

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2023-36-44-48>

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ ЗА СЧЕТ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА

Акимов С.Н., Аблякимов А.Д., Дзелядинов А.С.

*Крымский инженерно-педагогический университет им. Ф. Якубова,
Симферополь, Россия*

Ключевые слова: титан и его сплавы, применение, медицина, термическая обработка, лазер, поверхностное упрочнение.

Аннотация. Для повышения прочности изделий из титана и его сплавов, применяемых в медицине, проведена поверхностная термическая обработка поверхности образцов с помощью лазерного излучения. Нагрев поверхности осуществлен без достижения температуры плавления сплавов, чтобы сохранить геометрические размеры изделий. Сохранение заданных размеров исключает дальнейшую доработку и доводку образцов, что показывает несомненную перспективность проведенного процесса.

INCREASING THE STRENGTH OF PRODUCTS FROM TITANIUM AND ITS ALLOYS BY SURFACE TREATMENT WITH LASER

Akimov S.N., Ablyakimov A.D., Dzhelyadinov A.S.

*Crimean Engineering Pedagogical University named after F. Yakubov, Simferopol,
Russia*

Keywords: titanium and its alloys, applications, medicine, heat treatment, laser, surface hardening.

Abstract. Surface heat treatment of samples surface with the help of laser radiation was conducted in order to increase the strength of products from titanium and its alloys used in medicine. Surface heating is carried out without reaching melting point of the alloys in order to preserve geometrical dimensions of the pieces. Preservation of the given dimensions excludes further refinement and finishing of the samples, which shows the undoubted perspective of the carried out process.

Постановка проблемы. Применение титановых сплавов в медицине для различных целей началось с 60-х годов прошлого века. Изготавливают из подобных материалов такие продукты, как эндопротезы костей и основных суставов всех типов, например, плечевых, коленных, тазобедренных и локтевых. Позднее медицинское применение сплавов данного класса расширилось до реконструкции ушных раковин, лицевых и черепных пластин, а, кроме того, отливки зубных имплантов. К материалам первого поколения относят технически чистый титан (с примесью железа) марок ВТ1 или сплав марки ВТ6 [1]. Время и эксплуатация показало, что титановые импланты первого поколения деградируют спустя 10-15 лет.

В последнее время на смену пришли β -Ti-сплавы, называемые материалами второго поколения, которые позволили исключить вредное влияние катионов или атомов алюминия и ванадия, выделяющихся в процессе долговременной коррозии материала сплава. Важное направление дальнейшего развития материалов данного класса – повышение их

механической прочности, усталостной прочности, коррозионной стойкости и биосовместимости [2].

Срок службы имплантов любого вида, как хрящевидных, так и костных, очевидно, зависит от химического состава материала и его прочности. Дешёвые системы с использованием сплавов первого поколения, без применения дальнейшего упрочнения или легирования, служат в диапазоне от 7 до 10 лет. Импланты из материалов более современных служат около 15-20 лет. Конструкции имплантов из легированных титановых сплавов, подвергнутых дополнительными методами обработки могут служить еще дольше, что особенно ценно для костных тканей, в то числе зубных протезов.

Анализ литературы. Новые методы синтеза, а также термической и механической обработки различных титановых сплавов, постоянно совершенствуются в двух направлениях: улучшения прочностных характеристик и удешевления применяемых материалов. В частности, более дорогие компоненты сплава (тантал, цирконий или ниобий), меняют на дешевые, такие как хром или марганец. В результате проводимых совершенствований свойства титановых имплантов все ближе к свойствам человеческих костей, а временной диапазон их работы постоянно растет.

Например, некоторые исследователи проводили сравнительный анализ сплавов на основе β -титана для медицинских применений [3]. Было проведено изучение таких методов, как электромеханическая поверхностная обработка (ЭМО) и безабразивная ультразвуковая финишная обработка (БУФО), а также их совместное воздействие с дальнейшим старением, на циклическую долговечность и изменение микротвердости поверхности титанового сплава [3-5].

Востребованность титановых сплавов в медицине обусловлена появлением на поверхности оксидной пленки полимерного оксида титана нестехиометрического состава, которая предотвращает проникновение в окружающие ткани организма ионов сплава. Данное явление способствует еще одной важной особенности сплавов на основе титана – они являются гипоаллергенными. Кроме того, легированные титановые сплавы обладают довольно высокой прочностью, и, как следствие, у них отсутствует пластическая деформация при значительных величинах механического напряжения, а также при высоких значениях температуры при обработке и эксплуатации, что позволило производить из некоторых материалов данного класса медицинские инструменты.

Конструктивно титановые сплавы характеризуют высокие значения показателя прочности, позволяющего выдерживать нагрузку до 2-3 тонн [3]. Вследствие такой прочности из подобных материалов изготавливают костные импланты, в частности, протезы тазобедренных суставов. Также имплантаты данного вида неспособны вызывать процессы воспаления окружающей ткани, поэтому безопасны для организма человека.

Важным преимуществом таких конструкций является быстрая скорость изготовления. При этом себестоимость изделий, в сравнении с другими, ранее

применяемыми материалами, ниже, учитывая длительный срок их службы и специфику применения.

Кроме того, в тонких сечениях титановые сплавы обладают высокой пластичностью, вследствие чего их широко применяют для производства сетки, фольги или нитей. Такие виды изделий применяют в косметической пластике мягких тканей или хрящей, подшивая нитью сетку или фольгу [3].

Структурные превращения титана и его сплавов в различных режимах термообработки протекают по одному и тому же механизму. Механизм упрочнения обязательно сопровождается интенсивным ростом зерен при температуре выше α - β -перехода [6; 7]. Установлено, что при этом происходит уменьшение размеров зерен в поверхностном слое, подвергнутого модификации, следствием чего является формирование мелкозернистой структуры [6].

Цель работы. Целью нашей работы является лазерное поверхностное упрочнение некоторых титановых сплавов с сохранением геометрии изделий.

Обсуждение результатов. Обработка поверхности титанового сплава с помощью лазерного излучения представляется нам преимущественным методом по сравнению с другими процессами термического и механического упрочнения. Такие способы, как объемная закалка, обработка током высокой частоты, электрический нагрев, закалка из расплава и другие, чаще всего изменяют геометрические размеры деталей или изделий. Напротив, прогревание поверхностных слоев при действии лазерного излучения является неглубоким и контролируемым процессом, что исключает изменение как макроразмеров, так и микроразмеров образцов сплавов.

Следует отметить, что упрочнение лазерным лучом возможно осуществлять и без фактического оплавления поверхности, что достигается уменьшением плотности мощности излучения. Такая регулировка мощности и временного диапазона воздействия излучения, доставляемого на поверхность изделия на определенную глубину делает возможным сохранение рельефа поверхности и исключает необходимость при других методах упрочнения последующие механические процессы (шлифовка, полировка и т.д.) для доработки и доводки изделия с требуемой точностью.

Для обработки поверхности мы использовали лазерный технологический комплекс группы FMark (далее – ЛТК "FMark"). Источником излучения в нем является иттербиевый волоконный лазер с максимальной мощностью 50 Вт. С учетом особенностей установки максимальная плотность мощности, которую может достигать излучение установки, составляет около 50000 Вт/см^2 .

Исходя из анализа литературных данных, а также особенностей в физических и химических свойствах титана и его сплавов, нами предложен следующий режим работы установки: обработка поверхности образцов из исследуемых сплавов монохромным лазерным излучением с длиной волны около 1,06 мкм (что составляет 1060 нм), с величиной плотности мощности

лазера около 10000 Вт/см². При этом обработка поверхности проводилась методом непересекающегося воздействия.

Периодичность термических циклов при действии лазерного излучения самая малая в сравнении со всеми остальными традиционно применяющимися методами обработки поверхности сплава и может составлять от 0,1 с до 1 с. При выполнении данных условий мы обеспечили высокие скорости нагрева и охлаждения участков поверхности образцов, в результате чего получили довольно значительное увеличение твердости по Бринеллю (табл. 1).

Табл. 1. Значения твердости титановых сплавов некоторых марок до и после лазерного упрочнения.

Марка титана		BT1-00	BT1-0	BT1-2	BT5	BT6
Твердость, НВ	До упрочнения	103	140	155	270	315
	После упрочнения	230	280	300	440	520

Выводы. Следствием процессов упрочнения поверхностного слоя титановых сплавов является повышение величины твердости поверхности и образование мелкозернистой однородной структуры, что зримо показывает улучшение прочностных характеристик исследуемых материалов. Таким образом, лазерная термическая обработка позволила нам повысить твердость и износостойкость упрочняемых образцов из сплавов на основе титана.

Список литературы

1. ГОСТ 19807-91. Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки. – ИУС, № 1. – 2012. – 6 с.
2. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшкин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – С. 147-164.
3. Страумал Б.Б., Горнакова А.С., Кильмаметов А.Р., Рабкин Е., Анисимова Н.Ю., Киселевский М.В. Сплавы для медицинских применений на основе β -титана // Известия Вузов. Цветная Металлургия. – 2020. – №6. – С. 52-64. – <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2020-6-52-64>.
4. Колачев Б.А., Лясоцкая В.С. Корреляция между диаграммами изотермических и анизотермических превращений и фазовыми диаграммами состояния для упрочненных титановых сплавов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2003. – № 4. – С. 3-9.
5. Багмутов В.П., Водопьянов В.И., Захаров И.Н., Денисевич Д.С., Романенко М.Д., Назаров Н.Г. Влияние поверхностного упрочнения комбинированными термосиловыми воздействиями на усталостную долговечность и разрушение титанового сплава BT22 // Известия Вузов. Цветная Металлургия. – 2020. – № 6. – С. 65-75. – <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2020-6-65-75>
6. Телегин С.В., Лясников В.Н., Гоц И.Ю. Морфология поверхности титана, модифицированной импульсной лазерной обработкой // Вестник СГТУ, 2015. – № 3 (80). – С. 101-106.

7. Морозова Е.А. Структура и свойства титана и его сплавов при лазерном легировании: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 01.04.07. – Самара: Самар. политехн. ин-т им. В.В. Куйбышева, 1992. – 21 с.

References

1. GOST 19807-91. Titanium and wrought titanium alloys. Grades. – 2012. – IUS, No. 1. – 6 p.
2. Пуйн А.А., Колачев В.А., Полкин И.С. Titanium alloys. Composition, structure, properties. – М.: VILS-MATI, 2009. – P. 147-164.
3. Straumal B.B., Gornakova A.S., Kilmametov A.R., Rabkin E., Anisimova N.Yu., Kiselevsky M.V. Alloys for medical applications based on β -titanium // News of the universities. Non-Ferrous Metallurgy. 2020, no. 6, pp. 52-64. doi.org/10.17073/0021-3438-2020-6-52-64.
4. Kolachev B.A., Lyasotskaya V.S. Correlation between the diagrams of isothermal and anisothermal transformations and phase diagrams of state for hardened titanium alloys // Metal Science and Heat Treatment of Metals. 2003, no. 4, pp. 3-9.
5. Bagmutov V.P., Vodopyanov V.I., Zakharov I.N., Denisevich D.S., Romanenko M.D., Nazarov N.G. Influence of surface hardening by combined thermal force influences on fatigue durability and fracture of titanium alloy VT22 // News of the universities. Non-Ferrous Metallurgy. 2020, no. 6, pp. 65-75. doi.org/10.17073/0021-3438-2020-6-65-75.
6. Telegin S.V., Liasnikov V.N., Gots I.Yu. Surface morphology of titanium modified by pulse laser treatment // Bulletin of SSTU. 2015, no. 3 (80), pp. 101-106.
7. Morozova E.A. Structure and properties of titanium and its alloys during laser alloying: diss. ... cand. of tech. sc.: 01.04.07. – Samara: Samara Polytechnic Institute named after V.V. Kuibyshev, 1992. – 21 p.

Акимов Серан Наримович – преподаватель кафедры электромеханики и сварки	Akimov Seran Narimovich – lecturer of the department of electromechanics and welding
Аблякимов Арсен Диляверович – магистрант	Ablyakimov Arsen Dilyaverovich – master's student
Джелядинов Айдер Садыкович – магистрант	Dzhelyadinov Aider Sadykovich – master's student
akimov.seran@mail.ru	

Received 12.05.2023