

решением измерительного тракта, а коэффициенты адаптивно изменяются в процессе обработки измеренных значений.

Например, для измерителя импеданса с последовательной архитектурой, содержащего 16 каналов и работающего в полосе частот от 10 кГц до 1 МГц в режиме широкополосного зондирования [3], нейронная сеть содержит входной и выходной слои из 16 нейронов, а также два скрытых слоя, количество нейронов в которых составляет от 16 до 128. Предварительное обучение нейросети осуществляется на «идеальных» синтетических данных с нулевым значением межканального прохождения. При обработке измеренных значений производится адаптация нейросети для получения ковариационной матрицы, максимально близкой к единичной.

Проведенные численные исследования позволили установить принципиальную возможность

снижения уровня межканальных помех на 8–12 Дб на частотах зондирующего тока до 1 МГц и полном сопротивлении исследуемого биологического объекта до 1 кОм.

Литература

1. A 122 fps, 1 MHz Bandwidth Multi-Frequency Wearable EIT Belt Featuring Novel Active Electrode Architecture for Neonatal Thorax Vital Sign Monitoring / Wu Y. [et al.] // IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems. – 2019. – V. 13, № 5. – P. 927–937.
2. Extraction of cardiac and respiration signals in electrical impedance tomography based on independent component analysis / T. Rahman [et al.] // Journal of Electrical Bioimpedance. – 2013. – Sciendo. – V.4, №. 1. – P. 38–44.
3. Бразовский, К. С. Устройство для измерения электрических параметров биологических тканей при криодеструкции / К. С. Бразовский, Е. С. Королюк // Медицинская техника. – 2020. – № 6 (324). – С. 24–27.

УДК 620.179.14/15

ПРИМЕНЕНИЕ НЕОДИМОВЫХ МАГНИТОВ В УСТАНОВКЕ ДЛЯ МАЛОЦИКЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

Бусько В. Н.

*ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Для повышения эффективности и достоверности механических малоцикловых испытаний, расширения функциональных возможностей испытательной техники в качестве силовых элементов в экспериментальной установке предложено использовать мощные постоянные неодимовые магниты. Система нагружения испытуемого при изгибе консольно закрепленного образца для создания в нем напряжений основана на попеременном притяжении его свободного конца к неодимовым магнитам, обладающим высокой постоянной во времени магнитной энергией, превышающей все другие материалы. Преимуществом способа на основе применения неодимовых магнитов является отсутствие влияния механического воздействия на образец и относительно простая реализация метода. Испытания показали возможность и эффективность данного способа создания напряжений в испытуемом образце и исследования усталостной прочности и деградации.

Ключевые слова: механические испытания и испытательная техника, малоцикловая усталость, постоянные неодимовые магниты.

APPLICATION OF NEODYMIUM MAGNETS IN THE INSTALLATION FOR LOW-CYCLE TESTS OF STEEL SPECIMENS IN FATIGUE STRENGTH RESEARCH

Busko V.

*Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. To increase the efficiency and reliability of mechanical low-cycle tests and to expand the functional capabilities of testing equipment, it is proposed to use powerful permanent neodymium magnets as force elements in the experimental setup. The system of loading of a cantilever fixed specimen under test in bending to create stresses in it is based on alternate attraction of its free end to neodymium magnets possessing high time constant magnetic energy exceeding all other materials. The advantage is the absence of mechanical influence on the sample and relatively simple realization of the method. Tests have shown the possibility and efficiency of this method of stress creation in the test specimen and fatigue strength and degradation studies.

Key words: mechanical testing and test engineering, low cycle fatigue, permanent neodymium magnets.

*Адрес для переписки: Бусько В. Н., ул. Академическая, 16, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: busko@iapf.bas-net.by*

Для изучения и оценки усталостной прочности (УП) стальных образцов материалов необходимым условием является проведение предварительных механических испытаний. Как правило, усталостные мало- и многоцикловые испытания

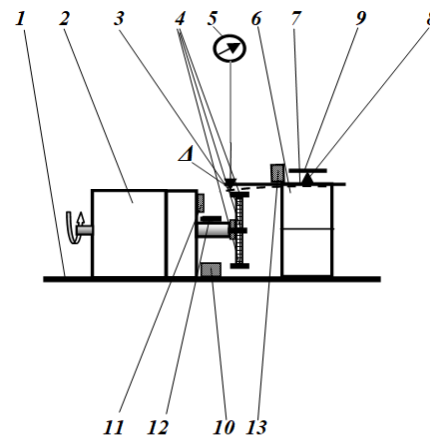
образцов, по-прежнему, проводятся на разных типах классических испытательных машин, стендах-установках и устройствах [1–3]. Принцип их действия основан на использовании кинематической схемы при консольном или чистом изгибе

образца с применением разных кривошипных механизмов, шатунов, вибраторов, гидроцилиндров, пружин, рычагов [1, 2], подшипников качения [3] и других узлов, имеющих с образцом механический контакт. Недостатком при использовании в качестве силовозбудителей (силовых элементов) для создания в образце напряжений является их вибрационно-акустическое воздействие на образец, обусловленное механическим контактом, которое может вызвать изменение (в основном, снижение) физико-механических свойств (ФМС), в т. ч., усталостной прочности. Сложность реализации при регулировании амплитуды нагружения, дороговизна и массогабариты такого оборудования, большие временные затраты при его переналадке под размеры малых образцов (например, аддитивных материалов) ограничивают применение подобных машин и снижают их функциональные возможности, достоверность и производительность механических испытаний.

Цель работы – для установки при малоцикловых испытаниях при изгибе образца разработать, создать и апробировать методику создания в образце напряжений, основанную на взаимодействии магнитного поля от постоянных неодимовых магнитов и стального образца.

Сущность предлагаемого решения для повышения достоверности и производительности механических испытаний, и исследования УП образцов состоит в том, что установка для его реализации (рисунок 1) содержит: станину, размещенный на ней электродвигатель (ЭД) с редуктором, установленный на его валу стальной диск с расположенными на нем силовозбудителями в виде неодимовых (сплав неодима Nd , бора B и железа Fe) четырех магнитов, закрепленный на корпусе ЭД геркон, ферритовый постоянный магнит для его срабатывания, плоский образец и индикатор его прогиба, призму, на которой размещен образец, прижимную пластину, электронный счетчик числа оборотов вала ЭД и преобразователь Баркгаузена (ПБ). Каждый магнит крепится на образующей стального диска (рисунок 2) нормально относительно плоскости образца для обеспечения максимальной силы притяжения, образец установлен на призме вытянутой формы и фиксируется к основанию прижимной пластиной. Для регулирования величины прогиба и силы притяжения свободного конца образца на каждом неодимовом магните закреплена изолирующая износоустойчивая прокладка, толщина которой определяется экспериментально. При вращении стального диска с магнитами изгибающий момент P в образце при притяжении к магнитам создается путем воздействия магнитных полей магнитов на образец. В результате при изгибе образца возникают напряжения с амплитудой σ , пропорциональные P , величине прогиба Δ и параметрам магнитов. Применение неодимовых магнитов в роли

силовозбудителей, например, вместо подшипников качения, позволило упростить схему создания в образце напряжений при изгибе и обеспечить возможность их регулирования без нанесения ущерба образцу.



1 – станина; 2 – ЭД с редуктором; 3 – стальной диск; 4 – неодимовые магниты; 5 – индикатор прогиба образца; 6 – основание; 7 – образец; 8 – призма; 9 – прижимная пластина; 10 – счетчик оборотов; 11 – геркон; 12 – ферритовый магнит для его срабатывания; 13 – преобразователь Баркгаузена (датчик)

Рисунок 1 – Схема узла в установке с неодимовыми магнитами для создания напряжений в образце

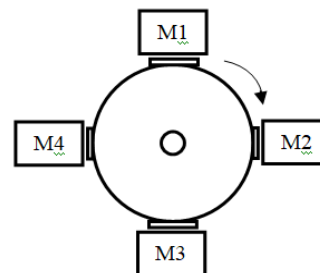


Рисунок 2 – Фронтальное расположение постоянных неодимовых магнитов ($M1$, $M2$, $M3$, $M4$) на стальном вращающемся диске

Работа установки заключается в том [4], что испытуемый на малоцикловую (число циклов нагружения $N \leq 10^{4-5}$ циклов) усталость образец (толщина до $\approx 1,0-1,2$ мм) устанавливается на основание с призмой вытянутой формы и сверху закрепляется прижимной пластиной. Свободный конец образца до нагружения находится в нейтральном положении, т.к. на него не действует изгибающий момент. При включении ЭД и вращении диска с помощью размещенных на нем магнитов $M1-M4$ (рисунок 2) за счет поочередного притяжения, в образце возникает изгибающий момент P , зависящий, в основном, от магнитной энергии и размеров каждого магнита в отдельности. Магниты закреплены на образующей диска вдоль осевого (аксиального) направления магнитного поля.

Применялись неодимовые магниты прямоугольной формы, при этом магнитная энергия в системе «магнит-образец», наряду с формой в виде диска, достигает своего максимального значения. При притяжении образца попеременно к каждому магниту с различной мощностью, в нем создаются изгибные напряжения растяжения/сжатия (в зависимости от положения образца) с возможностью регулирования амплитуды напряжений. Для регулирования Δ и σ , силы притяжения между образцом и магнитами, и для минимизации влияния возможного трения между ними, на последние устанавливают дополнительно изолирующую прокладку. Размеры применяемых в установке неодимовых магнитов составляли $20 \times 10 \times 2$ мм. Прогиб Δ измерялся индикатором прогиба образца часового типа или электронным штангенциркулем с учетом заданного алгоритма нагружения, пересчет в значения создаваемых напряжений σ (в МПа) производился по формулам сопромата. При необходимых значениях N образец освобождался от прижимной пластины и ПБ измерялся уровень магнитошумового сигнала в выбранной точке и стороне образца, который зависит от Δ , f , N и ФМС, Построив и проанализировав зависимости уровня сигнала от них, оценивается влияние малоциклового нагружения на УП образца. Использовался однофазный реверсивный электродвига-

тель типа РД-09 с коэффициентом передачи (редукцией), равным $1/137$ с частотой вращения вала двигателя $n = 8,8$ об/мин ($f = 0,15$ Гц), что позволяет создавать в образце не только упругие, но и пластические деформации.

Испытания установки и способа создания напряжений при изгибе на примере образца из электротехнической стали размером $100 \times 30 \times 0,6$ мм с применением 4-х мощных неодимовых магнитов в качестве силовозбудителей показали возможность их использования в установке в лабораторных условиях при малоцикловых испытаниях, исследовании и оценке УП стальных образцов.

Литература

1. Школьник, Л. М. Методика усталостных испытаний. Москва: Металлургия, 1978. – 300 с.
2. Испытательная техника: Справочник. В 2-х кн. // Под ред. Клюева В. В. М.: Машиностроение, 1982. – Кн. 1. – 528 с.
3. Бусько, В. Н. Лабораторная установка для испытаний образцов на усталость бигармоническим нагружением // Приборы и методы измерений. – 2015, № 2. – С. 181–187.
4. Патент РБ на полезную модель № 13540. Устройство для механических испытаний образцов на малоцикловую усталость / В. Н. Бусько. – Оpubл. 2024.08.20.