

УДК 621.75

DOI:10.30987/2223-4608-2020-6-21-27

**Д.М. Филькин, к.т.н.,
Е.А. Польский, к.т.н.**

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
241035, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, д. 7)

E-mail: filkin.dm@mail.ru; polski.eugene@gmail.com

Анализ точности установки заготовок на опорные призмы с учетом влияния размерных связей

Рассмотрено влияние различных параметров точности опорных призм, используемых в конструкциях станочных приспособлений, на точность установки заготовок. В качестве метода оценки точности установки использован размерный анализ. Приведены особенности технологического обеспечения точности опорных призм.

Ключевые слова: точность; погрешность установки; размерный анализ; опорные призмы; передаточные коэффициенты; пригонка.

**D.M. Fil'kin, Can. Sc. Tech.,
E.A. Pol'sky, Can. Sc. Tech.**

(FSBEI HE "Bryansk State Technical University", 7, 50th October Anniversary Boulevard, Bryansk, 241035)

Accuracy analysis of billet installation upon support prisms taking into account dimensional tie impact

An impact of different accuracy parameters of supporting prisms used in designs of machine units upon the accuracy of billet installation is considered. As a method for the estimate of installation accuracy a dimension analysis is used. There are shown peculiarities of the technological support of supporting prism accuracy.

Keywords: accuracy; error installation; dimension analysis; supporting prisms; gear ratios; fitting.

Введение

При оценке достижимой точности изготовления деталей машин применяется расчетно-статистический метод учета различного рода элементарных погрешностей обработки деталей. Погрешность установки заготовок в приспособлении является одной из таких элементарных погрешностей. Корректный расчет погрешности установки важен для оценки надежности обеспечения точности выполнения технологической операции [1 – 4].

В станочных приспособлениях в качестве установочных элементов широко применяются опорные призмы. Призмы позволяют цен-

трировать заготовки, совмещая плоскость симметрии цилиндрической поверхности заготовки с плоскостью симметрии паза.

Погрешность установки определяют как сумму погрешностей базирования, погрешности закрепления и погрешности положения. В работах [5, 6] рассмотрены особенности формирования погрешностей базирования и положения в процессе установки заготовок в широкую призму, а также даются рекомендации назначения точности основных параметров призм. При этом все допуски рассматриваются как линейные параметры, в результате чего не учитываются некоторые дополнительные эффекты.

Анализ погрешности установки опорной призмы

При использовании станочных приспособлений с опорными призмами происходит самоустановка заготовки в V-образном пазу призмы [7]. В результате самоустановки формируются определенные размерные связи в системе «заготовка – приспособление». Для оценки величины погрешности установки необходимо выполнить анализ этих связей методом размерного анализа (рис. 1).

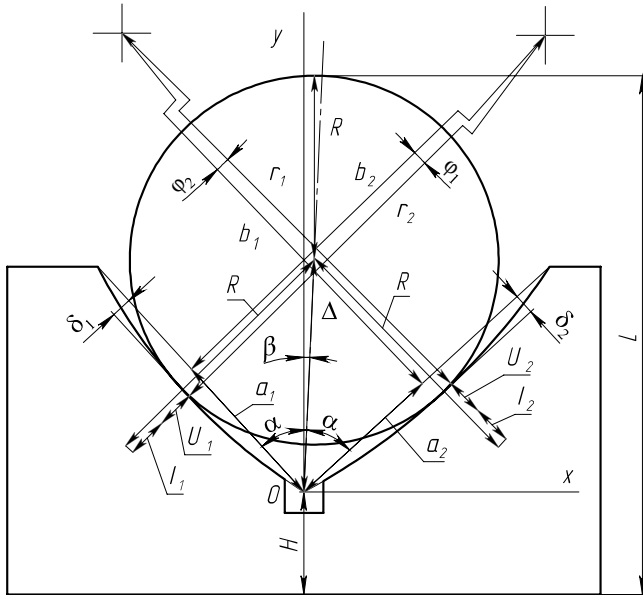


Рис. 1. Расчетная схема с вогнутыми поверхностями призмы

На расчетной схеме (см. рис. 1) учитываются следующие параметры: контрольный размер L , характеризующий смещение верхней точки заготовки; контрольный размер Δ , характеризующий смещение центра заготовки; радиус устанавливаемой заготовки R ; размер до условного центра V-образного паза H ; угол α , равный половине угла V-образного паза; угол симметрии V-образного паза β ; размер макротоклонения δ , характеризующий отклонение от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза; радиус цилиндров r , моделирующих отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза; размеры

a и b , определяющие положения центров цилиндров, моделирующих отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза; размеры I , характеризующие износ призмы в процессе эксплуатации; размеры U , характеризующие упругие деформации заготовки при закреплении; углы φ_1 и φ_2 , определяемые условием самоустановки заготовок в призме.

Контрольный размер L на схеме изображен вертикальным условно. В действительности он замыкает размер H с верхней точкой размера R заготовки. Таким образом, в общем случае размер L содержит погрешность установки как вдоль оси OX , так и вдоль оси OY .

Размеры r_1 и r_2 , а также углы φ_1 и φ_2 являются размерами, которые формируются в результате самоустановки заготовки в призме, и поэтому их значения зависят от фактических значений других размеров.

Макротоклонения в данной расчетной схеме представлены отклонением от плоскостности поверхностей V-образного паза и моделируются в виде цилиндров. Допуск отклонения от плоскостности задается допуском размера δ . Положение максимума макронеровности задается размером a . Значения размера a может изменяться, при этом оставаясь в пределах длины боковой стороны паза призмы. Размер b также используется для моделирования отклонений от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза призмы. Значение размера b определяется значениями размеров δ и a . Варьирование по этому размеру не производится.

В данной расчетной схеме также учитывается потеря точности призмы вследствие изнашивания и контактных деформаций базовых поверхностей V-образного паза.

Если рассматривать параметры призмы независимо, т.е. вместо a , b , r и δ ввести размеры a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , r_1 , r_2 , δ_1 и δ_2 , то для определения погрешностей контрольных размеров L и Δ из расчетной схемы можно выделить несколько размерных цепей, формирующих следующую систему уравнений:

$$f_1 = a_1 \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \cos(\alpha - \beta) + r_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(-\alpha - \beta + \varphi_2) + I_2 \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + U_2 \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + r_2 \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + b_2 \cos(-\alpha - \beta) + a_2 \cos(-90^\circ - \alpha - \beta) = 0.$$

$$\begin{aligned}
 f_2 &= a_1 \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \sin(\alpha - \beta) + r_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(-\alpha - \beta + \varphi_2) + I_2 \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + \\
 &+ U_2 \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + r_2 \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + b_2 \sin(-\alpha - \beta) + a_2 \sin(-90^\circ - \alpha - \beta) = 0; \\
 f_3 &= b_1 + \delta_1 - r_1 = 0; \quad f_4 = b_2 + \delta_2 - r_2 = 0; \\
 f_5 &= a_1 \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \cos(\alpha - \beta) + r_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) = \Delta_x; \\
 f_6 &= a_1 \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \sin(\alpha - \beta) + r_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) = \Delta_y; \\
 f_7 &= H \cos 90^\circ + a_1 \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \cos(\alpha - \beta) + r_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ I_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U_1 \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos 90^\circ = L_x; \\
 f_8 &= H \sin 90^\circ + a_1 \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b_1 \sin(\alpha - \beta) + r_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ I_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U_1 \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin 90^\circ = L_y.
 \end{aligned}$$

Первые четыре уравнения системы представляют две размерных цепи, описывающие самоустановку заготовки в опорной призме. Такие цепи называют замкнутыми. Остальные четыре уравнения системы описывают формирование фактических значений конструкторских размеров L и Δ . Такие цепи называют открытыми.

В матричном виде система размерных уравнений имеет вид [8]:

$$\begin{aligned}
 [A]\{x\} + [B]\{\phi\} &= \{0\}; \\
 [C]\{x\} + [D]\{\phi\} &= \{V\},
 \end{aligned}$$

где $[A]$, $[B]$ – матрицы частных производных, представляющих влияние конструкторских

размеров и самоустанавливающихся размеров в замкнутых цепях соответственно; $[C]$, $[D]$ – матрицы частных производных, представляющих влияние конструкторских размеров и самоустанавливающихся размеров в открытых цепях соответственно; $\{x\}$ – вектор допусков конструкторских размеров заготовок и опорной призмы; $\{\phi\}$ – вектор допусков самоустанавливающихся размеров, значения которых определяются другими размерами в замкнутых цепях; $\{V\}$ – вектор допусков замыкающих звеньев, определяющих точность установки заготовок в опорной призме.

В результате преобразований получаются следующие выражения передаточных коэффициентов C_j для всех рассматриваемых параметров (табл. 1).

1. Передаточные коэффициенты для расчетной схемы с вогнутыми поверхностями призмы

	C_H	C_R	C_{a1}	C_{a2}	C_a	C_β	C_{δ_1}	C_{δ_2}	C_{I1}	C_{I2}	C_{U1}	C_{U2}
Δ_x	0	0	0	0	0	$\sin \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$
Δ_y	0	$\sin \alpha$	0	0	$\cos^2 \alpha - 1$	0	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$
L_x	0	0	0	0	0	$\sin \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$	$2 \cos \alpha$
L_y	1	$\sin \alpha$	0	0	$\cos^2 \alpha - 1$	0	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$	$2 \sin \alpha$

Анализ результатов показывает отсутствие влияния допуска размера a на точность установки из-за малости отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза. Также из полученных значений передаточных коэффициентов C_j видно, что призма дает погрешность установки не только вдоль своей оси симметрии, вертикальной оси OY , но и вдоль горизонтальной оси OX (погрешность центрирования), что может вызывать дополнительные отклонения операционных размеров в процессе выполнения технологических

операций (например, эксцентриситеты отверстий, отклонения от симметричности шпоночных пазов и др.). Погрешность установки вдоль оси OX определяется отклонением от симметричности V-образного паза, характеризуемым допуском угла β ; наличием размеров δ_1 и δ_2 , характеризующих отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза; неравномерных изнашивания I и контактных деформаций U боковых сторон V-образного паза.

Анализ передаточных коэффициентов макроотклонений

Влияние погрешностей формы базовых поверхностей V-образного паза призмы выполняется при помощи двух расчетных схем. Точность боковых сторон паза будет нормироваться одинаково, т.е. $\delta_1 = \delta_2$.

Первая расчетная схема размерных связей, формирующихся при установке заготовок в опорной призме, аналогична описанной выше (см. рис. 1). В данной схеме макронеровности δ , износ I и контактные деформации U с обеих

сторон V-образного паза принимаются одинаковыми. Также одинаковы и вспомогательные параметры a , b и r .

Форма базовых поверхностей паза призмы рассматривается вогнутой с обеих сторон. Такая форма на практике встречается наиболее часто, что обусловлено закономерностями изнашивания шлифовальных кругов, используемых при изготовлении опорных призм, и изнашивания самого V-образного паза в процессе эксплуатации станочного приспособления.

Система размерных уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= a \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b \cos(\alpha - \beta) + r \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(-\alpha - \beta + \varphi_2) + I \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + \\
 &+ U \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + r \cos(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + b \cos(-\alpha - \beta) + a \cos(-90^\circ - \alpha - \beta) = 0; \\
 f_2 &= a \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b \sin(\alpha - \beta) + r \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(-\alpha - \beta + \varphi_2) + I \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + \\
 &+ U \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + r \sin(180^\circ - \alpha - \beta + \varphi_2) + b \sin(-\alpha - \beta) + a \sin(-90^\circ - \alpha - \beta) = 0; \\
 f_3 &= b + \delta - r = 0; \\
 f_4 &= a \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b \cos(\alpha - \beta) + r \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) = \Delta_x; \\
 f_5 &= a \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b \sin(\alpha - \beta) + r \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + I \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ U \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) = \Delta_y; \\
 f_6 &= H \cos 90^\circ + a \cos(90^\circ + \alpha - \beta) + b \cos(\alpha - \beta) + r \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ I \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U \cos(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \cos 90^\circ = L_x; \\
 f_7 &= H \sin 90^\circ + a \sin(90^\circ + \alpha - \beta) + b \sin(\alpha - \beta) + r \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + \\
 &+ I \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + U \sin(180^\circ + \alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin(\alpha - \beta + \varphi_1) + R \sin 90^\circ = L_y;
 \end{aligned}$$

В результате получаем следующие выражения для определения передаточных коэффициентов C_j для всех рассматриваемых параметров, представленные в виде матрицы:

$$\begin{Bmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ L_x \\ L_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{R}{\sin \alpha} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1} & 0 & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{R}{\sin \alpha} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \frac{\sin \alpha + 1}{\sin \alpha} & -\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1} & 0 & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_H \\ T_R \\ T_\alpha \\ T_\beta \\ T_\delta \\ T_I \\ T_U \end{Bmatrix}.$$

Из полученных выражений C_δ (см. табл.1) следует, что в заданных условиях макроотклонения δ оказывают влияние только на погрешность установки заготовки в направлении оси OY и при этом достигают максимальных значений.

Для получения другого предельного положения заготовки в опорной призме использовалась расчетная схема, представленная на рис. 2. Ее особенность заключается в том, что левая плоскость паза призмы выпукла, а правая – вогнута. При таких фактических значе-

ниях отклонений от плоскостности смещение заготовки происходит преимущественно в направлении горизонтальной оси OX .

Построение системы размерных уравнений и ее решение выполняется аналогично. Полученная матрица передаточных коэффициентов C_j отличается лишь значениями передаточных коэффициентов для допуска отклонения от плоскостности базовых поверхностей V-образного паза T_δ .

Передаточные коэффициенты, характеризующие влияние на смещение вала вдоль оси OY равны 0, а передаточные коэффициенты, характеризующие влияние на смещение вала вдоль оси OX , после подстановки номинального значения для размера a равны $1/\cos \alpha$. Направление выпуклости макронеровностей в расчетной схеме оказывает влияние лишь на знак передаточного коэффициента.

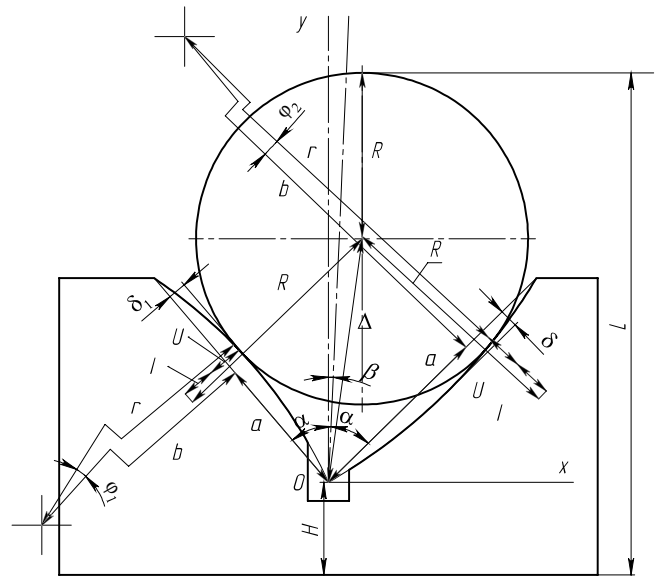


Рис. 2. Расчетная схема с выпукло-вогнутыми поверхностями призмы

$$\begin{pmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ L_x \\ L_y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{R}{\sin \alpha} & \frac{1}{\cos \alpha} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1} & 0 & 0 & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{R}{\sin \alpha} & \frac{1}{\cos \alpha} & 0 & 0 \\ 1 & \frac{\sin \alpha + 1}{\sin \alpha} & -\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1} & 0 & 0 & -\frac{1}{\sin \alpha} & -\frac{1}{\sin \alpha} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} T_H \\ T_R \\ T_\alpha \\ T_\beta \\ T_\delta \\ T_I \\ T_U \end{pmatrix}$$

Расчет погрешности установки заготовок в опорной призме. Погрешность установки заготовки в опорную призму для размера Δ может быть определена следующим образом [9]:

– в вертикальном направлении (ось OY)

$$\varepsilon_y = \sqrt{K_H^2 T_H^2 + K_R^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha}\right)^2 T_R^2 + K_\alpha^2 \left(\frac{R \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - 1}\right)^2 T_\alpha^2 + K_\delta^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha}\right)^2 T_\delta^2 + \dots + K_I^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha}\right)^2 T_I^2 + K_U^2 \left(\frac{1}{\sin \alpha}\right)^2 T_U^2} / K_\Sigma;$$

– в горизонтальном направлении (ось OX)

$$\varepsilon_x = \sqrt{K_\beta^2 \left(\frac{R}{\sin \alpha}\right)^2 T_\beta^2 + K_\delta^2 \left(\frac{1}{\cos \alpha}\right)^2 T_\delta^2 + K_I^2 \left(\frac{1}{2 \cos \alpha}\right)^2 T_I^2} / K,$$

где K_i, K_Σ – коэффициенты относительного рассеяния соответственно i -го параметра и исходного звена (погрешности установки) [9].

В полученных выражениях можно выделить составляющие погрешности установки: погрешность базирования, погрешность закрепления и погрешность положения.

Учет точности обеспечения угловых параметров V-образного паза при изготовлении опорной призмы. На практике часто точность опорных призм обеспечивается ме-

тодом пригонки в процессе окончательной шлифовки установочных элементов приспособления в сборе. Контроль точности изготовления призмы выполняется при помощи контрольного вала по размеру L (рис. 3).

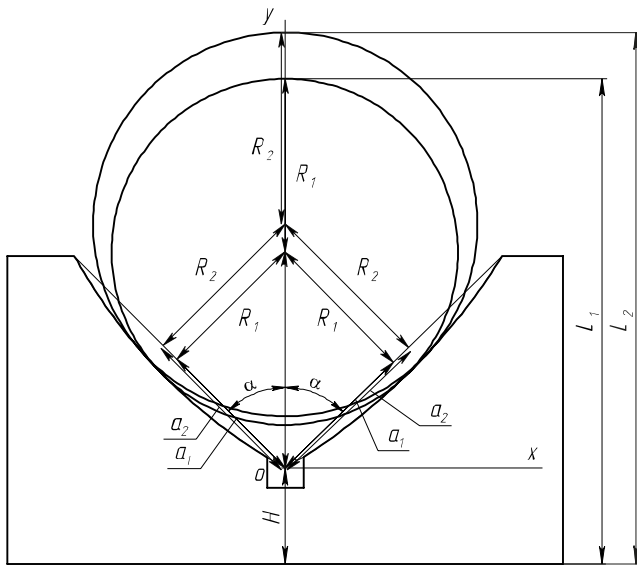


Рис. 3. Схема пригонки призмы

Для стандартных опорных призм ГОСТ 12195-66 нормирует значения диаметра d контрольного вала и размер L , точность которого

должна соответствовать отклонению $h6$. Аналогично точность задается в других стандартах, описывающих конструкции призм, используемых в станочных приспособлениях.

В случае обеспечения точности размера L опорной призмы по контрольному валу в качестве компенсирующего звена выбирается размер H , определяющий высоту V-образного паза относительно основания призмы или базовой плоскости корпуса приспособления, используемой для установки на стол станка. Затем в процессе шлифовки призмы и снятия материала с боковых сторон паза добиваются необходимой точности по размеру L .

Такая схема срабатывает только без учета влияния угловых размеров на точности призмы. В частности, важно жестко лимитировать допуск угла α V-образного паза. Согласно ГОСТ 12195-66 диаметр d контрольного вала выбирается из середины интервала возможных диаметров базовых поверхностей заготовок. Следовательно, после пригонки призмы в размер L по диаметру d контрольного вала, установка и обработка заготовок с номиналом базовой поверхности больше d может приводить к браку.

В представленной расчетной схеме можно выделить следующие размерные контуры:

$$\begin{aligned} f_1 &= a_1 \cos(90^\circ + \alpha) + R_1 \cos(\alpha) + R_1 \cos(-\alpha) + a_1 \cos(-90^\circ - \alpha) = 0; \\ f_2 &= a_2 \cos(90^\circ + \alpha) + R_2 \cos(\alpha) + R_2 \cos(-\alpha) + a_2 \cos(-90^\circ - \alpha) = 0; \\ f_3 &= H \cos 90^\circ + a_1 \cos(90^\circ + \alpha) + R_1 \cos(\alpha) + R_1 \cos(90^\circ) + L_1 \cos(-90^\circ) = 0; \\ f_4 &= H \sin 90^\circ + a_1 \sin(90^\circ + \alpha) + R_1 \sin(\alpha) + R_1 \sin(90^\circ) + L_1 \sin(-90^\circ) = 0; \\ f_5 &= H \cos 90^\circ + a_2 \cos(90^\circ + \alpha) + R_2 \cos(\alpha) + R_2 \cos(90^\circ) = L_{2x}; \\ f_6 &= H \sin 90^\circ + a_2 \sin(90^\circ + \alpha) + R_2 \sin(\alpha) + R_2 \sin(90^\circ) = L_{2y}. \end{aligned}$$

Коэффициент передаточного отношения размера L_1 на точность размера заготовки L_2 , определяется выражением $[C - EB^{-1}A]$. После подстановки номинальных значений размеров $a_1 = R_1/\operatorname{tg}\alpha$ и $a_2 = R_2/\operatorname{tg}\alpha$ получим:

$$\begin{Bmatrix} L_{2x} \\ L_{2y} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2R_2 - R_1}{R_1} \end{bmatrix} \{T_{L1}\}.$$

Из данного выражения видно, что установка заготовок с размером базовой поверхности R_2 , превышающей размер контрольного вала R_1 , может приводить к выходу за допуск по размеру L_2 . Таким образом, необходимо более жестко нормировать допуски угловых размеров стандартных призм, либо выбирать в качестве диаметра контрольного вала наибольший диаметр из подходящего интервала уста-

навливаемых деталей.

Заключение

В статье на примере приспособления с опорной призмой показан анализ погрешности установки станочных приспособлений при помощи размерного анализа. Получены выражения для определения погрешности установки в целом, а также выражения для определения передаточных коэффициентов отдельных параметров опорной призмы. Показана необходимость учета погрешности центрирования заготовок в опорных призмах (погрешность установки в горизонтальном направлении вдоль оси OY). Описаны недостатки задания точности V-образных пазов призм, используемых в стандартах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Польский, Е.А., Хандожко, А.В., Щербаков, А.Н., Федук, А.Г.** Обеспечение точности станочных узлов на базе унифицированных модулей с учетом контактной жесткости стыков // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – №3(76). – С. 34-42.
2. **Польский, Е.А.** Обеспечение надежности высоко-технологичных сборочных узлов // Научные технологии в машиностроении. – 2019. – №11(101). – С. 24-30.
3. **Польский, Е.А., Филькин, Д.М.** Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на этапах жизненного цикла на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации // Известия Юго-Западного государственного университета. Техника и технологии. – 2014. – №3. – С. 8-19.
4. **Польский, Е.А., Филькин, Д.М.** Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации // Научные технологии в машиностроении. – 2014. – №11(41). – С. 36-43.
5. **Ильицкий, В.Б.** Погрешности базирования и положения деталей в призмах / В.Б. Ильицкий, В.В. Ерохин // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. – №3. – С. 17-21.
6. **Суслов, А.Г., Ерохин, В.В., Говоров, И.В.** Параметры качества функциональных поверхностей призм // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2008. – №6. – С. 35-42.
7. **Филькин, Д.М.** Использование размерного анализа для оценки точности установки // В сб. «Инновационные технологии в машиностроении» / Эл. сб. материалов междунар. у.-тех. конф., посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета; под ред. В.К. Шелега, Н.Н. Попок. - 2018. - С. 133-137.
8. **Jinsong Gao, Kenneth W. Chase, Spencer P. Magleby.** Generalized 3-D tolerance analysis of mechanical assemblies with small kinematic adjustments // IE Transactions. 1998. Vol.30. – Pp.367-377.
9. **Дунаев, П.Ф.** Расчет допусков размеров / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – 399 с.

REFERENCES

1. **Polsky, E.A., Khandozhko, A.V., Shcherbakov, A.N., Fedukov, A.G.** Assurance of machine unit accuracy based on unified modules taking into account contact rigidity of joints // *Bulletin of Byansk State Technical University*. – 2019. – No.3 (76). – pp. 34-42.
2. **Polsky, E.A.** Assurance of high-tech sub-assembly reliability // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2019. – No.11(101). – pp. 24-30.
3. **Polsky, E.A., Filkin, D.M.** Technological support of assembly unit quality during life stages based on analysis of dimension ties taking into account operation // *Proceedings of South-Western State University. Engineering and Technologies*. – 2014. – No.3. – pp. 8-19.
4. **Polsky, E.A., Filkin, D.M.** Technological support of assembly unit quality based on dimension tie analysis taking into account operation // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2014. – No.11(41). – pp. 36-43.
5. **Iliytsky, V.B.** Errors in basing and location of parts in prisms / V.B. Iliytsky, V.V. Yerokhin // *Assemblage in Mechanical Engineering, Instrument Making*. – 2008. – No.3. – pp. 17-21.
6. **Suslov, A.G., Yerokhin, V.V., Govorov, I.V.** Quality parameters of prism functional surfaces // *Reference Book. Engineering Journal with Appendix*. – 2008. – No.6. – pp. 35-42.
7. **Filkin, D.M.** Dimension analysis use for estimate of installation accuracy // In Proceedings “Innovation Technologies in Mechanical Engineering” / *Proceedings of the Inter. Ed.-Tech. Conf. Dedicated to the 50th Anniversary of Polotsk State University*; under the editorship of V.K. Sheleg, N.N. Popok. – 2018. – pp. 133-137.
8. **Jinsong Gao, Kenneth W. Chase, Spencer P. Magleby.** Generalized 3-D tolerance analysis of mechanical assemblies with small kinematic adjustments // *IE Transactions*. 1998. Vol.30. – Pp.367-377.
9. **Dunaev, P.F.** *Computation of Dimension Tolerances* / P.F. Dunaev, O.P. Lelikov. – 4th Edition revised and supplemented. – M.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 399.

Рецензент д.т.н. А.Н. Унянин