

УДК 621.317.41

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ МЕДИ С ЖЕЛЕЗОМ С ЦЕЛЬЮ ИХ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ

Е.Ф. Еремина, доцент, к.т.н., ХНАДУ, В.Г. Асаян, студент, ХНАДУ

Аннотация. Проведены измерения магнитной восприимчивости двойных сплавов меди с железом, получены формулы, описывающие зависимость магнитной восприимчивости от содержания в сплаве Fe. Сопоставление результатов подтверждает, что при легировании медных сплавов железом содержание этого элемента является определяющим в формировании магнитных свойств. Полученные результаты могут быть использованы при настройке магнитных сепараторов.

Ключевые слова: магнитная восприимчивость, сепарация, медные сплавы, струнный датчик

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОЮ СПРИЙНЯТЛИВІСТЮ ПОДВІЙНИХ СПЛАВІВ МІДІ С ЗАЛІЗОМ З МЕТОЮ ЇХ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ

О.Ф.Єрьоміна, доцент, к.т.н., ХНАДУ, В.Г. Асаян, студент, ХНАДУ

Анотація. Проведені вимірювання магнітної сприйнятливості подвійних сплавів міді з залізом, отримані формули, що описують залежність магнітної сприйнятливості від вмісту в сплаві Fe. Зіставлення результатів підтверджує, що при легуванні мідних сплавів залізом вміст цього елемента є визначальним у формуванні магнітних властивостей. Отримані результати можуть бути використані при налаштуванні магнітних сепараторів.

Ключові слова: магнітна сприйнятливість, сепарація, мідні сплави, струнний датчик

STUDIES OF MAGNETIC SUSCEPTIBILITY DOUBLE COPPER WITH IRON ALLOYS FOR THE PURPOSE OF MAGNETIC SEPARATION

O. Yeryomina, associate professor, cand. eng. sc., KhNAHU,
V. Asayan, student, KhNAHU

Abstract. Measurements of the magnetic susceptibility of binary alloys of copper with iron, prepared formulas describing the dependence of the magnetic susceptibility of the content in the alloy Fe. Comparison of the results confirms that the doping of copper alloys with iron content of this element is dominant in the magnetic properties. The results can be used when configuring the magnetic separators.

Keywords: magnetic susceptibility, separation, copper alloys, string sensor

Введение

Одними из самых распространенных в машиностроении конструкционных материалов являются сплавы на основе меди. По своему употреблению в технике медь занимает третье место, уступая только сталям и алюми-

нию. Важную роль в обеспечении отрасли является максимальное использование вторичного сырья, в частности, лома и стружки цветных металлов.

Разделение отходов бронз и латуней на группы марок сплавов перед металлургическим

переделом дает возможность упростить процесс переработки, сэкономить дорогостоящие добавки, снизить энергоемкость, а применение этой технологии на крупных машиностроительных предприятиях позволило бы им самостоятельно проводить утилизацию отходов медных сплавов и сократить потребность в этих материалах.

Исходную механическую смесь отходов медных сплавов можно разделять, используя различие в каких-либо физических свойствах частиц – плотности, электропроводности, удельной магнитной восприимчивости, крупности и др. Сортировка по плотности проанализирована в (1), где сделан вывод о неприменимости этого метода для разделения бронзо-латунной стружки, поскольку плотности большинства сплавов близки по абсолютной величине. В настоящей работе проводится исследование магнитной восприимчивости двойных сплавов меди с железом с целью их магнитной сепарации.

Анализ публикаций

Исследованию магнитной восприимчивости сплавов системы Cu-Fe посвящено большое количество работ [1-3], однако содержащиеся в литературе сведения часто носят противоречивый характер. Вероятно, это связано с тем, что растворимость железа в меди существенно меняется с температурой, и даже небольшие отличия в режимах приготовления образцов могут существенно изменить магнитное состояние сплава. Это не дает возможности по данным разных исследований построить общую зависимость магнитной восприимчивости от содержания железа в сплаве.

Цель и постановка задачи

В настоящей работе по единой методике были приготовлены образцы сплавов системы Cu-Fe с содержанием железа до 7,94 массовых процента и исследована их магнитная восприимчивость. Изучались сплавы следующих составов: Cu - 1,11, 2,21, 2,89, 3,67, 4,62, 4,65 и 7,94 мас. % Fe. Определение магнитной восприимчивости сплавов проводили при напряженности магнитного поля 10...55 кА/м.

Магнитную восприимчивость материала определяли методом Гуи, используя цилин-

дрические образцы диаметром 20 мм. Силу, действующую на образец в неоднородном магнитном поле, определяли струнным датчиком [4].

Если исследуемый образец имеет форму удлиненного цилиндра и подвешен в магнитном поле так, что нижний его конец находится в пространстве с магнитной индукцией B_1 , а верхний – в пространстве с магнитной индукцией B_2 , то сила F , действующая на образец, связана с его магнитной восприимчивостью χ соотношением

$$F = \frac{1}{2\mu_0} \cdot S\chi(B_1^2 - B_2^2), \quad (1)$$

где S – площадь сечения образца, μ_0 – магнитная постоянная. Для достаточно длинных образцов $B_1 \gg B_2$, и

$$F = \frac{1}{2\mu_0} S\chi B_1^2. \quad (2)$$

Для исключения влияния возможной неоднородности поля в горизонтальном направлении измерения проводили относительным методом, сравнивая измеряемые значения с магнитной восприимчивостью соли Мора, насыпанной в такую же ампулу. Магнитную восприимчивость образца находили по формуле

$$\chi = \frac{\chi_{\text{эт}}}{F_{\text{эт}}} \cdot F, \quad (3)$$

где $\chi_{\text{эт}}$ – магнитная восприимчивость эталона (соли Мора); F – сила, действующая на образец; $F_{\text{эт}}$ – сила, действующая на эталон в тех же условиях. Поскольку метод Гуи позволяет определить объемную магнитную восприимчивость, для нахождения удельной восприимчивости полученное значение необходимо разделить на плотность вещества.

Результаты исследований

Измерения магнитной восприимчивости образцов сплавов медь-железо показали, что зависимость удельной магнитной восприимчивости от содержания железа в сплаве, показанная на рис.1 ($H = 40$ кА/м), с хорошей точностью может считаться линейной.

Математическое выражение этой зависимости, найденное по методу наименьших квадратов, имеет вид

$$\chi_{уд} \cdot 10^6 = 1,6 + 9,2(C_{Fe} - 1), \quad (4)$$

где, $\chi_{уд}$ – удельная магнитная восприимчивость, C_{Fe} – концентрация железа.

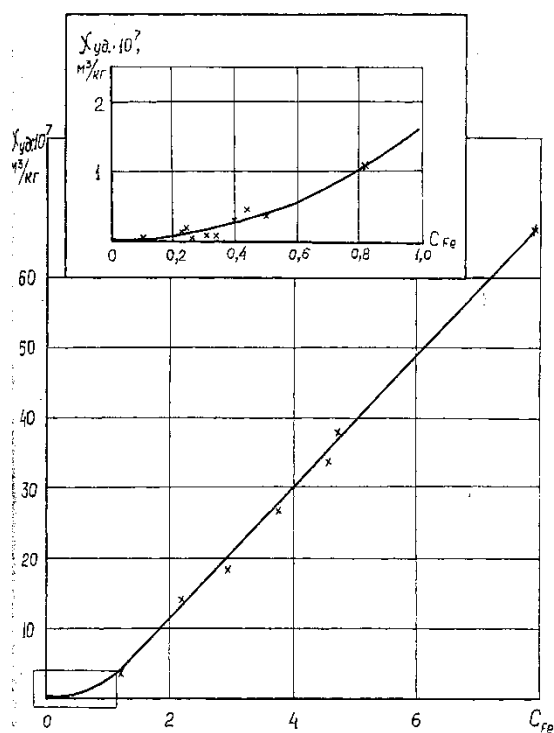


Рис. 1. Зависимость удельной магнитной восприимчивости от содержания железа в сплавах Cu-Fe

Металлографические исследования сплавов, проведенные после теплового травления шлифов, показали, что образцы, содержащие 1...2 % железа, имеют включения размером 2...5 мкм. При больших концентрациях Fe в сплаве наряду с мелкими включениями содержатся и более крупные размером около 20 мкм.

Ранее бронзы и латуни, легированные железом, по своим магнитным свойствам были отнесены к суперпарамагнетикам. Полученные в настоящей работе значения магнитной восприимчивости по абсолютной величине также находятся в пределах, характерных для этого класса материалов. Однако зависимость магнитной восприимчивости от напряженности магнитного поля для исследованных образцов (рис.2) имеет вид, харак-

терный для ферромагнитных материалов в области магнитного насыщения.

Кроме того, суперпарамагнитное состояние характеризуется слабым взаимодействием между ферромагнитными частицами и хаотическим распределением их магнитных моментов. Для того, чтобы векторы намагниченности частиц меняли свою пространственную ориентацию, необходимо, чтобы энергия теплового движения была больше или порядка энергии магнитной анизотропии, т.е.

$$kT \geq KV, \quad (5)$$

где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, K – константа магнитной анизотропии, V – объем частицы.

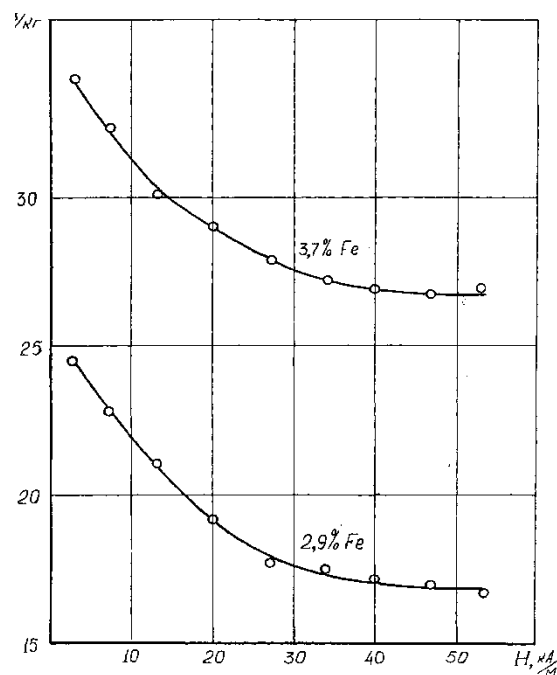


Рис. 2. Зависимость удельной магнитной восприимчивости сплавов Cu-Fe от напряженности намагничивающего поля

При 300К константа магнитной анизотропии для железа составляет $2 \cdot 10^3$ Дж/м³. Тогда, считая выделения железа равноосными, находим, что суперпарамагнетизм в сплавах Cu-Fe при комнатной температуре может наблюдаться только для частиц размером менее $1,3 \cdot 10^{-8}$ м, т.е. 0,013 мкм. Появление таких частиц можно ожидать в сплавах с концентрацией железа порядка 0,1 %, т.е. в бронзах и латунях, содержащих железо в качестве примеси. Сплавы на основе меди, ле-

гированные железом и имеющие в своем составе более 1 % Fe, не могут быть отнесены к суперпарамагнитным материалам по характеру своего поведения в магнитном поле. По-видимому, взаимодействие между магнитными моментами отдельных ферромагнитных частиц в этих сплавах приводит к появлению областей с параллельным направлением моментов и в магнитном поле такие сплавы ведут себя как очень слабые ферромагнетики.

Измерения магнитной восприимчивости образцов различных медных сплавов, содержащих железо в малых количествах (массовая концентрация железа менее 1 %), и последующая обработка результатов измерений по методу наименьших квадратов показали, что для оценки вклада в магнитную восприимчивость этих сплавов можно использовать формулу

$$\chi_{уд} \cdot 10^{-6} = 1,6C_{Fe}^2 \quad (6)$$

На рис 1(а) показана кривая, описываемая этим уравнением, а также точки, соответствующие экспериментально определенным значениям магнитной восприимчивости сплавов, в которых железо является примесью.

С целью определения применимости полученных результатов было проведено сопоставление величин магнитной восприимчивости промышленных бронз и латуней [3] со значениями, рассчитанными по формуле (5), т.е. с учетом содержания в сплаве только железа. Для большинства сплавов отклонение составило не более 10 %. Таким образом, при легировании медных сплавов железом содержание этого элемента является определяющим в формировании магнитных свойств.

Выводы

Исследования магнитной восприимчивости двойных сплавов меди с железом позволили получить эмпирические формулы, описывающие зависимость магнитной восприимчивости от содержания в сплаве Fe. Показано, что при концентрации железа более 1% медные сплавы в магнитном поле ведут себя как очень слабые ферромагнетики, что обусловлено взаимодействием между магнитными моментами отдельных частиц. Сопоставление полученных результатов со значениями магнитной восприимчивости наиболее распространенных в машиностроении бронз и латуни подтверждает, что при легировании сплавов железом расчет, проведенный с учетом содержания в сплаве только этого элемента, хорошо совпадает с опытными величинами. Полученные результаты могут быть использованы при настройке магнитных сепараторов.

Литература

1. Кравченко Н.Д., Кармазин В.И. (1986) Магнитная сепарация отходов цветных металлов. - Москва: Металлургия. - 120 с.
2. Довгопол В.П. и др.. Магнитные, термодинамические и кинетические свойства меди с примесями Fe.//Металлофизика.- 1983.-№6. - С.16-21.
3. Еремина Е.Ф., Степанов А.А. Влияние размера частиц стружки медных сплавов на их магнитные свойства, //Вестник ХНАДУ, вып. 18, 2002, -С.123-124
4. Ашанин В.С., Еремина Е.Ф., Степанов А.А. Дифференциальное устройство для измерения магнитной восприимчивости // Заводская лаборатория. - 1990-№ 4. - С. 73-74.