

УДК 621.789

doi:10.20998/2413-4295.2016.18.10

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ НА СТРУКТУРОФОРМИРОВАНИЕ СТАЛИ

ИДАН АЛАА ФАДИЛ И<sup>1</sup>, О. В. АКИМОВ<sup>1</sup>, Е. А. КОСТИК<sup>1\*</sup>, А. А. ГОНЧАРУК<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

<sup>2</sup> Кафедра лазерной техники и физико-технических технологий, Национальный технический университет «Киевский политехнический институт», Киев, УКРАИНА

\*email: eklitus@gmail.com

**АННОТАЦИЯ** Целью данной работы является изучение влияния различных видов предварительной термической обработки и режимов лазерной закалки на структурообразование упрочненной зоны стали 40. Показано, что наилучшим способом предварительной термической обработки стали перед лазерной закалкой, является улучшение. Такой способ упрочнения поверхностного слоя способствует формированию достаточной зоны с высокими показателями твердости (7 ГПа) с плавным переходом к сердцевине, что в дальнейшем положительно сказывается при эксплуатации детали. На формирование упрочненной лазером зоны влияют такие факторы как скорость обработки лазерным лучом и мощность лазера. С увеличением мощности, глубина упрочненного слоя увеличивается, а увеличение скорости обработки носит противоположный характер.

**Ключевые слова:** лазерная закалка, улучшение, глубина упрочненного слоя, твердость, структура стали

## THE INFLUENCE OF PRE-HEAT TREATMENT AND LASER HARDENING ON THE STEEL STRUCTURE FORMATION

IDAN ALAA FADHIL I<sup>1</sup>, O. AKIMOV<sup>1</sup>, K. KOSTYK<sup>1\*</sup>, O. GONCHARUK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

<sup>2</sup> Laser technique and physic-technology science department, National technical university of Ukraine «Kiev polytechnic institute», Kiev, UKRAINE

**ABSTRACT** Efficiency of application of laser hardening is a significant increase in strength and wear-resistance parts, which is provided by forming on the surface of the part with a hardened layer structure, which differs from the metal structure obtained by classical methods of volumetric hardening. The aim of this work is to study the effect of different types of thermal pre-treatment and regimes of laser hardening on structure formation hardened zone of the steel. The test material is high quality structural carbon steel 40. For experimental studies was used for continuous Nd: YAG Laser, "DY044" produced by "ROFIN-SINAR". The microstructure was investigated by optical microscopy on the microscope MIM-8 by the standard method at different magnifications. The microhardness of the samples was determined on the device PMT-3 according to standard methods. Ultrafast laser heating of the annealed steel with a pronounced structural components in the initial state does not allow to obtain a homogeneous final structure. The main feature of laser machining pre-hardened steel is a mandatory manifestation of structural heredity during heating. This fact is explained by the oriented formation of austenite. Also a decisive influence on the oriented nucleation of austenite, leading to structural heredity, has not only the original steel structure, but also a high heating rate during laser processing. On the formation of laser hardened zone is influenced by such factors as the processing speed of the laser beam and laser power. With the power increase, the depth of the hardened layer is increased, and the increase in processing speed is of the opposite character. The best way to pre-heat treatment of steel before the laser annealing is improved. This method of hardening the surface layer contributes to the formation of adequate areas with high values of hardness (7 GPa) with a smooth transition to a core that further positive effect during operation of the part.

**Keywords:** laser hardening, improvement, depth of hardened layer, hardness, structure of steel

### Введение

В настоящее время лазерная обработка находит все более широкое применение, которая может быть применена для сварки, горячей резки и термической обработки металлов. Главная специфика лазерной обработки заключается в высоких скоростях нагрева и охлаждения. При соприкосновении лазерного луча с не зеркальной поверхностью металла происходит значительное выделение тепловой энергии за довольно короткий период времени, что приводит к

значениям скорости локального нагрева порядка миллиона градусов в секунду. С другой стороны, локальность взаимодействия луча и металла означает, что после прохождения луча практически мгновенно нагретый участок оказывается в окружении холодного металла, который благодаря процессам теплоотвода обеспечивает столь же быстрое охлаждение. Скорость охлаждения составляет сотни тысяч градусов в секунду, что во много раз превосходит обычные скорости закалки, такие как в воде или в других закалочных средах. Именно

благодаря таким скоростям нагрева и охлаждения происходит образование особых, характерных именно для этой обработки структур.

К преимуществам лазерной поверхностной обработки относится прецизионная локальность и бесконтактность, отсутствие короблений, значительная производительность процесса благодаря высоким скоростям, возможность обработки в труднодоступных местах, автоматизация процесса.

Используя лазерный пучок как высококонцентрированный источник тепла, можно выполнять широкий спектр локальной термической обработки (закалка, отжиг и др.).

Существуют следующие стадии взаимодействия излучения с материалом при лазерной обработке [1]:

- подвод лазерного излучения к материалу,
- поглощение светового потока и передача его энергии металлу,
- нагрев материала без видимого разрушения,
- оплавление металла,
- испарение,
- остывание после окончания лазерного воздействия.

Протекание этих стадий, главным образом, зависит от свойств обрабатываемых материалов и от интенсивности и длительности воздействия лазерного излучения.

Скорость нагрева при лазерном облучении достаточно высока ( $\sim 10^5$ – $10^6$  град/с). Ниже данного диапазона нагрев материала происходит без его плавления либо испарения. Повышение значений указанного диапазона способствует разрушению материала вследствие плавления или испарения [2].

Изменения мощности и длительности воздействия лазерного излучения приводят к получению широкого спектра структурных состояний на обработанных участках поверхности материала.

#### Анализ литературных данных

Лазерная закалка делится на два основных вида: лазерная закалка с оплавлением поверхности металла и без оплавления. Последний вид обработки способствует локальному упрочнению поверхности без изменения микрогеометрии поверхности, что ликвидирует последующую механическую обработку [3].

Основные преимущества лазерной закалки – возможность локального прецизионного упрочнения любых труднодоступных мест деталей сложных конфигураций, отсутствие термического оборудования и охлаждающих сред, высокая производительность процесса [4].

Эффективность применения лазерной закалки заключается в значительном увеличении прочности и износостойкости деталей, что обеспечивается за счет формирования на поверхности детали слоя с закаленной структурой, которая отличается от

структуры металла, полученной классическими методами объемной закалки. В зоне нагрева при лазерной закалке без оплавления поверхности металла происходят структурные и фазовые изменения, заключающиеся в образовании аустенита с растворением карбидной фазы при нагреве и превращении аустенита в мартенсит при охлаждении с формированием высокодисперсной структуры [5].

Лазерная закалка с оплавлением способствует расплавлению поверхностных слоев, при этом примеси в металле в виде включений успевают раствориться. Высокие скорости охлаждения (до  $10^6$  град/с) способствуют формированию мартенсита с большим содержанием углерода, чем при традиционной закалке [6].

Современные лазерные комплексы позволяют проводить мониторинг зоны обработки, для контроля температуры, графическое представление всех данных процесса во время процесса, а так же профилирование пучка на поверхности обработки в зависимости от необходимых размеров (рис. 1) [7].

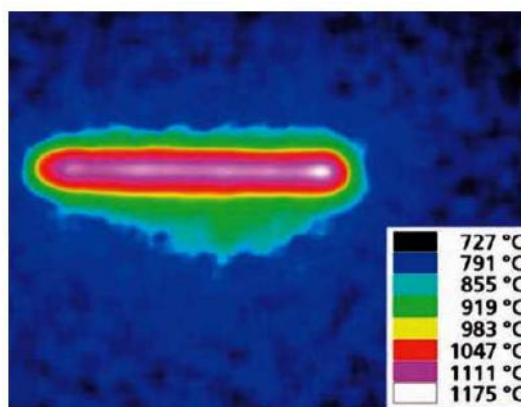


Рис. 1 – Распределение температуры в зоне лазерной обработки (упрочнения) стали

Актуальным является вопрос изучения влияния предварительной термической обработки и технологических параметров лазерного излучения на формирование структур в упрочненной области стали.

#### Цель работы

Целью данной работы является изучение влияния различных видов предварительной термической обработки и режимов лазерной закалки на структурообразование упрочненной зоны стали 40. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить лазерную обработку предварительного отожженной стали;
- изучить лазерную обработку предварительного закаленной стали;
- изучить лазерную обработку предварительного улучшенной стали;

- изучить влияние различных режимов лазерной закалки на структуроформирование упрочненной зоны стали.

мощность P = 5÷4000 Вт, тип передачи – оптическое волокно (Ø 600 мкм, длина 20 м), шаг управления мощностью 5 Вт.

**Материал и методика исследования**

Материалом для исследования является конструкционная углеродистая качественная сталь 40. Химический состав стали и температуры критических точек приведены в табл. 1, 2 соответственно.

Таблица 1 – Химический состав стали 40

C	Cr	Si	Mn	Ni	Cu	S	P
0,37–0,45	до 0,25	0,17–0,37	0,50–0,80	до			
				0,25	0,25	0,04	0,035

Таблица 2 – Температура критических точек стали 40, °C

$A_{c1}$	$A_{c3}(A_{cm})$	$A_{r3}(A_{rc})$	$A_{r1}$	$M_n$
730	790	780	690	340

Предварительная термическая обработка стали 40 заключалась в проведении отжига (нормализации), закалки и отпуска (табл. 3). Температура закалки стали согласно критическим точкам (табл. 2) составляла 850 °C. После закалки образцы из стали подвергали высокому отпуску. Температура отпуска стали 40 составляла 550 °C. Длительность выдержки при высоком отпуске составляла 1,5 часа, за это время полностью проходят фазовые превращения распада мартенсита закалки сорбит отпуска. В углеродистой конструкционной стали 40 после улучшения формируется структура из феррито-цементитной механической смеси, в которой зернистый цементит имеет дисперсную округлую форму благодаря коагуляции и сфероидизации при температуре 550 °C [8].

Таблица 3 –Режимы термических обработок и значения твердости исследуемой стали

Температура закалки, °C/среда охлаждения	Твердость, HRC	Температура отпуска, °C/среда охлаждения	Твердость, HRC
850/вода	58–56	550/воздух	32–30

Для проведения экспериментальных исследований был использован непрерывный Nd: YAG-Лазер "DY044" производства фирмы "ROFIN-SINAR" [9], общий вид которого представлен на рис. 2.

Основные параметры лазерной установки: активная среда лазера – Nd:YAG,  $\lambda = 1,06$  мкм,



Рис. 2 – Общий вид Nd:YAG – лазера "DY044" производства фирмы "ROFIN-SINAR"

Лазерное излучение передавалось по изготовленном из кварцевого стекла оптическому волокну диаметром 600 мкм и длиной 20 метров. Из оптоволокну лазерное излучение попадало в коллиматор, где превращалось с помощью системы оптических элементов, приобретало необходимые геометрические размеры и потом попадало на фокусирующую кварцевую линзу d=50 мм с фокусным расстоянием F=200 мм. Диаметр лазерного пятна составлял 3 мм, варьировались параметры скорости обработки и мощности.

Микроструктуру исследовали методом оптической микроскопии на микроскопе МИМ-8 по стандартной методике при различных увеличениях [10].

Микротвердость образцов определяли на приборе ПМТ-3 по стандартной методике (ГОСТ 9450–76).

**Обсуждение результатов**

*Лазерная обработка отожженной стали.*

Исходная структура доэвтектоидной стали 40 состоит из структурно свободного феррита и перлита – эвтектоидной смеси цементита и феррита (рис. 3). Первое, что происходит при лазерном нагреве отожженной стали, - это появление участков высокоуглеродистого аустенита около цементитных частиц в зоне термовлияния в перлитных участках. При охлаждении на месте высокоуглеродистого аустенита формируется большое количество мартенситных участков. Такого вида мартенсит называют «бесструктурным», который обычно состоит из линзовидных кристаллов шириной 0,2–1,0 мкм.

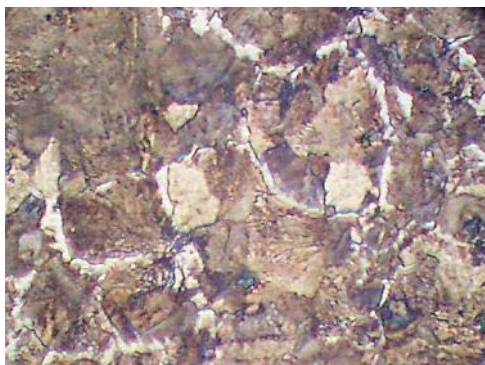


Рис. 3 – Структура стали 40 в отожженном состоянии,  $\times 200$

Неоднородность структуры наблюдается в зоне термовлияния и сохраняется вплоть до температуры плавления, и заключается в неоднородном распределении микротвердости в стали после лазерной заковки.

Очевидно, что лазерный сверхбыстрый нагрев отожженной стали с резко выраженными структурными составляющими в исходном состоянии вообще не позволяет получить однородную конечную структуру. Для этого требуется подготовительная термическая обработка, выравнивающая исходную структуру.

Поэтому в отожженном состоянии применение лазерной заковки является не целесообразным.

#### *Лазерная заковка предварительно закаленной стали.*

Предварительная заковка стали на мартенсит приводит к более однородному распределению углерода в структуре по сравнению с отожженным состоянием. Последующий отпуск обычно также не приводит к макроскопически заметному перераспределению углерода в структуре. Поэтому после лазерной заковки предварительно закаленной (или улучшенной) стали не наблюдается резкого различия в микротвердости в зоне, нагретой до одной и той же температуры.

По морфологическим признакам: форме мартенситных кристаллов, их взаимному расположению, группировке в пакеты, отсутствию двойников и характерным прослойкам остаточного аустенита – можно сделать вывод о том, что при лазерной заковке стали 40 с исходной мартенситной структурой (рис. 4) образуется реечный мартенсит, который наблюдается в углеродистых сталях, содержащих 0,2–0,6 % С. Следовательно, в аустените, из которого получен этот мартенсит, содержание углерода было близко к среднему для стали (0,4 %). При этом крупное зерно в начале зоны новой заковки, без сомнения, просто воспроизводит зерно исходной структуры, отличаясь от него только зубчатостью границ, что связано с проявлением эффекта структурной наследственности при быстром нагреве

стали с мартенситной структурой. При увеличении температуры, восстановленное зерно заменяется новым более мелким, образующимся в результате самопроизвольной релаксации в аустенитном состоянии.

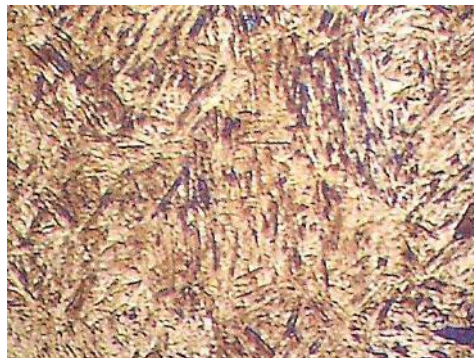


Рис. 4 – Структура стали 40 после объемной заковки,  $\times 200$

Таким образом, основной особенностью лазерной обработки предварительно закаленной стали заключается в обязательном проявлении структурной наследственности при нагреве. Этот факт объясняется ориентированным образованием аустенита. Также определяющее влияние на ориентированный характер зарождения аустенита, приводящий к структурной наследственности, оказывает не только исходная структура стали, но и высокая скорость нагрева при лазерной обработке.

#### *Лазерная заковка предварительно улучшенной стали.*

Структурный механизм образования аустенита в высокоотпущенной стали 40 заключается в следующем – сначала происходит кристаллографически упорядоченное  $\alpha$ – $\gamma$  превращение, которое должно было бы вести к восстановлению зерна аустенита исходной заковки, но одновременно с этим начинает происходить рекристаллизация аустенита. При лазерном нагреве образование аустенита происходит внутри кристаллов отпущенного мартенсита (рис. 5). Первые участки аустенита ориентированы (в пределах одного исходного зерна) одинаково, и это должно было бы вести к восстановлению исходных аустенитных зерен. С повышением температуры они растут, но затем, еще до их смыкания, в стали появляются по-новому ориентированные зерна, являющиеся продуктом рекристаллизации, которые и составляют конечную мелкозернистую структуру.

Таким образом, измельчение зерна при лазерном нагреве улучшенной стали 40 не является непосредственным результатом перестройки  $\alpha$ – $\gamma$ , но происходит в процессе налагающейся на эту перестройку рекристаллизации аустенита.



Рис. 5 – Структура стали 40 после улучшения,  $\times 200$

На формирование упрочненной лазером зоны влияют такие факторы как скорость обработки лазерным лучом и мощность лазера. С увеличением мощности, глубина упрочненного слоя увеличивается (рис. 6 и 7 соответственно).

Увеличение скорости обработки при лазерной закалке стали 40 приводит к уменьшению глубины зоны термического влияния (рис. 8 и 9 соответственно)

Низкая мощность (300 Вт), при скорости обработки 0,2 м/мин, способствует формированию отдельных упрочненных областей без образования сплошного упрочненного слоя, что показано на рис. 10. Понижение скорости в два раза приводит к формированию большей зоны термического влияния с образованием сплошного упрочненного слоя небольшой глубины (рис. 6).

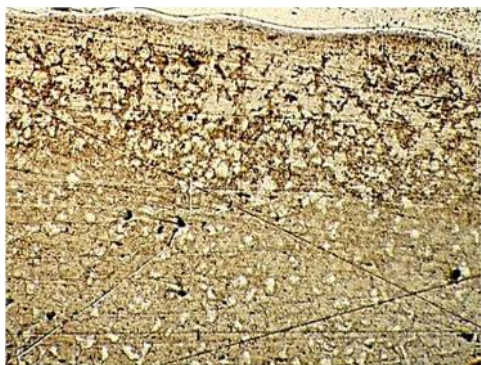


Рис. 6 – Структура упрочненной лазером зоны,  $\times 200$ . Режим лазерной обработки:  $V_{об} = 0,1$  м/мин;  $P = 300$  Вт

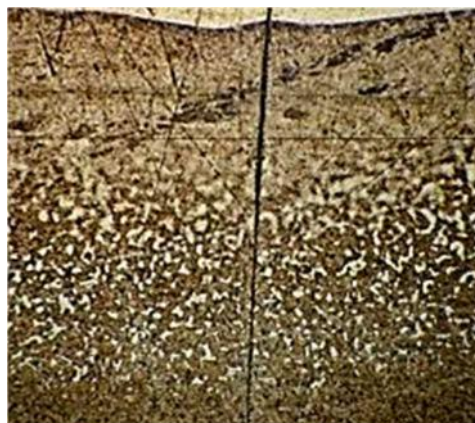


Рис. 7 – Структура упрочненной лазером зоны,  $\times 200$ . Режим лазерной обработки:  $V_{об} = 0,1$  м/мин;  $P = 800$  Вт



Рис. 8 – Структура упрочненной лазером зоны,  $\times 200$ . Режим лазерной обработки:  $V_{об} = 0,3$  м/мин;  $P = 500$  Вт

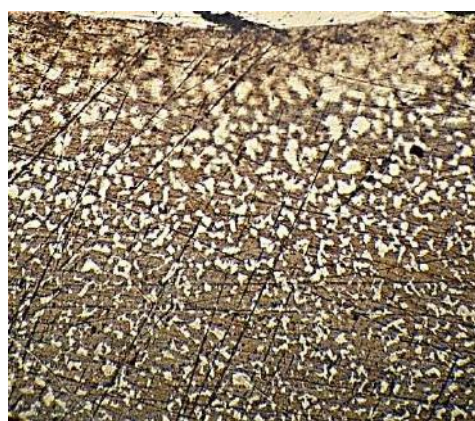


Рис. 9 – Структура упрочненной лазером зоны,  $\times 200$ . Режим лазерной обработки:  $V_{об} = 0,5$  м/мин;  $P = 500$  Вт



Рис. 10 – Структура упрочненной лазером зоны,  $\times 200$ . Режим лазерной обработки:  $V_{об} = 0,2$  м/мин;  $P = 300$  Вт

Структура соответствующая показателям мощности 1000 Вт имеет следующий вид (рис. 11).

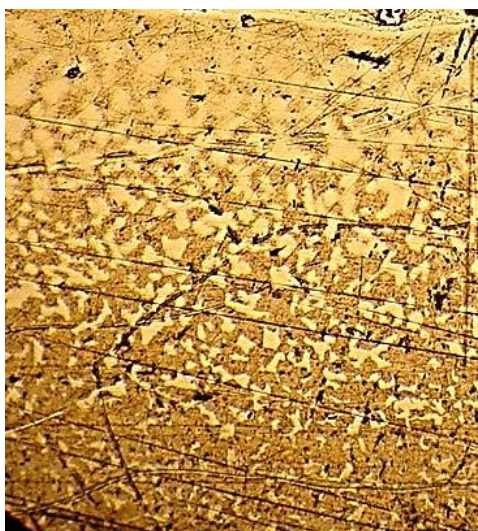


Рис. 11 – Структура упрочненной лазером зоны,  $\times 200$ . Режим лазерной обработки:  $V_{об} = 1,0$  м/мин;  $P = 1000$  Вт

Как и предполагали, основная матрица представляет собой сорбит отпуска, а в зоне лазерного влияния наблюдается мелкодисперсная структура мартенсита (светлые участки на структурах рис. 6–11).

На рис. 12 представлены кривые изменения микротвердости, полученных при измерении поперечных сечений зон термического влияния для стали 40, предварительно закаленной обычным способом и предварительно улучшенной (табл. 3). Значения твердости в результате новой закалки (т. е. образование аустенита в условиях лазерного нагрева и превращения его в мартенсит при охлаждении за счет теплоотвода) значительны, порядка 7 ГПа. Для стали после предварительной закалки характерна область резкого понижения твердости до 3 ГПа, что

связано с отпуском исходной мартенситной структуры, затем происходит плавное возвращение к твердости сердцевины, значениям твердости после объемной закалки.

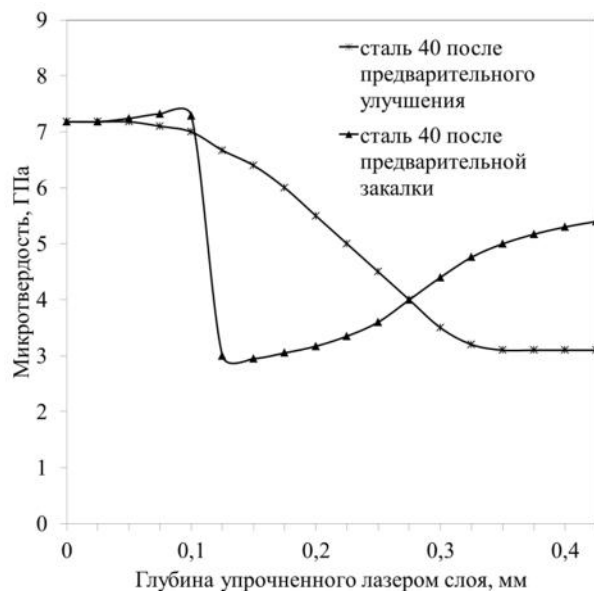


Рис. 12 – Распределение значений микротвердости в поперечном сечении от поверхности вглубь образца при скорости перемещения лазерного луча 0,5 м/мин

Предварительное улучшение способствует плавному снижению твердости от поверхностно упрочненной зоны лазерной обработки к сердцевине (рис. 12).

Таким образом, наилучшим способом предварительной термической обработки стали перед лазерной закалкой, является улучшение. Такой способ упрочнения поверхностного слоя способствует формированию достаточной зоны с высокими показателями твердости (7 ГПа) с плавным переходом к сердцевине, что в дальнейшем положительно сказывается при эксплуатации детали.

## Выводы

1. В отожженном состоянии применение лазерной закалки является не целесообразным из-за формирования неоднородной структуры.

2. Основной особенностью лазерной обработки предварительно закаленной стали заключается в обязательном проявлении структурной наследственности при нагреве.

3. На формирование упрочненной лазером зоны влияют такие факторы как скорость обработки лазерным лучом и мощность лазера. С увеличением мощности, глубина упрочненного слоя увеличивается, а увеличение скорости обработки носит противоположный характер.

4. Наилучшим способом предварительной термической обработки стали перед лазерной закалкой, является улучшение. Такой способ упрочнения поверхностного слоя способствует формированию достаточной зоны с высокими показателями твердости (7 ГПа) с плавным переходом к сердцевине, что в дальнейшем положительно сказывается при эксплуатации детали.

#### Список литературы

1. **Hahn, D. W.** Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), part II: review of instrumental and methodological approaches to material analysis and applications to different fields / **D. W. Hahn, N. Omenetto** // *Applied spectroscopy*. – 2012. – V. 66. – №. 4. – P. 347-419, doi:10.1366/11-06574
2. **Shimizu, M.** Mechanism of heat-modification inside a glass after irradiation with high-repetition rate femtosecond laser pulses / **M. Shimizu, M. Sakakura, M. Ohnishi, Y. Shimotsuma, T. Nakaya, K. Miura, K. Hirao** // *Journal of Applied Physics*. – 2010. – V. 108. – №. 7. – P. 073533, doi:10.1063/1.3483238
3. **Lobankova, O. V.** Influence of laser radiation on structure and properties of steel / **Lobankova, O. V., Zykov, I. Y., Melnikov, A. G., Turanov, S. B.** // *Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering: Proceedings of the international Conference on Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering, Incheon, South Korea, May 29-31*. – 2015. – CRC Press. – 2016. – 75 p.
4. **Kenar, H.** Femtosecond laser treatment of 316L improves its surface nanoroughness and carbon content and promotes osseointegration: An in vitro evaluation / **Kenar, H., Akman, E., Kacar, E., Demir, A., Park, H., Abdul-Khaliq, H., Karaoz, E.** // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2013. – V. 108. – P. 305-312. – doi:10.1016/j.colsurfb.2013.02.039.
5. **Okamuro, K.** Laser fluence dependence of periodic grating structures formed on metal surfaces under femtosecond laser pulse irradiation / **Okamuro, K., Hashida, M., Miyasaka, Y., Ikuta, Y., Tokita, S., Sakabe, S.** // *Physical Review B*. – 2010. – V. 82. – №. 16. – P. 165417. – doi:10.1103/PhysRevB.82.165417.
6. **Mahmoudi, B.** Laser surface hardening of AISI 420 stainless steel treated by pulsed Nd: YAG laser / **Mahmoudi, B., Torkamany, M. J., Aghdam, A. S. R., & Sabbaghzade, J.** // *Materials & Design*. – 2010. – V. 31. – №. 5. – P. 2553-2560. doi:10.1016/j.matdes.2009.11.034
7. **Yang, J.** Experimental investigation and 3D finite element prediction of the heat affected zone during laser assisted machining of Ti6Al4V alloy / **Yang, J., Sun, S., Brandt, M., Yan, W.** // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2010. – V. 210. – №. 15. – P. 2215-2222. – doi:10.1016/j.jmatprotec.2010.08.007.
8. **Idan, A. F. I.** The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels / **Idan, A. F. I., Akimov, O., Golovko, L., Goncharuk, O., Kostyk, K.** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – V. 2. – №. 5 (80). – P. 69-73. – doi:10.15587/1729-4061.2016.65455.
9. **Assunção, E.** Comparative study of laser welding in tailor blanks for the automotive industry / **Assunção E., Quintino L., Miranda R.** // *The International Journal of Advanced*

- Manufacturing Technology*. – 2010. – V. 49. – №. 1-4. – P. 123-131. – doi:10.1007/s00170-009-2385-0.
10. **Mohanad, M. K.** Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding / **Mohanad, M. K., Kostyk, V., Domin, D., & Kostyk, K.** // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – V. 2. – №. 5(80). – P. 45-49. – doi:10.15587/1729-4061.2016.65454

#### Bibliography (transliterated)

1. **Hahn, D. W., Omenetto, N.** Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), part II: review of instrumental and methodological approaches to material analysis and applications to different fields. *Applied spectroscopy*, 2012, **66**(4), 347-419, doi:10.1366/11-06574.
2. **Shimizu, M., Sakakura, M., Ohnishi, M., Shimotsuma, Y., Nakaya, T., Miura, K., & Hirao, K.** Mechanism of heat-modification inside a glass after irradiation with high-repetition rate femtosecond laser pulses. *Journal of Applied Physics*, 2010, **108**(7), 073533, doi:10.1063/1.3483238.
3. **Lobankova, O. V., Zykov, I. Y., Melnikov, A. G., & Turanov, S. B.** Influence of laser radiation on structure and properties of steel. In *Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering: Proceedings of the international Conference on Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering, Incheon, South Korea, May 29-31*, 2016, 75 p.
4. **Kenar, H., Akman, E., Kacar, E., Demir, A., Park, H., Abdul-Khaliq, H., Karaoz, E.** Femtosecond laser treatment of 316L improves its surface nanoroughness and carbon content and promotes osseointegration: An in vitro evaluation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2013, **108**, 305-312, doi:10.1016/j.colsurfb.2013.02.039.
5. **Okamuro, K., Hashida, M., Miyasaka, Y., Ikuta, Y., Tokita, S., Sakabe, S.** Laser fluence dependence of periodic grating structures formed on metal surfaces under femtosecond laser pulse irradiation. *Physical Review B*, 2010, **82**(16), 165417, doi:10.1103/PhysRevB.82.165417.
6. **Mahmoudi, B., Torkamany, M. J., Aghdam, A. S. R., & Sabbaghzade, J.** Laser surface hardening of AISI 420 stainless steel treated by pulsed Nd: YAG laser. *Materials & Design*, 2010, **31**(5), 2553-2560. doi:10.1016/j.matdes.2009.11.034.
7. **Yang, J., Sun, S., Brandt, M., Yan, W.** Experimental investigation and 3D finite element prediction of the heat affected zone during laser assisted machining of Ti6Al4V alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 2010, **210**(15), 2215-2222, doi:10.1016/j.jmatprotec.2010.08.007.
8. **Idan, A. F. I., Akimov, O., Golovko, L., Goncharuk, O., Kostyk, K.** The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **2**(5 (80)), 69-73, doi:10.15587/1729-4061.2016.65455.
9. **Assunção, E., Quintino, L., Miranda, R.** Comparative study of laser welding in tailor blanks for the automotive industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010, **49**(1-4), 123-131, doi:10.1007/s00170-009-2385-0.
10. **Mohanad, M. K., Kostyk, V., Domin, D., Kostyk, K.** Modeling of the case depth and surface hardness of steel during ion nitriding. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, **2**(5 (80)), 45-49, doi:10.15587/1729-4061.2016.65454.

**Сведения об авторах (About authors)**

**Идан Алаа Фадил И** – аспирант, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

**Idan Alaa Fadhil I** – PhD student, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

**Акимов Олег Викторович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина, e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

**Oleg Akimov** – Doctor of technical Sciences, Professor, head of the Department, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua.

**Костик Екатерина Александровна** – кандидат технических наук, доцент, кафедра литейного производства, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина, e-mail: eklitus@yandex.ru.

**Kateryna Kostyk** – Candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of Foundry production, National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; e-mail: eklitus@yandex.ru.

**Гончарук Алексей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, кафедра лазерной техники и физико-технических технологий, Национальный технический университет «Киевский политехнический институт»; г. Киев, Украина, e-mail: goncharuk.alex@gmail.com.

**Goncharuk Olexiy** – Candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of Laser technique and physic-technology science department, National technical university of Ukraine «Kiev polytechnic institute», Kiev, Ukraine; e-mail: goncharuk.alex@gmail.com.

*Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Идан, А. Ф. И.** Влияние предварительной термической обработки и режимов лазерной закалки на структурообразование стали / **А. Ф. И. Идан, О. В. Акимов, Е. А. Костик, А. А. Гончарук** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 66-73. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.10.

*Please cite this article as:*

**Idan Alaa Fadhil I, Akimov, O., Kostyk, K., Goncharuk, O.** The influence of pre-heat treatment and laser hardening on the steel structure formation. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **18** (1190), 66-73, doi:10.20998/2413-4295.2016.18.10.

*Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

**Идан, А. Ф. И.** Вплив попередньої термічної обробки та режимів лазерного гартування на структуроутворення сталі / **А. Ф. І. Идан, О. В. Акімов, К. О. Костик, О. О. Гончарук** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 66-73. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.10.

**АННОТАЦИЯ** Метою даної роботи є вивчення впливу різних видів попередньої термічної обробки і режимів лазерного гартування на структуроутворення зміцненої зони сталі 40. Показано, що найкращим способом попередньої термічної обробки сталі перед лазерним гартуванням, є поліпшення. Такий спосіб зміцнення поверхневого шару сприяє формуванню достатньої зони з високими показниками твердості (7 ГПа) з плавним переходом до серцевини, що в подальшому позитивно позначається при експлуатації деталі. На формування зміцненої лазером зони впливають такі фактори, як швидкість обробки лазерним променем і потужність лазера. При збільшенні потужності, глибина зміцненого шару збільшується, а збільшення швидкості обробки носить протилежний характер.

**Ключові слова:** лазерне гартування, поліпшення, глибина зміцненого шару, твердість, структура сталі

*Поступила (received) 08.05.2016*