виде так называемой диффузионной линии (рис. 2).

Поверхностное насыщение стали азотом – широко используемый процесс химико-термической обработки. Азот растворяется в железе по способу внедрения и поэтому может быстро диффундировать на значительную глубину. Стоимость активной среды, содержащий этот элемент, достаточно мала, а фазы, образующиеся с участием азота в процессе насыщения или при последующей термообработке, резко изменяют механические и физико-химические свойства стали.

Как правило, азотирование стальных изделий проводят в аммиаке, который при нагревании диссоциирует, поставляя активный атомарный азот:



В системе Fe–N при температурах азотирования могут образовываться следующие фазы: α -раствор азота в железе (азотистый феррит), γ -раствор азота в железе (азотистый аустенит), промежуточная γ' -фаза переменного состава с г.ц.к. решеткой (ей приписывают формулу Fe_4N) и промежуточная ε -фаза с г.п.у. решеткой и широкой областью гомогенности (от 8,1 до 11,1 % N при комнатной температуре).

В легированных сталях азот образует с алюминием, хромом, молибденом и другими элементами нитриды в очень дисперсной форме, вследствие чего азотированный слой приобретает твердость, намного превышающую твердость цементованных сталей.

Азотирование проводят при 500–520 °С. Из-за низкой температуры и, следовательно, низкой подвижности атомов азота процесс длительный (24–90 ч). Толщина азотированного слоя составляет 0,3–0,6 мм. Можно сократить продолжительность азотирования, повышая температуру, но при этом сильно падает твердость из-за коагуляции нитридов легирующих элементов.

К настоящему времени предлагаются различные варианты интенсификации газового азотирования. Одним из наиболее эффективных и перспективных вариантов химико-термической обработки считается азотирование в плазме тлеющего разряда или ионное азотирование.

Азотирование в тлеющем разряде

В настоящее время процесс азотирования ионизированным азотом в плазме тлеющего разряда (ионное азотирование) получает наибольшее

распространение. Сущность метода в следующем. В разреженной азотосодержащей атмосфере между катодом (деталью) и анодом возбуждается тлеющий разряд, и ионы газа, бомбардируя поверхность катода, нагревают ее до температуры насыщения. Температура азотирования 470–580 °С, разрежение 1–10 мм РТ. ст., рабочее напряжение колеблется от 400 до 1100 В, продолжительность процесса составляет от нескольких минут до 24 часов.

Интенсификация процесса при ионном азотировании объясняется воздействием тлеющего разряда на все элементарные процессы, ответственные за образование диффузионного слоя: активацию газовой фазы, адсорбцию и диффузию. При азотировании в тлеющем разряде положительные ионы диффундирующего элемента (азота) под действием электростатического поля приобретают энергию, которая в 3000 раз превосходит энергию атома азота в диссоциированном аммиаке в условиях обычного печного азотирования.

Использование такого способа позволило решить ряд важных задач: получение диффузионных слоев заданного фазового состава и строения, возможность проведения регулируемых процессов азотирования; получение незначительных деформаций изделий в процессе обработки, высокого класса чистоты поверхности и т. д.

Для повышения эффективности ионного азотирования был предложен новый вариант – ионное азотирование в тлеющем разряде с эффектом полого катода. Использование эффекта полого катода (ЭПК) при ионном азотировании обеспечивает значительное повышение производительности процесса и позволяет эффективно упрочнять только необходимые участки обрабатываемой поверхности.

В тлеющем разряде с катодом, имеющим полость, при определенных условиях возникает эффект полого катода. В этом случае параметры разряда существенно отличаются от параметров разряда с катодом без полости. Особенности разряда с полым катодом обуславливают его применение в различных газоразрядных системах и прежде всего для ионного азотирования.

Ионное азотирование осуществляют с помощью тлеющего разряда метастабильной формы. За счет энергии ионов газа, бомбардирующих поверхность, детали нагреваются до температуры азотирования при одновременной диффузии ионов азота в обрабатываемую поверхность. Все процессы в плазме тлеющего разряда, такие как возбуждение, ионизация, диссоциация, а также рекомбинация происходят в так называемой области катодного падения потенциала.

Методика проведения работы

Приборы и материалы

Работа проводится на кафедре ММС ТПУ на установке ионного азотирования ИА-1. Микроструктура образцов с упрочненным слоем исследуется на микроскопе Neophot-21. Микротвердость измеряется на установке ПМТ-3.

Схема установки ИА-1 представлена на рис. 3. Ее основные узлы: 1 – источник питания, 2 – анод, 3 – катод (деталь), 4 – экран. Разряд с полым катодом создается с помощью специального экрана в виде сетки 4, размещаемого на определенном расстоянии от обрабатываемой поверхности детали.

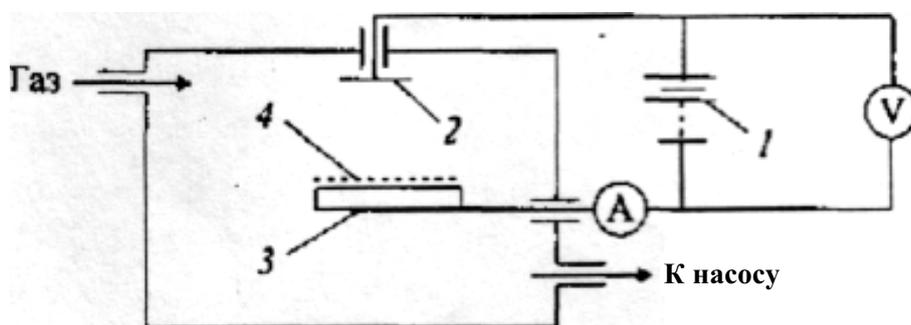


Рис. 3. Схема установки для ионного азотирования

Поверхность детали является поверхностью полого катода, что приводит к образованию вблизи нее структуры из плазмы и слоя пространственного заряда между обрабатываемой поверхностью и границей плазмы. Выход электронов через малые ячейки сетки (экрана) за пределы полости затруднен, так как прикатодные области объемного заряда перекрывают расстояния между ячейками и отражают осциллирующие электроны.

В камере на некотором расстоянии от анода на катод помещаем образцы размерами $10 \times 10 \times 30$ мм. На расстоянии 5–7 мм от поверхности образцов устанавливается экран. Обрабатываемая деталь и экран находятся под отрицательным потенциалом. По указанию преподавателя задаются следующие технологические режимы: давление в камере, напряжение горения разряда, ток разряда, температура образцов, время процесса.

Из полученных образцов по стандартной методике изготавливаются микрошлифы и исследуется микроструктура азотированного слоя и распределение микротвердости по толщине упрочненного слоя.

Контрольные вопросы

1. Какими преимуществами обладает ионное азотирование по сравнению с печным азотированием?
2. Назовите механизмы упрочнения поверхностного слоя при азотировании.
3. Что нового дает использование эффекта полого катода (ЭПК) при ионном азотировании по сравнению с процессом без ЭПК?
4. Как зависит глубина диффузии атомов азота от времени протекания процесса, от рабочей температуры процесса?

Содержание отчета

- В отчете представить схему установки с ее описанием.
- Описать последовательность выполнения работы.
- Привести параметры процесса азотирования.
- По результатам эксперимента заполнить таблицу
- Построить график зависимости микротвердости по толщине упрочненной поверхности.
- Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Цель работы

Изучить процесс ионной имплантации, познакомиться с установкой ионно-лучевой модификации поверхности твердых тел.

Основные положения

Ионная имплантация (ИИ) или ионное легирование представляет собой процесс внедрения (имплантации) легирующего элемента в поверхностный слой детали в результате ее бомбардировки высокоэнергетическими ионами. Основным эффектом упрочнения в данном методе определяется так же как и при химико-термической обработке изменением химического состава поверхностного слоя упрочняемого изделия. Однако механизм формирования поверхностного слоя при ИИ существенно отличается от такого при ХТО. Во-первых, в качестве рабочего элемента используется материал в виде направленного пучка высокоэнергетических ионов. Во-вторых, метод ионной имплантации является универсальным способом введения легирующих элементов, поскольку позволяет вводить в любой сплав практически любой элемент в любом количестве. В результате ионной имплантации в тонком приповерхностном слое может быть получена достаточно высокая концентрация легирующего элемента вплоть до 20–50 ат %. Такие высокие концентрации для многих случаев невозможно достичь, используя традиционные методы легирования из-за ограниченной равновесной растворимости легирующих элементов в матрице. В ряде случаев концентрация легирующих элементов в сплавах, полученных при ионной имплантации, превышает равновесные пределы на несколько порядков. Для модифицирования металлических материалов наиболее широкое применение нашли из легких элементов – He, B, C, K, а из тяжелых Al, Ag, Ti, Cr, Ni, Nb, Mo и др. ионы.

Ионное легирование приводит к увеличению концентрации дефектов (межузельных атомов и др.) в поверхностном слое облучаемого материала. Возникающие при этом дефекты решетки принято называть радиационными. В процессе ионного легирования в металле может протекать радиационно-стимулируемая диффузия, основной причиной которой является увеличение концентрации вакансий.

Ионная бомбардировка приводит к нагреву металла. Температура нагрева зависит от плотности ионного тока, энергии ионов и теплофизических характеристик материала мишени. Нагрев поверхностного слоя детали можно использовать для увеличения толщины легированного слоя.

Как показывает анализ результатов исследований природа упрочнения поверхности при ионной имплантации имеет сложный характер. Можно отметить следующие механизмы упрочнения: а) изменение химического состава, получение твердых растворов с концентрацией, недоступной при других методах легирования, выделение второй фазы; б) деформационное упрочнение; в) при больших дозах – разрушение кристаллической структуры, т. е. аморфизация; г) повышение глубины легированного упрочненного слоя за счет радиационно-стимулированной диффузии.

На рис. 4 представлена схема установки, с помощью которой получают ионный пучок с заданными параметрами.

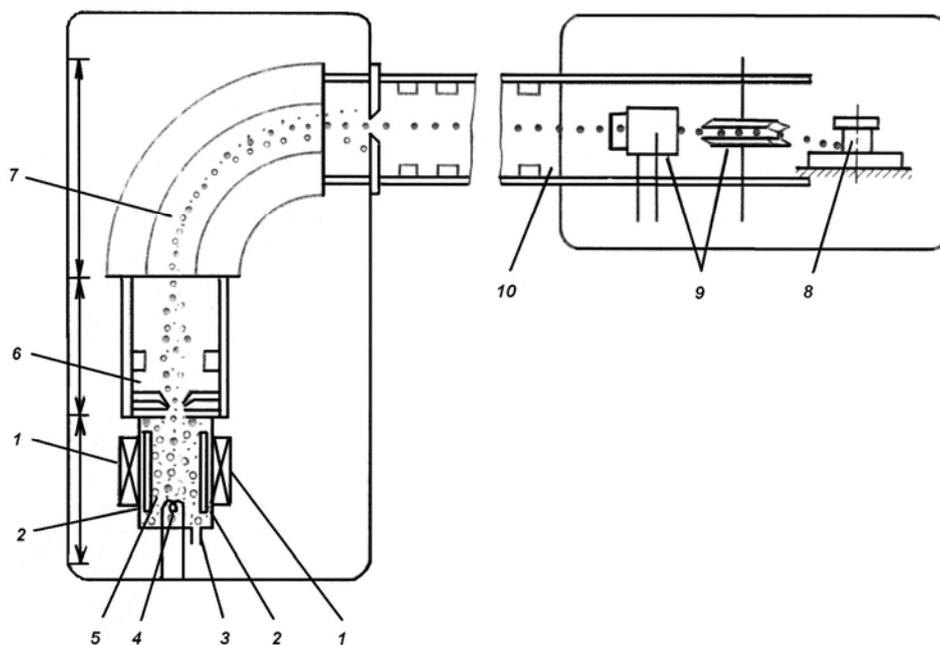


Рис. 4. Схема установки для ионного легирования

Ионно-лучевая установка для ионного легирования (рис. 4.) содержит источник ионов 5, систему вытягивания 6, включающую магнит 1, анод 2 и катод-нить накала 4, сепаратор 7, линейный ускоритель 10, систему электростатического отклонения ионного пучка 9 и приемную камеру 8. Ионное легирование проводят в высоком вакууме.

Источники ионов отличаются режимом работы (стационарным или импульсным), состоянием (газообразным, жидким или твердым) иони-

зируемого рабочего вещества, плотностью тока и энергией ионов на выходе из источника. В установке предусмотрен ввод в камеру источника ионов 5 с помощью вентиля 3 газообразного рабочего вещества. Испускаемые нитью накала 4 электроны, взаимодействуя с атомами газа, ионизируют их. Вытягиваемый из источника 5 поток ионов обычно неоднороден по составу. Магнитный масс-сепаратор 7 позволяет выделить ионы с определенной массой и зарядом, после чего «очищенный» пучок ускоряется до заданной энергии и фокусируется. С помощью системы 9 можно осуществлять сканирование пучка ионов по поверхности обрабатываемой заготовки, расположенной в приемной камере 8.

Достоинствами ионно-лучевой обработки являются 1) универсальность (в зависимости от величины энергии ионов можно проводить легирование металла, очистку его поверхности от загрязнений, распыление тонких слоев основного материала, осаждение покрытий из ионных пучков); 2) возможность легирования любыми химическими элементами; 3) локальность обработки с использованием защитных масок или узких ионных пучков); 4) высокая химическая чистота; 5) возможность полной автоматизации.

Существенным недостатком метода ИИ является малая глубина проникновения ионов, что накладывает свои ограничения на применимость данной технологии. Например, она мало эффективна при допустимых износах изделий более 0,1 мм. Однако в последнее время при исследовании различных свойств и микроструктуры ионно-имплантированных материалов было установлено, что влияние ионных потоков при облучении ряда металлических материалов не ограничивается тонким поверхностным слоем, где происходит торможение внедряемых ионов, а распространяется на значительно большие расстояния. Данное явление получило название *эффекта дальнего действия*.

Методика проведения работы

Практическая часть данной работы выполняется на филиале кафедры ММС в ИФПМ СО РАН.

Оборудование: Установка ионно-лучевой модификации поверхности твердых тел, для исследование характеристик упрочненной поверхности используется микротвердомер ПМТ-3.

Установка ионно-лучевой модификации поверхности твердых тел представляет из себя вакуумную систему, главным компонентом которой является ионный источник ДИАНА-2.

Основным элементом ионного источника является плазмообразующая ячейка. Особенностью данного источника является то, что дуга

вакуумная и проводимость между электродами обеспечивается распыляемым материалом катода. Основным достоинством такой схемы является то, что плазма образуется из материала катода. То есть, из какого материала поставим катод, такие ионы и будем получать. При этом материал катода должен быть проводящим для обеспечения тока дуги.

Параметры технологического ускорителя ДИАНА – 2:

Ускоряющее напряжение20–80 кВ
 Ток ионов 50–500 мА
 Длительность импульса..... 200 мкс
 Частота следования импульсов3; 12,5; 25; 50 Гц

Материалы: Для упрочнения поверхности методом ИИ можно использовать только металлические материалы – чистые металлы, сплавы.

Схема ионного источника ДИАНА – 2

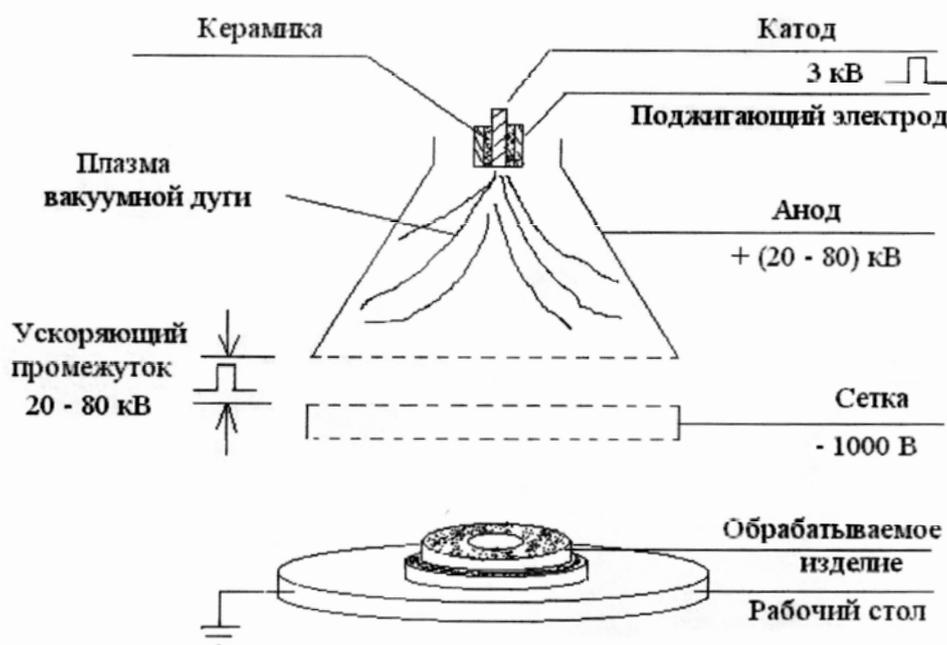


Рис. 5. Схема ионного источника ДИАНА–2

Задание: Под руководством преподавателя для заданного образца по заданному режиму провести его ионно-лучевую обработку. При ионной имплантации меняется элементный состав и структура приповерхностного слоя. Это приводит к изменению их физико-механических свойств. В работе требуется провести исследование зависимости микротвердости от глубины поверхностного слоя для заданных режимов ионной имплантации (Дозы облучения $D_1 = 5 \times 10^{16}$ ион/см² и $D_2 = 5 \times 10^{17}$ ион/см²).

Ввиду того, что толщина упрочненного слоя при ИИ мала (несколько десятков микрометров), зависимости микротвердости от глуби-

ны поверхностного слоя определяют следующим образом. На микротвердомере ПМТ-3 с использованием пирамидки Виккерса определяют величину микротвердости в зависимости от нагрузки (результаты заносятся в табл. 1). Поскольку диаметр отпечатка и глубина отпечатка пирамидки однозначно связаны друг с другом (см. Примечания), то после пересчета можно построить зависимость микротвердости от глубины упрочненного слоя (результаты заносятся в табл. 2).

Таблица 1

Нагрузка Р, г	2	5	10	20
Диагональ отпечатка d, мкм				
Микротвердость Н, кг/мм ²				

Таблица 2

Глубина слоя h, мкм				
Микротвердость Н, кг/мм ²				

Содержание отчета

- В отчете представить схему установки с ее описанием.
- По результатам эксперимента заполнить таблицу 1 и таблицу 2.
- Построить график зависимости микротвердости от величины нагрузки на индентор.
- Построить график зависимости микротвердости от глубины проникновения индентора.
- Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что лежит в основе метода ионной имплантации?
2. Какими достоинствами обладает технология ИИ?
3. Перечислите механизмы упрочнения материала при его облучении ионным пучком.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЕ (ПЛАЗМЕННОЕ) НАПЫЛЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

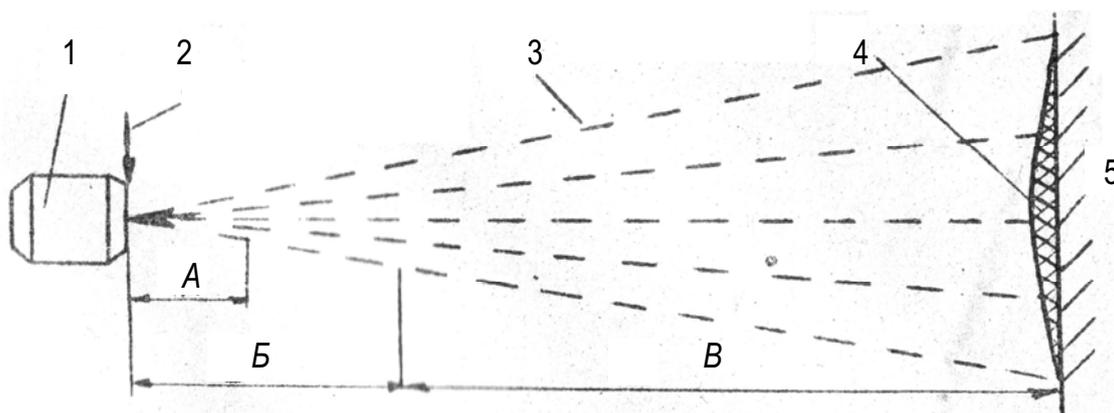
Цель работы

Познакомиться с методом газотермического напыления покрытий, изучить технологию подготовки к напылению порошков и напыляемой поверхности, овладеть навыками напыления, получить покрытие из заданного порошкового материала.

Основные положения

Газотермическое напыление покрытий впервые было осуществлено в Швейцарии в начале прошлого века Шоопом М.У., который впервые расплыл расплавленный металл высокоскоростной струей газа и, поставив образец в поток расплывенных частиц металла, получил на нем слой покрытия.

К настоящему времени разработано много различных методов газотермического напыления покрытий. В основе всех этих методов лежит нагрев распыляемого материала высокотемпературным источником, образование направленного двухфазного потока, перенос этим потоком частиц порошкового материала и формирование покрытия на рабочей поверхности. На рис. 6 приведена обобщенная схема газотермического порошкового напыления покрытий.



*Рис. 6. Схема газотермического порошкового напыления покрытий:
1 – источник нагрева, 2 – напыляемый материал, 3 – напыляемые частицы,
4 – покрытие, 5 – напыляемая деталь*

Общим для всех газотермических методов является то, что материал покрытия нагревается, расплывается и ускоряется в высокотемпературном газовом потоке. На поверхность изделия или основы (ранее применяли термин подложка) напыляемый материал поступает в диспергированном состоянии в виде мелких расплавленных или пластифицированных частиц, которые ударяются об нее, деформируются и, закрепляясь, накладываются друг на друга, образуя слоистое покрытие.

В высокотемпературный источник нагрева *1* (рис. 1) напыляемый материал может подаваться в виде порошка или проволоки (прутка) *2*. В случае нанесения покрытий из проволоки, она нагревается, плавится и диспергируется с торца, находящегося в высокотемпературной области источника нагрева. При напылении порошков, их в твердом состоянии вводят в высокотемпературный газовый поток, где они нагреваются в период движения на некотором участке *A*. Одновременно частицы распределяются в газовом потоке и ускоряются им на участке *B* в соответствии с законом газодинамики. Участок *B* обычно протяженнее участка *A*. Далее на участке *B* частицы *3* направленно перемещаются к основе *5* и образуют на ней покрытие *4*. При напылении частицы переплавляются, испаряются и вступают в химическое взаимодействие с нагретым газом и окружающей средой. Деформация частиц приводит к их чрезвычайно быстрой кристаллизации и охлаждению со скоростями, достигающими 10^6 – 10^8 К/с. Газотермические покрытия отличаются необычным строением как покрытия в целом, так и его отдельных элементов, поскольку они образуются из быстрокристаллизующихся частиц малого размера. Большим достоинством технологии газотермического напыления является возможность регулировать в процессе напыления химический состав напыляемого материала (то чистого металла до сплава произвольного состава, получая при этом градиентное покрытие) и структуру покрытия от обычной до мелкокристаллической и аморфной, что дополнительно сообщает им комплекс чрезвычайно ценных свойств.

Различные методы напыления отличаются источником тепловой энергии, каждый из которых имеет свои характеристики, определяющие особенности нагрева и ускорения напыляемых частиц материала покрытия. Характеристики некоторых методов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики газотермических методов напыления

Наименование параметра	Методы напыления		
	Газопламенный	Плазменный	Детонационный
Источник тепловой энергии	Горючая смесь газов ($O_2 + C_2H_2$, $O_2 +$ пропан и др.) при сжигании газовой горелке	Электрическая дуга, плазмообразующий газ (N_2 , Ar и др.) в плазмотроне	Горючая смесь газов ($O_2 + C_2H_2$) в детонационной пушке
Температура газовой струи, К	2700–3100	15000–20000	3000–4000
Скорость газовой струи, м/с	400–600	500–750	2000–2500

Применять газотермические покрытия можно при любых масштабах производства – от индивидуального и малосерийного до высокопроизводительного автоматизированного. К достоинствам рассматриваемых методов можно отнести: а) возможность нанесения покрытий из различных материалов; возможность регулирования состава напыляемого материала; отсутствие деформации и понижения прочности напыляемого изделия из-за отсутствия существенного его нагрева в процессе напыления; высокая производительность процесса (до 20 кг/час).

Среди существующих способов газотермического напыления покрытий метод плазменного напыления представляет наибольший интерес как самый универсальный метод в отношении напыляемых материалов. Этим методом с помощью плазменной струи (ее температура 15 000–20 000 К) можно напылять любые тугоплавкие материалы. Однако, наряду с достоинствами газотермических методов, использующих высокотемпературные газовые потоки, выявлен ряд факторов негативного характера. Высокие температуры могут вызвать изменения свойств порошка (окисление, разложение), делают невозможным нанесение композиционных покрытий из смеси сильно различающихся по свойствам порошков, а также могут привести к существенному нагреву обрабатываемой детали. Указанные недостатки были учтены при разработке метода холодного газодинамического напыления, предложенного учеными Института теоретической и прикладной механики СО РАН. В специальной установке частицы порошка разгоняются воздушной струей до сверхзвуковой скорости, бомбардируют основу и образуют на ней покрытие. Особенностью предложенного метода, отличающего его от методов газотермического напыления, является полное отсутствие термического воздействия на основу и напыляемый порошок.

Методические указания и задание

Перед началом работы необходимо:

- познакомиться с установкой плазменного напыления УМП-7;
- изучить порядок работы на ней;
- ознакомиться с инструкцией по технике безопасности и технической эксплуатации;
- пройти инструктаж по технике безопасности на рабочем месте;
- получить образцы для нанесения покрытий.

Вид порошка, режимы напыления выбираются совместно с преподавателем. Перед напылением необходимо провести подготовительные работы: подготовить порошок, подготовить напыляемую поверхность.

На рис.7 представлена схема установки плазменного напыления покрытий.

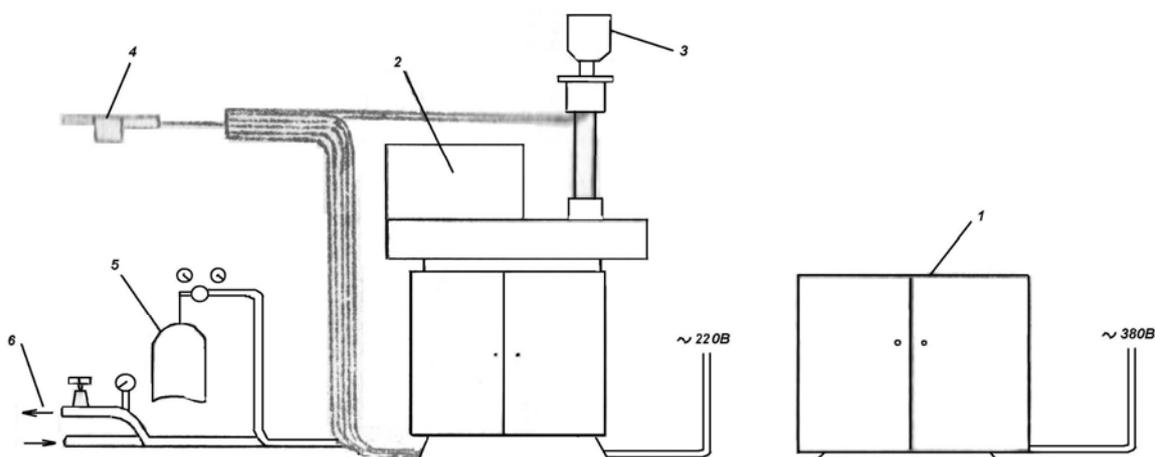


Рис. 7. Общий вид установки УМП-7:

*1 – источник тока, 2 – пульт управления, 3 – питатель порошковый,
4 – горелка плазменная (плазматрон), 5 – газовый баллон, 6 – вода*

Типовой технологический процесс определяет последовательность операций и их параметры. Рассмотрим основные операции.

Подготовка порошка. Порошки, полученные в заводской упаковке или, хранящиеся в открытой таре перед напылением необходимо просушить, чтобы улучшить их сыпучесть. Просушка ведется в сушильном шкафу при температуре 120–150 °С в течении 2–3 часа для металлических порошков и при 700–800 °С в течении 4–5 часов для керамических порошков. При сушке слой порошка, который должен быть не более 20 мм, периодически перемешиваются. Для получения качественных покрытий необходимо иметь порошок определенного гранулометрического состава. Для этого проводится рассеивание порошка с помощью специальных сит в соответствии с ГОСТом 6613-74. Для приготовления смесей порошков используются различные смесители типа «пьяной» бочки.

Подготовка поверхности

Подготовка поверхности перед напылением проводится по следующей схеме:

- очистка и мойка детали для удаления с ее поверхности грязи, масла;
- механическая обработка для устранения дефектов поверхности;
- специальная механическая обработка при нанесении покрытий толщиной более 1,0 мм или при эксплуатации деталей в условиях повышенных нагрузок (нарезка «рваной» резьбы, накатка резьбы роликом);
- повторное обезжиривание органическими растворителями, моющими составами, щелочными растворами;
- струйно-абразивная обработка для придания необходимой шероховатости напыляемой поверхности и ее активации, в качестве абразивного материала используется электрокорунд;
- перерыв между струйно-абразивной обработкой и нанесением покрытия не должен превышать 2 часа. Запрещается прикасаться к подготовленной поверхности руками или грязным инструментом;
- непосредственно перед напылением детали нагревают до 150–200 °С с целью снижения остаточных внутренних напряжений в покрытии, удаления адсорбированной влаги. Нагрев можно проводить в сушильном шкафу или в газовой струе горелки без подачи порошка.

Напыление покрытия. При получении покрытия приходится решать сложную задачу – получение покрытия с заданными служебными свойствами, с минимальной толщиной при максимально возможной степени полезного использования напыляемого материала. Успешное решение такой задачи зависит от правильного выбора параметров режима напыления. Для многих конкретных случаев (вид деталей, тип порошка, требуемые свойства) рекомендации по выбору оптимальных параметров режима напыления можно найти в литературе, в различных банках данных, которые в настоящее время создаются во всех крупных центрах напыления покрытий. Отдельные значения параметров приводятся в паспортных данных установок напыления и в технических характеристиках порошков.

Содержание отчета

- В отчете представить схему установки с ее описанием и техническими характеристиками.
- Описать технологию подготовки порошков и напыляемой поверхности.
- Получить образцы с покрытием и провести контроль качества полученных покрытий.
- Выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крейндель Ю.Е., Лемешев Н.М., Слосман А.И. Эффект полого катода при азотировании в тлеющем разряде // Электронная обработка материалов, 1990. – № 6. – С. 38–47
2. Гриценко Б.П. Установка ионно-лучевой модификации поверхности твердых тел Диана–2: указания по проведению лабораторной работы. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.
3. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. – М.: Машиностроение, 1988.
4. Кудинов В.В. Плазменные покрытия. – М.: Наука, 1977.

СТРУКТУРА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ И ПРАВИЛА ЕГО ОФОРМЛЕНИЯ

Отчет является документом, свидетельствующим о выполнении задания студентом и должен включать:

- титульный лист согласно приложению А;
- программу и календарный план выполнения работы;
- реферат;
- содержание;
- введение;
- цель работы;
- основную часть (обоснование и постановка задачи, характеристика объекта изучения, методика работы, описание и (или) чертежи установки (прибора), результаты опытов (измерений), обработка результатов, оценка погрешностей и анализ источников ошибок, обсуждение результатов;
- выводы;
- список использованной литературы;
- приложения.

При оформлении отчета следует, как правило, руководствоваться требованиями СТП ТПУ 2.5.01-99.

Отчет оформляется в рабочей тетради на листах формата А4, либо в виде развернутых тетрадных листов (формата школьной тетради), складываемых в виде брошюры.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Форма титульного листа отчета по лабораторной работе

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Машиностроительный факультет
Кафедра – Материаловедение в машиностроении
Направление 150600 – Материаловедение и технология
новых материалов

Лабораторная работа № 1

Ионное азотирование в плазме тлеющего разряда

Отчет

Дисциплина: «Современные технологии модифицирования поверхности металлических материалов и нанесения покрытий»

Исполнитель(и)
студент(ы), номер группы

(подпись) И.О. Фамилия
(дата)

Руководитель
(должность, ученая степень, звание)

(подпись) И.О. Фамилия
(дата)

Томск 200_

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1 Ионное азотирование в плазме тлеющего разряда	5
Лабораторная работа № 2 Упрочнение поверхности методом ионной имплантации	10
Лабораторная работа № 3 Газотермическое (плазменное) напыление порошковых покрытий.....	15
Список литературы	20
Структура отчета по лабораторной работе и правила его оформления.....	20
Приложение А Форма титульного листа отчета по лабораторной работе	21

Учебное издание

ЗЕНИН Борис Сергеевич

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для магистрантов, обучающихся по магистерской программе 150614
«Материаловедение и технология наноматериалов и покрытий»
направления 150600 «Материаловедение и технология новых материалов»

Научный редактор
кандидат технических наук,
доцент

Б.Б. Овечкин

Верстка

В.П. Аршинова

Дизайн обложки

*О.Ю. Аршинова
О.А. Дмитриев*

Подписано к печати 28.11.2008. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 1,34. Уч.-изд.л. 1,21.
Заказ 836. Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.