

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

В.М. КОНСТАНТИНОВ, В.Г. ДАШКЕВИЧ

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

В.А. КУКАРЕКО, А.В. КУШНЕРОВ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,

г. Минск, Республика Беларусь

Низкотемпературное азотирование приводит к образованию модифицированного азотом поверхностного слоя (до 10 мкм), содержащего твердый раствор азота в гексагональной плотноупакованной (ГПУ-) решетке матричной α -фазы (200–220 HV_{0,05}). Азотирование титана VT1-0 обеспечивает формирование модифицированных слоев глубиной до 20 мкм, содержащих низкоазотистую фазу TiN_{0.26} повышенной микротвердости.

Проблема повышения прочностных и триботехнических свойств титана весьма актуальна. Практические возможности химико-термической обработки титана велики. [1–4]. Известно, что ионно-плазменное азотирование позволяет существенно повысить дюрометрические и триботехнические свойства различных сплавов [5]. Традиционно ионное азотирование титана и его сплавов проводят при высоких температурах [2; 6]. Проблемой традиционного азотирования является высокая термодинамическая активность титана и, как следствие, ускоренное образование диффузионно-непроницаемой хрупкой нитридной корки, не позволяющей получить требуемую степень поверхностного легирования.

Актуальным является исследование влияния различных режимов низкотемпературного ионного азотирования на структурно-фазовое состояние технического титана.

Исследовали образцы из титана VT1-0 (ГОСТ 19807- 91) в состоянии поставки, после отжига на равновесное состояние, а также после ионно-плазменного азотирования. Ионно-плазменное азотирование VT1-0 проводилось на установке ИПА 0.361 при температуре 550 °С в течение 5 часов в аргоно-водородной среде. Управление нагревом и насыщением на стадии выдержки осуществлялось по заданной программе с помощью специализированного контроллера. Проводили металлографические исследования (Альтами MET 1MT), рентгеноструктурный анализ (ДРОН-3.0), микродюрометрический анализ (DuraScan 20).

В результате ионно-плазменного азотирования в сплаве VT1-0 на поверхности образца регистрируется тонкий слой с рекристаллизованной зеренной структурой глубиной до 40–50 мкм. Обнаружено изменение соотношения интенсивностей дифракционных линий 002 и 101 матричной титано-

вой фазы. В рекристаллизованном после ионно-плазменного азотирования слое регистрируется α -Ti и нитрид титана с низким содержанием азота $TiN_{0.26}$. Нитридная фаза $TiN_{0.26}$ (как и фаза $TiN_{0.3}$) имеет изоморфную α -титану кристаллическую ГПУ-решетку (пространственной группы $R\bar{6}_3/mmc$). Вследствие этого нитрид $TiN_{0.26}$ можно рассматривать как насыщенный твердый раствор азота в α -Ti. При этом значение параметра a кристаллической решетки фазы $TiN_{0.26}$ практически совпадает с значением того же параметра для решетки α -Ti, а значение параметра c фазы $TiN_{0.26}$ существенно превышает значение параметра c для титана. Указанный факт свидетельствует о преимущественном расположении атомов азота в октаэдрических порах ГПУ-решетки α -фазы. Глубина легированного азотом слоя составляет 10–15 мкм. Дифракционные линии от α -Ti имеют характерную асимметричную форму, что связано с наличием в поверхностном слое растворенного в матричной фазе азота. После шлифования титана ВТ1-0 асимметрия профиля исчезает, что указывает на отсутствие атомов азота в α -Ti. В результате ионно-плазменного азотирования отожженного сплава ВТ1-на его поверхности регистрируется рекристаллизованный слой, глубина которого составляет приблизительно 40–50 мкм. Фазовый состав модифицированного слоя включает в себя матричную фазу α -Ti и низкоазотистый нитрид $TiN_{0.26}$. Микротвердость азотированного слоя составляет 190–195 HV 0,01.

Таким образом, ИПА технического титана по приведенным режимам приводит к формированию тонких модифицированных азотом слоев, преимущественно содержащих изоморфные твердый раствор азота в α -титане и низкоазотистую нитридную фазу с ГПУ-решеткой. Микротвердость азотированного слоя при этом составляет приблизительно 200 HV 0,05. Необходимо отметить, что образование твердого раствора азота в матричной фазе сопровождается появлением в поверхностном слое мощных сжимающих напряжений, что приводит к увеличению циклической долговечности материалов [8]. В связи с этим низкотемпературное азотирование титана может являться перспективным способом повышения его конструкционной надежности, что весьма важно для изделий авиакосмической промышленности.

Увеличение температуры ионного азотирования титана до 620 °С сопровождается образованием в его поверхностном слое прочной гетерогенной структуры, содержащей высокоазотистые нитридные фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование влияния состава газовой среды при ионно-плазменном азотировании титановых сплавов на глубину упрочненных слоев / И. Г. Олешук [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. – С. 201–211.
2. Теория и технология азотирования / Ю. М. Лахтин [и др.]. – М. : Металлургия, 1991. – 320 с.

3. Белый, А. В. Инженерия поверхностей конструкционных материалов концентрированными потоками ионов азота / А. В. Белый, В. А. Кукареко, А. Патеюк. – Минск : Беларус. навука, 2007. – 244 с.
4. Белый, А. В. Высокоинтенсивная низкоэнергетическая имплантация ионов азота / А. В. Белый // Физическая мезомеханика. – 2002. – Т. 5, № 1. – С. 95.
5. Surface Modification of Titanium by Plasma Nitriding / M. P. Kapczinskia [et al.] // Materials Research. – 2003. – Vol. 6, no. 2. – P. 265–271.
6. Muraleedharana, T. M. Surface modification of pure titanium and Ti-6Al-4V by intensified plasma ion nitriding / T. M. Muraleedharan, E. I. Meletis // Thin Solid Films. – 1992. – Vol. 221, no. 1–2. – P. 104–113.
7. Белый, А. В. Структура и физико-механические свойства стали 40X13, подвергнутой ионно-лучевой обработке азотом / А. В. Белый, В. А. Кукареко, Э. Г. Биленко // Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 5. – С. 497–502.
8. Структура технического титана, подвергнутого низкотемпературному ионному азотированию / В. А. Кукареко [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2022. – № 1(58). – С. 48–55.