

МОДИФИЦИРАНЕ ПОВЪРХНОСТНИЯ СЛОЙ НА ИНСТРУМЕНТАЛНА БЪРЗОРЕЗНА СТОМАНА 1.3343, ЧРЕЗ ЛАЗЕРНО ОБРАБОТВАНЕ

Калин Владимирова Анастасова, Продан Иванов Проданова*

*Технически Университет - Габрово, ул. Хаджи Димитър № 4, Габрово, България,
Кореспондиращ автор: pprodanov@tugab.bg

MODIFYING THE SURFACE LAYER OF INSTRUMENTAL HIGH- SPEED STEEL 1.3343 BY LASER PROCESSING

Kalin Vladimirov Anastasov, Prodan Ivanov Prodanov*

*Technical University of Gabrovo, Hadji Dimitar str. 4, Gabrovo, Republic of Bulgaria,
Corresponding author: pprodanov@tugab.bg

Abstract

Modifying surface layers through laser processing is one of the modern methods for improving the performance characteristics of metal-cutting tools made of high-speed tool steels. By applying this technology, the high energy impact of the laser beam can improve the roughness and hardness of the treated surface due to the temperature and structural changes that occur. The article presents the results of a study of the roughness and microhardness of laser-treated surfaces on test specimens made of high-speed tool steel 1.3343, in a state after conventional heat treatment—hardening and tempering—and mechanical processing—grinding.

Keywords: *modifying surface layers, laser processing, hardness, roughness, structural changes, high-speed tool steels.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Условията на експлоатация на режещите инструменти, в повечето случаи са значително по-тежки от тези на останалите конструкционни елементи в машиностроенето. По контактните им повърхнини се реализират значителни силови и топлинни натоварвания – до 1000⁰С. Освен това протичат процеси на интензивно триене, водещо до адхезионни и дифузионни процеси. Въпреки експлоатацията им в такива условия към тях се предявяват значителни изисквания по отношение на надеждност и износостойчивост. Тяхната работоспособност и технико-икономически показатели в голяма степен се определят от инстру-

менталния материал да издържа на експлоатационните условия. В процеса на експлоатация основните натоварвания се поемат от повърхностния слой на инструмента, където е прекия контакт между инструменталния материал и материала на заготовката.

Една от големите групи инструментални материали е тази на бързорезните стомани. Характеризират се с повишена топло и износоустойчивост и ниска цена в сравнение с твърдите сплави и са основен материал за производство на режещи инструменти за обработване на черни и цветни метали, дърво, пластмаса и други. Въпреки преимуществата си поради повишените изисквания към инструмен-

тите, често този материал не може да удовлетвори зададените параметри на технологичния процес, когато е приложен в класически вид – в състояние на термообработка. Именно за това съвременните тенденции в инструменталното производство са модифициране на повърхностните слоеве на произвежданите инструменти, като при това се повишава твърдостта и изнosoустойчивостта им, при запазване на жилавостта. Има различни технологии за това – термични (лазерна, електронно лъчева обработка), химико-термични (азотиране, нитриране, карбонитриране), обработване чрез методите на ППД (повърхностната пластична деформация) и други [1].

Модифицирането на повърхностния слой на режещи инструменти чрез лазерно обработване е метод на високоенергийно въздействие върху повърхността на заготовката. При него, повърхността се загрева бързо, при прекъсване на облъчването температура-та спада в следствие температурната дифузия и се постига ефект подобен на закаляване. В тази технология, поради възможностите на съвременните лазери, за контрол на параметрите на процеса – скорост на сканиране, мощност на лазера, могат да се формират различни характеристики на повърхностната структура на инструменталния материал. Предимството на метода се явява бърза скорост, малки деформации, висока ефективност и възможност за управление, което дава възможности за получаване на различни характеристики на повърхността, при еднакви изходни на основния материал [3-9].

Целта на изследването в статията е анализ на характеристиките на повърхнината – грапавост и микротвърдост, на обработени чрез лазер заготовки от бързорежна инструментална стомана 1.3343, след термична обработка и шлифване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

1.1 Материал и заготовки

1.1.1 Материал

Използваният материал е бързорежна инструментална стомана, марка 1.3343 с диаметър $\varnothing 20\text{mm}$ и химичен състав представен в табл.1. За изследване на химичния състав на материала е използван спектрометър *BELEG LAB 3000s*, представен на фиг. 1.

Табл. 1. Химичен състав на ст-на 1.3343 (%)

C	Mo	Si	W	Mn	Cr	V	S
0,91	4,95	0,11	6,35	0,15	4,15	1,95	0,011



Фиг. 1. Спектрометър BELEG LAB 3000s

1.1.2 Заготовки

Заготовките за пробните тела са изработени от калиброван прътов материал с диаметър $\varnothing 20\text{mm}$, от инструментална бързорежна стомана 1.3343. Те са с окончателни размери $\varnothing 14/L50$, съобразени със захващащото приспособление на лазерната установка.

1.2 Оборудване, инструменти и план на експеримента

1.2.1 Производствено оборудване и инструменти

1.2.1.1 Оборудване за механична обработка преди ТО (Термична обработка)

- Машина – Струго – фрезови център марка “РАЙС”, мод. T2500.
- Инструмент – Стругарски нож с металокерамични сменяеми пластини *VCMT 160404-F3P* на фирма ISCAR [15], установени в призматичен държач *SVVCN 2525M-16* [15].

1.2.1.2 Оборудване и режими за ТО

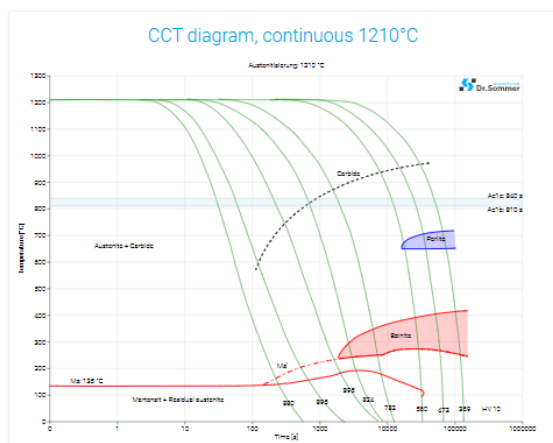
Заготовките са подложени на комплексна термична обработка, данните за

която включват вид, инертна среда, температура и охлаждаща среда.

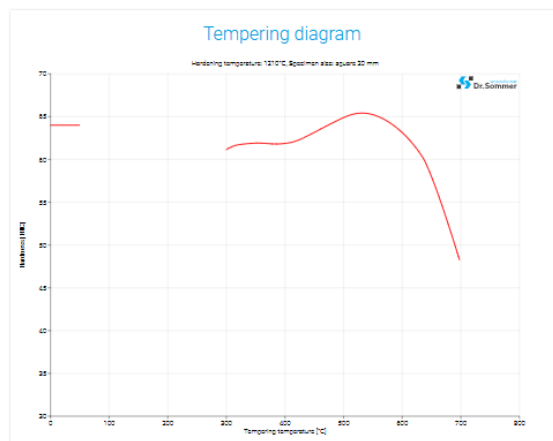
Термичната обработка е проведена във вакуумна пещ HTS, представена на фиг. 2. Параметрите на режима са проектирани и симулирани с помощта на софтуер. Графиките от симулациите са представени на фиг.3 и фиг. 4.



Фиг. 2. Вакуумна пещ HTS



Фиг. 3. Криви на закаляване



Фиг. 4. Крива на отвяряне

За постигане твърдост от $HRC=63\pm 1$, след ТО, е приет следния режим:

- Закаляване:
 - Температура на аустенизация – 1210°C .
 - Време на задържане при 1210°C – 45'.
 - Закалъчна среда – N_2 , при 10bar.
- Отвяряне – трикратно:
 - Температура на отвяряне – 480°C .
 - Време на задържане при 480°C – 45'.

1.2.1.3 Оборудване и инструменти за механична обработка след ТО

След ТО пробните тела са подложени на външно кръгло шлифование.

- Машина - Универсална кръгло-шлифовъчна машина марка „STUDER“, мод. S31.
- Инструмент – Шлифовъчен диск от CBN, с характеристики CS33A 220 HH4 VB1/50 CSS – ULTRA.

1.2.1.4 Оборудване за лазерна обработка

Лазерната обработка на пробните тела е осъществена чрез лазерен диоден модул LDM-4000-100 с необходимата за технологичния процес мощност от 4 kW [10]; лазерна сканираща глава OTZ-5 [11] с номинална мощност от 4kW и с възможност за регулируемо лазерно петно посредством варио-оптика до максимални размери $(22\times 43)\text{mm}$. В системата е вграден двузонов пирометър който измерва и управлява регулирането на температурата на детайла в диапазон от $(550 - 1500)^{\circ}\text{C}$ [12]. Използването на пирометър дава възможност за измерване и регулиране на температурата на повърхността на детайла по време на технологичния процес „лазерно повърхностно закаляване“. За позициониращ модул е избран индустриален робот тип FANUC M20iD [13] с шест степени на свобода, съответно шест задвижващи оси със серводвигатели, както и в допълнение към него – ротационен едноосен модул [14]. На фиг. 5 е показана изградената система за лазерни термични операции, свързани с повърхностно закаляване на детайли.



Фиг. 5. Лазерна установка

1.2.2 Лабораторно оборудване

Лабораторно оборудване за изследване на пробните тела след ТО, шлифование и лазерна обработка:

- За проверка твърдостта на пробните тела след ТО е използван твърдомер „Mitutoyo”, mod. XR – 100.
- За измерване на диаметъра на заготовките е използван пасаметър „Mitutoyo”, с обхват 0-25mm.
- За измерване параметъра на грапавостта Ra е използван грапавомер „DIAVITE” mod. DH-8.
- За измерване микротвърдостта след лазерната обработка е използван цифров микротвърдомер “MHV-200A”.

1.3. Експериментален план

За нуждите на изследването е изработена серия пробни тела, от бързорежна инструментална стомана, марка 1.3343 със следните зададени параметри:

- Материал – бързорежна инструментална стомана, марка 1.3343.
- Твърдост след ТО – HRC=63+/-1.
- Диаметър след шлифование–14_{-0,02} mm.

За изследване влиянието на лазерната обработка върху грапавостта и микротвърдостта на закалени и шлифовани пробни тела от бързорежна инструментална стомана марка 1.3343 са извършени следните изследвания:

- След ТО е измерена твърдостта на пробните тела;
- След шлифването са измерени грапавост и диаметър на пробните тела;

- След лазерната обработка са измерени грапавост, микротвърдост и размер на обработената повърхнина.

Параметри на процеса:

- Широчина на фокалното петно – 10mm;
 - Форма на фокалното петно – линия;
 - Скорост – 0,3mm/s.
 - Мощност – променлива за обезпечаване на зададената температура.
 - Температура на повърхнината – 1100°C, 1125°C, 1150°C, 1175°C, 1200°C, 1225°C, 1250°C, 1275°C, 1300°C, 1325°C.
- Със всяка от показаните температури е изработено и анализирано пробно тяло, като номерацията е във възходящ ред, отговарящ на увеличаването на температурата.

На фиг. 6 е представено пробно тяло след извършена лазерна обработка.



Фиг. 6. Пробно тяло след извършена лазерна обработка

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И КОМЕНТАРИ

В табл. 2 са представени резултатите от измерванията на твърдостта, грапавостта и диаметъра на пробните тела след ТО и шлифование.

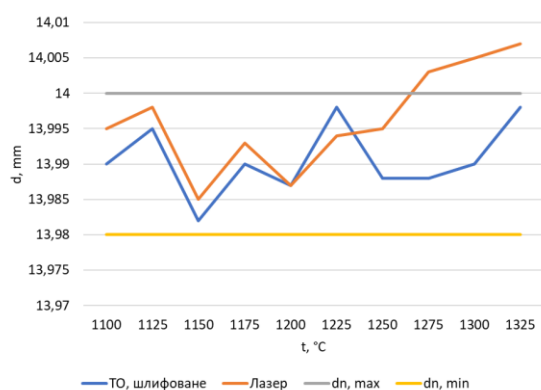
Табл. 2. Параметри на пробните тела след ТО и шлифование

Тяло №	Диаметър, mm	Грапавост Ra, μm	Твърдост HRC	Твърдост HV10
1	13,990	0,366	63	773,5
2	13,995	0,272	64	802,2
3	13,982	0,250	63	786,4
4	13,990	0,248	64	805,1
5	13,987	0,305	63,5	781,7
6	13,998	0,249	64	798,8
7	13,988	0,319	63	788,6
8	13,988	0,289	64	795,6
9	13,990	0,233	63,5	784,3
10	13,998	0,282	64	804,1

В табл. 3 са представени резултатите от измерванията на микротвърдостта, грапавостта и диаметъра на пробните тела след последваща лазерна обработка. На фиг.7, 8 и 9 е направено графично съпоставяне на получените резултати от табл.2 и 3.

Табл. 3. Параметри на пробните тела след последваща лазерна обработка

Тяло №	Диаметър, mm	Грапавост Ra, μm	Твърдост HRC	Твърдост HV10
1	13,995	0,177	65,7	856,9
2	13,998	0,145	69,9	1072,3
3	13,985	0,083	68	996,5
4	13,993	0,122	66	885,1
5	13,987	0,140	65,5	850,7
6	13,994	0,115	67	905,8
7	13,995	0,104	63	778,8
8	14,003	0,185	64	801,6
9	14,005	0,189	59,5	689,3
10	14,007	0,282	60	697,1



Фиг. 7. Сравнение на диаметъра на пробните тела



Фиг. 8. Сравнение на грапавостта на пробните тела



Фиг. 9. Сравнение на твърдостта на пробните тела

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено е изследване на влиянието на лазерната обработка върху грапавостта и повърхностната микро-твърдост върху пробни тела от предварително термообработена бързорежна инструментална стомана марка 1.3343.

Установено е, че след лазерната обработка при всички пробни тела, независимо от зададената работна температура има намаляване на стойността на параметъра Ra.

След измерване на диаметъра на пробните тела в участъка обработен чрез лазер има увеличаване на диаметъра, което говори за фазови трансформации в повърхностния слой. При температури над температурата на аустенизация от 1210°C, при конвенционалната ТО, има по висока степен на нарастване на диаметъра, което е с негативен характер, поради факта, че лазерната обработка е вид окончателна и промяната в размерите на режещите инструменти е нежелателно.

След анализ на измерванията на микротвърдостите в повърхностния слой на пробните тела е установен тренд към увеличаване, като при достигане до температурата на изходна аустенизация има забавяне на нарастването, а след това намаляване на повърхностната микро-твърдост.

Необходими са допълнителни структурни изследвания, за определяне на ос-

таналите параметри на лазерно обработения слой, като дебелина, разпределение на микротвърдостта в дълбочина, остатъчните напрежения и други.

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] Nikolcheva, G. Ryazane na materialite I rejesti instrumenti, Sofia, 2016.
- [2] Gladush, G.G.; Smurov, I. Mechanisms of laser processing of metal surfaces. In Physics of Laser Materials Processing; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2011; Volume 146, pp. 45–143. ISBN 9783642192425.
- [3] H. Pantsar, et al., “Effect of Processing Parameters on the Microstructure and Hardness of Laser Transformation Hardened Tool Steel,” Proceedings of the 23rd International Congress on Applications of Laser and Electro- Optics (ICALEO 2004), San Francisco, California, USA, 4-7 October 2004, pp. 565-573.
- [4] Ovsik, M.; Stanek, M.; Hylova, L.; Manas, M.; Stoklasek, P. The thermal energy influence on the surface layer of construction steels during laser beam cutting. Manuf. Technol. 2019, 19, 123–128.
- [5] Wagh, S.V.; Ingole, S.; Bhatt, D.V.; Menghani, J.V.; Rathod, M.J. Effect of Process Parameters on Surface Properties of Laser-Hardened Cast Iron. In Proceedings of the TMS 2019 148th Annual Meeting & Exhibition Supplemental Proceedings, San Antonio, TX, USA, 10–14 March 2019; Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019.
- [6] Xu, Z.; Ouyang, W.; Liu, Y.; Zou, Q.; Jiao, J.; Zhang, M.; Zhang, W. Study on laser surface hardening process of 30CrMnSiNi2A ultra-high strength steel fabricated by laser deposition manufacturing. In Advanced LaserProcessing and Manufacturing V; SPIE—The International Society for Optical Engineering: Washington, DC, USA, 2021; Volume 11892.
- [7] Maharjan, N.; Zhou, W.; Zhou, Y.; Wu, N. Influence of operating parameters on morphology of laser hardened surfaces. In SPIE 10525, High-Power Laser Materials Processing: Applications, Diagnostics, and Systems VII.; SPIE—The International Society for Optical Engineering: Washington, DC, USA, 2018.
- [8] Kechagias, J.D.; Tsiolikas, A.; Petousis, M.; Ninikas, K.; Vidakis, N.; Tzounis, L. A robust methodology for optimizing the topology and the learning parameters of an ANN for accurate predictions of laser-cut edges surface roughness. Simul. Model. Pract. Theory 2022, 114, 102414.
- [9] Mahmoudi, B.; Torkamany, M.J.; Aghdam, A.R.S.R.; Sabbaghzade, J. Laser surface hardening of AISI 420 stainless steel treated by pulsed Nd:YAG laser. Mater. Des. 2010, 31, 2553–2560.
- [10] www.laserline.com/en-int/ldmseries/
- [11] www.laserline.com/en-int/otz-series/
- [12] www.mergenthalerlaser.com/en/hardening7
- [13] www2.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-filterpage/m-20-series/m-20id-35
- [14] www.fanuc.eu/il/en/robots/accessories/robotmotion/positioners
- [15] <https://www.iscar.com/eCatalog/>