

УДК 621.77.016:62178.061

В. А. ЛОГВИН, канд. техн. наук, доц.

Институт технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, Беларусь)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ДЛЯ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР НА ТВЁРДОСПЛАВНОМ ИНСТРУМЕНТЕ

Аннотация

Рассматривается использование воздействия энергетических потоков тлеющего разряда для активации рабочих поверхностей твёрдосплавного инструмента и последующего формирования многослойных композиционных поверхностных структур. В результате активации поверхности твёрдосплавного инструмента плазмой тлеющего разряда в контролируемых парогазовых средах, формируется неравновесная термодинамическая структура в приповерхностном слое твёрдосплавного инструмента с повышенной адгезией к поверхностным структурам покрытия вне зависимости от сложности профиля. Объединение в одном технологическом цикле активации поверхности и инженерии поверхностных структур, обеспечивает улучшение физико-механических свойств твёрдосплавных рабочих частей инструментов и соответственно, увеличение их износостойкости.

Ключевые слова:

твёрдосплавный инструмент, поверхностные структуры, тлеющий разряд.

Повышение конкурентоспособности твёрдосплавных инструментов отечественного производства является актуальной задачей машиностроения. Одним из направлений решения данной задачи является формирование многослойных композиционных поверхностных структур, создаваемых на рабочих поверхностях твёрдосплавных инструментов. Разработка алгоритма и технологий активации поверхности с формированием многослойных композиционных поверхностных структур на твёрдосплавном инструменте позволяет повысить его производственный ресурс. Оптимизация структуры жизненного цикла твёрдосплавного инструмента обеспечивает стабилизацию и ритмичность его производства.

Материалы и технологии для изготовления твёрдосплавного инструмента уже не отвечают требованиям современного производства. Повышение производственного ресурса твёрдосплавного инструмента можно обеспечить формированием композиционных поверхностных структур на рабочих поверхностях режущего клина, максимально отвечающим требованиям механической обработки при эксплуатации. Воздействие энергетических потоков в тлеющем разряде обеспечивает формирование неравновесной термодинамической структуры в приповерхностном слое твёрдосплавного материала [1–4]. Степень и алгоритм реализации активационных процессов зависит от формируемых поверхностных структур. Эксплуатация твёрдосплавного инструмента в условиях сухого резания, как наиболее экологически безопасного, связана с циклическим термо-силовым воздействием. Для повышения износостойкости твёрдосплавных инструментов перед формированием поверхностных структур необходимо

создание активного приповерхностного слоя, обладающего высокой адгезией к ним. При этом необходим соответствующий алгоритм и технологические параметры для формирования энергетических потоков в плазмогенераторе тлеющего разряда [1–4]. Активацию поверхностей твёрдосплавного инструмента в тлеющем разряде и формирование многослойных композиционных поверхностных структур следует объединять в единый технологический процесс. Создание неравновесной термодинамической структуры на рабочих поверхностях режущего клина твёрдосплавного инструмента обеспечивает оптимальные физико-механические свойства переходной зоны приповерхностного слоя инструментального материала. Последующее формирование многослойных композиционных поверхностных структур позволяет обеспечить оптимальные условия взаимодействия материала покрытия с обрабатываемым материалом при сухом резании.

Целью данной работы является обоснование возможности использования энергетических потоков плазмы тлеющего разряда для активации поверхностей твёрдосплавного инструмента под инженерию поверхностных структур для условий сухого резания. Разработка алгоритма воздействия энергетических потоков плазмы тлеющего разряда по изменению структуры приповерхностного слоя твёрдосплавного инструмента и инженерии многослойных композиционных поверхностных структур.

Резервы традиционных твёрдосплавных инструментальных материалов для условий сухого резания полностью исчерпаны. Это сдерживает развитие машиностроения и, особенно, автоматизированное производство. Для повышения износостойкости твёрдосплавных инструментов следует оптимизировать структуру его жизненного цикла. Воздействие энергетических потоков в тлеющем разряде в зависимости от технологических режимов обработки способствует формированию как равновесной, так и неравновесной термодинамической структуры. Это позволяет использовать его при изготовлении заготовок из твёрдосплавных инструментальных материалов по активации поверхности и для инженерии многослойных композиционных поверхностных структур. Меняя структуру производственного процесса изготовления твёрдосплавного инструмента, расширяют возможности твёрдосплавного инструмента с многослойными композиционными поверхностными структурами на этапе его эксплуатации в условиях сухого резания.

При расплавлении кобальтовой связки во время спекания заготовок твёрдосплавного инструмента осуществляется растворение части карбидов, что обеспечивает снижение пористости до 5 % [5–8]. Увеличение количества связки снижает твёрдость сплава, повышая его прочность. Уменьшение размеров карбидо-вольфрамовой фазы повышает твёрдость, износостойкость и сопротивление абразивному износу при снижении прочности. Изменение состава компонентов, используемых для изготовления заготовок твёрдосплавного инструмента, позволяет в ограниченном диапазоне набора свойств изготавливать рабочие части инструментов.

При разработке алгоритма использования плазмы тлеющего разряда по оптимизации производственного процесса изготовления заготовок твёрдосплавного инструмента учитывалась необходимость замедления процессов диффузии углерода в связку при испарении пластификатора на этапе спекания. Для этого рекомендовано проводить обработку в тлеющем разряде в контролируемых парогазовых средах при температуре от 450 °С до 650 °С, добиваясь оплавления только α -Со и не доводя до полного оплавления основной массы связки. Сила тока в разряде назначается из диапазона 100...150 мА, напряжение – 600...1200 В при давлении в вакуумной камере 6...12 Па. Это повышает теплоустойчивость приповерхностных слоёв твёрдосплавного материала и термодинамическую устойчивость его карбидных фаз. При активации приповерхностного слоя твёрдосплавного инструмента, в результате воздействия энергетических потоков плазмы тлеющего разряда, вызываются структурные изменения с высокой концентрацией дефектов кристаллического строения [1–4]. Для повышения адгезии к формируемым на такой основе многослойным композиционным поверхностным структурам поверхность заготовок твёрдосплавного инструмента дополнительно с пассивацией ионами азота процесса диффузии углерода при температуре 550 °С...600 °С подвергается легированию бомбардировкой ионами тугоплавких металлов (молибдена, бора, ниобия, вольфрама). С зависимости от условий эксплуатации твёрдосплавного инструмента при инженерии многослойных композиционных поверхностных структур необходимо варьировать составом структур, их толщиной, чередованием слоёв. Важным преимуществом воздействия энергетических потоков плазмы тлеющего разряда является лёгкость встраивания в технологическую цепочку, как при производстве заготовок твёрдосплавного инструмента, так и для формирования покрытий на изготовленном инструменте.

Разработка последующего алгоритма инженерии многослойных композиционных поверхностных структур строится в зависимости от решаемой задачи по обеспечению следующего набора функций: повышение твёрдости на поверхности режущего клина с повышением устойчивости к абразивному износу инструмента при сухом резании; создание слоя с низким средством к обрабатываемому материалу для снижения адгезионного изнашивания; повышения антифрикционной способности, препятствующей образованию нароста; создание термоизоляционного слоя, снижающего вероятность отпуска приповерхностного слоя при повышенных теплосиловых нагрузках; демпфирующих свойств поверхности для торможения усталостных трещин, что препятствует выкрашиванию.

При реализации алгоритма инженерии многослойных композиционных поверхностных структур по обеспечению принятого из набора функций формируемого покрытия рекомендовано формировать слои наноразмерного уровня менее 100 нм. При этом механические свойства нанослоёв можно менять, меняя форму и структуру входящих в них наночастиц, а также структуру и свойства границ их раздела. Уменьшение размеров частиц способствует повышению теплоёмкости, внутренней энергии и энтропии системы. В многослойной ком-

позиционной поверхностной структуре с ростом внутренней энергии и повышением твёрдости увеличивается пластичность благодаря увеличению энтропийного фактора [5–12]. При этом разработаны и используются необходимые технологические приёмы, основанные на осаждении покрытий в условиях ионного сопровождения, осаждении многослойных композиционных поверхностных структур слоями нанометрической размерности, осаждении многофазных поверхностных структур, комбинировании указанных способов.

Сопровождение энергетическими потоками плазмы тлеющего разряда процессов конденсации материалов поверхностных структур обеспечивает поддержание высокой активности поверхностных атомов. При этом появляется возможность управлять ростом конденсируемой структуры за счёт дополнительной энергии. Ударное воздействие потока ионов плазмы тлеющего разряда при осаждении способствует увеличению плотности очагов конденсации, а тепловое – активирует реакции и диффузионные явления, что снижает величину зёрен. Управляя энергией и плотностью энергетического потока плазмы тлеющего разряда, можно ограничивать размеры нанокристаллитов и способствовать их ориентации, управляя плотностью, формируемой композиционной поверхностной структуры.

Величину отрицательного потенциала при ионно-стимулированном осаждении электродуговым способом следует ограничивать в диапазоне 100...200 В, т. к. это стимулирует рост размеров кристаллитов вследствие роста температуры на поверхности конденсации. Необходимо учитывать теплопроводность основы, потому что увеличение отвода тепла снижает рост размеров кристаллитов. Важным фактором, влияющим на размеры кристаллитов в формируемой послойной композиционной поверхностной структуре, является давление при прокачке парогазовых сред через рабочий объём вакуумной камеры.

На размеры формируемых нанокристаллитов при инженерии послойной композиционной структуры влияют: энергия положительных ионов, состав формируемой композиции, материал и температура основы, давление на прокачке парогазовой технологической среды. Также необходимо учитывать, синтезируя технологические параметры при разработке алгоритма реализации инженерии послойной композиционной поверхностной структуры, условия теплосилового воздействия на рабочие поверхности режущего клина твёрдосплавного инструмента при его эксплуатации.

Для противостояния образованию трещин в формируемой композиционной поверхностной структуре следует формировать последовательно плёночные слои из тугоплавких металлов или соединений с разными внутренними напряжениями и минимальным отличием коэффициентов линейного расширения. Размеры формируемых плёночных слоёв оптимизируются по условию гарантированного исключения образования источников дислокаций, способных продвигаться к границам разделов. Алгоритм установления количества чередующихся плёночных структур должен учитывать число циклов теплосилового воздействия на рабочие поверхности режущего клина при эксплуатации инструментов и химическую природу формируемых соединений.

Предложенная методика использования воздействия энергетических потоков плазмы тлеющего разряда в контролируемых парогазовых средах по созданию на поверхности заготовки твёрдосплавного инструмента основы со структурно-неравновесным состоянием при силе тока в разряде 100...150 мА, напряжении 600...1200 В и давлении 6...12 Па повышает степень адгезии формируемых на такой основе композиционных поверхностных структур. Установлено, что для твёрдосплавных инструментов, работающих в условиях сухого прерывистого резания, оптимальными являются многослойные композиционные поверхностные структуры наноразмерного уровня. Эти материалы имеют повышенную площадь межзёрненных границ и сбалансированы по твёрдости и прочности, что актуально при циклических термомеханических нагружениях. В послойных структурах наноразмерной величины образование дислокаций затруднено вследствие их торможения на границах зёрен. Предложенный алгоритм повышения прочности адгезионных связей воздействием энергетических потоков плазмы тлеющего разряда между основой и формируемой послойной композиционной поверхностной структурой с пассивацией ионами азота процесса диффузии углерода при температуре 550 °С...600 °С и легированием бомбардировкой ионами тугоплавких металлов (молибдена, бора, ниобия, вольфрама) и последующая инженерия структуры с поверхностью химически пассивного состава к обрабатываемому материалу способствует повышению износостойкости твёрдосплавного инструмента при пластическом, хрупком, абразивном, адгезионно-усталостном, химико-окислительном, диффузионном, изнашивании и разрушении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Логвин, В. А.** Использование тлеющего разряда для изменения дислокационной структуры быстрорежущей стали / В. А. Логвин, И. В. Терешко, С. А. Шептунов // Научно-технические технологии в машиностроении. – Москва: Инновационное машиностроение, 2018. – № 12. – С. 21–27.
2. **Логвин, В. А.** Формирование спектра энергетического воздействия плазмы тлеющего разряда в автоматизированной технологической среде / В. А. Логвин // Перспективные направления развития технологий машиностроения и металлообработки: материалы 34-ой Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28 марта 2019 / В. К. Шелег (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2019. – С. 115–116.
3. Способ активации поверхностного слоя изделий перед нанесением покрытия: пат. № 15543 Респ. Беларусь, МПК В 06В 3/00, С 23С 14/02, С 23С 8/00. / В. А. Логвин, Е. В. Логвина; заявитель Белорус.-Рос. ун-т (ВУ). – № а 20091849, заявл. 23.12.2009. – Оpubл. 30.08.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4. – С. 24.
4. Способ обработки механически легированной шихты или изделий из нее: пат. № 16592 Респ. Беларусь, МПК С23С 14/36, С23С 14/48, С23С 8/00. / В. А. Логвин, А. А. Жолобов, П. Ф. Котиков, Е. В. Логвина; заявитель Белорус.-Рос. ун-т (ВУ). – № а 20101138, заявл. 26.07.2010. – Оpubл. 28.02.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1. – С. 118.
5. **Григорьев, С. Н.** Технология вакуумно-плазменной обработки инструмента и деталей машин: учебник / С. Н. Григорьев, Н. А. Воронин. – Москва: МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2005. – 508 с.
6. **Григорьев, С. Н.** Модификация поверхности тлеющим разрядом с электростатиче-

ским удержанием электронов: учебное пособие / С. Н. Григорьев, А. С. Метель. – Москва: МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2007. – 452 с.

7. Справочник конструктора-инструментальщика / Под общ. ред. В. А. Гречишникова и С. В. Кирсанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2006. – 542 с.: ил.

8. **Мокрицкий, Б. Я.** Технологическое обеспечение упрочнения и оценки качества металлорежущего инструмента: учебник / Б. Я. Мокрицкий, С. Н. Григорьев, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. – 368 с.

9. **Верещака, А. С.** Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака, И. П. Третьяков. – Москва: Машиностроение, 1986. – 192 с.

10. **Верещака, А. С.** Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака. – Москва: Машиностроение, 1993. – 336 с.

11. **Верещака, А. С.** Повышение эффективности инструмента путём управления составом, структурой и свойствами покрытий / А. С. Верещака, А. А. Верещака // Упрочняющая технология и покрытия. – № 9. – 2005. – С. 9–18.

12. Методология и примеры проектирования эффективного технологического процесса изготовления инструментального материала / А. С. Верещака [и др.] // СТИН. – 2014. – №1. – С. 5–11.

Контакты:

logvinvladim@yandex.ru (Логвин Владимир Александрович).