

представлены зависимости при фиксированных токах в обмотках тягового электродвигателя, которые рассчитаны для обеспечения тягового усилия электровоза  $0,2F_H$ ,  $0,4F_H$ ,  $0,6F_H$ ,  $0,8F_H$ ,  $F_H$  на скорости движения электровоза 50 км/ч. Электромагнитная совместимость подвижного состава обеспечивается выбором параметров электрического полупроводникового вариатора. Параметры накопителя электрической энергии выбраны таким образом, чтобы характер входного электрического сопротивления тягового электропривода был близок к активному сопротивлению на всем диапазоне регулирования мощности. Данным техническим решением практически исключаются нелинейные искажения тока и напряжения на токоприемнике подвижного состава, а полная мощность близка по величине к активной мощности, поэтому коэффициент мощности локомотива поддерживается близким к единице на всем диапазоне регулирования тягового и скоростного режима поезда.

**Литература:**

1. Рябченко Н.Л., Алексеева Т.Л., Астраханцева Н.М., Рябченко К.П., Астраханцев Л.А., Байрасахан Гантумур  
Причина снижения эффективности преобразования электрической энергии и

электромагнитной совместимости элементов в электротехническом комплексе / Транспортная инфраструктура Сибирского региона: Материалы третьей всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Иркутск: ИрГУПС, 2013. – С. 370-376.

2. Алексеева Т.Л. Электронные преобразователи для ресурсосберегающих технологий / Т.Л. Алексеева, Н.Л. Рябченко, Н.М. Астраханцева, Л.А. Астраханцев. – Иркутск: ИрГУПС, 2010. – 240 с.

3. Патент на изобретение № 2427878. Российская Федерация. Способ и устройство регулирования мощности нагрузки / Н.Л. Рябченко, Т.Л. Алексеева, Л.А. Астраханцев и другие. Опубликовано в Б.И., № 24, 2011.

4. Астраханцев Л.А., Савинский Е.Н., Кузнецова Д.И. Тяговые характеристики электровоза 2ЭС5К с электрическим полупроводниковым вариатором при последовательном возбуждении / Проблемы транспорта Восточной Сибири: Материалы Всероссийской науч.-практ. конференции. – Иркутск: ИрГУПС, 2013. – Ч. 1. – С. 11 – 15.

---

УДК 621.185.532

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ ПРИЖИМА ОБРАЗЦА В УСТРОЙСТВЕ КРЕПЛЕНИЯ ПРИ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ**

*к.т.н. Блохин А. В., соискатель Лось А. М., к.т.н., доц. Тумашик И. И.,  
Белорусский государственный технологический университет, Беларусь*

**THE USE OF FINITE ELEMENT METHOD FOR DETERMINATION OF SAMPLE PULL IN ATTACHMENT DEVICE DURING FATIGUE TESTS**

*Candidate of Technical sciences Blokhin A.V., applicant Los A. M.,  
Candidate of Technical sciences, Associate Professor Tumashik I. I.  
Belarusian state technological university, Belarus*

**Аннотация.** В работе рассмотрена проблема выбора необходимого усилия прижима образца, подвергаемого циклическому нагружению, со стороны деталей крепления методом конечных элементов. Результаты исследований позволили установить, что при частотах испытаний 18 кГц, для достижения требуемого уровня напряжений изгиба в опасном сечении сила прижима должна составлять 1,5 кН.

**Annotation:** The article considers selection problem of necessary sample pull under cyclic loading from attachment devices by means of finite element method. The results of tests made it possible to determine that for achievement the required level of bending stress in unsafe cross-section, hold-down pressure must be 1,5 kN at taste rate of 18 kHz.

**Ключевые слова:** образец, циклическое нагружение, метод конечных элементов.

**Key words:** sample, cyclic loading, finite element method.

---

Детали современных машин работают в условиях, сочетающих как статические так, и динамические нагрузки, нередко при повышенных температурах. Наряду с материалами, полученными на основе железа, широкое распространение получили сплавы из цветных металлов. Наиболее широко применяются различные алюминиевые сплавы [1]. Такие материалы все чаще используют для изготовления деталей, подверженных знакопеременным нагрузкам. Например, блоки цилиндров, поршни, кронштейны передней растяжки, рычаги передней подвески, кронштейны крепления двигателя и др.

Более широкое применение сплавов, полученных на основе алюминия, в настоящее время ограничивается их высокой стоимостью, обусловленной сложностью получения чистого алюминия электролизом. В первую очередь это связано со значительными затратами электроэнергии.

Изготовление алюминиевых сплавов с использованием вторичного сырья позволяет существенно снизить удельные расходы электроэнергии. Поэтому замещение первичных алюминиевых сплавов на сплавы, полученные с использованием вторичного сырья, обеспечивает снижение себестоимости производства машин в целом.

Существенной проблемой, ограничивающей применение алюминиевых сплавов, полученных с использованием вторичного сырья, являются их низкие механические характеристики.

Решение данной задачи может быть обеспечено большим объемом ускоренных усталостных испытаний, реализуемых с использованием высоких частот нагружения.

Для испытаний на высоких частотах нагружения часто используют установки, в основу работы которых положены магнестрикционные преобразователи [2]. Принципиальная схема установки, позволяющей проводить испытания на частоте 18 кГц, приведена на рисунке 1.

Наиболее нагруженным элементом испытательной установки является

устройство крепления 3 (рисунок 1).

Широко применяется способ крепления модельных образцов к концентратору при помощи винта, который вставляется в отверстие образца в его хвостовой части и заворачивается в отверстие с резьбой (рисунок 2), расположенной в торцевой части концентратора [3].

Недостатком крепления такого типа является пониженная жесткость и надежность крепления. Повышение усилия затяжки для увеличения жесткости заделки повышает вероятность разрушения винта.

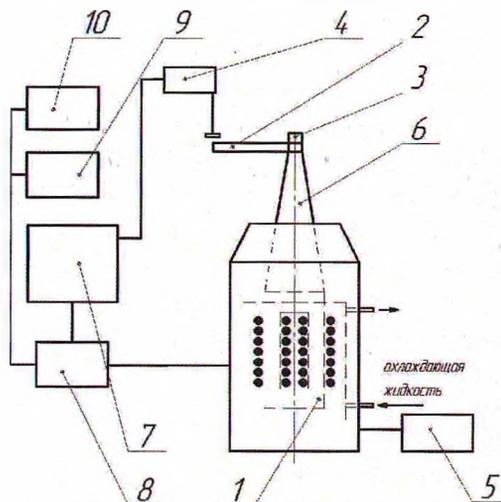


Рисунок 1. Принципиальная схема высокочастотного испытательного стенда для возбуждения изгибных колебаний:

1 – магнестрикционный преобразователь с катушками возбуждения и подмагничивания; 2 – образец; 3 – устройство крепления; 4 – виброметр МРТИ; 5 – модуль подмагничивания; 6 – концентратор-волновод; 7 – прибор стабилизации амплитуды ПСА; 8 – частотомер; 9 – осциллограф; 10 – устройство вывода на печать.

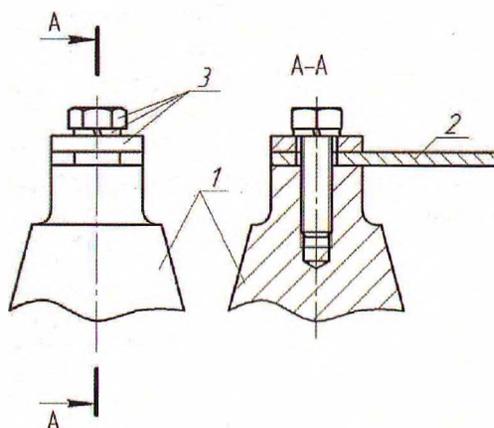


Рисунок 2. Устройство крепления образца винтом с прижимной планкой: 1 – концентратор; 2 – образец; 3 – элементы устройства крепления

Еще один способ крепления, когда на конец концентратора, имеющий меньший диаметр, навинчивается специальный клиновой захват, в который вставляется плоский хвостовик образца, фиксация последнего осуществляется при помощи клина, одна из плоскостей которого перемещается по плоскости хвостовика образца, а вторая имеет уклон, движение осуществляется за счет винтовой пары. Недостатком такого способа является низкая надежность и наличие значительных инерционных масс, снижающих возможную амплитуду колебания образца.

Известен способ крепления, когда хвостовая часть испытуемого образца имеет резьбу и непосредственно ввинчивается в резьбовое отверстие в концентраторе. Недостатком такого способа крепления являются сложность изготовления образцов, низкая надежность, невозможность использования для испытаний листовых материалов.

Из перечисленных выше способов наиболее широко применяется первый, в силу простоты своей конструкции.

Целью данной работы является определение усилий, действующих на отдельные детали крепления в процессе нагружения образцов при проведении усталостных испытаний.

Для анализа усилий, действующих на элементы крепления, был выполнен расчет методом конечных элементов. Для этого была построена твердотельная модель образца (рисунок 3) и проанализированы силы, действующие на различных участках хвостовика (рисунки 4 и 5). Анализ модели показал, что при амплитудных напряжениях в опасном сечении 100 МПа необходимо обеспечить минимальное усилие прижима не менее 1,5 кН.

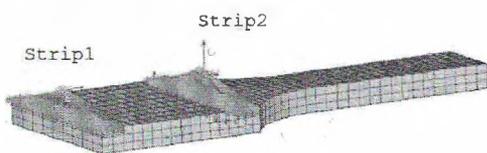
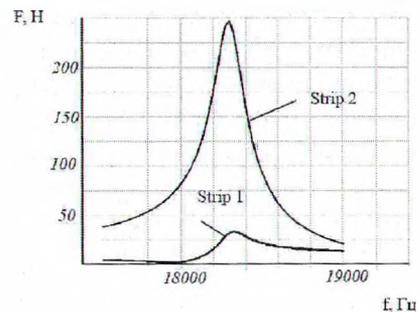
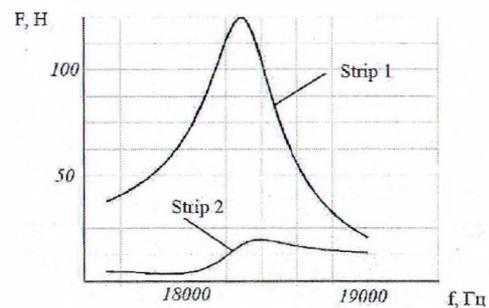


Рисунок 3. Расчетная схема к определению усилия прижима методом конечных элементов

Для реализации необходимых усилий прижима, повышения надежности устройства крепления, повышения точности позиционирования образцов при частоте испытаний 18 кГц было предложено устройство крепления, конструкция которого показана на рис. 6.



а



б

Рисунок 4. Усилия, действующие на различных участках хвостовика образца, при нагружении знакопеременным изгибом, полученные моделированием методом конечных элементов при коэффициенте демпфирования: а – 0,01; б – 0,05

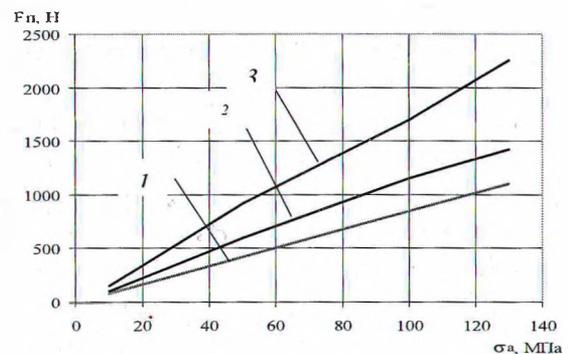


Рис. 5 – Сила прижима образца (частота нагружения 18 кГц) для различных уровней изгибных напряжений в опасном сечении: 1 – для жесткой заделки; 2 – для податливой заделки при коэффициенте демпфирования 0,01; 3 – для податливой заделки при коэффициенте демпфирования 0,005

Конический концентратор-волновод 1 имеет ступенчатый хвостовик, на торцевой части ступени меньшего диаметра выполнен призматический паз, ширина которого определяется размером хвостовой части образца 2, а глубина составляет около 40% процентов высоты его поперечного сечения. На ступени большего диаметра выполнен участок резьбы, на который накручивается дифференциальная гайка 3, которая имеет два участка внутренней резьбы с различным шагом и две лыски на наружной конической поверхности под ключ. Отношение длин ступеней выбирается равным отношению шагов резьб дифференциальной гайки 2.

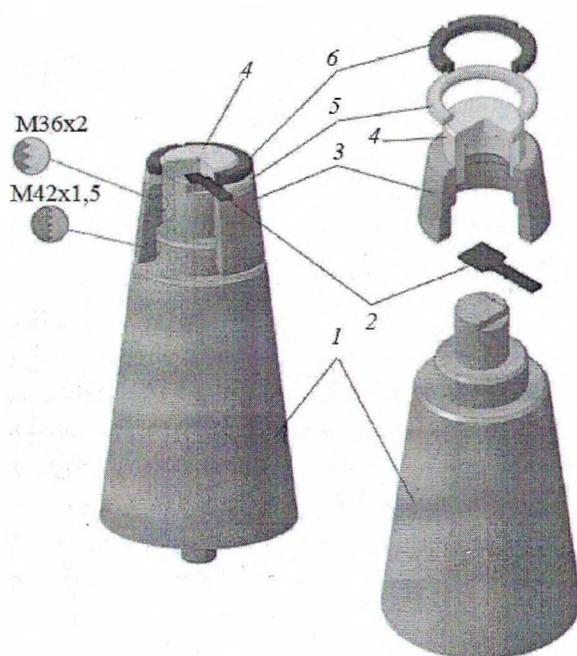


Рисунок 6. Конструкция устройства крепления образца к концентратору: 1 – концентратор-волновод; 2 – образец; 3 – дифференциальная гайка; 4 – втулка; 5 – шайба; 6 – контргайка

Втулка 4 выполнена в виде стакана, имеющего прорезь для установки образца и призматический паз, имеющий аналогичную форму и глубину, как у концентратора-волновода 1. На наружной поверхности втулки 4 нарезана резьба.

Контргайка 6 имеет на наружной поверхности четыре шлицевые прорези, расположенные через 90 градусов. Для снижения инерционно колеблющихся масс число полных витков резьбы контргайки принято равным трем.

Шайба 5 имеет прорезь для установки образца. Высота шайбы выбирается в зависимости от высоты поперечного сечения образца 2 и от необходимых зазоров между образцом и торцами дифференциальной гайки 3 и контргайки 6.

Для снижения влияния элементов крепления на коэффициент усиления концентратора-волновода 1 дифференциальная гайка, втулка, шайба и контргайка выполняются из материала концентратора-волновода, а образующие их наружной поверхности являются продолжением образующей концентратора-волновода.

Использование моделирования методом конечных элементов позволило определить усилия, действующие на детали крепления. Была предложена конструкция крепления, которая за счет существенного увеличения диаметра резьб (в 4-5 раз) позволила повысить его надежность. Это позволило сократить время нагружения образцов при исследовании характеристик усталости конструкционных материалов за счет сокращения остановок испытательного оборудования по причине выхода из строя устройства крепления.

#### Литература

1. Михеева И. Г., Ефименко Г. Г., Павлышин Т. Н. Сталь и альтернативные материалы. Проблемы экономики и экологии // *Металл и литье Украины*, 1997. – № 8–9. С. 3–8.
2. Блохин, А. В., Царук Ф. Ф., Гайдук Н. А. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования // *Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть.* – 2002. – Вып. X. – С. 213–215.
3. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения / Под ред. В. А. Кузьменко – Киев.: Наукова думка. – 1979. – 335 с.