

лу. Поверхность должна быть гладкой без пор и складок. Время до полного отверждения составов — 5...6 часов.

Таким же образом можно ремонтировать и несквозные дефекты.

Апробация представленной технологии на реальных объектах позволила сделать следующие выводы:

1. При ремонте резервуаров для хранения нефти сквозные дефекты с диаметром до 6 мм устраняются без усиления дополнительными накладками. От 6 мм до 10 мм — применяется накладка из металлической сетки или стеклоткани. От 10 мм до 15 мм — накладка из стального листа.

2. При ремонте трубопроводов низкого давления (до 0,25 МПа), устранение дефектов с диаметром до 6 мм проходит без усиления накладками. От 6 мм до 10 мм — рекомендуется применение накладок из стального листа, а от 10 мм до 15 мм — накладка из стального листа, усиленная закладной деталью.

3. При ремонте трубопроводов среднего давления (до 0,6 МПа), устранение дефектов с диаметром до 3 мм проходит с усилением накладками из металлической сетки, стеклоткани или стального листа. От 3 мм до 10 мм — рекомендуется применение накладок из стального листа, усиленных закладной деталью. От 10 мм — к адгезивному ремонту не допускаются.

4. При ремонте трубопроводов высокого давления (до 1 МПа), устранение дефектов с диаметром до 3 мм проходит с усилением накладками из металлической сетки, стеклоткани или стального листа. От 3 мм до 6 мм — рекомендуется применение накладок из стального листа, усиленных закладной деталью. От 6 мм — к адгезивному ремонту не допускаются.

Применение прогрессивных адгезивных ремонтно-восстановительных технологий значительно расширяют возможность таких работ и снижают их себестоимость.

УДК 621.833

М.М.Кане

## АНАЛИЗ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ПРИ ЕГО ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИИ

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

Зубофрезерование цилиндрических шестерен червячными фрезами является в настоящее время и останется в обозримом будущем наиболее распространенным способом формообразования зубьев. Причем этот процесс в значительной степени опре-

деляет точность готовых колес, т. к. последующие процессы отделки и упрочнения колес (за исключением зубошлифования, которое очень трудоемко и мало распространено) изменяют достигнутую при зубофрезеровании точность в сравнительно небольших пределах и в основном пропорционально исходному уровню, полученному при зубофрезеровании.

Среди технологических факторов, влияющих на точность цилиндрических зубчатых колес при зубофрезеровании, к числу наиболее важных относится точность базовых поверхностей колеса – посадочного отверстия и опорного торца венца. Доля погрешностей этих поверхностей в погрешности некоторых показателей точности зубьев достигает при зубофрезеровании 80% [1]. Однако роль базовых поверхностей цилиндрических зубчатых колес, характер установки колес, взаимосвязи базовых поверхностей колес при зубофрезеровании изучены недостаточно. В наиболее известных работах [2, 3] рекомендуется требования к точности отдельных базовых поверхностей колес (отверстия и торца) назначать самостоятельно, исходя из влияния каждой из этих поверхностей на различные показатели точности зубьев. Более подробный анализ установки заготовок цилиндрических зубчатых колес при зубофрезеровании, приведенный ниже, показывает, что такой подход к выбору требований к точности базовых поверхностей зубчатых колес нуждается в существенном изменении, т.к. не учитывает взаимного влияния точности базовых поверхностей на положение заготовки при зубонарезании и, следовательно, на точность зубообработки.

Зубофрезерование цилиндрических насадных зубчатых колес автомобилей, тракторов и станков выполняется в настоящее время, как правило, на станках с вертикальной осью при установке шестерен на плоскость и жесткую оправку. Зажим детали осуществляется по торцу венца или ступицы, противоположному базовому, с применением пневматических, гидравлических или винтовых приспособлений. Погрешности обработки базовых поверхностей заготовки (отверстия и торца) могут привести к ее перекосу при установке (рис. 1а). Силы зажима, пытаясь прижать заготовку к базовым поверхностям приспособления, создают крутящий момент  $M_{зж}$ , действующий в определенных условиях на центральную оправку:

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

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 делительному радиусу  $r_d$  колеса

$$M_{рез} = P_z \cdot r_d \quad (2)$$

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

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

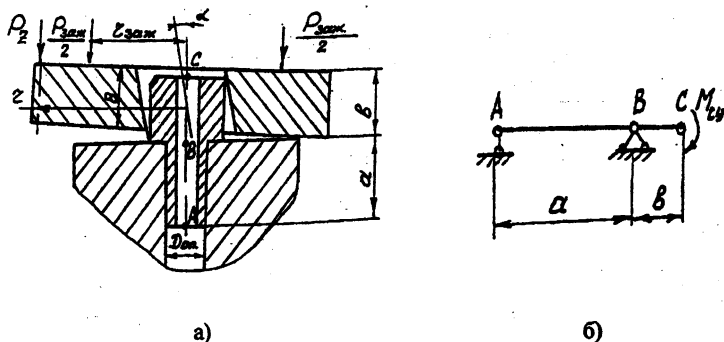


Рис. 1. Схема установки цилиндрического зубчатого колеса при зубофрезеровании: а) общая картина; б) схема действия сил

При расчете деформаций оправку можно рассматривать либо как консольно заземленную балку, либо как двухопорную консольную балку. Поскольку нас интересуют максимально возможные деформации оправки, и учитывая, что  $\alpha \approx (2 + 3) D_{\text{оп}}$ , примем в качестве расчетной схемы – схему двухопорной консольной балки с расположением опор в точках А и В (рис. 1б).

**Варианты "а" и "б".** Деталь, не деформируя оправку, свободно садится на базовую плоскость приспособления. При этом зазор  $\Delta D_0$  в сопряжении оправка – зубчатое колесо выбирается полностью (вариант "а") или частично (вариант "б"). Условием установки детали по вариантам "а" и "б" является:

$$D_{\text{опр.макс}} \leq D_{\text{отв.мин}} - h, \quad (4)$$

так как

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

то

$$D_{\text{опр.макс}} \leq D_{\text{отв.мин}} - (b \cdot E_T / d_n). \quad (6)$$

Здесь  $D_{\text{опр.макс}}$  – максимальный размер посадочного диаметра оправки;

$D_{\text{отв.мин}}$  – минимальный размер отверстия заготовки;

$b$  – высота посадочной поверхности оправки. Ее можно принимать равной ширине колеса  $B$ .

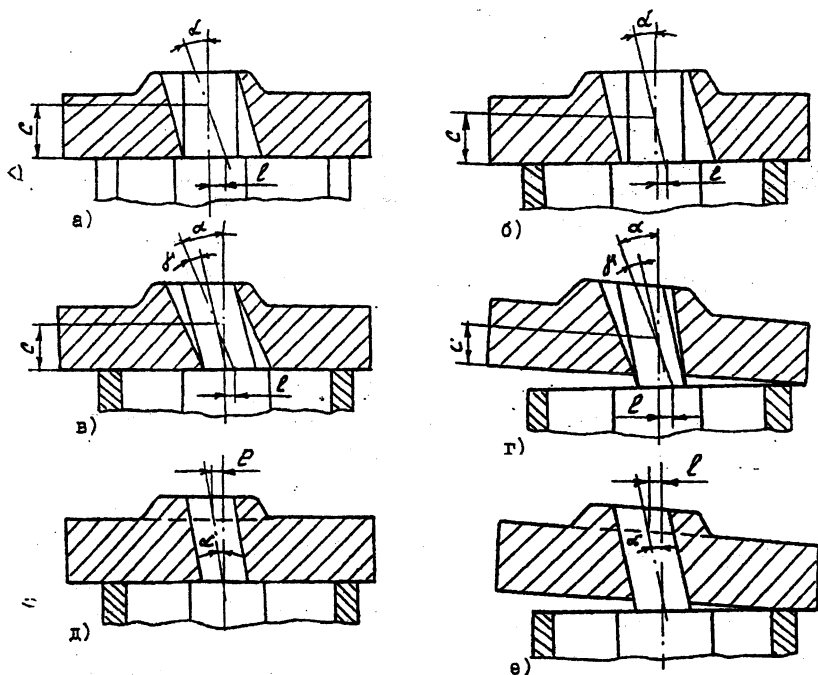


Рис.2. Возможные варианты взаимного положения детали и установочных элементов приспособления при зубофрезеровании

Варианты "в" и "г". Величины зазора  $\Delta D_0$  недостаточно для компенсации  $E_T$  и оправка под действием сил зажима и резания изгибаются. При этом деталь либо плотно соприкасается с опорными поверхностями приспособления (вариант "в"), либо касается их в одной точке или на некоторой дунк окружности (вариант "г").

Условиями установки детали по варианту "в" являются:

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

Условиями установки детали по варианту "г" являются:

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

Здесь  $Y_{\text{изг}}$  – деформация верхнего торца оправки (точки С (рис.16) под действием изгибающего момента  $M_{\text{сум}}$ .

$$Y_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{сум}}(2ab + 3b^2)}{6EJ} \quad (9)$$

где  $J$  – осевой момент инерции сечения В (рис.16) оправки.

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  $M_{\text{сум}}$  происходит изгиб оправки, в результате которого заготовка либо плотно прилегает к опорным поверхностям приспособления (вариант "д"), либо соприкасается с ними в точке или по дуге окружности (вариант "е").

Условиями установки заготовки по варианту "д" являются:

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

Условиями установки заготовки по варианту "е" являются:

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

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

Расчеты показывают, что для зубчатых колес, имеющих  $d_a = 100 \div 200$  мм,

$D_{от} = 30 \div 80$  мм,  $B \approx L_{от} = 20 \div 80$  мм,  $E_T = 0,05-0,12$  мм для изгиба оправки до полного соприкосновения торца заготовки с опорой при отсутствии  $\Delta D_0$  необходим  $M_{сум} = 0,5-6000$  Н·м. Поскольку в современных зубофрезерных станках  $P_{зак} = 20000-60000$  Н,  $P_2 = 2000-10000$  Н (при обработке зубчатых колес указанных размеров и изготовленных из среднеуглеродистых и низкоуглеродистых сталей типа 45, 40Х, 18ХГТ, 20ХН3А), то для приведенных размеров зубчатых колес  $M_{зак} = 500-3000$  Н·м,  $M_{рез} = 100-1000$  Н·м,  $M_{сум} = 600-4000$  Н·м.

Следовательно, зубчатые колеса, имеющие указанные размеры и погрешности баз, которые являются наиболее характерными для исследуемых шестерен, под действием  $M_{зак}$  и  $M_{сум}$  могут занимать любое из положений, показанных на рис. 2.

Анализ приведенных вариантов установки заготовки цилиндрического зубчатого колеса при зубофрезеровании показывает:

1. Погрешности базовых поверхностей тесно взаимосвязаны и могут либо частично компенсировать, либо усугублять действие друг друга на точность зубообработки. Так, в вариантах "а" и "б" наличие  $E_T$  уменьшает величину эксцентриситета  $e$ , вызываемую зазором  $\Delta D_0$ . В вариантах "г" и "е" угол между осью детали и осью вращения, вызываемый  $E_T$ , уменьшается ввиду малой величины  $\Delta D_0$  и высокой жесткости оправки. В вариантах "д" и "е" даже при отсутствии  $\Delta D_0$  возникает эксцентриситет  $e$ , изменяющийся по высоте зуба, вследствие перекоса оправки, вызванного  $E_T$ .

2. Установка детали по каждому из вариантов, а также положение детали при установке по вариантам "б", "г" и "е" носит, как правило, случайный характер, так как зависит от большого числа независимых факторов, многие из которых также имеют случайный характер.

К этим факторам относятся геометрические размеры колеса и их соотношения (диаметры венца и посадочного отверстия, ширина венца и длина отверстия), величины погрешностей базовых поверхностей заготовки, размеры и жесткость установочной оправки, величины сил резания и зажима, ориентация детали относительно установочных элементов приспособления и некоторые другие.

3. В зависимости от вида установки детали принимают различные значения угол скрепления  $\alpha$  между геометрической осью детали и осью ее вращения, а также расстояние  $C$  от точки пересечения этих осей до опорного торца детали при одинаковых значениях погрешностей базовых поверхностей  $E_T$  и  $\Delta D_0$ . Значения  $\alpha$  и  $C$  в свою очередь во многом определяют степень влияния погрешностей базовых поверхностей на точность зубообработки и в частности величину эксцентриситета  $e$  между геометрической осью и осью вращения обрабатываемой детали.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Эстерзон М.А., Бенкин В.А. Анализ точности обработки одновенцовых ци-

линдрических зубчатых колес на автоматической линии. —М.: ЭНИМС, 1961, -37с.  
2. Производство зубчатых колес. Справочник/ Под ред. Б.А.Тайца. —М.: Машиностроение, 1990.- 464с. 3. Методические указания по внедрению ГОСТ 1643-72 "Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски" Государственный комитет стандартов при СМ СССР. —М.: ЦНИИТМАШ, МИЭИ, 1975. -57с.

УДК 621.831

М.М.Кане, А.И.Медведев

## ТАБЛИЧНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН НА РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ ИХ ОБРАБОТКИ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Нами проведены исследования изменения основных параметров качества поверхности зубьев (микротвердости  $H_n$  и шероховатости  $R_a$ ) шестерен тракторов и автомобилей после шести операций обработки зубьев (зубофрезерование, шевингование, химико-термическая обработка (ХТО), зубообкатка, шлифование) в производственных условиях Минских заводов шестерен и автомобильного.

Методика выполнения этих исследований приведена в работе [3].

Установлено, что изменения таких параметров качества поверхности зубьев, как  $H_n$  и  $R_a$  на исследованных операциях носит линейный характер и его моделирование может быть выполнено с помощью полинома 1-ой степени

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

где  $\bar{y}$  — среднее значение исследуемого параметра на выполняемой операции;

$\bar{x}$  — среднее значение этого параметра на предшествующей операции;

$a, b$  — постоянные для данных условий обработки коэффициенты.

Для определения допустимых значений  $\bar{x}$  при заданных значениях  $\bar{y}$  можно использовать методику, описанную в работе [3]. Результаты выполненных с ее помощью расчетов допустимых значений параметров качества поверхности зубьев на различных операциях их обработки приведены в табл. 1 – 3.

По значениям пооперационных коэффициентов изменения параметров качества поверхности зубьев  $K_{\text{тех}}$  и разработанной методики [3] возможен выбор маршрута обработки зубчатых колес, обеспечивающего необходимое качество поверхности зубьев в готовых деталях.

Например, для случая, описанного в работе [3] принят следующий маршрут об-