

УДК 620.169.2

Кандидаты техн. наук А. В. СУХОВ, В. А. РЕЙХАРТ

К оценке сопротивления усталости литых деталей тележек грузовых вагонов

Аннотация. Качество боковых рам и надрессорных балок оценивают по величине коэффициента запаса сопротивления усталости. При его расчетах используют пределы выносливости деталей, экспериментально определенные в процессе усталостных испытаний. Повышение вагонной осевой нагрузки, разработка перспективных тележек грузовых вагонов, а также увеличение количества изломов деталей в эксплуатации требуют пересмотра некоторых положений действующей методики проведения усталостных испытаний.

Испытания деталей новых конструкций повышенной прочности необходимо проводить на более высоких максимальных нагрузках цикла нагружения. Однако соотношения максимальных и минимальных нагрузок зависят от постоянной средней нагрузки, что не позволяет использовать необходимый диапазон испытательных нагрузок. В то же время при повышенных нагрузках возможно возникновение пластических деформаций и остаточных напряжений сжатия, приводящих к завышению результатов испытаний. Также возможно неразрушение деталей. Рекомендовано, во-первых, проводить испытания при фиксированном коэффициенте асимметрии цикла нагружения, во-вторых, при невозможности изломать детали нового поколения оценивать результаты испытаний в соответствии с нормированным количеством циклов нагружения на каждой испытательной нагрузке.

Установлено, что в эксплуатации изломы в летний и зимний периоды практически идентичны. Для них характерны небольшие площади зоны замедленного развития усталостной трещины, что свидетельствует о наличии высоких действующих напряжений.

Усталостные испытания надрессорных балок при температурах +20 и –60 °С показали, что отрицательная температура несколько повышает сопротивление усталости деталей, отдаляя моменты зарождения усталостных трещин, но значительно снижает критическую площадь трещин, т. е. живучесть деталей.

Показано, что полученные закономерности на стендах и в эксплуатации позволяют объяснить причины большого количества изломов боковых рам в холодное время года: образование трещин критического размера с крайне быстрым ростом и последующим изломом между плановыми осмотрами.

Ключевые слова: боковые рамы; надрессорные балки; сопротивление усталости; живучесть; температура; методика

В системе оценки качества готовой продукции предприятий-изготовителей основным параметром является уровень сопротивления усталости деталей. Усталостные испытания боковых рам и надрессорных балок проводят в соответствии с требованиями методики ОАО «ВНИИЖТ» — ОАО «НИИвагоностроения» (утверждена в 2010 г.). Для полных ускоренных испытаний отбирают не менее девяти деталей каждого наименования, при испытаниях фиксируют число циклов до появления макротрещины длиной 10–15 мм и

число циклов до потери несущей способности детали. Под потерей несущей способности понимают невозможность соблюдения установленного силового режима нагружения. В этом случае разрушение — предельное состояние потери несущей способности детали. При статистической обработке результатов усталостных испытаний получают значения условного предела выносливости P_a на базовом числе $N_0 = 10^7$ циклов, а также показатель степени m уравнения кривой усталости. Однако оценивают качество боковых рам и надрессорных балок, а опосредованно — эксплуатационную надежность и долговечность по величине коэффициента запаса сопротивления усталости n . Этот коэффициент предложен более 30 лет тому назад [1]:

$$n = \frac{(P_a)_{0,95} + \Delta}{P_{ст} K_n K_{дз}} \geq [n], \quad (1)$$

где $(P_a)_{0,95}$ — предел выносливости детали по амплитуде при вероятности ее неразрушения, равной 0,95; $P_{ст}$ — расчетная вертикальная статическая нагрузка брутто на деталь; K_n — коэффициент использования грузоподъемности полувагона (0,9); $K_{дз}$ — коэффициент вертикальной динамики, эквивалентный повреждающему действию вертикальных нагрузок на балки и рамы за назначенный срок их службы (32 года); Δ — корректирующая добавка, учитывающая разницу между средней (постоянной) нагрузкой цикла P_m и $P_{ст}$.

Если принять во внимание, что значения $K_{дз}$ для боковой рамы (0,51) и надрессорной балки (0,36) были получены также расчетным путем для средних значений показателя степени кривой усталости m , равных по абсолютной величине 6 и 5 соответственно при действительных значениях от 4 до 10, то следует признать отсутствие какого-либо физического смысла этого коэффициента. Известное выражение представляет коэффициент n как «меру нашего незнания». Наше незнание, однако, постоянно увеличивается: в конце прошлого века коэффициент запаса (n) составлял 1,2–1,4; в настоящее время — 1,8, и это не предел. К примеру, по мнению авторов работы [2], следует пересмотреть нормы безопасности на литые детали тележек с целью увеличения коэффициента запаса сопротивления усталости свыше 2,0. Более того, авторы считают, что наиболее правильным решением было бы установление n не менее 2,5–2,7, поскольку «имеются случаи их значительной перегрузки, интенсивной

нагрузки рам при резких поворотах рельсовых путей, а также при неправильном обслуживании составов вагонов, допускающих удары колес о рельсы при переезде через тормозной башмак и др.». Авторы работы [3] не менее категоричны: «При достигнутых уровнях качества литья и эффективности неразрушающего контроля при изготовлении деталей указанный коэффициент запаса (1,8) гарантированно обеспечивает нормативный срок службы боковой рамы и надressорной балки тележки (32 года) без появления в них трещин, в том числе и при увеличении доли груженого пробега вагонов. Живучесть литых деталей тележки с таким коэффициентом запаса при допускаемых размерах технологических или эксплуатационных дефектов значительно (в 3–5 раз) превышает установленные межремонтные пробеги вагонов».

Полученные расчетным путем показатели «живучести и долговечности» боковых рам не коррелируют с реалиями сегодняшнего дня [4, 5]. Начиная с 2006 г. характер разрушений боковых рам в эксплуатации заметно изменился. Во-первых, резко увеличилось число сходов грузовых вагонов из-за изломов деталей, а также число деталей, забракованных при проведении деповских ремонтов и отцепок на ПТО (пункты технического обслуживания) по причине обнаружения усталостных трещин.

Во-вторых, усталостные трещины и изломы по ним возникают по внутреннему радиусу R55 буксового проема. Ранее, как показывает многолетняя статистика, эксплуатационные повреждения фиксировали как во внутреннем и наружном углах буксового проема, так и в наклонном поясе и нижнем углу рессорного проема боковых рам. При проведении стендовых испытаний изломы происходят в основном в нижнем углу рессорного проема. Поэтому необходимо провести корректировку схемы нагружения, к примеру, увеличив межопорное расстояние, для получения

равновероятности изломов в различных зонах боковой рамы, т. е. реализовать концепцию «слабого» звена.

В-третьих, ломаются в первую очередь детали со сроком службы до 5 лет, так называемое молодое литье. Кроме того, продолжительность периода от возникновения усталостных трещин до излома деталей, или живучесть, составляет, по экспертным оценкам, от нескольких суток до 2–3 мес, или существенно менее установленных межремонтных пробегов вагонов.

Изломы деталей характерны как для зимнего времени, так и для летних месяцев, причем по внешнему виду «зимние» изломы практически не отличаются от «летних». Из-за большой сложности усталостные испытания реальных конструкций при отрицательных температурах проводят достаточно редко. Известна работа [6], в которой изложены результаты усталостных испытаний надressорных балок производства ООО «ПК «БСЗ» (1981 г.) при температурах ($t_{исп}$) +20 и –60 °С.

Результаты рассчитаны для вагонной осевой нагрузки 22 тс и скорости $v = 80$ км/ч. Получено, что предел выносливости деталей, испытанных при +20 °С (при 50%-ной вероятности неразрушения), составил 18,7 тс; при –60 °С – 21,4 тс, что на 14% больше. При этом коэффициент запаса (n) составил 1,40 и 1,75 соответственно, т. е. при отрицательной температуре он увеличился на 25%.

Количество циклов до излома деталей в среднем составило при +20 °С – 1,948 млн, при –60 °С – 3,232 млн, или в 1,7 раза больше, что и определяет большую усталостную прочность при $t_{исп} = -60$ °С. В работе отмечено, что «зона хрупкого долома больше у балок, испытанных при низкой температуре». Следовательно, площади усталостных трещин, приведших к изломам балок, при $t_{исп} = -60$ °С существенно меньше, чем при +20 °С. Однако такой важный параметр, как трещиностойкость, не учитывают при оценке качества литых деталей.

Используя полученные в процессе испытаний результаты по количеству циклов нагружения до появления макротрещин, нами был дополнительно проведен расчет живучести надressорных балок. Количество циклов от момента фиксации трещины до излома деталей (живучесть) в среднем ($N_{ж} \text{ ср}$) составило:

- при +20 °С – 375 тыс. циклов;
- при –60 °С – 169 тыс. циклов, что в 2,2 раза меньше.

Результаты испытаний в виде зависимостей $N_{ж} = f(P_{max})$ представлены на рис. 1. На графике выделены области результатов при $t_{исп} = +20$ °С (область 1, знак •) и $t_{исп} = -60$ °С (область 2, знак ▲). Как видно из графика, при +20 °С живучесть ($N_{ж}$) по мере снижения максимальной нагрузки цикла (P_{max}) монотонно увеличивается: от 150 тыс. циклов (при $P_{max} = 70$ тс) до 680 тыс. циклов (при $P_{max} = 60$ тс). Этому в не малой степени способствует существенное увеличение

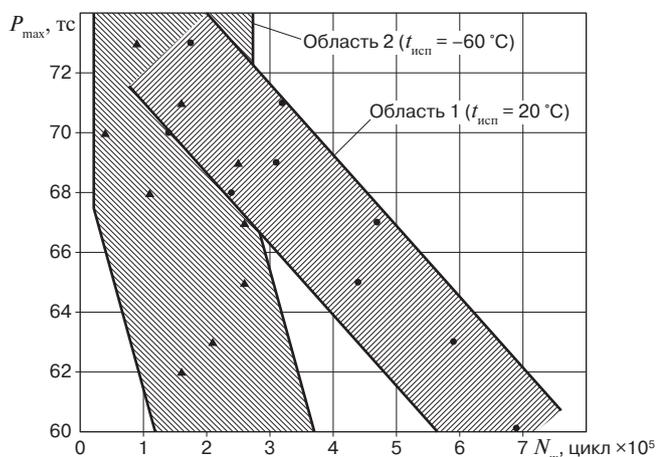


Рис. 1. Зависимость живучести $N_{ж}$ надressорных балок при температурах испытания +20 (область 1) и –60 °С (область 2) от максимальной нагрузки P_{max} цикла нагружения

коэффициента асимметрии цикла напряжений R_σ : от 0,14 до 0,33 соответственно. При $t_{исп} = -60^\circ\text{C}$ во всем диапазоне изменения максимальных нагрузок ($P_{max} = 62 \div 73$ тс) живучесть (N_j) находится в достаточно узком интервале от 37 до 260 тыс. циклов, т. е. практически не изменяется.

Следует отметить неоднозначное влияние низкой температуры на результаты усталостных испытаний [7]. Во-первых, снижение температуры до $t_{исп} = -60^\circ\text{C}$, несколько увеличивая предел текучести стали, в среднем на 25%, существенно повышает сопротивление усталости деталей, отдавая при этом момент зарождения усталостных трещин. Во-вторых, снижение температуры приводит к значительному уменьшению критической площади трещин, т. е. к резкому снижению живучести деталей, как было отмечено ранее, во всем диапазоне испытательных нагрузок [8].

Учитывая, что применяемые в настоящее время при изготовлении крупного вагонного литья марки сталей практически не изменились за последние десятилетия, полученные результаты позволяют сделать два важных вывода применительно к сегодняшним изломам боковых рам в эксплуатации.

Во-первых, как отмечено выше, внешний вид «летних» и «зимних» изломов практически идентичен. Для них характерна малая площадь зоны замедленного роста усталостной трещины (критический размер трещины), вплоть до ее практического отсутствия. Полученные результаты указывают на то, что для теплого времени года такое возможно только при очень высоких действующих циклических нагрузках (характеризующихся высоким размахом интенсивности напряжений) — это левая верхняя часть диаграммы на рис. 1, где области 1 и 2 накладываются. Следовательно, в зонах R55 буксовых проемов боковых рам летом и зимой могут действовать крайне высокие напряжения.

Во-вторых, полученные зависимости четко объясняют причины массовых изломов именно в холодное время года: образование в детали трещины критического размера приводит при отрицательных температурах к ее крайне быстрому росту и последующему излому даже при штатных режимах работы, что не дает возможности успеть выявить ее осмотрщикам.

Таким образом, ключевой задачей в борьбе с изломами боковых рам должно стать сопоставление фактического спектра нагруженности буксовых проемов в эксплуатации со значением трещиностойкости металла (критического размера трещины при заданных условиях циклического нагружения) боковых рам.

Как показано выше, коэффициент запаса сопротивления усталости n практически зависит только от величины условного предела выносливости ($P_{a0,95}$), единственного экспериментального параметра, определяющего качество деталей. Поэтому повышение n непосредственно связано с увеличением

Фактические пределы изменений максимальной нагрузки цикла

№ п/п	Вагонная осевая нагрузка, тс	P_m , тс	Диапазон P_{max} , тс	
			от	до
1	22	30	44	56
2	23,5	35	52	64
3		37	56	68
4	25	40	60	72

максимальных нагрузок P_{max} цикла нагружения при построении кривой усталости.

Рассмотрим диапазоны использования максимальных нагрузок P_{max} при проведении усталостных испытаний литых деталей. Следует напомнить, что величина P_{max} жестко связана с минимальной нагрузкой цикла P_{min} через постоянную среднюю нагрузку P_m :

$$P_{min} + P_{max} = 2P_m \quad (2)$$

Величины P_m определены для различных осевых нагрузок. В случае боковых рам:

- для 22,0 тс/ось — $P_m = 30$ тс (294 кН),
- для 23,5 тс/ось — $P_m = 37$ тс (363 кН),
- для 25,0 тс/ось — $P_m = 40$ тс (392 кН).

Поэтому максимальные нагрузки, к примеру, для 23,5 тс/ось могут составлять от 62 тс и более. При этом нагрузку P_{max} , в принципе, можно повышать, но только при снижении P_{min} до величины, которая обеспечивала бы стабильную работу испытательных стендов. Для адрессорной балки максимальные нагрузки составляют от 82 тс и более. Однако при столь высоких нагрузках в зонах действия растягивающих напряжений возможно возникновение пластических деформаций и остаточных напряжений сжатия. Такое поверхностное упрочнение металла как задерживает зарождение усталостных трещин, так и тормозит скорость их развития. Это приводит к завышению результатов испытаний на максимальных нагрузках вплоть до нарушения физического смысла кривой усталости, когда она меняет направление наклона.

При построении кривых усталости для каждой группы деталей под ту или иную осевую нагрузку величина P_{max} изменяется в определенном диапазоне. Проведен анализ результатов усталостных испытаний боковых рам за последние 30 лет испытаний при условии получения положительных значений коэффициента запаса сопротивления усталости n . Результаты анализа сведены в таблице.

Табличные данные свидетельствуют о непрерывном увеличении P_{max} . Это происходит, во-первых, из-за повышения осевых нагрузок (до 25 тс и более), что требует освоения производства литых деталей нового поколения, а также повышенной конструкционной прочности. Во-вторых, из-за увеличения массы литых

деталей. К примеру, масса боковых рам производства ОАО «Алтайвагон», предназначенных для вагонов с осевой нагрузкой 23,5 тс, в 2009 г. составила 380 кг, в 2010 г. — 395 кг, в 2013 г. масса деталей достигла 470 кг. Конструктивные доработки, усиление «проблемных» зон боковых рам несомненно сказываются на повышении надежности и долговечности деталей в эксплуатации, но также требуют увеличения P_{max} при проведении стеновых усталостных испытаний. Однако возможность повышения максимальных нагрузок P_{max} , как было показано выше, ограничена жесткой связью с P_m . При этом следует учитывать непостоянство коэффициента асимметрии цикла напряжений R_σ при различных P_{max} . К примеру, для начальных условий 23,5 тс/ось и $P_m = 35$ тс при нагрузках $P_{max} = 64$ тс и $P_{min} = 6$ тс коэффициент асимметрии $R_\sigma = 0,09$, а при нагрузках $P_{max} = 52$ тс и $P_{min} = 18$ тс (см. таблицу) — $R_\sigma = 0,35$, или в 3,9 раза больше. В широком диапазоне использования P_{max} корректирующая добавка Δ в формуле (1) не компенсирует такого разброса R_σ .

В настоящее время отечественные предприятия осваивают производство литых деталей нового поколения для тележек грузовых вагонов с осевыми нагрузками 25 тс и более. Проведены первые испытания деталей. На рис. 2 в полулогарифмических координатах представлены результаты усталостных испытаний надрессорных балок для 25 тс/ось серийного

(кривая 1) и перспективного (кривая 2) производства при 50%-ной вероятности неразрушения. Коэффициенты запаса сопротивления усталости n составили для кривой 1 — 1,9; 2,0; 2,2, а для кривой 2 — 2,1; 2,2; 2,5 соответственно для скоростей движения грузовых вагонов 120, 100 и 80 км/ч. Как видно из приведенных данных, имеется существенный запас по усталостной прочности надрессорных балок: $[n] > 1,8$ для скорости движения 120 км/ч при разрешенной — до 100 км/ч. Достоверность определения предела выносливости оценивают по величине коэффициента линейной корреляции ρ при уровне значимости 0,05. Результаты испытаний по девяти образцам считают достоверными при соблюдении условия $[\rho] \geq [0,666]$. Получены следующие значения ρ :

- для кривой 1 — $\rho = 0,924 > 0,666$,
- для кривой 2 — $\rho = 0,226 < 0,666$.

Несмотря на то что базовое число $N_0 = 10^7$ циклов получено на четырех испытанных балках при $P_{max} = 78$ тс, 82 тс (две детали) и 86 тс (см. рис. 2), по действующей методике при такой величине коэффициента линейной корреляции (ρ) результаты усталостных испытаний надрессорных балок нового поколения следует считать недостоверными.

В случае невозможности изломать детали предложено определить на каждой испытательной нагрузке количество циклов нагружения, достаточное для положительной оценки результатов испытаний. Метод оценки сопротивления усталости деталей без их излома используют при испытаниях локомотивных бандажей [9] и цельнокатаных колес грузовых вагонов [10]. В качестве примера рассмотрим построение теоретической линии АБ (см. рис. 2), соответствующей коэффициенту запаса сопротивления усталости $n = 2$ при коэффициенте корреляции $\rho = 0,95$. Линия АБ делит координатную плоскость на две части таким образом, что все экспериментальные точки, оказавшиеся правее этой линии, удовлетворяют условию $n > 2$ для данной осевой нагрузки. К примеру, для $P_{max} = 78$ тс число циклов без разрушения (N_i) должно быть не менее 7 млн, для $P_{max} = 82$ тс — не менее 3 млн. Это позволит существенно сократить сроки испытаний. Так, общее количество циклов нагружения девяти деталей повышенной прочности (см. рис. 2, кривая 2) составило 74 млн (в среднем 8,2 млн циклов на каждую деталь), тогда как при нормировании количества циклов (показано стрелками по линии АБ) — 38 и 4,3 млн циклов соответственно, что практически в 2 раза меньше.

Выводы. Анализ результатов стеновых усталостных испытаний литых деталей тележек грузовых вагонов позволил сформулировать следующие предложения:

1. Проводить испытания при фиксированном коэффициенте асимметрии цикла нагружения, что расширит диапазон используемых нагрузок.

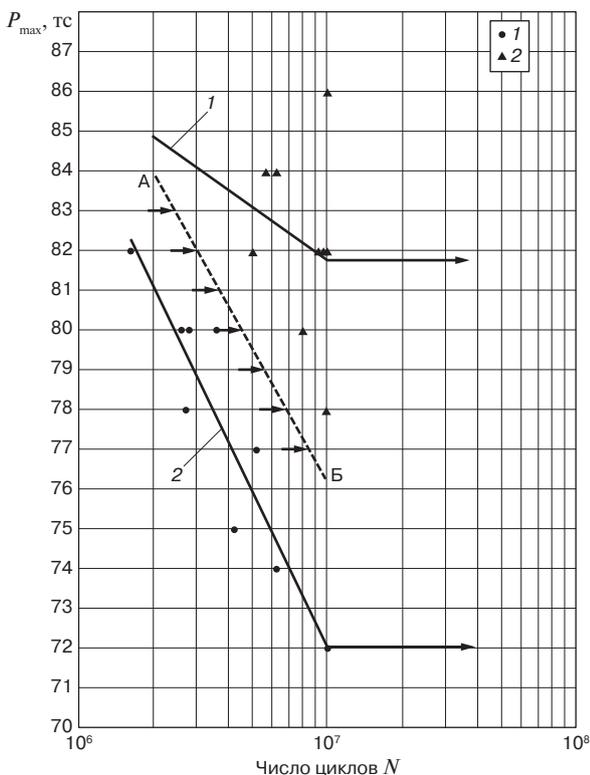


Рис. 2. Пример определения количества циклов нагружения (N) в случае испытаний надрессорных балок серийного (кривая 1) и перспективного (кривая 2) производства

2. При невозможности изломать детали новых конструкций повышенной прочности оценивать результаты испытаний в соответствии с нормированным количеством циклов нагружения на каждой испытательной нагрузке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К оценке запасов усталостной прочности надрессорных балок и боковых рам тележки ЦНИИ-ХЗ по результатам полных усталостных испытаний / В.С. Плоткин [и др.] // Тр. ВНИИвагоностроения. Вып. 35. М., 1978. С. 41–47.
2. Повышение надежности отливок «Рама боковая» / Ю.Ф. Воронин [и др.] // Техника железных дорог. 2011. №4. С. 62–64.
3. Оганьян Э.С., Красюков Н.Ф., Протопопов А.Л. Обоснование показателей сопротивления усталости несущих литых деталей тележек грузовых вагонов // Железнодорожный транспорт. 2011. № 10. С. 49–53.
4. Северинова Т.П. Расчетно-теоретическое обоснование живучести боковых рам и надрессорных балок с допустимыми дефектами // Вестник ВНИИЖТ. 2002. № 5. С. 40–45.
5. Коссов В.С., Волохов Г.М., Протопопов А.Л. Оценка периода живучести боковой рамы тележки грузового вагона с технологическими дефектами металла по критерию исчерпания несущей способности // Тр. VI Междунар. симпозиума по трибофатике (МСТФ 2010). Минск, 25 окт. — 1 нояб. 2010 г. Ч. 2. Минск: БГУ, 2010. С. 123–125.
6. Влияние низких температур на несущую способность надрессорных балок тележки грузовых вагонов / В.И. Шахов [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 1983. № 5. С. 41–42.

7. Георгиев М.Н., Межова Н.Я., Осташ О.П. Влияние низких температур на циклическую трещиностойкость стали // Циклическая трещиностойкость металлических материалов и элементов конструкций транспортных средств и сооружений: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Транспорт, 1984. С. 12–25.

8. Георгиев М.Н., Кудин В.Г. Критическая температура хрупкости в связи с условиями эксплуатационных разрушений // Заводская лаборатория. 1982. № 6. С. 69–71.

9. Исследование горячей, ударно-точечной и плазменной маркировки локомотивных бандажей / А.В. Кушнарев [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2007. № 3. С. 11–17.

10. Bazanov Y.A. Methodical Ensuring of Certification Tests for Car Wheelsets Elements. Proceedings of V International Scientific Railway Wheelsets conference. 2002. (Материалы 5-й Международной научной конференции по колесным парам. Катовице, Польша). С. 45–48.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

СУХОВ Алексей Владимирович, заведующий отделением «Транспортное материаловедение», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (499) 260-43-90. E-mail: a_sukhov@mail.ru

РЕЙХАРТ Владимир Александрович, заместитель заведующего лабораторией «Испытания материалов и конструкций», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (499) 260-46-56. E-mail: aleks.667@mail.ru

More on the Fatigue Resistance Assessment of the Freight Car Bogies' Cast Parts

Alexey V. Sukhov, Candidate of Technical Science, Head of Department for Transport Related Material Technology, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604390. E-mail: a_sukhov@mail.ru
Vladimir A. Reykhart, Candidate of Technical Science, Deputy-Head of Laboratory for Testing of Materials and Structures. JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604656. E-mail: aleks.667@mail.ru

Abstract. Quality of solebars and bolsters is assessed by the value of fatigue safety factor. In the respective calculations they use experimental fatigue limits of individual component parts obtained in the course of their fatigue testing. Enhancement of the railway car axle-loads, development of freight car bogie advanced design versions as well as increase in the number of part fracture events demand for revision of certain issues of the existing fatigue testing procedure.

Component parts testing of the new high-strength structures ought to be conducted under higher maximum loads within the loading cycle. However loads' maximum to minimum ratios depend on the permanent loads average, thus making impossible to employ all the necessary spectrum of testing loads. Meanwhile application of higher testing loads may result in emergence of plastic flow deformations and residual compression stresses, thus leading to overestimation of the testing results. Survival of the tested parts is also possible. So it is recommended:

- To conduct the tests at fixed value of the loading cycle asymmetry coefficient;
- To assess testing results specifically for the normalized number of the loading cycles at each testing load value.

It has been found that fractures occurred in operation under summer and winter conditions are practically similar in their character. They are characterized with small area of the fatigue crack

retarded development, which is evidence of the action of high stresses.

Fatigue tests of bolsters at temperature values of +20 ° and –60 °C demonstrated that negative temperature contributes to some extent to higher fatigue resistance of the component parts, thus delaying initiation of fatigue cracking process. However it also contributes to lesser critical size of the crack area, and as a consequence to worse survivability of the parts.

It has been indicated that the relationships obtained in the course of rig and field tests explain the reasons of a large number of solebar fracture events during cold seasons (emergence of critically-sized cracks, their extremely quick development and subsequent fracture in between the routine inspections).

Keywords: solebars; bolsters; fatigue resistance; durability; temperature; methodology

References

1. Plotkin V.S. et al. *K otsenke zapasov ustalostnoy prochnosti nadressornykh balok i bokovykh ram telezhki TsNII-Kh3 po rezul'tatam polnykh ustalostnykh ispytaniy* [Assessing the reserves of fatigue strength of bolsters and side frames of TsNII – X3 bogies based on the results of the full fatigue tests]. Tr. VNIИ vagonostroyeniya [Proc. of the SRI of Car-Building], 1978, no. 35, pp. 41–47.

2. Voronin Yu. F. et al. *Povyshenie nadezhnosti otlivok "Rama bokovaya"* [Improving the reliability of castings of "Side frame"]. *Tekhnika zheleznykh dorog*, 2011, no. 4, pp. 62–64.

3. Ogan'yan E. S., Krasnyukov N. F., Protopopov A. L. *Obosnovanie pokazateley soprotivleniya ustalosti nesushchikh litykh detaley telezhek gruzovykh vagonov* [Justification of indicators of fatigue resistance of cast carrying parts of freight car bogies]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2011, no. 10, pp. 49–53.

4. Severinova T. P. *Raschetno-teoreticheskoe obosnovanie zhi-vuchesti bokovykh ram i nadressornykh balok s dopustimymi defektami* [Calculation and theoretic study of sideframes and bolster beams survivability in the presence of permissible defects]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2002, no. 5, pp. 40–45.

5. Kossov V. S., Volokhov G. M., Protopopov A. L. *Otsenka peri-oda zhivuchesti bokovoy ramy telezhki gruzovogo vagona s tekhnologicheskimi defektami metalla po kriteriyu ischerpaniya nesushchey sposobnosti* [Evaluation of survivability period of the truck freight wagon side frame with technological defects of metal on the criterion of exhaustion of bearing capacity]. *Tr. VI Mezhdunar. simpoz. po tribofatike (MSTF 2010)*. Minsk, 25 okt. — 1 noyab. 2010 [Proc. 6th int. symp. on tribofatigue (MSTF 2010), Minsk, Oct. 25 — Nov. 01]. Minsk, BSU Publ., 2010, pt. 2, pp. 123–125.

6. Shakhov V. I. et al. *Vliyanie nizkikh temperatur na nesushchuyu sposobnost' nadressornykh balok telezhki gruzovykh va-*

gonov [The effect of low temperatures on the bearing capacity of bolsters of truck freight cars]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 1983, no. 5, pp. 41–42.

7. Georgiev M. N., Mezheva N. Ya., Ostash O. P. *Vliyanie nizkikh temperatur na tsiklicheskuyu treshchinostoykost' stali* [The effect of low temperatures on steel cyclic fracture toughness]. *Tsiklicheskaya treshchinostoykost' metallicheskih materialov i elementov konstruktivnykh sredstv i sooruzheniy: sb. nauch. tr. OAO "VNIIZhT"* [Cyclic fracture toughness of metallic materials and components of vehicles and buildings: Coll. of sci. works of JSC "VNIIZhT" (Railway Research Institute)]. Moscow, Transport Publ., 1984, pp. 12–25.

8. Georgiev M. N., Kudin V. G. *Kriticheskaya temperatura khrupkosti v svyazi s usloviyami ekspluatatsionnykh razrusheniy* [The critical temperature of brittleness due to the terms of service failures]. *Zavodskaya laboratoriya*, 1982, no. 6, pp. 69–71.

9. Kushnarev A. V., Bryunchukov G. I., Sukhov A. V., Bazanov Yu. A., Petrenko Yu. P., Markov D. P. *Issledovanie goryachey, udarno-tochechnoy i plazmennoy markirovki lokomotivnykh bandazhey* [Researching hot, impact-pointed and plasma marking of locomotive wheel tyres]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2007, no. 3, pp. 11–17.

10. Bazanov Yu. A. *Methodical ensuring of certification tests for car wheelsets elements*. Proc. 5th Int. Sci. Railway Wheelsets Conf. Katowice, Poland, 2002, pp. 45–48.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Актуальные проблемы экономики железнодорожного транспорта и пути их решения: сборник трудов ученых ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. О. Ф. Мирошниченко. М.: ВМГ-Принт, 2014. 258 с.

В сборнике трудов изложены результаты исследований по актуальным проблемам экономики железнодорожного транспорта: учет и анализ затрат на железнодорожные перевозки и прочие виды деятельности; формирование бюджетов на нормативной основе; особенности расчета себестоимости перевозок по отдель-

Повышение эффективности устройства и содержания железнодорожного пути: сборник трудов ВНИИЖТ / под ред. А. Ю. Абдурашитова. М.: ВМГ-Принт, 2014. 125 с.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований с применением методов математического моделирования по выбору оптимального профиля рельсов из условий минимизации уровня воздействия от колес подвижного состава. Рассмотрены основные показатели безотказности технических средств стрелочного хозяйства с учетом внедрения системы управления ресурсами и рисками (УРРАН). Изложены результаты разработки новой конструкции железобетонной шпалы, предназначенной для различных эксплуатационных условий, включая тяжеловесное и высокоскоростное движение. Предложены конструкции охранных приспособлений для безбалластного мостового полотна. Приво-

дим участкам сети железных дорог; экономическая оценка последствий и рисков структурных изменений на железнодорожном транспорте; методология оценки экономической эффективности технологических решений; предложения по совершенствованию системы ценообразования на железнодорожном транспорте.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся проблемами экономики и финансов железнодорожного транспорта, может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

дятся основные положения методики выбора оптимальных технических решений по стабилизации и усилению оседающих насыпей на мерзлоте в условиях БАМ.

Рассмотрены вопросы определения зависимости сопротивления конструкции скреплений внешнему воздействию от их фактического состояния. Представленные в сборнике работы направлены на повышение надежности функционирования конструкции железнодорожного пути в различных эксплуатационных условиях, могут быть полезны инженерно-техническим работникам железнодорожного транспорта, преподавателям и студентам транспортных вузов.

По вопросам предварительного заказа на приобретение книг обращайтесь в редакционно-издательский отдел ОАО «ВНИИЖТ», тел. (499) 260-43-20.