

В. А. ЛЕОНЕЦЬ, д-р техн. наук

О. Д. ТОКАРСЬВ, інженер

А. І. ТРЕГУБ, інженер

Л. М. ЧАУС, інженер

Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України (Україна)

ВИМІРЮВАННЯ ЗАЛИШКОВИХ ТЕРМІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ В РЕБРАХ ЖОРСТКОСТІ ВІЗКІВ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ВЛ60

Оцінено величини залишкових термічних напруг у ребрах жорсткості другого конструкторського рішення рам візків електровозів ВЛ60. Розраховано резонансну частоту їхніх поперечних коливань. Зроблено висновки про можливість їхнього руйнування, через існування ударних навантажень, що діють на раму візка.

Оценены величины остаточных термических напряжений в ребрах жесткости второго конструкторского решения рам тележек электровозов ВЛ60. Рассчитана резонансная частота их поперечных колебаний. Сделан вывод о возможности их разрушения, из-за существования ударных нагрузок, действующих на раму тележки.

Assessment of the value of thermal residual stresses in stiffness ribs produced in accordance with the second constructive and set on in bogie frames of ВЛ60 electric locomotives. Resonant frequency of their lateral oscillation is calculated. A conclusion is made concerning the possibility of their fracture due to the impact loading acting on a bogie frame.

Подовження призначеного терміну служби тягового рухомого складу Укрзалізниці передбачає, зокрема, комплекс заходів, які проводить Головне управління локомотивного господарства Укрзалізниці та Служби локомотивних господарств залізниць щодо забезпечення його експлуатації у подовжений термін служби. Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України (далі – ДНДЦ УЗ) як головна наукова організація Укрзалізниці (далі – ГОУЗ) з питань подовження призначених показників тягового рухомого складу очолює роботу з наукового супроводження цих заходів. Сьогодні актуальною задачею є забезпечення експлуатації електровозів ВЛ60 всіх індексів з подовженим призначеним терміном служби.

У статті описано дослідження можливих причин виникнення тріщин втоми в ребрах жорсткості ЭЗ.205.00.00.002 другого конструкторського рішення зміцнених рам візків електровозів ВЛ60 усіх індексів. Виникають тріщини в цих елементах конструкції рам візків після 70 тис. км пробігу електровозів (рис. 1).

Тріщини 3 розвиваються в напрямку 13.30 циферблату годинника. Відповідно до програми ГОУЗ випробувань електровозів ВЛ60 всіх модифікацій на двох рамах візків ВЛ60 п/к № 001, якому були виконані роботи в об'ємі КРП, були встановлені в точці Т1 тензорезистор КФ5П1-100-15-А для вимірювань деформа-

цій, а в Т2 – термокомпенсаційний тензорезистор.

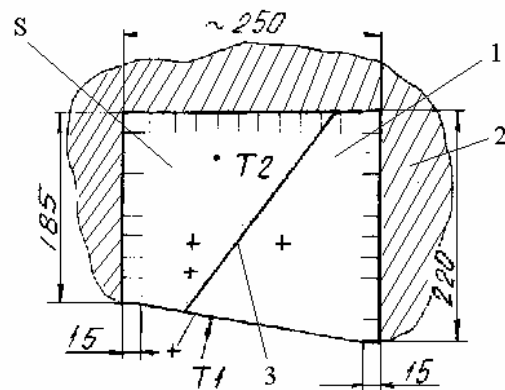


Рис. 1 Ескіз ребра жорсткості ЭЗ.205.00.00.002 другого конструкторського рішення:

1 – ребро товщиною $S = 12$ мм, виготовлене із Ст. 3; 2 – рама візка; 3 – тріщина; Т1, Т2 – місця встановлення тензорезисторів; + – місця вимірювань залишкових термічних напружень

Ходові динамічні міцносні випробування цих ребер жорсткості здійснено з використанням бортового вимірювального комплексу (далі БВК) [1], розробленого та виготовленого в ДНДЦ УЗ. Ресструвалась залежність амплітуд механічних напружень σ_v від часу t . Під час вимірювань температура повітря змінювалась в діапазоні від +10 до -5°C . Був густий туман,

ішов дощ, падав сніг. Вага пасажирських поїздів змінювалась від 500 до 1100 тон. Максимальна швидкість руху поїздів становила 100 км/год. Випробування здійснено на ділянці Знам'янка – Помощная Одеської залізниці. Електровоз експлуатувався у складі поїздів №№ 59, 638.

Виявилось, що середньостатистична величина $\bar{\sigma}_v = 4,89$ МПа. Залежність кількості циклів навантажень від σ_v включала в себе широкий спектр виникаючих в ребрах жорсткості механічних напружень, у тому числі і короткодіючих протягом 2,5...4 мілісекунд (рис.2). Розрахунок величини запасу міцності Э3.205.00.00.002 здійснено за формулою Серенсена-Кінасосвілі [2].

Виявилось, що втомне руйнування ребра жорсткості можливе при існуванні в ньому значних залишкових термічних напружень $\sigma_{зал}$. Якщо взяти $\sigma_{зал} = 180$ МПа, то величина запасу міцності n становить 1,37, що менше допустимого значення 2.

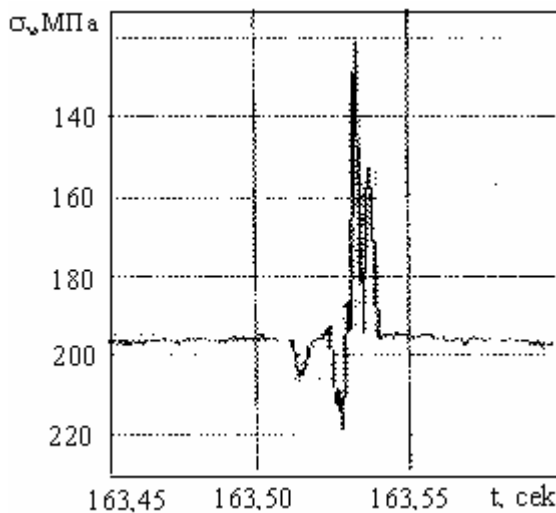


Рис. 2. Залежність амплітуди механічних напружень σ_v від часу t при ударному навантаженні ребра жорсткості

Експериментальне вимірювання $\sigma_{зал}$ в елементах конструкцій рам візків електровозів ВЛ60 було здійснено за допомогою приладу БГШ, розробленого в Інституті проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України. Реєструвались шуми Баркгаузена за допомогою накладного індуктора-приймача. База вимірювань не перевищувала 7 мм. Для здійснення вимірювань робоча поверхня полірувалась за допомогою абразивних шкурки. Для зменшення впливу жорсткості поверхні на результат вимірювань між датчиком та контрольною поверхнею встановлювалась лавсанова плівка товщиною 10...20 мкм. Градування приладу БГШ

здійснено на 4-х зразках, виготовлених із Ст. 3 сп. ГОСТ 14637-89.

Розміри двох зразків у вигляді паралелепіпеда становили (в мм) $11,8 \times 19,6 \times 171,5$, де значення 171,5 мм – відстань між точкою прикладання навантаження та точкою зняття інформації. Два інші зразки мали розміри $20,4 \times 19,1 \times 171,5$. Навантаження зразків здійснювалось на копрі ДСО [3]. Досліджувались зразки, вирізані уздовж та поперек прокату металу.

Градувальні характеристики БГШ виявились різними лише при вимірюванні шумів Баркгаузена у зразках, вирізаних уздовж гарячекатаного листа із Ст. 3 сп. ГОСТ 14637-89 (рис. 3).

Нажаль, експериментальне вимірювання значення $\sigma_{зал}$ в Э3.205.00.00.002 другого конструктивного рішення не вдалося через їх швидке руйнування. Рекомендована розробником чергова модернізація цих ребер жорсткості також виявилась невдалою.

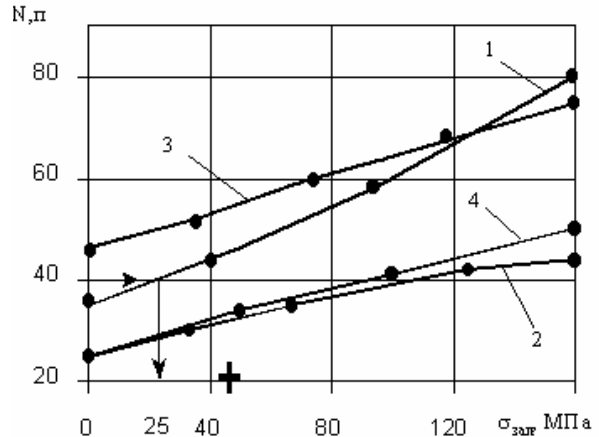


Рис. 3. Градувальні характеристики БГШ: 1, 2 – зразки з поперечним перетином $11,8 \times 19,6$ мм²; 3, 4 – $20,4 \times 19,1$ мм²; N – число поділок індикатора приладу; + – розрахункове значення $\sigma_{зал}$; 1, 3 – уздовж прокату металу

Для визначення $\sigma_{зал}$ була вирішена стаціонарна задача термопружності Э3.205.00.00.002 за умови, що ребро миттєво нагрівається з трьох сторін до температури 400°C. Теплове розширення елементів конструкції рами візка (шкворневого бруса, боковини рами, кронштейна допоміжної опори) дорівнювало 0. Теплопередача в навколишнє середовище відбувалась в зварних швах через метал рами візка, а на вільних поверхнях – через нагрівання повітря. Початкова температура дорівнювала 0°C. При цьому знехтували “усадочними” напруженнями зварних швів. Розрахунки здійснено за допомогою програми ANSYS (рис. 4, а).

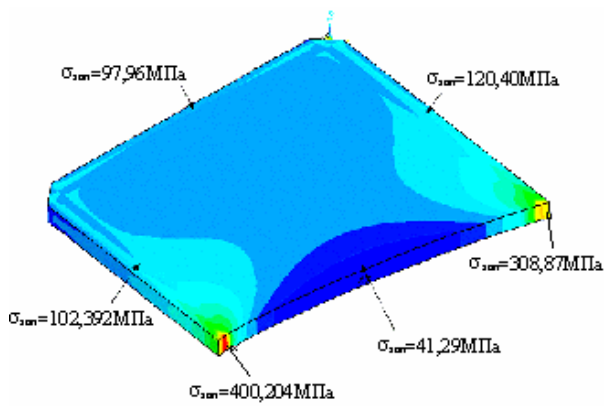


Рис. 4, а. Розподіл $\sigma_{\text{экв}}$

Найбільші еквівалентні напруження виникли на кінцях зварних з'єднань. На середині вільної торцевої поверхні ребра жорсткості існували мінімальні напруження, їх значення показано значком "+" (див. рис.3). При експлуатації виникнення тріщин на кінцях зварних швів спостерігається при руйнуванні гумового ковпака центральної опори. При цьому рама кузова лягає на шкворневий брус, ускладнюючи можливість повороту рами візка в кривих. Для запобігання такому виду руйнування необхідно контролювати технічний стан гумових ковпаків центральних опор.

На рис. 4, б показано розподіл відносних амплітуд поперечних переміщень ЭЗ.205.00.00-002 другого конструкторського рішення по першій формі коливань.

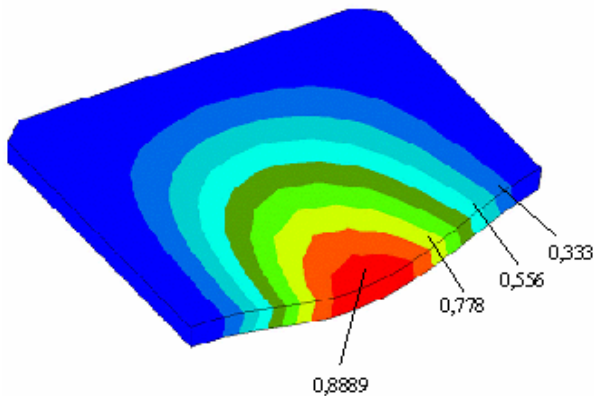


Рис. 4, б. Розподіл відносних амплітуд коливань

Розрахунок коливань ребра жорсткості здійснено за умови його жорсткого зацмлення з 3-х приварених сторін.

Розрахунки здійснено за допомогою програми ANSYS. Резонансна частота коливань ребра жорсткості по першій формі становила 1,3219 КГц, тобто період коливань був 0,756 мілісекунди. Розраховане значення періоду ко-

ливань ребра жорсткості одного порядку з тривалістю експериментально отриманих ударних імпульсів. Ми вважаємо, що резонансне коливання ЭЗ.205.00.00-002 також може бути причиною їх руйнування.

З метою запобігання виникненню великих залишкових напружень $\sigma_{\text{зал}}$ та динамічних напружень від резонансних коливань в ребрах жорсткості нами запропоновано четверте конструкторське рішення (рис. 5).

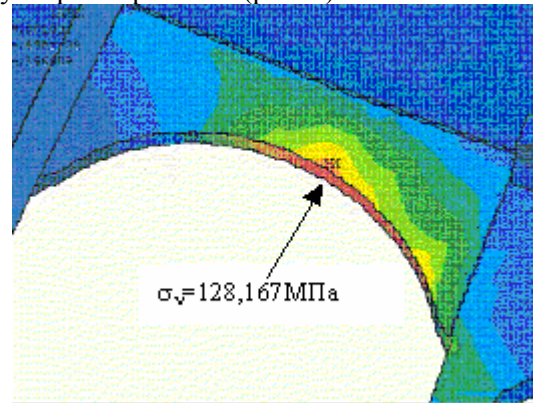


Рис. 5. Ескіз ребра жорсткості ЭЗ.205.00.00-002 четвертого конструкторського рішення

Експериментально встановлено, що при цьому виникають $\sigma_{\text{зал}} \approx 25$ МПа (див. стрілку на рис.3). Резонансні частоти суттєво відрізняються від тих, які виникають в рамі візка під час ударних навантажень. Зараз ЭЗ.205.00.00.002 четвертого конструкторського рішення проходять експлуатаційні випробування.

БИБЛИОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Леонец В. А., Леонец А. А., Токарев О. Д. Система динамико-прочностных испытаний несущих конструкций подвижного состава и верхнего строения пути при повышенных скоростях движения // Экспериментальное кольцо ВНИИЖТ-70: Сб. тр. междунар. конф. – Щербинка. – 2002. – С. 180-182.
2. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. М.: ВНИИЖТ – 1998 г. – 145 с.
3. Дегтярев В. А. Установка типа ДСО для испытаний на усталость при повторном ударном и гармоническом нагружении с различной асимметрией цикла // Проблемы прочности. – 1982. – № 10. – С. 110-113.