

**Структурный анализ азотирования титановых сплавов**

Студент гр. 10405119 Матюков И.М.

Научный руководитель - Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет

Титан и титановые сплавы благодаря сочетанию таких механических свойств, как удельная и абсолютная прочность при комнатных и повышенных температурах (вплоть до 550°C) нашли широкое применение в космической, авиационной, а благодаря высокой коррозионной стойкости и биосовместимости, в химической промышленности и восстановительной медицине [1].

Однако следует отметить, что титановые сплавы обладают низкой износостойкостью и большим коэффициентом трения [2].

Прибегая к термической обработке и легированию, проблематично существенно повысить вышеперечисленные свойства титановых сплавов. Наиболее перспективным методом повышения данных свойств является диффузионное поверхностное легирование, в частности, азотирование [2].

Для ХТО деталей из титановых сплавов неприемлемы среды, используемые для обработки сталей, особенно с содержанием водорода, который приводит к водородному охрупчиванию титана [2].

Не решенной до конца проблемой является так же опасность образования диффузионно-непроницаемой нитридной корки на поверхности титана при азотировании.

Подходящим решением для повышения эксплуатационных свойства титановых может быть выбрано ионно-плазменное азотирование (ИПА).

Анализ диаграммы Ti-N (рисунок 1) показывает возможную последовательность формирования фаз. Это соответствует общему механизму образования диффузионного слоя при ХТО, т. е. определяется последовательностью их расположения вдоль изотермической горизонтали при температуре ИПА.

Диффузионный слой после ИПА в общем случае может состоять из следующих фаз: твердый раствор  $\alpha$ -Ti с ГПУ решеткой ( $\alpha$ -фаза),  $\beta$ -Ti с ОЦК решеткой ( $\beta$ -фаза), фаза внедрения TiN с ГЦК решеткой ( $\delta$ -фаза) и промежуточный нитрид  $Ti_{2-3}N$  ( $\epsilon$ -фаза). Высокая микротвердость (1700-2000 HV<sub>0,1</sub>) вкупе с золотистым цветом позволяют судить о том, что диффузионный слой в основном состоит из  $\delta$ -фазы (TiN), которая выявляется в микроскопе в виде светлого слоя толщиной до 10 мкм. Под слоем  $\delta$ -фазы может находиться темный подслой нитрида  $Ti_{2-3}N$  ( $\epsilon$ -фаза) с толщиной 1-3 мкм, который образуется в процессе охлаждения из нитрида  $\delta$ -фазы. При увеличении температуры как правило, относительная толщина TiN уменьшается, а  $Ti_{2-3}N$  увеличивается [3].

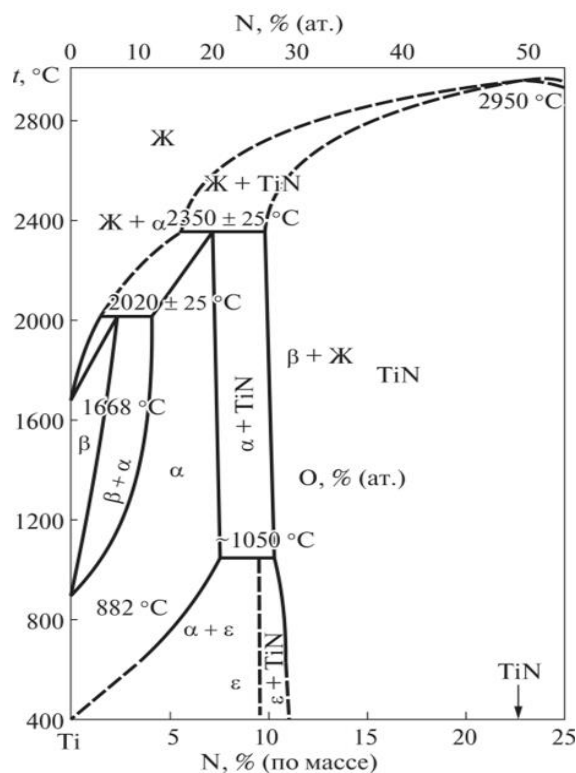


Рисунок 2 - Диаграмма состояния Ti-N

Проведение азотирования титановых сплавов в тлеющем разряде существенно интенсифицирует процесс. К примеру, слой в 50 мкм получается на техническом титане при выдержке 13 часа при температуре 950°C, тогда как при ИПА необходимо 3 часа [4].

Азотирование титановых сплавов в среде аммиака применяют редко в виду присутствия в рабочей камере водорода, что приводит к водородной хрупкости. ИПА титановых сплавов в среде очищенного азота происходит интенсивнее, чем в среде аммиака [4].

Давление азота в камере оказывает существенное влияние на толщину диффузионного слоя и нитридной зоны. Для формирования азотированного слоя без хрупкой нитридной зоны можно либо уменьшить подачу азота, либо разбавить его инертным газом, например аргоном [4].

Толщина нитридной зоны монотонно возрастает с повышением давления азота в рабочей камере, тогда как рост диффузионного слоя имеет экстремальный характер [4].

Существенного уменьшения нитридной зоны при ИПА на титановых сплавах можно добиться малой скоростью подачи азота к поверхности металла, которая становится лимитирующим фактором всего процесса. В данных условиях весь поступающий к поверхности азот переходит в твердый раствор, и технологически это осуществимо разбавлением азота аргоном [4].

При обработке титановых сплавов в аргон азотной смеси слой состоит в основном из диффузионной зоны, представляющие собой высокоазотистые твердые растворы [4].

Зависимость толщины азотированного слоя при ИПА, как и любой термически активный процесс, подчиняется экспоненциальному закону, а кинетика описывается квадратичной параболической зависимостью, так как процесс контролируется диффузией азота в металле [4].

Таким образом титан и титановые сплавы являются высокотехнологичным материалом, применяемым в отраслях машиностроения, в которых требуется сочетание высокой прочности, пластичности, технологичности и коррозионной стойкости: авиастроение, космическая отрасль, химическая промышленность, восстановительная хирургия.

Для повышения эксплуатационных свойств и соответствия требованиям промышленности титановые сплавы подвергают термодиффузионной обработке, наиболее эффективной из которых является ионно-плазменное азотирование (ИПА). С помощью варьирования параметров ИПА, таких как температура, насыщающая способность смеси и давление азота можно получать, как твердорастворные диффузионные слои, так и нитридные покрытия.

#### Список использованных источников

1. Ходосевич Д. А. Титан и области его использования / Д. А. Ходосевич; науч. рук. В. М. Комаровская // Современные технологии и образование: проблемы, идеи, перспективы: материалы Международной научно-практической конференции (27-28 ноября 2014). В 2 ч. Ч. 2 / ред. колл. : Б. М. Хрусталева [и др. ]. – Минск: БНТУ, 2014 – С. 218 – 220.
2. Шевцов, А. Ю. Азотирование титана и его сплавов / А. Ю. Шевцов, А. Ю. Савич; науч. рук. Г. А. Ткаченко // Новые материалы и технологии их обработки: сборник научных работ XVI Республиканской студенческой научно-технической конференции, 22 – 24 апреля 2015 года / Белорусский национальный технический университет, Механико-технологический факультет. – Минск: БНТУ, 2015. – С. 29 - 31.
3. Kukareko V. A., Konstantinov V. M., Vereshchak N. A., Grigorichik A. N. Structure of commercial titanium subjected to low-temperature ion nitriding // Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials. 2022. №1, P. 48 – 55.
4. Верещак Н. А. Исследование процесса азотирования сплавов медицинского назначения: дис. магистр: 17. 01. 2021. – БНТУ, Минск – 90 с.