

Г.В. Сніжної¹, С.В. Бобирь²

Магнітний стан аустеніту сталі 08X20H9Г2Б після криогенної обробки

¹Запорізький національний технічний університет, вул. Жуковського 64, Запоріжжя, 69063,
Україна, e-mail: snow@zntu.edu.ua

²Інститут чорної металургії НАН України, пл. ак. Стародубова 1, Дніпропетровськ, 49050

Експериментально знайдені значення питомої магнітної сприйнятливості χ_0 парамагнітного аустеніту, які характеризують ступінь магнітного стану та стабільності до мартенситних перетворень аустенітної хромонікелевої сталі 08X20H9Г2Б. Встановлено залежність між кількістю утвореного мартенситу деформації і зміною питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту. Виявлено вплив криогенної обробки на χ_0 аустеніту.

Ключові слова: аустеніт, мартенсит, магнітна сприйнятливість, криогенна обробка.

Стаття постуила до редакції 03.10.2013; прийнята до друку 15.09.2014.

Вступ

Аустенітну сталь 08X20H9Г2Б застосовують при виготовленні електродів для зварювання відповідальних виробів з корозійно-стійких хромонікелевих сталей, коли до металу шва пред'являють вимоги стійкості до міжкристалітної корозії. Криогенна обробка спрямована на ініціювання центрів кристалізації з подальшим формуванням дрібних і однорідних частинок низькотемпературного мартенситу, що дозволяє поліпшити механічні властивості матеріалів [1] і сприяє підвищенню стійкості до міжкристалітної корозії нержавіючих сталей [2]. Мета роботи: виявити вплив криогенної обробки сталі 08X20H9Г2Б на зміну парамагнітного стану аустеніту. При цьому питома магнітна сприйнятливості χ_0 є чутливим параметром і може використовуватися як високоточний індикатор структурних змін аустеніту, характеризувати особливості впливу температури, тиску на загальний стан і властивості аустенітної фази [3].

I. Матеріал і методика експерименту

Для досліджень використано сталь 08X20H9Г2Б у вигляді дроту діаметром 3 мм і хімічним складом: 0,09 % С, 1,74 % Мп, 1,30 % Si, 0,02 % S, 0,03, % Р, 19,3 % Cr, 9,3 % Ni, 1,02 % Nb. З дроту вирізались стрижні довжиною 5 см, які піддавались криогенній обробці. Криогенна обробка представляла собою контрольоване охолодження в середовищі

газоподібного азоту зі швидкістю 1 °С/хв до температури -185 °С, занурення в рідкий азот, витримка протягом 20 годин, наступному нагріванні на повітрі до температури 250 °С і витримкою при 250 °С протягом 15 хв. Мета криогенної обробки – отримати наноструктурований стан аустеніту, а отже і відповідну атомно-магнітну структуру аустеніту.

Мікроструктуру досліджуваних зразків вивчали на мікроскопі Axiovert 200M MAT. Для магнітометричних досліджень готували зразки у вигляді циліндрів висотою 3 мм. Для зняття поверхневих напружень зразки шліфувалися, а потім електрополірувалися. Залежності питомої магнітної сприйнятливості χ від величини, оберненої магнітному полю H , отримані на автоматизованій установці [4]. Низький вміст феромагнітної фази P_a в об'ємних відсотках визначали аналогічно [5]. Повільну пластичну одновісну деформацію стисненням зразків у початковому стані і після криогенної обробки здійснювали на спеціальній лабораторній установці за кімнатної температури. Ступінь залишкової деформації ϵ розраховували за відношенням товщин до (d_0) і після (d) деформації: $\epsilon = ((d_0-d)/d_0) 100 \%$.

II. Експериментальні результати та їх обговорення

Сталь 08X20H9Г2Б у вихідному стані характеризується дрібним зерном аустенітної матриці (10 ÷ 15 мкм) і незначною кількістю δ -

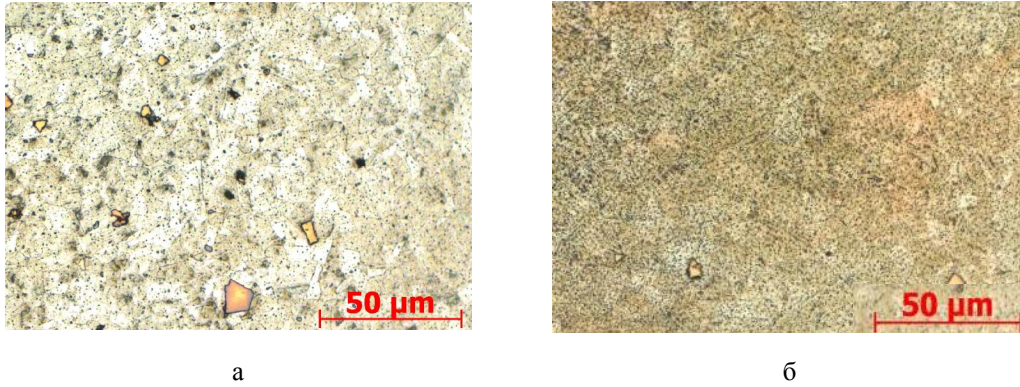


Рис. 1. Мікроструктура сталі 08X20H9Г2Б до (а) і після (б) криогенної обробки.

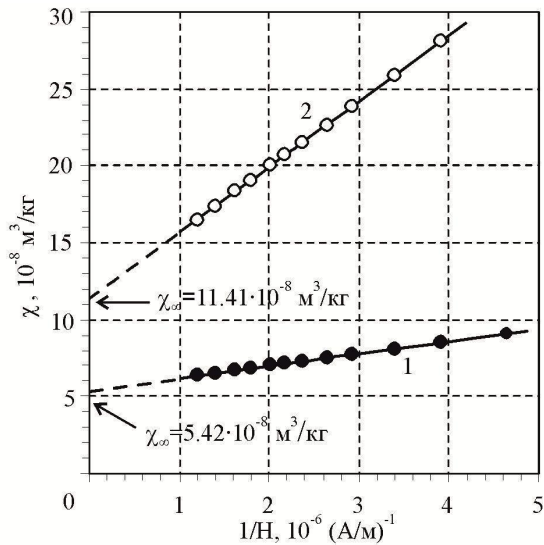


Рис. 2. Залежності питомої магнітної сприйнятливості χ від величини, оберненої напруженості магнітного поля H зразка сталі 08X20H9Г2Б: 1 - в початковому стані; 2 - після криогенної обробки.

фериту, карбідних й інтерметалідних виділень (рис. 1,а).

Криогенна обробка цієї сталі наноструктурує і підвищує однорідність розподілу δ -фериту і інтерметалідних виділень, імовірно, нібія у вигляді дисперсійних частинок розміром $3 \div 10$ мкм у структурі цієї сталі (рис. 1,б).

На рис. 2 наведено експериментальні залежності питомої магнітної сприйнятливості χ до (пряма 1) і після (пряма 2) криогенної обробки одного із зразків сталі 08X20H9Г2Б від величини, оберненої напруженості магнітного поля H . Аналогічні результати отримані й для інших зразків. Нахил прямих свідчить, що досліджуваний зразок сталі до обробки холодом містив феромагнітний δ -ферит $P_\delta = 0,059\%$ (пряма 1, рис. 2) і сумарну кількість δ -фериту P_δ і температурного α -мартенситу $P_{\alpha(T)}$ після холодної обробки: $P_\delta + P_{\alpha(T)} = 0,318\%$ (пряма 2, рис. 2). Звідси випливає, що кількість виникаючого температурного мартенситу $P_{\alpha(T)} = 0,259\%$. Можна зробити висновок, що кількість дисперсних феромагнітних частинок (розміром менше 1 мкм)

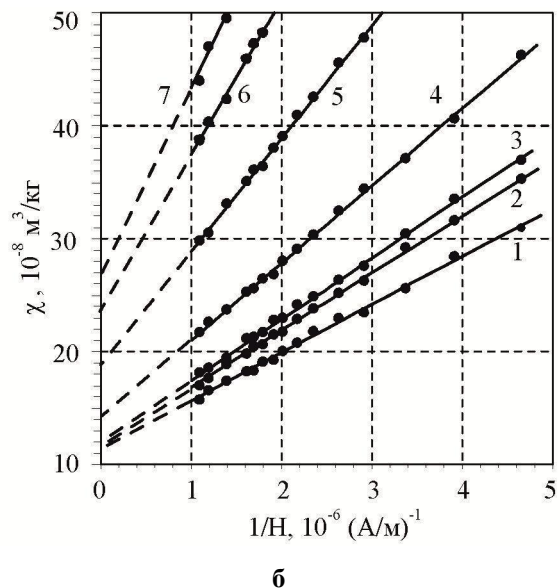
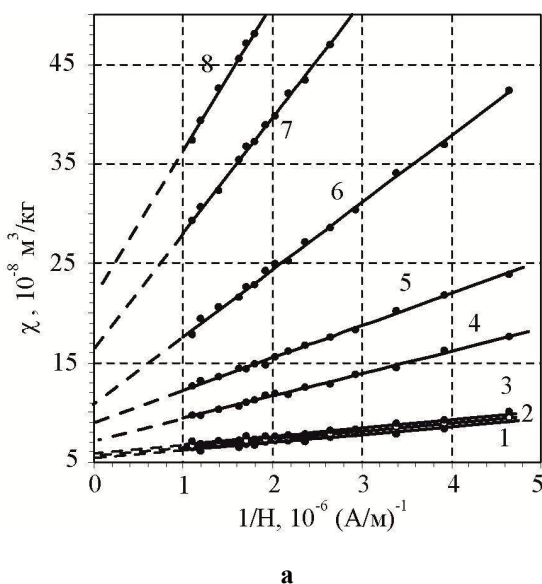


Рис. 3. Залежності питомої магнітної сприйнятливості χ від величини, оберненої напруженості магнітного поля H зразків сталі 08X20H9Г2Б в початковому стані (а) і після криогенної обробки (б) при різних значеннях деформації ε : а) 1 – 0; 2 – 1,02; 3 – 2,04; 4 – 5,10; 5 – 6,53; 6 – 9,05; 7 – 10,84; 8 – 12,04 %; б) 1 – 0; 2 – 1,82; 3 – 2,78; 4 – 5,65; 5 – 7,81; 6 – 9,92; 7 – 10,98 %.

після криогенної обробки істотно збільшилася (див. рис. 1,б). Відбувається дисперсійне зміцнення аустенітної сталі, що й зумовлює підвищення стійкості та міцності [1].

Екстраполюючи ($H \rightarrow \infty$) ці прямі на вісь χ аналогічно [6], знаходили значення результуючої питомої магнітної сприйнятливості $\chi_\infty = \chi_0 + \chi_p$, де χ_0 - питома магнітна сприйнятливості парамагнітного аустеніту, χ_p - питома магнітна сприйнятливості парапроцесної складової ферофази зразка. Результуюча питома сприйнятливості зразка в

початковому стані $\chi_\infty = 5,42 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, а після криогенної обробки значення χ_∞ збільшилось до $\chi_\infty = 11,41 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ (рис. 2).

Потім зразки сталей (до і після криогенної обробки) деформували одноосьовим стисненням і після кожного акту будували залежності питомої магнітної сприйнятливості від величини, оберненої напруженості магнітного поля H (рис. 3). З кожним актом стиснення зростає величина χ і збільшується кут нахилу прямих $\chi(1/H)$, що свідчить про збільшення феромагнітної фази. Значення магнітної сприйнятливості наведено в таблиці 1.

Пластична деформація характеризується фазовим

Таблиця 1

Значення магнітних сприйнятливості в залежності від ступеня пластичної одноосьової деформації стисненням зразків сталі 08X20H9Г2Б в початковому стані (до криогенної обробки) і після криогенної обробки

№	$\varepsilon, \%$	$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ($H = 2,55 \cdot 10^5 \text{ А/м}$)	$\chi, 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ ($H = 4,22 \cdot 10^5 \text{ А/м}$)	$\chi_\infty = \chi_0 + \chi_p, 10^{-8}$ $\text{ м}^3/\text{кг}$	$\chi_0, 10^{-8}$ $\text{ м}^3/\text{кг}$	$\chi_p, 10^{-8}$ $\text{ м}^3/\text{кг}$
Початковий стан						
1	0	8,52	7,29	5,42	5,29	0,13
2	1,02	8,89	7,64	5,73		0,44
3	2,04	9,17	7,89	5,92		0,63
4	5,10	15,96	12,54	7,20		1,91
5	6,53	21,74	16,71	8,03		2,74
6	9,05	33,10	26,87	10,89		5,60
7	10,84	53,20	43,87	16,51		11,22
8	12,04	79,64	56,67	21,60		16,31
Після криогенної обробки						
1	0	28,11	21,49	11,41	10,77	0,64
2	1,82	31,56	23,74	11,80		1,03
3	2,78	33,25	24,84	12,00		1,23
4	5,65	41,04	30,38	14,10		3,33
5	7,81	58,02	42,50	18,80		8,03
6	9,92	78,02	56,20	23,80		13,03
7	10,98	93,40	65,78	27,00		16,23

Таблиця 2

Кількість ферофаз залежно від ступеня пластичної одноосьової деформації стисненням зразків сталі 08X20H9Г2Б в початковому стані (до криогенної обробки) і після криогенної обробки

№	$\varepsilon, \%$	$P_\delta, \%$	$P_{\alpha(T)}, \%$	$P_\alpha = (P_\delta + P_{\alpha(T)} + P_{\alpha'}), \%$	$P_{\alpha'}, \%$
Початковий стан					
1	0	0,059	0	0,059	0
2	1,02			0,060	0,001
3	2,04			0,062	0,003
4	5,10			0,167	0,108
5	6,53			0,261	0,202
6	9,05			0,422	0,363
7	10,84			0,698	0,639
8	12,04			1,104	1,045
Після криогенної обробки					
1	0	0,059	0,259	0,318	0
2	1,82			0,376	0,058
3	2,78			0,404	0,087
4	5,65			0,512	0,195
5	7,81			0,746	0,428
6	9,92			1,031	0,714
7	10,98			1,263	0,945

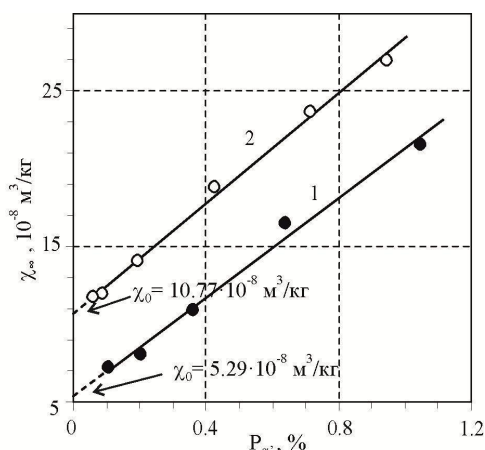


Рис. 4. Залежність результуючої питомої магнітної сприйнятливості χ_{∞} (аустеніту і парапроцесу) зразків сталі 08X20H9Г2Б в початковому стані (пряма 1) і після криогенної обробки (пряма 2) від кількості мартенситу деформації P_{α} .

перетворенням $\gamma \rightarrow \alpha'$, тобто виникненням α' -мартенситу деформації, кількість якого визначалася різницею між сумарною кількістю ферофаз (визначеного після кожного акту деформації) $P_{\alpha} = (P_{\delta} + P_{\alpha(T)} + P_{\alpha'})$ і кількістю ферофаз $P_{\delta} + P_{\alpha(T)}$ в початковому стані (до деформації). Отримані значення наведені в табл. 2.

Важливо було встановити вплив криогенної обробки на величину парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту. Методом екстраполяції, аналогічно [6], із графічної залежності χ_{∞} від $P_{\alpha'}$ (рис. 4) визначили значення питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту: в початковому стані $\chi_0 = 5,29 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, після криогенної обробки значення питомої магнітної сприйнятливості аустеніту збільшилося в два рази до $\chi_0 = 10,77 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, що підвищує схильність до мартенситного перетворення [5]. В [7] показано, що

корозійна стійкість хромонікелевих сталей аустенітного класу визначається структурно чутливим параметром питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту, що враховує результуючий вплив різних факторів на формування стану аустеніту. Величина χ_0 характеризує ступінь стабільності аустеніту за відношенням до мартенситного перетворення: чим менше χ_0 , тим стабільніший аустеніт, і навпаки.

Висновки

1. Експериментально знайдені кількості ферофаз і значення питомої магнітної сприйнятливості χ_0 парамагнітного аустеніту досліджених зразків сталі 08X20H9Г2Б в початковому стані і після криогенної обробки.
2. Виявлено кореляцію між криогенною обробкою і питомою магнітною сприйнятливостю χ_0 аустеніту в сталі 08X20H9Г2Б, а саме, криогенна обробка збільшує значення χ_0 , що зумовлює підвищення схильності до мартенситного перетворення.
3. Криогенна обробка сталі 08X20H9Г2Б наноструктурує і підвищує кількість дисперсних феромагнітних частинок (розміром менше 1 мкм). Відбувається дисперсійне зміцнення аустенітної сталі, що й зумовлює підвищення міцності і стійкості до міжкристалітної корозії.

Сніжною Г.В. - кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри мікро- і нноелектроніки;
Бобирь С.В. - д.т.н., доцент.

- [1] Z.Hong, G. Kaixuan, G. Jia, Materials Science Forum 749, 187 (2013).
- [2] P. Baldissera, C. Delprete, Materials & Design 31(10), 4731 (2010)
- [3] H.V. Snizhnoy, Fyzyka i khimiya tverdogo tila 12(3), 748 (2011).
- [4] H.V. Snizhnoy, Ye.L. Zhavzharov, Zbirnyk Visnyk NTUU "KPI". Radiotekhnika, radioaparaturbuduvannya. 49, 136 (2012).
- [5] H.V. Snezhnoy, S.V. Bobir', Metallofyzika y noveyshye tekhnolohy 34(10), 1355 (2012).
- [6] G.V. Snizhnoi, M.S. Rasshchupkyna, Journal of Iron and Steel Research, International 19(6), 42 (2012).
- [7] H.V. Snizhnoy, Fyzyko-khimichna mekhanika materialiv 49(3), 58 (2013).

G.V. Snizhnoi¹, S.V. Bobyr²

Magnetic State of Austenitic Steel X8CrNiMnNb2092 after Cryogenic Treatment

¹Zaporozhye National Technical University, ul. Zhukovskogo 64, Zaporozhye, 69063, Ukraine, e-mail: snow@zntu.edu.ua
²Institute of Ferrous Metallurgy NAS of Ukraine, pl. acad. Starodubova 1, Dnepropetrovsk, 49050, Ukraine

The specific magnetic susceptibility χ_0 paramagnetic austenite chromium-nickel steel 0 X8CrNiMnNb2092 experimentally found. The value of χ_0 degree of magnetic state and susceptibility to martensitic transformation of austenitic chromium-nickel steel describes. The relationship between the amount of formed martensite deformation and changes in specific magnetic susceptibility χ_0 austenite determined. Effect of cryogenic treatment on the value of χ_0 austenite detected.