

УДК 621.9

DOI: 10.30987/article_5d9317b24f2524.52540627

О.Ю. Казакова, Л.Б. Гаспарова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ И ЗАКРЕПЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение факторов (параметров), влияющих на точность базирования и закрепления инструмента в шпинделе станка. Описана разработанная конструкция стенда, которая позволяет моделировать работу элементов и

механизмов шпиндельного узла координатно-расточного станка (КРС) в момент смены инструмента.

Ключевые слова: погрешности, базирование, закрепление, инструментальная оправка, шпиндель, инструмент, стенд.

O.Yu. Kazakova, L.B. Gasparova

EXPERIMENTAL DEFINITION OF BASING ACCURACY AND TOOL FASTENING

There are presented results of experimental investigations allowing the definition of factors (parameters) influencing the accuracy of basing and fastening a tool in a machine spindle.

The plant design developed allows modeling the work of elements and mechanisms of a spindle unit of a jig-boring machine (JBM) at the moment of tool changing.

The series of experiments carried out allowed drawing the following conclusions:

- the accuracy of a tool installation in a machine spindle depends upon its angular position in a spindle taper;

- angular errors of a tool cone element decrease a rigidity of a "spindle-tool" subsystem by 10...15%;

- elastic movements in the area of a contact increase by 2-2.5 times at the presence of ovality in the cross-section of a holder (at ovality 18mkm);

- the accuracy of tool location in a spindle increases with the increase of an axial tightening force (recommended tightening force – $3 \leq P_{\text{tight}} \leq 5\text{kN}$);

- the holder operation results in the rigidity decrease of a tool system by 10...15% (operation term – 5 years).

Key words: errors, basing, fastening, tool holder, spindle, tool, plant .

Введение

Отклонение фактической позиции закрепленного в шпинделе металлорежущего станка режущего инструмента относительно заданного положения, упругие деформации, которые возникают в коническом соединении «шпиндель - инструмент», радиальные перемещения, возникающие в результате действия радиальной составляющей силы резания, приводят к снижению (потере) точности позиционирования инструмента и, как следствие, точности обработки.

Основная цель проводимых исследований - определение факторов (параметров), влияющих на точность базирования и закрепления инструмента в шпинделе станка. Решались следующие задачи:

- анализ упругих деформаций в шпинделе;

- анализ точности установки инструмента в шпинделе;

- анализ упругих деформаций в подсистеме «шпиндель - инструмент» с учетом влияния радиальной составляющей силы резания;

- анализ степени влияния таких факторов, как усилие затяжки и макрогеометрические погрешности, на точность установки инструментальной оправки в шпинделе станка;

- выявление углового положения режущего инструмента в конусе шпинделя станка.

Конструкция стенда для моделирования работы системы автоматической смены инструмента координатно-расточного станка (КРС)

Разработанный стенд (рис. 1) позволяет моделировать работу элементов и ме-

ханизмов шпиндельного узла КРС в момент смены инструмента.

Шпиндельный узел сконструирован в

соответствии с требованиями ГОСТ, которые предъявляются к шпиндельным узлам координатно-расточных станков (классы А и С).

Изготовленный стенд предназначен для проведения широкого спектра исследований, направленных на изучение процесса смены режущего инструмента в шпиндельном узле применительно к внут-

ренним конусам 40 конусности 7:24.

На действующем металлообрабатывающем оборудовании достаточно трудно оценить процессы, происходящие в коническом стыке подсистемы «шпиндель - инструмент». Задача может быть решена с использованием стенда, который позволяет варьировать отдельные конструктивные и эксплуатационные характеристики [1; 2].

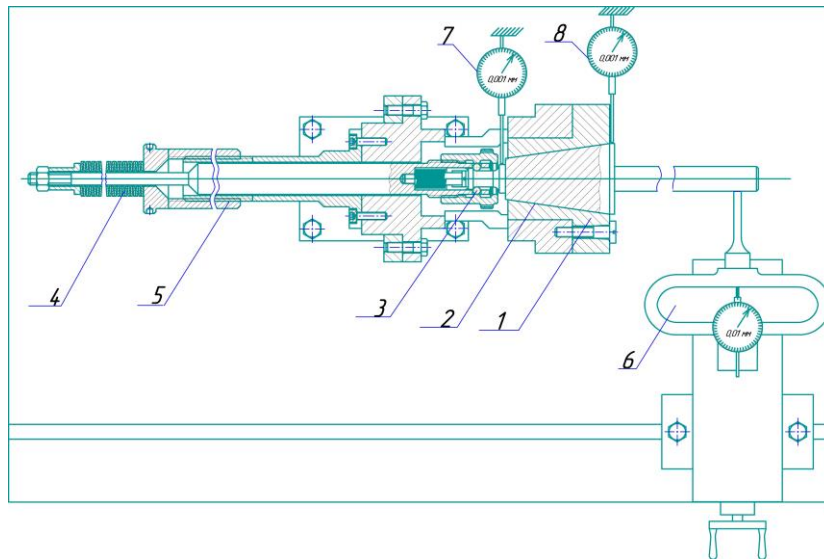


Рис. 1. Конструкция стенда

Основные элементы стенда: 1 - модель конусного отверстия шпинделя станка; 2 - оправка инструментальная измерительная; 3 - механизм, моделирующий захват инструмента; 4 - механизм, моделирующий зажим инструмента; 5 - механизм осевой силы затяжки; 6 - нагрузочное устройство для имитации радиальной составляющей силы резания; 7, 8 - индикаторы часового типа, фиксирующие результаты исследований.

Модель конусного отверстия шпинделя станка 1 [3] выполнена в виде фланцевой съемной втулки, позволяющей проводить экспериментальные исследования с инструментальными оправками различной конусности.

Механизм, моделирующий захват инструмента, 3 выполнен в виде шарикового захвата, который используется в конструкциях шпиндельных узлов металлорежущих станков высокой точности.

Механизм, моделирующий зажим инструмента, 4 сконструирован в виде пакета

тарельчатых пружин, опирающихся на гайку, которая навернута на стакан. Усилие от пружин передается штоком.

Осевая сила затяжки имитируется за счет перемещения гайки 5.

Нагрузочное устройство для имитации радиальной составляющей силы резания 6 позволяет прикладывать усилие на оправку на расстоянии около 200 мм, что является оптимальной длиной расточных оправок. Посредством использования индикаторов 7 и 8, которые контролируют перемещение конуса инструмента, определяются процессы, происходящие в коническом соединении шпинделя и инструмента.

Конструкция стенда дает возможность применять инструментальные конусы с погрешностями макрогеометрии, микрогеометрии, а также варьировать величину усилия затяжки.

На стенде исследуется поведение инструмента в момент базирования и закрепления в шпинделе.

Для проведения экспериментальных

исследований были использованы различные виды инструментальных оправок, как контрольных (специально изготовленных), так и применяемых для обработки на КРС.

Контрольные оправки 40 конусности 7:24 (3 штуки) имели различные параметры: две (разработаны с целью моделирования угловых погрешностей) имели отклонения большого и малого диаметров в пределах 7 степени точности, третья изготовлена в соответствии с требованиями ГОСТ.

Кроме контрольных оправок в экспе-

рименте участвовали три оправки 40 конусности 7:24, используемые на КРС: инструментальная оправка с резцом $\varnothing 27 \dots 42$ КУ408С (рис. 2а); инструментальная оправка с резцом $\varnothing 60 \dots 90$ КУ433 (рис. 2б); инструментальная оправка с фрезой (рис. 2в). Конструкции инструментальных оправок с резцом имеют пояс (выборку) на конической части поверхности, оправка с фрезой - цельная.

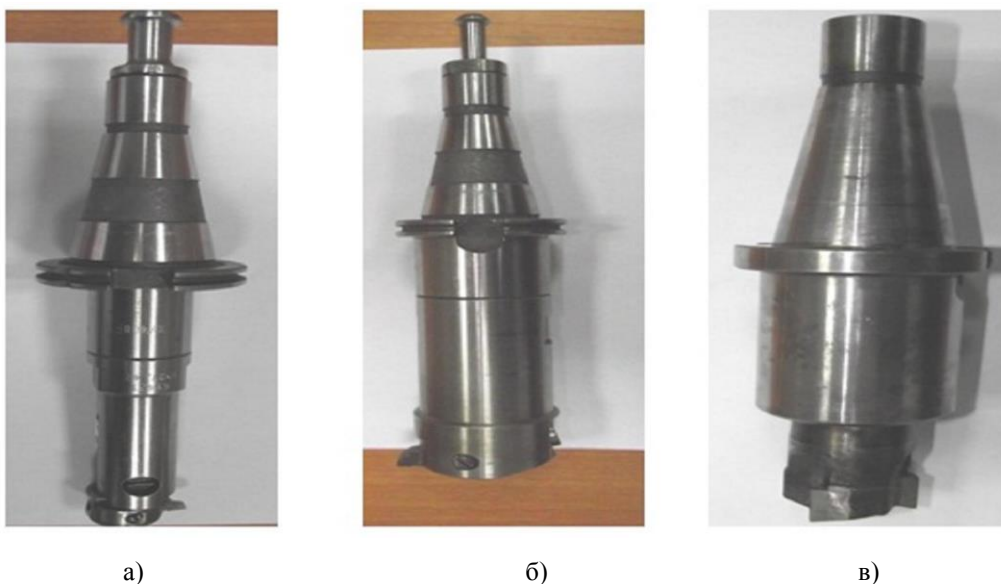


Рис. 2. Инструментальные оправки

Основные размеры оправок были измерены на специальной измерительной машине (рис. 3). Измерения показали соот-

ветствие требованиям ГОСТ 19860-93 «Конусы внутренние и наружные конусностью 7:24. Допуски».

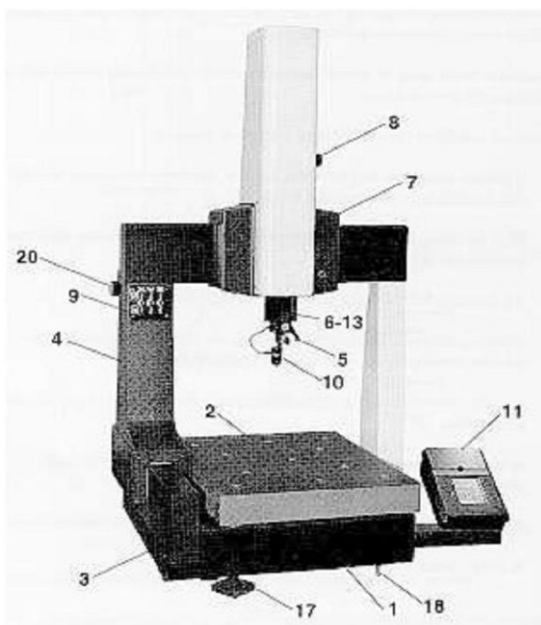


Рис. 3. Координатно-измерительная машина: 1- основание машины; 2 - столешница; 3 - направляющие по оси Y; 4 - мост машины; 5 - ручка для фиксации контактного щупа; 6 - направляющая по оси Z; 7 - X, Z каретка машины; 8 - настройка противовеса; 9 - блокировка оси / настройка зацепления; 10 - машинный щуп; 11 - блок управления и VGA монитор; 12 - доп. оборудование; 13 - Z мышка; 14 - подача воздуха (не видно на рисунке); 15 - подшипники (не видны на рисунке); 16 - измерительная система (не видна на рисунке); 17 - ножки выравнивания измерительной машины; 18 - противонаклонные болты машины; 19 - ножки выравнивания гранитной столешницы (не видны на рисунке); 20 - кнопка точной регулировки

На рис. 4, 5 представлены конструкции конических частей инструментальных оправок.

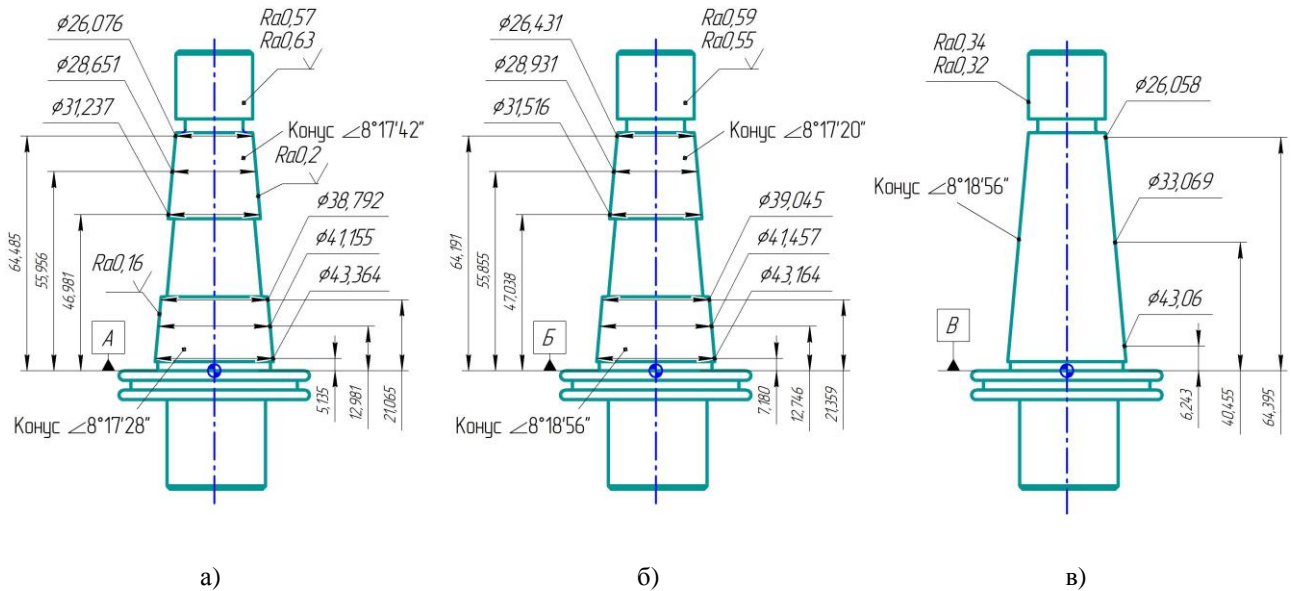


Рис. 4. Конструкции конических частей инструментальных оправок:

а - оправка с резцом $\varnothing 27 \dots 42$ КУ408С; б - оправка с резцом $\varnothing 60 \dots 90$ КУ433; в - оправка с фрезой

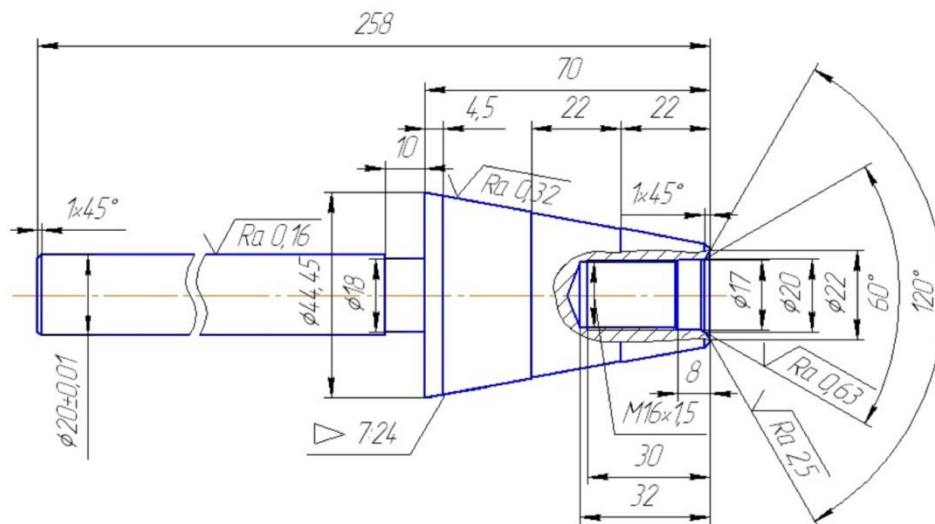


Рис. 5. Конструкция контрольной оправки

Модель шпиндельного узла изготовлена из стали 12ХН3А с цементацией на глубину 1,0...1,2 мм (твердость 60...63 HRC).

Из стали 20Х с последующей цементацией на глубину 1,2...1,5 мм (твердость 58...62 HRC) были изготовлены контрольные инструментальные оправки.

Радиальное биение цилиндрической части инструментальной оправки относительно конической поверхности конусности 7:24 составило не более 0,001 мм.

Контроль конических опорных поверхностей на прилегание был выполнен

калибрами 1-й степени точности по краске. Исследования показали, что площадь покрытия краской составляла не менее 80% сопрягаемой поверхности.

Шероховатость конических опорных поверхностей инструментальных оправок соответствовала $Ra = 16 \dots 32$.

Запись профилограмм в шести сечениях (рис. 6) [4] позволила произвести обследование геометрических параметров конической части инструментальных оправок.

В результате измерений отклонений профиля сечения конической части ин-

струментальных оправок можно оценить характер изменения топографии конуса оправки вдоль образующей.

Профилограммы сечений конической части шпинделя и инструментов, записан-

ные на профилометре *Talyrond* (рис. 7), позволили оценить степень точности инструментальных оправок и сделать вывод о наличии отклонения формы в виде отклонения от круглости (таблица).

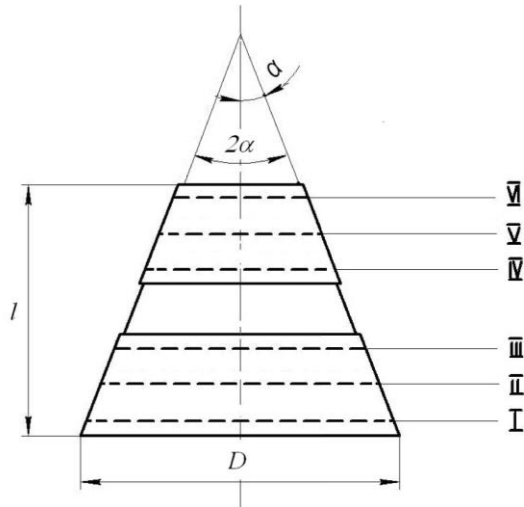


Рис. 6. Схематичное изображение измерения круговых профилограмм



Рис. 7. *Talyrond*

Таблица
Результаты измерений отклонений профиля сечения конической части инструментальных оправок (отклонение от круглости по длине конуса, мкм)

Конус 7:24		Номер сечения конуса						Вывод о соответствии степени точности по ГОСТ 19860-93	
№ конуса	Оправки	I	II	III	IV	V	VI		
40	Контрольные	1	2	2	1	2	3	4-6	
40	Рабочие оправки	Расточная	2	2	3	2	2	2	6-7
		Оправка с фрезой	18	18	18,3	4	4	5	Не соотв. ГОСТ
		Расточная	2	2	2,5	2	2	3	6-7

Результаты измерений позволили выявить превышение предельно допустимого значения отклонения от круглости (оваль-

Анализ точности установки оправки

Для исследования точности установки инструментальной оправки в шпинделе были использованы 3 контрольные оправки, которые устанавливались в шпиндель станда без силы затяжки в определенной позиции, отмеченной на торце шпинделя.

При помощи индикатора 2 (рис. 8) контролировали перемещения оправки.

Моделирование погрешностей мак-

ности большого диаметра) у оправки с фрезой в 4,5 раза.

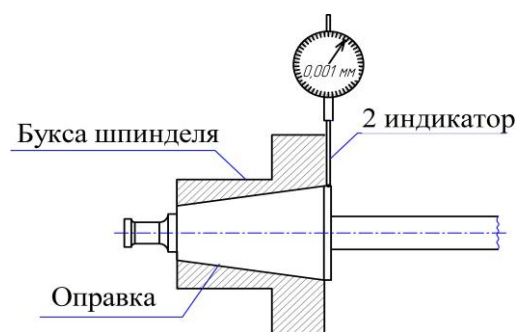


Рис. 8. Схема для анализа точности установки оправки

рогеометрии оправок № 1 и № 2 осуществлялось за счет изменения диаметров. Оправка № 3 соответствовала номинальным размерам.

Для обеспечения точности проводимых исследований эксперимент повторяли 25 раз, поворачивая оправки последовательно на 45° (45° , 90° и т.д.).

Результаты исследований показали зависимость точности установки инструментальной оправки от ее углового положения в шпинделе.

Наличие угловых погрешностей контрольных оправок (№ 1 и № 2) привели к большим перемещениям, чем у оправки № 3 (рис. 9).

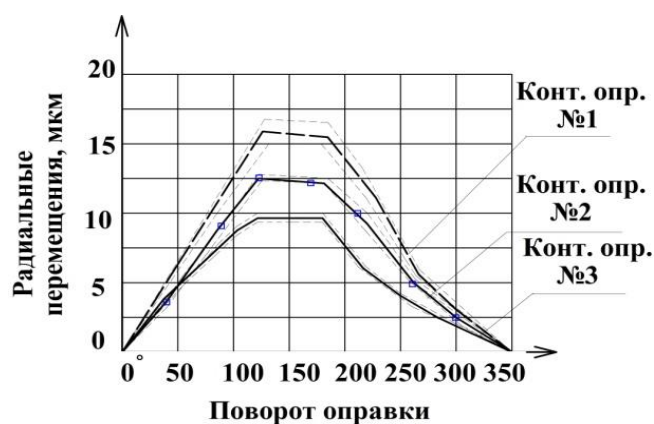


Рис. 9. Точность установки контрольных оправок в зависимости от их положения в шпинделе (— - средние значения перемещения оправок)

Анализ зависимости точности расположения оправки от величины силы затяжки

Также на стенде были проведены эксперименты с целью определения влияния на точность расположения оправки ряда параметров: макрогеометрических параметров оправки, положения оправки в момент закрепления, величины силы затяжки.

Значения усилий затяжки, необходимые для закрепления оправки, были рассчитаны по известным зависимостям [5; 6].

В результате расчетов по данным зависимостям были установлены необходимые величины осевой силы затяжки для конуса 7:24, наиболее часто используемого в станках с ручной сменой инструмента и многооперационных станках: $P_{зам} = 3,7$ Н и $P_{зам} = 5,9$ кН.

Разница полученных значений составила $\approx 30\%$, что допускается при предварительных проектных расчетах.

Указанные формулы необходимо уточнить при оценке эксплуатационных характеристик АСИ, которые непосред-

ственно влияют на точностные показатели станка в процессе обработки.

При проведении исследований использовались следующие значения силы затяжки: 1, 2, 3 и 5 кН.

Применение величины силы затяжки 5 кН привело к заклиниванию механизма, что было вызвано деформированием грибка инструментальной оправки.

В связи с этим можно дать рекомендации при уточнении расчетных значений силы затяжки: целесообразно, кроме контактных процессов в коническом соединении, учитывать их и в конструкции захватывающего устройства.

С целью проведения дальнейших исследований использовались значения сил $0...3$ кН для контрольных инструментальных оправок 40.

Инструментальная оправка затягивалась осевой силой затяжки $P_{зам}$ в шпинделе стенда в фиксированной позиции, закрепляясь за грибок шариковым захватом, после чего снимались показания индика-

тора 1 (рис. 10). Ослабив механизм затяжки и повернув оправку на 45° , ее снова затягивали и измеряли перемещения.

Средние значения перемещений в каждой позиции подсчитывались после 25 экспериментов [7; 8].

Результаты исследования зависимо-

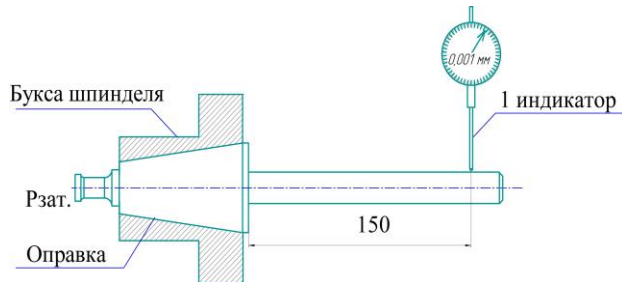


Рис. 10. Схема для анализа зависимости точности расположения оправки от величины силы затяжки

Угловые погрешности оправок приводят к возрастанию данных значений: перемещение оси оправки составляет $1,5 \dots 3,4$ мкм при силе затяжки 1 кН. Изменение силы до 3 кН приводит к умень-

Анализ упругих деформаций в подсистеме «шпиндель - инструмент» с учетом влияния радиальной составляющей силы резания

Также на стенде был проведен ряд экспериментов для определения точности расположения оправки, зависящей от ее углового положения в шпинделе и упругих деформаций конического соединения подсистемы «шпиндель - инструмент», в зависимости от сил резания [9; 10].

При проведении исследований на стенде были использованы три контрольные оправки 40 конусности 7:24, а также три оправки, применяемые при обработке на станке. По результатам замера профилограмм оправок наиболее часто применяемая оправка с фрезой имела отклонение от круглости в виде овальности в области большего диаметра, превышающее предельно допустимое значение в 4,5 раза.

Для анализа процессов, происходящих в коническом соединении, на грибковом захвате стенда был установлен дополнительный индикатор (рис. 12). Имитация радиальной составляющей силы резания осуществлялась нагрузочным устройством (рис. 12).

сти точности расположения оправки от величины силы затяжки показали, что у наиболее точно изготовленной оправки (№ 3) наблюдается радиальное перемещение оси инструмента до 1 мкм (рис. 11) с увеличением силы затяжки до 1 кН.

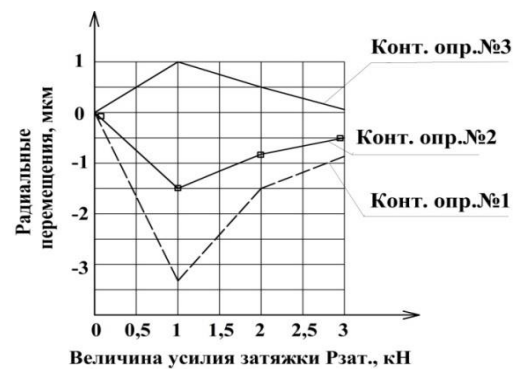


Рис. 11. График зависимости радиальных отклонений от величины усилия затяжки инструментальных оправок

шению значений перемещений до $0,5 \dots 0,8$ мкм.

Увеличение силы затяжки приводит к повышению точности расположения оправки в шпинделе.

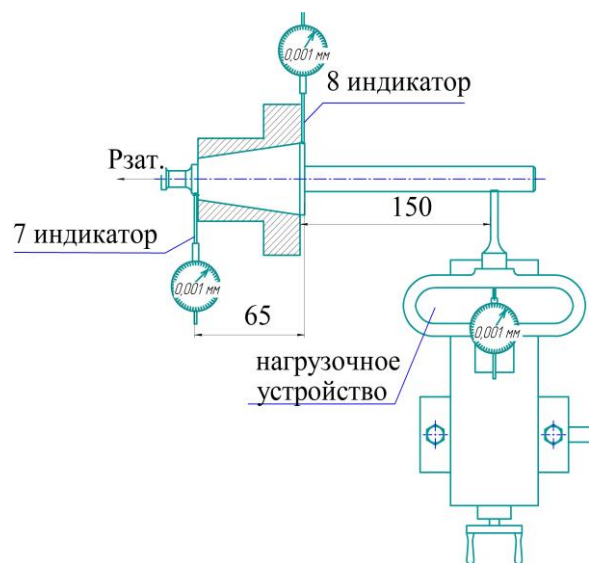


Рис. 12. Схема измерений

Оправку закрепляли в фиксированной позиции с усилием затяжки $P_{зат} = 3000$ Н.

Величина радиальной составляющей силы резания принималась в диапазоне

$P_{рез} = 500...2000$ Н, что было получено в результате расчетов для чистовой обработки на координатно-расточном станке с применением различных инструментов.

Нагрузочным устройством имитировали силу резания, поэтапно увеличивая ее до 2000 Н.

Заключение

Проведенный анализ и определение упругих деформаций контрольных инструментальных оправок показали увеличение их радиальных перемещений, связанное с наличием угловых погрешностей конической части оправок.

При условии сохранения величины осевой силы затяжки 3 кН, увеличения радиальной составляющей силы резания угол поворота контрольных оправок, имеющих угловые погрешности, носит нестабильный

Показания регистрировались индикаторами 7 и 8 (рис. 12). После замера снимали нагрузку и осевую силу затяжки. Меняя положение инструментальной оправки поворотом на 30^0 (60^0 , 90^0 и т.д.), эксперимент проводили 25 раз. По средним полученным значениям строился график радиальных перемещений.

характер, зависящий от их положения в шпинделе.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод об изменении угловой жесткости инструментальной системы, зависящей от положения инструментальной оправки в шпинделе станка. Угловая жесткость снижается на 10...15 % при наличии угловых погрешностей конической части инструментальных оправок (рис. 13).

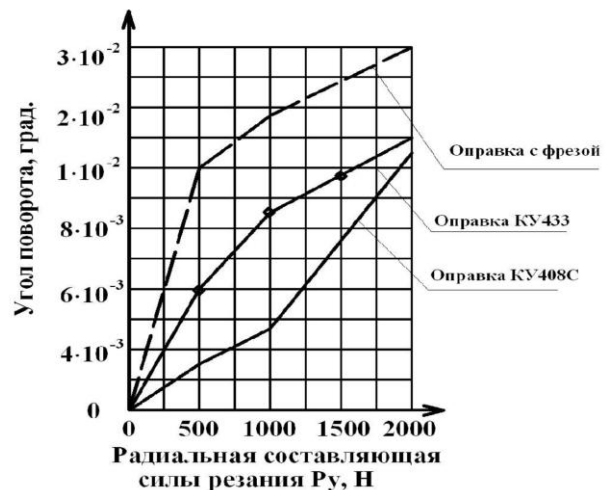
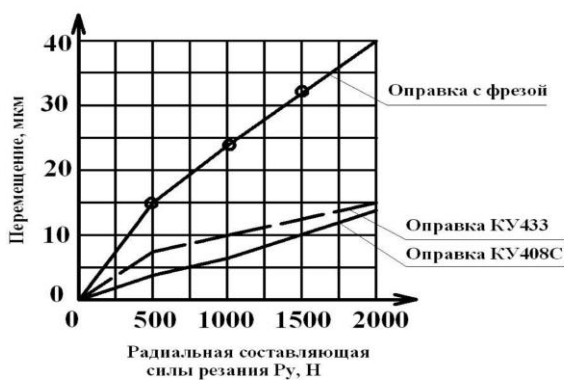
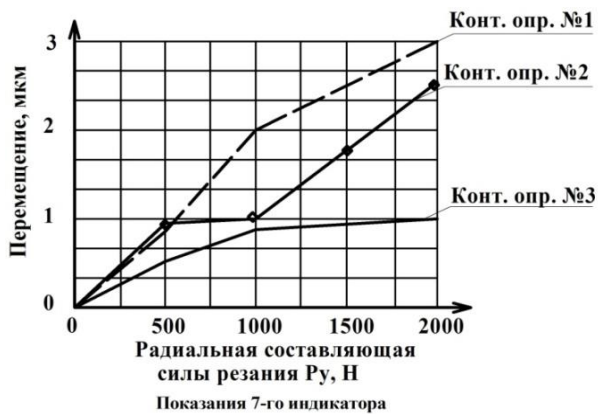


Рис. 14. Радиальные перемещения по показаниям 7-го индикатора

Рис. 15. Угол поворота в фиксированной позиции

В ходе экспериментов было установлено, что у оправки с фрезой, имеющей овальность большего диаметра, радиаль-

ные перемещения в 2...2,5 раза больше, чем у оправок с резцами (рис. 14). При увеличении радиальной составляющей силы ре-

зания угловая жесткость подсистемы «шпиндель - инструмент» возрастает (рис. 15). Так,

у оправки с фрезой максимальная величина угла поворота в шпинделе составила $0,03^0$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казакова, О.Ю. Повышение точности обработки на станках фрезерно-сверлильно-расточной группы за счет минимизации погрешностей инструментальных систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / О.Ю. Казакова. - Самара, 2013. - 182 с.
2. Петрунин, В.И. Исследование точности и жесткости механизмов смены инструмента металлорежущих станков: монография / В.И. Петрунин, А.Ф. Денисенко, О.Ю. Казакова. - Самара: Изд-во СамГТУ, 2012. - 188 с.
3. ГОСТ 30064-93. Концы шпинделей сверлильных, расточных и фрезерных станков. Размеры. Технические требования. - Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Изд-во стандартов, 1994. - 14 с.
4. Табенкин, А.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / А.Н. Табенкин, С.Б. Тарасов, С.Н. Степанов. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. - 136 с.
5. Пашкевич, М.Ф. Технологическая оснастка / М.Ф. Пашкевич, Ж.А. Мрочек, Л.М. Кожуро,

- В.М. Пашкевич. - Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. - 320 с.
6. Проников, А.С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. В 3 т. Т. 3. Проектирование станочных систем / А.С. Проников. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Изд-во МГТУ «Станкин», 2000. - 584 с.
7. Носов, Н.В. Расчет надежности и качества технологических процессов / Н.В. Носов. - Самара: Самар. политехн. ин-т, 1992. - 127 с.
8. Левина, З.М. Контактная жесткость машин / З.М. Левина, Д.Н. Решетов. - М.: Машиностроение, 1971. - 164 с.
9. Петрунин, В.И. Исследование точности позиционирования инструмента на станках типа «обрабатывающий центр»: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / В.И. Петрунин. - М., 1982. - 206 с.
10. Петрунин, В.И. Экспериментальное исследование привода МАСИ многооперационного станка / В.И. Петрунин // Повышение устойчивости и динамического качества металлорежущих станков. - Куйбышев: КПТИ, 1981. - С. 108-113.

1. Kazakova, O.Yu. Machining accuracy increase on machines of milling-boring group due to error minimization of tool systems: *Thesis for Can. Sc. Tech. Degree*: 05.02.08 / O.Yu. Kazakova. - Samara, 2013. - pp. 182.
2. Petrunin, V.I. *Investigation of Accuracy and Rigidity of Mechanisms for Machine Tool Changing: Monograph* / V.I. Petrunin, A.F. Denisenko, O.Yu. Kazakova. - Samara: SamaraSTU Publishers, 2012. - pp. 188.
3. RSS 30064-93. Spindle ends of boring and milling machines. Dimensions. Engineering Requirements. - Minsk: *Inter-State Council on Standardization, Metrology and Certification*: Standards Publishers, 1994. - pp. 14.
4. Tabenkin, A.N. *Roughness. Rippling. Profile. International Experience* / A.N. Tabenkin, S.B. Tarasov, S.N. Stepanov. - S-Pb.: Publishing House of Polytechnic University, 2007. - pp. 136.
5. Pashkevich, M.F. *Industrial Equipment* / M.F. Pashkevich, Zh.A. Mrochek, L.M. Kozhuro, V.M.

- Pashkevich. - Minsk: Адукацыя і выхаванне, 2002. - pp. 320.
6. Pronikov, A.S. *Design of Machine-tools and Machine Systems*. In 3 Vol., Vol.3. Machine System Design / A.S. Pronikov. - M.: Publishing House of Bauman STU of Moscow: "Stankin" Publishers, 2000. - pp. 584.
7. Nosov, N.V. *Computation of Reliability and Engineering Process Quality* / N.V. Nosov. - Samara: Samara Polytechnic Institute, 1992. - pp. 127.
8. Levina, Z.M. *Machine Contact Rigidity* / Z.M. Levina, D.N. Reshetov. - M.: Mechanical Engineering, 1971. - pp. 164.
9. Petrunin, V.I. Investigation of tool positioning accuracy on machines of "machining center" type: *Thesis for Can. Sc. Tech. Degree*: 05.03.01 / V.I. Petrunin. - M.. 1982. - pp. 206.
10. Petrunin, V.I. Experimental investigation of MAsI drive of multi-operation machine / V.I. Petrunin // *Increase of Stability and Dynamic Quality of Machine-tools*. - Kuibyshev: KPTI, 1981. - pp. 108-113.

Ссылка для цитирования:

Казакова, О.Ю. Экспериментальное определение точности базирования и закрепления инструмента / О.Ю. Казакова, Л.Б. Гаспарова // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2019. - № 9. - С. 15 - 24. DOI: 10.30987/article_5d9317b24f2524.52540627.

Статья поступила в редакцию 6.08.19

Рецензент: д.т.н., профессор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета, член редсовета журнала «Вестник БГТУ»

Мокрицкий Б.Я.

Статья принята к публикации 29. 08. 19.

Сведения об авторах:

Казакова Ольга Юрьевна, к.т.н., доцент Самарского государственного технического университета, тел. 89276526590; 8(846)2420697, e-mail: kazakova8080@mail.ru.

Kazakova Olga Yurievna, Can. Sc. Tech., Assistant Prof, Samara State Technical University, e-mail: kazakova8080@mail.ru.

Гаспарова Лана Багратовна, к.пед.н., доцент Самарского государственного технического университета, тел. 89272606805; 8(846)2784414, e-mail: gasparova@mail.ru.

Gasparova Lana Bagratovna, Can. Sc. Pedagogic., Assistant Prof., Samara State Technical University, e-mail: gasparova@mail.ru.