

УДК 006.91

DOI: 10.30987/article\_5c129143d7a9d7.20001265

**Б.М. Базров, д.т.н.,  
М.Ю. Четвернин, аспирант**  
(ФГБУН ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН, 101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., д. 4)  
E-mail: modul\_lab@mail.ru

## **Влияние нестабильности положения оси вращения заготовки на точность изготовления детали, ее контроля и балансировки**

*Приведены результаты исследования влияния нестабильности положения оси вращения заготовки на точность изготовления детали. Показано, что определение положения оси вращения детали посредством измерения радиального биения не дает возможности определить положение оси вращения детали, в связи с чем, предлагается способ, базирующийся на измерении траектории движения двух его точек в поперечном сечении. Приведены зависимости погрешности балансировки детали при эксплуатации от погрешности оси ее вращения.*

**Ключевые слова:** деталь; точка; центр вращения; ось вращения; радиальное биение; точность; станок; кругломер; обработка; базирование; контроль; подвижность.

**B.M. Bazrov, Dr. Sc. Tech.  
M.Yu. Chetvernin, Post graduate student**  
(FSBIS Blagonravov IMACH of RAS, 4, Small Kharitonievsky Alleyway, Moscow, 101990)

## **Instability impact of blank rotation axis upon accuracy of manufacturing part, its control and balancing**

*The investigation results of the instability impact of a blank rotation axis upon accuracy of manufacturing a part are presented. It is shown that the definition of a rotation axis position of a part by means of a radial runout measurement does not give a possibility to determine the position of a part rotation axis in this connection there is offered a method based on the measurement of a motion path of its two points in a cross-section. There are shown dependences of the balancing error of a part during the operation upon the error of its rotation axis.*

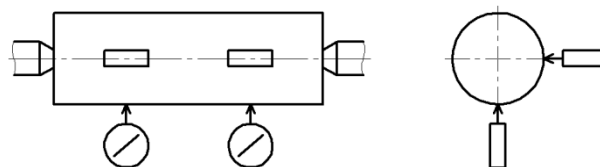
**Keywords:** part; point; center of rotation; rotation axis; radial runout; accuracy; machine; round gauge; processing, basing; control; mobility.

Нестабильность положения оси вращения детали оказывает большое влияние на качество работы машин и механизмов, например, станков, балансировочных машин, измерительных приборов и др.

Положение оси вращения детали определяется посредством измерения ее радиального биения. Оценка точности детали, в том числе нестабильность положения оси ее вращения, является важной задачей [1].

На рис. 1 показана схема измерения положения оси вращения вала посредством контроля радиального биения в двух поперечных

сечениях, в двух взаимно перпендикулярных направлениях.



**Рис. 1. Схема контроля положения оси вращения вала посредством измерения радиального биения**

Однако радиальное биение показывает не

положение центра вращения детали, а сумму погрешностей: погрешность геометрической формы поверхности детали в контролируемом сечении, смещение центра вращения на постоянную величину относительно измерительных баз и колебания положения центра вращения детали за оборот.

Такой способ измерения не позволяет выявить влияние нестабильности положения оси вращения на качество работы машины, механизма.

С целью устранения нестабильности положения центра вращения был разработан способ измерения положения центра вращения, базирующийся на измерении траектории движения двух точек, расположенных в контролируемом поперечном сечении детали [2, 3].

При вращении детали в каждый момент времени фиксируются координаты  $(x, y)$  положения двух точек поперечного сечения детали в неподвижной системе координат.

Положение мгновенного центра поворота (МЦП) детали определяется как точка пересечения двух перпендикуляров, восстановленных к отрезкам, образованным двумя положениями двух точек (рис. 2) и проходящих через середины этих отрезков.

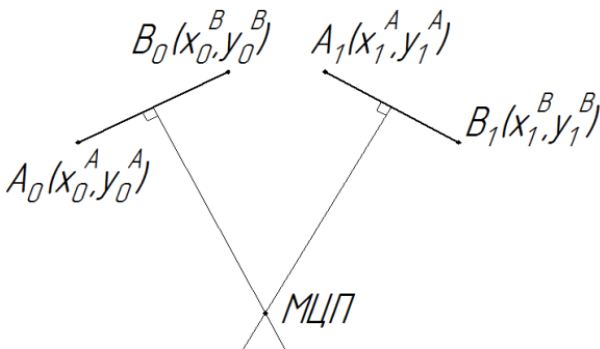


Рис. 2. Схема определения положения мгновенного центра поворота детали

Исходными данными для расчета положения МЦП являются координаты двух точек:  $A_0 \{X_0^A, Y_0^A\}$  и  $B_0 \{X_0^B, Y_0^B\}$ , образующих отрезок  $\{A_0, B_0\}$ .

В результате поворота детали на угол  $\varphi$  образуется второй отрезок  $\{A_1, B_1\}$ .

Второй отрезок образован переходом точки  $A$  из положения  $A_0 \{X_0^A, Y_0^A\}$  в положение  $A_1 \{X_1^A, Y_1^A\}$  и переходом точки  $B_0 \{X_0^B, Y_0^B\}$  в положение  $B_1 \{X_1^B, Y_1^B\}$ :

Составим уравнения двух отрезков:

$\frac{x-x_0^A}{x_1^A-x_0^A} = \frac{y-y_0^A}{y_1^A-y_0^A}$  – для отрезка образованного точкой  $A$  и

$\frac{x-x_0^B}{x_1^B-x_0^B} = \frac{y-y_0^B}{y_1^B-y_0^B}$  – для отрезка образованного точкой  $B$ .

Приводим их уравнения к виду [4]:

$$ax + by + c = 0; \quad (1)$$

Сначала находим координаты серединных точек этих отрезков по формулам

$$X_{cA} = X_0^A + \Delta X^A / 2;$$

$$Y_{cA} = Y_0^A + \Delta Y^A / 2;$$

$$X_{cB} = X_0^B + \Delta X^B / 2;$$

$$Y_{cB} = Y_0^B + \Delta Y^B / 2;$$

где  $\Delta X^A = X_1^A - X_0^A$ ;  $\Delta Y^A = Y_1^A - Y_0^A$ ;

$$\Delta X^B = X_1^B - X_0^B \text{ и } \Delta Y^B = Y_1^B - Y_0^B.$$

Приводим уравнения к каноническому виду (1).

Далее восстанавливаем перпендикуляры к этим отрезкам, проходящие через их середины:  $n = \{a, b\}$ . Определяем координаты точки пересечения перпендикуляров, которая является МЦП.

Рассчитывая траекторию движения МЦП за оборот детали, получаем траекторию движения центра вращения детали за один оборот.

Зная траекторию движения МЦП детали за один оборот в двух поперечных сечениях, можно определить движение оси вращения детали.

Предложенный способ определения положения оси вращения детали позволяет исключить влияние погрешности формы контролируемой поверхности детали на точность измерения.

Для оценки нестабильности положения центра вращения детали рассмотрим ее как сумму двух составляющих:

- смещение центра вращения на постоянную величину за оборот (эксцентриситет);
- колебание центра вращения за один оборот.

Обе составляющие могут изменяться от оборота к обороту детали.

На рис. 3 показаны варианты движения оси вращения детали.

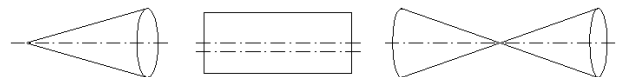
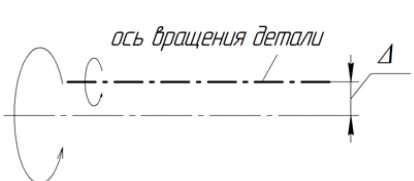
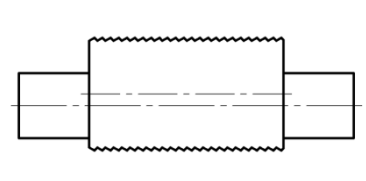
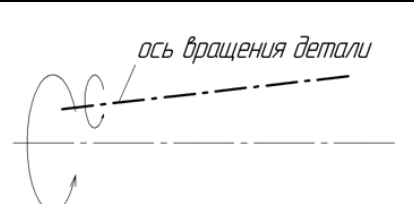
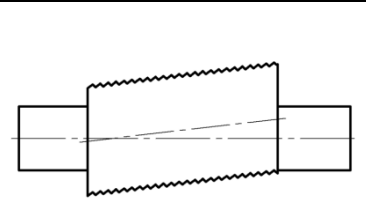

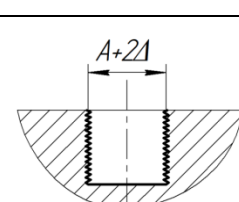

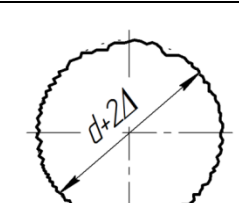


Рис. 3. Варианты траектории движения оси вращения детали

Рассмотрим влияние нестабильности положения оси вращения детали на качество работы станка, балансировочной машины и контрольно-измерительного прибора (кругломера).

В табл. 1 представлены погрешности обработки заготовки на станках.

## 1. Влияние нестабильности положения оси вращения заготовки инструмента на точность обработки

Вид обработки	Траектория движения оси вращения заготовки	Погрешность обработки детали
Точение цилиндрической поверхности		
		
Фрезерование паза		
Сверление отверстия		

При изготовлении детали на токарном станке при ее базировании в центрах, смещение оси технологических баз заготовки относительно оси вращения шпинделя приводит к смещению обрабатываемой поверхности относительно ее технологических баз.

При смещении оси вращения заготовки параллельно линиям центров обрабатываемая поверхность окажется смещенной параллельно оси, проходящей через центровые отверстия, а при линейном изменении смещения оси вращения вдоль оси детали приведет к повороту обработанной поверхности относительно центровых отверстий детали.

При колебании величины смещения оси вращения заготовки на протяжении всей обработки возникают микропогрешности ее формы в поперечном и продольном сечениях.

При изготовлении шпоночного паза концевой фрезой на фрезерном станке нестабильность положения оси фрезы вызывает увеличение ширины паза и образование микро-

ровностей на боковых поверхностях паза.

В зависимости от траектории движения оси вращения концевой фрезы указанные погрешности могут изменяться по длине паза.

При сверлении отверстия на сверлильном станке нестабильность положения оси вращения сверла приводит к увеличению диаметра отверстия и микронеровностям поверхности отверстия.

Рассмотрим влияние нестабильности положения оси вращения детали при ее балансировке.

Одним из факторов, вызывающих дисбаланс ротора является нестабильность положение его оси вращения. Особо важное значение приобретает стабилизация положения оси вращения для роторов, вращающихся со скоростями в десятки тысяч оборотов в минуту и выше. Например, при смещении оси вращения ротора на 1,0 мкм при весе ротора 500 кг и рабочих оборотах 10 000 об/мин величина неуравновешенной силы, действующей на опо-

ры ротора составляет 500 Н, а при смещении оси вращения на 0,1 мм величина неуравновешенной силы составляет уже 50 000 Н. Это показывает значимость определения положения оси вращения ротора.

Решение задачи учета колебания положения оси вращения ротора при балансировке сталкивается с проблемой получения информации о фактическом положении оси вращения ротора.

Поэтому важнейшей задачей повышения качества, работоспособности и долговечности, например, ротора авиационного двигателя, является снижение его дисбаланса.

При балансировке ротора производится измерение положения оси его вращения относительно баз посредством измерения радиального биения в нескольких поперечных сечениях ротора в разных направлениях.

Если ротор отличается высокой жесткостью, то измерение радиального биения достаточно производить в двух крайних его поперечных сечениях. Как было показано выше, измерение радиального биения не определяет положения оси вращения ротора. Это снижает качество балансировки ротора. Например, при измерении радиального биения в случае его отсутствия считается, что неуравновешенность отсутствует, в то время, как на самом деле из-за неустойчивости положения оси вращения детали, неуравновешенность присутствует.

Рассмотрим влияние неустойчивости положения оси вращения на точность измерения профиля детали на кругломере (см. рис. 2). Измерение профиля детали осуществляется посредством вращения измерительного шпинделя относительно контролируемой детали. При такой схеме измерения профиля детали неустойчивость положения оси вращения измерительного шпинделя образует погрешность измерения.

Наличие неустойчивости положения оси вращения измерительного шпинделя подтверждается круглограммой профиля эталона, на которой видно при максимальном увеличении, что точки начала и окончания профиля не совпадают. Постоянство величины смещения оси вращения измерительного шпинделя порождает погрешность формы круглограммы. Как было показано в работе [2], несовпадение центра вращения измерительного шпинделя с центром профиля контролируемой детали по-

рождает погрешность формы круглограммы при фактическом отсутствии погрешности формы контролируемого профиля детали.

Изложенное показывает, что исследование неустойчивости положения оси вращения детали на качество работы машин и механизмов должно начинаться с совершенствования метода определения положения оси вращения детали.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Базров, Б.М.** Проблемы оценки геометрической точности детали // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2018. – № 4(82). – С. 8-12.
2. **Базров, Б.М.** Расчет точности машин на ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
3. **Пат. 165776 РФ:** МПК G01C 3/32, G01B 21/22. Устройство для измерения неустойчивости положения оси вращения детали в сечении перпендикулярном оси вращения / Базров Б.М., Алехнович В.И., Серков Н.А.; заяв. и патентообл. ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благодирова РАН (ИМАШ РАН) – № 2015152830/28; заявл. 09.12.2015; опублик. 10.11.2016, Бюл. № 31 (II ч.). – 4 с.
4. **Канатников, А.Н., Крищенко, А.П.** Аналитическая геометрия: учеб. для вузов / под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 6-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 387 с.: – (Математика в техническом университете; вып. 3).

## REFERENCES

1. Bazrov, B.M. Problems in assessment of part geometrical accuracy // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2018. – No.4 (82). – pp. 8-12.
2. Bazrov, B.M. *Machine Accuracy Computation*. – M.: Mechanical Engineering, 1984. – pp. 256.
3. Pat. 165776 RF: IPC G01C 3/32, G01B 21/22. *Device for Instability Measurement in Rotation Axis of Part in Section Perpendicular to Rotation Axis* / Bazrov B.M., Alekhovich V.I., Serkov N.A.; applicant and patent holder: FSBI Blagodiravov Institute of Machine Science of RAS (IMACH RAS) – No. 2015152830/28; applied 09.12.2015; published 10.11.2016., Bull. No.31 (II Part). – pp. 4.
4. Kanatnikov, A.N., Krishchenko, A.P. *Analytic Geometry: college textbook* / under the editorship of V.s. Zarubin, A.P. Krishchenko. – 6<sup>th</sup> Edition. – M.: Publishing House of Bauman STU of Moscow, 2014. – pp. 387.: - (Mathematics in Technical University; issue 3).

Рецензент д.т.н. В.П. Вороненко