

О ВОЗМОЖНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ПО МАГНИТНОМУ СОСТОЯНИЮ СТЕПЕНИ СТАБИЛЬНОСТИ АУСТЕНИТНЫХ FE-CR-NI СТАЛЕЙ

Г.В.Снежной*, к.ф.-м.н., доц., **** В. Г. Мищенко****, д.т.н., проф.,
В. Л. Снежной **, к.ф.-м.н., доц.

** Запорожский национальный технический университет,
** Запорожский национальный университет*

Основной структурной составляющей хромоникелевых сталей типа 18-8 является аустенит, который в зависимости от изменения химического состава в рамках технических условий, температурных и деформационных воздействий в результате металлургического передела, облучения высокоэнергетическими частицами, возникающих механических напряжений можно условно разделить на нестабильный, менее стабильный (метастабильный) и стабильный аустенит [1,2].

Изучению фазовых превращений магнитными методами происходящих в хромоникелевых сталях (низконикелевых) посвящены многочисленные работы, например [3,4]. В то же время, сравнительно мало исследований посвящено влиянию пластической деформации на магнитное состояние аустенита стабильных аустенитных хромоникелевых (высоконикелевых) сталей [5,6].

Известно, что основной макроскопической магнитной характеристикой парамагнетика (включая и парамагнитный аустенит) является вектор намагниченности J , который представляет собой векторную сумму нескомпенсированных (орбитальных плюс спиновых) магнитных моментов единицы объема вещества. Во внешнем магнитном поле H он ориентируется вдоль H . Если разделить J на плотность вещества, получим так называемую удельную намагниченность σ вещества. Удельная намагниченность σ пропорциональна внешнему полю H , а коэффициентом пропорциональности χ называют удельную магнитную восприимчивость или удельную парамагнитную восприимчивость. χ является чувствительным параметром к изменению состояния аустенита. Поэтому величина χ используется при исследовании аустенитной стали в данной работе.

В настоящей статье представлены результаты изменения магнитного состояния (которое характеризуется удельной магнитной восприимчивостью χ_0) до и после деформации кручением парамагнитной аустенитной стали 08X15Ni25MnMo5 с высоким содержанием никеля. Предпринята попытка найти температурную границу, разделяющую по магнитному состоянию на нестабильный и стабильный аустенит.

Экспериментальные исследования и их обсуждение

Для исследования выбрана хромоникелевая сталь аустенитного класса промышленного производства 08X15Ni25MnMo5 в виде проволоки диаметром 4 мм. Данная сталь применяется для изготовления сварочных электродов. Химический состав стали (масс.%): C-0.09, Cr-15.19, Ni-25.2, Mn-1.52, Si-0.48, Nb-0.05, Ti-0.01, Mo-4.7, Cu-0.21, P-0.26, S-0.003, N-0.125. Образцы стали подвергали деформации кручением на приборе КМ-50. Стержни с рабочей длиной 150 мм с кольцевым концентратором посередине шириной 0.25мм и глубиной

1мм под воздействием момента силы 80 Н·м разрушались после 5 оборотов. Скорость нагревания и охлаждения 10 К/мин.

Сталь до испытаний подвергали нагреву до 1323 К, выдерживали 30 мин. и затем охлаждали в воде. Образцы вырезали холодным механическим способом в виде цилиндрической формы высотой 3 мм. Удельную магнитную восприимчивость определяли с точностью $\pm 0.05 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ методом, описанным в работе [7]. Нагревание и охлаждение образцов проводились в среде аргона. Удельную магнитную восприимчивость при нагревании и охлаждении измеряли в магнитном поле $H=2.95 \cdot 10^5 \text{ А/м}$.

На рис.1 приведена кривая распределения удельной магнитной восприимчивости χ_0 образцов, деформированных кручением парамагнитного аустенита по длине стержня. Образец 1 соответствует зоне разрушения.



Рис. 1. Распределение удельной магнитной восприимчивости парамагнитного аустенита по длине стержня после деформации кручением. Цифрами указаны номера вырезанных образцов.

Удельная магнитная восприимчивость деформированных образцов (зона разрушения) повысилась, по сравнению с исходной на 75%, а в точке разрушения – на 90%.

На рис.2,3 представлены соответственно экспериментальные температурные зависимости удельной магнитной восприимчивости и обратной удельной магнитной восприимчивости аустенита стали до (кривая 1) и после (кривая 2) пластической деформации кручением.

Обработка температурных зависимостей $\chi_0(T)$ исходного (недеформированного) и пластически деформированного кручением аустенита показала, что они удовлетворительно описываются законом Кюри-Вейсса в определенных температурных интервалах (рис. 3):

$$\chi_0 = \frac{C}{T - \theta} = \frac{1}{3} \frac{N_A \cdot p^2 \cdot \mu_B^2}{\rho \cdot K_B \cdot (T - \theta)}, \quad (1)$$

$$C = \frac{1}{3} \frac{N_A \cdot p^2 \cdot \mu_B^2}{\rho \cdot K_B}, \quad (2)$$

где χ_0 - удельная магнитная восприимчивость аустенита, C – константа Кюри, N_A – число Авогадро, ρ – плотность вещества, μ_B - магнетон Бора, p - эффект

тивное число магнетонов Бора на атом, θ - парамагнитная точка Кюри, определяемая экстраполяцией линейного участка зависимости $1/\chi(T)$ на ось температур [8]. Из формулы (1) определяли константу C . Эффективный магнитный момент $\mu_{эф} = p \cdot \mu_B$ вычисляли из константы C по формуле (2).

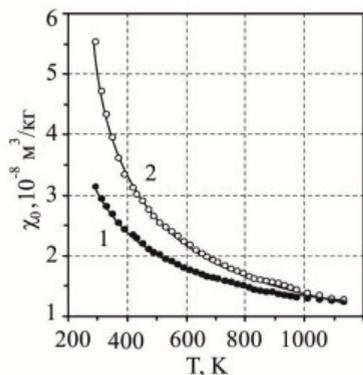


Рис. 2. Температурная зависимость удельной магнитной восприимчивости аустенита исследуемой стали до (кривая 1) и после (кривая 2) пластической деформации кручением.

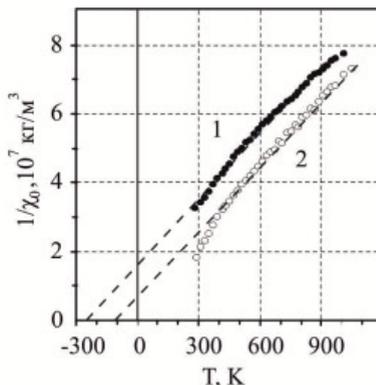


Рис. 3. Температурная зависимость обратной удельной магнитной восприимчивости аустенита исследуемой стали до (кривая 1) и после (кривая 2) пластической деформации кручением.

Полученные экспериментальные результаты приведены в таблице.

Таблица

Магнитные параметры исследованной стали

| магнитный параметр | недеформированный аустенит | деформированный аустенит |
|---|----------------------------|--------------------------|
| $\chi_0, 10^{-5} \text{ см}^3/\text{г}$ | 3.14 | 5.52 |
| $C, 10^{-5} \text{ см}^3 \cdot \text{К}/\text{г}$ | 1400±50 | 1680±50 |
| $\theta, \text{ К}$ | -250 | -110 |
| $\mu_{эф}$ | $0.9 \cdot \mu_B$ | $1.1 \cdot \mu_B$ |

Анализ результатов показывает, что температура и пластическая деформация приводят к изменению числа магнетонов Бора на атом, а значит к изменению удельной магнитной восприимчивости χ_0 аустенита. При этом изменение χ_0 с температурой для нашей стали носит полностью обратимый характер. Это подтверждает то, что возрастание χ_0 при охлаждении не связано с возникновением кристаллов α -фазы, а полностью определяется его магнитным состоянием, что согласуется с аналогичными результатами работы [6].

В работе [9] характер обменного взаимодействия между магнитными атомами оценивается по зависимости удельной магнитной восприимчивости от температуры. В этой работе анализируется зависимость χ_0 от T для ГЦК

систем с различными видами обменного взаимодействия между магнитными атомами: ферромагнитного, антиферромагнитного, сосуществованием ближнего ферромагнитного и дальнего антиферромагнитного, сосуществованием ближнего антиферромагнитного и дальнего ферромагнитного взаимодействия между атомами. В [9] показано, что кривые зависимости $C/(\chi_0 \cdot T)$ от $1/T$ от чувствительны к виду обменного взаимодействия. Теоретические результаты работы [9] подтверждены для аустенитных сталей [6]. На рис.6 приведены эти зависимости для недеформированного (кривая 1) и деформированного (кривая 2) аустенита исследуемой стали.

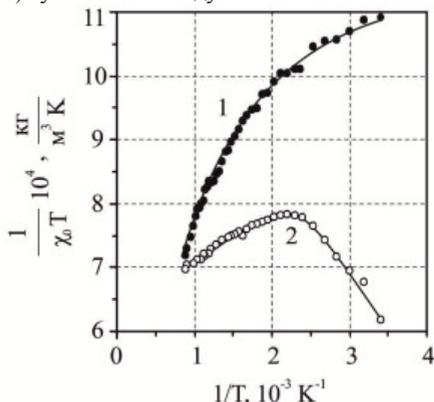


Рис.4 Зависимость $1/(\chi_0 \cdot T)$ от $1/T$ аустенита исследуемой стали до (кривая 1) и после (кривая 2) пластической деформации кручением.

деформированного аустенита при температурах 400-1100 К наклон кривой 2 является положительным. Это означает, что при этих температурах преобладающим видом обменного взаимодействия между магнитными атомами является отрицательное (антиферромагнитное) [6,9]. При температурах ниже 400 К наклон кривой (рис.4, кривая 2)) становится отрицательным. Это свидетельствует о том, что магнитное состояние аустенита деформированной стали ниже 400 К описывается преобладающим положительным обменным взаимодействием между атомами [6,9].

При понижении температуры от 400 К (рис.4, кривая 2) положительное обменное взаимодействие приводит к образованию малых однодоменных ферромагнитных упорядоченных областей – кластеров, которые при дальнейшем понижении температуры могут перерасти в кристаллы α -фазы [6].

На основании вышеизложенного можно предположить, что точка перегиба (400 К) является границей перехода от парамагнитного (100%) аустенита к аустениту, в котором зарождается α -фаза. Следовательно, эта граница разделяет обменные антиферромагнитное и ферромагнитное взаимодействия между магнитными атомами. Предполагается, что граничная температура разделяет нестабильное и стабильное состояния аустенита. Отсюда следует, что исходный (недеформированный) аустенит исследуемой стали является полностью

Для недеформированного аустенита зависимость $1/\chi_0$ от T носит линейный характер для всего температурного интервала (300-1100 К) (рис.3, кривая 1) и удовлетворительно описывается законом Кюри – Вейсса. Для деформированного аустенита (рис.3, кривая 2) при высоких температурах, начиная примерно с 400 К (точка перегиба) и выше, указанная зависимость также линейна и подчиняется закону Кюри-Вейсса. Ниже 400 К эта зависимость не описывается законом Кюри-Вейсса. Сопоставляя наши зависимости $1/(\chi_0 \cdot T)$ от $1/T$ (рис.4) с аналогичными кривыми работ [6,9], можно заключить, что они подобны. Из рис.4 видно, что для

(100%) стабильным, а деформированный - стабильным выше границы (400 К), т.е. в интервале 1000-400 К, а ниже – нестабильным. Поэтому, говоря о нестабильности или стабильности аустенита, необходимо для него указывать температурный интервал.

Выводы

1. Экспериментально найдена температура (400 К) для аустенита пластически деформированной стали 08X15Ni25MnMo5, выше которой преобладающим видом обменного взаимодействия является отрицательное (антиферромагнитное), а ниже – положительное (ферромагнитное).
2. Предполагается, что эта температурная точка (400 К) является границей, выше которой деформированный аустенит находится в стабильном состоянии, ниже - нестабильном.
3. Аустенит недеформированной исследуемой стали в широком интервале температур 300-1100 К пребывает в стабильном состоянии.

Список использованных источников

1. Чейлях А.П. Возможности создания метастабильных состояний аустенита в сплавах на основе железа. // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2002. – №2. – С.31-34.
2. Ольшанецкий В.Е., Снежной Г.В. О формировании двух типов мартенситных фаз при пластической деформации аустенитной хромоникелевой стали. // Физика и техника высоких давлений. – 2013. – Т.23. – №2. – С.78-87.
3. Максимкин О.П., Осипов И.С., Айтхожин Э.С., Бердалиев Д.Т., Рахашев Б.К., Налтаев А.А. Мартенситные превращения в нержавеющей аустенитной стали 12X18H9, облученной альфа частицами. // Вестник НЯЦ РК. – 2006, вып.4. – С.23-26.
4. Ажажа, В.М., Десненко В.А., Ожигов Л.С., Ажажа Ж.С., Свечкарев И.В., Федорченко А.В. Применение магнитных методов для исследования эволюции структуры в аустенитных нержавеющих сталях после длительной эксплуатации энергоблоков на АЭС. // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение». – 2009. – №4(2). – С. 241-246.
5. Дерягин А.И., Завалишин В.А., Сагарадзе В.В., Кузнецов А.Р., Ивченко В.А., Вильданова Н.Ф., Эфрос Б.М. Влияние состава и температуры на перераспределение легирующих элементов в процессе холодной деформации Fe–Cr–Ni сплавов // ФММ – 2008. – Т.106. – № 3. – С. 301-311.
6. Ромашев Л.Н., Ворончихин Л.Д., Факиров И.Г. Изменение магнитных свойств стали вблизи мартенситной точки. // ФММ – 1973. – Т.36. – №2. – С. 291-294.
7. Сніжної Г.В., Жавжаров Є.Л. Автоматизована установка для визначення магнетної сприйнятливості криць та стопів. // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія - Радіотехніка. Радіоапаратобудування, – 2012. – №49. – С. 136-141.
8. Белов К.П. Магнитные превращения. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, – 1959, – 260 с.
9. Daniellan A. On interpreting high temperature magnetic susceptibility data. // Proc. Phys. Soc. – 1962. Vol. 8. – P. 981-985.