



# Инвестиционные проекты

## ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Современные производства остро нуждаются в покрытиях, позволяющих изменить физико-химические и технологические свойства поверхности основного материала изделий. Предлагаемый сегодня вашему вниманию инвестиционный проект касается технологии нанесения покрытий из мелкодисперсных порошковых материалов газодинамическим методом, а также синтеза новых материалов с новыми физико-химическими свойствами. По мнению создателей технологии, реализация проекта позволит получать материалы с новыми физико-химическими свойствами, выпускать изделия с высокими технологическими свойствами и эксплуатационными показателями, повысить производительность при снижении себестоимости изделий, уменьшить рабочие площади, энерго- и трудозатраты. Огромное преимущество данной технологии — ее безотходность и экологическая чистота.*

**В**озможность нанесения покрытий путем переноса мелкодисперсных частиц покрытия газовым потоком к поверхности давно и хорошо известна специалистам. На основе этого принципа создано множество технологий, которые сегодня детально отработаны и получили широкое распространение. В наибольшей степени это относится к газотермическим методам, в том числе газоплазменному, плазменному, электродуговому, детонационному. Общим для этих методов является разогрев и транспортирование частиц материала покрытия высокотемпературным газовым потоком, температура которого обычно превышает температуру плавления наносимого покрытия. В зависимости от физических свойств материала и размера частиц последние достигают поверхности изделия в расплавленном либо пластифицированном состоянии.

Несмотря на широкое распространение газотермические методы имеют существенные недостатки, которые значительно снижают эффективность, а в ряде случаев делают невозможным их использование в производственных процессах. Один из главных недостатков обусловлен применением в качестве рабочих тел горючих газов, что ведет к образованию на поверхности частиц материала покрытия различных химических соединений с продуктами газотермических реакций. В результате к поверхности материала изделия доставляется не исходный материал покрытия, а его химическое соединение. В числе других следует также отметить недостаточную прочность сцепления частиц по границам между собой и с материалом изделия, высокую пористость покрытия, ограничение по минимальной дисперсности частиц материала покрытия, повышенную взрывоопасность производства, использование сложного и дорогостоящего оборудования.

Многие перечисленные недостатки позволяет устранить газодинамический метод нанесения покрытий (ГДМ), имеющий существенные отличия от газотерми-

ческих. Одно из них — механизм взаимодействия частиц материала покрытия с газом-носителем и с поверхностью материала изделия при соударении. По качеству получаемых при этом покрытий (адгезия, когезия, микротвердость, пористость, электропроводность и т.д.) этот метод превосходит уже отработанные и внедренные технологии.

Сущность газодинамического метода (ГДМ) нанесения покрытий заключается в формировании покрытия за счет высокой кинетической энергии частиц материала, приобретаемой ими при взаимодействии со сверхзвуковым потоком газа-носителя. При этом температура газа существенно ниже температуры плавления частиц. Низкий уровень температур исключает изменение агрегатного состояния материала и активные химические реакции между частицей и газом-носителем. Благодаря этому частица достигает поверхности изделия в своем исходном состоянии. Соударение частицы, обладающей высокой кинетической энергией, с поверхностью материала изделия вызывает взаимную пластическую деформацию, интенсивную активизацию контактирующих поверхностей и их плотный физический контакт. При этом происходят изменения в кристаллической структуре вещества, и физические свойства материала покрытия существенно меняются по сравнению с исходными.

В качестве материалов покрытия используются порошки дисперсностью менее 50 мкм из металлов и их сплавов, керамических и органических соединений, а также их механических смесей в любых соотношениях компонентов.

Формирование покрытий и материалов из механических смесей при определенных условиях позволяет получать новые композитные материалы с различными физико-химическими свойствами (прочность, электропроводность, термостойкость, износостойкость, стойкость к коррозии и т.д.). Газом-носителем может служить любой газ или смесь газов в зави-

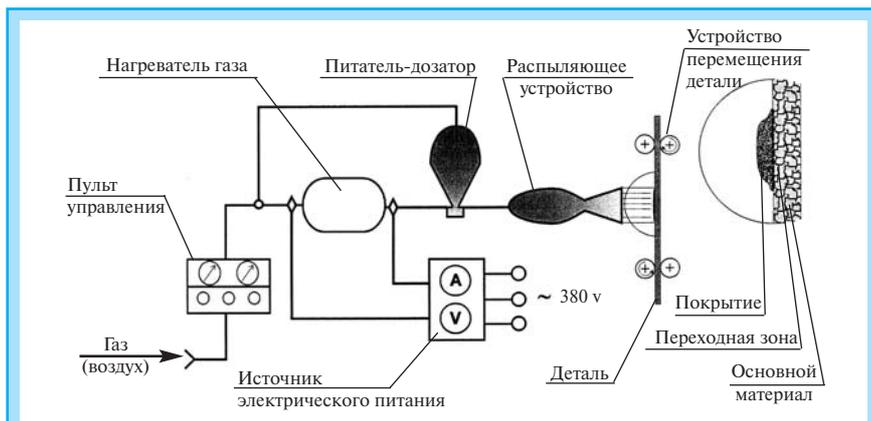
симости от технологических требований. Скорость нанесения и толщина покрытия практически не ограничены и могут составлять от нескольких микрон до десятков миллиметров на единицу поверхности. Адгезия и когезия покрытия в зависимости от материала покрытия и изделия составляет 70–90% от монолита. Покрытия формируются на изделиях любой геометрической формы и размеров, изготовленных из различных материалов: металлов и их сплавов, керамики, стекла, минералов, органических соединений.

Коэффициент использования порошкового материала составляет 50–80% в зависимости от материала порошка и материала изделия. Возможно вторичное использование остаточного порошка.

Экологическая чистота технологии обусловлена отсутствием химических реакций с выделением вредных газообразных компонентов и утилизацией отходов производства.

Использование ГДМ и установок, реализующих эту технологию, для получения композитных материалов с уникальными свойствами, в частности в электронике, позволяет существенно изменить традиционную технологию производства радиокомпонентов, расширить спектр материалов и покрытий с необходимыми для радиоэлектроники электрофизическими и магнитными свойствами. Рассмотрим некоторые возможности применения метода ГДМ в радиоэлектронной промышленности.

Так, при изготовлении печатных плат с помощью ГДМ можно наносить токопроводящее покрытие заданной топологии и толщины через трафарет и тем самым исключить некоторые промежуточные операции. Кроме того, появляется возможность заменить дорогостоящие токопроводные материалы более дешевыми, например алюминием, с последующим омеднением мест спайки тем же способом. Еще одно важное достоинство метода — возможность замены традиционных диэлектрических материалов основы платы, например керамикой, благодаря вы-



**Блок-схема установки ГДУ  
и схема процесса нанесения покрытий из порошковых материалов**

сокой адгезии покрытия к основе и устранению отслоения покрытия при многократном нагреве.

При изготовлении электронагревательных приборов важную роль играют тепловыделяющий элемент и диэлектрик, на котором он расположен. Использование ГДМ позволяет использовать в качестве диэлектрика керамическую подложку с нанесенным на ее поверхность электропроводным слоем, обладающим необходимым омическим сопротивлением. В результате технология изготовления электротытовых приборов существенно упрощается. Нанесение износостойких покрытий с большим омическим сопротивлением на керамическую основу упрощает технологию изготовления переменных резисторов, одновременно существенно увеличивая срок их службы.

Надежное вакуумное соединение между изделиями из стекла, кварца, керамики с металлической деталью можно получить нанесением, например, пояска из металла с последующей обработкой его поверхности, проточкой под пайку или нарезанием резьбы.

Возможность нанесения практически любых порошковых металлов, механических смесей или сплавов позволяет отработать технологию пайки кристаллов при сборке полупроводниковых изделий, заменив дорогостоящие припои золото-кремниевой эвтектики на механические смеси или сплавы на основе более дешевых химических элементов.

Нанесение электропроводных термостойких покрытий из композитных материалов с необходимыми электрофизическими и эксплуатационными свойствами упростит изготовление контактных пар разного рода прерывателей.

Технология нанесения покрытий из порошковых материалов и их смесей отработывалась на установке ГДУ лабораторного типа (рис.). Получены положительные результаты при исследовании свойств покрытий различного назначения и композиционных материалов.

На сегодня полностью разработаны основные теоретические положения и методики расчетов напыляющих устройств различного назначения. Отработана принципиальная схема установки ГДУ, ее компоновка и режимы нанесения некоторых типов материалов.

В процессе разработки метода ГДМ, его освоения и решения прикладных научно-технических задач поданы заявки на изобретения и получены решения о выдаче патентов РФ. В методиках расчета и конструктивном исполнении напыляющих устройств, режимах нанесения различных по составу покрытий,

При адаптации технологии к различным областям применения и условиям производства в зависимости от вида и объема выпускаемой продукции, назначения и требований к свойствам покрытий необходимо:

- на основании термо- и газодинамических расчетов спроектировать ГДУ, узлы распыляющих устройств, питателя-дозатора, омического нагревателя;
- привязать схему ГДУ к производственному участку либо разработать схему установки ГДУ отдельно стоящего производственного участка;
- изготовить нестандартное оборудование и доукомплектовать ГДУ;
- смонтировать установку ГДУ;
- отладить режимы нанесения покрытий и ввести в эксплуатацию ГДУ.

Проблема изготовления изделий с необходимыми эксплуатационными свойствами поверхности, получение новых композитных материалов, способных реализовать новые научно-технические идеи, – одна из важнейших проблем во всех областях промышленности. Внедрение в промышленность экологически чистой, безотходной технологии на основе газодинамического метода нанесения покрытий во многом способствовало бы ее скорейшему решению.

Время осуществления проекта – 6–12 месяцев. Примерная смета капитальных затрат на его реализацию приведена в таблице.

#### Примерная смета капитальных затрат на реализацию технологии ГДМ

Наименование работ	Цена, тыс. долл.
<b>1. Проектные работы</b>	
1.1. Расчетные работы по нестандартному оборудованию	6,0
1.2. Разработка схемы ГДУ, конструкторская проработка узлов и деталей	5,0
1.3. Изготовление рабочих чертежей нестандартного оборудования	2,0
1.4. Выпуск технической документации	2,0
Итого	15,0
<b>2. Изготовление нестандартного оборудования</b>	
2.1. Распыляющее устройство	0,8
2.2. Питатель-дозатор	3,0
2.3. Омический нагреватель	0,6
2.4. Пульт управления и контроля	1,6
Итого	6,0
<b>3. Серийно выпускаемое оборудование</b>	
3.1. Газовая арматура	1,0
3.2. Вентиляционная система (типа "Циклон")	4,0
3.3. Технические средства автоматизации	2,0
3.4. Регулируемый источник электрического питания	1,0
3.5. Механизм загрузки, перемещения и сбора готовых изделий	20,0
Итого	28,0
<b>4. Строительно-монтажные работы</b>	10,0
5. Непредвиденные расходы, 5%	3,0
<b>Всего капитальных затрат</b>	<b>62,0</b>

**Примечания.** 1. В общую стоимость капитальных вложений не включена стоимость интеллектуальной собственности.  
2. В зависимости от материально-технической оснащенности предприятия, наличия энергоносителей и вида выпускаемой продукции цена по п. 2.2., 2.3., 3.1., 3.2., 3.4., 3.5., 4 может быть изменена.

**Координаты для связи:**  
**Дикун Юрий Вениаминович,**  
тел.: (095)287-98-89(раб.)  
(095)289-2022 (дом.)

прогнозировании свойств получаемых покрытий и материалов, составов механических смесей наносимого покрытия содержится большой объем ноу-хау.