УДК 539.3:4

А. В. Якушев, Я. О. Рузметов, С. О. Комиченко
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ОБРАЗЦА С ЦЕЛЬЮ ПОСТРОЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ ДИАГРАММЫ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ ЛИТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ВНУТРЕННИХ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ

Рассмотрены основные причины снижения усталостной прочности боковых рам в эксплуатации и в стендовых испытаниях. Отмечено, что значения критических коэффициентов интенсивности напряжений для литых сталей с учетом внутренних литейных дефектов подлежат определению.

Предложен и обоснован оригинальный образец с центральным инициирующим надрезом для получения критических коэффициентов интенсивности напряжений, отражающий поведение внутреннего литейного дефекта в стенке боковой рамы.

внутренний литейный дефект, боковая рама, коэффициент интенсивности напряжения.

Введение

В настоящее время на сети железных дорог России и некоторых стран СНГ сформировалась чрезвычайно неблагоприятная ситуация в сфере безопасности движения, связанная со значительным увеличением числа случаев изломов боковых рам тележек грузовых вагонов [1]. Эти изломы боковых рам происходят исключительно по радиусу R55 внутреннего угла буксового проема (рис. 1).

Причинами изломов исследователи отмечают в основном недопустимые внутренние и наружные литейные дефекты, нарушения режимов термообработки боковых рам на заводах-изготовителях, условий эксплуатации. Если наружные литейные дефекты и несоответствующие режимы термообработки можно устранить путем ужесточения технологической дисциплины на предприятиях, то обнаружение внутренних литейных дефектов возможно не всегда. Зачастую внутренние дефекты залегают в галтелях, границах ребер жесткости, Т-образных сечениях элементов боковых рам (рис. 2), обладающих низкой контролепригодностью для методов неразрушающего контроля.

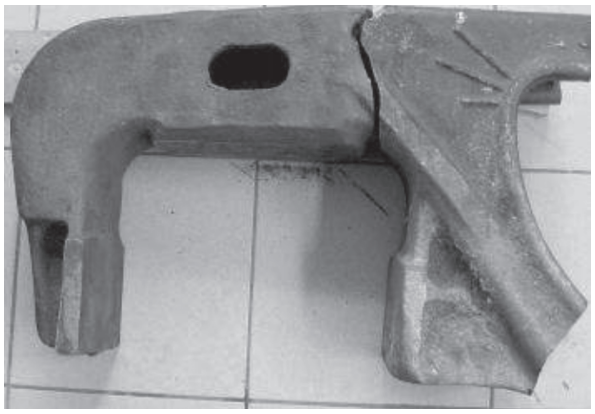


Рис. 1. Излом боковой рамы по внутреннему углу буксового проема

На практике именно такие дефекты в виде усадочных раковин и песочных засоров, с острыми границами, локализованные в нагруженных зонах боковых рам, приводят к повышенной концентрации напряжений в острых вершинах. Возникновение нормальных напряжений в острых вершинах внутреннего литейного дефекта сводится к симметричному (относительно линии трещиноподобного внутреннего литейного дефекта) деформированию, т. е. к трещине отрыва.

Практические исследования изломов боковых рам в стендовых испытаниях под-

Рис. 2. Излом боковой рамы с внутренним литейным дефектом

тверждают, что усталостные трещины зарождаются в острых вершинах внутренних литейных дефектов при симметричном деформировании [2]. Обратносимметричное деформирование (т. е. поперечный и продольный сдвиг) не способствует зарождению и развитию усталостных трещин в вершинах внутренних литейных дефектов.

Исследования трещиностойкости литых сталей типа 20Л позволяют установить критерии разрушения для боковых рам тележек грузовых вагонов при наличии поверхностных трещин и симметричного деформирования [3–5]. Вопрос применимости установленных критериев при попадании внутреннего литейного дефекта в нагруженную зону боковой рамы подлежит изучению, поэтому определение экспериментальных значений критических коэффициентов интенсивности напряжений для литых сталей с учетом внутренних остроугольных дефектов весьма актуально. Это позволит уточнить имеющиеся методики расчета запаса сопротивления усталости боковых рам с внутренними литейными дефектами.

1 Постановка задачи

В настоящей работе поставлена задача: разработать и обосновать конфигурацию образца с инициирующим надрезом для испытаний на центральное растяжение, который позволит имитировать напряженное состояние в вершине остроугольного внутреннего литейного дефекта, расположенного в характерном сечении боковой рамы.

2 Выбор типа образца

Базовая конфигурация образцов с инициирующими надрезами для определения параметров кинетической диаграммы усталостного разрушения приведена в ГОСТ 25.506. Однако только два типа образцов позволяют получить значения порогового коэффициента интенсивности напряжений K_{th} и циклической вязкости разрушения K_{fc} (рис. 3), необходимых в расчетах боковых рам с внутренними литейными дефектами. Эти образцы имеют надрез для внецентренного и центрального растяжения (рис. 4).

В научных трудах установлена необходимая для расчетов критериальная величина K_{th} на образцах с внецентренным растяжением [3–5]. Эти данные можно использовать для прогнозирования допустимых длин поверхностных трещин в боковых рамах, обнару-

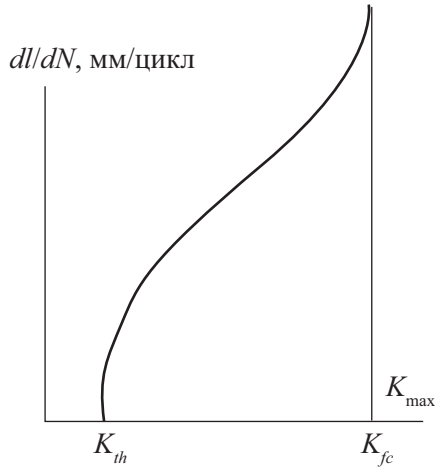
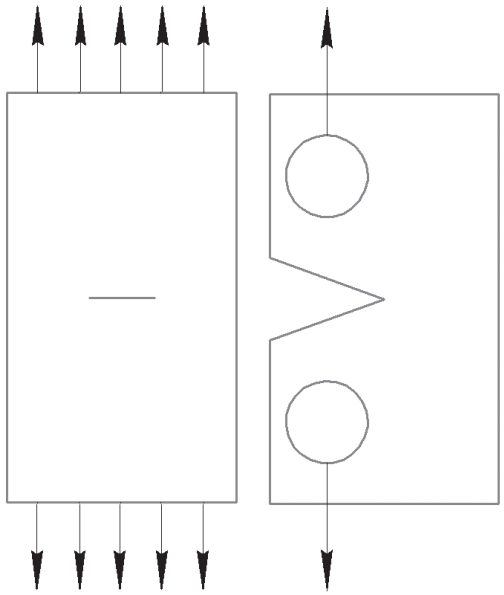


Рис. 3. Типовая кинетическая диаграмма усталостного разрушения образца



а) б)

Рис. 4. Схемы нагружения образцов с инициирующим надрезом при центральном (а) и внецентренном (б) растяжении по ГОСТ 25.506

живаемых при эксплуатации. Отметим, что условия нагружения в зоне острых вершин внутреннего дефекта отличаются от поверхностного дефекта, так как имеется больший запас упругой энергии вокруг дефекта в теле и отсутствуют изгибающие моменты.

Поэтому предполагается различие параметров K_{th} и K_{fc} при центральном и внецентренном растяжении. Исследования K_{th} и K_{fc} при наличии внутреннего литейного дефекта в сечениях боковых рам целесообразно проводить на плоских прямоугольных образцах с центральным надрезом и испытывать их на осевое растяжение.

3 Обоснование основных размеров образца

Требование ГОСТ 25.506 к ширине образца с инициирующим надрезом пересмотрены в сторону уменьшения до толщины стенки боковой рамы, в которой наиболее часто встречался внутренний литейный дефект, обнаруживаемый в ходе испытаний на усталость. Изучено 70 изломов боковых рам. На рис. 5 приведено распределение внутренних литейных дефектов по толщине стенок обследованных боковых рам.

Из рис. 5 видно, что толщина стенки боковой рамы, в которой наиболее часто встречался внутренний дефект, составила 17,5 мм. Общее число дефектов, выявленное на этой толщине, составило 21 шт., поэтому ширина образца для испытаний принимается с округлением до 18 мм.

Конфигурация центрального инициирующего надреза в образце, подобного остроугольному внутреннему литейному дефекту в стенке боковой рамы, сохранена по ГОСТ 25.506.

Площадь описанного прямоугольника инициирующего надреза в образце выбира-

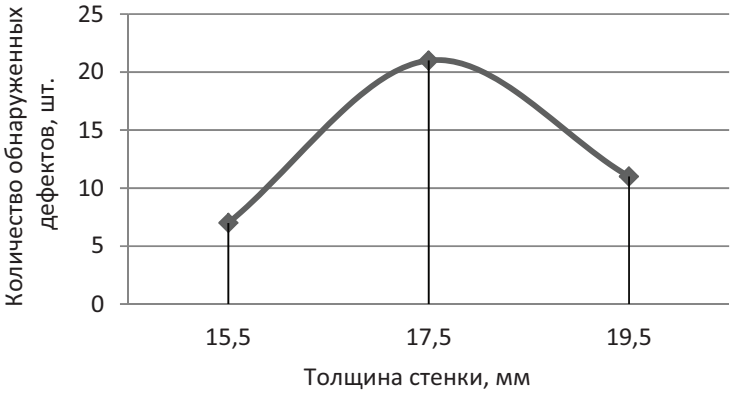


Рис. 5. Распределение внутренних литейных дефектов по толщине стенок разрушенных боковых рам

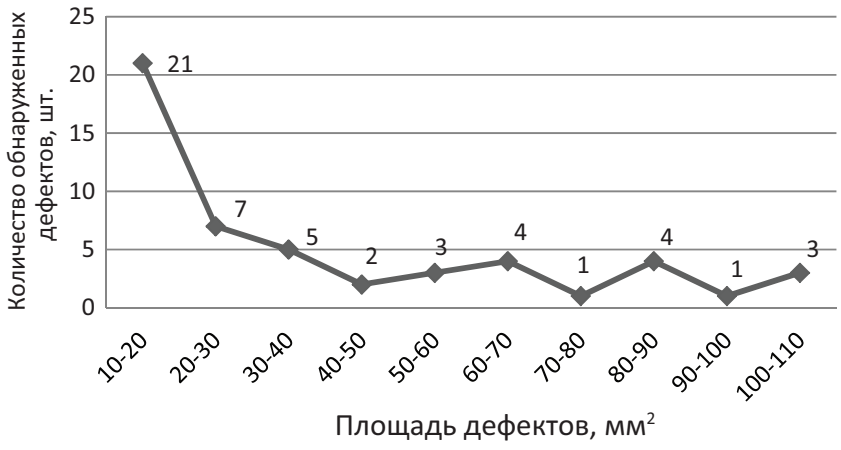


Рис. 6. Распределение дефектов по площади

лась таким образом, чтобы она была эквивалентна средней площади описанного прямоугольника для наиболее часто встречающихся дефектов в изломах боковых рам (рис. 6).

Толщина образца выбрана согласно ГОСТ 25.506 – 2 мм. Захватные части образца адаптированы к испытательной машине УРС-2000. Схема нагружения образца с инициирующим надрезом в испытаниях эквивалентна нагружению стенки боковой рамы, содержащей внутренний литейный дефект, в эксплуатации (рис. 7).

В результате выполненных обоснований разработан чертеж образца (рис. 8), твердотельная модель образца в программе Solid Works. По компьютерной модели образца специалисты испытательной лаборатории «Механическая лаборатория им. проф. Н. А. Белелюбского» ФГБОУ ВПО ПГУПС написали программу изготовления для обрабатывающего центра с ЧПУ, изготовили специальный режущий инструмент для протяжки инициирующего надреза и опытную партию образцов для испытаний в условиях центрального растяжения.

Выводы

Разработанный и обоснованный образец с инициирующим надрезом для испытаний на центральное растяжение позволит опре-

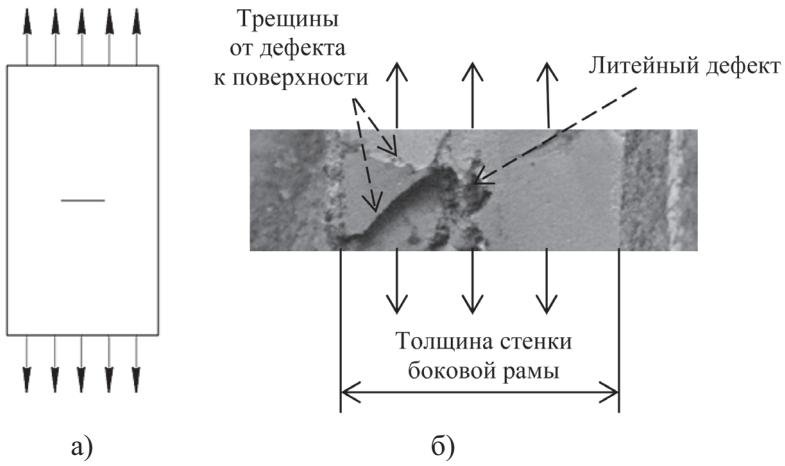


Рис. 7. Эквивалентные схемы нагружения образца с инициирующим надрезом в испытаниях (а) и стенки боковой рамы с внутренним литейным дефектом в эксплуатации (б)

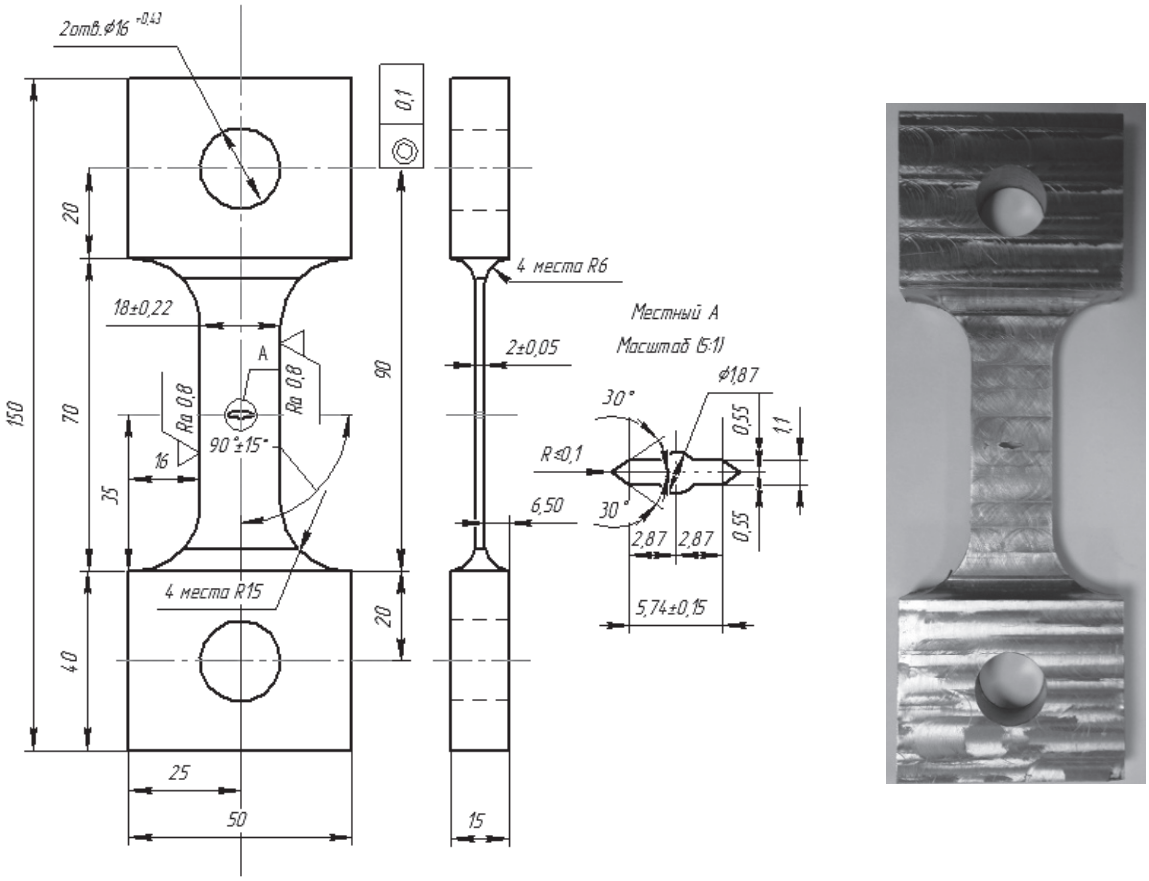


Рис. 8. Опытный образец для испытаний на центральное растяжение

делить значения порогового коэффициента интенсивности напряжения K_{th} и циклической вязкости разрушения K_{fc} для литых сталей с учетом внутренних остроугольных дефектов.

Образец имеет ширину, согласованную с толщиной стенки боковой рамы, в которой наиболее часто попадается внутренний дефект.

Площади описанных прямоугольников инициирующего надреза образца и реальных внутренних дефектов среднего размера в изломах боковых рам эквивалентны.

Библиографический список

1. **Моделирование** напряженного состояния боковых рам грузовых тележек с внутренними литейными дефектами / А. Е. Карибжанов, А. В. Якушев, Я. О. Рузметов // Науч. журн. министерства образования и науки Республики Казахстан «Поиск». – 2011. – № 4 (1). – С. 290–294.

2. **О путях** повышения эксплуатационной надежности стальных литых деталей тележек грузовых вагонов / Т. Е. Конькова, В. Б. Беловодский, А. В. Великанов // Вестн. ВНИИЖТ. – 2009. – № 1. – С. 22–26.

3. **Исследование** трещиностойкости сталей литых деталей тележек грузовых вагонов после длительного периода эксплуатации / Т. П. Северинова // Вестн. ВНИИЖТ. – 1999. – № 3. – С. 35–40.

4. **Вероятностное** прогнозирование длительности развития усталостных трещин в литых сталях деталей грузовых вагонов / В. Н. Змеева, С. Г. Лебединский // Вестн. ВНИИЖТ. – 2000. – № 2. – С. 44–47.

5. **Статистические** закономерности развития усталостных трещин в литых сталях деталей грузовых вагонов / В. Н. Змеева, С. Г. Лебединский // Вестн. ВНИИЖТ. – 1999. – № 3. – С. 26–31.