

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 629.4.027

И. Л. ЧЕРНИН, кандидат технических наук, Р. И. ЧЕРНИН, магистр технических наук, Н. Г. СЕНЬКО, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; В. А. РУДЕНОК, главный инженер вагонного депо Гомель

О КОНТРОЛЕ ПРОЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ НАТЯГОМ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ С ШЕЙКАМИ ОСЕЙ КОЛЁСНЫХ ПАР

Рассмотрены вопросы контроля прочности сформированных соединений внутренних колец роликовых подшипников с шейками осей колёсных пар вагонов, отражены недостатки используемых в вагоностроительном и вагоноремонтном производстве способов выходного контроля прочности сформированных соединений, приведены разработанные в БелГУТе новые конструктивно-технологические решения для осуществления неразрушающего эффективного контроля прочности соединений с гарантированным натягом.

Вопросы оценки прочности соединений с гарантированным натягом при напрессовке колец подшипников на шейки осей колёсных пар вагонов не нашли должного отражения в технической литературе. Такие соединения представляют собой напряжённые посадки. В соединениях с гарантированным натягом благодаря силам упругости при напряжённо-деформированном состоянии (НДС) сопряжённых деталей на поверхностях контакта возникает сила сцепления, препятствующая их взаимному смещению. Посадки с гарантированным натягом, получаемые путём тепловой посадки и механической напрессовки, нашли применение на железнодорожном транспорте в ответственных узлах подвижного состава (буксовых). Недостаточная прочность этих соединений может вызывать разрушения посадок, приводящие к сходу вагонов и излому осей колёсных пар (рисунки 1).

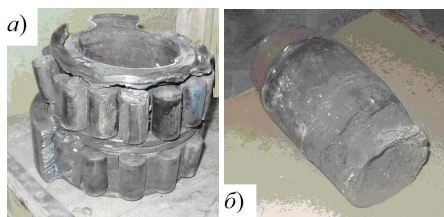


Рисунок 1 – Разрушение буксового узла (а) и излом шейки оси колёсной пары при провороте внутреннего кольца подшипника (б)

Данные ОАО «Российские железные дороги» позволяют выделить основные и наиболее опасные неисправности, из-за которых вагоны отцепляют в текущий ремонт. Так, по буксовому узлу – 52,6 % составляет грение, 23 % – сдвиг корпуса буксы. Также необходимо отметить, что основными причинами браков (около 60 %) являются неисправности ходовых частей и грение буксовых узлов [1]. Согласно статистическим данным по

установлению эксплуатационной надёжности на гарантийном участке Жлобин – Гомель за 2007–2008 гг. отказы по колёсным парам составили 11 %, причем из общего числа отказов колёсных пар 48 % составляет грение и сдвиг букс роликовых колёсных пар вагонов [2]. Ежегодно около 30 % всех отцепок, связанных с состоянием буксового узла, наблюдается в первые шесть месяцев после ремонта [3], что свидетельствует о недостатках формирования при ремонте и отсутствии эффективного выходного контроля прочности получаемых соединений. В подавляющем большинстве отказы вагонов в эксплуатации (отцепки вагонов и задержки поездов) – угроза безопасности движения. Грение букс может быть вызвано рядом причин: когда превышена необходимая норма смазочных материалов; при попадании в смазку инородных элементов, разрушении подшипников или несоблюдении установленных норм натягов в процессе формирования соединений буксовых узлов. В последнем случае возможно, что при завышенном натяге произойдёт разрушение внутреннего кольца подшипника, а при заниженном – соединение внутреннего кольца подшипника с шейкой оси станет работать как подшипник скольжения.

Успешное решение задачи повышения надёжности железнодорожного подвижного состава требует совершенствования технологии изготовления ходовых частей и сборки ответственных узлов колёсных пар. Качественно выполненные сборочные единицы подвижного состава позволяют не только повысить надёжность, но и снизить трудоёмкость изготовления и ремонта конструкций. Опыт эксплуатации и многочисленные исследования свидетельствуют, что применяемые в производстве технологические процессы сборки-демонтажа соединений с натягом колёсных пар требуют всемерного улучшения.

Характер взаимодействия сопряжённых деталей при сборке определяет их напряжённо-деформированное состояние (НДС), обуславливающее возникновение дефектов соединений. Наличие трудно учитываемых факторов, влияющих на исходную прочность формируемых соединений с натягом, снижает их надёжность и долговечность, а недостатки применяемой механической напрессовки значительно сокращают технический ресурс осей колёсных пар. Измерения диаметров посадочных поверхностей деталей, проведённые после многократных механических сборок-разборок соединений, показали, что величина натяга в зоне сопряжения за одну напрессовку снижается на 16–20 % в зависимости от материалов сопряжённых элементов колёсных пар, т. е. наблюдается значительный износ поверхностей контакта [2].

Оценка прочности соединения деталей по такому единственно контролируемому параметру, как величина измеряемого перед сборкой натяга (косвенный метод контроля) не исключает возможности получения поперечно-прессовых тепловых соединений с завышенными и заниженными фактическими величинами натягов в сформированных посадках по сравнению с установленными требованиями технической документации (ТНПА). Вопросы улучшения технологии теплового формирования поперечно-прессовых соединений не разработаны в полной мере, поэтому отмечаются случаи различной прочности напрессовки колец подшипников на шейках осей колёсных пар при равных условиях сборки формируемых соединений. По данным ВНИИЖТа, ослабление натяга посадки внутреннего кольца роликового подшипника составляет для букс пассажирских вагонов около 4 %, для букс грузовых вагонов – примерно 18 % от общего количества отказов по буксовому узлу. Увеличение натяга посадки от установленной нормы приводит к излому или разрыву внутреннего кольца подшипника. Указанный вид отказов составляет около 20 %.

Контроль сборки по прочности сопряжения колец буксовых роликовых подшипников с осями является составной частью технологического процесса содержания роликовых колёсных пар вагонов и представляет важную научно-техническую задачу.

Основные результаты работы. В Белорусском государственном университете транспорта (ОНИЛ «ТТОРЕПС») проводятся исследования по совершенствованию контроля качества сборки соединений с гарантированным натягом. Разработаны и запатентованы новые способы технической диагностики по прочности сопряжения колец подшипников с шейками осей колёсных пар (патенты 7377 РБ, 2329478 РФ).

На производственной базе вагонного депо специалистами БелГУТа проводились экспериментальные напрессовки на натуральных образцах колёсных пар, сущность которых заключалась в том, чтобы сравнить величины натягов, полученных с применением общеиспользуемого метода определения натяга формируемых напрессовок (замерами посадочных диаметров внутренних колец подшипников и шеек осей до сборки сопряжений) с результатами замеров при осуществлении выходного контроля полученных соединений предложенным способом (по уровню НДС охватывающей детали). Обследовано более 100 колёсных пар, у которых была выявлена необходимость в замене внутренних колец роликовых подшипников. Основные результаты проведенных экспериментов приведены на рисунке 2.

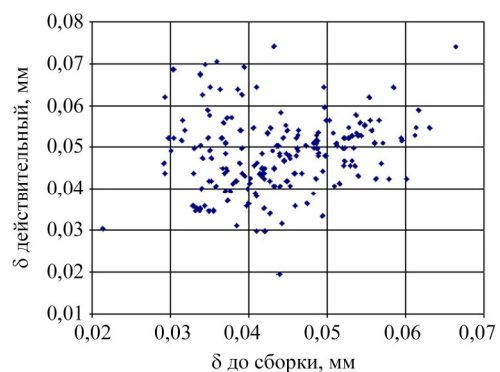


Рисунок 2 – Результаты экспериментальных напрессовок

Отмечается значительный разброс данных проведенных замеров по НДС охватывающей детали, что объясняется следующим. При тепловой напрессовке колец буксовых подшипников (на заключительном этапе формирования роликовых колёсных пар) по сложным законам суммируются свойства геометрического характера сопрягаемых деталей. Условия формообразования последних являются достаточно сложными, одновременно возникает ряд отклонений упомянутого геометрического характера (отклонения от цилиндричности поверхностей, параллельности и др.). Для соединений с гарантированным натягом довольно трудно учитывать влияние указанных отклонений на прочность, так как отсутствуют в практике вагоностроения и ремонта вагонов достаточно точные методы оценки получаемых соединений и альтернативные новые разработки в указанном направлении.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить зависимость, представленную на рисунке 3. На приведенном графике указан диапазон рекомендованных натягов при новом формировании соединений с гарантированным натягом буксовых роликовых узлов по ТНПА. Область малых натягов исключена в связи с тем, что в данном случае не удалось установить степень влияния отклонений от цилиндрической формы (овальность, седлообразность, конусность, волнистость и др.) сопрягаемых поверхностей, а

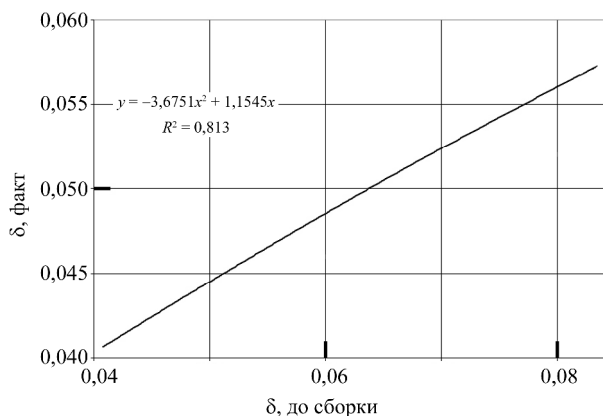


Рисунок 3 – Полученная экспериментальная зависимость

также их микронеровностей на получаемую прочность соединения. Данный вопрос является достаточно сложным и требует проведения дополнительных исследований. В зоне больших натягов влияние смятия микронеровностей сопрягаемых поверхностей сказывается в большей мере. Наблюдается следующая закономерность: при замеренных натягах 0,040–0,045 мм отклонения составляют около 2 %, а с дальнейшим увеличением натяга фактический натяг после сборки уменьшается. При замеренном натяге 0,065 мм снижение величины натяга составляет 10 %.

Прочность сопряжения деталей с гарантированным натягом зависит от характера трения на поверхностях их контакта. Сила трения связана с микроскопическими изменениями конфигурации контактирующих тел, локализованных в поверхностных слоях, при этом предполагаются малые, частично обратимые перемещения, величина которых пропорциональна предложенным сдвигающим и скручивающим нагрузкам. Полная сила трения покоя соответствует предельной величине предварительного смещения, переходящего в относительное смещение сопряжённых деталей. Существенным недостатком цилиндрических соединений с гарантированным натягом является недопустимость даже однократной их перегрузки, что обуславливает проворачивание колец подшипников на шейках осей.

При недостаточном натяге в сопряжении указанный проворот вызывает интенсивный износ шейки оси с образованием выработки значительной глубины на поверхности контакта последней с кольцом подшипника и отмечается интенсивный нагрев буксового узла от трения. В условиях достаточной смазки указанная пара трения работает как подшипник скольжения. При ослабленном натяге в сопряжении неизбежно повышается активность контактной коррозии деталей соединения втулки и вала. При относительных микроперемещениях контактирующих поверхностей отмечается коррозия трения (фреттинг-коррозия), что и проявляется достаточно наглядно при горячей посад-

ке внутренних колец роликовых буксовых подшипников при их циклическом нагружении. Указанный вид повреждений на поверхности контакта оси обуславливает возникновение мелких трещин усталости. Трещины усталости в зоне контакта деталей соединений могут не распространяться на большую глубину и не вызывать полного разрушения шейки оси. Поэтому для осей с напрессовками рассматривается несущая способность до появления мелких трещин (браковочный признак для осей колёсных пар в эксплуатации) и до полного разрушения оси. Одним из путей борьбы с фреттинг-коррозией в соединениях является создание масляной плёнки в зоне контакта деталей (толщиной порядка 0,1 мкм и более, так как в пленках указанных толщин уже проявляются объёмные свойства жидкости).

В этой связи особого внимания заслуживает использование гидропрессовой технологии (ГПТ) при формировании соединений с гарантированным натягом и контроле получаемых напрессовок, базирующейся на создании гидрораспора в соединении от высокого давления масла [3]. Работы по использованию ГПТ проводятся нами применительно к прессовым соединениям колёсных пар вагонов.

Вопросы повышения надёжности поперечно-прессовых соединений колёсных пар в эксплуатации, изыскания эффективных конструктивных и технологических решений в этом направлении являются достаточно актуальными [4, 5]. Одним из направлений в решении указанных вопросов, как отмечено выше, является создание и внедрение в производство новых эффективных средств технической диагностики тепловых напрессовок внутренних колец буксовых подшипников по напряжённо-деформированному состоянию (НДС) охватываемой детали сопряжения. В условиях производства (рисунок 4) выполнены контрольные напрессовки по проверке предложенного способа диагностики (патент ВУ 7377 С1) тепловых соединений на прочность сопряжения, обуславливаемой создаваемым натягом посадки [6]. Проведенные работы показали достаточную надёжность предложенного процесса неразрушающего контроля тепловых напрессовок. Востребованность разработанных в БелГУТе технических решений для осуществления выходного контроля посадки колец буксовых подшипников подтверждают 10 патентов Российской Федерации и Республики Беларусь на изобретения и полезные модели (ВУ 7271 С1, ВУ 7377 С1, ВУ 9347 С1, ВУ 10353 С1, RU 2228830 С2, RU 2279647 С2, ВУ 1587 U и др.).

Поставленная задача решается путём использования в устройстве контроля измерительного элемента с тензорезисторами, установленного концентрично на кольце подшипника при сборке со-



Рисунок 4 – Определение НДС кольца роликового подшипника, напрессованного на шейку оси колёсной пары (ВЧД Гомель Белорусской ж. д.)

единения. Цилиндрический составной корпус измерительного элемента выполнен в виде концентрично расположенных, неподвижно скреплённых между собой конструктивных элементов. Могут быть использованы также наиболее простые тензометрические кольца, выполненные в виде клеммовых соединений [7]. Основными преимуществами упомянутых соединений являются легкая сборка и разборка последних без повреждения сопрягаемых поверхностей деталей и возможность образования неподвижного соединения в любом месте охватывающей детали. Устройство [8] предназначено для улучшения контроля сборки соединений с гарантированным натягом, а также исключения возможных повреждений контролируемого кольца при осуществлении предложенного способа технической диагностики. В данном случае измерительный элемент выполнен в виде двух соосно соединённых между собой толстостенных колец с обратной конусностью на внутренних поверхностях последних (вершины конусов расположены оппозитно по отношению к плоскости разёма колец по резьбе).

Закрепляется измерительный элемент на контролируемом кольце подшипника с помощью разрезной тонкостенной втулки, снабжённой противоположно направленными (в сторону торцев последней) конусными поверхностями контакта с упомянутыми толстостенными кольцами. В указанном положении измеряют напряжения с помощью тензодатчиков (балансировка каналов тензоаппаратуры выполняется до сборки соединения при температуре производственного помещения). Нагревают кольцо подшипника вместе с закреплённым на нем измерительным элементом и устанавливают на шейку оси. После остывания указанного составного соединения (до температуры помещения) повторно измеряют напряжения в чувствительном элементе и по разности измерен-

ных величин напряжений расчётным путём по зависимостям Гадолина-Ляме определяют фактическое контактное давление в сопряжении деталей. Величина полученного контактного давления в сформированном соединении деталей сравнивается с допустимой по условию прочности, установленной ГНПА.

Распределение тензодатчиков по длине соединения обеспечивает возможность учёта отклонений формы и конусности поверхностей контакта деталей, которые отражаются на характере изменения напряжений. Суммарные тангенциальные напряжения в тензометрическом элементе контрольного устройства складываются из окружающих напряжений на внешней поверхности цилиндрического тензоэлемента, обусловленных величиной фактического натяга от посадки кольца на шейку оси в сформированном соединении и напряжений, вызываемых предварительным напряжённым состоянием измерительного устройства.

Усреднённые окружающие напряжения на внешней поверхности тензоэлемента используют для оценки удельного давления в зоне контакта деталей соединения. Величина этого давления определяется расчётным путём и должна быть достаточной для обеспечения условий, исключающих проворачивание кольца подшипника оси и относительное аксиальное смещение сопряжённых с гарантированным натягом деталей на шейке оси. Вместе с тем фактические напряжения от посадки не должны превышать величины, обуславливающие перенапряжение кольца подшипника из-за чрезмерного натяга в сопряжении. Это позволяет исключить браки в эксплуатационной работе, вызываемые трещинообразованием и разрывом внутренних колец роликовых буксовых подшипников колёсных пар из-за возможных в практике завышенных натягов при формировании соединений.

Качественно новым этапом в развитии методики и диагностики технических средств контроля прочности сопряжения деталей с гарантированным натягом буксовых узлов колёсных пар железнодорожного подвижного состава является использование упомянутой выше гидропрессовой технологии (ГПТ) в механосборочном производстве при изготовлении и ремонте вагонов. Вопрос касается возможности применения гидрораспора от высокого давления (30–40 МПа) минерального масла (или иной рабочей жидкости), подаваемого в зону сопряжения с торца посаженной с натягом охватывающей детали (внутреннего кольца подшипника) на шейку оси колёсной пары.

Предложен новый способ (патент RU 2329478 С2) неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников на шейке оси колёсной пары и устройство для его осуществления [9]. Данный способ технической диагностики по прочности сопряжения с натягом деталей (по сравнению со способом по патенту ВУ 7377 С1, описанному выше) позволяет не только осуществлять выходной контроль вновь формируемых соединений колец подшипников с шейками осей, но и контролировать прочность напрессовки колец ранее сформированных соединений. Устройство для осуществления указанного способа позволяет эффективно контролировать в сопряжении величину фактического натяга при выполнении обязательной по ТНПА полной ревизии буксовых узлов колёсных пар вагонов. В настоящее время решение указанного вопроса в ремонтном производстве в вагонных депо и на вагоноремонтных заводах далеко от совершенства. В частности, Белорусской железной дорогой закуплены приборы для проверки качества напрессовки колец подшипников буксовых узлов, при проведении часто выполняемой полной ревизии последних (осуществляется без демонтажа этих колец с посадочных мест). Принцип их действия основан на использовании отражённого звукового сигнала от удара металлического шарика о поверхность напрессованного на шейку оси внутреннего кольца роликового подшипника. Указанные приборы ПС-201 в практике работы вагонных депо не оправдывают своего предназначения, так как неэффективны. Особо следует отметить большую допускаемую (по технической документации) погрешность в оценке измеряемого натяга в сопряжении (порядка 15 %) и малый диапазон измерений.

Выводы. Использование предложенных способов технической диагностики напрессовок [6, 9] позволяет обеспечить возможность осуществления двойного контроля по величине натяга в сопряжении: входного – по замеру разностей диаметров соединяемых с гарантированным натягом деталей и эффективного выходного контроля получаемых соединений по уровню фактического НДС кольца подшипника, напрессованного на шейку оси. Это позволяет повысить качество формирования колёсных пар вагонов и надёжность их буксовых

узлов в эксплуатации, а также уровень безопасности движения на железнодорожном транспорте, сократить энергетические и трудовые затраты в производстве при изготовлении и ремонте колёсных пар вагонов.

Список литературы

- 1 Обеспечение безопасной работы грузовых вагонов / Г. К. Сендеров [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2007. – № 3. – С. 45–50.
- 2 **Сенько, В. И.** Обеспечение надёжности грузовых вагонов на гарантийных участках железной дороги / В. И. Сенько, Е. П. Гурский // Вестник Днепропетровского национального ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепропетровск, 2009. – С. 209–213.
- 3 Сборка колёсных пар гидропрессовым методом / А. В. Щенятский [и др.] // Тр. V науч.-практ. конф. «Безопасность движения поездов». – М., 2004. – С. 41–42.
- 4 Оценка прочности сопряжения прессовых соединений колёсных пар вагонов / В. И. Сенько [и др.] // Политранспортные системы: материалы V Всерос. науч.-техн. конф. СФУ. – Красноярск, ноябрь 2007. – С. 140–148.
- 5 **Чернин, Р. И.** Контроль прочности сопряжения тепловых напрессовок колец буксовых подшипников на шейках осей колёсных пар // Тр. IV междунар. науч.-студ. конф. «TRANS-MECH-ART-CHEM». – М., 2006. – С. 173–174.
- 6 **Пат. 7377 Республика Беларусь, МПК⁷ В 23Р 11/02, G 01L 1/22.** Способ контроля исходной прочности тепловой напрессовки кольца подшипника на шейке оси колёсной пары и устройство для его осуществления / Сенько В. И., Чернин И. Л., Сенько Л. В.; заявитель и патентообладатель БелГУТ. – № а20010261 ; заявл. 20.03.01 ; опубл. 30.09.02, Афіц. бюл. № 3 (34) / Дзярж. пат. кам. Рэсп. Беларусь. – 2с.: ил.
- 7 **Пат. 2431 Республика Беларусь, МПК⁷ В 23Р 11/02, G 01L 1/22.** Устройство для контроля прочности механической напрессовки колеса на ось колёсной пары / Сенько В. И., Чернин И. Л., Чернин Р. И., Гориченко С. Ф.; заявитель и патентообладатель БелГУТ. – № u20050254 ; заявл. 02.05.05 ; опубл. 03.10.05, Афіц. бюл. № 4 (47) / Дзярж. пат. кам. Рэсп. Беларусь. – 2 с.: ил.
- 8 **Пат. 2279647 Российская Федерация, МПК⁷ G 01L 1/22, B23P 11/02.** Устройство для измерения прочности сопряжения кольца подшипника с шейкой оси колёсной пары / Сенько В. И., Чернин И. Л.; заявитель и патентообладатель БелГУТ. – № 2004116017/28; заявл. 25.05.04 ; опубл. 10.07.06, Бюл. № 19.
- 9 **Пат. 2329478 Российская Федерация, МПК⁷ G 01L 1/22.** Способ неразрушающего контроля прочности напрессовки колец подшипников на шейке оси колёсной пары и устройство для его осуществления / Сенько В. И., Чернин И. Л., Чернин Р. И., Сенько Н. Г.; заявитель и патентообладатель БелГУТ. – № 2006134798/28; заявл. 02.10.06 ; опубл. 20.07.08, Бюл. № 20.

Получено 15.03.2010

I. L. Chernin, R. I. Chernin, N. G. Senko, V. A. Rudenok. About the control of durability of connections with the guaranteed tightness of rings of bearings with necks of axes of wheel pairs.

In article questions of the control of durability of the generated connections of internal rings roller bearings with necks of axes of wheel pairs cars are considered, lacks used in car-building and car-repair manufacture of ways of the target control of durability of the generated connections are reflected, resulted developed in BelSUT new is constructive-technological decisions for realisation of not destroying effective control of durability of connections with the guaranteed tightness.