

**Алаа Фадил И Идан, О. В. Акимов, Е. А. Костик, А. А. Гончарук\***

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

\*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

## **Упрочнение стали 40X комбинированной обработкой с применением лазера**

*Рассмотрены известные способы упрочнения поверхностного слоя стальных деталей. Исследованы недостатки комбинированных способов технологии лазерной обработки и азотирования. Разработана технология наиболее рационального комбинированного способа упрочнения стальных деталей, обеспечивающая высокие эксплуатационные свойства поверхностного слоя стали 40X.*

**Ключевые слова:** комбинированная обработка, лазерная обработка, азотирование.

**Введение.** Актуальным является применение ресурсосберегающих технологий для повышения эксплуатационного срока службы стальных деталей. Проблема отказа механизмов машин преимущественно связана с поверхностным разрушением, а именно с износом [1], ее можно решить за счет разработки новых технологий повышения долговечности быстроизнашиваемых деталей. Одним из перспективных направлений является создание деталей из недорогой матрицы с применением упрочняющей технологии поверхностного слоя. Существует целый ряд технологий, направленных на упрочнение поверхности детали, а именно: химико-термическая обработка, напыление, наплавка, поверхностное пластическое деформирование, гальванические покрытия, лазерная закалка, закалка токами высокой частоты и т. д.

Наибольший интерес представляют комбинированные обработки, обеспечивающие повышение твердости и прочности поверхностного слоя, что приводит в свою очередь к повышению срока службы детали в целом. Существует целый ряд таких технологий [2]. Все существующие технологии можно разделить на следующие группы: нанесение покрытий, диффузионные покрытия, упрочнение поверхностного слоя за счет изменения структуры.

Достаточно распространенной заводской технологией упрочнения поверхности стали является азотирование, однако это довольно длительный и дорогостоящий процесс. В настоящее время интерес представляет комбинированная обработка с применением азотирования и обработка, обеспечивающая сокращение времени насыщения сталей азотом.

В современной науке разработка новых ресурсосберегающих и экономически целесообразных технологий комбинированного упрочнения стальных деталей со значительным сокращением длительности процесса является важной и актуальной задачей.

**Анализ литературных данных.** Анализ современного состояния вопроса повышения срока службы деталей машин показывает, что эффективными способами поверхностного упрочнения сталей являются химико-термическая обработка, а именно: азотирование и лазерное упрочнение поверхности.

Лазерная обработка в сравнении с традиционными методами термической обработки материалов имеет целый ряд преимуществ [3]. При традиционной термической обработке необходим последующий отпуск, что снимает внутренние напряжения, однако наряду с этим снижает твердость обработанного слоя. При этом твердость составляет, как правило, 48-52 HRC. Лазерная же обработка не требует дополнительных операций отпуска. При этом твердость упрочненной лазерным лучом зоны поверхности составляет более 58-62 HRC [4]. Такая твердость закаленного слоя достигается за счет мартенситного превращения, оптимального сочетания насыщенности твердых растворов углеродом и легирующими элементами с их неоднородностью, повышения плотности дефектов кристаллического строения [5]. Наибольший интерес лазерная обработка стали для дальнейшего ускорения процесса азотирования представляет из-за значительного измельчения зерна, что приводит к ускорению процессов диффузии азота вглубь металла.

Существует множество технологий азотирования, но наибольший интерес представляют инновационные технологии, обеспечивающие необходимую глубину диффузионного слоя за короткий промежуток времени процесса насыщения.

Известные комбинированные технологии лазерной обработки и азотирования, такие как: способ низкотемпературного азотирования стальных деталей [6], способ получения износостойких дискретных азотированных слоев [7], способ комбинированной лазерно-химико-термической обработки материалов [8], имеют ряд нерешенных вопросов, а именно – не обеспечивают достаточную глубину упрочненного слоя или поверхностную твердость, являются сложными в использовании, трудоемкими, энергос затратными, длительными процессами (до 20 часов).

**Цель и задачи исследований.** Целью данной работы является создание технологии комбинированного способа упрочнения стальных деталей для обеспечения высоких эксплуатационных свойств поверхностного слоя стали.

Для достижения поставленной цели необходимо интенсифицировать процесс азотирования за счет

предварительной лазерной обработки поверхности стальных изделий.

**Методика исследований.** Разработанный способ предлагают осуществить с помощью предварительной обработки поверхности материала лазерным излучением. При этом температура поверхностного слоя для стали должна превышать АСЗ (температуру конца превращения феррита в аустенит), но не быть выше температуры плавления. Лазерную обработку сталей осуществляли на установке «ЛАТУС-31» с режимами: мощность излучения –  $1,0 \pm 0,1$  кВт, диаметр участка фокусировки луча – 5 мм, скорость перемещения лазерного луча – 0,5-1,5 м/мин.

Азотирование проводили в среде мелкодисперсного азотосодержащего вещества с активаторами при температуре 530-560 °С в течение 2-3 часов. Процесс осуществляли в закрытой атмосфере в виде герметичного контейнера в камерной печи без сложного специального оборудования и без применения защитных атмосфер.

Исследовали влияние предварительной лазерной обработки и конечного азотирования на структуру, толщину, фазовый состав, микротвердость поверхностных слоев образцов стали 40Х методами металлографического анализа с использованием металлографического микроскопа МИМ-7 с цифровой приставкой, ДРОН-3, ПМТ-3.

**Обсуждение результатов.** Анализ полученных результатов показал, что после лазерной обработки

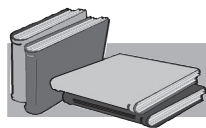
имеет место измельчение зеренной структуры поверхностных слоев стали 40Х, а после следующего азотирования получили слой большей толщины (до 0,55 мм) и большей микротвердости (до 11 ГПа) по сравнению с чисто азотированными участками (без предварительной лазерной обработки), на которых толщина диффузионного слоя не превышала 0,2 мм, а микротвердость – 10 ГПа. Это объясняется облегчением диффузии атомов азота и повышением его растворимости, вследствие образования более дефектной структуры металла после лазерного облучения (повышение плотности дислокаций, дробления зерен и увеличение протяженности их границ, получения ультрадисперсных разориентированных зерен).

Рентгеноструктурный фазовый анализ исследуемой стали в поверхностном слое выявил наличие нитридов:  $\xi$ -Fe<sub>2</sub>N,  $\epsilon$ -Fe<sub>3</sub>N-Fe<sub>2</sub>N,  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N, Fe<sub>3</sub>N и  $\alpha$ -Fe.

## Выводы

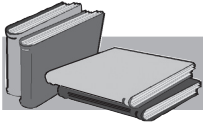
Разработана технология комбинированного способа упрочнения стальных деталей, обеспечивающая высокие эксплуатационные свойства поверхностного слоя стали.

Интенсифицирован процесс азотирования за счет предварительной лазерной обработки поверхности стальных изделий.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Aqida S. N., Calosso F., Brabazon D., Naher S., Rosso M.* Thermal fatigue properties of laser treated steels // International Journal of Material Forming. – 2010. – Т. 3. – №. 1. – С. 797-800.
2. *Manisekaran T., Kamaraj M., Sharif S. M., Joshi S. V.* Slurry erosion studies on surface modified 13Cr-4Ni steels: Effect of angle of impingement and particle size // Journal of materials engineering and performance. – 2007. – Т. 16. – №. 5. – С. 567-572.
3. *Alaa Fadhil I Idan, 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). – P. 69-73. DOI 10.15587/1729-4061.2016.65455
4. *Mujica L., Weber S., Pinto H., Thomy C., Vollertsen F.* Microstructure and mechanical properties of laser-welded joints of TWIP and TRIP steels // Materials Science and Engineering: A. – 2010. – Т. 527. – № 7. – С. 2071-2078.
5. *Магин Д. Ю., Костромин С. В.* Исследование структуры и свойств высокопрочной теплостойкой стали после объемной термической обработки и лазерного поверхностного упрочнения // Труды НГТУ им. ПЕ Алексеева. – 2013. – № 4. – С. 101.
6. Пат. 2415964 РФ, МПК С23С 8/26. Способ низкотемпературного азотирования стальных деталей / Петрова Л. Г., Чудина О. В., Александров В. О., Брежнев А. О., Барабанов С. И.; заявитель патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет). – № 2009139309/02; заявл. 26.10.2009; опубл. 10.04.2011, Бюл. № 10.
7. Пат. 25412 Украина, МПК С23С 8/02. Способ получения износостойких дискретных азотированных слоев / Киндрачук М. В., Ищук Н. В., Писаренко В. М., Головка Л. Ф., Яхья М. С.; изобретатель и владелец Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт». – № u200703002; заявл. 22.03.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
8. Пат. 19551 Украина, МПК С23С 8/02. Способ комбинированной лазерно химико-термической обработки материалов / Ищук Н. В., Писаренко В. М., Киндрачук М. В., Головка Л. Ф.; изобретатель и владелец Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт». – № u200607450; заявл. 04.07.2006; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.



## REFERENCES

1. Aqida S. N., Calosso F., Brabazon D., Naher S., Rosso M. (2010). [Thermal fatigue properties of laser treated steels]. International Journal of Material Forming, Vol. 3, no 1, pp. 797-800. [in English].
2. Manisekaran T., Kamaraj M., Sharif S. M., Joshi S. V. (2007). [Slurry erosion studies on surface modified 13Cr-4Ni steels: Effect of angle of impingement and particle size]. Journal of materials engineering and performance, Vol.17, no 5, pp. 567-572. [in English].
3. Alaa Fadhil I Idan, Akimov O., Golovko L., Goncharuk O., Kostyk K. (2016) [The study of the influence of laser hardening conditions on the change in properties of steels]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, no 2/5 (80), pp. 69-73. DOI 10.15587/1729-4061.2016.65455. [in English].
4. Mujica L., Weber S., Pinto H., Thomy C., Vollertsen F. (2010) [Microstructure and mechanical properties of laser-welded joints of TWIP and TRIP steels]. Materials Science and Engineering, Vol. 527, no 7, pp. 2071-2078. [in English].
5. Magin D. Yu., Kostromin S. V. (2013) Issledovanie struktury i svoystv vysokoprochnoi teplostoikoi stali posle ob'emnoi termicheskoi obrabotki i lazernogo poverkhnostnogo uprochneniia [Research of structure and properties of high-strength heat-proof steel after a volume heat treatment and laser surface strengthening]. Trudy NGTU im. PE Alekseeva, no. 4, p. 101. [in Russian].
6. Pat. 2415964 of RF, MPK S23S 8/26. Sposob nizkotemperaturnogo azotirovaniia stal'nykh detalei. [Way of the low-temperature nitriding of steel details]. Petrova L. G., Chudina O. V., Aleksandrov V. O., Brezhnev A. O., Barabanov S. I. Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniia Moskovskii avtomobel'no-dorozhnyi institut. – № 2009139309/02; zaiavl. 26.10.2009; publ. 10.04.2011, Bull. № 10. [in Russian].
7. Pat. 25412 of Ukraine, MPK S23S 8/02. Sposob polucheniiia izonostoikikh diskretnikh azotonirivannykh sloev. [The way of receiving the wear-resistant discrete nitrated layers]. Kindrachuk M. V., Ishchuk N. V., Pisarenko V. M., Golovko L. F., Yakh'ia M. S. Nacional'nyi tekhnicheskii universitet Ukrainy «Kievskii politekhnicheskii institut». – № u200703002; zaiavl. 22.03.2007; publ. 10.08.2007, Bull. № 12. [in Russian].
8. Pat. 19551 of Ukraine, MPK S23S 8/02. Sposob kombinirivannoi lazerno khimiko-termicheskoi obrabotki materialov. [Method of combined laser-chemical-thermal treatment of materials]. Ishchuk N. V., Pisarenko V. M., Kindrachuk M. V., Golovko L. F. Nacional'nyi tekhnicheskii universitet Ukrainy «Kievskii politekhnicheskii institut». – № u200607450; zaiavl. 04.07.2006; publ. 15.12.2006, Bull. № 12. [in Russian].

### Анотація

Алаа Фаділ І Ідан, Акімов О. В., Костик К. О., Гончарук О. О.

Зміцнення сталі 40Х комбінованою обробкою із застосуванням лазера

*Розглянуто відомі способи зміцнення поверхневого шару сталевих деталей. Досліджено недоліки комбінованих способів технології лазерної обробки і азотування. Розроблено технологію найбільш раціонального комбінованого способу зміцнення сталевих деталей, що забезпечує високі експлуатаційні властивості поверхневого шару сталі 40Х.*

### Ключові слова

*Комбінована обробка, лазерна обробка, азотування.*

### Summary

*Idan Alaa Fadhil I, Akimov O., Kostyk K., Goncharuk O.*

Hardening of steel 40Cr by combined treatment using laser

*There are considered the known methods of hardening the surface layer of steel parts. And also the shortcomings of the combined methods of laser treatment and nitriding are studied. The technology of the most rational combined method of hardening of steel parts is developed, which provides high operational properties of the surface layer of steel 40Cr.*

### Keywords

*Combined treatment, laser treatment, nitriding.*

Поступила 18.09.16