

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ БАЗ ЗАГОТОВОК ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС НА ХАРАКТЕР ИХ УСТАНОВКИ ПРИ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИИ

Зубофрезерование насадных цилиндрических зубчатых колес выполняется в настоящее время, как правило, на станках с вертикальной осью при установке заготовок на плоскость и неразжимную оправку. Зажим детали осуществляется по торцу венца или ступицы, противоположному базовому, с применением гидравлических, пневматических или винтовых приспособлений. Погрешности обработки баз заготовки (отверстия и торца) могут привести к ее перекосу при установке (рис. 1,а). Силы зажима, пытаясь прижать заготовку к базовым поверхностям приспособления, создают крутящий момент, действующий в определенных условиях на центрирующую оправку

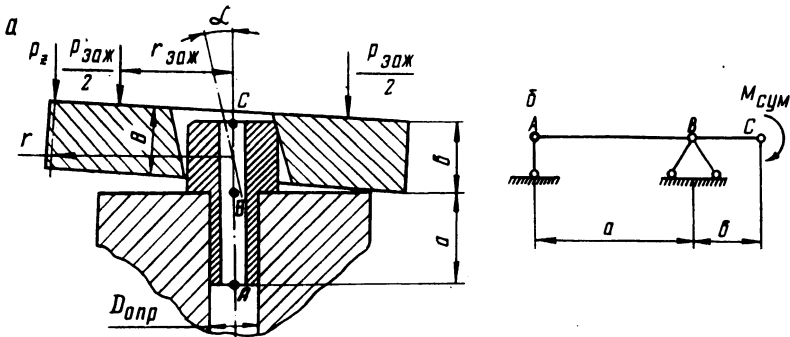


Рис. 1. Схема установки цилиндрического зубчатого колеса при зубофрезеровании:

а – общий вид; б – схема действия сил.

$$M_{зж} = \frac{P_{зж}}{2} r_{зж} \quad (1)$$

где $P_{зж}$ – зажимное усилие; $r_{зж}$ – расстояние от точки приложения $P_{зж}$ до оси вращения оправки.

В этом же направлении обычно действует момент от силы резания, приложенной по длительному радиусу r_d колеса,

$$M_{рез} = P_z r_d \quad (2)$$

Поэтому суммарный крутящий момент, стремящийся прижать заготовку к опоре, а иногда и деформировать оправку, составит

$$M_{\text{сум}} = M_{\text{заж}} + M_{\text{рез}} \quad (3)$$

При расчете деформаций оправку можно рассматривать либо как консольно защемленную балку, либо как двухопорную консольную балку. Поскольку нас интересуют максимально возможные деформации оправки и учитывая, что $a = (2...3) D_{\text{опр}}$ (см. рис. 1, а и 1, б), примем в качестве расчетной схему двухопорной консольной балки с расположением опор в точках А и В.

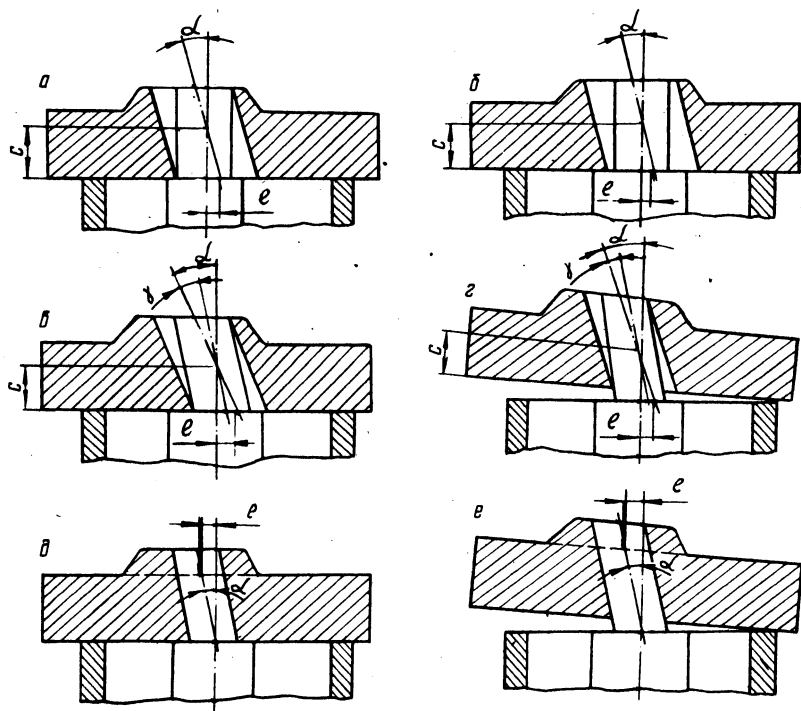


Рис. 2. Возможные варианты взаимного положения детали и установочных элементов приспособления при зубофрезеровании.

При установке заготовки насадного цилиндрического зубчатого колеса на зубофрезерном станке возможны разные варианты ее положения (рис. 2). Рассмотрим условия установки детали по каждому из этих вариантов.

Варианты "а" и "б". Деталь, не деформируя оправку, свободно садится на базовую плоскость приспособления. При этом зазор

ΔD_0 в сопряжении оправка-зубчатое колесо выбирается полностью ("а") или частично ("б"). Условием установки детали по этим вариантам является

$$D_{\text{опр max}} \leq D_{\text{отв min}} - h. \quad (4)$$

Так как

$$h = b \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{b E_T}{d_a}, \quad (5)$$

то

$$D_{\text{опр max}} \leq D_{\text{отв min}} - \frac{b E_T}{d_a}. \quad (6)$$

Здесь $D_{\text{опр max}}$ — максимальный размер посадочного диаметра оправки; $D_{\text{отв min}}$ — минимальный размер отверстия заготовки; h — отклонение оси или образующей посадочного отверстия заготовки от положения, перпендикулярного базовому торцу заготовки на длине этого отверстия; b — высота посадочной поверхности оправки или длина посадочного отверстия заготовки; E_T — биение базового торца заготовки на ее наружном диаметре d_a .э

Варианты "в" и "г". Величины зазора ΔD_0 недостаточно для компенсации E_T и оправка под действием сил зажима и резания изгибается. При этом деталь либо плотно соприкасается с опорными поверхностями приспособления ("в"), либо касается их в данной точке или на некоторой дуге окружности ("г").

Условиями установки детали по варианту "в" являются:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{отв min}} &> D_{\text{опр max}} ; \\ \frac{y_{\text{изг}}}{b} &\geq \frac{E_T}{d_a} - \frac{\Delta D_0}{b} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Условиями установки по варианту "г" являются:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{отв min}} &> D_{\text{опр max}} ; \\ \frac{y_{\text{изг}}}{b} &< \frac{E_T}{d_a} - \frac{\Delta D_0}{b} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Здесь $y_{\text{изг}}$ — деформация верхнего торца оправки в точке С (рис. 1,б) под действием изгибающего момента $M_{\text{сум}}$

$$y_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{сум}}(2ab + 3b^2)}{bEI}, \quad (9)$$

где I — осевой момент инерции сечения B (рис. 1,б): E — модуль упругости.

Обозначения остальных членов этого уравнения приведены выше, либо видны из рис. 1.

Варианты "д" и "е". Посадка заготовки на оправку происходит без зазора. Это возможно в частности при напрессовке заготовки на станках с автоматической загрузкой. В этом случае под действием $M_{\text{сум}}$ оправка изгибается, в результате чего заготовка либо плотно прилегает к опорным поверхностям приспособления ("д"), либо соприкасается с ними в точке или по дуге окружности ("е").

Условиями установки заготовки по варианту "д" являются:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{отв max}} &\leq D_{\text{опр min}}; \\ \frac{y_{\text{изг}}}{b} &\geq \frac{E_T}{d_a} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Условиями установки заготовки по варианту "е" являются:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{отв max}} &\leq D_{\text{опр min}}; \\ \frac{y_{\text{изг}}}{b} &< \frac{E_T}{d_a} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

В зависимостях (10) и (11) $y_{\text{изг}}$ определяется по формуле (9).

Расчеты показывают, что для зубчатых колес, характерных для общего машиностроения по размерам и точности изготовления и имеющих $d_a = 100 \dots 200$ мм, $D_{\text{отв}} = 30 \dots 80$ мм, $B = L_{\text{отв}} = 20 \dots 80$ мм, $E_T = 0,05 \dots 0,12$ мм; для изгиба оправки до полного соприкосновения заготовки с опорой при отсутствии ΔD_0 необходим $M_{\text{сум}} = 0,5 \dots 600$ Н·м, а при наличии $\Delta D_0 = 0,04 \dots 0,09$ мм — $M_{\text{сум}} = 0 \dots 5900$ Н·м. Поскольку в современных зубофрезерных станках $P_{\text{заж}} = 20000 \dots 60000$ Н, $P_z = 2000 \dots 10000$ Н (при обработке зубчатых колес указанных размеров, изготовленных из среднеуглеродистых и низколегированных сталей типа 45, 40X, 18ХГТ, 25ХГТ, 20ХНЗА), то для приведенных размеров зубчатых колес $M_{\text{заж}} = 700 \dots 6000$ Н·м, $M_{\text{рез}} = 200 \dots 2000$ Н·м, $M_{\text{сум}} = 900 \dots 8000$ Н·м. Следовательно, зубчатые колеса, имеющие указанные размеры и погрешности баз, под действием $M_{\text{заж}}$ и $M_{\text{сум}}$ могут занимать любое из положений, показанных на рис. 2.

При анализе полученных зависимостей и приведенных вариантов установки заготовок было установлено, что влияния погрешностей баз заготовок на характер их установки на зубофрезерный станок взаимосвязаны. Эти погрешности могут либо частично компенсировать, либо усугублять действие друг друга на точность зубообработки. Так, в вариантах "а", "б" наличие E_T уменьшает величину эксцентриситета e , вызываемую зазором ΔD_0 между оправкой и отверстием заготовки. В вариантах "г" и "е" угол α между осью детали и осью вращения, вызванный E_T , уменьшается ввиду малой величины ΔD_0 и высокой жесткости оправки. В вариантах "д" и "е" даже при отсутствии ΔD_0 возникает эксцентриситет e , изменяющийся по высоте зуба вследствие перекоса оправки, вызванного E_T . Поэтому при оценке влияния погрешностей баз на точность различных параметров зубчатого венца при зубофрезеровании необходимо учитывать их совместное действие, хотя в ряде работ [1] и др. рекомендуется учитывать влияние E_T лишь на показатели контакта зубьев, а ΔD_0 — на показатели кинематической точности зубьев.

Установка детали по каждому из вариантов, а также положение ее при установке по вариантам "б", "г" и "е" носит случайный характер, так как зависит от большого числа независимых факторов, изменение многих из которых также носит случайный характер (геометрические размеры колеса и их соотношения, величины погрешностей баз заготовок, размеры и жесткость установочной оправки, величины сил резания и зажима, первоначальная ориентация деталей при их установке и другие). Поэтому наиболее точное описание характера влияния погрешностей баз заготовок на точность зубчатого венца при зубофрезеровании в данных условиях возможно лишь экспериментальным путем с помощью статистических методов [2].

Полученные зависимости позволяют на стадии разработки технологического процесса обработки цилиндрических зубчатых колес оценить характер их установки при зубофрезеровании и ориентировочно оценить интервалы изменения α и C (см.рис. 2), которые во многом определяют степень влияния погрешностей баз на точность зубообработки. В частности, от значений α и C зависит величина эксцентриситета между геометрической осью и осью вращения обрабатываемой детали

$$e = ctg \alpha. \quad (12)$$

Оценка значений α и C позволяет в конечном счете определить точность различных параметров зубчатого венца после зубофрезе-

рования в зависимости от погрешностей баз заготовок. Это в свою очередь открывает возможность для регламентации требований к точности баз заготовок в зависимости от требований к точности зубчатого венца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шрайбман С.М. Обоснование и достижение необходимой точности базовых поверхностей зубчатого колеса: Дис. на соиск. уч. ст. канд.техн.наук. — М., 1965. 2. Кане М.М., Алешкевич И.Л., Яковлев Г.М. Вероятностно-статистический анализ влияния базовых поверхностей заготовок цилиндрических зубчатых колес на точность зубообработки. — Вестник машиностроения. 1974, № 10.

УДК 620.193.16

А.С.ШАМШУР, М.А.ЧЕБЛУКОВ, М.М.ПЕТРОСЯН

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ

К основным параметрам, влияющим на интенсивность кавитационной эрозии (ИКЭ), относятся: амплитуда колебаний торца концентратора — A ; рабочий зазор между образцом и торцом концентратора — Δh ; температура рабочей жидкости — $t^{\circ}\text{C}$; статическое давление в камере — P .

Исследования проводились на установке с магнитострикционным преобразователем ПМС-15А, питаемым от ультразвукового генератора УЗГ-2-10. Для проведения эксперимента был рассчитан концентратор с коэффициентом усиления амплитуды смещения $M_p = 4,7$ для резонансной частоты 20 кГц.

Амплитуда колебаний измерялась индикатором часового типа с ценой деления $s = 0,001$ мм. Для торца магнитострикционного преобразователя она составила 1,5 мкм, для торца концентратора — $7 \cdot 10^{-6}$ м. Резонансная частота колебаний торца концентратора отстраивалась по визуальному наблюдению на двухлучевом осциллографе С1-7. Максимальная амплитуда колебаний торца концентратора $A = 7 \cdot 10^{-6}$ м была достигнута при токе подмагничивания 18А и напряжении выхода 460 В. Все опыты проводились с образцами из сплава АК-6. Поверхность, подвергаемая кавитационному воздействию, полировалась до $R_a = 0,08$ мкм.

Зависимость потери массы образца от амплитуды торца концентратора показана на рис. 1. Испытания проводились в водопроводной воде при $t = 20^{\circ}\text{C}$. Анализируя полученные результаты,