

УДК 620.179.14

МЕХАНИЧЕСКАЯ И МАГНИТНАЯ АНИЗОТРОПИЯ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА СТАЛЕЙ***А. С. СЧАСТНЫЙ, В. А. БУРАК***Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Беларусь

UDC 620.179.14

**MECHANICAL AND MAGNETIC ANISOTROPY OF ROLLED STEELS
*A. S. SCHASTNY, V. A. BURAK***

Аннотация. Были проведены исследования, подтверждающие наличие взаимосвязи между величинами, используемыми как мера механической анизотропии листового проката сталей, и магнитными параметрами остаточной намагниченности, измеренными вдоль и поперек направления прокатки. Показано, что относительная разница между величинами градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных вдоль и поперек направления прокатки, может быть с достаточной точностью использована для оценки механической анизотропии.

Ключевые слова: анизотропия, магнитные методы контроля, листовой прокат стали, остаточная намагниченность.

Abstract. Researching to confirm the correlation of the rolled steel mechanical anisotropy values and the magnetic residual magnetization parameters which are measured along and across the rolling direction were held. It is shown that the relative difference between the values of the normal component residual magnetization field strength gradients, measured along and across the rolling direction, can be used for evaluation of the mechanical anisotropy with necessary accuracy.

Key words: anisotropy, magnetic testing methods, rolled steel, residual magnetization

Изучение влияния неоднородности механических свойств, или анизотропии, листового проката сталей, влияющих на штампуемость, является важной и актуальной задачей магнитных методов неразрушающего контроля [1, 2]. За меру анизотропии механических свойств листовых металлов принят коэффициент анизотропии R [3, 4], представляющий собой отношение логарифмической деформации по ширине к логарифмической деформации по толщине образца на участке равномерной деформации при испытаниях на растяжение; наиболее часто используется коэффициент нормальной анизотропии R_n , представляющий собой сумму коэффициентов анизотропии, измеренных в направлениях 0 , 45 и 90° относительно направления прокатки.

В [5] делается предположение, что по форме распределения напряженности поля остаточной намагниченности после импульсного намагничивания можно судить о наличии анизотропии, однако не приводятся данные о величинах, описывающих механическую анизотропию. Поэтому

целью исследования является оценка связи между коэффициентами анизотропии механических свойств и величинами, описывающими магнитную анизотропию по характеристикам поля остаточной намагниченности.

Исследования проводились на образцах стального листового проката, имевших размеры $1000 \times 1000 \times 0,8$ мм. Для каждого из образцов были измерены коэффициенты анизотропии в направлениях 0, 45 и 90° относительно направления прокатки, рассчитаны коэффициенты нормальной анизотропии. Данные образцы являлись конечным продуктом металлургического производства, их изготовление отражало реальную ситуацию, связанную с неоднородностью механических свойств, возникающих в процессе прокатки. При выборе образцов для исследования учитывались критерии однородности образцов, изложенные в [6].

Импульсное намагничивание исследуемых образцов осуществлялось полем амплитудой 250 кА/м, формируемым прибором ИМА-6 [7]. Затем феррозондом-градиентометром прибора измерялись распределения величин градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности на поверхности стальных листов вдоль и поперек направления прокатки. Результаты измерения для двух образцов представлены на рис. 1.

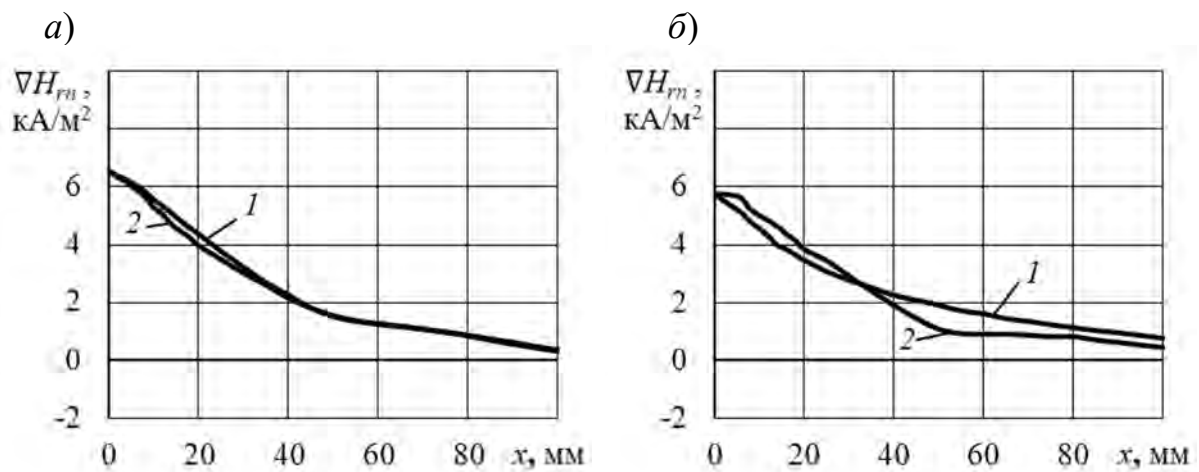


Рис. 1. Распределение градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности вдоль (1) и поперек (2) направления прокатки по поверхности стальных листов с малым (а) и большим (б) значением коэффициента нормальной анизотропии R_n : а – $R_n = 1,918$, $R_0 = 1,958$, $R_{90} = 2,338$; б – $R_n = 2,054$, $R_0 = 2,073$, $R_{90} = 2,507$

Как видно из рис. 1, для образца с малым значением коэффициента нормальной анизотропии R_n кривые распределения величины градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренные вдоль и поперек направления прокатки, почти совпадают (см. рис. 1, а), а для образца с большим значением коэффициента нормальной анизотропии R_n на некотором расстоянии от центра

намагничивания аналогичные величины градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности заметно различаются. В [5] было показано, что расстояние, на котором это различие максимально, зависит от параметров системы намагничивания.

На рис. 2 представлена зависимость максимальной относительной разницы $\delta_{\nabla H}$ между величинами градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных вдоль и поперек направления прокатки, от суммы коэффициентов анизотропии R , измеренных в направлениях 0 и 90° относительно направления прокатки. Для датчика прибора ИМА-6 расстояние, на котором определяется величина $\delta_{\nabla H}$, составляет приблизительно 55 мм от центра намагничивания. Выбор в качестве оценки механической анизотропии суммы коэффициентов корреляции, измеренных в двух перпендикулярных направлениях, основывается на том, что при изучении распределения остаточной намагниченности рассматриваются только направления вдоль и поперек прокатки, для которых характерна наибольшая деформация зерна структуры при прокатке.

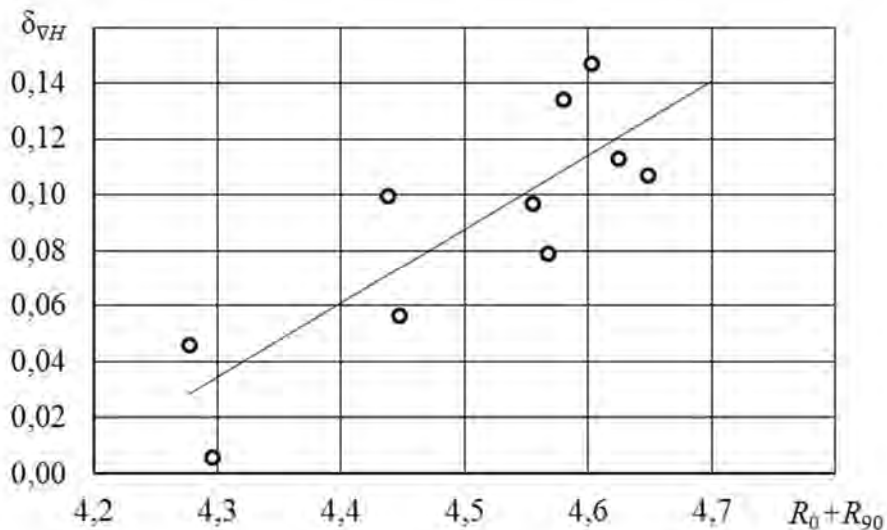


Рис. 2. Зависимость величины максимальной относительной разницы между величинами градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных вдоль и поперек направления прокатки, от суммы коэффициентов анизотропии $R_0 + R_{90}$

Для представленной на рисунке зависимости характерен однозначный рост значений относительной разницы между величинами градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных вдоль и поперек направления прокатки, с увеличением суммы коэффициентов анизотропии в тех же направлениях. Несмотря на большой разброс значений, который можно объяснить неоднородностью механических и магнитных свойств, измеренных в разных областях

исследуемого листового проката, величина коэффициента корреляции составляет 0,83, что является достаточно высоким показателем для того, чтобы утверждать наличие статистической связи между рассмотренными величинами.

Таким образом, проведенные исследования показали, что величину механической анизотропии листового проката, а именно сумму коэффициентов анизотропии R , измеренных в направлениях 0 и 90° относительно направления прокатки, можно достаточно точно оценить по относительной разнице между величинами градиентов нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности, измеренных вдоль и поперек направления прокатки, на некотором расстоянии от центра намагничивания. На точность такого способа оценки механической анизотропии сильное влияние оказывает неоднородность свойств листового проката сталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современное состояние неразрушающего контроля механических свойств и штампуемости листового проката сталей в технологическом потоке производства / В. Ф. Матюк [и др.] // Дефектоскопия. – 2003. – № 5. – С. 19–60.
2. **Матюк, В. Ф.** Состояние неразрушающего контроля штампуемости листового проката сталей / В. Ф. Матюк // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2012. – № 3. – С. 15–42.
3. **Шевелев, В. В.** Анизотропия листовых материалов и ее влияние на вытяжку / В. В. Шевелев, С. П. Яковлев. – Москва: Машиностроение, 1972. – 133 с.
4. Оценка свойств автолистовой стали по n и R факторам / Ю. Д. Железнов [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. – 1974. – № 4. – С. 18–20.
5. **Бурак, В. А.** Анизотропия магнитных свойств листового проката из стали 35 / В. А. Бурак, В. Ф. Матюк, А. С. Счастный // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2019. – № 3. – С. 17–31.
6. **Счастный, А. С.** Исследование возможности контроля анизотропии листового проката / А. С. Счастный, А. А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2014. – № 3. – С. 20–33.
7. Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 / В. Ф. Матюк [и др.] // Дефектоскопия. – 2009. – № 7. – С. 62–74.

E-mail: veronika.burak@gmail.com.