

Погрешность формы тонкостенной заготовки при ее закреплении кулачками приспособления с учетом размеров площадки контакта сопрягаемых деталей.

77-30569/315087

02, февраль 2012 Блинов Д. С., Алешин В. Ф. УДК 621.813, 621.815

> МГТУ им. Н.Э. Баумана <u>victorfa@mail.ru</u> dmitriyblinov@mail.ru

Цикл статей посвящен разработке методик расчета соединения двух деталей, имеющих цилиндрические сопрягаемые поверхности с малым радиальным зазором и различной жесткостью охватывающей детали [1 – 4].

В статье [4] представлены теоретические основы, которые положены в основу методики расчета соединений деталей по цилиндрическим поверхностям с малым зазором для случая, когда охватывающая деталь является тонкостенной. Данная работа является продолжением рассматриваемого случая и посвящена разработке методики расчета указанных соединений, как в аналитическом виде, так и с использованием графиков.

Разработанная методика расчета может широко использоваться для расчетов и конструирования кулачковых оправок, грибковых наладок и других приспособлений при закреплении в них тонкостенных заготовок (охватывающих деталей) базовым отверстием, а также для определения погрешностей формы заготовок при их закреплении в станочных приспособлениях. При этом количество *n* кулачков приспособления может быть произвольным, то есть $n \ge 2$, и кулачки равномерно расположены по угловой координате.

3.4. Алгоритм аналитического расчета.

В подразделе 3.3 [4] получена система десяти линейных алгебраических уравнений с десятью неизвестными. Эту систему можно решить известными методами [5, 6] по стандартным программам для ЭВМ.

Альтернативный метод расчета. В результате анализа полученной системы десяти линейных алгебраических уравнений было установлено, что возможен алгоритм последовательного определения неизвестных. Этот алгоритм, который получен после многочисленных преобразований, представлен ниже.

Исходные данные, см. рис. 2 в статье [4]:

n – количество кулачков ($n \ge 2$);

F_K – сила на один кулачок со стороны привода;

*r*₁ – радиус сопрягаемой цилиндрической поверхности кулачка;

r₂ – радиус сопрягаемой цилиндрической поверхности (отверстия) заготовки-кольца;

L и *h* – длина и толщина заготовки-кольца;

Е2 – модуль упругости материала заготовки-кольца;

- $\sigma_{_{T2}}$ предел текучести материала заготовки-кольца;
- *S* коэффициент запаса статической прочности.

Дополнительные исходные данные: $e = r_2 - r_1$ – радиальный зазор;

 $\Delta \varphi = 2 \cdot \pi / n$ – угол между двумя соседними кулачками;

 $r_{cp} = r_2 + 0,5 \cdot h$ – радиус срединной поверхности тонкостенной заготовки-кольца;

 $I_2 = \frac{L \cdot h^3}{12}$ – момент инерции сечения заготовки-кольца.

Задаемся значением полуугла контакта φ_0 .

Расчет, см. рис. 4 и 5 в статье [4]. $\rho_{cp} = r_1 + 0, 5 \cdot h$ – радиус срединной поверхности заготовки-кольца на участке «АВ» после деформирования;

$$M^* = E_2 \cdot I_2 \cdot \frac{r_{cp} - \rho_{cp}}{r_{cp} \cdot \rho_{cp}}$$
 – изгибающий момент на этом участке «AB» заготовки-кольца;

нормальная сила на границе участка «АВ» со свободным участком заготовки-кольца равна

$$N_{B} = \left\{ \frac{E_{2} \cdot I_{2} \cdot \varphi_{0} \cdot \left(r_{cp} - \rho_{cp}\right)}{r_{cp}^{2} \cdot \rho_{cp}} + \frac{M^{*}}{r_{cp}} \cdot \left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right) \right\} / \left\{ \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right) - \left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right) + \left[1 - \cos\left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right)\right] \cdot \frac{\left[1 - \cos\left(\Delta\varphi - 2 \cdot \varphi_{0}\right)\right]}{\sin\left(\Delta\varphi - 2 \cdot \varphi_{0}\right)} \right\} \right\}$$

сосредоточенная сила, составляющая эпюру контактного давления, равна

$$Q_{B} = N_{B} \frac{1 - \cos\left(\Delta \varphi - 2 \cdot \varphi_{0}\right)}{\sin\left(\Delta \varphi - 2 \cdot \varphi_{0}\right)};$$

 $q_{AB} = \frac{N_B}{\rho_{cp}}$ – распределенное давление, составляющее эпюру контактного давления;

 $F_{K} = 2 \cdot \left(Q_{B} \cdot \cos \varphi_{0} + q_{AB} \cdot \rho_{cp} \cdot \sin \varphi_{0} \right) -$ сила на один кулачок со стороны привода оправки.

Если расчетное значение силы F_K не равно заданному значению силы, задаемся новым значением полуугла контакта φ_0 и повторяем расчет. Если расчетное значение силы F_K примерно равно заданному значению силы, продолжаем определять другие искомые параметры:

$$C = \varphi_0 \cdot \frac{r_{cp} \cdot (r_{cp} - \rho_{cp})}{\rho_{cp}} - \frac{Q_B \cdot r_{cp}^3}{E_2 \cdot I_2} -$$
произвольную постоянную;

перемещение точки срединной поверхности заготовки-кольца под кулачком равно

$$W_{0} = \begin{cases} C - \left[C + \frac{Q_{B} \cdot r_{cp}^{3}}{2 \cdot E_{2} \cdot I_{2}} + e \cdot \sin \varphi_{0} - \varphi_{0} \left(r_{cp} - \rho_{cp} \right) \right] * \cos \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) - \\ \left[e \cdot \cos \varphi_{0} - r_{cp} + \rho_{cp} \cdot \cos \left(\varphi_{0} \cdot \frac{r_{cp} - \rho_{cp}}{\rho_{cp}} \right) + \frac{\left(M^{*} + N_{B} \cdot r_{cp} \right) \cdot r_{cp}^{2}}{E_{2} \cdot I_{2}} \right] \cdot \sin \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) + \\ \frac{\left(M^{*} + N_{B} \cdot r_{cp} \right) \cdot r_{cp}^{2}}{E_{2} \cdot I_{2}} \cdot \left[\sin \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) - \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) - \cos \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) \right] + \\ \frac{Q_{B} \cdot r_{cp}^{3}}{2 \cdot E_{2} \cdot I_{2}} \cdot \left[\cos \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) + \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) \cdot \sin \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) \right] \\ / \left[\sin \varphi_{0} \cdot \cos \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) + \cos \varphi_{0} \cdot \sin \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_{0} \right) \right] \end{cases}$$

произвольную постоянную

$$A = -C - \frac{Q_B \cdot r_{cp}^3}{2 \cdot E_2 \cdot I_2} + \varphi_0 \cdot \left(r_{cp} - \rho_{cp}\right) - w_0 \cdot \sin \varphi_0 - e \cdot \sin \varphi_0;$$

другую произвольную постоянную

$$B = w_0 \cdot \cos \varphi_0 + e \cdot \cos \varphi_0 - r_{cp} + \rho_{cp} \cdot \cos \left[\varphi_0 \cdot \frac{\left(r_{cp} - \rho_{cp} \right)}{\rho_{cp}} \right] + \frac{\left(M^* + N_B \cdot r_{cp} \right) \cdot r_{cp}^2}{E_2 \cdot I_2};$$

перемещение точки срединной поверхности заготовки-кольца строго между кулачками равно

$$w_{1} = A \cdot \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right) + B \cdot \cos\left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right) - \frac{\left(M^{*} + N_{B} \cdot r_{cp}\right) \cdot r_{cp}^{2}}{E_{2} \cdot I_{2}} + \frac{N_{B} \cdot r_{cp}^{3}}{2 \cdot E_{2} \cdot I_{2}} \cdot \left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right) \cdot \sin\left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right) - \frac{Q_{B} \cdot r_{cp}^{3}}{2 \cdot E_{2} \cdot I_{2}} \cdot \left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right) \cdot \cos\left(\frac{\Delta\varphi}{2} - \varphi_{0}\right);$$

 $\Delta_{\phi} = 2 \cdot (w_0 + |w_1|)$ — отклонение формы (отклонение от круглости) заготовки-кольца, возникающее в связи с ее деформациями при закреплении.

При необходимости исследуем напряженное состояние заготовки-кольца (определяем коэффициент *S* запаса статической прочности). Для свободного от нагрузки участка заготовки-кольца построим эпюру изгибающих моментов, учитывая симметрию нагружения, для угла φ в диапазоне $0 \le \varphi \le \left(\frac{\Delta \varphi}{2} - \varphi_0\right)$. Значения изгибающего момента определим по следующей формуле $M(\varphi) = M^* + N_B \cdot r_{cp} \cdot (1 - \cos \varphi) - Q_B \cdot r_{cp} \cdot \sin \varphi$. Условие прочности для опасного сечения заготовки-кольца

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{M3\Gamma} + \sigma_{P} = \frac{6 \cdot M_{MAX}}{L \cdot h^{2}} + \frac{N_{B}}{L \cdot h} \leq \frac{\sigma_{T2}}{S}.$$

Так как представленный алгоритм может быть реализован методом последовательных приближений, то целесообразно в соответствие с данным алгоритмом разработать программу для ЭВМ.

3.5. Методика расчета с использованием графиков.

Методика расчета с построением графиков является наглядной и позволяет достаточно просто производить анализ представленных на них данных. В данной статье для примера графики построены для кулачковых оправок с тремя кулачками (n = 3). Полученные результаты сравним с результатами, определенными по известной методике расчета закрепления заготовки-кольца тремя сосредоточенными силами [7, 8].

В известной методике расчета считают, что кулачки взаимодействуют с отверстием заготовки-кольца в точках, в которых приложены сосредоточенные силы F_{K} . Перемещения точек заготовки-кольца определяются методами сопротивления материалов и составляют:

$$w_0 = 0,0159 \cdot \frac{F_K \cdot r_{cp}^3}{E_2 \cdot I_2} -$$
под кулачком;
 $F_K \cdot r_{cp}^3$

$$w_1 = -0,0143 \cdot \frac{I_K \cdot I_{cp}}{E_2 \cdot I_2}$$
 – строго между кулачками.

Отклонение формы от сил закрепления равно $\Delta_{\phi} = 2 \cdot (w_0 + |w_1|)$. Из представленных уравнений видно, что отклонение формы Δ_{ϕ} линейно зависит от величины силы F_K .

В предлагаемой методике расчета при построении графиков расчетные зависимости были преобразованы для общности к безразмерному виду. Расчеты выполнялись с переборами двух параметров, которые были получены при указанных преобразованиях:

– безразмерного радиального зазора $\alpha_e = \frac{r_{cp}}{r_{cp} - e} = \frac{r_{cp}}{\rho_{cp}};$

– безразмерной силы, действующей на один кулачок, $\alpha_F = \frac{F_K \cdot r_{cp}^2}{E_2 \cdot I_2}$.

В расчете также использовался безразмерный параметр отклонения формы заготовки-кольца Δ_{ϕ} / r_{cp} и безразмерный параметр перемещения точки заготовки-кольца под кулачком $w_0 / (w_0 + |w_1|)$.

Отличие предлагаемой методики от известной методики заключается в том, что в предлагаемой методике учтены реальные контактные параметры при взаимодействии кулачков с тонкостенной заготовкой-кольцом: размеры площадки контакта, форма эпюры контактного давления и значения параметров эпюры контактного давления. В результате выполненных расчетов построены графики, показанные на рис. 1-3. Все параметры, представленные на графиках за исключением полуугла контакта, даны в безразмерном виде, обеспечивающим общность.

На рис. 1 представлено семейство кривых, позволяющих по заданным безразмерным параметрам α_e и α_F определить безразмерное значение отклонения формы заготовкикольца Δ_{ϕ} / r_{cr} .

Если кривая, показанная на графике, см. рис. 1, заканчивается точкой «А», то это означает, что значение Δ_{ϕ} / r_{cp} в точке «А» соответствует полууглу контакта $\varphi_0 = 40^\circ$. Этот угол можно считать предельным для расчета. Для $\varphi_0 = 40^\circ$ общий угол контакта 3-х кулачков с отверстием заготовки равен $\varphi_{\Sigma} = 40^\circ \cdot 2 \cdot 3 = 240^\circ$, и из-за большой ширины кулачков возникают сложности с проектированием кулачковой оправки. Спроектировать можно только оправку с грибковыми кулачками.

На рис. 1 прямая линия «*a*» является решением по известной методике расчета. Видно, что полученные кривые переходят в прямую «*a*» при небольших нагрузках. Это является подтверждением правильности выполненных исследований и полученных результатов.

На рис. 2 представлено семейство кривых, позволяющих по заданным безразмерным параметрам α_e и α_F определить полуугол контакта φ_0 .

Значение полуугла контакта φ_0 существенно влияет на отклонение формы заготовкикольца Δ_{ϕ} . Это видно, если на рисунках 1 и 2 для кривых с одним и тем же значением безразмерного параметра α_e проследить, как изменяются φ_0 и безразмерный параметр Δ_{ϕ} / r_{cp} с увеличение безразмерного параметра α_F (с увеличением силы F_K). Указанное влияние полуугла контакта φ_0 на отклонение формы заготовки-кольца Δ_{ϕ} используется при проектировании кулачковых оправок и грибковых наладок для повышения точности обработки тонкостенных заготовок-колец. При этом головки традиционных или грибковых кулачков шлифуют в расчетный размер, который обеспечивает допустимое значение отклонения формы тонкостенной заготовки-кольца.

Как отмечалось выше, вычисления производились до предельного значения полуугла контакта $\varphi_0 = 40^\circ$, что соответствует показанным на рисунке 2 графикам.



Рис. 1. Графики для определения отклонения формы заготовки-кольца.



Рис. 2. Графики для определения полуугла контакта φ_0 .

На рис. 3 представлен график, с помощью которого можно определить абсолютные значения перемещений w_0 и w_1 .



Рис. 3. Графики для определения перемещений w_0 и w_1 .

Для определения абсолютных значений перемещений w_0 и w_1 надо:

– рассчитать безразмерные параметры α_e и α_F ;

– по графикам на рис. 1 и 2 определить полуугол контакта φ_0 и безразмерный параметр Δ_{ϕ} / r_{cp} ;

– рассчитать значение Δ_{ϕ} и разделить его пополам. Полученное значение будет равно следующей сумме $w_0 + |w_1|$;

– по графику на рис. З для полученного полуугла контакта φ_0 определить значение безразмерного параметр $w_0 / (w_0 + |w_1|)$. Если это значение умножить на полученную выше сумму $w_0 + |w_1|$, то мы и получим значение w_0 . Далее из полученной суммы $w_0 + |w_1|$ вычитаем значение w_0 и получаем абсолютную величину перемещения w_1 .

На графике, см. рис. 3, значение $w_0 / (w_0 + |w_1|)$ для полуугла контакта $\varphi_0 = 0^\circ$ является решением по известной методике расчета. Полученное значение $w_0 / (w_0 + |w_1|)$ и значение этого же параметра по известной методике совпадают, что является подтверждением правильности выполненных исследований и полученных результатов.

Следует отметить, что аналогичные графики можно построить для любого количества кулачков $n \ge 2$ кулачковой оправки или грибковой наладки.

3.6. Пример расчета.

Заданы следующие размеры стальной ($E_2 = 2, 1 \cdot 10^5$ МПа) заготовки-кольца: наружный диаметр $D_H = 112$ мм; диаметр отверстия $D_{OTB} = 100$ мм; длина L = 50 мм. Поле допуска на диаметр D_{OTB} соответствует *H8*. Необходимая сила закрепления заготовки-кольца, действующая на один кулачок $F_K = 4000$ Н. Допускаемое значение отклонения формы заготовки-кольца $\Delta_{\phi} = 0,07$ мм.

Определить размеры кулачка 3-х кулачковой оправки, обеспечивающие допускаемую погрешность формы Δ_{ϕ} .

Расчет по известной методике.

Определим дополнительные исходные данные (отклонение размера D_{OTB} в пределах поля допуска не учитываем):

– радиус отверстия заготовки-кольца $r_2 = D_{OTB} / 2 = 50$;

– толщину поперечного сечения заготовки-кольца $h = (D_H - D_{OTB})/2 = 6$ мм;

– радиус срединной поверхности заготовки-кольца $r_{cp} = r_2 + (h/2) = 53$ мм;

– момент инерции поперечного сечения заготовки-кольца $I_2 = L \cdot h^3 / 12 = 900 \text{ мм}^4$.

Решить поставленную задачу нельзя. Можно только определить, чему равно отклонение форму заготовки-кольца, если она закрепляется сосредоточенными силами F_{κ} . Выполним этот расчет.

$$\Delta_{\phi} = 2\left(w_0 + \left|w_1\right|\right) = 2 \cdot \frac{F_{\kappa} \cdot r_{cp}^3}{E_2 \cdot I_2} \cdot \left(0,0159 + 0,0143\right) = 0,19 \text{ mm}$$

Этот результат почти в 3 раза превышает расчетное значение $\Delta_{\phi} = 0,07$ мм.

Расчет по предлагаемой методике.

Так как диаметр отверстия заготовки-кольца может изменяться в пределах поля допуска на этот диаметр, то расчет имеет вероятностный характер. Допуск на размер

диаметра отверстия $D_{OTB} = 100$ мм по 8-му квалитету точности равен 54 мкм [8]. Расчет будем проводить для:

- наименьшего отверстия заготовки-кольца D_{ОТВ.МІN} = 100 мм;

- среднего отверстия заготовки-кольца $D_{OTB,CP} = 100 + 0,054 / 2 = 100,027$ мм;
- наибольшего отверстия заготовки-кольца $D_{OTB,MAX} = 100 + 0,054 = 100,054$ мм;

Наибольшую погрешность формы заготовки-кольца дает вариант взаимодействия кулачка с наибольшим отверстием заготовки-кольца. Поэтому сначала выполним расчеты для этого варианта.

Определим дополнительные исходные данные:

- радиус отверстия заготовки-кольца $r_2 = D_{OTB,MAX} / 2 = 50,027$ мм;
- толщину поперечного сечения заготовки-кольца $h = (D_H D_{OTB,MAX})/2 = 5,973$ мм;
- радиус срединной поверхности заготовки-кольца $r_{cp} = r_2 + (h/2) = 53,0135$ мм;

- момент инерции поперечного сечения заготовки-кольца $I_2 = L \cdot h^3 / 12 = 888 \text{ мм}^4$.

Определим безразмерные параметры

$$\frac{\Delta_{\phi}}{r_{cp}} = \frac{0.07}{53,0135} \approx 0,0013; \qquad \alpha_F = \frac{F_K \cdot r_{cp}^2}{E_2 \cdot I_2} = \frac{4000 \cdot 53,0135^2}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 888} \approx 0,06$$

На семействе графиков, см. рис. 1, поставим точку с координатами $\frac{\Delta_{\phi}}{r_{cp}} = 0,0013;$

 $\alpha_F = 0,06$ и определим, что она находимся между кривой с $\alpha_e = 1,001$ и кривой с $\alpha_e = 1,002$. С помощью линейной интерполяции определим, что эта точка соответствует $\alpha_e = 1,0018$.

Из следующего уравнения $\alpha_e = 1,0018 = \frac{r_{cp}}{r_{cp} - e}$ определим радиальный зазор e = 0,095 мм. Отсюда радиус цилиндрической поверхности кулачка $r_1 = r_2 - e \approx 49,932$ мм. Полученное значение радиуса r_1 должно быть меньше, чем наименьший радиус отверстия заготовки-кольца $r_{OTB,MIN} = 50$ мм, что соответствует действительности. В противном случае будут кромочные контакты кулачка с отверстием заготовки.

С помощью семейства кривых, см. рис. 2, для $\alpha_F = 0.06$ и $\alpha_e = 1.0018$ определим значение полуугла контакта $\varphi_0 \approx 27^\circ$.

Определим перемещения точек заготовки-кольца. Для $\varphi_0 \approx 27^\circ$, см. рис. 3, значение безразмерного параметра $\frac{\omega_0}{\omega_0 + |\omega_1|} \approx 0,475$. При этом $w_0 + |w_1| = \frac{\Delta_{\phi}}{2} = 0,035$ мм. Отсюда $\omega_0 = 0,475 \cdot (\omega_0 + |\omega_1|) \approx 0,0166$ мм, а $\omega_1 = 0,035 - 0,0166 = 0,0184$ мм.

Выполним аналогичные расчеты для $D_{OTB,CP}$ и $D_{OTB,MIN}$, и полученные результаты сведем в следующую таблицу.

Расчетный параметр	Для <i>D_{отв,мі}</i>	Для D _{отв,ср}	Для D _{отв,мах}
Радиус цилиндрической поверхности кулачка <i>г</i> ₁ , мм	49,932		
Радиус отверстия заготовки-кольца <i>r</i> ₂ , мм	50	≈50,014	50,027
Радиальный зазор е, мм	0,068	0,082	0,095
Толщина поперечного сечения заготовки-кольца <i>h</i> , мм	6	5,986	5,973
Радиус срединной поверхности заготовки-кольца <i>r</i> _{<i>cp</i>} , мм	53	53,007	53,0135
Момент инерции поперечного сечения заготовки-кольца <i>I</i> ₂ , мм ⁴	900	894	888
Безразмерный параметр α_e	1,0013	1,0015	1,0018
Безразмерный параметр α_F	0,0594	0,0599	0,0603
Полуугол контакта $ arphi_{0} , $ град	29	28	27
Безразмерный параметр Δ_{ϕ} / r_{cp}	0,001	0,00115	0,0013
Отклонение формы заготовки- кольца Δ_{ϕ} , мм	0,053	0,061	0,07
Безразмерный параметр $\frac{\omega_0}{\omega_0 + \omega_1 }$	0,47	0,472	0,475
Перемещение точки заготовки- кольца под кулачком ω_0 , мм	0,0125	0,0144	0,0166
Перемещение точки заготовки- кольца строго между кулачками ω_1 , мм	0,014	0,0161	0,0184

Проанализируем, представленные в таблице, результаты. В пределах поля допуска на размер отверстия заготовки-кольца или в зависимости от величины радиального зазора *e* :

 радиус отверстия заготовки-кольца r₂, толщина поперечного сечения заготовкикольца h, радиус срединной поверхности заготовки-кольца r_{cp} и момент инерции поперечного сечения заготовки-кольца I₂ незначительно изменяются;

– более интенсивно меняется полуугол контакта φ_0 ;

– отклонение формы заготовки-кольца Δ_{ϕ} и перемещения точек заготовки-кольца под кулачком ω_0 и строго между кулачками ω_1 существенно изменяются. Такие изменения позволяют подобрать радиус цилиндрической поверхности кулачка для обеспечения требуемой точности.

Чтобы не было кромочных контактов кулачка с отверстием заготовки-кольца, нужно, чтобы минимально возможная ширина кулачка $b_{MIN} = 2 \cdot r_1 \cdot \sin \varphi_{0,MAX}$. Из таблицы видно,

что $\varphi_{0,MAX} = 29^{\circ}$. Отсюда из геометрии, см. рис. 4, определим минимальную ширину кулачка $b_{MIN} \approx 2.49,932 \cdot \sin 29^{\circ} \approx 48,4$ мм. В запас ширины кулачка примем, соответствующее рекомендуемому ряду *Ra* 40 предпочтительных размеров [8], значение b = 53 мм, см. рис. 4.



Рис. 4. Форма кулачка: а – грибковой наладки; б – кулачковой оправки.

Таким образом, размеры кулачка оправки, которая обеспечивает заданную точность обработки, составляют $r_1 = 49,932$ мм и b = 53 мм, см. рис. 4. Кулачок может быть грибковым (см. рис. 4,а) или иметь традиционную форму (см. рис. 4,б).

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Рассмотрен случай, когда охватывающая тонкостенная заготовка-кольцо закрепляется *n* равномерно расположенными по угловой координате кулачками. При этом интерес представляет определение погрешности формы заготовки-кольца от сил закрепления и, в ряде случаев, напряженное состояние заготовки-кольца.

2. В статье представлен аналитический алгоритм расчета основных параметров при закреплении заготовки-кольца *n* равномерно расположенными по угловой координате кулачками. Указанный алгоритм отличается от известных тем, что в нем учтены реальные контактные параметры при взаимодействии кулачков с тонкостенной заготовкой-кольцом: размеры площадки контакта, форма эпюры контактного давления и значения параметров эпюры контактного давления.

3. В статье для случая закреплении заготовки-кольца тремя равномерно расположенными по угловой координате кулачкам в безразмерном виде, обеспечивающем общность, построены графики. Графики позволяют определить полуугол контакта, погрешность формы заготовки-кольца при ее закреплении тремя кулачками и перемещения точек срединной поверхности заготовки-кольца под кулачком и строго между кулачками.

4. Приведен пример, в котором используются графики. В примере определяются радиус цилиндрической поверхности кулачка и его ширина для обеспечения заданной точности с учетом разброса размеров отверстия заготовки-кольца в пределах поля допуска. Радиус цилиндрической поверхности кулачка выбирается таким образом, чтобы для максимально возможного диаметра заготовки-кольца обеспечивалась заданная

точность, а для минимально возможного диаметра заготовки-кольца не было кромочных контактов.

5. Разработанная методика расчета может широко использоваться для расчетов и конструирования кулачковых оправок, грибковых наладок и других приспособлений при закреплении в них тонкостенных заготовок базовым отверстием, а также для определения погрешностей формы заготовок при их закреплении в станочных приспособлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов Д.С., Алешин В.Ф. Определение эпюры контактного давления для соединения деталей по цилиндрическим поверхностям с малым зазором (случай, когда охватывающая деталь безгранична в радиальном направлении). Электронный журнал «Наука и образование: электронное научно-техническое издание» МГТУ им. Н.Э. Баумана, # 05, май 2011.

2. Блинов Д.С., Алешин В.Ф. Определение напряженно-деформированного состояния охватывающей детали соединения по цилиндрическим поверхностям с малым зазором (случай, когда охватывающая деталь безгранична в радиальном направлении). Электронный журнал «Наука и образование: электронное научно-техническое издание» МГТУ им. Н.Э. Баумана, # 06, июнь 2011.

3. Блинов Д.С., Алешин В.Ф. Инженерная методика расчета соединения деталей по цилиндрическим поверхностям с малым зазором (случай, когда охватывающая деталь безгранична в радиальном направлении). Примеры. Электронный журнал «Наука и образование: электронное научно-техническое издание» МГТУ им. Н.Э. Баумана, # 06, июнь 2011.

4. Блинов Д.С., Алешин В.Ф. Разработка методики расчета соединений деталей по цилиндрическим поверхностям с малым зазором для случая, когда охватывающая деталь тонкостенная. Электронный журнал «Наука и образование: электронное научно-техническое издание» МГТУ им. Н.Э. Баумана, # 11, ноябрь 2011.

5. Бахвалов Н. С. Численные методы. – М.: Наука, 1975. – 632 с.

6. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. – М.: Физматгиз, 1963. – 400 с.

7. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.

8. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х томах. / Ред. совет: Б.Н. Вардашкин (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1984. – Т. 1 – 592 с., – Т. 2 – 656 с.

electronic scientific and technical periodical SCIENCE and EDUCATION

EL № FS 77 - 30569. №0421100025. ISSN 1994-0408

Form error of thin-walled workpiece fixed with cams considering the size of contact area between mating parts

77-30569/315087

02, February 2012 Blinov V.S., Alyoshin V., F.

Bauman Moscow State Technical University <u>victorfa@mail.ru</u> dmitriyblinov@mail.ru

The case of thin-walled workpiece fixing with n cams was considered. Algorithm of calculation of main parameters when fixing the thin-walled workpiece. Proposed algorithm differs from known algorithms because it takes the size of contact area and diagram of contact pressure into account. Dimensionless graphics were plotted for the case when the workpiece is fixed with three cams. These graphics allowed to determine contact half-angle, form error of workpiece when it's fixed with three cams and movement of median surface's points of workpiece under the cam and strictly between cams. The example of the calculation was included in this article.

Publications with keywords: tension, radial gap, half of a contact angle, distribution diagram of contact pressure, travel, thin-walled workpiece, error of forms **Publications with words:** tension, radial gap, half of a contact angle, distribution diagram of contact pressure, travel, thin-walled workpiece, error of forms

Reference

- Blinov D.S., Aleshin V.F., Definition of the Distribution Diagram of Contact Pressure in the Connections of Details on Cylindrical Surfaces with Small Gap, Nauka i obrazovanie – Science and Education 5 (2011) < <u>http://technomag.edu.ru/doc/181258.html</u>>.
- Blinov D.S., Aleshin V.F., Definition of Tension and Travel in Covering Details on Cylindrical Surfaces with Small Gap (if Details with Hole Are Considered Boundless), Nauka i obrazovanie – Science and Education 6 (2011) <<u>http://technomag.edu.ru/doc/187904.html</u>>.
- Blinov D.S., Aleshin V.F., Engineering Methods of Calculations of the Connection of Details on Cylindrical Surfaces with Small Gap (if Details with Hole Are Considered Boundless). Examples, Nauka i obrazovanie – Science and Education 6 (2011) <http://technomag.edu.ru/doc/194409.html>.

- 4. Blinov D.S., Aleshin V.F., Development of the method for calculating the cylindrical joints with a small gap for a thin-walled external member, Nauka i obrazovanie Science and Education 11 (2011) http://technomag.edu.ru/doc/264652.html>.
- 5. Bakhvalov N. S., Numerical Methods, Moscow, Nauka, 1975, 632 p.
- 6. Demidovich B.P., Maron I.A., Shuvalova E.Z., Numerical methods of analysis, Moscow, Fizmatgiz, 1963, 400 p.
- Korsakov V.S., Fundamentals of designing devices, Moscow, Mashinostroenie, 1983, 277 p.
- 8. In: B.N. Vardashkin (Ed.), Machine-tool accessories: A Handbook. In 2 Vols, Moscow, Mashinostroenie, 1984.