

Д. ф.-м. н. В. В. УСОВ, к. ф.-м. н. Н. М. ШКАТУЛЯК, А. Н. ТИТЕНКОВ,
к. ф.-м. н. Н. Н. ЦИБАНЕВ

Украина, г. Одесса, Юж.-Укр. педагогический ун-т им. К. Д. Ушинского;
г. Ивано-Франковск, Ин-т менеджмента и экономики
«Галицкая академия»
E-mail: valentin_usov50@mail.ru

Дата поступления в редакцию
18.07 2007 г. — 14.01 2008 г.
Оппонент д. т. н. В. Л. КОСТЕНКО
(ОНПУ, г. Одесса)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ЦИКЛОВ ПРИ ВИБРАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ ОБРАЗЦА

На основе счетного устройства типа Н2-7ЕАЗ, обладающего высокой помехоустойчивостью и памятью, разработана автоматизированная система регистрации числа циклов изгибных вибраций до разрушения образца.

На практике любые изделия и конструкции из металлов подвергаются внешним воздействиям, которые постоянно изменяются во времени. При определении долговечности изделий и конструкций важным является точный подсчет циклов деформации до разрушения образцов [1]. Таким образом, подсчет числа импульсов при измерении тех или иных характеристик материала или изделия является актуальным для широкого круга задач, связанных с долговечностью изделий и конструкций, т. е. с надежностью аппаратуры. В промышленной [2—4] и радиолобительской [5—11] аппаратуре широкое применение нашли различные устройства счета импульсов.

Для стандартных усталостных испытаний на цилиндрическом вращающемся образце (гладком или с надрезом) с приложением изгибающей нагрузки, которая вызывает знакопеременные напряжения, разработана автоматизированная система определения механических свойств материалов [12], которая, однако, не позволяет оценивать усталостные свойства тонких листовых материалов.

Целью данной работы явилось исследование и разработка автоматизированного устройства высокой помехоустойчивости, обладающего памятью, для регистрации числа циклов изгибных механических вибраций до разрушения испытуемого образца при усталостных испытаниях.

Для регистрации количества циклов в принципе возможны два варианта автоматических устройств — механический и электромеханический.

Механический способ подразумевает механическое соединение редуктора и механического счетчика. У этого способа, как показала практика, есть ряд недостатков. Механический счетчик, как правило, показывает не количество полных циклов, а число оборотов привода, которое может не соответствовать количеству полных циклов, и при кратном делении или умножении возможно увеличение погрешности измерений. Также механический счетчик должен

иметь большое количество разрядов, что технически представляет неудобство, т. к. чем больше барабанов в механическом счетчике, тем больше вероятность его заклинивания. Если число разрядов окажется недостаточным, то счетчик может сбросить показания на нуль, что приведет к ложным результатам подсчета циклов.

Электромеханический способ регистрации имеет преимущество перед механическим лишь в том случае, когда регистрирующий прибор обладает высокой помехоустойчивостью и, самое главное, памятью. Последнее обстоятельство очень важно при внезапном отключении электроэнергии, а также при ее бросках, поскольку испытания могут быть достаточно длительными.

Техника эксперимента

Схема разработанной установки для усталостных испытаний представлена на **рис. 1**. Образец 1 закрепляется в зажимах 2 типа тисков. Левый зажим неподвижно закреплен в держателе 3 на суппорте 4 винтами 5. Держатель может перемещаться по направляющим 4 типа «ласточкин хвост», с тем чтобы можно было устанавливать образцы различной длины. Электродвигатель на 220 В с редуктором 6 передает толкателю 7 с правым зажимом образца возвратно-поступательное движение, как это показано стрелками. Таким образом, образец 1 циклически изгибается. Число циклов подсчитывается счетчиком циклов 8.

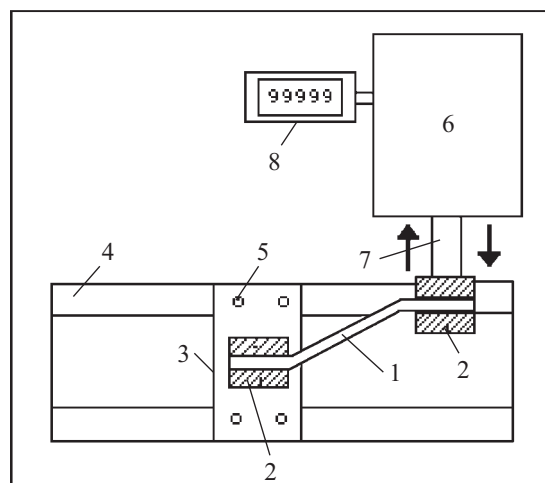


Рис. 1

Частота циклов составила 1 Гц, а база испытаний — 10^7 циклов. Параметры циклических испытаний выбраны на основании анализа проблемы низкочастотного усталостного разрушения [1, с. 118]. Амплитуда изгиба образца от нулевого положения равновесия при этом составляла 6,5 мм.

Для определения прилагаемого напряжения при изгибе проводили предварительные исследования зависимости изгибающего напряжения от длины образца между точкой закрепления и точкой приложения изгибающей силы и от толщины образца. Изгибающую силу измеряли с помощью динамометра. Для таких исследований использовали отдельные образцы с такой же толщиной и шириной, что и образцы для усталостных испытаний. Чтобы получить нужное напряжение изгиба при определенной толщине образца, при испытаниях между краями зажимов устанавливали расстояние, определенное при предыдущих исследованиях с помощью динамометра. Таким образом, изменение приложенного напряжения производили путем изменения расстояния между краями зажимов для каждого значения толщины образцов.

Напряжения σ (Па) определяли по формуле [13]

$$\sigma = \frac{3Fl}{2h^2b}, \quad (1)$$

где F — изгибающая сила, Н;

l — длина (расстояние от края зажима образца до точки приложения силы F), м;

h — толщина образца, м;

b — ширина образца, м.

Результаты и их обсуждение

Нами было обнаружено, что механический счетчик показывает число оборотов привода, которое не соответствует количеству полных циклов. Число разрядов механического счетчика не всегда оказывалось достаточным при испытаниях, что приводило к сбросу показаний и началу новых подсчетов и давало значительные погрешности. Кроме того, очень сложно было автоматизировать управление установкой так, чтобы испытания прекращались сразу при разрушении образца. Таким образом, механический счетчик не позволил автоматизировать регистрацию числа циклов испытаний.

Для подсчета числа циклов в различных радиотехнических устройствах часто применяют микрокалькуляторы [9, 10]. Нами была разработана специальная микроэлектромеханическая система регистрации на основе микрокалькулятора «Электроника МК-59»: он не переходит в «спящий» режим, как современные микрокалькуляторы. Автоматизированная система регистрации включала электрический счетчик циклов и прерыватель работы установки.

Электрический счетчик циклов состоял из геркона, экранированных проводов, микрокалькулятора «Электроника МК-59» и фильтра питания. Геркон крепился на станине 4 (см. рис. 1). При этом на подвижной части установки 7 можно было закрепить на магнитонепроницаемой подложке толщиной не менее 3 мм постоянный магнит, который встречался

с герконом на расстоянии до 0,1 мм один раз за один полный цикл. Это позволило замыкать контакты геркона один раз за один полный цикл.

Геркон и микрокалькулятор соединяли экранированные провода, которые припаивались непосредственно к клавише «=» калькулятора. Перед испытанием набирали на калькуляторе комбинацию клавиш «1+1=». В дальнейшем нажатие клавиши «=» выполнял геркон. На табло калькулятора при этом отображалось число циклов минус 2. (Электрическое питание геркона и микрокалькулятора осуществлялось от сети напряжением 220 В.)

Автоматический выключатель электропривода изгибающего устройства (см. рис. 1) состоял из экранированных проводов, образца 1, который является частью электрической цепи, реле на 12 В, источника питания на 12 В и двух конденсаторов емкостью 0,1 и 20 мкФ. Минусовый провод источника питания крепился на суппорте 4.

Напряжение через механические части толкателя 7 поступает на образец 1 и через него на левый зажим 2, который изолирован от суппорта. К этому зажиму образца крепится второй провод, который подключен к минусовой обмотке реле. Плюсавый вывод обмотки реле подключается к источнику питания 12 В. Параллельно обмотке реле припаяны два конденсатора — 0,1 и 20 мкФ. Конденсатор 0,1 мкФ гасит броски напряжения, возникающие в результате соприкосновения подвижного правого конца образца с толкателем при изгибе образца. Конденсатор 20 мкФ гасит колебания электрического тока, проходящего через механические части установки. После полного разрушения образца цепь питания реле размыкается, что, в свою очередь, приводит к размыканию цепи питания электродвигателя и окончанию испытания.

Эксплуатация вышеописанного автоматического устройства на основе микрокалькулятора «Электроника МК-59» показала, что последний весьма чувствителен к любым электропомехам, и целесообразно вместо микрокалькулятора применить более совершенный электронный счетчик.

Для подсчета числа импульсов обычно применяют цифровые микросхемы — двоичные или двоично-десятичные счетчики. Результат счета определяют по показаниям табло блока индикации, в состав которого входят дешифраторы состояния счетчика. Счетчики выполняют на микросхемах типа КР531ЛР11, КР1531ЛА3, КР1533ИЕ7, КР1531ТМ2, КР1531ЛН1 [11]. Однако описанные в [11, 14] счетные устройства не обладают памятью, что делает их ненадежными в условиях длительных испытаний. В разработанной системе микрокалькулятор «Электроника МК-59» был заменен на счетчик типа Н2-7ЕА3. Измерительный прибор Н2-7ЕА3 обладает высокой помехоустойчивостью и, самое главное, памятью, что очень важно при внезапном отключении электроэнергии, а также при бросках напряжения, неизбежных при длительных экспериментах.

Технические характеристики измерительного прибора Н2-7ЕА3 [15]:

— источник питания — постоянное напряжение от 4,5 до 13 В;
 — диапазон счета от 0 до 9999999 (2 канала по 7 десятичных разрядов каждый);
 — встроенное гашение незначащих нулей слева;
 — диапазон рабочих температур от 0 до +50°C;
 — скорость счета до 150 Гц;
 — автоматическое сохранение значений счета обоих каналов при отключении питания (фискальный режим).

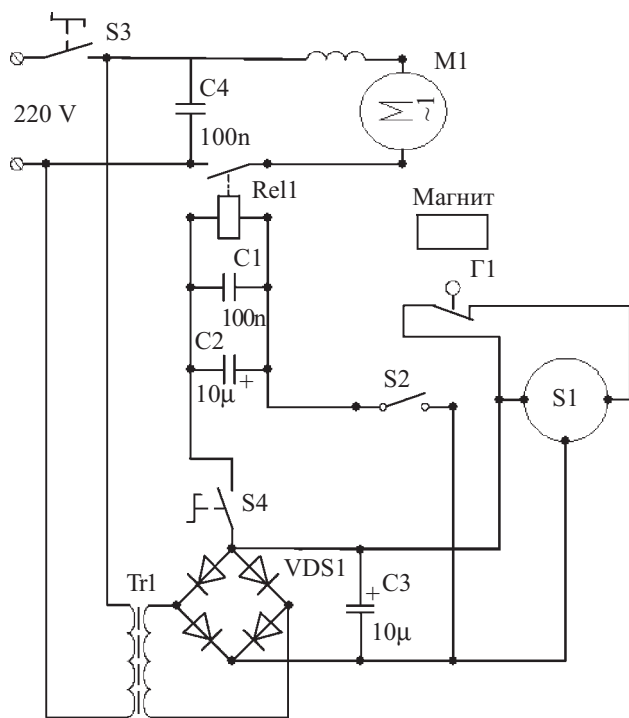


Рис. 2

Принципиальная схема показана на рис. 2. На зажимы системы подается переменное напряжение сети 220 В. При включенном выключателе S3 напряжение подается на понижающий трансформатор Tr1 и сглаживающий сетевые помехи конденсатор C4. После понижения до 12 В переменное напряжение подается на диодный мост VSD1, далее на сглаживающий конденсатор C3, счетчик S1 (который может быть заменен на калькулятор), геркон Г1, кнопку S4. Испытуемый образец помещается в установку, к нему крепится клеем счетчик S1 (который после разрушения образца разорвет цепь), замыкается кнопка S4, и напряжение через S2 подается на реле Rel1, которое незамедлительно срабатывает и приводит в действие электродвигатель M1. Последний, в свою очередь, через редуктор и кулачковый механизм циклически воздействует на образец. Конденсатор C1 сглаживает возможное искрение в подвижной части S1, конденсатор C2 дает 4 цикла после поломки образца в случае частичного разрушения последнего. Счетчик H2-7EA3 (S1) ведет счет при срабатывании геркона Г1.

Для оценки точности подсчета числа циклов сравним результаты наших испытаний с типичными результатами испытаний на малоцикловую усталость технического алюминия. Результаты наших испыта-

ний технического алюминия после холодной прокатки на 58% по толщине (исходная толщина 2 мм, конечная 0,95 мм) представлены на рис. 3 для образца, вырезанного в направлении прокатки листа. По оси ординат отложено изгибающее напряжение σ , а по оси абсцисс — логарифм числа циклов N . Здесь точки — данные эксперимента, вертикальными отрезками показана стандартная погрешность, линия (ее уравнение также показано) — результат линейного корреляционного анализа. На рисунке также приведено значение коэффициента R корреляции между величинами, полученными из уравнения прямой, и экспериментальными значениями.

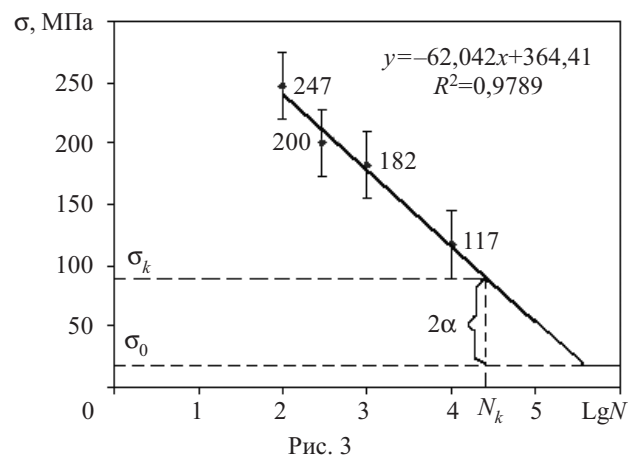


Рис. 3

По представленным данным, пользуясь расчетно-экспериментальным методом Ивановой [1, с. 128], мы оценили предел выносливости технического алюминия. Согласно [1], энергия, затраченная на процесс разрушения, остается постоянной при любых напряжениях цикла, превышающих предел выносливости, и равна скрытой теплоте плавления металла.

Для определения предела выносливости по этому методу испытывают на усталость не менее трех образцов и по полученным результатам строят в координатах σ – $\lg N$ отрезок левой части кривой усталости (рис. 3), на котором находят точку с абсциссой, соответствующей числу циклов N_k , и ординатой, соответствующей напряжению σ_k . Величину N_k определяют как критическое число циклов, достижение которого при напряжении σ_k приводит к возникновению необратимых искажений кристаллической решетки и субмикроскопических трещин. Для алюминия и его сплавов принимают $N_k = 3,0 \cdot 10^4$ циклов [1].

Предел выносливости вычисляли по формуле [1, с. 128]:

$$\sigma_0 = \sigma_k - 2\alpha, \quad (2)$$

где α — циклическая константа разрушения; $\alpha = 35$ МПа для алюминия, меди и сплавов на их основе [1].

Исходя из наших экспериментальных данных мы получили значение предела выносливости $\sigma_0 = 16,5$ МПа. По данным [1, с. 126] предел выносливости алюминия составляет 16 МПа.

Заключение

Разработано и практически реализовано автоматизированное устройство для регистрации числа

циклов при длительных вибрационных испытаниях образца. Показано, что реализация счетного автоматического устройства на базе микрокалькулятора «Электроника МК-59» нецелесообразно вследствие высокой его чувствительности к любым электропомехам. Более надежным в качестве счетчика является измерительный прибор типа Н2-7ЕА3 в силу его высокой помехоустойчивости и наличия памяти, что очень важно при внезапном отключении электроэнергии, а также при бросках напряжения.

Оценка предела выносливости алюминия с помощью предложенной автоматизированной системы подсчета числа циклов показала результаты, близкие к данным других авторов, что свидетельствует о достаточной точности регистрации числа циклов.

Предлагаемая автоматизированная система подсчета циклов может быть использована не только в усталостных испытаниях, но также и в других устройствах, где важным является надежность при длительной эксплуатации в условиях различных помех, включая перебои в электропитании.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Трощенко В. Т., Сосновский Л. А. Сопротивление усталости металлов и сплавов / Справочник.— Киев: Наукова думка, 1987.
2. Гуртовцев А. Л., Безносова М. Ю. Автоматизация управления энергопотреблением // Промышленная энергетика.— 1998.— № 10.— С. 10—19.

3. Антонов П. А., Ядыкин И. Б. Универсальный сервер сбора данных для интегрированных автоматизированных систем учета энергоресурсов // Мир компьютерной автоматизации.— 2001.— № 5.— <http://www.mka.ru/>
4. Ринский В. И. Экономичные счетчики импульсов.— М.: Энергия, 1968.
5. Ширяева О. Счетчик посещений // Радиомир.— 2002.— № 8.— С. 39—40.
6. Нохрин С. Автоодометр (RA9WOF) / <http://ra9wof.qrz.ru/files/Shemes/Avto/odom.htm>
7. Заец Н. Счетчик витков // Схемотехника.— 2003.— № 4.— С. 34—36.
8. Слинченков А. Намоточный станок с цифровым электронным счетчиком // Радиолобитель.— 2002.— № 4.— С. 2—6.
9. Губанов М. Микрокалькулятор — счетчик витков // Радио.— 2001.— № 10.— С. 57.
10. Тимирзин В. Калькулятор — счетчик рядов // Радиомир.— 2002.— № 10.— С. 38.
11. Демонтович В. Реверсивный счетчик импульсов // Радио.— 2005.— № 4.— С. 28—29.
12. Рожнецов В., Новиков А., Шаманин А., Фициленко А. Автоматизированная система для определения механических свойств материалов // Современные технологии автоматизации.— 2007.— № 2.— С. 72—78.
13. Войтенко А. Ф., Скрипник Ю. Д., Соловьева Н. Г., Надеждина Г. Н. Влияние уровня напряжений на статический модуль Юнга ряда конструкционных материалов // Проблемы прочности.— 1982.— № 11.— С. 83—86.
14. Иванько А. Ф. Структура и архитектура микропроцессоров современных персональных электронных вычислительных машин.— М.: МГУП, 2000.
15. www.5v.ru/h2-7ea3

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ

18-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» 8-12 сентября 2008 г., Севастополь, Украина

КрыМиКо 2008 CriMiCo

September 8-12, 2008. Sevastopol, Ukraine
18th International Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology»

Основные направления:

- ✱ Твердотельные приборы и устройства СВЧ
- ✱ Моделирование и автоматизированное проектирование твердотельных приборов и устройств
- ✱ Электровакуумные и микровакuumные приборы СВЧ
- ✱ Системы СВЧ связи, вещания и навигации
- ✱ Антенны и антенные элементы
- ✱ Пассивные компоненты
- ✱ Материалы и технология СВЧ-приборов
- ✱ Нанозлектроника и нанотехнология
- ✱ СВЧ-электроника сверхбольших мощностей и эффекты
- ✱ Электромагнитная и радиационная стойкость материалов и электронной компонентной базы
- ✱ СВЧ-измерения
- ✱ Прикладные аспекты СВЧ-техники
- ✱ СВЧ-техника в медицине и экологии
- ✱ Радиоастрономия, дистанционное зондирование и распространение радиоволн
- ✱ История СВЧ-техники и телекоммуникаций

18-я Международная Крымская конференция

«СВЧ-ТЕХНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

8–12 сентября 2008 г.,
г. Севастополь, Украина

В рамках конференции планируется проведение семинара:

СВЧ-фотоника в радиолокационной и антенной технике (программа формируется Московским авиационным институтом, председатель — проф. Братчиков А. Н., e-mail: bratchik@gmail.com).

Реквизиты для связи:

Tel: +380-50-3931288
Fax: +380-692-235258
e-mail: crimico.org@gmail.com
<http://www.crimico.org>