

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЙ-ВАНАДИЙ-ТИТАНОВОГО СПЛАВА И НИТИНОЛА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Акимов С.Н., Соловьев А.А., Османов Р.Р.

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

Ключевые слова: титановые сплавы, перекрестное воздействие, лазер, упрочнение поверхности, геометрия изделия, мелкозернистая структура.

Аннотация. Для повышения поверхностной прочности некоторых титановых сплавов, которые могут применяться в медицине, проведена обработка поверхности образцов сплава лазерным излучением наносекундной длительности. Упрочнение поверхности осуществлено методом перекрестного воздействия с использованием небольшой мощности излучения, что позволило с высокой точностью сохранить геометрию изделия. Перекрестная обработка поверхности титановых сплавов сопровождается не только увеличением твердости, но и изменением химического состава поверхностного слоя, с образованием оксидов и нитридов титана, что увеличивает коррозионную стойкость материала.

SURFACE HARDENING OF TITANIUM ALLOYS BY LASER RADIATION

Akimov S.N., Soloviev A.A., Osmanov R.R.

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

Keywords: titanium alloys, application, processing, laser, surface hardening, product geometry, fine-grained structure.

Abstract. In order to increase surface strength of some titanium alloys, which can be used in medicine, the surface of the alloy samples has been treated with laser radiation of nanosecond intensity. treatment of the surface of alloy samples by laser radiation of nanosecond duration. The surface hardening was carried out by the method of crossed impact using low power of radiation, which allowed to maintain the geometry of the products with high accuracy to preserve the geometry of the product. Cross-treatment of titanium alloy surfaces is accompanied not only by an increase in hardness, but also changes in the chemical composition of the surface layer, with the formation of oxides and titanium nitrides, which increases the corrosion resistance of the material.

Постановка проблемы. В настоящее время развиваются различные методы обработки поверхности для улучшения различных свойств материала, таких как прочность, твердость, износостойкость или коррозионная устойчивость [1-2]. Для некоторых сплавов титана, которые находят применение в костной медицине большую роль, кроме перечисленных улучшений свойств материалов, играют такие факторы, как биологическая совместимость и ускорение процесса заживления титановых имплантатов [3].

Применение различных методов основано на изменении тем или иным способом физических, химических и механических свойств, например, поверхностная энергия и заряд, химический состав, адгезия или геометрия поверхности. В последнее десятилетие разрабатывается методика воздействия

на поверхность базового материала лазерным излучением для деформации в требуемом направлении биологической совместимости, адгезии поверхности к другим средам и фазам, а также коррозионных свойств материала. Разработка технологических параметров процесса позволит успешно решать задачу модификации поверхности в требуемом направлении без изменения геометрических размеров образцов на микроуровне.

Анализ литературы. Как известно, объектами костной стоматологической имплантологии считают химический чистый титан [4], а также некоторые его сплавы: алюминий-ванадиевый (Ti-6Al-4V) и никельсодержащий с так называемым эффектом памяти формы (нитинол) [5]. В сравнении с другими металлическими материалами титан и его сплавы обладают целым рядом преимуществ, таких как хорошая механическая прочность, высокая биологическая совместимость с естественными тканями организма, почти максимальное отсутствие токсичности, большой порог коррозионной устойчивости, вследствие пассивного слоя оксида титана, алюминия, ванадия и никеля [6].

В настоящее время относительным недостатком титановых имплантатов считается ограниченность временного диапазона эксплуатации и, как следствие востребованность совершенствования технологических операций при производстве и обработки поверхности, качество которой определяется усилением контакта между металлическим материалом и живой костной тканью. Микрорельеф поверхности металлического имплантата, а также ее химический состав определяет показатели адгезии клеток тканей и, следовательно, положительно влияет на процесс заживления. Взаимодействие биологического окружения и металлическим материалом происходит на поверхностях обоих объектов, и биологическая совместимость живых тканей и биологических растворов (кровь, слюна, лимфа и так далее) с поверхностью титанового сплава зависит от таких свойств поверхностного слоя сплава, как химический состав, отсутствие посторонних примесей, морфология и геометрия и коррозионная устойчивость к действию любых тканей и растворов. В литературе по данному вопросу особо подчеркивается значение инертности имплантата в процессах денатурации белков и протеинов. Следует отметить, что активный титан с развитой непассивирующей поверхностью является прекрасным катализатором в химических реакциях окисления производных аминокислот, жиров и углеводов на молекулярном уровне [7].

Цель работы. Целью нашей работы является лазерное поверхностное упрочнение титан-алюминий-ванадиевого (Ti-6Al-4V) сплава, а также нитинола (Ti-Ni) с сохранением геометрии изделий.

Обсуждение результатов. 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. Исходя из результатов предыдущих исследований [5-9], а также особенности физических и химических свойств исследуемых сплавов, эксперименты проводились по следующим

технологическим параметрам. Обработка поверхности образцов сплавов титана осуществлялась действием монохромного лазерного излучения с длиной волны около 1060 нм при небольших значениях величин плотности мощности от 3000 до 5000 Вт/см² (табл. 1). Скорость обработки поверхности была невысока (от 50 до 100 мм/с), но проводилась дважды, так называемым методом пересекающегося воздействия. В таблице приведены значения твердости для некоторых граничных режимов работы лазерной установки.

Табл. 1. Влияние режима обработки поверхности на твердость сплава, НВ

Марка сплава	необработанный	3000 Вт, 50 мм/с	3000 Вт, 100 мм/с	5000 Вт, 50 мм/с	5000 Вт, 100 мм/с
Ti-6Al-4V	не более 310	420	400	480	440
Нитинол	не более 320	400	360	440	400

Следует отметить, что процесс упрочнения поверхности материала был осуществлен с минимальным оплавлением и деформации структуры поверхностного слоя, особенно для нитинола. Данный результат был достигнут вследствие уменьшения плотности мощности излучателя. Отработка регулировки мощности и временного диапазона воздействия на рассматриваемые сплавы позволила привести геометрию поверхности к мелкозернистой, прочной структуре, насыщенной пленкой оксидов соответствующих металлов. Последний фактор позволяет существенно повысить коррозионную стойкость изделий из сплавов титана. Кроме того, минимально дозированное воздействие на поверхностный слой изделия на определенной глубине позволяет сохранить микрорельеф облучаемых образцов практически исключает последующую механическую обработку такими способами, как шлифовка, полировка и другие, которые способствуют отпуску и разупрочнению поверхности и, таким образом, неприменимы для медицинских имплантатов.

Дополнительным подтверждением увеличения поверхностной прочности исследуемых образцов является образование мелкозернистой структуры сплава на его поверхности. Образование мелкозернистой структуры подтверждается микрофотографированием поверхности обработанного сплава (рис. 1).

Как известно, чем мельче зерна, тем больше твердость исследуемой поверхности. Фотографии микроструктуры поверхности получены для сплава Ti-6Al-4V с помощью металлографического микроскопа модели 4XB при увеличении в 650 раз.

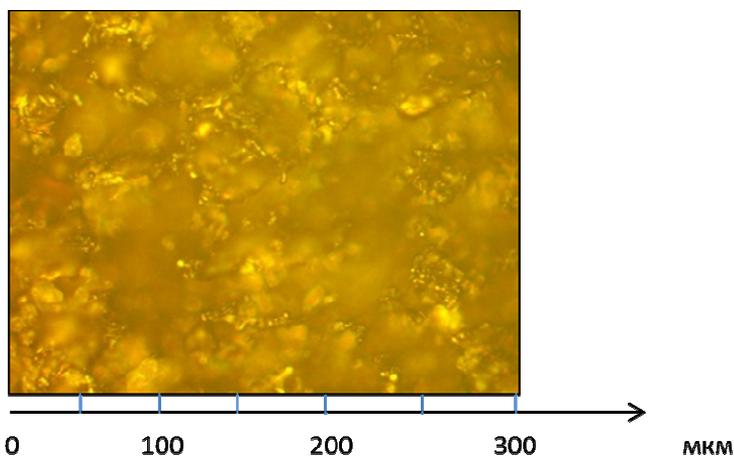


Рис. 1. Образование мелкозернистой структуры поверхности сплава Ti–6Al–4V

Выводы. Обработка поверхности таких титановых сплавов, как Ti–6Al–4V и нитинол, лазерным излучением небольшой мощности методом пересекающегося воздействия показала определенные преимущества данного способа. Процесс нагрева поверхностного слоя был проведен мягко, без оплавления поверхности, что увеличило поверхностную твердость и коррозионную стойкость изделия при сохранении его геометрических размеров в строго ограниченных пределах. Данный метод, несомненно, показал свою эффективность и заслуживает дальнейших исследований в данном направлении.

Список литературы

1. Сибилева С.В., Каримова С.А. Обработка поверхности титановых сплавов для обеспечения адгезионных свойств (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. – 2013. – № S2. – С. 25-35.
2. Гирн А.В., Руденко М.С., Тайгин В.Б., Михеев А.Е., Раводина Д. В. Влияние лазерной обработки поверхности титановых образцов на адгезионную прочность клеевых соединений // *Космические аппараты и технологии*. – 2022. – Т. 6, № 2. – С. 90-99. – doi.org/10.26732/j.st.2022.2.03_
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. ГОСТ 19807-91. Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки. – М.: ИУС, № 1, 2012. – 6 с.
5. Зиганшина А.И. Титано-никелевый сплав с эффектом памяти формы // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. – 2016. – Т. 11. – С. 3191-3195. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/86674.htm>.
6. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – С. 147-164.
7. Васильев М.А., Нищенко М.М., Гурин П.А. Лазерная модификация поверхности титановых имплантатов // *Успехи физики металлов*. – 2010. – Т. 11. – С. 209-247.

8. Акимов С.Н., Аблякимов А.Д., Дзелядинов 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.
9. Ивочкин А.Ю., Капильный А.Г., Карабутов А.А. Высокоэнергетические состояния и фазовые переходы, индуцированные мощным лазерным импульсом при облучении импедансной границы металла // *Физика экстремальных состояний вещества*. – Черногловка: Институт проблем химической физики РАН, 2007. – С. 21-23.

References

1. Sibileva S.V., Karimova S.A. Surface treatment of titanium alloys to ensure adhesive properties (review) // *Aviation materials and technologies*. 2013, no. S2, pp. 25-35.
2. Girn A.V., Rudenko M.S., Taigin V.B., Mikheev A.E., Ravodina D.V. Effect of laser surface treatment of titanium samples on adhesive strength of adhesive joints // *Spacecrafts and Technologies*. 2022, vol. 6, no 2, pp. 90-99, doi.org/10.26732/j.st.2022.2.03.
3. Straumal B.B., Gornakova A.S., Kilmametov A.R., Rabkin E., Anisimova N.Y., Kiselevsky M.V. Alloys for medical applications based on β -titanium // *News from universities. Non-ferrous metallurgy*. 2020, no. 6, pp. 52-64. doi.org/10.17073/0021-3438-2020-6-52-64.
4. GOST 19807-91. Titanium and titanium deformable alloys. Marks. – IUS, No. 1, 2012. – 6 p.
5. Ziganshina A.I. Titanium-nickel alloy with shape memory effect // *Scientific and methodical electronic journal "Concept"*. 2016, vol. 11, pp. 3191-3195. URL: <http://e-koncept.ru/2016/86674.html>.
6. Ilyin A.A., Kolachev B.A., Polkin I.S. Titanium alloys. Composition, structure, properties. – M.: VILS-MATI, 2009. – P. 147-164.
7. Vasiliev M.A., Nishchenko M.M., Gurin P.A. Laser surface modification of titanium implants // *Advances in metal physics*. 2010, vol. 11, pp. 209-247.
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.
9. Ivochkin A.Yu., Kaptilny A.G., Karabutov A.A. High-energy states and phase transitions induced by a powerful laser pulse at irradiation of the impedance boundary of metal // *Physics of Extreme States of Matter*. – Chernogolovka: Institute of Problems of Chemical Physics RAS, 2007. – P. 21-23.

Акимов Серан Наримович – преподаватель кафедры электромеханики и сварки	Akimov Seyran Narimovich – lecturer of the Department of electromechanics and welding
Соловьёв Александр Александрович – магистрант	Solovyov Alexander Alexandrovich – graduate student
Османов Руслан Ридванович – магистрант	Osmanov Ruslan Ridvanovich – graduate student
akimov.seran@mail.ru	

Received 19.04.2024