

Побудова математичної моделі зносу з уточненими параметрами. Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології". № 4, 2011. - С. 121-131 **3. Артемчук В.В.** Теоретичні аспекти моделювання зносу багатошарових покриттів. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - Дніпропетровськ, Україна, 2011 / Випуск 40. - С. 37-45 **4. Артемчук В.В.** Визначення раціональних параметрів шаруватого покриття при відновленні зношених деталей. Східно-Європейський журнал передових технологій. № 2/13(56), 2012. - С. 3-8. **5. Гельфанд И.М., Фомин С.В.** Вариационное исчисление. – М.: ГИФ-М.Л., 1961. – с. 228

Поступила в редколлегию 21.06.2012

УДК 629.11.012; УДК 621.757-93

І. Л. ОБОРСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., КНУТД, Київ,
А. С. ЗЕНКІН, докт.техн.наук, проф., КНУТД, Київ,
А. Г. АНДРЕЄВ, канд. техн. наук, доц., КНУТД, Київ,
О. В. ЩЕПКИН, н.с., НТУ «ХП», Харків,
А. П. ЗВОНАРЬОВА, н.с., НТУ «ХП», Харків,
А. Г. АНДРЕЄВ, канд. техн. наук, доц., н.с., НТУ «ХП», Харків

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДАННЯ ТА НДС З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ

У статті наведені результати досліджень технологічних параметрів складання та НДС з'єднань з натягом бандажа з центром колісним рухомого складу залізничного транспорту, що дозволили розробити нову конструкцію складеного колеса підвищеної міцності й надійності в експлуатації.

Ключові слова: з'єднання з натягом, технологічні параметри термічного складання, напружено-деформований стан (НДС).

В статье приведены результаты исследований технологических параметров сборки и НДС соединений с натягом бандажа с центром колесным подвижного состава железнодорожного транспорта, которые позволили разработать новую конструкцию составного колеса повышенной прочности и надежности в эксплуатации.

Ключевые слова: соединения с натягом, технологические параметры термической сборки, напряженно-деформированное состояние (НДС).

The results of studies of technological parameters of preparation and VAT connections with tension bandage wheeled to the center for railway, which allowed us to develop new design of composite wheels for added strength and reliability in operation.

Keywords: connection to the tension, the technological parameters of the thermal assembly, the stress-strain state (SSS).

Постановка проблеми

У наш час перед залізничним транспортом ставиться мета підвищення вантажопідйомності й впровадження швидкісних режимів перевезень вантажів і пасажирів [1, 2, 3]. У цьому зв'язку актуальним завданням для транспортного машинобудування є створення рухомого складу, який забезпечує підвищені якісні показники надійності й безпеки. Ці показники істотно залежать від

конструкції та якості з'єднань бандаж-центр складених шпичевих коліс і технології їхнього формування. До конструктивних недоліків цих з'єднань слід віднести виконання виточення в бандажі під бандажне стопорне кільце, через що послабляються конструкція бандажа й збільшуються його габарити й маса. Технологічними недоліками є використання заочухування бандажа після складання з центром, що призводить до певних порушень зони контакту сполучених деталей і зниженню міцності посадки. Вирішення поставленої проблеми взаємозалежне з дослідженнями напружено-деформованого стану з'єднань бандаж-центр і конструктивно-технологічними параметрами складання таких з'єднань, формованих з використанням нагрівання й охолодження. Тому в роботі проведені дослідження з метою створення передумов для розробки нової конструкції колеса електрорухомого складу й технології його складання.

Основні результати досліджень

Досліджуваним об'єктом є колесо моторного вагона ЕР-9, що використовується на залізничному транспорті (рис. 1, а) та колесо, яке має конструктивні зміни (рис. 1, б) [1, 2, 3].

Особливістю нової конструкції колеса (див. рис. 1, б) є те, що на відміну від існуючої (див. рис. 1, а) бандаж 2 виготовляється без канавки під кільце бандажне 3, а має на посадковій поверхні бурт упорний 4 і буртик 5 (див. рис. 1, б). Буртик 5 разом буртом упорним 4 утворює на посадковій поверхні бандажа П-образний паз під посадкову поверхню колісного центра 1. Матеріал бандажа сталь бандажна марки П (ДЕРЖСТАНДАРТ 398-2010), а центра колісного сталь 25ЛІ ІІІ (ДЕРЖСТАНДАРТ 398-88).

Складання з'єднань бандаж-центр проводять з натягом 1,0...1,4 мм і з використанням нерівномірного нагрівання бандажа по поверхні катання до 320 °С, наступної його витримки й вирівнювання температури до 240...255 °С. Після складання бандажа з центром колісним установлюють кільце бандажне й проводять його заочухування. Дані експлуатації використовуваних коліс свідчили про наявність рекламаций, наприклад, у ряді випадків повертання бандажа щодо центра колісного й тріщини спиць [1, 2, 3]. Для створення сучасної конструкції колісних пар Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 9.11.1992 р. № 736-р. передбачалося розробити перспективну технологію складання комбінованим термічним способом з'єднань бандаж-центр [1, 2, 4], що вимагає проведення досліджень технологічних складальних параметрів і НДС елементів колеса.

Дослідження включали визначення НДС бандажа й центра при дії на них максимального перепаду температур попереднього нагрівання й охолодження, які забезпечують збільшення посадкового діаметра бандажу й зменшення посадкового діаметра колісного центру перед їхнім складанням. Ці дослідження

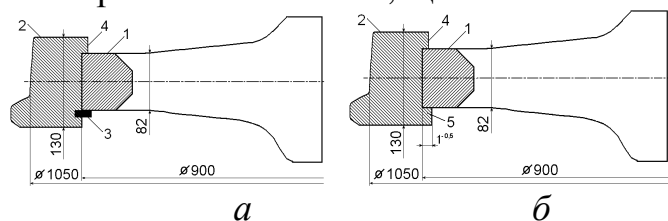


Рис. 1. Фрагменти існуючої (а) і запропонованої (б) конструкцій колеса моторного вагона: ЕР-9: 1 – центр колісний; 2 – бандаж; 3 – кільце бандажне; 4 – бурт упорний; 5 – буртик

проводилися при складанні бандажа з центром з максимальним складальним натягом 1,4 мм. Для забезпечення складання з'єднань з цим натягом і проведення досліджень НДС були розраховані з використанням розроблених розрахункових моделей значення температур нагрівання бандажа й охолодження центра, які дозволять здійснити складання з термічним складальним зазором. При проведенні досліджень при різних варіантах температур попереднього нагрівання й охолодження бандажа й центра також фіксувалися енерговитрати, які розраховувалися з використанням розробленого програмного комплексу для вибору варіанту енергозберігаючого складання [5].

Для досліджень застосовували бандажі й центри, які виготовлялися в умовах ВАТ "Київський ЕВРЗ" з точністю й шорсткістю обробки відповідно до технічних умов підприємства на механообробку (шорсткість обробки посадкової поверхні бандажа й центра колісного становила $Ra=3,2$ мкм).

Спочатку визначали розрахунковим методом температури нагрівання бандажа й охолодження центра, потім розраховували значення НДС при складанні коліс застосовуваної конструкції при різних значеннях температури деталей, що сполучаються, перед їхнім складанням і після вирівнювання температури з'єднання до температури навколишнього середовища (20...22 °С). Були передбачені три варіанти порівняльних досліджень НДС при різному сполученні температур нагрівання бандажа й охолодження центра, наведені в табл. 1, 2.

Після вимірювання конструктивних параметрів бандажі нагрівали на індукційному нагрівачі, а центри охолоджували рідким азотом у спеціальній холодильній камері [1, 2]. Потім за отриманими значеннями температури були виконані розрахунково-експериментальні дослідження НДС складеного колеса й витрат енергії з використанням методу скінчених елементів (МСЕ). Експериментальні дані розподілу температур у центрі та розрахункові значення максимальних напружень при його охолодженні наведені в табл. 1, а результати розрахунково-експериментальних досліджень НДС бандажа при його нагріванні в умовах ВАТ "Київський ЕВРЗ" і витрат енергії наведені в табл. 2.

Таблиця 1- Експериментальні дані розподілу температур в центрі колісному та розрахункові значення максимальних напружень при його охолодженні

| Варіанти розподілу температури | № термопар, що встановлені в центрі колісному [6] | | | | | | | Максимальні напруження в зоні галтелей, МПа | | |
|--------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|---|-------------------------|----------------------|
| | 8 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Еквівалентні σ_e | Окружні σ_θ | Радіальні σ_r |
| | Температура (°С) в місцях установки термопар вздовж радіусу центра | | | | | | | | | |
| 1 | -185 | -185 | -195 | -195 | -195 | -195 | -195 | 80 | -80 | 40 |
| 2 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | -100 | -195 | -195 | -195 | -195 | 150 | -200 | 80 |

Таблиця 2 - Результати експериментальних досліджень НДС бандажа при його нагріванні перед складанням

| Варіанти нагрівання | Температура (°C) в місцях установки термопар 1, 11 и 111 [6] | | | Переміщення на посадковому діаметрі, мкм | Напруження, МПа | | | Затрати енергії, кДж |
|---------------------|--|-----|-----|--|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| | 1 | 11 | 111 | | Радіальні σ_r | Окружні σ_θ | Еквівалентні σ_e | |
| | | | | | | | | |
| 1 | 190 | 250 | 296 | 1330 | 0...5 | -160 | 19...15 | 29,352 |
| 2 | 225 | 296 | 320 | 1362 | 0...5 | -166 | 282...162 | 30,697 |
| 3 | 240 | 256 | 255 | 1240 | 0...3 | -30 | 30 | 27,856 |

Установлено, що при охолодженні колісного центра до температур -185...-195 °C (варіант 1, див. табл. 1 і табл. 2) напруження становлять 0...80 МПа, тому що розподіл температури в його тілі практично близький до рівномірного. Найбільші напруження спостерігаються в колісному центрі в процесі його охолодження з інтервалом розподілу температур -100...-195 °C (див. варіант 1, табл. 1 і табл. 2).

На основі отриманих результатів (табл. 2) установлено, що найбільші напруження спостерігаються при нерівномірному нагріванні бандажа до 225...320 °C, що застосовується в складальному виробництві (варіант 2).

Однак значення напружень не перевершують механічні характеристики [ДЕРЖСТАНДАРТ 1435- 99] матеріалу бандажа сталь бандажна марки П [ДЕРЖСТАНДАРТ 398- 2010]. Переміщення при нагріванні до 190-296 °C (варіант 1) вище, ніж при нагріванні до 240-255 °C (варіант 3), що говорить про доцільність збирати колеса при нерівномірному нагріванні до температур 190-296 °C (варіант 1).

Розглянемо вплив на НДС бандажа при 3 запропонованих варіантах його нагрівання перед складанням (див. табл. 1). Результати проведених розрахунків розподілу температур у бандажі й НДС при його нагріванні зведені в табл. 3.

Таблиця 3-Температури в місцях установки термопар і напруження в бандажі при його нагріванні

| Варіант | Температура (°C) в місцях установки термопар (1, 11 и 111) [6] | | | Напруження в бандажі, МПа | | |
|---------|--|-----|-----|---------------------------|-------------------------|----------------------|
| | 111 | 11 | 1 | Еквівалентні σ_e | Окружні σ_θ | Радіальні σ_r |
| | | | | | | |
| 1 | 79 | 87 | 106 | 4...40 | 0...10 | 0...5 |
| 2 | 256 | 289 | 364 | 135...190 | 125...181 | 0...5 |
| 3 | 120 | 132 | 161 | 70...130 | 128...-135 | 0...5 |

Результати розрахунків показують (табл. 3), що при нерівномірному максимальному нагріванні бандажа (температура змінюється в інтервалі 256...364 °C) під складання по 2-ому варіанту мають місце найбільші окружні й

еквівалентні напруження. У цілому, як показали результати досліджень, зниження температури нагрівання бандажа в інтервалі 120...161 °С і охолодження колісного центра в інтервалі температур -100...-195 °С дозволяють знижувати рівень їх НДС.

Слід також зазначити, що виконані при дослідженні НДС розрахунки енерговитрат показали (табл. 4), що застосування часткового охолодження центра (обода й шпиць – варіант 3) і нерівномірного нагрівання бандажа забезпечать найменші витрати енергії при КТСС, що дозволяє рекомендувати такий режим нагрівання й охолодження деталей, що сполучаються.

Таблиця 4- Витрати енергії при зборці бандажа з центром при різних режимах їх нагрівання та охолодження

| Варіанти складання | Витрати енергії, МДж | | |
|--------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| | Нагрівання бандажа | Охолодження центра | Сумарні витрати |
| 1 | 8,1 | 29,3 | 37,4 |
| 2 | 32,5 | 0 | 32,5 |
| 3 | 12,3 | 18,7 | 31,0 |

Таким чином, результати проведених досліджень НДС деталей, що сполучаються, підданих попередньому термовпливу, дозволяють рекомендувати раціональне поєднання зниженого нагрівання й охолодження при складанні з'єднань бандажа й центра, для використання на виробництві. Однак ухвалення рішення про вибір температур нагрівання й охолодження при КТСС нових складених коліс (див. рис. 1, б) вимагає проведення досліджень НДС у процесі формування натягу й після остаточного вирівнювання температури виробів. Тому були проведені розрахунково-експериментальні дослідження НДС при формуванні складених коліс рекомендованої конструкції (див. рис. 1, б) з максимальним натягом 1,4 мм і використанні нагрівання в інтервалі 230...270 °С і охолодження колісного

центра (шпиць і обода) в інтервалі температур -100...-195 °С. З метою дослідження фізики формування зони контакту бандажа з центром і НДС проведені дослідження характеру зміни температур і контактного тиску за часом. При цьому встановлено (рис. 2), що розподіл температур є нерівномірним у радіальному напрямку. У початковий момент складання температура в зоні контакту змінюється рівномірно (прямі 1...3). Потім спостерігається більш інтенсивний теплообмін у радіальному напрямку в зоні шпиць центра й

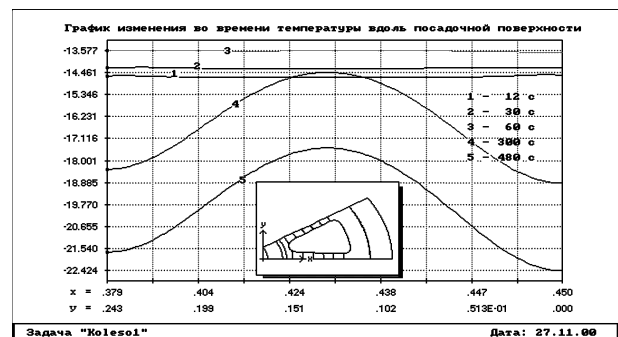


Рис. 2. Графік зміни температур уздовж посадкової поверхні в процесі формування зони контакту

бандажа (криві 4 і 5).

Установлено, що уздовж посадкової поверхні відбувається місцевий початковий контакт бандажа з центром колісним на рівні шпичь (рис. 3). При цьому початковий контактний тиск становить - 231,33 МПа. У міру вирівнювання й перерозподілу температури при формуванні зони контакту контактні тиски перерозподіляються й знижуються

приблизно до -60...-62 МПа.

При цьому в середній частині з'єднання контактний тиск становить біля - 118...-119 МПа. У початковий момент (на 1 с) скріплення деталей окружні напруження мінімальні на рівні між шпичцями центра колісного й становлять біля -95 МПа, а на рівні шпичь -111...-112 МПа.

На рис. 3 показано динаміку зміни контактного тиску на посадковій поверхні з'єднання при формуванні зони контакту, а на рис. 4 показані ізополоси розподілу еквівалентних напружень на поверхні з'єднання бандаж-центр після вирівнювання температури з'єднання до температури навколишнього середовища. При цьому встановлено, що після вирівнювання температури максимальні напруження 239...265 МПа мають місце в зоні контакту на рівні між шпичцями колісного центра й у галтелях переходу від шпичь до обода центра колісного.

Висновки

1. КТСС дозволяє вибирати раціональні значення температури нагрівання бандажа й низькотемпературного охолодження центра колісного з урахуванням зниження НДС і енерговитрат:

- при охолодженні центра колісного найбільший рівень еквівалентних напружень спостерігається в зоні галтелі переходу від шпичі до обода (200...300 МПа) і в середній частині шпичь (200...240 МПа), однак ці напруження не перевищують механічні характеристики його матеріалу;

- найбільші напруження спостерігаються при нерівномірному нагріванні бандажа до 225...320 °С, що застосовується в реальному складальному виробництві. Нерівномірне нагрівання бандажа до рекомендованої температури 190...296 °С, дозволяє знизити напруження.

2. Установлено раціональні інтервали температури нагрівання бандажа 120...161°С і охолодження колісного центра до -100...-195 °С при складанні з'єднань з натягом способом КТСС. Підтверджено, що при складанні з'єднань з заданим складальним натягом після вирівнювання їхньої температури НДС при

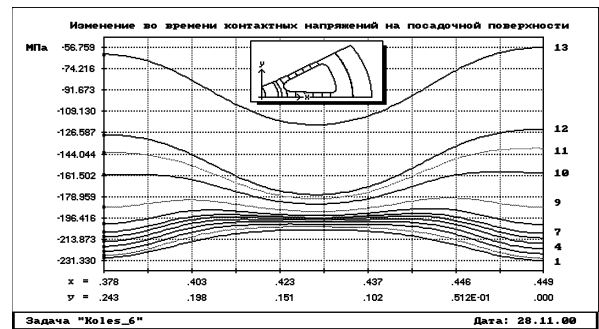


Рис. 3. Характер зміни значень контактного тиску на посадковій поверхні з'єднання

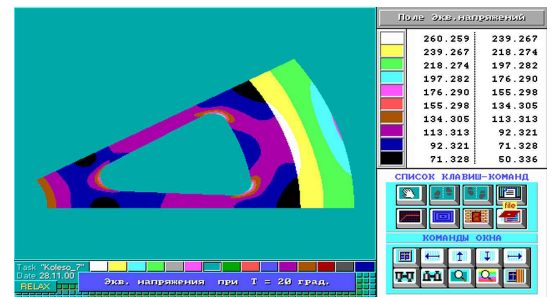


Рис. 4. Ізополоси еквівалентних напружень на поверхні з'єднання бандаж-центр після вирівнювання температури з'єднання до 20...22 °С

взаємозалежному поєднанні зниження температур нагрівання й охолодження залишається постійним.

3. Проведені дослідження дозволяють рекомендувати запропоновані конструкцію складеного колеса й технологічні параметри при створенні технології якісного складання з'єднань з натягом бандаж-центр комбінованим термічним способом [7].

Список літератури: 1. *Оборський І.Л.* Нова конструкція і технологія з'єднання бандаж-центр колеса електровагона. // Залізнич. транспорт України. – 2003. – № 5. – С. 9-10. 2. *Оборський І.Л.* Усовершенствование конструкции и технологии сборки составного колеса. Залізнич. транспорт України. – 2006. – № 1. – С. 49-51. 3. Патент України № 46548 А, МПК⁷ В23 Р 19/02, МПК⁷ В23 Р 11/02. З'єднання деталей з натягом і спосіб його здійснення. / *І.Л. Оборський, А.С. Зенкін, Б.М. Арпент'єв, В.Г. Кантур та інші.* – № 2001085678; Заявлено 09.08.2001; Опубл. 15.05.2002. Бюл. №5. 4. Патент України №59676А, МПК⁷ В60В17/00. Бандаж колеса. / *І.Л. Оборський* – № 2002119084; Заявлено 15.11.2002; Опубл. 15.09.2003. Бюл. №9. 5. *Оборський І.Л.* Определение конструктивно-технологических параметров и проектирование рациональной технологии сборки соединений с натягом / *И.Л. Оборский, А. Н Демковский, Д.Н. Хоменко, Н.И. Оборская* // Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Nr. 279. Mechanika, z. 83 (nr 1/2011). Technika i technologia montazu maszyn. – Rzeszow.– 2011. – С. 171 – 177. 6. *Оборський І.Л.* Исследование напряженно-деформированного состояния спицевого колеса электровагона при сборке комбинированным термическим способом. / *И.Л. Оборский, А.С. Зенкин, А.Г. Андреев, А. И. Щепкин* // Сборка в машиностроении, приборостроении. - М.: Машиностроение, 2002. № 8.- С. 14-16. 7. *Оборський І.Л.* Исследование и разработка конструктивно-технологических параметров сборки крупногабаритных соединений с натягом / *И.Л. Оборский, А.С. Зенкин, А.Г. Андреев, А. В. Щепкин, А.П. Звонарева* // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – К.: КНУТД. – 2012. – № 3. – С. 94-100.

Поступила в редколлегию 12.06.2012

УДК 621.774

А.И. ДОЛМАТОВ, докт. техн. наук, проф., НАКУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков,

И.А. ЖДАНОВ, заместитель директора ГП ХМЗ «ФЭД», Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИБКИ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ КОМБИНИРОВАННОГО НАГРУЖЕНИЯ

В работе рассмотрены результаты экспериментальных исследований изменения толщины стенки на внутренней и внешней сторонах трубы и деформация поперечного сечения трубы в процессе сгибания под воздействием различных видов нагрузки: с приложением осевого усилия, внутреннего давления и комбинации осевого усилия и внутреннего давления.

Ключевые слова: гибка, утонение и утолщение стенок, овальность сечения, высота стенок, гофрообразование, минимальный радиус изгиба

В роботі розглянуті результати експериментальних досліджень зміни товщини стінки на внутрішній і зовнішній сторонах труби і деформація поперечного перерізу труби в процесі згинання під впливом різних видів навантаження: з додатком осевого зусилля, внутрішнього тиску і комбінації осевого зусилля і внутрішнього тиску.

Ключові слова: гнуття, стоншення і стовщення стінок, овальність перетину, товщина стінок, гофрування, мінімальний радіус вигину.