

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. КОСЫГИНА
(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ХУДОЖЕСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Сборник научных трудов семинара

25 мая 2020 г.

МОСКВА – 2020

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Прокопенко А.К., Еремеев С.В.*

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, г. Москва

**ООО НПЦ «Грань»*

(e-mail: prokopenko-ak@rguk.ru)

Аннотация: в настоящей статье рассмотрены основные характеристики и возможности использования при производстве изделий художественного и промышленного назначения физических методов нанесения металлических защитных покрытий.

Ключевые слова: газотермические технологии нанесения покрытий, холодное газодинамическое напыление металла.

Покрытие поверхности изделия металлами и сплавами для сообщения физико-химических и механических свойств, отличных от свойств металлизированного (исходного) материала получило название металлизация. Металлизацию применяют для защиты изделий от коррозии, износа, эрозии, в декоративных и др. целях. По принципу взаимодействия металлизированной поверхности (подложки) с наносимым металлом различают металлизацию, при которой сцепление покрытия с основой (подложкой) осуществляется механически - силами адгезии и металлизацию, при которой сцепление обеспечивается силами: с образованием диффузионной зоны на границе соприкасающихся поверхностей, за пределами которой покрытие состоит из наложенного слоя металла или сплава, и с образованием диффузионной зоны в пределах всего слоя.

В промышленности широкое распространение получила технологии газотермического напыления [1].

При газопламенном напылении проволокой или стержнями распыляемый материал непрерывно подаётся в центр ацетилен-кислородного пламени и там оплавляется. С помощью распыляющего (диспергирующего) газа, например, сжатого воздуха или азота, расплавленные капли выдуваются из зоны плавления и ускоряются в направлении подготовленной детали. Газопламенное напыление проволокой является одним из самых распространенных способов с очень высоким качеством покрытия.

Максимальная температура пламени – 3160⁰С, скорость потока – 200 м/с; производительность – 6...8 кг/час.

При газопламенном напылении порошком порошкообразные частицы напыляемого материала плавятся или оплавляются в ацетилен-кислородном пламени и с помощью расширяющегося горючего газа ускоряются в направлении подготовленной поверхности детали. Если

требуется, то для ускорения порошка можно использовать ещё дополнительный газ (например, аргон или азот).

Существует более 100 различных порошковых материалов. Среди порошков различают самофлюсующиеся и термореагирующие порошки. Для самофлюсующихся обычно требуется дополнительная термообработка оплавлением ацетилен-кислородной горелкой.

Термореагирующие порошки используют для подслоя, увеличивающего прочность сцепления покрываемой поверхности и основного покрытия. Термореагирующими их называют в связи с тем, что исходная частица состоит из двух «склеенных» частичек разнородных материалов, которые при нагревании в газовой струе вступают в реакцию образования интерметаллида с выделением тепла, например, Ni-Al и Al-Fe. Максимальная температура пламени 3160°C , скорость потока – до 50 м/с; производительность - 1...6 кг/час.

При детонационном напылении нанесение покрытия происходит периодически с помощью детонационной пушки, которая состоит из выходной трубы, на конце которой находится камера сгорания. В неё вводится газопорошковая (ацетилен-кислород-порошок) смесь, поджигающаяся искрой.

Образующаяся в трубе ударная волна ускоряет напыляемые частицы. Они нагреваются в фронте пламени, ускоряются до высоких скоростей в направлении подготовленной детали. После каждой детонации производится очистка камеры и трубы азотом. Очень высокое качество покрытий оправдывает во многих случаях высокие финансовые расходы. Максимальная температура пламени 3160°C , скорость потока – до 600 м/с; производительность - 3...6 кг/час.

При плазменном напылении порошок внутри или снаружи плазменного пистолета плавится плазменной струёй и ускоряется в направлении покрываемой детали. Плазма генерируется электрической дугой, горящей в аргоне, гелии, азоте, водороде или их смеси. При этом происходит диссоциация и ионизация газов, они приобретают высокую скорость на выходе, и при рекомбинации отдают своё тепло напыляемым частицам.

Электрическая дуга горит между центральным катодом и водоохлаждаемым анодом. Этот способ используется при нормальной атмосфере, в защитном газе (например, аргоне), в вакууме и под водой. При соответствующем профилировании сопла возникает также сверхзвуковая плазма. Максимальная температура пламени 20000°C , скорость потока – до 450 м/с; производительность - 4...8 кг/час.

При лазерном напылении порошок вводится в лазерный луч через соответствующее сопло. Лазерным лучом порошок и малая часть подложки (микроны) плавятся и металлургически соединяются. Для защиты сварочной ванны служит защитный газ. Максимальная температура

пламени 10000⁰С, скорость потока – до 1 м/с; производительность - 1...2 кг/час.

При электродуговой металлизации две проволоки одинаковые или разные по составу плавятся электрической дугой, горящей между ними, и распыляющим (диспергирующим) газом, например, воздухом ускоряется в направлении покрываемой детали. Электродуговая металлизация процесс напыления с высокой производительностью, но пригоден только для распыления электропроводящих материалов. Перспективным является использование термореагирующих порошковых проволок. При использовании при распылении азота или аргона окисление материалов не происходит.

При газотермической обработке в качестве покрытий используют широкий спектр материалов : алюминий и его сплавы; медь и ее сплавы с оловом, цинком и никелем; молибден; хромоникелевую сталь.

Вышеперечисленные газотермические методы универсальны и поэтому могут с большой эффективностью применяться на всех уровнях производства – от заводов до передвижных ремонтных мастерских. Универсальность и эффективность определяются следующими принципиальными особенностями газотермического напыления:

- возможностью нанесения покрытий из самых различных материалов – цветных металлов и сталей, сплавов и интерметаллидов, соединений, органических веществ или композиций на их основе;
- возможностью нанесения покрытий на различные материалы – металлы, пластмассы, стекло, дерево, ткань, бумагу, керамику и т.д. вне зависимости от размеров деталей;
- отсутствие деформации изделия, на которое покрытие наносится;
- небольшой потребностью в материалах для покрытий, может быть создан практически любой состав покрытия для толщины покрытия от сотых долей до нескольких миллиметров;
- при нанесении покрытия основной материал нагревается обычно до температуры 100 – 150⁰ С, при этом не наступает изменение структуры и коробления;
- тонкозернистое микропористое высококачественное покрытие имеет идеальные предпосылки для слоистых технологий.
- сравнительной простотой оборудования для напыления и относительно низкой трудоёмкостью процесса, поскольку он отличается высокой производительностью, которая для различных процессов составляет от 1 до 20 кг/час.

Холодное напыление металла представляет собой новое поколение сверхзвукового газодинамического напыления (ГНД). Кинетическая энергия напыляемых частиц при этом увеличивается, а термическая энергия уменьшается. Тем самым можно создавать почти полностью безоксидные покрытия. Названный авторами методом «холодного»

газодинамического напыления этот способ формирования покрытий за счет высокой кинетической энергии нерасплавленных металлических частиц в настоящее время широко известен в мире как «холодное напыление» («Cold Spray»).

Суть ГДН состоит в том, что мелкие металлические частицы, находящиеся в твердом состоянии, ускоряются сверхзвуковым газовым потоком до скорости 500-800 м/с и направляются на восстанавливаемую поверхность детали. Сталкиваясь с поверхностью в процессе высокоскоростного удара, частицы закрепляются на ней, формируя сплошное покрытие.

В наиболее распространенных газотермических способах нанесения покрытий для их формирования из потока частиц необходимо, чтобы падающие на основу частицы имели высокую температуру, обычно выше температуры плавления материала. При газодинамическом напылении, это условие не является обязательным, что и обуславливает ее уникальность. В данном случае с твердой основой взаимодействуют частицы, находящиеся в нерасплавленном состоянии, но обладающие очень высокой скоростью.

Преимущество применения технологии ГДН состоит в том, что оборудование и создаваемые с его помощью покрытия свободны от большинства недостатков, присущих другим способам нанесения покрытий, и обладают рядом технологических, экономических и экологических достоинств.

На наш взгляд наиболее удачной конструкцией для нанесения покрытий является комплект для ГДН разработанный и изготовленный в Обнинском центре порошкового напыления так как он прост и удобен в эксплуатации, по всем параметрам он не уступает своим аналогам, а в частности и превосходит их, например в стоимости [2].

Покрытия наносятся с использованием порошковых материалов ускоренным и подогретым до температуры 250 - 500 °С сверхзвуковым потоком воздуха.

Основными достоинствами такого метода являются:

- возможность получения покрытий как защитных, так и декоративных на изделиях и конструкциях из самых различных металлических и неметаллических материалов;
- возможность нанесения покрытий из органических, в том числе полимерных и неорганических материалов: металлов и тугоплавких материалов (оксидов, карбидов, боридов, силицидов, нитридов и др.);
- равномерное покрытие можно напылить как на большую площадь, так и ограниченные участки больших по площади изделий, при этом толщина покрытий регулируется в широких пределах (от 0,01 до 10 мм);
- высокая производительность процесса;
- покрытия наносятся в воздушной атмосфере при нормальном давлении;

- при напылении отсутствует нагрев напыляемого изделия (температура поверхности не превышает 100 – 150 °С), а, следовательно, деформации и снижение прочности защищаемых и восстанавливаемых изделий;
- отсутствие высоких температур, опасных газов, пламени и излучения;
- низкая трудоемкость и простота оборудования;
- высокая надежность и компактность;
- возможность автоматизации процессов напыления и др., а также относительно низкая стоимость оборудования.

Таблица 1 - Режимы напыления установкой «ДИМЕТ»

Параметр	Значение
Давление сжатого воздуха, МПа	0,5
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	0,3
Температура сжатого воздуха, °С	300...500
Грануляция порошкового материала, мкм	30...50
Дистанция напыления, мм	5...15

Для нанесения покрытий газодинамическим холодным напылением промышленностью освоено производство различных порошковых материалов на основе меди, алюминия и цинка.

Исследования, проведенные в РГУ им. А.Н. Косыгина, показали высокую эффективность использования технологии ГНД для повышения срока службы деталей и элементов конструкций при проведении ремонтно-восстановительных и реставрационных работ [3].

Список использованных источников:

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю.С. Борисов, Ю.А.Харламов, С.Л.Сидоренко и др. / Справочник.- Киев. Наукова думка. 1987. 544 с.
2. Ключев О.Ф., Каширин А.И., Буздыгар Т.В., Шкодкин А.В. Оборудование ДИМЕТ для нанесения металлических покрытий и его применение в производстве и ремонте деталей машин и механизмов. «Тяжелое машиностроение», 4/2005, с. 25-27.
3. Прокопенко А.К., Лохманов В.Н., Афанасьев В.В. Формирование поверхностных слоев деталей машин с заданными характеристиками физическими методами / Монография.- М. ИИЦ МГУДТ, 2011. 119 с.

© Прокопенко А.К., Еремеев С.В., 2020