

И. Г. МОРЧИЛАДЗЕ, А. М. СОКОЛОВ

Новое в конструкции и технологии монтажа упоров автосцепного устройства

Одним из весьма распространенных видов отказов грузовых вагонов являются различные повреждения консольных частей рам. Такого рода отказы являются трудно выявляемыми, требуют дорогостоящего ремонта и могут служить причиной аварийных ситуаций. Анализ причинно-следственных связей в процессах развития этих отказов, проведенный на основе многочисленных материалов ресурсных ударных испытаний вагонов различных типов, показал, что одним из основных факторов, влияющих на прочность консольных частей рам грузовых вагонов, является конструкция упоров автосцепного устройства.

Часто продольная ударная нагрузка на автосцепку передается с отклонением от продольной оси вагона как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости, что объясняется, с одной стороны, разницей высот осей автосцепок взаимодействующих экипажей, а с другой — их взаимодействием в кривых участках пути и, возможно, перекосами центрирующего механизма автосцепки (рис. 1). Такое внецентренное приложение внешней нагрузки к автосцепке приводит к потере продольной устойчивости шарнирной кинематической пары автосцепка — поглощающий аппарат и удару упорной плиты и тягового хомута в хребтовую балку. При этом поглощающий аппарат занимает перекошенное относительно заднего упора положение как в горизонтальной, так и в

вертикальной плоскости, а ударная поверхность корпуса поглощающего аппарата отклоняется от рабочей поверхности упора на углы α и β соответственно. Кроме того, ударная поверхность аппарата отклоняется от продольной оси вагона и прижимается к одной из стенок хребтовой балки [1].

Это приводит к внецентренному сжатию заднего упора, причем вся или большая часть продольной нагрузки воспринимается заклепочными соединениями одной его стороны. Внецентренное сжатие воспринимается боковой стенкой и заклепочными соединениями не только как продольный сдвиг, что соответствует нормальным условиям работы соединений этого вида, но и как изгиб боковой стенки с растяжением и ослаблением заклепок.

Ослабленная заклепка перестает работать в качестве стяжного соединения, при этом существенно возрастают пластические деформации как в ослабленной, так и в остальных заклепках, которые воспринимают и часть нагрузки, ранее приходившейся на ослабленную заклепку. Дальнейший изгиб боковой стенки приводит к обрыву заклепок, а сопровождающее этот процесс смятие опорной поверхности упора приводит к постепенному смещению всего автосцепного устройства внутрь хребтовой балки, закрытию зазора между упором головки автосцепки и ударной розеткой и передаче жесткого удара на хребтовую балку. Эти процессы сопровождаются локальной потерей устойчивости стенок и полок хребтовой балки, обрывами сварных швов приварки ее верхней полки (в исполнении из двух швеллеров) и общей деформацией консоли.

Все сказанное позволяет утверждать, что клепаная конструкция заднего упора не в состоянии полностью обеспечивать требуемую прочность консольной части рамы вагона в современных условиях, когда постоянно увеличиваются продольные нагрузки и растет частота возникновения нагрузок высокой интенсивности.

С целью совершенствования конструкции заднего упора отечественных грузовых вагонов были разработаны два варианта литой приварной конструкции. Первый вариант предложен ФГУП «ПО УВЗ» совместно с ВНИИЖТом, а второй вариант разработан Великолукским ЛРЗ совместно с ГУП НВЦ «Вагоны». Оба варианта пред-

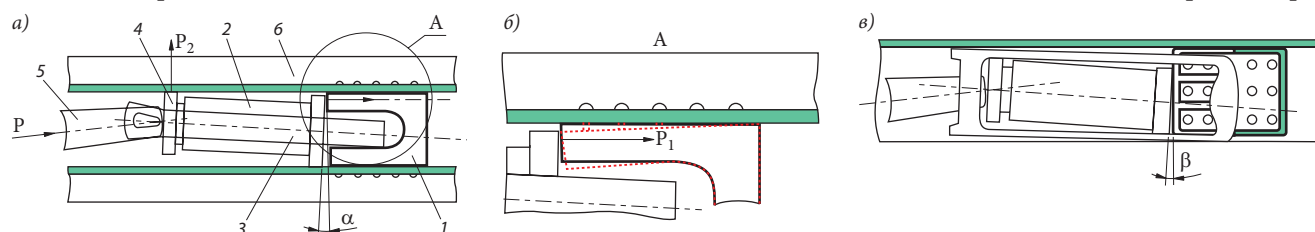


Рис. 1. Схема силового взаимодействия поглощающего аппарата и упора автосцепного устройства:

a — взаимодействие в горизонтальной плоскости; *б* — схема деформации упора и заклепочного соединения (пунктиром показано деформированное состояние упора); *в* — взаимодействие в вертикальной плоскости; 1 — задний упор; 2 — поглощающий аппарат; 3 — хомут; 4 — упорная плита; 5 — автосцепка; 6 — хребтовая балка

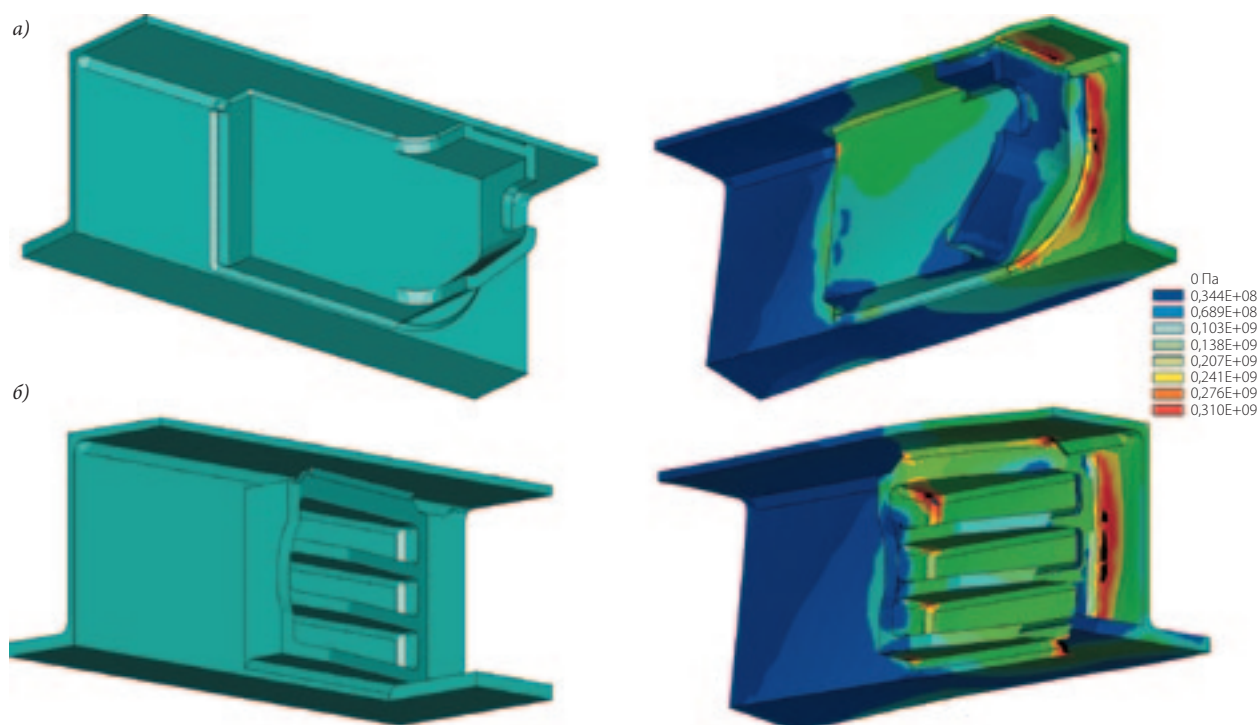


Рис. 2. Конструкции упоров и их напряженно-деформированное состояние:
 а — вариант разработки УВЗ — ВНИИЖТ; б — вариант разработки ВЛРЗ — НВЦ «Вагоны»

ставляют собой цельнолитые конструкции, привариваемые к боковой стенке и верхней полке хребтовой балки (рис. 2). Основные отличия вариантов конструкций заднего упора следующие:

- вариант НВЦ обладает значительно большей погонной длиной сварных швов приварки упора к хребтовой балке;
- вариант УВЗ объединяет обе половины упора задней стенкой и имеет более развитую систему швов приварки к верхней полке хребтовой балки.

Для оценки прочности этих конструкций использовали метод синтеза нечетких моделей прочности (FDMS-метод) [2]. Были разработаны три модели разного уровня сложности, условно названные «нормативной», «компромиссной» и «комплексной».

«Нормативная» модель основана на рекомендованной нормами [3] методике определения распределения напряжений по швам приварки элементов конструкции. При этом используемый в анализе усталостной прочности эффективный коэффициент концентрации напряжений определяли экспертным путем

согласно рекомендациям указанных норм. «Компромиссная» модель напряженного состояния упора представляет собой объемную конечно-элементную модель, имитирующую особенности геометрии конструкции упора и в несколько упрощенном виде геометрию сварного шва. Конечно-элементная модель нагружалась давлением, линейно распределенным по ее опорной поверхности. Особенностью этой модели является то, что она позволяет оценить влияние геометрии элементов консоли рамы вагона в зоне заднего упора и их жесткости на распределение напряжений по сварным швам. Для анализа усталостной прочности распределение эквивалентных напряжений по сечению шва линейризовывали, а в качестве эффективного коэффициента концентрации напряжений использовали рекомендации норм.

«Комплексная» модель напряженного состояния сварного шва, подобно «компромиссной» модели, представляет собой объемную конечно-элементную модель, нагруженную распределенным по поверхности давлением. Основной осо-

бенностью этой модели является то, что она учитывает влияние специфики геометрии сварного шва в зоне концентрации напряжений, а также остаточных сварочных напряжений на итоговую нагруженность конструкции. Остаточные сварочные напряжения в конструкции определяли известным методом, согласно которому детальную модель сварного шва нагружают движущимся источником сварочного тепла. При этом учитывают упругопластические деформации модели, вызванные температурным расширением материала. Распределение остаточных сварочных напряжений формировали имитацией остывания сварного шва за счет конвективного и лучевого теплообмена. Теоретический коэффициент концентрации напряжений в сварном соединении, который затем использовался в анализе усталостной прочности конструкции, определяли на основании сравнения линейризованного распределения суммарных эквивалентных напряжений по сечению шва с их пиковыми значениями в зонах концентрации. Сравнение полученных заключе-

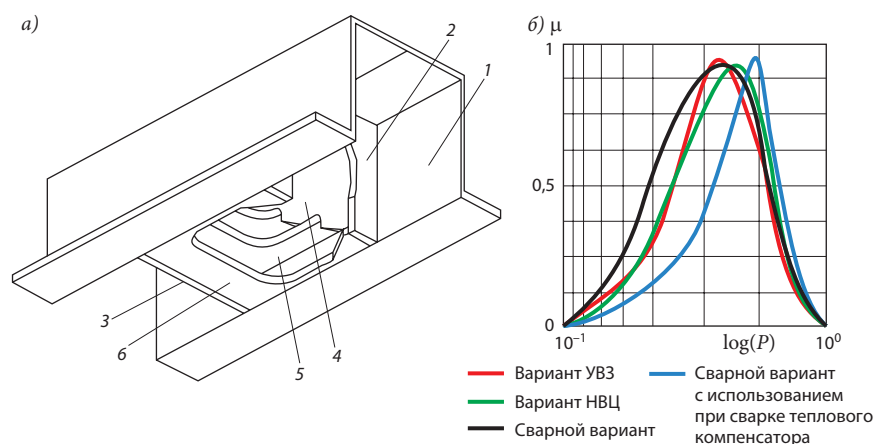


Рис. 3. Конструкция сварного заднего упора автосцепного устройства (а) и сравнение заключений о прочности различных вариантов конструкции (б):

1 — хребтовая балка; 2 — опорная стенка; 3 — задняя стенка; 4 — боковая стенка; 5 — U-образные ребра жесткости; 6 — Ω -образное ребро жесткости; μ — достоверность прочности; $\log(P)$ — вероятность прочности

ний о прочности конструкции упора обоих вариантов (рис. 3) показало, что прочность обоих вариантов конструкции оценивается приблизительно одинаково, при этом прочность варианта ВЛРЗ — НВЦ «Вагоны» несколько выше, но зато размытость этого нечеткого заключения о прочности также немного больше, чем у варианта УВЗ — ВНИИЖТ.

В целом можно заключить, что оба варианта конструкции обладают приблизительно одинаковой прочностью. Однако литая приварная конструкция упора имеет один существенный недостаток — у нее ограничены возможности адаптации к различным конструкциям консольных частей подвижного состава. В то же время именно соотношение жесткостей хребтовой балки, элементов шкворневого узла и конструкции упора определяет нагруженность как консольной части, так и сварных соединений упора. Для решения этого технического противоречия была разработана сварная конструкция упора, причем сортамент заготовок элементов этой конструкции для повышения технологичности был заранее ограничен прокатными листами одной толщины (см. рис. 3, а). Анализируя и сравнивая между собой нечеткое заключение о прочности конструкции такого сварного упо-

ра с соответствующими заключениями о прочности конструкций литых приварных упоров, можно заключить, что прочность сварной конструкции приближается к прочности ее литых аналогов, однако остаточные сварочные напряжения вносят существенную неопределенность в оценку ее прочности.

На практике управление (снижение) остаточными сварочными напряжениями осуществляют различными способами, к которым относятся: разного вида термообработка сварных соединений внешними источниками тепла, подогрев мест соединений перед сваркой, интенсивное охлаждение сварочной ванны непосредственно после сварки, поверхностная или объемная пластическая деформация детали или ультразвуковая обработка. Однако все эти способы либо неприменимы в условиях стесненного габаритного пространства при монтаже конструкций, подобных упору автосцепного устройства, либо малоэффективны. Специально для такого рода конструкций авторами разработана тепловая компенсатор, позволяющий снижать остаточные напряжения в условиях стесненного габаритного пространства.

Конструкция теплового компенсатора представляет собой тепловую трубу с рабочим телом, в качестве которого может быть использова-

но любое вещество с температурой фазовых превращений «жидкость — пар» в диапазоне 200–500 °С, например бромид сурьмы IV. Такая конструкция обладает очень высокой эффективной теплопроводностью и изотермичностью поверхности при низком термическом сопротивлении. Форма оболочки теплового трубы в плане повторяет очертания сварного шва. Ее прикладывают к соединяемым сваркой деталям так, чтобы она располагалась параллельно оси сварного шва и частью своей внешней поверхности плотно контактировала с соединяемыми деталями на всем его протяжении. При наличии теплового контакта с зоной сварного шва устройство может отбирать избыточную тепловую энергию из зоны сварочной ванны и равномерно распределять ее вдоль сварного шва, осуществляя предварительный нагрев деталей и подогрев уже сформированного сварного шва для обеспечения релаксации остаточных сварочных напряжений.

Сравнительный расчетный анализ прочности конструкций упоров с использованием теплового компенсатора показал, что при равных уровнях достоверности вероятность прочности конструкции упора, при сборке и монтаже которого был использован тепловой компенсатор, выше, чем у эталонной конструкции. Из этого можно сделать вывод, что использование теплового компенсатора позволяет повысить прочность сварной конструкции упора по критерию усталостной прочности сварных соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морчиладзе И.Г. Метод ситуационной адаптации вагонов к международным перевозкам грузов. СПб.: ОМ-Пресс, 2005. 216 с.
2. Соколов А.М. Метод синтеза нечетких моделей прочности для совершенствования соединений элементов конструкций подвижного состава. СПб.: ОМ-Пресс, 2006. 208 с.
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ВНИИЖТ-ГосНИИВ, 1996.