

Исследование микроструктуры, остаточных напряжений и твердости Ti-6Al-4V после процесса плазменного азотирования при различных режимах

Студенты группы 10401121 Дылевский А. В., Савчук Д. С.

Научный руководитель – Корнеева Е. К.

Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь, г. Минск

Титановый сплав Ti-6Al-4V (BT-6) является одним из ключевых материалов во многих отраслях промышленности, таких как аэрокосмическая и автомобильная, а также включая биомедицинские применение. В медицине их используют из-за высокой биосовместимости с человеческим организмом, поэтому в медицине обычно используются сплавы титана [1]. Медицинские импланты изготовленные из сплава Ti-6Al-4V (химический состав представлен в таблице 1), отечественным аналогом которого является BT-6, в основном разрабатываются с учетом устойчивости к изгибным нагрузкам [2]. Однако изделия могут деформироваться или выходить из конструкции из-за высокой изгибаемости и усталости несмотря на то, что Ti-6Al-4V обладает почти самой низкой прочностью и значительно превосходит другие медицинские металлы. Отказ устройства обычно приводит к необходимости повторной операции, что может увеличить расходы и повысит риск инвалидности пациентов.

Таблица 1 – Химический состав сплава Ti-6Al-4V

C, %	Fe, %	V, %	Al, %	N, %	H, %	O, %	Ti, %
0,1	0,4	3,5-4,5	5,5-6,75	0,05	0,015	0,2	остальное

Для повышения усталостной прочности Ti-6Al-4V при изгибе предлагается азотирование, оно является одним из видов химико-термической обработки, что увеличивает твердость и усталостную прочность, при этом не ухудшая биосовместимость [3]. Однако при применении процесса азотирования к данному сплаву имеет место следующая проблематика: слои соединений азотированного Ti-6Al-4V, которыми являются δ -TiN, Ti_2N и α -фаза, приобретают высокую твердость после более высоких температур. Из всех видов азотирования предполагается использовать плазменное азотирование, поскольку оно обеспечивает более стабильную диффузию азота и формирует более тонкий слой соединений по сравнению с другими методами азотирования. Кроме того, плазменное азотирование позволяет лучше контролировать процесс и получать более воспроизводимые результаты.

В работе [4] образцы из Ti-6Al-4V были подвергнуты плазменному азотированию при температурах 750°C и 800°C в течение 5 и 10 часов. Это основные параметры процесса, которые влияют на свойства материала. После азотирования на поверхности образцов наблюдалось изменение цвета, указывающее на формирование слоя соединений. При более высокой температуре и времени обработки поверхность становилась более шероховатой из-за роста частиц соединений Ti_2N и δ -TiN (рис 1).

Анализ микроструктуры показал, что глубина диффузионного слоя увеличивалась по мере роста температуры и времени азотирования. Рентгеновская дифракция подтвердила образование фаз Ti_2N и δ -TiN в слое соединений, причем их количество возрастало при более жестких режимах обработки (рис. 2).

Измерения остаточных напряжений методом рентгеновской дифракции выявили, что азотирование вводит сжимающие остаточные напряжения, глубина которых также увеличивалась с ростом температуры и времени. Это важно для повышения усталостной прочности при изгибе. Твердость поверхности и глубинная твердость значительно возросли после азотирования, максимальное значение достигало 643 HV.

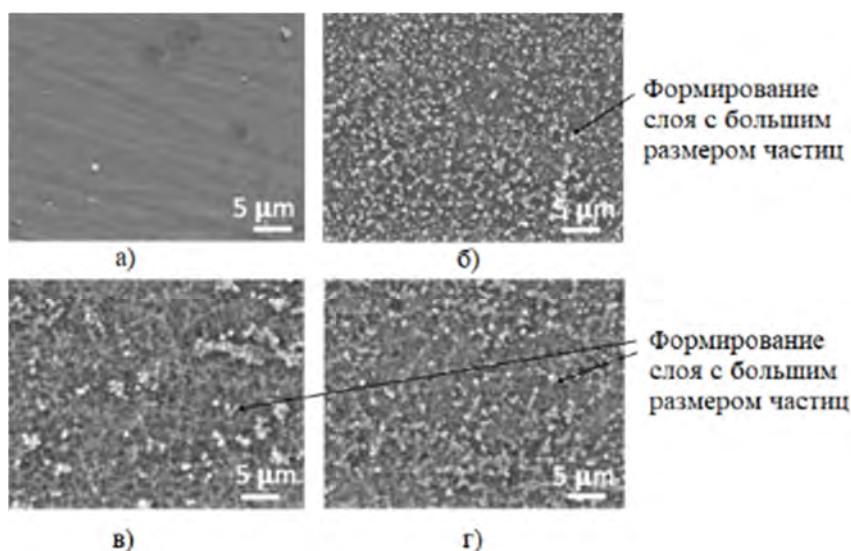


Рисунок 1 – Поверхности Ti6Al4V после различных условий плазменного азотирования: (а) необработанные; (б) 750°C 5ч.; (в) 750°C 10ч.; (г) 800°C 5ч.

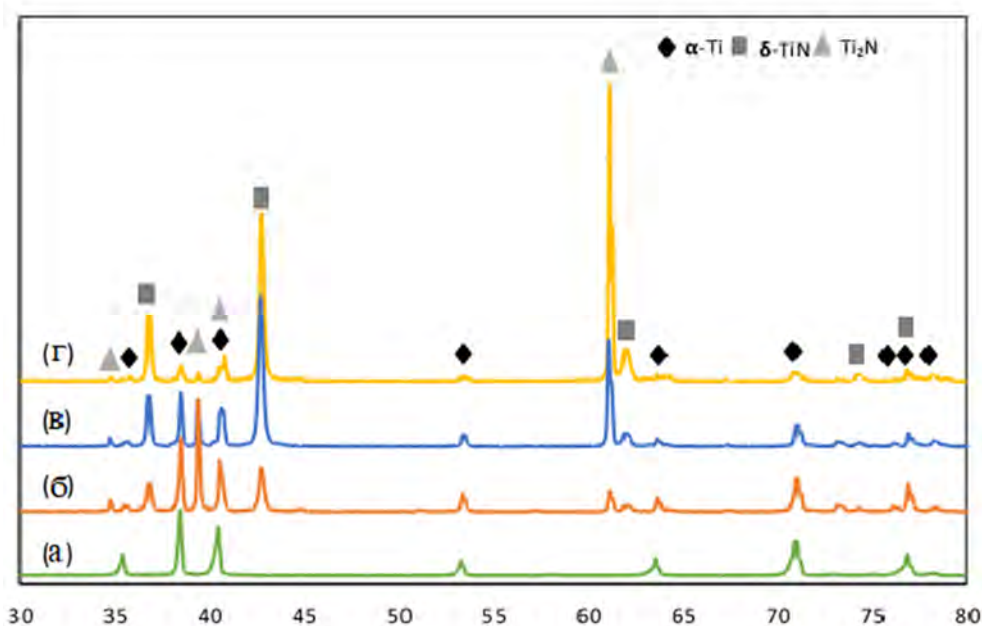


Рисунок 2 – Рентгеновская дифракция Ti6Al4V после различных условий плазменного азотирования: (а) необработанные; (б) 750°C 5ч.; (в) 750°C 10ч.; (г) 800°C 5ч.

Таким образом, плазменное азотирование эффективно повышает твердость и формирует достаточные сжимающие остаточные напряжения в сплаве Ti-6Al-4V.

Список использованных источников

1. Перспективные технологии легких и специальных сплавов / А. А. Ильин [и др.] // Применение титана и его сплавов в медицине – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 – С 399–408.
2. Титановые сплавы Ti6Al4V и Ti6Al4V ELI в медицине – Mis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://misrussia.ru/>. – Дата доступа: 22.11.2024.
3. Vu, N.B.; Nhung, T.; Dang, L.T.; Phi, L.; Thi-Thu Ho, N.; Pham, T.N.; Phan, T.P.; Pham, P.V. In vitro and in vivo biocompatibility of Ti-6Al-4V titanium alloy and UHMWPE polymer for total hip replacement. Biomed. Res. Ther. 2016, 3, 567–577.
4. Investigation of Microstructure, Residual Stress, and Hardness of Ti-6Al-4V after Plasma Nitriding Process with Different Times and Temperatures [Electronic resource] / G. Ongtrakulkij, J. Kajornchaiyakul, K. Kondoh, A. Khantachawana // Coatings. – 2022. – Vol. 12, No. 12. – P. 1932. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/coatings12121932>. – Date of access: 23.11.2024.
5. Kao, W.H.; Su, Y.L.; Horng, J.H.; Chang, C.Y. Tribological, electrochemical and biocompatibility properties of Ti6Al4V alloy produced by selective laser melting method and then processed using gas nitriding, CN or Ti-C:H coating treatments. Surf. Coat. Technol. 2018, 350, 172–187.