

П.И. Ящерицын, акад.,
А.Ф. Горбачевич, канд.техн.наук,
Чан Ван Ди к

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Достижение требуемого качества зубчатых колес обеспечивается не только выбором эффективного метода отделки, но и общим построением технологического процесса. Одним из путей достижения наибольшей точности зубчатых колес является совмещение технологических баз с конструктивными посадочными поверхностями на большинстве операций. Однако вследствие специфичности обработки цилиндрических зубчатых колес, особенно закаленных, полное совмещение технологических баз на всех операциях практически не выполнимо.

Перемена технологических баз оказывает большое влияние на точность обработки зубчатых колес. Однако до настоящего времени этот вопрос остается малоизученным как в теоретическом, так и в экспериментальном плане. Поэтому цель настоящей работы заключается в том, чтобы разработать методику определения погрешностей обработки цилиндрических зубчатых колес, вызываемых переменной технологических баз. На практике при изготовлении насадных цилиндрических колес технологическими базами служат посадочное отверстие и торец зубчатого венца, обработанный совместно с опорным торцом ступицы. Это обеспечивает правильное ориентирование зубчатого венца относительно оси отверстия. На рис. 1 показаны основные операции обработки зубчатых колес (черновое точение наружного контура, хонингование отверстия, чистовое точение наружного контура, зубофрезерование и зубошевингование). Как видно, базы (отверстие и торец) изменяются по ходу технологического процесса.

Для определения погрешности, вызываемой переменной баз по технологическому процессу, необходимо определить смещение возможных крайних положений в базовой плоскости. Численно смещение положения заготовки на данной операции по отношению к предыдущей оценивается различными углами поворота от

погрешности базовых поверхностей (рис. 1). Операцию чернового точения наружного контура принимаем за первоначальную (рис. 1,а), так как на данной операции зубчатое колесо обрабатывается на предварительно обработанной базе. На операции хонингования отверстия (рис. 1,б) вследствие биения базового торца зубчатое колесо отклоняется на угол, определяющийся следующим образом

$$\lambda = \arctg \frac{\Delta}{D}, \quad (1)$$

где Δ — биение базового торца после черновой обработки; D — диаметр, на котором производится измерение биения.

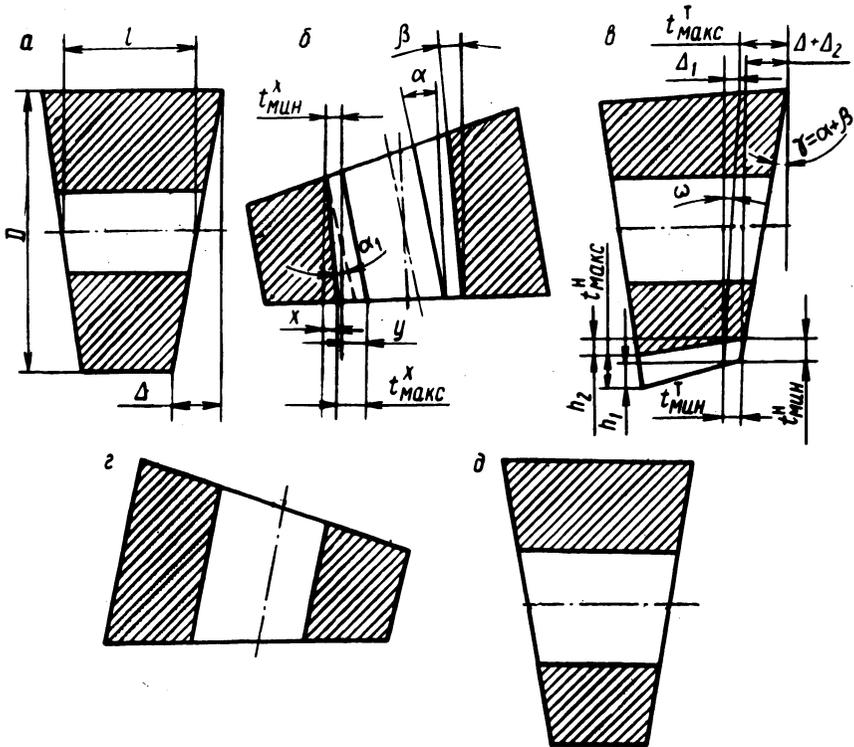


Рис. 1. Перемена баз при обработке зубчатых колес.

В результате хонингования происходит некоторый поворот положения поверхности посадочного отверстия по отношению к исходному. Величина погрешности расположения отверстия при этом

$$K = y - x, \quad (2)$$

но $y = \text{tg} \alpha = 1 \frac{\Delta}{D}$ и $x = \text{tg} \beta = 1(\alpha - \alpha_1) = \text{tg}(\arctg \frac{\Delta}{D} -$

$$- \arctg \frac{t_{\text{макс}}^x - t_{\text{мин}}^x}{1}).$$

Подставив значения x, y в (2) после преобразования, получим

$$K = \frac{(t_{\text{макс}}^x - t_{\text{мин}}^x) (\frac{\Delta^2}{D^2} + 1)}{1 + \frac{\Delta}{D} (t_{\text{макс}}^x - t_{\text{мин}}^x)}, \quad (3)$$

где $t_{\text{макс}}^x, t_{\text{мин}}^x$ - максимальная и минимальная глубины резания при хонинговании.

После хонингования зубчатое колесо переходит на операцию чистового точения наружного контура. При установке на оправке токарного станка угол, образующийся между поверхностью торца и нормалью к оси оправки становится больше $\gamma = \alpha + \beta$ (рис. 1, в). В этом случае погрешность обработки базового торца определяется формулой

$$\Delta_1 = \Delta + t_{\text{мин}}^T - t_{\text{макс}}^T + \Delta_2, \quad (4)$$

где $\Delta_2 = D \text{tg} \beta$ - дополнительная погрешность обработки, вызываемая отклонением посаточного отверстия после хонингования. Таким образом,

$$\Delta_1 = \Delta + t_{\text{мин}}^T - t_{\text{макс}}^T + \frac{\Delta l - D(t_{\text{макс}}^x - t_{\text{мин}}^x)}{1 + \frac{\Delta}{D} (t_{\text{макс}}^x - t_{\text{мин}}^x)}. \quad (5)$$

Угол ω (рис. 1, в) определяется следующим образом:

$$\omega = \arctg \frac{\Delta_1}{D},$$

или

$$\omega = \arctg (D \text{tg} \alpha + t_{\text{мин}}^T - t_{\text{макс}}^T + D \text{tg} \beta), \quad (6)$$

где $t_{\text{макс}}^T, t_{\text{мин}}^T$ - максимальная и минимальная глубины резания при точении торца. Из рис. 1, в также видно, что наруж-

ная поверхность детали не параллельна ее оси. Погрешность обработки h_2 при этом

$$h_2 = h_1 + t_{\text{мин}}^{\text{н}} - t_{\text{макс}}^{\text{н}}, \quad (7)$$

но $h_1 = l \operatorname{tg} \beta$. Подставив h_1 в (7), после преобразования получим

$$h_2 = t_{\text{мин}}^{\text{н}} - t_{\text{макс}}^{\text{н}} + \frac{\frac{\Delta l}{D} - (t_{\text{макс}}^{\text{x}} - t_{\text{мин}}^{\text{x}})}{1 + \frac{\Delta}{Dl} (t_{\text{макс}}^{\text{x}} - t_{\text{мин}}^{\text{x}})}, \quad (8)$$

где $t_{\text{макс}}^{\text{н}}$, $t_{\text{мин}}^{\text{н}}$ - максимальная и минимальная глубины резания при чистовом точении наружного диаметра.

При установке на зубофрезерном станке с зазором между посадочным отверстием и оправкой (рис. 1, г) зубчатое колесо отклоняется на угол ω (формула (6)). Величина колебания межцентрового расстояния за оборот

$$F_{\text{ir}}'' = \frac{\Delta_1^2}{2D} + l \sin \omega - \Delta_1 \sin \omega + d_{\text{k}} - d_{\text{o}}, \quad (9)$$

где d_{k} , d_{o} - диаметры отверстия колеса и оправки.

При установке на жесткой оправке для зубошевингования (рис. 1, д) зубчатое колесо смещается на величину $\frac{d_{\text{k}} - d_{\text{o}}}{2}$. Поэтому величина уменьшения бокового зазора

$$T_{\text{nr}} = 2 \operatorname{tg} 20^\circ \frac{d_{\text{k}} - d_{\text{o}}}{2}. \quad (10)$$

Так как после зубофрезерования различные зубья имеют неодинаковые высоты и толщины, то при шевинговании шевр будет снимать неодинаковые глубины, а именно $t_{\text{макс}}^{\text{ш}}$ и $t_{\text{мин}}^{\text{ш}}$. Это приводит к уменьшению колебания межцентрового расстояния за оборот. Тогда F_{ir}'' при зубошевинговании будет

$$F_{\text{ir}}'' = \frac{\Delta_1^2}{2D} + (1 - \Delta_1) \sin \arctg \frac{\Delta_1}{D} + d_{\text{k}} - d_{\text{o}} - \frac{t_{\text{макс}}^{\text{ш}} - t_{\text{мин}}^{\text{ш}}}{\operatorname{tg} 20^\circ}. \quad (11)$$

Далее производился расчет по полученным уравнениям некоторых точностных параметров. Результаты расчета и экспериментальные данные представлены в табл. 1. Погрешности для токарных операций в среднем увеличились на 15...20%, для зубофрезерования на 12...17, а для зубошевингования на 10...12%. Причи-

Т а б л. 1. Результаты расчета и экспериментальные данные

Операция	Показатель точности	Номер детали		
		240-1005033	240-1006214	240-1006244
Черновое точение	$\Delta^{\text{э}}$	0,229	0,356	0,390
Хонингование	$K^{\text{р}}$	0,0282	0,0291	0,0293
Чистовое точение	$\Delta^{\text{р}}_1$	0,073	0,082	0,085
	$\Delta^{\text{э}}_1$	0,084	0,097	0,1008
Зубофрезерование	$F_{i\Gamma}^{\text{р}} \parallel$	0,074	0,086	0,095
	$F_{i\Gamma}^{\text{э}} \parallel$	0,083	0,092	0,121
Зубошевингование	$T^{\text{р}}_{\text{н}\Gamma}$	0,0054	0,0058	0,0060
	$F_{i\Gamma}^{\text{р}} \parallel$	0,047	0,049	0,061
	$F_{i\Gamma}^{\text{э}} \parallel$	0,052	0,054	0,065
	$i\Gamma$			

П р и м е ч а н и е. Условные обозначения: $\Delta^{\text{р}}$, $F_{i\Gamma}^{\text{р}} \parallel$ и т.д. — расчетные данные;

$\Delta^{\text{э}}$, $F_{i\Gamma}^{\text{э}} \parallel$ и т.д. — экспериментальные данные.

на здесь в том, что экспериментальные данные являются суммарной погрешностью, а в формулах не учитывается ряд факторов, вызывающих погрешности в процессе обработки. Это, разумеется, отражается на общей величине суммарной погрешности.

Таким образом, получены зависимости погрешности зубчатых колес от перемены баз. Анализ приведенных уравнений показал, что расчетные данные отличаются от экспериментальных данных в среднем для токарных операций на 15...20%, для зубофрезерования на 12...17 и для зубошевингования на 10 ... 12%.