

– какие устройства использовать для осуществления ТПП при маслосъеме колец подшипников с осей колесных пар и как производить работы по гидрораспрессовке, как отследить эффективность применяемой технологии гидропрессования.

В порядке постановки изложенных вопросов необходимо отметить следующее. Учитывая сложность решения поставленной задачи и многочисленные факторы, влияющие на процесс гидропрессования (например, неравномерность посадки охватывающей детали на сопрягаемую ось, изменяющаяся форма и величина зазора по глубине проникновения РЖ между поверхностями трения и пр.), рассматривается следующая модель. Цилиндрическая втулка конечной длины равномерно обжимает бесконечно жесткий вал, между валом и втулкой находится вязкая гидросреда, описываемая общими уравнениями гидродинамики вязкой несжимаемой жидкости (Навье-Стокса) в цилиндрической системе координат. Необходимо определить влияние этой гидросреды (минерального масла) на распределение деформаций и вызываемых ими напряжений по длине контактирующих поверхностей, вызываемых воздействием масляного клина на сопрягаемые детали при осуществлении гидрораспора. При увеличении зазора от давления повышается расход протекающей жидкости. В свою очередь, изменение конфигурации зазора $H(p)$ под воздействием высокого давления РЖ нарушает линейность распределения последнего по длине. На основании гидродинамического расчета движения вязкой несжимаемой жидкости в кольцевом зазоре, образованном в зоне контакта соосных цилиндрических поверхностей, получено аналитическое решение по указанной выше модели, характеризующее зависимость распределения давления РЖ по длине соединения. Это распределение имеет ярко выраженный нелинейный характер (параболическую зависимость). До половины длины посадки давление РЖ в деформированном зазоре изменяется сравнительно медленно, а по мере дальнейшего продвижения жидкости давление ее резко снижается. Исходя из найденной аналитической зависимости получена приемлемая для практического применения расчетная формула по определению потребной величины давления $P_{мг}$ торцового нагнетания рабочей жидкости:

$$P_{мг} = K_o (1 + \alpha_k) l_p P_k / \sqrt{\Delta l},$$

где P_k – контактное давление в сопряжении деталей с гарантированным натягом по Гадолину-Ляме; α_k , K_o – коэффициенты, учитывающие отклонения макрогеометрии сопряженных деталей; l_p – расчетная длина сопряжения в зоне гидрораспора по длине посадки, $l_p = \sqrt{l_o}$; l_o – полная длина контакта охватывающей и охватываемой деталей; $\Delta l = l_o - l_z$ – длина контакта деталей соединения, на которой не реализуется расклинивающий эффект от гидрораспора масляным клином, $H(p) = 0$.

УДК 658.515 (088.8) : 629.488.42 : 629.472.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВОЙ СБОРКИ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ С ШЕЙКАМИ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

И. Л. ЧЕРНИН, С. М. СТАРОВОЙТОВ

Белорусский государственный университет транспорта

В. А. РУДЕНОК

Белорусская железная дорога

Своевременное, на стадии изготовления или ремонта, выявление дефектов сборки ответственных узлов во многом определяет безопасность эксплуатации вагонов. Значительную сложность представляет определение фактического контактного давления в соединениях с натягом колец подшипников с шейками осей роликовых колесных пар. Неточности в определении натяга и контактного давления в сопряжении сказываются на разбросах аксиальных усилий относительного сдвига и крутящих моментов на проворачивание деталей прессовых соединений. До сих пор не существует методики определения и оценки точности измерения фактического натяга в тепловых напрессовках колец буксовых подшипников на шейки осей. Анализ способов контроля при сборке соединений с

натягом показал возможность использования некоторых разновидностей прямого выходного контроля получаемых сопряжений.

Известен "Способ оценки качества сопряжения деталей в соединениях" (автор. свид. №1809292), по которому испытывают две серии контролируемых деталей, одна из которых является эталонной. Нагружают соединение осевой и радиальной силами, соответствующими распрессовочным нагрузкам $P_{сдв}$ и $M_{кр}$; регистрируют параметры, характеризующие состояние соединений, и сравнивают их с эталонными значениями. С целью повышения точности оценки параметров дополнительно регистрируют усилие P_y начала относительного аксиального смещения деталей при осевых нагрузках и скручивающий момент M_y при начале взаимного углового смещения деталей посадки при радиальном нагружении. В качестве оценочных параметров используют отношения $\gamma_0 = P_y / P_{сдв}$, $\gamma_P = M_y / M_{кр}$. В патентной литературе описан способ прямого контроля, при котором соединение нагружают испытательной нагрузкой (автор. свид. №1632724) и о заданной прочности судят о неподвижности соединения. Во время приложения испытательной нагрузки программируемо снижают прочность соединения путем уменьшения натяга в сопряжении, а испытательную нагрузку $P_{сдв}$ устанавливают из следующего соотношения: $P_{сдв} = P_{сmin} - P_c$, где $P_{сmin}$ — минимально допустимая прочность сопряжения с натягом; P_c — программируемое снижение прочности соединения за счет принимаемого уменьшения натяга.

Известна методика оценки прочности сопряжения соединений с гарантированным натягом, предусматривающая нагружение соединений расчетной силой и измерение относительного микроперемещения соединенных деталей. Первоначально соединение нагружают уменьшенной по отношению к расчетной испытательной сдвигающей силой, измеряя при этом взаимное относительное микроперемещение сопряженных деталей. Затем на испытываемое соединение воздействуют энергией теплового импульса и повторно измеряют взаимное относительное микроперемещение деталей сопряжения. Прочность посадки определяют по разности между повторным и первоначальным относительными микроперемещениями деталей контролируемого соединения с гарантированным натягом. При осуществлении описанного способа контроля фиксируют создаваемые искусственно микроперемещения сопряженных с натягом деталей, что само по себе негативно отражается на исходной прочности сформированного соединения. С отрицательной стороны следует отметить и сложность, громоздкость устройства контроля (узел нагружения соединения, индикатор нагрузки, датчик взаимного микроперемещения деталей под испытательной нагрузкой, усилитель, регистрирующий прибор, индукционный нагреватель, датчик времени и пр.), а также дополнительные затраты энергии на нагрев испытываемого соединения.

Заслуживает внимания направление по фиксации напряжений, возникающих в охватывающей детали соединения, при осуществлении выходного контроля качества тепловых напрессовок. С этой точки зрения можно отметить описанные в технической литературе:

- способ определения остаточных напряжений (автор. свид. №1703957), заключающийся в том, что на испытываемую деталь воздействуют механической нагрузкой, замеряют величину последней и вызванную ею деформацию; определяют остаточные напряжения в детали на основании указанных данных, при этом в качестве механической нагрузки используют гидростатическое давление жидкости на деталь; деформации измеряют в радиальном направлении, а остаточные напряжения определяют через составляющую радиальной деформации;

- способ определения локальных механических напряжений контактирующих тел, при котором на исследуемой поверхности одного из них размещают чувствительный элемент измерительного устройства, воздействуют на контактную поверхность эксплуатационной нагрузкой со стороны другого тела и определяют механические напряжения.

На основании проведенного патентно-информационного исследования и анализа публикаций по экспериментальным исследованиям прочности сопряжения соединений с гарантированным натягом была принята достаточно точная экспериментально-теоретическая методика определения фактического натяга прессовых соединений. Необходимость более строгого контроля натяга внутренних колец буксовых подшипников, позволяющего дать объективную оценку правильности подбора посадочных диаметров последних и шеек осей колесных пар, давно назрела. Эффективная прямая оценка качества сборки поперечно-прессовых соединений с натягом достигается при реализации разработанного в ОНИЛ "ТТОРЕПС" способа контроля прочности сопряжения тепловых напрессовок на стадии завершения процесса сборки внутренних колец буксовых

подшипников с шейками осей. Этот способ основан на замерах остаточных растягивающих напряжений в цилиндрическом тензоэлементе, охватывающем кольцо подшипника на всех стадиях процесса тепловой поперечно-прессовой сборки (заявка на патент). В настоящее время проводится экспериментальное исследование предложенного нового способа контроля тепловых напрессовок внутренних колец роликовых буксовых подшипников колесных пар вагонов в лабораторных условиях.

Объектом исследования является опытный образец сборочно-измерительного устройства для напрессовки типовых однобортовых и безбортовых внутренних колец роликовых буксовых подшипников на шейки оси колесной пары РУ-1. С целью получения незначительного разброса данных опытов и стабильности результатов испытаний при сравнительно небольшом количестве экспериментальных тепловых напрессовок производится тщательная подготовка и контроль геометрических размеров и формы сопрягаемых деталей перед сборкой. Допускаемые отклонения геометрической формы поверхностей контакта колец подшипников и шеек осей принимаются согласно действующей технической документации. При выборе величины натяга экспериментальных соединений учитываются особенности формирования буксовых подшипниковых узлов роликовых колесных пар вагонов. Сопрягаемые детали подбираются согласно размерам, и составляется паспорт на каждое соединение. При проведении экспериментов в результате воздействия случайных факторов результаты замеров напряжений могут колебаться в определенных пределах. Поэтому снимаемые точечные значения параметров не могут полностью характеризовать изучаемый процесс сборки соединений. Для получения средних характеристик исследуемого процесса проводится математическая обработка полученных данных. Особо следует отметить, что при проведении исследований не решается вопрос о статической прочности и действительной несущей способности экспериментальных соединений под нагрузкой, при центральном приложении статической осевой сдвигающей силы и при воздействии крутящего момента от радиальных сил. Постановка указанного вопроса целесообразна при проведении специальных исследований по оценке влияния различных факторов на действительную несущую способность соединений. Экспериментальные работы выполняются поэтапно:

1) производят измерения посадочных поверхностей деталей по установленной методике с использованием типового электронного оборудования, предназначенного для проведения замеров на колесных парах в условиях вагоноремонтных предприятий с предельной допускаемой погрешностью 4 мкм в режиме измерения. Для шеек осей замеряют: отклонения среднего диаметра от номинального в двух сечениях D_1 и D_2 ; среднюю конусность $K_{12} = D_1 - D_2$; овальность в двух сечениях BO_1, BO_2 . Аналогичные замеры выполняют для посадочных поверхностей внутренних колец роликовых подшипников, дополнительно устанавливают отклонение среднего по двум сечениям диаметра $D_{ср}$ от номинального $D = (D_1 + D_2)/2$. Результаты измерений выводятся на цифропечатающее устройство приборов контроля БВ-7491 и БВ-7492. Подбирают кольца подшипников к соответствующим шейкам оси для тепловой напрессовки с установленными натягами $\delta = 0,030 \dots 0,065$ мм согласно требованиям действующих инструктивных указаний по эксплуатации и ремонту вагонных букс с роликовыми подшипниками;

2) выполняют подготовку измерительного блока к работе по замеру механических напряжений тензометрическим методом. Производят балансировку каналов тензоаппаратуры (установка нуля при проведении экспериментов). Закрепляют цилиндрический полый тензоэлемент с незначительным натягом по наружной поверхности контролируемого кольца подшипника и фиксируют на ленте самописца прибора уровень напряжений;

3) нагревают кольцо подшипника вместе с измерительным блоком (температура нагрева не более 100 – 120 °С), покрывают посадочную поверхность кольца тонким слоем веретенного АУ, индустриального 12 или трансформаторного масла и надевают через типовой направляющий стакан на шейку оси при обеспечении минимально необходимого монтажного зазора, определяемого по известным зависимостям из теории упругости;

4) производят замер оценочных напряжений в тензоэлементе сборочно-измерительного блока. Для выполнения автоматических замеров указанных механических напряжений используют сравнительную мостовую измерительную цепь. Методика проведения опытов простая, заключается в периодической тарировке тензорезисторов типа 2ПКБ-20-200В с базой 0,02 м, закрепленных клеем БФ-4 вдоль окружности предварительно очищенной наружной поверхности чувствительного эле-

мента измерительного устройства. Наклеенные активные и компенсационные датчики высокого удельного сопротивления $R = (200,5 \pm 0,3)$ Ом сушат при температуре $180 - 200^\circ\text{C}$ в течение 4 ч (тарировку производят перед испытаниями и после испытаний, при этом используют балочку равного сопротивления изгибу). Замер оценочных растягивающих напряжений выполняют при помощи измерительной системы, включающей преобразователь и измеритель сигналов. Выполняется математическая обработка полученных экспериментальных данных согласно принятой методике экспериментально-теоретического исследования прочности сопряжения тепловых поперечно-прессовых соединений. Для расчета контактного давления снимаемые напряжения усредняются по количеству точек измерений и числу опытов. Точность определения напряжений и соответственно величин контактного давления и натяга определяют методами теории вероятности. На основании теоремы о дисперсии суммы нескольких независимых случайных величин определяют среднее квадратичное отклонение величин напряжений, доверительный интервал изменения средней величины напряжений, усредненные по длине соединения с гарантированным натягом напряжения $\sigma = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sigma_i$, где

m – количество точек измерения напряжений. Учитывая соотношение $P = \sigma_i \left[1 - (d/d_n)^2 \right] / 2(d/d_n)^2$ определяют среднее квадратичное отклонение величины контактного давления в соединении с диаметром сопряжения d и наружным диаметром d_n . Усредненные значения напряжений используют и для определения фактической величины гарантированного натяга в сопряжении по вытекающим из решения Ляме-Гадолина зависимостям.

Достижимое повышение степени достоверности оценки величины действительного натяга в сопряжениях внутренних колец роликовых буксовых подшипников с шейками осей колесных пар вагонов при реализации описанного выше способа автоматизированного контроля на завершающем этапе процесса тепловой сборки деталей позволяет существенно повысить уровень надежности ходовых частей подвижного состава рельсового транспорта.

УДК 656.212.5

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН ПРИ РОСПУСКЕ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, Н. В. ВОДЯНОВИЧ, А. В. СЕМЕНКОВА

Белорусский государственный университет транспорта

Отличие динамики цистерн от вагонов иных типов связано с возможностью перемещения груза относительно кузова вагона. Поскольку масса перевозимой жидкости соизмерима с массой порожней цистерны, то при движении цистерн может наблюдаться их подергивание, вызванное перетеканием жидкости внутри котла. Это, в свою очередь, приводит к неправильной работе устройств для прицельного торможения на сортировочных горках, а иногда становится причиной схода вагонов с рельсов. Поэтому целью работы стало установление возможностей уточненного определения тормозного пути цистерн с учетом относительного перемещения жидкости в резервуаре цистерны.

При роспуске вагонов с горки скорость отцепа после прохождения третьей тормозной позиции должна быть такой, чтобы движущийся с горки отцеп как можно ближе подъезжал к вагонам, уже находящимся на сортировочном пути. С другой стороны, скорость соударения вагонов не должна превышать допустимого значения, установленного Правилами технической эксплуатации.

Необходимая скорость входа отцепа на пути сортировочного парка обеспечивается подбором длительности срабатывания вагонных замедлителей. Для ее нахождения при движении по специальному прямолинейному участку спускной части горки определяют силы сопротивления, действующие на отцеп. Они считаются при этом постоянными. Затем с использованием найденных значений сил сопротивления и с учетом длины пути, который должен пройти вагон до остановки, рассчитывается требуемое значение скорости вагона на выходе с третьей тормозной позиции. Ошибка в расчетах сил сопротивления может привести к недоезду отцепа до расчетной точки или к соударению вагонов с чрезмерно большой скоростью, что может вызвать повреждение вагона или груза.

При используемом в настоящее время трехпедальном способе измеряется время прохождения первой колесной парой отцепа через три последовательных положения, в которых установлены дат-