

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ В ТИТАНЕ ПОСЛЕ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Гордиенко А.И., Поболь И.Л., Дробов А.Н.
Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь, E-mail: drobovandrey@yandex.ru

Введение

Титан и его сплавы, благодаря уникальному сочетанию свойств, занимают важное место среди материалов в современной технике. Однако высокая химическая активность создает значительные трудности при их получении, обработке и в процессе эксплуатации. Химико-термическая обработка титановых сплавов позволяет повысить износостойкость, жаростойкость, коррозионную стойкость изделий, расширить сферу их применения и увеличить ресурс работы. Используются оксидирование, хромирование, азотирование, нанесение защитных покрытий и другие методы инженерии поверхности [1].

Изделия из титановых сплавов имеют высокий коэффициент трения в парах трения с металлами, особенно в паре титан-титан. Решением этой проблемы может стать насыщение поверхностного слоя титановых изделий азотом. Наиболее перспективным и технологичным методом азотирования является азотирование в плазме аномального тлеющего разряда (ионно-плазменное азотирование, ИПА). Такой метод обеспечивает высокий уровень воспроизводимости результатов, высокую скорость насыщения, возможность управлять структурой диффузионного слоя с учетом условий эксплуатации деталей. Кроме того, ИПА является наиболее экологичным методом химико-термической обработки. Следует отметить, что количество публикаций, посвященных исследованию метода ИПА сплавов титана, ограничено, хотя для поверхностного упрочнения сталей эта технология нашла чрезвычайно широкое применение [2,3].

Однако, при применении титановых сплавов не всегда требуется наличие на поверхности нитридной зоны экстремальновысокой твердости. В некоторых случаях предпочтительнее получать только диффузионный упрочненный слой. Это связано с высокой твердостью нитридного слоя, порядка 1000-1400 HV, который в процессе эксплуатации может скалываться, и осколки нитрида титана, попадая в зону трения, вызывают повышенный износ компонентов и приводят к выходу из строя всей пары трения. Получить диффузионный слой без наличия нитридной зоны на поверхности достаточно сложно. Одним из путей решения этой проблемы является комбинированная обработка, включающая воздействие на азотированный слой электронным лучом [4].

Материалы и методики

Для исследований использованы образцы технически чистого титана марки ВТ1-0. ИПА проводили на установке производства ФТИ НАН Беларуси при 850°C в течение 3 ч.

После азотирования образцы подвергали электронно-лучевому воздействию на установке с энергоблоком ЭЛА-15 с различными значениями тока луча, тока фокусировки (диаметра пятна) и скорости перемещения зоны нагрева (таблица). Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера AFFRI. Фотографии микроструктуры образцов получали с помощью микроскопа МИ-1, использован травитель – раствор HNO₃ и HF.

Таблица – Параметры электронно-лучевого воздействия

Номер образца	Ток луча, мА	Диаметр пятна, мм	Скорость перемещения, мм/с
1	35	4	23
2	37	4	23
3	40	4	23
4	35	8	17,5
5	37	8	17,5
6	40	8	17,5

Результаты исследования

На рисунке 1 представлена микроструктура образца из сплава ВТ1-0 после ионного азотирования и график распределения микротвердости по глубине азотированного слоя. На микроструктуре, у поверхности можно наблюдать нитридный слой толщиной 50–60 мкм, с твердостью HV 800-1100. При этом структура основного металла сохраняется достаточно мелкозернистой, т.к. процесс азотирования осуществляется ниже температуры $\alpha \rightarrow \beta$ -перехода.

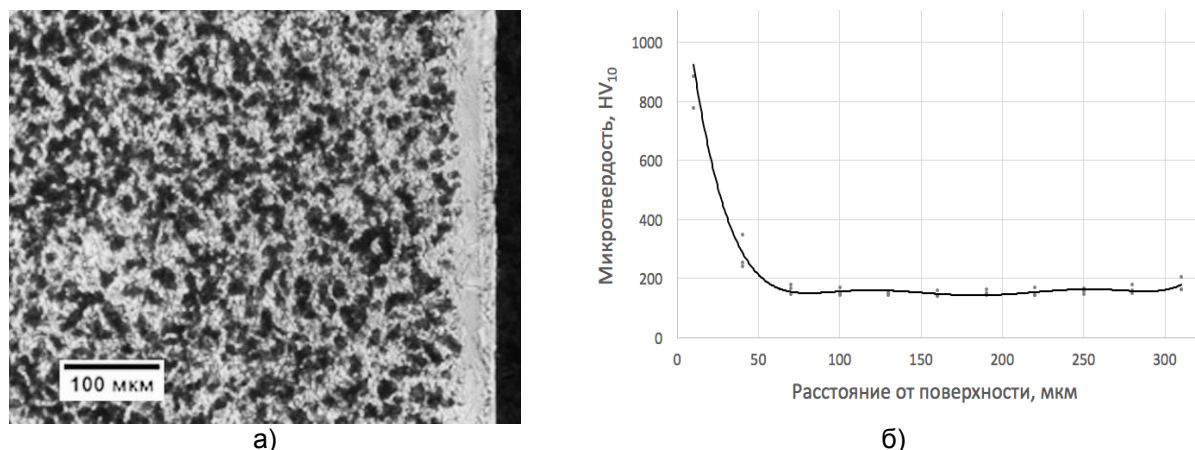


Рисунок 1 – Микроструктура образца из ВТ1-0 после ИПА (а) и распределениемикротвердости по глубине азотированного слоя (б)

На рисунке 2 представлены графики распределения микротвердостей в образцах после электронно-лучевого нагрева. Такая обработка азотированной поверхности приводит к удалению нитридного слоя с поверхности, снижению твердости материала до значений, примерно в два раза превышающих твердость основы. С увеличением тока электронного луча твердость азотированного слоя снижается. Уменьшение скорости прохождения луча по поверхности, сопровождающееся увеличенным энергосложением в образец, приводит к заметному снижению твердости из-за оплавления материала (рис. 2, б). У самой поверхности можно наблюдать провал в микротвердости из-за малой скорости перемещения луча.

Областью дальнейших исследований будет подбор оптимальных параметров электронно-лучевого воздействия, при котором не будет происходить оплавление поверхности с интенсивным ростом зерна (как на рис. 3, а), но в то же время достаточным для распада нитридов титана с сохранением зоны повышенной твердости (как на рис. 3, б).

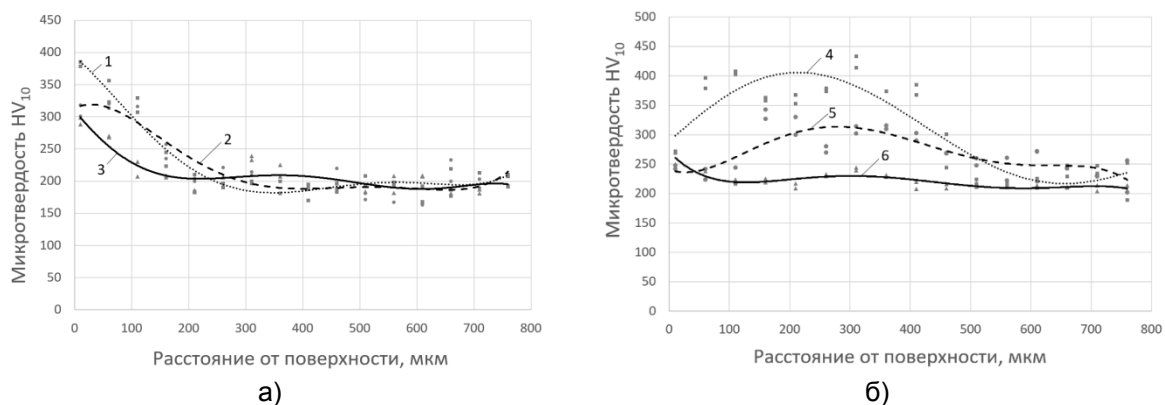


Рисунок 2 – Распределениемикротвердости по глубине азотированного слоя после электронно-лучевой обработки образцов 1, 2, 3 (а) и 4, 5, 6 (б)

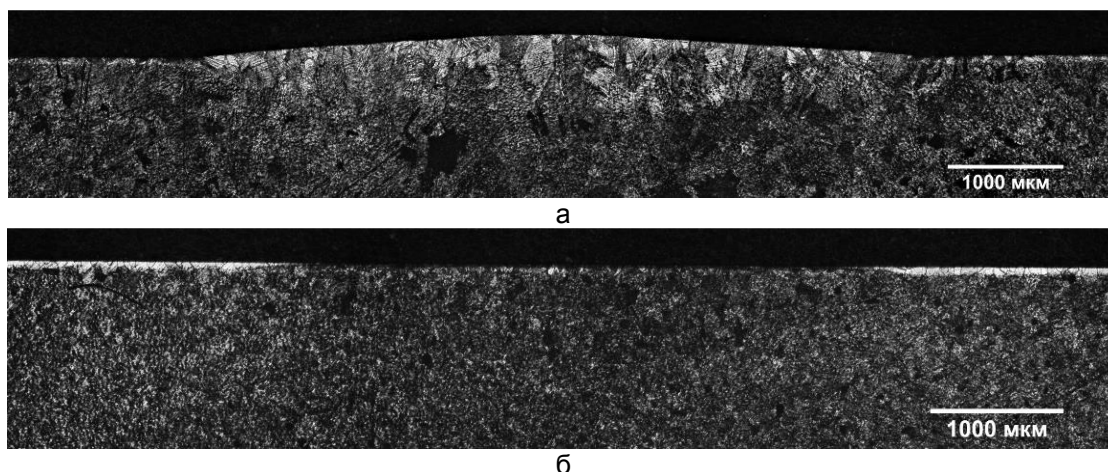


Рисунок 3 – Микроструктура образцов сплава ВТ1-0 после ИГА с оплавленной поверхностью и увеличенным размером зерна (а) и распавшимся нитридом титана, без оплавления поверхности

Выводы

Комбинированная обработка изделий из титановых сплавов, включающая воздействие на предварительно азотированный слой электронным лучом, позволяет сформировать на поверхности диффузионную зону с повышенной твердостью. Электронно-лучевая обработка может приводить к удалению с поверхности азотированного слоя нитрида титана. Снижение твердости материала при этом можно объяснить распадом нитридного слоя, часть высвободившегося азота переходит в кристаллическую решетку титана, образуя твердый раствор внедрения. При неоптимальных условиях обработки большая часть азота из материала испаряется. Образование протяженной модифицированной зоны с повышенной микротвердостью (рисунок 2б, образцы 4, 5) при столь кратковременном воздействии, может быть объяснено тем, что коэффициент диффузии азота в β -состоянии на несколько порядков выше, чем в α -фазе.

Список литературы:

1. Гордиенко А.И., Шипко А.А. Структурные и фазовые превращения в титановых сплавах при быстром нагреве. - Минск: Наука и техника, 1983. — 336 с.
2. Basyakov M.N., Kozlov A.A., Poboll L. Nitrogen transfer during ion nitriding/ Inżynieria Powierzchni. 2015, №3. P. 3-9.
3. Босяков М.Н., Бондаренко С.В., Бондаренко А.С., Жук Д.В., Поболь И.Л. Новое оборудование ионно-плазменного азотирования / Сварщик (Украина), 2013, №3 (91), с.30-34; Сварщик в России, 2013, №4. С.36-40.
4. Шипко А.А., Поболь И.Л., Урбан И.Г. Упрочнение сталей и сплавов с использованием электронно-лучевого нагрева. - Минск: Навука і тэхніка, 1995. – 280 с.