

**ИЗМЕНЕНИЕ ЗДРАВИНАТА НА ОПЪН НА ПАМУЧЕН ПЛАТ ТИП
„ДЕНИМ“ ПРИ ОБРАБОТКА С ЛАЗЕР****Борислав Цонев Стоянов¹, Красимир Илиев Друмев¹,
Добрин Ненчев Генов¹, Соня Паскалева Илиева¹**¹*Технически университет - Габрово***INVESTIGATION OF TENSILE STRENGTH CHANGE OF DENIM
TYPE COTTON FABRIC DURING LASER TREATMENT****Borislav Tsonev Stoyanov¹, Krasimir Iliev Drumev¹,
Dobrin Nenchev Genov¹, Sonya Paskaleva Ilieva¹**¹*Technical university of Gabrovo***Abstract**

Laser marking of textile materials, in addition to its many advantages, affects the absolute strength of the fabrics. In the article, a cotton fabric of "Denim" type, surface treated with a laser beam, was investigated for strength loss. A 20W Ytterbium pulsed fiber laser with wavelength of 1064 nm was used to perform surface treatment - so-called laser whitening. A series of experiments were conducted varying the marking output power and raster density on warp and weft samples at constant scan speed, focusing and pulse frequency. The strength losses of samples was determined within the limits of factors 8 to 16 W output laser power and 0,1 to 0,2 mm raster density. The results find out 37% in warp and 53% in weft direction reduction in strength. From the obtained results, by means of regression analysis, mathematical models of the studied influence were derived. In practice these models would help the technologists to provide more precise receipt for laser marking without significant strength losses.

Keywords: textile, cotton fabric type „Denim“, laser treatment, tensile strength.**ВЪВЕДЕНИЕ**

Производството на обезцветени дънки с помощта на конвенционални технологии използва големи количества вода, припл. 10m³/брой, повечето от която е силно замърсена от химически продукти, използвани в процеса. Алтернативна технология, която може да елиминира няколко недостатъка на конвенционалните методи, е лазерното маркиране [1, 2]. Предимствата на технологията за лазерно избледняване (избелване) са по-малко замърсяване и по-малко потребление на вода, гъвкавост на процеса и репликация на дизайна. Единствено при него е въз-

можно проектирането на прецизни шаблони за маркиране в най-кратки срокове, огромно разнообразие на форми, размери и интензивност върху разнообразни текстилни материали включващо плетени или тъкани платове [3, 4]. Използвайки комбинация от различни дължини на вълната, мощност, растер, скорост на маркиране и други управляеми параметри, се получават различни нива на избледняване на цвета [5, 6].

В редица източници [4, 6] обаче се твърди за незначително влияние на лазерната обработка върху физичните характеристики на обработвания плат.

Прилагайки голяма лазерна мощност, от повърхността на плата се сублимира обогрящия агент при съпътстващо прогаряне и скъсване на влакна от строежа на съставящите прежди [7, 8]. Разрушаващото въздействие върху влакната неминуемо ще доведе до промяна здравината на обработения плат, респективно ще се отрази върху експлоатационните му характеристики.

Цел на настоящата разработка е определяне влиянието на мощността и гъстината на растера при лазерно маркиране на плат тип „Деним“ върху неговата абсолютна здравина.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Обект на изследване.

За провеждане на изследването е избран памучен плат тип „Деним“, в състав 100%П, със следните характеристики:

основна нишка - линейна плътност $T_t=20\text{tex}$, индигоидно обогряна в тъмно-синьо; основна гъстина $280\text{n}/10\text{cm}$; вътъчна нишка - линейна плътност $T_t=20\text{tex}$, избелена; вътъчна гъстина $280\text{n}/10\text{cm}$; сплитка кепър 2./1; площна маса $200\text{g}/\text{m}^2$ [9, 10, 11]. От плата се подготвят тестови образци изрязани по основа и вътък, според [12]. Образците са предварително обезскробвани, обезмаслени и изпрани. Материята е кондиционирана при температура $20\pm 2^\circ\text{C}$ и относителна влажност на въздуха $65\pm 4\%$ в продължение на 24h преди провеждане на експериментите според [2]. От извършени предварителни измервания са установени абсолютна здравина на необработения плат, както следва – по основа 1360 N, по вътък 415 N. Измерванията са извършени с помощта на следната апаратура: Precisa Balances Series 320 XT; Zweigle F 427; BINDER KBF.

Табл.1 Характеристики на лазерната система

Characteristics	Symbol	Value	Unit
Wavelength	λ	1064	nm
Nominal average power	P_a	20	W
Pulse frequency	f	20 ÷ 80	kHz
Pulse duration	τ_p	50	ns
Maximum pulse energy ¹	E_p	1	mJ
Maximum pulse power ²	P_p	20	kW
Scan speed	v	1 ÷ 2000	mm/s
Mode	Pulsed	-	-
Beam Quality	M^2	1,2 ÷ 1,5	-
Focused spot diameter ³	-	≈ 54	μm

¹ at $P=20\text{W}$, $f=20\text{kHz}$

² derived from $P=20\text{W}$, $f=20\text{kHz}$, $\tau_p=50\text{ns}$

³ as declared by the producer for 100x100 mm f θ lens

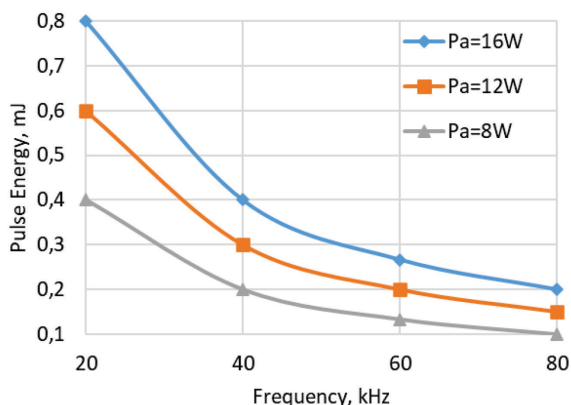
Табл.2 Параметри на процеса лазерно маркиране

Pa (W)		f, kHz			
		20	40	60	80
16	Ep (mJ)	0,80	0,40	0,27	0,20
	Pp (kW)	16,0	8,0	5,3	4,0
	qs (W/cm ²)	6,99E+08	3,49E+08	2,33E+08	1,75E+08
12	Ep (mJ)	0,60	0,30	0,20	0,15
	Pp (kW)	12,0	6,0	4,0	3,0
	qs (W/cm ²)	5,24E+08	2,62E+08	1,75E+08	1,31E+08
8	Ep (mJ)	0,40	0,20	0,13	0,10
	Pp (kW)	8,0	4,0	2,7	2,0
	qs (W/cm ²)	3,49E+08	1,75E+08	1,16E+08	8,74E+07

Лазерно оборудване.

Обработките на текстилните мостри са извършени на лазерна система оборудвана с 20W Ytterbium pulsed fiber laser RFL-P20Q. В системата лазерният лъч се отклонява с помощта на галванометричен скенер и се фокусира от f-theta lens с работно поле 100x100 mm.

Лазерната система се управлява от компютър, който позволява настройката на средната мощност (Pa, W) чрез задаване на процент от максимална мощност, честота на импулса (f, kHz) и скорост на сканиране (V, mm/s).



Фиг. 1. Характеристики на лазерния източник

В табл.1 са представени основните характеристики на лазерната система, декларираны от производителя. В табл.2 са представени параметрите на процеса лазерно маркиране, а на фиг.1 те са изобразени в графичен вид.

Провеждане на изследването и обработка на резултатите.

За решаване на поставената задача е проведен планиран експеримент, за получаване на нелинеен многофакторен модел, чрез оптимално композиционно планиране от типа Vm. Избраните фактори на влияние са следните:

- X₁ – мощност на лазерното лъчение, W;
- X₂ – гъстина на растера, mm.

Избраните параметри на оптимизацията са:

- Y₁ - здравина на опън по основа, N;
- Y₂ - здравина на опън по вътък, N.

Факторите варират в граници /табл.3/, определени от предварително извършени експерименти, обезпечаващи получаването на най-добри резултати при маркиране с лазер [3, 7]. Построява се матрицата на експеримента съгласно /табл.4/.

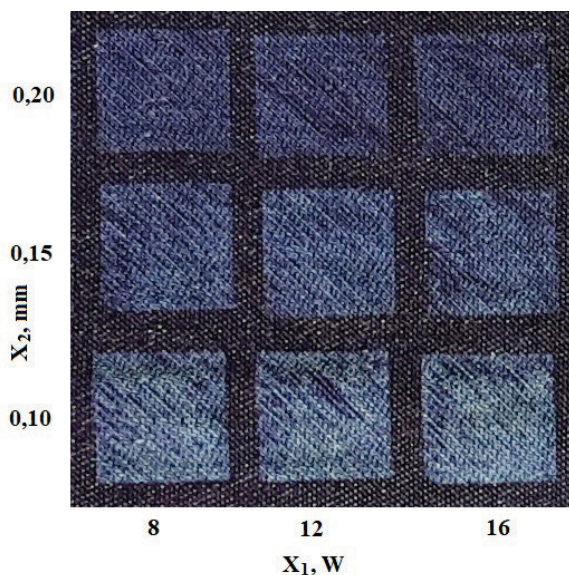
Табл.3 Област на вариране на факторите

Нива на факторите	X_1, W	X_2, mm	Кодирана стойност
$X_{io} + \Delta X_i$	16	0,20	+1
X_{io}	12	0,15	0
$X_{io} - \Delta X_i$	8	0,10	-1

където $\Delta X_1 = 4 W$ и $\Delta X_2 = 0,05 mm$

Табл.4 Матрица на експеримента

№	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	x_1^2	x_2^2	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1109	373
2	+1	-1	+1	-1	+1	+1	1230	333
3	+1	+1	-1	-1	+1	+1	854	194
4	+1	-1	-1	+1	+1	+1	972	301
5	+1	+1	0	0	+1	0	988	302
6	+1	-1	0	0	+1	0	1082	323
7	+1	0	+1	0	0	+1	1304	391
8	+1	0	-1	0	0	+1	1072	359
9	+1	0	0	0	0	0	1130	391



Фиг. 2. Образец на маркиран с лазер плат „Деним“, според матрицата на експеримента

Променливите параметри за лазерната обработка са: изходяща мощност $P_a=8\div 16 W$; растер $H=0,1\div 0,2 mm$, /табл.3/. При подбрения диапазон за вариране на факторите се постига равномерност на покритието на маркировката

при която няма места от плата с карбонизирани участъци или слаб контраст. Постоянните параметри са: скорост на маркиране $V=100 mm/s$; честота на повторение на импулсите $f=20 kHz$, наклон на растера $\alpha=0^\circ$; дефокусировка $\Delta W_d=0 mm$ и повторение на маркирането $R=1$. Пробите са облъчени от лазерния лъч директно при нормални атмосферни условия. Енергията на импулса на лазерния лъч е в обхвата от $0,8mJ$ при $20kHz$ и дължина на вълната $1064nm$. Шаблонен образец на изследвания плат, обработен с избраните параметри на процеса, е представен на фиг.2.

Определяне здравината на опън на образците.

Изпитванията за здравина на опън до скъсване са проведени според [12]. Всички опити са дублирани по пет пъти с оглед потвърждаване на хипотезата за възпроизводимост на опитите. Средните стойности от получените експерименти са представени в табл.4. Обозначенията и последователността при обработване

на резултатите от експеримента са подробно представени в специализираната литература [13, 14, 15].

Математическо моделиране.

Статистическата обработка на експерименталните данни е реализирана с програмния продукт „QstatLab-v6“. С помощта на програмата се извеждат полиномни модели от 2-ра степен (1) и се изчисляват статистическите характеристики на получените модели по въведените експериментални данни на базата на метода на регресионния анализ. Получените коефициентите в натурални стойности са представени в табл.5.

(1)

Математичният модел за решаваната задача се получава след заместване на числените стойности на регресионните коефициенти (табл.5) в уравнение (1), като е представен в (2, 3). Значимостта на коефициентите е определена за ниво $p=0.05$.

Табл.5 Изчислени коефициенти на модела

	Y ₁	Y ₂
b ₀	-284,11	-244,95
b ₁	205,295	90,195
b ₂	1657,6	819,2
b ₁₂	-3,75	183,75
b ₁ ²	-9,10875	-5,0594
b ₂ ²	2904	-7380

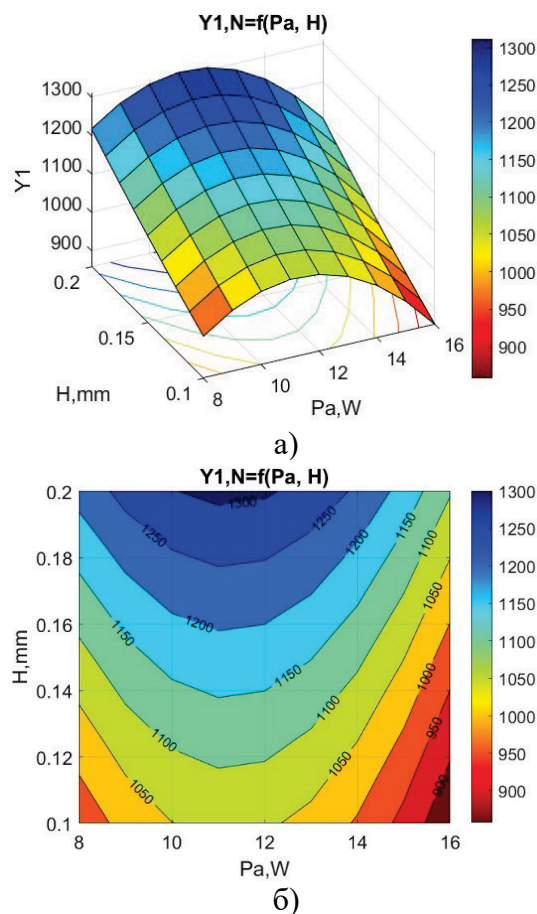
$$\hat{Y}_1 = -284,11 + 205,295 \cdot X_1 + 1657,6 \cdot X_2 - \dots - 3,75 \cdot X_1 \cdot X_2 - 9,10875 \cdot X_1^2 + 2904 \cdot X_2^2 \quad (2)$$

$$\hat{Y}_2 = -244,95 + 90,195 \cdot X_1 + 819,2 \cdot X_2 + \dots + 183,75 \cdot X_1 \cdot X_2 - 5,0594 \cdot X_1^2 - 7380 \cdot X_2^2 \quad (3)$$

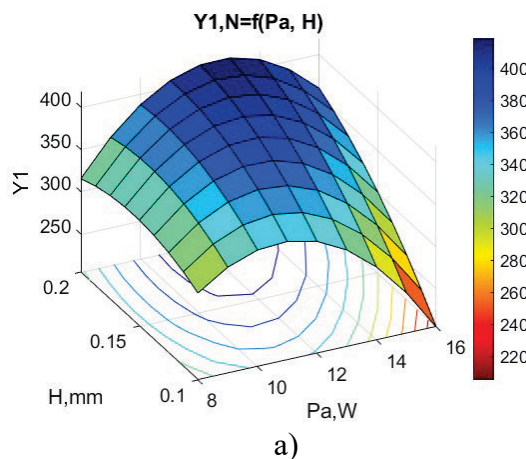
За графичното представяне на аналитичното уравнение от математичния мо-

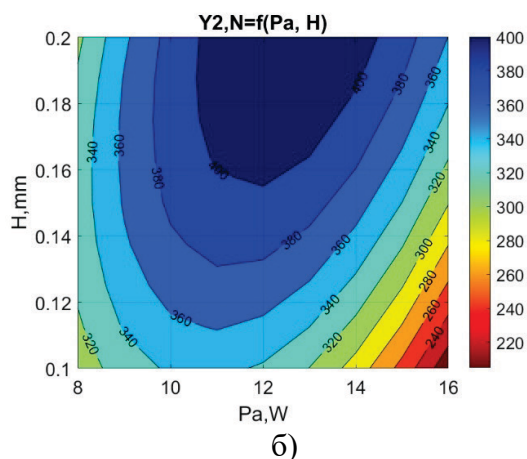
дел (2, 3) е използвана програмата MatlabR2022a.

Получените криви са представени в тримерно и двумерно пространство на фиг.3а,б и фиг.4а,б. На тях са обозначени координатна система с натуралните стойности на входните фактори и изходни параметри.



Фиг. 3. Здравина на опън по основа на плат „Деним“: а) 3D графика; б) изолинии





Фиг. 4. Здравина на опън по вътък на плат „Деним“: а) 3D графика; б) изолинии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характера на промяна на здравината на изследвания плат, по основа и вътък, показва предсказуеми характеристики. Очаквано при максимален интензитет на лазерното въздействие и минимален растр при изпълнение на маркировката се получават минимални стойности за абсолютната здравина по двете основни направления основа и вътък, в случая изходяща мощност $P_a=16W$ и растр $H=0,1mm$. Загубата на здравина на плата, в изследваната област, варира от $4\div 37\%$ по основа и от $6\div 53\%$ по вътък спрямо здравината на необработения плат. Според построените изолинии могат да се определят зоните на минимално влияние на лазерното облъчване върху резултантната здравина, по такъв начин, че готовият продукт, лазерно маркиран плат, да бъде с минимално повлияна абсолютна здравина. Установявайки допустим размер на процентното намаляване на здравината на обработения плат, лесно могат да се установят границите на вариране на параметрите на процеса лазерно маркиране, за да се извърши обезцветяване в различни нюанси, без значително да се нарушат физико-механичните характеристики на изделието.

Представеното изследване демонстрира подход за анализиране на влиянието на лазерното маркиране, извършено на текстилни площни изделия, върху абсолютната им здравина. Подхода е прило-

жим за различни по вид площни изделия, лазерни източници, фактори, граница на вариране на факторите, като получените резултати могат да бъдат критерии за оценка на влиянието на различни параметри на процеса лазерно маркиране върху експлоатационните им характеристики.

ПРИЗНАТЕЛНОСТ

Публикацията е подпомогната от договор 2310M в направление „Проекти за научни изследвания по научните направления на университета, по които се обучават студенти и докторанти“.

REFERENCE

- [1] Yuan G., S. Jiang, E. Newton, J. Fan, W. Au, Fashion Design Using Laser Engraving Technology. 8ISS Symposium-Panel on Transformation. Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, page 65-69, 2013. <https://8iss.files.wordpress.com/2016/05/5-panel-on-transformation.pdf> (2023)
- [2] ISO 139, Textiles – Standards atmospheres for conditioning and testing.
- [3] 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.
- [4] Kan C.W., et al., Technical study of the effect of CO2 laser surface engraving on the colour properties of denim fabric, Coloration Technology, Wiley-Blackwell, 126, page 365-371, 2010, DOI:10.1111/j.1478-4408.2010.00270.x, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1478-4408.2010.00270.x> (2023)
- [5] Dascalu T, et al. Removal of the indigo color by laser beam–denim interaction. Opt Lasers Eng 2000;34:179–89, DOI:10.1016/S0143-8166(00)00087-7, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143816600000877> (2023)
- [6] Ortiz-Morales M, Poterasu M, Acosta-Ortiz S.E, Compan I, Hernandex-Alvarado M.R. A comparison between characteristics of various laser-based denim fading processes. Optics and Lasers in Engineering. 2003;39:15-34. DOI:10.1016/S0143-

- 8166(02)00073-8,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143816602000738> (2023)
- [7] Stoyanov B., Kr. Drumev, D. Genov, “Microscope analysis of laser treated cotton fabrics”, Journal of the Technical university of Gabrovo, Vol.52’2016, page 58-60, ISSN 1310-6686
- [8] Chow Y. L., C. K. Chan, C. W. Can, SEM Analysis of CO₂ Laser Treated Cotton Grey Fabric, Microscopy: Science, Technology, Applications and Education, Formatex 2010, <https://silo.tips/download/sem-analysis-of-co-2-laser-treated-cotton-grey-fabric> (2023)
- [9] ISO 7211-2:1984 - Textiles — Woven fabrics — Construction — Methods of analysis — Part 2: Determination of number of threads per unit length.
- [10] ISO 7211-5:2020 - Textiles — Methods for analysis of woven fabrics construction — Part 5: Determination of linear density of yarn removed from fabric.
- [11] EN 12127:2000 - Textiles - Fabrics - Determination of mass per unit area using small samples.
- [12] ISO 13934-1:2013, Textiles - Tensile properties of fabrics - Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method.
- [13] Angelov I.A., M.S. Petrov, Teoria na inzhenernia eksperiment, TU-Gabrovo, 2002.
- [14] Damyanov, G., Matematicheski metodi za planirane na eksperimenta pri izsledvaniyata v tekstilnata promishlenost, MLP-Institut po obleklo i tekstil, Sofia, 1977.
- [15] Nalimov V.V., N.A. Chernova, „Statisticheskie metodi planirovania eksperimentov“, Moskva, 1965.