

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ НА ОСНОВАНИИ МАГНИТОШУМОВОГО АНАЛИЗА

**С.М. Гусев<sup>1</sup>**

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Статья посвящена изучению конструкционной углеродистой стали 45 методом магнитной структуроскопии с помощью цифрового анализатора шумов Баркгаузена Rollscan-300. Проводилось разделение образцов, термически обработанных по различным режимам. При исследовании использовали теорию о том, что амплитуда шумов Баркгаузена – магнитоупругий коэффициент ( $mp$ ) и твердость стали изменяются обратно пропорционально.

Ил. 3. Библиогр. 15 назв.

*Ключевые слова:* шумы Баркгаузена, сталь, ферромагнитный материал, домены

### DETERMINATION OF THE TYPICAL TREATMENT OF CARBON STEEL ON THE BASIS OF MAGNETIC NOISE ANALYSIS

**S. Gusev**

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov Street, Irkutsk, 664074, Russian Federation

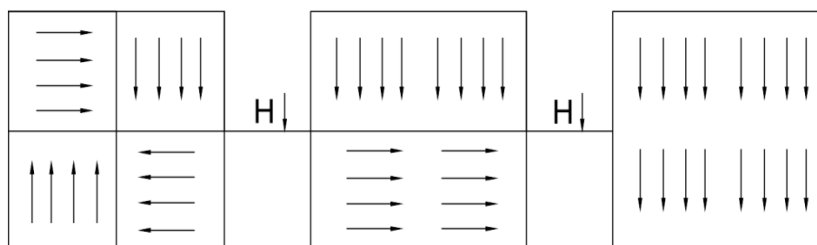
The article is devoted to the study of structural carbon steel 45 by the method of magnetic structuroscopy using the Barkhausen digital noise analyzer Rollscan-300. The separation of samples, thermally processed in different modes, was carried out. The study used the theory that the amplitude of Barkhausen noise is the magnetoelastic ratio ( $mp$ ) and the hardness of the steel varies inversely.

*Keywords:* Barkhausen noise; steel; ferromagnetic material; domains

#### Введение

Метод шумов Баркгаузена основан на связи между намагничиванием ферромагнетика и твердостью материала. Ферромагнитный материал имеет неоднородную структуру, обусловленную доменами. Домены – это намагниченные микрообласти зерен ферромагнетика. Границы между доменами называют стенками доменов [1–3].

В 1917 г. профессор Баркгаузен с помощью серии экспериментов доказал, что процесс намагничивания, который характеризуется петлей гистерезиса, не является непрерывным, а состоит из множества небольших скачкообразных стадий [1]. При наложении на ферромагнетик внешнего магнитного поля в процессе намагничивания происходит движение стенок доменов, состоящего из трех основных стадий: смещения, вращения и парапроцесса. Стадия смещения соответствует области слабых магнитных полей, где кривая намагничивания идет наиболее круто, а процесс намагничивания осуществляется путем смещения границ между доменами. Детальное исследование кривой намагничивания в области смещения показало, что в этой области изменение намагниченности происходит скачкообразно. При плавном изменении внешнего магнитного поля намагниченность образца изменяется скачками, в то время, как на стадиях вращения и парапроцесса скачки Баркгаузена не наблюдается [1]. Под действием магнитных полей стенки доменов начинают колебаться вперед-назад, что приводит к изменению общей намагниченности образца. На рис. 1 представлена схема перестройки доменной структуры материала при росте напряженности внешнего магнитного поля  $H$ .



**Рис. 1. Перестройка доменной структуры при намагничивании**

<sup>1</sup> Гусев Семен Михайлович, магистрант, e-mail: [36vampir\\_522@mail.ru](mailto:36vampir_522@mail.ru)  
Gusev Semyon, an undergraduate student, e-mail: [36vampir\\_522@mail.ru](mailto:36vampir_522@mail.ru)

Если рядом с образцом в период колебания стенок доменов данного образца поместить катушку индуктивности, возникающее изменение в намагниченности будет вызывать возникновение электрического импульса (шума) в обмотке. Шумы возрастают при уменьшении твердости и увеличении напряжения растяжения и наоборот, снижаются при увеличении твердости и увеличении напряжения сжатия [2–6]. На амплитуду шумов оказывают влияние любые явления, которые препятствуют движению доменных стенок. Таким образом, метод магнитоупругого шума Баркгаузена применяют для оценки остаточных напряжений [2–12]; микроструктурных изменений, вызывающих изменение твердости, например – обезуглероживание материала, пятна размягчения. Известно его применение для обнаружения поверхностных дефектов под хромовым покрытием [13]; обнаружения локального перегрева при шлифовке [2].

Процедура измерения проста, особых требований к подготовке поверхности области контроля не требует: перед измерением образец следует протереть тканью, чтобы очистить от пыли или мелких частиц металла. Но этот метод обладает и отрицательной чертой – низкой чувствительностью при измерении материалов с высокой твердостью, что является причиной высокой погрешности при низких уровнях напряжения.

### Материалы и методы исследования

Для исследования применялся цифровой анализатор шумов Баркгаузена Rollscan 300. Прибор позволяет визуально контролировать спектр шумов Баркгаузена, уровень магнитного возбуждения образца и чувствительность датчика. Расстояние между датчиком и основным блоком – практически неограниченно, что позволяет измерения с помощью анализатора Rollscan 300 интегрировать в производственный процесс, позволяя осуществлять контроль в реальном времени. Программное обеспечение ViewScan используется для накопления и анализа данных, полученных с прибора. Rollscan 300 состоит из основного блока и специальных сенсоров – датчиков (рис. 2).

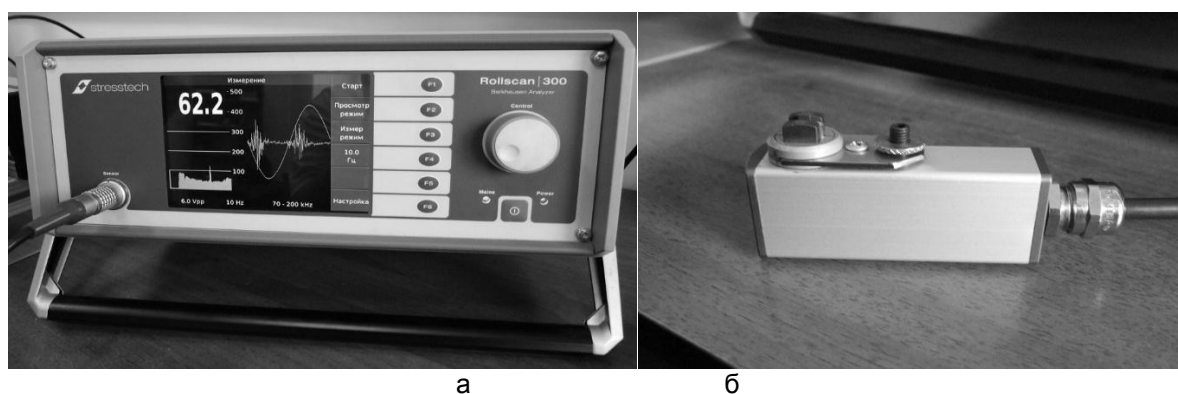


Рис. 2. Основные элементы цифрового анализатора Rollscan 300: а – основной блок; б – датчик

Датчик состоит из чувствительного полюсного наконечника, намагничивающего полюсного наконечника, корпуса, триммера, кабеля и соединителя. Во время измерения датчик помещают на исследуемую поверхность, обеспечивая хороший контакт между полюсным наконечником и исследуемой поверхностью. На панели управления основным блоком имеются шесть функциональных кнопок, предназначенных для выбора окон и функций; регулятор для настройки величин различных параметров. На главном экране есть графический дисплей, на котором изображается процесс измерения и наиболее важная величина магнитоупругий коэффициент ( $mp$ ).

Образцы цилиндрической формы длиной 10-15 мм, вырезались из прутка диаметром 10 мм. Образцы подвергались полной закалке и полному отжигу [15]. Материал исследуемых образцов – конструкционная углеродистая качественная сталь 45. Химический состав стали 45 представлен в таблице.

### Химический состав стали 45 [14]

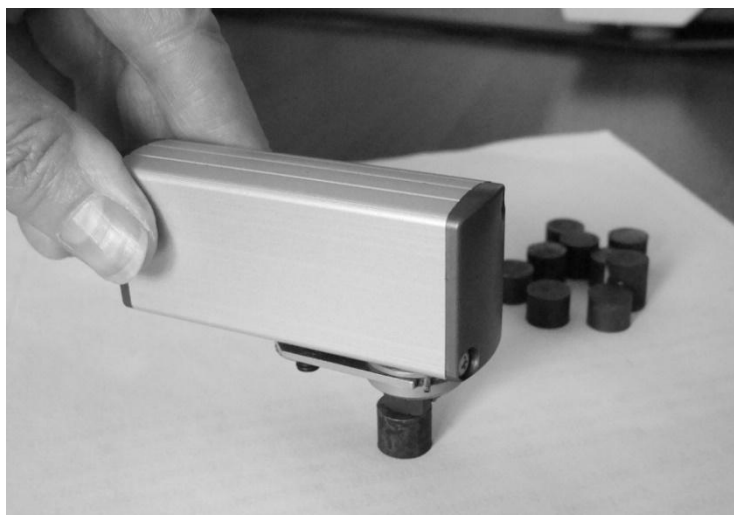
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.425	0.17...0.37	0.5...0.8	≤0.15	≤0.04	≤0.035	≤0.15	≤0.3	≤0.08

Как видно из таблицы, сталь 45 содержит значительное количество углерода. При увеличении содержания углерода возрастает прочность, твердость, предел текучести, величина электрического сопротивления. Малое содержания хрома и никеля определяют подверженность изделий из стали 45 коррозии. Сталь применяется для деталей, от которых требуется повышенная прочность.

### Результаты и обсуждение

Перед началом исследования оптимизировали настройки силы намагничивания, т.к. применения магнитного поля слишком большой силы может привести к насыщению образца или датчика, что снизит чувствительность метода измерения, а слишком малое намагничивание приведет к слабому сигналу и к снижению чувствительности. Для определения оптимальных параметров тока, который определяет силу намагничивания, получали развертки напряжения намагничивания и частоты намагничивания. Для этого проводили измерения в режимах «Развёртка напряжения намагничивания» и «Развёртка частоты намагничивания». Получили следующие значения: напряжение намагничивания – 6 В, частота намагничивания – 10 Гц.

С помощью цифрового анализатора Rollscan 300 мы произвели исследования образцов, часть из которых подвергалась отжигу, а часть – закалке (рис. 3).



**Рисунок 3 – Исследование образцов после термической обработки**

Известно, что закалка придает максимальную твердость, так как сталь приобретает структуру мелкоигольчатого мартенсита [15]. После отжига сталь 45 «мягкая», т.к. состоит из феррита и перлита. Твердость стали 45 после закалки составляет ~60–65 HRC. **В отожженном состоянии твердость стали мала ~197НВ.** Сравнивая между собой полученные амплитуды шумов Баркгаузена, мы сделали заключение что, образцы с меньшей амплитудой ( $92,4 \pm 1$ ) подвергались закалке, а образцы с большей амплитудой ( $124,7 \pm 1$ ) – были отожжены.

### Выводы

Полученные результаты говорят о пригодности метода шумов Баркгаузена для определения качества упрочнения стальных деталей **конструкционной углеродистой стали 45**. Также этот метод может быть использован для сортировки упрочненных и неупрочненных стальных деталей.

### Библиографический список

1. Рудяк В.М. Эффект Баркгаузена // Успехи физических наук. 1970. Т. 101, вып. 3. С. 430
2. Суоминен Л. Обнаружение дефектов шлифования деталей из ферромагнитных материалов с использованием эффекта Баркгаузена // В мире неразрушающего контроля. 2011. № 2. С. 74–78.
3. Гридасова Е.В., Николаева Е.П. Исследование улучшаемой стали 30ХГСА, обработанной дробью, методами рентгеноструктурного анализа и измерения шумов Баркгаузена: материалы 5-й Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Жизненный цикл конструкционных материалов». 2015. С. 76–83
4. Николаева Е.П. Применение метода шумов Баркгаузена для контроля упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 6-2. С. 428-431.
5. Николаева Е.П. Исследование структуры конструкционной стали Ст3пс после обработки аргоноплазмой // В сборнике: Пром-Инжиниринг труды II междунар. науч.-техн. конф. Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский). 2016. С. 191–195.
6. Николаева Е.П., Гридасова Е.В., Герасимов В.В. Применение рентгеноструктурного анализа и шумов Баркгаузена для исследования конструкционной стали 30ХГСА после дробеударной обработки // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 2-1. С. 125–132
7. Nikolaeva E. P. Structure Investigation of the Constructional Steel St3ps after Argon-Arc Plasma Treatment // Materials Science Forum. 2016. Vol. 870. P. 500–506.

8. Карамышев А.А., Николаев А.Ю. Анализ модификации клапана высокого давления с помощью ROLLSCAN 300 // Молодежный вестник ИрГТУ. 2016. № 3. С. 8
9. Николаева Е.П., Машуков А.Н. Оценка остаточных напряжений в наплавках седел клапанов высокого давления // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2017. № 7. С. 26–29.
10. Nikolaeva E. P., Mashukov A. N. Evaluation of Residual Stresses in High-Pressure Valve Seat Surfacing // Chemical and Petroleum Engineering November 2017. Vol. 53, Issue 7-8. P. 459–463 [Электронный ресурс]. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10556-017-0363-1>
11. Nikolaeva E., Mashukov A. Evaluation of residual stresses in lock valve elements of petrochemical productions // MATEC Web of Conferences: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017) Vol. 129. p. 06006. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/43/contents/contents.htm>
12. Трофимов В.Н., Карманов В.В., Ширяев А.А. Метод калибровки оборудования при измерении остаточных напряжений // Прикладная математика и вопросы управления. 2016. № 4. С. 106–114.
13. Nose landing gear axle fracture VH-VBA, Boeing 737-7Q8 // ATSB transport safety report. Aviation Occurrence Investigation AO-2009-047. Final. Melbourne aerodrome, Victoria, 25 July 2009. P. 1–15.
14. ГОСТ 1050-88. Сталь качественная и высококачественная. Сортовой и фасонный прокат, калиброванная сталь.
15. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. 3-е изд. перер. и доп. М.: Альянс, 2013. 527 с.