

Из неравенства (3) следует, что изменение положения МОВ шарика произойдет при следующем соотношении нагрузок кольцо и верхний диск.

$$P_s / P_m > (1 + \sin \beta) / \operatorname{tg} \alpha \cos \beta. \quad (4)$$

Это неравенство определяет границу максимального соотношения нагрузок, при котором дальнейшее увеличение нагрузки на кольцо нецелесообразно.

Условием формообразования сферической поверхности шарика является непрерывное изменение положения его МОВ, а точнее угла наклона оси вращения шарика к оси инструмента. При выборе соотношения статических нагрузок, близком к значению при котором

наблюдается изменение МОВ мгновенное соотношение давлений в точках контакта  $E$  и  $K$  из-за вибрации в технологической системе, будет изменяться вблизи граничного значения.

Высокая вероятность случайных изменений положения МОВ обеспечивает постоянную переориентацию шарика в пространстве и достижение высокой точности обработки. Практически соотношение нагрузок выбирают несколько меньшей чем по условию (4), что обеспечивает основное вращение шарика вокруг мгновенной оси  $\omega_1$  с периодическими кратковременными поворотами вокруг мгновенной оси  $\omega_2$ .

УДК 620.179.14

### ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ КОЭРЦИТИМЕТРОМ КИПФ-1

Счастный А.С., Осипов А.А., Бурак В.А.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Одной из важнейших задач современного машиностроения является обеспечение работоспособности и долговечности изделий. Анизотропия листового проката сталей, используемых в машиностроении, оказывает влияние на качество и экономичность механической обработки (резка, штамповка и т.д.), причем это влияние неоднозначно и зависит от ряда факторов. Учет анизотропии позволяет повысить качество как изготавливаемой продукции, так и повысить технологичность производства.

В работах [1–3], проведенных коллективом авторов, было показано, что импульсный магнитный метод с направленным намагничиванием обладает высокой чувствительностью к направлению прокатки. В приведенной работе [2] преобразователь коэрцитиметра отстоял на 10 мм от края образца, вследствие чего области измерения коэрцитивной силы вдоль и поперек направления прокатки образцов не совпадали, и наличие неоднородности листа могло привести к изменению полученных коэффициентов корреляции.

Исследовалось влияние смещения преобразователя коэрцитиметра от центра листа к углу на образцах холоднокатаной стали 35 (размером 200 x 200 x 1,5 мм<sup>3</sup>) и 08Ю (размером 200 x 200 x 1 мм<sup>3</sup>). Образцы были подвергнуты отжигу при температуре 400 °С. Измерения коэрцитивной силы осуществлялись с использованием коэрцитиметра Кипф-1 [4, 5]. Наконечники коэрцитиметра имели размеры 12 x 28 мм<sup>2</sup>, расстояние между центрами наконечников составляло 45 мм.

Преобразователь коэрцитиметра устанавливался в центр исследуемого образца, а затем

передвигался вдоль диагонали с шагом 10 мм до тех пор, пока наконечники не выходили на край образца. Проводились измерения коэрцитивной силы  $H_{ск}$  как вдоль, так и поперек направления прокатки (рисунок 1).

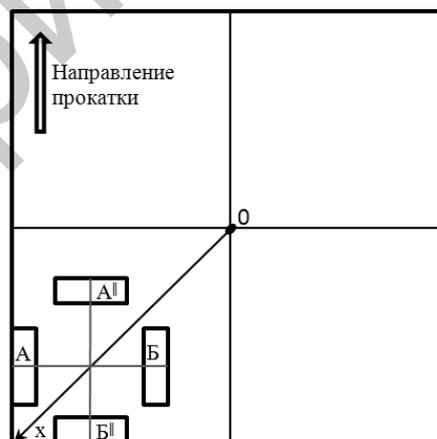


Рисунок 1 – Схематическое расположение наконечников коэрцитиметра (А, Б – поперек направления прокатки, А', Б' – вдоль направления прокатки)

При таком методе измерения коэрцитивная сила вдоль и поперек направления прокатки определялась в одной области образца, что позволило снизить влияние неоднородности магнитных свойств исследуемых листов.

По результатам измерений вычислялся коэффициент магнитной анизотропии как отношение максимальной коэрцитивной силы к минимальной коэрцитивной силе  $H_{сmax}/H_{сmin}$ .

Результаты измерения коэрцитивной силы вдоль и поперек направления прокатки на исследуемом образце холоднокатаной стали 35 представлены на рисунке 2. На рисунке 3

представлены результаты измерения коэрцитивной силы вдоль и поперек на направления прокатки на образце холоднокатаной стали 08Ю.

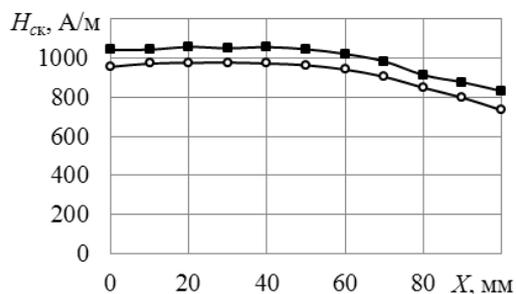


Рисунок 2 – Зависимость коэрцитивной силы  $H_{ск}$  (○ – поперек направления прокатки  $H_{ск90}$ , ■ – вдоль направления прокатки  $H_{ск0}$ ) при смещении от центра образца стали 35

Из представленных на рисунках 2 и 3 зависимостей видно, что значения коэрцитивной силы, измеренные вдоль и поперек направления прокатки, различаются. В обоих случаях имеется участок, характеризующийся стабильностью измеряемого магнитного параметра ( $\pm 5\%$ ) при смещении преобразователя коэрцитиметра от центра на расстояние не более 60 мм.

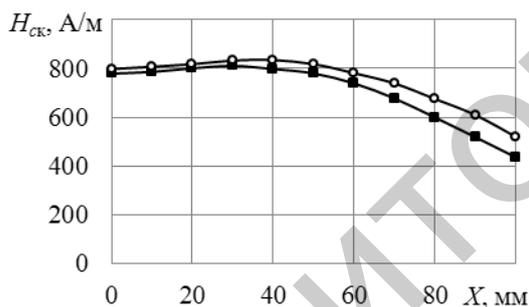


Рисунок 3 – Зависимость коэрцитивной силы  $H_{ск}$  (○ – поперек направления прокатки  $H_{ск90}$ , ■ – вдоль направления прокатки  $H_{ск0}$ ) при смещении от центра образца холоднокатаной стали 08Ю

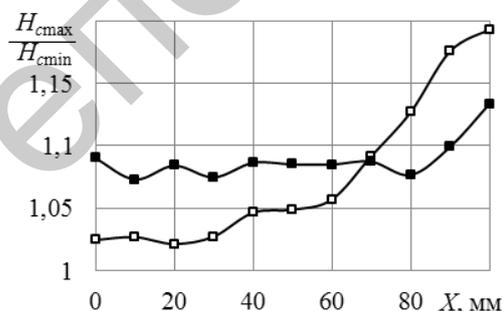


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента анизотропии  $H_{сmax}/H_{сmin}$  (□ –  $H_{ск90}/H_{ск0}$  холоднокатаная сталь 08 Ю, ■ –  $H_{ск0}/H_{ск90}$  холоднокатаная сталь 35) коэрцитивной силы при смещении от центра образца к углу

Однако при исследовании образца холоднокатаной стали 08Ю величина коэрцитивной силы  $H_{ск90}$ , измеренной поперек направления прокатки, больше чем величина коэрцитивной силы  $H_{ск0}$ , измеренной вдоль направления прокатки, в отличие от холоднокатаной стали 35, где  $H_{ск0}$  больше чем  $H_{ск90}$ .

В связи с тем, что величина  $H_{ск0}$  меньше величины  $H_{ск90}$  (на всем участке измерения) для холоднокатаной стали 08Ю коэффициент магнитной анизотропии рассчитывался как  $H_{ск90}/H_{ск0}$  (рисунок 4).

Из полученных на рисунке 4 зависимостей следует, что коэффициент магнитной анизотропии при смещении до 60 мм от центра листа сохраняет стабильность (отклоняется не более чем на 1,5% от среднего значения коэрцитивной силы для образца стали 35 и не более 5% для образца стали 08Ю).

Из рисунка 4 также видно, что со смещением коэрцитиметра от центра к углу образца на 90 мм и более, а для стали 08Ю на 70 мм и более наблюдается резкое изменение коэффициента магнитной анизотропии коэрцитивной силы.

Таким образом, наибольшая величина коэффициента магнитной анизотропии наблюдается на максимально близком к углу образца расстоянии (рисунок 1).

С учетом размеров исследуемого образца и области измерения было установлено, что центр области измерения должен находиться на расстоянии от 40 до 50 мм от угла образца для обеспечения наибольшего коэффициента магнитной анизотропии.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что для определения направления прокатки на листах холоднокатаных сталей 08Ю и 35 может быть использован коэрцитиметр КИПФ-1. Из рисунка 4 видно, что коэффициент магнитной анизотропии  $H_{сmax}/H_{сmin}$  имеет наибольшие значения при максимальном смещении от центра к углу образца.

#### Литература

1. Счастный, А.С. Исследование возможности контроля анизотропии листового проката / А.С. Счастный, А.А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2014. – № 3. – С. 20-33.
2. Счастный, А.С. Механическая анизотропия и параметры петли магнитного гистерезиса листового проката низкоуглеродистых сталей / А.С. Счастный, А.А. Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2015. – № 3. – С. 15-27.
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.
4. Матюк, В.Ф. Коэрцитиметр КИПФ-1 / В.Ф. Матюк [и др.] // Технология, оборудование,

автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: материалы Международной научно-технической конференции. – Минск: БГПУ, 2002. – С. 129-130

5. Матюк, В.Ф. Цифровой коэрцитиметр КИПФ-1 / В.Ф. Матюк [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. материалы Международной научно-технической конференции. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2004. – С. 275-276.

УДК 519.237

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Волошко О.В., Выслоух С.П.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

Для современной технологии приборостроения характерно использование значительного количества конструкционных материалов, которые применяются для изготовления деталей приборов. Эти материалы отличаются между собой химическим составом, физико-механическими свойствами, условиями механической и термической обработки и др.

Таким образом, любой конструкционный материал, можно однозначно представить в виде множества значений признаков (характеристик)

$$KM_i = \{z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{il}\}, i=1, 2, \dots, m,$$

где  $z_{ij}$  – значение  $i$ -го признака  $j$ -го конструкционного материала;  $m$  – количество рассмотренных материалов;  $l$  – количество признаков, характеризующих каждый материал.

Свойства материалов задаются в виде огромных информационных массивов со значительным количеством составляющих параметров. Поэтому при исследовании таких многопараметрических систем возникает необходимость исключить некоторые из параметров, сохранив при этом всю их информативность.

Одним из самых распространенных видов представления данных о системе есть многомерная матрица, строки которой соответствуют отдельным объектам системы (наименования конструкционного материала), которые описываются набором конкретных значений параметров, а столбцы – разные наборы конкретных значений параметров этих объектов. На практике размеры рассматриваемых матриц могут быть достаточно большими.

Непосредственный, визуальный анализ таких матриц практически невозможен и их использование в расчетах вызывает значительные трудности. Поэтому в математической статистике возникло много подходов и методов, предназначенных для того, чтобы сжать исходную информацию.

Предлагается выполнить сжатие многомерных массивов информации о свойствах конструкционных материалов без потери

информативности методами факторного анализа [1].

Задача факторного анализа состоит в представлении значений характеристик материалов  $y_i$  в виде гипотетических факторов  $f_j$  значительного меньшего количества.

Наиболее простой моделью описания каждого параметра материала есть линейная модель вида:

$$y_j = a_{j1}f_1 + a_{j2}f_2 + \dots + a_{jn}f_n, j=1, 2, \dots, m, n < m,$$

где  $y_j$  –  $j$ -я характеристика конструкционного материала;  $a_{ji}$  – значение  $i$ -й факторной нагрузки  $j$ -й характеристики конструкционного материала.

Признаки, которые представляют свойства конструкционного материала, могут принимать как количественные, так и качественные значения. Их можно объединить в отдельные группы по совокупности близких значений признаков. Такое объединение материалов в группы (кластеры, таксоны) целесообразно выполнять методами кластерного анализа

Различные варианты разбивки объектов на  $k$  групп оцениваются по одному из критериев таксономии. Если признаки (свойства) объекта принимают количественные значения, то есть представляются в виде координат метрического пространства, то каждый объект со своими значениями будет отображаться в виде точки этого пространства. Два объекта с почти одинаковыми признаками отражаются в две близкие точки, а объекты, очень отличаются признаками, будут представлены далеко расположенными друг от друга точками. Таким образом, можно получить описание  $k$  групп, каждая из которых объединяет материал с близкими по значению признаками. В дальнейшем каждый новый конструкционный материал, можно автоматически отнести к той или иной группе [2].

С помощью методов дискриминантного анализа можно решать различные технологические задачи. Так, например, его можно использовать для определения рациональных условий и методов обработки новых конструкционных материалов методом заимствования. Все конструкционные материалы, используемые на предприятии,