

кости поверхностного слоя при вязкой сердцевине детали после цементации подвергают закалке (850...900°C) и низкому отпуску (180...200°C).

Цементированный слой детали после такой обработки имеет твердость HRCэ58...62, а сердцевина – порядка HRCэ 25...35. Цементация в жидких средах используется для упрочнения сталей на малую глубину, до 0,2 мм. Она осуществляется в расплаве солей 75 ...85% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и 10...15% NaCl с добавкой 6...10% карбида кремния (SiC); последний, взаимодействуя с содой, разлагается и выделяется атомарный углерод. Процесс ведется при температуре 815...850°C в зависимости от состава стали.

В последнее время имеются рекомендации о применении вакуумной цементации, проводимой при температуре 1040°C (нагрев. 45 мин, выдержка 32 мин, глубина слоя 1,25 мм) с последующей закалкой. Этот процесс имеет ряд преимуществ: высокая скорость цементации, хорошая чистота поверхности, нет внутреннего окисления, небольшой расход карбюризатора. Процесс обработки полностью автоматизирован.

Цементированные детали из легированных сталей после закалки рекомендуется подвергать обработке холодом (-40...-70°C) с последующим низким отпуском.

При обработке холодом продолжительность выдержки устанавливается не менее 2 ч. Обработка холодом проводится с целью завершения процесса превращения остаточного аустенита в структуре цементированного слоя в мартенсит, в результате чего повышаются твердость (HRCэ > 61) и износостойчивость цементированного слоя и стабилизируются размеры деталей.

УДК 669.295

### **Ионное азотирование титана и его сплавов**

Студент группы 104210 Шевцов А.Ю.

Научный руководитель – Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В настоящее время эффективным способом модификации поверхности титана и его сплавов является химико-термическая обработка (ХТО), а именно – процесс азотирования. Недостатком газового азотирования является длительное время обработки (более 30 ч), и, кроме того, температура достигает 950...1470° С. Одним из путей интенсификации процесса азотирования является использование тлеющих разрядов в газе, что позволяет наряду с большой скоростью насыщения сплавов азотом получать целенаправленно контролируемую структуру поверхностного слоя при сохранении механических свойств материала с учетом конкретных условий эксплуатации изделий.

В разряженной газовой среде между катодом и анодом возбуждается тлеющий разряд, который ионизирует газ. Ионизация газа – процесс образования положительных или отрицательных ионов из электрически нейтральных частиц. Ионизация газовой среды характеризуется степенью ионизации, равной отношению концентраций заряженных частиц к концентрации нейтральных частиц.

Вольт-амперная характеристика газового разряда – это кривая, характер которой обусловлен большим числом факторов, основными из которых являются: давление, состав газа, материал катода, температура процесса, состояние поверхности, и конфигурация электродов.

Тлеющий разряд – это самостоятельный газовый разряд, отличающийся малой плотностью тока на катоде и большим катодным падением потенциала. Таким образом, ионная ХТО – это химико-термическая обработка в сильных электростатических полях, т. е. катодный процесс. Положительные ионы газа, ускоренные в области катодного падения потенциала, непрерывно бомбардируют поверхность катода и выбивают из него электроны.

Процессы ХТО осуществляются при аномальном (нестабильном) и сильноточном тлеющем разряде (рисунок 1).

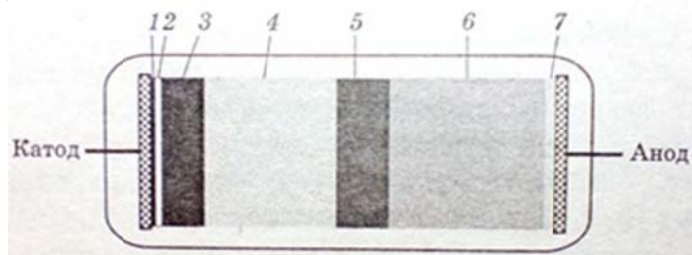


Рисунок 1. – Структура тлеющего разряда:

- 1 – темное пространство; 2 – катодная тлеющая кромка; 3 – темное катодное пространство;  
 4 – область отрицательного тлеющего свечения; 5 – темное фарадеево пространство;  
 6 – светящийся положительный столб; 7 – анодное свечение

При этом поверхность катода излучает характерное люминесцентное свечение в виде так называемой катодной тлеющей кромки. Она ограничена узким пространством 0,5...2,0 мм. В области темного катодного пространства происходит интенсивная ионизация частиц газа. При расстоянии между анодом и катодом менее 2 мм тлеющий разряд не может существовать. Это обстоятельство используют на практике для локальной защиты от ХТО с помощью экранов.

Тлеющий разряд может быть получен при любых давлениях газа. При взаимодействии (соударениях) положительно заряженных ионов с насыщаемой деталью (катодом) происходит равномерный нагрев поверхности детали; катодное распыление; диффузионное насыщение. Чтобы убедиться в том, что ионное азотирование действительно положительно сказывается на механических характеристиках титана рассмотрим этот процесс на примере сплава ВТ6.

Ионное азотирование проводилось при следующих параметрах: в условия проявления ЭПК рабочее давление  $P = 80$  Па, ток разряда  $I = 1,5$  А, и напряжение разряда  $U = 600$  В; без ЭПК рабочее давление  $P = 300$  Па, ток разряда  $I = 3$  А, и напряжение разряда  $U = 600$  В.

Результаты измерения микротвердости по глубине азотированного слоя представлены на рисунке 2. По графику видно, что ионное азотирование с проявлением ЭПК имеет преимущество перед традиционным ионным азотированием в толщине получаемого слоя.

Наблюдается увеличение толщины упрочненного слоя со 180 мкм до 380 мкм, (примерно в 2 раза).

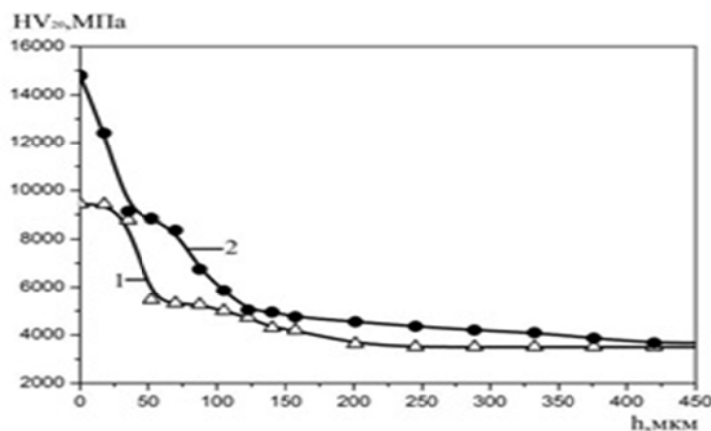


Рисунок 2 – Изменение микротвердости по глубине азотированного слоя:  
 1 – без ЭПК; 2 – с проявлением ЭПК (эффект полого катода)

Таблица 1 – Микротвердость с поверхности азотированных образцов

Способ азотирования	Исходная микротвердость Hv20 МПа	После азотирования Hv20 МПа	Время насыщения $\tau$ , ч	Режимы ионного азотирования			
				P, Па	T, °C	I, А	U, В
С ЭПК	3570	14800	4	90	50	1,5	600
Без ЭПК		9430		300		3	

Таким образом видно, что микротвердость образцов из исследуемого сплава после азотирования в тлеющем разряде с проявлением ЭПК увеличилась 4,1 раза, а без ЭПК – в 2,6 раза по отношению к твердости исходного материала. Кроме этого ионное азотирование с проявлением ЭПК имеет преимущество перед традиционным ионным азотированием в толщине получаемого слоя примерно в 2 раза.

УДК 621.785.4

### Использование газовой закалки в машиностроении

Студент гр. 10401113 Кацеба Г.В.  
 Научный руководитель – Вейник В.А.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Растущий интерес к газовой закалке объясняется эксплуатационными и экологическими преимуществами этой технологии, по сравнению с традиционной масляной закалкой. Детали, прошедшие газовую закалку, чисты и не требуют последующих доводочных операций. Кроме того, использование азота, аргона или гелия в качестве закалочной среды избавляет от необходимости в системах противопожарной безопасности.

При закалке в жидких средах охлаждение происходит за счет одновременного теплоотвода по следующим механизмам: парообразование, кипение и конвекция. Все это приводит к возникновению значительных термоградиентов в закаливаемых деталях. В случае закалки в газовых средах имеет место лишь конвекционный теплоотвод во всем диапазоне температур.

Более равномерная скорость охлаждения приводит к снижению уровня напряжений в закаливаемых деталях. Это преимущество, особенно, важно в массовом производстве, например, в автомобильной промышленности, поскольку расходы на окончательную доводку и отделку можно либо существенно сократить, либо, вообще, избежать их. Другое преимущество газовой закалки – возможность в широких пределах варьировать скорость охлаждения, за счет регулировки давления и скорости газа.

Газовая закалка производится в вакуумных электропечах (рисунок 1) и обладает рядом преимуществ, по сравнению с общепринятыми системами закалки в жидких охлаждающих средах:

- гибкое изменение скоростей охлаждения, даже в пределах одного цикла.
- газовая закалка обеспечивает полное упрочнение многих сталей, которые ранее калились в масле. В случае закалки в жидкостях, когда скорость охлаждения фиксирована, требуются системы из нескольких ванн.
- можно осуществлять микропроцессорный контроль и создавать направленный газовый поток для обеспечения однородности охлаждения.
- возможность более тщательного контроля скоростей разогрева и закалки, что обеспечивает повышение производительности и сведение к минимуму деформаций деталей.
- детали, прошедшие газовую закалку имеют не окисленную, светлую поверхность.