

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.46.02

Ю. П. БОРОНЕНКО^{1*}, И. О. ФИЛИППОВА^{2*}

^{1*}Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Московский просп., 9, Санкт-Петербург, Россия, 190031, тел. +7 (812) 310 92 10, эл. почта boron49@yandex.ru, ORCID 0000-0002-8560-1758

^{2*}АО Научно-внедренческий центр «Вагоны», Московский просп., 2, Санкт-Петербург, Россия, 190031, тел. +7 (812) 310 95 00, эл. почта filippova.io@yandex.ru, ORCID 0000-0001-9584-4772

ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ВАГОНОВ С МАЛОЙ МАССОЙ ТАРЫ

Цель. В работе необходимо выявить причины существенно большего коэффициента тары вагонов колеи 1 520 мм в сравнении с грузовыми вагонами Северной Америки и дать рекомендацию по снижению массы тары грузовых вагонов. **Методика.** В качестве методики применена сравнительная оценка показателей прочности, выносливости и устойчивости несущей конструкции минимальной массы, изготовленной из различных материалов по действующим на «пространстве 1 520» нормативам. **Результаты.** Авторами установлено, что при использовании высокопрочных сталей массу изделия можно снизить в пять раз в сравнении с балкой из стали 09Г2С. Если же в конструкции имеется сварное соединение, то масса конструкции увеличится примерно в 2 раза при расчете по «Нормам для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС России колеи 1 520 мм (несамоходных)». А при расчетах по ГОСТ 33 211-2013 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» масса увеличивается почти в 5 раз и не зависит от типа стали. **Научная новизна.** Выявлено, что основным критерием, определяющим массу тары современных вагонов, является усталостная прочность сварного соединения. Показано, что ГОСТ 33 211-2013 и рекомендации Международного института сварки назначают низкие пределы выносливости высокопрочных сталей, и при их соблюдении достичь снижения тары невозможно. **Практическая значимость.** Разработано направление действий по снижению тары вагонов: экспериментально уточнены условия прочности сварных соединений вагонов из высокопрочных материалов; разработаны способы повышения выносливости сварных соединений; предполагаются другие виды соединений.

Ключевые слова: тара вагона; высокопрочная сталь; сварные конструкции; грузовой вагон; прочность

Введение

Снижение тары вагона является одной из приоритетных задач вагоностроителей. Меньший вес тары позволяет повысить грузоподъемность, сократить расходы на закупку материалов, снизить стоимость вагона, сократить расходы на тягу и увеличить погонную нагрузку нетто. Однако успехи в этом направлении минимальны. Тара новых вагонов не уменьшается, а зачастую даже растет.

На железных дорогах Северной Америки и Австралии в эксплуатации находятся десятки тысяч грузовых вагонов, у которых осевая нагрузка от оси на рельс 32–35 тс, грузоподъем-

ность до 116 т, масса тары 18,9–25 т, коэффициент тары составляет 0,17...0,24 [2, 7, 9]. Таким образом, особенность вагоностроения Северной Америки состоит в повышении грузоподъемности вагонов за счет применения высоких нагрузок от оси на рельсы, составляющих для большинства вагонов 32–35 тс, что позволяет строить четырехосные вагоны грузоподъемностью до 116 т [15].

На пространстве железных дорог 1 520 мм современное вагоностроение ориентировано на повышение пропускной и провозной способности железных дорог за счет увеличения нагрузок от колеса на рельс до 27...30 тс, увеличения грузоподъемности до 83 т [3, 7, 13]. Коэффици-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

ент тары российских грузовых вагонов составляет 0,29...0,34, поэтому при перевозке одной тонны груза по железным дорогам России одновременно перевозится практически вдвое больше металла [3, 9].

По результатам обзора были выбраны модели грузовых вагонов с минимальными значениями коэффициента тары (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики грузовых вагонов

Table 1

Characteristics of freight cars

Модель вагона, страна, производитель	Грузоподъемность, т	Масса тары, т	Объем кузова, м ³	Осевая нагрузка, т/ось	Коэффициент тары
12-9869, Россия, ТБСЗ	77	23	92	25	0,29
12-9828, Россия, РВЗ	83	24	98	27	0,33
12-197, Россия, УВЗ	74,5	25,5	92	25,5	0,34
12-9548-01, Россия, ТБСЗ	83	25	108	27	0,30
Greenbrier, США	98,7	31,1	86,2	32,5	0,31
37' MILL GONDOLA, США, American Railcar Industries	105	24,7	70,8	32	0,24
GONDOLA-MILL, Канада, National Steel Car	116	24,3	76	35	0,21
Hybrid Gon, США, Freight Car America	108,1	21,79	115	32,5	0,20
Beth GonAeroflo, Freight Car America	110	18,9	110	32	0,17

Сравнительная характеристика грузовых вагонов показала, что вагоны Северной Америки имеют в большинстве случаев коэффициент тары ниже, чем вагоны, произведенные в России.

Железнодорожный транспорт относится к металлоемким отраслям, это крупнейший потребитель металлопродукции. Качество конструкционных материалов существенно влияет на надежность, долговечность, массу тары и на другие технико-экономические характеристики вагонов [9].

В работах [2, 11] показана экономическая эффективность от внедрения новых материалов: высокопрочных сталей, коррозионностойких сталей, алюминиевых сплавов, при использовании которых снижается масса тары грузовых вагонов. За рубежом применение высокопрочных материалов при производстве

грузовых вагонов произошло около 15 лет назад. В вагоностроении стран СНГ стали с повышенной прочностью (до 390 МПа) в элементах грузовых вагонов начали использовать при производстве вагонов нового поколения. Основные усиленные узлы [9] – хребтовая балка рамы вагона, листы шкворневых и промежуточных балок рамы полувагонов, вертикальные стойки кузова вагона, листы обечайки и днища котлов вагонов-цистерн, обшивка кузова вагона. Такие решения хотя и позволяют уменьшить массу тары, однако снижение коэффициента тары и у новых вагонов незначительно.

Высокопрочными (машиностроительными, конструкционными) принято считать такие стали, у которых предел прочности после термической обработки выше 1 300 МПа. Основными легирующими элементами в высокопрочных сталях являются: хром, никель, мо-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

либден, кремний. Как известно, с ростом процентного содержания углерода и названных элементов ухудшается свариваемость стали. В работах [4, 9–11, 14] к недостаткам таких сталей относят высокую хрупкость при низких температурах, низкую пластичность, недостаточную усталостную прочность.

На основании обзора сталей, применяемых в машиностроении, были выделены марки сталей (табл. 2), удовлетворяющие требованиям [8].

Таблица 2

Марки высокопрочных сталей, применяемые в машиностроении

Table 2

Grades of high-strength steels used in engineering

Марка стали, страна-производитель	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Область применения
09Г2С, Россия	345	21	Сварные конструкции
16Г2АФ, Россия	440	19	Сварные узлы вагонов
30ХГСА, Россия	835	10	Ответственные конструкции
Optim 960QC, Финляндия	960	7	Сварные узлы машин
AR 400, Финляндия	1 000	10	«
AR 500, Финляндия	1 250	8	«
35ХГСА, Россия	1 275	9	Ответственные конструкции
35ХГСН2А, Россия	1 375	9	«
30Х9Н8М4Г 2С2, Россия	1 400	50	Высоконагруженные детали

Проанализировав характеристики этих сталей и опыт их использования в машинострое-

нии российскими и зарубежными производителями [5], можно заключить следующее:

1) российские марки стали не уступают, а порой и превосходят зарубежные аналоги по механическим характеристикам и вязкости разрушения при минусовой температуре;

2) стали с высокой прочностью, рекомендуемые для изготовления деталей грузовых вагонов, имеют пределы текучести 800...900 МПа, например 30ХГСА и Optim 960QC.

Сталь 30ХГСА изначально предназначалась для авиастроения, но благодаря своим отличным характеристикам нашла более широкое применение. Закалка этой стали проводится в температурном диапазоне 550–650 °С. Термообработка позволяет повысить прочность материала (до значения 2 800 МПа) и его пластичность. Свариваемость хорошая, однако для качественного шва нужно предварительно подогреть металл и медленно охладить его. Сталь отличается невысокой стоимостью, так как легирующие компоненты не дефицитны.

Сталь Optim 960 QC широко используется в Финляндии. По описаниям изготовителя сталь этой марки легко сваривается всеми распространенными способами, как правило, для тонких листов подогрев не требуется. Свойства стали приведены в [12].

Цены на эти стали сравнимы с ценами на стали класса прочности 300...400 МПа [2]. Почему же до сих пор нет новых вагонов с малой тарой, изготовленных из высокопрочных сталей? Можно ли снизить тару вагона, используя высокопрочные стали и проектируя новый вагон согласно действующим нормам и правилам? Попробуем ответить на эти вопросы.

Методика исследования снижения массы конструкций при использовании сталей повышенной прочности

Для оценки возможности снижения металлоемкости изделий из высокопрочных сталей были рассчитаны показатели прочности, выносливости и устойчивости двутавровой балки минимальной массы (рис. 1), изготовленной из трех марок сталей, две из них – высокопрочные.

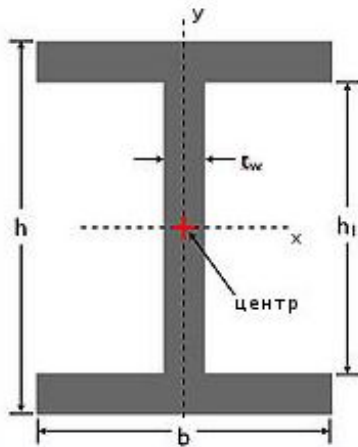


Рис. 1. Двутавровая балка:

b – ширина полки по оси x , h – высота двутавровой балки по оси y , t_w – толщина стенок, h_1 – расстояние между двумя полками

Fig. 1. I-beam

b – flange width along the axis x , h – height of the I-beam on the axis y , t_w – wall thickness, h_1 – distance between the two flanges

Нагрузка P на балку определялась из условий прочности

$$P = \frac{[\sigma] \cdot 4J_x}{2L_1 \cdot h},$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение; J_x – момент инерции; L_1 – расстояние между опорами; h – высота балки.

Высота балки 186 мм, длина 1 000 мм, толщина листов балки принималась постоянной, но выбиралась исходя из требования по обеспечению различных условий прочности. В качестве эталона принималась балка, изготовленная из стали 09Г2С с моментом инерции 3 016 см⁴.

При статической нагрузке $P_{cm} = 447$ кН напряжения в этой балке достигают предела текучести.

На первом этапе расчетов были определены такие значения параметров балок, изготовленных из сталей повышенной прочности, чтобы максимальные напряжения в них равнялись пределу текучести.

Характеристики балок, изготовленных из различных сталей, представлены в табл. 3.

Видно, что при действии статической нагрузки масса балки из стали Optim 960 QC уменьшается почти в три раза.

Таблица 3

Характеристики цельнокатаной балки из условия неперевышения напряжений предела текучести

Table 3

Characteristics of the all-rolled beam from the condition of non-exertion of the yield stresses

Параметр	Марка стали		
	09Г2С	30ХГСА	Optim 960 QC
Предел текучести σ_T , МПа	345	835	960
Толщина стенки t_w , мм	10	4	3,2
Масса балки, кг	40	16	13

На втором этапе расчетов были определены значения параметров балки из условия равенства максимальных напряжений пределу выносливости. В справочной литературе нет данных о пределах выносливости σ_{-1} гладких стандартных образцов из высокопрочной стали. Поэтому значения напряжения σ_{-1} определялись двумя способами: по формулам, рекомендованным [8]:

$$\sigma_{-1} \approx 0,50\sigma_\sigma$$

и справочником [1]:

$$\sigma_{-1} \approx (0,55 - 0,001\sigma_\sigma)\sigma_\sigma.$$

Предел выносливости балки определялся по формуле

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\overline{\sigma_{-1}}}{\overline{K_\sigma}}, \quad (1)$$

где $\overline{K_\sigma} = 1,5$ – среднее значение общего коэффициента снижения предела выносливости балки к пределу выносливости гладкого образца.

Величина динамической нагрузки принималась из условия равенства максимального напряжения пределу выносливости балки, изго-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

товленної из стали 09Г2С, а расчетное количество циклов принималось $1 \cdot 10^7$. Результаты расчета приведены в табл. 4.

Таблиця 4

Характеристики балки из условия обеспечения усталостной прочности

Table 4

Characteristics of the beam from the condition of providing fatigue strength

Параметр	Марка стали		
	09Г2С	Optim 960QC	30ХГСА
Предел выносливости, МПа $\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{0,5\sigma_s}{1,5}$	150	333	360
Толщина стенки, мм	10	1,4	1,3
Масса балки, кг	40	6	6
Предел выносливости, МПа $\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{(0,5 - 0,001\sigma_s)\sigma_s}{1,5}$	151	299	317
Толщина стенки, мм	10	1,6	1,5
Масса балки, кг	40	7	7

Вес балок из высокопрочной стали также оказался существенно меньше, чем балок из стали 09Г2С.

На третьем этапе был сделан расчет на усталость балки с двухсторонним прямым стыковым сварным швом в центральном сечении. Пределы выносливости определялись различными способами: по [8], [6] и [16]. При расчете по [8, табл. 3.2, с. 60] \bar{K}_σ принимался равным 2,4 и определялось напряжение σ_{-1} по формуле (1).

При расчете по [6]:

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{\overline{\sigma_T}}{\bar{K}_\sigma},$$

где $\overline{\sigma_T} = 47$ МПа для сталей, $\bar{K}_\sigma = 2$ (табл. 10, с. 40), $\overline{\sigma_{a,N}} = 23,5$ МПа.

При расчете по [16, табл. 3.2-1, с. 47] класс

усталости данного сварного соединения $FAT = 80$ МПа при базе $N_1 = 2 \cdot 10^6$ циклов с учетом того, что FAT – размах напряжений. Предел выносливости данного сварного соединения на базе $N_1 = 10^7$ также составит:

$$\overline{\sigma_{a,N}} = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 10^6 \cdot (FAT)^3}{10^7}} = 23,5 \text{ МПа.}$$

Результаты расчета приведены в табл. 5.

Таблиця 5

Характеристики балки из условия не превышения напряжений предела выносливости сварного шва

Table 5

Characteristics of the beam from the condition that the stress limit of the weld endurance is not exceeded

Параметр	Марка стали		
	09Г2С	Optim 960QC	30ХГСА А
Предел выносливости, МПа [8]	94	175	189
Толщина стенки, мм	10	5	4,6
Масса балки, кг	40	20	18
Предел выносливости, МПа по [5] и [15]	23,5	23,5	23,5
Толщина стенок, мм	45,5	45,5	45,5
Масса балки, кг	~200	~200	~200

Масса балки из высокопрочных сталей при расчетах по [8] оказалась меньше в два раза. Масса балки при расчете по [6] и [16] увеличилась для всех образцов.

Подводя итог, можно утверждать, что с учетом низких допускаемых напряжений для сварных соединений, рекомендуемых [6], невозможно снизить тару вагонов существующей конструкции, где сварка используется как основной элемент соединения.

Насколько справедливы эти ограничения, может дать ответ только комплекс исследований усталостной прочности опытных образцов сварных соединений из высокопрочных сталей. Кроме того, необходимо разработать конструк-

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

тивные решения, которые выводят сварные соединения из зон с высоким уровнем динамических напряжений. В случаях, когда конструктивно решить эту задачу не удастся, предлагается перейти на другие виды соединений: болтовые и болтозаклепочные (резьбовые и вытяжные крепежи типа Lock-bolt, Hack-bolt, MaxLok).

Научная новизна и практическая значимость

Выявлено, что основным критерием, определяющим массу тары современных вагонов, является усталостная прочность сварного соединения. Показано, что [6] и [16] назначают низкие пределы выносливости высокопрочных сталей и при их соблюдении достичь снижения тары невозможно. Предложено направление действий по поиску путей снижения тары вагонов: экспериментальное уточнение прочности сварных соединений вагонов из высокопрочных материалов; разработка способов повышения выносливости сварных соединений; переход на другие виды соединений.

Выводы

1. Вагоны колеи 1520 мм существенно уступают по массе тары вагонам, произведенным в Северной Америке с применением высокопрочных сталей и алюминиевых сплавов, из-за меньших допускаемых напряжений пределов выносливости сварочных соединений.

2. При проектировании вагонов со сварными соединениями снижение массы тары вагонов незначительно. В то же время за рубежом эксплуатируются вагоны с малой тарой. Чтобы обеспечить возможность создания вагонов с уменьшенной тарой, необходимо:

- провести комплекс испытаний типовых сварных соединений из высокопрочных сталей на выносливость и получить статически надежные механические свойства сварных соединений, что позволит оценить реальную возможность снижения металлоемкости вагонных конструкций;
- выбрать способы повышения усталостной прочности сварных соединений;
- разработать новую методику расчета соединений высокопрочных сталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин : справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1993. – 640 с.
2. Битюцкий, А. А. Пути повышения эффективности грузовых вагонов, выпускаемых российскими вагоностроительными предприятиями / А. А. Битюцкий // Тяжелое машиностроение. – 2008. – № 2. – С. 29–33.
3. Бороненко, Ю. П. Стратегические задачи вагоностроителей в развитии тяжеловесного движения / Ю. П. Бороненко // Транспорт Рос. Федерации. – 2013. – № 5 (48). – С. 68–73.
4. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 54 с.
5. Конюхов, А. Д. Высокопрочные стали и сплавы для кузовов грузовых вагонов / А. Д. Конюхов, В. П. Ефимов, К. П. Демин // Тяжелое машиностроение. – 2006. – № 12. – С. 31–34.
6. Махненко, В. И. Совершенствование методов оценки остаточного ресурса сварных соединений конструкций длительного срока эксплуатации / В. И. Махненко // Автоматическая сварка. – 2003. – № 10/11. – С. 112–121.
7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС России колеи 1520 мм (несамоходных). – Москва : ГосНИИВ : ВНИИЖТ, 1996. – 208 с.
8. Общие технические требования к грузовым вагонам нового поколения. – Москва : МПС РФ, 2001. – 25 с.
9. Оценка необратимой повреждаемости при усталости углеродной стали / И. А. Вакуленко, О. М. Перков, М. Кнапински, М. Болотова // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 3 (51). – С. 65–74. doi: 10.15802/stp2014/25822.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

10. Перспективы создания сварных конструкций несущих элементов тележки грузового вагона / О. В. Махненко, Г. Ю. Сапрыкина, И. В. Мирзов, А. Д. Пустовой // Автоматическая сварка. – 2014. – № 3. – С. 36–42.
11. Расчет на усталость сварных соединений несущих элементов тележки грузового вагона / Л. М. Лобанов, О. В. Махненко, Г. Ю. Сапрыкина, А. Д. Пустовой // Автоматическая сварка. – 2014. – № 10. – С. 32–36.
12. Сильвеннойнен, С. Металлопродукция : справ. проектировщика / С. Сильвеннойнен : Раутаруукки. – Otava : Keuruu, 2000. – 317 с.
13. Соколов, А. М. Осевая нагрузка 27 тс – новая веха развития вагоностроения / А. М. Соколов, А. М. Орлова // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2016. – № 3 (47). – С. 5–7.
14. Хиллов, И. А. Обоснование возможности применения высокопрочных марок сталей в конструкции вагонов, эксплуатируемых на российских железных дорогах / И. А. Хиллов // Тяжелое машиностроение. – 2010. – № 7. – С. 36–39.
15. Barrow, K. Fortescue Railway – лидер тяжеловесного движения : материалы компании Fortescue Metals Group [Электронный ресурс] / K. Barrow // Intern. Railway J. – 2016. – No. 11. – С. 20–24. – Режим доступа: <http://www.railjournal.com/index.php/australia-nz/pilbaras-heavyweight-champion-flexes-its-muscles.html?channel=000>. – Название с экрана. – Проверено : 1.06.2017.
16. Hobbacher, A. Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components / A. Hobbacher ; IIW International Institute of Welding. – Cham : Springer International Publishing AG, 2016. – 143 p.

Ю. П. БОРОНЕНКО^{1*}, І. О. ФІЛІПОВА^{2*}

^{1*}Петербургський державний університет шляхів сполучення Імператора Олександра І, Московський просп., 9, Санкт-Петербург, Росія, 190031, тел. +7 (812) 310 92 10, ел. пошта boron49@yandex.ru, ORCID 0000-0002-8560-1758

^{2*}АТ Науково-впроваджувальний центр «Вагони», Московський просп., 2, Санкт-Петербург, Росія, 190031, тел. +7 (812) 310 95 00, ел. пошта filipova.io@yandex.ru, ORCID 0000-0001-9584-4772

ВИБІР КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ВАГОНІВ ІЗ МАЛОЮ МАСОЮ ТАРИ

Мета. У роботі необхідно виявити причини істотно більшого коефіцієнта тари вагонів колії 1 520 мм у порівнянні з вантажними вагонами Північної Америки та дати рекомендації щодо зниження маси тари вантажних вагонів. **Методика.** В якості методики застосована порівняльна оцінка показників міцності, витривалості та стійкості несучої конструкції мінімальної маси, виготовленої з різних матеріалів за діючими на «просторі 1 520» нормативами. **Результати.** Авторами встановлено, що при використанні високоміцних сталей масу виробу можна знизити в п'ять разів у порівнянні з балкою зі сталі 09Г2С. Якщо ж у конструкції є зварне з'єднання, то маса конструкції збільшиться приблизно в 2 рази при розрахунку за «Нормами для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС России колес 1 520 мм (несамоходных)». А при розрахунках по ГОСТ 33211-2013 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам» маса збільшується майже в 5 разів та не залежить від типу сталі. **Наукова новизна.** Виявлено, що основним критерієм, що визначає масу тари сучасних вагонів, є втомна міцність зварного з'єднання. Показано, що ГОСТ 33211-2013 та рекомендації Міжнародного інституту зварювання призначають низькі межі витривалості високоміцних сталей, та при їх дотриманні досягти зниження тари неможливо. **Практична значимість.** Розроблено напрямки дій зі зниження тари вагонів: експериментально уточнені умови міцності зварних з'єднань вагонів із високоміцних матеріалів; розроблені способи підвищення витривалості зварних з'єднань; запропоновано інші види з'єднань.

Ключові слова: тара вагону; високоміцна сталь; зварні конструкції; вантажний вагон; міцність

Y. P. BORONENKO^{1*}, I. O. FILIPPOVA^{2*}^{1*}Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, Moskovskiy Av., 9, Saint-Petersburg, Russia, 190031, tel. +7 (812) 310 9210, e-mail boron49@yandex.ru, ORCID 0000-0002-8560-1758^{2*}JSC Scientific and Innovation Center «Cars», Moskovskiy Av., 2, Saint-Petersburg, Russia, 190031, tel. +7 (812) 310 95 00, e-mail filippova.io@yandex.ru, ORCID 0000-0001-9584-4772

SELECTION OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF CAR ELEMENTS WITH SMALL EMPTY WEIGHT

Purpose. The work is aimed to identify the reasons for the significantly higher coefficient of the empty weight of 1520 mm gauge cars in comparison with the freight cars in North America and to give recommendations for reducing the empty weight of freight cars. **Methodology.** As a methodology, a comparative evaluation of the strength, durability and stability of the minimum weight bearing structure made of various materials using the "space 1520" standards is applied. **Findings.** The authors found that with the use of high-strength steels the product weight can be reduced by a factor of five in comparison with the beam of steel 09G2S. If there is a welded joint in the construction, the weight of the structure will increase approximately by 2 times when calculated according to the "Norms for calculating and designing railroad cars of the Ministry of Railways of Russia, gauge 1520 mm (non-self-propelled)". And during calculations according to State Standard 33211-2013 "Freight cars. Requirements for strength and dynamic qualities" the weight increases almost 5 times and does not depend on the type of steel. **Originality.** It is revealed that the main criterion determining the empty weight of modern cars is the fatigue strength of the welded joint. It is shown that State Standard 33211-2013 and "Recommendations of the International Welding Institute" designate low endurance limits for high-strength steels and it is impossible to achieve the weight reduction if one adheres these recommendations. **Practical value.** The direction of actions to find the ways reducing empty weight of cars was developed: conditions for strength of welded joints of cars made of high-strength materials have been experimentally refined; methods for increasing the endurance of welded joints were developed; other types of connections are assumed.

Key words: car weight; high-strength steel; welded constructions; freight car; strength

REFERENCES

1. Birger, I. A., Shorr, B. F., & Iosilevich, G. B. (1993). *Raschet na prochnost detaley mashin: spravochnik* (4th ed.). Moscow: Mashinostroeniye.
2. Bityutskiy, A. A. (2008). Puti povysheniya effektivnosti gruzovykh vagonov, vypuskaemykh rossiyskimi vagonostroitelnyimi predpriyatiyami. *Tyazheloye mashinostroeniye*, 2, 29-33.
3. Boronenko, Y. V. (2013). Car-builders' strategic tasks in development of heavy-weight rail traffic. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 5(48), 68-73.
4. Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities, GOST 33211-2014 (2014).
5. Konyukhov, A. D., Yefimov, V. P., & Demin, K. P. (2006). Vysokoprochnyye stali i splavy dlya kuzovov gruzovykh vagonov. *Tyazheloye mashinostroeniye*, 12, 31-34.
6. Makhnenko V. I. (2003). Improvement of methods for evaluating residual life of welded joints in durable structures. *Avtomaticheskaya Svarka*, 10/11, 112-121.
7. All-Soviet Union Research Institute of Railway Transport. (1996). *Normy dlya rascheta i proyektirovaniya vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh)*. Moscow: GosNIIV-VNIIZhT.
8. Ministry of Railways of the Russian Federation. (2001). *Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya k gruzovym vagonam novogo pokoleniya*. Moscow: MPS RF.
9. Vakulenko, I. O., Perkov, O. N., Knapinski, M., & Bolotova, D. M. (2014). Estimation of irreversible damage-ability at fatigue of carbon steel. *Science and Transport Progress*, 3(51), 65-74. doi: 10.15802/stp2014/25822
10. Makhnenko, O. V., Saprykina, G. Y., Mirzov, I. V., & Pustovoj, A. D. (2014). Prospects for development of load-carrying elements of freight car bogie. *The Paton Welding Journal*, 3, 33-38. doi 10.15407/tpwj2014.03.06
11. Lobanov, L. M., Makhnenko, O. V., Saprykina, G. Y., & Pustovoj, A. D. (2014). Fatigue calculation for welded joints of bearing elements of freight car bogie. *The Paton Welding Journal*, 10, 30-34. doi: 10.15407/tpwj2014.10.06
12. Silvennoynen, S. (2000). *Rautaruukki. Metalloproduktisiya: spravochnik proektirovshchika*. Otava: Keuruu.

РУХОМИЙ СКЛАД ЗАЛІЗНИЦЬ І ТЯГА ПОЇЗДІВ

13. Sokolov, A. M., Orlova, A. M. (2016). Oseaya nagruzka 27 ts – novaya vekha razvitiya vagonostroeniya. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo*, 3(47), 5-7.
14. Khilov, I. A. (2010). Obosnovaniye vozmozhnosti primeneniya vysokoprochnykh marok staley v konstruktсии vagonov, ekspluatiruemyykh na rossiyskikh zheleznykh dorogakh. *Tyazheloye mashinostroeniye*, 7, 36-39.
15. Barrow, K. (2015). Pilbara's heavyweight champion flexes its muscles. *International Railway Journal*, 11, 20-24. Retrieved from <http://www.railjournal.com/index.php/australia-nz/pilbaras-heavyweight-champion-flexes-its-muscles.html?channel=000>
16. Hobbacher, A. (2016). *Recommendations for Fatigue Design of Welded Joints and Components*. Springer International Publishing. doi 10.1007/978-3-319-23757-2

Статья рекомендована к публикации научным комитетом XIV Международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта. Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение»

Поступила в редколлегию: 30.05.2016

Принята к печати: 01.03.2017