

УДК 629.4.023:629.4.018

А.В. ПУТЯТО, д-р техн. наук

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, Республика Беларусь

Л.В. ОГОРОДНИКОВ, магистр техн. наук

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ДРБ1 ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Приведены результаты определения химического состава и основных физико-механических характеристик материала несущей конструкции экипажной части вагонов дизель-поезда типа ДРБ1, выполненные в рамках работ по обоснованию дальнейшей их эксплуатации после выработки назначенного срока службы. На основе анализа особенностей нагружения при эксплуатации, результатов оценки напряженно-деформированного состояния разработана схема вырезки образцов из несущей конструкции рамы тележки для определения прочностных характеристик, в том числе сопротивления механической усталости материала, ударной вязкости, твердости, химического состава. Установлено, что несущая конструкция рамы изготовлена из стали углеродистой качественной конструкционной марки 10; длительная, более чем 50-летняя эксплуатация, основные физико-механические характеристики удовлетворяют соответствующим нормативным требованиям.

Ключевые слова: вагоны дизель-поездов, несущая конструкция, техническое состояние, химический состав, физико-механические характеристики

Введение. Многолетний опыт диагностирования технического состояния несущих конструкций железнодорожного подвижного состава специалистами отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Технические и технологические ресурсы единиц подвижного состава» (ОНИЛ «ТТОРЕПС») Белорусского государственного университета транспорта (БелГУТ) показал, что указанный в технических условиях срок службы в большинстве случаев далек от предельного. Во многом это связано как с существенным запасом прочности, заложенным при проектировании, особенностями эксплуатации конкретного типа подвижного состава, так и с установлением срока службы, исходя из экономических показателей.

В силу технической и экономической сложности быстрого и массового обновления по истечении нормативного срока службы подвижного состава, Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества принято решение о частичном отказе от регламентированных нормативных сроков службы для тех единиц подвижного состава, индивидуальный ресурс которых позволял их дальнейшую безаварийную эксплуатацию [1, 2]. Отметим, что проблемы оценки ресурса железнодорожного подвижного состава, выработавшего нормативный срок службы, актуальна не только для Республики Беларусь [3–5].

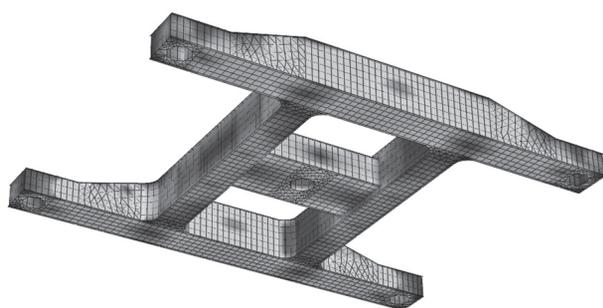
В то же время подвижной состав, имеющий значительный срок службы, требует дополнительного контроля для обеспечения безопасности движения. В связи с чем в отличие от существующего подхода продления срока службы тягового подвижного состава и, в частности, вагонов дизель-поездов крайне важно знать, по нашему мнению, не только реальную картину напряженно-деформированного состояния в части соответствия актуальной нормативной документации, но и фактические физико-механические характеристики металла.

Целью настоящей работы является установление химического состава и физико-механических характеристик материала несущей конструкции экипажной части вагона дизель-поезда серии ДРБ1 после длительной эксплуатации. Экспериментальное определение указанных параметров осуществлено на базе испытательного центра железнодорожного подвижного состава БелГУТа, аккредитованного в установленном порядке.

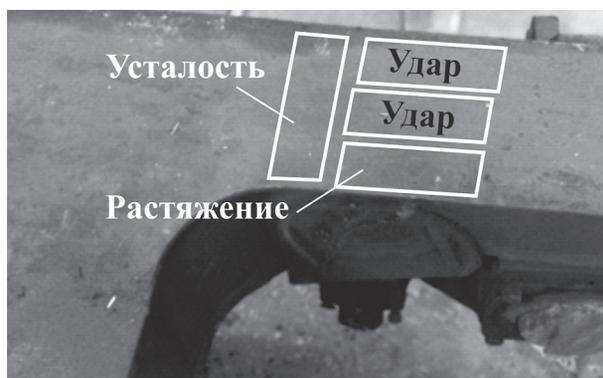
Схема вырезки и подготовка образцов для исследований. Определение участков для вырезки образцов с целью определения прочностных характеристик, ударной вязкости, твердости, химического состава и основных характеристик сопротивления механической усталости производилось в соответствии с проведенной ОНИЛ «ТТОРЕПС» расчетной оценкой напряженно-деформированного состояния рамы тележки при характерных режимах нагружения, анализом повреждений наблюдаемых в ходе эксплуатации, а также с учетом опыта проведения испытаний сварных рамных конструкций специалистами Испытательного центра железнодорожного транспорта БелГУТа. Схема вырезки образцов из выбранной зоны представлена на рисунке 1.

Для установления механических характеристик при растяжении изготовлено 11 образцов в соответствии с ГОСТ 1497-84 [6] $l_0 = 25$ мм, $d_0 = 5$ мм. Испытания стали на ударную вязкость осуществлялись по ГОСТ 9454-78 [7]: количество образцов — 24, $l = 55$ мм, $h = 10$ мм, $b = 10$ мм. Основные характеристики сопротивления механической усталости определяют по ГОСТ 25.502-79 [8]: количество образцов — 12, $l = 37,5$ мм, $d = 7,5$ мм.

Все образцы вырезались из рамы тележки на ленточнопильном станке Ergonomic 320.250 DG при охлаждении смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ) и низкой скорости, что позволило исключить влияние нагрева на структуру металла. Точение, плоское и круглое шлифование образцов также осуществлялось с применением



а



б

Рисунок 1 — Схема вырезки образцов из несущей конструкции рамы тележки

СОЖ. Температура в зоне резания при всех видах механической обработки не превышала 100 °С.

Химический состав материала. Химический состав материала образца, вырезанного из зоны для испытания на растяжение, определялся на оптико-эмиссионном спектрометре ДФС-500. Зачистка проб перед анализом производилась на шлифовальном станке с использованием абразивов с зернистостью 60 единиц. Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 18895-97 [9]. За окончательный результат анализа принято среднее арифметическое трех прожогов. Результаты анализа химического состава стали, из которой изготовлена рама тележки, представлены в таблице 1.

Сравнительный анализ химического состава исследуемого металла и состава сталей, регламентируемого п. 4.1 и таблицей 1 ГОСТ 1050-88 [10], указывает на то, что элементы рамы тележки изготовлены из стали, химический состав которой соответствует углеродистой качественной конструкционной стали 10.

Механические характеристики материала при одноосном растяжении. Механические характеристики (временное сопротивление σ_b , предел текучести σ_T , относительное удлинение δ и относительное сужение ψ стали) при одноосном растяжении определялись в соответствии с ГОСТ 1497-84 [6]. Испытания проводились

Таблица 1 — Химический состав материала рамы тележки

№ образца		Фактическое значение массовой доли элементов, %							
		C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu
1.12	прожиг 1	0,127	0,177	0,505	0,141	0,142	0,026	0,012	0,158
	прожиг 2	0,119	0,177	0,504	0,141	0,141	0,023	0,012	0,156
	прожиг 3	0,119	0,180	0,512	0,141	0,142	0,023	0,012	0,156
	среднее	0,122	0,178	0,507	0,141	0,142	0,024	0,012	0,157

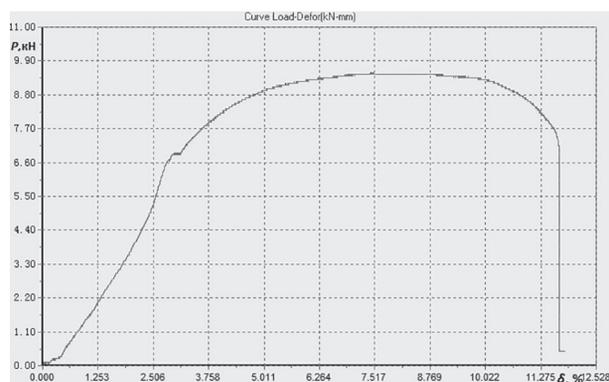


Рисунок 2 — Диаграмма растяжения образца из стали рамы тележки

на универсальной испытательной машине WDW-300 E, обеспечивающей максимальную растягивающую нагрузку 300 кН. Скорость нагружения соответствовала 2 мм/мин. Малая скорость нагружения выбиралась для получения диаграммы «усилие P — деформация ϵ » с четко выраженной площадкой текучести. Образцы для механических испытаний изготавливались в виде цилиндров переменного сечения. Диаметр рабочего сечения образца d_0 составлял 5 мм, а расчетная длина рабочей части l_0 — 25 мм. Определение механических характеристик проводилось при температуре 20 °С.

Прочностные характеристики металла элементов рамы тележки определялись по диаграммам «усилие P — деформация ϵ » (рисунок 2) при одноосном растяжении стального цилиндрического образца.

Анализ прочностных характеристик стали металла рамы тележки проводился в сравнении с предельно допустимыми показателями, регламентируемыми п. 2.1.11, таблицы 3 ГОСТ 1050-88 [10].

Показатели механических характеристик стали представлены в таблице 2.

Как следует из анализа полученных данных, механические характеристики стали рамы тележки по контролируемым показателям удовлетворяют требованиям ГОСТ 1050-88 [10], предъявляемым к стали 10.

Рассеяние экспериментальных данных в основном определяется неоднородностью конструкционных материалов. Если указанные отклонения от нормы отмечаются в процессе испытаний, то результаты этих экспериментов следует исключить из дальнейшего анализа. Иногда причина резких отклонений опытных данных не обнаруживается во время проведения экспериментов, однако значение полученной механической характеристики отдельных образцов вызывает сомнение. В подобных случаях сомнительные результаты исключают путем применения специальных критериев.

Нулевой гипотезой при использовании критериев является предположение о том, что наибольшее значе-

Таблица 2 — Механические характеристики стали рамы тележки

№ образца	Предел текучести, МПа, не менее	Предел прочности, МПа, не менее	Относительное удлинение, %, не менее	Относительное сужение, %, не менее
	Таблица 3 ГОСТ 1050-88			
	205	330	31	55
1.1	352	483	36	59
1.2	349	489	32	56
1.3	315	443	34	59
1.4	333	477	32	56
1.5	336	474	36	59
1.6	361	492	34	56
1.7	339	477	32	55
1.8	333	465	32	56
1.9	342	480	34	56
1.10	321	459	32	56
1.11	350	486	32	55
среднее	339	475	33	57

ние x_n (или наименьшее x_1) принадлежит той же генеральной совокупности, что и все остальные значения $(n - 1)$ наблюдений [11]. Проведенный анализ по критерию Н.В. Смирнова показал, что нулевая гипотеза не отклоняется, т. е. результат испытания первого и последнего образцов не следует считать резко выделяющимся, и он должен учитываться, как и остальные результаты $(n - 1)$ наблюдений. Наиболее наглядно результаты механических испытаний могут быть представлены в виде эмпирической функции распределения на вероятностной сетке. С этой целью для каждого полученного значения производят оценку соответствующей вероятности P , роль которой играет накопленная частота W . Затем на соответствующую вероятностную сетку наносят экспериментальные точки, абсциссами которых служат полученные данные для конкретной механической характеристики, а ординатами — вероятность P (накопленная частота W) [11]. Эмпирические функции распределения предела текучести, предела прочности, относительного удлинения и сужения образцов представлены на рисунке 3.

Анализ представленных выше зависимостей показывает, что полученные распределения удовлетворительно

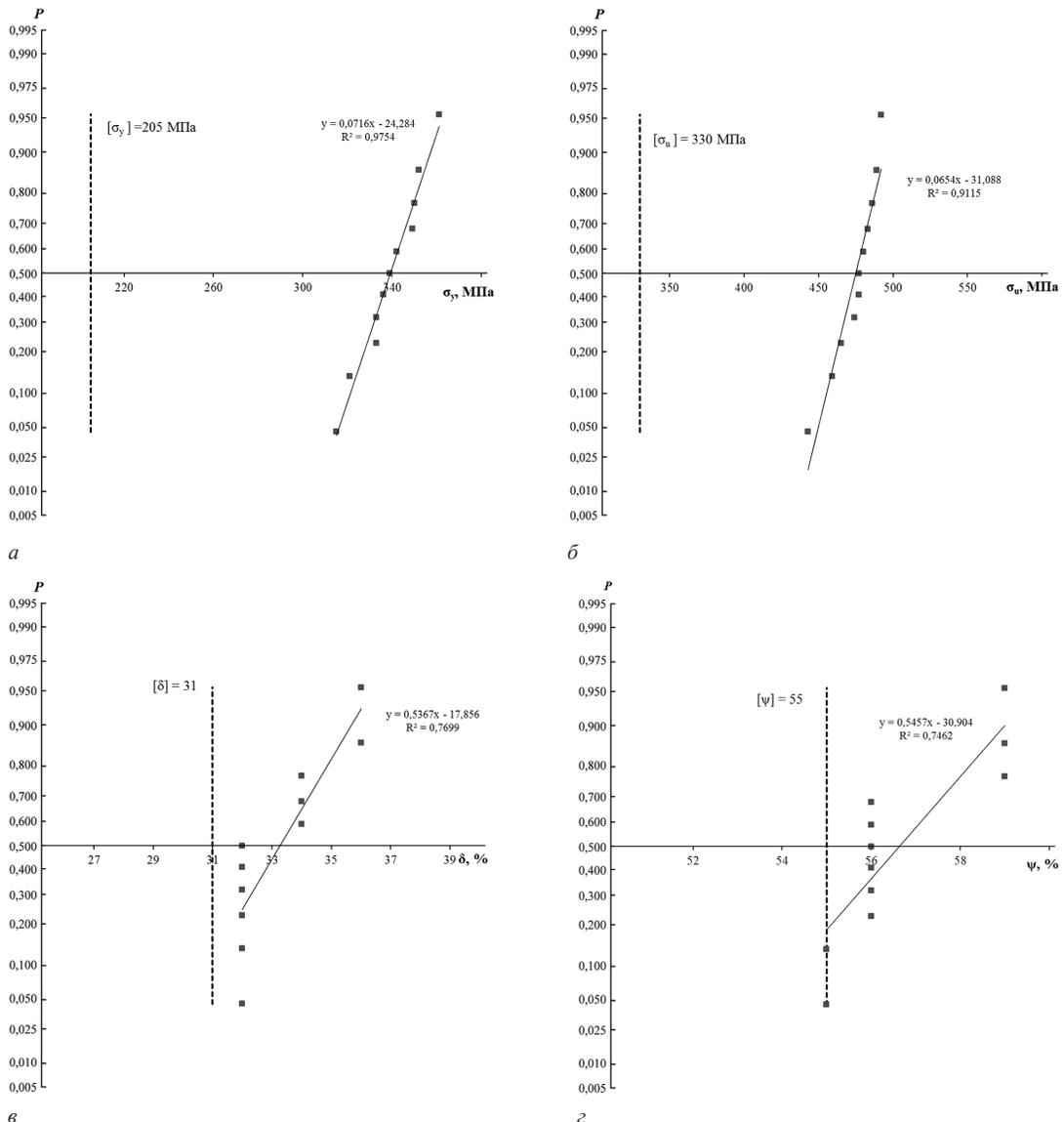


Рисунок 3 — Эмпирические функции распределения материала рамы тележки: а — предела текучести; б — предела прочности; в — относительного удлинения; г — относительного сужения

аппроксимируются нормальным законом распределения и имеют сопоставимый угол наклона, свидетельствующий об одинаковом рассеянии анализируемых данных.

Твердость материала рамы тележки. Измерения твердости металла проводились на твердомере стационарном (HBRVU-187.5) Integral 5 по методу Роквелла согласно ГОСТ 9013-59 [12] и методу Бринелля (ГОСТ 9012-59 [13]). В исследуемый металл вдавливался шарик диаметром 1,588 мм под действием нагрузки 980,7 Н. При измерении твердости обеспечивалась перпендикулярность приложения действующего усилия к плоской поверхности испытываемого образца. Метод Бринелля основан на вдавливании стального закаленного шарика диаметром 2,5 мм под действием силы 1839 Н с последующим измерением диаметров полученных отпечатков на исследуемом металле. Значение твердости HB 2,5/187,5 определялось по таблицам, приведенным в [13]. Твердость по Роквеллу и Бринеллю определялась на тех же образцах, что и ударная вязкость. Результаты испытаний по определению твердости стали, из которой изготовлена рама тележки, представлены в таблице 3.

Приведенные в таблице 3 данные свидетельствуют о том, что твердость стали распределена равномерно по высоте рамы и изменяется по Роквеллу в интервале от 70 до 75 HRB, по Бринеллю — в интервале от 134 до 144 HB 2,5/187,5. Данные по твердости стали 10 по Роквеллу нормативными документами не регламентируются; по Бринеллю — не должны превышать 255 HB для сортового проката.

Анализ результатов испытаний, представленный на рисунке 4, показывает, что твердость стали рамы тележки имеет малое рассеяние, так как полученные распределения удовлетворительно аппроксимируются нормальным законом распределения и имеют сопоставимый угол наклона, свидетельствующий об одинаковом рассеянии анализируемых данных.

Среднее значение твердости стали, из которой изготовлена рама тележки, по Роквеллу составляет 72 HRB, а по Бринеллю — 140 HB 2,5/187,5, что не превышает нормируемого ГОСТ 1050-88 [10] п. 2.1.10 значения твердости сортового проката, которое не должно превышать 255 HB.

Таблица 3 — Твердость материала рамы тележки

№ образца	Средние значения твердости HB 2,5/187,5	Средние значения твердости HRB	№ образца	Средние значения твердости HB 2,5/187,5	Средние значения твердости HRB
1.1	141,10	71	2.1	141,60	72
1.2	138,05	71	2.2	140,70	71
1.3	134,10	73	2.3	136,00	70
1.4	141,60	72	2.4	139,70	71
1.5	138,80	72	2.5	141,60	71
1.6	138,30	71	2.6	141,60	70
1.7	141,10	72	2.7	139,20	73
1.8	137,80	72	2.8	138,30	71
1.9	139,20	70	2.9	142,60	75
1.10	137,80	72	2.10	141,60	72
1.11	139,70	71	2.11	143,60	74
1.12	140,70	72	2.12	142,60	72

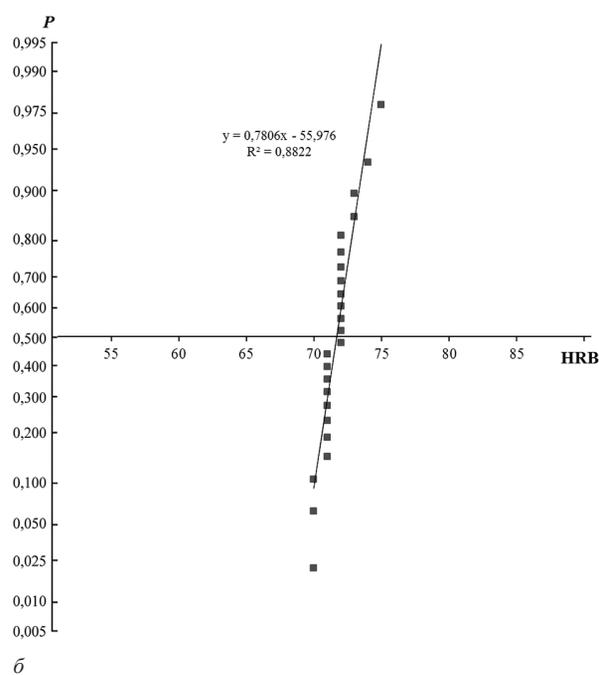
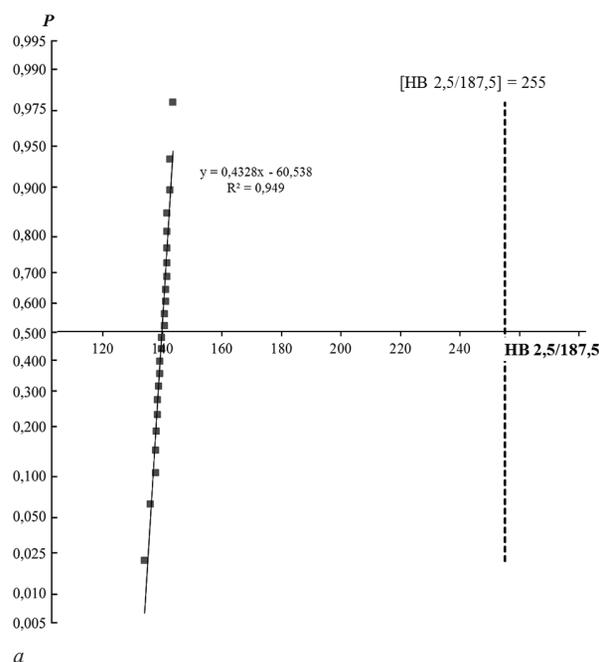


Рисунок 4 — Эмпирические функции распределения твердости материала рамы тележки: а — HB 2,5/187,5; б — HRB

Ударная вязкость материала рамы тележки. Испытания стали на ударную вязкость осуществлялись на копре маятниковом МК 30А в соответствии с требованиями ГОСТ 9454-78 [7], по шкале 300 Дж с ценой деления 2 Дж. Ударную вязкость (КУ) определяли на образцах с U-образным надрезом — концентратором напряжений.

Высота рабочего сечения образцов H_1 составляла 8 мм, а площадь S_0 — 80 мм². Образцы изготавливались из материала рамы тележки в виде брусков прямоугольного сечения ($H \times B$; 10 × 10 мм) $L = 55$ мм. Испытания проводились при температуре +20 и –20 °С. Для обеспечения требуемой пониженной температуры испытания образцы перед установкой на копер переохлаждались в низкотемпературной камере в течение 15 минут при температуре –20 °С. Испытания проводились не позднее

чем через 3–5 с после извлечения образцов из климатической камеры.

Показатель ударной вязкости характеризует сопротивление металла разрушению при воздействии ударных нагрузок и в определенной степени коррелирует с его усталостной прочностью. По расхождению данных КСУ в различных точках рамы тележки можно оценить степень однородности распределения механических характеристик по объему изделия. Представленные в таблице 4 данные свидетельствуют о том, что сталь рамы тележки обладает соответствующим сопротивлением разрушению при воздействии ударной нагрузки ($КСУ^{+20} = 106 \text{ Дж/см}^2$; $КСУ^{-20} = 61 \text{ Дж/см}^2$).

Анализ результатов испытаний (рисунок 5) показывает, что ударная вязкость образцов из рамы тележки с U-образным надрезом имеет малое рассеяние, так как полученные распределения удовлетворительно аппроксимируются нормальным законом распределения и имеют сопоставимый угол наклона, свидетельствующий об одинаковом рассеянии анализируемых данных.

Определение основных характеристик сопротивления механической усталости материала рамы тележки. Основные характеристики сопротивления механической усталости (МУ) определяют по кривой, которая представляет собой зависимость между амплитудой

напряжений σ_a и количеством циклов N_a до достижения предельного состояния испытываемого образца [8].

Для построения кривой усталости и определения предела выносливости, соответствующих вероятности разрушения 50 %, испытывают не менее 15 одинаковых образцов. В интервале напряжений, равных 0,95–1,05 от предела выносливости, соответствующего вероятности разрушения 50 %, должны быть испытаны не менее трех образцов, при этом не менее половины из них не должны разрушаться до достижения базового числа циклов.

Для испытания принята схема нагружения при чистом изгибе с вращением образца круглого сечения (элемента конструкции). Цилиндрический образец каждым концом закреплен в шпинделе испытательной машины и вращается с угловой скоростью. К одному из шпинделей, имеющему возможность перемещения относительно станины машины, прикладывается изгибающий момент.

Испытания выполнены на машине UBM 200tC при частоте 50 Гц. Методика предусматривала построение кривой усталости по требованиям ГОСТ 25.502-79 [8]. Испытания образцов проводили непрерывно до достижения предельного состояния или до базового числа циклов. Критерий предельного состояния — разделение

Таблица 4 — Ударная вязкость стали рамы тележки

Вид концентратора	№ образца	Температура испытания, °С	Ширина рабочего сечения, см	Высота рабочего сечения, см	Площадь рабочего сечения, см ²	Ударная вязкость, Дж/см ²	
U	1.1	20	0,955	0,800	0,764	104,712	
	1.2	20	0,950	0,800	0,760	107,895	
	1.3	20	0,950	0,800	0,760	107,895	
	1.4	20	0,950	0,800	0,760	111,842	
	1.5	20	0,950	0,800	0,760	96,053	
	1.6	20	0,950	0,800	0,760	100,000	
	1.7	20	0,950	0,800	0,760	107,895	
	1.8	20	0,95	0,800	0,760	102,632	
	1.9	20	0,945	0,800	0,756	111,111	
	1.10	20	0,950	0,800	0,760	107,895	
	1.11	20	0,950	0,800	0,760	110,526	
	1.12	20	0,950	0,800	0,760	100,000	
	среднее						106
	2.1	–20	0,950	0,800	0,760	67,105	
	2.2	–20	0,950	0,800	0,760	67,105	
	2.3	–20	0,950	0,800	0,760	65,789	
	2.4	–20	0,945	0,800	0,756	48,942	
	2.5	–20	0,945	0,800	0,756	58,201	
	2.6	–20	0,950	0,800	0,760	59,211	
	2.7	–20	0,950	0,800	0,760	67,105	
	2.8	–20	0,950	0,800	0,760	67,105	
	2.9	–20	0,945	0,800	0,756	56,878	
	2.10	–20	0,945	0,800	0,756	56,878	
	2.11	–20	0,945	0,800	0,756	67,460	
2.12	–20	0,950	0,800	0,760	53,947		
среднее						61	

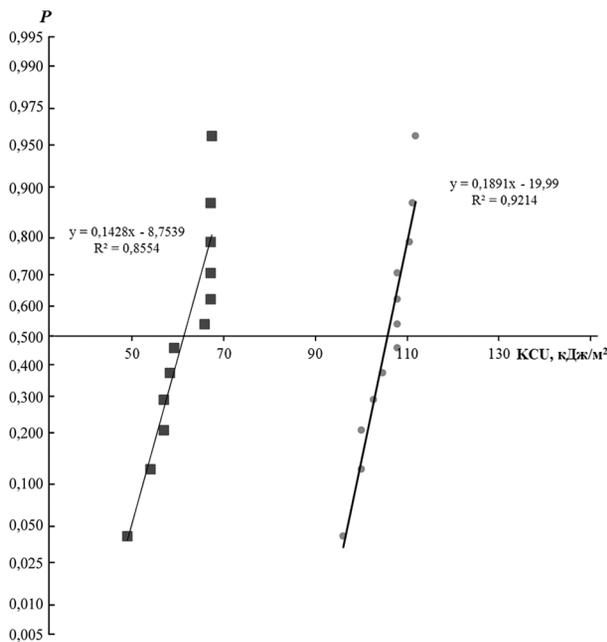


Рисунок 5 — Эмпирические функции распределения твердости (HRB) материала рамы тележки

Таблица 5 — Сводный протокол испытаний

№ образца	Нагрузка		Пройденное число циклов	Отметка о разрушении (да, нет)
	Q, Н	σ_a , МПа		
1.1	13,528	340	72 462	Да
1.2	12,988	320	97 722	Да
1.3	11,939	300	337 423	Да
1.4	11,134	280	133 902	Да
1.6	10,771	260	327 173	Да
1.7	9,9375	240	1 736 102	Да
1.8	8,9271	220	10 000 000	Нет
1.9	14,323	360	23 897	Да
1.10	12,174	300	183 237	Да
1.12	9,5255	220	10 000 000	Нет

образца на две части. База испытаний НБ при определении предела выносливости σ_{-1} соответствовала 10^7 циклов. Для построения кривой усталости и определения предела выносливости σ_{-1} было испытано 10 образцов.

Исходные данные и результаты испытаний каждого образца занесены в сводный протокол испытаний (таблица 5). По результатам испытаний методом графической интерполяции построена кривая усталости в координатах «логарифм амплитуды напряжений цикла σ_a — логарифм числа циклов до достижения предельного состояния $\lg N$ » (рисунок 6).

Обработка результатов испытаний выполнена методом наименьших квадратов. Коэффициенты уравнения кривой усталости a и b , численные значения предела выносливости σ_{-1} , абсциссы точки перелома кривой усталости $N_{G\sigma}$, показателя наклона левой ветви кривой усталости m_σ сведены в таблицу 6.

Заключение. По результатам исследований химического состава и основных физико-механических характеристик материала несущей конструкции экипажной

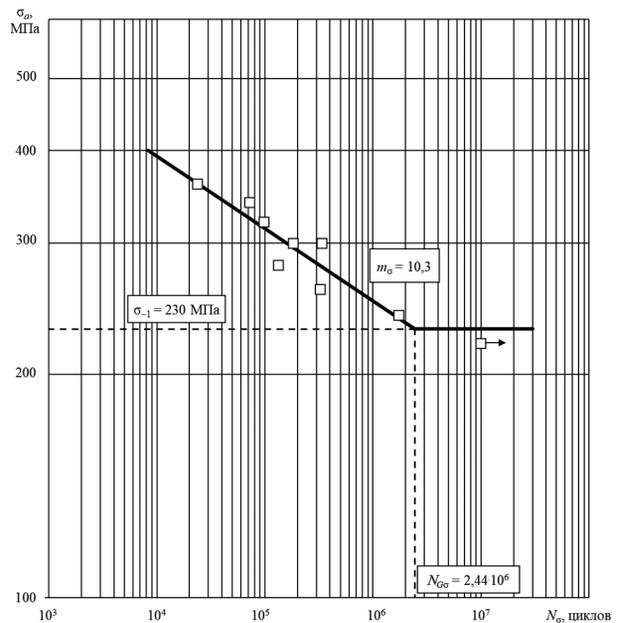


Рисунок 6 — Кривая механической усталости материала рамы тележки при чистом изгибе

Таблица 6 — Значения характеристик сопротивления усталости

Характеристики	Численное значение
Предел выносливости σ_{-1} , МПа	230
Абсцисса точки перелома кривой усталости $N_{G\sigma}$, цикл	$2,44 \cdot 10^6$
Коэффициенты уравнения кривой усталости a b	-0,0974 2,984
Показатель наклона левой ветви кривой усталости m_σ	10,3

части вагона дизель-поезда серии ДРБ1 после длительной эксплуатации следует:

- предоставленная для исследований рама тележки вагона изготовлена из стали углеродистой качественной конструкционной марки 10. Сталь удовлетворяет требованиям ГОСТ 1050-88 [10] по химическому составу и по показателям «предел прочности», «предел текучести», «относительное удлинение» и «относительное сужение»;
- среднее значение твердости стали, из которой изготовлена рама тележки вагона, по Роквеллу составляет 72 HRB (нормативными документами не регламентируются); по Бринеллю — 140 НВ 2,5/187, 5, что не превышает нормируемого ГОСТ 1050-88 [10] п. 2.1.10 значения твердости сортового проката, которое не должно превышать 255 НВ. Значения твердости на рассматриваемом участках рамы тележки имеют малое рассеяние;
- среднее значение ударной вязкости стали, из которой изготовлена рама тележки, составляет $KCU^{+20} = 106$ Дж/см² и $KCU^{-20} = 61$ Дж/см². Ударная вязкость образцов из материала рамы тележки с U-образным надрезом имеет малое рассеяние на исследуемом участке;
- экспериментально показано, что предел выносливости материала рамы тележки составляет 230 МПа, а показатель наклона левой ветви кривой усталости — 10,3.

Список литературы

1. О корректировке «Положения о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении» / Ю.П. Бороненко [и др.] // Евразия Вести. — 2012. — № X. — С. 13–14.
2. Третьяков, А.В. Управление индивидуальным ресурсом вагонов в эксплуатации: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07 / А.В. Третьяков; Петерб. гос. ун-т путей сообщ. — СПб., 2004. — 348 с.
3. Boiko, A. Assessment of remaining resource of tank wagons with expired life time: summary of doctoral dissertation: engineering sciences / A. Boiko; Riga Technical University. — Riga, 2013. — 39 p.
4. Putsiata, A. Prediction of a resource of flat wagon's frame for transportation of packages of rail and ties after long term operation / A. Putsiata, Y. Kanavalau // Proc. of 22nd International Conference "МЕХАНИКА 2017", Kaunas, 19 May 2017 / Kaunas University of Technology. — Kaunas, 2017. — Pp. 312–317.
5. Третьяков, А.В. Управление индивидуальным ресурсом вагонов в эксплуатации / А.В. Третьяков — СПб.: Изд-во ОМ-Пресс, 2004. — 348 с.
6. Металлы. Методы испытаний на растяжение: ГОСТ 1497-84. — Взамен ГОСТ 1497-73; введ. 01.01.1986. — М.: Стандартинформ, 2008. — 24 с.
7. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах: ГОСТ 9454-78. — Введ. 01.01.1979. — М.: Изд-во стандартов, 2008. — 12 с.
8. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость: ГОСТ 25.502-79. — Введ. 01.01.1981. — 27 с.
9. Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа: ГОСТ 18895-97. — Взамен ГОСТ 18895-81; введ. 01.01.1998. — М.: Изд-во стандартов, 1998. — 15 с.
10. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали: ГОСТ 1050-88. — Введ. 01.01.1991. — М.: Стандартинформ, 2010. — 29 с.
11. Степнов, М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: справ. / М.Н. Степнов. — М.: Машиностроение, 1985. — 232 с.
12. Метод измерения твердости по Роквеллу: ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86). — Введ. 01.01.1969. — 13 с.
13. Металлы. Метод определения твердости по Бринеллю: ГОСТ 9012-59. — Введ. 01.01.1960. — М.: Стандартинформ, 2007. — 40 с.

Putsiata A.V., Ogorodnikov L.V.

Physical and mechanical characteristics of the bearing material of diesel-train ДРБ1 (DRB1) after continuous exploitation

The article presents the results of determination of chemical composition and basic physical and mechanical characteristics of the load-bearing material of the crew part of the ДРБ1 (DRB1) type diesel-train cars, performed as part of the work to justify their further operation after extraction designated period of service. Based on the analysis of loading characteristics during operation, the results of the stress-strain evaluation, the diagram is also developed for the cut-out of the samples from the load-bearing frame of the trolley for strength determination, including mechanical fatigue resistance of material, impact strength, hardness, chemical composition. It is established that the bearing frame structure is made of carbon quality structural steel grade 10, prolonged operation of more than 50 years, the main physical and mechanical characteristics satisfy the relevant regulatory requirements.

Поступила в редакцию 14.09.2022.