

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОГО МЕТОДА ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

БНТУ, Минск

Научный руководитель Иващенко С.А.

В научной и технической литературе существующие вакуумно-плазменные способы нанесения покрытий в вакууме делят на: катодное распыление; ионное осаждение; электродуговое испарение в вакууме.

Суть способа состоит в распылении катода-мишени ионами газоразрядной плазмы с последующим осаждением атомов распыленного материала на поверхность детали. Мишень распыляется в основном по двум механизмам: выбивание частицы (атома) происходит в результате прямой передачи импульса от ударяющего иона к поверхностному атому или атомам мишени; энергия, выделяющаяся в зоне удара, создает условия, сходные с термическим испарением материала в вакууме.

Коэффициент ионизации потока составляет порядка 1%, энергия распыляемых частиц 1-3 эВ. Коэффициент использования материала близок к 100%. Однако, расстояние между деталью и мишенью должно быть небольшим, что накладывает ограничения на размеры обрабатываемой детали.

Метод позволяет получать покрытия на основе тугоплавких материалов. Преимущество метода катодного распыления, как и других, при вакуумной металлизации – возможность ионной очистки поверхности основы непосредственно перед осаждением покрытия путем изменения полярности напряжения смещения при ионной бомбардировке основы. К достоинствам метода катодного распыления можно также отнести его универсальность (можно получить покрытия с хорошей адгезией

из любого материала на любой основе), высокую однородность покрытия по толщине, высокую адгезию к основе, которая существенно выше адгезии вакуумных конденсатов.

Недостатком метода катодного распыления является сравнительно низкая скорость осаждения (0,005-0,3 мкм/мин), а также трудность управления разрядом, который характеризуется тремя основными взаимосвязанными параметрами: давлением газа, напряжением между электродами и током разряда. Один из существенных недостатков метода катодного распыления – трудность получения чистых пленок распыляемого материала из-за неизбежности включения молекул газа в пленку. Однако этот недостаток становится ценным преимуществом метода катодного распыления с реакцией, где реакционный газ специально вводится в камеру для получения окисной или другой сложной пленки.

Метод катодного распыления используют при нанесении специальных покрытий в электротехнике, а также для декоративных целей и получения тонкого подслоя на пластмассе с хорошей адгезией к основе. Особенно перспективен этот метод для нанесения покрытий из тугоплавких материалов, которые трудно нанести термическим испарением в вакууме .

Способ представляет собой разновидность термического испарения в вакууме, с ионизацией паров в плазме тлеющего разряда, поддерживаемого между испарителем и основой. Плотность ионного тока до 2 мА/см². Напряжение на разрядном промежутке от 1 до 10 кВ, давление в вакуумной камере 0,1-6 Па.

Характерная особенность ионного осаждения - использование процесса бомбардировки поверхности основы (катода) потоком ионов высокой энергии как перед осаждением покрытия для очистки поверхности, так и в процессе формирования покрытия. Ионизация осуществляется газовым разрядом (в среде Ar, N, He), а термическое испарение материала покрытия – резистивным, электроннолучевым или электродуговым способами.

Использование способа ионного осаждения дает хорошие результаты в электронной технике, где ионные покрытия применяются в качестве электрических контактов (например, покрытия Pt-Si на Si), для улучшения условий пайки и сварки (никель на титан), металлизации ферритов и ферромагнитной керамики. Ионные покрытия из мягких металлов (свинец, серебро, золото, свинец-олово) используют в качестве твердых смазок для деталей шарикоподшипников, шестерен, трибологических покрытий. Мягкие металлические пленки успешно используют для подшипников космических объектов (элементов солнечных батарей, механизмов вращения и наведения антенн). С помощью ионного осаждения проводят ремонт алюминиевых поршневых колец авиационных двигателей (наносят алюминий), различных муфт, валов и др.

Из-за хорошей адгезии к основе тонкое ионное покрытие используют для последующего осаждения металла гальваническим методом. Особенно перспективен этот метод при нанесении покрытий на непроводящие детали (карбид вольфрама, пластмассы, керамика), распространение получило нанесение ионных покрытий с целью защиты различных изделий от коррозии. Ионное осаждение применяется также для нанесения защитно-декоративных покрытий.

Использование ионного осаждения в различных областях техники с широким диапазоном назначения покрытий обусловлено такими его преимуществами, как хорошая адгезия покрытий к основе даже без ее предварительного нагрева, высокая степень равномерности покрытия по толщине, хорошая рассеивающая и кроющая способность, высокая скорость осаждения покрытия.

К недостаткам способа стоит отнести использование относительно громоздкого и дорогостоящего высоковольтного оборудования для испарения мишени, дополнительной ионизации парового потока и активации поверхности основы перед нанесением покрытий. Метод требует учета фракционирования

составляющих при испарении многокомпонентных сплавов. Для преодоления этих трудностей при нанесении многокомпонентных покрытий разрабатываются методы взрывного испарения малых навесок и диффузионный отжиг предварительно нанесенных многослойных композиций. Однако это ведет к ополнительному удорожанию оборудования и к необходимости работать при повышенных температурах.

Стадия генерации в рассматриваемом способе нанесения покрытий обеспечивается за счет эрозии одного из электродов в вакуумной электрической дуге. При этом имеет место самогенерация, то есть среда, необходимая для поддержания разряда возникает вследствие испарения материала электрода и дуга горит в его парах. Процесс испарения сопровождается интенсивной ионизацией, степень которой зависит от материала эродирующего электрода, и может составлять от 12-15% для легкоплавких металлов до 50-100% для тугоплавких металлов. Такая высокая степень ионизации позволяет управлять потоком, во-первых, на стадии его ускорения (например, использование криволинейных плазмодов или магнитных островков позволяет полностью избавиться от микрокапельной фазы в потоке) и, во-вторых, на стадии его конденсации.

Процесс вакуумного электродугового нанесения покрытий включает две основные операции: ионную очистку поверхности детали и конденсацию материала покрытия. Очистка поверхности основы путем бомбардировки ионами является основным этапом подготовки к осаждению покрытия. Благодаря высокой энергии ионов, достигающей нескольких килоэлектронвольт, происходит удаление с поверхности адсорбированных и окисных пленок. При этом может происходить избирательное распыление поверхности, что отрицательно влияет на адгезию покрытий. Процесс конденсации осуществляется сразу после ионной очистки путем уменьшения значения ускоряющего потенциала, то есть снижения энергии конденсирующихся ионов.

В сравнении с другими способами нанесения вакуумный электродуговой имеет следующие основные преимущества: обеспечивает высокую адгезию и плотность покрытия за счет высоких степени ионизации потока (до 100%) и энергии конденсирующихся ионов (от 20 до 200 эВ); имеет высокую экономическую эффективность (удельные затраты энергии и сырья в 15-20 раз ниже, чем при электроннолучевом испарении); позволяет получать покрытия из любых электропроводных материалов, в том числе тугоплавких металлов и сплавов; не требует дополнительного прогрева поверхности детали перед нанесением для получения качественного покрытия; обеспечивает возможность управлять плазменным потоком; гарантирует высокую чистоту процесса за счет проведения в одном технологическом цикле очистки поверхности и нанесения покрытия.

УДК 602

Бойко А.А., Ятченко А.Д.

СХЕМЫ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

БНТУ, Минск

Научный руководитель Комаровская В.М.

Сжиженный природный газ (СПГ) можно транспортировать в морских танкерах-метановозах (газовозах) на любые расстояния (например, расстояние от основных производителей СПГ Тринидада и Тобаго, Алжира, Норвегии, Нигерии, Омана, Катара до рынка США составляет от 3700 до 14 800 км) при невозможности соединить производителя природного газа и его потребителя газопроводом наземным или по дну моря. Для сжижения природного газа в настоящее время применяются разные циклы глубокого охлаждения и сжижения, которые претерпевали постоянные усовершенствования: классический каскадный цикл на трех чистых хладагентах; пропане, этилене и метане; цикл на одном смешанном хладагенте – смеси