

УДК 621.791.75

Размышляев А. Д., Агеева М. В., Остапенко Е. Л., Адылин А. Н.

НОВАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Как показано в работе [1] при дуговой сварке и наплавке проволокой под флюсом с использованием продольного магнитного поля (ПРМП) большое значение имеют магнитные свойства сварочных материалов (проволоки и основного металла). Сварочная проволока и основной металл зачастую являются ферромагнетиками и они значительно искажают строение магнитного поля (ПРМП) в зоне электродной капли, сварочной дуги и жидкого металла ванны, и тем самым влияют на производительность расплавления проволоки, глубину и площадь зоны проплавления основного металла. Еще в большей степени проявляется влияние магнитных свойств сварочных материалов на производительность расплавления электродной проволоки и глубину проплавления основного металла при дуговой сварке и наплавке под флюсом с использованием поперечного магнитного поля (ПОМП) [2].

В настоящее время для определения магнитных свойств сварочных материалов (в том числе и магнитной проницаемости – μ) используется разработанная в работе [1] методика. В этой методике изготавливают из сварочного материала образец в виде тора (из пластины, либо навивкой проволокой). На этом торе размещают первичную и вторичную обмотки. Первичную цепь питают переменным током частотой 50 Гц. В первичной цепи имеется вольтметр и амперметр, а во вторичной цепи – вольтметр. Кроме того, чтобы исключить погрешность в получаемых результатах (в показателе – μ) из-за потерь в исследуемом материале (образце) на гистерезис и токи Фуко в первичной цепи подключен ваттметр. Такая методика представляется сложной. Кроме того, получаемые при этом значения магнитной проницаемости представляются как амплитудное ее значение $\bar{\mu}$ для исследуемого материала в переменном магнитном поле частотой 50 Гц.

В то же время, как показано в работах [3, 4], имеются предпосылки, позволяющие упростить методику для расчетно-экспериментального определения магнитной проницаемости (μ) сварочных материалов, суть которой будет изложена ниже.

Целью настоящей работы является разработка простой в использовании методики определения магнитных свойств (в том числе и магнитной проницаемости) сварочных материалов.

Если взять тор со средним диаметром – d_{cp} с прорезью шириной – b (рис. 1, а) и разместить равномерно на нем обмотку с общим числом витков W и пропустить через нее постоянный ток I , то магнитная проницаемость в прорези равна B . Пренебрегая рассеянием поля на краях прорези можно определить магнитную проницаемость μ материала образца (тора).

Согласно теореме о циркуляции вектора напряженности магнитного поля H по окружности диаметром d_{cp} (рис. 1, а) можно записать:

$$(\pi d_{cp} - b)H + bH_0 = IW, \quad (1)$$

где H и H_0 – модули вектора H соответственно в ферромагнитном материале тора и прорези (воздухе). Кроме того, отсутствие рассеяния поля на краях прорези означает, что $B = B_0$ (B и B_0 – индукция поля в образце и прорези). Учитывая, что $B = \mu \mu_0 H$ и $b \ll d_{cp}$, получаем:

$$\mu = \frac{B \pi d_{\text{ср}}}{\mu_0 I W - b B}, \tag{2}$$

где μ_0 – магнитная постоянная; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

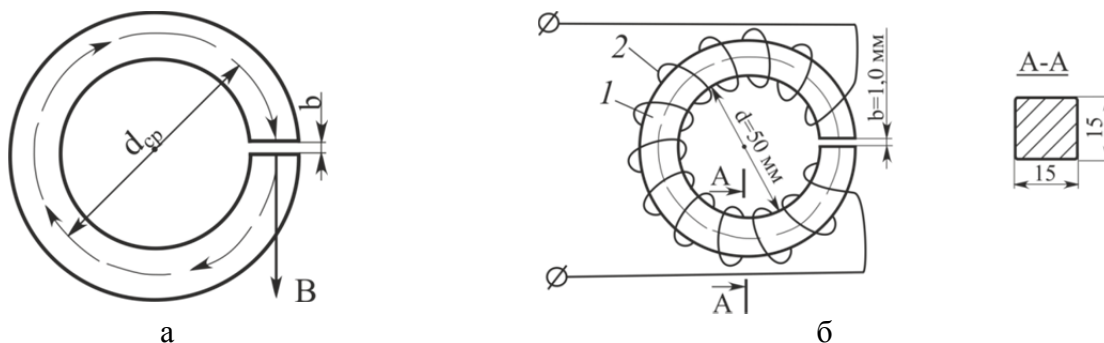


Рис. 1. Схема к расчету магнитной проницаемости μ (а) и вид тора с обмоткой (б): б – 1 – тор; 2 – обмотка

В настоящем исследовании из пластин из стали ВМСт3сп и 09Г2С толщиной 15 мм вырезали образцы в виде тора с внутренним диаметром 50 мм и наружным диаметром 80 мм ($d_{\text{ср}} = 65$ мм). На торы навивали (равномерно) обмотки из медной изолированной проволоки диаметром 1,2 мм с числом витков $W = 50$. Прорезь в образцах (торах) выполняли ножовкой, ширина прорези составляла $b = 1,0$ мм. Через обмотку пропускали постоянный ток от выпрямителя ВСЖ-303 (ток ступенчато ограничивали балластным реостатом РБ-301 и плавно регулировали напряжением на выходе выпрямителем ВСЖ-303). Ток в обмотке изменяли в пределах $I = 0,2 \dots 28$ А (через 0,2 А, а в части экспериментов – через 2 А). Измерение индукции в зазоре (В) выполняли универсальным миллитесламетром типа 43205.

Схема измерений (подключений приборов) приведена на рис. 2. В этой схеме используется только одна обмотка и один измерительный прибор – амперметр (А).

На рис. 3, а приведены данные измерений индукции в зазоре в зависимости от напряженности магнитного поля – H_0 .

Напряженность поля H вычисляли по формуле:

$$H = \frac{IW}{l}, \tag{3}$$

где $l = \pi \cdot d_{\text{ср}}$ – длина силовой линии, м.

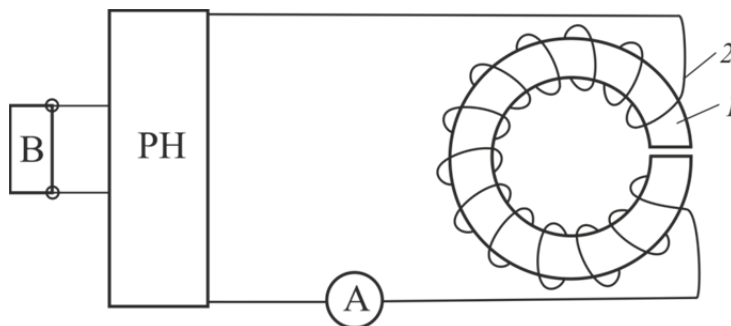


Рис. 2. Схема измерений:

1 – тор; 2 – обмотка; РН – регулятор напряжений, В – выпрямитель; А – амперметр

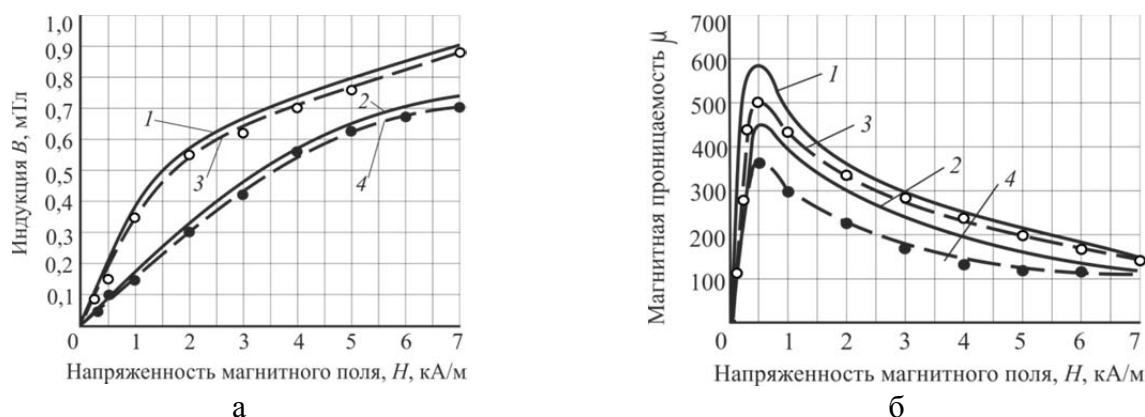


Рис. 3. Зависимость индукции B (а) и магнитной проницаемости μ (б) от напряженности магнитного поля H :

1, 2 – данные работы [1]; 3, 4 – новые данные; 1, 3 – сталь ВМСт3сп; 2, 4 – сталь 09Г2С

Полученные в эксперименте значения индукции в зазоре (B) в зависимости от напряженности поля (H) имеют типичный (известный) вид (рис. 3, а). При этом значения индукции B в зазоре практически совпали с ранее полученными расчетно-экспериментальным путем в работе [1] для образцов из стали ВМСт3сп и 09Г2С (ср. кривые 1 и 3 с кривыми 2 и 4 на рис. 3, а).

Ход зависимостей магнитной проницаемости (μ) от напряженности поля (H) близок к полученным ранее в работе [1]. Однако, значения μ при данной величине H , полученные по предлагаемой в этой работе методике, несколько меньше (ср. кривые 1 и 3 с кривыми 2 и 4 на рис. 3, б). Это объясняется тем, что в работе [1] определены амплитудные значения μ (при частоте 50 Гц).

В настоящей работе получены значения μ , соответствующие протеканию в обмотке постоянного тока (они и должны быть вследствие этого меньшими).

Характерно, что для стали 09Г2С значения μ (при равных значениях H) меньше, чем для стали ВМСт3сп, что связано с влиянием большего количества легирующих элементов в стали ВМСт3сп, и что соответствует известным положениям [5].

ВЫВОДЫ

Предложена новая методика определения магнитной проницаемости материалов, применяемых в качестве сварочных (проволока и основной металл). Для экспериментов требуется меньше измерительных приборов, а в расчетах не требуется учитывать потери на гистерезис и токи Фуко (в обмотке протекает постоянный ток).

Предложенная методика расчетно-экспериментального определения магнитной проницаемости (μ) сварочных материалов позволяет получить достоверные результаты и может быть использована в дальнейших исследованиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Размышляев А. Д. Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке : монография / А. Д. Размышляев, М. В. Миронова. – Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2009. – 242 с.
2. Размышляев А. Д. Автоматическая электродуговая сварка под флюсом с воздействием внешнего магнитного поля : монография / А. Д. Размышляев, П. А. Выдмыш, М. В. Агеева. – Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2017. – 209 с.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле / Л. А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1986. – 263 с.
4. Постоянные магниты : справочник / Под ред. Ю. М. Пятинина. – М. : Энергия, 1980. – 487 с.
5. Лившиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Красоткин, Я. Л. Липецкий. – М. : Металлургия, 1980. – 320 с.

Статья поступила в редакцию 11.03.2018 г.