

ЗАВИСИМОСТЬ МАССЫ БОКОВОЙ РАМЫ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА ОТ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ НАГРУЖЕНИЯ

Ильиных Роман Александрович, аспирант

Богатов Александр Александрович, заведующий кафедрой “Обработка металлов давлением”, доктор технических наук, профессор

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, ул. Мира 19

Разработка и освоение грузового железнодорожного вагона нового поколения, имеющего улучшенные технико-экономические показатели, повышенную эксплуатационную надежность является одной из первоочередных задач современного вагоностроения. Решение этой проблемы требует создания и развития инновационных металлургических технологий производства железнодорожных колес, осей и боковой рамы тележки грузового вагона.

Грузовые вагоны конструктивно основаны на применении трехэлементных тележек. Несмотря на свою простоту и универсальность, эти тележки не лишены недостатков, влияющих на их эксплуатационную надежность. Особые претензии предъявляются к качеству литых деталей тележек. Традиционная технология производства боковой рамы, одной из ответственных деталей тележки грузового вагона, основана на выплавке стали в мартеновской печи. Далее последовательно осуществляют выпуск металла в разливочный ковш, фасонное литье в земляные формы, зачистку и термообработку литых изделий. Согласно требованиям ОСТ 32.183-2001 боковая рама должна иметь высокие прочностные и пластические характеристики: предел текучести σ_T – не менее 294 МПа, временное сопротивление σ_B – не менее 490 МПа, относительное удлинение δ – не менее 20% и относительное сужение ψ – не менее 30%, ударную вязкость по Менаже (КCU) при +20°C – не менее 49 Дж/см² и по Шарпи (КСV) при -40°C – не менее 16,7 Дж/см². Однако рама, изготавливаемая способом фасонного литья и отвечающая требованиям ОСТ 32.183-2001 по уровню механических свойств, не обеспечивает необходимой долговечности и эксплуатационной надежности. Основной причиной разрушения рамы при эксплуатации является возникновение трещин и ускоренное их развитие. По этому признаку только за период 2006-2009 гг. на железных дорогах России произошло 36 изломов боковых рам тележек грузовых вагонов (рис.1) [1].

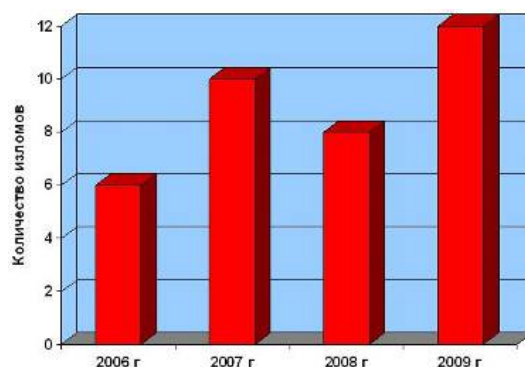


Рис. 1. Количество изломов боковых рам за период 2006-2009 гг.

В подавляющем большинстве случаев очагами зарождения и развития трещин являются литейные поверхностные и подповерхностные дефекты (газовые и усадочные раковины, засоры, горячие трещины) или новые дефекты, возникающие при огневой зачистке или заварке раковин и трещин (рис. 2) [2].

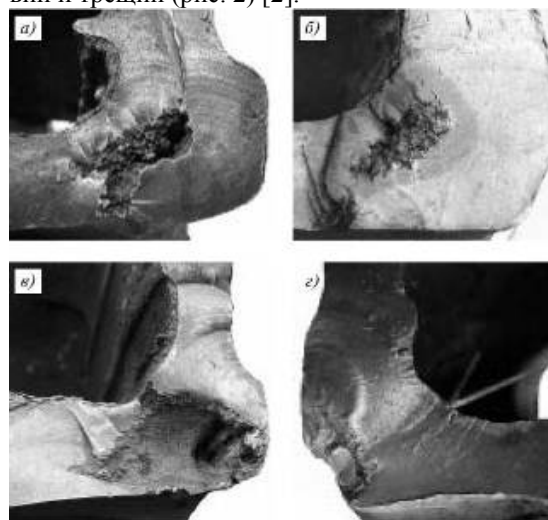


Рис. 2. Очаги зарождения усталостных трещин боковых рам

во внутреннем углу R55 буксового проема:

а – усадочная раковина, выходящая на поверхность; б – засор, выходящий на поверхность; в – песчаная раковина; з – заварка литейного дефекта.

Наличие тех или иных литейных дефектов, их размеры и количество обуславливаются уровнем применяемой технологии выплавки стали и получения отливок. Необходимо отметить, что более 70% боковых рам в России изго-

тавливаются из мартеновской стали без применения прогрессивных технологий внепечной обработки и вакуумирования. Действующий ОСТ 32.183-2001 предусматривает выплавку низколегированных сталей марок 20ГЛ, 20ГФЛ, 20ГТЛ в электрических и мартеновских печах.

Подвод жидкого металла с температурой 1550 - 1590°C при заливке в литейную форму первоначально осуществляется в челюсти буксового проема. Таким образом, вся масса жидкой стали, которая заполняет форму, проходит через наиболее опасные участки детали – внутренний и внешний радиусы R55 буксового проема. При этом происходит перегрев металла в этих зонах, что способствует образованию усадочных трещин и пористости. Поэтому, наиболее ответственные и опасные зоны буксового проема оказываются в наихудшем положении с точки зрения обеспечения требуемой плотности металла.

Анализ сложившейся технологии литья показывает, что брак в среднем за год составляет около 30%, кроме того, при приёмке на ОАО «РЖД» выявляется ещё 7% бракованных изделий [3]. Тем не менее, система жёсткого контроля качества боковых рам не обеспечивает гарантии безопасной перевозки грузов.

Прочность боковой рамы в значительной степени зависит также от конструкции и соотношения основных размеров рамы, т.к. это определяет величину напряжений в элементах, которые наряду с литейными дефектами ответственны за уровень эксплуатационной надёжности. Сравнительный анализ основных эксплуатационных характеристик (межремонтный пробег, срок службы, отказ в эксплуатации) боковых рам тележек 18-100 и фирмы «Barber» позволяет отметить следующие конструктивные отличия:

- боковая рама тележки «Barber» имеет мощные концевые части, превосходящие по прочности аналогичные части рамы тележки 18-100;
- боковая рама тележки «Barber» имеет уменьшенные размеры буксовых проемов по сравнению с тележкой 18-100, а в верхней части буксовые проемы усилены опорными приливами;
- рессорный проем боковой рамы тележки «Barber» снабжен усиленной опорной поверхностью под рессорный комплект, что обеспечивает его повышенную прочность по сравнению с рессорным проемом рамы тележки 18-100;
- основным несущим элементом рамы тележки «Barber» является мощный нижний пояс.

Решение основных задач развития вагонного хозяйства (увеличение межремонтных пробегов до 1 млн. км, повышение нагрузок на ось до 300 кН) возможно только при комплексном подходе: разработке новых конструкций несущих деталей тележек грузовых вагонов с учетом мирового опыта, использовании новых инновационных технологий изготовления боковой рамы из высокопрочных марок стали.

В Уральском федеральном университете подготовлены технические предложения по изготовлению боковой рамы из экономичных профилей проката и труб из сталей 06Г2Ф5Т (группа прочности Х70) и 06Г2НБДТ (Х80).

По одному из разработанных вариантов боковая рама состоит из трубного профиля, а также коробки для установки пружин рессорного комплекта и надрессорной балки. Особенностью и достоинством предлагаемой конструкции боковой рамы является возможность рационального распределения эксплуатационных напряжений в отдельных элементах рамы и демпфирования динамических нагрузок. Химический состав и структура указанных выше марок стали обеспечивают высокий уровень механических свойств, значительно превосходящий уровень литейных марок стали, особенно по ударной вязкости. Для стали Х80: σ_t – не менее 570 МПа, σ_b – не менее 640 МПа; ударная вязкость по Шарпи (KCV) при -40°C – не менее 180 Дж/см²; вязкая составляющая в изломе при испытании падающим грузом – не менее 85% [4]. Отметим, что производство как бесшовных, так и сварных труб из высокопрочных марок стали освоено на отечественных трубных заводах. Современные способы гибки труб позволяют обеспечить требуемую форму и точность размеров любого элемента боковой рамы. Углеродный коэффициент высокопрочных марок стали не превосходит 0,45, поэтому сварное соединение сформированной трубной заготовки и швеллера обладает высокой эксплуатационной надёжностью.

Для определения оптимальной конструкции штампосварной боковой рамы был выполнен расчет с использованием метода конечных элементов (МКЭ) на ПК (рис. 3). Создание конечно-элементной модели, вычисление напряжений в элементах, распределение нагрузок в конструкции, а также создание рисунков деформированных состояний производились с использованием прикладного программного обеспечения SolidWorks с интегрированным модулем COSMOS Works. Для описания конструкций боковых рам были использованы объемные 4-х узловые конечные элементы. В качестве глобальной системы координат при составлении расчетной схемы была выбрана декартова система с центром на продольной оси рамы в плоскости поперечной симметрии рамы.

В качестве кинематических граничных условий в расчетной схеме были приняты следующие:

- узлы расчетной схемы, расположенные на линии, проходящей по поперечной оси пятна контакта при опирании боковой рамы на горизонтальную опорную поверхность буксы, были закреплены от перемещений по оси Y;

- узлы расчетной схемы, расположенные в плоскости соприкосновения боковой рамы с направляющими челюстей буксы, были закреплены от перемещений по оси Z.

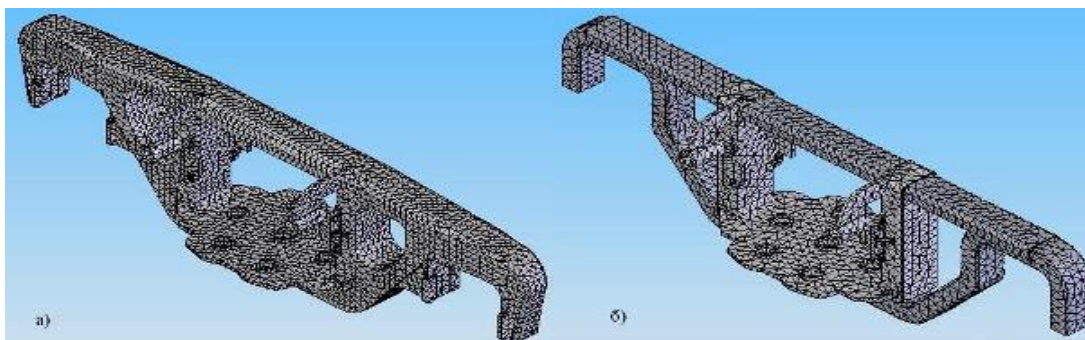


Рис. 3. Общий вид конечно-элементных моделей:
а – литая боковая рама; б – штампованная боковая рама

Расчет велся от нагрузок, действующих в продольной вертикальной плоскости и передающихся боковине через элементы рессорного подвешивания, а именно: $P_{ст}$ – статическая, $P_{д}$ – динамическая нагрузки.

Выбор оптимальной конструкции сводится к выбору оптимального сечения верхнего и нижнего стержней (обладающего меньшей массой,

т.е. наименьшей площадью поперечного сечения, но с наибольшей прочностью, т.е. большим моментом сопротивления) при различных схемах нагружения. Анализируя результаты расчетов (рис. 4) можно сделать вывод, что рациональной системой верхний пояс – нижний пояс будет «труба – труба» с более загруженным верхним поясом.

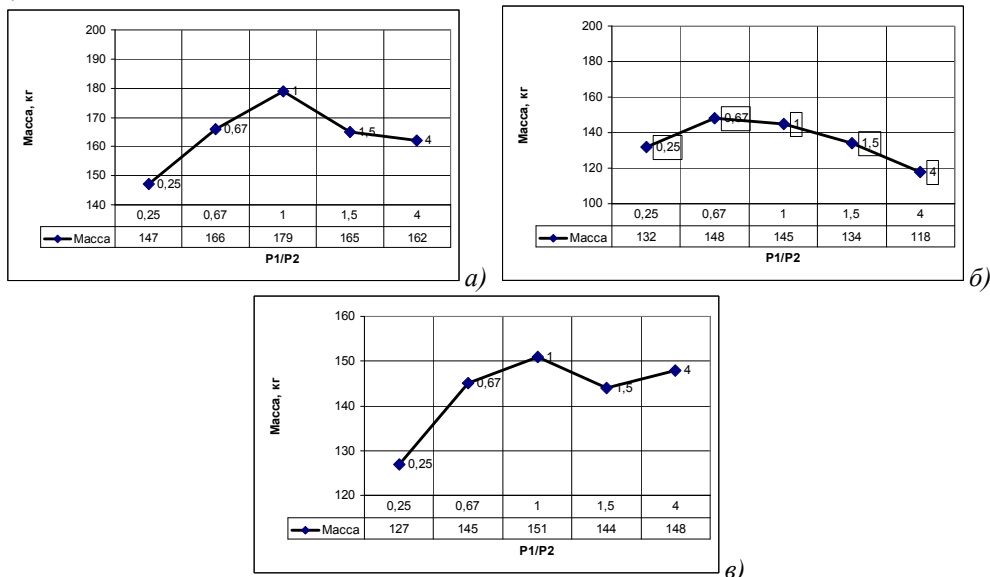


Рис. 4. Зависимость массы боковой рамы от различных способов нагружения по различным схемам:
а – труба-швеллер; б – труба-труба; в – труба-труба в виде швеллера.

Заключение

Прочностной расчет боковой рамы новой конструкции, выполненный с использованием программного комплекса Solid Works с модулем COSMOS Works, показал, что применение экономичных профилей проката и рациональное конструктивное решение боковой рамы обеспечивают, по сравнению с рамой из фасонного листа, повышение несущей способности тележки до 300 кН на ось и одновременно снижение массы рамы на 15-20 %. Кроме того, боковая рама новой конструкции обладает способностью демпфировать динамические нагрузки, вызванные взаимодействием колеса и рельса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брак без расчета. Гудок (ежедневная транспортная газета), 19 марта 2010 г. № 44 (24523), 5 с.
2. Конькова Т. Е., Беловодский В. Б., Великанов А. В. О путях повышения эксплуатационной надежности стальных литых деталей тележек грузовых вагонов // Вестник ВНИИЖТ. 2009. № 1. С. 22-26.
3. Гапанович В.А. Качество металлургической продукции транспортного назначения/ Совместные технологии производства транспортного металла. Трансмет-2007. Екатеринбург: УГ-ТУ-УПИ. 2008, 395 с.
4. Лобанова Т.П. Перспективы применения высокопрочных труб для развития газотранспортной системы в ОАО «Газпром»: труды Междунар. науч.-технич. конф. «Трубы-2008». Челябинск: изд-во РосНИТИ, 2009. 359 с.