

# *Основы технологии плазменного нанесения*

*Кафедра технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей НТУ  
«ХПИ»*

# Метод плазменного напыления

Из всех видов газотермического напыления защитных покрытий это наиболее универсальный способ по роду напыляемых материалов.

Формирование покрытий происходит из отдельных частиц, нагретых и ускоренных с помощью высокотемпературной газовой струи – плазмы. Ёё получают в специальном генераторе плазмы вдуванием плазмообразующего газа (аргон, азот, водород, аммиак, водяной пар, воздух, гелий и др. газы и их смеси) в электрическую дугу, образуемую между двумя электродами.

Плазму делят на низкотемпературную (температура меньше миллиона К, чаще всего 5000-55000 К) и высокотемпературную (температура миллион К и выше).

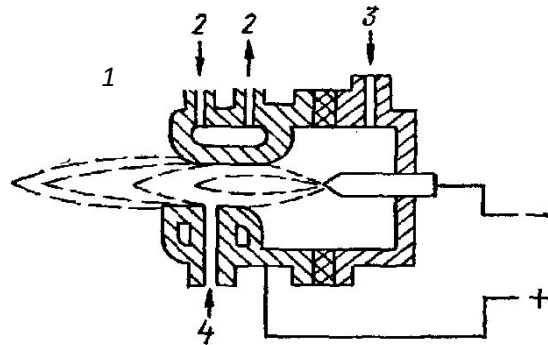
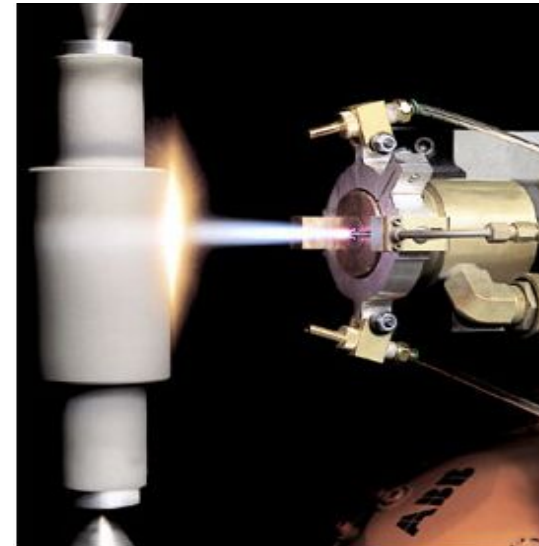


Схема процесса плазменно-дугового нанесения покрытий из порошков:  
1 – плазменная струя; 2 – подвод и слив воды; 3 – плазмообразующий газ; 4 – подача порошка






# Возможности технологии

- Защита изделий путем нанесения металлических, керамических, ситаллизированных, металлокерамических, полимерных, металлополимерных покрытий на множество поверхностей деталей практически из любых материалов;
- Напыление на наружные и внутренние поверхности изделий;
- Возможность нанесения покрытия плазменными горелками как на специализированных установках, так и вручную в специальных приспособлениях .

## Сферы применения:

- в машиностроении
- в авиации;
- в металлургической и пищевой промышленности;
- в медицине.





# Физические основы технологии плазменного напыления

- Плазма практически мгновенно расплавляет частицы практически из любого материала (металла, керамики, керметов, полимеров, металлополимеров, керамополимеров, ситаллов) и разгоняет их до скорости 100-500 м/сек;
- При соударении с поверхностью подложки (металлы и неметаллы, например, пластмасса, кирпич, бетон, графит и др.) и взаимодействии с ней в течение  $10^{-4}$ - $10^{-7}$  сек расплавленные частицы образуют покрытие с плотностью 70-100 %;
- Качество покрытия определяется качеством предварительной подготовки поверхности изделия, видом материала покрытия, размером напыляемых частиц и технологическими параметрами плазмы.

# Процесс плазменного напыления

*включает 3 основных этапа:*

- Подготовка поверхности;
- Напыление и дополнительная обработка покрытия для улучшения свойств;
- Механическая обработка (или др.) для достижения чистовых размеров.





# Подготовка поверхности

- Детали перед напылением должны быть тщательно очищены и обезжирены. Ремонтные детали, имеющие замасленные каналы, следует нагреть в печи при температуре 200-340 °С в течение 2-3 часов для выпаривания масла;
- Далее производится активация поверхности — придание ей определенной шероховатости для обеспечения адгезии. Активацию производят при помощи обдува детали сжатым воздухом с абразивом (корунд) зернистостью 80-150 мкм по ГОСТ3647 или применяют чугунную/стальную дробь ДЧК, ДСК №01-05 по ГОСТ 11964. Металлическая дробь не применяется для обработки жаростойких, коррозионно-стойких сталей и цветных металлов и сплавов, т.к. может вызвать их окисление.
- Шероховатость поверхности под плазменное напыление должна составлять 10-60 Rz, поверхность должна быть матовой.
- Поверхности, не подлежащие абразивной обработке, защищают экранами. Зона обдува на  $5 \pm 2$  мм должна быть больше, чем номинальный размер напыленной поверхности.
- Расстояние от сопла до детали при абразиво-струйной обработке должно находиться в пределах 80-200 мм, меньшие значения принимают для более твердых материалов, большие — для мягких. После этого детали обеспыливают путем обдува сжатым воздухом.
- Промежуток времени между очисткой и напылением должен составлять не более 4 ч, а при напылении алюминия и других быстро окисляющихся материалов — не более часа.

# Напыление

- Для плазменного напыления используют материал в виде проволоки, порошка, стержня или гибкого шнура. Следует применять порошки одной фракции, форма частиц — сферическая. Оптимальный размер частиц для металлов составляет около 100 мкм, а для керамики — 50-70 мкм. В случае, если порошки хранились в негерметичной таре, их нужно прокалить при температуре 120-130 °С в течение 1,5-2 ч в сушильном шкафу;
- Те части детали, которые не подвергаются напылению, защищают экранами из асбеста или металла, или обмазками;
- Предварительный подогрев детали перед напылением осуществляют плазмотроном до температуры 150-180 °С;
- Режимы обработки определяют опытным путем. Средние значения режимов плазменного напыления следующие: расстояние от сопла до детали — 100-150 мм, скорость струи — 3-15 м/мин, скорость вращения детали — 10-15 м/мин, угол напыления — 60-90°. Общую толщину покрытия набирают несколькими циклами с перекрытием полос напыления на 1/3 диаметра пятна напыления;
- После напыления деталь снимают с плазмотрона, удаляют защитные экраны и охлаждают до комнатной температуры.

# Оборудование

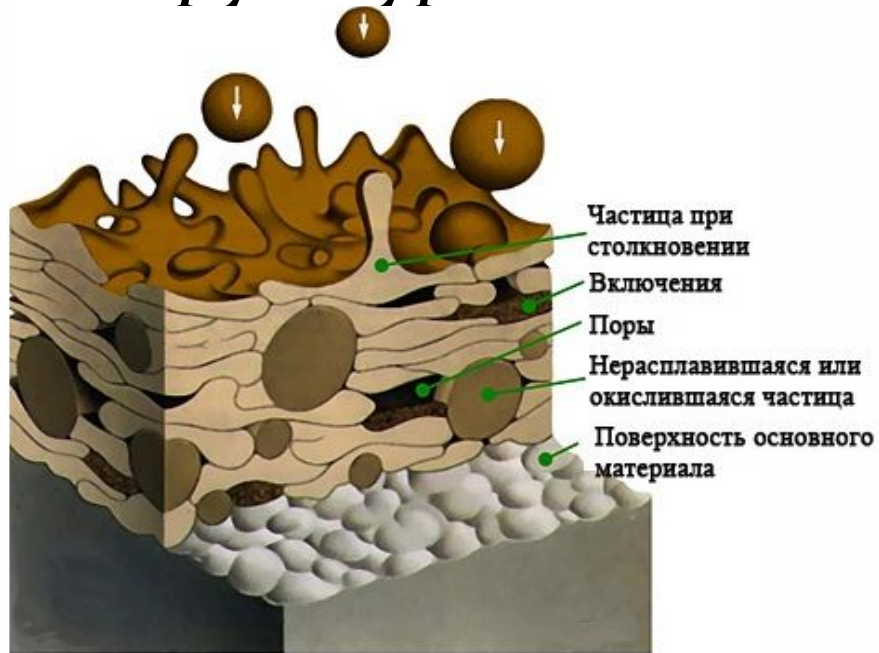
Оборудование для плазменного напыления защитных покрытий с применением порошков в качестве напыляемого материала включает установки PLAZER 80-PL, PLAZER 180-PL, выполненные в блочном исполнении, а также УПУ-3.



Примеры исполнения аппаратных комплектов оборудования PLAZER® для реализации технологий плазменного порошкового напыления покрытий



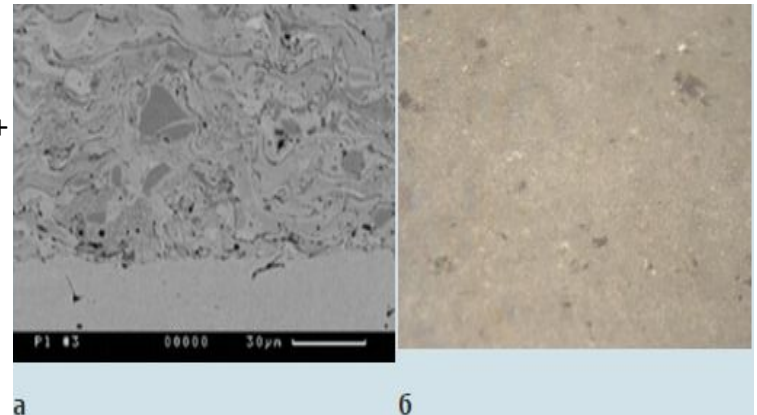
# Структура плазменных покрытий



Внешний вид деталей с керамическим плазменным покрытием  $ZrO_2 - 7\% Y_2O_3$

Микроструктура плазменных покрытий, нанесенных напылением из порошков:  
а - металлокерамическая смесь 20% NiCr +  $Cr_3C_2$

б - оксид хрома  $Cr_2O_3$



(x2000)



# *Виды покрытий, создаваемые методом плазменного напыления*

- Износостойкие – толщина покрытия 0,2-1,5 мм. При напылении покрытия температура изделия составляет 60-150 °С. Нет коробления изделия. Не нужна термическая обработка изделия. Износостойкость зависит от свойства материала покрытия;
- Электроконтактные – толщина покрытия 0,01-0,1 мм. Используют любые электроконтактные металлы: припои, медь, никель, вольфрам и др. Исключаются гальванические методы нанесения и все сопутствующие химические компоненты;
- Термомобильные и эррозионностойкие – толщина покрытия 0,2-10 мм. Используют керамические и металлокерамические материалы – оксиды, карбиды, нитриды и др. Локальная защита изделий от высокотемпературных потоков (до 2000 °С) даже при наличии абразивных частиц;
- Анतिकоррозионные – толщина покрытия 0,1-0,5 мм. Используют цинк, алюминий, титан и др. Возможно защищать от коррозии любые металлоконструкции: мосты, вышки, резервуары, суда и т.п.;
- Химически стойкие покрытия из любых термопластичных полимеров – толщина покрытия 0,1-5 мм. Не нужно использовать специальные стали и сплавы;
- Пассивирующие и ламинирующие – тонкие защитные полиэфирные или полиэтиленовые пленки на изделиях любого габарита и из любых материалов. Не нужна окраска. Очищаются струей воды.

# *Преимущества плазменного напыления*

- Возможность путем регулирования режима напыления наносить покрытия как из тугоплавких материалов, так и легкоплавких;
- Минимальный нагрев напыляемой поверхности (не более 200 °С );
- Высокая производительность (3-20 кг/ч для плазмотронных установок мощностью 30-40 кВт и 50-80 кг/ч для оборудования мощностью 150-200 кВт);
- Высокая первичная прочность сцепления покрытия с поверхностью детали  
(в среднем 10-55 МПа на отрыв);
- Низкая пористость покрытия (в пределах 10-15 %);
- Ресурс покрытия возрастает в 10-15 раз;
- Для нанесения покрытий на небольшие поверхности применяется микроплазменный способ напыления, который позволяет сэкономить потери напыляемого материала (ширина напыления 1-3 мм).



# *Недостатки плазменного напыления*

- Толщина покрытия обычно не более 1 мм, так как при ее увеличении в напыляемом слое возникают напряжения, стремящиеся отделить его от поверхности детали;
- Снижение прочности сцепления покрытия с основой вследствие аморфизации покрытия (разный кристаллический состав исходного и напыленного материала) при нанесении некоторых керамических порошков;
- Необходимость введения дополнительных стадий формирования переходных слоев между основой и покрытием, а также отжига нанесенного покрытия;
- Разнотолщинность покрытия на изделиях сложной формы;
- Высокая стоимость оборудования и исходных материалов.



# Перспективы развития

- Усовершенствование существующего метода с целью повышения адгезии напыленных покрытий, защиты от окисления и уменьшения их пористости (до 4 %) путем плазменного напыления материала в защитной среде (вакуум, азот, смесь азота с аргоном и водородом) и с применением специальных сопел, закрывающих область между распылителем и обрабатываемой поверхностью;
- Расширение номенклатуры наносимых материалов путем варьирования технологическими параметрами плазмы;
- Перспективным направлением в технологии плазменного

сверхзвуковое н



Установка вакуумного нанесения

*СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!*