

## СИСТЕМА И ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ЛАЗЕРНО ЗАКАЛЯВАНЕ НА СЛОЖНИ 3Д ПОВЪРХИНИ

**Борислав Стоянов, Иван Барзев, Продан Проданов\***

*Технически Университет - Габрово, ул. Хаджи Димитър № 4, Габрово, Р. България*

*\*кореспондиращ автор: pprodanov@tugab.bg*

## SYSTEM AND TECHNOLOGY FOR LASER HARDENING OF COMPLEX 3D SURFACES

**Borislav Stoyanov, Ivan Barzev, Prodan Prodanov\***

*Technical University of Gabrovo, Hadji Dimitar str. 4, Gabrovo, Republic of Bulgaria*

*\*corresponding author: pprodanov@tugab.bg*

### **Abstract**

*Modern trends in the development of industrial production systems combine a high-tech positioning mechanism and an eco- and energy-saving executive mechanism or technological tool used as processing tools. This tool can be used in the following possible variants: material removal (CNC machines for selective material removal), material addition (additive technologies - laser welding, 3D printing, etc.), as well as surface treatment (such as quenching, heat treatment, etc. All these processes combine the advantages of positioning systems (based on high-tech servo drive systems) and energy-saving processing heads. Such a production system and technology are presented in this paper – a high-performance positioning system and laser scanner head for surface treatment.*

**Keywords:** laser equipment, laser hardening, servomotor, industrial robot, surface treatment.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

В последното десетилетие се реализира обективно развитие на лазерните технологии, както по отношение на адитивните технологии, така и за повърхностната термична обработка [1, 2 и 3]. Все повече високотехнологични лазерни системи се използват за лазерна обработка (закаляване, рязане, заваряване, 3Д принтиране), предвид следните характерни особености: висока точност и прецизност при насочване на лазерния лъч, малката ширина на лъча и насочването му в точка с минимални размери. Важен аспект от развитието на лазерните технологии е свързан с лазерната термична и технологична обработка [4, 5]. Процеси като закаляване, заваряване, рязане и др. използващи лазерни технологии позво-

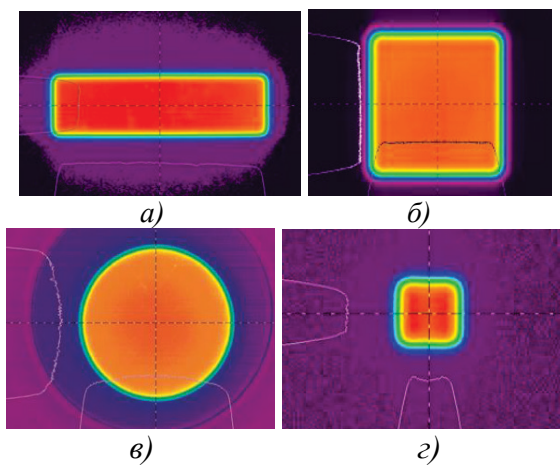
ляват висока точност, енергийна ефективност, съсредоточаване на голямо количество мощност в единица обем, едновременно с високо бързодействие и точност. Предлагащите на пазара лазерни глави са с мощност от 500W до 10000 W, с възможност за съсредоточаване на лазерния лъч в точка или петно в регулируеми размери.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ**

Възможността за регулиране ширина на лазерното петно позволява по-ефективно и с по-висока степен на функционалност да се извършва повърхностната обработка на материалите. Приложението на такива лазерни системи, съчетани с високо функционална позиционираща системи позволяват изграж-

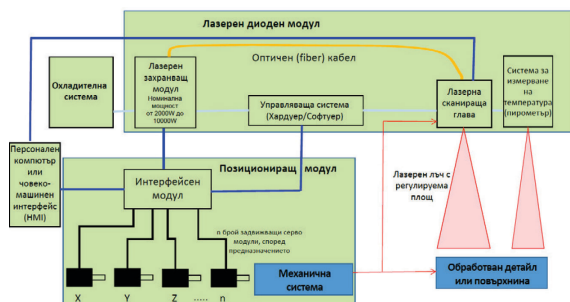
дането на машини и системи, които да се използват за решаването на специфичните технологични задачи, свързани с термична и технологична обработка на сложни геометрични 3D повърхнини, намиращи приложение с широк спектър от индустрии: машиностроене, автомобилостроене и др.

Използването на лазерен лъч в точка се използва при адитивните процеси и лазерното рязане, докато използването на лазерно петно с регулируеми размери се прилага в технологии като закаляване и заваряване – фиг. 1.



Фиг. 1. Различни по геометрия и размери петна на лазерния лъч за повърхностна обработка

В структурно отношение, за реализирането на такава високотехнологична система за лазерна термична обработка на сложни 3Д повърхнини са необходими следните блокове, представени като структурна схема на фиг. 2.

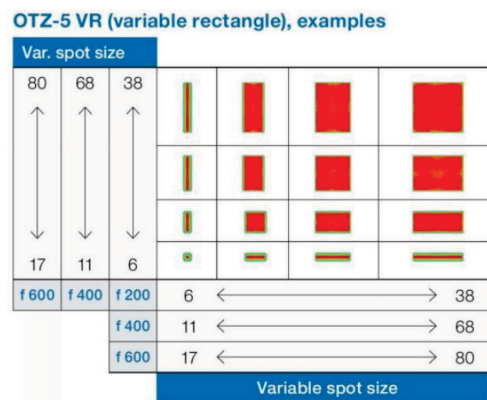


Фиг. 2. Блок-схема на система за повърхностна обработка на сложни 3Д повърхнини

Представената структура съдържа: лазерен диоден модул с необходимата за технологичния процес мощност; позициониращ модул; охладителен модул и персонален компютър (софтуер и/или човеко-машинен интерфейс). Лазерният диоден модул трябва да съдържа следните компоненти: лазерен захранващ модул с номинална мощност в диапазона - (2 – 10) kW; лазерна сканираща глава с възможност за регулируемо лазерно петно посредством варио-оптика, както и система за измерване на температурата на повърхността на детайла по време на технологичния процес.

За позициониращ модул е избран и пуснат в експлоатация индустриален робот тип FANUC M20iD [6] с шест степени на свобода, съответно шест задвижващи оси със серводвигатели, както и в допълнение към него – ротационен едноосен модул[7].

Лазерният източник е тип LDM4000-100 с номинална мощност 4kW[8]. Лазерната обработваща глава е тип OTZ-5 VR [9] снабдена с варио-оптика с възможност за регулиране на размерите на лазерното петно в диапазона (5,5x8) mm до (22x44) mm. На фиг. 3 е показана възможността за регулиране на ширината на петното на лазерния лъч, по данни на фирмата производител [9].



Фиг. 3. Възможност за регулиране петното на лазерна глава тип OTZ-5 VR

Освен това, за прецизното регулиране на температурата, към лазерната глава има вграден пирометър, осъществяващ

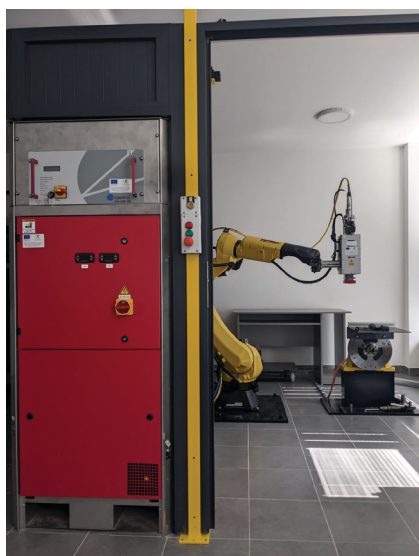
прецизно измерване и регулиране на температурата на закалявания слой.

На фиг. 4 е показана изградената система за лазерни термични операции, свързани с повърхностно закаляване на детайли.



**Фиг. 4.** Позиционираща система за повърхностна обработка на сложни 3Д повърхнини

Допълнителни дейности за превръщането на представената роботизирана система за 3Д позициониране с лазерна глава за закаляване в обособена структурна единица за провеждане на необходимите научни и експериментални изследвания са свързани с обезопасяването и осъществяването на отдалечен достъп и контрол. За осъществяване на това е изградена на обособена „клетка“ в която е поставено това съоръжение с взети всички мерки за осъществяване на безопасност при работа с лазерно оборудване. Изградени са защитни прегради и заграждения, електрически и електронни системи за защита, блокировки, алармиращи системи, както и системи за отдалечен достъп и контрол – фиг. 5а и фиг. 5б.



а)



б)

**Фиг. 5.** Изглед на изградената защитна „клетка“ на система за лазерно закаляване на сложни 3Д повърхнини

### Лазерно закаляване на стомана 45

За провеждане на експериментални опити е избрана конструкционна стомана 45 като материал за лазерна обработка – табл. 1 и табл. 2.

**Табл. 1.** Химичен състав на стомана 45 спрямо DSTU 7809, %

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Ni</b>
0.42-0.5	0.17-0.37	<0.04	<0.035	<0.25
<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	<b>As</b>	<b>Fe</b>
<0.25	0.5-0.8	<0.25	<0.08	~97

**Табл. 2.** Механични характеристики на стомана 45 след нормализация

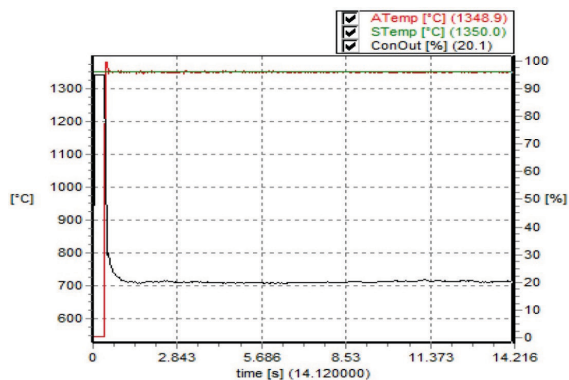
<b>Standard</b>	<b>Delivery condition</b>	<b>Creep limit, Rm (MPa)</b>
DSTU 7809 GOST 1050	Post-normalization	355
<b>Short-term tensile strength ReH (MPa)</b>	<b>Minimum elongation ratio <math>\sigma</math>, %</b>	<b>Contraction ratio, %</b>
600	16	40

Параметрите на лазерната система за закаляване са подбрани при следните стойности – табл. 3.

**Табл.3. Параметри на процеса лазерно закаляване**

Параметър	Стойност
Мощност на лазерното лъчение, $P_{max}$ [kW]	4,0
Температура, $t_{nom}$ [°C]	1350
Температура, $t_{max}$ [°C]	1400
Скорост, $V$ mm/s	Регулируема: 3, 5 and 7.
Фокусно разстояние, $Wd$ [mm]	400

Изпълнението на процеса лазерно закаляване при  $V = 5\text{mm/s}$  е показан графично на фиг. 6 с видим резултат показан на фиг. 7. На фиг. 6 е показана зададената температура, действителната температура и работната мощност по времетраенето на процеса на закаляване. Вижда се достигането на зададената температура от  $1350^{\circ}\text{C}$  за около 0,35-0,4 секунди, което съответства на линейно движение от около 2 mm. Това е приемливо разстояние, предвид използването на петно на лазерно закаляване с размер  $(5,5 \times 8)\text{mm}$ , което означава, че достигнатата температура е в диапазона на лазерното петно от самото начало на процеса. При тази скорост, размер на лазерното петно за закаляване и стомана, използваната мощност от 20.1% от номиналната мощност  $P_N = 4000\text{W}$ , което означава работна мощност от  $P_N = 804\text{W}$ .



**Фиг. 6. Провеждане на закаляването**

След проведената обработка се пристъпва към металографски анализ. За

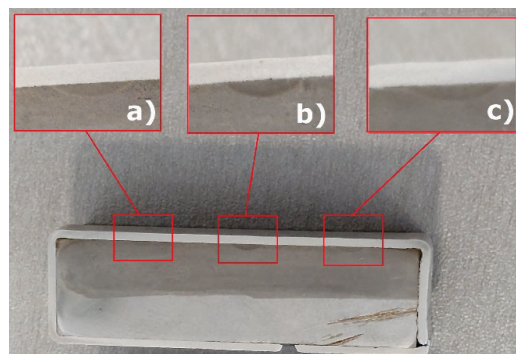
целта пробата е срязана перпендикулярно спрямо лазерно термо-обработената повърхност, както е показано на фиг. 8 и фиг. 9. Металографската проба е обработена чрез шлифование във водна среда с корундова шкурка с едрина 150, 400, 600, 800, 1000, 1500 и полирана с паста ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - 3\mu\text{m}$ ), като при шлифването е отнет слой с дълбочина 0,3 mm с цел премахване дефектите породени от процеса на рязане. За проявяване на микроструктурата е използван 5% разтвор на азотна киселина (Nital). Изследването на микрошлифа е проведено на оптичен микроскоп Neofot-2 при увеличение  $X 50$  – фиг. 11. Еталон за измерване на едрината на кристалите е представена на фиг. 10.



**Фиг. 7. Обработен образец от стомана 45 с дължина 70 mm, размер на лазерното петно  $(5,5 \times 8)\text{mm}$  и измерена твърдост**

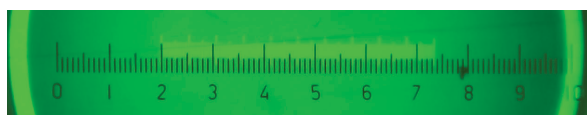


**Фиг. 8. Подготвен опитен образец за металографски анализ.**

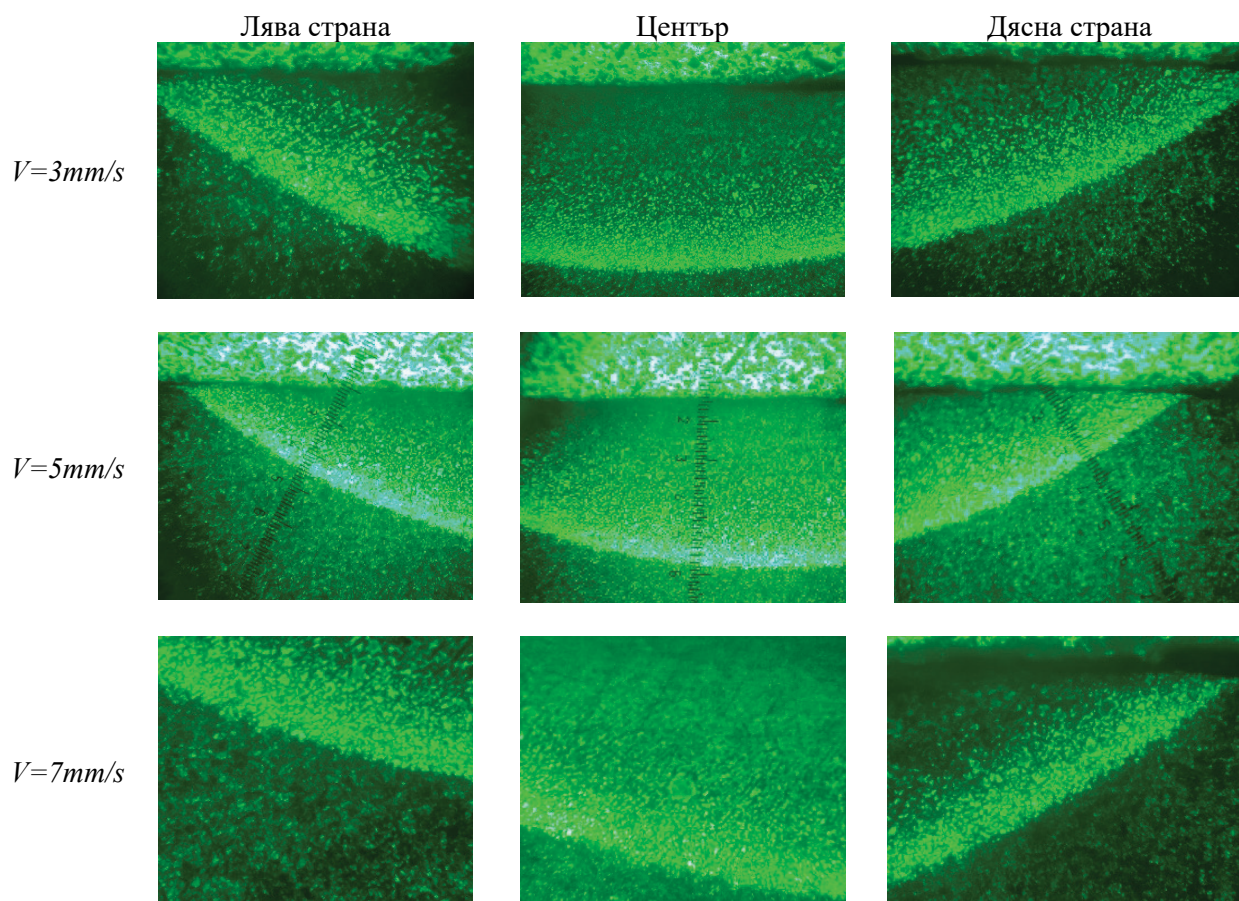


**Фиг. 9. Обработен образец от стомана 45 при различни параметри**

a)  $V=7\text{mm/s}$     b)  $V=3\text{mm/s}$     c)  $V=5\text{mm/s}$



Фиг. 10. Еталон на оптичната система



Фиг. 11. Микрошлиф в закалените области при различни режими

Получените експерименти от закаляване с лазер на конструкционна стомана 45 показват задоволителен резултат. На фиг. 9 се забелязват ясно температурно повлияните зони в метала.

При микроскопския анализ - фиг. 11 се забелязва съществено намаляване на едрината на кристалите в строежа на стоманата, в зоната на въздействие, което е предпоставка за правилно провеждане на технологичния процес. Наблюдават се преходи в дълбочина на структури на мартензит, мартензит с феритоперлит и ферит. В последващи експерименти ще бъде проведено металографско изследване на изброените структурни зони за да се докаже функционалността

на получения слой. Установяването на микротвърдостта в напречното сечение на слоевете ще охарактеризира положителното температурно въздействие. Последващи SEM анализи ще потвърдят наличието и концентрацията на въглерод. Фазовия строеж в закалената област ще се анализира с помощта на X-ray дифрактометър (XRD).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализирана и изследвана е система за термична повърхностна обработка, свързана с лазерно закаляване на различни по вид и сложност детайли. Представената система съчетава в себе си високоефек-

тивни задвижващи системи, както и обработваща лазерна глава с високо ниво на ефективност и функционалност. Приложението на такива лазерни системи е свързано с решаването на специфичните технологични задачи по отношение на повърхностно закалявана на сложни геометрични 3D повърхнини, намиращи приложение с широк спектър от индустрии, като например: металургия, машиностроене, автомобилостроене и др. Чрез тази технология се позволява термообработката на зони от детайлите, които не могат да бъдат достигнати с друго електротехнологично оборудване, а също така и прецизно регулиране по отношение на твърдост и дълбочина на закаления слой на различни по вид и геометрия детайли в посочените по горе сектори от индустрията.

*Източник на финансиране: Това изследване е финансирано от Европейския фонд за регионално развитие в рамките на ОП „Научни изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021-2027 г., Проект BG16RFPR002-1.014-0005 Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“.*

*Благодарности: Авторите изказват своята благодарност към рецензентите за насоките и критичните бележки при оформянето на настоящия доклад, както и изказват благодарност към проект BG16RFPR002-1.014-0005.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] N.S. Bailey, W. Tan, Y.C. Shin, Surface & Coatings Technology 203 (2009) 2003–2012.
- [2] J. C. Ion, Surface Engineering 18 (2002) 14-31
- [3] A. Roy, I. Manna, Mat. Sci. Eng. A297 (2001) 85-93
- [4] S. Němeček, LaRoux Gillespie ed.: Design for Advanced Manufacturing: Technologies and Processes, McGraw-Hill 2017, ISBN-13: 978-1259587450, ISBN-10: 1259587452
- [5] C. Soriano, J. Leunda, J. Lambarri, V. García Navas, C. Sanz, Applied Surface Science 257 (2011) 7101–7106
- [6]<https://www2.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-filter-page/m-20-series/m-20id-35>
- [7]<https://www.fanuc.eu/il/en/robots/accessories/robot-motion/positioners>
- [8] <https://www.laserline.com/en/int/ldmseries/>
- [9] <https://www.laserline.com/en-int/otz-series/>
- [10][https://www.optoprim.it/wp-content/uploads/2021/09/Laserline\\_OTZ\\_Zoom\\_Optics.pdf](https://www.optoprim.it/wp-content/uploads/2021/09/Laserline_OTZ_Zoom_Optics.pdf)