

# УСЛОВИЯ ДОСТИЖЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ С НАПРАВЛЕНИЕМ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

**Э. А. Пащенко**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра охраны труда, сертификации и  
стандартизации\*

Контактный тел.: (057) 733-79-18

**И. Н. Плахотникова**

Старший преподаватель  
Кафедра полиграфического производства и  
компьютерной графики\*

\*Украинская инженерно-педагогическая академия  
ул. Университетская, 16, г. Харьков, 61003  
Контактный тел.: (057) 733-79-36

*Розглянуто результати комплексних досліджень з використанням повного факторного експерименту типу  $2^4$  точності обробки координованих отворів діаметром  $(3 \div 10)$  мм*

*Ключові слова: координовані розміри, факторний експеримент*

*Рассмотрены результаты комплексных исследований с использованием полного факторного эксперимента типа  $2^4$  точности обработки координированных отверстий диаметром  $(3 \div 10)$  мм*

*Ключевые слова: координированные размеры, точность, факторный эксперимент*

*The results of integrated studies using a full factorial experiment type  $2^4$  precision machining coordinated diameter holes  $(3 \div 10)$  mm*

*Keywords: coordinated size, precision, factorial experiment*

Одной из важнейших проблем станкостроения является обеспечение заданной точности обработки и прогнозирование ее на стадии проектирования металлорежущего оборудования.

При многошпиндельной обработке отверстий значительные трудности возникают в достижении точности координат расположения этих отверстий и позиционных допусков осей их (координированных размеров).

Прогнозирование точности координированных размеров усложняется при обработке отверстий диаметром (3-10) мм мерным инструментом с использованием кондукторной схемы обработки. Тем более значительный интерес представляет определение оптимальных координированных размеров при обработке отверстий, у которых  $l/d > 3$  (где  $l$  и  $d$  - соответственно длина и диаметр обрабатываемых отверстий). Сведений по данному вопросу в литературных источниках нет.

Целью настоящей работы являлось исследование точности координированных размеров при сверлении отверстий с направлением режущего инструмента.

Для проведения исследований был использован полный факторный эксперимент типа  $2^4$ . В качестве параметров оптимизации были приняты следующие практические поля рассеяния:  $\omega_B$  - размеры от базы и  $\omega_0$  - позиционные отклонения осей отверстий. Основ-

ными факторами, влияющими на указанные на параметры оптимизации, были приняты:

- $d_n$  - диаметр режущего инструмента, мм
- $HВ$  - твердость обрабатываемого материала, МПа;
- $l_{вт}$  - длина направляющей части кондукторной втулки, мм;
- $l_x$  - вылет инструмента за торец кондукторной втулки, мм.

В связи с этим была принята следующая функциональная зависимость для определения практического поля рассеяния размера от базы ( $\omega_B$ ) и позиционного отклонения ( $\omega_0$ ):

$$\omega_{B,0} = f(d_n, HВ, l_{вт}, l_x)$$

Планирование и проведение полного факторного эксперимента типа  $2^4/1/$  позволяет получить математическую модель точности обработки координированных размеров.

При проведении экспериментальных исследований обрабатывались заготовки из стали 45, серого чугуна С415 и алюминиевого сплава АК4. Каждая из 16 точек плана эксперимента представляла один опыт и в каждой точке плана объем испытаний  $N=50$  шт.

Математическая обработка результатов экспериментальных исследований на первом этапе сводилась

к определению статистических характеристик распределений:

$\bar{x}$  - среднее арифметическое отклонение исследуемой величины;

$\sigma$  - среднее квадратическое отклонение;

w - размах;

$\lambda$  - коэффициент относительного рассеяния случайной величины;

$\alpha$  - коэффициент относительной асимметрии.

Оценка согласия экспериментальных данных с теоретическими по каждому из 16 опытов проводилась путем вычисления критериев Колмагорова и Пирсона. Установлено, что рассеяние размеров от базы подчиняется нормальному закону распределения, а позиционного отклонения – закону эксцентриситета. Проверка гипотезы об однородности дисперсий практических полей рассеяния в каждой точке плана выполнялась по критерию Кохрена.

В качестве независимых переменных  $X_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) были приняты логарифмы  $d_{и}$ , НВ,  $l_{вт}$ ,  $l_x$ . Кодирование факторов, например по диаметру  $d_{и}$ , выполнялось в следующей последовательности:

- поскольку нулевой уровень варьирования (см. табл. 1) равен  $X_{1,0} = \lg 2,0 = 0,301$ , интервал рассчитывался по формуле

$$\Delta x_{1,0} = \frac{\lg 3,0 - \lg 1,0}{z} = 0,2386;$$

- определялось кодированное значение диаметра режущего инструмента

$$z_1 = \frac{\lg d_{и} - 0,301}{0,2386}$$

Аналогично определялись кодированные значения для остальных факторов.

Для проведения статистического анализа выполнена дополнительная серия опытов ( $n_0=3$ ) при нулевом уровне исследуемых факторов. За нулевой уровень принята обработка отверстий диаметром 2 мм в образцах из серого чугуна.

После составления рабочей матрицы типа 24 были рассчитаны коэффициенты регрессии  $b_0$ ,  $b_i$  и  $b_{ij}$ . По

позиционных отклонений. В качестве примера ниже приведено также уравнение для размера от базы.

$$y_b = 2,853 - 0,0043z_1 + 0,0919z_2 - 0,0383z_3 + 0,0361z_4 - 0,0024z_5 - 0,0178z_6 - 0,00006z_7 + 0,0299z_8 - 0,0053z_9 - 0,0068z_{10} + 0,0293z_{11} - 0,0056z_{12} - 0,0076z_{13} - 0,0055z_{14} + 0,0062z_{15}. \tag{1}$$

Статистический анализ этих уравнений показывает, что коэффициенты от  $z_5$  до  $z_{15}$  незначимы, т.к. они меньше доверительных интервалов ( $\Delta b_0 = 0,0299$ , а  $\Delta b_0 = 0,013$ ).

Гипотезу об адекватности полученных результатов можно считать правильной, т.к. проверки по критериям Фишера (F) и Стьюдента (t) показали, что расчетные значения этих критериев меньше табличных. Результаты статистического анализа представлены в табл. 2.

**Таблица 2**

**Значение параметров статистического анализа математических моделей**

№ п/п	Параметры	Обозначения	Значения параметра для модели	
			$y_b$	$y_0$
1.	Дисперсия ошибки опыта	$S_{ош}^2$	0,0003	0,00016
2.	Дисперсия ошибки определения коэффициентов регрессии	$S_{bi}^2$	0,000016	0,00001
3.	Доверительный интервал для коэффициентов регрессии	$\Delta b_i$	0,0299	0,0137
4.	Дисперсия, характеризующая неадекватность математической модели	$S_{на}^2$	0,00046	0,0128
5.	Критерий Фишера (F=6,927 при 1% уровне значимости)	F	1,17	6,875
6.	Критерий Стьюдента (t=31,6 при 0,4% уровне значимости)	t	14,3	6,28

**Таблица 1**

**Область изменения независимых факторов при сверлении отверстий с направлением режущего инструмента**

Уровень варьирования	Независимые факторы и их логарифмы							
	Диаметр инструмента		Твердость материала		Длина кондукторной втулки		Вылет инструмента	
	$\tilde{x}_1$	$x_1$	$\tilde{x}_2$	$x_2$	$\tilde{x}_3$	$x_3$	$\tilde{x}_4$	$x_4$
	$d_{и, мм}$	$\lg d_{и}$	НВ, МПа	$\lg НВ$	$l_{вт, мм}$	$\lg l_{вт}$	$l_x, мм$	$\lg l_x$
Верхний (+)	3	0,4771	1930	3,2856	18	1,2553	3,5	0,5441
Нулевой (0)	2	0,301	1240	3,0934	12,5	1,0969	2,5	0,3979
Нижний (-1)	1	0	550	2,7404	7	0,8451	1,5	0,1761
Интервал варьирования	-	0,2386	-	0,2726	-	0,2051	-	0,184

результатам экспериментов оценивались коэффициенты уравнений регрессии и находились искомые математические модели полей рассеивания от базы и

В табл. 3 приведены кодированные значения исследуемых факторов при сверлении отверстий с направлением режущего инструмента.

**Таблица 3**

**Кодированные значения факторов**

Наименование фактора	Код	Кодированное значение фактора
Диаметр инструмента	Z <sub>1</sub>	(lgd <sub>и</sub> -0,301)/0,2386
Твердость обрабатываемого материала	Z <sub>2</sub>	(lgHB-3,0934)/0,2726
Длина кондукторной втулки	Z <sub>3</sub>	(lgl <sub>ВТ</sub> -1,0969)/0,2051
Вылет инструмента за торец втулки	Z <sub>4</sub>	(lgl <sub>х</sub> -0,3979)/0,184

Воспользовавшись данными табл. 3, преобразуем кодовые значения переменных в логарифмические и получим новые зависимости. Например, для полей рассеяния размеров от базы:

$$\lg \omega_B = 1,9431 - 0,0018 \lg d_8 + 0,337 \lg HB - 0,187 \lg l_{ВТ} + 0,196 \lg l_x \tag{2}$$

Потенцируя выражения (2), получаем зависимости для расчета полей рассеяния при обработке отверстий с направлением режущего инструмента:

$$\omega_B = 87,7 \frac{l_x^{0,2} \cdot HB^{0,34}}{d_-^{0,02} \cdot l_{2В}^{0,19}}, \tag{3}$$

$$\omega_0 = 1,17 \frac{l_x^{0,12} \cdot HB^{0,15}}{d_-^{0,04} \cdot l_{2В}^{0,12}} \cdot 10^3 \tag{4}$$

Уравнения (3) и (4) рекомендуются для расчета полей рассеяния при использовании кондукторных втулок, у которых диапазон длин направляющей части находится в пределах от 5мм до 20мм, вылеты инструмента за торец втулки изменяются в пределах от 1мм до 5мм, пределы изменения диаметров: 0,5мм ≤ d<sub>и</sub> ≤ 3,5мм, а твердость обрабатываемого материала- 500МПа ≤ HB ≤ 2500МПа.

При проведении плана экспериментальных исследований не предусматривалось изменение такого фактора как зазор между инструментом и кондукторной втулкой ввиду технологической сложности обработки малых отверстий кондукторных втулок. Однако математические модели, полученные при обработке планов экспериментов, позволяют включить дополнительные факторы, которые можно ввести, используя дополнительную информацию (распределение удельного веса факторов), полученную при исследованиях на

подобных объектах. Такое моделирование рассмотрено в работах некоторых исследователей /2/. Поэтому, используя метод переноса влияния факторов при имитационном моделировании, учтем влияние изменений зазоров между инструментом и кондукторной втулкой для определенных технологических схем. В связи с этим в исследованиях было принято выполнять минимальный зазор S<sub>1min</sub>=10мкм, а максимальный S<sub>1max</sub>=40мкм. После расчетов эмпирических зависимостей были получены новые зависимости в кодированных переменных, где переменной z<sub>5</sub> закодирован этот зазор в виде зависимости:

$$z_5 = (\lg S_1 - 1,3979) / 0,301$$

Тогда уравнение в преобразованных переменных z<sub>i</sub> для полей рассеяния размеров от базы будет иметь следующий вид:

$$Y_B^1 = 2,7919 - 0,006z_1 + 0,0972z_2 - 0,0379z_3 + 0,038z_4 + 0,06124z_5$$

$$Y_0^1 = 2,7919 - 0,006z_1 + 0,0972z_2 - 0,038z_4 + 0,06124z_5 \tag{5}$$

Удельный вес влияния факторов на точность обработки координированных отверстий с направлением режущего инструмента представлены в табл. 4.

**Таблица 4**

**Удельный вес влияния факторов на величину полей рассеяния ω<sub>б</sub> и ω<sub>0</sub>.**

Точностные характеристики	Удельный вес факторов, %				
	Управляемых		Неуправляемых		
	Геометрических	Точностных	Заданных в чертеже		
	l <sub>ВТ</sub>	l <sub>х</sub>	S <sub>1</sub>	HB	d <sub>и</sub>
Размер от базы до отверстия	16	16	25	39	4
Позиционное отклонение отверстия	16	8	40	29	7

Из табл. 4 видно, что суммарное влияние управляемых факторов (l<sub>ВТ</sub>, l<sub>х</sub>, S<sub>1</sub>) существенно и составляет соответственно 57% для ω<sub>б</sub> и 64% для ω<sub>0</sub>, что дает значительный резерв регулирования точности обработки координированных отверстий.

**Литература**

1. Душинский В.В. Оптимизация технологических процессов в машиностроении [Текст] / Е.С. Пуховский, С.Г. Радченко // Под. ред. Г.Я. Таурита.- Киев: Техніка, 1977.-176с.
2. Шиндовский Э., Статистические методы управления качеством [Текст] / Шюрц О. -М., Миф, 1976.-599с.