

## ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

**Красноок А.П., Рыбинская Т.А., Шаповалов Р.Г.***(кафедра механики, ТТИ ЮФУ, г. Таганрог, Россия)*

Газотермическое напыление (англ. Thermal Spraying) – это процесс нагрева, диспергирования и переноса конденсированных частиц распыляемого материала газовым или плазменным потоком для формирования на подложке слоя нужного материала. Под общим названием газотермическое напыление (ГТН) объединяют следующие методы: газопламенное напыление, высокоскоростное газопламенное напыление, детонационное напыление, плазменное напыление, напыление с оплавлением, электродуговая металлизация и активированная электродуговая металлизация.

Как правило, ГТН применяют для создания на поверхности деталей и оборудования функциональных покрытий – износостойких, коррозионно-стойких, антифрикционных, электроизоляционных, электропроводящих, противозадирных, теплостойких, термобарьерных и т.д. Материалами для напыления служат порошки, шнуры и проволоки из чистых металлов (W, Mo), интерметаллидов (Ni–Ti; Ni–Al; Ni–Cr), керамики ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ) и металлокерамики ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ –Ni;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ –Mo;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ –Cr и др.). Некоторые из методов газотермического напыления являются альтернативой методам гальванической, химико-термической обработки металлов, плакирования, другие – методам покраски, полимерным покрытиям. Другое распространенное применение ГТН – ремонт и восстановление деталей и оборудования. С помощью напыления можно восстановить от десятков микрон до миллиметров металла. Особенности технологии являются:

- возможность нанесения покрытий из различных материалов (практически любой плавящийся материал, который можно подать как порошок или проволоку);
- отсутствие перемешивания материала основы и материала покрытия;
- невысокий (не более 150°C) нагрев поверхности при нанесении покрытия;
- возможность нанесения нескольких слоев, каждый из которых несет свою функцию (например, коррозионно-стойкий + термобарьерный);
- легкость обеспечения защиты окружающей среды при нанесении (с помощью воздушных фильтров).

**Высокоскоростное газопламенное напыление** широко применяется для создания плотных металлических и металлокерамических покрытий.

**Детонационное напыление** в силу дисперсного характера напыления и малой производительности наиболее подходит для напыления покрытий для защиты и восстановления небольших участков.

Распыление с помощью плазмы обычно называют **плазменным напылением**. Такой метод требует больших энергозатрат, наиболее оправдано его применение для создания керамических покрытий.

**Электродуговая металлизация** энергетически более выгодна, однако позволяет напылять только металлические материалы. Как правило, используется для напыления антикоррозионных металлических покрытий на больших площадях.

**Газопламенное напыление** – недорогой во внедрении и эксплуатации метод, широко используемый для восстановления геометрии деталей.

## ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Напыление с оплавлением** – метод, обеспечивающий металлургическую связь покрытия с основой. Применяется, если высокий нагрев при оплавлении не ведет к риску термических деформаций детали.

Рассмотрим подробно механизм плазменного напыления. Сущность плазменного напыления состоит в нанесении покрытия из отдельных частиц порошкового материала, нагретого и ускоренного с помощью высокотемпературной плазменной струи.

Цель плазменного напыления – изготовление деталей и изделий со специальными и декоративными свойствами поверхности: износостойкостью (за исключением деталей, испытывающих ударно-абразивное изнашивание), антифрикционностью, коррозионностойкостью, жаростойкостью, кавитационностойкостью, эрозионностойкостью, электроизоляцией, стойкостью против фреттинг-коррозии и др.

Эффект от плазменного напыления достигается за счет создания на поверхности изделия защитного покрытия, которое многократно повышает эксплуатационные свойства детали или восстанавливает первоначальный размер.

Оборудование для плазменного напыления состоит из источника тока, блока аппаратуры, малогабаритного плазмотрона и порошкового дозатора. Технологический процесс плазменного напыления состоит из предварительной очистки (любым известным методом), активационной обработки (например, абразивно-струйной) и непосредственно нанесения покрытия путем перемещения изделия относительно плазмотрона или наоборот. Скорость перемещения 2...30 мм/сек, расстояние между плазмотроном и изделием 100...150 мм, диаметр пятна напыления 10...25 мм, толщина покрытия 0,05...1,0 мм. Температура нагрева деталей при плазменном напылении не превышает 100...150° С. Плазмообразующим газом являются, как правило, аргон или воздух. Расход аргона 15...20 л/мин. В качестве порошкового материала, формирующего покрытие, используются различные материалы и сплавы, тугоплавкие соединения, оксиды, полимеры и их композиции размером частиц до 100 мкм.

Контроль качества плазменного напыления осуществляется визуально по наличию покрытия, а также по результатам адгезионных испытаний на образцах-свидетелях и др. методами.

К основным требованиям безопасности при плазменном напылении относятся наличие вытяжной вентиляционной системы и защита органов зрения от излучения.

По сравнению с аналогами – газопламенным, электродуговым и детонационным напылением, процессами наплавки и осаждения, данный процесс имеет преимущества:

- эффективное управление энергетическими характеристиками напыляемых частиц и условиями формирования покрытия за счет гибкости регулирования параметров и режимов работы плазмотрона;
- высокие коэффициент использования порошка (до 85%), прочность сцепления покрытия с основой (до 60 МПа), низкая пористость;
- высокая производительность процесса;
- универсальность за счет получения покрытий из большинства материалов без ограничения их температур плавления;
- нанесение покрытия на изделия, изготовленные практически из любого материала;
- отсутствие ограничений по размерам напыляемых изделий;
- низкое термическое воздействие на напыляемую основу, что позволяет избежать деформаций, изменений размеров изделий, а также исключить нежелательные структурные превращения основного металла;

## ПРОГРЕССИВНЫЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- нанесение покрытия на локальные поверхности;
- получение регламентированной однородной пористости покрытия для использования в условиях работы со смазкой поверхностей скольжения;
- положительное влияние на усталостную прочность основы, за счет получения при плазменном напылении слоистой структуры покрытия, в отличие от столбчатой, образующейся при осаждении из газовой или паровой фазы, диффузионном насыщении;
- нанесение покрытия с минимальными припусками для последующей механической обработки;
- возможность использования для формообразования деталей (плазменное напыление производят на поверхность формы-оправки, которая после окончания процесса удаляется, остается оболочка из напыленного материала);
- уменьшенный уровень шума и излучения;
- надежность и стабильность оборудования, высокий ресурс элементов плазматрона, за счет оптимизации условий охлаждения и обеспечения плавного нарастания и падения тока;
- низкий расход аргона;
- маневренность и возможность автоматизации процесса.

Плазменное напыление широко применяется в таких отраслях промышленности, как машиностроение (калибры, подшипники скольжения, подпятники упорных подшипников, гидроцилиндры, плунжера, направляющие и центры токарных станков, шпиндели и валы, шнеки экструзионных машин, детали перемоточных, ткацких, прядильных машин, вытяжные и гибочные штампы, матрицы для прессования тугоплавких металлов, кокили и т.п.), автомобильная промышленность (коленчатые валы, поворотные цапфы, втулки-шестерни коробки передач, оси коромысел, посадочные отверстия картера коробки передач, кулачки распределительных валов, ступицы маховиков двигателя, валы водяных насосов и вентиляторов, головки цилиндров, поршневые кольца, диски сцепления, выхлопные клапаны, рычаги управления, вилки переключения коробки передач, тормозные барабаны, шаровые пальцы рулевого управления, глушители, крылья и т.п.), электротехническая и электронная промышленность (конденсаторы, поверхности антенн, вентиляционные лопасти турбогенераторов, торцовые уплотнения электрических машин, лентопротяжные механизмы, магнитные головки, механизмы перемещения перфокарт, ролики для подачи проволоки и сопла сварочных установок и т.п.), строительство, угле- и нефтедобывающая промышленность (закладные детали, лопасти вентиляторов, детали конвейеров, шнеки бетономешалок и питателей для подачи угля, буровые коронки и т. п.), химическая промышленность (лопасти дымососов, эксгаустеров, детали ковшей, черпаков, воздуходувок, рекуператоров, кожухи термопар, фурмы доменных печей, ролики рольгангов, валки прокатных станов и т.п.), бытовая техника (днища кастрюль, сковородок, электронагревательные устройства и т.п.)

**Список литературы:** 1. Вахалин В.А., Затока А.Е., Ганноченко Г.И. Газотермическое напыление. Учебное пособие. / Под общ. ред. Л.Х. Балдаева. – М.: Маркет ДС, 2007. – 344 с. 2. Хасуй А. Техника напыления. Перевод с японского Масленникова С.Л. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с. 3. Пузряков А.Ф. Теоретические основы плазменного напыления. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2008. – 360 с.