

Г.В. Сніжної

Магнетна поведінка аустеніту на початку утворення мартенситу деформації в криці 10X18H9-У

*Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського, 64,
Запоріжжя, 69063, Україна, e-mail: snow@zntu.edu.ua*

Експериментально встановлено, що в криці 10X18H9-У до появи перших порцій мартенситу деформації зростає магнетна сприйнятливість парамагнетного аустеніту, а після – залишається сталою в процесі накопичення мартенситу зі збільшенням деформації.

Ключові слова: магнетна сприйнятливість, аустеніт, мартенсит деформації, істина деформаційна мартенситна точка.

Стаття постуила до редакції 14.12.2010 ; прийнята до друку 15.06.2011.

Вступ

Важливою особливістю аустенітних хромонікелевих криць, які використовують у хемічній промисловості, теплової і атомної енергетиці, є можливість реалізації в них за певних температурно-силових умов мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення. Значна частина промислових нержавіючих криць аустенітного класу метастабільна і в умовах пластичної деформації характеризуються утворенням мартенситу деформації за типом $\gamma \rightarrow \alpha'$, де α' - мартенсит деформації [1, 2].

Як показує велика кількість експериментів в умовах пластичної деформації утворення і накопичення α' -мартенситу розпочинається під час досягнення деяких критичних значень деформацій (напруг). Проте, у різних літературних джерелах навіть для однієї марки криці ці критичні значення деформацій не однозначні у зв'язку з тим, що маленький процент феромагнетної фази і її кластерний характер не дозволяє, як правило, кількісно ідентифікувати цю фазу не тільки електронномікроскопічно, але і магнетним методом, особливо, в діапазоні 0...0,5% в парамагнетному аустеніті. Тому до отриманих результатів в такому інтервалі необхідно ставитися з обережністю [3, 4].

Аналіз визначення магнетним методом вмісту зароджуючого мартенситу деформації в об'ємних відсотках показує, що необхідно враховувати вплив магнетного моменту парамагнетної матриці (аустеніту) на визначення вельми низької кількості феромагнетного мартенситу [5, 6]. Неврахування намагнетованності парамагнетного аустеніту призводить до похибки більше 1000 %, якщо ємність

α -фази складає 0,005 %, 80 % - 0,1 % і лише для вмісту 2,5...3,0% похибка досягає ~ 3% [6].

В даній роботі подані результати експериментальних досліджень магнетного стану аустеніту до і після зародження мартенситу деформації в криці 10X18H9-У.

I. Матеріал і методика експерименту

Для дослідження використовували промислову аустенітну хромонікелеву крицю 10X18H9-У. Хемічний склад досліджуваної криці наведено в таблиці 1.

Для усунення можливих феромагнетних домішок (наприклад, δ -фериту), які змогли б вплинути на чистоту експерименту, проводили аустенізацію криці (відпал при 1050 °С протягом 30 хвилин з наступним загартуванням у воді). Після такої попередньої термообробки вихідна криця була парамагнетна ($\chi_0 = 2.82 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$).

Зразки вирізалися холодним механічним способом у вигляді прямокутних паралелепіпедів розміром 3x3x2 мм³. Для зняття механічних напруг зразки шліфувалися, а потім полірувалися електрехемічним способом. Повільна одностороння пластична деформація на стиснення з боку великих площин здійснювалася на спеціальній лабораторній установці. Ступінь залишкової деформації визначалася за відношенням товщин до і після деформації ($\epsilon = (d_0 - d) / d_0$).

Для визначення вельми низького вмісту мартенситу в об'ємних відсотках використовувався

Таблица 1

Хемічний склад досліджуваної криці 10X18H9-У										
Склад, % за масою										
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	W	N	B	As
0,07	1,6	0,3	0,22	0,03	17,26	9,20	0,06	0,056	0,0016	0,008
	V	Mo	Cu	Ti	Co	Nb	Al	Pb	Sn	Ca
	0,05	0,32	0,29	0,005	0,065	0,01	0,048	0,0013	0,0091	0,0005

інтегральний фізичний метод ідентифікації α -фази [5, 6]. Кількість феромагнетної фази $P_{\alpha'}$ в об'ємних

відсотках визначали за формулою

$$P_{\alpha'} = \frac{\sigma_m}{\sigma_{\alpha'}} \cdot 100\% = \frac{[\chi - \chi_{\infty}] \cdot H}{\sigma_{\alpha'}} \cdot 100\% = \frac{[\chi - (\chi_0 + \chi_p)] \cdot H}{\sigma_{\alpha'}} \cdot 100\%$$

де σ_m – феромагнетна складова питомої намагнетованості насичення зразка; $\sigma_{\alpha'}$ – питома намагнетованість насичення α' -фази; χ – загальна питома магнетна сприйнятливості зразка; χ_{∞} – результуюча питома магнетна сприйнятливості χ_0 парамагнетного аустеніту і χ_p парапроцесу α' -фази зразка: $\chi_{\infty} = \chi_0 + \chi_p$; H – напруженість магнетного поля.

II. Експериментальні результати та їх обговорення

У таблиці 2 наведені результати експериментальних досліджень промислової криці 10X18H9-У (при 20 °С). У вихідному стані ($\varepsilon = 0\%$) питома магнетна сприйнятливості χ аустенізованого зразка складала $2.82 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. З підвищенням ступеня пластичної деформації (стиску) аустеніту в інтервалі $\varepsilon = 0 \dots 2,46\%$ магнетна сприйнятливості χ зростає від 2.82 до $2.98 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (див. табл. 2). В цьому інтервалі деформації не було зафіксовано виникаючої кількості мартенситу деформації (відсутній нахил $\chi(1/H)$, рис. 1). Залежність χ ($H = 4.22 \cdot 10^5 \text{ А/м}$) від ε показана на рис. 2.

При досягненні деформації $\varepsilon = 3.19\%$ вдалося зафіксувати першу порцію виникаючого мартенситу $P_{\alpha'} = 0.005\%$ (див. табл. 2) і наступне збільшення деформації (дії стиснення № 6...19) призводить до накопичення мартенситу $P_{\alpha'} = 0.673\%$ (див. табл. 2 і рис. 3). Природно виникає питання, як буде себе вести парамагнетний аустеніт після зародження і подальшого розвитку мартенситної реакції. Для відповіді на це питання спочатку знайдемо значення χ_{∞} методом екстраполяції [5, 6] прямих № 6...19 на

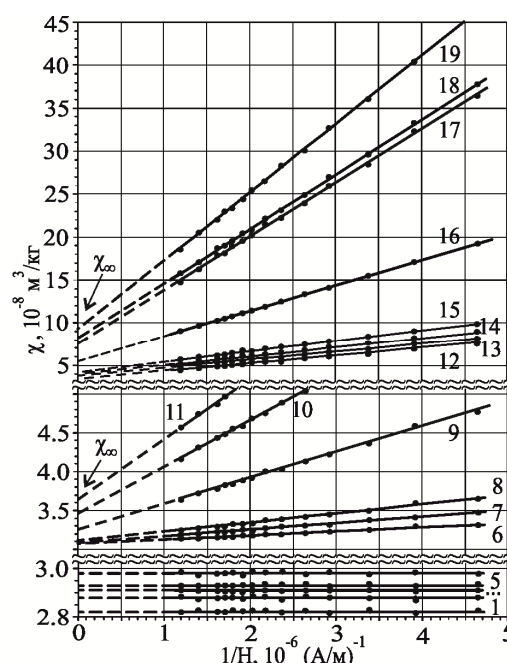


Рис. 1. Залежність $\chi(1/H)$ для різних значень відносного ступеня деформації стиснення ε попередньо повністю аустенізованої криці 10X18H9-У: 1 - 0, 2 - 0.90, 3 - 1.35, 4 - 1.70, 5 - 2.36, 6 - 3.19, 7 - 3.92, 8 - 4.60, 9 - 5.65, 10 - 6.10, 11 - 6.47, 12 - 6.82, 13 - 7.11, 14 - 7.48, 15 - 8.26, 16 - 10.82, 17 - 13.43, 18 - 13.96, 19 - 17.49 %.

вісь χ при $H \rightarrow \infty$ (див. рис. 1) і числові значення яких подані в таблиці 2. Потім з лінійної залежності χ_{∞} від $P_{\alpha'}$ (рис. 4) екстраполяцією $P_{\alpha'} \rightarrow 0$ (відсутній мартенсит деформації) на вісь χ_{∞} , визначаємо для аустеніту величину питомої магнетної сприйнятливості $\chi_0^{\max} = \text{const} = 3.06 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Це максимальне значення залишається незмінним в подальшій деформації, не дивлячись на виникнення і накопичення мартенситу деформації.

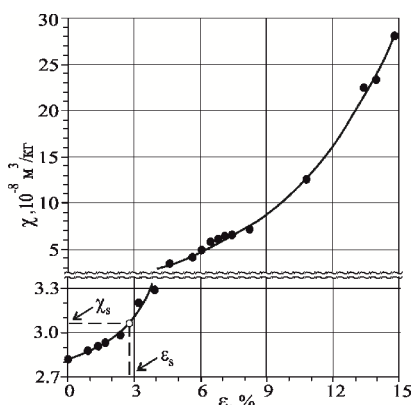


Рис. 2. Залежність питомої магнетної сприйнятливості χ ($H = 4.22 \cdot 10^5$ А/м) від відносного ступеня деформації стиснення ε попередньо повністю аустенизованої криці 10X18N9-У.

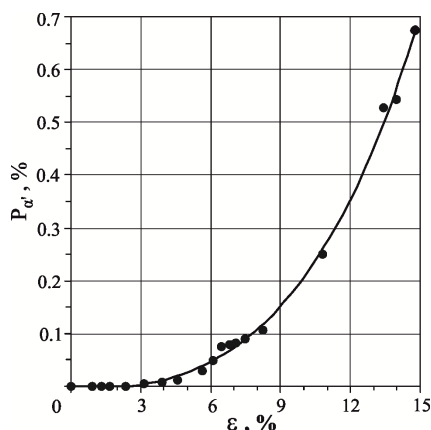


Рис. 3. Залежність кількості виникаючого мартенситу деформації P_{α} від відносного ступеня деформації стиснення ε попередньо повністю аустенизованої криці 10X18N9-У.

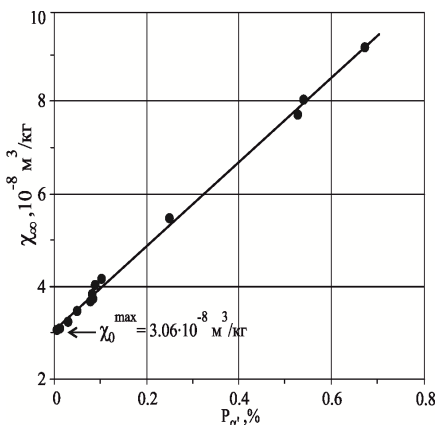


Рис. 4. Залежність результуючої питомої магнетної сприйнятливості χ_{∞} (аустеніту і парапроцеса) попередньо повністю аустенизованої криці 10X18N9-У від кількості мартенситу деформації P_{α} .

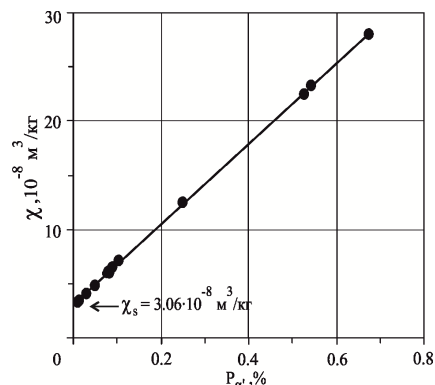


Рис. 5. Залежність питомої магнетної сприйнятливості χ ($H = 4.22 \cdot 10^5$ А/м) від виникаючої кількості мартенситу деформації P_{α} попередньо повністю аустенизованої криці 10X18N9-У.

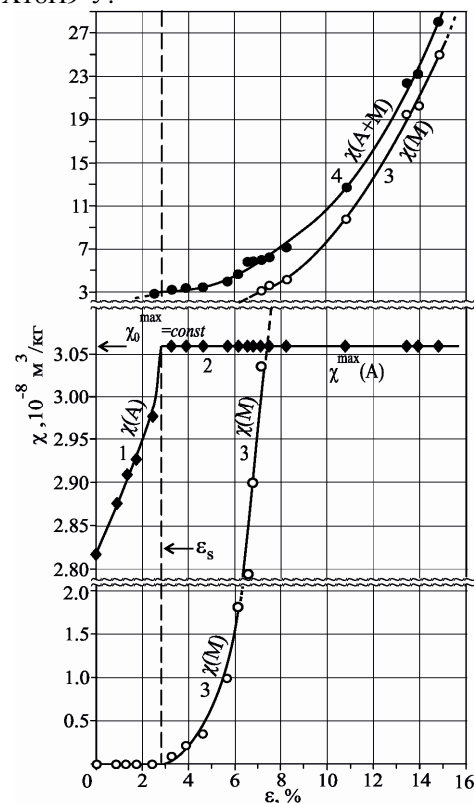


Рис. 6. Залежність питомої магнетної сприйнятливості χ структурнофазових складових попередньо повністю аустенизованої криці 10X18N9-У від деформації стиснення ε . 1 – область зростання парамагнетної сприйнятливості аустеніту до зародження мартенситу деформації; 2 – область постійного максимального парамагнетного стану аустеніту ($\chi_0^{\max} = 3.06 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг} = \text{const}$), в якій виникає і накопичується мартенсит деформації; 3 – зміна питомої магнетної сприйнятливості $\chi(M)$ мартенситу; 4 – зміна результуючої питомої магнетної сприйнятливості $\chi(A+M)$ аустеніту і мартенситу деформації.

Якщо побудувати графічну залежність $\chi = f(P_{\alpha})$ (рис. 5), то методом екстраполяції ($P_{\alpha} \rightarrow 0$) можна знайти чисельне стартове значення

$\chi_s = 3.06 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Звідси слідує, що χ_s є однозначне граничне значення метастабільного стану криці, нижче якого існує тільки аустеніт, вище - аустеніт плюс мартенсит деформації. Як бачимо, значення χ_s збігається з раніше знайденим числовим значенням $\chi_0^{\text{max}} = 3.06 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. Для знаходження відповідної граничної точки ϵ_s відкладемо на ординаті χ (див. рис. 2) значення $\chi_s = 3.06 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, проведемо паралельну пряму вздовж осі ϵ до точки перетину з кривою і опустимо з цієї точки перпендикуляр на вісь ϵ , отримаємо

$\epsilon_s = 2.80\%$. За аналогією до істинної температурної мартенситної точки [7] будемо називати точку ϵ_s істиною деформаційною мартенситною точкою, яка на відміну від критичної області деформації (напруги), є однозначною точкою і представляє границю метастабільного стану: нижче точки ϵ_s існує однофазний стан (аустеніт), вище - двофазний (аустеніт плюс мартенсит деформації).

Проаналізуємо магнетний стан аустеніту до зародження мартенситу деформації. На рис. 6 показана залежність питомої магнетної сприйнятливості χ структурнофазових складових досліджуваної криці від деформації стиснення ϵ у

Таблиця 2

Значення магнетної сприйнятливості і кількості феррофази в залежності від ступеня пластичної деформації стиснення криці 10X18H9-Y

№	$\epsilon, \%$	$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ($H = 4.22 \cdot 10^5 \text{ А/м}$)	$\chi_\infty = \chi_0 + \chi_p,$ $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$		$P_{\alpha'}$, %	$\chi_M = \chi - \chi_0^{\text{max}},$ $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$
			χ_0 А	χ_p		
		А+М				М
1	0.00	2.82	2.82	0.0	0.0	0.0
2	0.90	2.88	2.88	0.0	0.0	0.0
3	1.35	2.91	2.91	0.0	0.0	0.0
4	1.70	2.93	2.93	0.0	0.0	0.0
5	2.36	2.98	2.98	0.0	0.0	0.0
6	3.19	3.20	3.07		0.005	0.14
			3.06	0.01		
7	3.92	3.28	3.08		0.007	0.22
			3.06	0.02		
8	4.60	3.38	3.10		0.010	0.32
			3.06	0.04		
9	5.65	4.06	3.25		0.029	1.00
			3.06	0.19		
10	6.10	4.86	3.47		0.050	1.80
			3.06	0.41		
11	6.47	5.85	3.65		0.078	2.79
			3.06	0.59		
12	6.82	5.96	3.71		0.080	2.90
			3.06	0.65		
13	7.11	6.10	3.82		0.081	3.04
			3.06	0.76		
14	7.48	6.50	4.01		0.089	3.44
			3.06	0.95		
15	8.26	7.08	4.17		0.104	4.02
			3.06	1.11		
16	10.82	12.48	5.48		0.250	9.42
			3.06	2.42		
17	13.43	22.47	7.70		0.527	19.41
			3.06	4.64		
18	13.96	23.23	8.02		0.542	20.17
			3.06	4.96		
19	14.79	28.05	9.15		0.674	24.99
			3.06	6.09		

попередньо повністю аустенізований криці 10X18H9-У.

Як було вказано, що після повільних деформацій №1...5 (див. табл. 2 і рис. 6) магнетна сприйнятливості парамагнетного аустеніту збільшується, тобто χ_0 зростає до постійного максимального значення

$$\chi_0^{\max} = \text{const} = 3.06 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг} \quad (\text{область 1, див.}$$

рис. 6). Зміна магнетного стану аустеніту пов'язано з тим, що пластична деформація змінює дислокаційний і напружений стани кристалічної ґратки аустеніту, тобто внаслідок деформації аустеніту відбувається зміна не тільки атомного, але і магнетного стану.

Розглянемо магнетний стан аустеніту після утворення і наступного накопичення мартенситу деформації. Незмінність парамагнетного стану аустеніту, тобто $\chi_0^{\max} = \text{const}$ (область 2, див. рис.6) у процесі виникнення і наступного розвитку мартенситної реакції можна пояснити збільшенням об'єму мартенситу внаслідок фазового перетворення $\gamma \rightarrow \alpha'$. Зі збільшенням об'єму зменшується густина, тобто виникає розуцільнення. Отже, в такому аустеніті утворення мартенситних кристалів після

кожної дії деформації знімає локальну перенапругу і запобігає його виникнення до наступної дії деформації. Таким чином, чутливим магнетометричним методом, який враховує намагнетованність аустеніту, вдалося встановити поведінку магнетного стану аустеніту в криці 10X18H9-У до і після утворення мартенситу деформації.

Висновки

1. Виявлено границю метастабільного стану криці 10X18H9-У, тобто знайдено істинну деформаційну мартенситну точку ϵ_s , нижче якої існує однофазний стан (аустеніт), вище – двофазний (аустеніт плюс мартенсит деформації).

2. Встановлено ефект зростання магнетної сприйнятливості парамагнетного аустеніту під час деформації до точки ϵ_s і незмінність магнетного стану аустеніту після точки ϵ_s з подальшим розвитком деформаційної мартенситної реакції. .

- [1] И.М. Неклюдов, В.М. Нетесов О некоторых возможных путях влияния на фазовый состав, структуру и свойства аустенитных сталей // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных поврежденных и радиационное материаловедение»*, **88**(5), сс. 164-167 (2005).
- [2] T. Angel. "Formation of Martensite in Austenitic Stainless Steels" // *J. Iron and Steel Institute*, **177**, pp.165-175. (1954).
- [3] О.П. Максимкин, Н.Н. Гусев, И.С. Осипов. Параметры образования мартенситной α' -фазы при деформации нержавеющей сталей, облученных в реакторах АХ ВВРр-К и БН-350 // *Вестник НЯЦ РК*, (3), сс. 12-17 (2007).
- [4] M. Niffenegger, M. Grosse, D. Kalkhof, H. Leber (PSI), A. Vincent, L. Pasco, M. Morin (INSA de Lyon), "Material Characterization of Fatigue Specimens made from Meta-stable Austenitic Stainless Steel", PSI Report No. 03-17. (2003).
- [5] Г.В. Снежной, В.Г. Мищенко, В.Л. Снежной Интегральный физический метод идентификации α' -фазы в аустенитных хромоникелевых сталях // *Литье и металлургия*. **3**(52), сс. 241-244 (2009).
- [6] В.Л. Снежной, Ф.Д. Мирошниченко, В.Г. Каниболоцкий, Г.А. Охромий Влияние магнитного момента парамагнитной матрицы на определение низких содержаний α' -фазы в аустенитных сталях // *ФММ*, **30**(2), сс. 363-366 (1970).
- [7] В.Е. Ольшанецкий, В.Л. Снежной. О физической трактовке мартенситной точки // *ФММ*, **36**(4), сс. 894-896. (1973).

G. V. Snizhnoi

Magnetic State of Austenite in the Early Formation of Deformation Martensite in Steel X10CrNiS189

Zaporizhzhya National Technical University, Zhukovskogo Str. 64, 69063 Zaporizhzhya, Ukraine,
tel. (061) 764-67-33, snow@zntu.edu.ua

In steel X10CrNiS189 before the first portions of martensite deformation increases magnetic susceptibility of paramagnetic austenite, and after - remains stable during the accumulation of martensite with increasing strain was experimentally determined.

Key words: magnetic susceptibility, austenite, martensite deformation, deformation truth martensitic point.