

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-41-48-53>

УВЕЛИЧЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ С СОХРАНЕНИЕМ ГЕОМЕТРИИ ИЗДЕЛИЙ

Акимов С.Н., Аблаев А.А., Исмаилов С.Р., Аметов А.Э.

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

Ключевые слова: титан, титановые сплавы, термическая обработка, лазер, поверхностная твердость.

Аннотация. Показано увеличение твердости поверхности титановых сплавов после термической обработки инфракрасным лазерным излучателем. Процесс обработки поверхности осуществлен импульсным воздействием без достижения существенной тепловой деформации поверхности материала, что позволило сохранить микрорельеф поверхности и геометрию образцов. Достигнутый стабильный результат в сохранении размеров с минимальным изменением морфологии поверхностного слоя показал несомненную перспективность проведенных исследований, что позволит избежать нежелательных процессов дальнейшей обработки поверхности образцов.

INCREASING THE SURFACE HARDNESS OF TITANIUM AND ITS ALLOYS BY LASER RADIATION WHILE MAINTAINING THE GEOMETRY OF THE PRODUCTS

Akimov S.N., Ablayev A.A., Ismailov S.R., Ametov A.E.

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

Keywords: titanium, titanium alloys, heat treatment, laser, surface hardness.

Abstract. The increase of surface hardness of titanium alloys after heat treatment with infrared laser emitter is shown. The process of surface treatment is realized by pulse exposure without achieving significant thermal deformation of the material surface, which allowed to preserve the surface microrelief and geometry of the samples. The achieved stable result in the preservation of dimensions with minimal change in the morphology of the surface layer showed the undoubted prospectivity of the conducted research, which will allow to avoid undesirable processes of further processing of the surface of the samples.

Постановка проблемы. Титан различной чистоты и его сплавы применяют в медицине в качестве имплантов с 1960-х годов. К концу XX века расширилась материальная база медицинского применения сплавов титана и, соответственно, ассортимент – реконструкция ушной раковины, лицевые и черепные пластины, отливки зубов. Технически чистый титан (с содержанием железа) ВТ1 или алюминий-ванадиевые сплавы ВТ5 и ВТ6 считаются материалами первого поколения [1]. Длительность и статистика их применения показали, что титановые имплантаты первого поколения начинают разрушаться спустя 10-15 лет [2]. Химический состав таких материалов показан в таблице (табл. 1).

Табл. 1. Химический состав исследуемых сплавов титана

Марка	Ti, %	Al, %	V, %	Металлы, %	Неметаллы, %
BT1-00	более 99,48	–	–	до 0,15	до 0,37
BT1-0	более 99,0	–	–	до 0,25	до 0,72
BT1-2	более 97,5	–	–	до 1,5	до 1,0
BT5	90,4–92,8	4,5–6,2	0,9–1,2	1,0–1,4	до 0,8
BT6	86,23–89,53	5,3–6,8	3,5–5,3	до 0,9	до 0,77

В последнее время на смену пришли β -титановые сплавы, так называемые материалы второго поколения, которые содержат никель или молибден, что, с одной стороны, позволило устранить токсичное действие катионов и атомов алюминия и ванадия с одновременным продлением срока службы имплантатов, но, с другой стороны, существенно повысило стоимость данных медицинских изделий и отодвинуло во времени проблему токсичности, но не решило ее окончательно [3].

Анализ литературы. Долговечность применения имплантатов любых видов, естественно, зависит от химического состава материала и прочности его поверхности [2-5]. Используя сплавы первого поколения, необходимо проводить процессы дальнейшего упрочнения или пассивации поверхности. Конструкции имплантатов из титана или его сплавов, как первого, так и второго поколения, если их подвергать дополнительной обработке, смогут служить значительно дольше, и, кроме того, существенно снизится их токсичность с естественным ростом биологической совместимости изделий.

Новые методы и технологии для термической и механической обработки разных сплавов титана, в том числе и легированных, постоянно разрабатывают и совершенствуют в двух направлениях: повышение прочности, долговечности, коррозионной стойкости и с целью удешевления материала и работы. Например, довольно дороги такие компоненты, как тантал, цирконий или ниобий, поэтому их заменяют на никель, хром или марганец. Как результат проводимых исследований – титановые имплантаты по ряду характеристик (долговечность, модуль упругости, линейное расширение, коррозионная стойкость и другие) становятся ближе к свойствам человеческих костей.

Более того, модифицированные тем или иным образом титановые сплавы, даже в тонком сечении, обладают высоким уровнем пластичности, что позволило их применить для производства сеток, фольги или нити. Все эти виды изделий находят применение в косметических операциях мягких тканей или хрящей, которые подшивают нитью или формируют с помощью сетки или фольги [3].

Механизм структурных превращений титана и некоторых титановых сплавов даже при использовании разных режимов термической обработки при действии излучением лазера практически одинаков [4-7]. Процесс упрочнения в обязательном порядке 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].

Исследователи проводили процессы упрочнения для медицинских сплавов, таких как титан VT1-0 и VT9 в различных процессах при действии лазера. Режимы изменения плотности теплового потока осуществляли при используемых лазерах с очень различными значениями плотностей мощности (160 Вт и 650 Вт соответственно) с неизменным диаметром пучка излучения (5,6 мм). Значение скорости перемещения лазерного излучения по поверхности образцов варьировали в диапазоне от 0,83 до 7,0 мм/с [6].

В процессе испытаний выявили неявную зависимость поверхностной твердости от скорости перемещения, если мощность лазерного излучения составляла 160 Вт. Максимальное значение поверхностной твердости достигается в центре лазерной дорожки. Твердость поверхностного слоя в зоне оплавления при мощности 650 предполагает возможность образования в поверхностном слое нитрида титана, как результат взаимодействия атмосферного азота с атомами титана в процессе лазерного оплавления. Однако, распространенные значения поверхностной твердости в интервале 3200-3400 МПа, формируемые в средних режимах обработки, указывают на образование α -структуры с увеличенным процентным содержанием азота.

Цель работы. Целью нашей работы является осуществление мягкого процесса поверхностного упрочнения ряда титановых сплавов с сохранением геометрических размеров образцов.

Обсуждение результатов. Поверхностная обработка инфракрасным лазерным излучением титановых сплавов показала свои преимущества в сравнении с другими процессами упрочнения, как термическими, так и механическими. Все указанные типы способов, а именно процессы объемной закалки, обработка высокочастотными токами, электрический нагрев или закалка из расплава, не только могут изменять геометрические размеры образцов, но и менять свойства и структуру сплавов на большую глубину. Напротив, прогревание поверхностных слоев при действии лазерного излучения является неглубоким и контролируемым процессом, что исключает изменение макроскопических свойств материала, и, кроме того, скольконибудь существенной вариативности в геометрических размерах образцов.

Поверхностная обработка поверхности проводилась лазерным технологическим комплексом FMark. В качестве источника излучения используется иттербиевый волоконный лазер с максимальной мощностью 50 Вт. Проведя соответствующий анализ литературных данных, а также изучив особенности физических и химических свойств титана и рассматриваемых сплавов и, учитывая, предыдущий опыт нашей работы, мы использовали установку в следующем режиме работы. Поверхность образцов из исследуемых сплавов была обработана инфракрасным монохромным лазерным излучением с длиной волны 1060 нм, причем величина плотности мощности лазера менялась в двух режимах: 3000 и 5000 Вт/см². Для обработки поверхности материалов был использован метод пересекающегося воздействия со скоростью движения лазерного луча 50 мм/с.

При выполнении указанных режимов работы было обеспечено последовательное изменение поверхностной структуры образцов исследуемых сплавов при сохранении геометрических размеров образцов. Результаты по изменению твердости поверхности показаны в таблице (табл. 2).

Табл. 2. 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
	3000 Вт/см ²	167	248	279	416	438
	5000 Вт/см ²	197	274	302	474	506

Более высокое значение плотности мощности инфракрасного лазерного излучения показало лучшие результаты по увеличению твердости поверхности, сравнимые с излучением вдвое большей мощности, но с помощью метода непересекающегося воздействия [8].

Уменьшение плотности лазерного излучения способствует увеличению твердости обработанного слоя с одновременным изменением поверхностной структуры вследствие увеличения плотности дислокаций и уменьшения диаметра зерен. Следует отметить, что упрочнение лазерным лучом осуществляется без заметного 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 необходимую при других методах упрочнения последующие механические процессы (шлифовка, полировка и т.д.) для доработки и доводки изделия с требуемой точностью. Необходимо помнить, что почти все возможные механические процессы способны вызывать чрезмерный местный нагрев поверхностного слоя и, следовательно, частичное разупрочнение поверхности сплавов.

Образование микрозернистой структуры с ростом плотности дислокаций фактически состоялось (рис. 1) и вызвало увеличение поверхностной твердости образцов (табл. 2).

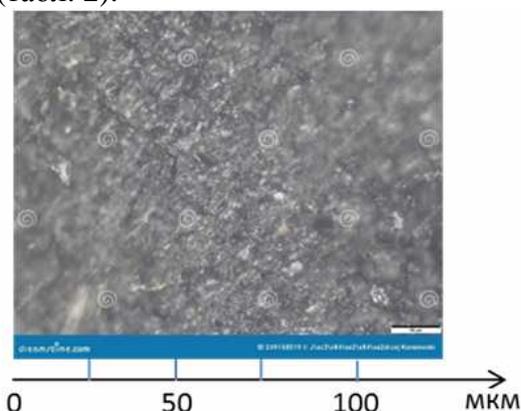


Рис. 1. Образование микрозернистой структуры на поверхности титана марки BT1-0

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 с сохранением геометрии обработанных образцов. Лазерная термическая обработка титановых сплавов без оплавления поверхностного слоя повысила твердость и износостойкость материалов 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., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – С. 147-164.
3. Страумал Б.Б., Горнакова А.С., Кильмаматов 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. – doi.org/10.17073/0021-3438-2020-6-52-64.
4. Морозова Е.А. Структура и свойства титана и его сплавов при лазерном легировании: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Самара: Самар. политехн. ин-т им. В.В. Куйбышева, 1992. – 21 с.
5. Морозова Е.А., Муратов В.С. Лазерная термическая обработка титана // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 3. – С. 129-130.
6. Железнов Ю.А., Малинский Т.В., Миколуцкий С.И., Хасая Р.Р., Хомич Ю.В., Ямщиков В.А. Обработка поверхности титана наносекундным лазерным излучением // Письма о материалах, 2014. – Т. 4, № 1. – С. 45-48.
7. Телегин С.В., Лясников В.Н., Гоц И.Ю. Морфология поверхности титана, модифицированной импульсной лазерной обработкой // Вестник СГТУ. – 2015. – № 3(80). – С. 101-106.
8. Акимов С.Н., Аблякимов А.Д., Джелидинов А.С. Увеличение прочности изделий из титана и его сплавов за счет обработки поверхности с помощью лазера // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2023. – № 36. – С. 44-48. – doi: 10.26160/2474-5901-2023-36-44-48.

References

1. GOST 19807-91. Titanium and wrought titanium alloys. Grades. – IUS, No. 1, 2012. – 6 с.
2. Ilyin A.A., Kolachev B.A., Polkin I.S. Titanium alloys. Composition, structure, properties. – M.: 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 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 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: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Samara: Samara Polytechnic Institute after V.V. Kuibyshev, 1992. – 21 p.
 8. Akimov S.N., Ablyakimov A.D., Dzhelyadinov A.S. Increase of strength of products from titanium and its alloys due to laser surface treatment // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2023, iss. 36, pp. 44-48. doi: 10.26160/2474-5901-2023-36-44-48.

Акимов Серан Наримович – преподаватель кафедры электромеханики и сварки	Akimov Seyran Narimovich – lecturer of the Department of electromechanics and welding
Аблаев Арсен Айдерович – магистрант	Abaev Arsen Aiderovich – graduate student
Исмаилов Сеитбекир Ризаевич – магистрант	Ismailov Seitbekir Rizaevich – graduate student
Аметов Амет Эрнестович – магистрант	Ametov Amet Ernestovich – graduate student
akimov.seran@mail.ru	

Received 19.04.2024