

УДК 621.74

Канд. физ.-мат. наук Г. В. Снежной

Запорожский национальный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МАРТЕНСИТНОЙ ТОЧКИ ε_s В ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЯХ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Для нестабильных аустенитных хромоникелевых сталей вводится понятие истинной деформационной мартенситной точки ε_s , ниже которой существует однофазное состояние (аустенит), выше — двухфазное (аустенит и мартенсит деформации). Предлагается методика определения ε_s в хромоникелевых аустенитных сталях при пластической одноосной деформации сжатия. Установлено изменение магнитного состояния парамагнитного аустенита вблизи деформационной мартенситной точки ε_s .

Ключевые слова: аустенитная хромоникелевая сталь, магнитная восприимчивость, деформационная мартенситная точка, пластическая деформация.

Введение

Протекающие при пластической деформации мартенситные превращения метастабильных сталей играют большую роль в формировании физико-механических свойств промышленных нержавеющих сталей, которые широко используются в авиастроении. В этой связи изучение закономерностей $\gamma \rightarrow \alpha'$ (α' — мартенсит деформации) превращения имеет практическую ценность. К настоящему времени наиболее изучены закономерности $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращений при сравнительно больших пластических деформациях [1–6], а при малых — значительно меньше [7–9].

Обычно за начало $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращения принимают критическую область деформации (критическое напряжение), которая зависит от чувствительности и точности применяемого метода. Ее неоднозначность («плавание») наблюдается даже для одной марки стали, имеющей одинаковое исходное состояние. Исходя из этого, цель настоящей работы заключается в попытке экспериментально найти однозначную истинную деформационную мартенситную точку, при которой зарождается мартенсит деформации в общем случае, когда в исходном состоянии стали может присутствовать сравнительно низкое количество δ -феррита. Для исследования начальной стадии зарождения мартенсита деформации использовался чувствительный интегральный физический метод идентификации α -фазы [10–12], учитывающий намагниченность парамагнитной аустенитной матрицы.

1 Экспериментальная часть

Исследовалась промышленная нержавеющая сталь аустенитного класса 12X18H10T следую-

щего химического состава (вес. %): 0,12% С, 1,316% Мп, 0,25% Si, 17,854% Cr, 9,42% Ni, 0,121% Mo, 0,252% Ti, которую нагревали до 1183 К, выдерживали 1,5 часа и закаливали в воду. Для снятия поверхностных деформаций образцы ($\sim 3 \times 3 \times 1$ мм³) полировались электрохимическим способом. При этом стремились достичь максимальной параллельности больших граней прямоугольного образца. При комнатной температуре осуществляли одноосную пластическую деформацию на сжатие, и степень такой деформации ε рассчитывалась по отношению толщин до и после деформации ($\varepsilon = (d_0 - d) / d_0$). При подготовке и испытании образцов тщательно следили за тем, чтобы поверхность их не загрязнялась какими-либо ферромагнитными примесями.

Удельную магнитную восприимчивость χ образца находили по формуле [10, 11]:

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

где $\chi_{эм}$ — удельная магнитная восприимчивость эталонного вещества (например, соль Мора) с известной магнитной восприимчивостью, I и $I_{эм}$ — соответственно, компенсационные токи в соленоиде для образца и эталона, m и $m_{эм}$ — соответственно, масса образца и эталона.

Для определения малых количеств ферромагнитной фазы (α -фазы) использовали выражение [10, 11]:

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

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 экспериментальных зависимостей $\chi = f(1/H)$ находили значения χ_∞ методом экстраполяции [10, 11] и по формуле (2) определяли количество ферромагнитной фазы в объемных процентах.

2 Анализ полученных результатов

С целью определения χ_∞ и P_α после каждого акта сжатия образца строились графики зависимости удельной магнитной восприимчивости χ от обратной величины магнитного поля $1/H$ при различных степенях относительной деформации ε на сжатие (рис. 1). Экстраполируя прямые на ось ординат χ при $H \rightarrow \infty$ находим значения χ_∞ . Затем по формуле (2) вычисляем результирующее количество ферромагнитной фазы P_α ($P_\alpha = P_\delta + P_{\alpha'}$, где P_δ и $P_{\alpha'}$ – соответственно, количество феррита и мартенсита деформации) после каждого акта деформации образца (табл. 1).

Для нахождения удельной магнитной восприимчивости χ_0 парамагнитного аустенита был построен график зависимости χ_∞ от P_α (рис. 2). Экстраполируя прямую на ось ординат χ_∞ для случая $P_\alpha \rightarrow 0$ (отсутствует феррофаза), получим значение удельной магнитной восприимчивости парамагнитного аустенита $\chi_0 = 4,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Таблица 1 – Значения магнитных восприимчивостей и количества феррофазы в зависимости от степени деформации сжатия образца стали 12Х18Н10Т

ε , %	χ , $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ($H = 3,42 \cdot 10^5 \text{ А/м}$)	χ_∞ , $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$	$P_\alpha = P_\delta + P_{\alpha'}$, %	$P_{\alpha'}$, %
0,0	10,85	6,66	0,123	0,00
1,27	11,83	6,88	0,130	0,00
1,69	12,18	6,97	0,152	0,00
1,86	12,59	7,19	0,157	0,00
2,50	14,41	7,57	0,198	0,041
2,88	18,24	8,82	0,278	0,121
3,22	26,32	12,4	0,405	0,248
3,81	43,85	17,1	0,776	0,619
4,15	48,38	18,0	0,891	0,734

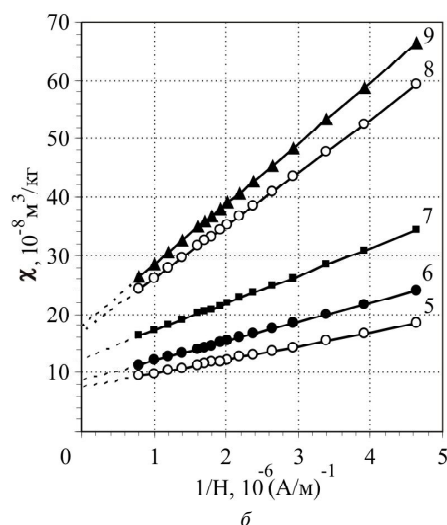
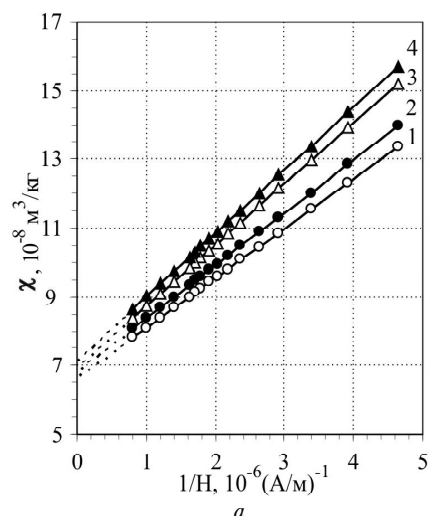


Рис. 1. Зависимость $\chi(1/H)$ при различных значениях деформации ε для стали 12Х18Н10Т:

a – 1 – 0 %, 2 – 1,3 %, 3 – 1,7 %, 4 – 1,9 %;
 b – 5 – 2,5 %, 6 – 2,9 %, 7 – 3,2 %, 8 – 3,8 %, 9 – 4,2 %

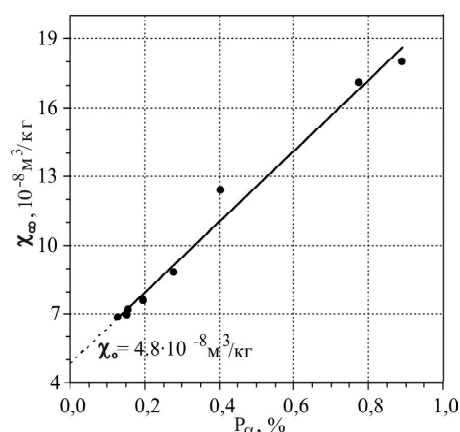


Рис. 2. Зависимость результирующей удельной магнитной восприимчивости χ_∞ (аустенита и парапроцесса) стали 12Х18Н10Т от суммарного количества феррофазы P_α , возникающей при малых деформациях

Исследуя начальную стадию $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращения, естественно, возникает вопрос, в какой же критической точке ε начинает зарождаться мартенсит деформации. Для ответа на этот вопрос построим график зависимости относительной деформации ε от удельной магнитной восприимчивости χ исследуемого образца стали 12X18H10T (рис. 3), используя данные из таблицы. Как видим, наклоны прямых 1 и 2 (рис. 3) резко отличаются. Естественно, можно предположить, что прямая 1 при деформациях сжатия в интервале $\varepsilon = 0 \dots 1,86\%$ соответствует росту δ -феррита от 0,123 до 0,157 %, а прямая 2 в интервале $\varepsilon = 2,5 \dots 4,15\%$ соответствует возникновению и дальнейшему накоплению мартенсита деформации в присутствии δ -феррита.

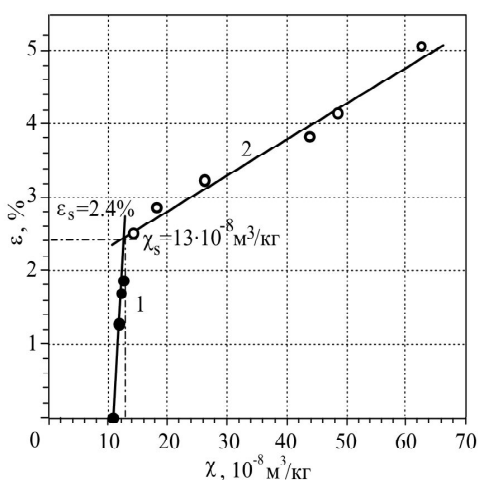


Рис. 3. Зависимость относительной деформации сжатия ε от удельной магнитной восприимчивости χ ($H = 3,42 \cdot 10^5$ А/м) стали 12X18H10T при весьма низких содержаниях мартенсита деформации

Если вычесть численные значения P_δ из P_α , то получим количество мартенсита деформации $P_{\alpha'}$ в объемных процентах (см. табл. 1). Общая точка пересечения прямых 1 и 2 (см. рис. 3) дает значение: $\chi_s = 13 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ и $\varepsilon_s = 2,4\%$. Для раскрытия физического смысла точки χ_s и ε_s построим график зависимости удельной магнитной восприимчивости χ (например, для $H = 3,42 \cdot 10^5$ А/м) от возникающего весьма низкого количества мартенсита деформации $P_{\alpha'}$ по данным таблицы (рис. 4). Если продолжить прямую зависимости $\chi(P_{\alpha'})$ для случая $P_{\alpha'} \rightarrow 0$ (отсутствует мартенсит деформации) на ось ординат χ , получим значение $\chi_s = 13 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, которое совпадает со значением χ_s , найденным из

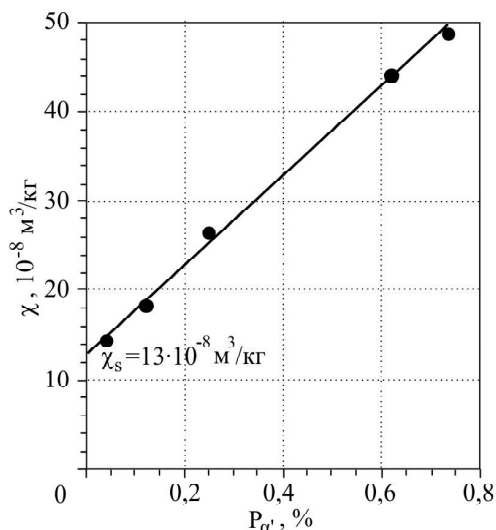


Рис. 4. Зависимость удельной магнитной восприимчивости χ ($H = 3,42 \cdot 10^5$ А/м) от возникающего весьма низкого количества мартенсита деформации $P_{\alpha'}$

графика рис. 3. Как видим, χ_s и ε_s характеризуют границу между однофазным (аустенит) и двухфазным состоянием (аустенит и мартенсит).

В литературных источниках часто используют зависимость накапливаемой феррофазы от относительной деформации, из которой приближенно определяют критическую область деформации и считают ее началом возникновения мартенсита деформации. В нашем случае подобная графическая зависимость возникающей ферромагнитной фазы P_α от относительной степени

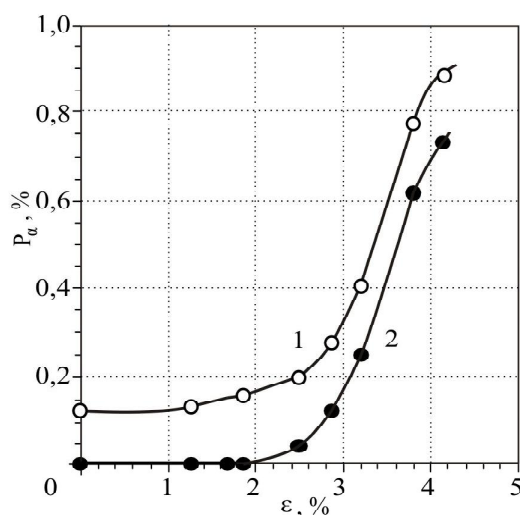


Рис. 5. Зависимость возникающей ферромагнитной фазы P_α от относительной степени сжатия ε для стали 12X18H10T: 1 – $P_\alpha = P_\delta + P_{\alpha'}$; 2 – $P_\alpha = P_{\alpha'}$

сжатия ε представлена на рис. 5 для случаев когда $P_\alpha = P_\delta + P_{\alpha'}$ (кривая 1) и $P_\alpha = P_{\alpha'}$ (кривая 2). По этим кривым практически можно только приближенно определить ранее найденную граничную точку ε_s . Поэтому лучше ее находить, как было показано, из графика рис. 3.

Таким образом, экспериментально удалось определить стартовые точки χ_s и ε_s для нестабильной стали 12X18H10T. Предлагается однозначную точку ε_s называть истинной деформационной мартенситной точкой по аналогии с известной истинной температурной мартенситной точкой T_s [13,14]. Ее физический смысл: ниже точки ε_s существует однофазное состояние (аустенит), выше – двухфазное (аустенит и мартенсит деформации). При этом, эта точка ε_s является однозначной точкой для стали с данным химическим составом и данным исходным состоянием, а не «плавающей» областью критической деформации (или критического напряжения).

Заключение

Проведенные исследования показали, что используя чувствительный магнитометрический метод определения весьма низких содержаний мартенсита в объемных процентах, удалось найти однозначную граничную точку относительного сжатия ε_s , которую предлагается назвать деформационной мартенситной точкой. Ниже точки ε_s существует однофазное состояние (аустенит), выше – двухфазное (аустенит и мартенсит деформации). Для исследуемой стали 12X18H10T (с данным химическим составом и предварительной закалкой в воду после выдержки 1,5 часа при температуре 1183 К) в процессе одноосного сжатия найдено значение $\varepsilon_s = 2,4\%$. При этом удалось выполнить эту задачу в присутствии незначительного содержания δ -феррита в исходном состоянии до деформации.

Перечень ссылок

1. Банных О. А. Развитие исследований нержавеющей сталей / О. А. Банных // МИТОМ – 1977. – № 10. – 41 с.
2. Толмасов В. А. Изменение фазового свойства нержавеющей стали 1X18H9T под влиянием 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 12X18H10T, облученной нейтронами / Ш. Ш. Ибрагимов, О. П. Максимкин, Д. Х. Садвакасов // ФММ. – 1990. – № 7. – С. 3–5.
5. Малинов Л. С. Развитие мартенситных превращений при деформации в Fe-M -сталях различного состава / Л. С. Малинов, Е. Я. Харланова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1988. – № 1. – С. 11–14.
6. Влияние микролегирования на мартенситное превращение и свойства реакторных сталей / [В. М. Нетесов, П. А. Березняк, Л. С. Ожигов, В. В. Хондак] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 2003. – № 6 (84), – С. 24–27.
7. Максимкин О. П. Особенности кинетики образования α' -мартенсита при деформации нержавеющей стали 12X18H10T, облученной нейтронами / О. П. Максимкин, К. В. Цай, Д. Х. Садвакасов // Вестник НЯЦ РК. – 2007. – Вып. 1. – С. 4–13.
8. 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.
9. 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 и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 2009. – № 4. – 2.(94). – С. 241 – 246.
10. 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. 3 0. – Вып. 2. – С. 363–366.
11. 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.
12. Мирошниченко Ф. Д. Магнитометрические весы с униполярной астатической системой и механико-магнитным зацеплением призмы / Ф. Д. Мирошниченко, В. Л. Снежной // Приборостроение. – К.: Изд-во «Техника», 1966. – № 2.

13. Сніжної Г. В. Зміна механізму стартової мікрокінетики мартенситного перетворення в залізонікелевих стопах / Г. В. Сніжної, В. Л. Сніжної // *Металлофизика и новейшие технологии.* – 2009. – Т. 31. – № 4. – С. 565–576.
14. 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 06.09.2010

Снежной Г.В. Визначення деформаційної мартенситної точки ε_s в хромонікелевих сталях аустенітного класу

Для нестабільних аустенітних хромонікелевих сталей вводиться поняття дійсної деформаційної мартенситної точки ε_s , нижче за яку існує однофазний стан (аустеніт), вище – двофазний (аустеніт і мартенсит деформації). Пропонується методика визначення ε_s в хромонікелевих аустенітних сталях при пластичній одноосовій деформації стиснення. Встановлено зміну магнітного стану парамагнітного аустеніту поблизу деформаційної мартенситної точки ε_s .

Ключові слова: аустенітна хромонікелева сталь, магнітна сприйнятливість, деформаційна мартенситна точка, пластична деформація.

Snezhnoy G. Determination of deformation martensite point ε_s in chromiumnickel austenitic steels

For the unstable austenitic chromium-nickel steels notion of true strain martensite point ε_s is introduced, below which there is a single-phase state (austenite) above – a two-phase (austenite and martensite deformation). Method of determining ε_s in the chromium-nickel austenitic steels during plastic uniaxial compression is proposed. Changes in the magnetic state of the paramagnetic austenite near the deformation martensite point ε_s set.

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