

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ЪГЛОВАТА СКОРОСТ НА ПОЛИРАЩИЯ ИНСТРУМЕНТ ВЪРХУ ВРЕМЕТО ЗА ПОЛИРАНЕ

ВАЛЕРИ БАКЪРДЖИЕВ

*Технически университет – София, Филиал - Пловдив
bakardzhiev@tu-plovdiv.bg*

Резюме: След финото шлифване 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 с определени полиращи подложки. Един от важните параметри на полирането е скоростта на въртене на оптичния инструмент. В настоящата статия се изследва зависимостта между големината на ъгловата скорост на полиращия инструмент и необходимото време за полиране. Времето за полиране е основен фактор за определяне на производителността на оптичното производство.

Ключови думи: *леци, микрооптика, полиране на леци*

RESEARCHING THE IMPACT OF THE ANGULAR VELOCITY OF THE OPTICAL TOOL ON POLISHING TIME

VALERI BAKARDZHIEV

*Technical University – Sofia, Branch Plovdiv
bakardzhiev@tu-plovdiv.bg*

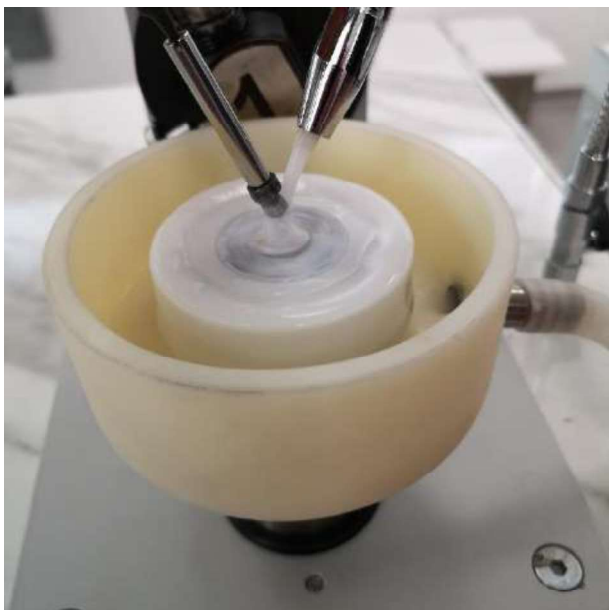
Abstract: Despite the fine grinding, the necessary surface smoothness of the optical tools is not achieved. There is surface roughness of 2-3 micrometers. The rough surfaces scatter light, that's why further processing is required until obtaining complete transparency. It is achieved by polishing the tools with certain polishing pads. One of the important parameters of polishing is the rotational speed of the optical tool. This article examines the relation between the magnitude of the angular velocity and the necessary polishing time. Polishing time is a major factor in determining the efficiency of optical manufacturing.

Key words: *Lenses, Micro-optics, Polishing lenses*

1. Въведение

След финото шлифване 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. Има доста изложени теории за полирането на оптични детайли[1]. Възприета е една теория, според която химичните процеси преобладават при финото полиране, докато при грубото полиране надделяват механичните процеси. Други проучвания [2] показват, че най-

вероятният механизъм за полиране е сложен физико-химичен процес, който зависи от вида на оптичния материал и от вида на полиращата смес. При механичен контакт карбоксилните групи на полиращата подложка взаимодействат с повърхността на полирания детайл и се отнема стъклена маса. 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 диапазон $\pm 45^\circ$ 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.



Фиг. 1. Полиране на оптичен детайл

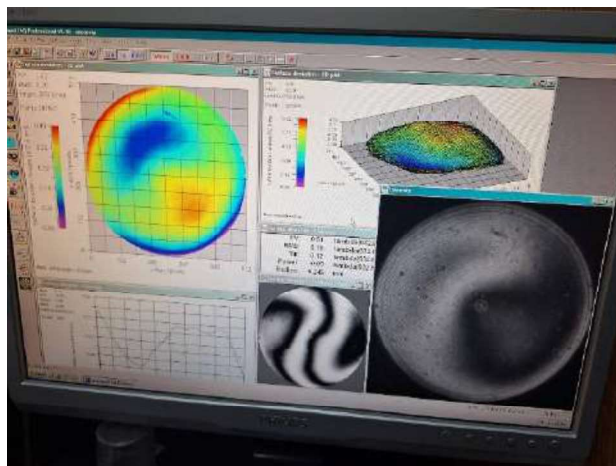
Чрез подходящ нипел се монтира обработвания детайл и това му придава съответната ъглова скорост. През оста на горния шпиндел се придава постоянен натиск, който също се регулира от 0 до 0,5kg, за да може да се осигури контакт между полирания детайл и полировника. На долния шпиндел се монтира полиращият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

2. Описание на метода на изследване

Методът на изследване се основава на експеримент, който включва полиране на серия вдлъбнати оптични дейли от оптично стъкло тип N-BaF52 с радиус 6,245mm. Детайлите са твърдо блокирани към държач. При полирането се използва полираща суспензия тип CERI 3000 G[3] на базата на цериев оксид, а за подложка за полиране се използва смола тип GUGOLZ[3] на базата на естествени смоли. Регулира се ъгловата скорост на инструмента и се засича времето за полиране на детайла. Качественият контрол на всеки оптичен детайл се извършва на интерферометър – фигура 2[4].

3. Обработка на опитните резултати

Нелинейните по форма еднофакторни регресионни модели представляват нелинейни зависимости на резултативното явление по отношение на определен фактор. В конкретния случай факторът се определя на базата на изменението на ъгловата скорост на полиращия инструмент. Нелинейните по форма регресионни модели могат да бъдат оценявани с помощта на



Фиг. 2. Проверка за качеството на полиране

метода на най-малките квадрати при наличие на останалите изисквания на метода. Общият вид на полиномните модели е[5]:

$$Y = \beta_0 + \beta_1X + \beta_2X^2 + \beta_nX^n + \varepsilon$$

където:

Y – зависимата променлива;

X – факторната променлива;

β_n – параметрите на модела;

n – степента на модела.

Най-високата степен, на която участва факторната променлива в модела, определя порядъка на полинома. Най-широко прилаганият полиномен модел е този от втори порядък, т.е. на степен втора. Този модел се нарича квадратичен, а общият вид на квадратичния модел може да се запише със следното уравнение[4]:

$$Y = \beta_0 + \beta_1X + \beta_2X^2 + \varepsilon$$

След необходимото полагане, може да се изведе регресионното уравнение, което има следния вид:

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$$

За оценка на параметрите на квадратичния модел се провежда трикратно диференциране на остатъчната функция $\Sigma(Y_i - \hat{Y}_i)^2$, в резултат на което се получава система от три нормални уравнения:

$$\begin{cases} \Sigma Y_i = nb_0 + b_1\Sigma X_i + b_2\Sigma X_i^2 \\ \Sigma X_i Y_i = b_0\Sigma X_i + b_1\Sigma X_i^2 + b_2\Sigma X_i^3 \\ \Sigma X_i^2 Y_i = b_0\Sigma X_i^2 + b_1\Sigma X_i^3 + b_2\Sigma X_i^4 \end{cases}$$

За моделиране и анализ на влиянието на ъгловата скорост на полиращия инструмент върху времето за полиране се използват натрупани статистически данни, събрани чрез метода на наблюдение и измерване, представени в таблица 1. Променливата Y представлява времето за полиране на един детайл, измерено с хронометър в секунди. Променливата X е ъгловата скорост на полиращия инструмент. За да се моделира изменението на ъгловата скорост на полиращия инструмент спрямо времето за полиране на оптичния детайл, се прилага квадратичният модел, който има следния вид:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \varepsilon_i$$

Извежда се следното регресионно уравнение.

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2$$

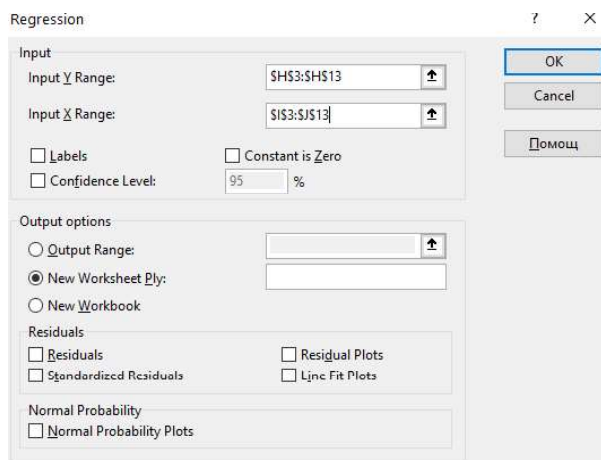
За оценка на параметрите на регресионния модел се прилага метода на най-малките квадрати.

Таблица 1. Данни от измерванията на коефициентите X и Y

Номер	Време, s	Ъглова скорост, rad/s
i	Y_i	X_i
1	4500,00	5,24
2	3720,00	10,47
3	3480,00	15,71
4	2700,00	20,94
5	2520,00	26,18
6	2400,00	31,42
7	2220,00	36,65
8	2160,00	41,89
9	1980,00	47,12
10	1800,00	52,36

Тук е необходимо да бъде приложено трикратно последователно диференциране на остатъчната функция, в резултат на което се получава система от нормални уравнения. Тази система съдържа три уравнения, в които сумарните величини, съдържащи променливите Y и X се изчисляват от емпиричните данни. Изчисленията се извършват в работната среда на програмата MS Excel[6].

Тъй като програмата Microsoft Excel предлага оценка само на линейни модели, е необходимо променливата X^2 да бъде реструктурирана и предварително изчислена от изходната променлива X .



Фиг. 3. Меню за настройка на регресията в MS Excel

Променливите, които ще бъдат използвани за извършването на регресионния анализ, са представени в таблица 2.

Стартира се модулът Data в командния ред на MS Excel и се избира функцията Data Analysis. От това меню се избира командата Regression. В появилия се екран на фигура 3 се прави избор за Input Y Range и се селектират данните на зависимата променлива, в случая ъгловата скорост на инструмента. В полето Input X Range се избира колоната с данни от таблица 2 за двете определящи променливи X и X^2 .

Таблица 2. Таблица за оценка на квадратичен регресионен модел

Номер	Време, s	Ъглова скорост, rad/s	X_i^2
i	Y_i	X_i	X^2
1	4500,00	5,24	27,46
2	3720,00	10,47	109,62
3	3480,00	15,71	246,80
4	2700,00	20,94	438,48
5	2520,00	26,18	685,39
6	2400,00	31,42	987,22
7	2220,00	36,65	1343,22
8	2160,00	41,89	1754,77
9	1980,00	47,12	2220,29
10	1800,00	52,36	2741,57

От таблица 3 можем да направим следните изводи:

Първо, от стойността на Multiple R или тъй наречения „корелационен коефициент на Пирсън“, може да се определи каква е силата или връзката между двете променливи. При стойност 0,98 следва, че връзката между ъгловата скорост на полиращия инструмент върху времето за полиране е много силна.

Таблица 3. Резултати от регресионния анализ

SUMMARY OUTPUT					
Regression Statistics					
Multiple R	0,98747502				
R Square	0,975106916				
Adjusted R Sq	0,967994606				
Standard Error	155,9454353				
Observations	10				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	6668327,148	3334163,574	137,1012987	2,43375E-06
Residual	7	170232,8515	24318,97879		
Total	9	6838560			
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%
Intercept	4996,201851	183,4506542	27,23458181	2,30801E-08	4562,409985
Xi	-124,2579278	14,63288418	-8,49169079	6,21609E-05	-158,8592006
X^2	1,260254784	0,247596073	5,089962728	0,001415231	0,674783105

Във втората колона стойността на *R Square* или коефициентът на детерминация на модела показва, че 98% от стойностите на изменението на ъгловата скорост на полиращия инструмент пряко влияят върху времето за полиране.

За да се определи дали оцененият модел е адекватен, е използвана стойността на *Significance F*, която в случая е много малко число – $2.43 \cdot 10^{-6}$. Числото е много по-малко от $\alpha=0,05$, т.е. съответният параметър отхвърля нулевата хипотеза и регресионният анализ е адекватен.

От таблица 3 могат да се определят и коефициентите на съответното регресионно уравнение.

$$b_0 = 4996.20 \quad b_1 = -124.26 \quad b_2 = 1.26$$

За да се определи кой коефициент е статистически значим, се взема стойността в полето *P-value*. При $P\text{-value} \leq \alpha$ се отхвърля 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 3 се вижда, че статистически значими са всички коефициенти.

Квадратичният регресионен модел може да се запише в следния вид:

$$\hat{Y}_i = 4996.20 - 124.26X_i + 1.26X_i^2$$

За да се определи средното очаквано абсолютно изменение на зависимата променлива *Y* за единица абсолютно изменение на фактора *X*, независимо с колко определящи променливи е представен модела, се използват коефициентите на еластичност и пределен ефект[5].

$$\beta_1 + 2\beta_2\bar{X} = -51.67$$

Коефициентът на еластичност се определя от уравнението:

$$E = (\beta_1 + 2\beta_2\bar{X}) * \frac{\bar{X}}{\bar{Y}} = -0.54$$

Съгласно оценения квадратичен модел, при увеличаване на ъгловата скорост на инструмента с 1 процентен пункт, времето за полиране на оптичния детайл ще се намали с 0,54 процентни пункта.

4. Заключение

На базата на изложеното в доклада може да се твърди, че ъгловата скорост на инструмента оказва влияние на времето за полиране и оттам води до повишаване на производителността на производството.

В настоящата статия не е отчетено влиянието на силата на натиск върху полирания детайл, както и ъгловата скорост на обработвания детайл.

При прекомерно увеличаване на ъгловата скорост над 53 rad/s, в следствие на повишаване на температурата на инструмента, в центъра на обработвания детайл се появяват петна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brown, N. J., Cook L. M., The role of abrasion in the optical polishing of metals and glasses, The Science of Polishing Topical Meeting, Technical Digest, 1984.
2. Karow, H, Fabrication methods for precision optics, Wiley, 2004, 768p. ISBN: 978-0-471-70379-2
3. 2024_Pieplow & Brandt GmbH Online: <https://pieplow-brandt.de/en/>
4. 2024_ Микро Вю Ендоскопи Оптик АД. Online: <https://micro-view.bg/>
5. Чипева, С., Бошнаков, В., Въведение в иконометрията, Издателски комплекс-УНСС, 2015, София, ISBN 978-954-644-7
6. 2024_Microsoft Inc. Online: <https://www.microsoft.com/bg-bg/microsoft-365/excel>