

УДК 537.624.8

*К.Ю. Лукке, Ю.В. Воронова*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **КОЭРЦИТИВНАЯ СИЛА - ОДИН ИЗ ВАЖНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены преимущества коэрциметрии как метода неразрушающего контроля при технической диагностике узлов и деталей железнодорожного транспорта. Представлены достоинства и недостатки. Проведено сравнение способов намагниченности изделий.

**Ключевые слова:** коэрцитивная сила, ферромагнит, магнитный поток, неразрушающий контроль, технологическая инструкция.

*K.Yu. Lukke, Yu.V. Voronova*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

## **COERCITIVE FORCE IS ONE OF THE IMPORTANT PARAMETERS OF ROLLING STOCK TECHNICAL DIAGNOSIS**

**Abstract.** This article discusses the advantages of coercimetry as a method of non-destructive testing in the technical diagnostics of units and parts of railway transport. Advantages and disadvantages are presented. Comparison of ways of magnetization of products is carried out.

**Keywords:** coercive force, ferromagnet, magnetic flux, non-destructive testing, technological instruction.

### **Введение**

Коэрцитивная сила – это значение напряжённости внешнего магнитного поля, необходимое для полного размагничивания ферро- или ферромагнитного вещества. Знание этой величины позволяет:

- проверять механические свойства металлов, прежде всего – их прочность и пластичность, с которыми у коэрцитивной силы существует надёжная корреляционная связь;
- рассортировывать стали по маркам (у каждого сплава – своё содержание углерода, влияющее на значение коэрцитивной силы);
- определять качество отжига, закалки, последующего отпуска и других видов низкотемпературной (в пределах 100-300 °С) термообработки из легированных, средне- и высокоуглеродистых сталей. Не случайно измерение коэрцитивной силы часто практикуют при расследовании изломов деталей вагонов и локомотивов;
- измерять глубину и твёрдость упрочнённых слоёв (для проникновения магнитного потока в поверхностный слой и «сердцевину» материала применяются сменные сердечники разной площади);
- контролировать напряжённо-деформированное состояние ответственных сооружений – пролётов мостов, перекрытий, стрел подъёмных механизмов и прочих критически важных, несущих конструкций;
- оценивать физический износ конструкций, проектировать их усиление, реконструкцию и т.д.

### **Явление магнитного гистерезиса**

Магнитный гистерезис – явление, при котором векторы намагниченности и напряжённости магнитного поля определяются не только приложенным внешним полем, но и предысторией объекта. Одно из необходимых условий – достижение точки насыщения. Так, если пустить ток на электромагнитную катушку с высокой напряжённостью поля и дождаться, когда магнитный поток достигнет максимальной плотности, а затем отключить ток

намагничивания, то поток не исчезнет на 100%. Причина этого кроется в «памяти» ферромагнитного материала на молекулярном уровне. Материалы, которым свойственна высокая удельная удерживаемость, относятся к категории магнитотвёрдых (типичный пример – любой постоянный магнит). У других остаточный магнетизм выражен не так сильно – это магнитомягкие материалы, и из них получают отличные электромагниты. Коэрцитивная сила как раз и обозначает то, какой должна быть отрицательная напряжённость магнитного поля, чтобы уменьшить остаточную плотность потока.

Явление отставания изменений магнитной индукции ферромагнитного материала при перемагничивании от изменения напряжённости поля называется гистерезисом [1].

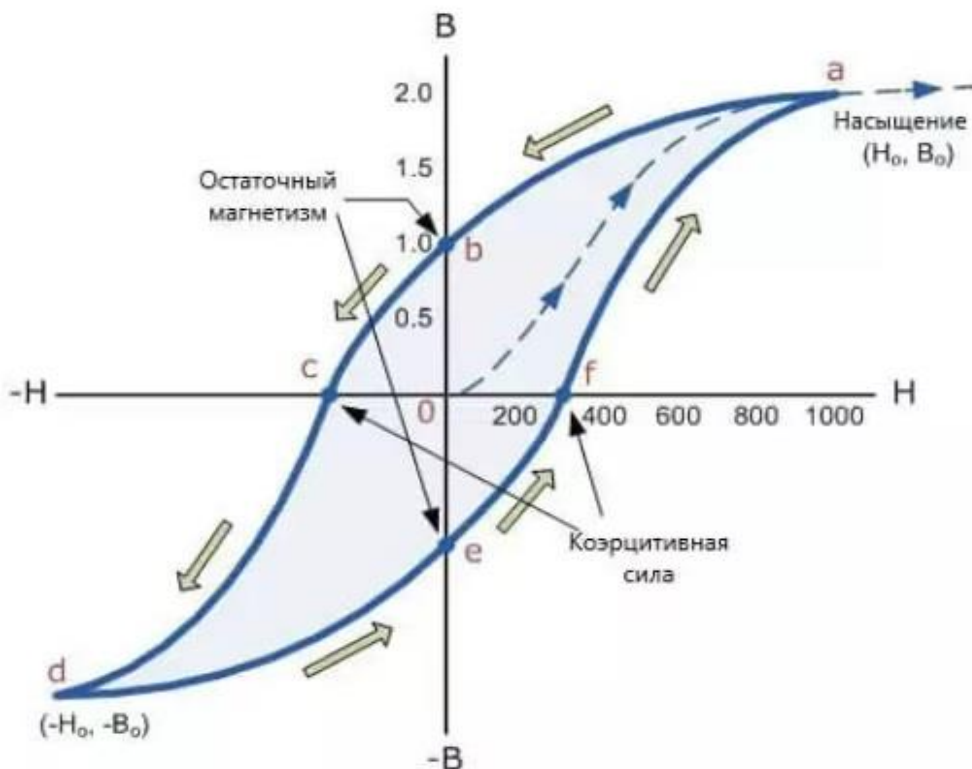


Рис. 1. Магнитный гистерезис

Магнитный гистерезис графически изображается в виде петли (рис. 1), на которой отображено:

- ось  $B$  – плотность магнитного потока;
- ось  $H$  – напряжённость магнитного потока.

Возьмем сердечник, у которого  $B$  и  $H$  равны нулю, и подаём ток намагничивания. Плотность и напряжённость будут расти (путь от точки  $f$  до точки  $a$ ), но не до бесконечности, а до определённого уровня. Это и есть то самое насыщение, о котором изложено выше.

Далее – отключаем ток, и магнитное поле сводится к нулю (путь от точки  $a$  до точки  $b$ ), однако в силу магнитного гистерезиса и остаточного магнетизма с магнитным потоком этого не произойдёт, и он задержится на определённом уровне (точка  $b$ ).

Для уменьшения магнитного потока до нуля нужно обратить ток, протекающий в катушке, в обратном направлении. Таким образом, коэрцитивная сила – это и есть необходимая для этого сила намагничивания, достаточная для того, чтобы обнулить остаточную плотность потока, пока он не достигнет точки  $c$  на графике.

Продолжая увеличивать обратный ток сердечник будет намагничиваться уже в обратном направлении, пока не достигнет насыщения (точка  $d$ , симметричная точки  $a$ ), соответственно, если отключить ток, то магнитное поле уменьшится до нуля, а вот намагничённость – снова задержится на определённом уровне, но в отрицательном диапазоне (точка  $e$ , симметричная точке  $b$ ). Если постоянно чередовать ток с положительным и отрицательным значениями, то

кривая будет вновь и вновь проходить «по маршруту» между точками *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* и опять возвращаться в точку *a*. Эта траектория и образует магнитную петлю гистерезиса (рис. 2).

У магнитомягких материалов петля получается узкой. У магнитотвёрдых, наоборот, может оказаться очень широкой [2]. Связано это с коэрцитивной силой – чем она больше, тем дальше от нуля располагаются точки *c*, *b*, *e* и *f*. Тем большую обратную силу намагниченности нужно приложить, чтобы преодолеть остаточный магнетизм.

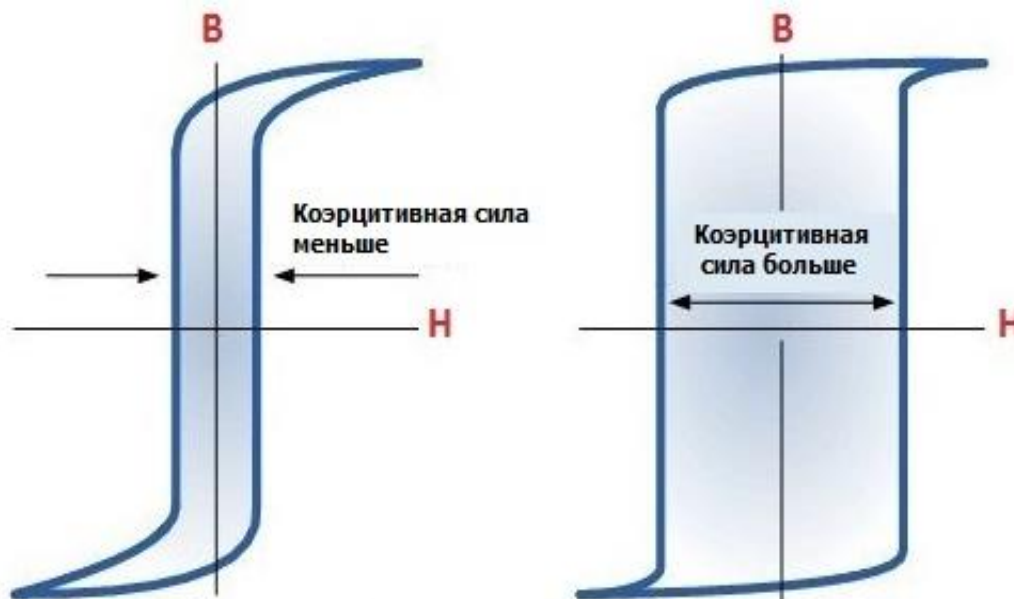


Рис. 2. Петля магнитного гистерезиса магнитомягкого и магнитотвёрдого материалов

### Преимущества коэрцитиметрии

По сравнению с другими методами неразрушающего контроля и технической диагностики коэрцитиметрия имеет ряд неоспоримых преимуществ.

Полнота и достоверность практической информации о фактическом состоянии металла. Классическая дефектоскопия позволяет лишь косвенно судить об этом (и направлена, в сущности, на обнаружение причин разрушений), в то время как коэрцитиметрический метод направлен непосредственно на оценку усталости и напряжённости, к которым привели развивающиеся микрповреждения.

Практически полное отсутствие помех. Для использования не нужно тщательно зачищать поверхность, удалять немагнитное покрытие (по крайней мере, если его толщина не превышает 5-6 мм), наносить контактную жидкость. В процессе измерения коэрцитивной силы регистрируются усталостные изменения в металле, и ничего более.

Сокращение затрат на другие виды диагностики и неразрушающего контроля. Его проведение становится целесообразным только тогда, когда усталостная микрповрежденность достигла некоего критического уровня (у каждого сплава он свой). До этого момента правильнее говорить не о дефектах, а о концентрациях напряжений. Периодический мониторинг коэрцитивной силы позволяет выявлять проблемные зоны, сходу получая общее представление о текущем состоянии сооружения и избавляя от лишних затрат на другие виды НК.

Выявить зоны-концентраторы гораздо проще, чем возникающие в них усталостные дефекты. Усталостные зоны располагаются логично, в соответствии с распределением нагрузок. Дефекты же могут возникнуть неожиданно в самом, казалось бы, неочевидном месте.

Коэрцитивная сила – исчисляемое в «осязаемых» физических величинах, количественное и качественное выражение таких абстрактных, на первый взгляд, характеристик, как усталость и ресурс. Это простой, наглядный и выраженный в конкретных

цифрах критерий, благодаря которому результаты технической диагностики получаются более понятными, объективными и обоснованными.

Возможность применения коэрцитиметрического метода на любом этапе существования изделия. Начиная от изготовления конструктивных деталей и монтажа и заканчивая текущей эксплуатацией и реконструкцией. Это открывает возможности для статистической обработки результатов, построения наглядных графиков, диаграмм и прочего. Так, на основе значений коэрцитивной силы отдельных зон и конструктивных элементов можно вывести интегральную численную характеристику сооружения в целом и планировать стратегию дальнейшей эксплуатации изделия [3].

#### **Заключение**

Коэрцитиметрия, конечно, не способна заменить всего многообразия видов НК, но она многократно повышает эффективность их применения. Сущность коэрцитиметрического метода предполагает отношение к металлу как к живой, подвижной, развивающейся системе. Объект контроля предстаёт здесь как динамичный «организм», поскольку меняется всё, от внешних сред до внутренних, структурных процессов. В этом плане к коэрцитиметрии более приближен акустико-эмиссионный контроль, суть которого сводится к тому, чтобы слышать образование и развитие дефектов в процессе нагружения.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ Р 55612-2013. Контроль неразрушающий магнитный. М.: Стандартиформ, 2018. 11с.
2. Кекало И.Б., Самарин Б.А. Физическое металловедение прецизионных сплавов. Сплавы с особыми магнитными свойствами. М.: Metallurgia, 1989. 496 с.
3. Сайт «НДТ-контроль» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.vniias.ru/images/download\\_Transzhat\\_2018/Integrirrovannyj-postavtomatizirovannogo-priema-i-dagnostiki-podvizhnogo-sostava-na-sortirovochnyh-stanciyahPPSS.pdf](http://www.vniias.ru/images/download_Transzhat_2018/Integrirrovannyj-postavtomatizirovannogo-priema-i-dagnostiki-podvizhnogo-sostava-na-sortirovochnyh-stanciyahPPSS.pdf).

### **REFERENCES**

1. GOST R 55612-2013. Kontrol' nerazrushayushchij magnitnyj [The control is non-destructive magnetic]. M.: Standartinform, 2018, 11 p.
2. Kekalo I.B., Samarin B.A. Fizicheskoe metallovedenie precizionnyh splavov. Splavy s osobymi magnitnymi svojstvami [Physical metallurgy of precision alloys. Alloys with special magnetic properties]. Moscow: Metallurgy, 1989, 496 p.
3. Website "NDT-control" [Electronic resource]. – Access mode: [http://www.vniias.ru/images/download\\_Transzhat\\_2018/Integrirrovannyj-postavtomatizirovannogo-priema-i-dagnostiki-podvizhnogo-sostava-na-sortirovochnyh-stanciyahPPSS.pdf](http://www.vniias.ru/images/download_Transzhat_2018/Integrirrovannyj-postavtomatizirovannogo-priema-i-dagnostiki-podvizhnogo-sostava-na-sortirovochnyh-stanciyahPPSS.pdf).

#### **Информация об авторах**

*Лукке Ксения Юрьевна* – ст. преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [k.lukke.1985@mail.ru](mailto:k.lukke.1985@mail.ru)

*Воронова Юлия Владиславовна* – к.т.н., доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [voronova\\_uv@irgups.ru](mailto:voronova_uv@irgups.ru)

#### **Information about the authors**

*Lukke Ksenia Yurievna* – Senior lecturer of the department «Cars and carriage facilities», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [k.lukke.1985@mail.ru](mailto:k.lukke.1985@mail.ru)

*Voronova Yulia Vladislavovna* – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of the department «Cars and carriage facilities», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [voronova\\_uv@irgups.ru](mailto:voronova_uv@irgups.ru)