

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ЛАЗЕРНИТЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕКСТИЛНАТА ИНДУСТРИЯ

Йовка Стоянова^{1*}, Ивелин Банев¹, Петър Николов¹, Павлина Маринова¹,
Теодора Медарова¹, Борислав Стоянов^{1,2}

¹ Технически университет – Габрово, 5300 Габрово, България

² Център за компетентност „Интелигентни, мехатронни, еко-и енергоспестяващи системи и технологии“, 5300 Габрово, България

*кореспондиращ автор: y.stoyanova@tugab.bg

APPLICATION OF LASER TECHNOLOGIES IN THE TEXTILE INDUSTRY

Yovka Stoyanova^{1*}, Ivelin Banev¹, Petar Nikolov¹, Pavlina Marinova¹,
Teodora Medarova¹, Borislav Stoyanov^{1,2}

¹ Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, Bulgaria

² Center of competence "Smart mechatronic, eco-and energy-saving systems and technologies", Technical University of Gabrovo, 5300 Gabrovo, Bulgaria

*Corresponding author: y.stoyanova@tugab.bg

Abstract

Laser technologies are seeing growing use in the textile sector, becoming an integral part of key production processes such as monitoring, cutting, bonding, 3D printing, 3D scanning, and marking. They are now widely recognized as a preferred—and often essential—alternative to conventional textile processing methods. This shift is driven by the numerous benefits laser systems provide, including superior accuracy, increased efficiency, and the potential for full automation. Incorporating laser technologies into manufacturing has led to notable enhancements in product quality, higher output, and the development of innovative textile products with improved features. Moreover, laser-based processes offer greater versatility when working with a wide range of materials and support the integration of creative and advanced design concepts. The paper highlights that many of the recent advancements in textile products and functionalities stem directly from the effective use of laser technologies, underlining their crucial role in driving the industry's modernization and shaping its future growth.

Keywords: laser technologies, textile materials processing, advanced properties.

ВЪВЕДЕНИЕ

Лазерните технологии успешно намират приложение в текстилната индустрия за извършване на различни процеси и обработки. Те позволяват провеждането на контролни, междуоперационни, технологични, довършителни и др. дейности които значително улесняват производствения процес, чрез прецизност, автоматизираност, гъвкавост, надеждност,

производителност и т.н. Заради тези си качества, използването им за работа с традиционни материали, както и нови, става все по-популярно.

Замяната на традиционните трудоемки операции с лазерни технологии предлага нови възможности за иновативни решения и е ключов въпрос за икономически успех на текстилната индустрия в бъдеще.

На световния пазар се предлага огромно разнообразие от лазерни източници и лазерни технологични системи с различни характеристики и приложение. Това налага за всеки индустриален процес да се подбере лазер с добро качество на лъча и подходяща дължина на вълната.

Цел на настоящата разработка е изследване на приложенията на лазерната техника в текстилните технологични процеси с изясняване на техните възможности, предимства и недостатъци. Познаването на съвременните възможности на лазерната техника може да подпомогне както подобряването на традиционни практики така и изобретяването на иновативни процеси, чрез заимстване на процеси между отделните сектори на текстилното производство.

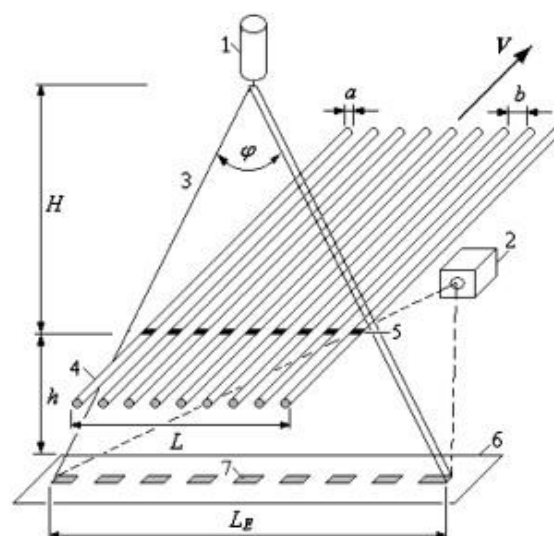
ИЗЛОЖЕНИЕ

Лазерните технологии намерили приложение в текстилната индустрия могат да се отнесат към следните основни технологични процеса: контрол, рязане, съединяване, 3D принтиране, 3D сканиране и маркиране – табл.1. Мястото им в изпълнение на различни технологични процеси е толкова широко възприето, че вече се е превърнало в незаменима алтернатива на предшестващите методи. Подобряване на качеството, повишаване на производителността, получаване на нови продукти и свойства са резултат от правилното им прилагане. Ето някои примери и нови характеристики в текстилното производство, които са пряк резултат от внедряването на лазерните технологии.

Табл. 1. Приложения на лазерни технологии в текстилната индустрия

Текстилен продукт	Контрол	Рязане	Съединяване	3D принтиране	3D сканиране	Маркиране
Прежда	+	-	-	-	-	-
Тъкан	+	+	+	+	-	+
Плетиво	+	+	+	+	-	+
Облекло	+	+	+	+	+	+
Нетъкан текстил	+	+	+	-	+	+
Технически изделия	+	+	+	+	+	+

Контрол. Откриването на скъсани и/или дефектни нишки е основополагаща задача при работата със нишковидни изделия. Следенето на нишка се прилага при навиване и развиване и съпътства следните процеси: предене, плетене, тъкане и бобиниране. Ефективен контрол се извършва директно или максимално близо до работната зона. Метода използва отразена лазерна светлина от всяка нишка регистрирана от оптична система с висока точност [1, 2, 3]. Постига се наблюдение до 8662 броя нишки едновременно.



Фиг. 1. Лазерно откриване на скъсана нишка или дефект [1]

Технологията позволява непрекъснато наблюдение, автоматизирани настройки и прецизен контрол на машинните операции, за да се гарантира качеството на преждата и производствената ефективност. Освен това се прилагат лазерни тракери за високопрецизна метрология и подравняване, лазерни тахометри за безконтактно измерване на скоростта на машинните компоненти [4].

Откриването на дефекти върху пространствени плетени и тъкани структури се извършва чрез обработка на изображения получени с помощта на колимиран лазерен лъч [5, 6]. Метода е подходящ за фини тъкани съдържащи дефекти с малък размер [7].

Рязане. Лазерното рязане се използва за обработка на материали с различен произход. Разрязването или разкрояването на плоски текстилни изделия като лен, памук, коприна, филц, кожа, технически текстил с лазер се превръща в изключително популярна техника – фиг.2 [8, 9]. Освен плоски изделия на лазерно рязане се подлагат и полу-готови и готови изделия [10-12].



Фиг. 2. Лазерно рязане/разкрояване [10, 13]

Текстилните материали могат да бъдат едновременно изрязани, гравирани и маркирани с лазер. Обработката на текстилни материали с лазер има няколко важни предимства и поради тях много индустриални компании разработват ново и усъвършенствано оборудване, базирано на използването на различни лазерни технологии [14, 15].

Съвременните параметри на лазерното рязане сочат максимални размери на обработка 10000x3500mm, максимална мощност 800W, скорост на рязане до 1200mm/s и точност на размерите $\pm 0,1\text{mm}$. В редица лазерни машини за разрязване се използват двойни глави при което се постига подобряване на производителността. Обработвания материал обикновено се подава конвейерно или се развива от руло /топ/.

Основните предимства на лазерната технология в сравнение с конвенционалните способности за разкрой чрез механично

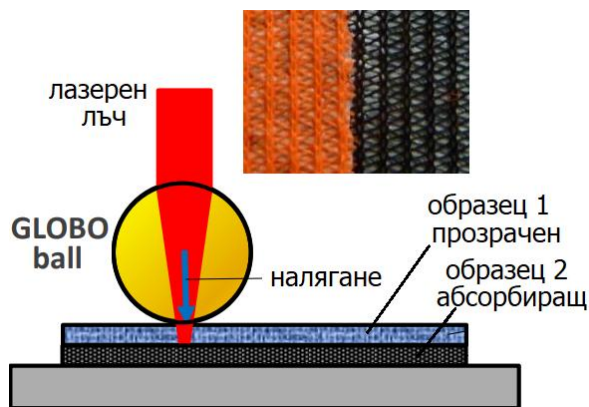
рязане с нож, диск или чрез щанцоване, са:

- изрязването се извършва с висока прецизност и скорост;
- качеството на среза е по-добро, ръбовете са гладки и без разкъсвания;
- във функция на времето качеството се запазва константно;
- в редица случаи краищата на среза се обгарят, предотвратявайки разнищване на ръбовете;
- възможно е реализирането на фини контури с произволен радиус;
- висока гъвкавост и индивидуалност;
- няма деформации в материала поради безконтактния метод;
- инструментът не се износва.

Недостатък на лазерното рязане е ограничение спрямо броят слоеве на материята, които могат да бъдат срязани едновременно. Максимално добър резултат се постига при рязане на един слой, докато с увеличаването на дебелината на настила точността и прецизността намаляват. Често при работа със синтетични материали отрязаните ръбове се залепват един за друг или между слоевете. Тъй като практиката в кройчните цехове е използването на многослойно рязане, то лазерното изглежда по-малко вероятно да го измести напълно. Въпреки това, то се използва успешно при рязане на голямо-габаритни детайли, където еднослойното рязане е норма.

Съединяване. При свързване на елементите на текстилно изделия често се използва лазерно насочване във видим спектър. Така се извършва прецизно подравняване и поставяне на шевове върху детайлите. Допълнителен лазерен нож създава малки прорези, изрязва сложни шарки със запечатани ръбове.

Създаването на облекла и изделия със специални свойства и предназначение променя изискванията към съединяването им. Приложения с използване на лазер за запояване или заваряване на текстилни изделия са представени в [16, 17].



Фиг. 3. Лазерно заваряване на текстил [16]

Заваряването е алтернативен процес на съединяване на тъкани за производство на облекла, при който термопластичните материали се свързват чрез прилагане на топлина. Топлината може да се осигури чрез ултразвук или чрез лазер [5, 18]. Заварената дреха, макар и по-слаба от защитата, има по-добър външен вид, тъй като не съдържа обемисти шевове и е по-гъвкава.

Съществените предимства на лазерното съединяване представляват:

- позволява пълна автоматизация на процеса;
- позволява обединяване на два процеса едновременно – съединяване със запечатване, т.е. постига се херметичност;
- здравината на съединението се изравнява със здравината на основния материал;
- приложимо към всички текстилни термопластични материали и смеси;
- получава се естетичен външен вид на готовото изделие.

3D принтиране. Първото промишлено приложение на лазерното синтерование използва полиамиден прах, чрез който се изграждат слой по слой триизмерни форми. Произвеждат се орнаменти и облекла съставени от полигонални форми директно върху основна текстилна подложка – фиг.4. Постига се огромно разнообразие от форми и цветове.



Фиг. 4. 3D принтирани орнаменти [19]

С увеличаване на технологичните възможности се реализират много по-комплексни структури имитиращи тъкани и плетени изделия [20].



Фиг. 5. 3D принтиран плат [20]

Най-често използваните технологии в 3D принтирането са:

- Селективното лазерно синтерование SLS (Selective Laser Sintering) - технология използваща полимерен прах и мощен лазер за сливане на последователни слоеве от стопен материал изграждайки триизмерен обект;

- Селективно термично синтерование SHS (Selective Heat Sintering) – технологията използва топлинна глава за стопяване на полимерен прах;

- Моделиране чрез разтопено отлагане FDM (Fused Deposition Modeling) е една от най-разпространените и достъпни технологии за 3D печат. Тя работи чрез разтопяване на термопластичен филament (нишка), който се подава през дюза и се отлага слой по слой върху платформа, за да се изгради триизмерен обект.

3D сканиране. Технологията на триизмерното лазерно сканиране се използва в различни области като: архитектура, ергономия, инженерство, био-меди-

цина, облекло и др. 3D лазерните скенери, чиято основна функция е измерването на повърхността на триизмерни обекти, позволява получаването на точни данни за човешкото тяло за секунди [21]. Съвременното лазерно сканиране съкращава многократно времето от измерване на обект до неговото дигитално представяне. Пълното сканиране на до 4 души отнема само 12 секунди, а солиден модел се визуализира на екран в рамките на 3 минути – фиг.6. Постига се 360° изглед на индивида съставен от 400 хиляди полигона.



Фиг. 6. 3D сканиране на човешко тяло [21]

Лазерното 3D сканиране води до редица иновативни решения насърчавайки нови начини на проектиране и мислене. Използването на редица дигитални инструменти улеснява процеса на създаване на прототипи, промяна на съществуващи продукти, води до силна персонализация в производството на текстилни продукти. Терминът масово персонализиране е започнал да се използва при изработка на облекла по поръчка в зависимост от размерите на тялото и избора на индивида. А основата за масовото персонализиране на дрехи е получаването на точни измервания на тялото на индивида [22].

Маркиране. Лазерното маркиране се прилага върху различни материали: дърво, метал, естествена кожа, изкуствени материали, текстил и др. [23]. Актуални

и модерни са обработките на плат, готови дрехи, аксесоари емблеми и етикети, което ги прави търсени на пазара. Лазерното гравирание се използва за гравирание на печатни сита, издълбаване на шаблони, създаване на шарени копчета, гравирание на кожа, обезцветяване на Деним и др. Картини, шарки на цветя и дори персонализирани подписи могат да бъдат гравирани директно върху кожени изделия – обувки, чанти, портфейли, колани, мебели и дрехи.



Фиг. 7. Лазерно маркиране [22, 24]

Лазерното гравирание на плат Деним е широко наложило се приложение [25, 26]. Лазерът се използва за създаване на миниатюрни дизайни и шарки върху дънкови изделия, както и завършени дънкови платове. Лазерите могат да създават 3D ефекти чрез имитиращи техники като бродиране, щамповане или дори видими порязвания, разкъсвания и поправки. Положителните характеристики на лазерното маркиране са:

- точни размери на обработките;
- големи мостриращи възможности;
- висока повтораемост и производителност;
- намален отпадък;
- липса на сменяеми инструменти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лазерните технологии се утвърдяват като иновативни и ефективни инструменти в съвременното текстилно производство. Широкото им приложение демонстрира тяхната многофункционалност и способност да отговорят на нарастващите изисквания за качество, ефективност и устойчивост в индустрията. Една от основните ползи на лазерните системи е високата прецизност на обработка, която трудно се постига с

традиционни методи. Това позволява изработката на сложни детайли, фини декоративни елементи и персонализирани дизайни с минимално отклонение от предварително зададените параметри, без компромис в качеството.

Друг съществен плюс е безконтактният характер на лазерната обработка, който елиминира риска от повличане на материала. Това е особено важно при работа с деликатни или тънки текстилни платове, където физическият контакт често води до поява на дефекти. В същото време, лазерите осигуряват висока производителността и съкращава времето за обработка.

Лазерната технология се отличава и с висока енергийна ефективност, тъй като енергията се насочва само към обработваната зона, без излишни загуби. Това, комбинирано с автоматизацията на процесите, води до намаляване на разходите за труд и материали, както и до по-ниско ниво на отпадъци – фактор, който е от ключово значение за постигането на устойчиво производство.

Също така, лазерите позволяват гъвкавост при работа с различни материали – както с естествени (памук, лен, вълна), така и със синтетични текстили (полиестер, найлон, полиамид и др.). Това отваря нови възможности за разработване на иновативни продукти и комбиниране на различни материали в един артикул, което разширява креативния потенциал на дизайнерите и инженерите.

Лазерите допринасят за повишаване на безопасността на работната среда, тъй като при правилна настройка и защита, процесът е по-чист и по-малко рисков в сравнение с други техники като например рязане или заваряване.

Обобщено, лазерните технологии предлагат съчетание от високо качество, прецизност, скорост, устойчивост и икономическа ефективност. Те дават възможност на текстилната индустрия да се адаптира към съвременните предизвикателства, свързани с дигитализацията,

индивидуализацията на потреблението и опазването на околната среда.

В бъдеще се очаква тяхната роля да продължи да нараства, особено с развитието на нови лазерни източници и интегрирането на интелигентни системи за управление в производствените процеси. Това ще отвори нови хоризонти за оптимизация, автоматизация и устойчиво развитие в текстилния сектор.

Това изследване е подкрепено 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“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Musa E., Line-laser-based yarn shadow sensing break sensor, Opt. Lasers Eng., vol. 49, no. 3, pp. 313–317, Mar. 2011.
- [2] Musa E., Line laser-based break sensor that detects light spots on yarns, Opt. Lasers Eng., vol.47, nos.7–8, pp.741–746, 07. 2009
- [3] Yan, N., Zhu L., Yang H., Li N., Zhang X., Online Yarn Breakage Detection: A Reflection-Based Anomaly Detection Method, IEEE Transactions on instrumentation and measurement, Vol. 70, 2021.
- [4] www.rieter.com
- [5] Nayak, R., Padhye, R., The use of laser in garment manufacturing: an overview. Fash Text 3, 5, 2016.
<https://doi.org/10.1186/s40691-016-0057-x>
- [6] Mallik-Goswami, B., & Datta, A. K. (2000). Detecting defects in fabric with laser-based morphological image processing. Textile Research Journal, 70, 758–762.
- [7] Rasheed, A., Zafar B., Rasheed A., Ali N., Sajid M., Hanif Dar S., Habib U., Shehryar T., Mahmood M., Fabric Defect Detection Using Computer Vision Techniques: A Comprehensive Review, Mathematical Problems in Engineering, vol. 2020, Article ID 8189403, 24 pages, 2020.
<https://doi.org/10.1155/2020/8189403>

- [8] Stoyanov B., I. Nemeša, M. Pešić, N. Bukhonka, V. Bozoki, Textile Material Multi Ply Cutting by Laser, Tekstilna Industrija, Vol. 72, No 2, 2024, DOI: 10.5937/TEKSTIND2402004S.
- [9] Vilumsone-Nemes I, Automated laser cutting of textile materials. Industrial cutting of textile materials, 2nd edition, pp. 151-176, Woodhead Publishing, Elsevier, Cambridge. ISBN-9780857091345.
- [10] Nemeša I., B. Stoyanov, M. Pešić, Automated Cutting of Narrow Lace by Laser, 14th International Scientific-professional conference „Textile Science and Economy“, 2024, Zrenjanin, Serbia, pp 187-192.
- [11] Nemeša I., Automated laser cutting systems to process textiles, Tekstilna Industrija, br.4., pp.45-52, 2018.
- [12] Christina Lu, How Is Laser Cutting Machine Used In Fashion Industry? Available at: <https://kasucutter.com/how-is-laser-cutting-machine-used-in-fashion-industry/>
- [13] <https://goldenlaser.com/bg/large-format-co2-laser-cutting-machine-for-textile/>
- [14] Fuchs, A.N.; Schoeberl, M.; Tremmer, J.; Zaeh, M.F., Laser cutting of carbon fiber fabrics. Physics Procedia, Volume 41, 2013, pp. 372–380.
- [15] Alexander N. Fuchs, Thomas Woldrich, K. Manfred Heimhilger, Michael F. Zaeh, Analytical Model for Laser Cutting of Carbon Fiber Fabrics: Maximum Cutting Speed and the Heat Affected Zone, Lasers in Manufacturing Conference, 2015, pp.1-9.
- [16] <https://www.leister.com/en/Services/Application-Lab/Application-Lab-Technical-Textile>
- [17] Jana P., Assembling technologies for functional garments-An overview. Indian Journal of Fibre and Textile Research. 2011. 36. 380-387.
- [18] Petrie, E. Alternative fabric-joining technologies 13. In R. Nayak, R. Padhye (Eds.), Garment Manufacturing Technology. Cambridge, UK: Elsevier, 2015.
- [19] www.3printr.com
- [20] Lussenburg K., Designing with 3D Printed Textiles - A case study of Material Driven Design, Design for additive manufacturing, Proceedings of 5th International Conference on Additive Technologies, ICAT2014, pp.74-81.
- [21] <https://europac3d.com/3d-scanners/artec3d-full-body-scanner/>
- [22] Nayak, R., Padhye, R., Wang, L., Chatterjee, K., Gupta, S. The role of mass customization in the apparel industry. International Journal of Fashion Design, Technology and Education, 8, pp.162–172, 2015.
- [23] Stoyanov B., Kr. Drumev, D. Genov, “Fashion design using laser engraving technology”, Journal of the Technical university of Gabrovo, Vol.52’2016, page 53-57, ISSN 1310-6686.
- [24] Dascalu T., S. Ortiz, M. Morales, I. Compean, Removal of the indigo color by laser beam-denim interaction, Optics and Lasers in Engineering 34, 2000, pp.179-189.
- [25] Juciene, M., Urbelis, V., Juchnevičienė, Ž., Čepukonė, L. The effect of laser technological parameters on the color and structure of denim fabric, Textile Research Journal, 2013, doi:10.1177/0040517513494256.
- [26] Kan, C. W., CO₂ laser treatment as a clean process for treating denim fabric. Journal of Cleaner Production, 66, 624–631.