

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РОЛИ ПЕРВИЧНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ В ФОРМИРОВАНИИ ТОЧНОСТИ ДОРНОВАНИЯ

В.Е. Панкратов, С.Н. Михеенко, Р.Н. Шадуро

В работе приведены результаты количественной оценки влияния первичных погрешностей на точность процесса дорнования. В качестве критериев оценки приняты суммарная погрешность дорнования и коэффициент уточнения. Установлено, что наибольшее влияние на точность дорнования оказывают исходная точность, колебание механических свойств материала деталей, жёсткость стенок и погрешность установки детали в процессе дорнования

Ключевые слова: точность, погрешность, дорнование, коэффициент уточнения

Дорнование является одним из способов поверхностного пластического деформирования (ППД), обеспечивающего существенное повышение качества отверстий. Дорнование упрочняет обрабатываемую поверхность отверстий вследствие улучшения физико-механических свойств металла и формирования в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия. К этому следует добавить улучшение качества поверхностей за счёт уменьшения высоты микронеровностей, имеющих округлённую вытянутую форму, что увеличивает площадь контакта с сопряжённой парой. Однако традиционное дорнование, как отмечено в работе [1], не может существенно повысить точность отверстий ($\varepsilon = 1,4 - 1,6$).

Поэтому в работе поставлена цель дать количественную оценку влияния первичных погрешностей на точность дорнования, на основании расчётов и экспериментальных исследований.

В работе [1] предложена зависимость для расчёта суммарной погрешности дорнования в общем виде:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_m + \delta_{\chi} + \sqrt{\delta_k^2 + \delta_y^2 + 3\delta_u^2 + \delta_T^2}, \quad (1)$$

где δ_m – первичная погрешность, зависящая от механических свойств материала и исходной точности, δ_{χ} – погрешность зависящая от жёсткости стенок деталей, δ_k – погрешность возникающая в результате колебания механических свойств материала деталей, δ_T – допуск на диаметральный размер инструмента, δ_u – приращение размера в результате размерного износа инструмента.

В развёрнутом виде зависимость 1 имеет вид:

$$\delta_{\Sigma} = \delta_{исх} (K_m + K_{\chi}) + \sqrt{\left(K_k (\delta'_{ocm} + \delta''_{oum}) \right)^2 + \left(K_m \frac{\Delta T l}{d} \right)^2 + (T)^2 + (3\delta_u)^2}, \quad (2)$$

где $\delta_{исх}$ – исходная точность отверстий, K_m – коэффициент, учитывающий влияние механических свойств материалов $K_m = 1 - C$, C – коэффициент определяющий долю остаточных деформаций в натяге дорнования при оптимальной жёсткости детали, K_{χ} – коэффициент, учитывающий жёсткость стенок $K_{\chi} = (C - C')$, C' – коэффициент опреде-

ляющий долю остаточных деформаций в натяге при жёсткости детали меньшей чем оптимальная, ΔT - биение базового торца детали, l – длина отверстия.

Первое слагаемое зависимости 2 представляет унаследованные погрешности с предыдущей операции, второе слагаемое (обозначим его δ_c) определяет долю собственных погрешностей в суммарной погрешности дорнования.

Количественную оценку влияния первичных погрешностей на точность дорнования производили для каждой погрешности рассчитывая суммарную погрешность (2) и коэффициент уточнения который определяли по формуле [2]

$$\varepsilon_p = \frac{\delta_\Sigma - \delta_c}{\delta_\Sigma (K_m + K_\chi)}, \quad (3)$$

Оценка влияния каждой первичной погрешности осуществлялась при отсутствии влияния других, или их постоянных значениях. Для исследований использовались втулки из стали 45 с диаметром отверстий $D = 25$ мм, длиной отверстий $l = 20$ мм и наружным диаметром $D_n = 45$ мм. Была получена зависимость остаточных деформаций от натягов при оптимальной жёсткости детали ($D_n/D = 2$), $\delta_{ост} = 0,6$ и $-0,004$.

Расчёт первичной погрешности δ_m проводился для отверстий с различной исходной точностью 25H7^{+0,021}, 25H8^{+0,033}, 25H9^{+0,052}, 25H10^{+0,084}. Допуск торцового биения базового торца $\Delta T = 0,03$ мм. Твёрдость материала втулок HB160 - 210.

В таблице 1 приведены результаты расчёта влияния исходной точности, через первичную погрешность δ_m , на суммарную погрешность дорнования.

Таблица 1. Расчёт влияния погрешности δ_m на точность дорнования в микрометрах

$\delta_{исх}$	Первичные погрешности		δ_n	Первичные погрешности				δ_c	δ_Σ	ε_p
	δ_m	δ_χ		δ_k	δ_y	δ_t	δ_u			
21	8	0	8	8	5	5	0	11	19	1,1
33	13	0	13	8	5	5	0	11	24	1,2
52	21	0	21	8	5	5	0	11	32	1,6
84	34	0	34	8	5	5	0	11	45	1,9

Как видно из табл. 1 с увеличением исходных погрешностей суммарные погрешности возрастают за счёт роста унаследованных погрешностей δ_m . При этом коэффициент уточнения с увеличением исходных погрешностей увеличивается, что говорит о малой эффективности традиционного дорнования отверстий с высокой исходной точностью (7 – 8 квалитеты).

Оценки влияния жёсткости деталей на суммарную погрешность оценивалась при относительной толщине стенок втулок χ равной 1,8; 1,6; 1,4; 1,2. Исходная точность отверстий $\varnothing 25H9^{+0,052}$. Результаты расчёта влияния жёсткости деталей на суммарную погрешность дорнования приведены в таблице 2.

Таблица 2. Расчёт влияния погрешности δ_χ на точность дорнования (в мкм)

χ	c'	K_χ	Первичные погрешности		δ_n	Первичные погрешности				δ_c	δ_Σ	ε_p
			δ_m	δ_χ		δ_k	δ_y	δ_t	δ_u			
1,8	0,60	0	21	0	21	8	5	5	0	11	32	1,6
1,6	0,56	0,04	21	2,0	23	8	5	5	0	11	34	1,5
1,4	0,51	0,09	21	5,0	26	8	5	5	0	11	37	1,4
1,2	0,46	0,14	21	7,0	28	8	5	5	0	11	39	1,3

Как видно из табл. 2 значение суммарной погрешности дорнования имеет минимальное значение при оптимальной жёсткости деталей. При уменьшении жёсткости суммарные погрешности увеличиваются, что соответственно приводит к уменьшению коэффициентов уточнения процесса дорнования.

Таким образом, из табл. 1 и 2 видно, что значительная доля суммарной погрешности наследуется с предыдущей операции.

Влияние погрешности установки детали при дорновании оценивалось при различных значениях торцового биения базового торца детали $\Delta T = 0,01 - 0,06$ мм. Исходная погрешность отверстий деталей принята $25H9^{+0,052}$. Остальные погрешности имели постоянные значения.

Таблица 3. Расчёт влияния погрешности δ_y на точность дорнования (в мкм)

ΔT	Первичные погрешности		δ_n	Первичные погрешности				δ_c	δ_Σ	ε_p
	δ_m	δ_χ		δ_k	δ_y	δ_t	δ_u			
0,01	21	0	21	8	2	5	0	10	31	1,7
0,03	21	0	21	8	5	5	0	11	32	1,6
0,06	21	0	21	8	10	5	0	14	35	1,5

Из таблицы 3 видно, что увеличение торцового биения базового торца в определённой степени увеличивает суммарную погрешность дорнования, что приводит к уменьшению коэффициентов уточнения.

Расчёты первичной погрешности δ_k проводились при колебании механических свойств материала деталей HB150-239, приведены в таблице 4. Исходная точность отверстий принята $25H9^{+0,052}$ биение базового торца $\Delta T = 0,03$ мм, жёсткость деталей $\chi=1,8$.

Таблица 4. Расчёт влияния погрешности δ_k на точность дорнования (в мкм)

Колебание HB	$\delta'_{ост}$	$\delta''_{ост}$	Первичные погрешности		δ_n	Первичные погрешности				δ_c	δ_Σ	ε_p
			δ_m	δ_χ		δ_k	δ_y	δ_t	δ_u			
0	0	0	21	0	21	0	5	5	0	7	28	1,9
170-210	4	10	21	0	21	9	5	5	0	12	33	1,6
150-239	6	14	21	0	21	13	5	5	0	16	37	1,4

Как видно из таблицы 4 существенное колебание механических свойств материала деталей приводит к значительному росту первичной погрешности δ_k , а соответственно и суммарной δ_Σ , что снижает коэффициент уточнения процесса дорнования.

Проводились и экспериментальные исследования для реальных условий проявления первичных погрешностей. Для исследований была принята выборка втулок (30 штук) с отверстием $\varnothing 25$ из стали 45, твёрдостью материала HB170 – 210, жёсткостью $\chi = 1,6$ и торцевым биением $\Delta T = 0,03$ мм.

Размах размеров отверстий втулок $\Delta D = 50$ мкм (-10...-60), что соответствует 9-му качеству точности.

В результате расчётов получили: $\delta_n = 22$ мкм, $\delta_c = 12$ мкм, $\delta_\Sigma = 34$ и $\varepsilon_p = 1,6$.

Измеренные размеры отверстий после растачивания и дорнования подвергались статистическим исследованиям и корреляционному анализу, по методике [3], для оценки точности дорнования и количественной роли первичных погрешностей в формировании точности отверстий.

Результаты статистических исследований и корреляционного анализа точности дорнования отверстий представлены в таблице 5.

Таблица 5. Статистические характеристики экспериментальных исследований

Наименование операции	Размах выборки мкм	S_i мкм	\bar{X}_i мм	$T_i = 6S$ мкм	ε_p	ε_g	Γ_{xy}	M %	N %
Растачивание	50	9,0	24,963	54	-	-	-	-	-
Дорнование	30	5,3	25,017	32	1,6	1,7	0,79	37,6	62,4

Из таблицы 5 видно, что традиционное дорнование не может обеспечить существенное повышение точности отверстий ($\varepsilon_d = 1,7$), что связано со значительным проявлением первичных погрешностей, особенно погрешностей наследуемых с предыдущей операции. Это подтверждается большим значением коэффициента $N = 62,4$ %, определяющего долю унаследованных погрешностей с предыдущей операции.

В работе [4] предложены мероприятия позволяющие снизить отрицательное влияние первичных погрешностей на точность дорнования отверстий.

Литература

1. Шадуро Р. Н. Расчётно-аналитический метод определения точности при дорновании / Р.Н. Шадуро, В.В. Ганюнов, П.А. Шацкий // Вестн. МГТУ. – Могилёв, 2006. - № 1. – С. 276 – 281.
2. Шадуро, Р.Н. Прогнозирование и обеспечение точности отверстий при дорновании / Р.Н. Шадуро, П.А. Шацкий // Сб. науч. трудов. – Брянск, 2006. - № 5. – С. 178 – 181.
3. Колкер Я.Д. Математический анализ точности механической обработки деталей / Я.Д. Колкер. – Киев; Техника, 1976. – 182 с.
4. Шадуро, Р.Н. Способы повышения точности дорнования отверстий / Р.Н. Шадуро, П.А. Шацкий // Вестн. МГТУ. – Могилёв, 2006. - № 1. – С. 282 – 286.

Панкратов Владимир Евгеньевич

Студент заочного факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: 24-40-71

Михеенко Сергей Николаевич

Студент заочного факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв

Шадуро Роман Николаевич

Доцент кафедры «Технология машиностроения», к.т.н.
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: 48-87-85