

УДК 629.45

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОРМОЗНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ СОВРЕМЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Е. В. Сорокина¹, С. Д. Коршунов²

¹ Ведущий инженер ЗАО «Научная организация «Тверской институт вагоностроения»,
Петербургское шоссе, 45-Г, 170003, г. Тверь, Россия, тел. +7(4822) 55 44 00,
эл. почта: Sorokina405@yandex.ru

² К. т. н., заведующий лабораторией «Динамико-прочностные испытания вагонов»
ЗАО «Научная организация «Тверской институт вагоностроения»,
Петербургское шоссе, 45-Г, 170003, г. Тверь, Россия, тел. +7 (4822) 55 44 00,
эл. почта: korshunow1@yandex.ru

Цель. Экспериментальная оценка прочности различных типов резервуаров отечественных и зарубежных производителей. **Методика.** В работе рассмотрены новые методы климатических и разрушающих испытаний воздушных тормозных резервуаров как на стадии проектирования и изготовления, так и на этапе эксплуатации в период всего жизненного цикла современного железнодорожного подвижного состава. **Результаты.** С использованием описанных методов успешно проведена экспериментальная оценка прочности различных типов резервуаров отечественных и зарубежных производителей, позволяющая повысить безопасность эксплуатации современного железнодорожного подвижного состава. **Научная новизна.** Рассмотренные новые методы климатических и разрушающих испытаний позволяют подтвердить соответствие воздушных тормозных резервуаров требованиям к их устойчивой работе при различных условиях эксплуатации и нагрузках с учетом внешних климатических факторов. **Практическое значение.** Предложенный подход к экспериментальной оценке прочностных характеристик воздушных резервуаров позволяет повысить надежность и безопасность эксплуатации современного железнодорожного подвижного состава.

Ключевые слова: воздушные резервуары, сварные швы, гидравлические испытания, климатические испытания, разрушающие испытания, механические испытания сварных соединений.

В условиях возрастающих скоростей движения и масс поездов для их надежной остановки на нормируемом отрезке пути требуется обеспечить значительные тормозные силы. От величины тормозной силы зависит эффективность (мощность) тормозов: чем эффективнее тормоза, тем меньше тормозной путь (расстояние, проходимое поездом от начала торможения до полной его остановки) и тем дольше поезд может следовать по перегону с наибольшей скоростью. Следовательно, при эффективных тормозах повышается средняя скорость движения поезда, безопасность его движения, увеличивается пропускная способность железных дорог.

Для обеспечения безопасного использования и оценки возможности работы воздушных резервуаров при пониженных и повышенных температурах эксплуатации необходимо проводить целый комплекс испытаний как на стадии проектирования и изготовления, так и на этапе эксплуатации в период всего жизненного цикла подвижного состава. На заводе-изготовителе проводятся климатические, разрушающие и механические испытания новых конструкций резервуаров, а уже в процессе эксплуатации они должны подвергаться строго регламентированному периодическому техническому освидетельствованию в депо или на вагоноремонтных предприятиях. Комплексная оценка важнейших параметров резервуаров и выбраковка некачественной продукции при испытаниях позволяет повысить безопасность эксплуатации железнодорожного подвижного состава.

Воздушные резервуары (главные и запасные) являются важными элементами тормозной системы современного подвижного состава железных дорог. Резервуары предназначены для создания запаса сжатого воздуха, необходимого для нормальной работы пневматических аппаратов всех тормозных систем. Кроме того, в резервуарах происходит охлаждение сжатого воздуха, его сушка и улавливание распыленного масла, попавшего из компрессора. В главном резервуаре накапливается основной запас сжатого воздуха, интенсивно расходующегося при зарядке и отпуске тормозов, кроме того, в каждом вагоне имеется запасной резервуар (рис. 1), который содержит запас сжатого воздуха для питания тормозного цилиндра непрямодействующего автоматического пневматического тормоза.

Главный и запасной воздушные резервуары представляют собой сварной сосуд, состоящий из цилиндрической части (обечайки), изготовленной из листовой стали, и двух выпуклых (сферических) днищ. При выполнении сварных кольцевых швов, соединяющих обечайку и днища, используется подкладное кольцо. Для присоединения трубопроводов и для установки выпускного крана предусмотрены штуцеры. Количество штуцеров и их расположение на резервуаре зависит от способа монтажа главного резервуара на локомотиве и запасного на вагоне. На металлической паспортной табличке указываются завод-изготовитель, заводской номер резервуара, год изготовления, величина наибольшего допускаемого давления и объем резервуара.

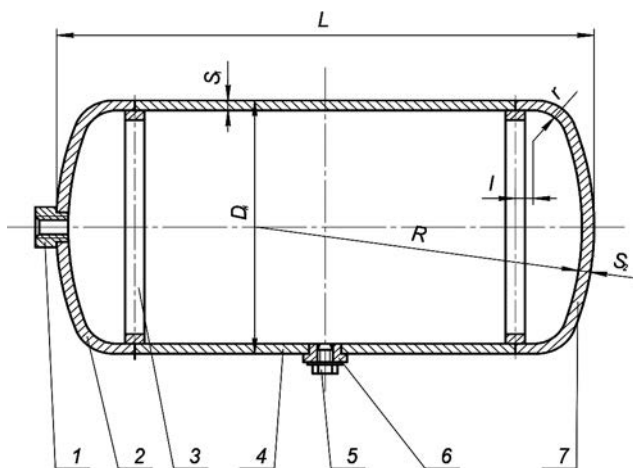


Рис. 1. Запасной воздушный резервуар:
 1 – штуцер дна; 2 – днище с отверстием;
 3 – подкладное кольцо; 4 – обечайка; 5 – пробка;
 6 – штуцер обечайки; 7 – глухое днище

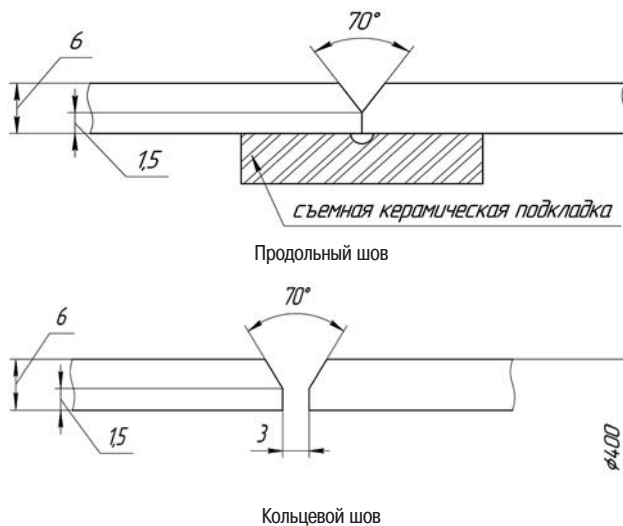


Рис. 2. Подготовка деталей к сварке

Стали, применяемые для изготовления обечайки и днищ воздушных резервуаров, должны обеспечивать следующие механические свойства:

- 1) предел текучести σ_T , Н/мм²:
 - стали повышенной прочности (10ХНДП, 09Г2С) — от 265 до 390;
 - углеродистые стали (С245, С275) — от 245 до 285;
 - углеродистые качественные конструкционные стали (15) — не менее 225;
 - углеродистые стали обыкновенного качества (Ст3сп5) — не менее 245;
- 2) временное сопротивление (предел прочности) σ_B , Н/мм²:
 - стали повышенной прочности (10ХНДП, 09Г2С) — от 430 до 530;
 - углеродистые стали (С245, С275) — от 370 до 400;
 - углеродистые качественные конструкционные стали (15) — не менее 370;
 - углеродистые стали обыкновенного качества (Ст3сп5) — не менее 370.

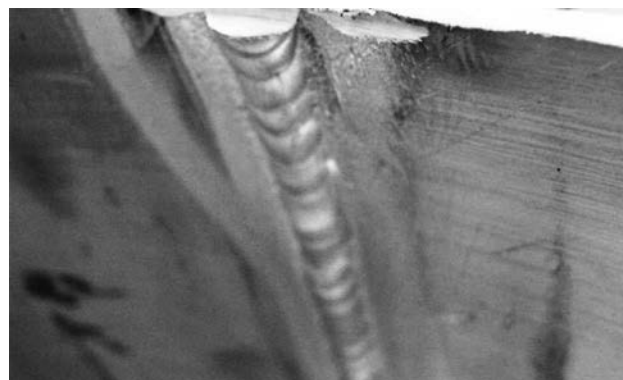
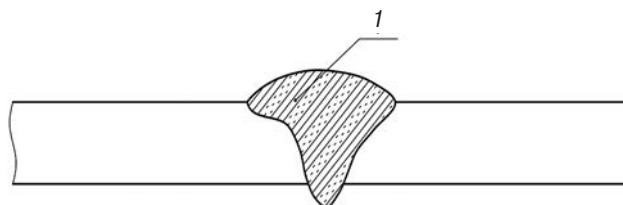
При изготовлении одного резервуара не допускается сочетание сварного соединения обечайки и днищ из малоуглеродистых сталей с низколегированными.

Испытания по определению химического состава сталей проводятся на поверенном оптико-эмиссионном спектрометре FOUNDRY-Master, который является стационарным анализатором для измерения массовой доли химических элементов в металлах и дает возможность аналитическими методами решить задачу максимально точного определения элементного состава.

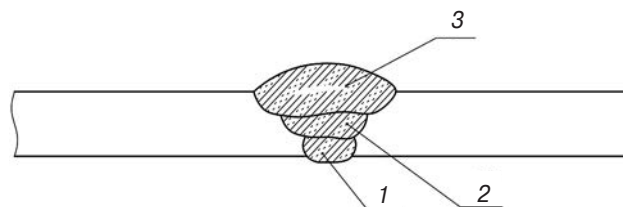
При выполнении сварных швов отдельных типов воздушных резервуаров, работающих под давлением 1,0 МПа и более, согласно техпроцессам проводится подготовка деталей к сварке и разделка кромок стыкуемых деталей (рис. 2).

Продольный шов обечайки и кольцевые швы соединения обечайки с днищем выполняются электродуговой автоматической или полуавтоматической сваркой под флюсом или полуавтоматической сваркой в углекислом газе или смеси инертных газов. Сварной шов заполняется за один или несколько проходов (рис. 3).

Чтобы убедиться в том, что произошло полное сплавление свариваемых материалов и с обратной стороны сварного шва образовался непрерывный валик, проводится проверка, в ходе которой через торцевой штуцер резервуара внутрь заводится зеркало, а через штуцеры обечайки подается освещение. По отражению в зеркале проводится



Продольный шов



Кольцевой шов

Рис. 3. Заполнение сварного шва

проверка кольцевых и продольных швов резервуаров с внутренней стороны.

После изготовления воздушные резервуары подвергаются радиографическому контролю сварных швов (рентгеновскому просвечиванию) согласно ГОСТ 7512-82 [1]. Просвечиванию подвергаются продольные, поперечные и кольцевые швы каждого резервуара, а также все места пересечения продольных и кольцевых швов.

Главные воздушные резервуары устанавливаются на электровозы, тепловозы, электро- и дизель-поезда, запасными резервуарами оборудованы все пассажирские и грузовые вагоны (рис. 4).



Рис. 4. Воздушные резервуары устанавливаются на электровозах, грузовых и пассажирских вагонах

Поскольку воздушные резервуары являются ответственными элементами тормозной системы железнодорожного подвижного состава, в процессе эксплуатации они подвергаются регламентному техническому освидетельствованию. Контрольные испытания резервуаров с целью принятия декларации проводятся аккредитованными испытательными центрами и включают в себя испытания по контролю механических свойств сварных соединений, качества сварных швов (внешний вид, размеры, наружные и внутренние дефекты) и гидравлические испытания. Методики испытаний предусматривают новые методы проведения испытаний резервуаров, содержат дополнительные требования к условиям эксплуатации с учетом внешних климатических факторов, устойчивости работы при различных условиях эксплуатации и нагрузках. Для проведения испытаний воздушных резервуаров на соответствие нормативным требованиям используются поверенные средства измерений и аттестованное испытательное оборудование [4], [5]. Для подтверждения требования к условиям эксплуатации с учетом различных внешних климатических факторов применяется аттестованная термокамера, способная поддерживать температуру от минус 65 °С до плюс 100 °С, в которую помещается резервуар.

Испытание проводят с целью проверки способности резервуаров сохранять работоспособность и внешний вид в пределах, установленных в стандарте и конструкторской документации, в условиях верхнего и нижнего значения температуры. Испытание проводят по ГОСТ Р 51368-2011 [3] следующими методами:

- метод 201-1.1 — испытание изделий в камере без нагрузки. Испытание негреющихся изделий;
- метод 203-1 — испытание на воздействие нижнего рабочего значения температуры среды при эксплуатации.

Резервуар помещают в термокамеру, после чего в камере устанавливают температуру, значение которой соответствует верхнему или нижнему значению температуры. При нагревании резервуар не должен подвергаться воздействию прямого излучения от нагревательных элементов термокамеры. Резервуар выдерживают в термокамере при заданной температуре в течение необходимого времени. При испытаниях по методу 201-1.1 — по окончании времени выдержки резервуара при заданной температуре, его извлекают из камеры и выдерживают в нормальных климатических условиях испытаний по ГОСТ 15150-69 [2]. При испытаниях по методу 203-1 — по окончании времени выдержки резервуара, температуру в термокамере повышают до нормальной по ГОСТ 15150-69 и резервуар извлекают из камеры. При нормальных климатических условиях испытаний проводится визуальный контроль состояния лакокрасочных покрытий резервуара и осуществляется проверка его работоспособности — плотности швов. Прочность и плотность швов проверяется гидравлическим испытанием.

Принцип действия стенда для гидравлических испытаний состоит в поддержании рабочего давления воды для испытания резервуара в течение заданного промежутка времени. Для проверки плотности швов резервуары устанавливаются в стенд, заполняются водой и выдерживаются под давлением в течение требуемого времени. Гидравлическое испытание резервуара должно проводиться пробным (полуторным расчетным) давлением, под которым он выдерживается в течение 3–5 мин. Затем сварные швы резервуаров осматриваются на отсутствие течи, «слезок», трещин в основном металле и сварных соединениях, запотевания, падения давления по манометру за время, необходимое для выполнения контрольной операции.

Для контроля требований к устойчивости работы при различных нагрузках проводятся разрушающие (разрывные)

испытания воздушных резервуаров с использованием гидравлического стенда. Их целью является контроль прочности сварных соединений. Перед испытаниями проводится визуальный осмотр всех узлов стенда, особое внимание уделяется рукавам высокого давления, чтобы убедиться в отсутствии пробки, препятствующей движению жидкости. Резервуар помещается на стенд, рукава высокого давления подключаются к торцевым штуцерам резервуара, в верхние штуцеры заворачиваются краны с предохранительными клапанами и контргайками. Затем резервуар заполняется водой, накрывается защитным металлическим кожухом (рис. 5), включается гидронасос и нагнетается давление.



Рис. 5. Испытания резервуара с защитным кожухом

Давление увеличивается до тех пор, пока не появляется пластическая деформация и происходит разрыв металла обечайки резервуара (рис. 6). Затем гидронасос отключается, убирается защитный кожух, проводится визуальный контроль наружных и внутренних поверхностей испытываемого образца, определяется характер разрушения. Резервуар считается выдержавшим испытание, если разрыв произошел по основному металлу, а не по сварному соединению.

Качество применяемых сварочных материалов должно обеспечивать механические свойства сварных соединений (временное сопротивление, относительное удлинение, ударную вязкость) не ниже установленных для основного металла. Механические испытания стыковых сварных соединений проводятся на специально сваренных плоских контрольных пластинах.

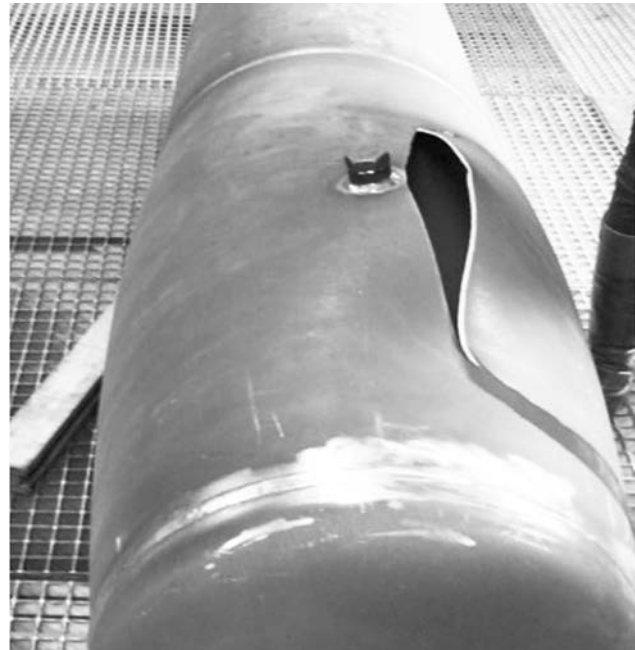


Рис. 6. Деформация и разрыв металла обечайки резервуара

При изготовлении пластин стрела прогиба f на длине 200 мм не должна превышать 10% от толщины основного металла (рис. 7).

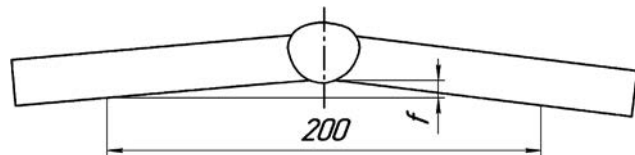


Рис. 7. Требования к контрольным соединениям

Для испытаний на временное сопротивление и относительное удлинение изготавливаются образцы (рис. 8), на которых определяется место разрушения (по металлу шва, по металлу околошовной зоны, по основному металлу).

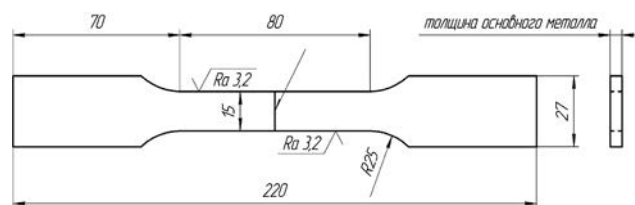


Рис. 8. Размеры плоских образцов для определения временного сопротивления и относительного удлинения

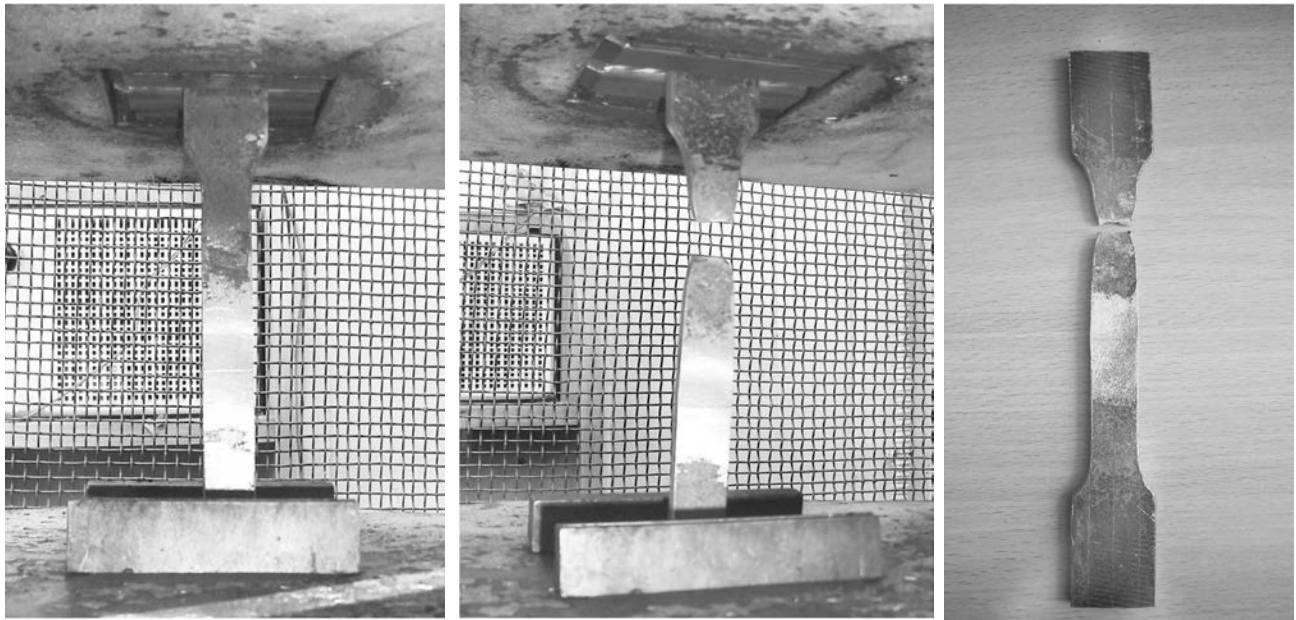


Рис. 9. Испытания на статическое растяжение

Испытания на статическое растяжение проводятся на универсальной гидравлической разрывной машине до разрушения образца (рис. 9) с записью диаграммы (рис. 10).

Временное сопротивление σ_B , кгс/мм², рассчитывается как отношение максимальной нагрузки, предшествующей разрушению образца, P_{max} , кгс, к начальной площади поперечного сечения F_0 , мм².

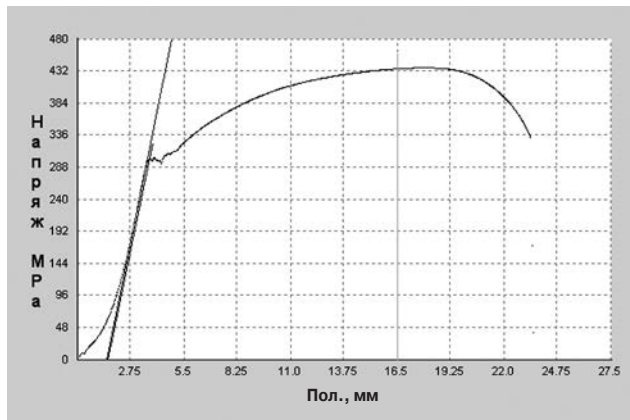


Рис. 10. Диаграмма разрушения образца

Относительное удлинение δ , %, рассчитывается как отношение разности конечной l_k и начальной l_0 рабочих длин, мм, умноженных на 100, к начальной рабочей длине l_0 .

Для испытаний на ударный изгиб изготавливаются образцы с U-образным вырезом (рис. 11), на которых определяется ударная вязкость или работа удара для металла шва, зоны сплавления и различных участков околошовной зоны при толщине основного металла 2 мм и более.

Испытания проводятся при разной температуре образцов: на трех образцах при температуре плюс 20 °С и на трех образцах — при минус 20 °С для каждого вида шва. Отрицательная температура испытаний образцов обеспечивается с помощью термостата. В качестве охладителя применяется смесь жидкого азота или сухого льда с незамерзающей при температуре испытания и нетоксичной жидкостью, например, этиловым спиртом. Температурой испытаний следует считать температуру образца в момент удара. Соприкасающаяся с образцом часть приспособления для извлечения его из термостата не должна изменять температуру образца

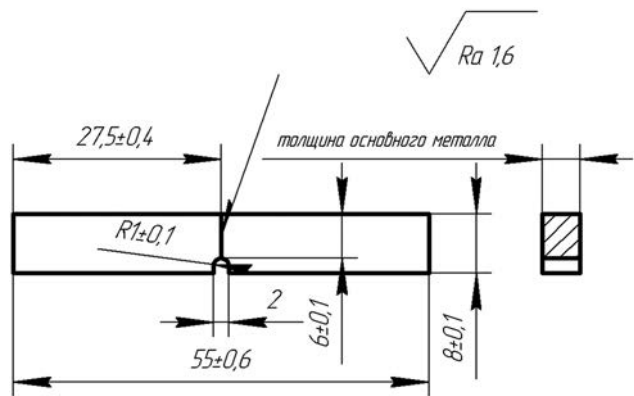


Рис. 11. Размеры образцов для испытания на ударный изгиб

при установке его на опоры маятникового копра, имеющего наибольший запас потенциальной энергии маятника 300 Дж. Испытание должно проводиться при ударе маятника со стороны, противоположной концентратору, в плоскости его симметрии (рис. 12).

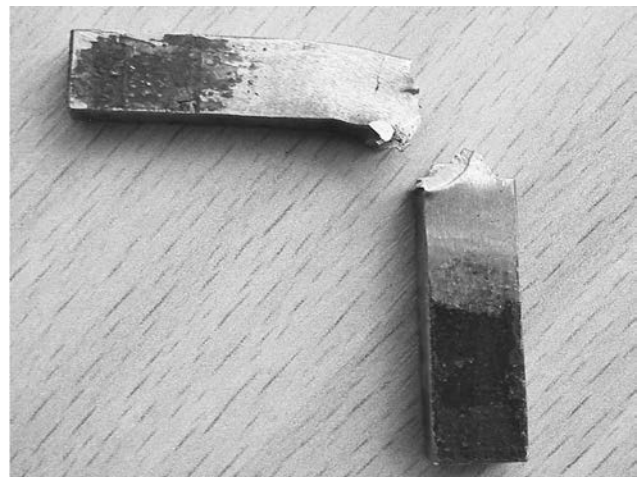


Рис. 12. Образец с U-образным вырезом после испытания

Ударная вязкость KCU , МДж/м², вычисляется как отношение работы удара K , МДж, к начальной площади поперечного сечения образца S_0 , м².

Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если значение ударной вязкости отвечает нормативным требованиям или в изломе образца либо на его поверхности не выявлены кристаллизационные или холодные трещины.

С использованием описанных методов успешно проведена экспериментальная оценка прочности различных типов резервуаров отечественных и зарубежных производителей, позволяющая повысить безопасность эксплуатации современного железнодорожного подвижного состава. **□□**

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.
2. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов.

Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

3. ГОСТ Р 51368-2011 Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на устойчивость к воздействию температуры.
4. Коршунов С. Д. Современные методы испытаний железнодорожного подвижного состава, прошедшего ремонты различных объемов и вновь построенного / С. Д. Коршунов, С. Л. Самошкин // Вагонный парк, 2012. — № 7.
5. Сорокина Е. В. Задачи нормоконтроля при проведении сертификации технических средств железнодорожного транспорта / Е. В. Сорокина, А. А. Виноградов, С. Д. Коршунов // Вагонный парк, 2014. — № 1.

Получено 26.08.2015

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ ГАЛЬМІВНИХ РЕЗЕРВУАРІВ СУЧАСНОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

О. В. Сорокіна¹, С. Д. Коршунов²

¹ Провідний інженер ЗАТ «Наукова організація «Тверський інститут вагонобудування», Петербурзьке шосе, 45-Г, 170003, м. Твер, Росія, тел. +7 (4822) 55 44 00, ел. пошта: Sorokina405@yandex.ru

² К. т. н., завідувач лабораторії «Динаміко-міцнісні випробування вагонів» ЗАТ «Наукова організація «Тверський інститут вагонобудування», Петербурзьке шосе, 45-Г, 170003, м. Твер, Росія, тел. +7 (4822) 55 44 00, ел. пошта: korshunow1@yandex.ru

Мета. Експериментальна оцінка міцності різних типів резервуарів вітчизняних та зарубіжних виробників. **Методика.** У роботі розглянуто нові методи кліматичних і руйнівних випробувань повітряних гальмівних резервуарів як на стадії проектування й виготовлення, так і на етапі експлуатації в період усього життєвого циклу сучасного залізничного рухомого складу. **Результати.** З використанням описаних методів успішно проведена експериментальна оцінка міцності різних типів резервуарів вітчизняних та зарубіжних виробників, що дозволяє підвищити безпеку експлуатації сучасного залізничного рухомого складу. **Наукова новизна.** Розглянуто нові методи кліматичних і руйнівних випробувань, які дозволяють підтвердити відповідність повітряних гальмівних резервуарів вимогам до їх стійкої роботи при різних умовах експлуатації та навантаженнях із урахуванням зовнішніх кліматичних факторів. **Практичне значення.** Запропонований підхід до експериментальної оцінки характеристик міцності повітряних резервуарів дозволяє підвищити надійність і безпеку експлуатації сучасного залізничного рухомого складу.

Ключові слова: повітряні резервуари, зварні шви, гідравлічні випробування, кліматичні випробування, руйнівні випробування, механічні випробування зварних з'єднань.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF BRAKE RESERVOIRS OF MODERN ROLLING STOCK

O. Sorokina¹, S. Korshunov²

¹ Senior engineer of Scientific organization «Tver institute of carriage engineering», JSC, Petersburg highway 45G, 170003, Tver, Russia, tel. +7 (4822) 55 44 00, e-mail: Sorokina405@yandex.ru

² C. Sc., Head of the Dynamics-strength test of wagons laboratory of Scientific organization «Tver institute of carriage engineering», JSC, Petersburg highway 45G, 170003, Tver, Russia, tel. +7 (4822) 55 44 00, e-mail: korshunow1@yandex.ru

Purpose. Experimental evaluation of the strength of different types of reservoirs of domestic and foreign manufacturers. **Methods.** New methods of climatic and destructive testing of air brake reservoirs at the stage of design and manufacturing and the operation phase during the entire life cycle of modern rolling stock are discussed. **Results.** An experimental evaluation of the strength of different types of reservoirs of domestic and foreign manufacturers that allows to increase the safety of operation of modern rolling stock are successfully conducted by using these methods. **Scientific originality.** New methods of climatic and destructive tests allow confirming compliance with the requirements of air brake reservoirs to their stable operation under various load conditions and considering external climatic factors. **Practical significance.** This approach to the experimental evaluation of the strength characteristics of the air reservoirs can increase the reliability and safety of operation of modern rolling stock.

Keywords: air reservoirs, welds, hydraulic testing, environmental testing, destructive testing, mechanical testing of welds.