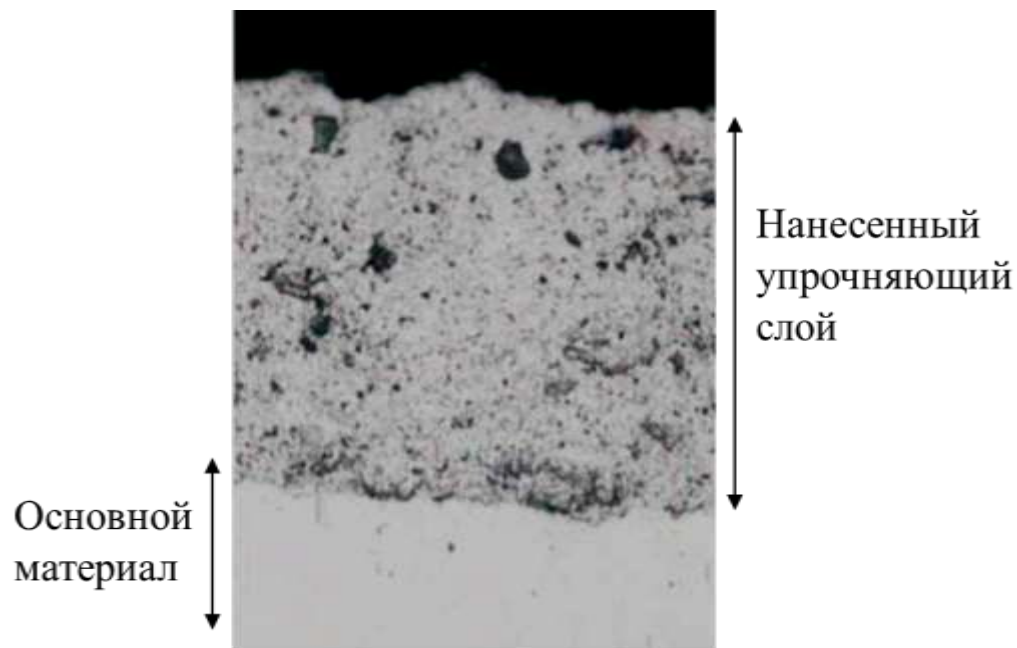


Нанесение пленок, покрытий и защитных слоев



Каждому варианту условий работы металлических изделий соответствует свой оптимальный вариант формируемого на поверхности детали упрочняющего покрытия, что обусловлено большим числом предлагаемых методов формирования данного покрытия.

Современные технологии нанесения покрытий



Нанесения пленок, покрытий и защитных слоев изменяет геометрический размер детали. Упрочнение обусловлено образованием на поверхности слоя материала с особыми свойствами.

Классификация по назначению и основным эксплуатационным характеристикам покрытий

Терморегулирующие

Теплозащитные

Термостойкие

Жаростойкие

Коррозионно-стойкие

Износостойкие (абразивостойкие,

фреттингостойкие,

эрозивно-стойкие,

кавитационно-стойкие и т.д.)

Антифрикционные

Прирабочные

Фрикционные



Классификация по природе и химическому составу наносимого материала покрытий

Металлические (металлы и сплавы)

Керамические (карбиды, нитриды, оксиды и т.д.)

Полимерные

Композиционные

Комбинированные

Классификация по числу компонентов или слоев покрытий

Одно-, двух- и многокомпонентные

Одно-, двух- и многослойные

Классификация по толщине покрытий

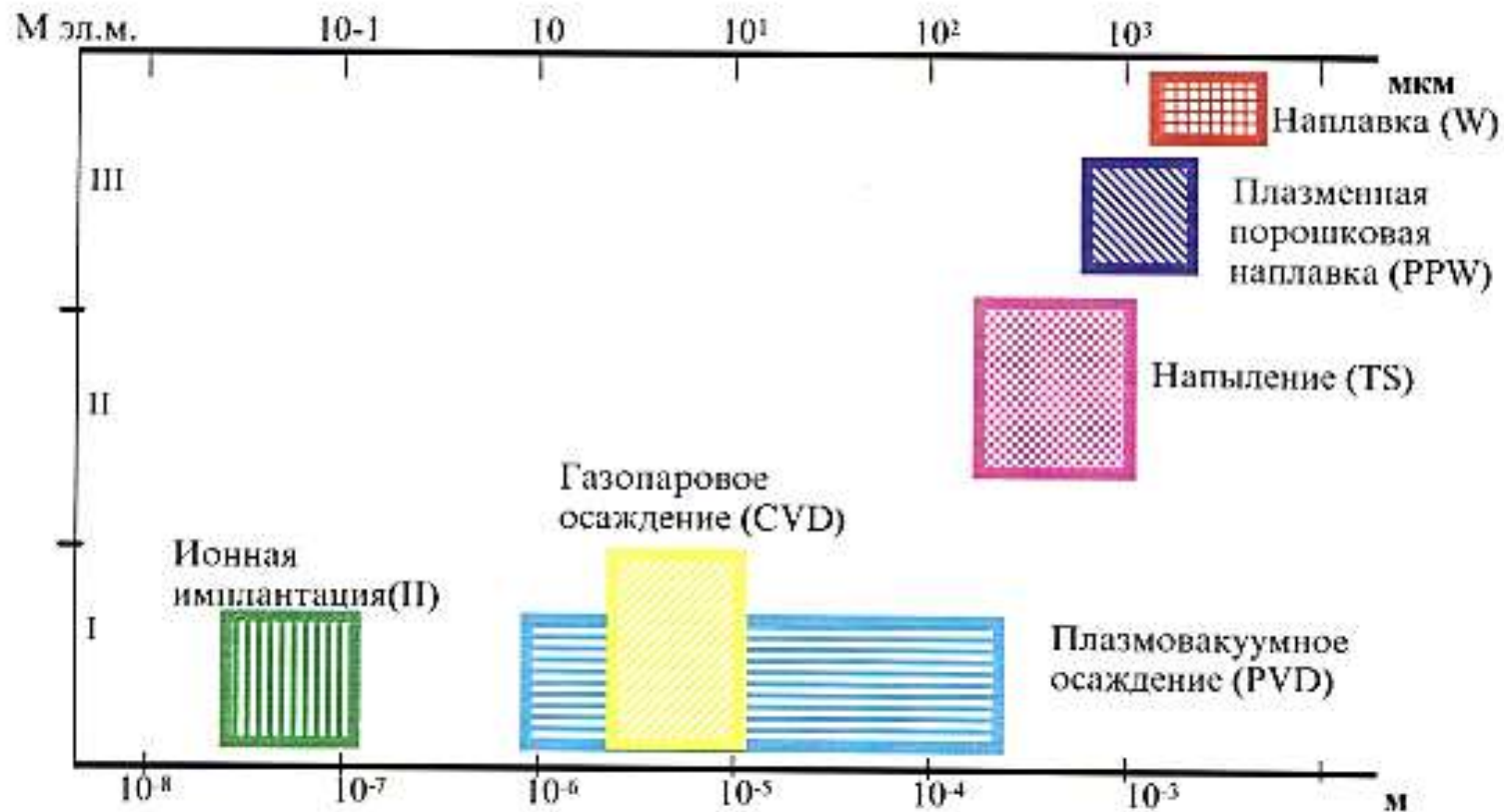
Пленочные

Тонкие

Толстые

Классификация пленок, покрытий и защитных слоев по методу получения

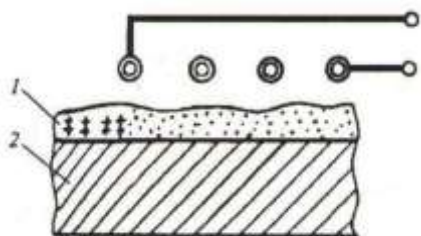




Толщина покрытия и масштабы элементарной массы осаждаемого материала различными методами напыления покрытий:

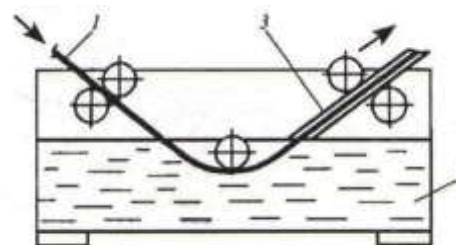
- I – атомы, ионы, кластеры;
- II – частицы порошка или расплава;
- III – струя расплавленного электродного металла.

Термические методы нанесения покрытий



Сплавление:

1 – наносимый материал;
2 – деталь.



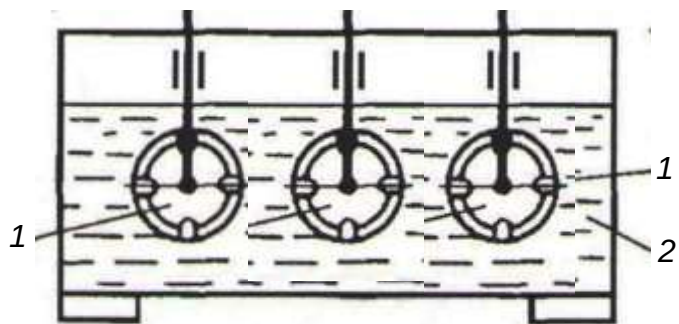
Замораживание с использованием окунания:

1 – деталь; 2 – наносимый материал;
3 – деталь с покрытием.

Термическое воронение – окисление стали при высоких температурах: в парах аммиачно-спиртовой смеси при 520—880 °С, в расплавленных солях при 400—600 °С, а также в воздушной атмосфере при 310—450 °С с предварительным покрытием поверхности детали тонким слоем асфальтового или масляного лака.

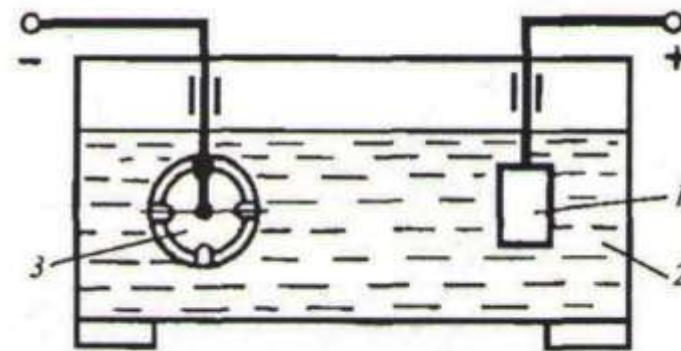


Химические методы нанесения покрытий



Осаждение химической реакцией:

1 – деталь;
2 – химический раствор.

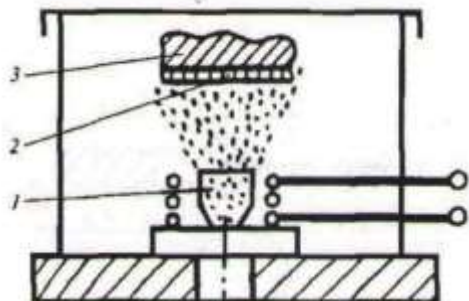


**Гальваническое или
электролитическое осаждение:**
1 – присадочный материал (анод);
2 – электролит; 3 – деталь (катод).

Химическое воронение –
окисление стали в
щелочных или кислых
растворах с окислителями при
температуре 135—150 °С.



Вакуумные методы конденсационного нанесения покрытий

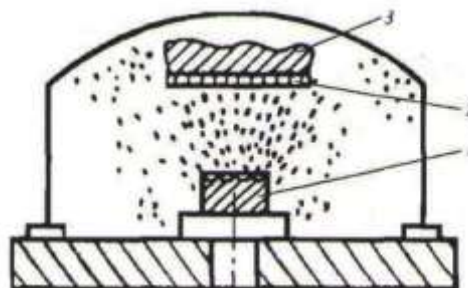


CDV-методы

Chemical Vapor Deposition :

1 – присадочный материал;
2 – покрытие; 3 – деталь.

Получение потока частиц посредством диссоциации термически нестойких химических соединений.



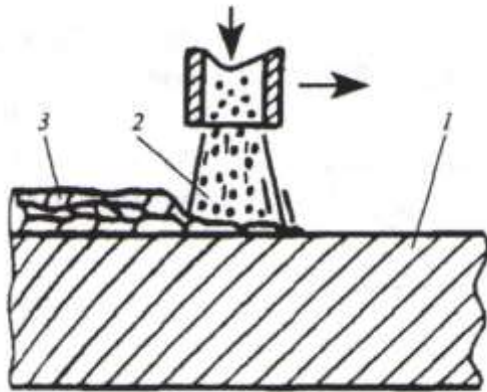
PDV-методы

Physical Vapor Deposition:

1 – присадочный материал;
2 – покрытие; 3 – деталь.

Получение потока частиц посредством термического испарения напыляемого материала, ионного или взрывного распыления.

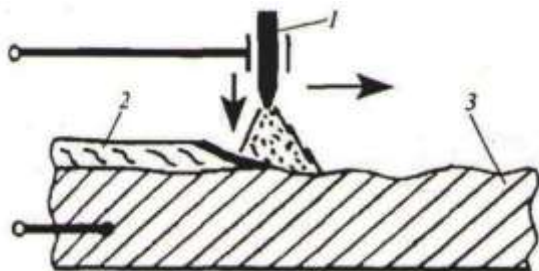
Газотермическое напыление



1 – деталь;
2 – энергетический поток,
включающий напыляемые
частицы; 3 – покрытие.

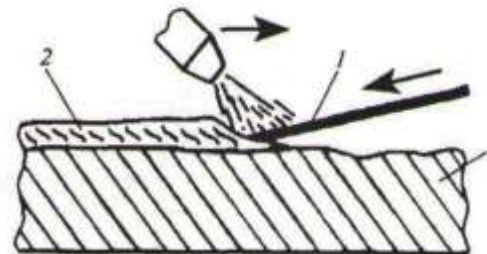


Наплавка



Электродуговая наплавка:

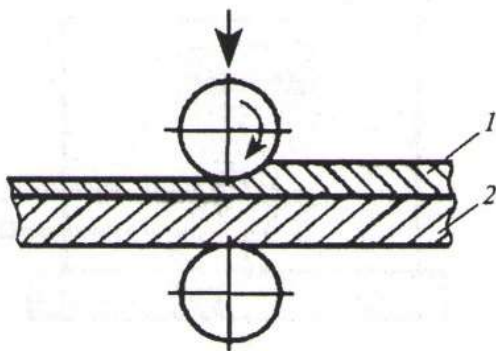
1 – присадочный материал-электрод;
2 – наплавляемый слой; 3 – деталь.



Газопламенная наплавка:

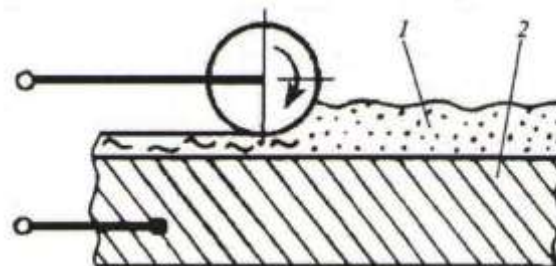
1 – присадочный материал;
2 – наплавляемый слой; 3 – деталь.

Термомеханические методы нанесения покрытий



Плакирование:

1 – слой наносимого материала; 2 – деталь.



Электроконтактное припекание:

1 – слой наносимого материала; 2 – деталь.

Гальваническое или электролитическое осаждение

Нанесение гальванического покрытия реализуется в три основных этапа:

1. подготовка
2. нанесение покрытия
3. заключительная обработка готового изделия.

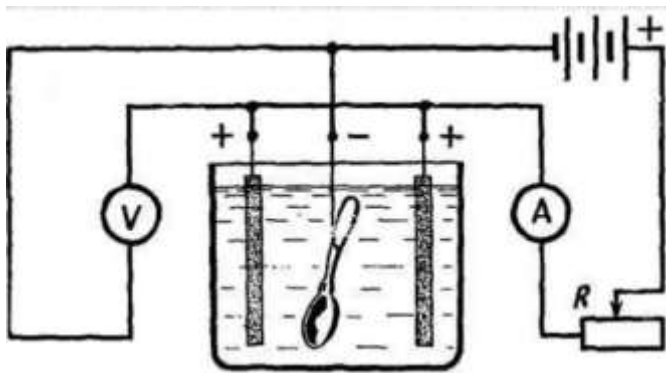


Схема гальванического осаждения



Гальваническая ванна и загружаемые детали в производственном цехе

Гальванические покрытия

Виды гальванического осаднения:

цинкование,
кадмирование,
никелирование,
хромирование,
меднение,
латунирование,
серебрение,
анодирование.



Толщина гальванического покрытия зависит от условий, в которых будет эксплуатироваться деталь и делится на группы.

Легкие условия

однослойное покрытие – **7 мкм**, многослойное – **15 мкм**.

Средние условия

однослойное покрытие – **15 мкм**, многослойное – **30 мкм**.

Жесткие условия

однослойного покрытие – **30 мкм**, многослойное – **45 мкм**.





Преимущества

- Высокие антикоррозионные качества.
 - Стойкость к механическим и физическим повреждениям.
- Сопrotивляемость агрессивным средам природного и промышленного происхождения.
 - Низкая пористость покрытия.
 - Твердость, износостойкость.
- Возможность регулировать толщину наносимого покрытия в процессе нанесения.

Недостатки

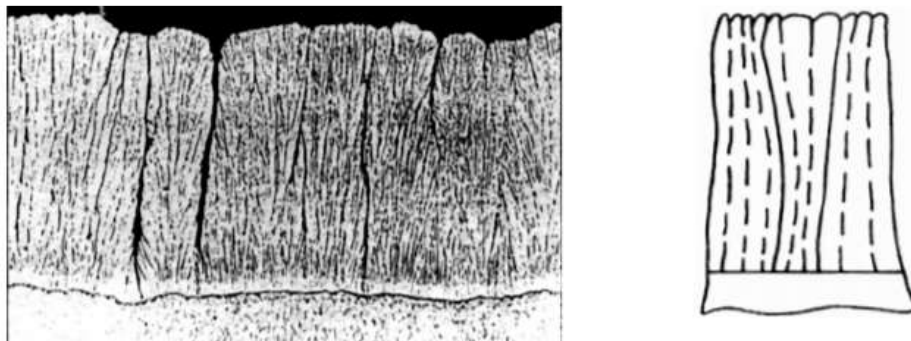
- Большой расход электроэнергии.
 - Экологические угрозы.
- Высокая стоимость очистных мероприятий.



Нанесение тонких пленок и слоев



Строение вакуумных покрытия



Микроструктура и схема покрытия,
полученного конденсацией атомарного потока.

Микроструктура вакуумного покрытия имеет столбчатый характер. Каждый отдельный столб структуры состоит из нескольких кристаллитов меньшего диаметра. Физическая причина появления такой столбчатой структуры объясняется технологической наследственностью при встраивании адсорбированных атомов в активные центры роста кристаллической фазы покрытия – эпитаксиальный рост покрытия.

Толщина получаемого покрытия составляет единиц до сотни мкм

Магнетронное напыление

Магнетронное напыление выполняется при воздействии катодного распыления в плазменной среде для нанесения на поверхность тонких пленок. В технологии магнетронных способов обработки используются **магнетроны**.

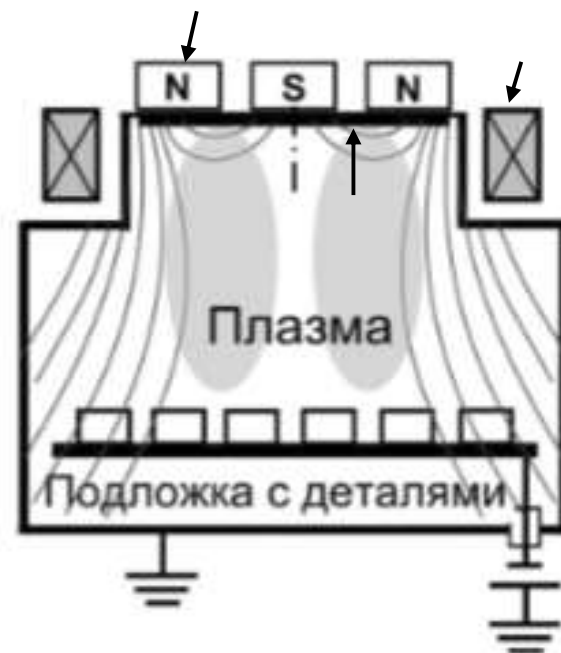


Металлизация поверхностей по технологии магнетронного напыления основана на распылении металла, из которого выполнена мишень магнетрона.

Обработка происходит в процессе ударного действия ионами рабочей газовой среды, сформированными в плазме разряда.

Особенности использования магнетронных установок:

- Основными элементами рабочей системы являются катод, анод, магнитная среда, которая способствует локализации плазменной струи у поверхности распыляемой мишени.
- Действие магнитной системы активизирует использование магнитов постоянного поля, установленных на основании из магнитомягких материалов.
- При подаче напряжения от источника электропитания на катод ионной установки происходит распыление мишени, причем силу тока нужно поддерживать на стабильно высоком уровне.



Для управления плотностью ионного тока в такой системе изменяют интенсивность и конфигурацию магнитного поля.



Можно ослабить внутренний магнит относительно периферического таким образом, чтобы не все силовые линии магнитного поля замыкались между внешним и внутренним полюсами магнетрона. Это позволит усилить поток ионов в сторону подложки, хотя распределение плотности ионного тока имеет характерную форму.



Можно использовать электромагнит по периметру вакуумной камеры, что позволяет несколько изменять форму распределения и интенсивность потоков ионов металла на подложку.



Известна система, где катод магнетрона используется в качестве подложки. Хотя при этом отмечалась характерная сильная неоднородность распределения плотности ионного тока вдоль поверхности подложки-катода, присущая магнетронам.



Магнетронным методом можно наносить металлические и керамические покрытия, а также сложные композиционные материалы.

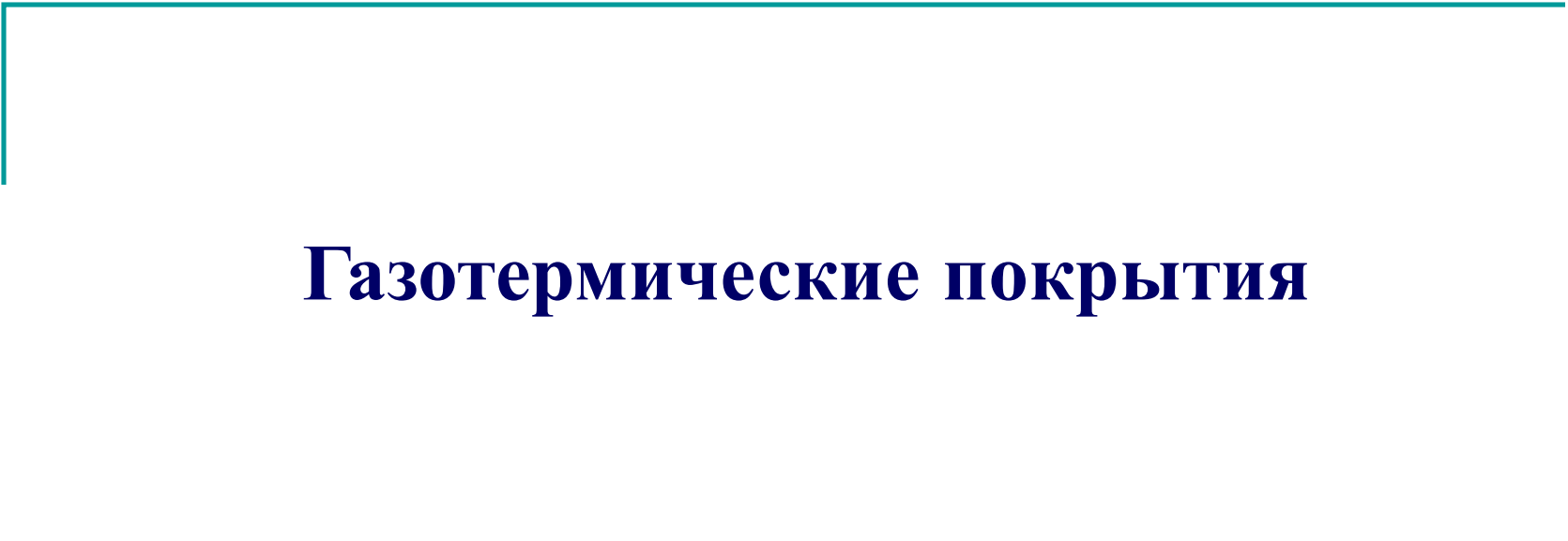
Толщина покрытия составляет несколько микрон.



**Детали до и после нанесения
магнетронного покрытия**

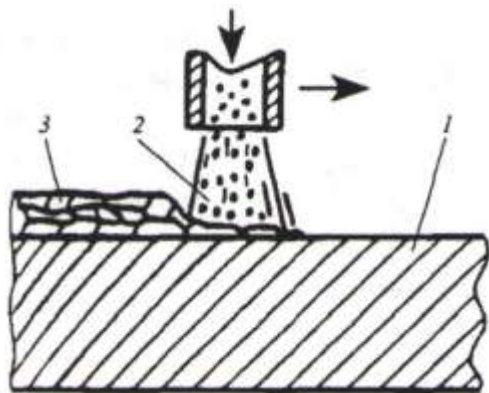
Главное достоинство

магнетронного метода нанесения
покрытия –
высокая скорость распыления
мишени, осаждения частиц, точность
воспроизведения химического
состава, отсутствие перегрева
обрабатываемой детали,
равномерность нанесенного
покрытия.



Газотермические покрытия

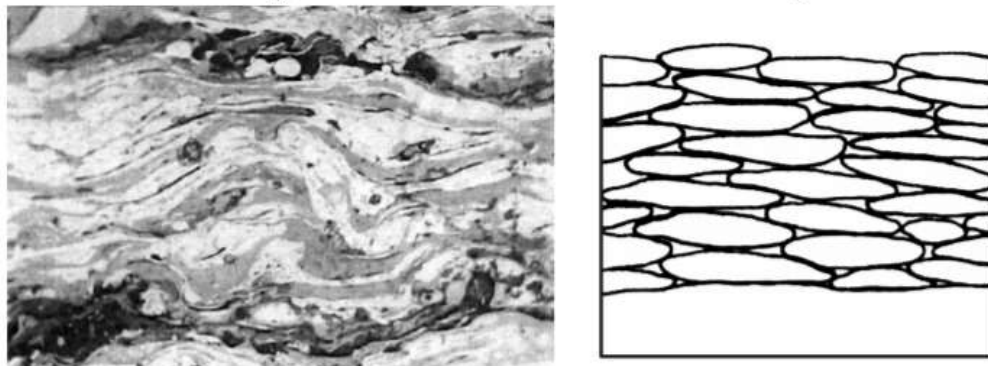
Газотермическое напыление



1 – деталь; 2 – энергетический поток,
включающий напыляемые частицы;
3 – покрытие.



Строение газотермического покрытия



Микроструктура и схема газотермического покрытия.

Характерная структура газотермического покрытия имеет слоистый характер и состоит из дискообразных кристаллитов, расположенных вдоль поверхности конструкционного материала, горизонтальных и вертикальных границ между кристаллитами и микропустот (закрытых пор). Толщина каждого дискообразного кристаллита составляет 2–10 мкм и в 10–20 раз меньше его характерного горизонтального размера.

Толщина покрытия может составлять от доли до нескольких миллиметров. Процентное содержание закрытой пористости варьируется режимами напыления в пределах 2–12%.

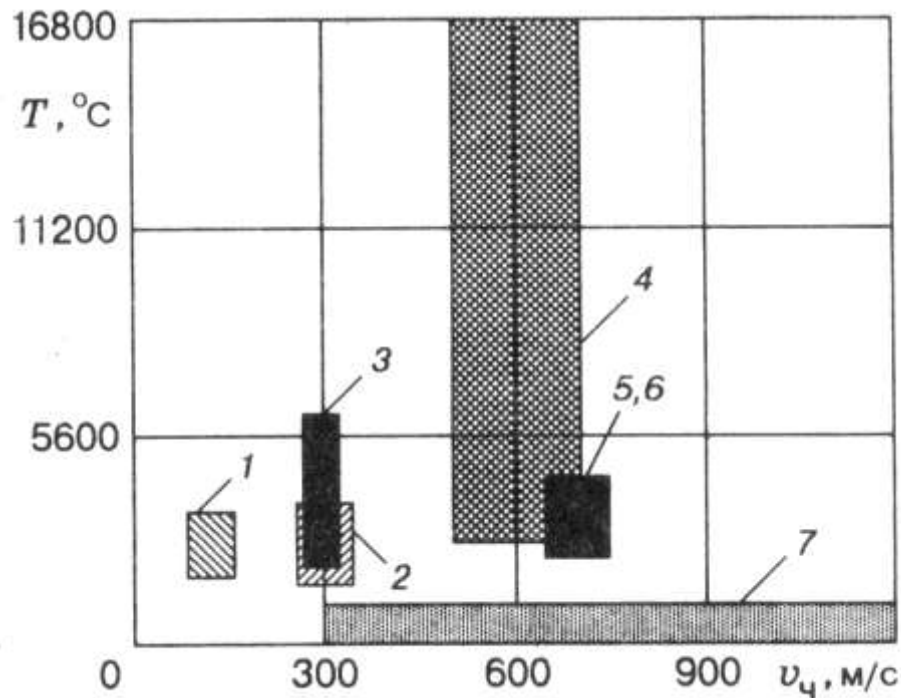


Диаграмма характерного диапазона температур и скорости частиц для **газотермических методов** нанесения покрытий: 1 – порошковый газопламенный; 2 – газопламенный из проволоки; 3 – электродуговой; 4 – плазменный; 5 – детонационный; 6 – высокоскоростной газопламенный; 7 – газодинамический

Высокоскоростное газопламенное напыления High Velocity Oxygen Fuel (HVOF)

Технология нанесения покрытий, при которой порошковый материал наносится на подложку на высокой (обычно более 5 скоростей звука) скорости.

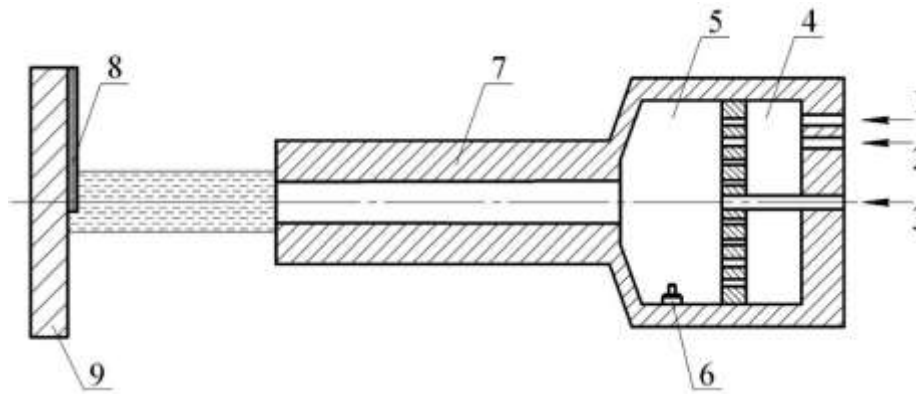


Схема HVOF :

1 – подача топлива; 2 – подача окислителя;
3 – подача порошка; 4 – смешивательная
камера; 5 – камера сгорания; 6 – свеча
зажигания; 7 – ускоряющая насадка;
8 – покрытие; 9 – основа

Системы высокоскоростного газопламенного напыления делятся по типу оборудования на системы керосин-кислород и пропан-воздух.

С помощью высокоскоростного напыления наносятся покрытия из карбидов вольфрама, хрома, никель- кобальт- и железно-базированных порошков $MeCrAlY$.

Детонационное нанесение

Детонационное нанесение покрытий — дискретный процесс, осуществляется последовательным выполнением следующих операций, входящих в единичный цикл (выстрел): заполнение взрывчатой газовой смесью ствола детонационной пушки; подача в ствол пушки порошка; взрыв газовой смеси в стволе.

При этом нагрев напыляемого изделия незначителен.

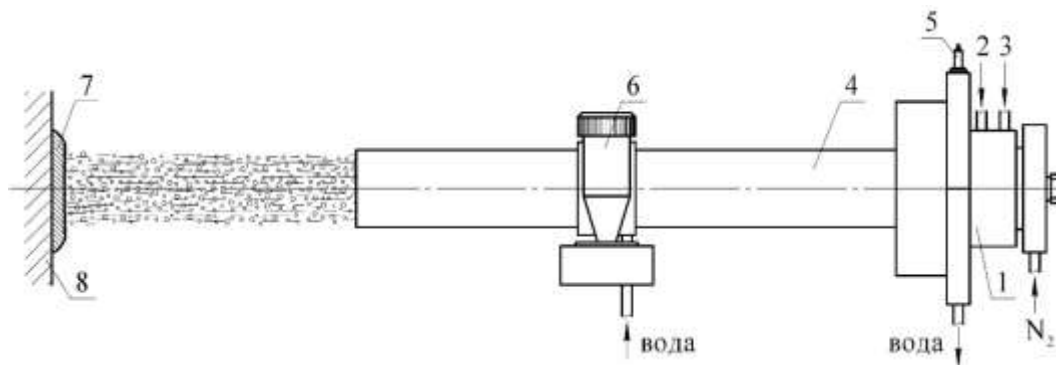


Схема напыления:

1 — смесительная камера; 2 — подача топлива; 3 — подача окислителя; 4 — ствол установки; 5 — свеча зажигания; 6 — порошковый питатель; 7 — покрытие; 8 — основа

Благодаря высокой скорости напыляемых частиц (600—1000 м/сек.), детонационные покрытия обладают плотностью, близкой к плотности спечённого материала и высокой адгезией.

Детонационное напыление позволяет напылять широкий круг материалов: металлы и их сплавы, оксиды, твёрдые сплавы на основе карбидов.



**Главные преимущества HVOF и детонационной технологий
нанесения толстых покрытий:**

1. Очень высокая производительность процесса напыления.
1. Минимальный процент пористости покрытия среди всех технологий напыления.

Плазменное напыление толстых покрытий

Плазменное напыление металлов и сплавов основано на высокоскоростном разгоне металлического порошка в потоке плазмы с осаждением микрочастиц в виде покрытия.

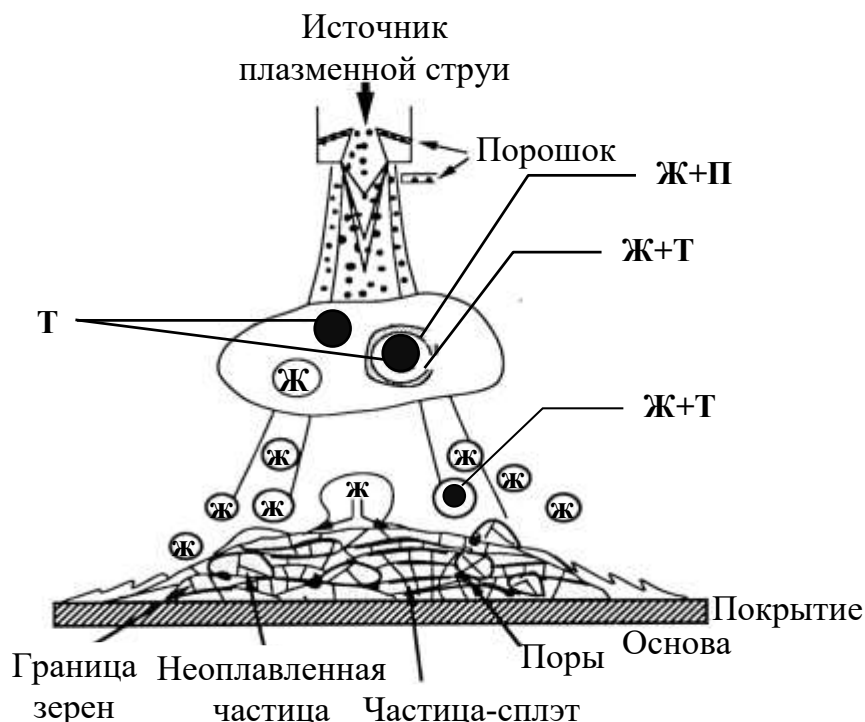


Схема процесса порошкового плазменного напыления покрытия.

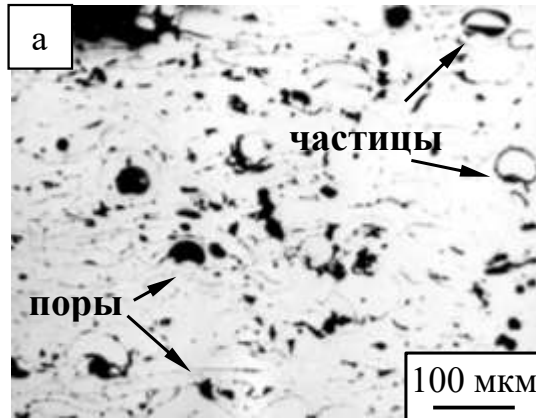
Агрегатное состояние частиц:

Т – твердое, Ж – жидкое,

П – парообразное.

Главная задача технологии – защита изделий от окислительных процессов в агрессивных средах, повышение эксплуатационных качеств, упрочнение обрабатываемой поверхности, усиление сопротивляемости механическим нагрузкам.

Структура плазменных покрытий



Элементы структуры покрытия на макроуровне (а) и микроуровне (б)

Одной из главных особенностей такой структуры плазменных покрытий является ее высокая демпфирующая способность к знакопеременным механическим и температурным напряжениям, а также способность локализовать усталостные повреждения и микротрещины внутри зерна кристаллита, не давая им возможности прорасти до конструкционного материала основы.



Особенности и преимущества технологии плазменного напыления на металл:

- **Высокотемпературный метод нанесения защитного слоя на обрабатываемую поверхность (порядка 5000-6000 °С) происходит за доли секунд.**
 - Благодаря равномерности потока плазменной струи удастся получить одинаково пористое, качественное покрытие.
- **Длительность процесса напыления невысока, что помогает достичь стопроцентной экономической эффективности использования плазменного оборудования в разных производственных масштабах.**

Методы обработки напыленных покрытий

Обработка объемными источниками энергии

Оплавление покрытия изделий в печах и в соляных ваннах

Обработка изделия с покрытием в газостатах

Термообработка покрытий в вакууме

Обработка покрытий взрывом

Прокатка

Обработка высокоэнергетическими концентрированными источниками энергии

Обработка потоками плазмы

Обработка электронным лучом

Обработка непрерывным или импульсным лазерным лучом

Электродискровая импульсная обработка

Ультразвуковая обработка

Использование УЗО при нанесении газотермических покрытий

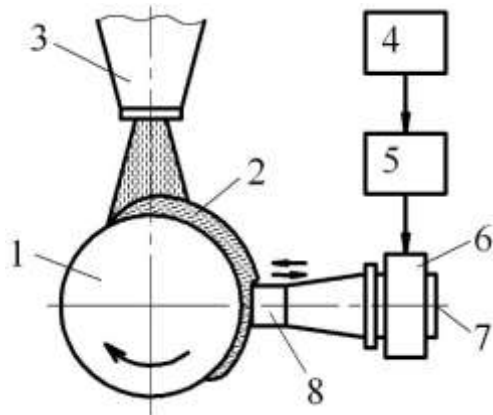


Схема УЗ обработки
покрытия при напылении:

- 1 – обрабатываемая деталь;
- 2 – порошковое покрытие;
- 3 – плазмотрон;
- 4 – ультразвуковой генератор;
- 5 – усилитель; 6 – обмотка
возбуждения; 7 – вибратор;
- 8 – боёк

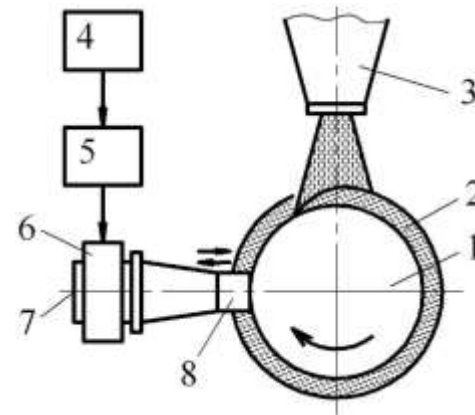
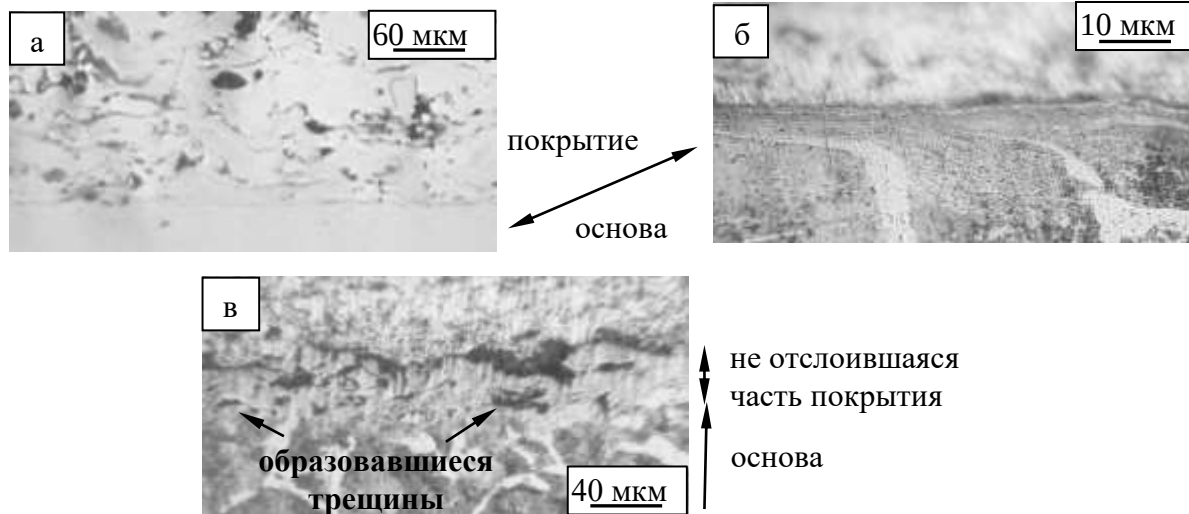
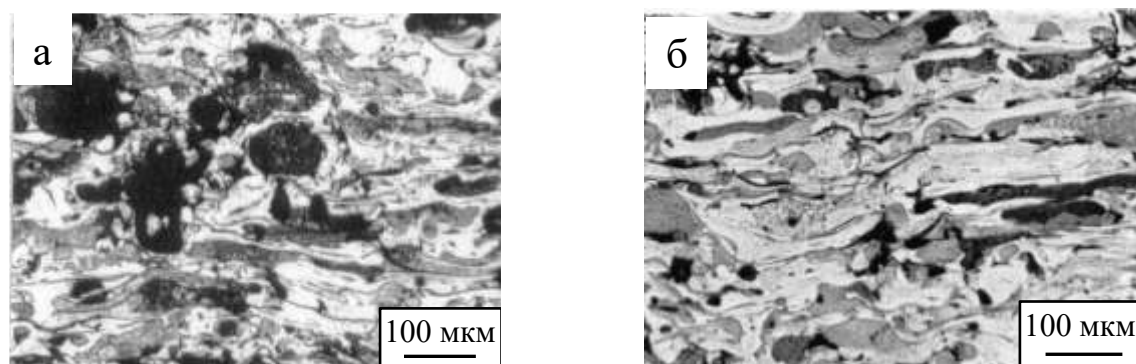


Схема УЗ активации металла детали
перед напылением покрытия:

- 1 – обрабатываемая деталь;
- 2 – порошковое покрытие;
- 3 – плазмотрон;
- 4 – ультразвуковой генератор;
- 5 – усилитель; 6 – обмотка возбуждения;
- 7 – вибратор; 8 – боёк



Металлографическое изображение граница раздела после напыления плазменного покрытия (а, б) и после проведения испытания на отрыв (в)



Микроструктура обычного плазменного покрытия (а) и с УЗО (б)

Отрасли, использующие газотермические покрытия



Спасибо за внимание!

