



ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)  
УДК 621.91.02  
DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-2-111-119

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА УВОДА ОСЕЙ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДВУЗУБЫМИ ЗЕНКЕРАМИ

Дерябин И.П.<sup>1</sup>, Токарев А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Трехгорный технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (ТТИ НИЯУ «МИФИ»), Трехгорный, Россия

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы).** Частая смена номенклатуры изделий в современном мире является актуальным вопросом. Развитие современных станков с ЧПУ происходит слишком стремительно, что не позволяет подстроиться к ритму машиностроительного производства. Повышение качества подготовки производства поможет решить данный вопрос. Это возможно за счет автоматизации систем подготовки различного уровня. Автоматизировать системы – значит проанализировать их действия, разработать математическую модель, которая максимально приблизит к действующей обработке. Современные математические модели не учитывают множество факторов, и порой получаемые результаты различаются в 2-4 раза в отличие от справочных данных. Обработка отверстий играет немаловажную роль в современном производстве. Получение отверстия происходит за несколько переходов, причем погрешность первого перехода перекладывается на второй, второго – на третий и т.д. Прогнозирование величины погрешности и уменьшения значения этой величины поможет существенно повысить экономическую эффективность производства. **Цель работы.** Экспериментально исследовать разработанные математические модели расчета увода оси отверстий при обработке двузубыми зенкерами с различными главными углами в плане. **Используемые методы.** Разработана методика проведения экспериментов с использованием различных марок материала, режимов резания и разных углов заточки режущего инструмента. **Новизна.** Установлено, что дисимметрично заточенные главные углы в плане у режущего инструмента снижают увод оси отверстия при обработке. **Результат.** Получена возможность управления точности расположения оси отверстий при обработке дисимметрично заточенным режущим инструментом. **Практическая значимость.** Разработанная методика расчета увода оси отверстия при обработке дисимметрично заточенным режущим инструментом позволит повысить эффективность проектирования технологических процессов на станки с ЧПУ.

**Ключевые слова:** заточка инструмента, дисимметрия, обработка отверстий, увод оси отверстий, концевые мерные инструменты, зенкер, монолитный инструмент, погрешность обработки

© Дерябин И.П., Токарев А.С., 2024

### Для цитирования

Дерябин И.П., Токарев А.С. Экспериментальное исследование адекватности математической модели расчета увода осей отверстий при обработке двузубыми зенкерами // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №2. С. 111-119. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-111-119>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE ADEQUACY OF A MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING THE DEFLECTION OF THE AXES OF HOLES WHEN MACHINING WITH TWO FLUTE COUNTERSINKS

Deryabin I.P.<sup>1</sup>, Tokarev A.S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> Trekhgornyy Technological Institute – branch of National Research Nuclear University MEPhI (TTI NRNU MEPhI), Trekhgornyy, Russia

**Abstract. Problem Statement (Relevance).** The frequent change of the product range in the modern world is a relevant issue. Modern CNC machines are developing too rapidly, leaving no opportunity to adjust to the rhythm of machine-building production. Improving the quality of pre-production will help solve this issue. This is possible due to the automation of preparation systems at various levels. To automate systems means to analyze their actions, develop a mathematical model that will bring them as close as possible to the current machining. Modern mathematical models do not take into account many factors, and sometimes the results obtained differ 2-4 times in contrast to the reference data. Hole machining plays an important role in modern manufacturing. The hole is made in several transitions, and the error of the first transition is shifted to the second one, the second one to the third one, etc. Forecasting the error value and reducing the value of this parameter will significantly increase the economic efficiency of production. **Objectives.** The study is aimed at an experimental investigation of the developed mathematical models for calculating the deflection of the axes of holes, when machining with two flute countersinks with different main cutting edge angles. **Methods Applied.** A method was developed to conduct experiments using different grades of the material, cutting modes and different sharpening angles of the cutting tool. **Originality.** It was found that the dissymmetrically sharpened main cutting edge angles of the cutting tool reduced the deflection of the hole axis during machining. **Result.** It is possible to control accuracy of the location of the axis of the holes, when machining with a dissymmetrically sharpened cutting tool. **Practical Relevance.** The developed method for calculating the deflection of the hole axis during machining with a dissymmetrically sharpened cutting tool will increase efficiency of designing technological processes for CNC machines.

**Keywords:** tool sharpening, dissymmetry, hole machining, hole axis deflection, end measuring tools, countersink, monolithic tool, machining error

## For citation

Deryabin I.P., Tokarev A.S. An Experimental Study on the Adequacy of a Mathematical Model for Calculating the Deflection of the Axes of Holes when Machining with Two Flute Countersinks. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 111-119. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-111-119>

## Введение

Малоизученной областью обработки отверстий является обработка концевыми мерными инструментами (КМИ) [1-3]. При обработке деталей типа тел вращения, а также корпусных деталей очень часто приходится производить рассверливание уже имеющегося отверстия, полученного предварительным сверлением, прокатом, ковкой, штамповкой и т.д. [4, 7-9]. Предшествующая обработка так или иначе оказывает влияние на точность расположения оси отверстия, а следовательно, будет наблюдаться факт наследования погрешности при дальнейшей обработке отверстия, что отрицательно скажется на точности расположения оси [11]. Учет наследования погрешности предшествующей обработки необходим, это уже было доказано Козловым А.В., Дерябиным И.П., Токаревым А.С. и др. [5, 6, 10].

## Материалы и методы исследования

Для получистой и чистовой обработки отвер-

стий диаметром до 6 мм используют двузубый зенкер по ГОСТ 12489-71.

В работах [5-7] было доказано, что дисимметричная заточка трехзубого режущего осевого инструмента повышает точность расположения оси отверстий. Для того чтобы выяснить, справедливо ли данное утверждение для двузубого режущего инструмента, была разработана математическая модель расчета увода оси отверстия, и для подтверждения ее адекватности необходимо провести экспериментальные исследования.

Был рассмотрен процесс формообразования отверстия монолитным двузубым зенкером, для того чтобы на его основе разработать математическую модель расчета увода оси отверстия (рис. 1).

Используя разработанную методику Дерябина И.П. и Токарева А.С. [5, 11] на основании построения срезаемых площадей сечений (см. рис. 1), была разработана математическая модель расчета увода оси отверстия при обработке двузубым монолитным зенкером, которая была преобразована в более удобный для расчета вид:

$$e = \frac{1/2 \cdot \left( (1,23 \cdot (S \cdot \sin \varphi_2)) \cdot (0,9 \cdot (S \cdot \cos \varphi_1)) + (t \cdot S) + \left( \frac{D - D_0}{2} + e_{п.п} \sin(\psi) \right) \right) + (1/2 \cdot (1/35 \cdot t \cdot \cos \varphi_2) \cdot 1/2 \cdot S) + \left( (1/2 \cdot (S \cdot (1/10 \cdot t))) + \left( \frac{D - D_0}{2} + e_{п.п} \sin(\psi) \right) \right)}{\frac{3 \cdot D \cdot E}{L^3}} \cdot \frac{L_{отв}}{S}, \quad (1)$$

где  $S$  – подача, мм/зуб;  $\varphi_1, \varphi_2$  – главный угол в плане первого и второго зуба соответственно, град;  $t$  – глубина резания, мм;  $\psi$  – текущий угол поворота инструмента, град;  $e_{п.п}$  – погрешность предшествующего перехода, мм;  $D$  – диаметр инструмента, мм;  $D_0$  – диаметр отверстия в заготовке, мм;  $E$  – модуль упругости первого рода, МПа;  $L$  – рабочий вылет сборного зенкера, мм.

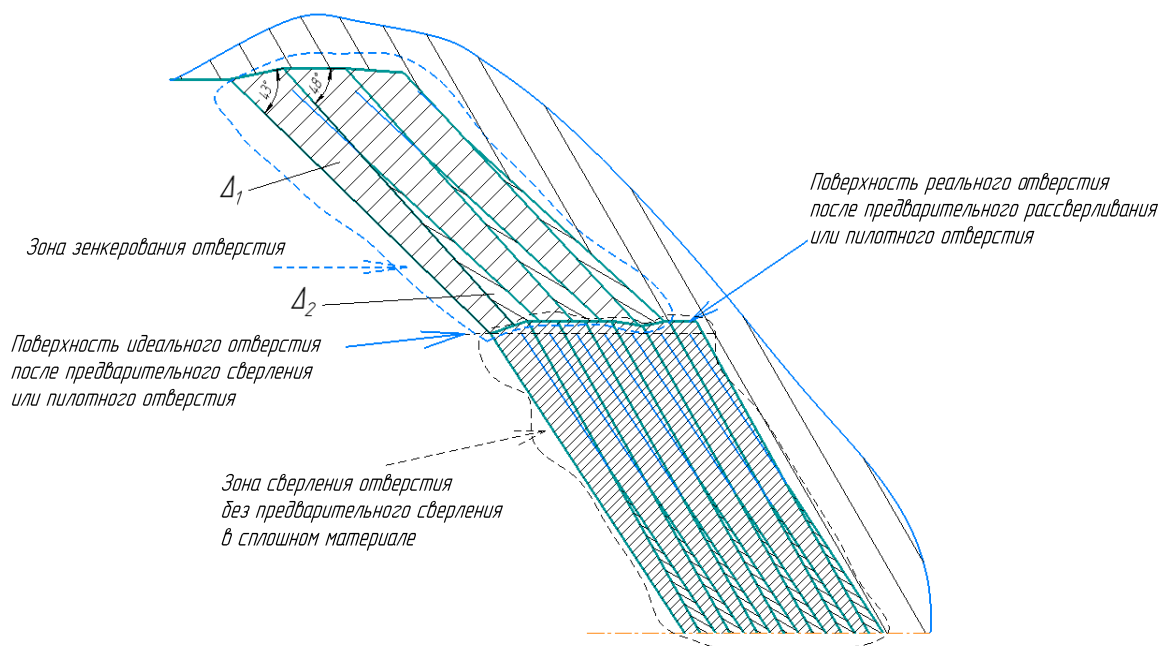


Рис. 1. Схема формообразования срезаемых сечений припуска монолитным зенкером каждым лезвием для варианта главных углов в плане 43-48° после предварительного сверления или в пилотном отверстии:  $\Delta_1$  – площадь сечения припуска, срезаемая первым лезвием;  $\Delta_2$  – площадь сечения припуска, срезаемая вторым лезвием

Fig. 1. Diagram of the shaping of the cut sections of the allowance with a monolithic countersink with each blade for the option of the main cutting edge angles of 43-48° after pre-drilling or in the pilot hole:  $\Delta_1$  is a cross-sectional area of the allowance cut off by the first blade,  $\Delta_2$  is a cross-sectional area of the allowance cut off by the second blade

Для подтверждения адекватности разработанной модели расчета увода оси отверстия при обработке двузубым монолитным зенкером были проведены экспериментальные исследования.

Для данного эксперимента были определены основные параметры.

Выбраны диаметры режущего инструмента: цилиндрических сверл диаметрами 2,5 и 5 мм; зенкера диаметрами 3 и 6 мм.

Материал заготовок: сталь 20, количество – 60 шт., диаметр – 60 мм; сталь 12Х18Н10Т, количество – 60 шт., диаметр – 60 мм; сталь ШХ15, количество – 60 шт., диаметр – 60 мм.

Длина заготовок была выбрана таким образом, чтобы получаемое сквозное отверстие было не менее

5D, то есть глубоким.

Режущий инструмент: набор сверл цилиндрических спиральных монолитных HSS; набор сверл цилиндрических спиральных монолитных P9M4K8; зенкера диаметром 3 и 6 мм HSS; зенкера диаметром 3 и 6 мм P9M4K8.

Оборудование – станок с ЧПУ DMG MORI DMU 50.

Для обработки заготовок были выбраны следующие режимы резания:

– Сталь 20:

• сверление диаметр 2,5 мм:  $S$  – 0,1 мм/об;  $n$  – 2100 об/мин;  $V$  – 17 м/мин;

• сверление диаметр 5 мм:  $S$  – 0,28 мм/об;  $n$  – 490 об/мин;  $V$  – 20 м/мин;

- зенкерование диаметр 3 мм:  $S - 0,22$  мм/об;  $n - 1750$  об/мин;  $V - 30$  м/мин;
  - зенкерование диаметр 6 мм:  $S - 0,36$  мм/об;  $n - 580$  об/мин;  $V - 26$  м/мин.
  - Сталь 12Х18Н10Т:
    - сверление диаметр 2,5 мм:  $S - 0,03$  мм/об;  $n - 2500$  об/мин;  $V - 19,6$  м/мин;
    - сверление диаметр 5 мм:  $S - 0,12$  мм/об;  $n - 1150$  об/мин;  $V - 46$  м/мин;
  - зенкерование диаметр 3 мм:  $S - 0,12$  мм/об;  $n - 2230$  об/мин;  $V - 21$  м/мин;
  - зенкерование диаметр 6 мм:  $S - 0,20$  мм/об;  $n - 1050$  об/мин;  $V - 46$  м/мин.
  - Сталь ШХ15:
    - сверление диаметр 2,5 мм:  $S - 0,06$  мм/об;  $n - 2200$  об/мин;  $V - 17,5$  м/мин;
    - сверление диаметр 5 мм:  $S - 0,16$  мм/об;  $n - 980$  об/мин;  $V - 40$  м/мин;
    - зенкерование диаметр 3 мм:  $S - 0,18$  мм/об;  $n - 1980$  об/мин;  $V - 19$  м/мин;
    - зенкерование диаметр 6 мм:  $S - 0,24$  мм/об;  $n - 990$  об/мин;  $V - 40$  м/мин.
- Заточка главных углов в плане у зенкеров:
- Диаметр 3 мм – 45-45° – симметричная заточка;
  - Диаметр 3 мм – 43-48° – дисимметричная заточка;
  - Диаметр 6 мм – 45-45° – симметричная заточка;
  - Диаметр 6 мм – 43-48° – дисимметричная заточка.

Погрешность главного угла в плане при изготовлении инструмента может достигать 3° (ГОСТ 12489-71). Поэтому, опираясь на исследования в работах [5-7], были выбраны именно главные углы в плане равными 43 и 48° (максимально возможные отклонения угла от заданного значения в 45°).

### Полученные результаты и их обсуждение

Обработка отверстий двузубым инструментом на этапах обработки сверло-зенкер. Материал Сталь 20. Результаты измерения увода оси отверстия представлены в виде гистограмм (рис. 2-5).

Первым этапом были получены отверстия в заготовках диаметром 2,5 мм двузубым цилиндрическим спиральным сверлом. Результаты измерений представлены на гистограмме на рис. 2. Расчет увода оси производился по разработанной математической модели для двузубых сверл.

По результатам гистограммы на рис. 2 видно, что значения измеренного увода оси не превышают расчетного (допустимых). Это было сделано для обеспечения как можно более лучших условий для последующего зенкерования, то есть увод оси был сведен к минимуму.

Далее была произведена обработка отверстия зенкерами диаметром 3 мм. Была обработана партия заготовок в количестве 15 шт. симметрично заточенным двузубым зенкером и партия заготовок в количестве 15 шт. дисимметрично заточенным зенкером. Предварительно был произведен расчет увода оси по разработанной математической модели. Результаты измерений после зенкерования представлены на рис. 3.

По результатам измерений можно сделать вывод, что при обработке отверстий симметрично заточенным зенкером наблюдается 25% брака даже при использовании расчетной математической модели, в то время как при использовании дисимметрично заточенного режущего инструмента брак в партии отсутствует.

Рассмотрим аналогичное получение отверстия диаметром 6 мм – максимальный диаметр, при котором используются двузубые зенкера. Результаты измерений отверстий после сверления и последующего зенкерования представлены в виде гистограмм на рис. 4 и 5 соответственно.

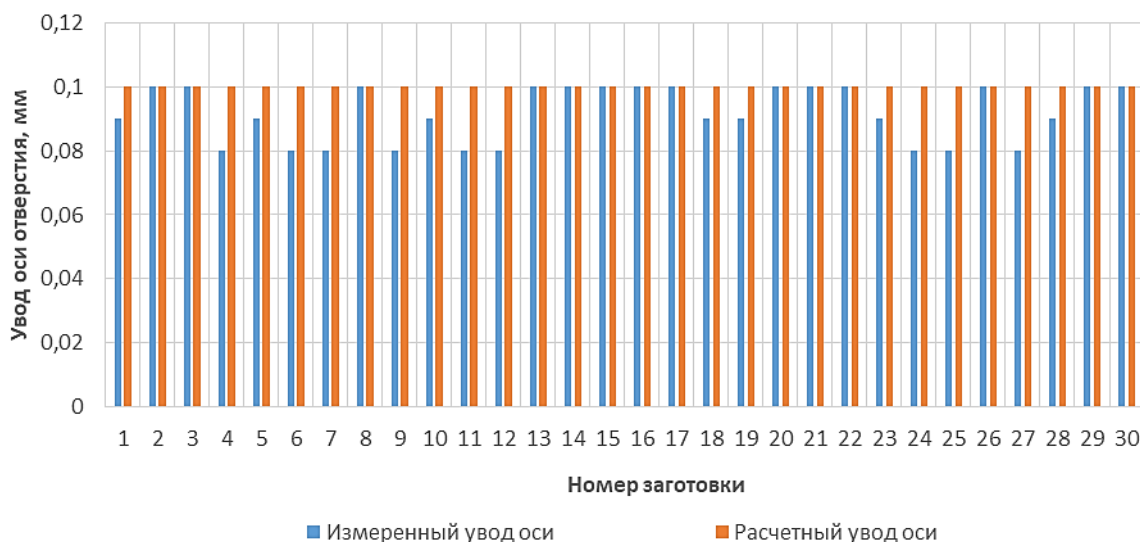


Рис. 2. Результаты измерений увода оси отверстия после сверления сверлом диаметром 2,5 мм (сталь 20)  
 Fig. 2. Measurement results of the hole axis deflection after drilling with a drill, 2.5 mm in diameter (steel 20)

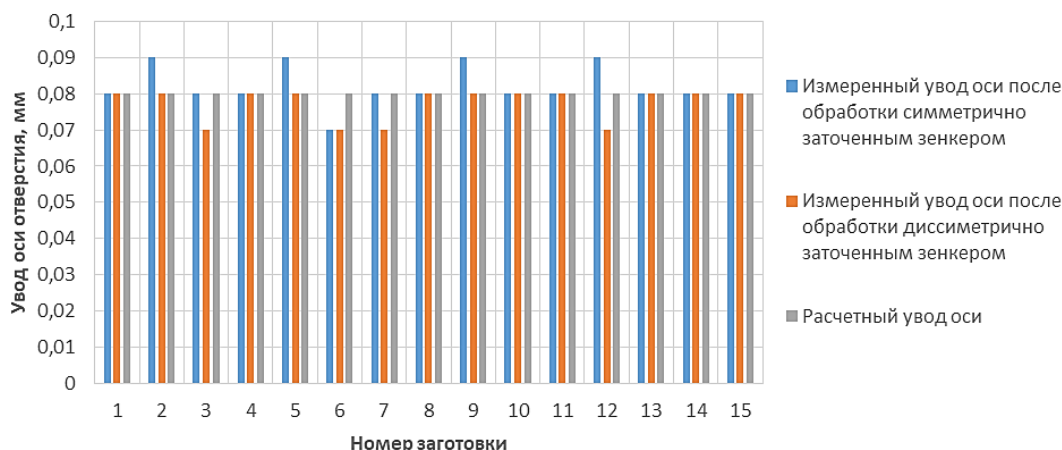


Рис. 3. Гистограмма расчетных и измеренных значений после обработки отверстия симметрично заточенным зенкером и измеренных значений увода оси отверстия после обработки диссимметрично заточенным зенкером (сталь 20)

Fig. 3. Histogram of calculated and measured values after hole machining with a symmetrically sharpened countersink and measured values of the hole axis deflection after machining with a dissymmetrically sharpened countersink (steel 20)

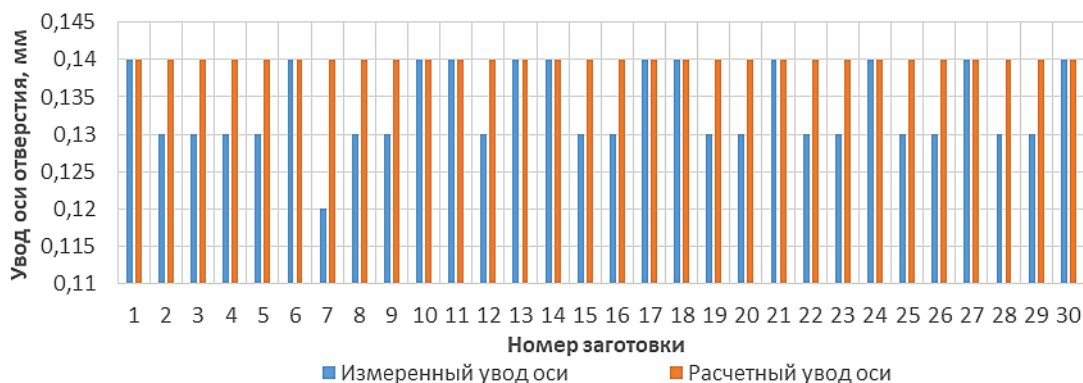


Рис. 4. Результаты измерений увода оси отверстия после сверления сверлом диаметром 2,5 мм (сталь 20)

Fig. 4. Measurement results of the hole axis deflection after drilling with a drill, 2.5 mm in diameter (steel 20)

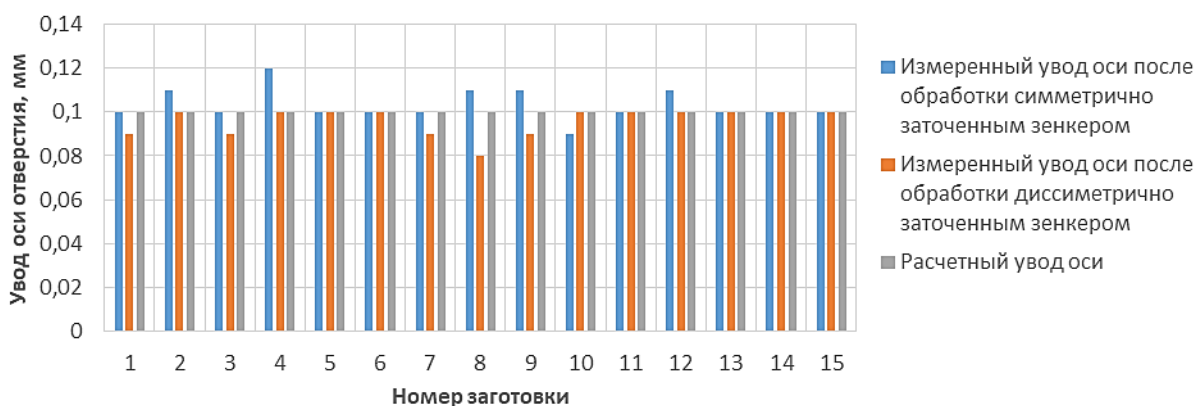


Рис. 5. Гистограмма расчетных и измеренных значений после обработки отверстия симметрично заточенным зенкером и измеренных значений увода оси отверстия после обработки диссимметрично заточенным зенкером (сталь 20)

Fig. 5. Histogram of calculated and measured values after hole machining with a symmetrically sharpened countersink and measured values of the hole axis deflection after machining with a dissymmetrically sharpened countersink (steel 20)

По результатам измерений можно сделать вывод, что при обработке отверстий симметрично заточенным зенкером наблюдается 33% брака даже при использовании расчетной математической модели, в то время как при использовании дисимметрично заточенного режущего инструмента брак в партии отсутствует.

Аналогично были проведены эксперименты с материалами сталей 12X18H10T и ШХ15, результаты которых представлены в виде гистограмм на рис. 6-13.

Результаты по эксперименту при обработке отверстий в материале сталь 12X18H10T представлены на рис. 6-9.

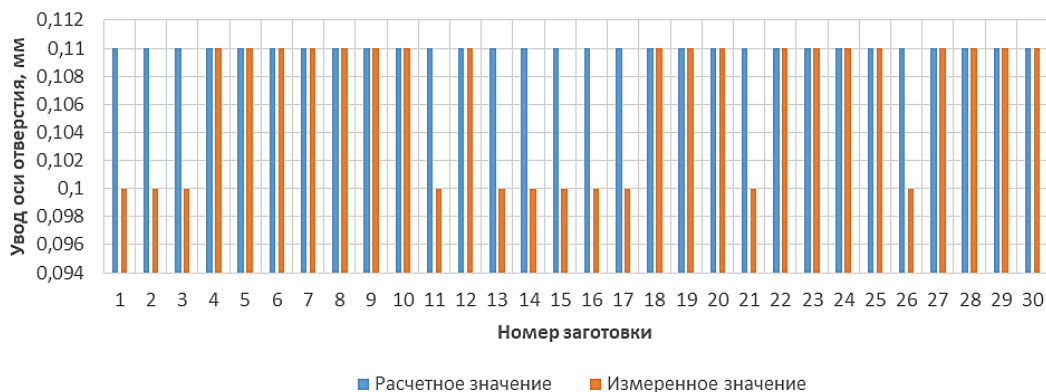


Рис. 6. Результаты измерений увода оси отверстия после сверления сверлом диаметром 2,5 мм (сталь 12X18H10T)

Fig. 6. Measurement results of the hole axis deflection after drilling with a drill, 2.5 mm in diameter (steel 12X18H10T)

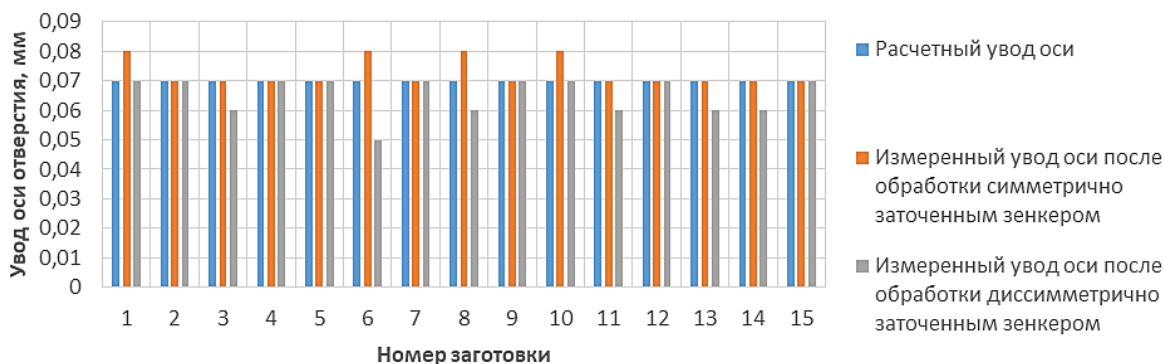


Рис. 7. Гистограмма расчетных и измеренных значений после обработки отверстия симметрично заточенным зенкером и измеренных значений увода оси отверстия после обработки дисимметрично заточенным зенкером (сталь 12X18H10T)

Fig. 7. Histogram of calculated and measured values after hole machining with a symmetrically sharpened countersink and measured values of the hole axis deflection after machining with a dissymmetrically sharpened countersink (steel 12X18H10T)



Рис. 8. Результаты измерений увода оси отверстия после сверления сверлом диаметром 5 мм (сталь 12X18H10T)

Fig. 8. Measurement results of the hole axis deflection after drilling with a drill, 5 mm in diameter (steel 12X18H10T)

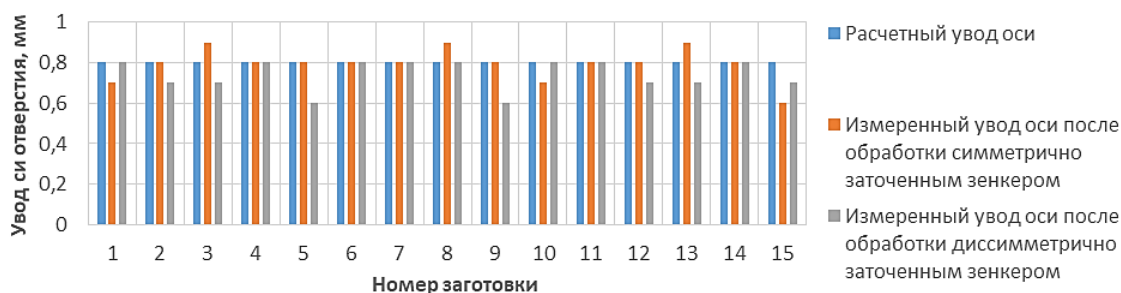


Рис. 9. Гистограмма расчетных и измеренных значений после обработки отверстия симметрично заточенным зенкером и измеренных значений увода оси отверстия после обработки диссимметрично заточенным зенкером (сталь 12X18H10T)

Fig. 9. Histogram of calculated and measured values after hole machining with a symmetrically sharpened countersink and measured values of the hole axis deflection after machining with a asymmetrically sharpened countersink (steel 12X18H10T)

Как и при обработке стали 20, при обработке материала из стали 12X18H10T диссимметрично заточенный зенкер позволяет получить партии заготовок без брака, а использование симметрично заточенного режущего инструмента дает брак 25% при обработке отверстия диаметром 3 мм и 20% – диаметром 6 мм.

Результаты по эксперименту при обработке отверстий в материале ШХ15 представлены в виде гистограмм на рис. 10-13.

При обработке материала из стали ШХ15 ди-

симметрично заточенный зенкер позволяет получить партии заготовок без брака, а использование симметрично заточенного режущего инструмента дает брак 20% при обработке отверстия диаметром 3 мм и 22% – диаметром 6 мм.

Исходя из полученных измерений обработанных отверстий, можно сказать, что повышение точности обработки при использовании диссимметрично заточенного режущего инструмента характерно и для двузубых зенкеров.



Рис. 10. Результаты измерений увода оси отверстия после сверления сверлом диаметром 2,5 мм (сталь ШХ15)

Fig. 10. Measurement results of the hole axis deflection after drilling with a drill, 2.5 mm in diameter (steel ШХ15)

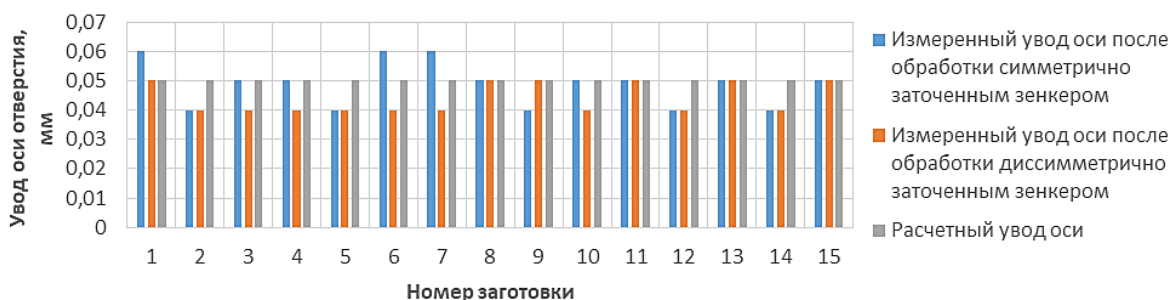


Рис. 11. Гистограмма расчетных и измеренных значений после обработки отверстия симметрично заточенным зенкером и измеренных значений увода оси отверстия после обработки диссимметрично заточенным зенкером (сталь ШХ15)

Fig. 11. Histogram of calculated and measured values after hole machining with a symmetrically sharpened countersink and measured values of the hole axis deflection after machining with a dissymmetrically sharpened countersink (steel ШХ15)



Рис. 12. Результаты измерений увода оси отверстия после сверления сверлом диаметром 5 мм (сталь ШХ15)  
 Fig. 12. Measurement results of the hole axis deflection after drilling with a drill, 5 mm in diameter (steel ШХ15)

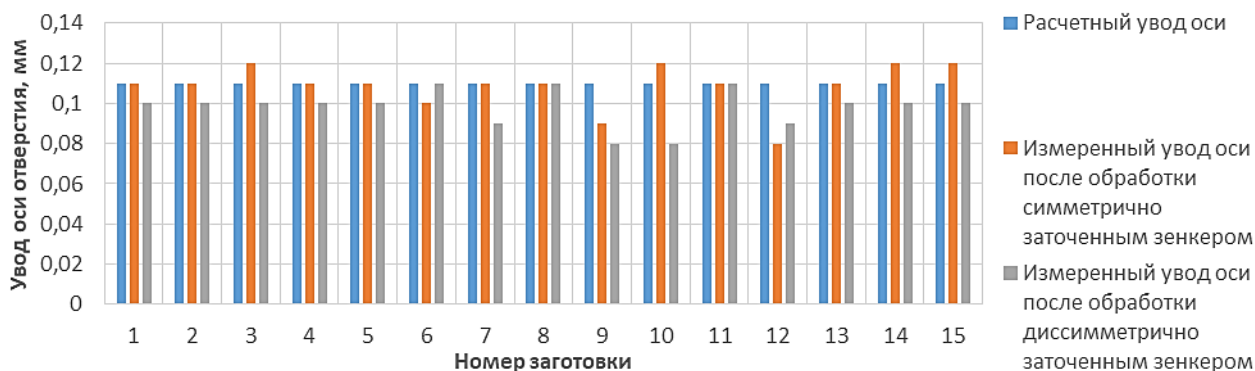


Рис. 13. Гистограмма расчетных и измеренных значений после обработки отверстия симметрично заточенным зенкером и измеренных значений увода оси отверстия после обработки диссимметрично заточенным зенкером (сталь ШХ15)  
 Fig. 13. Histogram of calculated and measured values after hole machining with a symmetrically sharpened countersink and measured values of the hole axis deflection after machining with a dissymmetrically sharpened countersink (steel ШХ15)

**Заключение**

Анализ полученных результатов экспериментальных исследований показал адекватность разработанной математической модели расчета увода оси отверстия при обработке двузубым монолитным зенкером, а также подтвердил, что применение диссимметрично заточенного инструмента позволяет добиваться необходимой точности расположения оси отверстий.

**Список источников**

1. Аверченков В.И., Васильев А.С., Хейфец М.Л. Технологическая наследственность при формировании качества изготавливаемых деталей // Научные технологии в машиностроении. 2018. №10. С. 27-32.
2. Баранов А.В., Карачев А.В. Определение технологической наследственности при обработке отверстий в деталях газотурбинных двигателей // Вестник машиностроения. 2021. №11. С. 37-42.
3. К вопросу об учете технологической наследственности при формировании свойств деталей / Гордеева Э.С., Богущкий В.Б., Шрон Л.Б., Ново-

селов Ю.К. // Механики XXI века. 2018. №17. С. 248-254.

4. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / Дальский А.М., Базаров Б.М., Васильев А.С. и др.; под ред. А.М. Дальского. М.: Изд-во МАИ, 2000. 364 с.
5. Дерябин И.П. Методология параметрического проектирования многопереходной обработки круглых отверстий концевыми мерными инструментами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / И.П. Дерябин. Челябинск, 2009.
6. Дерябин И.П., Гузев В.И., Кожарина О.А. Исследования наследования погрешностей расположения осей отверстий при многопереходной обработке // Технология машиностроения. 2008. №6. С. 23-25.
7. Дерябин И.П., Козлов А.В. Исследование процессов формообразования отверстий мерными инструментами: монография. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006.
8. Емельянов С.Г., Зубкова О.С., Мержоева М.С. Эффективность использования сборных зенкеров



- со сменными многогранными пластинами // Вестник машиностроения. 2003. №12. С. 60-61.
9. Зайцев А.В., Колупаев Н.А. Методика расчета отклонений оси инструмента при обработке отверстий малого диаметра // Главный механик. 2020. № 11. С. 24-30.
  10. Расторгуев Г.А. Особенности технологического наследования в машиностроительном производстве // Справочник. Инженерный журнал. 2013. №9 (198). С. 8-17.
  11. Токарев А.С., Дерябин И.П., Лопатин Б.А. Экспериментальное определение увода оси отверстий при обработке зенкером с МНП // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2020. Т. 20. №1. С. 55-62.
5. Deryabin I.P. *Metodologiya parametricheskogo proektirovaniya mnogoperekhodnoy obrabotki kruglykh otverstiy kontsevymi mernymi instrumentami: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Methodology of parametric design of multi-pass machining of round holes with end measuring tools. Extended abstract of the doctoral]. Chelyabinsk, 2009. (In Russ.)
  6. Deryabin I.P., Guzeev V.I., Kozharina O.A. Studies on inheritance of errors in the location of hole axes during multi-pass machining. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Mechanical Engineering Technology]. 2008;(6):23-25. (In Russ.)
  7. Deryabin I.P., Kozlov A.V. *Issledovanie protsessov formoobrazovaniya otverstiy mernymi instrumentami: monografiya* [Investigation of the processes of forming holes with measuring instruments: monograph]. Chelyabinsk: South Ural State University, 2006. (In Russ.)
  8. Emelyanov S.G., Zubkova O.S., Merzhoeva M.S. Efficiency of using prefabricated countersinks with replaceable polyhedral plates. *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of Mechanical Engineering]. 2003;(12):60-61. (In Russ.)
  9. Zaitsev A.V., Kolupaev N.A. Methodology for calculating tool axis deviations during machining of small diameter holes. *Glavnyi mekhanik* [Chief Mechanical Engineer]. 2020;(11):24-30. (In Russ.)
  10. Rastorguev G.A. Features of technological inheritance in machine-building production. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal* [Handbook. Engineering Journal]. 2013;(9(198)):8-17. (In Russ.)
  11. Tokarev A.S., Deryabin I.P., Lopatin B.A. Experimental determination of the hole axis deflection, when machining with countersinks with indexable disposable inserts. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Mashinostroenie»* [Bulletin of SUSU. Series: Mechanical Engineering]. 2020;20(1):55-62. (In Russ.)

### References

1. Averchenkov V.I., Vasiliev A.S., Kheifets M.L. Technological heredity in the formation of the quality of manufactured parts. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* [Science-Intensive Technologies in Mechanical Engineering]. 2018;(10):27-32. (In Russ.)
2. Baranov A.V., Karachev A.V. Determination of technological heredity in machining of holes in gas turbine engine parts. *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of Mechanical Engineering]. 2021;(11):37-42. (In Russ.)
3. Gordeeva E.S., Bogutsky V.B., Shron L.B., Novoselov Yu.K. On the issue of factoring into technological heredity in the formation of the properties of parts. *Mekhaniki XXI veku* [Mechanical Engineers to the 21<sup>st</sup> century]. 2018;(17):248-254. (In Russ.)
4. Dalsky A.M., Bazarov B.M., Vasiliev A.S. et al. *Tekhnologicheskaya nasledstvennost v mashinostroitel'nom proizvodstve* [Technological heredity in machine-building production]. Moscow: Publishing House of Moscow Aviation Institute, 2000, 364 p. (In Russ.)

Поступила 01.02.2024; принята к публикации 26.02.2024; опубликована 27.06.2024  
Submitted 01/02/2024; revised 26/02/2024; published 27/06/2024

**Дерябин Игорь Петрович** – доктор технических наук, профессор,  
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.  
Email: derigp@gmail.com.

**Токарев Артем Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент,  
Трехгорный технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ» (ТТИ НИЯУ «МИФИ»), Трехгорный, Россия. Email: Tokarev\_a\_s91@mail.ru.

**Igor P. Deryabin** – DrSc (Eng.), Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.  
Email: derigp@gmail.com.

**Artem S. Tokarev** – PhD (Eng.), Associate Professor, Trekhgornyy Technological Institute – branch  
of National Research Nuclear University MEPHI (TTI NRNU MEPHI), Trekhgornyy, Russia.  
Email: Tokarev\_a\_s91@mail.ru.