

the exhausted gases' recirculation. There is presented a method of calculating system of the gas recirculation in the turbine of supercharging engine's unit, considering balance of forces influencing the membrane, spring, rod and screen. There are considered the ways of diagnosing and regulation of a system of gas recirculation past turbine.

Keywords: supercharged unit, turbine, system of gas recirculation.

References

1. Makushev Ju. P. Poljakova T.A., Mihajlova L.Ju. *Raschet sistem i mehaniz-mov dvigatelej vnutrennego sgoranija matematicheskiimi metodami* [Calculation of systems and mechanisms of internal combustion engines by mathematical methods]. Omsk: SibADI, 2011. 284 p.
2. Hak G. *Turbodvigateli i kompressory: Sprav. posobie* [Turbo engines and compressors]. Moscow, ООО «Izdatel'stvo Astrel'», 2003. 351 p.
3. Patrahalev N.N., Savastenko A.A. *Forsirovanie dvigatelej vnutrennego sgoranija nadduvom* [Forcing internal combustion engines with supercharging]. Moscow, Legion-Avtodata, 2004. 176 p.
4. Lashko V.A. *Ispol'zovanie fundamental'noj teorii upravlenija v praktike proektirovaniya protochnyh chastej kombinirovannyh dvigatelej vnutrennego sgoranija* [Using fundamental theory of management in practice of designing flowing parts of the combined internal combustion engines]. Vladivostok: Dal'nauka, 2009. 449 p.
5. Agregaty nadduva dvigatelej: metodicheskie ukazaniya k laboratornym i prakticheskim rabotam po kursu «Agregaty nadduva dvigatelej» profilja podgotovki «Dvigateli vnutrennego sgoranija» / sost. Ju.P. Makushev, V.V. Ryndin, D.V. Hudjakov. [Supercharging engine's units: methodical instructions to laboratory and practical works on the preparation profile course "Units of Pressurization of Engines" "Engines of internal combustion"]. Omsk: SibADI, 2013. 84 p.
6. Chugaev R.R. *Gidravlika: uchebnik dlja vuzov* [Hydraulics]. Leningrad, «Jenergija», 1975. 600 p.

7. Ryndin V.V. *Teplotehnika: monografija* [Heating engineering]. Pavlodar: Izdatel'stva «Kereku», 2007. 460 p.

8. Abramovich G.N. *Prikladnaja gazovaja dinamika* [Applied gas dynamics]. Moscow, Nauka. 1976. 888 p.

Макушев Юрий Петрович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые двигатели и автотракторное электрооборудование» ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: makushev321@mail.ru).

Древель Александр Витальевич (Россия, г. Омск) – студент ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: aleksandr-806@inbox.ru).

Макушева Тамара Александровна (Россия, г. Омск) – старший преподаватель кафедры «Инженерная геометрия и САПР» Омского государственного технического университета (ОмГТУ). (644050, г.Омск, пр. Мира, 11 e-mail: makusheva654@mail.ru).

Makushev Yuriy Petrovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor of the department "Heat engines and autotractor electric equipment" of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: makushev321@mail.ru).

Drevel Alexander Vitalyevich (Russian Federation, Omsk) – student of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI). (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: aleksandr-806@inbox.ru).

Makusheva Tamara Aleksandrovna (Russian Federation, Omsk) – senior lecturer of the department "Engineering Geometry and SAPR" Omsk state technical university (OmGTU). (644050, Omsk, Mira Ave., 11 e-mail: makusheva654@mail.ru).

УДК 681.2.083

МЕТОД ОЦЕНКИ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ КРУГЛОСТИ КАНАВКИ КАТАНИЯ ЛАПЫ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА

Б.С. Четвериков, Н.А. Табекина

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», Россия, г. Белгород.

Аннотация. В статье рассматривается вариант реализации оценки отклонения от формы профиля канавки катания лапы долота, описывается разработанный авторами метод оценки отклонения от круглости с помощью специально измерительного комплекса. Приводится обоснование выбора метода оценки, основанного на принципах бесконтактных измерений. В работе проводится анализ факторов, влияющих на достоверность оценки, выявляются размерные связи между элементами измерительного комплекса, определяются соответствующие им погрешности.

Ключевые слова: шарошечное долото, лапа, метод, бесконтактный контроль, отклонение от круглости.

Введение

Работоспособность трехшарошечных долот является одним из основных факторов, влияющих на процесс бурения горных пород, добычи составляющих для строительных материалов. Непосредственное влияние на работоспособность долота оказывает точность механической обработки деталей, входящих в состав изделия. При этом точность выполнения ответственных деталей долот является

сложной задачей на этапе их изготовления. Одной из таких ответственных деталей является лапа долота [1]. Материал, из которого она изготовлена, это сталь 15НЗМА. Лапа представляет собой изделие сложной конфигурации, к которому предъявляются достаточно высокие требования по механической обработке (рисунок 1), в частности, к профилю канавки катания лапы [2].

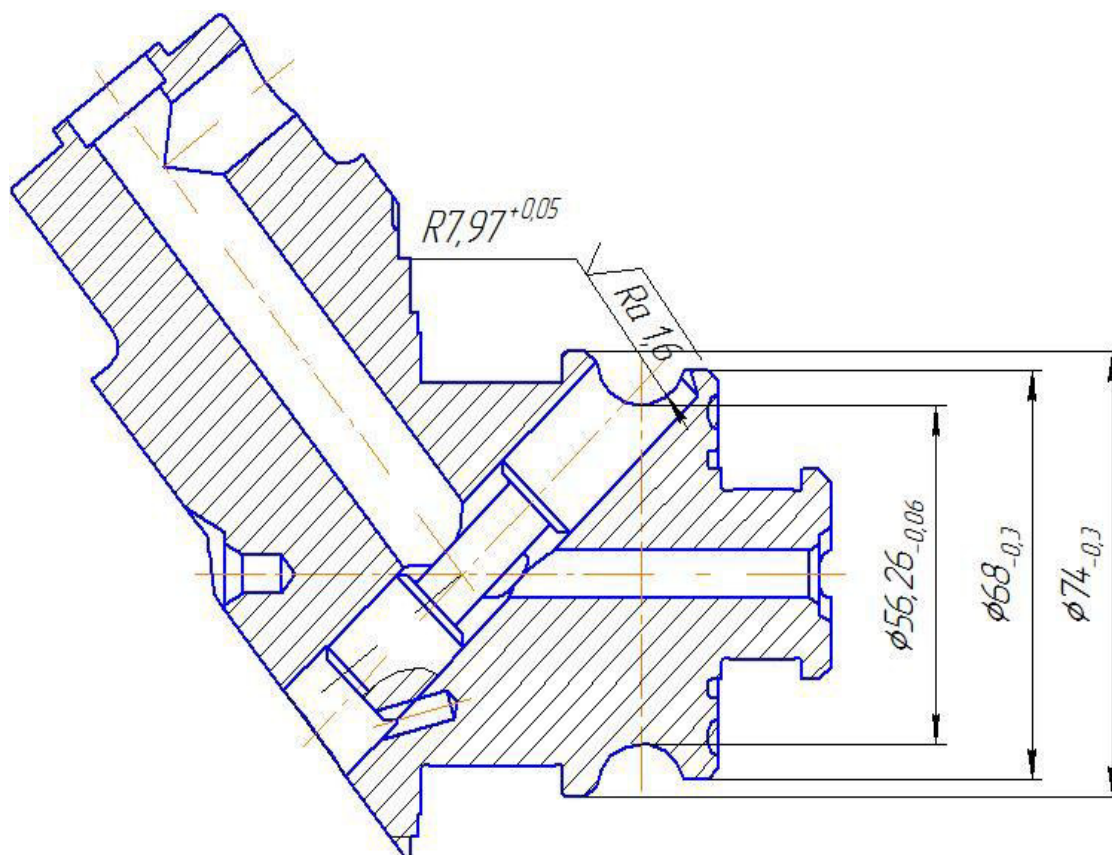


Рис. 1. Эскиз лапы с требованиями по точности к канавке катания

Метод оценки отклонения от круглости канавки катания

Вместе с этим появляется необходимость проконтролировать форму канавки и тем самым определить годные и бракованные изделия при их изготовлении. Эти контрольные операции часто в условиях цеха выполняются вручную, что значительно увеличивает временные затраты на производство как лапы, так и долота в целом. Осуществляется контроль отклонения от формы при помощи специальных предельных шаровых и радиусных калибров, универсальная контрольная оснастка при этом практически не используется.

Лапы проходят выборочный контроль, как правило это 5 % всей партии, и далее отправляются на участок сборки. Очевидно, что этот процесс несовершенен и требует разработки более прогрессивных методов и приборов оценки точности канавки катания, например, методов основанных на бесконтактных измерениях, то есть без непосредственного контакта с измеряемой поверхностью [3]. Бесконтактный контроль является наиболее предпочтительным еще и из-за высокой точности измерений, а также возможности дополнительной автоматизации производственного процесса [4].

Авторами разработан метод оценки отклонения от круглости канавки катания, основанный на принципах бесконтактных измерений. В частности используется «захват» изображения видеокамерой с последующим анализом строк и столбцов монохромной картинки. Подробнее этот процесс описан в [5].

Оценку отклонения от круглости канавки катания предлагается осуществить с помощью специального измерительного комплекса, включающего в себя зажимное приспособление, предназначенное для зажима лапы в центрах и предусматривающее поворот лапы вокруг оси, образующейся от вспомогательных технологических баз, выполненных в виде центровых отверстий в лапе. Соответственно, эта ось вращения совпадает с осью зажимного приспособления. Базировка зажимного приспособления относительно некой базовой горизонтальной поверхности, которая представляет собой стальную плиту. Также на базовой горизонтальной поверхности закреплен измерительный прибор, содержащий вертикальную пластину с установленной в ней камерой. В корпусе камеры находится ПЗС-матрица (сокр. от «прибор с зарядовой связью») необходимой разрешающей способности (10 мегапикселей).

Важным аспектом при оценке точности формы канавки является выбор оси измерений. Так как изображение, захваченное матрицей и полученное на ней, состоит из строк и столбцов, то за ось измерений предлагается выбрать крайнюю верхнюю строку этого изображения. Таким образом физически этой осью можно считать верхнюю границу ПЗС-матрицы. При этом следует понимать, что реальная ось канавки лапы расположена относительно оси измерений с некоторой погрешностью из-за присутствующих во всем измерительном комплексе погрешностей механической обработки деталей комплекса, погрешностей закрепления, базирования и т.п.

Для того чтобы оценить достоверность [6] полученной оценки формы профиля канавки, и тем самым теоретически оценить точность измерений, необходимо установить размерные связи между элементами всего измери-

тельного комплекса. Для этого составим размерную цепь, показывающую связи элементов (рисунок 2).

Звено A_0 является замыкающим, и есть ничто иное как расстояние между виртуальной осью измерений (ось ПЗС-матрицы) и реальной осью канавки, подсвеченной с обратной стороны источником когерентного излучения (лазером). При этом под теоретической точностью измерений прибора понимается погрешность несовмещения этих двух осей. Возникает эта погрешность вследствие присутствующих во всем измерительном комплексе погрешностей механической обработки, погрешностей закрепления, базирования, вибраций в цеху и т.д.

Звено A_1 представляет собой высоту матрицы с погрешностью в ± 1 пиксель. Разрешающая способность матрицы, её физический размер, а следовательно и размер одного пикселя оказывают непосредственное влияние на точность измерений. Таким образом, чем меньше размер пикселя, тем выше точность определения формы. Однако следует учитывать, что толщина подсвеченной линии, которая проецируется на матрицу, должна быть не больше размера одного пикселя. Размеры матрицы и размер одного пикселя берутся из технических характеристик, заявленных производителем. В данном случае высота составляет 15 мм, а размер одного пикселя $P/ = 0,004$ мм. Таким образом, звено $A_1 = 15 \pm P/ = 15 \pm 0,004$ мм.

Следующим фактором, влияющим на достоверность определения формы канавки является точность закрепления камеры с ПЗС-матрицей в вертикальной плите. Определяется эта точность звеном A_2 , представляющим собой расстояние между нижней границей матрицы и базовой поверхностью горизонтальной плиты. Номинальный размер этого звена составляет 119 мм. Однако следует понимать, что камера закреплена в приборе с некоторой погрешностью, определяемой по справочникам. В случае представленной размерной цепи это отклонение составляет $\pm 0,01$ мм. Следовательно, $A_2 = 119 \pm 0,01$ мм.

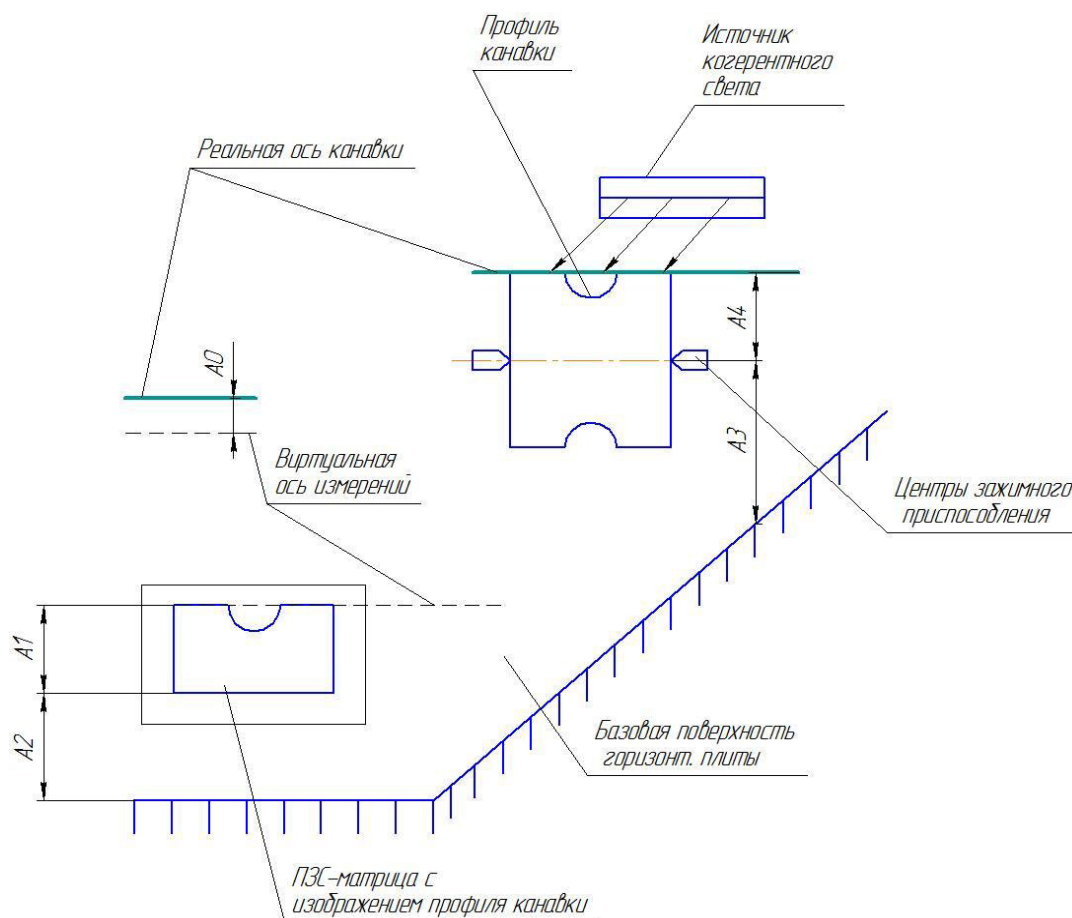


Рис. 2. Размерная цепь элементов измерительного комплекса

Также на достоверность определения отклонения от круглости канавки влияет погрешность закрепления центров в зажимном приспособлении. Учесть эту погрешность можно включив в цепь звено A_3 , которое представляет собой расстояние между базовой поверхностью горизонтальной плиты и центрами зажимного приспособления. Данное звено определяет положение центров относительно базовой поверхности горизонтальной плиты. Номинальный размер его составляет 100 мм, а предельные отклонения зависят от точности изготовления элемента зажимного приспособления, в частности, отверстия, выполненного для установки центров. Составляет это отклонение 0,02 мм. Таким образом звено $A_3 = 100_{-0,02}$ мм.

Смежное со звеном A_3 звено A_4 является расстоянием между осью зажимного приспособления и реальной осью канавки, подсвеченной с обратной стороны. Включая звено A_4 в размерную цепь, мы учитываем погрешность, возникающую при закреплении лапы в центрах, а также при изготовлении канавки на стадии её механической обработки. Составляет это отклонение 0,03 мм. При этом номинальный размер A_4 равен 34 мм. Следовательно, звено $A_4 = 34_{+0,03}$ мм. Следует понимать, что такая точность достигается при условии, что источник когерентного света, подсвечивающий ось канавки лапы должен быть расположен строго напротив этой оси.

Для удобства расчетов составим упрощенную схему размерной цепи, представленную на рисунке 3.



Рис. 3. Упрощенная схема размерной цепи

Звенья A_1 и A_2 являются уменьшающими, так как при их увеличении замыкающее звено уменьшается. Звенья A_3 и A_4 - увеличивающие, так как при их увеличении замыкающее звено увеличивается.

Для определения замыкающего звена, с помощью которого оценивается достоверность определения формы, произведем расчет его поля допуска, то есть решим обратную задачу [7]. При решении обратной задачи все составляющие звенья размерной цепи известны, требуется найти только замыкающее звено A_0 .

Номинальный размер замыкающего звена A_0 :

$$A_0 = \sum_{j=1}^n A_{y\phi} - \sum_{j=1}^p A_{y\psi} = A_3 + A_4 - A_1 - A_2 =$$

$$= 100 + 34 - 15 - 119 = 0 \text{ мм} \quad (1)$$

где n - количество увеличивающих звеньев; p - количество уменьшающих звеньев; $A_{y\phi}$ и $A_{y\psi}$ - номинальные размеры увеличивающих и уменьшающих звеньев соответственно.

Определим наибольший и наименьший предельные размеры замыкающего звена ($A_{0\max}$, $A_{0\min}$):

$$A_{0\max} = \sum_{j=1}^n A_{j\max} - \sum_{j=1}^p A_{j\min} = A_{3\max} + A_{4\max} - A_{1\min} - A_{2\min} =$$

$$= 100 + 34 - 14,996 - 118,99 = 0,014 \text{ мм}$$

$$A_{0\min} = \sum_{j=1}^n A_{j\min} - \sum_{j=1}^p A_{j\max} = A_{3\min} + A_{4\min} - A_{1\max} - A_{2\max} =$$

$$= 99,98 + 33,97 - 15,004 - 119,01 = -0,064 \text{ мм}$$

где n - количество увеличивающих звеньев; p - количество уменьшающих звеньев; j - номер звена; $A_{j\max}$, $A_{j\min}$ - максимальное и минимальное значение j -го звена.

Таким образом, величина допуска замыкающего звена TA_0 :

$$TA_0 = \sum_{j=1}^m TA_j = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 =$$

$$= 0,008 + 0,02 + 0,02 + 0,03 = 0,078 \text{ мм}$$

где m - количество составляющих звеньев цепи; j - номер звена; TA_j - допуски составляющих звеньев.

Так как номинальный размер звена A_0 равен нулю, то полученную величину допуска считаем точностью измерений комплекса. Таким образом теоретически рассчитанная погрешность несовмещения виртуальной оси измерений и реальной оси канавки лапы со-

ставляет $\Delta = 0,078$ мм. Из этого можно сделать вывод, что точности прибора недостаточно для определения формы канавки, поэтому необходимо достигнуть её программными средствами, а также произвести определенную настройку измерительного комплекса вручную.

Выполним анализ размерной цепи по ранжированию ее звеньев. Определим, какие погрешности вносит каждое звено размерной цепи в оценку отклонения от круглости. Будем считать, что погрешности звеньев равны допускам на размер каждого звена размерной цепи. Звено A_1 , определяемое размером ПЗС-матрицы, имеет погрешность $\Delta A_1 = 0,008$ мм, найденную через размер одного пикселя ПЗС-матрицы. Звено A_2 , определяющее положение ПЗС-матрицы относительно базовой поверхности горизонтальной плиты, имеет погрешность $\Delta A_2 = 0,02$ мм, возникающую при закреплении матрицы в приборе. Звено A_3 также имеет погрешность $\Delta A_3 = 0,02$ мм, зависящую от точности выполненного отверстия в зажимном приспособлении. Звено A_4 , на которое влияет точность закрепления лапы в центрах и точность механической обработки канавки по всему её диаметру, вносит погрешность $\Delta A_4 = 0,03$ мм. Все вышеперечисленные погрешности отразим на графике, показывающем влияние каждого из звеньев размерной цепи на достоверность оценки отклонения от круглости (рисунок 4). На оси абсцисс находится номера звеньев $A_1 \dots A_4$, по оси ординат откладываем погрешность Δ каждого звена в мм.

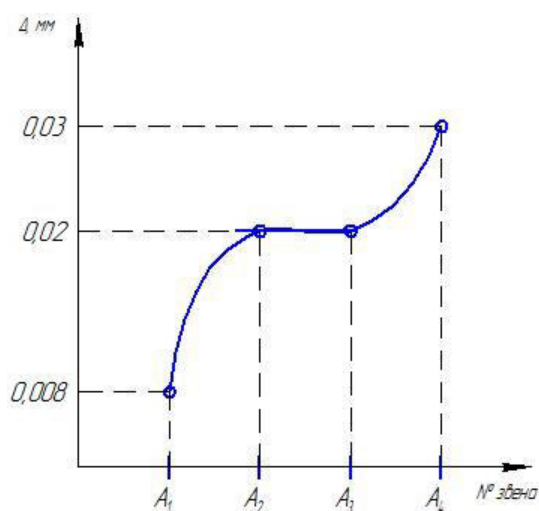


Рис. 4. График влияния погрешностей составляющих звеньев размерной цепи на достоверность оценки круглости

Таким образом, чтобы достигнуть цели обеспечения требуемой точности измерений, необходима подстройка оси измерительного прибора из условия совпадения виртуальной

оси измерений и реальной оси канавки, за которую берется граница цилиндрической поверхности лапы. Схема совмещения осей представлена на рисунке 5.

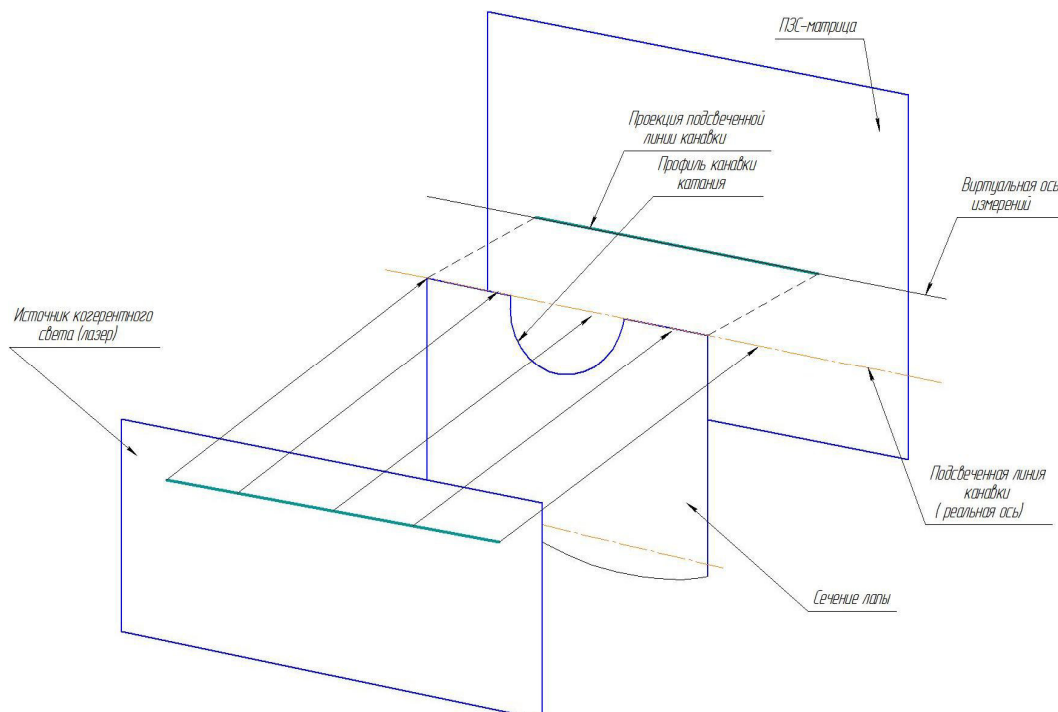


Рис. 5. Схема совмещения виртуальной оси измерений и реальной оси канавки

Этапы ориентации проекции детали на ПЗС-матрицу (условие совпадения оси измерений и реальной оси) аналогичны описанным в [8] и выглядят следующим образом: засвечивание линии; по установленным приборам уровня (возможно использование акселерометров) добиваемся совпадения всех пикселей матрицы (не более 2) и линии источника когерентного света в одной строке; регулировка расположения оси измерений прибора, таким образом, чтобы линия проецируемой поверхности профиля канавки совпадала с установленной на ПЗС-матрице (строкой пикселей) полученной с помощью источника когерентного света; поворачиваем лапу на 180° , повторяем процедуру из пунктов 1-3 с соблюдением условия параллельности полученной проекции детали; поворачиваем лапу на 90° , повторяем процедуру из п. 1-3; поворачиваем лапу на 180° , повторяем процедуру из п.1-3; отклонение между координатами строки по вертикали полученные в п. 3-6 и есть погрешность несовмещения осей. Окончательно выбираем наибольшую величину отклонения осей и делаем вывод об отклонении от круглости канавки.

Заключение

Изучив влияние каждого из звеньев цепи на достоверность оценки отклонения от круглости канавки катания, можно сделать вывод, что наибольшую погрешность в процесс измерений вносит звено A_4 , которое определяет положение реальной оси канавки катания относительно центров зажимного приспособления. Поэтому при проектировании и разработке измерительного комплекса необходимо минимизировать влияние этого фактора на сам процесс оценки. Достигнуть этого можно как вручную, произведя тщательную настройку оборудования, так и программными способами, разработав специальное программное средство, аналогичное описанному в [9], учитывающее погрешность и корректирующее результаты определения отклонения от круглости.

Библиографический список

1. Хлус, А.А. Совершенствование конструкций шарошечных долот для бурения глубоких скважин / А.А. Хлус, Д.И. Симисинов, М.Л. Карнаухов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2010. – №4. – С. 81-84.
2. Пяльченков, В.А. Методы исследования нагрузки вооружения и подшипников опор шарошечных долот / В.А. Пяльченков // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – №1. – С. 88-95.

3. Chetverikov, B.S. Definition of shape and position of complex geometric surfaces / B.S. Chetverikov, M.S. Chepchurov, D.A. Pogonin // *World Applied Sciences Journal*. – 2014. – Vol.31. – N.4 – P. 526-530.

4. Маслова, И.В. Дистанционная диагностика состояния опорных деталей сушильных барабанов / И.В. Маслова, С.Ю. Лозовая, М.С. Чепчуров // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2013. – №3. – С. 653-658.

5. Жуков, Е.М. Автоматизированное определение величины припуска наплавленного железнодорожного колеса / Е.М. Жуков, А.Н. Блудов // *Информационные системы и технологии*. – 2014. – № 5. – С. 74-80.

6. Чепчуров, М.С. Контроль и регистрация основных параметров резания при обработке крупногабаритных деталей / М.С. Чепчуров // *Технология машиностроения*. – 2008. – № 3. – С. 11-12.

7. РД 50-635-87 Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. – 44 с.

8. Чепчуров, М.С. Устройство оперативной бесконтактной диагностики отклонения профиля колеса железнодорожного / М.С. Чепчуров, Е.М. Жуков, А.Н. Блудов // *Механика XXI века*. – 2014. – № 13. – С. 139-144.

9. Программа для определения линейных размеров объекта с использованием конвертации цветного изображения в монохромное. [Программа для ЭВМ] / М.С. Чепчуров, Н.А. Табекина, Б.С. Четвериков, Д.А. Погонин, А.Н. Блудов // – № 2014661814. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.12.2014; Заявка № 2014619777 от 30.09.2014.

METHOD OF ASSESSING DEVIATION FROM THE FLUTE'S CIRCULARITY OF ROLLING TENON OF A ROLLING CUTTER BIT

B.S. Chetverikov, N.A. Tabekina

Abstract. The article dwells upon the variant of realizing assessment of deviation from the form of the profile of a flute of rolling cutter bit, there is described a method, developed by the authors, of assessing the deviation from circularity using a special measuring complex. The choice of the method of assessment based on the principles of non-contact measurement is justified. The article presents the analysis of the factors affecting the reliability of the assessment, educed the dimensional connections between elements of measurement system, there are determined corresponding errors.

Keywords: rolling cutter bit, tenon, method, non-contact control, circular deviation.

References

1. Hlus A.A., Simisinov D.I., Karnauhov M.L. Improving designs drilling bits for drilling of deep wells. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal*, 2010, no. 4, pp. 81-84.

2. Pjal'chenkov V.A. Research methods of loading arms and legs bearing drilling bits. *Izvestija*

vysshih uchebnyh zavedenij. Neft' i gaz, 2015, no. 1, pp. 88-95.

3. Chetverikov B.S., Chepchurov M.S., Pogonin D.A. Definition of shape and position of complex geometric surfaces. *World Applied Sciences Journal*, 2014, vol. 31, no. 4, pp. 526-530.

4. Maslova I.V., Lozovaja S.Ju., Chepchurov M.S. Remote diagnostics of bearing parts can dryers. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 2013, no. 3, pp. 653-658.

5. Zhukov E.M., Bludov A.N. Automated determination of the allowance weld railway wheel. *Informacionnye sistemy i tehnologii*, 2014, no. 5, pp. 74-80.

6. Chepchurov M.S. Control and registration of basic cutting parameters during machining of large parts. *Tehnologija mashinostroenija*, 2008, no. 3, pp. 11-12.

7. RD 50-635-87 Methodical instructions. Dimensional chains. Basic concepts. Methods for calculating the linear and angular chains. Moscow, Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam, 1987, p. 44.

8. Chepchurov M.S., Zhukov E.M., Bludov A.N. The device of contactless operative deviation of the wheel profile rail. *Mehaniki XXI veku*, 2014, no. 13, pp. 139-144.

9. Programma dlja opredelenija linejnyh razmerov ob'ekta s ispol'zovaniem konvertacii cvetnogo izobrazhenija v monohromnoe. [Program for determining linear dimensions of an object by converting color image to monochrome]. M.S. Chepchurov, N.A. Tabekina, B.S. Chetverikov, D.A. Pogonin, A.N. Bludov. № 2014661814, zaregistrirovano v Reestre programm dlja JeVM 20.12.2014. Zajavka № 2014619777 ot 30.09.2014.

Четвериков Борис Сергеевич (Белгород, Россия) – аспирант кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, e-mail:await_rescue@mail.ru).

Табекина Наталья Александровна (Белгород, Россия) – аспирант кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 6, e-mail:tasha@bk.ru).

Boris S. Chetverikov (Belgorod, Russian Federation) – postgraduate student, department of Mechanical Engineering, Belgorod state technological university named after V. G. Shukhov (308012, Belgorod, Kostyukova str., 46, e-mail:await_rescue@mail.ru).

Natalia A. Tabekina (Belgorod, Russian Federation) – postgraduate student, department of Mechanical Engineering, Belgorod state technological university named after V. G. Shukhov (308012, Belgorod, Kostyukova str., 46, mail-tasha@bk.ru).

Результаты исследований, изложенные в статье выполнены в рамках гранта: «Проект ПСР № 2011-ПР- 146», договор № А-7/14 от 10.04.2014 г.