



ЛАЗЕРНО УЯКЧАВАНЕ С ПРИЛОЖЕНИЕ В АВТОМОБИЛОСТРОЕНЕТО. АПАРАТУРА И ОСОБЕНОСТИ

Нормундс Тейрумниекс, Николай Христов, Николай Тончев
normunds.teirumnieks@vtu.bg, n_d_hristov@vtu.bg, tontchev@vtu.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
ул. „Гео Милев“ 158, София 1574
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** лазерно уякчаване, лазерна термична обработка, сравнение между лазерите, предимства и недостатъци.*

***Резюме:** Лазерните технологии предлагат идеален начини за обработка на различни материали, радващи се на нарастващ интерес поради различните, в последно време, постижения във физиката и техниката. Диодният лазер с висока мощност (high power diode laser, HPDL) преодолява най-съществените недостатъци на реномираните CO₂ и Nd: YAG лазери. В настоящия обзор се прави преглед на някои аспекти от процеса на лазерното уякчаване, като обърнем внимание на сравнение на разгледаната тема с конвенционалните техники за закаляване. Подбраната насоченост е ориентирана към автомобилостроенето.*

1. УВОД

Лазерното уякчаване на материали на желязна основа е едно от първите промишлени приложения на лазерите и привлича голямо внимание в началото на 80-те [1]. По това време все още не се оценява неговият реален потенциал поради, добре познати разновидности, като (обемно закаляване, газопламъчно повърхностно и закаляване с ток с висока честота) и главно поради неговата цена. Именно по тази причина една от целите ни е да установим, предимствата на метода пред конвенционалните възможности за приложение в индустриалната сфера. Отделно от това формата на лазерната оптична енергия, свързана с днешните възможности на роботите, може да даде, бързи, гъвкави, възпроизводими и контролируеми резултати.

Лазерното уякчаване се класира сред другите повърхностни обработки, които се характеризират с нагряване [2,3]. Сред тази класификация се причислява

- нагряване без топене: отгряване, уякчаване без образуване на вана и почистване;
- нагряване с металургични промени: уякчавашо закаляване с образуване на вана;

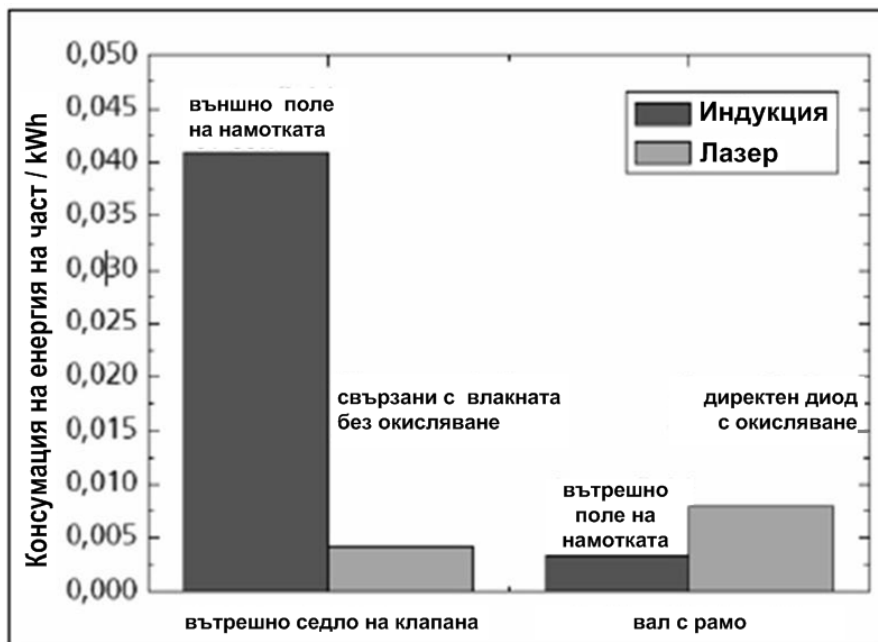
Повишената твърдост на стоманите се получава чрез скоростно охлаждане от аустенитната област до образуване на мартензит. Характеристиките на сплавта и нейната микроструктура определят реакцията на стоманата към процеса на закаляване [4].

2. ОСОБЕНОСТИ НА КОНКУРЕНТНИ МЕТОДИ ЗА ПОВЪРХНОСТНО ЗАКАЛЯВАНЕ И НА ЛАЗЕРНОТО УЯКЧАВАНЕ

Повърхностното закаляване с ток с висока честота се конкурира с лазерната технология, предназначена за същото приложение. Характеризира се с гъвкавост, производителност в работна среда, сравнително ниска цена, постигаща локализиращо уякчаване, предимно за ротационно симетрични детайли. Лазерните технологии, конкурират индукционното нагряване с преодоляване на неговите недостатъци:

- RF смущения (радиочестотно смущение) се отнасят до нежелани физически явления или въздействия на електрически, магнитни или електромагнитни полета, нарушаващи нормалната работа на електрически устройства или дори да я спрат. (Тези смущения се класифицират според произход, честота, спектър, интензивност, време на действие и характер на въздействието)
- Необходим е мощен източник на електричество за захранване на инсталацията за индукционно отопление, както и помпа и резервоар за охлаждаща течност за охлаждане на индуктора и изделието, които задължително трябва да са налични.
- Концентрационни ефекти по ръбовете.
- Материалът трябва да е феромагнитен

Както лазерното, така и индукционното закаляване са технологии с ниска консумация на енергия без значителна разлика в енергийната консумация [5]. На от фиг. 1. се вижда, че при индукционно нагряване геометрията на детайла и възможната геометрия на бобината имат съществено влияние върху предаването на енергия: максимум 90%, ако частта е във вътрешното поле на пръстеновидна бобина и едва 15% за третираните части с външното поле на намотката. За лазерния метод оптичните свойства на материала са най-важният параметър при пренасянето на енергия.



Фиг. 1. Сравнение на електрическата енергия за различни приложения [5].

Към слабите страни на Лазерът могат да се причислят: високи разходи за капитализиране, необходимост от защита срещу радиация, постига се единствено и само повърхностно закаляване

Електронно лъчевото уякчаване има подобни характеристики на лазерния лъч, но за разлика от лазерната технология процесът протича във вакуумна камера.

Забавянето, въведено от етапа на вакуумиране, също намалява скоростта на производството [6]

При конвенционалния процес на обемно закаляване голямото количество легиращи елементи повишават устойчивостта на охладения аустенит, като по този начин се закалява стоманата. При лазерно закаляване способността за закаляване се определя от топлопроводимостта и температурата на аустенизиране, зададени от елементите на сплавта [7]. Въпреки това стоманите с висока закаляемост трябва да се обработват с дълги времена на взаимодействието при ниска мощност, докато стоманите с ниска закаляемост трябва да се обработват с висока мощност и с кратки времена на взаимодействието. Високото излъчване, свързано с краткото време на взаимодействие, води до по-малка дълбочина на корпуса, по-висока скорост на охлаждането и до по-ниски изкривявания. Тези особености са предвидени да се изследват по отношение на избрани от нас материали. Обработваемите материали са ниско-, средно- и високовъглеродни стомани, особено феритно закалените и нисковъглеродните мартензитни инструментални стомани, мартензитните неръждаеми стомани. [8,9].

При по-старите модели на лазерите, процесът на уякчаване е скъп поради ниската им ефективност, високите капиталови разходи (за Nd:YAG) и разходите за поддръжката. Файбър лазерът е много подходящ за обработката на различни материали (пробиване, рязане и заваряване). От гледната точка на трансформацията, това не е необходимо качество и следователно дължината на вълната намалява нейната ефективност на свързване. Характеристиките на лъча обаче го правят много подходящ за многопроцесорни производствени клетки.

Последните постижения в технологията HPDL (високомощен диоден лазер) правят така, че наличната мощност до ниво, използваемо от широка гама обработка на материалите. В нишата за термична обработка този тип лазери преодолява най-значимите недостатъци както на CO₂, така и на Nd:YAG лазерите и подобрява лазерните предимства пред конвенционалните процеси [10].

„Лазерните диоди със сигурност ще увеличат мощността си и ще бъдем свидетели на драматични подобрения в качеството на техния лъч. Лазерите, които се обсъждат широко днес, като типове оптични и дискови, ще бъдат заменени от преки диодни системи за много приложения.“ [11]

Таблица 1. Сравнение между различни типове лазери, подходящ за промишлено закаляване [40]

Параметър	Дължина на вълната (µm)	Обща ефективност	Качество на лъча	Начална цена	Оперативни разходи	Живот
CO ₂	10,6	2%	Високо	Малка	Умерени	Много дълъг
Nd:YAG (Диодна помпа)	1,06	5%	Високо	Голяма	Високи	Дълъг
Nd:YAG (Лампова помпа)	1,06	2%	Високо	Голяма	Високи	Дълъг
HPDL	0,8	23%	Ниско	Малка	Много ниски	Къс
HPDDL	0,8	32%	Ниско	Малка	Много ниски	Къс
Файбър лазер	1,07	11%	Умерено	Малка	Много ниски	Къс

С цитираните типове лазери през годините са разработени множество модели, основаващи се или на експерименти, или на числени анализи, за да се предвидят резултатите от лазерното уякчаване. В изследванията [12-15], са обобщени няколко параметъра влияещи върху резултата и тези параметри, са:

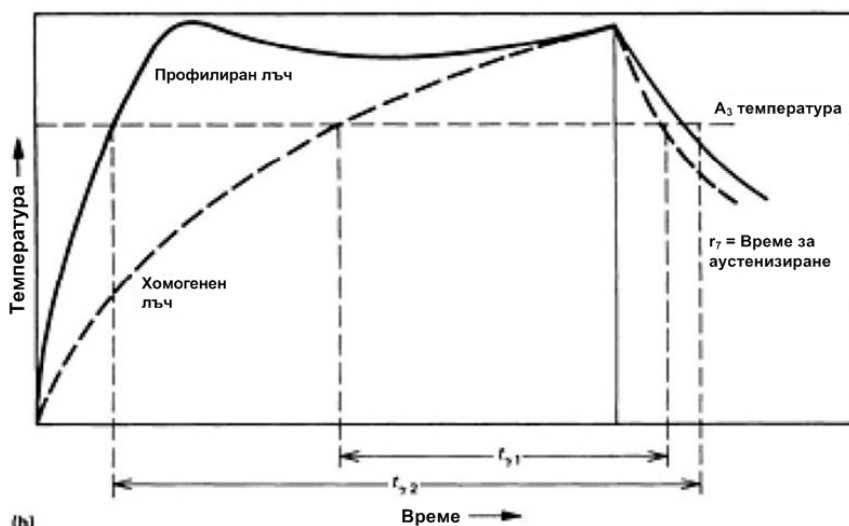
- Задавани от детайла параметри
- Абсорбция на лъч (при дължина на вълната на лазера)
 - Топлинни свойства
 - Първоначална микроструктура

- Задавани от лазера параметри
- Режим на лъч
 - Скорост на сканиране
 - Пространствено разпределение на мощността
 - Излъчване

По-горе цитираните параметри са независими променливи, докато зависимите променливи са дълбочината и твърдостта на изделието, геометрията на HAZ и нейната микроструктура, механичната устойчивост и устойчивостта на износване.

3. ОФОРМЯЩА ОПТИКА

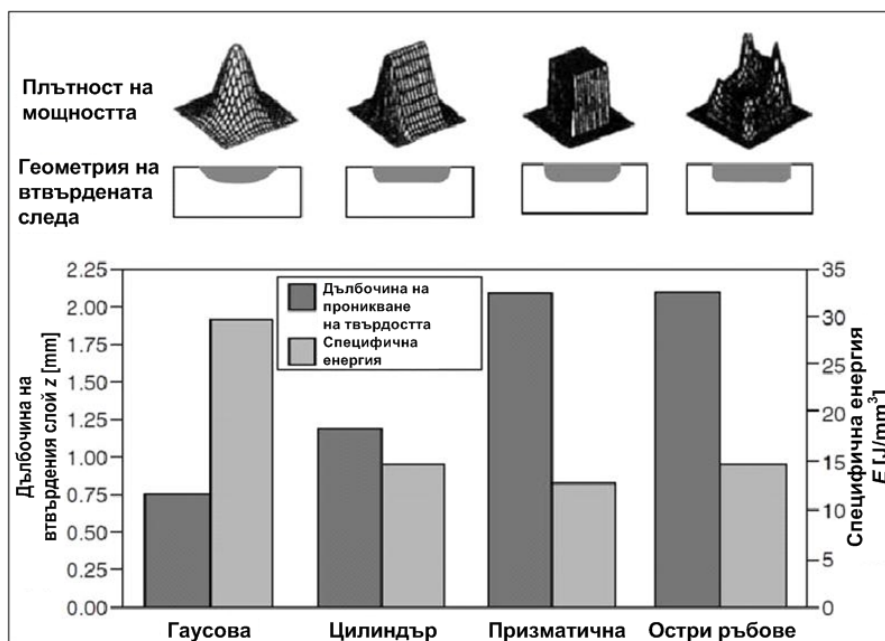
Самото оформяне на лъча обуславя голяма част от успешното лазерно уякчаване. За разлика от лазерното рязане, някои режими на лъч не са особено подходящи за повърхностна обработка, поради липсата на равномерно разпределение на интензитета, което може да причини локализирано силно разтапяне на повърхността. На фиг. 2. са показани температурни профили по централната линия на лазерното петно [16] (профила на лъча) с призматичен отпечатък, при по-високият интензитет в предната част на профила се скъсява с времето за нагряване, а повишените нива на интензитета от двете страни на профила компенсират страничните топлинни загуби.



Фиг. 2. Температурни профили по централната линия на лазерното петно с остър ръб.[16].

Това позволява материалът да поддържа по-дълго температури, съответстващи на аустенитната област и позволява повече време за дифузия. Този профил на интензитета води до много ефективна трансформация на материала, както е показано на Фиг.3.

Промяна на формата на първоначалния изходен лазерен лъч води до различни геометрии на петната. Постига се с употребата на различни оптични системи като специални геометрични лещи (за статично оформяне) или с бързо сканиране на лъча (за динамично оформяне).



Фиг.3. Влияние на различни форми на лазерен лъч и специфична енергия върху дълбочината на втвърдения слой.[17]

4. ПРОМИШЛЕНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

В случай, че материалът е лазерно закаляем и ако пространствената му геометрия позволява на лъча да достигне до желаните зони, всеки детайл може да се възползва от лазерното уякчаване. Автомобилната, машиностроителна и приборостроителната промишленост са най-широко използваните потребители на лазерното втвърдяване [18,19]. Ето няколко примера, при които се използва лазерно втвърдяване:

Таблица 2: Индуриални приложения на лазерно уякчаване [9]

Промислен сектор	Компонент	Материал	Източник
Автомобилен	Лагер	Стомана AISI 1035	(Anon., 1982)5
	Поасон	Инстр. Стомана	(Shibata, 1987)
	Лобове на Разпределителен вал	Чугун	(Obrzut, 1978; Seaman, 1986)
	Нит на съединител	Стомана	(Stanford, 1980; Bellis, 1980)
	Коничен вал	Стомана	(Sandven, 1981)
	Коляновия вал	Стомана	(Shibata, 1987)
	Отвор на цилиндър	Чугун	(Amende, 1989)
	Цилиндрични втулки	Чугунена сплав	(Anon., 1978; Seaman, 1986)
	Двигателен клапан	Легирани стомани	(McKeown <i>et al.</i> , 19909)
	Зъбни колела	Стомана	(Creal, 1980a; Sandven, 1981; Gregory, 1996))
	Тресчотка за ръчна спирачка	Ниско въглеродна стомана	140(Bellis, 1980))
	Двигателен вал	стомана	140(Bellis, 1980))
	Бутален пръстен	Стомана	(Creal, 1980b)
	Жлеб за бутален пръстен	Чугун/стомана	(Seaman and Gnanamuthu, 1975; Bransden <i>et al.</i> , 1986; Asaka <i>et al.</i> , 1987)
	Вал	Стомана	(Stanford, 1980))
	Разделител	Ковък чугун	(Seaman and Gnanamuthu, 1975)

Машини	Шлицов вал	Стомана AISI 1050	(Taylor, 1979))
	Част от пружина	Пружинна стомана	(Stanford, 1980))
	Кормилна кутия	Ковък чугун	(Wick, 1976; Miller and Wineman, 1977)
	Водач на клапан	Сиво желязо	(Yessik and Schmartz, 1975)
	Седло на клапан	Стомана	(Ready, 1997)
	Режещо острие	Стомана	(Bellis, 1980; Taylor, 1979)
	Кабестан	Стомана AISI 1045	(Gregory, 1995)
	Зъбни колела	AISI 1060/ниско	(Gutu et al., 1983)
	Дорник	Мартензитна неръждаема стомана	(Gregory, 1996)
	Вътрешна повърхност на тръба	Стомана	(Anon., 1982))
Коронки на канелюри на барабан	Стомана	(Creal, 1980a)	
Легло за инструмент	Чугун	(Stanford, 1980; Ion et al., 1999)	

5. ИЗВОДИ

Независимо от многобройните си предимства, разходите за капитализация, ниската абсорбция и ниската ефективност, ограничават разпространението на лазерното уякчаване. Нарастващата мощност, обаче и присъщите характеристики на HDPL/HPDDL подновяват изискванията за лазерното термично обработване.

Беше съобщено, че процесът на лазерното уякчаване не се различава фундаментално от конвенционалния процес, но показва няколко предимства:

Към качество на резултатите се причисляват малък HAZ (топлинно разпространение) и минимални изкривявания, както и прецизна дълбочина на обработка по отношение на повторяемост на микроструктурата и профила и локализирано местоположение на обработването.

По отношение на същността на процеса може да се посочи приложимостта директно върху метал, с малък отпечатък и при напълно завършено обработване (HPDDL/HDPL/FAB), без контактност и висока достъпност при приложимост към различни материали с кратки термични цикли и възможност за самоизключване, както също прецизно контролиране върху вложената енергия и изместването на лъча и с евтина поддръжка.

Едно от актуалните предимства е, че лазерните технологии предлагат зелено решение с ниска вложена енергия към детайла, химическа чистота и икономия на енергия в сравнение с конвенционалния метод / чрез закаляване

Разглежданата технология превръща по-горе изброеното при производството в предпочитана технология свързана с: намаляване на разходите, скрапа (окалина) и времето за изработване, както намаляване влиянието на процеса върху въздействието на околната среда и по-добро използване на енергията.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Kou, Sindo, D. Sun, and Y. Le, 1983, A Fundamental Study of Laser Transformation Hardening, Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 14, (3), p. 643-653.
- [2] Naeem, Mohammed, 2005, Heat Treating With Lasers Heat Treating Progress, Vol. 5, (June), p. 4;
- [3] Lia, 2001, Handbook of laser Materials Processing, 1 st., LIA Magnolia Publishing, Orlando, FL
- [4] American Society for Metals, 1991, Heat Treating, Vol. 4, Cleveland, p. 2173

- [5] Bonss, S., et al., 2009, Laser beam hardening - Energy efficient heat treatment?, p. 219-224.
- [6] Global Beam Technologies Ag, 2010, PTR Electron Beam Generator, http://ptr.webbyhead.net/en/ptreb_generator.php, Cited on. 27 Oct. 2010.
- [7] Kremnev, L. S., E. V. Kholodnov, and O. V. Vladimirova, 1988, Selection of steels to be laser-hardened, Metal Science and Heat Treatment, Vol. 29, (9), p. 695-698
- [8] Davis, J. R., 2002, Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics, ASM International.
- [9] Ion, John C., 2005, Laser processing of engineering materials: principles, procedure and industrial application, Elsevier/Butterworth-Heinemann, Amsterdam.
- [10] Bonss, S., et al., 2008, Integrated laser beam hardening in turning machines for process chain reduction, Proceedings of 27th ICALEO, p. 94-99.
- [11] Deile, Jochen, 2010, Laser Technology, Photonics Spectra, Vol. 44, (June), <http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=42952>
- [12] H. S. Carslaw, J. C. Jaeger, 1959, Conduction of Heat in Solids, 2nd Ed., Oxford University Press
- [13] W.M. Steen, C.H.G. Courtney, 1979, Surface heat treatment of En 8 steel using a 2kW continuous-wave CO2 laser, Metals Technology,
- [14] Komanduri R., Hou Z. B., 2001, Thermal analysis of the laser surface transformation hardening process, Elsevier, Oxford
- [15] Grum, J. and T. Kek, 2004, The influence of different conditions of laser-beam interaction in laser surface hardening of steels, Thin Solid Films, Vol. 453-454, p. 94-99
- [16] American Society for Metals, 1991, Heat Treating, Vol. 4, Cleveland, p. 2173.]
- [17] Totten, George E., 2006, Steel Heat Treatment Handbook - Equipment and Process Design, 2nd, CRC Press, New York.
- [18] Hannweber, J., et al., 2004, Integrated laser system for heat treatment with high power diode laser, Proceedings of 23rd ICALEO
- [19] Tadeusz Burakowski, Tadeusz Wierzchon, 1998, Surface Engineering of Metals: Principles, Equipment, Technologies CRC Press, Boca Raton.

LASER ENHANCEMENT WITH APPLICATION IN AUTOMOTIVE. HARDWARE AND FEATURES

Normunds Teirumnieks, Nikolay Hristov, Nikolay Tontchev
normunds.teirumnieks@vtu.bg, n_d_hristov@vtu.bg, tontchev@vtu.bg

Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA

Key words: *Laser hardening, Laser heat treatment, Laser comparison, Advantages and disadvantages.*

Abstract: *Laser technologies offer ideal ways to process various materials, enjoying growing interest due to various, recent, achievements in physics and technology. The high power diode laser (HPDL) overcomes the most significant disadvantages of the renowned CO₂ and Nd: YAG lasers. This review reviews some aspects of the laser hardening process, paying attention to a comparison of the subject with conventional hardening techniques. The selected orientation is towards the automotive industry.*