

УДК 620.179.14  
МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ  
ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПО КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЕ

Е.А.МОЙСЕЙЧИК, А.Е.МОЙСЕЙЧИК  
УО «БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
Минск, Беларусь

Известна магнитно-пластическая аналогия [1], основанная на взаимозависимости движения дислокаций и доменных границ в ферромагнитных сталях. Такая взаимосвязь подтверждается многочисленными исследованиями [2-7]. В качестве информативных магнитных параметров в окрестности точки контроля механического усилия, чувствительных к изменению состояния структурных составляющих при деформировании материала, наиболее часто используются коэрцитивная сила [5], эффект Баркгаузена [6] и другие характеристики [7]. Важно при этом иметь в виду, что выделенные магнитные характеристики взаимосвязаны с целой гаммой физико-химических и структурных свойств материала (характеристики деформированного состояния материала, предел текучести, предел прочности, твердость, химический состав, наличие термообработки, наличие закаленного и других слоев и др.). В элементах конструкций из стали, как правило [8], действительное напряженное состояние весьма сложное и определяется особенностями производства стального проката и его последующего передела в процессе изготовления конструкции. В зависимости от происхождения напряжения в окрестности точки контроля разделяют на четыре вида: основные (от расчетных нагрузок и воздействий), дополнительные (от неучтенных в расчетной модели факторов), местные (от местных нагрузок и воздействий, изменений формы элемента и т.д. искажающих форму основного силового потока) и начальные (внутренне уравновешенные от действия сварки, иных местных тепловых и других источников, технологических воздействий). Кроме этого, нужно иметь в виду, что современные стальные конструкции рассчитываются не только на упругую стадию работы материала, но и с учетом развития пластических деформаций. Изложенное показывает, что при восстановлении напряженно-деформированного состояния в окрестности точки контроля по данным измерений конкретной магнитной характеристики очень важно представлять какой вид напряжений исследуется и опираться на достоверные зависимости между напряженно-деформированным состоянием (НДС) и измеряемой магнитной характеристикой. При современном уровне знаний зависимости между характеристиками (НДС и магнитными) являются корреляционными и базируются на экспериментальных данных [2,4,6,9,10]. Такие корреляционные (градуировочные) зависимости получают чаще все-

го на небольших образцах, НДС которых существенно отличаются от происхождения и распределения напряжений и деформаций в элементах реальных конструкций. Поэтому при использовании корреляционных зависимостей, полученных на небольших образцах, магнитные характеристики, измеряемые при неразрушающем контроле, могут рассматриваться лишь как индикаторные параметры НДС в исследуемой точке.

В данной работе ставится задача экспериментально исследовать зависимость коэрцитивной силы от действующий усилий при простейших видах напряженно-деформированного состояния на крупноразмерных образцах стального проката и на натуральных изделиях из малоуглеродистых сталей.

Испытания проводили на образцах из листовой низкоуглеродистой стали СтЗсп, арматурной стали (арматура S400). Нагружение образцов производилось растягивающим усилием до их разрушения на машине Р-100. В составе стержневой конструкции посредством испытательного стенда (рис.1) создавались в элементах растягивающие (в тяжах) и сжимающие (в распорке) усилия. Нагружение стержневой конструкции в испытательном стенде производилось в пределах упругой работы материала гидравлическим домкратом, с контролем создаваемого усилия в диапазоне 0-1000 кН по манометру. Нагружение в обоих случаях велось ступенчато.

Для измерения  $H_c$  применялся коэрцитиметр КИПФ-1 конструкции Института прикладной физики НАН Беларуси с преобразователем, представляющем приставной электромагнит для намагничивания исследуемого участка и феррозонд для преобразования магнитного потока в цепи «электромагнит-контролируемый участок» в электрический сигнал. Диапазон измерения коэрцитивной силы  $H_c$  составляет 100-900 А/м, относительная погрешность – не более 5 %. Преобразователь при измерениях был расположен вдоль действующего усилия в образцах, а в тяжах и распорке – в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

Данные испытаний приведены на рис. 2, 3.

Полученные данные показывают, что изменение величины коэрцитивной силы в материале образцов и элементов конструкций зависит от стадии работы материала и вида усилия. Эту зависимость в упругой стадии можно рассматривать как прямолинейную, убывающую при растяжении и возрастающую при сжатии. В стадии самоупрочнения материала образцов зависимость может также рассматриваться как прямолинейная, возрастающая при растяжении образца. На стадиях образования в растягиваемых образцах площадки текучести и шейки на кривых образуются скачкообразные изменения величины коэрцитивной силы. Можно предположить, что эти изменения обусловлены изменением ориентации доменов.



Рис. 1. Вид стержневой конструкции в составе испытательного стенда

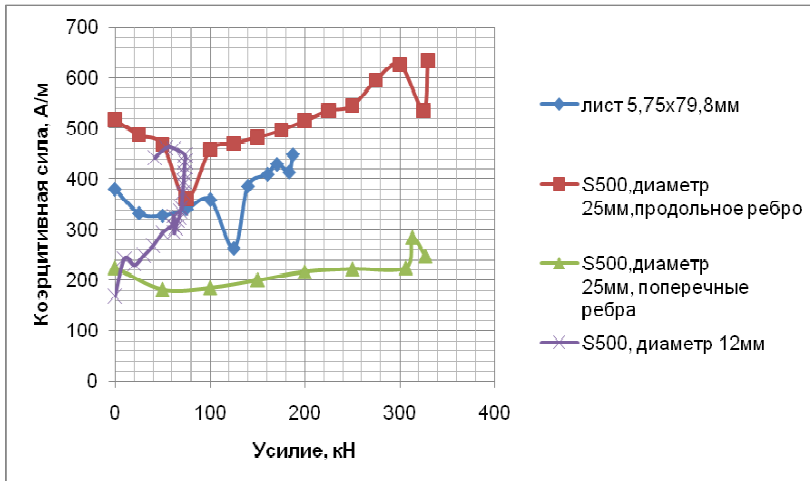


Рис. 2. Зависимость коэрцитивной силы от величины растягивающей нагрузки в образцах из листового металла и арматуры S500

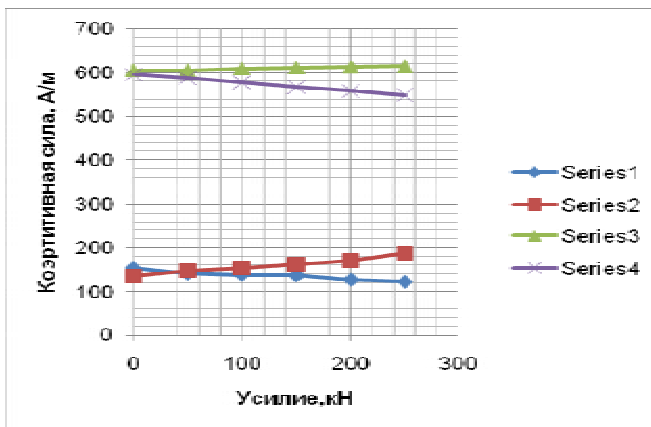


Рис. 3. Зависимость коэрцитивной силы от величины нагрузки: 1 – в тяже в направлении усилия; 2 – в тяже поперек усилия; 3 – в распорке вдоль усилия; 4 – в распорке поперек усилия

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Акулов, Н. С.** Дислокации и пластичность / Н. С. Акулов. – Минск : Издательство академии наук БССР, 1961. – С. 110.
2. **Мельгуй, М. А.** Магнитный контроль механических свойств сталей / М. А. Мельгуй. – Минск : Наука и техника, 1980. – 184 с.
3. **Михеев, М. Н.** Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – М. : Наука, 1993. – 250 с.
4. **Бакиров, М. Б.** Разработка методики натурного безобразцового контроля механических свойств стали корпусов водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР) с использованием магнитных методов / М. Б. Бакиров, Н. Ю. Забрусков // Заводская лаборатория. – 2000. – № 11. – С. 35–44.
5. Неразрушающие испытания : справ. кн. **2** / Под ред. Р.Мак-Мейстера. – М.-Л. : Энергия, 1965. – 492 с.
6. **Венгринович, В. Л.** Магнитошумовая структуроскопия / В. Л. Венгринович. – Минск : Наука и техника, 1991. – 285 с.
7. **Вонсовский, С. В.** Ферромагнетизм / С. В. Вонсовский, Я. С. Шур. – М.-Л. : ОГИЗ, 1948. – 816 с.
8. Металлические конструкции : в 3 т. / В. В.Горев [и др.]; под ред. В. В. Горева. – М. : Высшая школа, 1997. – Т. 1. – 527с.
9. **Решенкин, А. С.** Теоретико-экспериментальное определение действующих напряжений по информативным параметрам магнитного шума/ А. С. Решенкин // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 2. – С. 47–54.