

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

MATERIAL PROCESS ENGINEERING

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 621.91.02
DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-3-114-122



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСИ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТРЕХЛЕЗВИЙНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Дерябин И.П.¹, Гузеев В.И.¹, Токарев А.С.²

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Трехгорный технологический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (ГТИ НИЯУ «МИФИ»), Трехгорный, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). Для современного машиностроения характерно постоянное ужесточение требований к точности деталей. Одной из проблем получения высокой точности расположения оси отверстий в различных деталях является технологическое наследование погрешностей при многопереходной обработке. Обработка отверстий на современных станках с ЧПУ сверлением, зенкерованием и развертыванием выполняется при жестком закреплении инструмента и без направления по кондукторной втулке. При многопереходной обработке отверстий увод, возникший после сверления, необходимо исправить на следующих переходах. Однако рассверливание, зенкерование и т.д. нестабильно обеспечивает повышение точности расположения оси отверстия. Результаты этих переходов нестабильны, в ряде случаев увод не снижается, а возрастает. Во многом это связано с главной спецификой обработки отверстий концевыми мерными инструментами (сверлами, зенкерами, развертками) – крайне малой жесткостью, которую практически невозможно повысить на современном высокоточном оборудовании с ЧПУ. Поэтому необходимо найти другие способы снижения погрешностей обработки: выбор геометрических параметров заточки инструментов, учет амплитуды и фазы осевых колебаний инструмента и т.д. **Цель работы.** Экспериментально определить влияние различных технологических параметров обработки на наследование увода оси отверстия для переходов сверления и зенкерования трехлезвийным зенкером. **Используемые методы.** Разработана методика проведения экспериментов с варьированием углов заточки инструмента, амплитуды и фазы осевых колебаний инструмента, азимутального положения заготовки в станке. **Новизна.** Установлено, что при определенных сочетаниях управляемых параметров обработки диссимметрично заточенный инструмент по главному углу в плане снижает увод оси отверстия значительно больше, чем симметрично заточенный. **Результат.** Получена возможность управлять параметрами обработки отверстий концевыми мерными инструментами для существенного влияния на технологическое наследование погрешностей расположения оси. **Практическая значимость.** Применение результатов исследования позволит повысить точность обработки отверстий концевыми мерными инструментами на станках с ЧПУ.

Ключевые слова: обработка отверстий, технологическое наследование, увод оси отверстий, концевые мерные инструменты, осевые колебания инструмента

© Дерябин И.П., Гузеев В.И., Токарев А.С., 2023

Для цитирования

Дерябин И.П., Гузеев В.И., Токарев А.С. Экспериментальные исследования технологического наследования погрешностей расположения оси отверстий при применении трехлезвийных инструментов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №3. С. 114-122. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-3-114-122>



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

EXPERIMENTAL STUDIES ON TECHNOLOGICAL INHERITANCE OF ERRORS IN THE LOCATION OF THE AXIS OF HOLES WHEN USING THREE-BLADE TOOLS

Deryabin I.P.¹, Guzeev V.I.¹, Tokarev A.S.²

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Trekhgornyy Technological Institute – Branch of National Research Nuclear University Moscow Engineering Physics Institute, Trekhgornyy, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). Modern mechanical engineering is characterized by a constant tightening of requirements for accuracy of parts. One of the problems of achieving high accuracy of the axis of the holes in various parts is technological inheritance of errors during multi-transition processing. Hole machining on modern CNC machines by drilling, countersinking and broaching is carried out with a rigid attachment of the tool and without direction along a jig bushing. When applying multi-pass hole machining, the deviation occurred after drilling is to be corrected at the following stages. However, drilling, countersinking, etc. unstably provides an increase in accuracy of the location of the axis of the hole. The results of these stages are unstable; in some cases the deviation is not decreased, but increased. This is largely due to the main specifics of hole machining with end measuring tools (drills, countersinks, reamers), namely extremely low rigidity, which is almost impossible to increase on modern high-precision CNC equipment. Therefore, it is necessary to find other ways to reduce machining errors: the choice of geometric parameters of sharpening tools, factoring into the amplitude and phase of axial vibrations of the tool, etc. **Objectives.** The study is aimed at determining experimentally the influence of various machining process parameters on inheritance of the deviation of the hole axis for drilling and countersinking with a three-blade countersink. **Methods Applied.** We developed a method of conducting experiments with varying the angles of tool sharpening, the amplitude and phase of the axial vibrations of the tool, the azimuthal position of the workpiece in the machine. **Originality.** Certain combinations of controlled machining parameters have been found to provide that a dissymmetrically sharpened tool along the entering angle reduces the deviation of the hole axis significantly more than a symmetrically sharpened one. **Result.** It is possible to control the parameters of hole machining with end measuring tools to achieve a significant impact on technological inheritance of axis location errors. **Practical Relevance.** The application of the research results will improve accuracy of hole machining with end measuring tools on CNC machines.

Keywords: hole machining, technological inheritance, removal of the axis of the holes, end measuring tools, axial vibrations of the tool

For citation

Deryabin I.P., Guzeev V.I., Tokarev A.S. Experimental Studies on Technological Inheritance of Errors in the Location of the Axis of Holes when Using Three-Blade Tools. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 3, pp. 114-122. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-3-114-122>

Введение

Явление технологической наследственности оказывает существенное влияние на точность обработки деталей машин [1, 3, 4, 9]. Существующая теория и практика технологии машиностроения базируется на положении об уточнении параметров точности по переходам: каждый последующий переход обработки данной поверхности должен уменьшать погрешности. Однако данное положение не всегда оказывается верным, например при многопереходной обработке отверстий концевыми мерными инструментами (КМИ). В ряде случаев наблюдается увеличение погрешности расположения оси (увода) на последующих операциях-переходах [2, 5, 6]. Возможность управления технологическими параметрами операций и переходов в процессе изго-

товления круглых и точных отверстий может значительно влиять на снижение погрешностей обработки. Проведенные исследования наследования погрешностей при обработке отверстий двухлезвийными инструментами на операциях сверления и рассверливания показали существенную неоднозначность изменения точности расположения оси (увода) отверстия. Основными технологическими параметрами, влияющими на увод оси отверстия при рассверливании, являются:

- погрешность расположения оси отверстия после сверления;
- разность значений главных углов в плане ϕ режущих лезвий сверла;
- величина осевого биения шпинделя станка, приводящая к колебаниям подачи S ;
- фаза колебаний шпинделя станка.

В зависимости от вида сочетаний этих пара-

метров увод оси отверстия при рассверливании может либо уменьшаться, либо увеличиваться. Оказалось, что после сверления на следующем переходе рассверливания инструмент с более диссимметричной заточкой дает наибольшее снижение увода оси отверстия. Также установлено, что увод оси отверстия снижается больше, когда фаза осевого колебания шпинделя, приводящая к максимальной подаче, наступает при положении лезвия инструмента с большим главным углом в плане ϕ со стороны наибольшего припуска в заготовке.

Материалы и методы исследования

Рассмотрим возможности применения в многопереходной обработке отверстий многолезвийных инструментов, например зенкеров [7, 8, 10]. Для решения этой задачи были проведены экспериментальные исследования. В ходе проведенных экспериментов: даны количественные характеристики механизма наследования увода оси отверстия при многопереходной обработке; определены закономерности изменения величины увода оси отверстия на операциях зенкерования на основе учёта фазы осевых колебаний шпинделя станка в сочетании с факторами диссимметрии заточки режущей части инструмента и положения оси отверстия в заготовке.

Эксперименты проводились на вертикально-сверлильном станке модели 2A125. Режимы резания: скорость резания – 40 м/мин; подача $S_0 = 0,2$ мм/об. В качестве смазывающей охлаждающей жидкости использовался Укринол 5%.

Для проведения экспериментов использовались заготовки, полученные из круглого сортового проката. Материал заготовок сталь 20, длина заготовки 40 мм, наружный диаметр 25 мм; заготовки отшлифованы по наружному диаметру и торцам, а также просверлено центральное отверстие диаметром 6 Н13. Шлифование заготовок по наружному диаметру проводилось с целью получения более точных замеров значений получаемого увода оси отверстия. На верхнем торце ось отверстия совпадает с осью заготовки. Отверстие было просверлено таким образом, что в результате был получен увод $1,3 \pm 1$ мм на 40 мм длины. В результате чего на нижнем торце имеет место разностенность (рис. 1).

На заготовках со стороны выхода сверла были определены положения наибольшей h_6 и наименьшей h_m толщины стенки, которые будут влиять на припуск при последующей операции зенкерования. Далее была рассчитана величина

увода оси отверстия по формуле $(h_6 - h_m)/2$. На каждом торце у всех заготовок со стороны наибольшей толщины стенки сделаны метки. Все заготовки нумеровались.

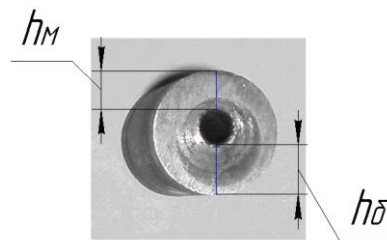


Рис. 1. Разметка положений наибольшей и наименьшей толщины стенок на торце детали со стороны выхода инструмента

Fig. 1. Marking of the positions of the highest and lowest wall thickness at the end of the part, on the side of the tool outlet

Все замеры производились на координатно-измерительной машине Global active фирмы Brown&Sharp. Для проведения замера деталь устанавливалась на столе координатно-измерительной машины в призму вертикально, как показано на фотографии (рис. 2).



Рис. 2. Процесс замера детали на координатно-измерительной машине Global active

Fig. 2. Measuring a part on the Global Active coordinate measuring machine

С целью проверки влияния периодических осевых колебаний инструмента на наследование погрешностей расположения оси отверстия применялась специальная сверлильная головка с регулированием амплитуды и фазы осевых колебаний (рис. 3). Это позволило выполнять подачу инструмента (рис. 4) по зависимости

$$S = S_0 + \Delta S \cdot \cos\psi,$$

где S_0 – номинальное значение подачи, установленное на станке, мм/об; ΔS – амплитуда осевых колебаний инструмента, мм; ψ – текущий угол поворота инструмента, град.



Рис. 3. Сверлильная головка с осевым перемещением
Fig. 3. A drilling head with axial displacement

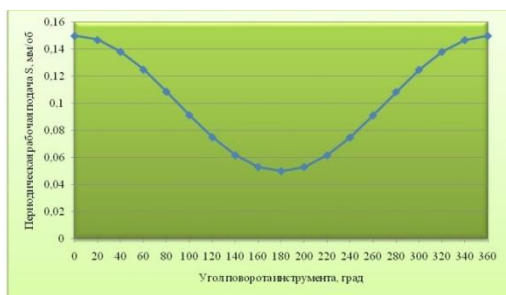


Рис. 4. Фактическая подача инструмента за один оборот
Fig. 4. Working tool feed in one turn

На рис. 5 показана конструкция подшипникового узла специальной сверлильной головки, позволяющего изменять амплитуду и фазу осевых колебаний инструмента. Для задания различных величин амплитуды осевых колебаний изготовлено несколько комплектов сменных колец 1 и втулок 2 с торцовыми биениями, обеспечивающими амплитуду осевых колебаний $\Delta S = 0,05-0,15$ мм. Таким образом, амплитуда колебаний ΔS инструмента приводит к изменению подачи в диапазоне от $S - \Delta S = 0,05$ мм/об до $S + \Delta S = 0,35$ мм/об за

один оборот инструмента. Фаза колебаний регулируется поворотом кольца 1.

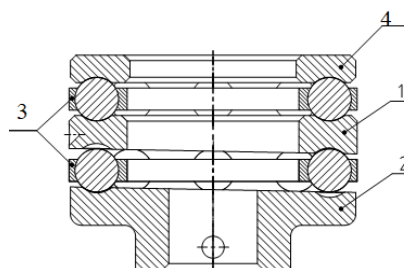


Рис. 5. Подшипниковый узел головки: 1 – сменное кольцо; 2 – нижняя неподвижная втулка; 3 – сепараторы; 4 – верхнее кольцо

Fig. 5. Bearing assembly of the head: 1 is a replaceable ring; 2 is a lower fixed sleeve; 3 are separators; 4 is an upper ring

Применяемый режущий инструмент:

- зенкер 1: $\varnothing 8$ мм, количество лезвий = 3, главные углы в плане режущих лезвий $\varphi 1 = 45^\circ$, $\varphi 2 = 40^\circ$, $\varphi 3 = 40^\circ$;
- зенкер 2: $\varnothing 8$ мм, количество лезвий = 3, главные углы в плане режущих лезвий $\varphi 1 = 40^\circ$, $\varphi 2 = 45^\circ$, $\varphi 3 = 45^\circ$;
- зенкер 3: $\varnothing 8$ мм, количество лезвий = 3, главные углы в плане режущих лезвий $\varphi 1 = 40^\circ$, $\varphi 2 = 45^\circ$, $\varphi 3 = 50^\circ$;
- зенкер 4: $\varnothing 8$ мм, количество лезвий = 3, главные углы в плане режущих лезвий $\varphi 1 = 45^\circ$, $\varphi 2 = 45^\circ$, $\varphi 3 = 45^\circ$.

На рис. 6 показаны зенкеры с разной заточкой углов в плане: зенкер 1: $\varphi 1 = 45^\circ$, $\varphi 2 = 40^\circ$, $\varphi 3 = 40^\circ$; зенкер 2: $\varphi 1 = 40^\circ$, $\varphi 2 = 45^\circ$, $\varphi 3 = 45^\circ$.

		$\varphi 1 = 45^\circ$, $\varphi 2 = 40^\circ$, $\varphi 3 = 40^\circ$.
		$\varphi 1 = 40^\circ$, $\varphi 2 = 45^\circ$, $\varphi 3 = 45^\circ$.

Рис. 6. Зенкеры с несимметричной заточкой главных углов в плане
Fig. 6. Countersinks with asymmetric sharpening of entering angles

В процессе проведения экспериментов варьировались такие параметры, как:

- 1) амплитуда осевых колебаний ΔS инструмента;
- 2) главные углы в плане ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 ;
- 3) положение наибольшего припуска в заготовке относительно режущих лезвий.

На станке 2A125 была установлена специальная сверлильная головка (рис. 7).



Рис. 7. Вертикально-сверлильный станок модели 2A125 с закрепленной на его шпинделе специальной сверлильной головкой
 Fig. 7. Vertical drilling machine model 2A125 with a special drilling head fixed on its spindle

Определение фазы максимальной амплитуды производилось с помощью индикатора часового типа по конической оправке, вставляемой в сверлильную головку, как показано на рис. 8.

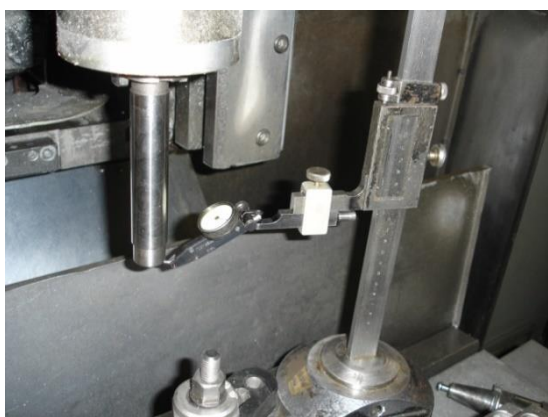


Рис. 8. Замер осевого биения, создаваемого сверлильной головкой
 Fig. 8. Measurement of the axial runout generated by the drilling head

Затем на невращающейся части сверлильной головки, а именно на гильзе, была выполнена метка, которая обозначала положение максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$. Инструмент устанавливался в сверлильную головку так, чтобы лезвие, положение которого нужно задать, совпадало с положением метки на гильзе сверлильной головки. Фаза осевых колебаний определялась для того, чтобы определённым образом сориентировать заготовку относительно заданного лезвия инструмента в момент максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$.

Полученные результаты и их обсуждение

Эксперимент 1. Зенкерование проводим зенкером 1: $\varnothing 8$ мм, $\phi_1 = 45^\circ$, $\phi_2 = 40^\circ$, $\phi_3 = 40^\circ$. Заготовка и инструмент устанавливались так, чтобы сторона с наибольшим припуском по метке совпадала с лезвием 1 с главным углом в плане $\phi_1 = 45^\circ$ в момент максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$. Результаты эксперимента показаны на рис. 9. Здесь и далее синим цветом показаны значения увода оси отверстия после сверления, а коричневым – после зенкерования. Среднее значение уменьшения увода 43%.



Рис. 9. Результаты эксперимента 1
 Fig. 9. Results of experiment 1

Эксперимент 2. Заготовка и инструмент устанавливались так, чтобы относительно наибольшего припуска лезвие 1 с главным углом в плане $\phi_1 = 45^\circ$ в момент максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$ было повернуто по часовой стрелке на 120° . Результаты эксперимента показаны на рис. 10. Среднее значение уменьшения увода 45%.



Рис. 10. Результаты эксперимента 2
Fig. 10. Results of experiment 2

Эксперимент 3. Заготовка и инструмент устанавливались так, чтобы относительно наибольшего припуска лезвие 1 с главным углом в плане $\phi 1 = 45^\circ$ в момент максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$ было повернуто по часовой стрелке на 240° . Результаты эксперимента показаны на **рис. 11**. Среднее значение уменьшения увода 51%.



Рис. 11. Результаты эксперимента 3
Fig. 11. Results of experiment 3

По результатам экспериментов 1-3 видно, что трехлезвийный инструмент с диссимметричной заточкой лезвий по схеме $\phi 1 = \text{maximum}$ и $\phi 2 = \phi 3$ дает наилучший результат 51% уменьшения увода оси отверстия при повороте лезвия с $\phi 1 = \text{maximum}$ на 240° относительно максимального припуска в момент максимальной фазы осевого колебания инструмента.

Эксперименты 4-6 проводились зенкером $\varnothing 8$ мм с углами лезвий $\phi 1 = 40^\circ$, $\phi 2 = 45^\circ$, $\phi 3 = 45^\circ$.

Эксперимент 4. Заготовка и инструмент устанавливались так, чтобы сторона с наибольшим припуском по метке совпадала с лезвием 1 с главным углом в плане $\phi 1 = 40^\circ$ в момент максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$. Результаты эксперимента показаны на **рис. 12**. Среднее значение уменьшения увода 68%.



Рис. 12. Результаты эксперимента 4
Fig. 12. Results of experiment 4

Эксперимент 5. Заготовка и инструмент устанавливались так, чтобы относительно наибольшего припуска лезвие 1 с главным углом в плане $\phi 1 = 40^\circ$ в момент максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$ было повернуто по часовой стрелке на 120° . Результаты эксперимента показаны на **рис. 13**. Среднее значение уменьшения увода 81%.



Рис. 13. Результаты эксперимента 5
Fig. 13. Results of experiment 5

Эксперимент 6. Заготовка и инструмент устанавливались так, чтобы относительно наибольшего припуска лезвие 1 с главным углом в плане $\phi 1 = 40^\circ$ в момент максимальной подачи $S = S_0 + \Delta S$ было повернуто по часовой стрелке на 240° . Результаты эксперимента показаны на **рис. 14**. Среднее значение уменьшения увода 26%.

По результатам экспериментов 4-6 видно, что трехлезвийный инструмент с диссимметричной заточкой главных углов в плане по схеме $\phi 1 = \text{minimum}$, $\phi 2 = \phi 3$ дает наилучший результат 81% уменьшения увода оси отверстия при повороте лезвия с $\phi 1 = \text{minimum}$ на 120° относительно максимального припуска в момент максимальной фазы осевого колебания инструмента.

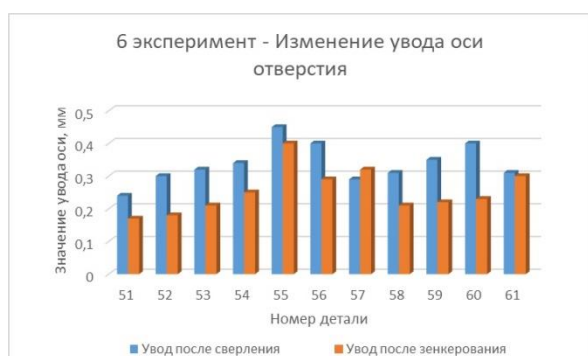


Рис. 14. Результаты эксперимента 6
Fig. 14. Results of experiment 6

Эксперимент 7. Применялся режущий инструмент трехлезвийный зенкер: $\varnothing 8$ мм, главные углы в плане режущих лезвий $\varphi 1 = 45^\circ$, $\varphi 2 = 45^\circ$, $\varphi 3 = 45^\circ$. Результаты эксперимента показаны на рис. 15. Среднее значение уменьшения увода 28%.



Рис. 15. Результаты эксперимента 7
Fig. 15. Results of experiment 7

Таблица. Результаты экспериментов
T a b l e. Experimental results

Вариант заточки инструмента	Значения главных углов инструмента в плане	Угол поворота режущего лезвия 1 с главным углом в плане $\varphi 1$ относительно наибольшего припуска в момент значения подачи $S = S_0 + \Delta S$	Достигнутое исправление увода, %
1	$\varphi 1 = \text{minimum } \varphi 2 = \varphi 3$	120°	81
2	$\varphi 1 < \varphi 2 < \varphi 3$	положение угла $\varphi 2 = 45^\circ$ напротив наибольшего припуска в момент максимального значения подачи $S = S_0 + \Delta S$	58
3	$\varphi 1 = \text{maximum } \varphi 2 = \varphi 3$	240°	51
4	$\varphi 1 = \varphi 2 = \varphi 3$	—	28

Аналогичные эксперименты были проведены с зенкером $\varnothing 8$ мм и главными углами в плане $\varphi 1 = 40^\circ$, $\varphi 2 = 45^\circ$, $\varphi 3 = 50^\circ$. Уменьшение увода оси отверстия достигалось от 28 до 58% (см. таблицу). При этом наибольшая величина уменьшения увода достигается при положении угла $\varphi 2 = 45^\circ$ напротив наибольшего припуска в момент максимального значения подачи $S = S_0 + \Delta S$.

Закключение

В результате анализа результатов экспериментальных исследований выявлены особенности применения трехлезвийного инструмента после сверления для уменьшения значения увода оси отверстия, полученного на предшествующем переходе. Наибольшее значение уменьшения увода дает применение инструментов с диссимметричной заточкой главного угла в плане. Для объяснения этой закономерности необходимо провести теоретические исследования, позволяющие разработать методику проектирования многопереходной обработки отверстий, которая позволит повысить точность и исключить необходимость применения дополнительных переходов и оборудования (операций координатного и алмазного растачивания).

Список источников

1. Аверченков В.И., Васильев А.С., Хейфец М.Л. Технологическая наследственность при формировании качества изготавливаемых деталей // Научно-технические технологии в машиностроении. 2018. №10. С. 27-32 с.
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., Богуцкий В.Б., Шрон Л.Б., Новоселов Ю.К. // Механика XXI века. 2018. №17. С. 248-254.
4. Дальский А.М., Базаров Б.М., Васильев А.С. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве. М.: Изд-во МАИ, 2000. 344 с.
5. Дерябин И.П., Гузеев В.И., Кожарина О.А. Моделирование точности многопереходной обработки отверстий // Технология машиностроения. 2007. №11. С. 21-24.
6. Дерябин И.П., Гузеев В.И., Кожарина О.А. Исследования наследования погрешностей расположения осей отверстий при многопереходной обработке // Технология машиностроения. 2008. №6. С. 23-25.
7. Емельянов С.Г., Зубкова О.С., Мерзоева М.С. Эффективность использования сборных зенкеров со сменными многогранными пластинами // Вестник машиностроения. 2003. №12. С. 60-61.
8. Зайцев А.В., Колупаев Н.А. Методика расчета отклонений оси инструмента при обработке отверстий малого диаметра // Главный механик. 2020. №11. С. 24-30.
9. Расторгуев Г.А. Особенности технологического наследования в машиностроительном производстве // Инженерный журнал. 2013. №9(198). С. 8-17.
10. 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.
11. manufactured parts. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii* [Science-Intensive Technologies in Mechanical Engineering]. 2018;(10):27-32. (In Russ.)
12. Baranov A.V., Karachev A.V. Determination of technological heredity when machining holes in gas turbine engine parts. *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of Mechanical Engineering]. 2021;(11):37-42. (In Russ.)
13. Gordeeva E.S., Bogutsky V.B., Shron L.B., Novoselov Yu.K. On the issue of factoring into technological heredity in the formation of properties of parts. *Mekhaniki XXI veka* [Mechanics of the 21st Century]. 2018;(17):248-254. (In Russ.)
14. Dalsky A.M., Bazarov B.M., Vasiliev A.S. *Tekhnologicheskaya nasledstvennost v mashinostroitelnom proizvodstve* [Technological heredity in machine-building production]. Moscow: Publishing House of Moscow Aviation Institute, 2000, 344 p. (In Russ.)
15. Deryabin I.P., Guzeev V.I., Kozharina O.A. Modeling the accuracy of multi-pass hole machining. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Technology of Mechanical Engineering]. 2007;(11):21-24. (In Russ.)
16. 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* [Technology of Mechanical Engineering]. 2008;(6):23-25. (In Russ.)
17. Emelyanov S.G., Zubkova O.S., Merzhoeva M.S. Efficiency of using prefabricated countersinks with replaceable multi-faceted plates. *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of Mechanical Engineering]. 2003;(12):60-61. (In Russ.)
18. Zaitsev A.V., Kolupaev N.A. Methodology for calculating tool axis deviations when machining small diameter holes. *Glavnyi mekhanik* [Chief Mechanic]. 2020;(11):24-30. (In Russ.)
19. Rastorguev G.A. Features of technological inheritance in machine-building production. *Inzhenernyi zhurnal* [Engineering Journal]. 2013;(9(198)):8-17. (In Russ.)
20. Tokarev A.S., Deryabin I.P., Lopatin B.A. Experimental calculation of the deviation of the hole axis when machining with countersinks with multi-faceted disposable plates. *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., Heifets M.L. Technological heredity in the formation of the quality of

Поступила 26.04.2023; принята к публикации 24.05.2023; опубликована 25.09.2023
Submitted 26/04/2023; revised 24/05/2023; published 25/09/2023

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

Гузеев Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии автоматизированного машиностроения», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. Email: guzeevvi@susu.ru.

Токарев Артем Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель, 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.

Viktor I. Guzeev – DrSc (Eng.), Professor, Head of the Department of Automated Mechanical Engineering Technologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. Email: guzeevvi@susu.ru.

Artem S. Tokarev – PhD (Eng.), Senior Lecturer, Trekhgorny Technological Institute – Branch of National Research Nuclear University Moscow Engineering Physics Institute, Trekhgorny, Russia.
Email: Tokarev_a_s91@mail.ru.