

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Аннотация Эксплуатация подвижного состава железнодорожного транспорта, сопровождается воздействием не его детали динамических нагрузок, значения которых достигает значительных величин, что вызывает возможность возникновения их усталостного разрушения.

Обеспечение усталостной прочности деталей достигается путём оптимизации их форм и выбора соответствующих материалов. Такой процесс, как правило, связан с ресурсными испытаниями готовых изделий, и соответственно, увеличивает сроки и стоимость внедрения новых конструкций.

В статье предлагается стенд, который позволит заменить ресурсные испытания готовых изделий лабораторными испытаниями образцов материалов деталей.

Возможность замены ресурсных испытаний лабораторными обеспечивается путем применения образцов материалов особой формы, позволяющей получить в последнем получить напряжённо-деформированное состояние, соответствующее тому, которое возникает в деталях подвижного состава имеющих сложные геометрические формы.

Образец для оценки прочности материала при сложном напряженном состоянии выполнен в виде круглой пластины, на противоположных сторонах которой выполнены канавки соответственно, расположенные диаметрально и направленные под прямым углом одна к другой. Между поверхностями канавок, служащих концентраторами механических напряжений, образована перемычка материала образца, расположенная в центральной зоне пластины. Пластина опирается на основание. Испытания образца проводятся при воздействии испытательного усилия, приложенного перпендикулярно к его центральной зоне

Для испытания образца применён стенд, позволяющий создать нагрузку силой от сжатой до заданного значения пружины через рычаг и пуансон сферического профиля, а циклическое изменение нагрузки осуществляют путем уменьшения реакции пружины с помощью системы вращающихся эксцентриков. Вращение эксцентриков осуществляется с помощью мотор редуктора с частотой 1 Гц.

На основе анализа существующих конструкций машин для испытания материалов, а также выбора рациональной формы образца испытываемого материала разработан и изготовлен стенд испытания материалов на усталостную прочность, позволяющий проводить оценку ресурса готовых изделий в лабораторных условиях.

Ключевые слова: прочность материалов, усталостная прочность, усталостное разрушение, ресурс деталей, надёжность деталей вагонов, образцы материалов для испытания на прочность, стенды для испытания материалов, напряжённо деформированное состояние, машины испытательные, прочность конструкций, подвижной состав железнодорожного транспорта.

V.N. Zheleznyak¹, L.B. Tsvik¹, O.L. Malomyzhev¹, L.V. Martynenko¹

¹Irkutsk State University of Railway, Irkutsk, Russian Federation

STAND FOR TESTING MATERIALS FOR FATIGUE STRENGTH

Abstract. The operation of railway rolling stock is accompanied by the impact of dynamic loads that are not part of it, which reaches significant values, which causes the possibility of their fatigue failure.

Ensuring the fatigue strength of parts is achieved by optimizing their shapes and selecting the appropriate materials. This process is usually associated with resource testing of finished products, and consequently increases the time and cost of implementing new designs.

The article offers a stand that will replace the resource tests of finished products with laboratory tests of samples of materials of parts.

The possibility of replacing resource tests with laboratory tests is provided by using samples of materials of a special shape, which makes it possible to obtain in the latter a stress-strain state corresponding to that which occurs in parts of rolling stock with complex geometric shapes.

The sample for assessing the strength of a material under a complex stress state is made in the form of a round plate, on opposite sides of which there are grooves, respectively, located diametrically and directed at right angles to each other. Between the surfaces of the grooves that serve as mechanical stress concentrators, a bridge of the sample material is formed, located in the Central zone of the plate. The plate rests on the base. The sample is tested when a test force is applied perpendicular to its Central area

To test the sample, a stand is used that allows creating a load by force from a compressed spring to a given value through a lever and a spherical profile punch, and a cyclic change in the load is carried out by reducing the reaction of the spring using a system of rotating eccentrics. The rotation of the eccentrics is carried out using a gear motor with a frequency of 1 Hz.

Based on the analysis of existing structures of machines for testing materials, as well as the choice of a rational form of the sample of the tested material, a test stand for fatigue strength of materials was developed and manufactured, which allows evaluating the resource of finished products in laboratory conditions.

Keywords: strength of materials, fatigue strength, fatigue failure, component life, reliability of car parts, samples of materials for strength testing, stands for testing materials, stress-strain state, testing machines, structural strength, rolling stock of railway transport.

Введение

В процессе эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта, все его элементы подвергаются динамическим нагрузкам, значения которых могут изменяться в широком диапазоне [1]. Известно, что для таких условий работы характерно усталостное разрушение деталей [2, 3].

Одним из способов оценки усталостной прочности деталей является ресурсное испытание образцов материалов из которых они изготовлены [4, 5, 6, 7, 8]. Вследствие того, что детали подвижного состава имеют сложные геометрические формы, испытания образцов, как правило, не позволяют получить фактический характер напряжённо-деформированного имеющего место в реальных изделиях. В результате, для получения достоверных результатов, приходится проводить ресурсных испытаний готовых изделий в процессе конструкторско-доводочных работ. Такие испытания связаны с достаточно высокими стоимостными и временными затратами.

Таким образом, разработка образцов материалов деталей определённой геометрической формы и выбора способа их нагружения, позволяющего создать в них напряжённо-деформированное состояние, такое же, как в готовых изделиях, позволит заменить их ресурсные испытания на стендовые испытания образцов материалов из которых они изготовлены.

В статье предложен стенд, позволяющий проводить испытания образцов материалов на усталостную прочность, позволяющий моделировать напряжённо-деформированное состояние большинства готовых и вновь изготавливаемых деталей подвижного состава. Применение стенда позволит значительно снизить затраты на изготовление и внедрение совершенных конструкций подвижного состава, что является актуальной задачей.

Конструкция стенда

При разработке стенда решена задача создания изменяющейся по величине циклической нагрузки на испытуемый образец. Величина нагрузки изменяется от нулевого значения до максимального по синусоидальному закону. При этом, максимальное значение нагрузки может быть задано в диапазоне $20 \div 100$ кН (рис. 1).

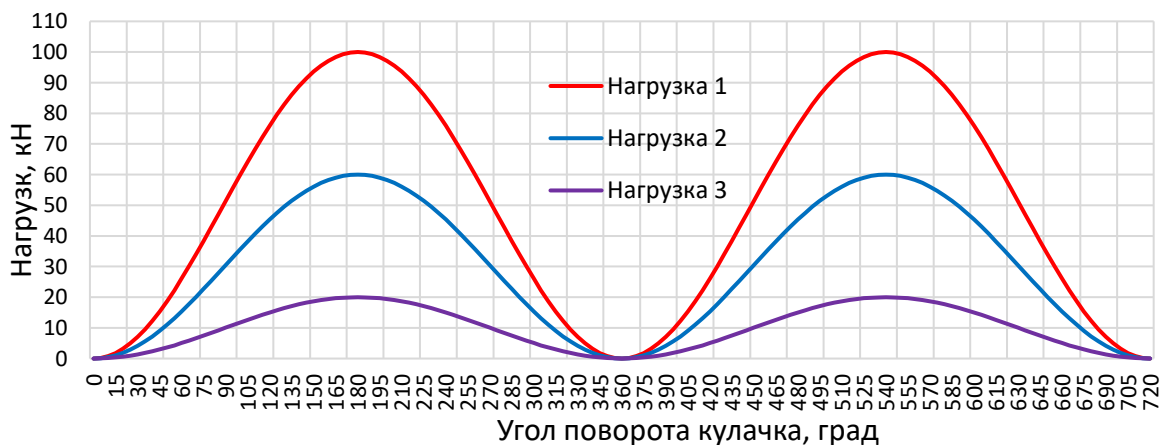


Рис. 1. Изменение нагрузки на образец

Стенд для испытания пластинчатого образца на усталостную прочность (рис. 2) [9, 10] имеет следующую конструкцию. На металлической платформе 1 установлена стойка 2, шарнирно соединенная с рычагом 3. Рычаг выполнен из двух параллельно расположенных пластин для повышения прочности и создания пространства для других деталей. На конце короткого плеча рычага между двух пластин шарнирно вставлен пуансон 4, оказывающий давление на пластинчатый образец 5, помещенный на полулю цилиндрическую опору 6 в виде полого цилиндра со ступенчатым изменением диаметра его внутренней поверхности. На определенном расстоянии от оси рычага, определяемом из условия создания на испытываемый образец испытательного циклического усилия необходимой величины, установлена П-образная стойка с подвешенной к верхней полке пружины 8, которая верхней стороной упирается в рычаг. Подвеска пружины выполнена в виде шпильки 9, у которой снизу приварен фланец 10 для посадки пружины, а верхнее резьбовое окончание служит для создания необходимого предварительного сжатия пружины с помощью гайки 11. Шпилька подвески проходит между пластин рычага и выходит через отверстие на верхней полке П-образной стойки. Концевая часть длинного плеча содержит опорный ролик 12, который контактирует с одним из эксцентриков 13. Для вращения эксцентриков их ось с помощью муфты соединена с регулируемым электроприводом, в качестве которого может быть использован стандартный мотор-редуктор (на схеме не показан).

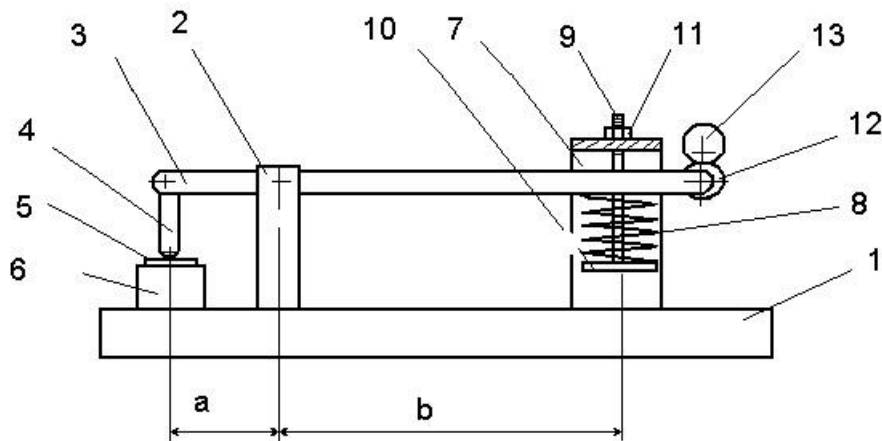


Рис. 2. Схема стенда для испытания образцов

При испытании образец укладывается на опорный полый цилиндр 6 со ступенчато изменяющимся внутренним диаметром. При этом цилиндрическая пластина-образец имеет наружный диаметр равный по величине внутреннему диаметру большей величины полый цилиндрической опоры 6, создавая при этом возможность опирания испытываемого образца на внутреннюю ступень полого цилиндра в зоне в зоне ступенчатого изменения его внутреннего диаметра. С помощью гайки 11 предварительно создаётся сжатие пружины 8, которое передается через рычаг 3 и пуансон 4 на образец 5, создавая расчетную нагрузку на испытываемый образец. При этом в образце создается сложное напряженное состояние с заданной характеристикой вида НДС, возникающего под воздействием испытательного усилия. В процессе своего вращения эксцентрик 13 позволяет при нажатии на опорный ролик 12 частично уменьшить или полностью снять усилие, действующее на образец. Величина усилия, действующего в процессе испытаний, при этом может регистрироваться с помощью специальной тензометрической системы, фиксирующей величины деформаций и, соответственно, усилий, передаваемых на образец рычагом 3. Один цикл действия испытательной нагрузки на образец соответствует при этом одному обороту эксцентрика 13. После проведения определенного числа циклов нагружения в процессе испытаний проводится неразрушающий контроль образца для выявления появляющихся усталостных трещин в его рабочей зоне.

Общий вид установки представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Стенд для испытания образцов материала на усталостную прочность

Конструкция образца материала

Геометрическая форма образца [4] материала разработана на основании исследований существующих методов испытаний образцов [11, 12, 13], а также анализа методов определения напряжённо-деформированного состояния [14, 15, 16, 17, 18].

Схема образца со стороны нагружения представлена на рисунке 4; на рисунке 5 – поперечный разрез образца по линии А–А на рис. 4 с канавкой, имеющей U-образный профиль сечения и размещенной на стороне нагружения пластины; на рисунке 5 - поперечный разрез образца по линии Б–Б на рисунке 4 с канавкой, имеющей U-образный профиль сечения и размещенной на стороне опирания пластины; на рисунке 7 - четвертая часть образца в аксонометрической проекции с канавками и перемычкой; на рисунке 8 - четвертая часть пластины образца в аксонометрической проекции с продольным разрезом канавки, размещенной на стороне опирания пластины, поверхность канавки имеет форму поверхности вращения, а поперечное сечение этой поверхности имеет U-образную форму; на рисунке 9 - четвертая часть пластины образца в аксонометрической проекции с продольным разрезом канавки, размещенной на стороне опирания пластины, поверхность канавки имеет форму поверхности вращения, а поперечное сечение этой поверхности имеет V-образную форму.

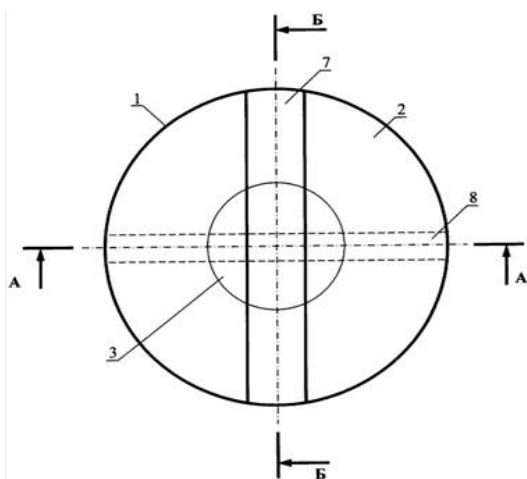


Рис. 4.

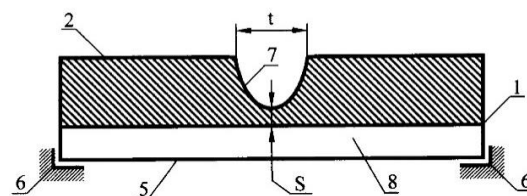


Рис. 5.

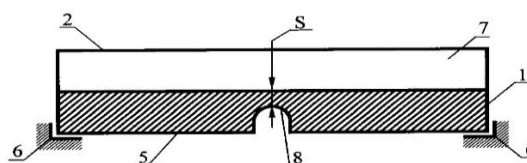


Рис. 6.

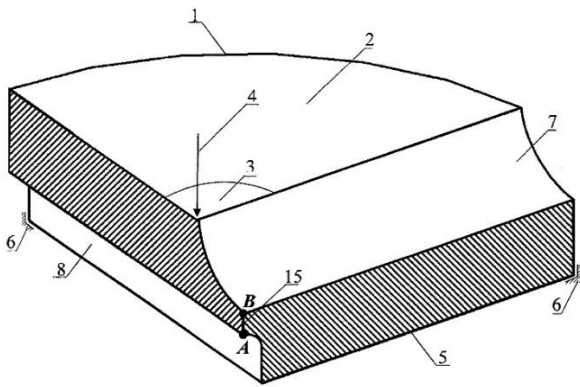


Рис. 7.

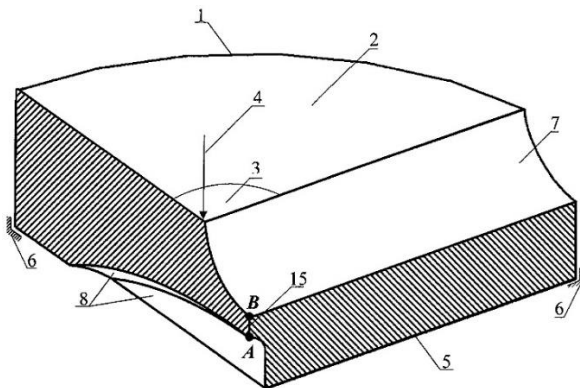


Рис. 8.

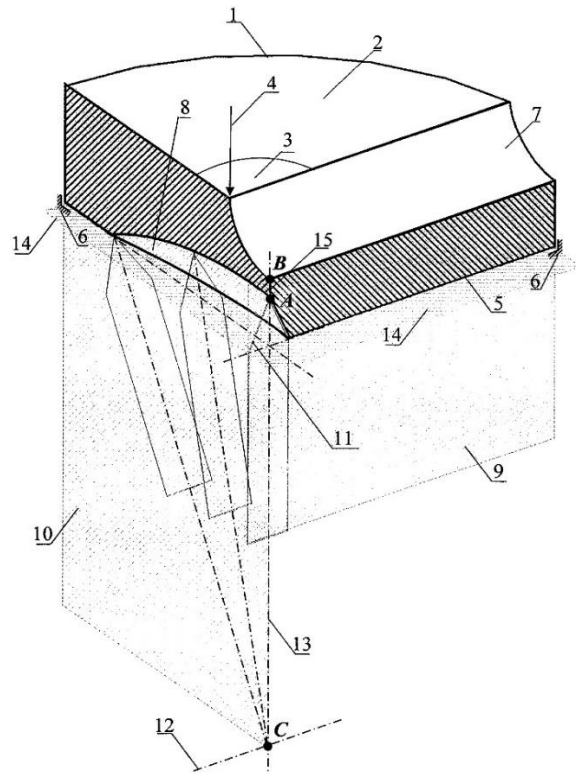


Рис. 9.

Предлагаемый образец выполнен в форме круглой пластины 1. Одна из сторон этой пластины 1 (в данном примере - верхняя) является стороной 2 нагружения и имеет центральную зону 3, на которую в процессе испытаний действует испытательное усилие (направление действия усилия показано стрелкой 4). Противоположная сторона пластины 1 (в данном примере - нижняя) является стороной 5 опирания, которая своим наружным краем опирается на неподвижное основание 6. На верхней стороне 2 нагружения выполнена канавка 7, на нижней стороне 5 выполнена канавка 8. Канавки 7 и 8 являются концентраторами механических напряжений и могут иметь U-, или V-, или T-образный профиль поперечного сечения. Каждая канавка 7 и 8 имеет плоскость симметрии 9 и 10 соответственно. Кроме того, поверхность канавки 8, размещенной на стороне 5 опирания, может иметь форму поверхности вращения 11, центр которой - точка С - точка пересечения плоскости 10 - плоскости симметрии канавки 8 с осью 12 - осью вращения поверхности 11 канавки 8 - лежит на оси 13 - оси вращения круглой пластины 1. При этом плоскость 10 - плоскость симметрии поверхности вращения 11 (рис. 8) - расположена перпендикулярно плоскости 14 - плоскости круглой пластины 1, а поперечное сечение этой поверхности вращения 11 может иметь U-, или V-, или T-образную форму (на рис. 7, в частности, U-образную форму; на рис. 8, в частности, V-образную форму). Канавки 7 и 8 ориентированы на пластине 1 диаметрально. Канавка 7, размещенная на стороне 2 нагружения, направлена под прямым углом относительно канавки 8, размещенной на стороне 5 опирания. Глубина канавок 7 и 8 выполнена такой, что между их поверхностями образована перемычка 15 материала образца, расположенная в центральной зоне 3 круглой пластины 1. Толщина S этой перемычки 15 между поверхностями канавок 7 и 8 составляет не более одной четверти ширины t канавки 7 (см. рис. 4 и 5), размещенной на стороне 2 нагружения круглой пластины 1. Таким образом, перемычке 15 и поверхностям канавок 8 и 7 соответственно одновременно принадлежат точки А и В (см. рис. 6-8). Рабочей зоной образца в этом случае является поверхность канавки 8 стороны 5 опирания в месте наименьшей толщины перемычки 15.

Смысл использования канавки 8, имеющей форму поверхностей вращения (например, форму поверхности тора), двоякий. Во-первых, их форма технологична - она может быть образована поступательным движением вдоль оси 13 фрезы, которая вращается в плоскости 10 (см. рис. 8). Во-вторых, применение указанных форм канавки 8 позволяет, как показывают вычислительные эксперименты, создавать более мягкие схемы напряженного состояния, возникающего в рабочей зоне образца (в зоне точки А, показанной на рис. 6-8). Это существенно при моделировании напряженного состояния ряда реальных конструкций, в частности патрубковых зон сосудов давления.

Предлагаемый образец деформируется в процессе испытаний следующим образом. Пластина 1 при проведении механических испытаний опирается наружным краем своей стороны 5 опирания на неподвижное основание 6. Испытательное усилие в данном примере направлено сверху вниз перпендикулярно стороне нагружения 2 образца и приложено к центральной зоне 3 (направление действия усилия показано стрелкой 4). В результате действия испытательного усилия пластина 1 изгибается, и в точках А и В перемычки 15 возникают нормальные напряжения. Как показали результаты численного моделирования, при воздействии испытательного усилия, направленного по стрелке 4, в точке А возникают нормальные напряжения, действующие перпендикулярно оси канавки 8, являющиеся положительными главными напряжениями σ_1 (напряжениями растяжения). При этом при толщине АВ перемычки 15, не превышающей $\frac{1}{4}$ средней ширины t канавки 7, нормальные напряжения, возникающие в точке А и действующие вдоль направления канавки 8, то есть главные напряжения σ_3 в точке А, являются отрицательными. Напряжения σ_2 в точке А (напряжения в направлении нормали к поверхности канавки 8) равны нулю.

Описанный эффект связан со следующим. Рассмотрим круглый плоский образец без канавок, нагруженный аналогично рассмотренному выше образцу с канавками 7 и 8. Возникающие в такой круглой осесимметрично изгибаемой пластине 1 радиальные напряжения в точках, лежащих на оси 13 вращения пластины 1 и расположенных между нейтральной (срединной) поверхностью пластины 1 и поверхностью центральной зоны 3 на стороне 2 нагружения, являются напряжениями сжатия. Радиальные напряжения в точках, лежащих на оси 13 вращения пластины 1 с противоположной стороны от нейтральной поверхности пластины 1, являются напряжениями растяжения. Создадим в пластине 1 две диаметрально ориентированные и направленные под прямым углом одна к другой канавки 8 и 7, расположенные соответственно на стороне 5 опирания и стороне 2 нагружения, причем минимальное расстояние АВ между поверхностями канавок 8 и 7 сделаем достаточно малым. Нормальные напряжения, действующие в точке А в направлении, перпендикулярном направлению канавки 8, по-прежнему будут положительными, а уровень их концентрации будет определяться шириной и глубиной канавки 8. В точке В в направлении, перпендикулярном направлению канавки 7 стороны 2 нагружения, или, что то же самое, в направлении канавки 8 стороны 5 опирания, соответственно возникнут нормальные напряжения сжатия (отрицательные нормальные напряжения). Уровень концентрации указанных отрицательных напряжений и размеры этой зоны концентрации будут определяться шириной канавки 7. При этом если канавка 8 стороны 5 опирания достаточно глубока (в этом случае точка А приближается к нейтральной поверхности, где радиальные напряжения растяжения круглой пластины 1 относительно невелики), а ширина t канавки 7 существенно больше, чем минимальное расстояние АВ между поверхностями канавок 7 и 8, то зона концентрации указанных отрицательных нормальных напряжений захватит точку А. Указанная особенность деформирования предлагаемого образца, подтвержденная численным моделированием полей напряжений, возникающих в процессе испытаний, и объясняет различие знаков главных напряжений, создаваемых испытательной нагрузкой в точке А.

Перекрестное расположение канавок 7 и 8, варьирование их глубиной, шириной, а также выбор профиля их сечения (U-, или V-, или Т-образного) дает возможность в перемычке 15 изменять коэффициент жесткости k напряженного состояния в широком диапазоне. Численное моделирование напряженного состояния рассматриваемого образца показав-

ло, что при минимальной толщине перемычки 15 между поверхностями канавок 7 и 8, не превышающей $\frac{1}{4}$ средней ширины t канавки 7, в процессе испытаний в точке А рабочей зоны образца создается напряженное состояние, характеризуемое значениями коэффициента жесткости k , лежащими в диапазоне $0,2 < k < 0,8$.

Заключение

Выполнен анализ конструкций стендов испытания образцов материалов на прочность, при одновременном анализе форм образцов материалов. В результате, спроектирован и изготовлен стенд для испытания образцов материалов на усталостную прочность, имеющий простую конструкцию и имеющий невысокую стоимость. Отличительной особенностью стенда является возможность получения в образцах материалов сложного напряженно-деформированного состояния, соответствующего тому, которое возникает в готовых деталях сложной геометрической формы. Применение стенда позволит заменить ресурсные испытания готовых деталей сложной геометрической формы, лабораторными испытаниями образцов материалов из которых будут изготовлены спроектированные детали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шадур Л.А. Вагоны: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Л. А. Шадур, И. И. Челноков, Л. Н. Никольский, и др.; под ред. Л. А. Шадура. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 439 с.
2. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты конструкций на прочность и долговечность. Справочник. - М.: Машиностроение. - 1981. - 272 с.
3. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В двух частях. Часть 1. Критерии прочности и ресурса. – Новосибирск. «Наука». 2005г. 494 с.
4. Пат. № 2360227 Рос. Федерация. Образец для оценки прочности материала при сложном напряженном состоянии / Л.Б. Цвик, А.П. Черепанов, А.А. Пыхалов, М.А. Храменок, К.А. Кузнецов, М.В. Шапова. Бюл. №18
5. Вансович, К.А. Экспериментальное изучение скорости роста поверхностных трещин в алюминиевом сплаве АК-6 и в стали 20 при двухосном нагружении / К.А. Вансович, В.И. Ядров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Том 15, № 4(2). – С. 436-438.
6. Пат. № 176972 Рос. Федерация. Устройство для двухосных испытаний крестообразных образцов / К.А. Вансович, В.И. Ядров. Бюл. №4.
7. Цвик Л.Б., Пимштейн П.Г., Борсук Е.Г. Экспериментальное исследование напряженного состояния многослойного цилиндра с монолитным вводом. – Проблемы прочности.- 1978. С.74-77.
8. Пат. № 2717571 Рос. Федерация. Устройство для испытания пластинчатого образца на усталостную прочность / Г.И. Федюкович, Л.Б. Цвик, В.Н. Железняк, В.К. Еремеев, И.С. Бочаров. Бюл. №9.
9. Пат. № 2418284 Рос. Федерация. Способ испытания пластинчатого образца на усталостную прочность и устройство для его осуществления / Л.Б. Цвик, А.П. Черепанов, М.А. Храменок, М.В. Шапова. Бюл. №13.
10. Н.А. Махутов, К.В. Фролов, Ю.Г. Драгунов и др. Модельные исследования и натурная тензометрия энергетических реакторов. // Н.А. Махутов, К.В. Фролов, Ю.Г. Драгунов и др. М.: Наука, 2001. - 293 с.- (Серия «Исследование напряжений и прочности ядерных реакторов»).
11. Зеньков Е.В., Цвик Л.Б., Кулешов А.В. Моделирование мягкого вида напряженно-деформированного состояния конструктивных узлов на цилиндрических лабораторных образцах с концентраторами напряжений. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2011. - Вып. №4(32). - С.45-50.
12. Зеньков Е.В., Цвик Л.Б., Пыхалов А.А. Дискретное моделирование напряженно-деформированного состояния плоскоцилиндрических образцов с концентраторами напряжений в виде канавок. – Вестник ИрГТУ. – 2011 г., №7. С. 64 – 69.

13. Смирнов-Аляев Г.А. Механические основы пластической обработки металлов. Инженерные методы расчета. - Л.: Машиностроение - 1968 - 272 с.
14. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты конструкций на прочность и долговечность. Справочник. - М.: Машиностроение. - 1981. - 272 с.
15. Тимошенко С.П. История науки о сопротивлении материалов. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. – 1957г. 534 с.
16. Смирнов-Аляев Г.А. Механические основы пластической обработки металлов. Инженерные методы расчета. – Л.: Машиностроение. – 1968. – 272 с.
17. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иоселевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. – М. «Машиностроение». - 1993. - 640 с.

REFERENCES

1. Shadur L. A. Wagons: Textbook for universities of railway transport / L. A. Shadur, I. I. Chelnokov, L. N. Nikolsky, and others; ed. by L. A. shadur. - 3rd ed., reprint. and additional-M.: TRANS-port, 1980 – - 439 p.
2. Kogaev V. P., Makhutov N. A., Gusenkov A. P. Calculations of structures for strength and durability. Handbook. - M.: Mechanical Engineering. - 1981. - 272 p.
3. Makhutov N. A. Structural strength, resource and technogenic safety. In two parts. Part 1. Criteria of strength and life. – Novosibirsk. «Science». 2005. 494 p.
4. L.B. Tsvick, A.P. Cherepanov, A.A. Pykhalov, M.A. Khramenok, K.A. Kuznetsov, M.V. Shapova. Obrazets dlya otsenki prochnosti materiala pri slozhnom napryazhennom sostoyanii [Sample for assessing the strength of a material under a complex stress state]. Patent RF no. 2360227, Bulletin no. 18.
5. Vansovich, K. A. Experimental study of the growth rate of surface cracks in aluminum alloy AK-6 and steel 20 under biaxial loading / K. A. Vansovich, V. I. Yadrov // Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences, 2013, Vol. 15, No. 4 (2), Pp. 436-438.
6. K.A. Vansovich, V.I. Kernels. Ustroystvo dlya dvukhosnykh ispytaniy krestoobraznykh obraztsov [Device for biaxial testing of cruciform specimens]. Patent RF no. 176972, Bulletin no. 4.
7. Tsvik L. B., Pimshtein P. G., Borsuk E. G. Experimental study of the voltage-sennogo state of a multilayer cylinder with a monolithic input. - Problems of strength. - 1978. Pp. 74-77.
8. G.I. Fedyukovich, L.B. Tsvik, V.N. Zheleznyak, V.K. Ereemeev, I.S. Bocharov. Ustroystvo dlya ispytaniya plastinchatogo obraztsa na ustalostnuyu prochnost' [Device for testing a plate sample for fatigue strength]. Patent RF no. 2717571, Bulletin no. 9.
9. L.B. Tsvik, A.P. Cherepanov, M.A. Khramenok, M.V. Shapova. Sposob ispytaniya plastinchatogo obraztsa na ustalostnuyu prochnost' i ustroystvo dlya yego osushchestvleniya [Method for testing a plate sample for fatigue strength and a device for its implementation]. Patent RF no. 2418284, Bulletin no. 13.
10. N. A. Makhutov, K. V. Frolov, Yu. G. Dragunov, etc. Model studies and full-scale tensometry of power reactors. // N. A. Makhutov, K. V. Frolov, Yu. G. Dragunov, et al. M.: Nauka, 2001. - 293 p. - (Series "research of stresses and strength of nuclear reactors").
11. Zenkov E. V., Tsvik L. B., Kuleshov A.V. Modeling of a soft type of stress state of structural units on cylindrical laboratory samples with stress concentra-tors. Modern technology. System analysis. Modeling. - 2011. - Issue No. 4 (32). - P. 45-50.
12. Zenkov E. V., Tsvik L. B., Pykhalov A. A. Discrete modeling of the stress-strain state of flat-cylindrical samples with stress concentrators in the form of grooves. - Vestnik Irstu. - 2011, no. 7. P. 64-69.
13. Smirnov-Alyaeв G. A. Mechanical bases of plastic processing of metals. Engineering methods of calculation. - L.: mechanical engineering-1968-272 p.
14. Kogaev V. P., Makhutov N. A., Gusenkov A. P. Calculations of structures for strength and durability. Handbook. - M.: Mechanical Engineering. - 1981. - 272 p.

15. Timoshenko S. P. History of the science of resistance of materials. - M.: State publishing house of technical and theoretical literature. - 1957. 534 p.
16. Smirnov-Alyayev G. A. Mechanical bases of plastic processing of metals. Engineering methods of calculation. - L.: mechanical engineering. - 1968. - 272 p.
17. Birger I. A., Shorr B. F., Ioselevich G. B. Calculation of the strength of machine parts. - M. "mechanical engineering". - 1993. - 640 p.

Информация об авторах

Железняк Василий Никитович – к.т.н., заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: zheleznyak_vn@irgups.ru

Цвик Лев Беркович – д.т.н., профессор, кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: tsvik_l@mail.ru, ORCID 0000-0002-7302-7752

Маломыжев Олег Львович – к.т.н., доцент, кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olm@bk.ru, ORCID 0000-0001-9964-4567

Мартыненко Любовь Викторовна – старший преподаватель, кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru

Authors

Zheleznyak Vasilij Nikitovich – cand. of techn. Sciences, head of the Department " Railcars and wagon facilities ", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: zheleznyak_vn@irgups.ru

Tsvik Lev Berkovich – doct. of techn. Sciences, Professor of the Department "Railcars and wagon facilities", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: tsvik_l@mail.ru, ORCID 0000-0002-7302-7752

Malomyzhev Oleg Lyvovich – cand. of techn. Sciences, associate Professor of the Department "Railcars and wagon facilities", Irkutsk state University of Railways, Irkutsk, e-mail: olm@bk.ru, ORCID 0000-0001-9964-4567

Martynenko Lyubov Viktorovna – senior lecturer, Department " Cars and wagon management", Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru

Для цитирования

Железняк В.Н. Стенд для испытания материалов на усталостную прочность [Электронный ресурс] / В.Н. Железняк, Л.Б. Цвик, О.Л. Маломыжев, Л.В. Мартыненко // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – №4(10). – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/410-20>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

For citation

Zheleznyak V.N. Stand for testing materials for fatigue strength [Electronic resource] / V.N. Zheleznyak, L.B. Tsvik, O.L. Malomyzhev, L.V. Martynenko // "Young science of Siberia": electron. scientific journal, 2020. no. 4.