

УДК 629.4.027.5

*О. В. ПУТЯТО*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

## **ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ВНУТРЕННИХ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКА С ОСЬЮ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ С УЧЕТОМ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ПРОФИЛЯ ПРОДОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Приведены результаты исследования прочности соединений внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси колесной пары при отклонении от правильной формы продольного сечения поверхностей. Определены расчетные значения коэффициентов трения для соединений с гарантированным натягом внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси колесной пары с погрешностью геометрии. Установлено, что седлообразность вызывает снижение прочности на 14 %.

**Ключевые слова:** колесная пара, прессовое соединение, отклонение от формы, напряженно-деформированное состояние.

**Введение.** Колесные пары – одни из наиболее ответственных узлов железнодорожного подвижного состава, так как их надежность напрямую связана с обеспечением безопасности движения. Используемые в них соединения с гарантированным натягом работают в условиях сложного нагружения. Так, соединение внутреннего кольца буксового подшипника с шейкой оси может работать на осевой сдвиг, проворачивание или испытывать комбинированную нагрузку. Недостаточная прочность соединений может привести к относительному сдвигу элементов и вызвать катастрофические последствия [1]. Поэтому при изготовлении и ремонте колёсных пар крайне необходимо осуществление мероприятий по улучшению формирования и расформирования, а также совершенствованию контроля прочности их узлов.

Проведенные ранее исследования [2] показали, что прочность прессового соединения существенно зависит не только от величины натяга, но и от коэффициента трения в сопряжении, управляя значением которого, возможно обеспечить нормативные требования в части установленных значений натягов и конечных сил запрессовки сопрягаемых элементов. В то же время влияние отклонений от геометрически правильной формы на прочность соединений колесных пар вагонов исследовано недостаточно. Экспериментальные исследования требуют механической обработки деталей с прецизионной точностью и поэтому весьма дорогостоящие. Целью настоящей работы является определение методом компьютерного моделирования влияния значений отклонений от профиля продольного сечения (конусообразность, седлообразность и бочкообразность) на прочность соединений с гарантированным натягом внутреннего кольца подшипника с шейкой оси колесной пары.

**Определение коэффициента трения для соединений с погрешностью геометрии формы.** В классической теории контакта тел полагается, что сила трения пропорциональна силе контактного давления. Величина погрешностей геометрии на порядок превосходит размеры, определяющие шероховатость контактирующих поверхностей, поэтому удельное давление на различных участках будет переменным. Поскольку ось колесной пары вагона имеет достаточно большую жесткость, то нагрузка преимущественно будет приходиться на «выступы» отклонений от исходной геометрии, а на «впадинах» поверхности деталей могут не соприкасаться вовсе. В связи с этим коэффициент трения на «впадинах» будет оказывать меньшее влияние на силы в контакте. Примем, что коэффициент трения везде одинаков при отсутствии погрешности геометрии формы, а при погрешностях геометрии он пропорционально уменьшается на участках уменьшения натяга.

Коэффициент трения можно представить состоящим из двух линейных компонент [3], в которой первая определяется значением при условии постоянного нормального давления  $N$  для данной контактной пары, а вторая зависит от изменения нормального давления в каждой точке контакта при наличии погрешности геометрии формы:

$$f = f_c + f_v \quad \text{или} \quad f = k_c A_c + k_v A_v,$$

где  $A_c, A_v$  – постоянная и переменная составляющие площади контакта;  $k_c, k_v$  – некоторые коэффициенты.

В нашем случае

$$A_c = 0,5\pi d l N, \quad A_v = 0,5\pi d l N_v,$$

где  $d, l$  – диаметр площадки контакта и ее длина;  $N_v$  – усредненный натяг в соединении с учетом погрешности геометрии формы на длине посадки.

Для упрощения составляющую  $0,5\pi d$  отнесем к коэффициентам  $k_c, k_v$ . Основываясь на результатах расчетов [2], а также с учетом экспериментальных данных, приведенных в работах [3–5], получаем  $k_c = 0,044, k_v = 0,022$ , а коэффициент трения в условиях постоянного нормального давления для соединения внутренних колец с шейкой – 0,25.

На основе методики, приведенной в [2], выполнены расчеты составляющих площади контакта и коэффициентов трения для посадочных поверхностей внутренних колес буксовых подшипников при наличии конусообразности, седлообразности и бочкообразности. Принято, что с учетом изготовления шейки оси с максимальным значением отклонения, а также при соответствующих длинах сопряжений средний натяг в соединении  $N_{ср} = 0,0775$  мм. Полученные значения коэффициентов трения приведены в таблице 1.

*Таблица 1 – Расчетные значения коэффициентов трения*

Форма отклонения	Конусообразность	Седлообразность	Бочкообразность
Коэффициент трения	0,241	0,238	0,244

**Оценка прочности соединений внутренних колец подшипников с шейкой оси с учетом отклонений профиля продольного сечения сопрягаемых поверхностей.** Компьютерные модели, разработанные в [2] модифицированы для возможности моделирования отклонений сопрягаемых поверхностей. Значения моделируемых отклонений приняты в рамках допусков размеров, указанных в документации на изделие.

На рисунках 1–3 приведены картины напряженно-деформированного состояния узла сопряжения внутренних колец буксового подшипника с шейкой оси колесной пары вагона при наличии конусообразности, седлообразности и бочкообразности. Значения напряжений указаны на шкале в Паскалях.

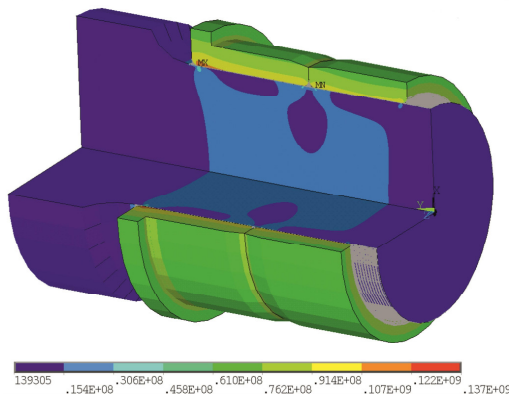


Рисунок 1 – Напряженно-деформированное состояние сопряжения при конусообразности (напряжения в Па)

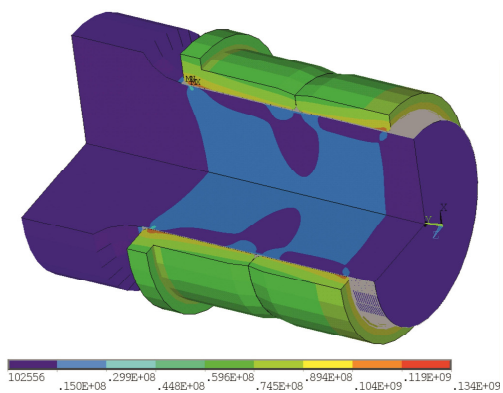


Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние сопряжения при седлообразности (напряжения в Па)

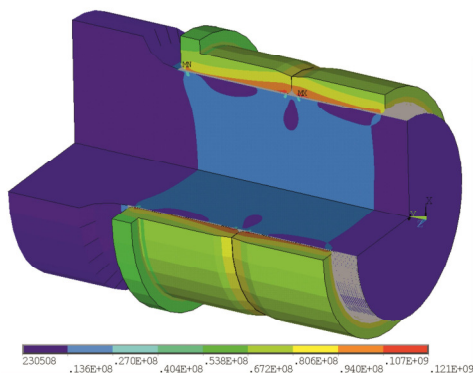


Рисунок 3 – Напряженно-деформированное состояние сопряжения при бочкообразности

Как видно из приведенных рисунков, наблюдается несимметричная картина распределения напряжений, вызванная неравномерным контактным давлением в поверхности сопряжения.

Для оценки значений сил относительного сдвига (прочности) запрессовки комплекта внутренних колец в модели задавалось перемещение оси 1 мм, а торцевой край внутреннего кольца закреплялся в осевом направлении. В результате расчетов получены значения сил сдвига для случая отсутствия отклонений формы, а также наличия конусообразности, седлообразности и бочкообразности. На рисунке 4 приведена сравнительная диаграмма снижения прочности соединения по критерию силы сдвига комплекта колец. Позиция I соответствует силе сдвига без учета отклонений формы (принято за единицу), позиция II соответствует силе сдвига при конусообразности, позиция III – седлообразности, позиция IV – бочкообразности.

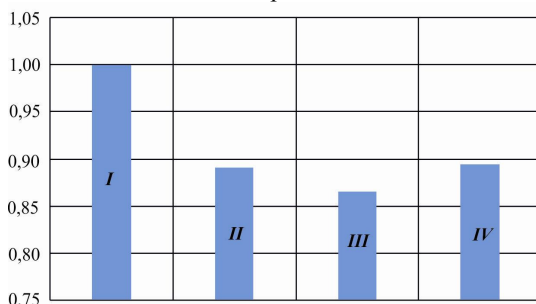


Рисунок 4 – Изменение силы сдвига по сравнению с идеальной геометрией

Из диаграммы видно, что наибольшее снижение прочности вызывает седлообразность (снижение составляет около 14 %). Таким образом, при форми-

ровании соединения и подготовке поверхности шейки оси следует учитывать возможное снижение прочности соединения в результате наличия отклонений поверхностей, причем находящихся в рамках допускаемых значений.

**Заключение.** В работе получены следующие основные результаты:

1. Определены значения коэффициентов трения для соединений с гарантированным натягом внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси колесной пары при отклонении от правильной формы продольного сечения сопрягаемых поверхностей.

2. Выполнены исследования прочности соединений внутренних колец буксовых подшипников с шейкой оси колесной пары при наличии формы отклонения конусообразность, седлообразность и бочкообразность.

3. Установлено, что наличие отклонения от профиля продольного сечения приводит к снижению прочности сопряжения. Наибольшее снижение (около 14 %) вызывает седлообразность.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм). – Введен 01.01.2013. – ОАО «ВНИИЖТ». – 276 с.

2 Оценка прочности соединений элементов колесных пар с гарантированным натягом / И. Л. Чернин [и др.] // Механика. Исследования и инновации. – 2017. – № 10. – С. 197–204.

3 **Куприянов, А. В.** Прочность соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы / А. В. Куприянов // Вестник ХНТУ. – 2015. – № 3(54). – С. 145–150.

4 **Андреев, Г. Я.** Тепловая сборка колесных пар / Г. Я. Андреев. – Харьков : Изд-во Харьковского ун-та, 1965. – 227 с.

5 **Чернин, Р. И.** Повышение эффективности формирования и расформирования узлов колесных пар вагонов, собранных с натягом: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Р. И. Чернин. – Гомель, 2013. – 157 с.

*V. V. PUTSIATA*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

#### **ESTIMATION OF STRENGTH OF BEARING INTERNAL RINGS WITH A WHEEL PAIR AXIS CONNECTIONS CONSIDERING CONJUGATED SURFACES DEFLECTIONS FROM A LONGITUDINAL SECTION PROFILE**

There are presented the research results for the durability of joints of axle box bearings inner rings with a wheelset axis neck with deviating from the correct shape of a longitudinal section of surfaces. The calculation values of the friction coefficients for the joints with guaranteed tension of the axlebox bearings inner rings and the wheelset axis neck with the geometry error are determined. The saddle shape causes the 14 % decrease in durability.

Получено 29.09.2018