

УДК 539.3/.6:004(072)

УЧЕБНАЯ МАШИНА WP ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ НА УСТАЛОСТЬ

В.Б. Распопина¹, Р.Р. Хакимджанов²

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В статье рассмотрено учебное оборудование, позволяющее выполнять экспериментальные исследования механических характеристик материалов при циклически меняющихся напряжениях, для полного курса «Сопrotивление материалов», включённого в ряд основных образовательных программ ИРНИТУ.

Ключевые слова: сопротивление материалов; учебная машина; нормальные напряжения; предел выносливости; амплитуда цикла; кривая Веллера; испытания образцов на усталость.

TRAINING EQUIPMENT WP FOR FATIGUE TEST

V. Raspopina, R. Khakimdzhanov

Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074

The article considers the training equipment that enables to carry out experimental researches of materials mechanical properties during cyclically varying stresses. This equipment is intended for the full-time course "Strength of the materials" included into a number of principal educational programs in Irkutsk National Research Technical University.

Keywords: Strength of the materials; training equipment; direct stress; endurance limit stress; cycle amplitude; S-N curve; fatigue test

Проблема прочностной надёжности конструкции была уже актуальна, когда примитивный человек начал создавать простейшие орудия труда. Интуиция и опыт позволяли решать её на том этапе развития человечества. По мере совершенствования сооружений, орудий труда, появления механизмов разрабатывались и совершенствовались методики их проектирования и расчёта. В основе данных методик лежит теория механики, учитывающая деформацию твёрдых тел, то есть речь идёт о механике деформируемого твёрдого тела.

Программы подготовки современных инженеров практически всех специальностей включают «введение в механику деформируемого твёрдого тела, необходимое инженерам» [1]. Данный курс называют «Сопrotивление материалов».

Большая часть машиностроительных, автомобильных конструкций; несущих элементов тепловых, химических и нефтеперерабатывающих аппаратов; конструкций летательных аппаратов, объектов кораблестроения в процессе эксплуатации подвергаются нагрузкам, величина, направление или место приложения которых меняются с некоторой периодичностью. Такой режим нагружения понижает параметры прочности конструкций по сравнению со статической прочностью из-за так называемой «усталости» материалов. Для успешной диагностики усталостного разрушения необходимо понимание физических механизмов этого явления. В основе определения предельных параметров теории усталостной прочности лежит эмпирический подход.

Одним из важнейших разделов полного курса «Сопrotивление материалов» является раздел «Усталость металлов при циклически изменяющихся нагрузках». Грамотный современный инженер должен обладать знаниями, содержащими информацию из этого раздела. Поскольку данная теория базируется на основе экспериментальных исследований, для успешного освоения материала учебный процесс должен включать соответствующие лабораторные работы. С этой целью кафедра «Сопrotивление материалов и строительная механика» ИРНИТУ приобрела учебную машину для испытаний на усталость WP 140, рис.1.

Приобретённое оборудование позволяет продемонстрировать основные принципы определения параметров усталостной прочности [2]. В этой установке вращающийся образец зажат с одной

¹ Распопина Вера Борисовна, кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и строительной механики, e-mail: mashina@istu.edu

Raspopina Vera, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Strength of the materials and Structural Mechanics Department, e-mail: mashina@istu.edu;

² Хакимджанов Рустам Ришанович, студент гр. Элб-13-1, e-mail: mashina@istu.edu
Khakimdzhanov Rustam, a third-year student, e-mail: mashina@istu.edu;

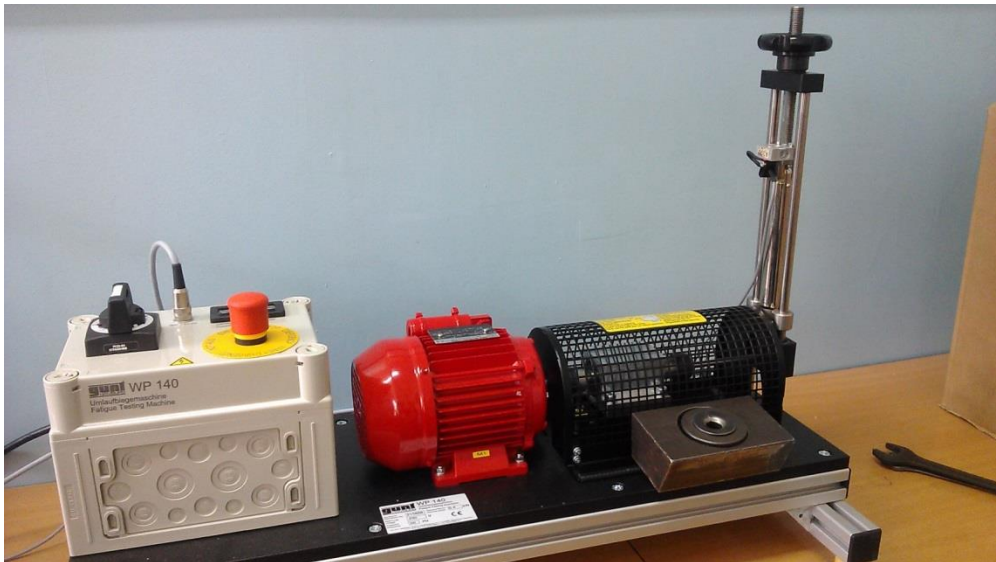


Рис. 1. Учебная машина для испытаний на усталость WP

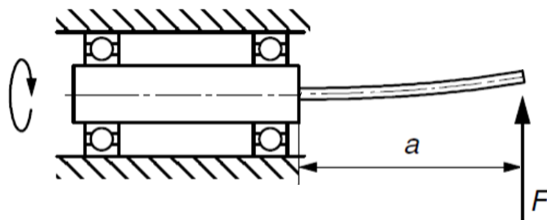
стороны, а с другой – нагружается сосредоточенной нагрузкой с помощью пружинного динамометра и плавающего подшипника (рис. 2, а).

Благодаря такому конструктивному решению в цилиндрических образцах создается переменное усилие изгиба, рис. 2, б. Его расчётная схема соответствует защемлённой балке, изгибаемой под действием сосредоточенной силы и равномерно вращающейся, рис.2, в. После определенного количества циклов нагружения, образец будет разрушен в результате усталости материала.

а)



б)



в)

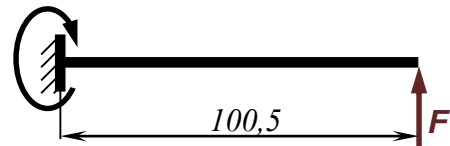


Рис. 2. Образец в испытательной машине в момент эксперимента: а – зона фиксации образца под защитным кожухом; б – расчётная схема фиксации и нагружения образца; в – расчётная схема испытуемого образца

Так для оценки изменения величины нормального напряжения в опасном поперечном сечении в зависимости от угла поворота вращающегося образца используются формулы теории прямого изгиба:

$$\sigma = \frac{M_{изг}}{I_x} y_B, \quad y = \frac{d}{2} \cdot \sin \varphi, \quad \sigma = 0.5 d \frac{M_{изг}}{I_x} \sin \omega t,$$

где $M_{изг}$ – величина изгибающего момента в рассматриваемом поперечном сечении балки; I_x – момент инерции рассматриваемого поперечного сечения относительно нейтральной оси; y_B – линейная координата точки B ; φ – угловая координата точки B ; d – диаметр поперечного сечения испытуемого образца; ω – угловая скорость перемещения точки B , равная скорости вращения образца (рис. 3).

Определение максимального нормального напряжения в опасном поперечном сечении σ_{max} испытуемого образца осуществляется с помощью формулы теории прямого изгиба:

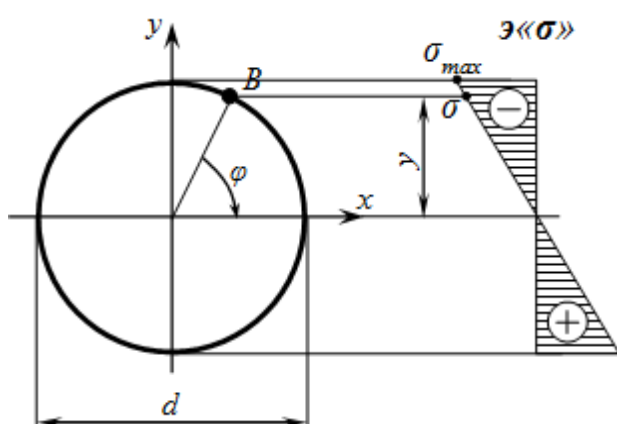


Рис. 3. Эпюра нормальных напряжений для рассматриваемого поперечного сечения балки при прямом изгибе

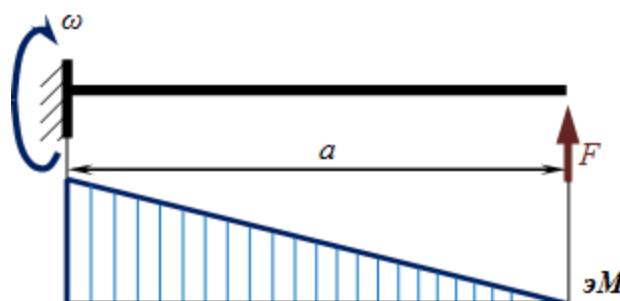


Рис. 4. Эпюра изгибающего момента

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x},$$

где M_{max} – максимальное значение изгибающего момента, рис. 4; W_x – момент сопротивления поперечного сечения образца (см. рис. 3).

Учебная машина для испытаний на усталость WP создаёт симметричный цикл изменения напряжений (рис. 5)

С учётом свойств симметричного цикла, соотношений теории прямого изгиба и геометрических характеристик образцов для рассматриваемой установки (рис. 6) её разработчики получили следующую зависимость между параметрами цикла и нагрузкой, действующей на испытуемый образец:

$$\sigma_a = \sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{F \cdot a}{W_x} = \frac{32 \cdot a}{\pi \cdot d^3} F = \frac{32 \cdot 100,5}{\pi \cdot 8^3} F,$$

то есть

$$\sigma_a = \sigma_{max} = 2 \cdot F \text{ [Н/мм}^2\text{]},$$

где σ_a – амплитуда цикла; σ_{max} – максимальное напряжение цикла; F – нагрузка, действующая на испытуемый образец.

Для экспериментов используются образцы определённой геометрии и размеров (см. рис.6), совместимые с конструкцией установки для испытаний. Варьируя особенности геометрии (канавки,

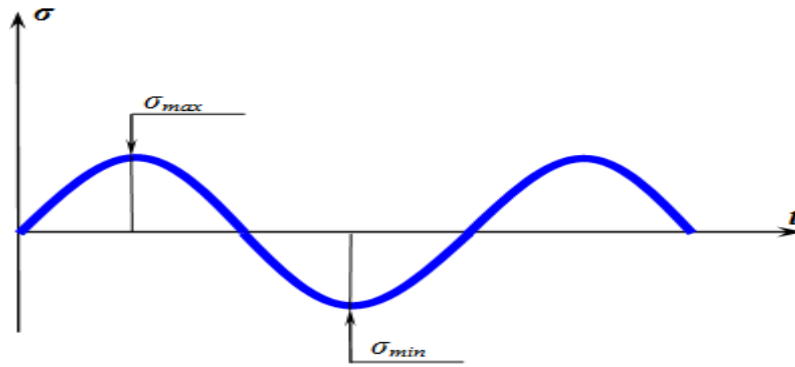


Рис. 5. Симметричный цикл изменения нормальных напряжений

сквозные отверстия, разные радиусы галтели) или качество обработки поверхности образцов (рис. 7), можно экспериментально отследить влияние этих факторов на предел выносливости.

Параметры, отображающие ход эксперимента и его итоги можно отследить в автоматизированном режиме, благодаря ориентированному для этого интерфейсу встроенного программного обеспечения (рис. 8).

В зависимости от качества изготовления образцов, навыков экспериментаторов, условий окружающей среды и целей эксперимента могут возникать погрешности в результатах экспериментов. Тем не менее, учебная машина *WP* для испытания образцов на усталость позволяет успешно продемонстрировать основные закономерности теории усталости. С помощью программного обеспе-

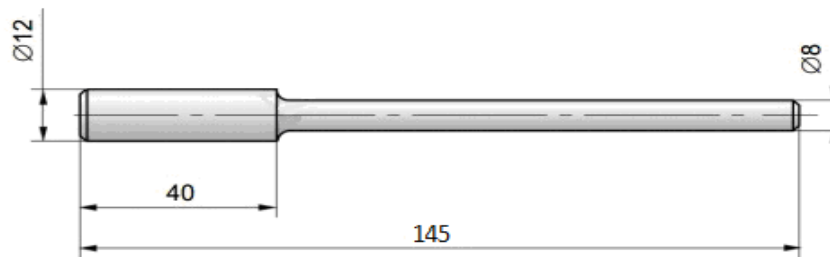


Рис. 6. Геометрия и размеры образца для учебной машины WP 140

чения по итогам серии экспериментов, в ходе которых при различных уровнях нагружения до разрушения доводится несколько образцов, строится кривая выносливости (кривая Веллера) [2], рис. 9.

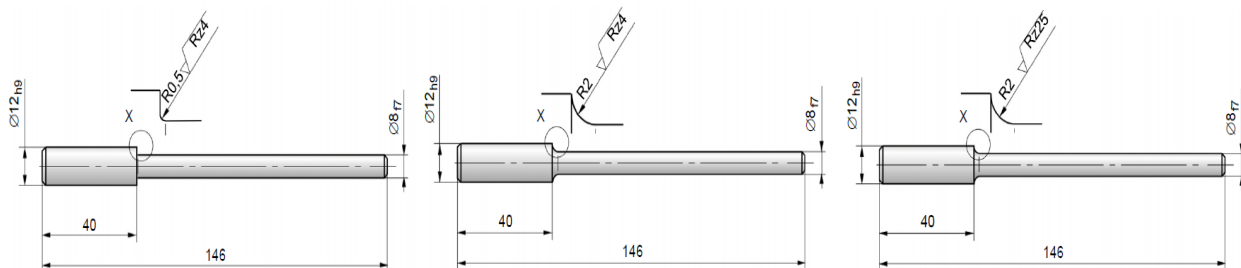


Рис. 7. Образцы для учебной машины WP 140

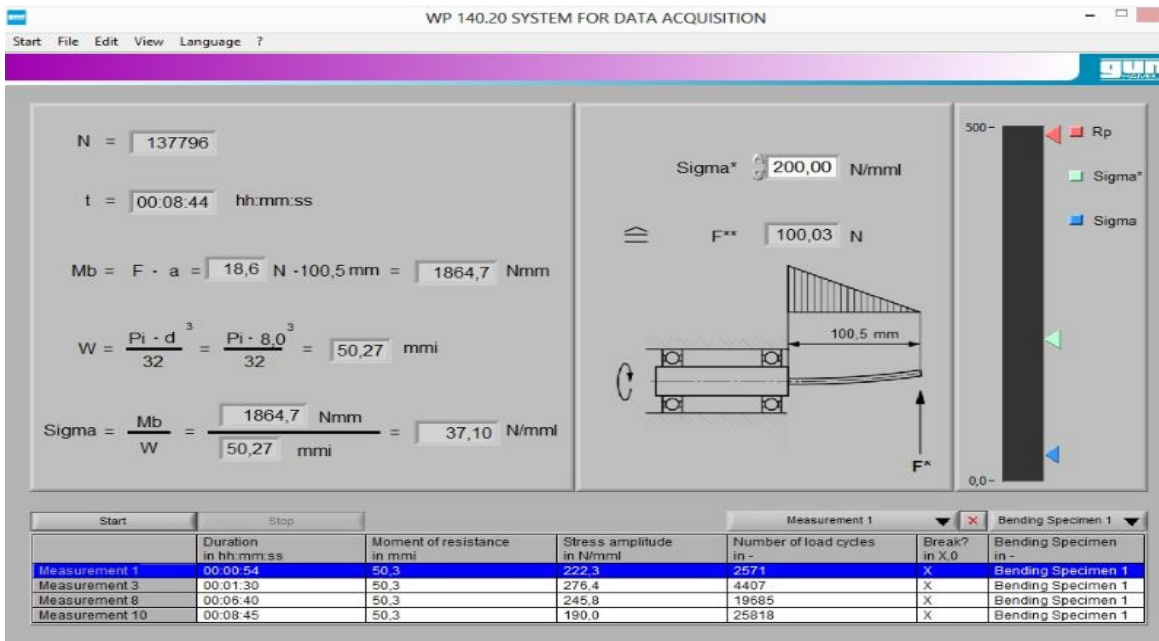


Рис. 8. Рабочее окно программного обеспечения, сопутствующего оборудованию учебной машины

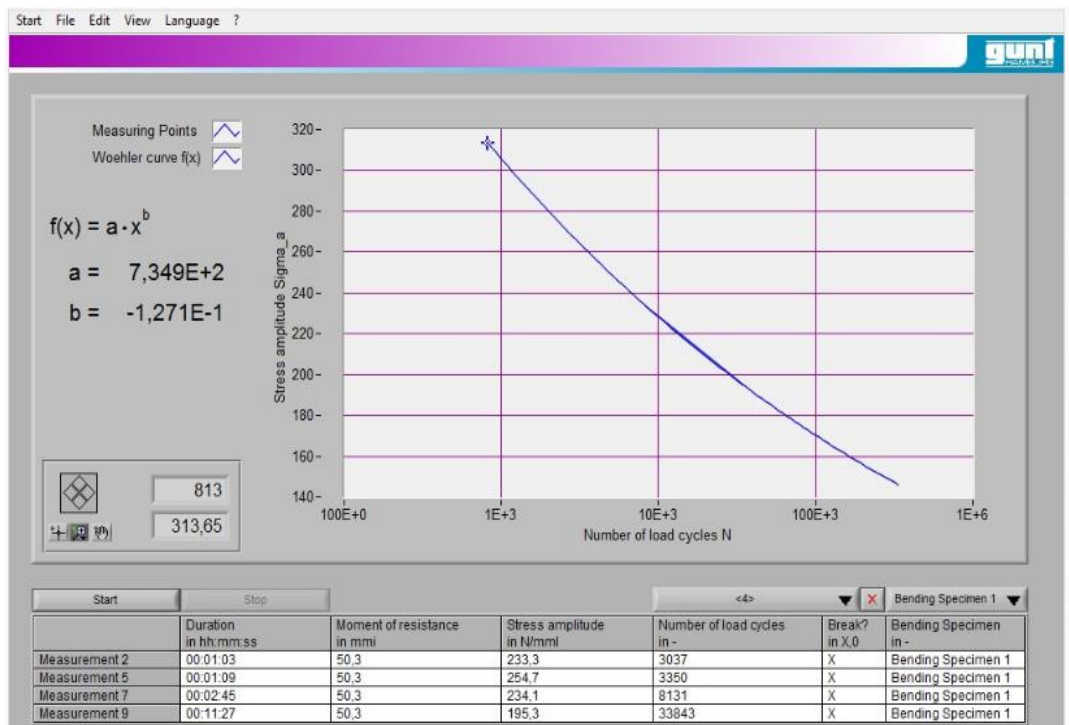


Рис. 9. Окно построения кривой Веллера

Помимо этого учащиеся имеют возможность подробно рассмотреть разрушенный образец, который наглядно демонстрирует особенности разрушения элементов в результате усталости материала (рис. 10).

В месте излома образца отчётливо просматриваются две зоны: одна – крупнозернистая, вторая – более гладкая.



Рис. 10. Образцы после испытаний на учебной машине WP 140

Библиографический список

1. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов: учеб. для техн. вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. (репринтное воспроизведение издание 1989 г.) – М.: Альянс, 2014. – 624 с.
2. Инструкция по проведению экспериментов: WP 140 учебная машина для испытаний на усталость [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gunt.de> (дата обращения 10.09.2015).
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учеб. для вузов. – 10-е изд. перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 592 с.