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, борироване 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 полом 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.

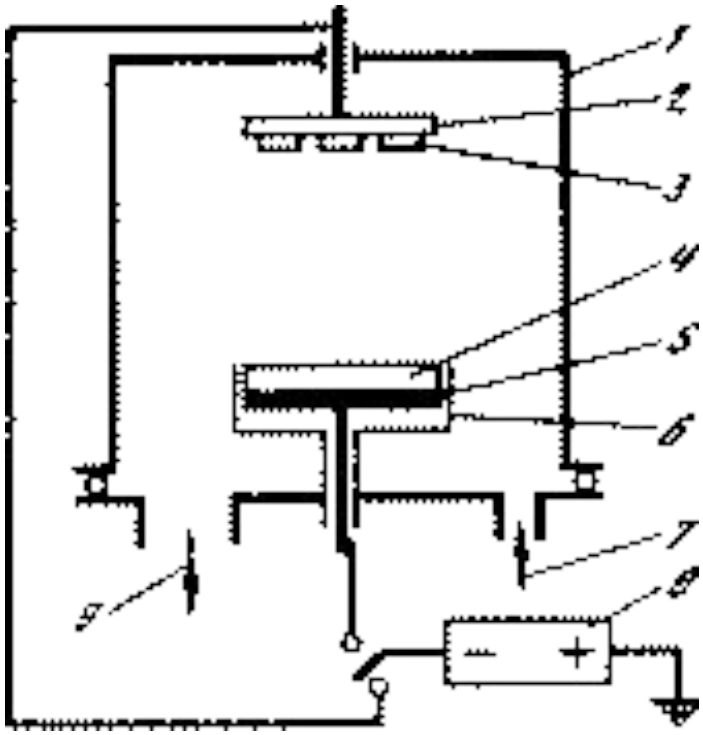
Ионное распыление

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 ^{0}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

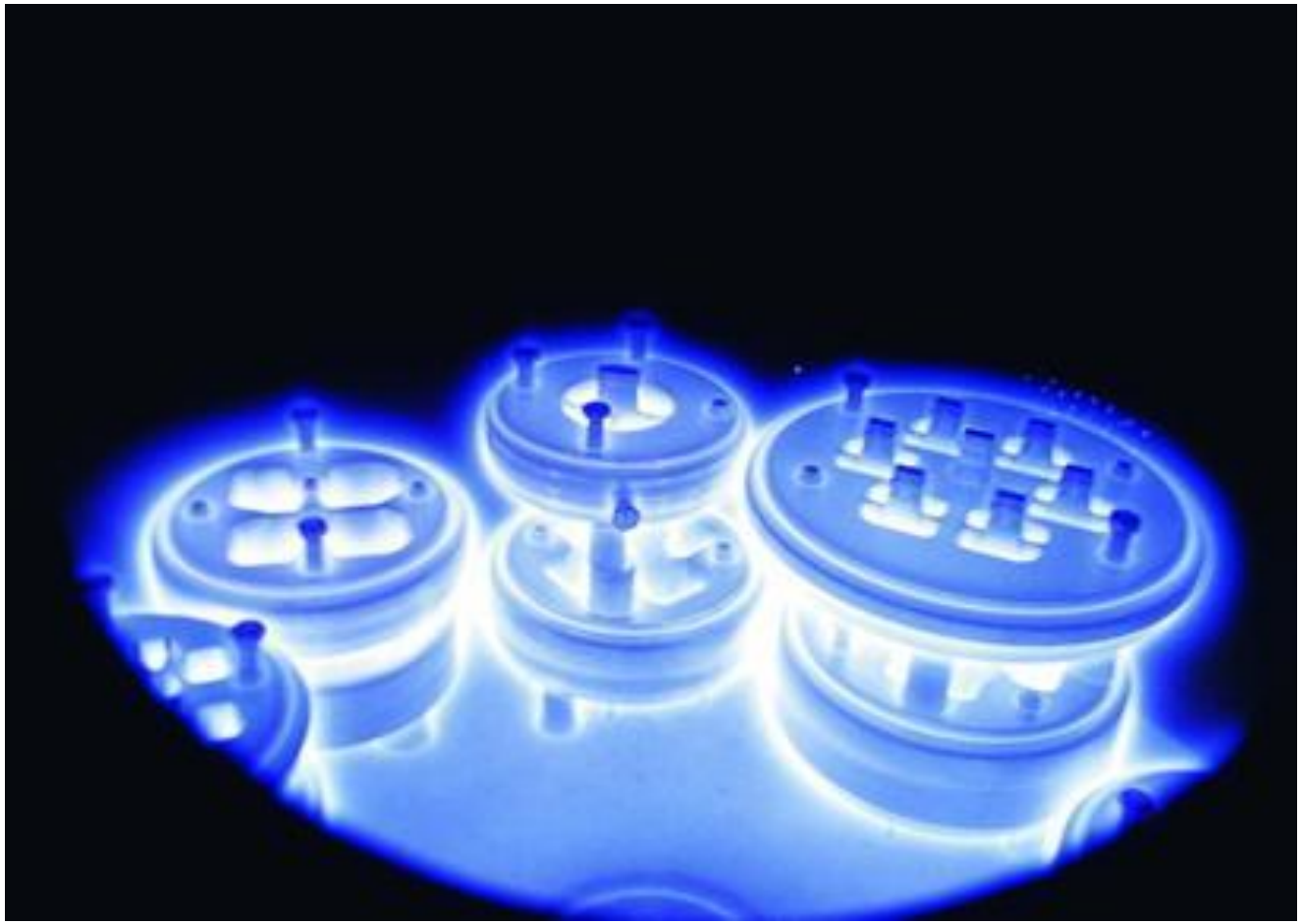
Ионная цементация

- 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

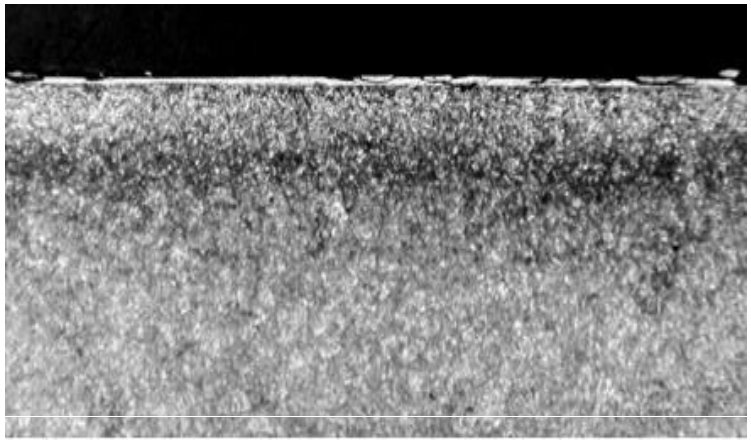
Внешний вид установки для ионного азотирования

Процесс ионного азотирования

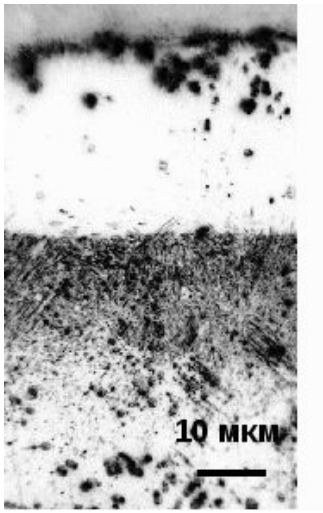


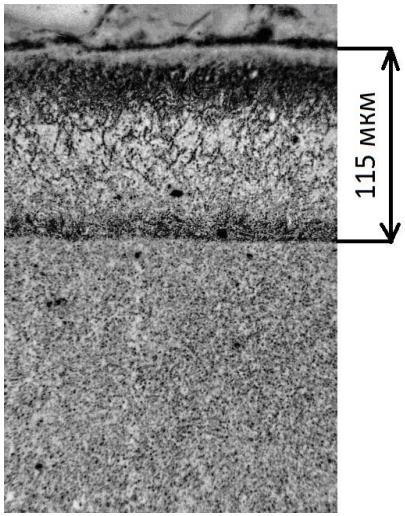
Ионно-плазменное азотирование (ИПА)

- ИПА– разновидность химико-термической обработки деталей машин, инструмента, штамповой и литьевой 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 4Х5МФС



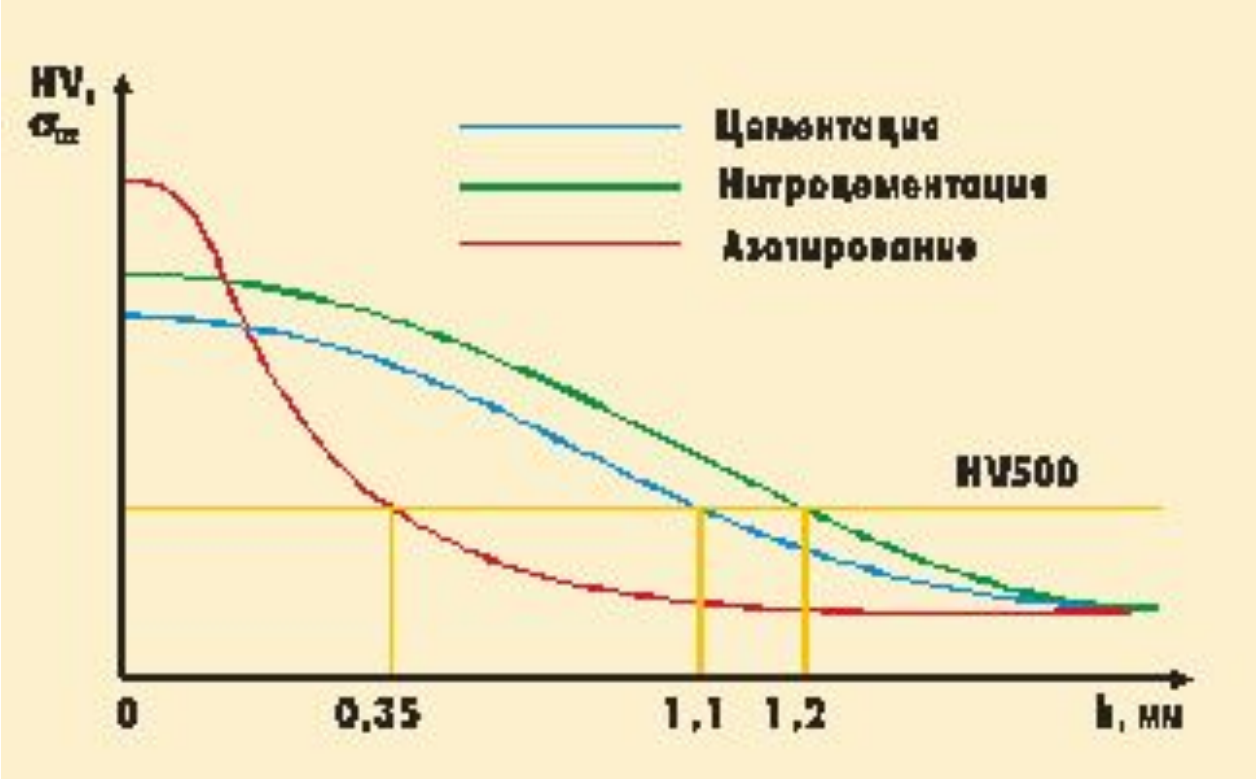


а б

Микроструктуры сталей У8 (а) и 20Х13 (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

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 (пульверизация) 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).

ГРУППА 2

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_2O_3), оксид циркония (ZrO_2), оксид гафния (HfO_2), монокарбид вольфрама (WC), ZrB_2, TiB_2, $CrBe_2$, 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_2O_3), оксид циркония (ZrO_2), 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_2C, HfC, Cr_3C_2, VC, ZrN, TaN, $MoSi_2$, $CrSi_2$, TaB_2, Ni_2B 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 металлизируемой 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 к 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.