

СПОСОБЫ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЯ

1. Плазменное напыление порошками
2. Физические особенности и материалы для нанесения плазменных покрытий
3. Плазменное напыление с распылением проволоки
4. Микроплазменное напыление

1. Плазменное напыление порошками

Плазменное напыление является одним из способов газотермического нанесения покрытий. В основе этого процесса лежит нагрев напыляемого материала до жидкого или пластического состояния, перенос его высокотемпературной плазменной струей к подложке с последующим образованием слоя покрытия.

При плазменном напылении в качестве напыляющих материалов применяют порошки, проволоки, прутки. Наиболее широко распространено напыление порошками. Схема плазменного напыления с использованием порошковых материалов показана на рис. 1

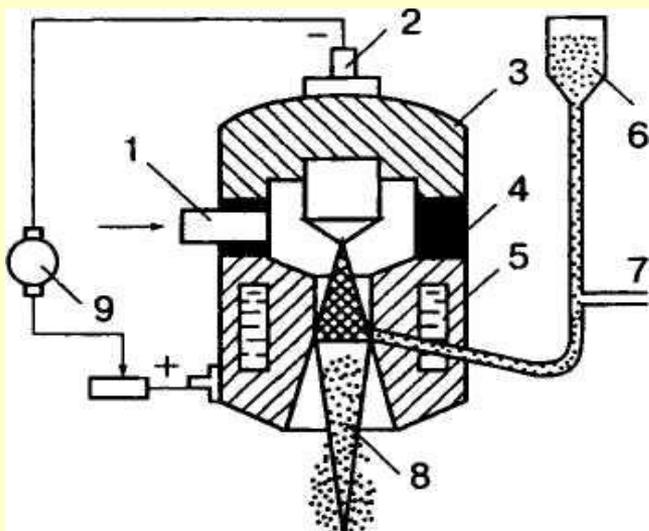


Рисунок 1 - Схема плазменного напыления порошком:

- 1 — подвод плазмообразующего газа;
- 2 — катод плазмотрона;
- 3 — корпус катода;
- 4 — изолятор;
- 5 — корпус анода;
- 6 — порошковый питатель;
- 7 — подвод газа, транспортирующего порошок;
- 8 — плазменная дуга;
- 9 — источник питания

В плазмотроне, состоящем из водоохлаждаемого катодного узла (катод 2 и корпус 3) и анодного узла, с помощью источника 9 постоянного сварочного тока возбуждается плазменная дуга 8, которая стабилизируется стенками канала сопла и плазмообразующим газом, поступающим через подвод 1. Порошок подают из порошкового питателя б с помощью газа, который поступает по подводу 7.

Температура плазменной струи достигает 5000 - 55000 °С, а скорость истечения — 1000 - 3000 м/с. В плазменной струе частицы порошка расплавляются и приобретают скорость 50 - 500 м/с. Скорость полета частиц порошка зависит от их размера, плотности материала, силы сварочного тока дуги, природы и расхода плазмообразующего газа, конструкции плазмотрона. Порошок вводят в плазменную струю ниже среза сопла, на срез сопла или непосредственно в сопло. Нагрев напыляемых деталей не превышает 100 - 200 °С.

К преимуществам способа плазменного напыления относят возможность получения покрытий из большинства материалов, плавящихся без разложения и ограничения по температуре плавления. Производительность плазменного напыления достаточно высока: 3 - 20 кг/ч для плазмотронов с электрической мощностью 30 - 40 кВт и 50 - 80 кг/ч для плазмотронов мощностью 150 - 200 кВт.

2. Физические особенности и материалы для нанесения плазменных покрытий

Плазменным напылением наносят покрытия как на плоские поверхности, так и на тела вращения и криволинейные поверхности. Для покрытия характерна слоистая структура с высокой неоднородностью физических и механических свойств (рис. 2). Тип связей между покрытием и деталью (подложкой), а также между частицами покрытия обычно смешанный — механическое сцепление, сила физического и химического взаимодействий. Прочность сцепления покрытия с подложкой обычно составляет 10 - 50 МПа при испытаниях на нормальный отрыв.

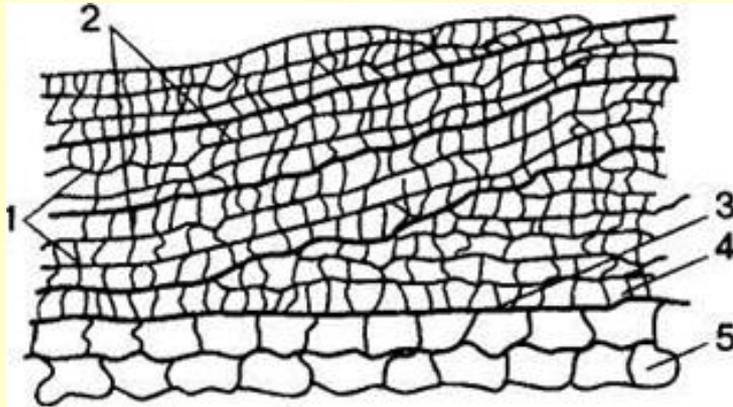


Рисунок 2 - Схема структуры плазменного покрытия:

- 1 - граница между частицами напыленного материала;
- 2 - граница между слоями;
- 3 - граница между покрытием и деталью;
- 4 - частица напыленного материала;
- 5 - поверхность детали

Физические особенности формирования покрытий обуславливают появление открытой и закрытой пористостей. По мере увеличения толщины наносимого слоя открытые поры перекрываются, и пористость покрытия снижается. Поэтому плотность плазменных покрытий отличается от плотности материала и колеблется в пределах 80 - 97%. Обычно пористость плазменных покрытий составляет 10 - 15%.

Толщина покрытия практически не ограничена возможностями самого способа. Однако в силу физических особенностей процесса образования покрытий с увеличением толщины наносимого слоя в нем возрастают внутренние напряжения, которые стремятся оторвать покрытие от подложки. Поэтому обычно толщина покрытия не превышает 1 мм. Конструктивную нагрузку несет материал детали, а материал покрытия придает поверхности детали такие свойства, как твердость, износостойкость и т. п.

В качестве плазмообразующих газов применяют аргон, азот высокой чистоты, водород, гелий, а также смеси этих и других газов. В последние десятилетия успешно развиваются процессы плазменного напыления с использованием в качестве плазмообразующего газа смеси воздуха с горючим углеводородным газом (метаном, пропан - бутаном). Плазма продуктов сгорания воздуха с горючим углеводородным газом отличается высокими значениями теплоемкости и теплопроводности, легкостью регулирования окислительно-восстановительного потенциала и относительно малой стоимостью.

Это особенно важно при увеличении мощности плазмотрона и переходе к сверхзвуковым скоростям истечения плазмы, когда оптимальные режимы смещают в область больших расходов плазмообразующего газа и снижается время контакта частиц с окружающей атмосферой.

Для генерирования плазмы используют различные плазмотроны. Реализуемые в конкретной конструкции диапазон и уровень удельных мощностей характеризуют эффективность преобразования электрической энергии дуги в тепловую плазменной струи, а также технологические возможности плазмотрона. На рис. 3 показано, что в диапазоне мощностей P до 50 кВт для напыления могут быть использованы плазмотроны с автогазодинамической стабилизацией дуги, обеспечивающие достаточно высокий КПД (75 - 80%) и хорошие эксплуатационные характеристики. Диапазон более высоких мощностей (50 - 150 кВт) охватывают плазмотроны с одиночной межэлектродной вставкой (МЭВ).

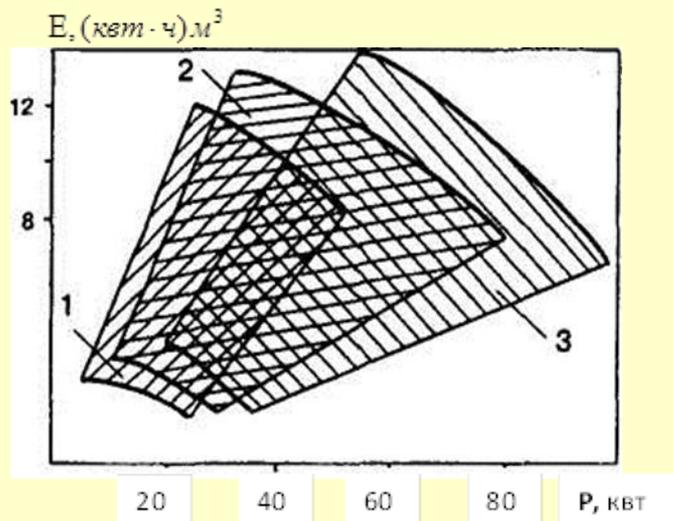


Рисунок 3 - Области достижимых значений удельной энергии плазменной струи в плазмотронах разной конструкции:

- 1- плазмотроны с автогазодинамической стабилизацией длины дуги;
- 2- плазмотроны с МЭВ и автовентиляцией зазора МЭВ-анод;
- 3 - плазмотроны с МЭВ и автовентиляцией зазора МЭВ-анод с независимой вентиляцией

Задача разработки технологического плазмотрона всегда сводится к созданию относительно простой, ремонтпригодной конструкции, обеспечивающей стабильную длительную работу в широком диапазоне изменения сварочного тока дуги, расхода и состава плазмообразующего газа, а также генерирование плазменной струи с воспроизводимыми параметрами, что позволяет эффективно обрабатывать материалы с различными свойствами.

В практике напыления применяют как однородные порошки различных материалов (металлов, сплавов, оксидов, бескислородных тугоплавких соединений), так и композиционные, а также механические смеси указанных материалов.

Наиболее распространены следующие порошковые материалы:

- металлы — Ni, Al, Mo, Ti, Cr, Cu;
- сплавы - легированные стали, чугуны, никелевые, медные, кобальтовые, титановые, в том числе самофлюсующиеся сплавы (Ni-Cr-B-Si, Ni-B-Si, Co-Ni-Cr-B-Si, Ni-Cu-B-Si);
- оксиды Al, Ti, Cr, Zr и других металлов и их композиции;
- бескислородные тугоплавкие соединения и твердые сплавы - карбиды Cr, Ti, W и др. и их композиции с Co и Ni;
- композиционные плакированные порошки — Ni - графит, Ni-Al и др.);
- композиционные конгломерированные порошки— Ni-Al, NiCrBSi-Al и др.;
- механические смеси — $Cr_3C_2 + NiCr$, $NiCrBSi + Cr_3C_2$ и др.

В случае применения композиционных порошков в технологии газотермического напыления преследуют следующие цели:

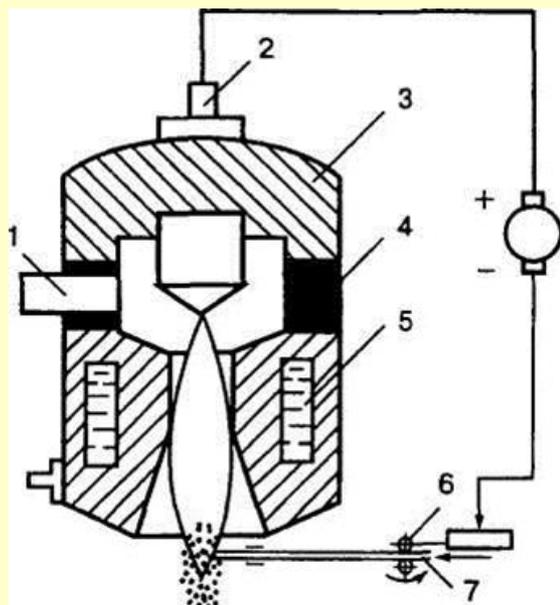
- использование экзотермического эффекта взаимодействия компонентов (Ni - Al, Ni - Ti и т. п.);
- равномерное распределение компонентов в объеме покрытия, например, типа керметов (Ni - Al₂O₃ и т. п.);
- защита материала ядра частицы от окисления или разложения при напылении (Co - WC, Ni - TiC и т. п.);
- формирование покрытия с участием материала, самостоятельно не образующего покрытия при газотермическом напылении (Ni-графит и т. п.);
- улучшение условий формирования покрытий за счет увеличения средней плотности частиц, введение компонентов с высокой энтальпией.

Применяемые для напыления порошки не должны разлагаться или возгораться в процессе напыления, а должны иметь достаточную разницу между температурами плавления и кипения (не менее 200 °С).

3. Плазменное напыление с распылением проволоки

В качестве напыляемого материала при плазменном напылении используют также проволоки [29]. Плазменное напыление с распылением проволоки (рис. 4) осуществляют двумя способами: нейтральной проволокой и проволокой - анодом. В первом случае нагрев, плавление и распыление нейтральной проволоки осуществляют плазменной струей, а во втором — на проволоку-анод подают положительный потенциал источника питания дуги, а нагрев и плавление проволоки происходят преимущественно за счет выделения теплоты в анодном пятне. Плазменная струя, в основном, выполняет функции распыления.

Рисунок 4 - Схема плазменного напыления проволокой:



- 1 — подвод плазмообразующего газа;
- 2 — катод плазмотрона;
- 3 — корпус катода;
- 4 — изолятор;
- 5 — корпус анода
- 6 — механизм подачи проволоки;
- 7 — сплошная или порошковая проволока;
- 8 — плазменная дуга;
- 9 — источник питания

На рис. 5 показана схема плазменно-дугового напыления покрытий токоведущей проволокой с одновременной зачисткой слоев металлической щеткой. Напыление осуществляют слоями толщиной 0,05-0,10 мм с одновременной обработкой каждого последующего слоя специальной вращающейся металлической щеткой. Непрерывная механическая обработка поверхностного слоя основы, совмещенная во времени с процессом напыления, обеспечивает благоприятные условия для напыления покрытий большой толщины (15-20 мм).

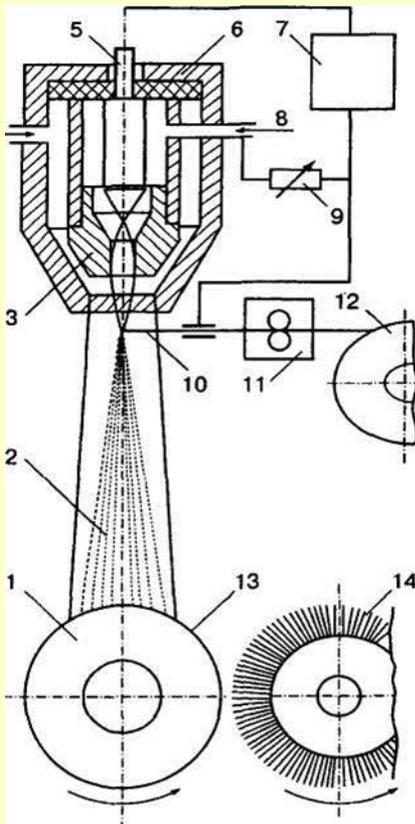


Рисунок 5 - Схема плазменно-дугового напыления покрытий проволокой:

1 — изделие; 2 — поток частиц напыляемого материала;

3 — плазмообразующее сопло;

4 — сжатый воздух; 5 — катод;

6 — плазмотрон; 7 — плазмо-образующий газ;

8 — источник питания;

9 — балластное сопротивление;

10 — расплываемая проволока;

11 —подающий механизм; 12 — кассета с проволокой; 13 — покрытие;

14 —вращающаяся металлическая щетка

Прочность покрытия на отрыв 40-55 МПа. Плотность покрытия, полученного путем распыления проволок из стали 65Г, — 93-96% плотности исходного материала, а покрытия из проволоки 04Х20Н11МЗДТ — 98%. Пористость покрытий 1-4%. Производительность процесса 2-10 кг/ч.

Технология плазменно-дугового напыления токоведущей проволокой позволяет наносить покрытия на металлические изделия любой проволокой, в том числе порошковой и проволокой из цветных металлов и сплавов; на многослойные покрытия из различных материалов, в том числе антикоррозионные покрытия; на металлические покрытия и неметаллические изделия (пластмассы, бетон, кирпич, графит и т. д.); на композитные покрытия одновременным распылением нескольких проволок различного состава; на покрытия внутренних поверхностей тел вращения диаметром более 200 мм.

4. Микроплазменное напыление

Применение плазменных установок мощностью 30-60 кВт для напыления мелких деталей, узких кромок или дорожек ведет к большим потерям напыляемого материала и необходимости введения дополнительных операций. Для устранения этих недостатков предложен способ микроплазменного напыления. Его осуществляют квазиламинарной плазменной струей, образованной плазмотроном мощностью до 2 кВт при силе сварочного тока 20 - 50 А. Способ позволяет напылять узкие дорожки шириной 1-3 мм при толщине 0,2 - 0,5 мм из различных материалов. При микроплазменном напылении на коротких дистанциях никелевого самофлюсующегося сплава с температурой плавления около 10000С одновременно происходит процесс оплавления с образованием плотной, литой структуры покрытия. Низкая тепловая мощность микроплазменной струи позволяет уменьшить нагрев основы, что обеспечивает нанесение покрытий на изделия малых размеров и с тонкими стенками без существенного локального перегрева и коробления. Уровень шума при напылении ламинарной плазменной струей составляет 30 - 50 дБ.

Микроплазменное напыление рекомендуют использовать для упрочнения и ремонта различных мелких деталей текстильных машин, в полиграфии, табачной промышленности, а также при изготовлении нагревательных элементов, имплантантов и др. При микроплазменном напылении используют также проволочные материалы. Таким способом напыляют покрытия из стальной, медной, вольфрамовой и нихромовой проволок.

Одним из способов, позволяющих повысить качество газотермических покрытий, особенно из металлов и материалов, подверженных разложению, окислению, азотированию, является плазменное нанесение покрытий в камере с контролируемой по составу и давлению средой. Для этих целей применяют также защитные сопловые насадки, создающие закрытое пространство между распылителем и изделием, заполненное плазмообразующим или защитным газом.

Лучшие результаты получают при плазменном напылении покрытий в динамическом вакууме. При этом истечение струи происходит в вакуумную камеру, из которой непрерывно откачивают рабочие газы, причем скорость струи превышает скорость звука в 2-3 раза, скорость напыляемых частиц материала увеличивают до 800 м/с. Получают более плотные, чем обычно покрытия, характеризующиеся прочным сцеплением с основным материалом детали.

Необходимо подчеркнуть, что использование сверхзвуковых струй при газотермическом напылении является одним из главных направлений современного развития этой технологии. Повышение скорости и кинетической энергии частиц напыляемого материала позволяет, с одной стороны, улучшить условия формирования покрытий, а с другой — ограничить вредное воздействие окружающей среды и снизить интенсивность процессов термического разложения материалов.

В мировой практике сверхзвуковое плазменное напыление реализуют с помощью установок «Plazjet-H-200». В качестве рабочего газа используют азот или смесь азота с водородом и аргоном. При мощности установки 200 кВт температура струи достигает 6600 °С, скорость частиц в 6-6 раз выше, чем при обычном напылении. Расход порошка составляет до 12 кг/ч оксида алюминия и 40 кг/ч карбида вольфрама.

Специалистами Института электросварки им. Е. О. Патона и Института газа разработаны технология и оборудование для сверхзвукового напыления с использованием плазмы продуктов сгорания углеводородных газов с воздухом. Плазмотрон генерирует слабо расширенную струю плазмы продуктов сгорания со степенью недорасширения 1,1-3,0 м и скоростью истечения до 3000 м/с. Измерения показали, что скорость частиц на дистанции напыления 250-300 мм в случае использования порошка WC-12 Co составила 480 м/с, оксида алюминия — 420 м/с, оксида хрома — 430 м/с, железоникелевого сплава — 500 м/с.

Существует возможность регулировать температуру в пределах 3500 - 6500 К, что позволяет эффективно напылять как легкоплавкие материалы (алюминий и его сплавы), так и тугоплавкие (например, диоксид циркония). Пористость покрытия на оптимальных режимах составляет 0,5 - 3,0%, а прочность сцепления — 60 - 120 МПа. Производительность напыления оксида алюминия достигает 20 кг/ч, а вольфрам-кобальтовых твердых сплавов — 40 кг/ч.

В настоящее время сверхзвуковое плазменное напыление находит все более широкое применение. Технологический процесс нанесения плазменных покрытий в зависимости от условий и типа производства, конструктивных особенностей обрабатываемых изделий и покрытий содержит различные операции и технологические приемы, которые могут быть объединены в следующие группы:

- подготовка поверхности деталей к нанесению плазменных покрытий;
- технология нанесения плазменных покрытий и дополнительная обработка нанесенных покрытий для улучшения их свойств;
- размерная обработка покрытий.