

УДК 629.4.027.27

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

М.И. ПАСТУХОВ

(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)

Даны анализ эксплуатационных повреждений и уровня выбраковки литых деталей неразрушающим контролем, оценка напряженного состояния боковой рамы и изменение ее сопротивления усталости при длительной эксплуатации.

Основное требование к литым деталям (боковым рамам и надрессорным балкам) тележек грузовых вагонов - обеспечение высокой надежности их работы за назначенный срок службы и безопасности движения поездов. Вероятность безотказной работы за назначенный срок службы установлена на уровне 0,99 и достигается в основном тремя факторами: качеством проектирования и изготовления деталей, уровнем эксплуатационных нагрузок, передающихся на детали. По этим параметрам производится оценка проектного срока службы (ресурса) боковых рам и надрессорных балок [1]; установлена: 30 лет - для деталей первого поколения 1956 - 1973 гг., изготовленных из малоуглеродистой стали 20Л (ГОСТ 977); 32 года - для деталей второго поколения их низколегированных сталей 20ГФЛ, 20ГЛ, 20ГТЛ (1974 - 2000 гг.); 35 лет - для деталей третьего поколения из стали 20ХГНФТЛ (с 2001 г.). Эти сроки значительно ниже полного срока, так как эти детали относятся к сложным крупногабаритным конструкциям с различными толщинами стенок, отливаемыми вручную, в которых практически невозможно обеспечить высокое качество литья (бездефектное). Литейные дефекты, попадая в зоны высоких напряжений деталей, становятся очагами зарождения усталостных трещин и разрушения деталей. Однако по геометрии элементов литых деталей их несущая способность достаточна, чтобы эксплуатировать боковые рамы и надрессорные балки свыше назначенного срока. Об этом свидетельствуют факты длительных исследований различных организаций Российской Федерации и авторов по заданию Белорусской железной дороги. Эти исследования охватывают все спектры жизненного цикла литых деталей: анализ эксплуатационных повреждений деталей, статистику о выбраковке деталей при плановых ремонтах, оценку напряженного состояния деталей с учетом эксплуатационных факторов, исследование влияния срока службы на изменение усталостных характеристик материала сталей 20Л и 20ГФЛ и натуральных деталей, изготовленных из этих марок сталей.

По данным [2], разрушения рам и надрессорных балок в эксплуатации, приводящие к браку, авариям или крушениям поездов, составляли до 7 случаев в год, с вероятностью не более 0,00001356 при нормируемой величине 0,01. Такая вероятность разрушения деталей в эксплуатации достигается достаточно высоким уровнем выявления трещин неразрушающими методами контроля при плановых ремонтах вагонов. Длительное время этот контроль осуществлялся визуально. Детали в зонах возможного появления трещин обмазывались керосином и обмелялись. В последующем контроль стал осуществляться физическими методами с использованием феррозондового или магнитопорошкового дефектоскопирования. На рисунке 1 представлена общая закономерность распределения зон появления трещин в деталях в эксплуатации и процент их от общего количества, выявленных при контрольном обследовании в вагонных депо при плановых ремонтах вагонов.

Сорокалетнее наблюдение за литыми деталями в эксплуатации показало, что усталостные трещины в них возникают уже на первых годах их работы (через 2,5 - 3 года). Однако детали продолжают работать без разрушения и после назначенного срока службы (30 лет).

Изучение закономерности влияния срока службы на повреждаемость их в эксплуатации, проведенное на предприятиях Белорусской железной дороги, показало, что хотя с ростом срока службы число выбраковываемых деталей при дефектоскопировании растет, но не является определяющим. Вероятность выбраковки через 30 лет работы деталей составляет 0,0023 и намного ниже нормируемой вероятности 0,01. Из 29 078 обследованных боковых рам и надрессорных балок выбраковано 138 (0,0047), в том числе со сроком службы более 30 лет - 69 (0,0023). То есть к 30 годам службы литых деталей с вероятностью 0,9977 в них отсутствуют усталостные трещины и они могут продолжать работать. Зависимость числа выбракованных боковых рам и надрессорных балок от срока службы представлена на рис. 2.

Для выяснения причин возникновения усталостных трещин в боковых рамах и надрессорных балках произведена оценка их напряженного состояния на нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации. Первый режим (I) - поезд трогается с места, экстренное торможение с малыми скоростями движения и соударение вагонов на сортировочных горках при маневровой работе и третий режим (III) - движение поезда с максимальной скоростью 33 м/с (120 км/ч) по магистральным путям железных дорог. Расчет выполнен методом конечных элементов и для краткости приведен для одной детали - боковой рамы.

Расчетные нагрузки для I режима во время экстренного торможения составили: вертикальная $P = 328$ кН; продольная $T = 27$ кН; поперечная $H = 36,8$ кн. При III режиме $P = 329$ кН; $T = 5,5$ кН и $H = 31,75$ кН. Результаты расчета приведены в таблице.

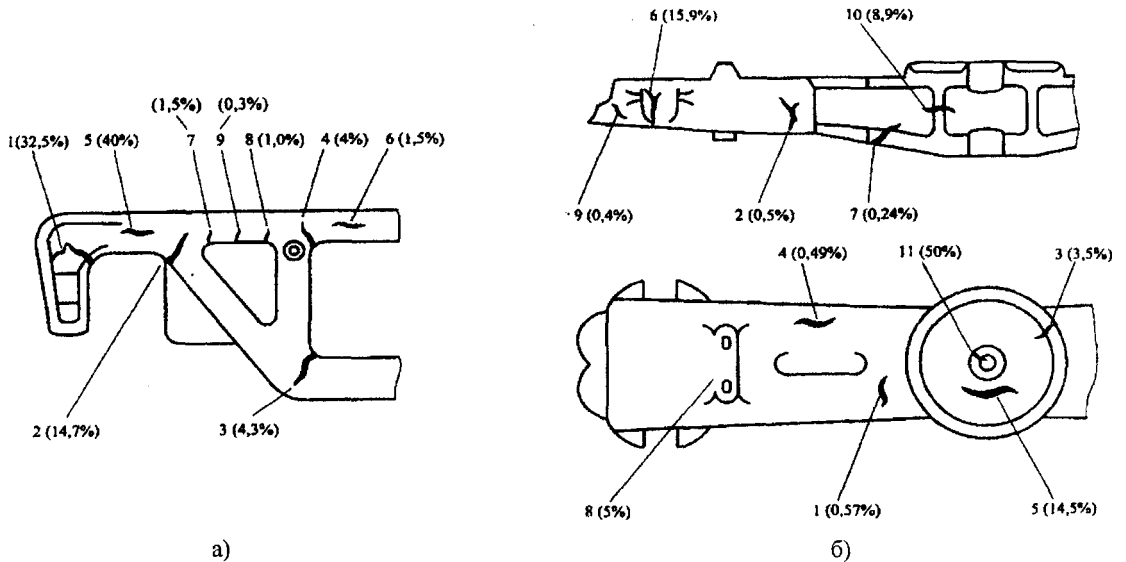


Рис. 1. Зоны появления усталостных трещин и процент их распределения: а - по боковым рамам; б - надрессорным балкам

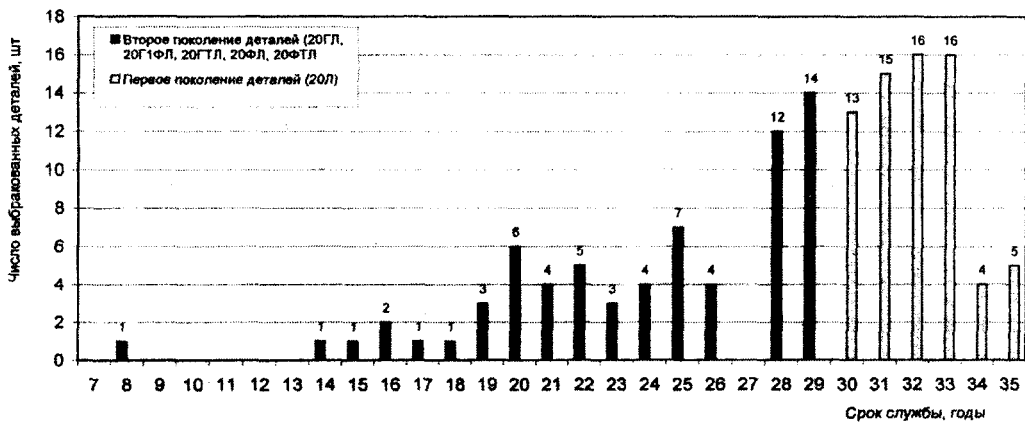


Рис. 2. Зависимость числа выбракованных боковых рам и надрессорных балок от срока службы

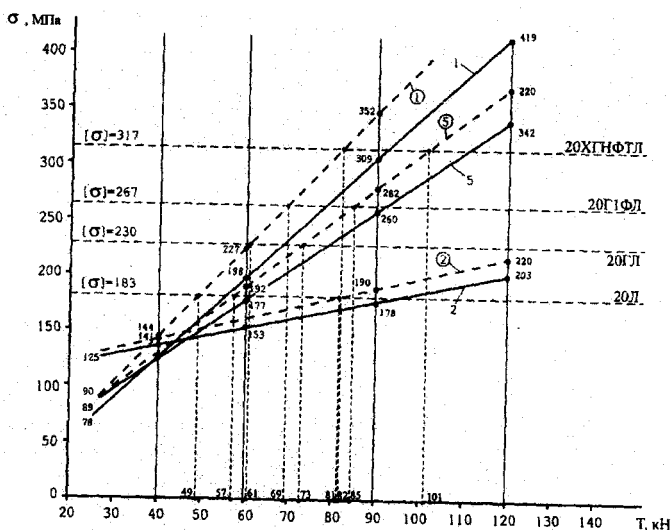
Зависимость напряжений в боковой раме от режима нагружения при движении по магистральным путям при действии вертикальной, продольной и поперечной силы

Наименование зоны	Код зоны	Номер КЭ	Величина напряжений, МПа	
			I режим	III режим
Наружный угол буксового проема	1	576	77,4	13,4
Внутренний угол буксового проема	2	958	123,4	108,3
Внутренний угол буксового проема	2	715	116,1	102,7
Нижний угол рессорного проема	3	485	83,6	83,9
Нижний угол рессорного проема	3	487	76,8	76,2
Опоры рамы на буксу	5	584	88,3	43,9
Опоры рамы на буксу	5	585	61,3	53,9
Верхний пояс рессорного проема	6	892	38,3	39,7
Верхний наклонный пояс в правом технологическом углу	9	872	48,2	47,9
Верхний наклонный пояс в правом технологическом углу	9	874	47,9	50,0
Нижний наклонный пояс	10	771	49,0	47,0
Нижний наклонный пояс	10	1011	52,4	50,1
Нижний пояс рессорного проема	11	1053	78,9	78,6
Нижний пояс рессорного проема	11	1090	76,9	76,6

Анализ таблицы показывает, что при движении вагона по магистральным железным дорогам как при I, так и при III режиме нагружения напряжения не превышают допускаемых для стали 20Л соответственно 183 и 130 МПа. При обоих режимах нагружения наибольшие напряжения возникают во внутреннем углу буксового проема (зона 2) и при I режиме составляют 116...123 МПа ($0,67[\sigma]$), а при III режиме – 102,7...108,3 МПа ($0,83[\sigma]$). Следовательно, в этом режиме движения вагонов в рамках эксплуатационные трещины возникнуть не могут (при условии отсутствия литейных дефектов).

Однако при роспуске вагонов с сортировочной горки расчетная продольная сила в зависимости от режима соударения может возрасти с 27 кН до 120 кН и тогда напряженное состояние рамы резко меняется. Особенно оно усугубляется, если продольные и поперечные зазоры между корпусом буксы и буксовым проёмом возрастают до предельно допустимых значений (15 мм - вдоль вагона и 13 мм - поперек вагона). В этом случае колесная пара становится по отношению к раме с перекосом и корпус буксы передает нагрузки на наружную «челюсть» рамы, не по всей ее площади опирания, а кромочно. При таком режиме нагружения и техническом состоянии тележки напряжения в буксовом проёме превышают допускаемые и приводят к появлению усталостных трещин в эксплуатации.

На рисунке 3 приведена зависимость напряжений в буксовом проёме от рассмотренных факторов, из которой следует, что в зоне наиболее вероятного появления трещин (зона 1) при равных прочих условиях, но появлении продольной силы величиной $T = 55$ кН, напряжения достигают допускаемых значений 183 МПа для стали 20Л. С перекосом колесной пары напряжения достигают допускаемых значений при продольной силе величиной $T = 49$ кН.



— сплошные линии с равномерной передачей продольной нагрузки от корпуса буксы на раму;
 - - - - пунктирные линии с неравномерной (кромочной) передачей продольной нагрузки от корпуса буксы на раму

Рис. 3. Зависимость напряжений в буксовом проеме рамы тележки модели 18-100 от продольной силы T при постоянной вертикальной силе 328 кН:

1 - в наружном углу буксового проема; 2 - во внутреннем углу буксового проема;
 5 - в горизонтальном поясе под опорой на буксу

Процесс усталостного разрушения литых деталей в эксплуатации многофакторный. Он зависит от режима эксплуатации вагона, технического состояния тележек, качества литья, материала, из которого они изготовлены и др.

Согласно гипотезе о линейном накоплении усталостных повреждений, с ростом срока службы деталей идёт процесс накопления повреждений - вначале на микроуровне, а затем он переходит на макроуровень в виде усталостной трещины, которая, развиваясь, приводит в конечном итоге к их разрушению. Но литые детали обладают той особенностью, что в них неизбежно в процессе изготовления появляются литейные дефекты, которые, являясь концентраторами напряжений, приводят к ускорению возникновения трещин. И как следствие, процесс появления трещин начинается на начальной стадии эксплуатации вагонов (через 2,5 - 3 года). Эти детали при диагностировании во время плановых ремонтов вагонов выбраковываются, и к периоду выработки назначенного срока службы в эксплуатации остаются в основном бездефектные детали. Влияние литейных дефектов на усталостную прочность литых деталей достаточно изучено во ВНИИЖТе [3]. Они показали, что литейные дефекты снижают усталостную прочность дета-

лей на 30 %. Но эти исследования были проведены на новых деталях. Чтобы проверить влияние выбраковки дефектных деталей в процессе их эксплуатации, проведены усталостные испытания боковых рам и надрессорных балок после их 30-летней работы и сопоставлены с результатами усталостных испытаний новых деталей в состоянии их поставки.

На рис. 4 приведены кривые выносливости при вероятности неразрушения 0,95 новых боковых рам, изготовленных из сталей 20Л и 20ГФЛ, и аналогичных рам из стали 20 Л после длительной эксплуатации. Сравнение кривых выносливости показывает, что длительная эксплуатация боковых рам не только не приводит к снижению их предела выносливости, но, наоборот, приводит к их росту на 28 %. Это, с одной стороны, хорошо согласуется с результатами [3] о том, что бездефектные детали обладают повышенным пределом выносливости; с другой стороны, показывает, что к назначенному сроку службы (30 лет) литые детали не вырабатывают свою несущую способность и сохраняют достаточный потенциал для дальнейшей работы. Литые детали в состоянии поставки, изготовленные из низколегированной стали (20 ГФЛ), обладают на 33 % большей усталостной прочностью по сравнению с деталями, изготовленными из малоуглеродистой стали 20Л. Следует ожидать, что несущая способность к выработке назначенного срока службы будет не ниже, чем они обладают ей в состоянии поставки. Аналогичные результаты получены и по надрессорным балкам.

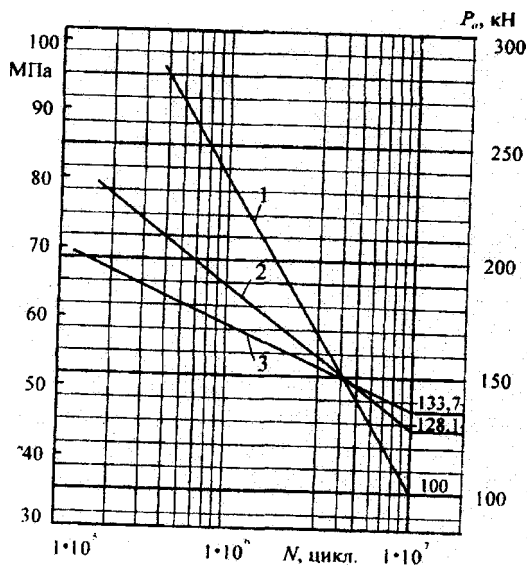


Рис. 4. Кривые выносливости боковых рам:
 1 -- новых из стали 20Л; 2 - после 30 лет эксплуатации из стали 20Л; 3 - новых из стали 20ГФЛ

Таким образом, на основании проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Боковые рамы и надрессорные балки к назначенному сроку службы (30 лет) не вырабатывают свой технический ресурс и могут продолжать дальнейшую работу.
2. При эксплуатации в литых деталях возникают усталостные трещины, которые являются следствием появления в них литых дефектов в зонах высоких напряжений и особого режима движения вагонов по сортировочной горке при маневровых работах.
3. Появляющиеся при эксплуатации усталостные трещины могут быть выявлены при современной технологии неразрушающего контроля деталей при плановых видах ремонта вагона, о чем свидетельствует низкая вероятность разрушения деталей в эксплуатации ($P = 0,000001356$).
4. Новый срок службы литых деталей может быть установлен по результатам проведенных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) // Разраб. ВНИИВ, ВНИИЖТ. - М., 1996. - 318 с.
2. Кондрашов С.П. Безопасности движения - пристальное внимание // Вагоны и вагонное хозяйство. Пилотный выпуск. - М., 2004. - С. 14 - 15.
3. Попов С.И., Худякова Н.А. Выбор критерия для оценки влияния литых дефектов на циклическую прочность деталей тележек грузовых вагонов // Повышение надежности и совершенствование ремонта вагонов: Сб. науч. тр. - М.: ЦНИИ МПС, 1982. - Вып. 652. - С. 115 - 120.