

УДК 620.179.14

АНИЗОТРОПИЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ И ОЦЕНКА ЕЕ НЕОДНОРОДНОСТИ

Кулагин В.Н., Осипов А.А., Пиунов В.Д.

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

Аннотация. Исследована возможность контроля магнитной анизотропии низколегированных листов ферромагнитной стали разной толщины с использованием измерения градиента поля остаточной намагниченности и коэрцитивной силы приборами ИМА и КИПФ-1. Проведено сравнение результатов контроля. Даны рекомендации по увеличению точности определения магнитной анизотропии, а также уменьшению влияния неоднородности листов и погрешностей используемого оборудования на результаты измерений. **Ключевые слова:** анизотропия, импульсный магнитный метод, неразрушающий контроль, неоднородность, градиент поля остаточной намагниченности.

ANISOTROPY OF SHEETS OF LOW-CARBON STEELS AND THE EVALUATION OF ITS HETEROGENEITY

Kulagin V., Osipov A., Piunov V.

The State Scientific Institution "Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus"
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The possibility of controlling the magnetic anisotropy of low-alloyed ferromagnetic steel sheets of different thicknesses by measuring the residual magnetization field gradient and coercive force with IMA and KIPF-1 devices is studied. Comparison of results of control is carried out. Recommendations are given to increase the accuracy of determining the magnetic anisotropy, as well as to reduce the effect of sheet inhomogeneity and the errors of the equipment used on the measurement results.

Key words: anisotropy, pulsed magnetic method, non-destructive testing, inhomogeneity, residual magnetization field gradient.

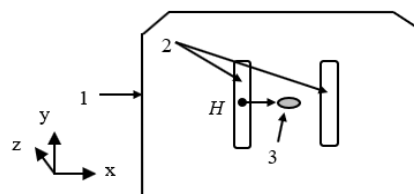
Адрес для переписки: Осипов А.А., ул. Академическая, 16, Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: osipov@iapf.bas-net.by

Магнитные методы неразрушающего контроля [1] используются на промышленных предприятиях для решения самых разнообразных задач. Один из них, импульсный магнитный метод [2], основан на чувствительности градиента поля остаточной намагниченности к изменению механических характеристик.

Дополнительно импульсный магнитный метод позволяет оценивать негативное влияние неоднородности материала изделия на результаты контроля механических свойств и качества термообработки. При экспериментальных исследованиях использовались прямоугольные холоднокатаные образцы низкоуглеродистой стали (с одинаковой температурой отжига 200° С и разной толщиной: 0,8; 1,0; 1,2 и 1,5 мм) размерами 1000×1000 мм². Для сравнения проводились измерения также с применением коэрцитиметрического метода [1] (использовался прибор КИПФ-1, внесенный в реестр средств измерений РБ № сертификата 15303). Оба подхода позволяют проводить измерения по прокатке и перпендикулярно прокатке, поскольку используют намагничивание вдоль поверхности листа.

При применении импульсного магнитного метода намагничивание осуществлялось прибором ИМА-5Б [3] с использованием двух прямоугольных катушек, включенных последовательно по

полно, установленных на поверхности образца (рис. 1) и имеющих в плоскости перпендикулярной их оси размеры 100×35 мм², причем расстояние между их центрами было равно 100 мм. Использовался один размагничивающий и один намагничивающий импульсы тока.



1 – прямоугольные образцы, 2 – прямоугольные намагничивающие катушки, 3 – специальный преобразователь, подключенный к прибору ИМА-4М

Рисунок 1 – Схема расположения намагничивающих катушек и специального преобразователя для анализатора ИМА-4М при использовании импульсного магнитного метода и коэрцитиметра

Между прямоугольными катушками (рис. 1) был установлен феррозондовый измерительный преобразователь, выполненный из двух стандартных полузондов приборов типа ИМА [2], но расположенных друг над другом и над поверхностью исследуемого образца [4]. Преобразователь был

подключен к импульсному магнитному анализатору ИМА-4М [5] (внесен в реестр средств измерений РБ № сертификата 13383).

Определение градиента поля остаточной намагниченности после намагничивания выполнялось в центре прямоугольных образцов последовательно на верхней и нижней их поверхностях, а также на углах листов, в каждой области измерений по прокатке и перпендикулярно прокатке (датчики приборов располагались симметрично относительно углов), при этом измерялись попеременно значения градиента поля остаточной намагниченности dH_x/dz .

При использовании коэрцитиметра КИПФ-1 полюса его электромагнита располагались так, чтобы создавать намагничивающее поле по конфигурации и расположению подобное полю, создаваемому при импульсном локальном намагничивании прибором ИМА-5Б. Из экспериментальных данных градиента поля остаточной намагниченности определялась величина магнитной анизотропии как отношение измеренных значений коэрцитивной силы или градиента поля остаточной намагниченности по прокатке к ее соответствующему значению перпендикулярно прокатке: $K_c = H_{c\parallel}/H_{c\perp}$ и $K_{gr} = \nabla H_{\parallel}/\nabla H_{\perp}$.

В идеальном случае (например, при отсутствии неоднородностей, повреждений листа на краях и т.д.) коэффициенты анизотропии K_c и K_{gr} , измеренные на разных поверхностях листа, должны практически совпадать, а отличия должны объясняться точностью используемого оборудования. В действительности было получено, что коэффициенты анизотропии заметно изменялись:

- от 1,11 до 1,44 для листа толщиной $h=0,8$ мм;
- от 1,05 до 1,38 для листа толщиной $h=1,0$ мм;
- от 1,09 до 1,40 для листа толщиной $h=1,2$ мм;
- от 1,04 до 1,41 для листа толщиной $h=1,5$ мм.

Видно, что минимальные и максимальные значения коэффициентов анизотропии отличаются по величине не более нескольких процентов при изменении толщины листов на десятки процентов, как для ИМА, так и для КИПФ-1.

Для уменьшения влияния неоднородности листов и погрешности измерений на выводы по проведенным экспериментам, проводились усреднения полученных данных для каждого из листов по обеим поверхностям. Так усреднение по пяти точкам показало, что для всех листов разной толщины коэффициент анизотропии находится на уровне 1,2 и выше.

Но есть различия в результатах измерения с использованием КИПФ-1 и ИМА. Для ИМА коэффициенты анизотропии, усредненные по поверхностям листов, в центре и на углах обычно

мало различаются. В то время, как для коэрцитиметра измерения в центре заметно ниже (различия могут достигать 10 % и более). Поэтому в последнем случае (для увеличения чувствительности к анизотропии) можно рекомендовать измерения на углах образцов, если они не имеют недопустимых механических дефектов, повреждений и т. д.

Необходимо также отметить, что измерения по направлению прокатки и перпендикулярно прокатке проводились не точно в одной и той же области образцов, а в близких областях при симметричном расположении преобразователей приборов неразрушающего контроля.

При этом результаты измерений на листах различной толщины имеют и свою специфику. Например, для листа толщиной 1,0 мм при измерениях прибором ИМА отношение магнитной анизотропии в каждом из углов листа к ее значению в центре с одной из сторон его поверхности превышает единицу на несколько процентов и выше (вплоть до 10 %).

В то время, как на противоположной стороне данного листа аналогичное отношение для всех углов меньше единицы вплоть до 10 %. Для остальных листов (толщины 0,8; 1,2 и 1,5 мм) такие различия носят по большей части случайный характер, что может быть связано, например, с существенной неоднородностью материала образцов в центре.

Таким образом, была рассмотрена возможность определения магнитной анизотропии листов низкоуглеродистой стали с использованием приборов типа ИМА и коэрцитиметра КИПФ-1 на примере образцов разной толщины (0,8; 1,0; 1,2 и 1,5 мм).

Для увеличения надежности определения анизотропии конкретного листа, рекомендуется проводить измерения в симметричных относительно краев областях контроля, причем с обеих сторон листа.

Литература

1. Михеев, М. Н. магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – Москва: Наука. – 1993. – 252 с.
2. Мельгуй, М. А. Магнитный контроль механических свойств сталей. / М. А. Мельгуй. – Минск: Наука и техника, 1980. – 184 с.
3. Мельгуй, М. А. Импульсный магнитный анализатор ИМА-5Б / М. А. Мельгуй [и др.] // Научно-технические достижения. – 1990. – № 4. – С. 41–44.
4. Импульсный магнитный анализатор ИМА-4М / В. Ф. Матюк [и др.] // Дефектоскопия. – 2003. – № 3. – С. 47–53.
5. Счастный, А. С. Исследование возможности контроля анизотропии листового проката / А. С. Счастный, А. А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2014. – № 3. – С. 20–33.