

Разработка установки для усталостных испытаний проволоки

07, июль 2014

Унчикова М. В.^{1,a}, Семенцов И. С.^{1,b}

УДК: 620.178.3

¹Россия, МГТУ им. Баумана

^aUnchikova_mv@mail.ru

^bilya.semencov@mail.ru

Введение

Проволока относится к металлическим изделиям, широко используемым в самых разных областях техники. Из нее изготавливают упругие элементы, стальные канаты, технические щетки. Проволока широко используется для армирования резинотехнических изделий, в частности рукавов высокого давления и автомобильных шин. Все перечисленные изделия эксплуатируются при циклическом нагружении, и поэтому прогнозирование их долговечности должно базироваться на результатах усталостных испытаний проволоки.

Проволоку получают волочением при суммарной степени деформации более 90 %, в результате чего достигается высокая прочность. Сопротивление усталости высокопрочных сталей очень сильно зависит от состояния поверхности, концентраторов напряжений, неметаллических включений, структуры материала [1], поэтому для проведения исследовательских работ, направленных на повышение циклической прочности проволоки необходимо иметь простое и надежное в эксплуатации оборудование для проведения испытаний на выносливость.

В настоящее время усталостные испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 25.502-79 на образцах круглого и прямоугольного сечения при наличии или отсутствии концентраторов напряжений. Основными параметрами испытаний являются амплитудные значения напряжений и период цикла, частота нагружения. Наиболее распространенным является синусоидальный цикл изменения напряжений с коэффициентом асимметрии $R = \sigma_{\max}/\sigma_{\min} = -1$. Машины для испытаний должны обеспечить один из вариантов нагружения: растяжение-сжатие, изгиб, кручение. Однако используемые методы практически не могут быть реализованы на тонких образцах из проволоки [2].

Компания Instron для проведения усталостных испытаний проволоки предлагает использовать испытательную систему ElectroPuls E1000 рис. 1, оснащенную датчиком Dynacell, рассчитанным на небольшую нагрузку (от 0,5 до 1,5 Н) и миниатюрными цанго-

выми захватами для тонкой проволоки, которые не вызывают концентрации напряжений [3, 4].

Ограниченность данного метода заключается в характере цикла нагружения: напряжения растяжения в образце можно изменять только по знакопостоянному пульсирующему циклу, ограниченно используемому при усталостных испытаниях и нашедшему применение, только при определении циклической трещиностойкости [1]. Данная установка не позволяет создавать в образце знакопеременные нагрузки, которые возникают в проволоке в условиях эксплуатации, и поэтому должны воспроизводиться в условиях испытаний.

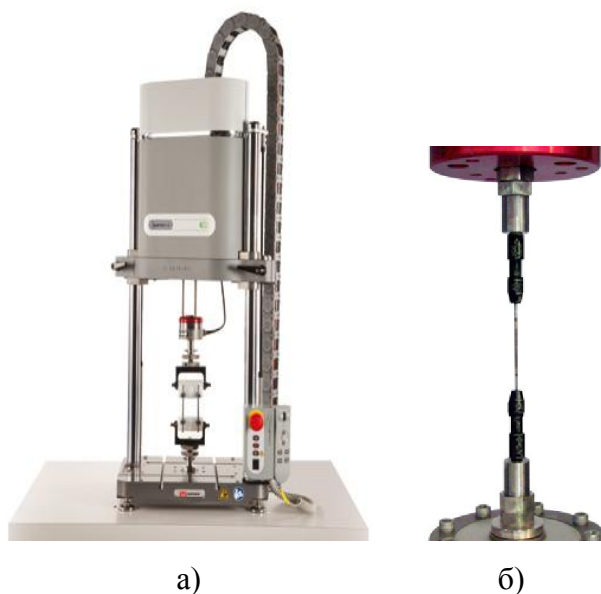


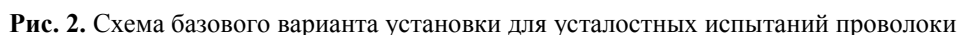
Рис.1. Испытательная система для тонких проволок Instron ElectroPuls E1000 (а); устройство захвата проволоки (б)

Более совершенной в техническом исполнении является отечественная установка для усталостных испытаний проволоки диаметром 0,1-2 мм, разработанная в ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова [5], которая была рассмотрена нами в качестве базового варианта сравнения.

Установка, схема которой приведена на рис.2, включает следующие конструктивные элементы: патрон 1 для крепления проволоочного образца 2; привод 3 для вращения патрона 1; датчики 10, 11 для определения числа циклов до разрушения; устройство для изгиба образца, выполненного в виде полый обоймы 5 с крышкой 6 и набора пластин 7, имеющих канал для размещения проволоки и расположенных перпендикулярно оси вращения патрона 1.

Варьирование амплитудных напряжений в образце при проведении усталостных испытаний на рассматриваемой установке, возможно за счет изменения радиуса изгиба канала в пластинах 7 при их относительном смещении и последующей фиксации с помощью узлов 8. Такой способ регулирования напряжений сложен при практической реализа-

Недостатками данной конструкции являются также отсутствие возможности регулирования частоты нагружения и большая погрешность в определении числа циклов до разрушения. Кроме того, относительное смещение пластин при регулировании радиуса изгиба может привести к появлению острых выступов в канале, перетирающих проволоку и вызывающих ее преждевременное разрушение.



Материалы и методика исследований

Испытания на многоцикловую усталость проволоочных образцов проводились по схеме нагружения «изгиб с вращением» в области многоциклового усталости при измене-

нии напряжений в диапазоне 200 – 1200 МПа и числе циклов до разрушения $N=1 \cdot 10^4 \dots 6 \cdot 10^7$. Длина рабочей части образцов составляла 100...200 мм. Частоту вращения образцов изменяли от 0,1 до 100 Гц. При разрушении образцов испытания прерывались.

Результаты исследований и их обсуждение

Спроектированная установка, схема которой представлена на рис.3, включает следующие основные узлы: панель управления, устройство, с помощью которого задаются напряжения в образце, привод для обеспечения вращения проволоки, блок подсчета циклов до разрушения.

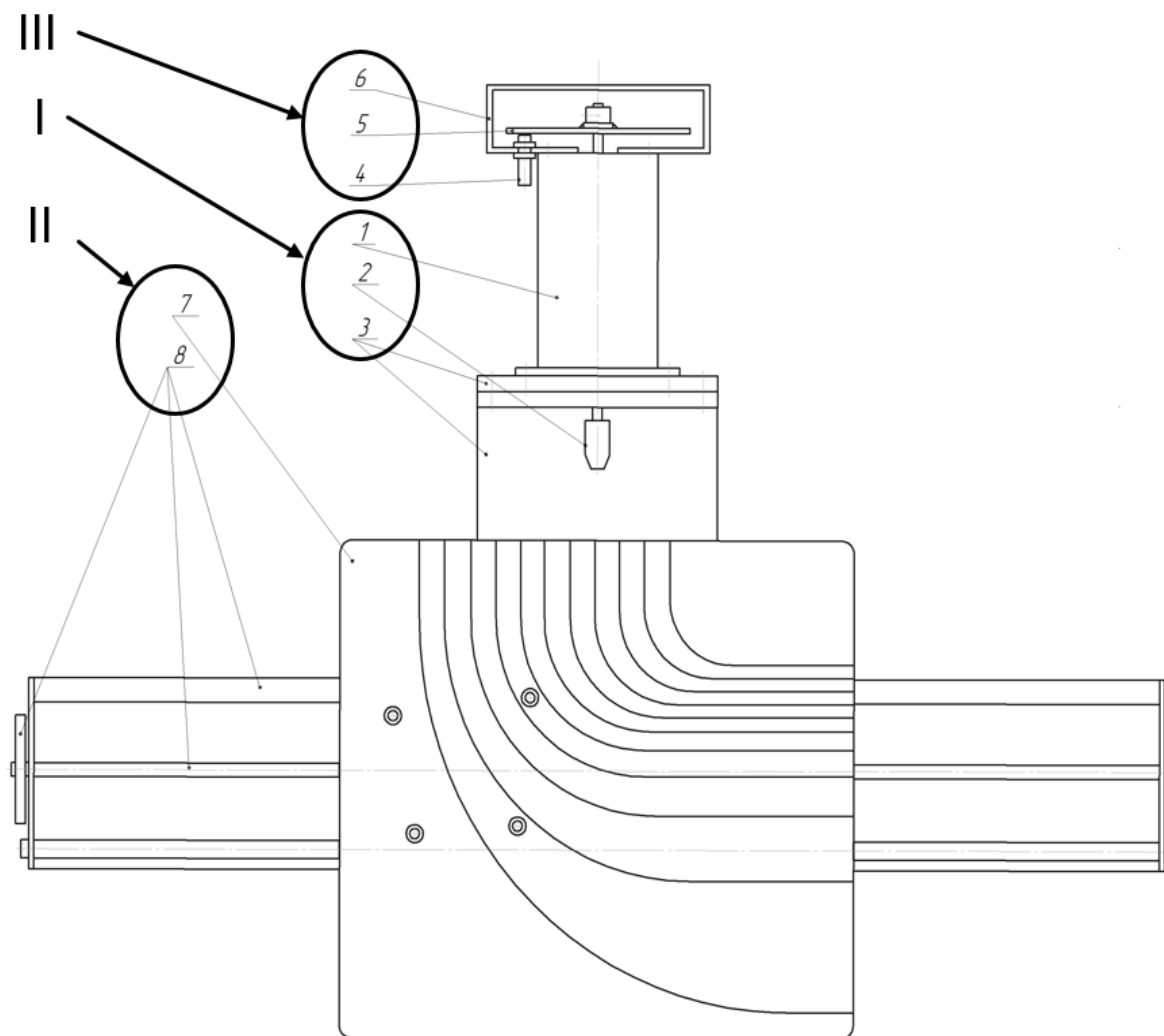


Рис.3. Схема спроектированной установки для усталостных испытаний проволоки

I – Блок привода: 1-электромотор; 2-цанговый патрон; 3-корпус;

II – Блок задающий напряжения испытания: 7-платформа; 8-механизм перемещения платформы;

III – Блок подсчета числа циклов: 4-индуктивный датчик; 5-маячок; 6-защита маячка

Устройство, задающее напряжения в образце (Рис.4) включает платформу 1 и механизм ее передвижения. В платформе, представляющей пластину из полиметилметакрилата, прорезаны пазы – каналы определенного радиуса, в которые укладывается проволока. После этого пазы закрываются другой пластиной из оргстекла, и пластины закрепляются болтами.

Напряжения в проволоке зависят от радиуса канала. Для смены канала необходимо перемещение платформы, которое обеспечивается механизмом винт-гайка, состоящим из направляющих 2, винта 3, подшипников 4. Величина циклических напряжений, возникающих в изогнутом вращающемся образце, зависит от радиуса изгиба канала R , диаметра проволоки d и ее модуля упругости E

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

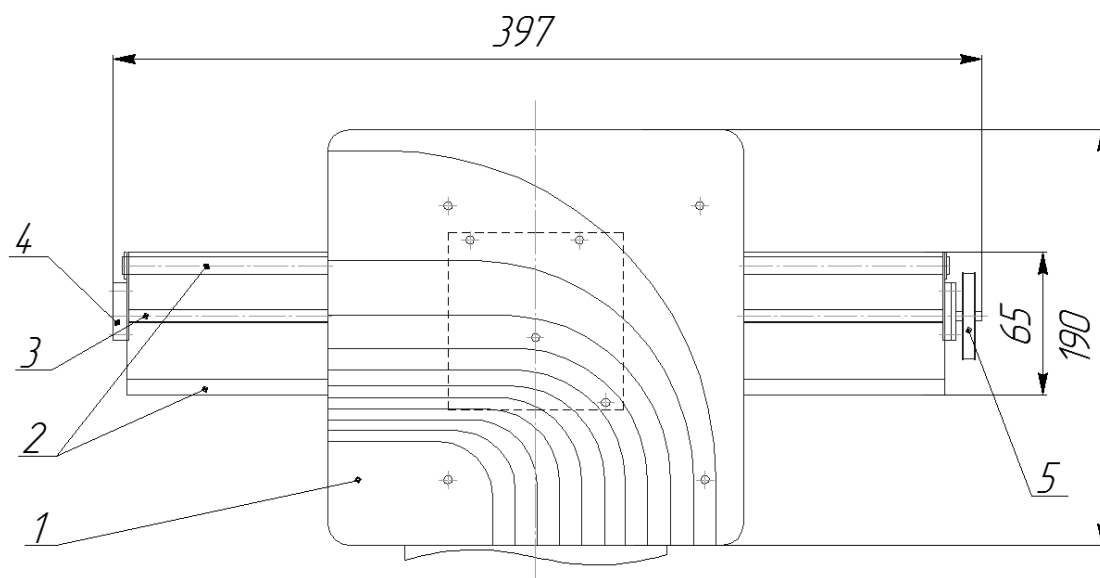


Рис. 4. Устройство, задающее напряжения в образцах при усталостных испытаниях

Напряжения неравномерно распределены по длине проволоки, и максимального значения достигают в середине образца, месте его максимального изгиба (рис. 5). Продолжительность одного цикла нагружения соответствует одному обороту проволоки и определяется частотой вращения электродвигателя.

В настоящее время изготовлены две платформы, имеющие по 11 каналов различного радиуса изгиба, для закрепления проволоки диаметром 0,3мм и 1,0 мм, что позволяет варьировать напряжения в образцах в диапазоне 200 – 1200 МПа. Графики зависимости амплитудных значений напряжений от радиуса канала для образцов диаметром 0,3 и 1 мм приведены на рис. 6.

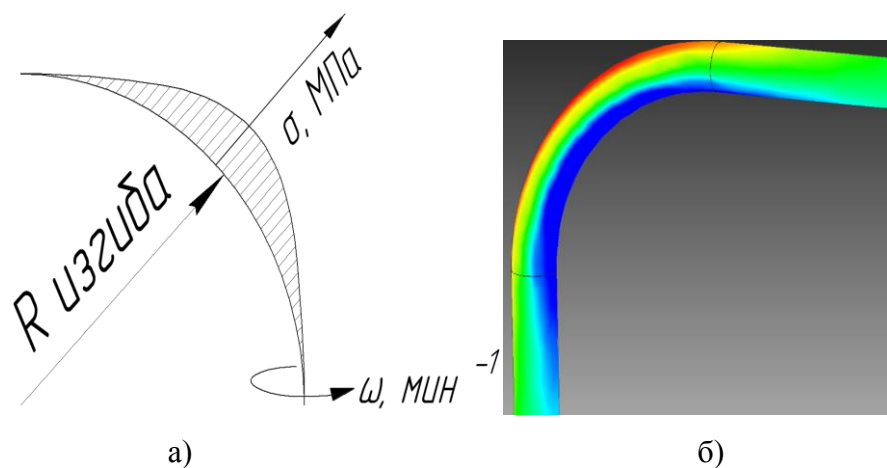


Рис. 5. Схема распределения напряжений (а) и 3 D модель распределения напряжений по длине образца (б)

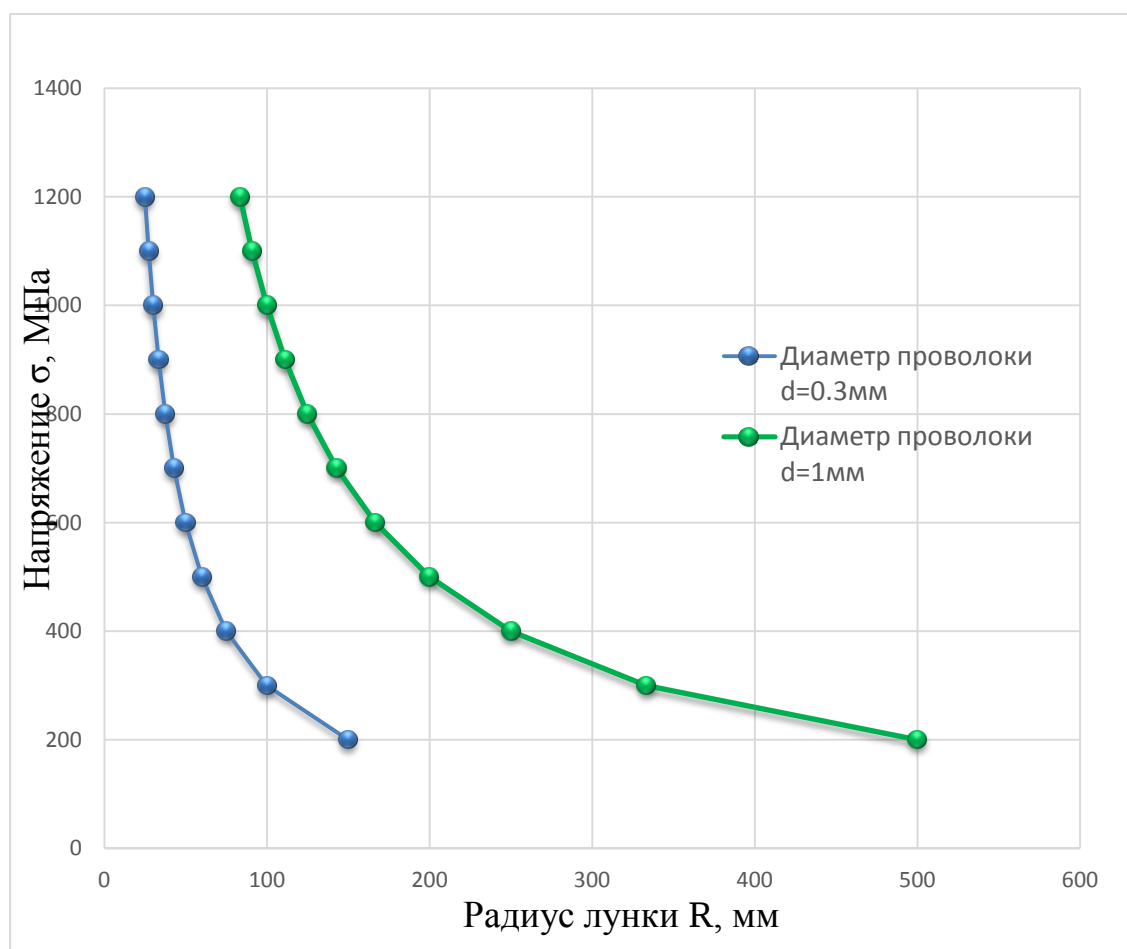


Рис. 6. Зависимость максимального напряжения от радиуса лунки для стальной проволоки диаметром 0,3 и 1,0 мм

Привод обеспечивает вращательное движение проволоки, для чего используется коллекторный электродвигатель постоянного тока с постоянными магнитами компании «ATAS Elektromotory». Частота вращения электродвигателя определяет частоту нагружения проволоки и может изменяться до 100 Гц. Отключение электромотора при обрыве проволоки производится с помощью замыкающего реле. Благодаря использованию в схеме управления метода широтно-импульсной модуляции, электродвигатель может устойчиво и практически бесшумно работать даже на малых оборотах.

Блок подсчета числа циклов до разрушения (рис.7) состоит из индуктивного PNP датчика – 1, маячка – 2, защиты маячка – 3. Число циклов до разрушения соответствует числу импульсов, возникающих при прохождении маячка рядом с датчиком и поступающих от датчика 1 на ЖКИ (LCD) дисплея. Скорость вращения маячка может достигать 5800 об/мин, и поэтому для обеспечения условий безопасности он закрывается защитный экраном из оргстекла толщиной 2 мм.

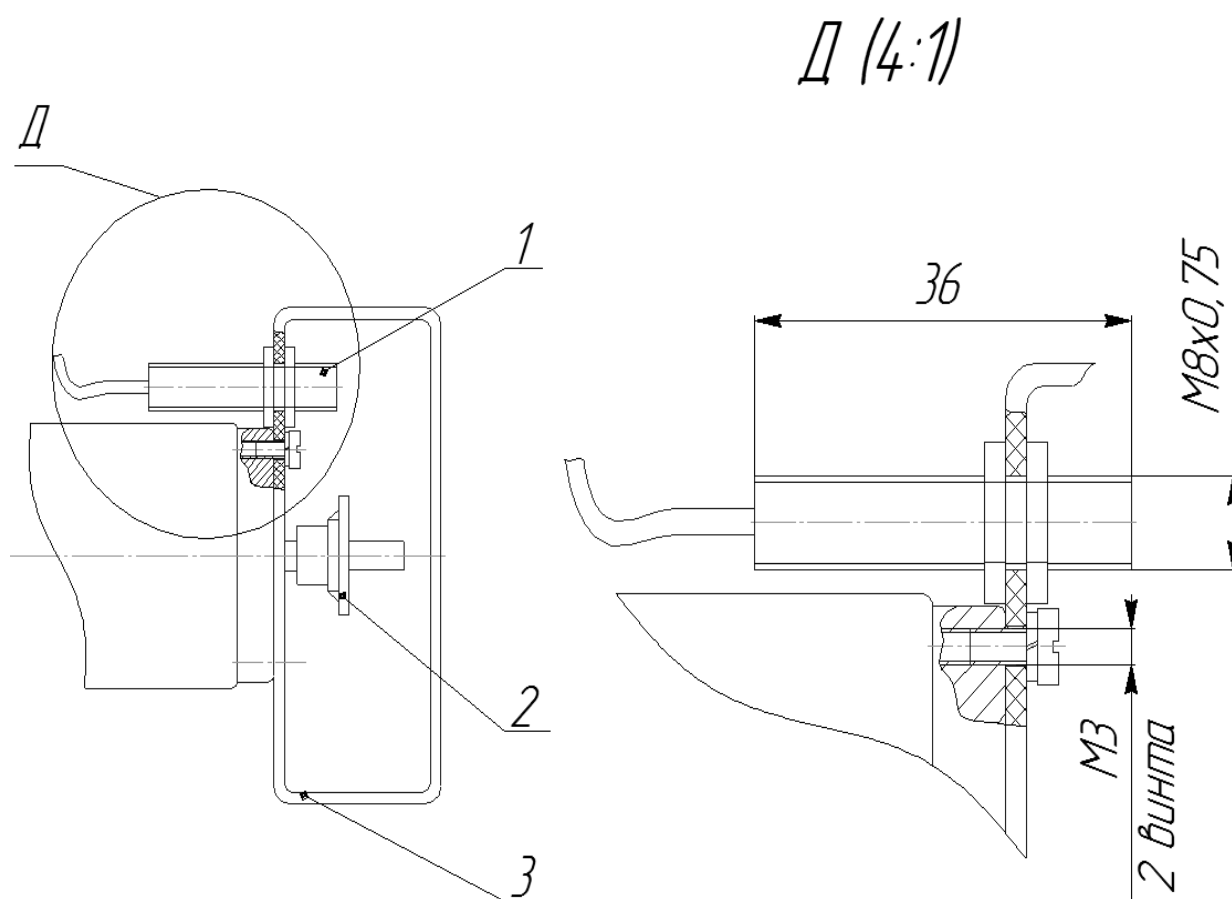


Рис.7 Блок подсчета числа циклов до разрушения

По разработанным чертежам была изготовлена и смонтирована новая установка, проведены сравнительные усталостные испытания образцов из латунированной проволоки, построены кривые усталости, выполнены расчеты среднего отклонения и коэффициента вариации числа циклов до разрушения.

Сравнение технических характеристик и анализ экспериментальных данных показал бесспорное преимущество новой установки по сравнению с базовой конструкцией (табл.): использование новой установки приводит к уменьшению среднего отклонения и коэффициента вариации в 1,5 раза, что свидетельствует о лучшей повторяемости результатов.

Таблица. Технические характеристики базовой и новой установки

Параметр	Базовый вариант	Разработанный вариант
Регулировка частоты нагружения	Нет	Есть (0,1...100 Гц)
Входное напряжение питания, В	220	220
Напряжение питания компонентов установки, В	220	5...24
Привод передвижения платформы	Ручной	Электропривод
Определение числа циклов	Механический (погрешность 100 циклов)	Электронный (погрешность 1 цикл)
Диаметр проволоки, мм	0,3	0,3 – 1,0
Диапазон задаваемых напряжений, МПа	600...2000	200...1200
Средний уровень шума, дБ	71,2	52,0
Масса установки, кг	14	6
Среднее время испытания (для построения одной кривой усталости), ч	48	24

Заключение

Разработана конструкция, изготовлена и смонтирована установка для усталостных испытаний проволоки диаметром 0,3 – 1 мм при нагружении по схеме «изгиб с вращением», которая по сравнению с базовым вариантом имеет следующие преимущества.

- Амплитудные значения напряжений при усталостных испытаниях можно задавать с высокой точностью простым и надежным способом за счет закрепления проволоки в одном из 11 каналов платформы, имеющих различные радиусы изгиба. Необходимый радиус изгиба канала определяется по графику на рис.6 в зависимости от диаметра проволоки и требуемого значения напряжения. Диапазон варьирования напряжений составляет 200-1200 МПа.
- Частота нагружения образца определяется скоростью вращения электродвигателя и может изменяться от 0,1 до 100 Гц.

- Замена механической системы подсчета циклов на электронную повысил точность определения числа циклов до разрушения в 100 раз.
- Проведение усталостных испытаний на новой установке позволяет уменьшить стандартное отклонение и коэффициент вариации экспериментальных данных в 1.5 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.: Металлургия, 1978. 304 с.
3. Instron, Электродинамическая испытательная система ElectroPuls E1000. Режим доступа: <http://www.instron.ru/wa/product/ElectroPuls-E1000-All-Electric-Instrument.aspx> (дата обращения: 05.04.2014).
4. Instron, «Испытание на усталость и разрушение арматурной проволоки для шин».Режим доступа: http://www.instron.ru/wa/solutions/Tire_Reinforcing_Wire.aspx (дата обращения 05.04.2014).
5. Геминев В.Н., Геров В.В. Колмаков А.Г. Установка для усталостных испытаний тонких проволок. Патент РФ № Ru 2163716C1 jn 14/09/1991.