

Научни трудове на Съюза на учените в България–Пловдив, серия Б. Естествени и хуманитарни науки, т. XXVI, ISSN 1311-9192 (Print), ISSN 2534-9376 (On-line), 2025. Scientific researches of the Union of Scientists in Bulgaria-Plovdiv, series B. Natural Sciences and the Humanities, Vol. XXVI, ISSN 1311-9192 (Print), ISSN 2534-9376 (On-line), 2025.

## ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ОСНОВНИТЕ ПАРАМЕТРИ ЗА ПОЛИРАНЕ НА ОПТИЧНИ ДЕТАЙЛИ ВЪРХУ ВРЕМЕТО ЗА ПОЛИРАНЕ

Валери Бакърджиев  
Технически Университет – София Филиал Пловдив

## RESEARCH INTO THE IMPACT OF THE BASIC POLISHING PARAMETERS OF OPTICAL PARTS ON POLISHING TIME

Valeri Bakardzhiev  
Technical University – Sofia, Plovdiv Branch

**Abstract:** Polishing optical materials is an essential technological process for the optical manufacturing. It is achieved light transmittance and accuracy when polishing the optical surface. The process is mainly performed by a machine, but it takes a long time, thus affecting the efficiency of the whole optical manufacturing. While polishing, the operator adjusts the angular velocity of the polishing tool, the angular velocity of the workpiece and the force of the workpiece on the polishing tool. The aim of the paper is to research whether the polishing stages are affected by the angular velocity of the polishing tool, the angular velocity of the workpiece and the force.

**Keywords:** Lens, Optical parts, Polishing tool

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

След финото шлифование повърхностите на оптичните детайли все още нямат необходимата гладкост. По тях остават микронеравности от порядъка на 2 до 3 микрометра. Преминаващата през тях светлина се разсейва и затова е необходима по-нататъшна обработка до получаване на пълна прозрачност. Това се постига чрез полиране на детайла чрез определени полиращи подложки и подходяща суспензия (Brown & Cook, 1984).

Полиращата машина разполага с няколко полиращи глави – от 1 до 6, на всяка от които се монтира по един оптичен детайл. Машината има осцилиращо движение на горния шпиндел в диапазона  $\pm 45^\circ$  и по този начин се обхожда сферичната повърхнина на детайла. Големината на ъгъла се задава в зависимост от радиусите на полиращата леща. Горният шпиндел има ъглова скорост, която се регулира в диапазон 0-300 rpm. (Karow, 2024)

Чрез подходящ нипел се монтира обработваният детайл и той му придава съответната



Фигура 133. Конзола за групово полиране на оптични детайли.

ъглова скорост. През оста на горния шпиндел се придава постоянен натиск, който също се регулира от 0 до 0,5kg, за да може да се осигури контакт между полирания детайл и полировника. На долния шпиндел се монтира полиращият инструмент с подходяща полираща подложка. Шпинделът се върти с регулируема ъглова скорост в диапазон от 50 до 2500rpm.

## 2. МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Методът на изследване се основава на експеримент, извършен в „Микро Вю Ендоскопи Оптик“ АД, който включва полиране на серия вдлъбнати оптични детайли от оптично стъкло тип N-BaF52, с радиус 11,22mm. Диаметърът на заготовката е 4mm. Детайлът е групов на 3 реда: на първи ред – 3 броя, на втори ред – 9 броя и на трети ред – 12 броя. Диаметърът на блока е 21,26mm. Детайлите са твърдо блокирани към носеща конзола. При полирането е използвана полираща суспензия тип CER1 3000 G (Pieplow & Brandt GmbH, 2024) на базата на цериев оксид, а за подложка за полиране е използвано фолио тип GR35 с дебелина 0,81mm. Извършва се промяна на ъгловата скорост на инструмента и обработваните детайли и се засича времето за полиране. Груповата конзола се монтира на долния шпиндел на машината, а полировникът с полиращата подложка на горния шпиндел. Чрез пневматиката се променя натискът между полировника и обработваните детайли. Качественият контрол на всеки оптичен детайл се извършва на интерферометър.

## 3. ОБРАБОТКА НА ОПИТНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Чрез статистическа обработка на модела ще се определи кой от изброените параметри – ъгловата скорост на долния шпиндел, ъгловата скорост на горния шпиндел или натискът върху полирания детайл в най-голяма степен ще съкрати времето за полиране.

Множественият регресионен модел има следния вид (Чипева & Бошнаков, 2015):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon \quad (2)$$

където:

- $Y$  – зависимата променлива;
- $X$  – факторната променлива;
- $\beta_n$  – параметрите на модела;
- $\varepsilon$  – стохастичната част на модела.

Регресионното уравнение ще има вида:

$$Y' = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 \quad (3)$$

За оценка на параметрите се прилага множествен линеен регресионен модел. За тази цел се съставя система от нормални уравнения, получени от последователно диференциране на остатъчната функция спрямо всеки от параметрите на модела.

$$\begin{cases} \Sigma Y = n b_0 + b_1 \Sigma X_1 + b_2 \Sigma X_2 + b_3 \Sigma X_3 \\ \Sigma Y X_1 = b_0 \Sigma X_1 + b_1 \Sigma X_1^2 + b_2 \Sigma X_1 X_2 + b_3 \Sigma X_1 X_3 \\ \Sigma Y X_2 = b_0 \Sigma X_2 + b_1 \Sigma X_1 X_2 + b_2 \Sigma X_2^2 + b_3 \Sigma X_2 X_3 \\ \Sigma Y X_3 = b_0 \Sigma X_3 + b_1 \Sigma X_1 X_3 + b_2 \Sigma X_3 X_2 + b_3 \Sigma X_3^2 \end{cases} \quad (4)$$

Бяха направени поредица от експерименти, представени в таблица 1, при които се изменяха основните параметри на полиране.

**Таблица 1.** Изходни данни.

№	Време за полиране, s	Ъглова скорост ДШ, rad/s	Ъглова скорост ГШ, rad/s	Сила на натиск, N	Оценени стойности на модела		
					$Y'$	$Y'^2$	$Y'^3$
i	Y	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y'$	$Y'^2$	$Y'^3$
1	600	41.89	31.42	4.9	661.84	438032.00	289907042.25
2	720	52.36	29.32	4.41	831.58	691526.30	575059853.56
3	1200	62.83	26.18	2.94	1115.46	1244242.01	1387897177.82
4	1500	73.3	23.04	2.45	1394.16	1943685.66	2709811285.18
5	1680	83.78	18.85	1.96	1782.83	3178477.10	5666679227.52
6	2160	94.25	15.71	1.47	2061.53	4249921.23	8761355859.58
7	2520	104.72	12.57	0.98	2340.24	5476718.65	12816830679.10

8	3060	115.19	8.38	0.49	2728.96	7447204.31	20323097603.80
9	2880	125.66	5.24	0.98	3002.49	9014957.53	27067336863.81
10	1920	136.14	12.57	1.47	2179.00	4748026.95	10345935423.82
11	1320	146.61	18.85	1.96	1465.56	2147879.21	3147855457.83
12	720	157.08	23.04	2.45	971.11	943052.77	915807069.77
13	480	167.55	26.18	2.94	586.67	344176.90	201916858.89
14	300	178.02	29.32	4.41	197.05	38829.78	7651515.46
15	180	188.5	31.42	4.9	-78.48	6158.53	-483298.63

Таблица 2. Регресионен анализ в MSExcel (Microsoft Inc).

Regression Statistics	
Multiple R	0.981440909
R Square	0.963226257
Adjusted R Square	0.953197055
Standard Error	202.6889807
Observations	15

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	3	11837048.95	3945682.98	96.04215838	3.5873E-08
Residual	11	451911.0518	41082.8229		
Total	14	12288960			

	Coefficient	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	4191.20	222.94	18.80	1.03728E-09	3700.51	4681.90
X <sub>1</sub>	-5.05	1.16	-4.35	0.001150672	-7.60	-2.50
X <sub>2</sub>	-104.77	19.30	-5.43	0.000207266	-147.25	-62.30
X <sub>3</sub>	-5.28	110.73	-0.96	0.962853998	-248.99	238.44

Коефициентите на регресионното уравнение в оценения модел са:

$$b_0=4191.2 \quad b_1=-5.05 \quad b_2=-104.77 \quad b_3=-5.28 \quad (5)$$

За верифициране на модела се налага да се анализират интервалните оценки на модела при вероятност 95%. Съгласно резултатите, получени в таблица 2, интервалните оценки на модела са:

$$3700.51 \leq \beta_0 \leq 4681.9 \quad (6)$$

$$-7.6 \leq \beta_1 \leq -2.5 \quad (7)$$

$$-147.25 \leq \beta_2 \leq -62.3 \quad (8)$$

$$-248.99 \leq \beta_3 \leq 238.44 \quad (9)$$

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направеното изследване могат да се направят следните изводи:

- От стойността на Multiple R или тъй-нареченият „корелационен коефициент на Пирсън“, може да се определи връзката между факторите и зависимата променлива. Стойността е 0,98 и следователно връзката между факторите и зависимата променлива е много силна.
- Стойността на R Square или коефициентът на детерминация на модела показва, че 96% от стойностите на двете ъглови скорости и натоварването пряко влияят върху времето за полиране.
- Significance F емпиричната характеристика на критерия се определя дали предложеният модел е адекватен. В случая е много малко число  $-3,58 \cdot 10^{-8}$ , което е много по-малко от  $\alpha=0,05$ , т.е. съответният параметър отхвърля нулевата хипотеза и регресионният анализ е адекватен.
- От стойността в полето P-value се определя, че статистически значими са коефициентите  $b_0$ ,  $b_1$  и  $b_2$ , защото  $P\text{-value} \leq \alpha$ , отхвърля се нулевата хипотеза и коефициентът е статистически значим. При  $P\text{-value} \geq \alpha$  се приема нулевата хипотеза и съответният коефициент е статистически незначим. От таблица 2 се

вижда, че статистически незначим е само коефициентът  $b_3$ . Може да се направи заключение, че само силата на натиск няма значим ефект върху времето за полиране. Ъгловата скорост на долния шпиндел и ъгловата скорост на горния шпиндел оказват пряко влияние върху времето за полиране.

- На базата на изложеното в доклада може да се твърди, че с повишаването на ъгловата скорост на шпинделите на полиращата машина ще се намали драстично времето за полиране.
- Резултатите от анализа показват висок процент на детерминация и статистическа адекватност, но въпреки това моделът може да бъде подобрен. Може да се извърши подобряване на модела, чрез прецизиране на неговата спецификация, т.е. да се направи избор на определящи променливи.

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Изследването е подкрепено от фирма „Микро Вю Ендоскопи Оптик“ АД.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Brown, N. J., & Cook, L. M. (1984). The role of abrasion in the optical polishing of metals and glasses. In *The Science of Polishing Topical Meeting, Technical Digest*.
- Karow, H. (2004). *Fabrication methods for precision optics*. Wiley. ISBN 978-0-471-70379-2
- Microsoft Inc. (2024, November). *Microsoft Excel – Microsoft* 365. <https://www.microsoft.com/bg-bg/microsoft-365/excel>
- Pieplow & Brandt GmbH. (2024, November). *Company website*. <https://pieplow-brandt.de/en/>
- Микро Вю Ендоскопи Оптик АД. (2024, November). *Официален сайт*. <https://micro-view.bg/>
- Чипева, С., & Бошнаков, В. (2015). *Въведение в иконометрията*. Издателски комплекс – УНСС. ISBN 978-954-644-7