

**УДК**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ**  
**ПРОВОЛОКИ**

Илья Сергеевич Семенцов

*Студент 6 курса*

*кафедра «Материаловедение»*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: М.В. Унчикова,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

Процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению, называется усталостью. Способность же материалов воспринимать эти повторные и знакопеременные напряжения без разрушения называется сопротивлением усталости или циклической прочностью [1].

Прочность материалов и конструкций при повторных нагружениях – обширный и чрезвычайно важный для практики раздел современной науки о прочности. Сложный и многофакторный характер процессов разрушения, их зависимость от истории нагружения, разнообразие явлений, приводящих к образованию и развития трещин привели к широкому использованию феноменологического подхода с дифференциацией методов расчета по крупным группам явлений. Раздельно рассматриваются многоцикловая усталость, при которой трещины развиваются на фоне упругого деформирования конструкции в целом, и малоцикловая усталость, связанная с повторным пластическим деформированием части конструкции, большой по сравнению с размерами структурных составляющих (зерен, пор, включений) [2].

Чтобы понять механизм возникновения усталостных напряжений разберем пример работы оси железнодорожного вагона. Вначале рассмотрим случай, когда вагон неподвижен. На рис. 1 показаны обусловленные действием силы тяжести  $P$  эпюры изгибающего момента и нормальных напряжений в сечениях среднего участка оси. При движении вагона по ровному участку пути, когда колебания его корпуса отсутствуют и внешние силы остаются неизменными, вращение осей приводит к изменению положения точек на поверхности сечений по отношению к плоскости действия постоянного изгибающего момента  $M = P_a/2$  (на рис. 1 цифрами 1...8 показаны различные положения одной из точек на поверхности сечения).

Таким образом, за время одного оборота колеса в каждой точке поверхности оси железнодорожного вагона напряжения изменяются во времени по гармоническому закону  $\sigma(t)$ , проходя нулевые значения (положения точки 1 и 5) и достигая максимальных значений растягивающих и сжимающих напряжений (положения точки 3 и 7 соответственно). Частота изменения напряжений определяется скоростью движения поезда. Легко убедиться в том, что во время одного рейса поезда дальнего следования Москва- Владивосток-Москва описанный цикл изменения напряжений в осях вагонов повторяется более пяти миллионов раз [2].

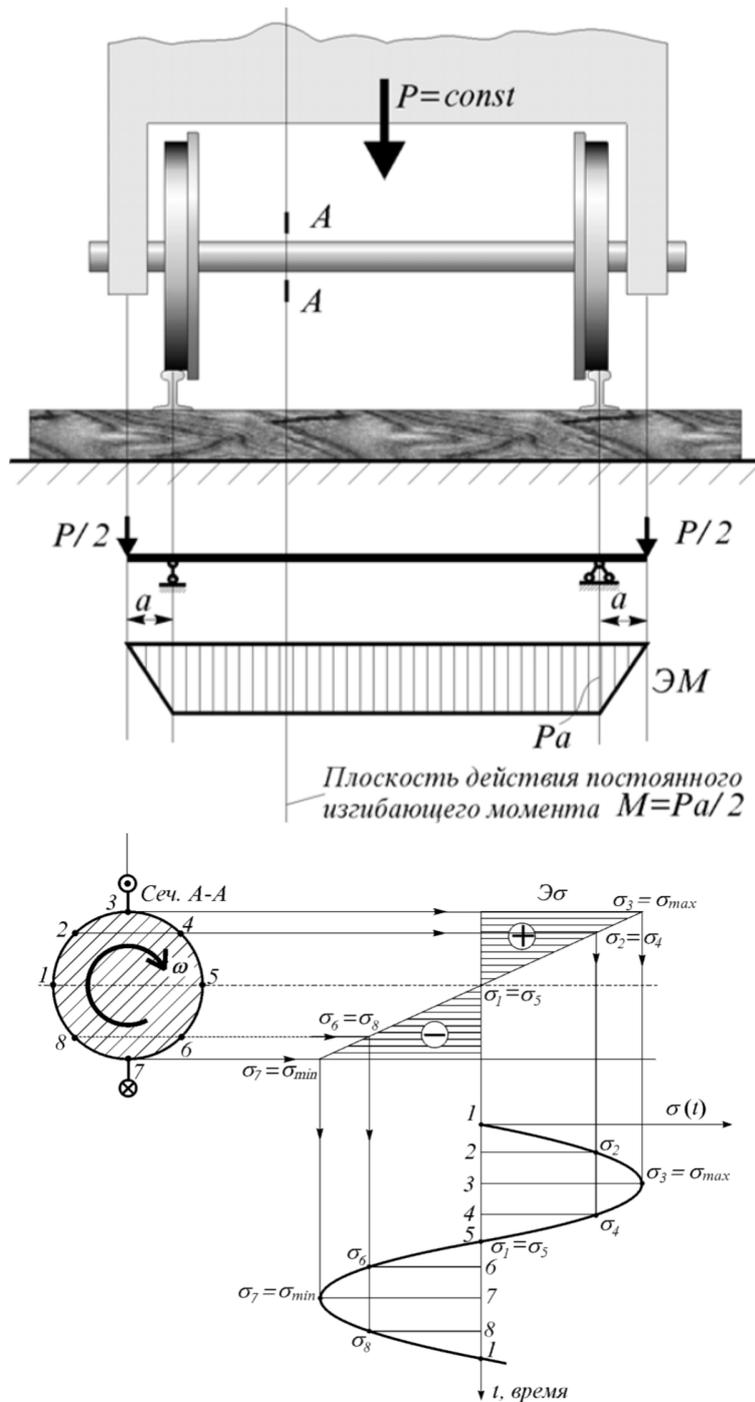


Рис. 1. Работа оси железнодорожного вагона

Циклические испытания механических свойств материалов имеют важное значение, поскольку большинство деталей машин, транспортных и других конструкций в процессе работы претерпевают воздействие переменных нагрузок. Под действием циклических напряжений в материалах зарождаются и постепенно развиваются трещины, вызывающие в конечном итоге полное разрушение. Такие разрушения особенно опасны, потому что могут протекать под действием напряжений, намного меньших предела текучести. Большинство случаев эксплуатационного разрушения происходит в результате циклического разрушения.

На рис. 2 в общем виде представлена полная кривая усталости в диапазоне напряжений от временного сопротивления разрушению (предела прочности) до предела выносливости (предела усталости). Конечно, построение полной кривой

усталости в большинстве случаев носит условный характер, так как для получения полного спектра амплитуд напряжений или деформаций часто требуются различные типы испытательных машин.

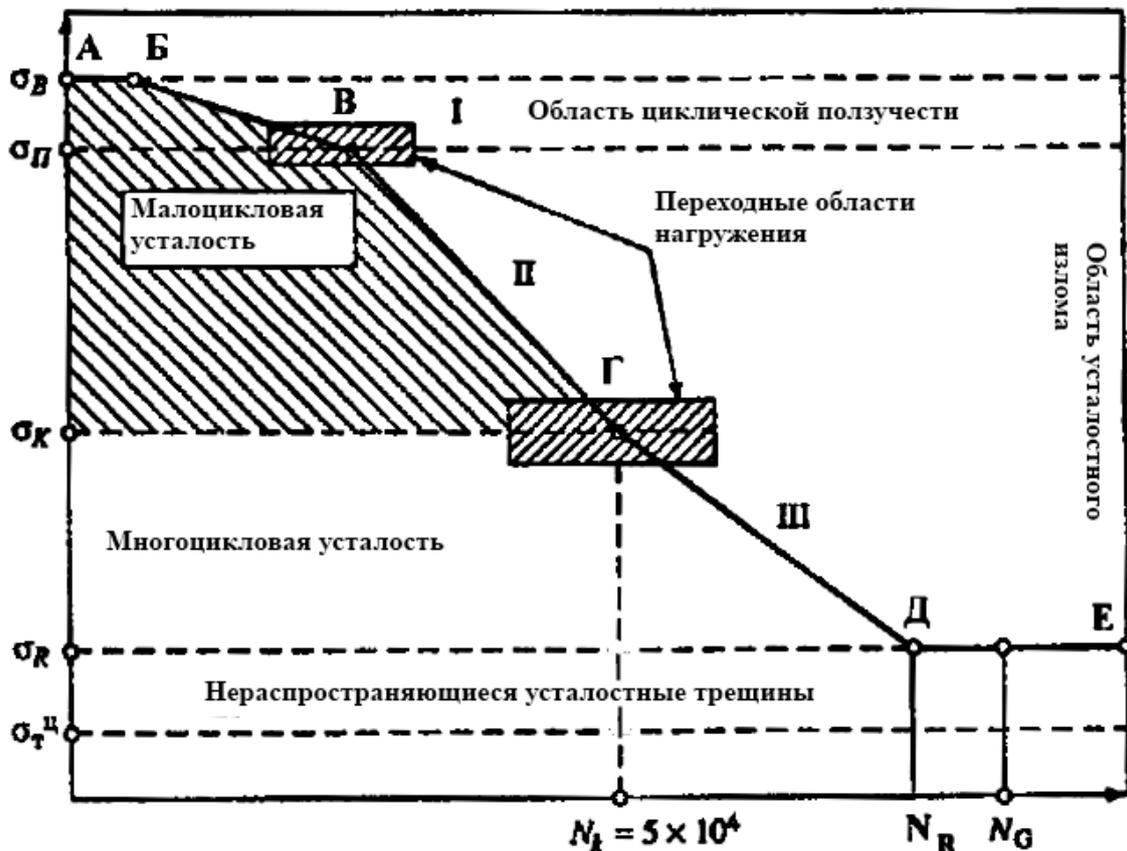


Рис. 2 Кривая усталости в общем виде

Задача усталостных испытаний – дать количественную оценку способности материала работать в условиях циклического нагружения без разрушения.

Цель большинства усталостных испытаний – определение долговечности при напряжениях, меньших статического предела текучести и больших базах испытаний (до  $10^8$  циклов нагружения). В ряде случаев для оптимального проектирования требуется знать поведение материала, как правило, при высоких циклических напряжениях (больших предела текучести), вызывающих усталостное разрушение после сравнительно небольшого числа циклов изменения напряжений или деформаций. Поэтому наряду с построением обычных кривых усталости большое развитие получили работы по исследованию несущей способности материалов при малоцикловой усталости (база испытания от  $5 \cdot 10^4$  до  $10^5$  циклов нагружения  $N$ ) [1].

Реальные детали машин отличаются от образцов конструкторско-технологическими особенностями и условиями нагружения, которые должны быть учтены при расчете конкретных деталей. Кратко рассмотрим наиболее значимые факторы, определяющие усталостную прочность деталей.

1. Концентрация напряжений – эффект снижения предела выносливости, обусловленный местным увеличением (рис. 3) напряжений и изменением характера напряженного состояния по сравнению с номинальными в зоне резкого изменения очертания детали (у отверстий, канавок, резьбы, в галтельных переходах от одного сечения к другому, в зонах сварочных швов и т.п.);

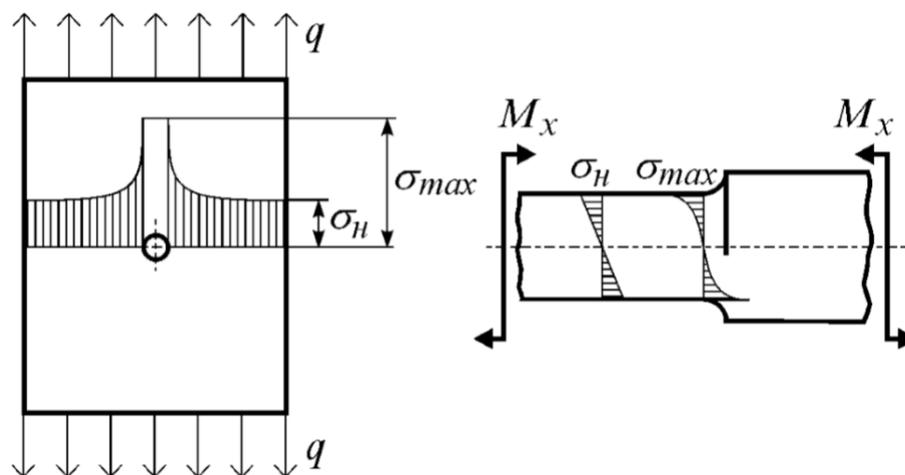


Рис. 3 Концентраторы напряжений

2. Масштабный эффект, проявляется в виде снижения предела выносливости материала с увеличением размеров испытываемых образцов. Очевидно, этот эффект объясняется тем, что с увеличением объема рабочей части образца возрастает вероятность наличия в ней металлургических и технологических микродефектов;

3. Качество обработки поверхности значительно влияет на усталостные свойства деталей, поскольку их наружные слои часто оказываются наиболее напряженными (изгиб, кручение, внецентренное растяжение и др.);

4. Методы технологического упрочнения поверхности детали позволяют в ряде случаев значительно повысить выносливость за счет наклепа поверхностного слоя, ликвидации части микродефектов и создания остаточных сжимающих напряжений, препятствующих образованию трещин на поверхности детали;

5. Комплексный учет влияния основных конструкторско-технологических факторов на усталостную прочность деталей. Результирующее влияние основных факторов можно учесть введением в расчеты предела выносливости конкретной детали ( $\sigma_{-1д}$ ), который получают путем корректировки предела выносливости материала ( $\sigma_{-1}$ ), определенного при стандартных испытаниях лабораторных образцов;

6. Учет асимметрии циклов напряжений. Приводимые в справочной литературе характеристики выносливости материалов обычно получают в результате проведения стандартных лабораторных испытаний, при которых в образцах воспроизводятся симметричные циклы напряжений ( $\sigma_m = 0$ ,  $\sigma_a = \sigma_{max} = |\sigma_{min}|$ ,  $R = -1$ ). В отличие от образцов реальные детали машин часто подвергаются действию различных асимметричных циклов, например, в таких условиях работает балка, на которой установлен стационарный агрегат с вращающимся неуравновешенным ротором (рис. 4) [2].

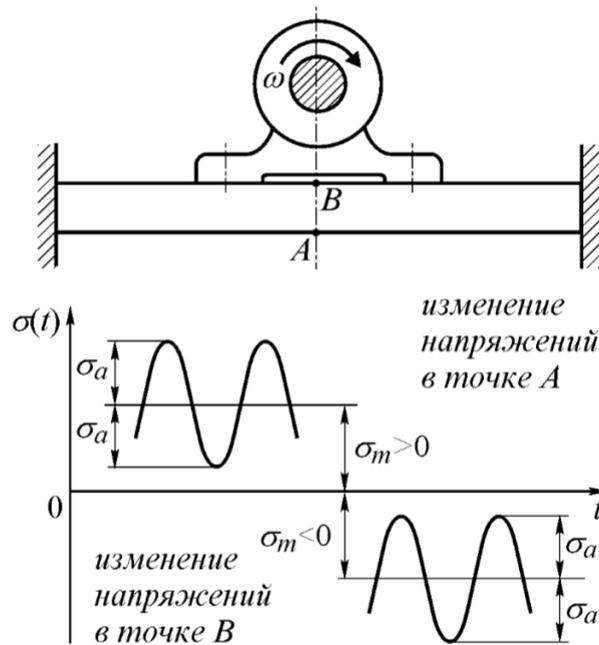


Рис. 4 – Учет асимметрии циклов напряжений

Современные методы испытаний на усталость весьма разнообразны. Они отличаются характером изменений напряжений во времени, схемой нагружения (изгиб, растяжение-сжатие, кручение), наличием или отсутствием концентраторов напряжений. Усталостные испытания проводятся при различных температурах и в разных средах. Основные требования и методика усталостных испытаний обобщены в ГОСТ 25.502-79.

В соответствии с государственным стандартом (ГОСТ 23207-78 "Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения") усталостью называют процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящих к изменению его свойств, образованию и развитию трещин и разрушению. Различают две основные разновидности усталостного повреждения:

1. Малоцикловая усталость возникает при максимальных напряжениях, превышающих предел текучести материала, и сопровождается знакопеременным пластическим деформированием объема материала, большого по сравнению с размерами структурных составляющих (зерен, пор, включений). Число циклов до образования заметной трещины (длиной 0,5 – 1 мм и более) зависит в основном от величины пластической деформации детали в каждом цикле и от способности материала сопротивляться малоцикловому разрушению; для стальных конструкций оно не превышает 10<sup>4</sup>;

Явление малоциклового усталости знакомо каждому, кто ломал проволоку, пластически деформируя ее в разные стороны.

2. Многоцикловая усталость имеет место при напряжениях значительно ниже предела текучести ( $\sigma_{\max} < 0,6 \sigma_T$ ). В этом случае в макрообъеме материал деформируется упруго (его свойства с вполне удовлетворительной точностью описываются законом Гука  $\sigma = E\varepsilon$ ).

Однако большинство реальных материалов имеют сложную многокомпонентную структуру (зерна, поры, межзеренные прослойки, неметаллические включения в сталях и т. д.). При упругом деформировании достаточно большого объема в микрообъемах (в отдельных слабых зернах, вблизи дефектов)

происходит локальное знакопеременное пластическое деформирование, которое называют микропластическим. Его многократное повторение приводит к зарождению микроскопических трещин. Постепенное их развитие и слияние в магистральную трещину приводит к ослаблению сечений и затем к внезапному долому деталей. Продолжительность стадии многоциклового усталости к моменту зарождения магистральной усталостной макротрещины для стальных конструкций превышает  $10^5$  –  $10^6$  циклов.

Для многоциклового усталости в качестве предельного состояния детали здесь принимается образование магистральной трещины длиной 0,1...0,5 мм, т.е. анализ ограничивается начальной стадией усталостного разрушения. Усталостный излом деталей имеет характерный вид, позволяющий отличать его от разрушений при других видах нагружений (рис. 5).

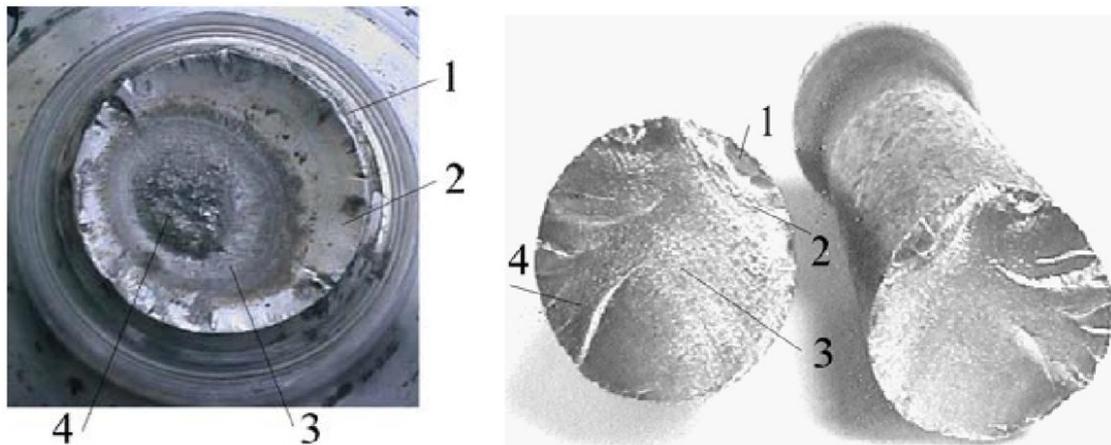


Рис. 5 – Характерный вид усталостного излома автомобильной оси и долота перфоратора

Основные признаки многоциклового излома:

1 – очаг зарождения усталостного повреждения, нередко здесь можно заметить небольшой дефект, с которого начинается развитие трещины – раковину, неметаллическое включение, царапину или забоину; 2 – зона постепенного продвижения трещины, для которой характерна гладкая блестящая поверхность как результат длительного притирания поверхностей; 3 – зона ускоренного развития трещины; 4 – зона долома; она имеет зернистую поверхность, характерную для хрупкого разрушения от статической нагрузки.

Локальные процессы зарождения и первоначального развития трещины не оказывают заметного влияния на деформирование детали в целом, а ускоренное развитие трещины, как правило, непродолжительно. В результате долом часто происходит внезапно и становится причиной аварийных ситуаций. Более 70% всех разрушений технических устройств связано с разрушением от многоциклового усталости. Отсюда ясно, насколько актуальными являются задачи изучения поведения материалов при циклическом нагружении и разработки методов расчета, обеспечивающих предотвращение усталостных разрушений конструкций в эксплуатации [2].

В данной работе рассматриваются усталостные испытания иного типа, поэтому данный ГОСТ не обобщает полностью требования к испытаниям на усталость.

В последние годы интенсифицировались исследования по изучению усталостной прочности на сверхбольших базах испытания, составляющих  $10^9$ – $10^{10}$  циклов нагружения так называемая гигацикловая усталость. Испытания на таких

больших базах бывают необходимы, поскольку ресурс нагружения многих ответственных металлических конструкций, работающих в режиме циклических нагрузок, превышает стандартные базы усталостных испытаний.

Проведение таких испытаний выявило интересную особенность. Металлические материалы, у которых при стандартных базах испытания наблюдался физический предел выносливости, вдруг начинают разрушаться после прохождения 107-109 циклов нагружения, и возникает как бы вторая ветвь гигацикловой усталости и длинная ступенька между кривой многоцикловой и гигацикловой усталости. При этом на больших базах испытаний на усталость (больших 107-108 циклов нагружения) трещины почти всегда зарождаются не на поверхности, как это обычно наблюдается при многоцикловой усталости, а под поверхностным слоем [1].

Основная проблема при усталостном и статическом испытании тонких проволок является проблемность закрепления. При использовании стандартных методов происходит пластическая деформация образца и в следствии этого разрушение в месте захвата.

В данной установке минимальный диаметр ограничивается твердостью проволоки и возможностью изготовления устройства удерживающего проволоку в заданном нагруженном состоянии, к примеру для проволоки диаметром 0,01мм будет необходима лунка соответствующая диаметру проволоки, примерно 0,02мм, и радиус лунки 5мм. Основной проблемой является сложность изготовления лунки таких маленьких размеров.

Проблема испытания тонких проволок для армирования шин рассматривается в статье компании Instron «Испытание на усталость и разрушение арматурной проволоки для шин».

Проволока и кабель для армирования автомобильных шин востребованы и находят широкое применение в качестве образца стальной продукции. Проволока, тонкая, как волос, укрепляет шину, что помогает выдерживать комплексное нагружение при эксплуатации. Однако, она часто подвергается повреждениям от удара, усталости и разрушения.

Данный тип тонкой проволоки вызывает определенную трудность при захвате из-за тонкости и твердости. Без применения подходящего способа захвата концентрация напряжений на поверхности губки может привести к преждевременному повреждению или разрушению губки. Кроме того, поскольку материал подвергается деформации в малой степени во время испытания, считают, что недостаточно использовать традиционный датчик измерения перемещения для получения точных данных о деформации. Наконец, использование контактных экстензометров может привести к ошибкам, вызванным, например, соскальзыванием острых концов или из-за точек концентрации напряжения.

Instron рекомендует использовать ElectroPuls и сервогидравлическую систему серии 8800 для изучения усталостных свойств и свойств при разрушении проволоки, используемой для армирования шин. Для самых тонких проволок очень важно подобрать подходящий датчик нагрузки, рассчитанный на небольшое усилие, а также подходящие захваты малой массы для успешного проведения динамического испытания.

В данном конкретном случае используют испытательную систему ElectroPuls E1000 рис. 6, оснащенную датчиком Dynacell, рассчитанным на небольшую нагрузку, и миниатюрными цанговыми захватами для тонкой проволоки, которые не вызывают концентрации напряжений. Кроме того, использовалось оптическое цифровое кодирующее устройство на ElectroPuls для наблюдения за данными по перемещению. Испытания проводили с диапазоном нагрузок от 0,5 Н до 1,5 Н с частотой до 80 Гц.

Образцы для испытаний на разрушение были вырезаны из более плотных участков проволоки, на них были сделаны насечки электроэрозионным станком. Затем они подвергались усталостным испытаниям с частотой более 20 Гц, в то время, как оптическая микроскопия использовалась для измерения разрастания трещины [3].



Рис. 6 – Испытательная система для тонких проволок Instron [3]

Также есть статья Instron об испытании нитинола «Циклические испытания на растяжение нитиноловой проволоки».

Нитинол - суперэластичный сплав с эффектом памяти формы, нашедший широкое применение в биомедицинской промышленности. Несколько примеров применения нитинола: стенты, ортодонтические дуги, проводниковые катетеры, фиксаторы для внутренних переломов и щипцы для биопсии. Главная трудность, возникающая при испытаниях нитинола - точность измерения деформации. Часто используют пристыжной экстензометр, однако, он может вызвать изгиб проволоки, ее предварительное повреждение. Кроме того, большинство пристыжных экстензометров не обладают достаточной длиной измерительной базы для точного определения свойств материала.

Instron рекомендует использовать автоматический экстензометр, например, AutoX 750. AutoX 750 имеет высокое разрешение 0.1  $\mu\text{m}$  и точность  $\pm 1 \mu\text{m}$  с потенциальной длиной рабочего хода 750 мм. Кроме того, плечи экстензометра AutoX находятся в равновесии и управляются с помощью линейной системы управления, при этом практически не возникает трение. Система позволяет плечам быть "невесомыми", они не оказывают никакого влияния на свойства материала (рис. 7).

Для данного испытания использовалась электромеханическая настольная машина, оснащенная датчиком нагрузки 1 кН и пневматическими боковыми захватами 1 кН. Образцы, проходящие данное испытание были 1 мм в толщину; таким образом, боковые захваты - идеальный выбор для данного испытания. Для образцов большего диаметра рекомендуется использовать боковые захваты или механические клиновые захваты, тогда как, для тонкой нитиноловой проволоки подходящим решением будут пневматические захваты для проволоки и волокон. Последние захваты позволяют

точно выравнивать образцы и сокращать концентрацию напряжений на поверхности захватов, которая в противном случае может привести к повреждению образцов.



Рис. 7. Автоматический экстензометр AutoX 750 [4]

Базовой конструкцией испытательной установки служит патент под названием «Установка для усталостных испытаний тонких проволок».

Изобретение данной установки относится к машиностроению, а именно к области механических испытаний материалов. Установка содержала набор пластин, расположенных перпендикулярно оси вращения патрона. Пластины установлены в обойме с возможностью перемещения относительно друг друга и зафиксированы относительно обоймы посредством узлов фиксации. Крышка, закрепленная на обойме, взаимодействует с одноименными торцами пластин. Криволинейный канал устройства для создания в испытуемом образце изгибной нагрузки образован крышкой и пазами, выполненными в торцах пластин, взаимодействующих с крышкой. Толщина пластин и размер паза составляют 1 - 5 диаметров испытуемого проволочного образца. Установка оснащена датчиком числа оборотов привода вращения патрона и датчиком регистрации разрушения испытуемого проволочного образца, функционально связанным с источником питания привода.

Данное устройство может быть использовано для испытаний проволок диаметром 0,1...2 мм.

Известна установка для усталостных испытаний тонких проволок, защищенная авторским свидетельством СССР N 987460 кл. G 01 N 3/34, принятая за прототип. Известная установка содержит патрон для закрепления образца, привод его вращения и устройство для создания в образце изгибной нагрузки, имеющее обойму с криволинейным каналом для размещения рабочей части образца, выполненным с переменным радиусом кривизны по длине.

Недостатком данной установки являются ее низкие эксплуатационные характеристики. Это объясняется тем, что для каждого радиуса изгиба, а значит - каждого сочетания диаметра проволоки, ее модуля упругости и задаваемого напряжения (относительной деформации) требуется индивидуальное устройство для

создания в образце изгибной нагрузки, а также сложностью и неточностью определения количества циклов нагружения до момента разрушения.

Технической задачей, решаемой предлагаемым изобретением, является повышение эксплуатационных характеристик установки за счет обеспечения использования установки с одним устройством для создания в образце изгибной нагрузки, для широкой области сочетаний диаметра проволоки, ее модуля упругости и задаваемого напряжения при одновременном обеспечении точной регистрации количества циклов нагружений до момента разрушения образца.

Поставленная техническая задача достигается тем, что в известной установке для усталостных испытаний тонких проволок устройство для создания в образце изгибной нагрузки выполнено в виде полой обоймы с крышкой, внутри обоймы установлен набор пластин, расположенных перпендикулярно оси вращения патрона, с возможностью взаимного перемещения относительно друг друга и зафиксированных относительно обоймы посредством узлов фиксации, одноименные торцы пластин взаимодействуют с крышкой обоймы, а криволинейный канал устройства для создания изгибной нагрузки образован крышкой обоймы и пазами, выполненными в торцах пластин, взаимодействующих с крышкой, при этом толщина пластин, установленных в обойме, и размер паза в них составляет от 1 до 5 диаметров испытываемой проволоки, а установка оснащена датчиком числа оборотов привода вращения патрона и датчиком регистрации разрушения испытываемого образца, функционально связанным с источником питания привода.

На рис. 8 показан общий вид установки. На рис. 9 показан вид А. На рис. 10 показан выносной элемент Б.

Установка для усталостных испытаний тонких проволок содержит патрон 1 для крепления проволочного образца 2, привод 3 для вращения патрона 1 и устройство для создания в образце изгибной нагрузки, выполненное с криволинейным каналом 4 в виде полой обоймы 5 с крышкой 6. Внутри обоймы 5 установлен набор пластин 7, расположенных перпендикулярно оси вращения патрона 1, с возможностью перемещения относительно друг друга и зафиксированных относительно обоймы 5 посредством узлов фиксации 8. Одноименные торцы пластин взаимодействуют с крышкой 6 обоймы 5, криволинейный канал 4 устройства образован крышкой 6 и пазами 9, выполненными в торцах пластин 7, взаимодействующих с крышкой 6.

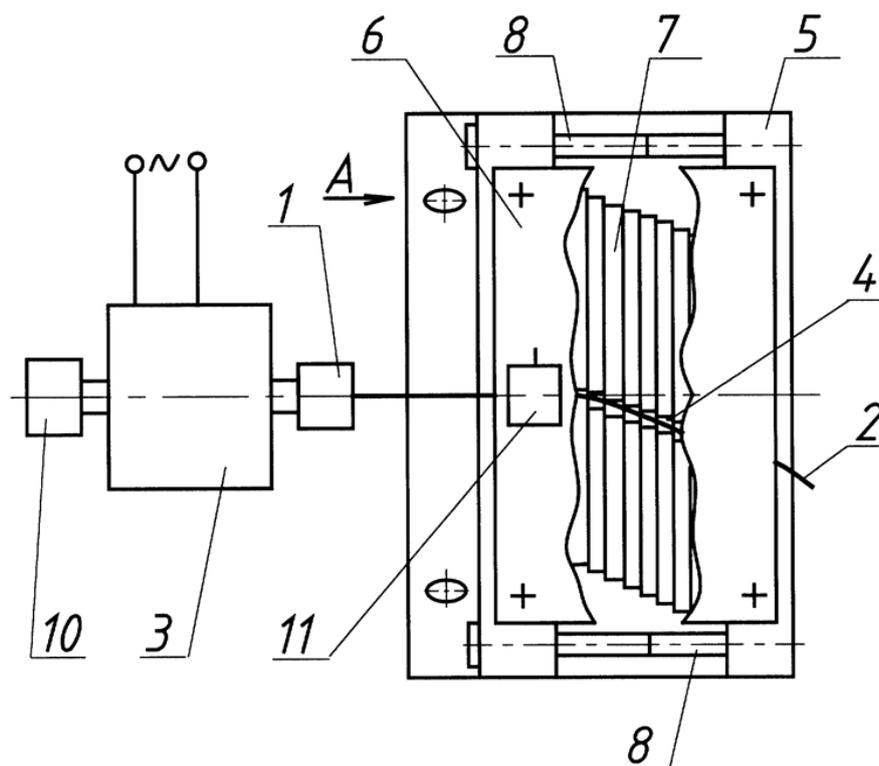


Рис. 8. Общий вид установки

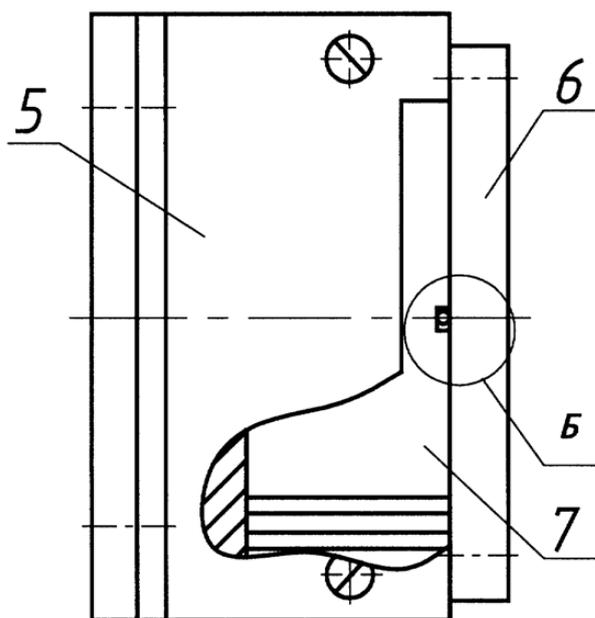


Рис. 9. Вид А

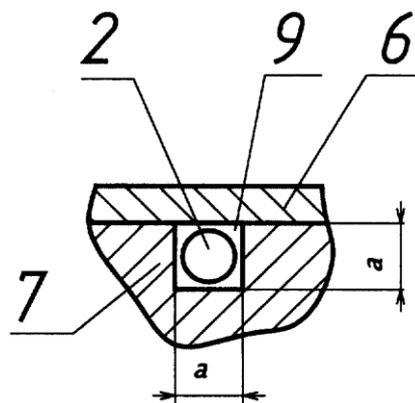


Рис. 10. Вид Б

При этом толщина пластин 7, установленных в обойме 5, и размер "а" паза 9 в них составляет от 1 до 5 диаметров испытуемого проволочного образца 2. Кроме того, установка оснащена датчиком 10 для контроля числа оборотов привода 3 вращения патрона 1 и датчиком 11 для регистрации факта разрушения проволочного образца 2, функционально связанным с источником питания привода 3 и отключающим привод 3 при разрушении проволочного образца 2.

Выполнение установки для усталостных испытаний тонких проволок с устройством для создания изгибных нагрузок позволяет без существенных изменений

установки, только за счет перемещения пластин 7 относительно друг друга проводить испытания образцов из тонкой проволоки 2 с большим интервалом изменения диаметра при различных изгибных напряжениях (различной кривизне канала). Оснащение установки датчиком 10 для определения числа оборотов патрона 1 и датчиком 11 для регистрации факта разрушения проволочного образца 2 позволяет точно контролировать число циклов нагружения образца до разрушения. Все это вместе существенно повышает эксплуатационные характеристики установки [5].

Подводя итоги и учитывая, что практически все материалы испытывают усталостную нагрузку можно утверждать, что данный вид испытаний играет очень важную роль в материаловедении и машиностроении. В идеальном случае возможно испытать любой материал из которого возможно изготовить проволоку и который имеет определенный запас пластичности.

С помощью разработанной установки возможно выбирать количество циклов в пределах от 0 до 999 999 999 циклов и останавливать испытание. Наибольшее число циклов ограничивается износостойкостью испытательной платформы и счетчиком оборотов и равно 10<sup>9</sup> циклов, что в большинстве случаев циклических испытаний более чем достаточно.

В следствии того, что данная установка была изобретена в начале 80-х годов, она морально и физически устарела. Было принято решение с нуля создать современный аналог установки, обеспечить необходимую точность в системе нагружения образца и усовершенствовать системы подсчета циклов и отключения установки при обрыве проволоки.

После обновления установки необходимо провести испытания и сравнить данные полученные на предыдущем варианте испытательного стенда.

По возможности расширить круг материалов испытанных на установке.

Главным критерием новой установки является простота в эксплуатации и обслуживании, надежность, дешевизна и доступность составных частей и точность получаемых данных.

Каркас установки и корпус управления испытанием изготовлен из оргстекла, это связано с тем, что данный материал относительно хорошо обрабатывается резанием и очень хорошо деформируется при нагревании.

Для приведения проволоки во вращательное движение используется коллекторный электродвигатель постоянного тока, с постоянными магнитами, производство компании «АТAS Elektromotory» Чехия рис. 11.

Данный двигатель имеет широкий диапазон регулирования оборотов вращения, что способствует заданию необходимых параметров испытания, а так же продолжительности испытания и, что не мало важно, большой запас ресурса. Так же вал данного электромотора имеет выход с 2-х сторон, что необходимо для размещения элементов закрепления проволоки и подсчета количества оборотов. Зарубежный производитель выбран из соображений надежности и относительно небольшой стоимости мотора.



Рис.11. Коллекторный электродвигатель постоянного тока с постоянными магнитами

Характеристики:

- Напряжение питания – 24В;
- Ток – 1.5А;
- Мощность – 25Вт;
- Максимальные обороты – 5800Об/мин;
- Масса – 0.5кг.

Блок питания (NES-150-24) (рис. 12) преобразует напряжение 220 В в «безопасные» 24В, служит источником тока для всех потребителей в установке, подобран, прежде всего, по схожим с мотором, как основным потребителем мощности, характеристикам и запасом мощности и тока.

Данный блок питания имеет важные особенности:

- Защиту от короткого замыкания, перегрузки, высокого напряжения;
- Входное напряжение возможно выбирать переключателем;
- Протестирован при максимальной нагрузке;
- Индикатор питания;
- Перфорированный корпус;
- Возможность регулирования выходного напряжений в пределах  $24\pm 5$  В.
- 



Рис. 12. Блок питания (NES-150-24)

Характеристики:

- Входное напряжение – 90-132, 180-264 VAC;
- Номинальное выходное напряжение – 24 VDC;
- Количество выходов – 1;
- Ток – 6.5A;
- Мощность – 156 Ватт;
- Температурный диапазон -20 +60°C;

Регулятор мощности (MP303F) рис. 13, предназначен для регулирования мощности низковольтных (+12/24В) нагрузок постоянного тока (электродвигатели, лампы накаливания, светодиодные линейки и т.п.), тем самым существует возможность изменять частоту вращения электродвигателя. Благодаря использованию в схеме управления метода ШИМ (широтно-импульсная модуляция), подключенные к устройству электродвигатели могут устойчиво работать даже на малых оборотах, а при работе имеют меньший уровень шумов.



Рис. 13. Регулятор мощности (MP303F)

Характеристики:

- Напряжение питания постоянное – 12/24В;
- Напряжение нагрузки постоянное – 12/24В;
- Ток нагрузки макс. – 15А;
- Диапазон регулирования мощности – 0...100%;
- Размеры печатной платы – 83x46мм.

Счетчик импульсов универсальный рис. 14. Производит подсчет импульсов (оборотов) поступающих от индуктивного датчика и выводит показания на ЖКИ (LCD) дисплей.

Характеристики:

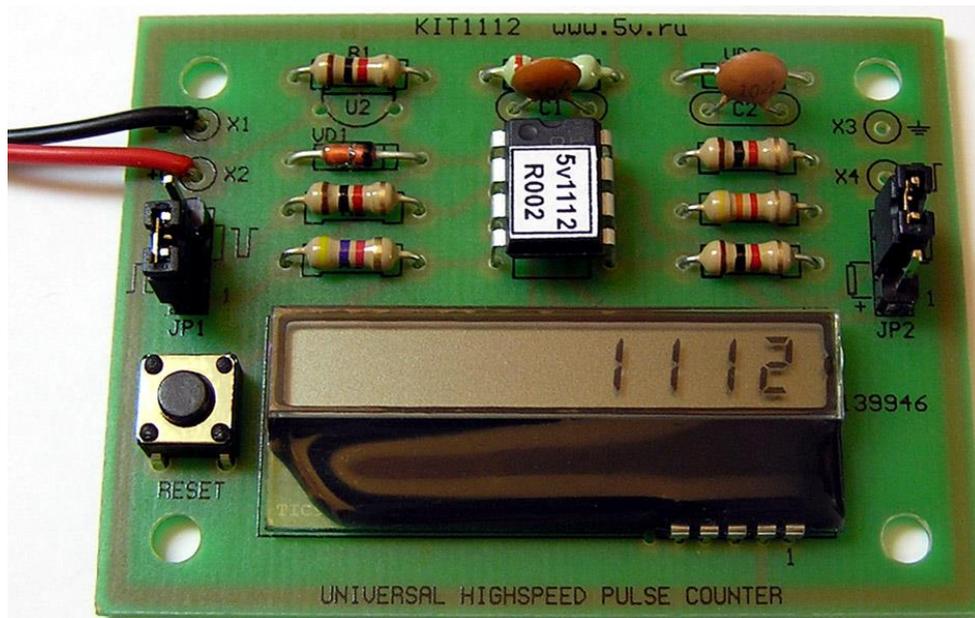


Рис. 14 – Счетчик импульсов универсальный

- Максимальная частота следования импульсов 30000 импульсов в секунду (30кГц);
- Диапазон счета от 0 до 999 999 999 (9 десятичных разрядов);
- Кнопка сброса показаний;
- Защита входа от выбросов амплитудой  $\pm 100\text{В}$ ;
- Скорость обновления показаний индикатора более 50 раз в секунду;
- Напряжение питания – 24В;
- Потребляемый ток – 3мА;
- Габариты печатной платы – 32x15мм.

Индуктивный датчик, PNP, замыкающий, постоянное напряжение рис. 15. Необходим для регистрации совершаемых двигателем оборотов и выдачи импульсов на счетчик. При прохождении рядом с датчиком железного предмета размером сопоставимым с размерами датчика происходит замыкание, что служит импульсом для подсчета.

Характеристики:

- Расстояние срабатывания – 1.5мм;
- Гарантированный интервал срабатывания – 0...1.2мм;
- Ток нагрузки – 200 мА;
- Выходной ключ – PNP транзистор;
- Установка заподлицо – +;
- Максимальный потребляемый ток – 8мА;
- Частота срабатывания мах – 1.5кГц;
- Способ подключения кабель – 3x0.12мм кв.
- Масса – 60г.



Рис. 15. Индуктивный датчик

В роли металлического предмета выступает «маячок» 1, закрепленный на пластине из оргстекла 2, для закрепления на валу мотора использовано клеевое соединение «маячка» и втулки 3 закрепляемой винтом 4. В качестве противовеса служит аналогичная стальная пластина 5 (рис. 16).

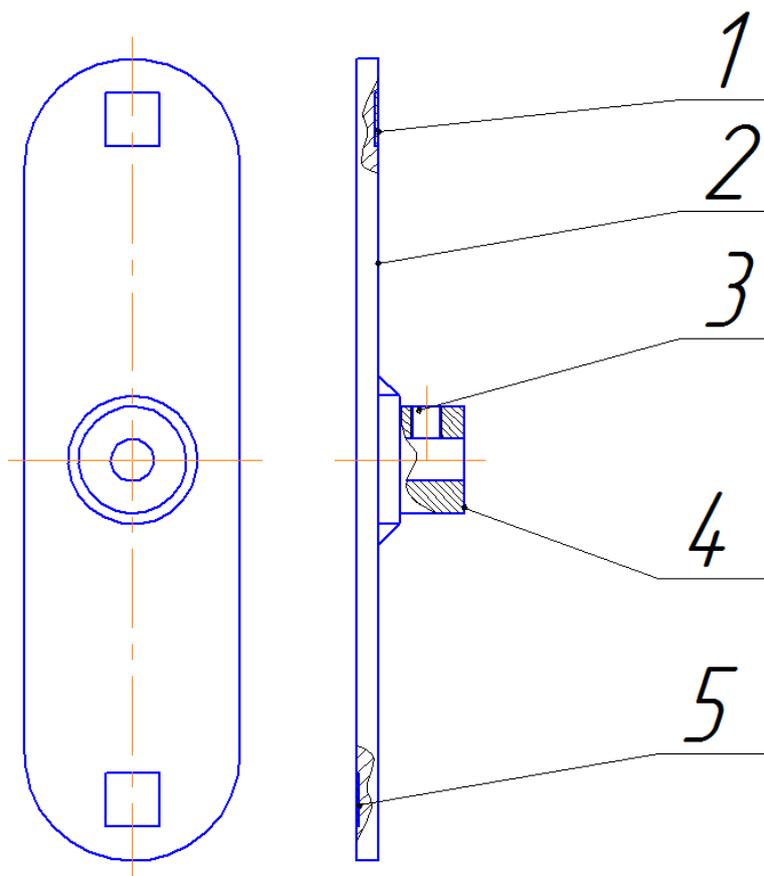


Рис. 16. «Маячок»

Патрон цанговый 4 мм рис. 17. Устанавливается на вал электромотора. Служит для закрепления проволоки.



Рис. 17. Патрон цанговый

Реле замыкающее рис. 18. Служит для отключения электромотора при обрыве проволоки.

Характеристики:

- Ток срабатывания не более – 90.9 мА;
- Номинальное рабочее напряжение – 5В;
- Контактный набор –1 замык;
- Максимальное коммутируемое постоянное напряжение –30В;
- Максимальный коммутируемый постоянный ток – 10А;
- Время срабатывания – 10мс;
- Время отпускания – 5мс;
- Нарботка на отказ не менее –  $10^6$  циклов;
- Рабочая температура – -30...85°C.



Рис. 18. Реле замыкающее

На рис. 19 показана панель управления установкой. Назначение определенных элементов интуитивно понятно исходя из их названия. Передвижение платформы необходимо для смены лунки т.е. изменения напряжения испытания.

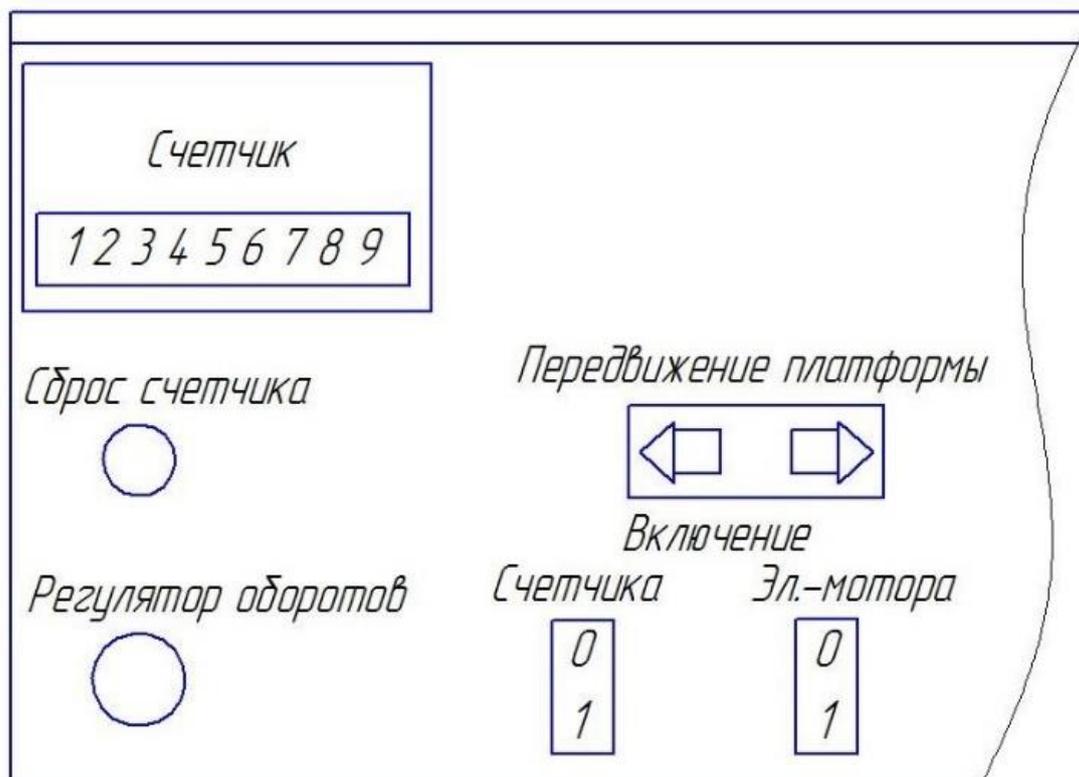


Рис. 19. Панель управления установкой

Схема установки представлена на рис. 20. Во вращательное движение проволоку приводит электродвигатель 1, закрепление проволоки обеспечивает цанговый патрон 2, для соединения в единое целое электродвигателя и направляющей платформы служит корпус установки из оргстекла 3, источником импульсов для подсчета оборотов служит индуктивный датчик 4, «маячок» 5 необходим для замыкания индуктивного датчика, для защиты от быстро вращающейся детали (до 5800об/мин) установлен кожух из оргстекла 6.

Для закрепления проволоки в определенном радиусе изгиба используется платформа с лунками 7, представляющая собой пластину из полиметилметакрилата в которой прорезаны пазы, в данные пазы укладывается проволока, сверху пазы закрываются другой пластиной орг. стекла и закрепляется болтами. Перемещение платформы обеспечивается механизмом 8, он состоит из направляющей и привода.

Для отключения установки при обрыве проволоки подается небольшое напряжение 5В на корпус эл.-мотора с которого ток поступает на образец с которого уже на другом конце снимается электрический сигнал, он способствует замыканию реле включающее электродвигатель. При обрыве цепь размыкается и двигатель останавливается. У данного способа отключения есть недостатки, в настоящее время ведется работа по усовершенствованию или замене данного способа остановки испытания.

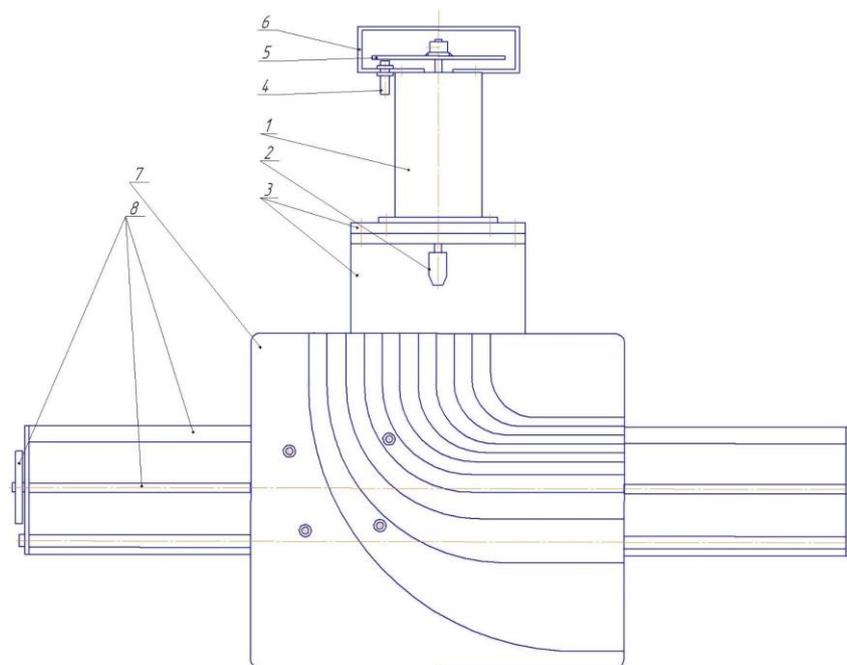


Рис. 20. Схема установки

В качестве модельного материала в работе применялась проволока из конструкционной углеродистой качественной стали 55 химического состава согласно ГОСТ 1050-88 (табл. 1).

Таблица 1. Содержание химических элементов, %

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
0,595	0,18	0,40	0,25	0,040	0,035	0,25	0,25	0,08

Проволока получена волочением со степенью деформации ( $\epsilon=99\%$ ). Диаметр проволоки  $\varnothing 0,3\text{мм}$ . Данная проволока применяется для армирования автомобильных шин в составе металлокорда.

При разработке новых конструкций металлокорда существующих приемочных испытаний явно недостаточно, чтобы спрогнозировать его поведение в шинах. Испытания металлокорда в шинах являются очень продолжительными и дорогостоящими, что стимулирует появление более простых, ускоренных и дешевых методов оценки качества корда. Поэтому при определении эффективности новых конструкций и при отработке технологии изготовления уже известных типов металлокорда проводятся дополнительные тесты на металлокорде.

К таким характеристикам для металлокорда каркасных конструкций можно отнести:

- модуль упругости;
- выносливость как в обрешиненном, так и в необрешиненном состоянии;
- усилие анкерки внутренних слоев, геометрическое расположение проволок и уровень компактности.

Каркасные конструкции металлокорда, по мнению конструкторов шин, должны обладать высоким модулем упругости, что позволяет более полно передавать тяговые и тормозные нагрузки от транспортного средства к поверхности дорог.

Для металлокорда брекерных слоев также важен показатель модуля упругости, но в качестве составляющей изгибной жесткости. Показатель изгибной жесткости в брекерных слоях шин определяет ходимость шин, уровень сопротивления качению, совместно с величиной разрывного усилия - вес шин. Высокий модуль упругости стали в сочетании с большими диаметрами проволок позволяет обеспечивать необходимую жесткость брекерного слоя и по возможности уменьшать количество слоев в шине.

В настоящее время проводятся испытания данной проволоки. Результаты сравниваются с ранее полученными на предыдущем варианте установки. В дальнейшем планируется расширить круг используемых материалов. Планируется провести испытания на материале нитинол.

Еще возможно испытание проволоки на усталость данным методом применяемой для изготовления стентов рис. 21. Стенты – это металлические каркасики (маленькие металлические трубочки) с ажурным, сетчатым строением стенки. Основным материалом для их изготовления на сегодняшний день служит нержавеющая сталь, а также сплавы на основе нитинола и тантала.

Стенты располагаются на баллонах, что позволяет им в нераскрытом состоянии иметь совсем небольшие размеры, а после раздувания баллона внутри коронарной артерии расширяться, оставаясь в таком положении навсегда [6].

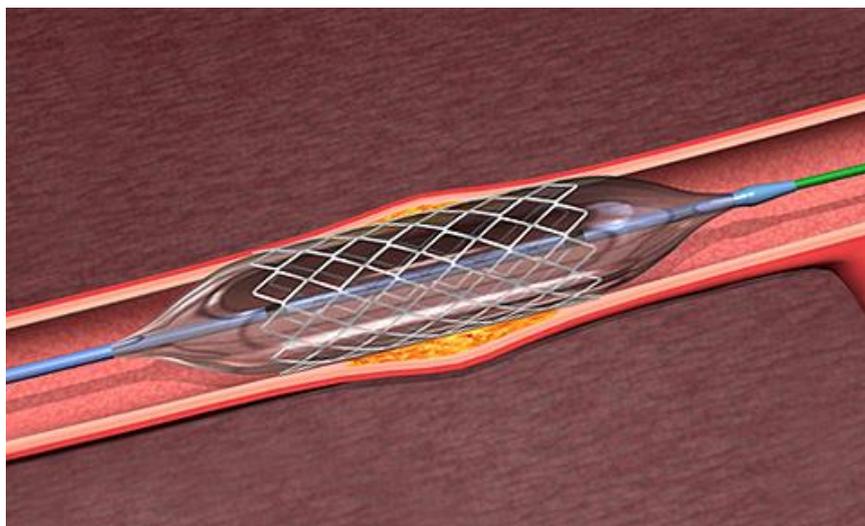


Рис. 2. Стент в кровеносном сосуде

Также проволоку работающую в подобных условиях можно увидеть в технических щетках рис. 22.

Данные щетки применяются для для зачистки заусенцев (с отверстием, неплетеные), используемые на стационарных шлифовальных машинах, доступны также в исполнении «ЛТ» со скрученным и латунированным литцендратом. Благодаря этому они также подходят для тяжелых работ, например, для снятия заусенцев с обрезных кромок; дисковые щетки с хвостовиком (неплетеные) дополнены сверхузкими исполнениями, которые в особенности подходят не только для обработки труднодоступных мест, но и для предельно точной работы; щетки в исполнении INOX-TOTAL из высококачественной стали (INOX) выполнена не только рабочая часть, но и все остальные детали (INOX). Они изготовлены из стали марки 1.4310 (V2A), что надежно защищает заготовку от коррозии. Поставляемые щетки INOX-TOTAL имеют распространенный тип конструкции и исполнения; тарельчатые щетки имеют рабочую

часть с содержанием SiC и используются для обработки поверхностей и выполнения работ по устранению заусенцев на стационарных машинах.

Фирма «PFERD» предлагает тарельчатые щетки с различными видами зернистости; плетение COMBITWIST доступно также и для чашечных щеток с резьбой (плетеных) без опорного кольца. Эти агрессивные щетки отлично подходят для выполнения тяжелых работ на поверхностях, например, для удаления ржавчины и очистки [7].



Рис. 22. Дисконная не плетенная и плетеная щетка

## Литература

1. Терентьев В.Ф., Циклическая прочность металлических материалов, Новосибирск: НГТУ, 2001.
2. И. Березин, Усталостное разрушение металлов и расчеты на прочность и долговечность при переменных напряжениях, Челябинск: ЮУрГУ, 2002.
3. Instron, «Испытание на усталость и разрушение арматурной проволоки для шин,» [В Интернете]. Available: [http://www.instron.ru/wa/solutions/Tire\\_Reinforcing\\_Wire.aspx](http://www.instron.ru/wa/solutions/Tire_Reinforcing_Wire.aspx). [Дата обращения: 2013].
4. Instron, «Циклические испытания на растяжение нитиноловой проволоки,» [В Интернете]. Available: <http://www.instron.ru/wa/solutions/details.aspx?PageID=1702>. [Дата обращения: 2013].
5. В. Геминев, «Установка для усталостных испытаний тонких проволок». Россия Патент 2163716.
6. «СТЕНТЫ – РАЗНОВИДНОСТИ,» [В Интернете]. Available: <http://www.ichilov.net/heartsurgery/Stentsvarieties/>. [Дата обращения: 2014].
7. Pferd, «Технические щетки,» [В Интернете]. Available: [http://www.pferd.com/ru-ru/244\\_RUS\\_HTML.htm](http://www.pferd.com/ru-ru/244_RUS_HTML.htm). [Дата обращения: 2014].