

УДК 620.178.3

Установка для испытаний на усталость и разрушение тонких проволок

Просвирнин Д. В.¹, Унчикова М. В.^{2,*},
Семенцов И. С.²

[*Unchikova_mv@mail.ru](mailto:Unchikova_mv@mail.ru)

¹Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова
РАН, Москва, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Проанализированы конструктивные особенности установки для усталостных испытаний проволоки, сформулированы задачи по усовершенствованию конструкции базового варианта сравнения. Предложен оригинальный способ изменения напряжений в образце по знакопеременному циклу, существенно модернизирован блок определения числа циклов до разрушения образцов. Проведена оценка эффективности разработки новой установки по показателям качества : эксплуатационно-техническим, эргономическим и показателям надежности. Представлены результаты усталостных испытаний проволоки, построены кривые усталости для латунированной проволоки из стали 80, установлено уменьшение показателей вариации в 1,5 – 1,6 раза при проведении исследований циклической прочности на новой установке.

Ключевые слова: проволока, циклическая прочность, установка для усталостных испытаний, кривые усталости, показатели качества

Введение

Многофакторность процесса накопления повреждений и разрушения при циклическом нагружении затрудняет прогнозирование долговечности конструкционных материалов, поэтому особую значимость имеют испытания на усталость, максимально учитывающие эксплуатационные режимы приложения нагрузки. Проволока – особый объект при усталостных испытаниях, что объясняется сложностью создания контролируемых циклических знакопеременных напряжений. Используемые методы определения циклической прочности согласно ГОСТ 25.502-79 практически не могут быть реализованы на тонких образцах [1,2]. А применение ГОСТ 1579-93 для проведения усталостных испытаний проволок не представляется возможным ввиду отсутствия на рынке оборудования предложений по реализации таких испытаний.

Компания Instron для усталостных испытаний проволок тонких сечений рекомендует использовать систему ElectroPuls [3,4] оснащенную датчиком Dynacell, рассчитанным на

небольшие нагрузки до 300 кг. В системе используются миниатюрные цанговые захваты (рис.1), которые не вызывают концентрации напряжений в проволоке. Вместе с тем применение данной установки не решает проблему создания сжимающих напряжений в образце – возможная реализация усталостных испытаний только в условиях переменного растяжения.



Рис.1. Устройство захвата тонкой проволоки в испытательной системе Instron ElectroPuls E1000

Установка для исследований усталостных характеристик проволоки [5], рассматриваемая нами в качестве базового варианта, имеет более широкие технические возможности по изменению параметров испытаний и позволяет реализовать знакопеременный цикл нагружений в образцах. Важным элементом конструкции является набор пластин - 7 (рис. 2), расположенных перпендикулярно оси вращения патрона 1 и образующих канал 4 для размещения проволоки 2. Пластины, находящиеся в полой обойме 5, можно перемещать относительно друг друга, что позволяет изменять радиус канала и, следовательно, напряжение в образце. Однако такой способ регулирования напряжений сложен при практическом применении и не обеспечивает необходимой точности при измерении фактически полученного радиуса канала, определяющего уровень напряжений в проволоке.

К недостаткам рассмотренной установки также относятся узкий диапазон задаваемых напряжений ввиду ограниченного радиуса изгиба образца; перетирание проволоки острыми кромками канала, образующимися при смещении пластин; несовершенная система подсчета циклов; отсутствие возможности регулирования частоты нагружения.

Целью настоящей работы является усовершенствование экспериментальной установки для проведения исследовательских работ в области изучения циклической прочности проволоки, оценка технических характеристик новой конструкции по сравнению с имеющимся аналогом на основе анализа результатов усталостных испытаний.

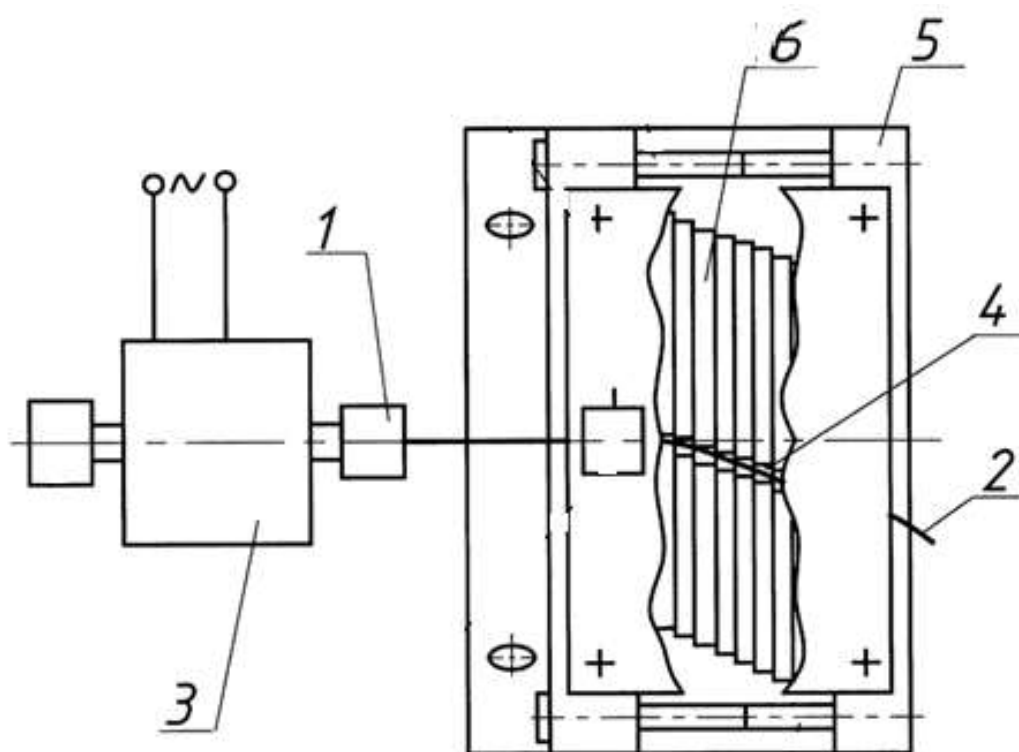


Рис.2. Схема базового варианта установки для усталостных испытаний проволоки

Материалы и методика исследований

Усталостные испытания проводили на латунированной проволоке из стали 80, широко используемой для армирования автомобильных шин. Диаметр проволоки составлял 0,3 мм.

Технологический процесс производства проволоки включал следующие операции:

- получение катанки диаметром 5,5 мм;
- травление бунтов катанки в ваннах с сернокислотными растворами;
- грубое волочение катанки в заготовку диаметром 3,0 мм;
- среднее волочение заготовки на стане на заготовку диаметром 1,73 мм;
- патентирование и латунирование;
- волочение заготовки на проволоку диаметром 0,3мм.

Испытания на многоцикловую усталость проводили по схеме нагружения «изгиб с вращением» при базе испытаний 10^7 циклов. Частоту вращения образцов варьировали от 10 до 100 Гц. Длина рабочей части образцов составляла 100...200 мм.

Результаты исследований и их обсуждение

Новая разработанная установка для исследования циклической прочности проволоки, общий вид которой представлен на рис. 3, включает три блока: блок привода, блок, задающий напряжения в образце и блок для определения числа циклов до разрушения (рис.4).

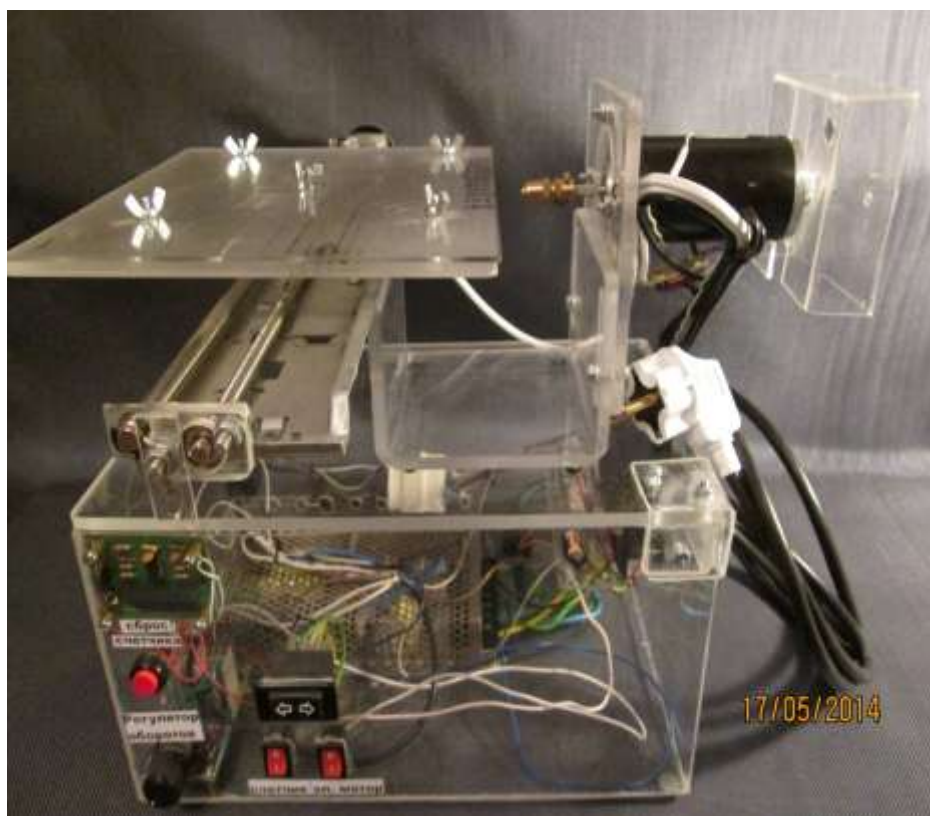


Рис.3. Общий вид установки для проведения усталостных испытаний проволоки

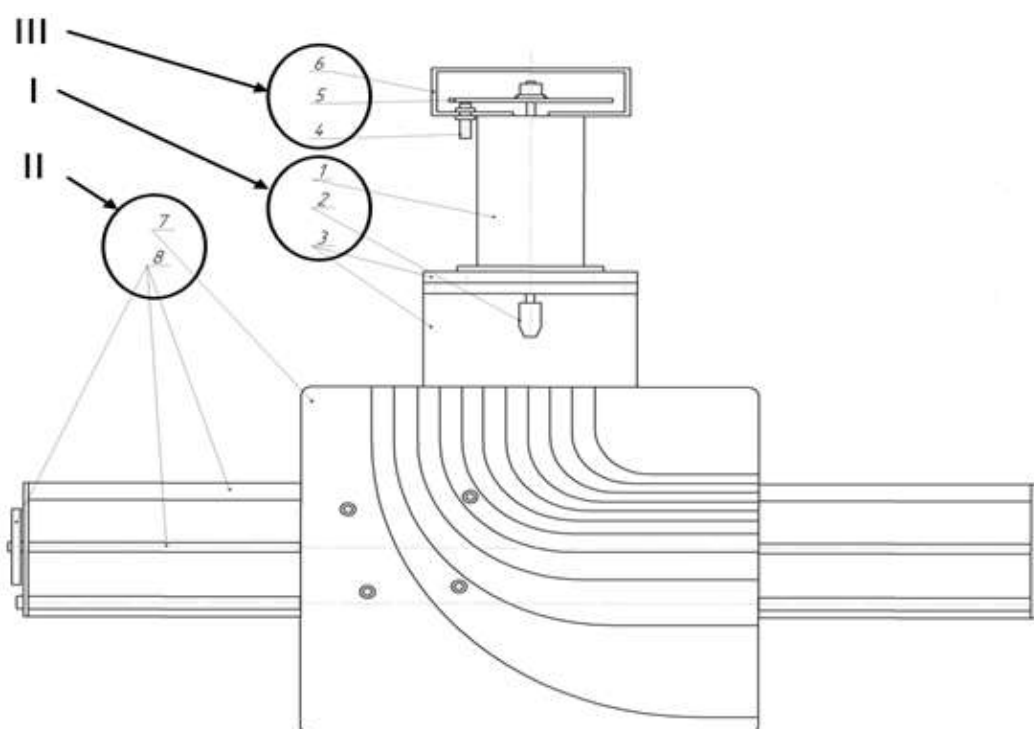


Рис.4. Схема спроектированной установки для усталостных испытаний проволоки:

- I – Блок привода: 1-электромотор; 2-цанговый патрон; 3-корпус;
 II – Блок задающий напряжения в проволоке: 7-платформа; 8-механизм перемещения платформы;
 III – Блок для определения числа циклов: 4-индуктивный датчик; 5-маячок; 6-защита маячка

Блок привода служит для вращения проволоки и создания знакопеременной нагрузки в образце и включает в себя:

- коллекторный электродвигатель постоянного тока, с постоянными магнитами, производство компании «АТАS Elektromotory»;
- цанговый патрон, устанавливается на вал электродвигателя и служит для передачи вращающего момента проволоке;
- замыкающее реле для отключения электродвигателя при обрыве проволоки.

Блок, задающий напряжения в образце состоит из платформы с прорезанными изогнутыми каналами для размещения проволоки и механизма перемещения платформы.

Циклические напряжения в проволоке определяются величиной изгиба в зависимости от радиуса канала [5]

$$\sigma_{max} = \frac{E \cdot d}{2 \cdot R}$$

где R - радиус изгиба канала, d - диаметр проволоки, E - модуль упругости исследуемого материала

В настоящее время изготовлены две платформы, имеющие по 11 каналов различного радиуса изгиба для проволоки диаметром 0,3мм и 1,0 мм, поэтому напряжение цикла можно задавать в диапазоне 200 – 1200 МПа, что обеспечивает диапазон задаваемых нагрузок для многих материалов. Платформы изготовлены с применением станков с ЧПУ, что обеспечило точность нарезания каналов для проволок $\pm 0,01$ мм. В свою очередь это позволило задавать напряжения в образце с точностью $\pm 0,1$ МПа.

Блок определения числа циклов до разрушения (см. рис.4) состоит из индуктивного PNP датчика, маячка и защитного экрана. Счетчик циклов (рис.5) определяет и выводит на ЖКИ (LCD) дисплей количество импульсов, поступающих от датчика в момент прохождения рядом с ним железного предмета - маячка, закрепленного на валу двигателя.

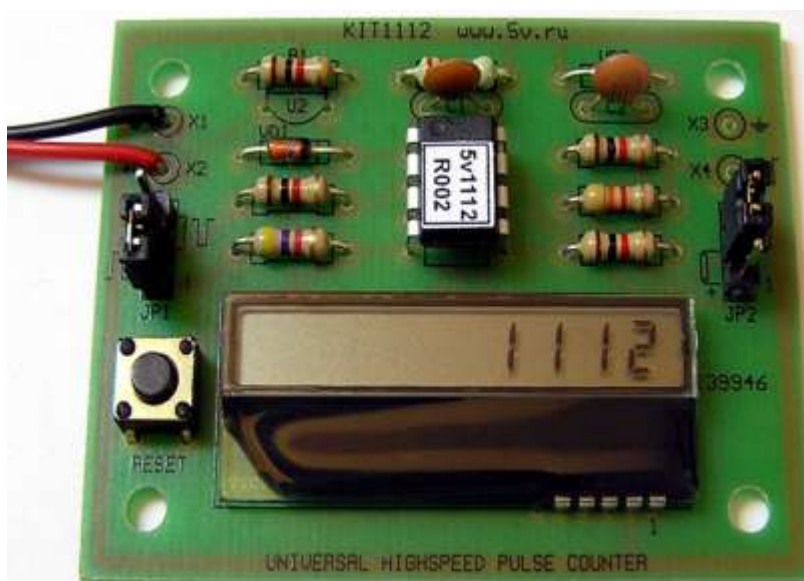


Рис.5. Счетчик циклов до разрушения

Новая установка отличается от базового варианта возможностью регулирования частоты нагружения за счет изменения частоты вращения электродвигателя при использовании регулятора мощности МР303F. Устойчивая работа оборудования на малых оборотах при незначительном уровне шума стала возможной в результате применения метода широтно-импульсной модуляции в схеме управления.

Оценку эффективности разработки новой установки проводили по показателям качества, которые широко используются при сравнении конкурентных видов техники. Согласно принятой методике показатели качества подразделяли на эксплуатационно-технические, эргономические и показатели надежности. Значения показателей сравниваемых вариантов приведены в таблице.

Представленные данные отображают тенденцию улучшения эксплуатационных и массо-габаритных характеристик новой установки по сравнению с базовым вариантом и свидетельствуют о повышении технического уровня разработанного оборудования на 45 %.

Для сравнения повторяемости результатов усталостных испытаний, полученных на базовой и новой установках, проведены исследования циклической прочности латунированной проволоки. При каждом уровне напряжений испытывали по 10 образцов, частота нагружения соответствовала 100 Гц. После статистической обработке экспериментальных данных были построены кривые усталости (рис.6).

Таблица Показатели качества сравниваемых вариантов

Показатели качества	Сравниваемые варианты		Относительный по- казатель, D _i ^{*)}
	разработанный	базовый	
1. Показатели эксплуатационно-технические			
Наличие регулировки частоты вращения	1	0	1
Напряжение питания, В	24	220	0,109
Средняя точность показаний увеличена в n раз	3	1	0,333
2. Показатели надежности			
Средний ресурс, ч	500	100	0,200
3. Эргономические показатели			
Средний уровень шума, дБ	32	51.2	0,625
Отношение габаритов установки, мм	1660	1650	1,006
Масса установки, кг	6	14	0,428
Среднее время испытания, ч	24	48	0,500

$^{*}) D_i = \frac{P_{i6}}{P_i}$, P_i , P_{i6} – значение i-го единичного показателя соответственно для рассматриваемого и базового изделий.

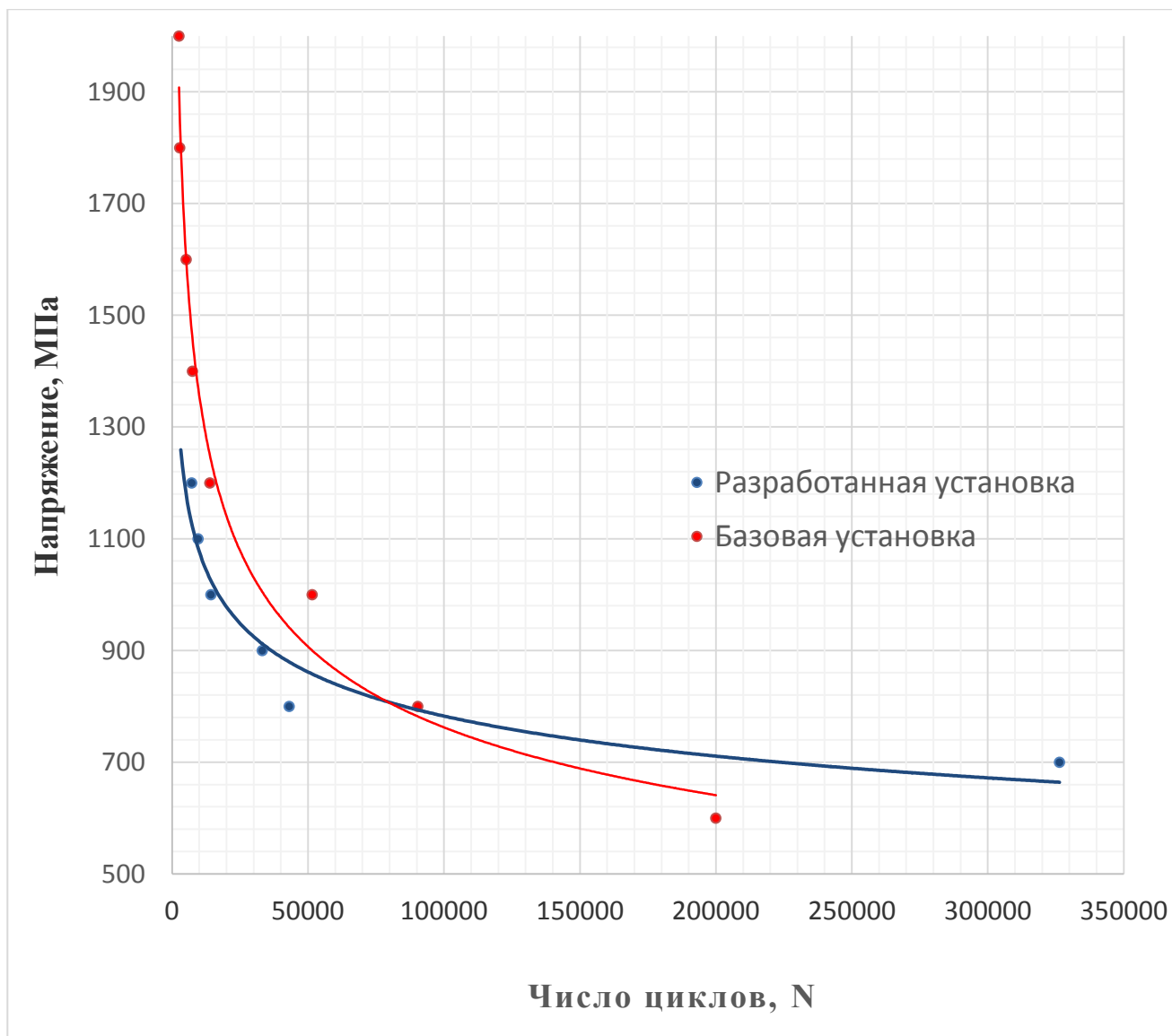


Рис.6. Кривые усталости стали 80, полученные на базовой и новой установке

Разброс полученных значений оценивали по показателям вариации, в качестве которых были использованы среднее отклонение и коэффициент вариации. Статистическая обработка результатов исследований показала, что усовершенствование конструкции установки позволило уменьшить указанные параметры соответственно в 1,5 и 1,6 раза.

Заключение

- Разработана конструкция и изготовлена установка для проведения исследований циклической прочности проволоки диаметром 0,3 – 1 мм при нагружении по схеме «изгиб с вращением»;
- Величину напряжений в образце при усталостных испытаниях можно варьировать в диапазоне 200-1200 МПа за счет изменения радиуса изгиба проволоки при ее закреплении в платформе установки;

- Частота нагружения определяется скоростью вращения электродвигателя;
- Замена механической системы на электронную повысила точность в определении числа циклов до разрушения в 100 раз;
- Проведение усталостных испытаний на новой установке позволяет уменьшить стандартное отклонение и коэффициент вариации экспериментальных данных соответственно в 1,5 и 1,6 раза и, следовательно, увеличить повторяемость результатов.

Список литературы

1. Терентьев В.Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов. М.: Интермет Инжиниринг, 2002. 288 с.
2. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. Справочник. М.: Metallurgy, 1978. 304 с.
3. Электродинамическая испытательная система ElectroPuls E1000 // Instron: сайт компании. Режим доступа: <http://www.instron.ru/wa/product/ElectroPuls-E1000-All-Electric-Instrument.aspx> (дата обращения: 06.11.2015).
4. Испытание на усталость и разрушение арматурной проволоки для шин // Instron: сайт компании. Режим доступа: <http://www.instron.ru/testing-solutions/by-material/metals/high-cycle-fatigue/tire-reinforcement-wire> (дата обращения 06.11.2015).
5. Геминев В.Н., Геров В.В., Колмаков А.Г. Установка для усталостных испытаний тонких проволок: пат. RU 2163716. 1999.

The Installation for Fatigue and Destruction Tests of Thin Wires

D.V. Prosvirin¹, M.V. Unchikova^{2,*},
I.S. Sementsov²

[*Unchikova_mv@mail.ru](mailto:Unchikova_mv@mail.ru)

¹Institute of Metallurgy and Materials Science n.a. A.A. Baikov
RAS, Moscow, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: wire, cyclic strength, the installation for fatigue tests, fatigue curves, quality rating

The fatigue strength of high-strength materials such as wire is, essentially, dependent on the surface state, stress concentrators, non-metal inclusions, etc. Multifactorial process of damage accumulation and fracture under cyclic loading makes it difficult to predict the durability of structural materials. So fatigue tests, taking into account the operating conditions of stress exposure as much as possible, are of special importance.

A feature of the wire fatigue tests is that it is complicated to secure the samples and create the alternate stresses. Currently, there is no equipment to study the fatigue strength of the wire in accordance with GOST 1579-93. Partly the problem of the wire fatigue tests was solved owing to using the installation developed in IMET RAS and considered as the base case. However, the installation has significant disadvantages, namely: a complicated for implementing in practice method to control stresses in the sample; an imperfect system to count cycles; an incapability to change the engine speed of the motor and thus, the frequency of loading.

In developing the new design all the basic blocks of installation were upgraded such as drive unit; unit to control stress in the sample; unit for determining the number of cycles to failure.

To change the stresses in the sample the paper offers to use the platform from polymethylmethacrylate with slotted curved channels of different radii. The stresses in the sample are dependent on the channel radius R , the wire diameter d and the modulus of elasticity E of the material and may vary in the range of 200 - 1200 MPa. The use of CNC machines in cutting the channels allows stress adjustment within $\pm 0,1$ MPa.

The developed design is used to drive the rotation of the wire and makes it possible to change the frequency of loading in the range of 0 - 100 Hz. It is shown that the use of the closing relay in drive design and the transition to an electronic system of determining the number of cycles to failure significantly improves the repeatability of results in fatigue tests.

The paper estimates the efficiency of developed new technology as follows: analysis of quality measures allows to state that the technical level of the new design becomes, on average, by 45% higher as compared to the base case.

The paper presents research results of the cyclic strength of a brass-plated wire from steel 80. Comparison of fatigue curves shows that the new installation provides better repeatability of results and 1.5 - 1.6 times reduction of the performance variation.

References

1. Terent'ev V.F. *Ustalostnaya prochnost' metallov i splavov* [Fatigue strength of metals and alloys]. Moscow, Internet Inzhiniring Publ., 2002. 288 p. (in Russian).
2. Shkol'nik L.M. *Metodika ustalostnykh ispytaniy. Spravochnik* [Fatigue testing methods. Handbook]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 304 p. (in Russian).
3. *ElectroPuls E1000 All-Electric Test Instrument featuring Linear Motor Technology*. Instron: company website. Available at: <http://www.instron.co.uk/products/testing-systems/dynamic-and-fatigue-systems/electropuls/e1000?region=United%20Kingdom&lang=en-GB> , accessed 06.11.2015.
4. *Fatigue and Fracture Testing of Tire Reinforcement Wire*. Instron: company website. Available at: <http://www.instron.co.uk/en-gb/testing-solutions/by-test-type/high-cycle-fatigue/tire-reinforcement-wire> , accessed 06.11.2015.
5. Geminov V.N., Gerov V.V., Kolmakov A.G. *Ustanovka dlya ustalostnykh ispytaniy tonkikh provolok* [Device for fatigue testing of thin wires]. Patent, no. 2163716 RU, 1999. (in Russian).