

М.М.Кане, канд. техн. наук (БПИ)

ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ОТВЕРСТИЙ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В ПРОЦЕССЕ
ИХ ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ И ДОРНОВАНИЯ

Дробеструйная обработка (ДО) и дорнование отверстий широко применяются при изготовлении цилиндрических зубчатых колес различных машин в условиях серийного и массового производства. Поскольку эти операции выполняются без снятия припуска, конечная точность отверстий указанных зубчатых колес определяется ее исходными значениями и изменением в процессе ДО и дорнования.

Изменения точности шлицевых отверстий зубчатых колес в процессе ДО и дорнования ранее практически не рассматривались. Нами исследовалось изменение на указанных операциях наружного диаметра шлицевых отверстий цилиндрических зубчатых колес различных конструкций, которые характерны для автотракторных трансмиссий. Исследованные зубчатые колеса имели следующие основные параметры: $m = 4-5$ мм, $z = 18-48$, наружный диаметр зубчатого венца $d_a = 106-199$ мм, ширина зубчатого венца $b = 25-31$ мм, ширина ступицы $L = 46-110$ мм, наружный диаметр шлицевого отверстия $D_a = 55-70$ мм. Зубчатые колеса были изготовлены из сталей 18ХГТ, 25ХГТ, 25ХГМ, зубчатый венец располагался несимметрично относительно ступицы.

Дробеструйная обработка производилась на механическом дробемете с круглым вращающимся столом с использованием стальной дробы диаметром 1 мм, подававшейся на деталь со скоростью 150 м/с.

Дорнование отверстий зубчатых колес производилось с помощью специальных прошивок (дорнов) на гидравлических прессах с усилием 100-200 кН.

До и после каждого из исследуемых видов обработки измерялся наружный диаметр шлицевого отверстия зубчатого колеса в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и в двух или трех сечениях вдоль оси отверстия в зависимости от его длины.

При изучении процессов изменения размеров деталей мы использовали аппарат корреляционно-регрессионного анализа по

методике, предложенной нами ранее для изучения изменения параметров точности зубчатых колес при шевинговании.

Одной из предпосылок успешного применения корреляционно-регрессионного анализа для построения модели процесса является нормальность распределения независимых и зависимых переменных, включаемых в эту модель. Для проверки соблюдения данной предпосылки мы сопоставляли эмпирические распределения размеров шлицевых отверстий зубчатых колес до и после каждого из рассмотренных видов обработки (ДО и дорнования) с нормальным с помощью критерия Колмогорова λ . Анализ показал, что указанные распределения с вероятностями $P(\lambda) = 0,3 - 1,0$ не противоречат нормальному, т. е. гипотезу о соответствии этих распределений нормальному можно считать верной.

Для предварительного анализа наличия и вида взаимосвязи между размерами отверстий зубчатых колес после каждого из рассмотренных видов обработки с их исходными значениями были построены эмпирические линии регрессии в координатах $x - y$, где x - значения размера отверстия до данной операции; y - то же после этой операции.

Анализ полученных линий регрессии позволил предположить, что взаимосвязи между исследуемыми факторами можно описать уравнениями двух видов:

- 1) полиномом первой степени

$$\bar{y} = a + b\bar{x}; \quad (1)$$

- 2) полиномом второй степени

$$\bar{y} = c + d\bar{x} + e\bar{x}^2, \quad (2)$$

где x, y - значения диаметра шлицевого отверстия зубчатого колеса до и после каждой из рассмотренных операций обработки; a, b, c, d, e - постоянные коэффициенты.

Для выбора формы связи, оценки ее тесноты и достоверности, а также установления некоторых закономерностей получаемых процессов на ЭВМ "Минск-22" по специально разработанным программам были рассчитаны для каждой партии деталей и каждого вида обработки (ДО и дорнования) коэффициенты уравнений (1) и (2) и ряд других параметров.

Основные результаты выполненных исследований приведены в табл. 1.

Выбор вида математической зависимости, в наилучшей степени описывающей изменение точности отверстий зубчатых колес на рассматриваемых операциях их обработки, производился с помощью характеристик адекватности модели: остаточной суммы квадратов S , средней относительной ошибки уравнения связи $\epsilon_{\text{ср}}$ в %, F - критерия Фишера. Если $F < F_{\text{таб}}$ (для рассмот-

Таблица 1

Результаты вероятностно-статистического анализа изменения точности обработки отверстий зубчатых колес

Вид обработки зубчатых колес	Характеристики изменения размеров наружного диаметра шлицевых отверстий цилиндрических зубчатых колес											
	$(\bar{x}-\bar{y})_{\min}$ - $(\bar{x}-\bar{y})_{\max}$, мкм	σ_x_{\min} - σ_x_{\max} , мкм	σ_y_{\min} - σ_y_{\max} , мкм	b_{\min} - b_{\max} ,	η_{Σ}	η_T	r_{xy}	$t_{r_{xy}}$	$\epsilon_{\text{ср}}$	F	A	B
Дробеструйная	(-6) - (+5)	13-28	13-26	0,36-0,97	0,725	0,718	0,710	24,7	1,85	0,42	51,55	48,45
Дорнование	(-10) - (+1)	13-26	15-24	0,53-0,79	0,64	0,620	0,60	10,2	2,16	0,49	53,9	46,1

- П р и м е ч а н и я: 1. Значения размера отверстия до соответствующей операции обозначены x , после нее - y .
 2. Величины η_{Σ} , η_T , r_{xy} , $t_{r_{xy}}$, $\epsilon_{\text{ср}}$, F, A, B представляют собой средние арифметические соответствующих показателей, рассчитанных для каждой из исследованных партий зубчатых колес.
 3. Значения $\epsilon_{\text{ср}}$ и F приведены для зависимостей, описываемых уравнением (1).

ренных условий $F_{\text{таб}} = 1,61$), то гипотеза адекватности принимается.

Как показали расчеты, уравнение (2) с несколько большей точностью, чем уравнение (1), описывает изучаемые процессы, однако улучшение характеристик адекватности модели F , $\epsilon_{\text{ср}}$, S составляет при этом не более 3-5% при одновременном значительном усложнении расчетов. Поэтому для описания механизма технологической наследственности в рассматриваемых процессах может быть принято уравнение (1), обеспечивающее достаточно высокую точность ($\epsilon_{\text{ср}} = 1,85-2,16\%$) их моделирования. Линейный характер рассмотренных зависимостей подтверждается также несущественностью различий между $\eta_{\text{э}}$, $\eta_{\text{т}}$ и $r_{\text{ху}}$, установленной с помощью критерия Романовского ξ для всех партий зубчатых колес и рассмотренных операций их обработки (здесь $\eta_{\text{э}}$ - эмпирическое корреляционное отношение, $\eta_{\text{т}}$ - теоретическое корреляционное отношение, рассчитанное для зависимости (2), $r_{\text{ху}}$ - коэффициент корреляции).

Расчеты показали, что между значениями размеров отверстий зубчатых колес до и после исследованных операций существует тесная взаимосвязь ($r_{\text{ху}} = 0,60-0,71$). При этом примерно равные части их общей дисперсии после исследованных операций переносятся с соответствующей предыдущей операции ($B = 46,1-48,45\%$) и образуются на данной операции ($A = 51,55-53,9\%$). Это свидетельствует о больших резервах повышения точности обработки отверстий зубчатых колес после ДО и дорнования за счет оптимизации их исходных значений.

Ниже приводятся основные результаты данного исследования.

1. Доказана возможность математического моделирования, а следовательно, и целенаправленного управления процессом изменения размеров шлицевых отверстий цилиндрических зубчатых колес различных конструкций, характерных для автотракторных трансмиссий, при их ДО и дорновании.

2. Процесс ДО вызывает как усадку, так и увеличение диаметра отверстий зубчатых колес в небольших пределах (± 6 мкм), процесс дорнования в основном - увеличение диаметра отверстия в пределах 10 мкм.

3. Установлен ряд объективных количественных характеристик процессов изменения точности шлицевых отверстий цилиндрических зубчатых колес на рассмотренных операциях их обработки, что может быть использовано для повышения их эффективности.