

**Методология повышения механических свойств термодиффузионных слоев на сплавах медицинского назначения**

Магистрант гр. 50401123 Матюков И.М.

Научный руководитель - Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

В современном мире сплавы медицинского назначения являются важным классом материалов, которые используются для изготовления имплантатов, ортопедических устройств, хирургического инструментария и прочих изделий.

Они обладают специальными свойствами, которые делают их подходящими для использования в чувствительных медицинских условиях, где требуется высокая биосовместимость, механическая прочность и стойкость к коррозии в агрессивных средах человеческого организма.

В качестве таких материалов широко применяются титановые сплавы, сплавы системы CoCr и некоторые нержавеющие стали.

Биологическая безвредность и инертность титана делает его незаменимым материалом в восстановительной хирургии [1]. Он идет на изготовление пластин, шайб, винтов, стержней, применяемых для восстановления костных тканей.

Сплавы системы CoCr являются широко используемыми биоматериалами для изготовления искусственных имплантатов, которые подвергаются повышенным циклическим нагрузкам [2]. Они предназначены для изготовления коронарных и периферических стентов, стентов для венозных шунтов, эндопротезов коленного сустава и зубных протезов.

Нержавеющая сталь должна обеспечивать стерильность, механическую прочность и твердость изделия [3]. Из нержавеющих сталей медицинского назначения производят высокоточные хирургические инструменты многоразового использования.

Высокими перспективами повышения эксплуатационных характеристик поверхностных термодиффузионных слоев медицинских сплавов является метод упрочнения в плазме тлеющего разряда или же ионно-плазменное азотирование (ИПА).

Метод ИПА является относительно новым и инновационным способом термодиффузионной обработки материалов.

Полный технологический процесс упрочнения изделий методом ИПА включает в себя следующие операции [4]: предварительная термообработка, механическая обработка, защита поверхности детали, непосредственно термодиффузионное насыщение, постобработка.

При ИПА в разряженной газовой среде между насыщаемой деталью (катодом) и стенками вакуумной камеры (анодом) возбуждается тлеющий разряд, который ионизирует газ. Процесс ИПА проводится при аномальном (нестабильном) и сильноточном тлеющем разряде [4]. Тлеющий разряд является самостоятельным газовым разрядом, отличающимся малой плотностью тока на катоде и большим катодным падением потенциала.

Сущность метода ионно-плазменного азотирования заключается в следующем: положительные ионы газа, ускоренные в области катодного падения потенциала, непрерывно бомбардируют поверхность насыщаемой детали и выбивают из него электроны. Ионная имплантация насыщающего элемента осуществляется посредством «бомбардировки» поверхности детали положительно заряженными ионами насыщающего газа. При взаимодействии положительно заряженных ионов насыщающего газа с насыщаемой деталью происходит равномерный нагрев поверхности детали. В процессе ионы газа проникают в насыщаемую деталь и тормозятся в нем за счет многократных соударений с атомами насыщаемой детали [4].

Характер распределения насыщающего элемента зависит от энергии внедряемых ионов, физико-химических свойств насыщающего элемента и насыщаемой детали [4].

Процесс ионно-плазменного азотирования включает в себя две стадии, отличающиеся технологическими параметрами:

–Катодное распыление (очистка поверхности детали) происходит в течении 5-60 мин при напряжении 1100-1400 В и давлении азотсодержащей атмосферы 13-26 Па. При этом температура поверхности детали не превышает 250°C;

–Импантация ионов их перераспределение в кристаллической решетке насыщаемой детали. Осуществляется при температуре 470-580°C и давлении азотсодержащей атмосферы 130-1300 Па в течении 1-24 ч при напряжении 400-1100В [5].

Как показано в работе [5] при ИПА увеличиваются не только микротвердость (микротвердость поверхностного слоя деталей после азотирования достигает HV 11000-12000) и износостойкость, но также повышается коррозионная стойкость, в том числе и в агрессивных средах человеческого организма.

При сравнительной оценке существующих методов термодиффузионной обработки в первую очередь необходимо учитывать их достоинства и недостатки [5].

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов азотирования

№	Метод	Достоинства	Недостатки
1	Газовое азотирование	Технологическая простота, отсутствие специального оборудования	Большая длительность процесса
2	Азотирование в жидких средах	Высокие физико-механические свойства покрытий	Токсичность и высокая стоимость материалов
3	Ионно-плазменное азотирование	Сокращение времени обработки, экологичность и безопасность	Дорогостоящее оборудование

Следует отметить, что в настоящее время не существует метода азотирования, который бы по своим технико-экономическим показателям значительно превосходил все остальные. Каждый из методов азотирования имеет достоинства и недостатки. Выбор метода должен проводиться с учетом характера обрабатываемых изделий, условий их работы, массовости изготовления и экономической эффективности.

Выбор ИПА в качестве метода получения термодиффузионных слоев связан с наличием некоторых преимуществ по сравнению с прочими методами: она имеет самый короткий, а соответственно и более экономически эффективный, технологический процесс, а также обладает малой степенью деформации деталей, отсутствие необходимости в депассивации, экономичностью и экологичностью. Так же ИПА титана и его сплавов не допускает появление водородной хрупкости за счет отсутствия в насыщающей газовой смеси атомарного водорода.

Таким образом можно заключить, что надлежащее повышение механических и эксплуатационных свойств термодиффузионных защитных слоев на титановых сплавах, сплавах системы CoCr и нержавеющей сталях медицинского назначения возможно осуществить при помощи метода ИПА. Данный метод выгодно отличается от других способов азотирования сокращением времени обработки, малой степенью деформации изделий, а также экономичностью, экологичностью и безопасностью.

## Список использованных источников

1. Храмкова, А. С. Особенности изготовления и применения титана и его сплавов в медицине / А. С. Храмкова, М. И. Филонова // Приборостроение-2022: материалы 15-й Международной научно-технической конференции, 16-18 ноября 2022 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 272-274.

2. Структура и свойства сплавов на основе системы Со-Сг для биосовместимых изделий медицинского назначения / П. Е. Лущик [и др.] // Литье и металлургия. – 2022. – № 4. – С. 108-114.

3. Медицинская нержавеющая сталь: особенности и свойства металла / [Электронный ресурс]. – режим доступа URL: <https://ooomedikon.ru/articles/meditsinskaya-nerzhaveyushchaya-stal-osobennosti-i-svoystva-metalla> (дата обращения: 12.11.2023).

4. Ворошнин, Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки: учеб. пособие / Л.Г. Ворошнин, О.Л. Менделеева, В.А. Сметкин. – М.: Новое знание; Минск: Новое знание, 2010. – 304 с.

5. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.