Известия Гомельского государственного университета
имени Ф. Скорины, №6(39), **2**, 2006

УДК 535.326:621.372.8:666.22

Лазерные и плазменные методы оптимизации процессов синтеза алмазов и создания алмазного инструмента

С. В. Шалупаев, В. П. Морозов

Производственное применение природных алмазов ограниченно в силу их редкости и высокой стоимости. В связи с этим, очевидна потребность производства синтетических алмазов, позволяющего получать кристаллы с заданными тепло- и электрофизическими свойствами, твердостью, износостойкостью и прочностью. Эксплуатация оборудования для синтеза искусственных алмазов происходящая в экстремальных условиях, приводит к быстрому износу дорогостоящих деталей конструкции, изготовленных из твердых сплавов. Таким образом, для повышения экономической эффективности производства, решения вопросов энерго- и ресурсосбережения, представляется актуальным вопрос продления срока службы деталей конструкции и повышения производительности процесса синтеза искусственных алмазов [1].

Срок службы и эксплуатационные характеристики алмазных абразивных кругов существенно зависят от параметров контакта алмазное зерно-связка и свойств алмазного зерна. Для обеспечения эффективности алмазоудержания абразивы обрабатывают жидкими смолами и фурфуролом, подвергают аппертированию, термообработке с целью графитизации, химическому травлению и т.д. Однако наиболее существенные, стабильные и промышленно-приемлемые результаты получены при использовании технологии нанесения металлических и неметаллических покрытий на порошки сверхтвердых материалов[2].

В данном обзоре представлены результаты работ по оптимизации процессов синтеза алмазов лазерными и ионно-лучевыми методами и повышению работоспособности алмазного абразивного инструмента путем плазменной модификации поверхностных свойств алмазного зерна, проведенных в лаборатории «Новые материалы и технологии» физического факультета УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Упрочнение твердосплавных матриц аппаратов высокого давления для синтеза искусственных алмазов

Поскольку расходы на матрицы аппаратов высокого давления составляют не менее 30% от общих затрат при производстве синтетических алмазов, то повышение долговечности матриц высокого давления в настоящее время является одним из возможных путей снижения общей себестоимости процесса. Анализ причин выхода из строя матриц из сплава ВК6, применяемых при производстве синтетических алмазов на РАУП «Гомельское ПО “Кристалл”», показал что основной из них является хрупкое разрушение матриц, в первую очередь в области кромок, ограничивающих углубление в матрицах [1,3-5].

Для повышения срока службы матриц аппаратов высокого давления была внедрена технология обработки деталей в низкоэнергетической аргоновой плазме с одновременным осаждением углеродной алмазоподобной пленки из лазерного эрозионного факела[3-5]. Особенность технологии заключается в том, что графитовая мишень находится в сердечнике низкоэнергетического ионного источника выполненного по схеме торцевого холловского ускорителя с открытым анодным слоем, позволяющего формировать пучок ионов о энергией (40 - 200)эВ и имеющего угол разлета ионов $(140\text{-}160)^0$. Лазерный эрозионный факел начинает формироваться в ионном источнике. В такой комбинации энергия высокоэнергетической части лазерного эрозионного факела остается практически неизменной, так как она значительно превышает энергию частиц формируемых в ионном источнике. Для сравнения энер-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

гия высокоэнергетической ионной компоненты лазерного эрозионного факела в экспериментах составляла порядка 340 эВ, а наибольшая энергия ионов формируемых в ионном источнике составляла 150-250 эВ. Однако основная масса низкоэнергетической, порядка 10 эВ, нейтральной компоненты лазерного эрозионного факела ионизируется и ускоряется до энергий ~ 60-100 эВ. Поскольку время жизни лазерного эрозионного факела ограничено и составляет ~1.5-1.8 мс, то для поддержания разряда в ионном источнике в него подается инертный газ Ar. Это позволяет поддерживать разряд ионного источника. Ионный источник также вносит определенные изменения в геометрию лазерного эрозионного факела. Поскольку ионный источник формирует большой угол разлета ионов, то это приводит к тому, что эрозионный факел, находясь под воздействием поля источника, увеличивает свои геометрические размеры (телесный угол). Этот факт хорошо подтверждается экспериментальными данными. Размеры пятна продуктов эрозии лазерного эрозионного факела в комбинированном методе в два раза превышают размеры пятна полученного лазером с той же плотностью мощности без ионного источника. Использование описанного комбинированного метода позволило увеличить энергию низкоэнергетической части лазерного эрозионного факела и ионизировать его нейтральную компоненту, кроме того, обработка подложки аргоновой плазмой перед напылением и в процессе осаждения покрытия позволяет получать алмазоподобные пленки с более совершенной структурой и повышенной адгезионной прочностью.

Такая обработка обеспечила, во-первых, совершенствование структуры материала под воздействием низкоэнергетической ионной бомбардировки, во-вторых, упрочнение поверхностного слоя за счет образования избыточных карбидов, а кроме того, формируемая на поверхности матрицы углеродная алмазоподобная пленка препятствует развитию микротрещин, способствует сглаживанию температурных и механических нагрузок за счет высокой собственной теплопроводности и механической твердости [6].

Процесс упрочнения твердосплавных матриц аппаратов высокого давления реализован на базе вакуумной установки для нанесения покрытий «Булат», дооборудованной технологическим лазером ГОИ 16-1 и низкоэнергетическим ионно-лучевым источником типа «АИДА».

Проведенные на РАУП «Гомельское ПО «КРИСТАЛЛ» производственные испытания упрочненных комбинированным ионно-лучевым и лазерным методом матриц доказали эффективность внедренной технологии. В эксперименте за время порядка 60 минут толщина алмазоподобной пленки на поверхности детали составляла около 1 мкм при этом увеличение среднего срока службы деталей составило 25%. При дальнейшем росте механические свойства алмазоподобной пленки ухудшались за счет ее не регулярной структуры и большого различия макроскопических свойств материалов пленки и обрабатываемой детали [7].

Повышение выхода реакции синтеза искусственных алмазов каталитическим методом

Как известно, при каталитическом синтезе зарождение алмазных кристаллов возможно на протяжении всего периода выдержки графитнометаллической реакционной смеси в соответствующих условиях температуры и давления. При этом, очевидно, что наиболее крупные кристаллы зарождаются в самый начальный момент. Внедрение в реакционную смесь зародышей алмазной фазы, являющихся активными центрами кристаллизации, способствует увеличению вероятности зарождения кристаллов в процессе синтеза. Комбинированный метод формирования алмазоподобных пленок позволяет мо-

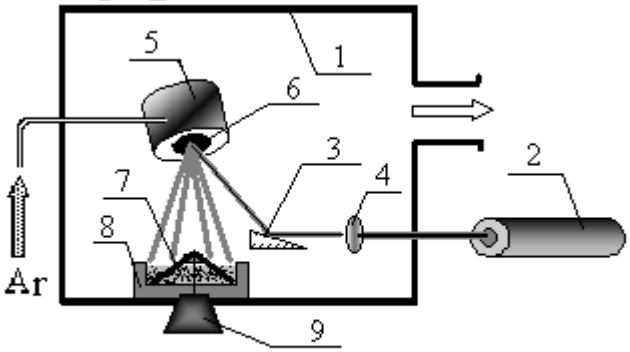

Рисунок 1

Репозиторий ГГУ имени Ф. Скорины

дифицировать реакционную шихту для синтеза искусственных алмазов путем формирования на поверхности чешуек графита и металла-катализатора алмазоподобной пленки [8, 9]. При этом между зародышами алмазной фазы и материалом реакционной шихты уже на этапе подготовки создается химический контакт, и как следствие, увеличивается возможное время роста зародившихся кристаллов алмаза [9].

Обработка компонент реакционной шихты производится на установке представленной на рисунке 1. В камере вакуумной установки (1), оборудованной импульсным лазером (2) с системой фокусировки (3, 4), установлен низкоэнергетический ионный источник (5). Мишень (6) из особо чистого графита, помещенную в ионный источник, подвергают воздействию лазерного излучения. Компоненты шихты представляющие собой порошок графита (7) помещают в специальную емкость (8) под ионным источником. Для обеспечения обработки больших объемов компонент шихты в едином технологическом цикле предусмотрено устройство (9) для его постоянного механического перемешивания. Внедрение алмазоподобной фазы в порошок металла-катализатора осуществляется по той же схеме с соответствующей заменой обрабатываемого материала (7).

Внедрение технологии модификации реакционной шихты для синтеза искусственных алмазов путем формирования на поверхности чешуек графита и металла-катализатора алмазоподобной пленки. позволило повысить удельное содержание алмазного сырья в грамме продукта синтеза на 10% и увеличить выход алмазного сырья с одного пресс-нагружения на 12% при 5% увеличении выхода крупнозернистых фракций (выше 100мкм).

Металлизация алмазных порошков в технологии производства инструмента

В отличие от нанесения покрытий на массивные объекты, в случае порошковых материалов возникает ряд трудностей, обусловленных специфическими свойствами порошковой среды и характером ее поведения в вакууме: сыпучестью, большой величиной эффективной удельной поверхности, агрегированием отдельных зерен порошка и т.д. Для обеспечения промышленно приемлемых скоростей металлизации алмазного порошка для синтеза искусственных алмазов разработана установка, представленная на рисунке 2.

Установка для вакуумной металлизации алмазного порошка состоит из вакуумной камеры 1, оборудованной катодно-дуговым испарителем 2. За счет распыления катода 3, изготовленного из наносимого материала, испаритель 2 формирует направленный плазменный поток продуктов эрозии катода в зону просыпания алмазного порошка 4. Непрерывно вращающийся с оптимальной скоростью барабан 5 с лопатками 6 перемешивает алмазный порошок 4 и просыпает его через плазменный поток формируемый испарителем 2. Оптимальная температура алмазного порошка создается и поддерживается нагревательным элементом 7, который самоочищается за счет реиспарения продуктов осаждения с его поверхности. Предлагаемая схема обработки алмазного порошка позволяет меняя лишь катод получать покрытия практически из любых металлов.

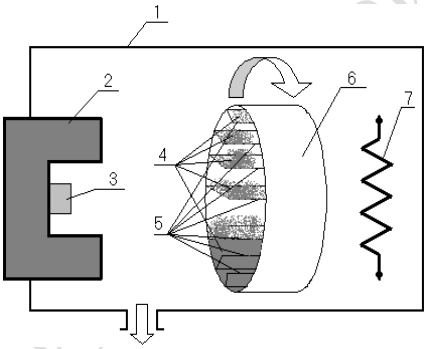

Рисунок 2

Металлические покрытия, полученные катодным распылением характеризуются наличием в них сжимающих напряжений, что способствует упрочнению дефектных алмазных зерен и их лучшему удержанию в связке.

В ходе проведенных экспериментов на алмазные порошки АС-4, АС-6 зернистостью от 160/100 до 500/400 наносили покрытия из алюминия и меди толщиной (0.1-5)мкм. Испытания инструмента на основе металлизированных порошков проводили методом контрольной работы – сравнивали работу стандартного инструмента и инструмента на основе металлизированных порошков в одинаковых технологических условиях.

Изучение поверхности рабочего слоя инструмента под микроскопом показало, что металлизированные алмазные зерна лучше удерживаются в связке, величина максимального

выступания края алмазного зерна над условной поверхностью рабочей кромки инструмента возросла более чем на 20%. Это обеспечивается высокой прочностью адгезионного соединения в системе алмаз-покрытие-связка, отсутствием графитизированного слоя на границе алмаз-связка, образование которого сопровождает высокотемпературное спекание инструмента. Применение в качестве адгезионно-активного переходного слоя алюминия позволяет избежать каталитической графитизации алмазных зерен, а, следовательно, повысить эксплуатационные характеристики инструмента. Увеличение режущей зоны алмазных зерен при одновременном повышении их прочности удержания в связке, а так же улучшение теплоотвода от зерна за счет высокой теплопроводности металлического покрытия позволило применять алмазный инструмент при повышенных скоростях обработки.

Проведенный комплекс исследований позволил внедрить в производственные процессы ряда предприятий Беларуси импортозамещающие материалы и ресурсосберегающие технологии.

Abstract.

Литература

1. С. В. Шалупаев, Е. Б. Шершнев., Н.Н. Федосенко, Ю.В. Никитюк, В.П. Морозов / Оптимизация процесса электроразрядного спекания синтетических алмазов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2002, №5, с. 58-61

2. С. В. Шалупаев, Н.Н. Федосенко, В.П. Морозов / Упрочнение матриц аппаратов высокого давления ионно-лучевым и лазерным методом в вакууме // Материалы, технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин. Тематический сборник / Под общей редакцией П.А. Витязя, С.А. Астапчика. - Минск УП «Технопринт», Новополоцк, ПГУ, с. 187-189

3. Патент №6030, РБ Способ получения алмазоподобных углеродных пленок А. С. Старовойтов, В. А Зайцев, Е. Б. Шершнев, С. В., Шалупаев., Н.Н. Федосенко, В.Ф. Шолох, Ю.В. Никитюк. 2001г

4. Патент №323, РБ Установка для получения алмазоподобных пленок А. С. Старовойтов, В. А Зайцев, Е. Б. Шершнев, С. В., Шалупаев., Н.Н. Федосенко, Ю.В. Никитюк, В.П. Морозов. 2001г.

5. С. В. Шалупаев, Н.Н. Федосенко, Ю.В. Никитюк, Комбинированный метод формирования алмазоподобных покрытий методом лазерного распыления ионно-лучевого синтеза графита/ Лазерная физика и спектроскопия: Материалы IV Международной конференции по лазерной физике и спектроскопии / Под ред. В.К. Кононенко. В 2 ч. Ч.2. – Гродно: ГрГУ, 1999. с. 306-309

6. С. В. Шалупаев, Н.Н. Федосенко, В.П. Морозов, Лазерное осаждение алмазоподобных покрытий// Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины № 6 (9) 2001 С. 123-126.

7. С. В. Шалупаев, Н.Н. Федосенко, В.П. Морозов, Получение алмазоподобных пленок с улучшенными характеристиками// Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы II Международной научно-технической конференции. – Новополоцк: ПГУ, 2002. С. 171-174

8. С. В. Шалупаев, Н.Н. Федосенко, А. Алексюк, В.П. Морозов, Формирование алмазоподобных покрытий на керамических материалах и оптическом стекле// CERAMICS. POLISH KERAMIC BULLETIN Vol. 79, 2003 Krakow, p. 145-151

9. С. В. Шалупаев, Н. Н. Федосенко, В. П. Морозов, Н. И. Саян, Особенности формирования углеродной алмазоподобной пленки из лазерного эрозионного факела при ионно-лучевом ассестировании/Пленки 2004// Материалы международной научной конференции «Тонкие пленки и наноструктуры», г. Москва – М.:МИРЭА, 2004, часть 2 с.139-142.

Гомельский государственный
университет имени Ф. Скорины

Поступило 11.09.06

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ