

УДК 620.179.14

ОБ УЧЕТЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Счастный А.С., Пиунов В.Д., Осипов А.А.

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

Аннотация. Исследована неоднородность образцов стали 35 при изменении температуры отжига от 0 до 900 °С. Рассмотрена возможность использования импульсного магнитного метода для неразрушающего контроля данной стали и дополнительно оценена чувствительность импульсного метода к неоднородности листового проката. Проведено сравнение результатов контроля возможными вариантами использования импульсного магнитного метода.

Ключевые слова: импульсный магнитный метод, неразрушающий контроль, неоднородность, градиент поля остаточной магнитной индукции.

ON ACCOUNTING ADDITIONAL ERRORS WHEN CONTROLLING THE HEAT TREATMENT OF STEEL PRODUCTS

Schastny A., Piunov V., Osipov A.

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

Abstract. The inhomogeneity of samples of steel 35 was investigated with a change in the annealing temperature from 0 to 900 °С. The possibility of using the pulsed magnetic method for non-destructive testing of this steel is considered and the sensitivity of the pulsed method to the heterogeneity of sheet metal is additionally evaluated. A comparison of the results of testing by possible options for using the pulsed magnetic method is carried out.

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

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

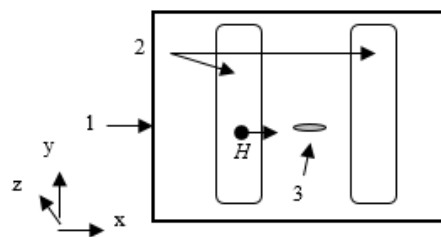
На промышленных предприятиях получили широкое распространение магнитные методы неразрушающего контроля [1]. Одним из них является импульсный магнитный метод [2], основанный на использовании зависимости ферромагнитных свойств материала изделий от их механических характеристик

Импульсный магнитный метод позволяет также дополнительно оценивать возможное влияние неоднородности материала (изделия) на результаты контроля качества термообработки (механических свойств). Эксперимент выполнялся на прямоугольных холоднокатаных образцах стали 35 (с разной температурой отжига) размерами 200×200 мм² и толщиной 1,5 мм. Сначала проводилось их намагничивание анализатором ИМА-5Б [3] с использованием двух прямоугольных катушек, которые были включены последовательно по полю, имели в плоскости перпендикулярной их оси размеры 100×35 мм² и располагались на поверхности образца (рис. 1) так, что расстояние между центрами прямоугольных катушек составляло 100 мм.

Измерения градиента поля остаточной намагниченности после намагничивания выполнялись специальным датчиком, подсоединенным к серийному импульсному магнитному анализатору ИМА-4М [4] и проводились в центре прямоугольных образцов последовательно на верхней

и нижней их поверхностях. Датчик располагался в центре между прямоугольными катушками (рис. 1) и был выполнен из двух полузондов, расположенных друг над другом и над поверхностью исследуемого образца [5]. При этом регистрировались попарно поперечные значения градиента поля остаточной намагниченности dH_x/dz , как вдоль, так и поперек направления прокатки.

Проведенные измерения показали, что обычно достаточно трех пар измерений, чтобы результаты стабилизировались, например, как это следует из значений, приведенных в табл. 1 для температуры отжига равной 200 °С. Повторяемость измерений находится на уровне не хуже 1 %.



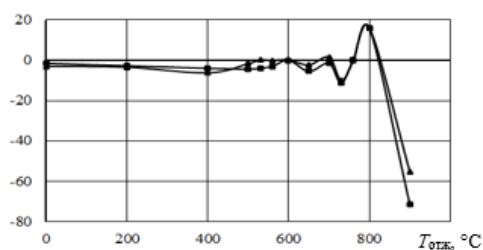
1 – прямоугольные образцы, 2 – прямоугольные намагничивающие катушки, 3 – специальный датчик, подключенный к прибору ИМА-4М

Рисунок 1 – Схема расположения намагничивающих катушек и специального датчика для анализатора ИМА-4М

На рис. 2 приводятся отклонения градиентов остаточной намагниченности, измеренных с двух сторон образцов (верхней и нижней) для третьей пары измерений. Отклонение градиентов δ вычислялось, как разница между градиентом на верхней и нижней поверхностях, деленное на их среднее значение. В идеальном случае значения градиентов должны совпадать с той точностью, которую обеспечивают используемые приборы неразрушающего контроля.

Таблица 1. Результаты измерений поперечного градиента dH_x/dz по направлению прокатки (\parallel) и перпендикулярно направлению прокатки (\square)

№ δ , % напр.	1; \parallel	1; \square	2; \parallel	2; \square	3; \parallel	3; \square
Град. dH_x/dz , $10A/M^2$	1273	1490	1290	1493	1290	1493



■ – отклонение измеренных градиентов δ по прокатке;
▲ – отклонение измеренных градиентов δ перпендикулярно прокатке

Рисунок 2 – Отклонения градиентов остаточной намагниченности, измеренных с двух сторон образцов

Исходя из данных рис. 2 для температур отжига до 500 °C можно сделать вывод, что неоднородности градиентов остаточного магнитного поля по прокатке и перпендикулярно прокатке приблизительно одинаковы, от 500 до 600 °C отклонение измеренных градиентов перпендикулярно прокатке не превышает 2 %. Далее значения неоднородностей превышают даже 40 %, что можно объяснить недостаточным выполнением требований к технологии изготовления образцов при максимальных значениях температуры. Также необходимо обратить внимание, что отклонение градиентов δ почти всегда отрицательно по величине, то есть градиент поля остаточной намагниченности, измеренный на верхней плоскости образца меньше, чем на нижней.

Исходную неоднородность листового проката можно оценить по образцам с минимальной температурой отжига. Так для температуры 200 °C и менее неоднородность образцов не превышает 5 %. При проведении исследований намагничивание образцов осуществлялось также круглой катушкой анализатора ИМА-5Б, ось которой бы-

ла перпендикулярна плоскости листа. Сравнительные результаты измерений для ряда температур отжига представлены в табл. 2.

Таблица 2. Отклонения поперечного градиента при намагничивании по направлению прокатки δ_{\parallel} , перпендикулярно направлению прокатки δ_{\square} и для круглой катушки δ_0

$T_{отж}$, °C	400	600	760	900
Откл. град. δ_{\parallel} , %	3,9	7,4	46,5	44,4
Откл. град. δ_{\square} , %	5,8	10,6	54,2	35,2
Откл. град. δ_0 , %	3,4	0,8	44,6	14,4

Согласно экспериментальным данным табл. 2 при намагничивании круглой катушкой во всех приведенных случаях чувствительность к неоднородностям структуры образцов ниже, причем для температуры отжига 600 °C ее величина почти на порядок меньше.

В ряде случаев такие дополнительные измерения могут использоваться для повышения достоверности контроля. Для конкретного потребителя это может быть оправданно при более высоких требованиях к качеству металлопродукции.

Таким образом, рассмотрена чувствительность импульсного магнитного метода к неоднородности образцов стали 35 с изменением температуры отжига от 0 до 900 °C. На основе полученных экспериментальных данных, а также проведенных дополнительных исследований, можно заключить, что неоднородность образцов и изделий может составлять десятки процентов и более. Исходя из требований потребителя и обеспечения качества выпускаемой им продукции, рекомендуется проводить предлагаемый выше дополнительный неразрушающий контроль металла, например, импульсным магнитным методом с использованием прямоугольных намагничивающих катушек, стремясь одновременно к улучшению технологии производства.

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. 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.