

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР НА ЭТАПЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

© 2024 Е.Ю. Рогов, Р.Ю. Некрасов, В.Е. Овсянников, А.С. Губенко

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

Статья поступила в редакцию 12.11.2024

В статье приводятся результаты разработки решений в части повышения качества осей колесных пар на этапе изготовления. За исходную гипотезу принято, что рациональный уровень качества осей колесных пар зависит от параметров посадочных поверхностей опор качения и может быть достигнут при строго определенном диапазоне значений точности формы. Диапазон значений показателей точности формы определяется на основе технико-экономической оценки как сочетание затрат на изготовление и технического эффекта, который обеспечивается при достижении параметров служебного назначения узла. При получении рациональных значений точности формы посадочных поверхностей осей колесных пар в условиях автоматизированного производства возникают две существенные проблемы: проблема контроля и управления технологической системой. В статье разработан способ контроля отклонений формы в поперечном сечении, который позволяет повысить достоверность результатов за счет исключения погрешностей, искажающих результат. К таким погрешностям можно отнести неточность установки измеряемого объекта, эксцентриситет и т.д. Также разработана математическая модель устройства автоматического обеспечения требуемых параметров точности формы. Использование устройства дает возможность также повысить эффективность использования режущего инструмента и отказаться от применения абразивной обработки. В статье приведено сравнение базового метода изготовления осей колесных пар и предлагаемого. В качестве инструмента использовался дифференциальный метод. Результаты показали, что предлагаемое решение превосходит базовый вариант.

Ключевые слова: Ось колесной пары, качество, квалитметрия, обеспечение, повышение

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-6-69-75

EDN: FZTCOK

ВВЕДЕНИЕ

Оси колесных пар являются одними из наиболее ответственных деталей подвижного состава. По конструкторско-технологическому классификатору данные детали относятся к гладким стержням [1,2]. Основным служебным назначением деталей данного класса является передача крутящего момента. Оси колесных пар воспринимают циклические нагрузки. Одним из основных эксплуатационных свойств, которые необходимо обеспечить в данном случае, является долговечность. Согласно данным ОАО РЖД [3] около 25% отцепочных ремонтов подвижного состава так или иначе производилось по причине нарушения работоспособности буксового узла, в основном из-за несоблюдения требований по посадкам подшипников качения. С учетом того, что подшипники качения являются продукцией массового производства и вы-

Рогов Евгений Юрьевич, ассистент кафедры технологии машиностроения. E-mail: rogovej@tyuiu.ru

Некрасов Роман Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения. E-mail: nekrasovrj@tyuiu.ru

Овсянников Виктор Евгеньевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: ovsjannikovve@tyuiu.ru

Губенко Арсений Сергеевич, ассистент кафедры технологии машиностроения. E-mail: gubenko-as@tyuiu.ru

пускаются со стандартными значениями точности размеров, качество посадок, прежде всего, зависит от параметров посадочной поверхности оси колесной пары. Обеспечение требуемых параметров посадки подшипника качения определяется величиной контурного коэффициента трения, на который в свою очередь влияет площадь контакта сопряженных поверхностей. При повышении точности формы посадочной поверхности величина площади контакта также растет, а вместе с ней и значение контурного коэффициента трения. Однако чем выше точность, тем больше затраты на изготовление детали. В работе [4] была получена зависимость приведенных затрат на изготовление оси колесной пары и контурного коэффициента трения от величины некруглости посадочной поверхности. Для удобства графики построены в одной системе координат. По оси ординат величины отложены в относительных единицах с целью обеспечения масштаба.

Из рис. 1 видно, что имеется область рациональных значений точности формы посадочной поверхности осей колесных пар в пределах от 0.02 до 0.04 мм. При более грубых значениях снижается качество посадки, т.к. падает значение контурного коэффициента трения, а чрезмерное ужесточение требований приводит к неоправданному росту затрат. Отсюда можно

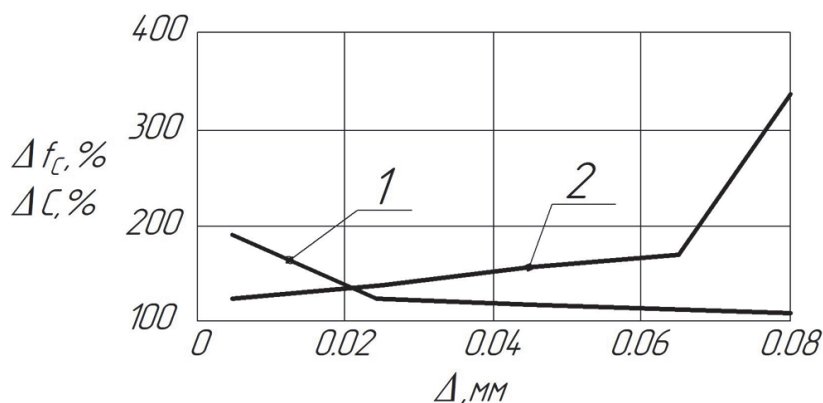


Рис. 1. Зависимости контурного коэффициента трения между посадочной поверхностью оси колесной пары и обоймой подшипника (кривая 2) и приведенными затратами на изготовление (кривая 1) от отклонения от круглости посадочной поверхности оси колесной пары

сделать вывод, что на стадии изготовления необходимо обеспечить точность формы посадочной поверхности именно в этих пределах.

На сегодняшний день, преимущественно изготовление деталей осуществляется на станках с числовым программным управлением. Не являются исключением и оси колесных пар. При этом можно выделить ряд проблем, которые возникают в условиях автоматизированного производства:

- проблема измерения и контроля параметров отклонений формы. Данная проблема порождена тем, что в промышленной практике контроль данных параметров осуществляется непосредственно на станке без снятия детали. При этом на результат измерения оказывают влияние такие факторы как погрешность установки, эксцентриситет и т.д. Для повышения точности измерений необходимо использовать такие инструменты, которые позволяют отсеивать данные погрешности;

- оси колесных пар имеют достаточно большие габариты, поэтому при их обработке действуют возмущающие факторы, связанные с износом режущего инструмента. Износ приводит к увеличению нагрузок, деформациям элементов технологической системы и нарушению требований по точности обработки;

- в условиях автоматизированного производства встает проблема контроля состояния режущего инструмента, т.к. без активного контроля этого параметра очень высока вероятность, как внезапной поломки режущей пластины, так и брака;

- в промышленной практике в качестве окончательного метода обработки осей колесных пар используется шлифование. Данный процесс обладает рядом существенных недостатков, кроме того требует приобретения соответствующего оборудования.

В связи с изложенным выше, можно сформулировать цель исследования: повышение каче-

ства осей колесных пар на этапе изготовления. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка метода измерения и контроля отклонений формы посадочных поверхностей осей колесных пар.

2. Выбор параметров для оценки состояния режущего инструмента и отклонений формы в процессе изготовления осей колесных пар.

3. Оценка полученных результатов и сравнение с базовым вариантом изготовления оси колесной пары.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве образцов были использованы круглые прутки. Измерение погрешности формы выполняли непосредственно на станке. Образец устанавливался в центрах. В качестве измерительного устройства использовали индикатор с возможностью выдачи данных в цифровом формате. С целью исключения указанных выше погрешностей, вектор результатов измерений подвергался разложению в ряд Фурье [5].

$$f(\varphi) = a_0 / 2 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k\varphi) + b_k \sin(k\varphi)) \quad (1)$$

В формуле индексы соответствуют номерам гармоник разложения в ряд. При этом выражения для определения гармоник с номерами k имеют вид [5]:

$$a_k = \frac{2}{n} \left(\sum_{i=0}^{n-1} \rho_i \cos(k \cdot \tau_i) \right); \quad (2)$$

$$b_k = \frac{2}{n} \left(\sum_{i=0}^{n-1} \rho_i \sin(k \cdot \tau_i) \right), \quad (3)$$

где ρ_i – величина текущего значения измеренного диаметра оси колесной пары; τ_i – текущее значение положения измеряемого диаметра оси

колесной пары (в градусах); n – число измеряемых точек круглограммы.

Для обработки результатов измерений была разработана программа в среде MathCAD. Внешний вид программы приведен на рис. 2.

В работе рассматривалась возможность использования сигнала виброакустики для оценки параметров точности формы и состояния режущего инструмента при обработке на токарных станках с числовым программным управлением (в том числе применяемым при изготовлении осей колесных пар). Сигнал записывался при помощи датчика-акселерометра, который устанавливался на режущем инструменте посредством магнитного крепления. С целью выявления взаимосвязи выполнялся расчет коэффициента корреляции между факторами:

– для вибросигнала выбирались мощность спектральная S_w , Дб и величина автокорреляционной функции в нулевой точке $K(0)$;

– точность формы оценивалась среднеарифметическим отклонением F_a , мкм (по ГОСТ 24642);

– состояние режущего инструмента оценивали величиной фаски износа по задней поверхности h_3 , мм.

Для расчетов была разработана специальная программа, которая позволяет загружать сигнал виброакустики, записанный с датчика. Внешний вид рабочего окна программы приведен на рис. 3.

В качестве инструментария для разработки модели оценки погрешности формы при обработке на станке с ЧПУ и состояния режущего инструмента были использованы искусственные нейронные сети и нечеткая логика. Расчеты производились в программной среде Matlab. В дальнейшем модель была реализована в виде вычислительного комплекса, был произведен эксперимент по внесению коррекций в режимы обработки на станке с числовым программным управлением и оценивалась погрешность.

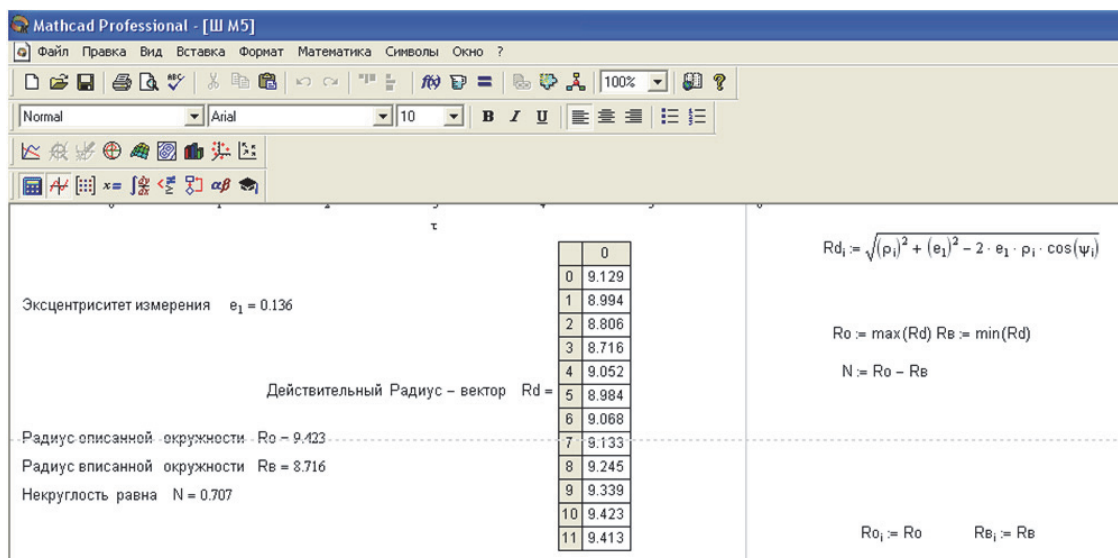


Рис. 2. Окно программы обработки результатов измерений

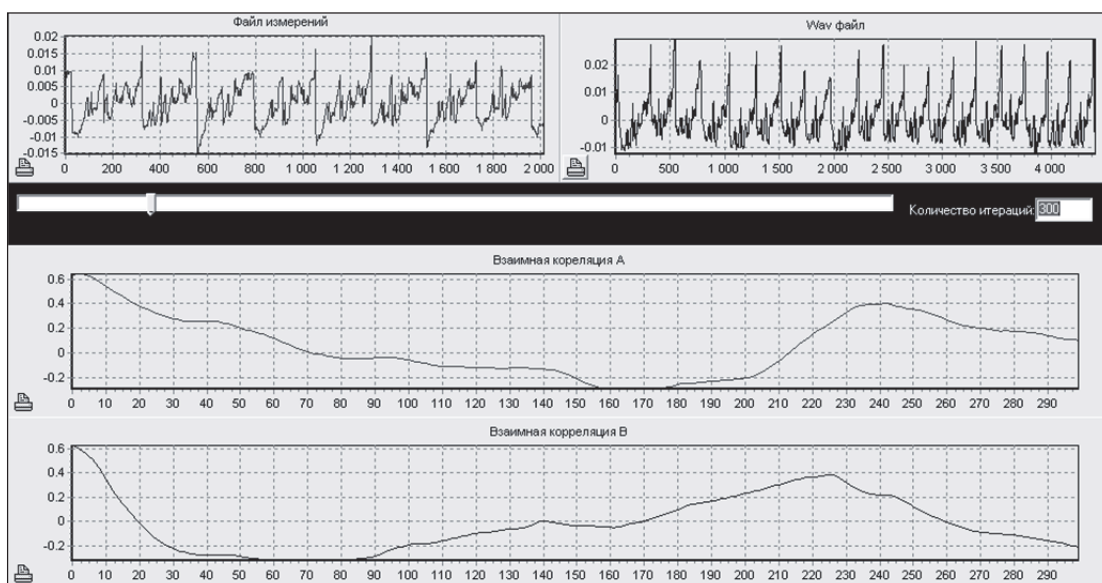


Рис. 3. Рабочее окно программы расчета коэффициента взаимной корреляции

Итоговое сравнение вариантов производили на основе квалиметрического анализа дифференциальным методом, с вычислением коэффициентов сравнения по формулам [6]:

$$k_i = \frac{P_{i\bar{o}}}{P_{io}}; \quad (4)$$

$$k_i = \frac{P_{io}}{P_{i\bar{o}}}. \quad (5)$$

В формулах (4) и (5) базовые показатели (Б) относятся к изготовлению осей колесных пар с использованием шлифовального станка и без активного контроля при токарной обработке на станке с ЧПУ. Показатели оцениваемого варианта (О) относятся к предлагаемому варианту изготовления осей колесных пар на основе применения предлагаемых решений [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 4 приведен пример круглограммы с устраненными составляющими погрешности.

Тестирование результатов на контрольных образцах показало, что использование метода по устранению погрешностей дает возможность повысить точность более чем на 20-25%.

В ходе предварительных исследований был определен частотный диапазон сигнала, который обладает наибольшей информативностью (от 0 до 2 кГц). На рис. 5 приведен пример графика определения величины взаимной корреляции между значениями мощности вибросигнала Sw и величиной среднеарифметического отклонения профиля Fa.

В целом, расчеты показали что величина коэффициента взаимной корреляции по модулю не ниже 0.85, что говорит о наличии сильной корреляционной связи между факторами. На рис. 6 приведен результат тестирования модели, реализующей взаимосвязь между Sw, K(0) и F(a).

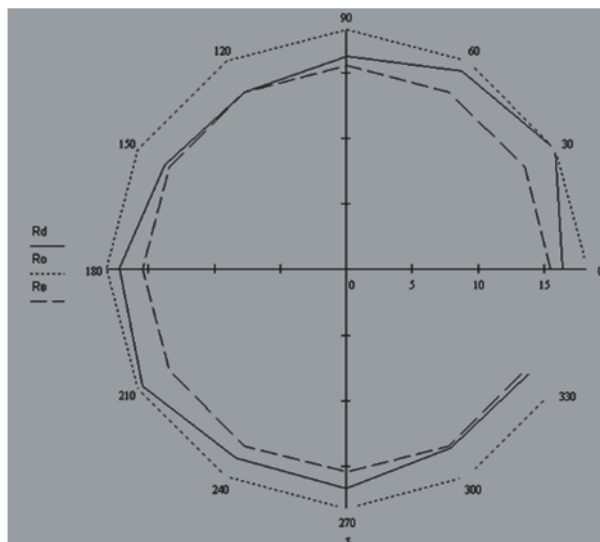


Рис. 4. Пример круглограммы

На основе выполненных исследований было установлено что погрешность моделей не превышает 10%. Следует отметить, что точность данной модели находится на уровне лучших решений, которые существуют на сегодня [8-10]. В качестве показателей для квалиметрической оценки использовались:

- средняя величина погрешности выходного параметра, мкм;
- вероятность поломки инструмента, %;
- средняя величина погрешности измерения, мкм;
- величина дополнительных затрат, тыс. руб;
- рост производительности, %.

При определении величины дополнительных затрат при базовом варианте учитывалась заработная плата шлифовщика, амортизация оборудования, затраты на площадь производственную и т.д. Для оцениваемого варианта – затраты на доработку токарного станка с ЧПУ [11,12]. Расчетный период принимался рав-

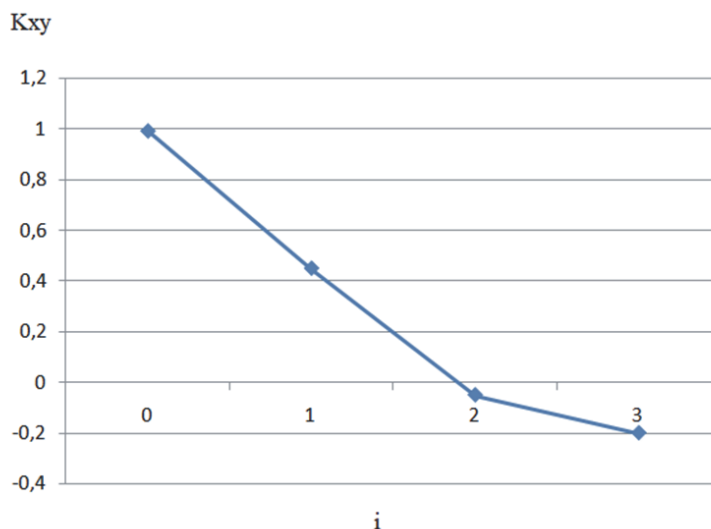


Рис. 5. Значение взаимной корреляции между величиной мощности вибросигнала Sw и средним арифметическим отклонением профиля Fa

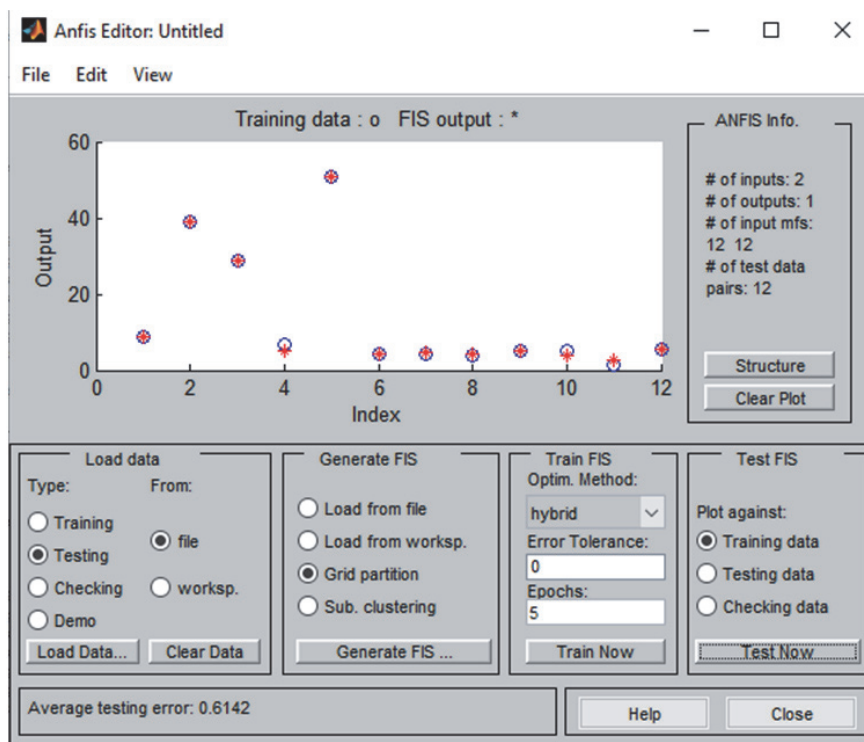


Рис. 6. Результат тестирования модели

Таблица 1. Результаты расчетов коэффициентов сравнения

Название оцениваемых показателей,	Численные значения показателя качества		Используемая формула	Коэффициент сравнения y_i
	Базовый вариант	Предлагаемый вариант		
средняя величина погрешности выходного параметра, мкм	0.032	0.012	4	2.6
вероятность поломки инструмента, %	16.9	5.8	4	2.9
средняя величина погрешности измерения, мкм	0.003	0.002	4	1.5
величина дополнительных затрат, тыс. руб	732	1389	5	1.9
рост производительности, %.	100	132	5	1.32

ным 1 год. При оценке производительности базовый вариант принимался за 100%. Результаты расчетов представлены в таблице 1 и на рис. 7.

Определим результирующее значение коэффициентов сравнения:

$$y_k = \frac{2.6 + 2.9 + 1.5 + 1.9 + 1.3}{5} = 2.$$

ВЫВОДЫ

1. На основе расчетов коэффициентов сравнения было установлено, что по всем рассматриваемым показателям предлагаемый вариант, основанный на использовании методов контроля и автоматического обеспечения заданных параметров точности формы на токарных станках с ЧПУ превосходит базовый.

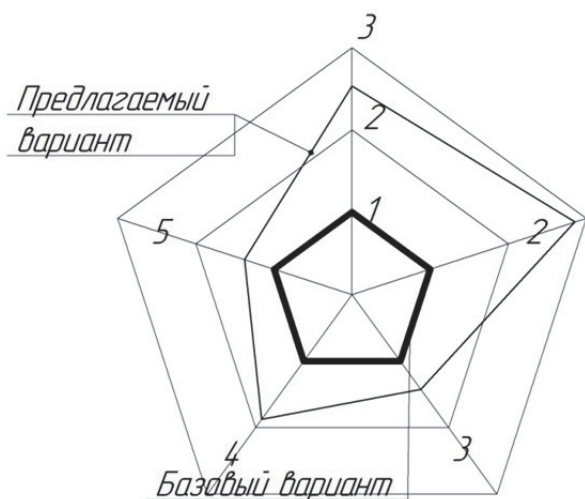


Рис. 7. Диаграмма сравнения

2. Имеется возможность отказа от применения шлифовальной операции. Это дает возможность с одной стороны снизить затраты ввиду отказа от дополнительного рабочего (шлифовщика), более эффективного использования производственных площадей (т.к. шлифование лучше выполнять в отдельном помещении от станков других групп) и более четко соблюдать принцип концентрации операций.

3. Применение предлагаемых решений позволяет обеспечить рациональные параметры точности формы посадочных поверхностей осей колесных пар. Достижение этого осуществляется за счет направленного обеспечения данного показателя. При этом система управления станком из традиционной циклической превращается в самонастраивающуюся.

4. В качестве направления для дальнейшего развития можно выделить разработку еще одного контура системы, который реализует взаимосвязь скорости резания и температуры в зоне обработки, что позволяет обеспечить повышение производительности [13,14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев, А.А. Ресурс и ремонтпригодность колесных пар подвижного состава железных дорог: монография / А.А. Воробьев и др. – М.: Инфра-М, 2011. – 264 с.
2. Волохов, Г.М. Возможный подход к нормированию рисков схода подвижного состава по причине разрушения одного из элементов колесной пары / Г. М. Волохов, Д.А. Князев // Вестник ВЭЛНИИ. – 2011. – № 2. – С. 146–153.
3. Концепция комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://oac.rgotups.ru/misc/files/39.4.3.pdf> (дата обращения 15.10.2024).
4. Рогов, Е.Ю. Некоторые аспекты технологического обеспечения качества посадок подшипников качения / Е.Ю. Рогов, В.Е. Овсянников, А.А. Кулемина, И. М. Ковенский // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2024. – Т. 22, № 2. – С. 139–144. – DOI 10.18503/1995-2732-

- 2024-22-2-139-144. – EDN SGDNHX.
5. Безъязычный, В.Ф. Метод подобию в технологии машиностроения: монография / В.Ф. Безъязычный. – М.: Инфра-инженерия, 2021. – 356 с.
6. Панюков Д.И. Качество первичных исследований-ключ к повышению эффективности FMEA / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, К.В. Киреев // Грузовик. – 2016. – № 7. – С. 26–29.
7. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
8. Заковоротный, В.Л. Системный синергетический синтез управления динамикой металлорежущих станков с учётом эволюции связей / В.Л. Заковоротный [и др.]. – Ростов-на-Дону: Изд. центр Дон. гос. техн. ун-та, 2008. – 324 с/
9. Тугенгольд, А.К. Принципы концептуального подхода к созданию подсистемы «ИНСТРУМЕНТ» в Smart-паспорте многооперационного станка / А.К. Тугенгольд, А.И. Изюмов // Вестник ДГТУ. № 2 – 2014. – С. 33–41.
10. Кабалдин, Ю.Г. Нейронносетевое моделирование эволюции динамики технологических систем механообработки / Ю.Г. Кабалдин, А.А. Башков, С.В. Иванов // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков : Сборник материалов XVI международной научно-практической конференции (шифр -МКРНП), Москва, 15 февраля 2023 года. – М.: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АЛЕФ», 2023. – С. 134–142.
11. Безъязычный, В.Ф. Анализ областей эффективного использования станков с ЧПУ / В.Ф. Безъязычный, Т.В. Шеховцева // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. – 2011. – № 2(20). – С. 92–100.
12. Егоров, С.Б. Интегрированный учебно-методический комплекс по изучению технологического программирования, систем ЧПУ и разработке управляющих программ / С.Б. Егоров // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8-1. – С. 24–31.
13. Артамонов, Е.В. Определение эффективной скорости резания сборным инструментом на основе оценки рисков низкой обрабатываемости материала и потери работоспособности режущего инструмента / Е.В. Артамонов, М.С. Остапенко, Н.А. Василега // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 1(117). – С. 81–91. – DOI 10.37313/1990-5378-2024-26-1-81-91.
14. Артамонов, Е.В. Определение скорости резания, обеспечивающей максимальную работоспособность сборных резцов по параметрам виброускорения, при точении деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов / Е.В. Артамонов, В.В. Воронин, Т.Е. Костив, А.С. Штин // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 2(69). – С. 33–39.
15. Клочков, Ю.С. Совершенствование процедуры анализа видов и последствий потенциальных несоответствий / Ю.С. Клочков, А.Ю. Газизуллина, О.А. Смирнова // Российский экономический интернет-журнал. – 2019. – № 3. – С. 40.
16. Чжэнцзе, Я. Повышение точность работы робота за счет применения нейронных сети (нейронных компенсаторов и нелинейной динамики) / Я. Чжэнцзе, Ю.С. Клочков, С.Лин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2022. – Т. 24, № 4(108). – С. 106–115. – DOI 10.37313/1990-5378-2022-24-4-106-115.
17. Управление качеством продукции на основе передовых производственных технологий : Сборник тезисов докладов IV Международного форума, Санкт-Петербург, 14–15 декабря 2022 года / Под редакцией Ю.Я. Болдырева, Ю.С. Клочкова. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2023. – 146 с. – ISBN 978-5-7422-8159-7.

IMPROVING THE QUALITY OF WHEELSET AXLES AT THE MANUFACTURING STAGE

© 2024 E.Yu. Rogov, R.Yu. Nekrasov, V.E. Ovsyannikov, A.S. Gubenko

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

The article presents the results of developing solutions in terms of improving the quality of wheelset axles at the manufacturing stage. As a starting position, it is shown that the rational level of quality of the axles of wheelsets depends on the parameters of the seating surfaces of the rolling bearings and can be achieved with a strictly defined range of shape accuracy values. The range of values of the shape accuracy indicators is determined on the basis of a technical and economic assessment as a combination of manufacturing costs and the technical effect that is provided when providing the parameters of the service purpose of the node. When ensuring rational values of the accuracy of the shape of the landing surfaces of the axles of wheelsets in the conditions of automated production, two significant problems arise: the problem of control and management of the technological system. The article developed a method for controlling deviations of the shape in the cross section, which allows to increase the reliability of the results by eliminating errors that distort the result. Such errors include inaccuracy of the installation of the measured object, eccentricity, etc. Mathematical model of device for automatic provision of required parameters of shape accuracy is also developed. The use of the device also makes it possible to increase the efficiency of using the cutting tool, as well as to avoid the use of abrasive processing. The article provides a comparison of the basic method of manufacturing wheelset axles and the proposed one. The differential method was used as a tool. The results showed that the proposed solution was superior to the base case.

Keywords: Wheelset axle, quality, qualimetry, provision, increase

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-6-69-75

EDN: FZTCOK

REFERENCES

1. Vorob'ev, A.A. Resurs i remontoprigradnost' kolesnykh par podvizhnogo sostava zheleznnykh dorog: monografiya / A.A. Vorob'ev i dr. – M.: Infra-M, 2011. – 264 s.
2. Volohov, G.M. Vozmozhnyy podhod k normirovaniyu riskov skhoda podvizhnogo sostava po prichine razrusheniya odnogo iz elementov kolesnoj pary / G. M. Volohov, D.A. Knyazev // Vestnik VEINIL. – 2011. – № 2. – S. 146–153.
3. Koncepciya kompleksnogo upravleniya nadezhnost'yu, riskami, stoimost'yu zhiznennogo cikla na zheleznodorozhnom transporte [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://oac.rgotups.ru/misc/files/39.4.3.pdf> (data obrashcheniya 15.10.2024).
4. Rogov, E.Yu. Nekotorye aspekty tekhnologicheskogo obespecheniya kachestva posadok podshipnikov kacheniya / E.Yu. Rogov, V.E. Ovsyannikov, A.A. Kulemina, I. M. Kovenskij // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. – 2024. – T. 22, № 2. – S. 139–144. – DOI 10.18503/1995-2732-2024-22-2-139-144. – EDN SGDNHX.
5. Bez'yazychnyj, V.F. Metod podobiya v tekhnologii mashinostroeniya: monografiya / V.F. Bez'yazychnyj. – M.: Infra-inzheneriya, 2021. – 356 s.
6. Panyukov D.I. Kachestvo pervichnykh issledovaniy-klyuch k povysheniyu effektivnosti FMEA / D.I. Panyukov, V.N. Kozlovskij, K.V. Kireev // Gruzovik. – 2016. – № 7. – S. 26–29.
7. Saati, T.L. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij / T.L. Saati. – M.: Radio i svyaz', 1993. – 278 s.
8. Zakovorotnyj, V.L. Sistemnyj sinergeticheskij sintez upravleniya dinamikoj metallovezhushchih stankov s uchyotom evolyucii svyazej / V.L. Zakovorotnyj [i dr.]. – Rostov-na-Donu: Izd. centr Don. gos. tekhn. un-ta, 2008. – 324 s.
9. Tugengol'd, A.K. Principy konceptual'nogo podhoda k sozdaniyu podsistemy »INSTRUMENT» v Smart-pasporte mnogooperacionnogo stanka / A.K. Tugengol'd, A.I. Izyumov // Vestnik DGTU. № 2 – 2014. – S. 33–41.
10. Kabaldin, Yu.G. Nejronnosetevoe modelirovanie evolyucii dinamiki tekhnologicheskikh sistem mekhanooobrabotki / Yu.G. Kabaldin, A.A. Bashkov, S.V. Ivanov // Razvitie nauki i praktiki v global'no menyayushchemsya mire v usloviyah riskov : Sbornik materialov XVI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (shifr -MKRNP), Moskva, 15 fevralya 2023 goda. – M.: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu »Izdatel'stvo ALEF», 2023. – S. 134–142.
11. Bez'yazychnyj, V.F. Analiz oblastej effektivnogo ispol'zovaniya stankov s ChPU / V.F. Bez'yazychnyj, T.V. Shekhovceva // Vestnik RGATA imeni P. A. Solov'eva. – 2011. – № 2(20). – S. 92–100.
12. Egorov, S.B. Integrirovannyj uchebno-metodicheskij kompleks po izucheniyu tekhnologicheskogo programmirovaniya, sistem ChPU i razrabotke upravlyayushchih programm / S.B. Egorov // Fundamental'nye issledovaniya. – 2014. – № 8-1. – S. 24–31.
13. Artamonov, E.V. Opredelenie effektivnoj skorosti rezaniya sbornym instrumentom na osnove ocenki riskov nizkoj obrabatyvaemosti materiala i poteri rabotosposobnosti rezhushchego instrumenta / E.V. Artamonov, M.S. Ostapenko, N.A. Vasilega // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2024. – T. 26, № 1(117). – S. 81–91. – DOI 10.37313/1990-5378-2024-26-1-81-91.
14. Artamonov E.V. Opredelenie skorosti rezaniya, obespechivayushchej maksimal'nuyu rabotosposobnost' sbornnykh rezcov po parametram vibrouskoreneniya, pri tochenii detalej iz trudnoobrabatyvaemykh staley i splavov / E.V. Artamonov, V.V. Voronin, T.E. Kostiv, A.S. Shtin // Vestnik MGTU »Stankin». – 2024. – № 2(69). – S. 33–39.
15. Klochkov, Yu. S. Sovershenstvovanie procedury analiza vidov i posledstvij potencial'nykh nesootvetstvij / Yu.S. Klochkov, A.Yu. Gazizulina, O.A. Smirnova // Rossijskij ekonomicheskij internet-zhurnal. – 2019. – № 3. – S. 40.
16. Chzhencze, Ya. Povyshenie tochnost' raboty robota za schet primeneniya nejronnykh seti (nejronnykh kompensatorov i nelinejnoj dinamiki) / Ya. Chzhencze, Yu.S. Klochkov, S.Lin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2022. – T. 24, № 4(108). – S. 106–115. – DOI 10.37313/1990-5378-2022-24-4-106-115.
17. Upravlenie kachestvom produkcii na osnove peredovykh proizvodstvennykh tekhnologij : Sbornik tezisov dokladov IV Mezhdunarodnogo foruma, Sankt-Peterburg, 14–15 dekabrya 2022 goda / Pod redakciej Yu.Ya. Boldyreva, Yu.S. Klochkova. – Sankt-Peterburg: Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya »Sankt-Peterburgskij politekhnicheskij universitet Petra Velikogo», 2023. – 146 s. – ISBN 978-5-7422-8159-7.

Evgeny Rogov, Assistant of the Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: rogovej@tyuiu.ru

Roman Nekrasov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: nekrasovrj@tyuiu.ru

Viktor Ovsyannikov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: ovsjannikovve@tyuiu.ru

Arseniy Gubenko, Assistant of the Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: gubenko-as@tyuiu.ru