

60 мм с наружным диаметром 70 мм и толщиной стенки 3 мм. При этом получали фланец диаметром 102 мм с исходной толщиной стенки и радиусом $r_e = 3$ мм. Таким образом моделировали процесс формообразования фланцев в полых заготовках из стали 35, подвергаемых локальному нагреву в зоне деформации. Фасонирование заготовки осуществляли в безоблойном штампе.

Поскольку длина l_2 значительно превышает толщину стенки трубной заготовки, то в начальный момент ее осадки наблюдается потеря устойчивости за счет выпучивания наружу стенки в свободной полости матрицы. Такое явление описано в работе [4], что обусловлено наличием цилиндрической части в матрице над зоной фасонирования.

Результаты экспериментов показали, что расчеты, проведенные по уравнениям (2) и (3) достаточно хорошо согласуются с опытными данными. Это подтверждает корректность принятых допущений.

Литература

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.
2. Зубцов, М.Е. Листовая штамповка. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
3. Попов, Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1968. – 284 с.
4. Теория обработки металлов давлением / Под ред. И.Я. Тарновского. – М.: Металлургиздат, 1963. – 672 с.

УДК 621.791.7

Наноструктурные покрытия карбида кремния для защиты алмазных кристаллов

Ковалевский В.Н., Фомихина И.В., Григорьев С.В., Жук А.Е.
Белорусский национальный технический университет

Нанесение композиционных покрытий на исходные порошки и гранулы позволяет создавать слоистые порошковые композиции, которые могут найти применение при получении

высокопрочных керамических, керамико-полимерных, полимерных и сверхтвердых материалов для машиностроения, приборостроения, электроники и электротехники. Особенно заманчива перспектива создания керамических карбидокремниевых покрытий, которые обладают высокими механическими свойствами. Для получения наноструктурных покрытий карбида кремния используют магнетронное распыление катодов в среде аргона. Использование комбинированного катода кремний – графит позволяет осуществлять покрытия из смеси атомов кремния и углерода, которое при нагреве преобразуется карбид кремния. Полученное по принципу раздельного синтеза покрытие предотвращает окисление алмаза при нагреве и сдерживает процесс графитации. Полученные композиты алмаз – карбид кремния обладают комплексом уникальных физико – механических характеристик: высокие модуль упругости и твердость, низкий коэффициент термического расширения, высокие теплопроводность и износостойкость, что позволяет применять материал для изготовления абразивного, режущего и формирующего инструмента, конструкционных деталей, работающих в узлах трения, эрозийного износа, подложек микросхем, нагревательных элементов и т.д.

Известно устройство для получения покрытий в вакууме, содержащее вакуумную камеру, в которой размещены анод и распыляемый катод, установленный внутри анода в одной плоскости с ним, включающий операции установки подложки фронтально к распыляемому катоду. Использование магнетронной системы для напыления наноструктурных покрытий на порошки потребовало разработки специальных устройств и технологии нанесения покрытий с высокой адгезионной прочностью. Устройство должно обеспечить предварительную обработку (активацию) поверхности порошка плазмой тлеющего разряда и последующее напыление магнетронным методом с равномерной плотностью эмиссионного потока. Следовало решить вопросы создания условий получения равномерной толщины покрытий, допускаемый разогрев порошкового материала подложки, повышения коэффициента использования мишени, который для существующих МРС составляет только 0,3-0,35.

В работе использовали устройство для получения покрытия в вакууме [1], содержащее вакуумную камеру. В камере размещены анод и распыляемый катод, установленный внутри анода в одной плоскости с ним, а также дополнительный катод, выполненный перфорированным, при этом площадь сплошной части поверхности дополнительного катода соответствует площади распыляемого катода. Дополнительный катод, выполнен в форме спирали либо решетчатой с радиально расположенными от периферии к центру отверстиями. Такая конструкция позволяет увеличить степень ионизации газа при неизменных условиях напыления. Это позволяет получить равнопрочное и равномерное по толщине осаждаемое покрытие.

Для нанесения покрытия на порошки распыляемое устройство снабжено вращающимся барабаном с перемешивающими лопатками для размещения в нем напыляемого порошка. Повышение коэффициента использования мишени устанавливали между основным и дополнительным катодами трубчатый катод, который концентрировал эмиссионный поток в центральной части. Одновременное распыление двух и более компонентов осуществляется использованием распыляемого катода, выполненного составным или композиционным. Процесс предварительной обработки порошка и последующее напыление покрытия на порошки магнетронным методом осуществляют в вакуумной установке УРМ типа 379048. Осуществляли предварительную активацию поверхности частиц алмаза обработкой в тлеющем разряде при давлении 5×10^{-3} Торр. В зависимости от назначения и требуемых свойств покрытия применяли составной или композиционный распыляемый катод, который обеспечивает одновременное распыление двух или более компонентов. Применение трубчатого катода, расположенного между распыляемым и дополнительным катодами концентрирует скрещивающиеся потоки распыляемого материала, увеличивают объем эмиссируемых потоков взаимодействующий с плазмой рабочего газа, а дополнительный перфорированный катод отсекает потоки высокоэнергетичных газов, снижает разогрев поверхности порошка, позволяет наносить покрытия не только на алмазные кристаллы, но и на полимеры, ультрадисперсные порошки с

равномерной толщиной покрытия и с повышенным коэффициентом использования мишени до 0,5-0,6.

В разработанном устройстве осуществляли покрытие алмазного порошка марки АСМ 14/10 (ГОСТ 9206-80) со средним размером частиц 12 мкм, которые размещали во вращающемся барабане с перемешивающими лопастями, вращение осуществляли со скоростью 30 оборотов в минуту. Поверхность кристаллов алмаза активировали путем обработки в магнетронной распылительной системе в плазме тлеющего разряда (плазмирующий газ – аргон) в режимах: $U = 1250$ В, $I = 0,15$ А, время 300 с. Распылением составного катода (наружный кольцевой катод из кремния с наружным диаметром 116 мм, внутренним 80 мм, внутренний катод из графита диаметром 80 мм) наносили тонкопленочное (60...160нм) покрытие, состоящее из атомов кремния и углерода в режимах: ток $I = 2,5$ А, давление $P = 0,5$ Па и расстояние от катода до подложки $l = 150$ мм.

Полученные покрытия состояло из смеси атомов кремния и углерода. На dilatометре оценивали процесс образования карбида кремния в покрытии. Установлено, что химическое взаимодействие углерода и кремния в вакууме начинается при температуре 650°C и заканчивается при температуре 800°C . Этот факт позволяет предполагать, что активные свободные атомы кремния и углерода требуют малой дополнительной энергии для протекания химической реакции в условиях вакуума между кремнием и углеродом.

Оценку стойкости алмазов к окислению при наличии на поверхности покрытия осуществляли нагревом порошков с покрытием в окислительной среде. Исследования показали, что окисление покрытия из смеси атомов кремния и углерода начинается при температуре 800°C . Выдержка в течение 3 часов приводит к интенсивному окислению кристаллов алмаза. При 1000°C и выдержке 1 час алмазный порошок с покрытием превращается в графит и выгорает. Это объясняется, по-видимому, тем, что при нагреве без вакуума энергии для образования карбида кремния требуется больше, чем для окисления и покрытие частично окисляется, не образует плотной оболочки вокруг кристалла алмаза и не препятствует его графитации. Качественно адгезионную прочность покрытия

оценивали раздавливанием частиц алмаза с покрытием на прессе. Установлено, что в процессе раздавливания покрытие не ослаиваются. Формирование каркаса из карбида кремния на поверхности алмаза делает его термостабильным до температур 1600⁰С. Установлено, что процесс образования карбида кремния в покрытии идет при температуре 680-750⁰С[2]. Исследования тонкой структуры и фазового состава карбидокремниевой матрицы композиции алмаз – карбид кремния показали, что процесс структурообразования при реакционном спекании в засыпках при температуре 1500⁰С идет с образованием в зоне контакта алмаза аморифизированной структуры карбида кремния, которая образуется при быстром охлаждении наноструктурного покрытия. Использование карбида кремния, активированного взрывом, способствует созданию высокоплотной структуры композиции, содержащий как наноструктурный карбид кремния, так и зерна карбида кремния с развитой границей. Полученные результаты позволят считать перспективной предлагаемую технологию для защиты алмаза от окисления и процесса графитации, что позволяет создать сверхтвердых материалов на основе алмаза и карбида кремния с уникальным сочетанием физико-механических свойств.

Литература

1. Патент №1375, РБ, С23С 14/00, опубл. бюл. №3, 1996
2. Ковалевский, В.Н. Гордеев, С.К., Корчагина, С.Б., Фомихина, И.В., Жук, А.Е. Формирование структуры карбидокремниевой матрицы при создании композиции алмаз – карбид кремния. Огнеупоры и техническая керамика. – 2005.-№5.- С.

УДК 621.791.7

Получение композита алмаз – карбид кремния с использованием наноструктурных покрытий

Ковалевский В.Н., Фомихина И.В., Ковалевская А.В., Жук А.Е.
Белорусский национальный технический университет

Использование в качестве связки карбида кремния (SiC) позволяет создать сверхтвердый материал инструментального и конструкционного назначения, в котором сочетаются высокие