

ТОЧНОСТЬ ОТВЕРСТИЙ И ТОРЦОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Исследовалась точность размеров и формы отверстий цилиндрических зубчатых колес после операций сверления или зенкерования и одно- или двухкратного протягивания, а также биение торцов венцов и их непараллельность после черновой и чистовой подрезки. Черновая подрезка торцов выполнялась на многошпиндельных полуавтоматах вертикального или горизонтального типов, чистовая — на одношпиндельных токарно-многорезцовых полуавтоматах горизонтального типа. Анализировалась обработка зубчатых колес восьми типоразмеров с параметрами $m = 3...5$ мм, $D_e = 100...220$ мм, $D_{отв} = 40...60$ мм. Для исследования каждого типоразмера отбирались две-три партии деталей по 50...60 шт. в каждой. Отверстия в зубчатых колесах имели шлицевую форму с центрированием по наружному или внутреннему диаметру. Измерения выполнялись для центрирующей поверхности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и в двух сечениях по длине отверстия на расстоянии 5...7 мм от торцов ступицы. Отверстия проверялись нутромерами с различными индикаторными головками так, чтобы погрешность измерения не превышала 0,2 допуска на контролируемый параметр. Измерение биения торцов выполнялось на оправках с малой конусностью (1:100) при трех установках детали на оправку. В качестве характеристики биения E_T данного торца принималось

| Показатель взаимосвязи | $D_{ср.зен} = f(D_{ср.заг})$ | $D_{ср.свер} = f(D_{ср.заг})$ | $D_{ср.прот} = f(D_{ср.свер}) = f(D_{ср.зен})$ | $D_{ср.чист.прот} = f(D_{ср.чер.прот})$ | $O_{в свер} = f(O_{в заг})$ |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|---|-----------------------------|
| \bar{x}/\bar{y} | 0,96...0,92 | 0,88...0,96 | 0,86...0,98 | 0,98...0,99 | 1,7...1,9 |
| r_{xy} | 0,49...0,74 | 0,49...0,81 | 0,36...0,63 | 0,33...0,55 | 0,28...0,59 |
| t_r | 4,8...11,9 | 4,8...10,4 | 4,7...9,5 | 4,5...7,3 | 2,9...6,5 |
| b | 0,22...0,39 | 0,22...0,53 | 0,18...0,3 | 0,12...0,35 | 0,16...0,42 |
| t_b | 5...7,9 | 5...6,3 | 4...6,1 | 3,5...5,4 | 2,8...4,1 |
| $\epsilon_{ср}$ | 0,1...0,25 | 0,21...0,27 | 0,42...1,3 | 0,45...2,3 | 0,31...3,7 |
| F | 0,43...0,76 | 0,4...0,85 | 0,68...0,86 | 0,75...0,9 | 0,76...1 |
| A | 44,2...62,3 | 46,3...73,4 | 51,3...73,5 | 52,6...76,8 | 64,3...88,5 |
| B | 55,8...37,7 | 53,7...26,6 | 48,7...26,5 | 47,5...23,2 | 35,7...11,5 |

среднее арифметическое измеренных значений, непараллельности торцов E_l – среднее арифметическое разностей значений E_T .

Обработка полученных результатов производилась с помощью ЭВМ. В табл. 1 и 2 приведены предельные изменения точности отверстий и торцов цилиндрических зубчатых колес до и после различных операций их обработки. Приняты следующие обозначения: D_{cp} , $Oв$, $Кон$ – средний диаметр, овальность и конусность отверстия; заг – заготовка; зен – зенкерование; свер – сверление; прот, чер. прот, чист. прот – однократное, черновое и чистовое протягивание; \bar{x} , \bar{y} – средние значения измеряемого параметра точности до и после данной операции; r_{xy} – коэффициент парной корреляции; b – коэффициент в уравнении регрессии $\bar{y} = b\bar{x} + a$, характеризует долю \bar{x} , перенесенную на \bar{y} ; t_r , t_b – критерии Стьюдента достоверности значений r_{xy} и b , при $t \geq \geq 2,6$ достоверность оцениваемых значений гарантируется с вероятностью $P \geq \geq \Phi(t) \geq 0,990$; ϵ_{cp} – средняя относительная ошибка уравнения связи y с x (в процентах), F – критерий Фишера адекватности уравнения регрессии (если $F \leq F_{1-a; m_1; m_2}$, то с вероятностью $1 - a$ можно считать, что уравнение регрессии адекватно описывает изучаемый процесс), при $a = 0,05, n = 50, k = = 1$ ($m_1 = 50, m_2 = 48$, где m_1 и m_2 – числа степеней свободы) $F_{0,95; 50; 48} = = 1,61$; A и B – доли дисперсии σ_y^2 (в процентах), причем A характеризует ее часть, возникшую на данной операции, а B – унаследованную от предыдущей.

Анализ приведенных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Точность размеров отверстий цилиндрических зубчатых колес после каждой из рассмотренных операций (сверления, зенкерования, чернового и чистового протягивания) достаточно тесно связана с соответствующими исход-

Т а б л и ц а 1

| $Oв_{зен} =$ $= f(Oв_{заг})$ | $Oв_{прот} = "$ $= f(Oв_{свер}) =$ $= f(Oв_{зен})$ | $Oв_{чист.прот} =$ $= f(Oв_{чер.прот})$ | $Кон_{прот} =$ $= f(Кон_{зен})$ | $Кон_{чист.прот} =$ $= f(Кон_{чер.прот})$ |
|---------------------------------|--|--|------------------------------------|--|
| 1,9...2,2 | 3,5...8,6 | 1,1...2,1 | 3,6...5,5 | 1,1...1,9 |
| 0,24...0,61 | 0,18...0,32 | 0,16...0,25 | 0,16...0,33 | 0,12...0,24 |
| 2,7...6,7 | 1,3...2,6 | 1,2...1,9 | 1,2...2,7 | 0,9...1,7 |
| 0,18...0,32 | 0,03...0,12 | 0,1...0,18 | 0,05...0,14 | 0,05...0,19 |
| 2,9...3,8 | 1,1...2,1 | 1,2...2,3 | 0,9...2,1 | 0,9...2,2 |
| 2,57...7,16 | 10,9...34,6 | 12,1...25,9 | 18,5...45,4 | 17,2...38,9 |
| 0,83...0,97 | 0,96...1,02 | 0,96...0,99 | 0,89...1,09 | 0,9...1,02 |
| 65,2...90,3 | 68,3...91,5 | 87,2...95,9 | 71,4...83,3 | 80,6...95,3 |
| 34,8...9,7 | 31,7...8,5 | 12,8...4,1 | 28,6...16,7 | 19,4...4,7 |

| Показатель взаимосвязи | $E_{\text{т.чист.точ}} = f(E_{\text{т.чер.точ}})$ | $E_{\text{л.чист.точ}} = f(E_{\text{л.чер.точ}})$ |
|---------------------------|---|---|
| \bar{x}/\bar{y} | 1,9 ... 6,7 | 1,5 ... 3,7 |
| r_{xy} | 0,35 ... 0,89 | 0,25 ... 0,68 |
| t_r | 2,9 ... 29,4 | 2,1 ... 5,3 |
| b | 0,27 ... 0,82 | 0,15 ... 0,47 |
| t_b | 2,7 ... 13,6 | 2 ... 4,8 |
| $\epsilon_{\text{ср}}$ | 3,9 ... 12,3 | 4,5 ... 15,7 |
| F | 0,19 ... 0,62 | 0,71 ... 0,91 |
| A | 21,3 ... 52,7 | 37,2 ... 74,4 |
| B | 47,3 ... 78,7 | 25,6 ... 62,8 |

ными значениями ($r_{xy} = 0,33...0,81$; $B = 23,2...55,8$ %), причем эта зависимость носит линейный характер ($\epsilon_{\text{ср}} = 0,1...2,3$ %, $F = 0,4...0,9$). Поэтому уменьшение разброса значений размеров отверстий после указанных операций может быть достигнуто как за счет совершенствования самих операций ($A = 44,2...76,8$ %), так и за счет обеспечения рациональных допусков на размер отверстия на предшествующих операциях.

2. Погрешности формы отверстий существенно зависят от исходных значений при черновых операциях сверления и зенкерования ($r_{xy} = 0,24...0,61$, $B = 9,7...35,7$ %) и мало зависят от них при чистовых операциях чернового и чистового протягивания ($r_{xy} = 0,16...0,32$, $B = 4,1...31,7$ %). Причем для черновых операций полином первой степени описывает зависимость между погрешностями формы отверстий и исходными значениями ($\epsilon_{\text{ср}} = 0,31...7,16$ %, $F = 0,76...1$). Точность формы отверстий после операций сверления и зенкерования тесно связана с точностью формы отверстия в заготовке. Точность формы отверстий после протягивания определяется в основном самой операцией протягивания ($A = 68,3...95,9$ %).

3. Биение и непараллельность торцов венцов цилиндрических зубчатых колес после чистового точения тесно связаны с исходными значениями этих параметров ($r_{xy} = 0,25...0,89$, $B = 25,6...78,9$ %). Зависимость имеет линейный характер ($\epsilon_{\text{ср}} = 3,9...15,7$ %, $F = 0,19...0,91$). Для повышения точности указанных параметров наряду с совершенствованием операции чистовой подрезки торцов ($A = 21,3...74,4$ %) необходимо обеспечить рациональные значения этих параметров после черновой подрезки торцов.