

УДК620.179.14

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА СТАЛИ 40 ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТЖИГА

А. С. СЧАСТНЫЙ, А. А. ОСИПОВ, В. А. БУРАК

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

Минск, Беларусь

UDC 620.179.14

EVALUATING RELATION OF ANNEALING TEMPERATURE TO STEEL 40 ROLLING SHEETS ANISOTROPIC PROPERTIES

A. S. SCHASTNY, A. A. OSIPOV, V. A. BURAK

Аннотация

Исследовано влияние температуры отжига холоднокатаной листовой стали 40 на градиент напряженности поля остаточной намагниченности. Установлено, что при повышении температуры отжига влияние анизотропии листового проката на магнитные и механические свойства снижается.

Ключевые слова:

остаточная намагниченность, анизотропия, холоднокатаная сталь, импульсный магнитный метод контроля, градиент поля остаточной намагниченности, термообработка.

Abstract

The influence of the annealing temperature of cold-rolled steel 40 to gradient of the residual magnetization field is investigated. It is determined that the anisotropy effect to sheet metal magnetic and mechanical properties is reduced if the annealing temperature increases.

Key words:

Residual magnetization, anisotropy, cold-rolled steel, pulsed magnetic testing method, gradient of the residual magnetization field, heat treatment.

Надежность и долговечность конструкций, сооружений, машин и механизмов существенно зависят от качества используемых материалов и изделий. Среди материалов, применяющихся в машиностроении, большой удельный вес составляют изделия, полученные методом штамповки или профилирования из листового проката сталей.

Анизотропия механических свойств листового проката сталей формируется в процессе его производства. Влияние анизотропии на качество таких технологических операций, как резка, штамповка и т. д. неоднозначно и зависит от ряда факторов. Учет анизотропии позволяет повысить как качество изготавливаемой продукции, так и экономичность и технологичность производства. Для контроля механической анизотропии стального проката могут быть применены магнитные методы [1], основой для использования которых является связь магнитных параметров со структурным состоянием материала. Величину анизотропии оценивают по разнице

магнитных информативных параметров, измеренных вдоль и поперек направления прокатки.

Исследования влияния температуры термообработки на магнитную анизотропию стального проката проводились на двух комплектах образцов холоднокатаной конструкционной углеродистой стали 40 размером 185 x 185 x 3 мм. Образцы были подвергнуты отжигу при температурах 200, 400, 500, 530, 560, 600, 650, 700, 730, 760, 800 и 900 °С. Из комплектов были изъяты и в исследованиях не участвовали образцы, имеющие механические повреждения, таких образцов было всего четыре: образцы, отожженные при температурах 800 и 900 °С, в первом комплекте и образцы, отожженные при 700 и 730 °С, во втором комплекте.

Предварительно на всех отобранных для исследований образцах листового проката стали 40 был измерен градиент нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности стандартным феррозондом-градиентометром приборов типа ИМА после намагничивания импульсным магнитным полем амплитудой 250 кА/м. На рис.1 представлены графики зависимостей измеренных градиентов ∇H_r от температуры отжига для каждого комплекта образцов листового проката и их усредненное значение. Как видно из графиков, величина градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности с увеличением температуры отжига уменьшается на всем протяжении исследуемого диапазона температур, что характерно для углеродистых конструкционных сталей, к которым относится и исследуемая сталь 40. Кроме того, из представленных на рис. 1 зависимостей видно, что разница между градиентами, измеренными на двух образцах, отожженных при одной температуре, может составлять до 10 %, из чего можно сделать вывод, что комплекты формировались из листового проката различных партий, поэтому в дальнейшем каждый комплект образцов холоднокатаной стали 40 будет рассматриваться по отдельности.

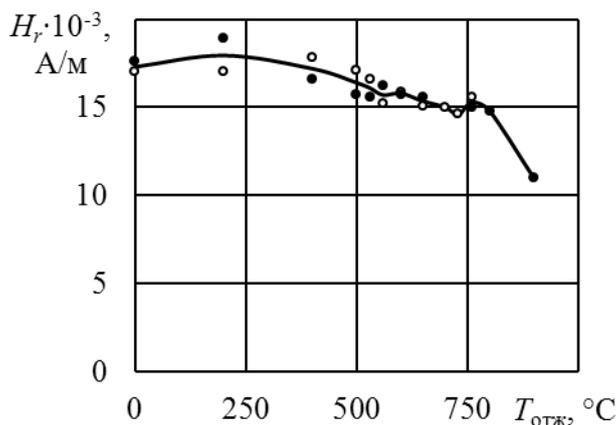


Рис. 1. Зависимости градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных прибором ИМА, от температуры отжига холоднокатаной стали 40: ○ – комплект образцов № 1; ● – комплект образцов № 2

Намагничивание образцов холоднокатаной стали 40 осуществлялось импульсами магнитного поля амплитудой 205 кА/м с помощью блока прибора ИМА-5Б [2], а система соленоидов представляла собой две прямоугольные катушки (внешние размеры 210 x 55 x 50 мм), оси которых располагались нормально к поверхности листа, расстояние между осями составляло 114 мм. Измерение градиента остаточной намагниченности проводилось градиентометром с параллельным расположением полужондов [3], намагничивающие катушки были включены так, чтобы их вектора напряженности поля H в плоскости листа были направлены в одну сторону (рис. 2).

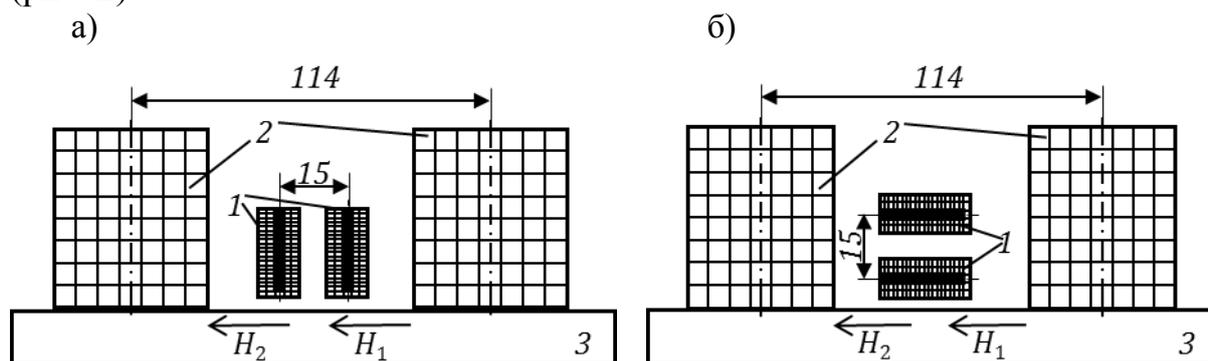


Рис. 2. Расположение измерительных полужондов (1) градиентометра с параллельным расположением полужондов относительно намагничивающих катушек (2) и образца (3): а – измерение градиента нормальной ∇H_n составляющей напряженности поля остаточной намагниченности; б – измерение градиента тангенциальной ∇H_t составляющей напряженности поля остаточной намагниченности

На рис. 3 представлено изменение величин градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных датчиком с параллельным расположением полужондов вдоль и поперек направления прокатки, для обоих рассмотренных комплектов холоднокатаной стали 40 отдельно. Как видно из представленных зависимостей, для первого комплекта образцов (рис. 3, а) характерно практически полное отсутствие магнитной анизотропии, разница между значениями величин градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных вдоль и поперек направления прокатки, практически отсутствует во всем диапазоне изменения температуры отжига (относительная разница около 5 %), за исключением значений, измеренных на образце, отожженном при самой высокой для данного комплекта температуре. На образцах из комплекта № 1 также прослеживается неоднозначный ход зависимости измеренных значений градиентов поля остаточной намагниченности от температуры термообработки: при отсутствии отжига или его невысокой температуре (до 530 °С) величины градиентов поля остаточной намагниченности практически не изменяются. При дальнейшем повышении температуры отжига, когда начинаются структурные

превращения в металле, однозначной тенденции в ходе зависимости не наблюдается.

Результаты исследований, проведенные на втором комплекте образцов, представлены на рис. 3, б и характеризуются показательными изменениями в структуре холоднокатаной стали 40 при отжиге при разных температурах. Так, величины градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренного как вдоль, так и поперек направления прокатки, уменьшаются с увеличением температуры отжига. Из общей тенденции выбивается лишь образец, подвергнутый отжигу при 800 °С, что можно объяснить его механическими повреждениями (царапины, неровность поверхности и т. п., оказывающими влияние на точность измерения). Анизотропия магнитных свойств, характеризуемая разницей между величинами градиента, измеренными вдоль и поперек направления прокатки, наблюдается при отсутствии термообработки или невысоких, до 500 °С, температурах отжига. Так, относительная разница между градиентами, измеренными вдоль и поперек направления прокатки, составляет около 12 %, а после отжига при температурах свыше 500 °С не превышает 5 %, то есть при термообработке анизотропия свойств исчезает, так как происходит выравнивание структуры стали и устранение неоднородностей.

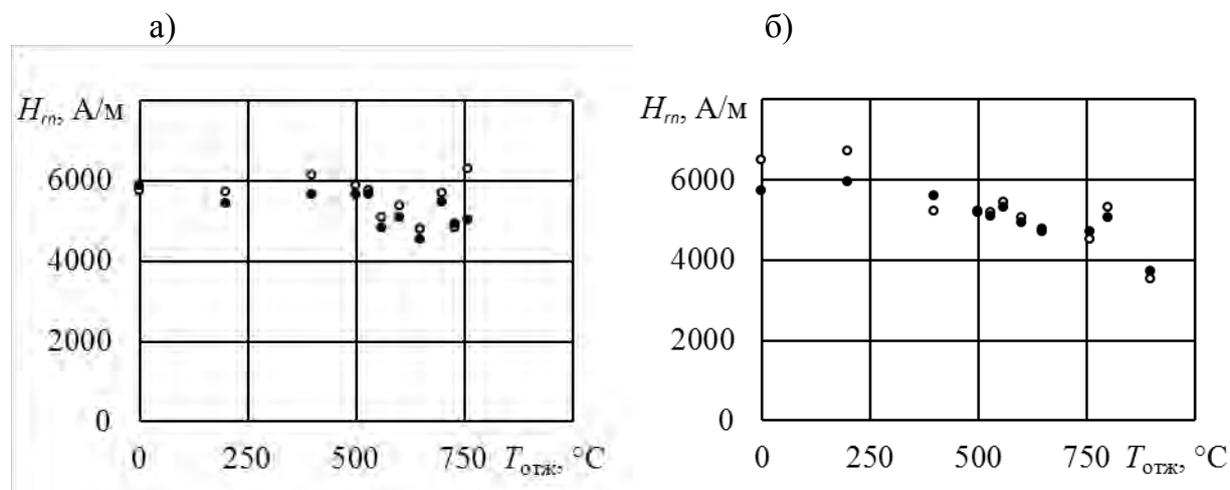


Рис. 3. Зависимости градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности от температуры отжига холоднокатаной стали 40: а – комплект образцов № 1; б – комплект образцов № 2; ○ – вдоль направления прокатки; ● – поперек направления прокатки

Для величин градиента тангенциальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных датчиком с параллельным расположением полузондов вдоль и поперек направления прокатки, представленных на рис. 4, для каждого рассматриваемого комплекта образцов наблюдаются те же зависимости от температуры отжига, что и для величин градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности. Несколько изменилась лишь величина измеренных зна-

чений градиентов поля остаточной намагниченности – в среднем величины градиентов тангенциальной составляющей на 20 % ниже величин градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности.

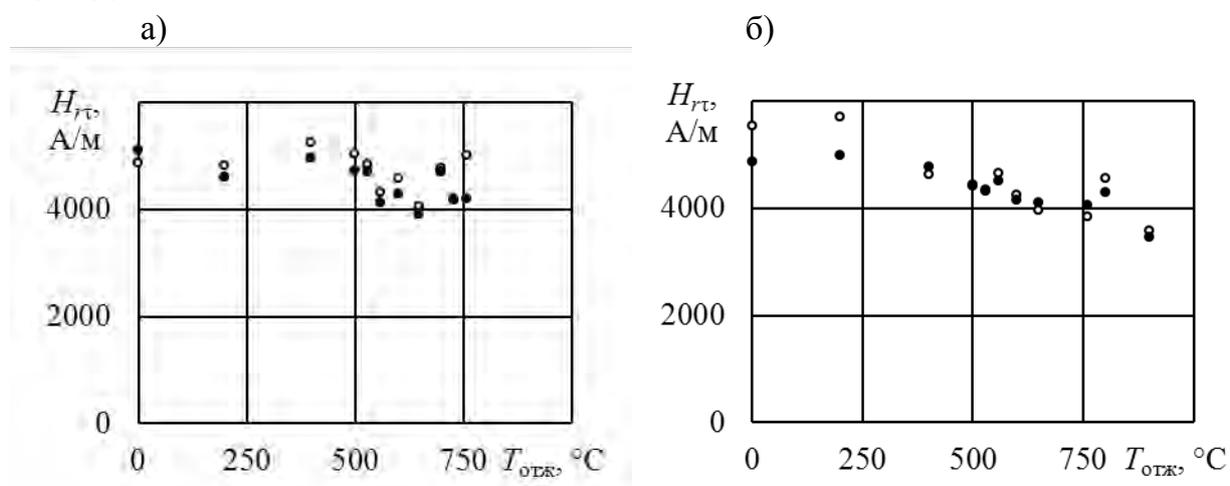


Рис. 4. Зависимости градиента тангенциальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности от температуры отжига холоднокатаной стали 40: а – комплект образцов № 1; б – комплект образцов № 2; ○– вдоль направления прокатки; ●– поперек направления прокатки

Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что отжиг при температуре свыше 500 °C холоднокатаной стали 40, обладающей анизотропией магнитных и, соответственно, механических свойств при отсутствии термообработки, выравнивает структуру стали и устраняет ее неоднородность, что приводит к уменьшению влияния направления прокатки на магнитные и механические свойства.

Работа выполнялась при поддержке БРФФИ и РФФИ договор № Т16Р-040.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербинин, В. Е. Магнитный контроль качества металлов / В. Е. Щербинин, Э. С. Горкунов. – Екатеринбург, 1996. – 266 с.
2. Мельгуй, М. А. Импульсный магнитный анализатор ИМА-5Б / М. А. Мельгуй [и др.] // Научно технические достижения. – 1990. – № 4. – С. 41–44.
3. Счастный, А. С. Исследование возможности использования приборов магнитного контроля для оценки механической анизотропии листового проката / А. С. Счастный, А. А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2015. – № 3. – С. 54–66.

E-mail: veronika.burak@gmail.com
sasikv@gmail.com
osipov@iaph.bas-net.by