

УДК 621.74

Г.В. СНЕЖНОЙ

Запорожский национальный технический университет, Украина

О ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ МАЛЫХ ДЕФОРМАЦИЙ АУСТЕНИТНЫХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

С помощью чувствительного магнитометрического метода, учитывающего намагниченность парамагнитной аустенитной матрицы, в процессе одноосного сжатия образцов стали 12X18H10T найдена граничная точка относительного сжатия ε_s , ниже которой существует однофазное состояние (аустенит), выше – двухфазное (аустенит и мартенсит деформации). Предложено эту точку ε_s называть деформационной мартенситной точкой по аналогии с известной температурной мартенситной точкой T_s . Установлено, что для стали 12X18H10T (после выдержки 30 мин. при 1323K и последующей закалки в воду) $\varepsilon_s = 2,4\%$.

Ключевые слова: аустенитная хромоникелевая сталь, магнитная восприимчивость, мартенсит деформации, деформационная мартенситная точка.

Введение

Многим аустенитным хромоникелевым сталям присущ комплекс ценных свойств, обусловивших применение их в качестве конструкционного материала: высокая пластичность, повышенная коррозионностойкость, хорошая технологичность. Например, сталь 12X18H10T относится к классу сталей, не упрочняемых термической обработкой, применяется для изготовления сварных и механически обрабатываемых деталей, работающих в агрессивных атмосферных условиях при температуре до 800 °С. Эта сталь является метастабильной и при пластической деформации в ней протекает мартенситное $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращение (α' – мартенсит деформации). На мартенситное превращение существенно влияет химический состав стали, микроструктура, температура деформации, величина механического напряжения, облучение частицами и пр.

Протекающие при деформации мартенситные превращения метастабильных сталей играют большую роль в формировании физико-механических свойств промышленных нержавеющей сталей, которые широко используются в авиастроении. В этой связи изучение закономерностей $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращения имеет практическую ценность. При этом, если закономерности $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращений при сравнительно больших пластических деформациях достаточно хорошо изучены [1 – 5], то экспериментальных данных при малых пластических деформациях сравнительно меньше [6 – 8]. Это обусловлено тем, что при определении низких содержаний α -фазы,

которая возникает при деформации, не учитывается намагничивание парамагнитной аустенитной матрицы, что приводит к большим погрешностям. Например, относительная погрешность составляет свыше 1000% при содержании α -фазы порядка 0,005%, 80% – при 0,1% и лишь при содержании α -фазы порядка 2,5...3,0% ошибка достигает ~3% [9].

В этой связи для исследования относительно малых деформаций аустенитных хромоникелевых сталей, при которых возникает весьма низкое содержание мартенсита деформации, использовался интегральный физический метод идентификации α -фазы [9 – 11], учитывающий намагниченность парамагнитной аустенитной матрицы.

1. Экспериментальная часть

Объектом исследований была выбрана промышленная нержавеющая сталь аустенитного класса 12X18H10T следующего химического состава (вес. %): 0,12% С, 1,316% Мn, 0,25%Si, 17,854% Cr, 9,42% Ni, 0,121% Mo, 0,252% Ti. Предварительно сталь отжигали при температурах 1323 К (30 мин.) и закаливали в воду. Затем холодным механическим способом вырезали образцы размерами ~3x3x1 мм³. Для снятия поверхностных повреждений образцы шлифовались на абразивных порошках, а затем полировались до зеркального блеска алмазными пастами и электрохимическим методом. Степень пластической одноосной деформации на сжатие при комнатной температуре рассчитывалась по отношению толщин до и после деформации ($\varepsilon = (d - d_0) / d_0$). На всех этапах подготовки образ-

цов обращалось особое внимание на то, чтобы поверхность образцов не загрязнялась какими-либо ферромагнитными примесями.

Удельную магнитную восприимчивость образца находили по формуле [9-11]:

$$\chi = \chi_{\text{эт}} \cdot \frac{I \cdot m_{\text{эт}}}{I_{\text{эт}} \cdot m}, \quad (1)$$

где $\chi_{\text{эт}}$ – удельная магнитная восприимчивость эталонного вещества (например, соль Мора) с известной магнитной восприимчивостью; I и $I_{\text{эт}}$ – соответственно компенсационные токи в соленоиде для образца и эталона.

Для определения малых количеств ферромагнитной фазы (α -фазы) использовали выражение [10]:

$$P = \frac{\sigma_m}{\sigma_\alpha} \cdot 100\% = \frac{[\chi - (\chi_0 + \chi_p)] \cdot H}{\sigma_\alpha} \cdot 100\%, \quad (2)$$

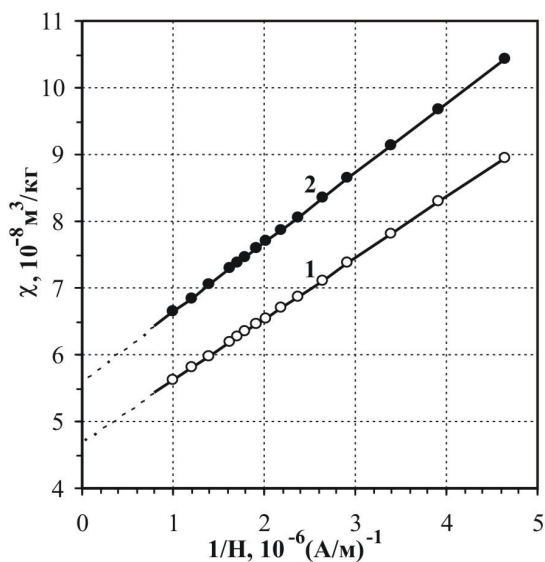
где σ_m – ферромагнитная составляющая удельной намагниченности насыщения образца; σ_α – удельная намагниченность насыщения α -фазы; χ – общая удельная магнитная восприимчивость образца; χ_∞ – результирующая удельная магнитная восприимчивость χ_0 парамагнитного аустенита образца и

парапроцесса χ_p α -фазы образца: $\chi_\infty = \chi_0 + \chi_p$; H – напряженность магнитного поля.

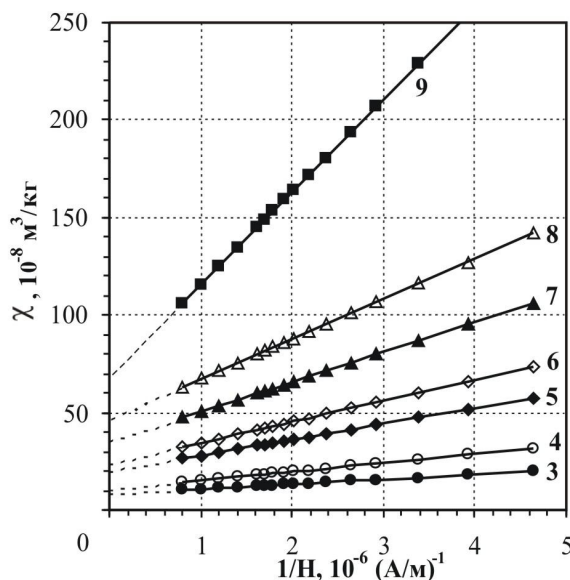
Из кривых экспериментальных зависимостей $\chi = f(1/H)$ находили значения χ_∞ методом экстраполяции [9, 10] и по формуле (2) определяли количество ферромагнитной фазы в объемных процентах.

2. Анализ полученных результатов

Измерения магнитных параметров и количество феррофазы производилось на образце после каждого акта сжатия. На рис. 1 представлены типичные экспериментальные зависимости удельной магнитной восприимчивости χ от обратной величины магнитного поля $1/H$ стали 12X18H10T при различных степенях относительной деформации ε на сжатие. Как видно из рис.1 продолжение прямых с осью ординат ($H \rightarrow \infty$) дадут значения χ_∞ и по формуле (2) вычисляем результирующее количество феррофазы P_α в объемных процентах после каждого акта деформации образца (табл.). Удельную магнитную восприимчивость χ_0 «чистого» парамагнитного аустенита находим из зависимости $\chi_\infty(P_\alpha)$, экстраполируя $P_\alpha \rightarrow 0$ (нет феррофазы) на ось ординат (рис. 2).



а



б

Рис. 1. Зависимость $\chi(1/H)$ при различных значениях деформации ε для стали 12X18H10T: а: 1 – 0%; 2 – 2,5%; б: 3 – 3,5%; 4 – 5,2%; 5 – 6,5%; 6 – 7,0%; 7 – 8,0%; 8 – 8,8%; 9 – 10,1%

Из рис. 2 видно, что $\chi_0 = 2,39 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Полученный наклон прямой 1 (см. рис.1) подтверждает присутствие δ -феррита в исходном образце при нулевой деформации. Следовательно, выдержка 30

мин. при температуре 1323 К и последующая закалка в воду не привела к полной аустенизации стали 12X18H10T. Найденное количество δ -феррита оказалась равным $P_\delta = 0,078\%$ (табл. 1).

Если принять, что такое количество δ-феррита (0,078%) не принимает участие в образовании мартенсита деформации α' и вычтуть его из результирующего количества феррофазы P_α, получим значение количества мартенсита деформации P_{α'} (табл. 1).

Таблица 1

Значения магнитных восприимчивостей и количество феррофазы в зависимости от степени деформации образца стали 12X18H10T.

ε, %	χ, 10 ⁻⁸ м ³ /кг (H=3,42·10 ⁵ А/м)	χ _∞ , 10 ⁻⁸ м ³ /кг	P _α = P _δ + P _{α'} , %	P _{α'} , %
0,0	7,38	4,7	0,078	0,00
2,5	8,64	5,6	0,089	0,011
3,5	15,5	8,2	0,214	0,136
5,2	23,7	10,6	0,384	0,306
6,5	43,6	20,0	0,692	0,614
7,0	55,2	23,6	0,925	0,847
8,0	79,7	35,0	1,31	1,233
8,8	107	46,9	1,75	1,669
10,2	207	68,1	4,06	3,983

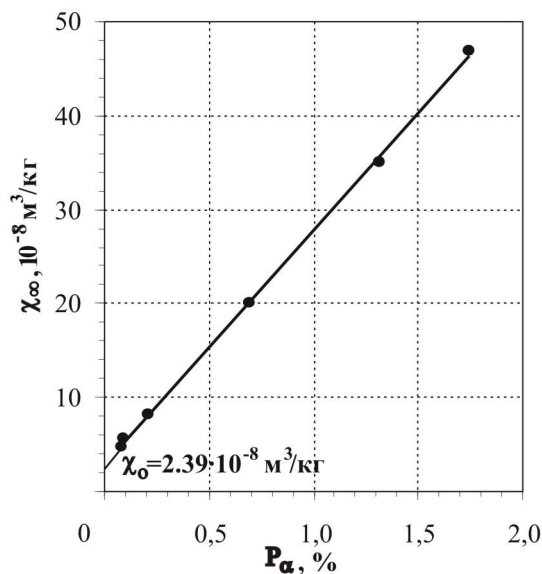


Рис. 2. Зависимость результирующей удельной магнитной восприимчивости χ_∞ (аустенита и парапроцесса) стали 12X18H10T от суммарного количества феррофазы P_α, возникающей при малых деформациях

На рис. 3 показана зависимость образовавшегося мартенсита деформации P_{α'} от степени деформации ε на сжатие. Из этой кривой определить однозначное значение ε_s, при котором начинает зарождаться мартенсит деформации практически невоз-

можно. С целью определения такого значения относительной деформации сжатия ε_s, при котором начинает зарождаться мартенсит, поступим следующим образом. Найдем зависимость удельной магнитной восприимчивости χ (например, для поля H = 3,42·10⁵ А/м) от возникающего весьма низкого количества мартенсита деформации P_{α'} (рис. 4).

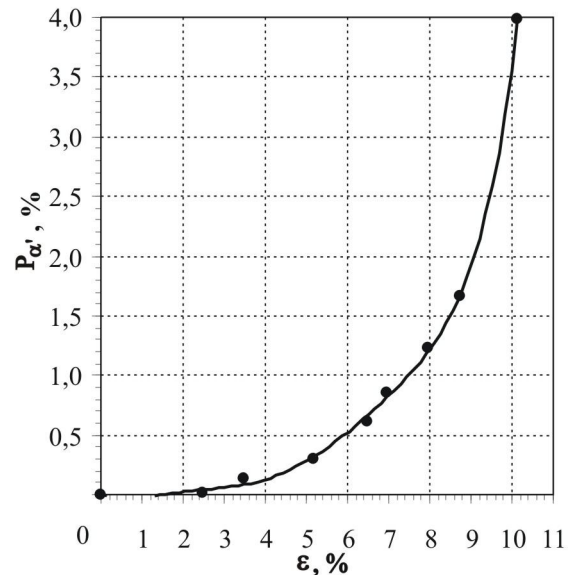


Рис. 3. Зависимость возникающего мартенсита деформации P_{α'} от относительной степени сжатия ε для стали 12X18H10T

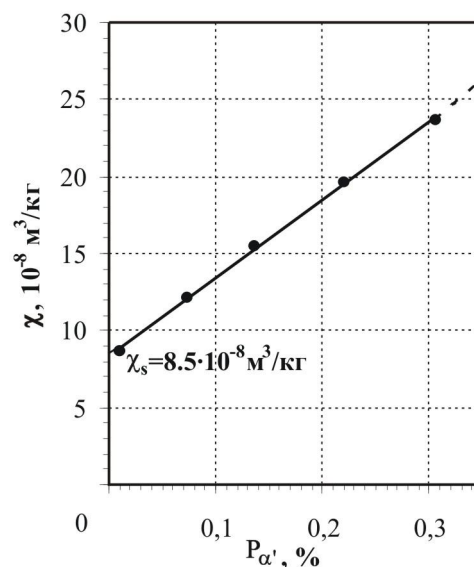


Рис. 4. Зависимость удельной магнитной восприимчивости χ (H = 3,42·10⁵ А/м) от возникающего весьма низкого количества мартенсита деформации P_{α'}

Из рис. 4 видно, что если устремить P_{α'} → 0 (нет феррофазы), то прямая пересечет ось ординат

χ в точке $\chi_s = 8,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Эта точка χ_s представляет собой однозначное (а не критическая область) значение стартовой (граничной) удельной магнитной восприимчивости стали 12Х18Н10Т, при которой начинается зарождаться мартенсит деформации. Построим зависимость относительной деформации сжатия ε от удельной магнитной восприимчивости χ ($H = 3,42 \cdot 10^5 \text{ А/м}$) стали 12Х18Н10Т при весьма низких содержаниях мартенсита деформации (рис. 5). Если на оси абсцисс χ отложить найденное ранее значение $\chi_s = 8,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ и восстановить перпендикуляр до пересечения с прямой, а затем от этой точки провести параллельную прямую до пересечения с осью ординат ε , получим значение $\varepsilon_s = 2,4\%$.

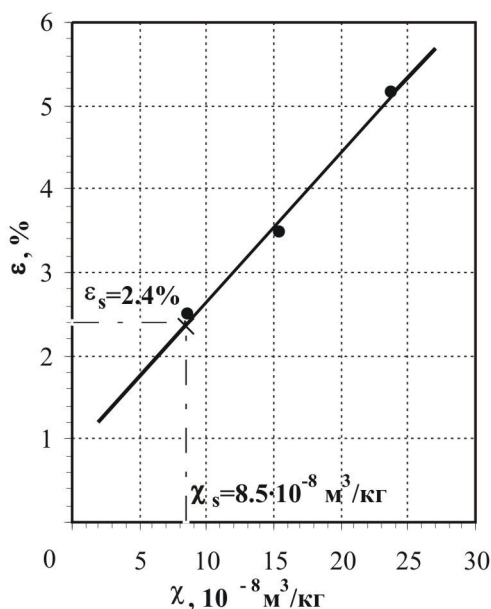


Рис. 5. Зависимость относительной деформации сжатия ε от удельной магнитной восприимчивости χ ($H = 3,42 \cdot 10^5 \text{ А/м}$) стали 12Х18Н10Т при весьма низких содержаниях мартенсита деформации

Предлагается эту однозначную точку ε_s (не критическая область) назвать деформационной мартенситной точкой по аналогии с известной температурной мартенситной точкой T_s [12, 13]. Ее физический смысл такой: ниже точки ε_s существует однофазное состояние (аустенит), выше — двухфазное (аустенит и мартенсит деформации). Деформационная мартенситная точка сужает в одну точку обычно принятые при исследованиях «плавающие» области критической деформации или критического напряжения, при которых появляется ферромагнитная фаза в деформированном образце.

Заключение

Для определения реального весьма низкого содержания мартенсита деформации в объемных процентах использован метод, позволяющий учитывать магнитный момент парамагнитного аустенита. Экспериментально найдено однозначное граничное значение относительного сжатия ε_s , которое предлагается назвать деформационной мартенситной точкой. В процессе одноосного сжатия стали 12Х18Н10Т до ε_s существует однофазное состояние (аустенит), выше ε_s — двухфазное (аустенит и мартенсит). Для стали 12Х18Н10Т с данным химическим составом $\varepsilon_s = 2,4\%$. В точке ε_s зарождается мартенсит деформации и по мере одноосного сжатия в интервале $\varepsilon = 0 \dots 10\%$ по экспоненциальному закону накапливается от 0 до 4% мартенсита деформации.

Литература

1. Банных О.А. Развитие исследований нержавеющей сталей / О.А. Банных // МИТОМ. — 1977. — № 10. — С. 41.
2. Толмасов В.А. Изменение фазового свойства нержавеющей стали 1Х18Н9Т под влияние пластической деформации / В.А. Толмасов // ФММ. — 1958. — Т. VI, № 5. — С. 838-842.
3. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов / О.А. Кайбышев. — М.: Металлургия, 1975. — 279 с.
4. Ибрагимов Ш.Ш. Мартенситное превращение и механические свойства нержавеющей стали 12Х18Н10Т, облученной нейтронами / Ш.Ш. Ибрагимов, О.П. Максимкин, Д.Х. Садуакасов // ФММ. — 1990. — № 7. — С. 3-5.
5. Малинов Л.С. Развитие мартенситных превращений при деформации в Fe-Mn-сталих различного состава / Л.С. Малинов., Е.Я. Харланова // Металловедение и термическая обработка металлов. — 1988. — № 1. — С. 11-14.
6. Максимкин О.П. Особенности кинетики образования α' -мартенсита при деформации нержавеющей стали 12Х18Н10Т, облученной нейтронами / О.П. Максимкин, К.В. Цай, Д.Х. Садуакасов // Вестник НЯЦ РК. — 2007. — Вып. 1. — С. 4-13.
7. Максимкин О.П. Параметры образования мартенситной α' -фазы при деформации нержавеющей сталей, облученных в реакторах АХ ВВРр-К и БН-350 / О.П. Максимкин, Н.Н. Гусев, И.С. Осипов // Вестник НЯЦ РК. — 2007. — Вып. 3. — С. 12-17.
8. Применение магнитных методов для исследования эволюции структуры в аустенитных нержавеющей сталей после длительной эксплуатации энергоблоков на АЭС / В.М. Ажажа, В.А. Десненко, Л.С. Ожигов, Ж.С. Ажажа, И.В. Свечкарев,

А.В. Федорченко // Вопросы атомной науки и техники. – 2009. – № 4-2. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (94). – С. 241-246.

9. Влияние магнитного момента парамагнитной матрицы на определение низких содержаний α -фазы в аустенитных сталях / В.Л. Снежной, Ф.Д. Мирошниченко, В.Г. Каниболоцкий, Г.А. Охромий // ФММ. – 1970. – Т. 30, вып. 2. – С. 363-366.

10. Снежной Г.В. Интегральный физический метод идентификации α -фазы в аустенитных хромоникелевых сталях / Г.В. Снежной, В.Г. Мищенко, В.Л. Снежной // Литье и металлургия. – 2009. – № 3 (52). – С. 241-244.

11. Мирошниченко Ф.Д. Магнитометрические весы с униполярной астатической системой и механико-магнитным зацеплением призмы / Ф.Д. Мирошниченко, В.Л. Снежной // Приборостроение: межведомственный научно-технический сб. – К.: Техника, 1966. – № 2. – С. 127-131.

12. Снежной Г.В. Зміна механізму стартової мікрокінетики мартенситного перетворення в заліззонікелевих сталях / Г.В. Снежной, В.Л. Снежной // Металлофизика и новейшие технологии. – 2009. – Т. 31, № 4. – С. 565-576.

13. Ольшанецкий В.Е. О физической трактовке мартенситной точки / В.Е. Ольшанецкий, В.Л. Снежной // ФММ. – 1973. – Т. 36, № 4. – С. 894-896.

Поступила в редакцию 25.05.2010

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. В.В. Погосов, Запорожский национальный технический университет, Запорожье.

ПРО МОЖЛИВІСТЬ КОНТРОЛЮ МАЛИХ ДЕФОРМАЦІЙ АУСТЕНИТНИХ ХРОМОНІКЕЛЕВИХ СТАЛЕЙ МАГНІТОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Г.В. Снежной

За допомогою чутливого магнітометричного методу, який враховує намагніченість парамагнітної аустенітної матриці в процесі одновісного стискання зразків сталі 12X18H10T, знайдена гранична точка відносного стискання ε_s , нижче якої існує однофазний стан (аустеніт), вище – двофазний (аустеніт і мартенсит деформації). Пропонується цю точку ε_s називати деформаційною мартенситною точкою за аналогією з відомою температурною мартенситною точкою T_s . Встановлено, що для сталі 12X18H10T (після витримки 30 хв. при 1323K і наступному загартуванні у воду) $\varepsilon_s = 2,4\%$.

Ключові слова: аустенітні хромонікелеві сталі, магнітна сприйнятливість, мартенсит деформації, гранична область зародження мартенситу, деформаційна мартенситна точка

ON CONTROL OF SMALL DEFORMATIONS OF AUSTENITE CHROMIUM NICKEL STEELS MAGNETOMETRICAL METHOD

G.V. Snezhnoi

Sensitive magnetic metric method, which takes into account the magnetization of the paramagnetic austenitic matrix for the study steel 12X18H10T used. In the process of uniaxial compression of samples was found boundary point ε_s . For strains below this point in the sample there is one phase state (austenite) above - a two-phase (austenite and martensite deformation). Proposed call this point ε_s the deformation martensite point by analogy with the known temperature martensite point T_s . To steel 12X18H10T (after holding 30 min. at 1323K and then quenched in water) is defined by the value of $\varepsilon_s = 2,4\%$.

Key words: austenitic chromiumnickel steel, magnetic susceptibility, martensite deformation, deformation martensite point.

Снежной Геннадий Валентинович – канд. физ.-мат. наук, доцент, Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина, e-mail: snow@zntu.edu.ua.