

сним магнитным полем, было установлено, что разбравку сталей по маркам в зависимости от количества углерода можно надежно проводить по таким полевым характеристикам как коэрцитивная сила  $H_c$  и напряженность магнитного поля, соответствующая максимальному значению магнитной проницаемости  $H_{\text{пр}}$ , для образцов, термическая обработка которых не вызывает значительных изменений в структурном состоянии горячекатаной среднеуглеродистой стали, так как с увеличением температуры отжига эти характеристики неоднозначно зависят от содержания углерода. Для полевых магнитных харак-

теристик, связанных с максимальной шириной петли магнитного гистерезиса, температура термообработки не оказывает влияния на ход зависимостей от содержания углерода в материале образцов.

#### Литература

1. Короткевич, З. М. Многопараметровая модель для контроля качества закалки инструментальной углеродистой стали У8А с использованием прибора ИМИ-И / З. М. Короткевич, А. А. Осипов, В. А. Бурак // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2021. – № 2. – С. 38–45.

УДК 620.179.14/15

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ШУМА ПРИ ИЗУЧЕНИИ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Бусько В.Н.

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

**Аннотация.** Представлены схемы, конструкции и внешний вид предложенных и созданных устройств и механизмов для исследования усталостной прочности образцов порошковой стали 09Г2С, полученных с помощью аддитивной технологии – методом селективного лазерного спекания (сплавления). Показаны преимущества устройств для повышения эффективности измерений магнитного шума при исследовании, контроле и диагностике физических и механических свойств стальных образцов. Приведен пример измерения магнитного шума в образцах с помощью созданных устройств в комплекте с прибором и преобразователем Баркгаузена.

**Ключевые слова:** магнитный шум, механические испытания на изгиб, усталостная прочность, аддитивные технологии и материалы.

### INCREASING THE EFFICIENCY OF MEASURING MAGNETIC NOISE IN STUDYING THE FATIGUE STRENGTH STEEL SAMPLES

Busko V.

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

**Abstract.** The schemes, designs and appearance of the proposed and created devices and mechanisms for studying the fatigue strength of 09G2S powder steel samples obtained using the additive technology - the method of selective laser sintering (fusion) are presented. The advantages of devices for increasing the efficiency of measurements of magnetic noise in the study, control and diagnostics of the physical and mechanical properties of steel samples are shown. An example of measuring magnetic noise in samples using the created devices complete with a Barkhausen instrument and transducer is given.

**Key words:** magnetic noise, mechanical bending tests, fatigue strength, additive technologies and materials.

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

Исследование циклической усталостной прочности (УП), или долговечности, материалов и изделий относится к приоритетным задачам. Появление новых материалов, получение которых основано на использовании аддитивных технологий (АТ), актуализировало необходимость и интенсивность изучения физико-механических свойств (ФМС), особенно прочностных, данного класса материалов. В настоящее время во многих отраслях наметился резкий рост (промышленность, авиация и космонавтика, медицина и автомобилестроение) применения изделий, полученных с помощью АТ [1–3].

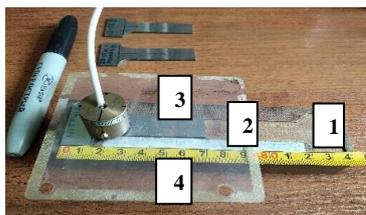
В ближайшем будущем полученные с помощью АТ изделия будут конкурировать с полученными традиционными способами.

Прочность и жесткость конструкций, в основном, определяются возможностью сопротивления металла деформации, обусловленной циклической усталостью. Поэтому целью работы являлось создание устройств, позволяющих повысить достоверность и повторяемость измерений интенсивности магнитного шума (МШ) при изучении УП образцов стали 09Г2С, полученных с помощью селективного лазерного спекания.

Необходимыми этапами изучения УП АТ-образцов является измерение МШ до их циклирования; затем – проведение мало- и многоцикловых механических испытаний при разных амплитудах и количествах циклов нагружения, коэффициенте симметрии цикла, видов постобработок образцов после изготовления, времени и условий эксплуатации.

В качестве метода оценки ФМС и УП до и после циклирования применялся магнитный метод эффекта Баркгаузена (МЭБ) [4]. Учитывая универсальность и высокую чувствительность его параметров к неоднородности, анизотропии, шероховатости, остаточным напряжениям, дефектам, усталостной деградации, пористости, для повышения эффективности и достоверности измерений МШ предложено использовать ряд устройств и приспособлений.

На рис. 1 показан внешний вид приспособления с углублением в форме образца длиной 140 мм. Оно позволяет надежно фиксировать образец в статичном положении и проводить измерение МШ путем сканирования преобразователем Баркгаузена (ПБ) изготовленных по ГОСТ [4] протяженных образцов в виде балки длиной до 140, и длиной 70 мм при циклических испытаниях при изгибе.

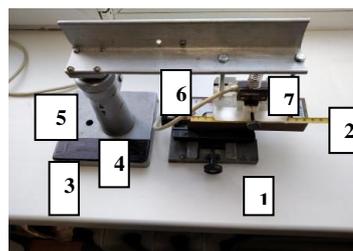


1 – приспособление с углублением по форме образца, 2 – испытуемый образец, 3 – преобразователь Баркгаузена, 4 – изолирующая прокладка

Рисунок 1 – Вид устройства для установки и фиксации плоского образца с преобразователем Баркгаузена (ПБ) с подмагничиванием и подкладкой для обеспечения постоянного зазора и скольжения ПБ по поверхности

Предложено использовать два устройства, объединенных в единое целое (рис. 2). Первое состоит из двухкоординатника, в котором закреплено приспособление с установленным и зафиксированным в нем образцом, позволяющим с высокой точностью перемещать его независимо по осям X и Y. Второе устройство содержит станину, в которой установлена штанга с возможностью перемещения ее по вертикали с помощью вращения кольца с резьбой. На штанге закреплен кронштейн с установленным на нем ПБ, который с помощью винтовой пружины обеспечивает постоянный прижим к поверхности испытуемого образца. Оба устройства обеспечивают прецизионное перемещение ПБ вдоль длины и поперек ширины образца с помощью

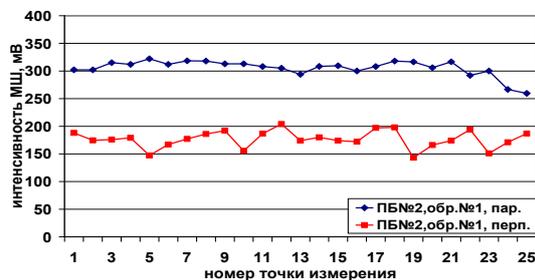
двухкоординатника, а по вертикали с помощью подпружиниваемого датчика.



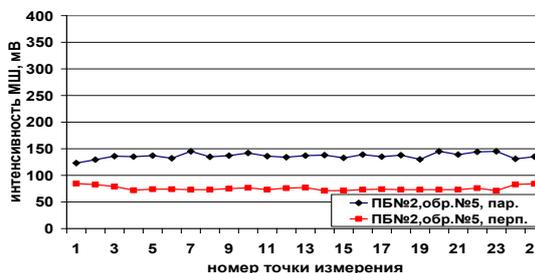
1 – двухкоординатное устройство, 2 – приспособление с зафиксированным образцом, 3 – станина, 4 – штанга, 5 – вращающееся кольцо на резьбе, 6 – кронштейн, 7 – ПБ

Рисунок 2 – Двухкоординатное устройство для перемещения ПБ вдоль и поперек образца и устройство для перемещения ПБ по вертикали

На рис. 3 как пример применения устройств показаны экспериментальные результаты измерения интенсивности МШ прибором типа ИМШ путем сканирования при ортогональных положениях ПБ по длине АТ-образца (рис. 3, а) и литого (рис. 3, б) до циклирования. Измерения уровня МШ проводились в 25 точках по поверхности образца с шагом через 5 мм. По поведению изменения МШ по длине образцов оценивалась неоднородность, анизотропия, наличие дефектности, остаточных напряжений, качество механической и термической постобработок.



а



б

Рисунок 3 – Распределение уровня МШ по длине АТ-образца (а) и литого (б)

Видно, что МШ сильно зависит от способа изготовления образцов, а для АТ-образцов, и от вида термической обработки после изготовления.

Заметно различие между образцами по степени неоднородности и магнитной анизотропии.

Созданные устройства позволяют повысить эффективность, достоверность и повторяемость измерения магнитного шума при исследовании ФМС и УП стальных материалов на примере образцов стали 09Г2С, полученных с помощью аддитивных технологий.

**Благодарности.** Работа выполнена при частичной финансовой поддержке совместного проекта БРФФИ и РФФИ, грант № Т20Р – 119.

#### Литература

1. Дресвянников, В. А. Аддитивные технологии как технологическая инновация: понятие, содержание,

анализ развития / В. А. Дресвянников, Е. П. Страхов // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2018. – № 1.

2. Сацкая, З. Экспансия аддитивных технологий в медицину / З. Сацкая // Аддитивные технологии – 2020. – № 4. – С. 6–8.

3. Особенности циклической усталостной прочности образцов, полученных селективным лазерным спеканием, из стали 09Г2С / В. Н. Бусько [и др.] // Неразрушающий контроль и техническая диагностика. – 2020. – № 4. – С. 16–25.

4. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов : ГОСТ 18353-79. – М., 1980. – 11 с.

5. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов (с измен.) : ГОСТ 25.502-79. – М., 1981. – 26 с.

УДК 621

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАНИЙ ТЕРМОПАРЫ ПРИ РАЗНЫХ ВЕЛИЧИНАХ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМОЭЛЕКТРОДОВ

Владимиров М.Ю., Ключко Т.Р.

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
Киев, Украина*

**Аннотация.** Изложена методика и приведены результаты экспериментов по определению температуры медной ленты при прокатке с помощью естественной термопары. Приведена схема экспериментального оборудования.

**Ключевые слова:** температура, экспериментальная установка, естественная термопара, расчетная формула.

### RESEARCH OF THE THERMOCOUPLE'S INDICATIONS AT VARIOUS VALUES OF THE THERMOELECTRODES' TEMPERATURE

Vladimirov M., Klotchko T.

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
Kyiv, Ukraine*

**Abstract.** The technique is described and the results of experiments to determine the temperature of a copper strip during rolling using a natural thermocouple are presented. The diagram of the experimental equipment is shown.

**Key words:** temperature, experimental setup, natural thermocouple, calculation formula.

**Введение.** Для обеспечения оптимальных механических параметров цветных металлов при холодной прокатке является поддержание на определенном уровне температуры ленты. Анализ методов измерения температуры показывает, что наиболее целесообразным в этом случае является использование термопар, в частности естественных. При этом возможно, что величины температуры двух термоэлектродов оказываются разными, что недостаточно исследовано и представляет интерес для создания приборов контроля.

**Экспериментальное оборудование, разработанное для проведения исследования.** Методик экспериментов предусматривала определение термоэдс [1], возникающей в месте контакта двух термоэлектродов, медного и константанового, имеющих разную температуру, что можно наблюдать при холодной прокатке

медной ленты на прокатном стане и измерении температуры ленты с помощью естественной термопары, у которой одним электродом является сама лента [2], а второй выполнен из константана, например, в форме ролика. При этом необходимо учитывать, что воздушная среда в зоне контакта датчика и объекта содержит химические компоненты, влияющие на качество контакта [3, 4].

Для проведения экспериментов была сконструирована и изготовлена экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 1. Установка выполнена следующим образом. К корпусу 1 из текстолита болтами 16 прикреплен медный диск 6. Внутрь цилиндрической расточки корпуса 1 помещена вставка 3. С помощью шайбы 4 и винтов 15 к вставке крепится константановый термоэлектрод 5. Внутренняя полость