

Министерство науки и образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
Ульяновский государственный технический университет

В.П. Табаков

МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Практикум по лабораторным работам

Ульяновск 2016

В.П. Табаков

МЕТОДЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Практикум по лабораторным работам

Ульяновск 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА	6
2. Лабораторная работа №2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА.....	9
3. Лабораторная работа №3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	14
4. Лабораторная работа №4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА И КОНСТРУКЦИИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ПЕРИОД СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	18
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	22
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	23

ВВЕДЕНИЕ

Повышение работоспособности режущего инструмента является важнейшим резервом интенсификации процесса резания и роста эффективности механообрабатывающего производства. Работоспособность режущего инструмента во многом определяется свойствами его контактных площадок. Следовательно, повышение износостойкости контактных площадок режущего инструмента, изготовленных из традиционных инструментальных материалов, является эффективным направлением роста его работоспособности.

Повышение износостойкости контактных площадок режущего инструмента может быть обеспечено применением различных методов поверхностной модификации рабочих поверхностей режущего инструмента (деформационного и термического воздействия, поверхностного легирования, нанесения покрытий). Их применение позволяет существенно увеличить ресурс работы металлообрабатывающего инструмента и комплексно реализовать современные направления совершенствования металлообрабатывающего производства – повышение производительности обработки, повышение точности и качества обрабатываемых деталей и др.

Главной целью выполнения лабораторных работ является усвоение и закрепление теоретических знаний студентов, полученных на лекциях по курсу «Методы поверхностной модификации режущего инструмента».

Методические указания составлены с использованием литературных источников [1-4].

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

1.1. Цель работы

Целью работы является изучение влияния импульсной лазерной обработки на механические свойства инструментального материала.

1.2. Общие сведения о лазерной обработке

В инструментальном производстве получили распространение различные виды поверхностной обработки с использованием лазерного излучения – лазерная закалка (термообработка), легирование и наплавка. Если первые два процесса используются для упрочнения тонкого (до 80 мкм) поверхностного слоя режущего инструмента за счет изменения его структуры и химического состава, то наплавка в основном используется для нанесения сравнительно толстых покрытий (до 3 мм) главным образом для ремонта и восстановления штампового инструмента – пресс-форм, фильер, вырубного инструмента и др.

Лазерное поверхностное упрочнение осуществляется высококонцентрированным излучением, сфокусированным на малой площади – от долей миллиметра до нескольких миллиметров. Данный способ обработки может быть использован для упрочнения инструментов из быстрорежущих сталей, твердых сплавов и керамики.

Для осуществления лазерной закалки локальный участок поверхности инструмента нагревают с помощью излучения до сверхкритических температур, а после прекращения воздействия излучения этот участок охлаждается за счёт отвода теплоты во внутренние слои металла. Высокая скорость охлаждения приводит к образованию в инструментальном материале закалочных структур и, как следствие, к изменению физико-механических характеристик поверхностного слоя инструмента – микротвёрдости, напряженного состояния и др.

Воздействие луча лазера на твердое непрозрачное тело условно можно разделить на несколько характерных стадий:

- поглощение светового потока и передача его энергии тепловым колебаниям решетки твердого тела;
- нагревание вещества без его разрушения;
- испарение вещества в зоне воздействия луча лазера и разлет продуктов разрушения;
- остывание вещества после окончания воздействия лазерного излучения.

Одновременно с указанными стадиями проходят диффузионные и химические процессы, а также фазовые превращения, оказывающие влияние на характер воздействия лазерного излучения на материал.

Высокие плотности мощности лазерного излучения позволяют получать качественно новые свойства поверхностей, недоступные традиционным методам обработки материалов. Лазерная обработка поверхностей металлов и сплавов относится к локальным методам термической обработки с помощью высококонцентрированных источников нагрева.

Однако лазерная обработка, как, впрочем, и любой другой метод поверхностного упрочнения режущего инструмента, наряду с преимуществами, имеет и недостатки. Для лазерного упрочнения это в первую очередь чрезвычайно низкий КПД и высокая стоимость оборудования, а также трудности при упрочнения фасонного инструмента – протяжек, червячных фрез и др.

1.3. Содержание работы

Работа проводится на ЭВМ с использованием компьютерной программы «Исследование влияния импульсного лазерного излучения на параметры структуры, механические свойства и интенсивность изнашивания режущего инструмента». Исследуется влияние плотности мощности лазерного излучения на механические свойства композиции «покрытие-инструментальный материал». В качестве инструментального материала используется быстрорежущая сталь Р6М5 и твердый сплав МК8 с износостойкими покрытиями TiN, TiZrN и TiZrCN. Исследуются остаточные напряжения σ_o , микротвердость $H\mu$ и прочность адгезии покрытия с инструментальным материалом, которая характеризуется коэффициентом отслоения K_o (прочность адгезии увеличивается при снижении коэффициента отслоения).

1.4. Задание для самостоятельного выполнения работы

- * ознакомится с содержанием и методикой проведения работы;
- * провести исследование влияния плотности мощности лазерного излучения на остаточные напряжения, микротвердость и прочность адгезии композиций «покрытие-быстрорежущая сталь» и «покрытие-твердый сплав»;
- * построить графики влияния плотности мощности лазерного излучения на остаточные напряжения, микротвердость и прочность адгезии для композиции «покрытие-инструментальный материал» с различной толщиной износостойкого покрытия;

- * проанализировать влияние плотности мощности лазерного излучения на остаточные напряжения, микротвердость и прочность адгезии;
- * проанализировать влияние инструментальной основы и толщины износостойкого покрытия на остаточные напряжения, микротвердость и прочность адгезии.

1.5. Вопросы для самоконтроля

- * перечислить виды поверхностной обработки с использованием лазерной обработки;
- * объяснить механизм изменения механических свойств инструментального материала под воздействием лазерного излучения;
- * перечислить стадии воздействия луча лазера на поверхность инструментального материала;
- * перечислить преимущества и недостатки лазерной обработки;
- * объяснить влияние плотности мощности лазерного излучения на остаточные напряжения, микротвердость и прочность адгезии;
- * объяснить влияние инструментального материала и толщины покрытия на изменение остаточных напряжений, микротвердость и прочность адгезии под воздействием лазерного излучения.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

2.1. Цель работы

Целью работы является исследование влияния износостойких покрытий на механические свойства инструментальных материалов.

2.2. Общие сведения о влиянии износостойких покрытий на свойства инструментального материала

Наибольшее распространение для нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент получили методы химического (ХОП) (CVD – Chemical Vapour Deposition) и физического (ФОП) (PVD – Physical Vapour Deposition) осаждения покрытий.

Технологические особенности методов нанесения износостойких покрытий оказывают влияние на свойства инструментального материала. При использовании методов ХОП наибольшее влияние на свойства инструментального материала оказывают процессы диффузионного взаимодействия покрытия и твердого сплава, а также тепловое воздействие на структуру сплава в целом. В результате при осаждении покрытия на твердый сплав изменяются не только его поверхностные свойства (микротвердость, стойкость к высокотемпературной коррозии и окислению, сопротивляемость микроразрушению и т. д.), но и свойства, которые проявляются в объеме всего материала (ударная вязкость, прочность, микроползучесть и т. д.).

Иначе проявляются механизмы воздействия на свойства инструментальных материалов при использовании методов ФОП. Для них характерно значительное воздействие осажденного покрытия на тонкие поверхностные структуры инструментального материала, их микрорельеф, макро- и микродефекты. Слабое диффузионное взаимодействие покрытий, получаемых методами ФОП, и инструментальной основы является главной причиной снижения прочности их адгезии по сравнению с прочностью адгезии при использовании методов ХОП. В то же время у инструментальных материалов с покрытием, нанесенным методами ФОП, заметно снижаются вероятность разупрочнения, так как снижается уровень теплового воздействия, и интенсивность диффузионных процессов.

Фрикционные свойства инструментальных материалов с покрытиями. Нанесение покрытий приводит к снижению фрикционных свойств инструментального материала. При этом, величина силы трения определяется составом и свойствами покрытия и практически не зависят от

типа и свойств инструментального материала. Метод получения покрытий практически не влияет на величину снижения силы трения и может проявиться лишь через влияние метода на шероховатость поверхности покрытия. Например, для образцов ВК6 с покрытиями TiC, полученных методом термодиффузионного насыщения, и имеющих большую шероховатость и дефектность кристаллического строения, по сравнению с аналогичными покрытиями TiC, полученными газотермическим методом, характерна большая сила трения. Существенное снижение характеристик трения обеспечивают покрытия, нанесенными методом КИБ, которые имеют поверхностную структуру сглаженных, плотноупакованных кристаллов. Изменение состава многоэлементных покрытий позволяет в значительных пределах варьировать силой трения и, таким образом, регулировать фрикционные свойства инструментального материала.

Окисляемость инструментальных материалов с покрытиями. Покрытия, нанесенные на рабочие поверхности инструмента, обладают значительно большей термодинамической устойчивостью и лучшей сопротивляемостью высокотемпературным окислению и коррозии, чем инструментальный материал. Покрытия заметно снижают окисляемость твердых сплавов группы ВК при температуре 600 ... 1200 °С и твердых сплавов ТК и ТТК при температуре 900 ... 1200 °С. В наибольшей степени стабилизируют устойчивость твердых сплавов к высокотемпературному окислению многоэлементные покрытия, полученные методом физического осаждения и, в частности, методом КИБ (конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой), и покрытия, полученные методом химического осаждения. Высокой устойчивостью высокотемпературному окислению обладают покрытия, содержащие в качестве барьерного слоя оксидный слой Al_2O_3 , многоэлементные покрытия

Прочность инструментальных материалов с покрытиями. Прочность на изгиб инструментального материала, ее вариационные разбросы, способность инструмента сопротивляться разрушению в условиях действия знакопеременных напряжений, возникающих в процессе резания, оказывают значительное влияние на надежность инструмента. Надежность режущего инструмента определяет эффективность использования автоматизированных станков и гибких производственных систем (ГПС), а также надежность их функционирования. Состав покрытий и метод их получения оказывают существенное значение на прочностные характеристики инструментального материала. Ионная бомбардировка поверхности инструментального материала, характерная для метода КИБ, изменяет предел прочности при изгибе твердых сплавов, заметно снижая ее вариационные разбросы. Эффективность ионной бомбардировки в значительной степени зависит от температуры (энергии ионов). При ее оптимальном значении (для твердых сплавов около 1000 °С) средняя прочность на изгиб увеличивается на 10 ... 15%, вариационные разбросы прочности снижаются на 40 ... 80%. Основной вклад в повышение стабильности прочности инструментальных материалов вносит ионная бомбардировка. Последующая кон-

денсация покрытия лишь незначительно изменяет значения показателей прочности. Таким образом, нанесение покрытий методом КИБ может оказать заметное влияние на прочностные показатели инструментального материала, причем основной эффект – это стабилизация его прочностных свойств. Изменяя химический состав покрытия и параметры ионной бомбардировки (давление, состав катода-испарителя, время воздействия и т. д.), можно заметно стабилизировать прочность инструментального материала. Для покрытий, полученных высокотемпературными методами химического осаждения, характерно снижение предела прочности при изгибе. Одной из причин повышенной хрупкости твердосплавного инструмента с данными покрытиями является высокотемпературная диффузия кобальта (частично и вольфрама) из твердого сплава в покрытие. В результате этого на границе раздела «покрытие – твердый сплав» формируется хрупкая η -фаза (W_6Co_6C , W_3Co_6C). Другой причиной повышенной хрупкости покрытий являются возникающие растягивающие напряжения и трещины, зарождающиеся на поверхности твердосплавного инструмента в процессе остывания после нанесения покрытий.

Механические свойства износостойких покрытий. Основное влияние на свойства покрытий оказывают их состав и конструкция, а также технология нанесения. Механические свойства покрытий (микротвердость, модуль упругости, вязкость разрушения) возрастают при переходе от одноэлементных покрытий к многоэлементным. Прочность адгезии при этом может увеличиваться или снижаться и зависит от технологии нанесения покрытий и легирующего элемента. Покрытия, полученные с использованием отдельных катодов, имеют большую прочность адгезии, по сравнению с покрытиями, полученными из составных катодов, что объясняется действием различных механизмов упрочнения материала покрытий при их конденсации.

Изменение свойств инструментального материала после нанесения покрытий отражается на эксплуатационных характеристиках режущего инструмента и приводит к увеличению его работоспособности. Например, при большой микротвердости и теплостойкости, увеличении стойкости против окисления наблюдается рост износостойкости контактных площадок режущего инструмента. Стабилизация прочностных свойств инструментального материала, рост сопротивляемости контактных площадок макро-и микроразрушению в условиях действия относительно высоких напряжений и температур, особенно если они имеют переменный характер, приводит к улучшению режущих свойств инструмента и увеличению его эксплуатационной надежности.

2.3. Содержание работы

Работа проводится на ЭВМ с использованием компьютерных программ. Исследуется влияние состава и конструкции однослойных и много-

слоистых покрытий на механические свойства инструментального материала.

На первом этапе с использованием компьютерной программы «Многоэлементные износостойкие покрытия на основе модифицированного нитрида титана» исследуется влияние состава однослойных трехэлементных покрытий TiAlSiN , TiZrAlN и TiSiAlN на механические свойства – микротвердость $H\mu$, модуль упругости E , вязкость разрушения $KI_{СП}$ и прочность адгезии (коэффициент отслоения K_O) – композиций «покрытие-твердый сплав» и «покрытие-быстрорежущая сталь». Затем исследуются механические свойства композиций «покрытие-инструментальный материал» при изменении содержания в составе каждого трехэлементного покрытия второго легирующего элемента.

На втором этапе с использованием компьютерной программы «Многослойные покрытия режущего инструмента на основе модифицированного нитрида титана» исследуется влияние конструкции многослойных покрытий TiAlN-TiAlCrN и TiAlN-TiAlSiN , а также влияние толщины верхнего слоя двухслойных покрытий на механические свойства композиции «покрытие-твердый сплав» в сравнении с однослойными покрытиями TiN , TiAlN и TiAlCrN .

2.4. Задание для самостоятельного выполнения работы

- * ознакомится с содержанием и методикой проведения работы;
- * провести исследование влияния состава однослойных трехэлементных покрытий на механические свойства «покрытие-твердый сплав» и «покрытие-быстрорежущая сталь»;
- * построить графики (диаграммы), отражающие влияние состава трехэлементных покрытий на механические свойства композиций «покрытие-инструментальный материал», проанализировать и объяснить полученные результаты;
- * провести исследование влияния содержания второго легирующего элемента в трехэлементных покрытиях на механические свойства композиций «покрытие-твердый сплав» и «покрытие-быстрорежущая сталь»;
- * построить графики влияния содержания второго легирующего элемента в трехэлементных покрытиях на механические свойства композиций «покрытие-инструментальный материал», проанализировать и объяснить полученные результаты;
- * провести исследования влияния конструкции многослойных покрытий на механические свойства композиции «покрытие-твердый сплав»;
- * построить графики (диаграммы), отражающие влияние конструкций многослойных покрытий на механические свойства композиции «покрытие-твердый сплав», проанализировать и объяснить полученные результаты;

- * провести исследование влияния толщины верхнего слоя двухслойных покрытий TiAlN-TiAlCrN и TiAlN-TiAlSiN на механические свойства композиции «покрытие-твердый сплав»;
- * построить графики влияния толщины верхнего слоя двухслойных покрытий TiAlN-TiAlCrN и TiAlN-TiAlSiN на механические свойства композиции «покрытие-твердый сплав», проанализировать и объяснить полученные результаты.

2.5. Вопросы для самоконтроля

- * перечислить технологические особенности методов нанесения покрытий;
- * объяснить влияние методов нанесения покрытий на механические свойства инструментального материала;
- * указать причины большей сопротивляемости окислению и высокотемпературной коррозии инструментального материала при нанесении покрытия;
- * объяснить влияние метода нанесения покрытия на прочностные характеристики инструментального материала;
- * объяснить влияние состава покрытий и содержания легирующего элемента на механические свойства инструментального материала;
- * объяснить влияние конструкции многослойного покрытия на механические свойства инструментального материала;
- * объяснить, как отражается изменение свойств инструментального материала на работоспособности режущего инструмента.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

3.1. Цель работы

Целью работы является определение влияния комбинированной упрочняющей обработки на интенсивность изнашивания режущего инструмента.

3.2. Общие сведения о методах комбинированной упрочняющей обработки

Эффективность режущего инструмента с покрытиями может быть повышена путем воздействия на покрытие дополнительной поверхностной упрочняющей обработки. Дополнительная упрочняющая обработка изменяет механические свойства композиции «покрытие-инструментальный материал», что в свою очередь оказывает влияние на работоспособность режущего инструмента. Рассмотрим несколько характерных примеров комбинированной обработки режущего инструмента.

Нанесение износостойких покрытий и лазерная обработка. Лазерная обработка может предшествовать нанесению покрытий, а также осуществляться после его нанесения. Предварительная лазерная обработка позволяет повысить сопротивляемость режущего клина инструмента упруго-пластическим прогибам и его способность сохранять свою форму. Лазерная обработка после нанесения покрытия обеспечивает дополнительное повышение его микротвердости, прочности адгезионной связи с инструментальной основой, а также способствует образованию мелкозернистой структуры, которая существенно повышает устойчивость покрытия к процессам трещинообразования. Импульсная лазерная обработка контактных площадок режущего инструмента изменяет механические свойства композиции «покрытие-инструментальный материал». Рост плотности мощности импульсной лазерной обработки ведет к росту микротвердости. Микротвердость увеличивается на 10...16 % в зависимости от состава покрытия и свойств инструментального материала. Снижение темпа роста микротвердости покрытия по мере увеличения плотности мощности лазерного излучения связано с появлением микротрещин в объеме твердосплавной основы. С ростом плотности мощности лазерного излучения прочность адгезии покрытия с инструментальной основой вначале повышается, что объясняется релаксацией макронапряжений на границе раздела «покрытие – инструментальный материал», а затем снижается. Уменьшение прочности адгезии композиции «покрытие- бысторежущая сталь» связано с оплавлением

быстрорежущей основы и снижением ее твердости, а для твердого сплава – с интенсивным трещинообразованием в его объеме.

Повышение микротвердости покрытий и прочности их адгезии с инструментальной основой после импульсной лазерной обработки способствуют снижению интенсивности износа режущего инструмента. С ростом плотности мощности лазерного излучения до определенного значения, интенсивность износа инструмента снижается, что объясняется ростом микротвердости покрытий и повышением прочности адгезионной связи с инструментальной основой. Дальнейшее повышение плотности мощности лазерного излучения ведет к увеличению интенсивности износа, что связано с уменьшением прочности адгезии покрытия с инструментальной основой, а для быстрорежущей стали – дополнительно и со снижением микротвердости инструментальной основы.

Интенсивность износа режущего инструмента с покрытиями после импульсной лазерной обработки снижается в 1,5 – 1,9 раза в зависимости от состава покрытия, инструментального и обрабатываемого материала

Ионное азотирование и нанесение износостойких покрытий. Для повышения сопротивления режущего клина инструмента упруго-пластическим прогибам можно использовать ионное азотирование. При этом азотированный слой, формируемый перед нанесением покрытия, в зависимости от конкретных условий эксплуатации инструмента должен обладать определенной структурой, толщиной и микротвердостью. На практике такой обработке обычно подвергаются инструменты из быстрорежущих сталей.

Производственный опыт показывает, что комбинированная обработка, предусматривающая предварительное азотирование и последующее нанесение покрытий, позволяет увеличить стойкость быстрорежущего инструмента самой широкой номенклатуры по сравнению с инструментом без упрочнения.

Лазерное легирование и азотирование. Перспективным методом комбинированного воздействия на поверхностный слой режущего инструмента является лазерное легирование нитридообразующими элементами с последующим азотированием. Данная технология комбинированного упрочнения сталей не снижает преимуществ лазерного легирования, а напротив, позволяет получить комплекс физико-механических свойств, существенно превышающий тот, который может быть достигнут лазерной обработкой или азотированием в отдельности.

Применение указанной комбинированной обработки, во-первых, увеличивает растворимость азота в инструментальном материале, что позволяет увеличить микротвердость и толщину азотированного слоя, а, во-вторых, способствует формированию в поверхностном слое более благоприятного распределения остаточных напряжений.

После лазерного легирования в поверхностном слое часто можно наблюдать неблагоприятное распределение остаточных напряжений: под областью сжимающих напряжений расположена область с растягивающими

напряжениями, что способствует зарождению и распространению трещин. Если после лазерного легирования провести азотирование, растягивающие напряжения, возникшие на границе зоны легирования с материалом инструментальной основы при лазерном воздействии, компенсируются сжимающими, формирующимися при образовании азотистых фаз.

Предварительное лазерное легирование нитридообразующими элементами наиболее рационально проводить при упрочнении углеродистых и легированных сталей. Для быстрорежущих сталей эффект от предварительного легирования будет не столь существенен, так как в их составе и так имеется значительное количество нитридообразующих элементов.

Практика показывает, что наиболее эффективными легирующими элементами при обработке сталей самого разнообразного химического состава являются ванадий, хром и алюминий.

Криогенно-эрозионная обработка. Сочетание криогенной и эрозионной обработки является еще одной разновидностью комбинированного упрочнения. Применение указанной обработки может заметно повысить работоспособность инструмента за счет нивелирования различных дефектов, поверхностного слоя – трещин, кратеров и др., возникающих на предшествующих операциях технологической цепочки изготовления инструмента – термической, механической и др. Криогенно-эрозионная обработка протекает в среде жидкого азота, подаваемого в зону обработки поливом. Инструментом-анодом служит игла из технически чистого титана или его сплава. При подаче жидкого азота в результате резкого охлаждения происходит частичное или полное сжатие микроуглублений. Далее между инструментом-анодом и поверхностью детали, которая подвергается упрочнению, происходит разряд, который приводит к местному нагреву материала, образованию расплава и плазмы на аноде и выбросу в межэлектродное пространство микрочастиц расплавленного металла, например, титана. Под действием тепловой энергии разряда часть жидкого азота испаряется и переходит в ионное состояние. Микроуглубление резко раскрывается, возникает насосный эффект, при котором частицы газообразного ионизированного азота и титана с инструмента-анода втягиваются в микроуглубление и заполняют его. За счет высокой температуры образуется нитрид титана, который диффундирует в стенки микроуглубления. После прекращения действия импульса разряда холодный жидкий азот вновь вызывает закрытие микроуглубления, заполненного нитридом титана. Образуется монолитная структура с высокими эксплуатационными свойствами, не имеющая концентраторов напряжений.

3.3. Содержание работы

Работа проводится на ЭВМ с использованием компьютерной программы «Исследование влияния импульсного лазерного излучения на параметры структуры, механические свойства и интенсивность изнашивания режущего инструмента».

Исследования проводятся в два этапа. На первом этапе исследуется влияние плотности мощности лазерного излучения на интенсивность изнашивания твердосплавных пластин МК8 и быстрорежущих пластин Р6М5К5 с покрытиями TiN, TiZrN и TiZrCN при обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т. На втором этапе исследуется влияние элементов режима резания – скорости резания и подачи – на период стойкости режущих пластин с покрытиями при токарной обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т.

3.4. Задание для самостоятельного выполнения работы

- * ознакомится с содержанием и методикой проведения работы;
- * провести исследование влияния плотности мощности лазерного излучения на интенсивность изнашивания режущих пластин МК8 и Р6М5К5 с покрытиями TiN, TiZrN и TiZrCN при обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т;
- * построить графики влияния плотности мощности лазерного излучения на интенсивность изнашивания пластин МК8 с покрытиями при обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т, проанализировать и объяснить полученные результаты;
- * провести исследование влияния элементов режима резания на период стойкости пластин МК8 и Р6М5К5 с покрытиями, подвергнутых обработке лазерным излучением, при обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т;
- * построить графики влияния скорости резания и подачи на период стойкости пластин МК8 и Р6М5К5 с покрытиями, подвергнутых обработке лазерным излучением, при обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т, проанализировать и объяснить полученные результаты.

3.5. Вопросы для самоконтроля

- * перечислить методы комбинированной упрочняющей обработки;
- * объяснить сущность методов комбинированной упрочняющей обработки и указать области их использования;
- * объяснить влияние плотности мощности лазерного излучения на интенсивность изнашивания режущего инструмента;
- * объяснить влияние лазерной обработки на повышение периода стойкости режущего инструмента;
- * назвать причины повышения режущих свойств инструмента с покрытиями после обработки их лазерным излучением.

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА И КОНСТРУКЦИИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ПЕРИОД СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

4.1. Цель работы

Целью работы является исследование влияния износостойких покрытий на период стойкости режущего инструмента.

4.2. Общие сведения о методах повышения режущего инструмента

Повышение работоспособности режущего инструмента является важной проблемой обработки материалов резанием, связанной с повышением производительности обработки, точности и качества обработанной поверхности детали.

Основными направлениями повышения работоспособности режущего инструмента являются: создание новых инструментальных материалов, имеющих более высокие физико-механические свойства и теплостойкость; совершенствование конструкции режущего инструмента и оптимизация геометрических параметров его режущей части; применение эффективных СОЖ и способов подачи их в зону резания; применение методов поверхностной модификации контактных площадок режущего инструмента, в том числе нанесение износостойких покрытий.

Наибольшее распространение для нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент получили методы химического (CVD – Chemical Vapour Deposition) и физического (PVD – Physical Vapour Deposition) осаждения покрытий.

Разновидностями метода химического осаждения являются высокотемпературное осаждение покрытий – high-temperature (HT-CVD), среднетемпературное осаждение – medium-temperature (MT-CVD) и осаждение покрытий с плазменным сопровождением – plasma assisted (PA-CVD). В общем случае процессы CVD основаны на протекании гетерогенных химических реакций в парогазовой среде, окружающей режущие инструменты, в результате которых образуется износостойкое покрытие. Получение покрытий из тугоплавких соединений путём осаждения их из газовой фазы основано на восстановлении летучих соединений металлов водородом в присутствии активных составляющих газовой смеси, которые, взаимодействуя с выделяющимся в свободном виде металлом, образуют соответствующие тугоплавкие соединения. Конденсация покрытий в процессах высокотемпературное осаждение покрытий HT-CVD осуществляется на поверхности инструмента, нагретого до необходимой температуры 900...1200 °С при давлении близком или равном атмосферному. Такие температуры исключают возможность применения этого метода для инст-

румента из быстрорежущей стали. Однако и при нанесении покрытий на твердосплавные инструменты нагрев до столь высоких температур часто неблагоприятно сказывается на его работе. Твердосплавные инструменты с CVD-покрытиями часто имеют повышенную склонность к хрупкому разрушению в виде выкрашиваний и сколов. Одной из причин повышенной хрупкости твердосплавного инструмента с покрытием CVD является высокотемпературная диффузия кобальта (частично и вольфрама) из твердого сплава в покрытие. В результате этого на границе раздела покрытие – твердый сплав формируется хрупкая η -фаза (W_6Co_6C , W_3Co_6C), толщина которой может достигать 4 мкм. Формирование η -фазы существенно повышает склонность твердосплавных инструментов к хрупкому разрушению в процессе резания. Другой причиной повышенной хрупкости являются возникающие растягивающие напряжения и трещины, зарождающиеся на поверхности твердосплавного инструмента в процессе остывания после нанесения покрытий.

Формирование хрупкой η -фазы практически не происходит при использовании метода химического осаждения покрытий при средних температурах – medium-temperature CVD (MT-CVD), который реализуется при температурах 700...900 °С.

Основные преимущества процесса химического осаждения с плазменным сопровождением PA-CVD по сравнению с CVD заключаются в том, что при его реализации отсутствует необходимость в нагреве инструментальной основы до высоких температур (температуры процессов PA-CVD не превышают 600 °С.), обеспечивается более высокая скорость осаждения, достигается более высокая прочность адгезионной связи покрытия с инструментальной основой.

Методами CVD наносятся покрытия на основе нитридов, карбидов, оксидов и карбонитридов тугоплавких металлов. Наибольшее распространение в инструментальном производстве получили следующие соединения, формируемые процессами CVD: TiN, TiC, TiCN, Al_2O_3 . Указанные соединения применяются как в качестве однослойных покрытий, так и в качестве отдельных слоев многослойного покрытия.

Все методы физического осаждения покрытий (вакуумно-плазменные методы) основаны на получении в среде вакуума пара осаждаемого материала в результате воздействия на изготовленный из него катод (мишень) различных источников энергии – мощных высокотемпературных нагревателей, лазерного луча, электронных и ионных пучков, катодных пятен вакуумной дуги, сильноточного импульса и др. Данные методы позволяют получать пар практически любого твердого вещества, а для синтеза его соединений на поверхности инструмента (например, нитридов, оксидов или карбидов) используются нетоксичные газы, такие как азот, кислород, ацетилен и другие, не представляющие опасности для окружающей среды.

Методы физического осаждения покрытий универсальны с точки зрения получения гаммы однослойных и многослойных покрытий практи-

чески любого состава, в том числе с алмазоподобной и наноразмерной структурой. Они позволяют реализовывать процессы нанесения покрытий при температурах 500...600 °С, что обеспечивает возможность их применения для быстрорежущих сталей, твердых сплавов и керамики.

Все вакуумно-плазменные методы, используемые для нанесения покрытий, можно условно разбить на три самостоятельные группы: ионно-термическое испарение, электродуговое испарение и осаждение распылением.

Сущность большинства методов первой группы – ионно-термического испарения заключается в испарении различными способами (резистивным, индукционным, электронно-лучевым, дуговым, лазерным) наносимого материала, ионизации частиц и их ускорении в электрическом и/или магнитном поле по направлению к покрываемой поверхности и, наконец, их конденсации на этой поверхности.

Большинство методов электродугового испарения, часто называемого вакуумно-дуговым, основаны на испарении наносимого материала катодными пятнами вакуумной дуги, ионизации металлического пара и последующей конденсации чистого металла либо его соединения с реакционным газом на рабочих поверхностях режущего инструмента. Для реализации указанных процессов могут использоваться различные комбинации электрических и магнитных полей, способы генерации плазмы и ее ускорения.

Методы третьей группы основаны на явлении ионного (катодного) распыления твердой мишени. Покрытие образуется в результате конденсации на поверхности обрабатываемого режущего инструмента, главным образом, нейтральных частиц (атомов), выбиваемых из мишени с помощью ее бомбардировки ионами инертного газа.

4.3. Содержание работы

Работа проводится на ЭВМ с использованием компьютерных программ. На первом этапе с помощью компьютерной программы «Многоэлементные износостойкие покрытия на основе модифицированного нитрида титана» проводятся исследования по влиянию состава однослойных покрытий TiN, TiAlN, TiAlSiN на период стойкости твердосплавных пластин МК8 и быстрорежущих пластин Р6М5К5 при токарной обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т в зависимости от элементов режима резания. На втором этапе с использованием компьютерной программы «Многослойные покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания» исследуется влияние многослойных покрытий TiN-TiCN, TiN-TiZrN, TiN-TiCN-TiZrN на период стойкости твердосплавных пластин МК8 в зависимости от элементов режима резания при токарной обработке заготовок из сталей 5ХНМ и 12Х18Н10Т в сравнении с однослойными покрытиями TiN.

4.4. Задание для самостоятельного выполнения работы

- * ознакомится с содержанием и методикой проведения работы;
- * провести исследование по влиянию состава однослойных покрытий TiN, TiAlN, TiAlSiN на период стойкости твердосплавных пластин МК8 и быстрорежущих пластин Р6М5К5 при токарной обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т;
- * построить графики влияния скорости резания и подачи на период стойкости твердосплавных пластин МК8 и быстрорежущих пластин Р6М5К5 с покрытиями TiN, TiAlN, TiAlSiN при токарной обработке заготовок из сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т, проанализировать и объяснить полученные результаты;
- * провести исследование по влиянию многослойных покрытий TiN-TiCN, TiN-TiZrN, TiN-TiCN-TiZrN на период стойкости твердосплавных пластин МК8 в зависимости от элементов режима резания при токарной обработке заготовок из сталей 5ХНМ и 12Х18Н10Т в сравнении с однослойными покрытиями TiN.
- * построить графики влияния скорости резания и подачи на период стойкости твердосплавных пластин МК8 с многослойными покрытиями TiN-TiCN, TiN-TiZrN и TiN-TiCN-TiZrN и однослойными покрытиями TiN при токарной обработке заготовок из сталей 5ХНМ и 12Х18Н10Т, проанализировать и объяснить полученные результаты.

4.5. Вопросы для самоконтроля

- * перечислить методы нанесения износостойких покрытий;
- * указать области применения методов нанесения износостойких покрытий, их преимущества и недостатки;
- * перечислить разновидности метода химического осаждения покрытий;
- * перечислить разновидности метода физического осаждения покрытий;
- * объяснить влияние состава однослойных покрытий на период стойкости режущего инструмента;
- * объяснить влияние конструкции многослойных покрытий на период стойкости режущего инструмента;
- * назвать причины более высокой работоспособности режущего инструмента с многослойными покрытиями по сравнению с однослойными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев С.Н., Табаков В.П., Волосова М.А. Технологические методы повышения износостойкости контактных площадок режущего инструмента. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 380 с.
2. Табаков В.П., Григорьев С.Н., Верещака А.С. Принципы формирования и технологии нанесения износостойких покрытий режущего инструмента. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 196 с.
3. Табаков В.П., Верещака А.С., Григорьев С.Н. Функциональные параметры процесса резания режущим инструментом с износостойкими покрытиями. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 172 с.
4. Табаков В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. – М. : Машиностроение, 2008 – 312 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Протокол к лабораторной работе №1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ
ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА**

1. Влияние плотности мощности лазерного излучения на механические свойства композиции «покрытие-инструментальный материал»

Покрытие	Инструментальный материал	Свойства композиции	Плотность мощности лазерного излучения $q \cdot 10^4$, Вт/см ²					
		σ_0 , МПа						
		$H\mu$, ГПа						
		K_0						
			σ_0 , МПа					
			$H\mu$, ГПа					
			K_0					
		σ_0 , МПа						
		$H\mu$, ГПа						
		K_0						
			σ_0 , МПа					
			$H\mu$, ГПа					
			K_0					
		σ_0 , МПа						
		$H\mu$, ГПа						
		K_0						
			σ_0 , МПа					
			$H\mu$, ГПа					
			K_0					

Протоколы к лабораторной работе №2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО
МАТЕРИАЛА**

1. Влияние состава однослойного покрытия (конструкции многослойного покрытия) на механические свойства композиции «покрытие-инструментальный материал»

Покрытие	Инструментальный материал	Свойства композиции «покрытие-инструментальный материал»			
		$H\mu$, ГПа	E , ГПа	K_{IC} , МПа·м ^{1/2}	Ko

2. Влияние содержания легирующего элемента (толщины верхнего слоя многослойного покрытия) на механические свойства композиции «покрытие-инструментальный материал»

Покрытие	Инструментальный материал	Свойства композиции	Содержание легирующего элемента, % масс. (толщина верхнего слоя многослойного покрытия, мкм)				
		$H\mu$, ГПа					
		E , ГПа					
		K_{IC} , МПа·м ^{1/2}					
		Ko					
			$H\mu$, ГПа				
			E , ГПа				
			K_{IC} , МПа·м ^{1/2}				
			Ko				

Протоколы к лабораторной работе №3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ
УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ
ИЗНАШИВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

1. Влияние плотности мощности лазерного излучения на интенсивность изнашивания режущего инструмента

Покрытие	Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Интенсивность изнашивания, J мм/мм при плотности мощности $q \cdot 10^3$ Вт/см ²			

2. Влияние комбинированной упрочняющей обработки на период стойкости режущего инструмента

Покрытие	Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Период стойкости, T , мин, при скорости резания V м/мин			

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Протоколы к практическому занятию №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА И КОНСТРУКЦИИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ПЕРИОД СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

1. Влияние состава покрытия (конструкции многослойного покрытия)
на период стойкости режущего инструмента

Покрытие	Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Период стойкости, T , мин, при скорости резания V м/мин			