

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
Глава 1. СВОЙСТВА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	8
1.1. Свойства низкотемпературной плазмы.....	8
1.2. Классификация плазменных технологий, используемых в технологических процессах обработки материалов.....	12
1.2.1. Коронный разряд	13
1.2.2. Искровой разряд.....	14
1.2.3. Тлеющий разряд	15
1.2.4. Дуговой разряд	15
1.3. Основные факторы воздействия низкотемпературной плазмы на материалы.....	16
1.4. Основные тенденции использования установок низкотемпературной плазмы для решения технических задач.....	18
Глава 2. НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО ОПЛАВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ	22
2.1. Плазменные установки, используемые для получения защитно-декоративных покрытий.....	23
2.2. Основные факторы, влияющие на качество защитно-декоративных покрытий, полученных методом плазменного оплавления поверхности	25
2.3. Особенности плазменного оплавления поверхности строительных изделий	30
2.4. Эксплуатационные свойства защитно-декоративных покрытий, полученных оплавлением поверхности строительных изделий	31
2.5. Нанесение защитно-декоративных покрытий методом золь-гель технологии с применением плазменной обработки поверхности изделий.....	35
2.6. Технология производства плазмомодифицированных отделочных материалов для фасадов зданий и сооружений.....	37
2.7. Плазменная модификация поверхности силикатных строительных материалов автоклавного твердения (силикатного кирпича).....	40
Глава 3. ПЛАЗМЕННАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	44
3.1. Технологическое оборудование, используемое для плазменной металлизации бетонных поверхностей	44
3.2. Технология металлизации бетонной поверхности строительных конструкций	47
3.3. Эксплуатационные свойства покрытий и бетонной поверхности после плазменной металлизации изделий	48
3.4. Области применения плазменной металлизации бетонных поверхностей строительных конструкций и технико-экономические показатели образовавшихся покрытий.....	52

Глава 4. ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВОК НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ АКТИВАЦИИ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	54
4.1. Плазменная активация портландцемента.....	55
4.2. Плазменная активация мелкозернистого заполнителя.....	59
4.3. Плазменная активация воды затворения.....	66
4.4. Плазменная активация гипсовых вяжущих.....	71
Глава 5. ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	73
5.1. Методы модификации поверхности термопластичных полимерных материалов.....	75
5.1.1. Плазменная модификация поверхности полимерных материалов.....	76
5.2. Установки для плазменной модификации поверхности полимерных материалов.....	78
5.3. Эксплуатационные свойства плазмомодифицированных полиэтиленовых пленок.....	80
Глава 6. СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ.....	82
6.1. Синтез стеклокерамических материалов с анортитсодержащей фазой.....	83
6.2. Синтез стеклокерамики системы MgO–SiO ₂ методом плазменной плавки.....	85
6.3. Плазмохимический синтез анортита.....	87
Глава 7. ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ.....	91
7.1. Плазменная технология очистки питьевой воды.....	92
7.2. Плазменные технологии очистки промышленных стоков и дымовых газов.....	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	104
Библиографический список.....	106

ВВЕДЕНИЕ

Современные крупнотоннажные производства, использующие традиционный подход (термическую активацию химических процессов), сталкиваются с проблемой энергосбережения. Естественным выходом из сложившейся ситуации является переход на инновационные технологические решения в металлургии, строительстве, химии и других отраслях промышленности. Качественные изменения в промышленном производстве материалов различного функционального назначения возможны при значительном снижении удельных энергозатрат и повышении производительности промышленного оборудования. Это достигается в основном за счет значительного увеличения температуры в зоне химических реакций, так как эти процессы в рамках классической кинетики экспоненциально ускоряются в соответствии с законом Аррениуса. Однако нагрев реакторов или химических реагентов до высоких температур приводит к дополнительному расходу энергоносителей. Поэтому проводится поиск новых путей повышения производительности и снижения удельных энергозатрат промышленного оборудования.

Перспективным направлением интенсификации производства, повышения качества и эксплуатационных характеристик строительных материалов и изделий является применение установок низкотемпературной плазмы. Плазменные технологии позволяют осуществлять процессы, не протекающие в обычных условиях и создавать новые композиционные материалы, обладающие более высокими физико-химическими и физико-механическими свойствами. В низкотемпературной плазме скорость химических реакций возрастает в сотни и тысячи раз, что дает возможность заменить громоздкие химические установки на компактные плазменные, обладающие высокой производительностью. Применение установок низкотемпературной плазмы позволит разрабатывать одностадийные замкнутые технологические циклы производства материалов. Становится реальным и синтез ультрадисперсных порошков чистых металлов, карбидов, нитридов и других соединений, а также получение азотной кислоты из воздуха.

Плазменные технологии широко применяют в химической технологии при получении порошкообразных веществ и нанесении защитных покрытий, в полупроводниковой микроэлектронике при решении экологических задач, а также в научных исследованиях. Совмещение реакционной зоны с газоразрядной камерой позволяет локально нагревать реагенты до высоких температур без нагрева стенок реактора, что значительно сокращает непроизводительные потери тепловой энергии. Такие условия реализуются при возбуждении реагентной газовой смеси в электрическом разряде. При этом снижение температурного барьера реакции происходит за счет участия в химических реакциях свободных радикалов и атомов, которые эффективно образуются в газовых разрядах.

Перспективным инновационным направлением снижения энергозатрат при проведении химических процессов является использование неравновесных плазмохимических процессов, характеризующихся значительным превышением энергии на внутренних степенях свободы молекул реагентов по сравнению с термодинамически равновесным состоянием. В этом случае температура газа может не превышать 300–400 К, что существенно снижает потери энергии на нагрев стенок реактора и исходных компонентов газовой смеси.

В настоящее время плазмохимия является одним из перспективных инновационных направлений в физике низкотемпературной плазмы и химии высоких энергий. Преимущества плазмохимии как технологии нового типа определяются высоким уровнем энергии, вкладываемой в реакционную систему. Это приводит к значительному росту скоростей химических превращений, уменьшению размера реактора, одностадийности многих технологических процессов, возможности использования сырья, плохо поддающегося переработке традиционными методами, а также утилизации отходов различных производств с целью защиты окружающей природной среды.

Особое место в плазмохимических технологиях занимает низкотемпературная плазма, характеризующаяся высоким уровнем энергии электронов и концентраций возбужденных и за-

ряженных частиц при низкой температуре газа. Сочетание указанных условий позволяет осуществлять процессы синтеза ряда неорганических соединений (фторидов благородных металлов), тонкого органического синтеза, полимеризации и модификации поверхностей наполнителей и полимеров, органических веществ и металлов, диэлектриков и полупроводников. Одновременно достигается высокая селективность процессов и чистота полученных продуктов. При этом плазмохимическая обработка веществ и материалов низкотемпературной плазмой затрагивает лишь тонкий поверхностный слой, не изменяя физико-химических свойств основной массы материала.

Применение плазмохимических технологий способствует переходу к более высоким скоростям химических реакций. При этом скорость химических превращений сопоставима со скоростями переходов электронов между уровнями. Это приводит к нарушению равновесного распределения частиц по уровням, соответствующим различным внутренним степеням свободы и скоростям. Кроме того, в технологических плазменных установках происходит интенсивный тепло- и массообмен с окружающей средой и энергообмен с внешними электрическими полями, полем излучения и т.д., что создает физическую неравновесность — градиенты температур различных частиц, приводят к нарушению распределения Максвелла — Больцмана по уровням внутренних степеней свободы. Наблюдаются неравновесные концентрации заряженных частиц и частиц, возбужденных по различным степеням свободы.

Термины «плазмохимия», «плазмохимические реакции» и «плазмохимические процессы» были введены в отечественную научную литературу после публикации сборника статей «Кинетика и термодинамика химических реакций в низкотемпературной плазме» под редакцией Л.С. Полака (Москва : Наука, 1965. — 254 с.). Они отражают тот факт, что объектом анализа являются специфические химические объекты, особенностью которых является то, что химические реакции инициируются или протекают в плазме.

За последние годы химия электрических разрядов прошла большой путь от феноменологического описания явлений до создания нового научного направления. Изучены механизмы многих плазмохимических реакций, появились многочисленные работы в области применения плазмохимии для решения различных практических задач, объединенных под названием «прикладная плазмохимия». Исследования в области плазменных технологий для производства строительных изделий и конструкций проводились отечественными учеными: М.В. Акуловым, Ю.М. Баженовым, В.С. Бессмертным, А.И. Борисенко, С.Л. Буянтуевым, В.В. Волокитиным, Ф.Б. Вурзелем, В.И. Дембровским, А.А. Долгополовым, Л.К. Дружининым, Н.Г. Корсаковым, С.А. Крапивиной, В.П. Крохиным, В.В. Кудиновым, А.И. Миклошевским, И.Н. Немецем, В.И. Пархоменко, Э.Д. Подлозным, О.В. Пучкой, В.В. Рыбкиным, Л.Д. Свирским, С.В. Федосовым, Ю.А. Щепочкиной.

В настоящем учебном пособии большое внимание уделено возможности применения плазменных установок и плазмохимических процессов для повышения эксплуатационных показателей строительных материалов и изделий различного функционального назначения.

Глава 1. СВОЙСТВА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Одним из перспективных направлений интенсификации промышленного производства, улучшения качества и повышения эксплуатационных характеристик традиционных строительных материалов и изделий, а также основой для создания нового поколения композиционных материалов, является применение установок низкотемпературной плазмы. По сравнению с традиционными химико-технологическими процессами, плазменные технологии более эффективны и существенно менее энергоемки и не требуют применения жидких реагентов.

Интерес к плазменным технологиям обусловлен, во-первых, тем, что они позволяют осуществлять химические процессы, не протекающие в обычных условиях и создавать композиционные строительные материалы с принципиально новыми физико-химическими свойствами. Во-вторых, в низкотемпературной плазме скорость химических реакций возрастает в сотни и тысячи раз, что создает условия для замены громоздких металлургических и химических промышленных установок на компактные установки, обладающие высокой производительностью. В-третьих, становится реальным прямое восстановление металлов из руд, получение ультрадисперсных порошков чистых металлов, карбидов и нитридов металлов. Это открывает широкие перспективы для автоматизации производства плазменной обработки материалов, для снижения загрязнения воздушной и водной среды. При промышленном освоении плазменных технологий и установок можно провести коренное техническое перевооружение различных отраслей промышленности России.

1.1. СВОЙСТВА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

Плазма — частично или полностью ионизированный газ, в котором электроны, а также положительные и отрицательные ионы практически полностью уравнивают электрический заряд друг друга. Плазма является четвертым состоянием вещества и образуется в результате термической ионизации газообразных молекул при высоких температурах, под воздействием электромагнитных полей большой напряженности или при облучении газа потоками заряженных частиц высокой энергии.

Плазму обычно разделяют на высокотемпературную и низкотемпературную, равновесную и неравновесную. Высокотемпературная плазма возникает только в условиях высоких температур (температура $\gg 10$ эВ), а низкотемпературная плазма имеет температуру < 10 эВ ($1 \text{ эВ} = 11\,600 \text{ К}$) и возникает при электрическом разряде в газе. Такое деление в значительной степени условно, но оно отражает тот факт, что высокотемпературная плазма является полностью ионизированным газом, тогда как в низкотемпературной плазме возможно наличие нейтральных частиц. Высокотемпературная плазма является равновесной, а низкотемпературная — неравновесной плазмой. В строительной индустрии наиболее перспективно применение установок низкотемпературной неравновесной плазмы (НТНП) для модификации исходного сырья при производстве строительных изделий и конструкций, для металлизации или оплавления лицевой поверхности керамических, силикатных и бетонных изделий, модификации поверхности полимерных материалов, синтеза стеклокристаллических материалов, очистки питьевой воды и промышленных стоков, а также для других целей.

Для низкотемпературной плазмы, получаемой при давлении менее 30 кПа, характерен широкий интервал температур электронов (от $1 \cdot 10^3$ до $5 \cdot 10^4 \text{ К}$), определяющий высокую степень ионизации газа (10^{-6} – 10^{-7}). Это способствует образованию свободных электронов, высокоактивных атомов, радикалов и молекул в различных колебательных состояниях. Плазма характеризуется большой концентрацией подаваемой мощности при коэффициентах использования энергии более 60 %. Нагрев и охлаждение реагентов в плазменных установках возможен со скоростями порядка $1 \cdot 10^6$ – $1 \cdot 10^8$ град/сек в нейтральных и окислительно-восстановительных средах. При этом химические реакции и процессы при воздействии низкотемпературной плазмы протекают с высокой скоростью и высоким коэффициентом выхо-

да конечных продуктов. Для получения низкотемпературной плазмы используют все виды электромагнитных полей: постоянное, переменное, высокочастотное (ВЧ), сверхвысокочастотное (СВЧ), оптическое излучение и т.д., а также различные типы разрядов: дуговой, тлеющий, коронный и другие.

Обычно низкотемпературная плазма слабоионизованная, т.е. количество нейтральных атомов и молекул значительно превышает число заряженных частиц (электронов и ионов). Отношение числа ионизованных атомов к полному их числу в единице объема называют степенью ионизации плазмы. Поскольку взаимодействие между заряженными частицами значительно сильнее, чем взаимодействие между нейтральными частицами, то наличие заряженных частиц в низкотемпературной плазме определяет ее электрические и электромагнитные свойства. Из-за появления высокореакционных частиц и излучения в низкотемпературной плазме возникают физико-химические взаимодействия, которые могут приводить к образованию новых химических соединений, не образующихся в обычных условиях (например, соединения из инертных газов). Более того, традиционные химические продукты, полученные в плазме, часто отличаются по свойствам от тех же продуктов, но полученных при обычных температурах.

Низкотемпературная плазма, в зависимости от ее физических свойств, может быть стационарной и нестационарной, равновесной и неравновесной.

Жизнеспособность стационарной низкотемпературной плазмы превосходит по времени ее релаксацию. Нестационарная (импульсная) низкотемпературная плазма существует лишь ограниченное время, зависящее от продолжительности установления равновесия в плазме и внешних условий.

Плазму, время существования которой превышает характерное время переходных процессов, называют квазистационарной. Например, плазма в канале молнии образуется и поддерживается в результате прохождения через него электрического тока. Время установления равновесия в проводящем канале составляет $\sim 10^{-5}$ с, а характерное время разрушения этого канала — ~ 10 с. Поэтому плазму в течение прохождения основной части тока через проводящий канал считают квазистационарной.

Низкотемпературная плазма является равновесной, если ее компоненты находятся в термодинамическом равновесии, т.е. температура электронов, ионов и нейтральных частиц совпадает. В низкотемпературной плазме легко создаются неравновесные условия в результате селективного действия внешних электрических полей: электрическая энергия от них передается заряженным частицам, а те отдают ее частицам газа при столкновениях. При таком способе передачи энергии средняя энергия заряженных частиц может значительно отличаться от тепловой энергии нейтральных частиц. В первую очередь это относится к электронам, которые из-за малой массы неэффективно обмениваются энергией при упругом столкновении с нейтральными частицами газа. При этом не только средняя энергия электронов, но и вид распределения электронов по энергиям может существенно отличаться от равновесного.

Равновесная плазма обычно реализуется в газе при высоком давлении, где столкновения частиц происходят часто, а скорость установления равновесия относительно велика. Примерами такой плазмы являются плазма дугового разряда при атмосферном давлении, плазма искрового разряда или молнии в атмосфере. Характерным примером неравновесной плазмы является плазма тлеющего разряда или плазма дугового разряда низкого давления, например, в плазме гелий-неонового лазера при давлении газа ~ 10 торр.

Важным преимуществом низкотемпературной плазмы является ее неравновесность: температура нейтральной компоненты составляет сотни градусов Цельсия, а температура электронов достигает порядка 10 000–50 000 °С. Известно, что в химических реакциях принимают участие только те частицы, поступательная или внутренняя энергия которых превышает эффективную энергию активации ($E_{эфф}$) реакции. В равновесных условиях тепловая энергия статистически распределяется по всем степеням свободы частиц в соответствии с законом

Максвелла — Больцмана. Согласно этому закону, все компоненты раствора, даже не принимающие непосредственного участия в химических реакциях, получают энергию, а концентрация реакционноспособных возбужденных частиц всегда меньше, чем концентрация основных частиц. По этой причине энергетическая эффективность химических реакций невысокая. Высокая плотность радикалов в плазме способствует интенсивному протеканию неравновесных химических реакций. Для неравновесных условий существует возможность селективного направления потока энергии для активации нужных компонентов реагирующей системы. Для низкотемпературной газоразрядной плазмы такое управление возможно путем выбора соответствующих параметров плазменного генератора (плазмотрона).

Плазмотрон — установка, превращающая воздух или газ в струю плазмы. Он представляет собой цилиндрическую газоразрядную камеру с двумя электродами, один из которых имеет вид кольца. Когда на электроды поступает напряжение в несколько тысяч вольт, между ними вспыхивает мощный дуговой разряд: воздух или газ становятся плазмой (совокупность положительно и отрицательно заряженных частиц). Стенки плазмотрона непрерывно охлаждаются проточной водой для предохранения установки от перегрева и заставляет плазму концентрироваться в осевой части установки.

Наибольшее распространение в промышленности получили три типа плазменных генераторов: струйнодуговые, высокочастотные и сверхвысокочастотные, или микроволновые. Струйнодуговые генераторы плазмы, иногда называемые струйнодуговыми горелками, имеют разнообразную конструкцию. Маломощные струйнодуговые плазменные горелки, потребляющие от 1 до 20 кВт мощности, обладают внешним сходством с газосварочными горелками. Дуговые плазмтроны стационарного типа требуют специальных источников питания и в некоторых случаях достигают мощности десятков МВт. Температура плазменной струи дуговых горелок при использовании аргона в качестве плазмообразующего газа достигает 15 000 К, а скорость струи может превышать скорость звука. Применяют и другие плазмообразующие газы — азот, гелий, водород, воздух или смеси указанных газов, а иногда — метан и газы, используемые для данной химической реакции. Струйнодуговые плазмтроны работают с КПД 0,65–0,85, при этом их КПД возрастает с ростом мощности установок и снижением энтальпии газа на выходе из горелки. Дуговые плазмтроны содержат, как правило, тугоплавкий катод из вольфрама или молибдена и кольцевой медный анод, охлаждаемый водой. Износ электродов, зависящий от режима работы плазмтрона и типа рабочего газа, вызывает загрязнение потока плазмы, что в некоторых случаях недопустимо. Струйнодуговые плазмтроны имеют наибольший ресурс работы, до замены катода обычно проходит несколько десятков часов работы плазменной установки.

Высокочастотные (безэлектродные) плазмтроны мощностью 1 МВт и более имеют разрядную камеру в виде кварцевой или керамической трубы, окруженную индуктором и питаемую промышленным высокочастотным генератором с диапазоном рабочих частот 0,4–30 МГц. Плазмообразующий газ подается тангенциально к внутренней поверхности трубы (разрядной камеры), а возбуждение светящегося плазменного разряда при атмосферном или повышенном давлении производится системой «поджига». Высокочастотные плазмтроны обладают неограниченным ресурсом рабочего времени, а плазмообразующий газ в них не засоряется продуктами эрозии электродов. Струя плазмы в таких плазмтронах обладает меньшей скоростью истечения, чем в струйнодуговых горелках, что позволяет увеличить время плазмохимических реакций. Однако КПД превращения энергии электромагнитного поля в тепловую и кинетическую энергию плазменной струи для высокочастотных плазмтронов не превышает 0,6.

Сверхвысокочастотные плазмтроны обладают всеми преимуществами высокочастотных, но выгодно отличаются коэффициентом передачи энергии в разряд (более 0,8). Сверхвысокочастотный разряд при атмосферном давлении характерен тем, что температура электронов превышает среднемассовую температуру газа. Источником энергии в сверхвысокочастотных плазмтронах являются магнетроны, амплитроны и другие СВЧ-генераторы электромагнит-

ного поля, которые в режиме непрерывного генерирования обеспечивают мощность питания от единиц до 1000 кВт и более.

В любых плазмотехнологических процессах выделяют три неразрывных этапа: введение реагирующих компонентов в зону действия плазменного разряда, собственно плазменное воздействие и охлаждение — «закалка» продуктов реакции. Как правило, после закалки получают конечные продукты, т.е. одностадийные плазменные процессы, которые отличаются непрерывностью.

Основная проблема развития плазменных технологий — сложность контроля локальных параметров плазмы, тесно связанная со способом ее получения. Как правило, неоднородности плазмы возникают на стадии развития электрического пробоя газа. Указанные неоднородности эволюционируют в дугу — «шнур», где плазма близка к равновесию. «Шнурование» плазмы сопровождается резким нарушением плазмохимических процессов, так как применение плазмы обусловлено ее неравновесностью. Меры по предотвращению шнурования плазмы сводятся к ограничению длительности возбуждения плазмы, введению распределенной отрицательной обратной связи между локальным током и напряжением или применению различных видов предионизаторов. В качестве предионизаторов широко используют вспомогательные искровые и барьерные разряды, электронные пушки, рентгеновские источники и более экзотические устройства.

Широко используемым источником неравновесной плазмы при атмосферном давлении является барьерный или емкостной разряд. При таком виде разряда между электродами помещается плоская диэлектрическая пластина, перекрывающая весь электроразрядный промежуток. Переменное напряжение наводит в диэлектрике переменную поляризацию, создающую ток смещения через диэлектрик. На диэлектрике наводится напряжение и в определенный момент происходит электрический разряд, приводящий к заряду емкости, образованной диэлектрической пластиной и разноименными поверхностными зарядами на двух ее поверхностях. При этом ток проводимости ограничен диэлектриком, а разряд не переходит в дугу, оставаясь тлеющим. Таким образом, удастся получить в ограниченной области параметров однородную форму горения разряда. Наиболее широко барьерный разряд применяется в озонаторах.

Развитием барьерного разряда является барьерно-поверхностный разряд, который отличается от барьерного динамической емкостью, величина которой обусловлена площадью покрытия диэлектрика плазмой. Барьерно-поверхностный разряд реализуется следующим образом: если на одной стороне диэлектрической пластины разместить металлическую полосу в качестве электрода, а другую сторону диэлектрика покрыть проводящим материалом и приложить между электродами переменное или импульсное напряжение, то в цепи пойдет ток. При определенном напряжении по поверхности диэлектрика от коронирующих электродов распространяется разряд, заполняющий плазмой все промежутки между секциями электрода. Таким образом, на верхней поверхности диэлектрика создается виртуальный плазменный электрод.

Барьерный электрический разряд устойчив из-за наличия отрицательной обратной связи: при возникновении превышения тока в каком-либо месте диэлектрик в этом месте заряжается быстрее, и образующийся заряд гасит возникающую неоднородность. Ему присущ и серьезный недостаток, заключающийся в незначительности протекающих удельных токов, так как ток через диэлектрик обеспечивается токами смещения, которые пропорциональны скорости изменения напряженности электрического поля в диэлектрической пластине. Это обстоятельство затрудняет создание эффективных источников плазмы с высокими удельными энерговкладами на основе одного лишь барьерного разряда. В то же время применение барьерного разряда в качестве источника предионизации позволяет достичь высоких энерговкладов.

Следует подчеркнуть, что в классическом барьерном разряде основные механизмы, обеспечивающие стабилизацию горения плазмы, реализуются на поверхности диэлектрика — двумерное множество стабилизирующих центров. В таком варианте заряд каждой песчинки-микроконденсатора определяется локальными параметрами напряженности поля в объеме плазмы — трехмерное множество стабилизирующих центров. Поэтому в последнем случае

возможности стабилизации гораздо шире. Положительную роль играет и наличие скорости у микроконденсаторов, что обеспечивает дополнительный фактор стабилизации, так как препятствует привязке локальной дуги к определенной области электродов даже в том случае, если таковая возникнет. Условия для возникновения предионизационной микродуги реализуются только в узкой области микроконденсатора, так как перенапряженность поля резко уменьшается при увеличении расстояния от «песчинки». Названное обстоятельство благоприятно влияет на стабильность объемного электрического разряда. Более того, чем меньше размер микроконденсатора, тем меньший относительный объем рабочей газоразрядной камеры захвачен областью предионизационной дужки.

При получении низкотемпературной плазмы весьма эффективным оказался принцип вихревого движения газа для создания оптимальных условий зажигания газоразрядной плазмы. Применяя принцип тороидального вихря, удастся зажечь внутри вихря плазму без дополнительных средств понижения давления (кроме механизма вихря). В таких конструкциях установок НТПП удастся достичь величины удельных энергозатрат в плазму на два порядка больше, чем это достигается при традиционных схемах создания холодной электро-разрядной плазмы. Поток частиц, движущихся по спирали, однородно заполняет коаксиальный промежуток между двумя электродами. Особенностью использования таких установок является возможность достижения высоких энергозатрат ($10\text{--}20\text{ кВт/см}^3$) в объем плазмы. Полученная таким образом низкотемпературная неравновесная плазма открывает перспективу ее более широкого применения в нанотехнологиях, гидрометаллургии, производстве строительных материалов, химическом синтезе и ряде других отраслей промышленности. Потребляемая мощность таких установок колеблется от 1 до 10 кВт/ч. При этом в процессе работы рассмотренных установок можно менять параметры плазмы (мощность, плотность, полярность), а также применять каскад из нескольких установок с различными характеристиками плазмы.

Следует подчеркнуть, что в полученной таким образом плазме образуется высокая неравновесность: температура нейтральных компонентов составляет сотни градусов Цельсия, а температура электронов достигает порядка $10\,000\text{--}50\,000\text{ }^\circ\text{C}$. Высокая плотность радикалов в плазме приводит к интенсивному протеканию неравновесных реакций. Формирование потока частиц может также проходить и с использованием взвеси ферромагнитных частиц. Ферромагнитные частицы обеспечивают передачу воздействия от внешнего магнитного поля, благодаря чему магнитное поле создает дополнительный механизм формирования потока частиц внутри газоразрядной камеры.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Плазменные технологии в строительном материаловедении в основном используются в следующих направлениях:

- получение высокотемпературных теплоизоляционных материалов из тугоплавких минералов (базальт, кварц и др.), плазменная утилизация металлургического шлака с производством на их основе минераловатных изделий;
- плазменная обработка поверхности строительных материалов (плазменное оплавление композитных материалов, силикатов и армирующих материалов на их основе с целью повышения их прочностных и адгезионных характеристик);
- плазменная технология термического укрепления грунтовых оснований зданий и сооружений;
- плазменная резка и обработка поверхности тугоплавких сплавов и твердых камней искусственного и природного происхождения;
- производство строительных композитов с применением широкого спектра материалов;
- повышение прочностных характеристик бетонов и цементных смесей, приготовленных с применением плазменных технологий.

Использование низкотемпературной плазмы базируется на следующих эффектах:

- тепловые и газодинамические свойства плазменных потоков;
- наличие и воздействие направленного потока ионизированных и возбужденных частиц;
- испускание инфракрасного, видимого и ультрафиолетового излучения;
- образование озона;
- наличие низкочастотных и высокочастотных пульсаций плазмы;
- неоднородность распределения температуры и структуры потока плазмы;
- перемешивание турбулентного плазменного потока с холодным газом окружающей среды;
- взаимодействие плазменного потока с поверхностью материалов, на которых всегда имеются ионизированные пылевые частицы, слой жировых и водяных молекул, адсорбированный слой кислородных анионов и нейтральных молекул воздуха.

Все плазменные технологии можно классифицировать по виду протекания электрического тока в газовом промежутке, который называется газовым разрядом. Основные характеристики плазменных разрядов кардинально зависят от вида тока, пропускаемого через газовый промежуток: постоянного, переменного и импульсного.

1.2.1. Коронный разряд

Данный вид газового разряда возникает в неоднородных полях при атмосферном давлении. Главная особенность коронного разряда состоит в том, что ионизационные процессы между электронами происходят только в небольшой части промежутка вблизи электрода с малым радиусом кривизны (так называемого коронирующего электрода). Эта зона характеризуется повышенными значениями напряженности поля по сравнению со средними значениями для всего промежутка.

Коронный разряд наиболее эффективно использовать для плазменной активации и плазменной очистки поверхности. Локальное взаимодействие с поверхностями деталей, изготовленных из полимерных, металлических, керамических, стеклянных, резиновых и других материалов при использовании высокоэнергетических плазменных струй способствует удалению загрязнений, «залечиванию» дефектов, бактерицидной обработке, активации поверхностного слоя. Результатом такой обработки является повышение смачиваемости поверхности и способности к образованию химических связей с клеями, красками, лаками и покрытиями без изменения ее внешнего вида. Это особенно актуально при склеивании, опрессовке, печати, кашировании, нанесении защитных покрытий, сварке, пайке, обеззараживании и в других технологических процессах. В отдельных случаях указанная технология может быть использована одновременно и при нанесении пленочных покрытий. Кроме этого, она применяется при обработке посадочного материала (семян), а также волокон в текстильной промышленности; при изготовлении газоразделительных мембран, обладающих улучшенными газоразделительными характеристиками; при производстве арамидных волокон, углепластиков и других полимерных композиционных материалов.

Под воздействием плазмы поверхность полимеров может стать как более гидрофильной, так и более гидрофобной. При этом химической модификации подвергается только обрабатываемая поверхность материала и очень тонкий приповерхностный слой размером от нанометров до нескольких микрон. Основная масса полимера не подвержена химическим превращениям, сохраняя свои физико-механические, физико-химические и электрофизические свойства на прежнем уровне.

С точки зрения практического использования плазмомодифицированных полимеров важным является сохранение их гидрофильности в течение длительного времени, что достигается дополнительным нанесением пленочного покрытия.

Основными параметрами плазмохимической модификации поверхности полимеров являются скорость движения плазменной струи (до 10 м/мин) и расстояние между соплом плазмотрона и обрабатываемой поверхностью полимера. Основным элементом оборудования рассмотренной выше технологии является плазмотрон (рис. 1.1).

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru