УДК 621.9-05
DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-24-29

Д. А. БЛОХИН
А. Г. КОЛЬЦОВ
Ю. А. БЛОХИНА
М. М. ЛАКМАН

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИЧИН ПОГРЕШНОСТЕЙ ТОКАРНОГО ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ЦЕНТРА ПУТЕМ ОБРАБОТКИ КОНТРОЛЬНОЙ ДЕТАЛИ

В статье рассмотрены вопросы выявления погрешностей токарного обрабатывающего центра путем анализа точности обработки контрольной детали. Разработана модель контрольной детали с минимально достаточным количеством поверхностей, обрабатываемых различными методами формообразования: точение резцом, контурное фрезерование и точение фрезой, для обнаружения максимального количества погрешностей станка, таких как накопленная ошибка шага винта, либо неперпендикулярность двух осей, либо рассогласование приводов X и Y. Использование режущего инструмента для типовых методов формообразования и приводного инструмента с контурными траекториями обработки позволяет получить более полную картину о точности оборудования. Приведена методика выявления причин отклонений по результатам измерения каждой поверхности контрольной детали.

Ключевые слова: токарные обрабатывающие центры, точность, контрольная деталь, движение формообразования, ходовой винт, рассогласование приводов.

Введение. В современном производстве все большее распространение получают многокоординатные обрабатывающие центры. Оснащение программным управлением, дополнительными линейными и поворотными осями, приводным инструментом расширяет технологические возможности токарного оборудования, усложняет как кинематику движений резания, так и диагностику полученных результатов. На современных токарных обрабатывающих центрах стало возможным использование высокопроизводительных операций типа фрезоточения (рис 1а, б), червячного фрезерования, обработки венцов зубчатых колес и др. [1–3].

Различные методы формообразования обеспечивают различную точность и шероховатость обработанных поверхностей. Для проверки металлорежущего оборудования на точность существует два основных метода:

1. Диагностика с использованием стандартных средств (индикаторы, поверочные линейки и угольники), а также лазерных интерферометров и трекеров;

2. Метод, основанный на изготовлении контрольной детали [4].

Наиболее полные измерения точности возможны с помощью дорогостоящих приборов, однако это занимает большее время, что не всегда возможно в условиях производства. Точность и жесткость станка значительно зависят от положения рабочих узлов в пространстве, что приводит к появлению такого понятия, как «объемная точность станка» [5], и большому количеству измерений. Измерение погрешностей для каждого из приводов дает информацию, применяя которую можно уменьшить погрешность с помощью программной коррекции [6–8].

Измерение геометрической точности станка, соответствующей работе оборудования на холостых ходах, не всегда соответствует точности этого же станка в динамике (в процессе резания).

В связи с ограниченностью материально-технических средств и времени на производстве зачастую предпочтение отдается второму методу. По сложившейся на некоторых предприятиях практике контрольные детали изготавливают достаточно упрощенными, с использованием лишь одного метода формообразования (рис. 1в).

Подход с получением максимального количества информации при минимальном числе обработанных поверхностей, называемый функциональной диагностикой, приведен в работах [9–10].

Существующими стандартами и исследованиями не определены и не рекомендованы детали для оценки точности токарных обрабатывающих центров в зависимости от погрешностей, полученных

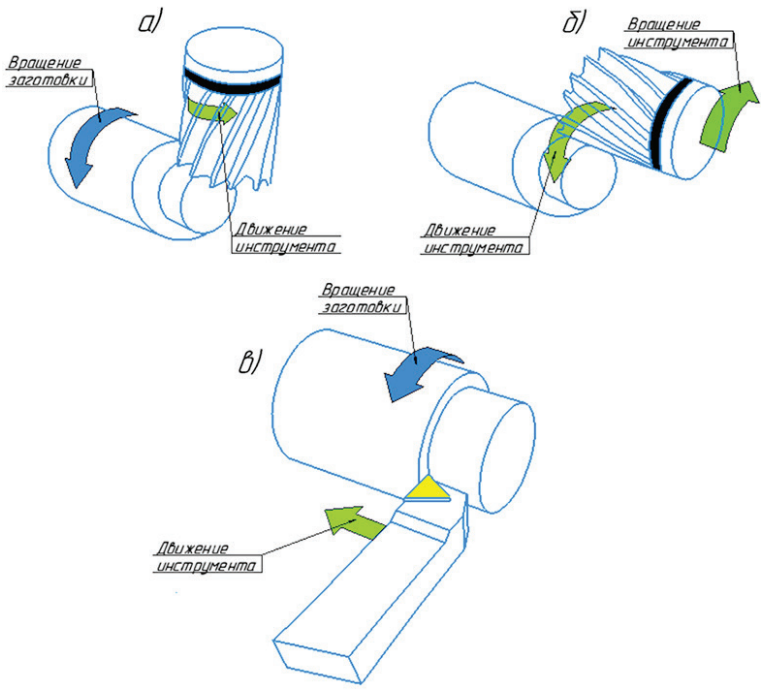


Рис. 1. Методы формообразования цилиндрических поверхностей (а — точение фрезерованием; б — контурное фрезерование; в — контурное точение резцом)

Таблица 1

Описание операции формообразования для каждой ступени контрольной детали

№	Описание операции
1	Обработка наружной цилиндрической поверхности фрезерованием с поворотом заготовки
2	Обработка наружной цилиндрической поверхности контурным фрезерованием. Шпиндель покоится
3	Обработка наружной цилиндрической поверхности точением проходным упорным резцом
4	Обработка наклонного ромба фрезерованием с поворотом заготовки. Фрезерование с согласованием осей X и C (рис. 2а)
5	Обработка усеченного квадрата контурным фрезерованием. Шпиндель покоится (рис. 2б)
6	Обработка квадрата контурным фрезерованием. Шпиндель покоится. Фрезерование с согласованием осей X и Y (рис. 2в)
7	Обработка эксцентрично расположенной ступени отверстия контурным фрезерованием. Шпиндель покоится. Фрезерование с согласованием осей X и Y
8	Обработка цековки ступенчатого центрового отверстия фрезерованием с поворотом заготовки. Фрезерование с согласованием осей X и C (рис. 2г)
9	Обработка ступенчатого центрового отверстия фрезерованием грибковой фрезой или канавочным резцом с вращением шпинделя. Позиционирование XZ с вращением шпинделя заготовки (ось C)
10	Фрезерование цековки в плоскости XY
11	Сверление четырех вне центровых отверстий

при обработке поверхностей различными методами формообразования. В частности, группа государственных стандартов ISO 13041 [11] не содержит указаний и рекомендаций по данному вопросу, в отличие от ГОСТ ISO 10791-7-2016, предлагающего образец тестовой детали для фрезерных обрабатывающих центров [12].

Существует несколько работ [13—16], в которых предлагались некоторые приемы в контролировании тестовых деталей, которые, однако,

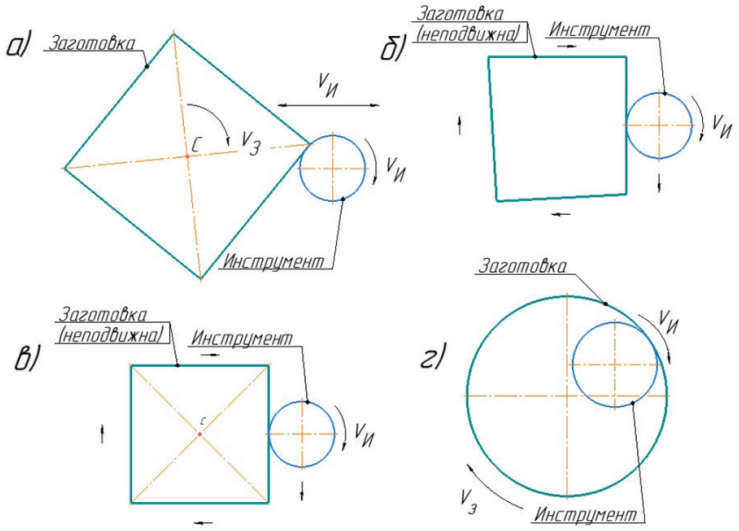


Рис. 2. Операционные эскизы обработки различных поверхностей (а, б, в, г — для фрезерования поверхностей № 4, 5, 6, 8 соответственно)

не охватывали всевозможные отклонения. Появляется необходимость в одной комплексной детали, по результатам измерения обработанных поверхностей которой возможно установить наибольшее количество отклонений в точности токарного обрабатывающего центра.

Постановка задачи. В данной статье были поставлены следующие задачи:

1. Разработка контрольной детали для определения максимально возможного количества ошибок, отклонений и неточностей перемещений узлов станка в процессе резания при минимальном количестве поверхностей.

2. Представление методики анализа результатов измерений контрольной детали и определения вероятной причины отклонений.

3. Разработка рекомендаций по повышению точности обработки на токарных обрабатывающих центрах.

Теория. В данную деталь включены такие приемы обработки поверхностей, как торцевание, продольное точение, точение фрезерованием, сверление, фрезерование центрового отверстия и отверстия с эксцентриситетом, фрезерование ромбов под разными углами, фрезерование квадрата, сверление четырех вне центровых отверстий, фрезерование цековки.

Результаты исследования. Для достоверного определения точности оборудования следует применять различные методы формообразования при обработке соседних ступеней, приведенные в табл. 1.

Для пояснения хода обработки тестовой детали разработаны операционные эскизы с пояснением вида операции и используемого инструмента в обработке каждой поверхности (рис. 2).

Для обработки контрольной детали применяются: концевая и грибковая фрезы, проходной упорный резец и спиральное сверло, могут применяться расточные и расточные канавочные резцы. В ходе исследования разработана модель контрольной детали, обрабатываемой приводным инструментом на токарном обрабатывающем центре (рис. 3).

Описанные в табл. 1 способы обработки схожих по морфологии поверхностей позволяют определить причины погрешностей, получаемых на отдельных участках.

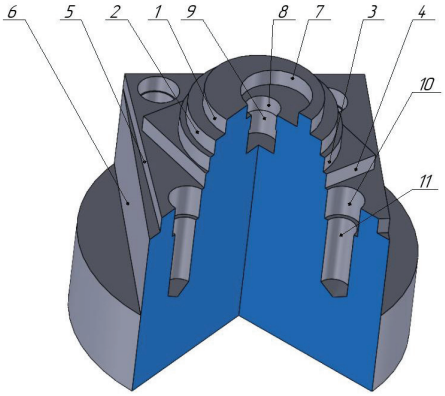


Рис. 3. Модель контрольной детали, обрабатываемой приводным инструментом

Во всех случаях, кроме указанных отдельно, обработка фрезерованием производится концевой фрезой. Оценку точности рекомендуется проводить с применением КИМ, так как измерение столь значительного количества размеров вручную критически увеличивает сроки определения точности оборудования и лишает предлагаемый метод оперативности и информативности.

Обсуждение результатов. Обработка цилиндрических поверхностей на токарном станке может быть выполнена простым точением, точением фрезерованием, а реже контурным фрезерованием. Для станков, не обладающих достаточным запасом хода по оси Y, обработка второй ступени может не выполняться. Если размеры, шероховатость и расположение всех трех ступеней соответствуют требованиям чертежа и паспортным показателям точности станка, то результаты этой части проверки считаются удовлетворительными и переходят к оценке следующих групп поверхностей, в противном случае предлагается воспользоваться алгоритмом (рис. 4).

В случае обнаружения нецилиндричности при контурном фрезеровании вероятной причиной в зависимости от расположения наибольшего диаметра будет являться либо накопленная ошибка шага винта, либо неперпендикулярность двух осей, либо рассогласование приводов X и Y.

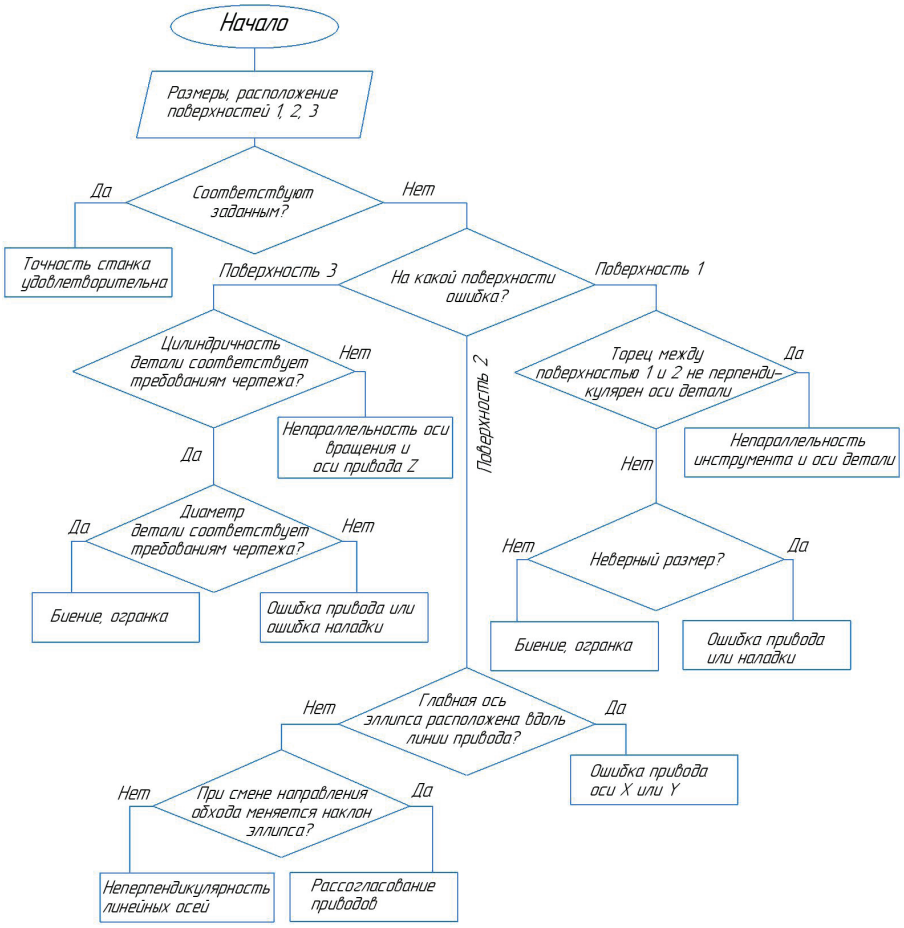


Рис. 4. Алгоритм определения причин погрешностей, возникающих при обработке поверхностей 1, 2, 3

Торец между поверхностями 1 и 2 будет образован режущими кромками фрезы в ходе точения фрезерованием и может иметь «завал» относительно оси вращения. В таком случае дополнительным проверкам нужно подвергнуть параллельность оси приводного инструмента и оси шпинделя.

Поскольку предлагаемая деталь достаточно жесткая, то отклонение фактического размера от заданного при чистовой обработке практически не зависит от усилий резания, поэтому для большинства таких случаев будет установлена неточность позиционирования привода. Если размеры соответствуют заданным, но шероховатость неудовлетворительна, то причиной такой ошибки будет биение инструмента.

Поверхность 3 на предлагаемой детали может быть значительно удлинена, чтобы повысить точность контроля, параллельность направляющих оси Z и оси шпинделя. На небольшом участке довольно четко можно определить лишь наличие биения шпинделя и ошибки привода оси X.

Алгоритм диагностики неточностей, полученных на поверхности 6, подробно описан в работе [16]. По полученным размерам можно оценить перпендикулярность осей и точность позиционирования (рис. 5).

Для поверхности 5 наличие дополнительных скошенных сторон при контурном фрезеровании позволяет проверить качество согласования приводов X и Y, выполняющих совместную линейную интерполяцию, а также подтвердить информацию, полученную по результатам измерения поверхности

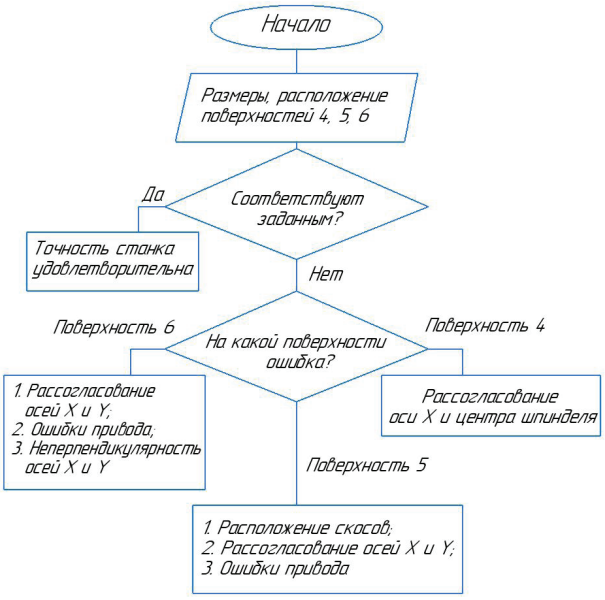


Рис. 5. Алгоритм определения причин погрешностей, возникающих при обработке поверхностей 4, 5, 6

6. Согласование перемещений инструмента с вращением шпинделя возможно даже при отсутствии привода Y на токарном станке и позволяет оценить точность согласования поворотной оси шпинделя и привода X.

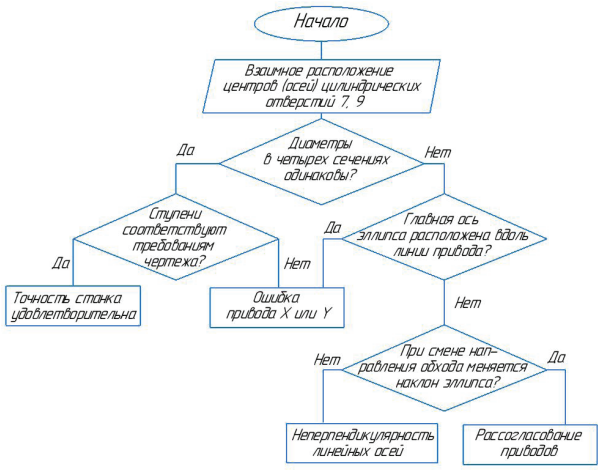


Рис. 6. Алгоритм определения причин погрешностей, возникающих при обработке поверхностей 7, 9

Различие диаметров на отверстиях 7 и 9 может подтвердить возможную неперпендикулярность осей X и Y (рис. 6). Обработку предлагается вести с помощью встречного фрезерования, чтобы в сумме с информацией с поверхности 2 можно было выделить ошибку рассогласования приводов, в ходе которой один из двух задействованных в круговой интерполяции приводов движется с опережением. Другие возможные варианты ошибок подтверждают информацию, полученную при оценке точности поверхности 2. Поверхность 8 цековки может быть выполнена опционально.

Для подтверждения информации, полученной с поверхности 4 по согласованию поворота шпинделя и линейного привода X, производится фрезерование эксцентрично расположенного отверстия.

Для контроля точности позиционирования оси Z может быть выполнена обработка канавки (поверхность 9) в центровом отверстии с помощью расточного канавочного резца либо при наличии приводного инструмента — грибковой фрезой.

Сверление четырех вне центровых отверстий позволяет повторно проконтролировать точность позиционирования приводов X и C, а также параллельность оси привода инструмента и оси заготовки. Фрезерование цековки, кроме ранее описанных погрешностей, в большей степени способно выявить точность поворота шпинделя.

Нужно отметить, что для большинства ошибок, связанных с точностью позиционирования привода, стоит убедиться в качестве установленного инструмента, в отсутствии его критического износа, а также в корректности привязки инструмента.

После оценки результатов с применением предложенных алгоритмов у отдела главного механика предприятия появляется информация о наиболее вероятных причинах брака либо о годности оборудования.

На основании вероятных причин погрешностей можно назначить ремонтные работы для устранения неперпендикулярности приводов, биения шпинделя или инструментальной оснастки. Для устранения рассогласования приводов в большинстве случаев можно выполнить программную коррекцию коэффициентов усиления приводов. Для устранения накопленной ошибки шага можно провести дополнительные исследования точности позиционирования согласно ГОСТ 27843-2006. Тем не менее стоит заметить, что если на станке проводится черновая или прецизионная обработка, то одного лишь использования программной коррекции недостаточно для обеспечения высокой точности резания.

Выводы и заключения.

1. На основании исследованных методов формообразования разработана и представлена контрольная деталь для определения максимально возможного количества ошибок, отклонений и неточностей перемещений узлов станка в процессе резания при минимальном количестве поверхностей.
2. Представлена методика анализа получаемых результатов измерений и определения вероятной причины отклонений.
3. Даны рекомендации по повышению точности обработки на токарных обрабатывающих центрах.

Библиографический список

1. Ямников А. С., Ямникова О. А., Троицкий Д. И. Физическое моделирование процесса фрезоточения резьбы // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. 2015. № 1 (51). С. 207–211.

2. Селиванов А. Н., Насад Т. Г. Обеспечение качества обработки валов из титановых сплавов методом высокоскоростного фрезерования и фрезоточения // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. Т. 3, № 1 (46). С. 55–61.

3. Uysal E., Karaguzel U., Budak E. [et al.]. Investigating eccentricity effects in turn-milling operations // Procedia CIRP. 14. 2014. P. 176–181. DOI: 10.1016/j.procir.2014.03.042.

4. ГОСТ 8-82. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность. Введ. 1983–07–01. Москва: ИПК Изд-во стандартов, 1995. 68 с.

5. Телешевский В. И., Соколов В. А. Программная коррекция объемных геометрических погрешностей многокоординатных машин // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. № 1. С. 389–395.

6. Серков Н. А., Никуличев И. В. Методы и средства измерения первичных отклонений звеньев механизмов несущей системы многокоординатных станков с ЧПУ // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2012. № 2. С. 43–51.

7. Givi M., Mayer R. Validation of volumetric error compensation for a five-axis machine using surface mismatch producing tests and on-machine touch probing // International Journal of Machine Tools & Manufacture. 2014. № 87. С. 89–95. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2014.08.001.

8. ГОСТ ISO/TR 16907-2017. Станки металлорежущие. Коррекция геометрических погрешностей с помощью ЧПУ. Введ. 2019–03–01. Москва: Стандартинформ, 2020. 28 с.

9. Аникеева О. В. Функциональная диагностика металлорежущих станков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5-1 (38). С. 106–112.

10. Аникеева О. В. Методический комплекс для обеспечения параметрической надежности технологического оборудования // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. Т. 2, № 1. С. 39–47.

11. ГОСТ ISO 13041-1-2017. Станки токарные с числовым программным управлением и токарные обрабатывающие центры. Условия испытаний. Часть 1. Геометрические испытания станков с горизонтальным шпинделем для крепления заготовки. Введ. 2019–03–01. Москва: Стандартинформ. 2018. 36 с.

12. ГОСТ ISO 10791-7-2016. Центры обрабатывающие. Условия испытаний. Часть 7. Точность обработки испытательных образцов. Введ. 2018–07–01. Москва: Стандартинформ. 2020. 26 с.

13. Ibaraki S., Ota Y. A machining test to calibrate rotary axis error motions of five-axis machine tools and its application to thermal deformation test // International Journal of Machine

Tools & Manufacture. 2014. № 86. P. 81–88. DOI: 10.1016/J.IJMACHTOOLS.2014.07.005.

14. Givi M., Mayer R. Optimized volumetric error compensation for five-axis machine tools considering relevance and compensability // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2016. № 12. P. 44–55. DOI: 10.1016/j.cirpj.2015.09.002.

15. Kakino Y., Yukitoshi I., Yoshio N. The measurement of motion errors of NC machine tools and diagnosis of their origins by using telescoping magnetic Ball Bar method // CIRP Annals. 1987. Vol. 36, № 1. P. 377–380.

16. Блохин Д. А., Попов А. Ю. Исследование причин отклонений формы при контурном фрезеровании // Проблемы машиностроения: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. В 2 ч. 2019. Ч. 2. С. 175–179.

БЛОХИН Дмитрий Андреевич, ассистент, аспирант кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».
SPIN-код: 5142-6237
AuthorID (РИНЦ): 869045
AuthorID (SCOPUS): 56503655400
ORCID: 0000-0001-6197-435X

КОЛЬЦОВ Александр Германович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Эксплуатация технологических комплексов».
SPIN-код: 6390-9199
AuthorID (РИНЦ): 348445
AuthorID (SCOPUS): 5496337430
ORCID: 0000-0001-7535-8419

БЛОХИНА Юлия Андреевна, студентка гр. КТО-183 машиностроительного института.

ЛАКМАН Михаил Михайлович, студент гр. КТО-183 машиностроительного института.

Адрес для переписки: blohin.da@mail.ru

Для цитирования

Блохин Д. А., Кольцов А. Г., Блохина Ю. А., Лакман М. М. Методика выявления причин погрешностей токарного обрабатывающего центра путем обработки контрольной детали // Омский научный вестник. 2021. № 3 (177). С. 24–29. DOI: 10.25206/1813-8225-2021-177-24-29.

Статья поступила в редакцию 09.04.2021 г.
© Д. А. Блохин, А. Г. Кольцов, Ю. А. Блохина, М. М. Лакман