

# Ионно-плазменное упрочнение

Вакуумные ионно-плазменные методы упрочнения поверхностей деталей включают следующие процессы:

**генерацию (образование) корпускулярного потока вещества; его активизацию, ускорение и фокусировку;**

конденсацию и внедрение в поверхность деталей (подложек).

**Генерация:** корпускулярного потока вещества возможна его испарением (сублимацией) и распылением.

**Испарение:** переход конденсированной фазы в пар осуществляется в результате подводок тепловой энергии к испаряемому веществу.

Твердые вещества обычно при нагревании расплавляются, а затем переходят в газообразное состояние. Некоторые вещества переходят в газообразное состояние минуя жидкую фазу. Такой процесс называется **сублимацией**.



## **С помощью методов вакуумной ионно-плазменной технологии можно выполнить:**

### **1) модифицирование поверхностных слоев:**

- ионно-диффузионное насыщение; (ионное азотирование, науглероживание, борирование и др.);
- ионное (плазменное) травление (очистка);
- ионная имплантация (внедрение);
- отжиг в тлеющем разряде;
- ХТО в среде несамостоятельного разряда;

### **2) нанесение покрытий:**

- полимеризация в тлеющем разряде;
- ионное осаждение (триодной распылительной системе, диодной распылительной системе, с использованием разряда в полой катоде);
- электродуговое испарение;
- ионно-кластерный метод;
- катодное распыление (на постоянном токе, высокочастотное);
- химическое осаждение в плазме тлеющего разряда.

# Преимущества методов вакуумного ионно-плазменного упрочнения

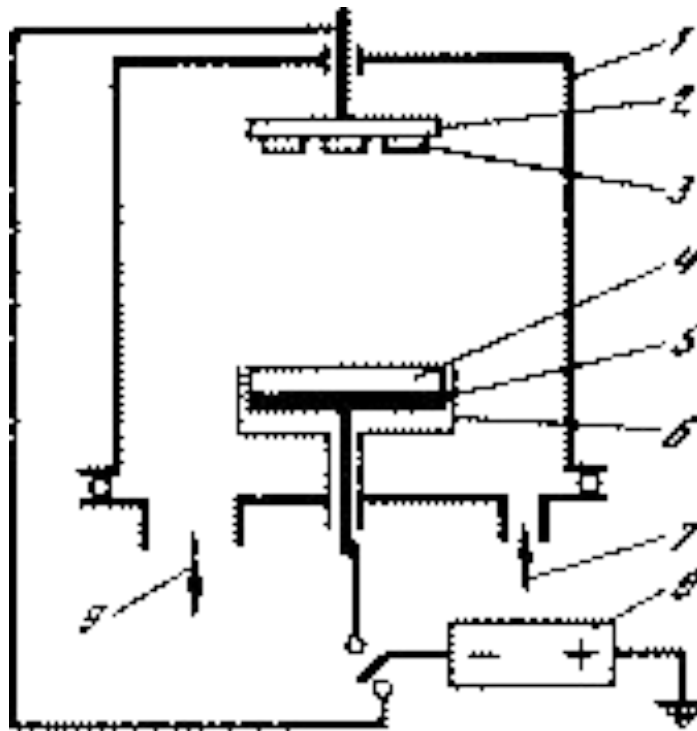
- высокая адгезия покрытия к подложке;
- равномерность покрытия по толщине на большой площади;
- варьирование состава покрытия в широком диапазоне, в пределах одного технологического цикла;
- получение высокой чистоты поверхности покрытия;
- экологическая чистота производственного цикла.

# Ионное распыление

Ионные распылители разделяют на две группы: **плазмоионные**, в которых мишень находится в газоразрядной плазме, создаваемой с помощью тлеющего, дугового и высокочастотного разряда. Распыление происходит в результате бомбардировки мишени ионами, извлекаемыми из плазмы;

**автономные** источники без фокусировки и с фокусировкой ионных пучков, бомбардирующих мишень.

# Принципиальная система распыления



1- камера; 2- подложкодержатель; 3- детали (подложки); 4- мишень;  
5- катод; 6- экран; 7- подвод рабочего газа; 8- источник питания; 9- откачка.

# ХТО в среде тлеющего разряда

Диффузионные установки с тлеющим разрядом используются для проведения процессов азотирования, цементации, силицирования и других видов ХТО из газовой фазы. Глубина диффузионного слоя достигает нескольких миллиметров при равномерном насыщении всей поверхности изделия. Процесс ведется при пониженном давлении, равном  $10^{-1} - 10^{-3}$  Па, что обеспечивает существование тлеющего разряда.

## **Преимущества применения тлеющего разряда :**

- высокий коэффициент использования электроэнергии (расход только на ионизацию газа и нагрев детали);
- уменьшение длительности процесса, за счет быстрого нагрева до температуры насыщения;
- увеличения активности газовой среды и поверхностного слоя;
- возможность получения покрытий из тугоплавких металлов, сплавов и химических соединений.

## **Недостатки процесса:**

- низкое давление в камере ( $10^{-1}$  Па), малая производительность, работа в периодическом режиме,
- невозможность обработки длинномерных изделий (например, труб),
- значительный расход электроэнергии
- высокая стоимость установок.

# Ионно-диффузионное насыщение

**Преимущества** перед процессом обычного газового азотирования:

- сокращение длительности цикла в 3-5 раз;
- уменьшение деформации деталей в 3-5 раз;
- возможность проведения регулируемых процессов азотирования с получением слоев с заданным составом и структурой;
- возможность уменьшения температуры процесса азотирования до 350-400 °С, что позволяет избежать разупрочнения материалы сердцевины изделий;
- уменьшение хрупкости слоя и повышение его служебных характеристик;
- простота защиты отдельных участков деталей от азотирования;
- устранение опасности взрыва печи;
- снижение удельных расходов электрической энергии в 1,5-2 раза и рабочего газа в 30-50 раз;
- улучшения условий труда термистов.

**Недостатки:**

- невозможность ускорения процесса путем увеличения плотности ионного потока, т.к. в результате перегрева деталей снижается поверхностная твердость;
- интенсификация процесса ионного азотирования;
- наложение магнитного поля с целью увеличения плотности тока и снижения давления газа;
- за счет создания поверхности детали заданной дефектности (предварительное пластическое деформирование, термическая обработка).

## Установка ионной цементации ЭВТ 25





# Ионная цементация

- При ионной цементации в граничном слое создается высокий градиент концентрации углерода. Скорость роста науглероженного слоя материала составляет 0,4...0,6 мм/ч, что в 3...5 раз превышает этот показатель для других способов цементации. Продолжительность ионной цементации для получения слоя толщиной 1...1,2 мм сокращается до 2...3 часов.
- Вследствие низкого расхода газов, электроэнергии и непродолжительного времени обработки производственные затраты снижаются в 4...5 раз. К технологическим преимуществам ионной цементации следует отнести высокую равномерность науглероживания, отсутствие внешнего и внутреннего окисления, уменьшение коробления деталей.
- Объем механической обработки сокращается на 30 %, число технологических операций уменьшается на 40 %, продолжительность цикла обработки сокращается на 50 %.

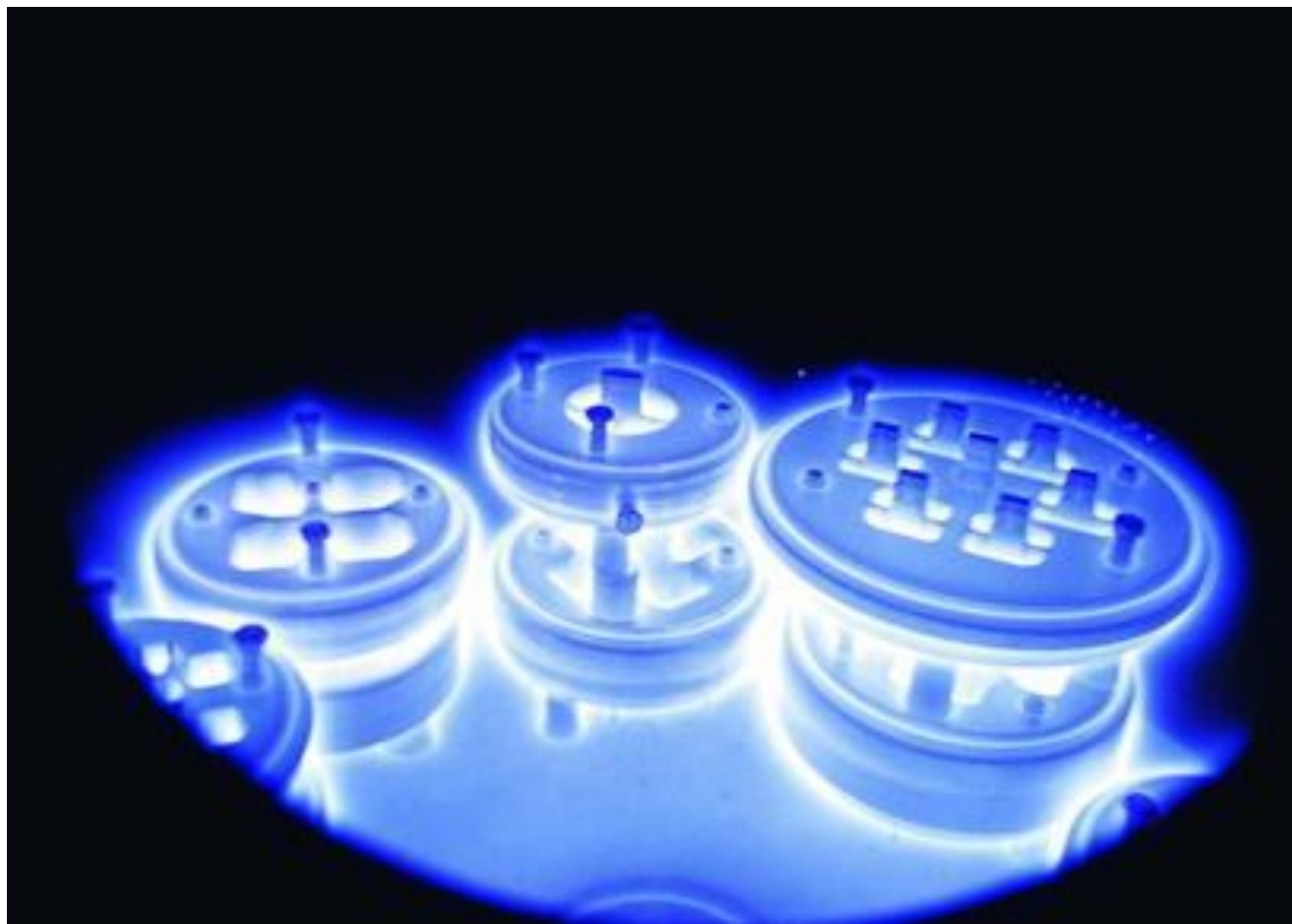
## Распределение твердости по толщине цементированного слоя при двухстадийном режиме ионной цементации



# Внешний вид установки для ионного азотирования

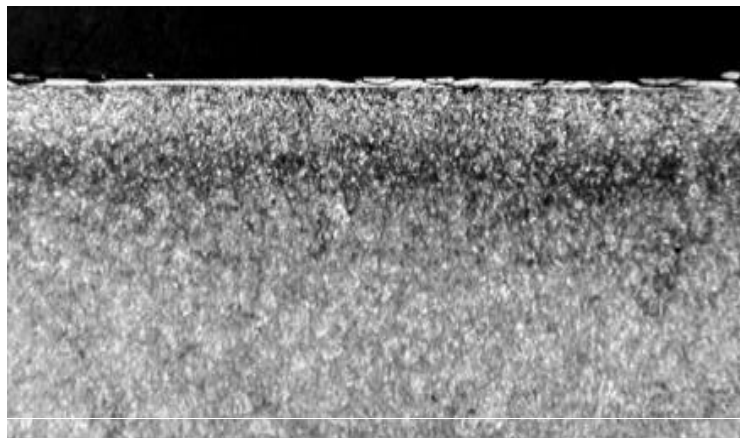


## Процесс ионного азотирования

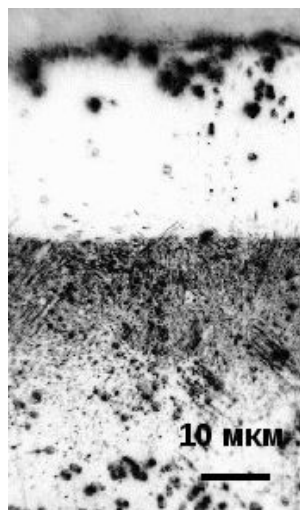


# Ионно-плазменное азотирование (ИПА)

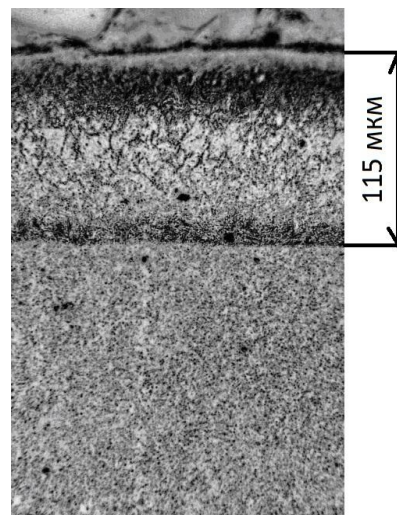
- ИПА – разновидность химико-термической обработки деталей машин, инструмента, штамповой и литейной оснастки, обеспечивающая диффузионное насыщение поверхностного слоя стали (чугуна) азотом или азотом и углеродом в азотно-водородной плазме при температуре 450 – 600 °С, а также титана или титановых сплавов при температуре 800 – 950 °С в азотной плазме.
- Сущность ионно-плазменного азотирования заключается в том, что в разряженной до 200– 1000 Па азотсодержащей газовой среде между катодом, на котором располагаются обрабатываемые детали, и анодом, роль которого выполняют стенки вакуумной камеры, возбуждается аномальный тлеющий разряд, образующий активную среду (ионы, атомы, возбужденные молекулы). Это обеспечивает формирование на поверхности изделия азотированного слоя, состоящего из внешней – нитридной зоны с располагающейся под ней диффузионной зоной.



**Микроструктура азотированного слоя инструментальной стали 4X5МФС**



а



б

**Микроструктуры сталей У8 (а) и 20X13 (б) после  
ионно-плазменного азотирования**

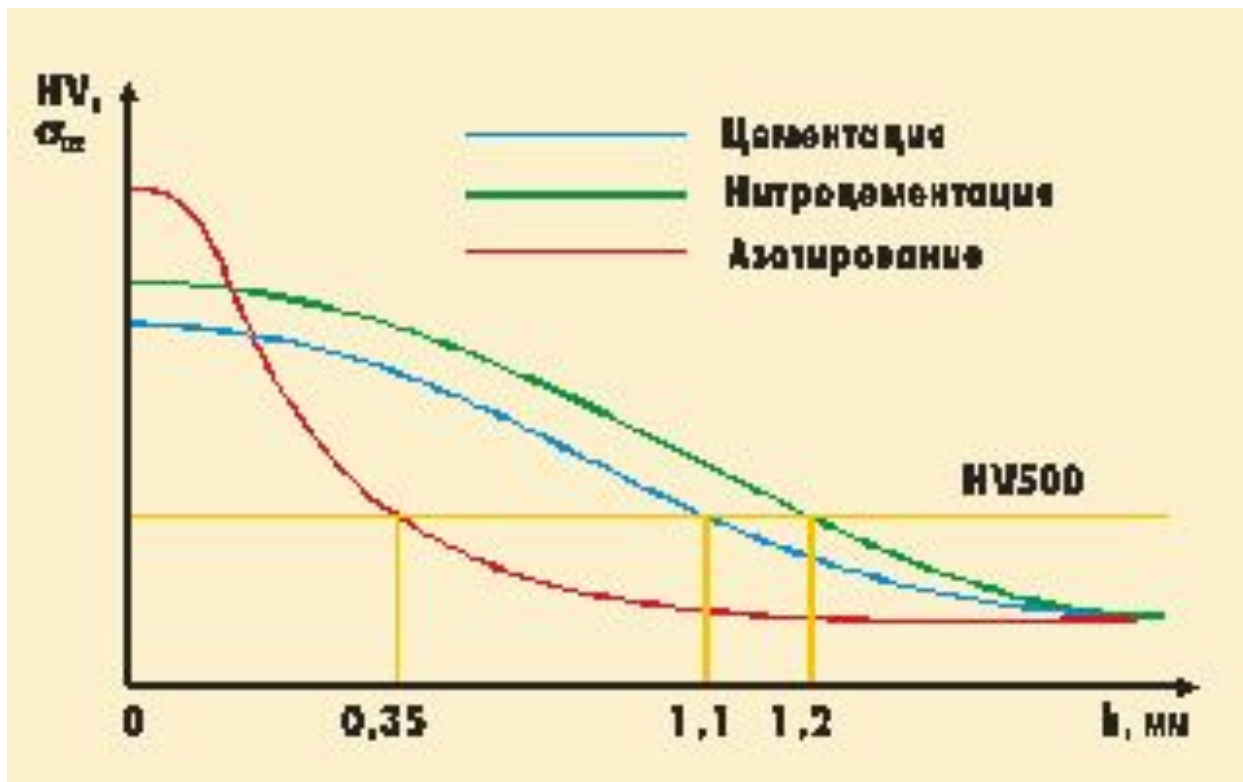
# Шестерни в камере установки



**Установка УА-63-950/3400 с изменяемой геометрией  
рабочей камеры (высота 1,7 или 3,4 м)**







Кривые изменения механических свойств по толщине слоя для различных способов ХТО

# Применение метода ионно-плазменного азотирования

данным методом обрабатываются следующие изделия:

- форсунки для легковых автомобилей, несущие пластины автоматического привода, матрицы, пуансоны, штампы, пресс-формы (Daimler Chrysler);
- пружины для системы впрыска (Opel);
- коленчатые валы (Audi);
- распределительные (кулачковые) валы (Volkswagen);
- коленчатые валы для компрессора (Atlas, США и Wabco, Германия);
- шестерни для BMW (Handl, Германия);
- автобусные шестерни (Voith);
- упрочнения прессового инструмента в производстве алюминиевых изделий (Нугховенс, Скандекс, Джон Девис и др.).
- Есть положительный опыт промышленного использования данного метода странами СНГ: Беларусь – МЗКТ, МАЗ, БелАЗ; Россия – АвтоВАЗ, КамАЗ, ММПП «Салют», Уфимское моторостроительное объединение (УМПО).
- Методом ИПА обрабатываются:
  - шестерни (МЗКТ);
  - шестерни и другие детали (МАЗ);
  - шестерни большого (более 800 мм) диаметра (БелАЗ);
  - впускные и выпускные клапаны (АвтоВАЗ);
  - коленчатые валы (КамАЗ).

# МЕТОДЫ ДИФфуЗИОННОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

## МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

ГРУППА 1

ГРУППА 2

**Электролитические покрытия**  
Хром (Cr), цинк (Zn), никель (Ni), кадмий (Cd), медь (Cu), свинец (Pb), олово (Sn), серебро (Ag); Ni – Sn, Ni-Co, Cr-Ni, бронза и др.

**Распыление (пневматическое) электродуговым или газопламенным способом**  
Алюминий (Al), медь (Cu), олово (Sn), свинец (Pb), цинк (Zn), хром (Cr), золото (Au), серебро (Ag), бронза, латунь, сталь

**Химическая металлизация**  
Серебро (Ag), медь (Cu), никель (Ni), кобальт (Co), ртуть (Hg), сурьма (Sb), цинк (Zn), золото (Au), платина (Pt), олово (Sn), и др.

**Вакуумная металлизация на холодной подложке**  
Цинк (Zn), кадмий (Cd), алюминий (Al), титан (Ti), хром (Cr), золото (Au), серебро (Ag), платина (Pt), медь (Cu), олово (Sn), вольфрам (W), молибден (Mo); Zn-Al, Pb-Zn, Pb-Cd и др.

**Катодное распыление**  
Золото (Au), серебро (Ag), платина (Pt), тантал (Ta).

ПОДГРУППА 2а

**Плакирование, в т.ч. металлизация взрывом:**  
медь (Cu), алюминий (Al), никель (Ni), серебро (Ag), вольфрам (W), тантал (Ta), бронза, латунь, нерж. сталь.

**Плазменное напыление:**  
вольфрам (W), молибден (Mo), никель (Ni), алюминий (Al), хром (Cr); оксид алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), оксид циркония (ZrO<sub>2</sub>), оксид гафния (HfO<sub>2</sub>), монокарбид вольфрама (WC), ZrB<sub>2</sub>, TiB<sub>2</sub>, CrBe<sub>2</sub>, и др.

**Погружение в расплав металлов:**  
цинк (Zn), олово (Sn), свинец (Pb), алюминий (Al), и др.

**Электрофорез:**  
вольфрам (W), молибден (Mo), алюминий (Al), медь (Cu), хром (Cr), и др.

**Вакуумная металлизация на нагретой подложке:**  
хром (Cr), титан (Ti), алюминий (Al), оксид алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), оксид циркония (ZrO<sub>2</sub>), и др.

**Электролитические покрытия с последующим отжигом:**  
хром (Cr), цинк (Zn), кадмий (Cd), алюминий (Al), никель (Ni), серебро (Ag).

**Осаждение чистых металлов из карбонильных соединений в газовой фазе:**  
хром (Cr), кобальт (Co), вольфрам (W), никель (Ni), молибден (Mo), тантал (Ta), и др.

**Осаждение карбидов, нитридов, боридов, силицидов из газовой фазы:**  
TiC, NbC, W<sub>2</sub>C, HfC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, VC, ZrN, TaN, MoSi<sub>2</sub>, CrSi<sub>2</sub>, TaB<sub>2</sub>, Ni<sub>2</sub>B и др.

ПОДГРУППА 2б

**Диффузионная металлизация элементами:**  
олово (Sn), алюминий (Al), хром (Cr), серебро (Ag), золото (Au), вольфрам (W), молибден (Mo), ниобий (Nb), цинк (Zn), никель (Ni), марганец (Mn), бериллий (Be), титан (Ti), цирконий (Zr), тантал (Ta) и др.

**Диффузионная металлизация сплавами:**  
Cr – Al  
Al-Cr-Si  
Ti-Cr-Si  
Ta-Al  
и др.

**Металлизация изделий по типу 1** производится в декоративных целях, для повышения твёрдости и износостойкости, для защиты от коррозии. Из-за слабого сцепления покрытия с подложкой этот вид металлизации нецелесообразно применять для деталей, работающих в условиях больших нагрузок и температур.

**Технология металлизации по типам 1 и 2а** предусматривает наложение слоя вещества на поверхность холодного или нагретого до относительно невысоких температур изделия.

**К этим видам металлизации относятся:** электролитические (гальванотехника); химические; газопламенные процессы получения покрытий (напыление); нанесение покрытий плакированием (механо-термический); диффузионный, погружением в расплавленные металлы.

**Технология металлизация по типу 2б** предусматривает диффузионное насыщение металлическими элементами поверхности деталей, нагретых до высоких температур, в результате которого в зоне диффузии элемента образуется сплав (Диффузионная металлизация). В этом случае геометрия и размеры металлизированной детали практически не меняются.

## Ионно-плазменная металлизация

- *Ионно-плазменная металлизация* имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими видами металлизации. Высокая температура плазмы и нейтральная среда позволяют получать покрытия с большей структурной однородностью, меньшей окисляемостью, более высокими когезионными и адгезионными свойствами, износостойкостью и др. по сравнению с этими свойствами других видов металлизации. С помощью этого метода металлизации можно распылять различные тугоплавкие материалы: вольфрам, молибден, титан и др., твердые сплавы, а также окислы алюминия, хрома, магния и др. Нанесение покрытия можно осуществлять распылением как проволоки, так и порошка.
- Собственно металлизация состоит из трех процессов: плавления твердого металла проволоки или порошка (при *ионно-плазменной металлизации*), распыления расплавленного металла и формирования покрытия.
- Материалами для напыления могут быть любые тугоплавкие металлы в виде проволоки или порошка, но могут использоваться и среднеутлеродистые легированные проволоки типа Нп-40, Нп-3ОХГСА, Нп-3Х13 и др. В условиях авторемонтных предприятий в качестве тугоплавких материалов может применяться сплав типа ВЗК (стеллит) или сормайт, обладающий высокими износостойкостью и коррозионной стойкостью.