

Научная статья
УДК 672.716
doi: 10.17223/24135542/32/12

Повышение прочности медицинской стали при обработке лазером

**Альберт Габдулбарович Саттаров¹, Али Едрес Абдулвахаб Салех²,
Александр Владимирович Сочнев³**

^{1, 2, 3} *Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, Россия*

¹ *albert5519@mail.ru*

² *edres2015ali@gmail.com*

³ *sochnev.aleksandr@inbox.ru*

Аннотация. На сегодняшний день лазерная обработка поверхности сталей признана эффективным методом улучшения ее свойств, делая ее более прочной и твердой. Прочность является важным свойством поверхности медицинских инструментов и зависит от таких факторов, как поверхностное упрочнение, состояние поверхности и микроструктура.

Лазерная термическая обработка поверхности является эффективным способом повышения прочности поверхности сталей и находит широкое применение в промышленности, включая производство медицинского инструментария. Такой способ лазерной техники позволяет сосредоточить большое количество энергии на малой площади, что приводит к более высокой тепловой нагрузке по сравнению с традиционными методами нагрева.

В данном исследовании использовался лазер LQ-529a для обработки поверхности легированной стали с целью изучения влияния облучения на микроструктуру, поверхностное упрочнение и прочность. Результаты исследований показали, что лазерная обработка при выбранных режимах приводит к повышению прочности, что является важным для обеспечения высокого качества медицинского инструментария.

Ключевые слова: лазер, сталь, медицинский инструмент, твердость, лазерная обработка, лазерное упрочнение

Для цитирования: Саттаров А.Г., Салех А.Е.А., Сочнев А.В. Повышение прочности медицинской стали при обработке лазером // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2023. № 32. С. 164–171. doi: 10.17223/24135542/32/12

Original article

doi: 10.17223/24135542/32/12

Increasing the strength of medical steel when processed by laser

**Albert G. Sattarov¹, Ali Edres Abdulwahab Saleh²,
Alexander V. Sochnev³**

^{1, 2, 3} *Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia*

¹ *albert5519@mail.ru*

² *edres2015ali@gmail.com*

³ *sochnev.aleksandr@inbox.ru*

Abstract. To Today, laser surface treatment of steels is recognized as an effective method for increasing their strength. Which improves the surface properties of steels, making them more durable.

Laser thermal surface treatment is an effective way to achieve these properties and is widely used in industry, including the production of medical instruments. The use of laser technology allows large amounts of energy to be concentrated into a small area, resulting in a higher thermal load compared to traditional heating methods.

Strength is an important property of the surface of medical instruments, and depends on factors such as surface hardening, surface condition and microstructure.

In this study, the LQ-529a laser was used to treat the surface of alloy steel to study the effect of irradiation on microstructure, surface hardening and strength. Research results have shown that laser treatment under selected modes leads to increased strength, which is important for the provision of medical instruments.

Keywords: laser, steel, medical instrument, hardness, laser processing, laser hardening

For citation: Sattarov, A.G., Saleh, A.E.A., Sochnev, A.V. Increasing the strength of medical steel when processed by laser. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Chimia – Tomsk State University Journal of Chemistry*, 2023, 32, 164–171. doi: 10.17223/24135542/32/12

Введение

Несмотря на то, что лазерные технологии существуют уже длительное время, их применение в обработке металлов и производственных процессах началось только в 1970-х гг. В настоящее время лазерное упрочнение поверхности признано таким же эффективным, как и другие традиционные методы упрочнения. Одним из дополнительных преимуществ лазера является возможность укрепления ограниченной области сложного технического компонента, что позволяет сократить затраты и компенсировать значительные начальные вложения в лазерное оборудование по сравнению с требованиями традиционных методов [1].

Для достижения желаемых свойств, соответствующих определенным требованиям, производится обработка поверхности стали. Один из относи-

тельно новых методов, применяемых в этой области, – лазерное упрочнение поверхности. В данном методе лазерный луч направляется на поверхность стали, что приводит к локальному нагреву, а затем обрабатываемый участок остывает самостоятельно. Такая технология обладает дополнительными преимуществами в упрочнении металлов, которые используются в ограниченных областях [2]. Применение лазеров для обработки металлических поверхностей имеет ряд особенностей [3]:

1. Это экономически выгоднее, чем использование объемного легирования или упрочняющей термообработки.

2. Этот метод позволяет провести обработку поверхности быстро и с минимальными изменениями общей формы.

3. Можно точно управлять передачей определенного количества энергии на поверхность, контролируя и размеры обработки, и время, в течение которого она проводится.

4. Имеется возможность выполнения задачи упрочнения в труднодоступных местах.

Лазерная закалка поверхности стали происходит путем нагрева поверхности до аустенитной области с достаточным содержанием углерода, а затем осуществляется закалка, чтобы аустенит превратился в мартенсит. В этом процессе материал также служит для отвода тепла. Множество исследователей изучали упрочнение, вызванное непрерывным сканированием лазерных лучей или их импульсов. Результирующая микроструктура зависит от свойств лазерного луча и конечного состава стали. После обработки лазером углеродистой стали поверхность характеризуется дендритной структурой, мартенситом, перлитом, ферритом и остаточным аустенитом в зоне термического воздействия [4].

Оптимальная лазерная обработка поверхности приводит к заметному увеличению микротвердости. Если микроструктура неоднородна и образуется твердое соединение в результате лазерного остекления, то ожидается изменчивость микротвердости поверхности. Как предполагалось, реакция стали на лазерное упрочнение усиливается с увеличением содержания углерода [5].

Лазер LQ-529a (неодим-иттрий-алюминиевый гранат) использовался для упрочнения поверхности низколегированной стали, что привело к повышению микротвердости и положительным микроструктурным изменениям. Применение такой обработки для инструментальной стали вызывает изменения в химическом составе и видимые модификации поверхности [6].

В процессе превращения аустенита в мартенсит происходит объемный сдвиг, который создает остаточные напряжения, включая благоприятные сжимающие напряжения благодаря лазерным импульсам, преобразующим поверхность. Однако, когда эти импульсы перекрываются, микроструктура в зоне перекрытия закаляется, и остаточные напряжения становятся растягивающими. Тем не менее в зоне термического воздействия перекрытие лазерных проходов приводит к более равномерному распределению микротвердости с приемлемой шероховатостью поверхности [7].

Эксперимент

Для достижения оптимальных условий обработки поверхности стали с использованием лазерных импульсов LQ-529a была произведена настройка энергии лазерного луча и расстояния между фокусирующей линзой и обрабатываемыми поверхностями. В итоге были определены оптимальные рабочие условия, которые обеспечивают максимальную однородность и наилучшие значения твердости.

Для обработки поверхности стали использовался лазерный луч с энергией 0,225 Дж, импульс длительностью 10 с, длиной волны 10 нс и диаметром пятна 2 мм. Расстояние между линзой в конечной части лазерной системы и образцом составило 0,15 м.

На рис. 1 показана схема экспериментальной установки, которая работает следующим образом: луч лазера 1 фокусируется линзой 2, в результате чего точка фокуса попадает строго в экспериментальную модель 3 (скальпель).

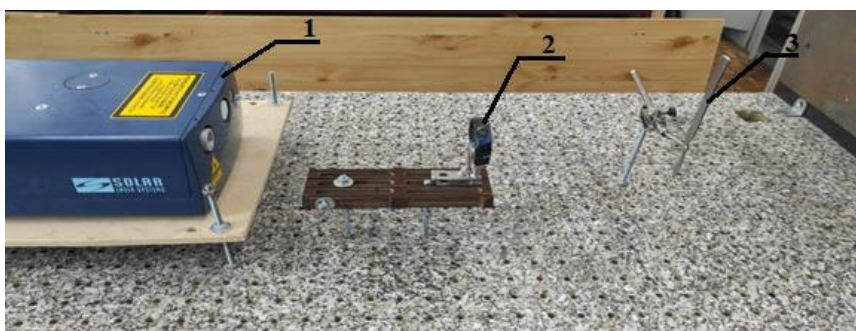


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – лазер LQ-529a, 2 – линза, 3 – экспериментальная модель

В рамках данного исследования использовались образцы медицинского инструмента (скальпель), изготовленные из широко используемой стали 40X13. Режущая часть скальпеля для упрочнения подвергалась воздействию импульсного лазерного излучения. Образцы взвешивались до и после процесса упрочнения. Твердость образцов также измерялась дважды: до и после упрочнения.

Твердость исследуемого объекта измеряется твердомером Hti HT-12089 следующим образом: включается питание прибора и устанавливаются материал, система твердости, направление удара и количество ударов. После установки ударного устройства на образец измерений (скальпель) опорное кольцо необходимо прижать к поверхности испытуемого образца в соответствии с выбранным направлением. Направление удара должно быть перпендикулярно испытуемой поверхности скальпеля. Важно, чтобы испытуемый образец, ударное устройство и оператор были неподвижными. Измерение не должно выполняться единоразово, необходимо произвести несколько

замеров. Когда будет достигнуто установленное количество ударных воздействий, вычисляется среднее значение в единицах измерения (HV).

В таблице представлен химический состав легированной стали, которая обладает микротвердостью 435 HV. В нашем исследовании лазерная обработка применялась к легированной стали, так как она является широко используемым материалом при производстве медицинских инструментов.

Химический состав стали 40X13 [8]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
0,36–0,45%	До 0,8 %	До 0,8%	До 0,8%	До 0,025%	0,03%	12–14%

Каждое испытание продолжалось в течение 10 с и проводилось при комнатной температуре и нормальных погодных условиях. Характер и микроструктуру образцов исследовали до и после лазерного упрочнения поверхности с использованием оптического микроскопа.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 показана микроструктура образцов до и после лазерной обработки с использованием импульсов мощностью 0,225 Дж и расстоянием между линзой и образцом 0,15 м. Из рисунка отчетливо видно, что после обработки металл приобрел более твердую структуру, отличающуюся от исходной. Сравнение полученных изображений позволяет наблюдать изменения, произошедшие на поверхности образцов после испытания, и оценить влияние лазерной обработки на состояние поверхности и степень твердости материала. Оптические фотографии получены на металлографическом инвертированном микроскопе НИМ-100.

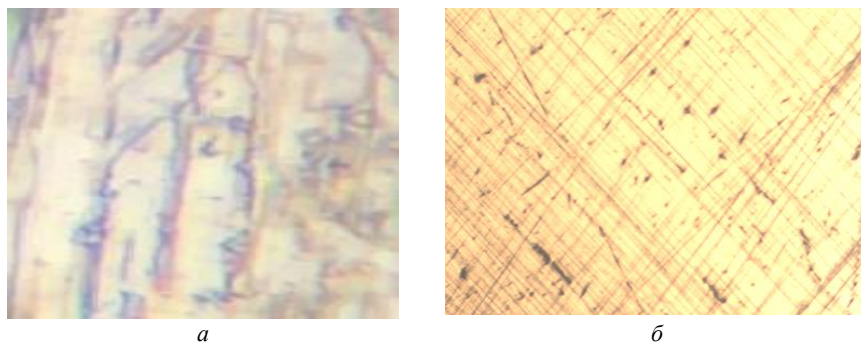


Рис. 2. Микроструктура образцов: *а* – до обработки лазером; *б* – после обработки, увеличение $\times 1\,000$

На рис. 3 представлена графическая иллюстрация распределения значений микротвердости, полученных в результате лазерной обработки. Изображение демонстрирует, что из-за неравномерного распределения энергии лазерных импульсов значения микротвердости заметно варьируют.

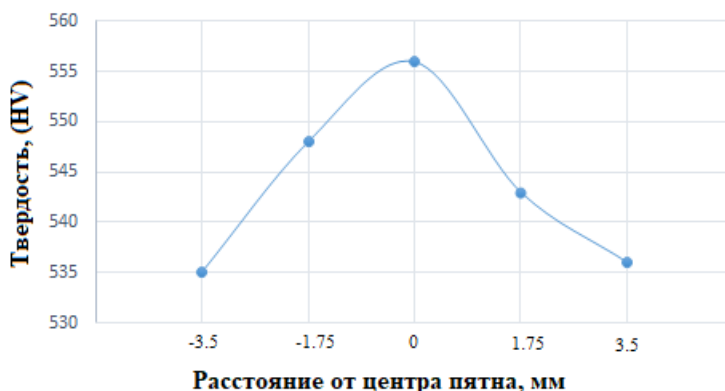


Рис. 3. Распределение значений микротвердости лазерного импульса

Наибольшая твердость (556 HV) достигается в центральной области, что объясняется тепловым распределением пятна, где сфокусирована максимальная энергия лазерного излучения.

После обработки поверхности был сделан поперечный шлиф с травлением, четко демонстрирующий закаленный слой (рис. 4). При расточке или шлифовке закаленной поверхности стали видно, что в верхней части присутствует мартенситная структура, указывающая на процесс закалки.

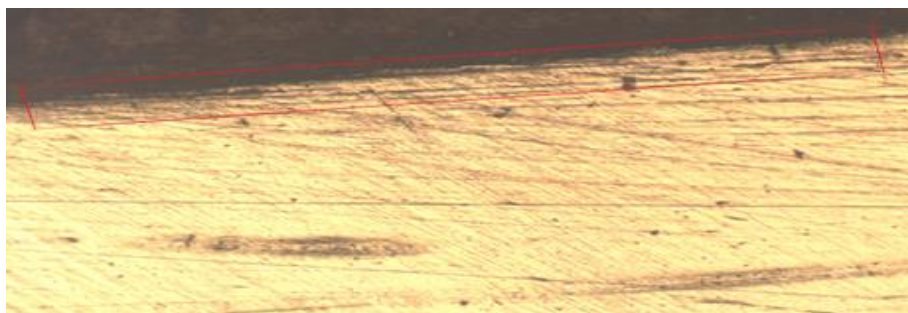


Рис. 4. Поперечный шлиф обработанного образца, увеличение $\times 1\,000$

На рис. 4 присутствует зона с темной полосой, которая хорошо видна в верхней части медицинского инструмента. Эта полоса образуется в результате образования мартенситной структуры в стали в процессе закалки.

Начальная твердость незакаленной поверхности составила 425–435 HV, в то время как твердость поверхности после процесса закалки увеличилась до 556 HV, т.е. примерно на 31%.

Выводы

Лазерная обработка поверхности стали с использованием лазера LQ-529a приводит к увеличению значений микротвердости обработанной поверхности

до 556 Нв. Этот эффект достигается благодаря образованию на поверхности образца твердой мартенситной структуры – игольчатых зерен, представляющих собой перенасыщенный твердый раствор углерода в альфа-железе. В результате прочность материала значительно повышается.

Лазерная поверхностная закалка – управляемый процесс, который можно использовать для деталей любой конфигурации.

Список источников

2. Пустовойт В.Н. От основания и до наших дней (к 60-летию научной школы кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского ГТУ) // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. № 3 (27). С. 3.
3. Майсурадзе М.В., Рыжиков М.А., Корниенко О.Ю., Степанов С.И. Лазерная термообработка // Индукционная и лазерная термическая обработка стальных изделий : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022. С. 54–80.
4. Шалупаев С.В., Никитюк Ю.В., Мышковец В.Н., Максименко А.В. Общие сведения о поверхностной лазерной обработке металлов и сплавов // Методы поверхностной лазерной обработки металлов и сплавов : лабораторный практикум. Гомель : Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины, 2011. С. 3–4.
5. Webb C. Handbook of Laser Technology and Applications. Boca Raton : CRC Press, 2020. Vol. 3: Applications. 1167 p.
6. Tong X., Chen F. Microstructures and Mechanical Properties of Crack-free 316L Stainless Steel and Inconel 625 Joint by Using Laser Engineered Net Shaping // Optics & Laser Technology. 2022. Vol. 155. Art. 108357.
7. Kusinski J. Laser Melting of T1- High Speed Tool Steel // Metallurgical Transactions A. 1988. Vol. 19. P. 377–382.
8. Altarazi F. Optimization of Process Parameters for Laser Cutting Process of Stainless Steel 304: A Comparative Analysis and Estimation with Taguchi Method and Response Surface Methodology // Mathematical Problems in Engineering. 2022. Vol. 2022 (9). P. 1–14. doi: 10.1155/2022/6677586
9. ГОСТ 5632–2014. Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие жаростойкие и жаропрочные. Марки. М. : Стандартинформ, 2015. 48 с. URL: https://mkm-metal.ru/upload/iblock/11c/5632_2014.pdf (дата обращения: 29.06.2023).

References

1. Pustovoyt V.N. From the foundation to the present day // Monthly scientific, technical and production magazine. *Reinforcing technologies and coatings*. 2007. No. 3 (27). p. 3
2. Maisuradze M. V., Ryzhikov M.A., Kornienko O.Yu., Stepanov S.I. Laser heat treatment // *Induction and laser heat treatment of steel products: textbook* / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Yekaterinburg: Ural University Publishing House, 2022. p. 54-80
3. Shalupaev S.V., Nikityuk Yu.V., Myshkovets V.N., A.V. Maksimenko. General information about surface laser treatment of metals and alloys // *Methods of surface laser treatment of metals and alloys: laboratory workshop*. Gomel: Gomel State University named after F. Skoriny, 2011. p. 3-4
4. Webb C. *Handbook of Laser Technology and Applications*. Volume 3: Applications: CRC Press, 2020.
5. Tong X and Chen F. "Microstructures and Mechanical Properties of Crack-free 316L Stainless Steel and Inconel 625 Joint by Using Laser Engineered Net Shaping," // *Optics & Laser Technology*, vol. 155, pp. 108357, 2022.

6. Kusinski J. "Laser Melting of T1- High Speed Tool Steel," // *Metallurgical Transactions A*, vol. 19, pp. 377-382, 1988.
7. Altarazi F, "Optimization of Process Parameters for Laser Cutting Process of Stainless Steel 304: A Comparative Analysis and Estimation with Taguchi Method and Response Surface Methodology," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2022, 2022.
8. GOST 5632-2014 *Alloyed stainless steels and alloys are corrosion-resistant, heat-resistant and heat-resistant. Stamps*. Access mode: https://mkmm-metal.ru/upload/iblock/11c/5632_2014.pdf (date of application: 06/29/2023).

Сведения об авторах:

Саттаров Альберт Габдулбарович – доктор технических наук, Казанский национальный исследовательский технологический университет (Казань, Россия). E-mail: albert5519@mail.ru

Салех Али Едрес Абдулвахаб – соискатель, Казанский национальный исследовательский технологический университет (Казань, Россия). E-mail: edres2015ali@gmail.com

Сочнев Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Казанский национальный исследовательский технологический университет (Казань, Россия). E-mail: sochnev.aleksandr@inbox.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Sattarov Albert G. – Doctor of Technical, Kazan National Research Technological University (Kazan, Russia). E-mail: albert5519@mail.ru

Saleh Ali Edres Abdulwahab – Research PHD, Kazan National Research Technological University (Kazan, Russia). E-mail: edres2015ali@gmail.com

Sochnev Alexander V. – Cand. Sci. (technical), Assoc. Prof., Kazan National Research Technological University (Kazan, Russia). E-mail: sochnev.aleksandr@inbox.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 03.07.2023; принята к публикации 15.12.2023
The article was submitted 03.07.2023; accepted for publication 15.12.2023