

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ СТАЛИ СТАЛЬНЫХ ПРУТКОВ С ПОМОЩЬЮ КОЭРЦИТИМЕТРА «СИЛА»

А. Б. МАКСИМОВ

Гос. морской технологический ун-т. 98309, г. Керчь, ул.Орджоникидзе, 82.

E-mail: Kmti@aironet.com.ua

Исследован вопрос контроля твердости метизов (болтов, гаек, шайб) магнитным способом с помощью структурного импульсного локального анализатора (СИЛА). В качестве материала исследования использовали болты и гайки М20×1,5 из стали 40Х и стали 35, а также пружинные шайбы из стали 65Г. Получены корреляционные уравнения зависимости твердости по Бринеллю от величины коэрцитивной силы. Показано, что коэффициент корреляции составляет 0,7...0,9. Установлена возможность разбраковки метизов по уровням прочности в соответствии с требованиями стандарта. Применение неразрушающего метода определения твердости позволяет проводить 100 %-ный поштучный контроль изделий вместо выборочного, применяемого в настоящее время. Это способствует выявлению некачественной продукции и уменьшению риска потребителя на 2–3 %. Библиогр. 7, рис. 3.

Ключевые слова: сталь, углеродный эквивалент, коэрцитивная сила, твердость, уравнение регрессии, коэффициент корреляции, структуроскоп

В практике работы предприятий, изготавливающих металлические конструкции, возникает вопрос идентификации проката по маркам сталей. Химический, электроискровой или метод сжигания довольно трудоемкие, так как требуют отбора проб и стационарного оборудования. В этой связи применение неразрушающего способа рассортировки металлопроката по маркам (классам) сталей является наиболее приемлемым в полевых условиях [1].

Цель настоящей работы – проанализировать влияние геометрического фактора и химического состава на величину коэрцитивной силы для возможности идентификации сортового проката (прутка) по маркам сталей.

Для решения поставленной задачи использовали магнитный метод неразрушающего контроля (НК). Первичным информативным параметром являлась величина коэрцитивной силы металла, которую определяли с помощью магнитного феррозондового прибора СИЛА (структуроскоп импульсный локальный автономный).

В качестве материала исследования использовали сортовой прокат диаметром 6...16 мм и более из углеродистых и низколегированных марок сталей в горячекатаном состоянии.

Значение коэрцитивной силы зависит от геометрических параметров и химического состава исследуемой стали [2].

В качестве геометрического параметра использовали диаметр прутка, а химический состав (марку стали) оценивали по величине углеродного эквивалента, рассчитанного по формуле [3]:

$$C_9 = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + Cu/13 + V/14 + P/2, \quad (1)$$

где С, Mn, Si, Cr, Ni, Cu, V и P – процентное содержание химических элементов в стали по стандарту.

Значения углеродного эквивалента исследуемых марок сталей по *ГОСТ 1050–74*: сталь 10 – 0,16...0,25; сталь 20 – 0,26...0,40; сталь 30 – 0,40...0,53; сталь 35 – 0,45...0,58; сталь 40 – 0,50...0,63; сталь 50 – 0,61...0,73; по *ГОСТ 380–71*: Ст3сп – 0,27...0,39; по *ГОСТ 19282–73*: 14Г2 – 0,38...0,51; по *ГОСТ 4543–74*: 40ХС – 0,60...0,80; по *ГОСТ 1435–74*: У7 – 0,73...0,82.

На рис. 1 приведены результаты исследования влияния диаметра прутка на величину коэрцитивной силы ряда марок сталей. Видно, что с увеличением диаметра прутка значение коэрцитивной силы снижается. При диаметрах прутка свыше 14...16 мм коэрцитивная сила стабилизируется на определенном уровне в зависимости от марки стали. Для конструкционных марок сталей (сталь 10,

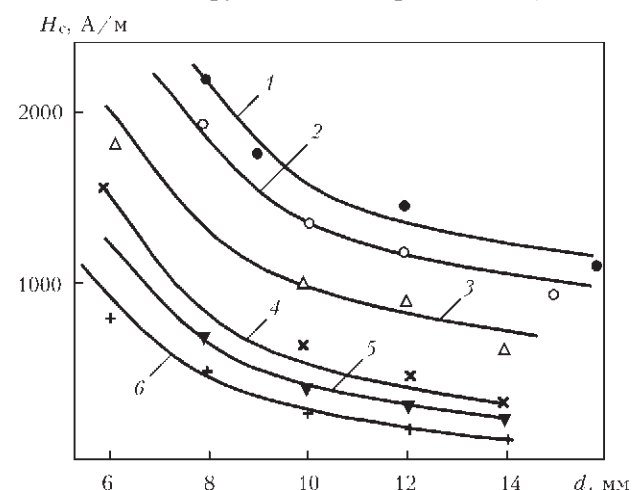


Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы от диаметра прутка для марок сталей: 1 – сталь 40Х; 2 – сталь 40; 3 – сталь 35; 4 – сталь 20; 5 – сталь 3 сп; 6 – сталь 10



сталь 20, сталь 35, сталь СтЗсп, сталь 40, сталь 40X) зависимость между значениями коэрцитивной силы H_c и диаметром прутка D от 6 до 14 мм может быть выражена в виде:

$$H_c = AD^n + B, \quad (2)$$

где A и n – коэффициенты, зависящие от формы изделия (цилиндрическая) и диаметра, причем $n < 0$; D – диаметр прутка; B – постоянная, зависящая от марки стали (коэрцитивная сила H_c^0 , соответствующая определенной марке стали при диаметре прутка более 16 мм).

Значения B для ряда сталей следующие: для стали 10 – 100 А/м; СтЗсп – 180; стали 20 – 230; стали 35 – 600; стали 40 – 800; стали 40X – 1000.

С помощью программы «Excel» на ПК обработан массив значений коэрцитивной силы и диаметра прутка для каждой марки стали. Так, для стали СтЗсп уравнение (2) имеет вид:

$$H_c = 223 D^{-0,412} + 180. \quad (3)$$

В результате обработки экспериментальных значений углеродного эквивалента и соответствующих значений коэрцитивной силы для прутков диаметром более 16 мм получено уравнение регрессии:

$$H_c^0 = 97,8C_3 + 90. \quad (4)$$

На рис.2 представлено уравнение (4) в графическом виде. Из графика видно, что с увеличением углеродного эквивалента коэрцитивная сила возрастает.

Необходимо отметить, что линейная экстраполяция при значении углеродного эквивалента, близком к нулю (это соответствует технически чистому железу–армо–железу коэрцитивная сила равна 70...80 А/м [4]. Таким образом, свободный член в уравнении (4) соответствует с определенной точностью значению коэрцитивной силы армо-железа.

Между твердостью и коэрцитивной силой существует корреляционная связь, выражающаяся линейным уравнением регрессии [5].

На рис. 3 представлена зависимость твердости по Бринеллю (НВ) от коэрцитивной силы H_c для стали СтЗсп диаметром более 16 мм (в этом случае исключено влияние геометрического фактора).

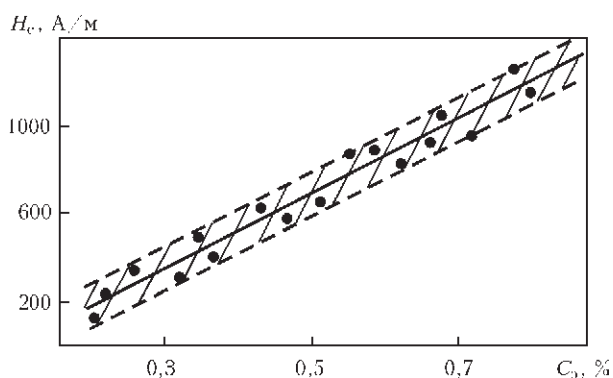


Рис. 2. Влияние углеродного эквивалента на коэрцитивную силу

Уравнение регрессии имеет вид:

$$HB = 0,315 H_c^0 + 82. \quad (5)$$

Физический смысл свободного члена в уравнении (2) означает, что минимальная твердость (армо-железа) равна HB82. Это значение твердости соответствует твердости по Бринеллю для армо-железа.

Согласно уравнению Петча–Холла связь между пределом текучести σ_T и размером зерна d имеет вид [6]:

$$\sigma_T = \sigma_0 + K_y d^{-1/2}, \quad (6)$$

где σ_0 – напряжение необходимое для перемещения дислокаций внутри зерна; K_y – величина, определяющая возможность передачи деформации от зерна зерну.

Между пределом текучести и твердостью по Бринеллю существует прямо пропорциональная зависимость вида:

$$\sigma_T = cHB, \quad (7)$$

где c – коэффициент пропорциональности.

В общем случае для любой марки стали при диаметре прутка более 16 мм (исключено влияние диаметра) коэрцитивную силу можно представить в виде двух слагаемых:

$$H_c^0 = aC_3 + \gamma, \quad (8)$$

где a , γ – постоянные значения для данной марки стали, причем γ численно равно коэрцитивной силе армо-железа.

Уравнение (5) для любой марки стали можно представить в виде:

$$HB = mH_c + (HB)_0, \quad (9)$$

где m – постоянный коэффициент для всех исследуемых марок сталей, равный 0,315; $(HB)_0$ – значение твердости по Бринеллю для армо-железа.

Из сопоставления уравнений (5) – (7) следует:

$$H_c = \frac{K_y}{C_3 m} / \sqrt{d}. \quad (10)$$

Для стали СтЗсп уравнение (10) будет иметь вид ($c = 1,46$; $m = 0,315$):

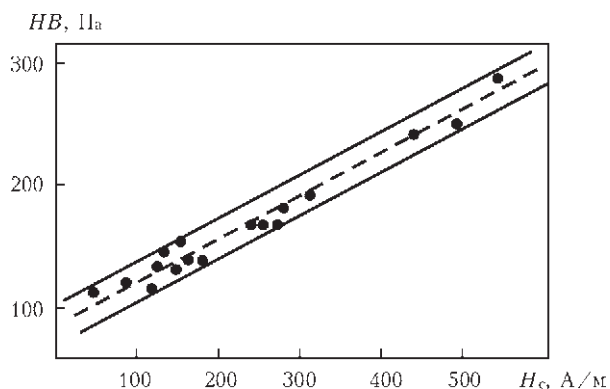


Рис. 3. Корреляционная зависимость твердости и коэрцитивной силы стали СтЗсп

$$H_c = \frac{2,17K_y}{\sqrt{d}}. \quad (11)$$

Тот факт, что коэрцитивная сила обратно пропорциональна диаметру зерна, согласуется с данными работы [7].

В уравнении (2) коэффициент B согласно уравнению (7) будет равен $(aC_3 + \gamma)$. Тогда уравнение (2) примет вид:

$$H_c = AD^n + aC_3 + \gamma. \quad (12)$$

Для исследуемых марок сталей в диапазоне толщин 6...14 мм уравнение (3) с учетом уравнения (4) будет:

$$H_c = 223D^{-0,42} + 97,8aC_3 + 90. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение (13) учитывает форму образца (цилиндрическую), его диаметр и химический состав (углеродный эквивалент). Свободный член показывает, что это сплав на основе железа.

По уравнению (13) можно построить тарифовочные графики для каждой марки стали при различных диаметрах прутка. Определив коэрцитивную силу экспериментально и зная диаметр прутка, можно определить марку стали.

В результате полученных экспериментальных данных и их интерпретации следует, что значение коэрцитивной силы стали складывается из трех составляющих согласно уравнению (13). Первое слагаемое зависит от формы изделия (в нашем случае прутки имеют цилиндрическую форму) и диаметра прутка. Это слагаемое можно назвать геометрическим. Второе слагаемое зависит от углеродного эквивалента и определяет марку стали, поэтому оно может быть названо марочным. Третье равно коэрцитивной силе армо-железа и может быть определено как базовое (базовым элементом в стали является железо). Так как в данной работе исследовали стали в горячекатаном состоянии, то их микроструктура является ферритно-перлитной. Дисперсность ферритно-перлитной структуры зависит от химического состава и скорости охлаждения после горячей прокатки. Прутки диаметром 6...14 мм охлаждаются на воздухе со скоростью 3...5 °C/с, обеспечивая получение ферритно-перлитной структуры 5–6 балла (ГОСТ 5639–82). Согласно полученным экспериментальным данным для прутков диаметром

6...14 мм влияние на микроструктуру в основном связано с химическим составом и в меньшей степени с геометрическим фактором.

Количественные и качественные характеристики ферритно-перлитной структуры в нашем случае определяются в основном химическим составом стали. По-видимому, слагаемое $K_y d^{-1/2}$ в уравнении Петча–Холла (формула (6)) определяется химическим составом, поэтому логично, что коэрцитивная сила зависит от коэффициента K_y и диаметра зерна.

Предложенная методика определения марки стали хорошо зарекомендовала себя, но чем ближе значения углеродных эквивалентов сталей, например, в случае частичного наложения интервалов углеродных эквивалентов, тем меньше вероятность идентификации сталей. В этом случае необходимо использовать другие методы, в частности, химический или спектрографический.

Выводы

Получены уравнения регрессии по определению углеродного эквивалента по значениям коэрцитивной силы для прутков диаметром 6...14 мм.

Предложено рассматривать коэрцитивную силу стального проката состоящую из трех составляющих: базовой (коэрцитивной силы армо-железа), марочной (зависящий от химического состава стали) и геометрической (зависящей от формы и размеров).

1. Максимов А. Б. Определение механических свойств арматурной стали неразрушающим методом / *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2008. – №3. – С. 70–73.
2. Гаркунов Э. С. Контроль качества отпущенных изделий из среднеуглеродистой стали с использованием приставных электромагнитов // *Дефектоскопия*. – 1987. – №2. – С. 30–32.
3. ГОСТ 19281–89. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия.
4. Меськин В. С. Основы легирования стали. – М. Металлургия, 1959. – 360 с.
5. Кузнецов И. А., Царькова Т. П. Магнитный контроль твердости деталей из стали 30Х3М // *Дефектоскопия*. – 1982. – №2 – С. 29–33.
6. Зуев Л. Б. Локализация пластического течения алюминия и соотношение Петча–Холла / Л. Б. Зуев, Н. В. Зариковская, М. А. Федосова. // *Журн. технич. физики*. – 2010. – Т.80. – Вып.9 – С. 68–74.
7. Попов Б. Е. Теория и практика магнитной диагностики стальных металлоконструкций / Б. Е. Попов, В. Ф. Мужижский, Г. Я. Безлюдько, В. М. Долинский, Е. А. Левин. Интернет ресурс: http://www.nio12.ru/pdf/article/MAGN_Diagnostika.pdf

Hardness monitoring of wire products (bolts, nuts, washers) by magnetic technique using structure pulse local analyzer (SILA) was investigated. M20x1.5bolts and nuts from 40Kh steel and steel 35, as well as spring washers from steel 65G, were used as investigation material. Correlation equations of Brinell hardness dependence on coercive force magnitude were derived. It is shown that the correlation factor is equal to 0.7–0.9. Possibility of wire product sorting by strength levels in keeping with standard requirements is established. Application of non-destructive method of hardness determination allows performance of 100 % piece-by-piece control of items instead of currently applied random inspection. This promotes detection of low-quality products and reducing user risk by 2-3 %.

Keywords: technical diagnostics, main gas pipeline, in-pipe diagnostics, defect repair, system of pipeline integrity control

Поступила в редакцию
01.01.2013