

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-1.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/52TVN117.pdf>

Статья опубликована 24.02.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Аникеева О.В., Ивахненко А.Г., Крюков Д.Н. Влияние параметров геометрической точности станков на отклонения расположения обработанных поверхностей // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №1 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/52TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60049 мол_а_дж

УДК 621.9.06:006.83

Аникеева Олеся Владимировна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Россия, Курск¹
Старший научный сотрудник кафедры «Управления качеством, метрологии и сертификации»

Кандидат технических наук

E-mail: olesya-anikeeva@yandex.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7907-451X>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?id=618731

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190963312>

Ивахненко Александр Геннадьевич

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Россия, Курск
Профессор кафедры «Управления качеством, метрологии и сертификации»

Доктор технических наук

E-mail: ivakhnenko2002@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9798-993X>

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?id=175652

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55964533400>

Крюков Дмитрий Николаевич

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Россия, Курск
Инженер кафедры «Управления качеством, метрологии и сертификации»

E-mail: dinamid-kursk@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_items.asp?id=682131

Влияние параметров геометрической точности станков на отклонения расположения обработанных поверхностей

Аннотация. Целью работы является установление математических соотношений между параметрами геометрической точности металлорежущего станка и отклонений расположения обрабатываемых на нем поверхностей за один установ. Основой для выявления данных взаимосвязей является вариационный метод расчета точности. Определение таких соотношений позволит обосновать нормы точности станка. Для достижения поставленной цели авторами было выполнено развитие вариационного метода расчета точности станков на основе исследования структурных свойств их формообразующих систем. В работе представлены возможности определения погрешностей расположения различных поверхностей на основе установленных соотношений. Рассмотрены примеры определения влияния параметров геометрической точности многоцелевого станка на отклонения расположения обработанных на

¹ 305040, Россия, г. Курск, 50 лет Октября, 94

нем поверхностей. При использовании нормативных значений отклонений расположения поверхностей, заданных соответствующими допусками на чертежах обрабатываемых деталей, полученные выражения позволят дополнить известные уравнения, основанные на учете допусков размера и формы, для определения допустимых значений погрешностей станков.

Практическая область применения полученных результатов относится к обработке нетехнологичных деталей, при вынужденном нарушении принципа единства и постоянства конструкторских, технологических и измерительных баз и высоких требованиях к точности взаимного расположения поверхностей деталей.

Ключевые слова: металлорежущие станки; функция формообразования; геометрическая точность; обрабатываемая поверхность; отклонения расположения; баланс точности станка; нормы точности

Введение

Геометрические погрешности узлов формообразующих систем (ФС) металлорежущих станков являются одним из значимых источников образования отклонений от точности обработанных деталей [7]. Выявление взаимосвязей между ними является основой для создания норм точности станков, связанных с размерами обрабатываемых заготовок и классом точности самих станков, соответствующих требуемой точности обработки. Действующие стандарты на нормы геометрической точности станков не охватывают все их уже известные компоновки [5], а также не позволяют обосновывать такие нормы для станков с новыми компоновками. Это несоответствие относится и к агрегатным станкам, компоновки которых имеют отличия в структуре ФС от компоновок станков, для которых разработаны соответствующие ГОСТы.

Основой для выявления взаимосвязей между параметрами геометрической точности ФС станков и обработанных поверхностей является вариационный метод расчета точности [9], нашедший свое применение и при измерениях на координатных измерительных машинах [4]. Дальнейшее развитие вариационный метод получил в работах [2, 3], в которых рассмотрено образование погрешностей размера и формы, а также погрешности положения отдельной обработанной поверхности относительно технологических баз. Там же, в [2, 3] была определена перспективность дальнейшего направления исследований, связанного с раскрытием взаимосвязей между параметрами геометрической точности станка и отклонениями расположения нескольких обработанных поверхностей, поскольку свое служебное назначение деталь выполняет системой поверхностей [6]. Таким образом, исследование влияния геометрической точности станка на отклонения расположения системы обработанных поверхностей, являются актуальными.

Цель данной работы состоит в установлении соотношений между параметрами геометрической точности металлорежущего станка и отклонений расположения обрабатываемых на нем поверхностей за один установ, для обоснования норм точности самого станка.

Исследование структурных свойств формообразующей системы

Достижение поставленной цели требует дальнейшего развития вариационного метода расчета точности станков на основе исследования структурных свойств ФС.

Уравнение номинальной обрабатываемой поверхности [9] имеет вид:

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{r}_0(u, v, q_0), \quad (1)$$

где: u, v - криволинейные координаты поверхности; \mathbf{q}_0 - вектор размерных параметров поверхности; $\mathbf{q}_0 = (q_{01}, \dots, q_{0m1})^T$; $m1$ - количество составляющих вектора \mathbf{q}_0 ; t - символ транспонирования.

Структура ФС полностью определяется функцией формообразования (ФФ) станка [9], здесь представляемой с использованием однородных координат в следующем виде:

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{A}_{0,l} \mathbf{r}_l, \quad (2)$$

где $\mathbf{A}_{0,l} = \prod_{i=1}^l \mathbf{A}_{i-1,i}^{j_i}(\arg_i)$; l - количество подвижных звеньев формообразующей системы станка; матрицы $\mathbf{A}_{i-1,i}^{j_i}$ входящие в произведение, соответствуют одному из шести обобщенных перемещений (\arg_i), выполняемых узлом ($j_i = 1, \dots, 6$); \mathbf{r}_l - радиус-вектор формообразующих точек режущего инструмента.

В выражении (1) целесообразно сразу учесть все имеющиеся виды связей между обобщенными перемещениями \arg_i , что будет иметь важное значение при последующем варьировании уравнения (2).

Функция формообразования (2) имеет и другое представление [9]:

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{r}_0(u, v, \mathbf{q}_{ст}), \quad (3)$$

где: $\mathbf{q}_{ст}$ - вектор связей станка; $\mathbf{q}_{ст} = (q_{ст1}, \dots, q_{стL})^T$; L - количество составляющих вектора $\mathbf{q}_{ст}$ (количество связей), $L=n+m-2$; n - количество звеньев, осуществляющих движение формообразования; m - количество независимых переменных, входящих в модель режущего инструмента.

Равенство выражений (1) и (3) является формализованным описанием служебного назначения станка.

Определение векторного баланса точности $\Delta \mathbf{r}_0$, данное в работе [9] основано на использовании вариации ФФ:

$$\Delta \mathbf{r}_0 = \sum_{i=0}^l \mathbf{A}_{0,i} \boldsymbol{\varepsilon}_i \mathbf{A}_{i,l} \mathbf{r}_l, \quad (4)$$

где: $\boldsymbol{\varepsilon}_i$ - матрица погрешности взаимного расположения S_{i-1} -ой и S_i -ой систем координат ФС, связанных с $i-1$ -м и i -м узлами ФС:

$$\boldsymbol{\varepsilon}_i = \begin{pmatrix} 0 & -\gamma_i & \beta_i & \delta_{xi} \\ \gamma_i & 0 & -\alpha_i & \delta_{yi} \\ -\beta_i & \alpha_i & 0 & \delta_{zi} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

а $\delta_{xi}, \delta_{yi}, \delta_{zi}$ - малые смещения системы координат S_i вдоль осей X, Y, Z ; $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ - малые углы поворота системы координат S_i относительно осей X, Y, Z .

Новые определения векторного баланса точности $\Delta \mathbf{r}_0$ и уравнения реальной обрабатываемой поверхности \mathbf{r} , данные в работе [4], включают в свой состав только те погрешности станка, которые входят в соответствующий скалярный баланс $\Delta r_n = (\mathbf{n}^T \cdot \Delta \mathbf{r}_0)$, где \mathbf{n} - единичный вектор нормали к обрабатываемой поверхности, в структурном виде представлены как:

$$\Delta \mathbf{r}_0 = \boldsymbol{\varepsilon}_0 \mathbf{r}_0 + \boldsymbol{\delta} \mathbf{r}_0 + d \mathbf{r}_0, \quad (6)$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \boldsymbol{\varepsilon}_0 \mathbf{r}_0 + \boldsymbol{\delta} \mathbf{r}_0 + d \mathbf{r}_0. \quad (7)$$

В работе [4] было установлено, что матрица $\boldsymbol{\varepsilon}_0$ полностью определяет изменение положения обрабатываемой заготовки при обработке поверхности \mathbf{r}_0 относительно используемой технологической базы, из-за погрешностей формы поверхностей, служащих для

установки заготовки, и приводящих к возникновению погрешности базирования. Составляющие δr_0 и δr_0 в выражениях (6) и (7), определяют погрешности размера и формы для реально обработанной поверхности.

Выражения (6) и (7) позволили раскрыть структуру погрешностей ФС станка и их влияние на точность некоторой (заданной) обработанной поверхности. Однако для достижения поставленной цели требуется выполнить более глубокий анализ выражений (1) - (3). Для этого учтем, что аргументы матриц обобщенных перемещений в (2) при наличии различных видов связей могут быть представлены только одним из четырех способов:

1. $\arg_i = \text{const}$;
2. $\arg_i = \arg_i(u)$;
3. $\arg_i = \arg_i(v)$;
4. $\arg_i = \arg_i(u, v)$.

Лишь в первом случае i -ый узел ФС не выполняет движений формообразования при обработке поверхности, а служит для выполнения установочных перемещений или настройки на соответствующий размерный параметр. В остальных случаях рассматриваемый узел ФС участвует в выполнении движений формообразования.

Для некоторых компоновок станков их ФФ (2) соответствует следующему структурному представлению:

$$r_0 = \prod_{i=1}^{l_1} A_{i-1,i}^i(\text{const}) \prod_{i=l_1+1}^l A_{i-1,i}^i(u, v) r_l, \quad (8)$$

где l_1 - количество узлов ФС со значениями $\arg_i = \text{const}$ до первого из узлов, участвующих в выполнении движения формообразования, причем последующие узлы могут иметь постоянное значение аргумента матрицы обобщенного перемещения.

Выполнив вариацию ФФ (8) получим выражение аналогичное (4), но с учетом нового определения векторного баланса точности:

$$\Delta r_0 = \sum_{i=0}^{l_1} A_{0,i} \varepsilon_i A_{i,l} r_l + \sum_{i=l_1+1}^l A_{0,i} \varepsilon_i A_{i,l} r_l, \quad (9)$$

где первая сумма в (9) включает узлы, не участвующие в движении формообразования, поэтому именно она будет определять образование погрешностей расположения поверхностей, обрабатываемых за один установ.

Определение погрешностей расположения поверхностей с помощью нового определения векторного баланса точности. Рассмотрим возможности определения погрешностей расположения различных поверхностей на основе выражения (9). Отметим, что уравнение (7) с учетом полученного уточнения является уравнением реальной обработанной поверхности в векторной форме.

Применяемые виды допусков расположения поверхностей² представлены на рис. 1.

² ГОСТ 2.308-2011. ЕСКД. Указания допусков формы и расположения поверхностей. Взамен ГОСТ 2.308-79; введ. 2012-01-01. М.: Стандартиформ, 2012. 27 с.

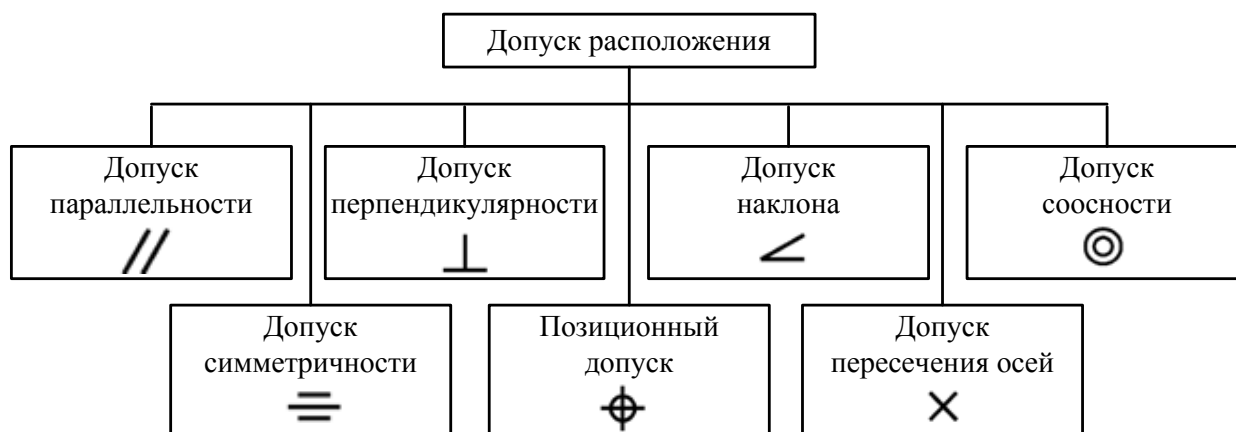


Рисунок 1. Допуски расположения поверхностей (адаптировано и разработано авторами из ГОСТ 2.308-2011)

Сначала представим в общем виде зависимости для определения отклонений расположения поверхностей независимо от структуры ФС станка, на котором обе они были обработаны. Итак, пусть имеются две реальные обработанные поверхности $r_1(u, v, q_{0,1})$ и $r_2(u, v, q_{0,2})$, являющиеся функциями одних и тех же криволинейных координат u и v , с соответствующими векторами размерных параметров, а их обработка осуществлялась без смены технологических баз. Выражения для $r_1(u, v, q_{0,1})$ и $r_2(u, v, q_{0,2})$ могут относиться к реальным и выявленным полным геометрическим элементам³, а выявленные производные геометрические элементы для этих поверхностей могут быть получены при введении различных связей между криволинейными координатами, в т.ч. $u = \text{const}$, $v = \text{const}$, $u = u(v)$. Данным реальным поверхностям соответствуют номинальные обрабатываемые поверхности $r_{0,1}(u, v)$ и $r_{0,2}(u, v)$, допуски на взаимное расположение которых, указаны на чертеже детали.

Величину угла $\eta_{1,2}$ между двумя радиусами-векторами реальных обработанных поверхностей находят из выражения для их скалярного произведения:

$$\cos \eta_{1,2} = \frac{r_1 \cdot r_2}{|r_1| |r_2|}, \quad (10)$$

а расстояние $\rho(r_1, r_2)$ между этими радиусами-векторами будет равно:

$$\rho(r_1, r_2) = \sqrt{(r_2(1,1) - r_1(1,1))^2 + (r_2(2,1) - r_1(2,1))^2 + (r_2(3,1) - r_1(3,1))^2}. \quad (11)$$

Выражения (10) и (11) являются основой для определения соответствующих отклонений расположения поверхностей, поскольку согласно выражениям (7) и (9) эти отклонения обусловлены соответствующими геометрическими погрешностями узлов ФС станка. Зависимости (10) и (11) являются существенно нелинейными, поэтому для их практического применения целесообразно использовать известные методы линеаризации [8].

Отметим, что учет структуры ФС станка при определении отклонений расположения поверхностей является необходимым условием обеспечения зависимости $r_1(u, v, q_{0,1})$ и $r_2(u, v, q_{0,2})$ от одних и тех же криволинейных координат u и v .

Примеры определения влияния параметров геометрической точности станка на погрешности расположения обработанных поверхностей. Рассмотрим примеры определения влияния параметров геометрической точности многоцелевого станка (рис. 2), с

³ ГОСТ 31254-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения. Введ. 2005-07-01. М.: Стандартинформ, 2005. 12 с.

кодом компоновки 12036, соответствующего, например, компоновкам станков ГФ 171М4, ЛР 522МФ4, VMC850P, VMC1000P, на отклонения расположения обработанных на нем поверхностей.

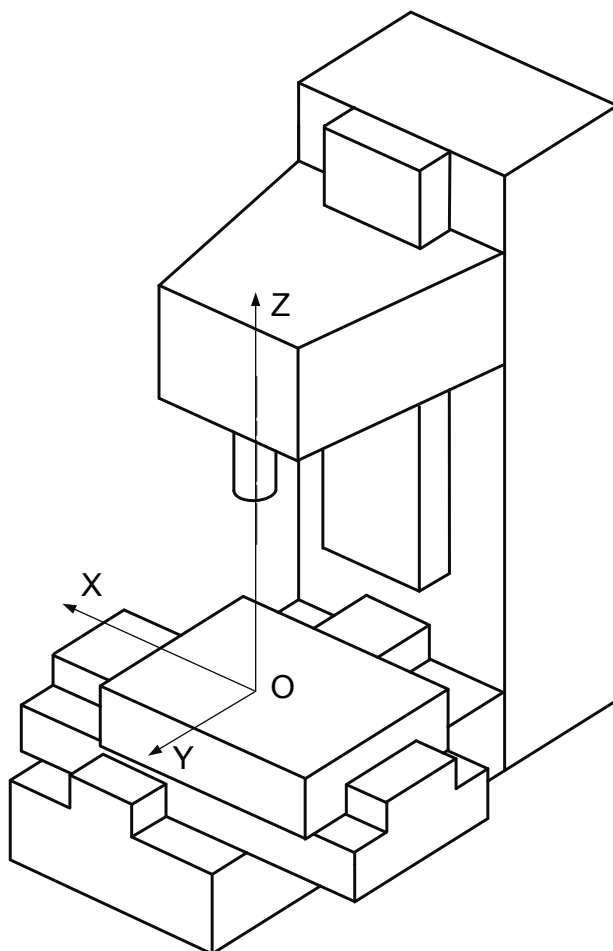


Рисунок 2. Формообразующая система многоцелевого станка [1]

Этот станок может выполнять три одновременно управляемых перемещения вдоль осей X, Y и Z, а шпиндель реализует главное движение - вращение режущего инструмента вокруг оси Z, при этом его ФФ без учета связей имеет вид

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{A}^1(x)\mathbf{A}^2(y)\mathbf{A}^3(z)\mathbf{A}^6(\varphi)\mathbf{r}_l, \quad (12)$$

а векторный баланс точности станка вида (4) равен

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r}_0 = & (\boldsymbol{\varepsilon}_0 \mathbf{A}^1(x)\mathbf{A}^2(y)\mathbf{A}^3(z)\mathbf{A}^6(\varphi) + \mathbf{A}^1(x)\boldsymbol{\varepsilon}_1 \mathbf{A}^2(y)\mathbf{A}^3(z)\mathbf{A}^6(\varphi) + \\ & + \mathbf{A}^1(x)\mathbf{A}^2(y)\boldsymbol{\varepsilon}_2 \mathbf{A}^3(z)\mathbf{A}^6(\varphi) + \mathbf{A}^1(x)\mathbf{A}^2(y)\mathbf{A}^3(z)\boldsymbol{\varepsilon}_3 \mathbf{A}^6(\varphi)) \mathbf{r}_l. \end{aligned} \quad (13)$$

На данном станке выполняется обработка двух отверстий в корпусной детали (рис. 3), к которым имеются некоторые требования к точности их взаимного расположения. Сама обработка осуществляется расточным резцом, радиус-вектор которого равен $\mathbf{r}_l = (R_i; 0; 0; 1)^T$, где R_1, R_2 - радиусы отверстий.

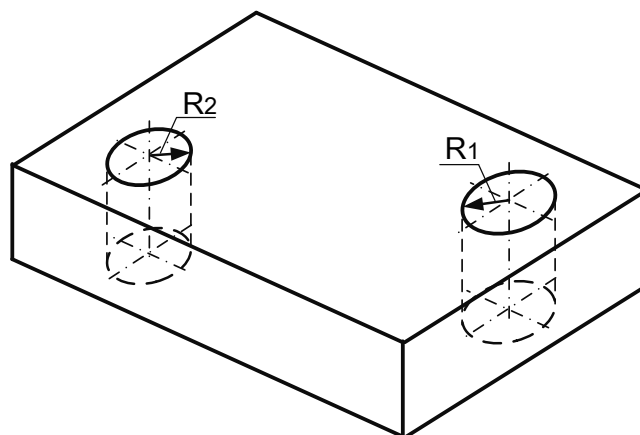


Рисунок 3. Деталь, обрабатываемая на многоцелевом станке (разработано авторами)

Уравнения номинальных обрабатываемых поверхностей вида (1) равны для первого и второго отверстий, соответственно:

$$\mathbf{r}_{0,1} = (R_1 \cos \varphi; R_1 \sin \varphi; z; 1)^T, \mathbf{r}_{0,2} = (R_2 \cos \varphi + x; R_2 \sin \varphi + y; z; 1)^T,$$

а уравнение единичного вектора нормали к этим поверхностям является одинаковым: $\mathbf{n} = (\cos \varphi; \sin \varphi; 0; 0)^T$.

В таблице 1 представлены уравнения реальных обработанных поверхностей, полученных на основе применения нового определения по работе [4], а также с учетом вариации связей положения.

При назначении допусков и измерениях отклонений взаимного расположения отверстий используют производные геометрические элементы (оси этих отверстий), уравнения которых не включают размерные параметры и представлены в таблице 2.

Таблица 1

Радиусы-векторы реальных обработанных поверхностей отверстий (разработано авторами)

Отверстие с радиусом	Радиус-вектор
R ₁	$\mathbf{r}_1 = \begin{pmatrix} R_1 \cos \varphi + z \sum_{i=0}^2 \beta_i + \sum_{i=0}^3 \delta x_i \\ R_1 \sin \varphi - z \sum_{i=0}^2 \alpha_i + \sum_{i=0}^3 \delta y_i \\ z + R_1 \sin \varphi \sum_{i=0}^2 \alpha_i - R_1 \cos \varphi \sum_{i=0}^2 \beta_i \\ 0 \end{pmatrix}$

Отверстие с радиусом	Радиус-вектор
R_2	$\mathbf{r}_2 = \begin{pmatrix} R_2 \cos\varphi + x + \Delta x + z \sum_{i=0}^2 \beta_i - (y + \Delta y) \sum_{i=0}^1 \gamma_i + \sum_{i=0}^3 \delta x_i \\ R_2 \sin\varphi + y + \Delta y - z \sum_{i=0}^2 \alpha_i + (x + \Delta x) \gamma_0 + \sum_{i=0}^3 \delta y_i \\ z + R_2 \sin\varphi \sum_{i=0}^2 \alpha_i - R_2 \cos\varphi \sum_{i=0}^2 \beta_i + (y + \Delta y) \sum_{i=0}^1 \alpha_i - (x + \Delta x) \beta_0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Таблица 2

**Радиусы-векторы осей реальных обработанных поверхностей отверстий
(разработано авторами)**

Отверстие с радиусом	Радиус-вектор
R_1	$\mathbf{r}_{1,ось} = \begin{pmatrix} z \sum_{i=0}^2 \beta_i + \sum_{i=0}^3 \delta x_i \\ -z \sum_{i=0}^2 \alpha_i + \sum_{i=0}^3 \delta y_i \\ z \\ 0 \end{pmatrix}$
R_2	$\mathbf{r}_{2,ось} = \begin{pmatrix} x + \Delta x + z \sum_{i=0}^2 \beta_i - (y + \Delta y) \sum_{i=0}^1 \gamma_i + \sum_{i=0}^3 \delta x_i \\ y + \Delta y - z \sum_{i=0}^2 \alpha_i + (x + \Delta x) \gamma_0 + \sum_{i=0}^3 \delta y_i \\ z + (y + \Delta y) \sum_{i=0}^1 \alpha_i - (x + \Delta x) \beta_0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Теперь, при нахождении углов и расстояний в выражениях (10) и (11), можно использовать радиусы-векторы не самих реальных обработанных поверхностей \mathbf{r}_1 и \mathbf{r}_2 , а их осей - $\mathbf{r}_{1,ось}$ и $\mathbf{r}_{2,ось}$. Отметим, что составляющие Δx и Δy являются погрешностями перемещения (позиционирования) продольного и поперечного столов, а остальные погрешности характеризуют взаимное положение узлов ФС.

Поскольку расстояние между осями номинальных обрабатываемых поверхностей равно $\rho(\mathbf{r}_{0,1}, \mathbf{r}_{0,2}) = (x^2 + y^2)^{1/2}$, то после промежуточных преобразований, получим выражение для связи квадрата соответствующей величины позиционного отклонения $\Delta\rho^2(\mathbf{r}_{1,ось}, \mathbf{r}_{2,ось})$ с геометрическими погрешностями станка

$$\begin{aligned} \Delta\rho^2(\mathbf{r}_{1,ось}, \mathbf{r}_{2,ось}) = & 2(x\Delta x + y\Delta y) - 2xy(\gamma_1 + \beta_0 \sum_{i=0}^1 \alpha_i) + \\ & + y^2((\sum_{i=0}^1 \gamma_i)^2 + (\sum_{i=0}^1 \alpha_i)^2) + x^2(\gamma_0^2 + \beta_0^2). \end{aligned} \quad (14)$$

Отсюда видно, что значимость всех составляющих погрешностей $\{\Delta x, \Delta y, \alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1, \gamma_0, \gamma_1\}$ входящих в уравнение (14) - одинакова, поэтому учет только составляющих погрешностей позиционирования Δx и Δy для расчета позиционного отклонения нельзя признать корректным.

При нахождении отклонения от параллельности осей двух реальных обработанных отверстий по выражению (10) целесообразно в знаменателе пренебречь малыми членами, а в числителе рассматривать только члены первого порядка малости, тогда после промежуточных преобразований получим:

$$\cos \eta_{1,2} = \frac{x(\beta_1 + \beta_2) - y\alpha_2}{z} + 1. \quad (15)$$

Полученные выражения (14) и (15) раскрывают применение общих тригонометрических формул (10) и (11) для установления соотношений между параметрами геометрической точности металлорежущего станка и отклонений расположения обрабатываемых на нем поверхностей. При использовании нормативных значений отклонений расположения поверхностей, заданных соответствующими допусками на чертежах обрабатываемых деталей, данные выражения позволят дополнить уравнения, приведенные в [2] и основанные на учете допусков размера и формы, для определения допустимых значений погрешностей станков.

Заключение

Следует сделать существенное замечание о практической области применения полученных результатов, поскольку здесь расположение второго отверстия задается относительно первого отверстия, причем оба они обрабатываются за один установ. Иными словами, первое отверстие является конструкторской базой, относительно которого задается допуск на расположение второго отверстия, но само оно не может являться технологической базой. При установлении позиционного допуска здесь нет противоречия, поскольку необходимость указания конструкторской базы необязательна⁴, а вот для всех остальных допусков расположения требуется указание конструкторских баз. Тем не менее, существует значительное количество деталей, конструкция которых не позволяет обеспечить реализацию принципа единства и постоянства конструкторских, технологических и измерительных баз [10], но требования к точности взаимного расположения поверхностей у которых являются высокими. Представленные результаты и позволяют обеспечить достижение таких требований.

Таким образом, в данной работе для обоснования норм точности металлорежущего станка установлены соотношения между параметрами его геометрической точности и отклонениями расположения обрабатываемых на нем поверхностей за один установ.

⁴ ГОСТ Р 53442-2009. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения. Введ. 2012-01-01. М.: Стандартинформ, 2010. 51 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов О.И., Гельштейн Я.М. Информационное обеспечение проектирования металлорежущих станков: Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. - М.: ВНИИТЭМР; вып. 1, 1988. - 44 с.
2. Анисеева, О.В. К построению системы оценок точности обработанных поверхностей / О.В. Анисеева // Научно-технический вестник Поволжья. - №6, 2016. - С. 33-37.
3. Анисеева, О.В. Развитие вариационного метода расчета точности металлорежущих станков / О.В. Анисеева // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - №5, 2016. - С. 111-118.
4. Брянкин, С.Ю. Разработка и исследование методов и средств метрологического обслуживания крупногабаритных координатно-измерительных машин [Текст]: Автореферат ... к.т.н., спец. 05.11.15. - М., 2011. 33 с.
5. Долженкова, С.Б. Выявление геометрических погрешностей металлорежущих станочных систем, влияющих на точность обработки / С.Б. Долженкова, А.Г. Ивахненко, В.В. Куц // Известия Курского государственного технического университета. - 2010. - №2 (31). - С. 60-65.
6. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учеб. для машиностроит. спец. Вузов. - М.: Высш. шк., 2001. - 591 с.
7. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1985. - 288 с.
8. Расчет точности машин и приборов: научное издание / В.П. Булатов, И.Г. Фридлиндер, А.П. Баталов [и др.] // Под общ. ред. В.П. Булатова, И.Г. Фридлиндера. - СПб.: Политехника, 1993. - 495 с.
9. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1986. - 336 с.
10. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.Н. Волков [и др.] // Под общ. ред. Ю.Д. Амирова. - М.: Машиностроение, 1990. - 768 с.

Anikeeva Olesya Vladimirovna

Southwest state university, Russia, Kursk
E-mail: olesya-anikeeva@yandex.ru

Ivakhnenko Alexander Gennadievich

Southwest state university, Russia, Kursk
E-mail: ivakhnenko2002@mail.ru

Krukov Dmitriy Nikolaevich

Southwest state university, Russia, Kursk
E-mail: dinamid-kursk@mail.ru

The influence of machine tools geometric accuracy parameters on the position deviations of the machinable surfaces

Abstract. The aim of this work is to establish mathematical relationships between the parameters of the geometric accuracy of machine tools and the position deviations of the machinable it surfaces in a single clamping. The basis to identification of these relationships is the variational method for calculating the accuracy of machine tools. The definition relationships will allow proving standards of machine tool accuracy. To achieve stated aim goal the authors are completed the development of is the variational method for calculating the accuracy of machine tools based on the study of the structural properties of their forming systems. In work the opportunities are presented for a determining of the position errors various surfaces on the basis of established relationships. As an example, the determination of influence of the multi-purpose machine parameters accuracy on the position deviations of the machinable it surfaces. When using standard the position deviations of the surfaces values specified in the machined parts drawings in form the appropriate tolerances then the obtained expression will complement the known equations to determine the allowed values of the errors of machines. Herewith the known equations are based on the tolerances of size and shape.

The obtained results practical application is relates to processing of low-tech items in case of involuntary violation of the principle unity and permanence of design, technology and measurement bases and high requirements to accuracy of relative position of surfaces.

Keywords: machine-tools; forming function; geometric accuracy; processed surface; position deviations; machine precision balance; standards of accuracy