

УДК 669.1: 539.538: 539.4.019.3: 537.621.4

Г. В. СНИЖНОЙ

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна.

ВПЛИВ МАГНІТНОГО СТАНУ АУСТЕНІТНОЇ МАТРИЦІ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ AISI 321

Експериментально встановлено, що механічні властивості сталей типу AISI 321 залежать переважно від магнітної природи парамагнітної аустенітної матриці, яка визначається сумою магнітних моментів атомів, що приходяться на одиницю маси (питома намагніченість). Показано, що для слабомагнітної досліджуваної сталі магнітним параметром, за допомогою якого можна визначати поведінку механічних властивостей, може бути парамагнітна питома магнітна сприйнятливість χ_0 . Зі збільшенням χ_0 зменшуються значення механічних властивостей. Передбачається, що наявність низького вмісту P_{α} δ -фериту (0.005 ... 0.5%) побічно впливає на величини механічних властивостей. Показано, що зі збільшенням P_{α} зменшуються числові значення механічних властивостей і навпаки, тобто низький вміст δ -фериту також може бути мірою (індикатором) поведінки механічних властивостей.

Ключові слова: тимчасовий опір розриву, границя текучості, подовження, показник опору деформації Мартена-Воlessa, аустеніт, δ -ферит, питома магнітна сприйнятливість.

Вступ

Сталі типу AISI 321 застосовуються в різних сферах виробництва, у будівельній, автомобільній і авіаційній галузях для виготовлення збірних і зварних конструкцій (наприклад сталь AISI 321 застосовується в авіабудуванні при виготовленні колекторів скидання для авіаційних моторів). Проте, при виробництві різноманітного обладнання ця сталь може піддаватися деформації, яка призводить до фазового $\gamma \rightarrow \alpha'$ перетворення (α' -мартенсит деформації) і звідси змінювати механічні властивості.

Відомо, що вивченню залежності механічних властивостей досліджуваних сталей від хімічного складу, температури, холодної і гарячої деформації, фазового складу та ін. присвячено багато робіт, наприклад, [1, 2]. При цьому порівняно мало досліджень [3, 4], присвячених вивченню кореляційної залежності між механічними і магнітними властивостями, особливо, коли сталь містить низький вміст феромагнітної α -фази або повністю є парамагнітною.

Низький вміст α -фази (δ -ферит або α' -мартенсит деформації) (0.005 ... 0.5% і більше) по суті не може істотно впливати на механічні властивості сталей аустенітного класу. Можна припустити, що одна з причин зміни механічних властивостей криється не в наявності α -фази, а в попередньо сформованій атомно-магнітній природі аустенітної матриці, яка визначається сумою магнітних моментів атомів, що припадають на одиницю маси (пито-

ма намагніченість) і описується зовнішнім параметром - питоною магнітною сприйнятливістю χ_0 аустеніту [5].

Метою роботи є спроба знайти кореляційні залежності механічних властивостей аустенітної хромопелевої сталі AISI 321 від парамагнітного стану аустенітної матриці (параметр χ_0) і з'ясувати роль низького вмісту δ -фериту при визначенні механічних властивостей.

1. Матеріал і методика експерименту

Об'єктом дослідження було обрано п'ять плавок сталі AISI 321. Хімічний склад цих плавок наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваних плавок сталі AISI 321, мас. %

	пл.1	пл.2	пл.3	пл.4	пл.5
C	0.035	0.060	0.064	0.030	0.040
Mn	1.66	1.59	1.22	1.62	1.70
Si	0.54	0.66	0.52	0.41	0.49
S	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001
P	0.026	0.027	0.026	0.028	0.026
Cr	17.10	16.43	17.43	17.41	17.70
Ni	9.10	9.14	9.70	9.24	9.10
Ti	0.32	0.34	0.41	0.31	0.35
N	0.012	0.011	0.012	0.013	0.013

Оскільки низький вміст δ -фериту нерівномірно розподілений за шириною холодновальцьованого

листа товщиною 1 мм [5, 6] то з метою подальшого усереднення отриманих результатів вирізали 7...10 зразків у вигляді паралелепіпедів розміром $\sim 7 \times 3 \times 1$ мм³ з різних місць кожної плавки. Зразки шліфувались, електрополірувались і визначали кількість δ -фериту зразків і питому магнітну сприйнятливості χ_0 аустеніту кожної плавки за методикою, описаною в [7, 8]. Потім обчислювали середній вміст P_α δ -фериту в кожній плавці.

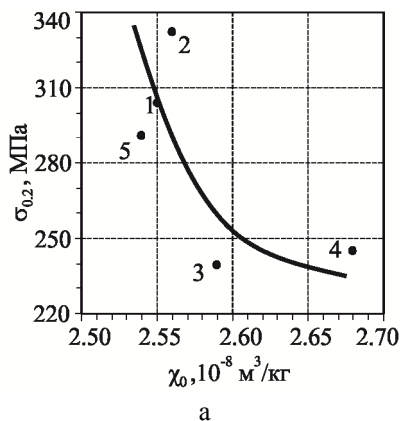
2. Результати та їх обговорення

Значення показників механічних властивостей для тих самих плавок сталі AISI 321 запозичені із роботи [9] і наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення тимчасового опору розриву σ_b , умовної границі текучості $\sigma_{0.2}$, відносного подовження δ , показника пластичності $\Pi = \sigma_b / \sigma_{0.2}$, показника опору деформації Мартена-Воlessa $\Pi_1 = \frac{\sigma_b}{\sigma_{0.2}} \delta$ [9], питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та вмісту P_α δ -фериту досліджуваних плавок сталі

	пл.1	пл.2	пл.3	пл.4	пл.5
σ_b , МПа	615	654	569	582	586
$\sigma_{0.2}$, МПа	304	332	239	245	291
δ , %	69	65	48	55	70
Π	0.494	0.508	0.420	0.421	0.497
Π_1 , %	139.6	128.0	114.3	130.7	141.0
χ_0 , 10^{-8} м ³ /кг	2.55	2.56	2.59	2.68	2.54
P_α , %	0.045	0.16	0.292	0.176	0.036



Щоб наочно уявити картину впливу магнітного стану (структурно-чутливої величини χ_0) аустеніту на механічні властивості, побудуємо залежності σ_b , $\sigma_{0.2}$, δ , Π , Π_1 від питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту та вмісту P_α δ -фериту (усереднені) досліджуваних плавок сталей, які відповідно представлені на рис. 1-5.

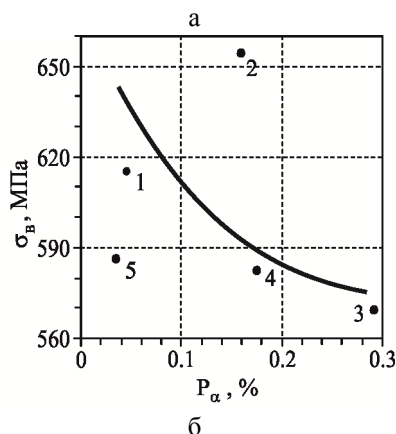
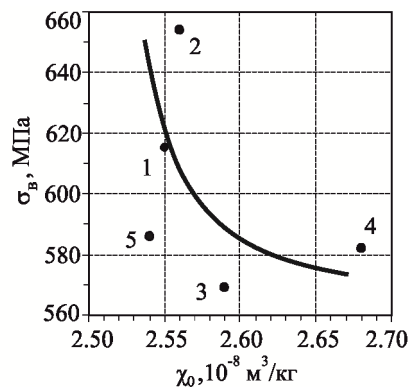


Рис. 1. Залежність тимчасового опору розриву σ_b від питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту (а) і від вмісту P_α δ -фериту (б) сталі AISI 321, (1...5 - номери плавок)

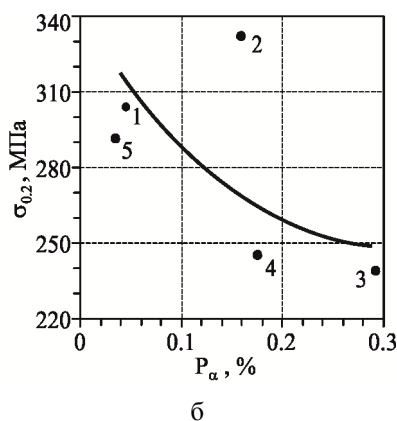


Рис. 2. Залежність умовної границі текучості $\sigma_{0.2}$ від питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту (а) та від вмісту P_α δ -фериту (б) сталі AISI 321, (1...5 - номери плавок)

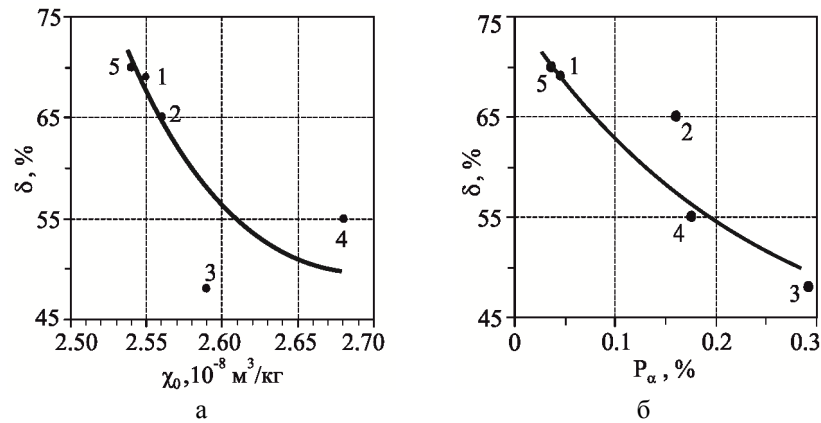


Рис. 3. Залежність відносного подовження δ від питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту (а) та від вмісту P_α δ -фериту (б) сталі AISI 321, (1...5 - номери плавки)

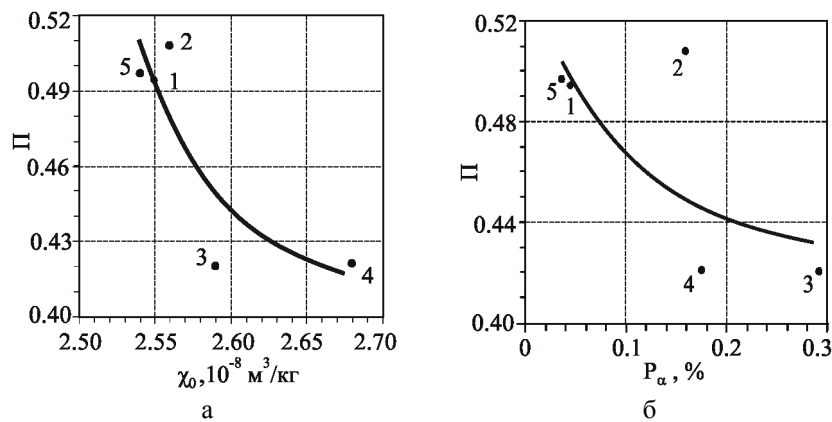


Рис. 4. Залежність показника пластичності Π від питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту (а) та від вмісту P_α δ -фериту (б) сталі AISI 321, (1...5 - номери плавки)

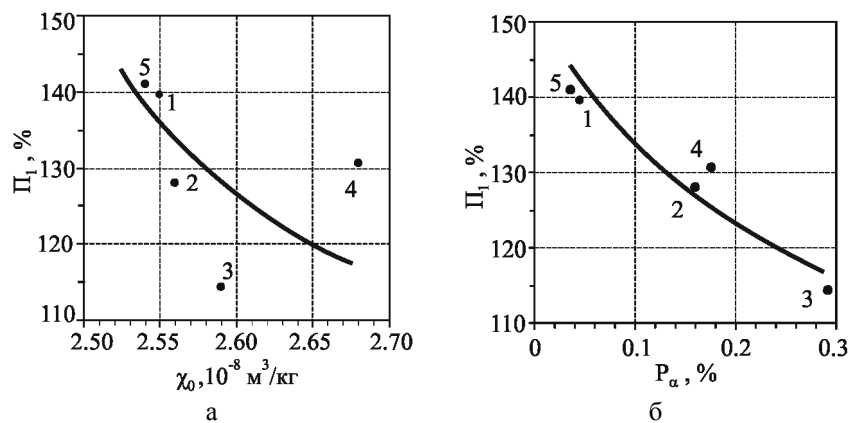


Рис. 5. Залежність показника опору деформації Мартена-Воlessа Π_1 від питомої магнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту (а) та від вмісту P_α δ -фериту (б) сталі AISI 321, (1...5 - номери плавки)

Аналіз одержаних кривих (рис. 1 - 5) показує, що тимчасовий опір розриву σ_b , умовна границя текучості $\sigma_{0.2}$, відносне подовження δ , показник пластичності Π , показник опору деформації Мартена-Воlessа Π_1 зменшуються зі збільшенням питомої магнітної сприйнятливості χ_0 . Відомо, що досліджуваний аустеніт за магнітним станом є парамагне-

тиком, основною макроскопічною магнітною характеристикою якого є вектор намагніченості J , який представляє собою векторну суму нескомпенсованих орбітальних і спінових магнітних моментів P_1

одиниці об'єму V аустеніту: $J = \frac{\sum P_1}{V}$. У зовніш-

ньому магнітному полі H він орієнтується вздовж H . Відомо також, що $J = X \cdot H$, де X - об'ємна безрозмірна магнітна сприйнятливості речовини. Якщо поділити ліву і праву частину рівняння на густину ρ речовини, то одержимо $\sigma = \chi_0 \cdot H$, де σ - питома намагніченість аустеніту, χ_0 - питома магнітна сприйнятливості аустеніту. Із вказаних формул мо-

жна отримати значення для χ_0 : $\chi_0 = \frac{\sum P_i}{m \cdot H}$. Фізич-

но це означає, що χ_0 представляє суму орбітальних і спінових моментів одиниці маси за умови одиничного значення магнітного поля.

Нагадаємо, що для парамагнетиків має місце орієнтаційний ефект – зовнішнє магнітне поле намагастється повернути всі вектори магнітних моментів атомів вдовж напрямку магнітного поля. Для його існування необхідно, щоб електронні оболонки атомів мали некомпенсовані магнітні моменти.

На підставі цього, можливо припустити, що механічні властивості сталі залежать від результуючого орбітального і спінового моменту одиниці маси аустеніту. Це означає, що чим більший цей сумарний магнітний момент, тим більша χ_0 , а значить менші значення механічних властивостей (рис. 1 - 5, а)

Для з'ясування ролі δ -фериту на механічні властивості побудовано експериментальні залежності σ_b , $\sigma_{0.2}$, δ , Π , Π_1 від кількості P_α δ -фериту. Із рис. 1 - 5, б випливає, що наявність δ -фериту впливає на механічні властивості. Однак, вплив на механічні властивості такого низького вмісту δ -фериту (0.005 ... 0.5%) у сталі AISI 321 є сумнівним через малу її кількість.

Для подальшого з'ясування впливу δ -фериту на механічні властивості скористуємося експериментальною залежністю P_α від χ_0 для цих же плавів сталі AISI 321 з роботи [5].

Із рис. 6 випливає, що кількість δ -фериту корелює з питоною магнітною сприйнятливості χ_0 аустеніту, а значить залежить від атомно-магнітного (парамагнітного) стану аустеніту. У досліджуваній сталі кількість δ -фериту перебуває в термодинамічній рівновазі з парамагнітним станом аустеніту, який характеризується параметром χ_0 .

Найменше порушення такого стану аустеніту призводить до зміни кількості δ -фериту в аустенітній матриці. І звідки виникає побічна залежність механічних властивостей (σ_b , $\sigma_{0.2}$, δ , Π , Π_1) від вмісту P_α δ -фериту, який, в свою чергу, залежить від атомно-магнітного (парамагнітного) стану аустеніту, тобто від параметру χ_0 .

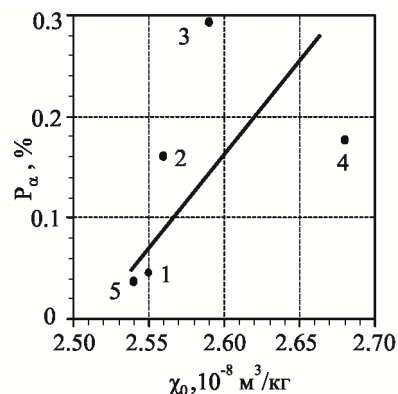


Рис. 6. Залежність кількості P_α δ -фериту від χ_0 сталі AISI 321, (1...5 - номери плавів)

Тому можна припустити, що низький вміст δ -фериту побічно впливає на механічні властивості, тобто є мірою (індикатором) зміни механічних властивостей. Отже зміна механічних властивостей досліджуваної сталі може істотно залежати від атомно-магнітного стану аустенітної матриці, який визначається питоною магнітною сприйнятливості аустеніту.

З іншого боку, зміна значень механічних властивостей може побічно визначатися наявністю низького вмісту δ -фериту в аустенітній матриці: чим більше δ -фериту, тим менші значення механічних властивостей і навпаки. Можна вважати, що наявність низької кількості δ -фериту може бути мірою (індикатором) поведінки механічних властивостей досліджуваної сталі.

Висновки

1. Експериментально встановлено, що механічні властивості аустенітних хромонікелевих сталей залежать від атомно-магнітного стану аустеніту - парамагнетіка, який визначається питоною магнітною сприйнятливості χ_0 : чим більша χ_0 , тим менші значення механічних властивостей і навпаки.

2. Передбачається, що наявність низького вмісту P_α δ -фериту (0.005 ... 0.5%) побічно впливає на зміну механічних властивостей через те, що P_α залежить від χ_0 (із збільшенням χ_0 зростає P_α), а значення механічних властивостей залежать від χ_0 (із збільшенням χ_0 зменшуються значення механічних властивостей). Показано, що зі збільшенням P_α зменшуються значення механічних властивостей (і навпаки), тобто низький вміст δ -фериту також може бути мірою (індикатором) поведінки механічних властивостей аустенітних хромонікелевих сталей.

Література

1. Химушин, Ф. Ф. *Нержавеющие стали* [Текст] / Ф. Ф. Химушин. – М.: Металлургия, 1967. – 798 с.
2. Hans-Jocnen, V. *Mechanische Eigenschaften austenitischer, kohlenstoffarmer Cr-Ni-Stahl* [Text] / V. Hans-Jocnen // *Neue Hütte*. – 1970. – Vol. 15, N 4. – P. 234-237.
3. Putatunda, S. *Mechanical and magnetic properties of a new austenitic structural steel* [Text] / S. Putatunda, S. Unni, G. Lawes // *Materials Science and Engineering*. – 2005. – Vol. A406. – P. 254-260.
4. Снежной, Г. В. *Магнитное состояние аустенитной матрицы и механические свойства высокомарганцевых сталей* [Текст] / Г. В. Снежной, В. Н. Сажнев // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2012. – № 9(96). – С. 115-120.
5. Сніжної, Г. В. *Залежність корозійної поведінки аустенітних хромонікелевих сталей від парамагнітного стану аустеніту* [Текст] / Г. В. Сніжної // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2013. – Т. 49, № 3. – С. 58-62.
6. Снежной, Г. В. *Прогнозирование локальной*

коррозионной стойкости по содержанию α -фазы в хромоникелевых сталях аустенитного класса [Текст] / Г. В. Снежной, В. Г. Мищенко, В. Л. Снежной // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. Сер.: Стародубовские чтения*. – 2012. – С. 409-416.

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

8. Снежной, Г. В. *Контроль количества δ -феррита в сталях типа 18-10 методом определения парапроцессной магнитной восприимчивости* [Текст] / Г. В. Снежной // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 10(87). – С. 22-25.

9. Беліков, С. Б. *Кінетика корозійних процесів сталей AISI 321 та 12X18H10T у нейтральних хлоридовмісних розчинах та швидкість їх корозії* [Текст] / С. Б. Беліков, О. Е. Нарівський // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2011. – № 1. – С. 36-43.

Надійшла до редакції 10.05.2014, розглянута на редколегії 12.06.2014

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. В. В. Погосов, Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО СОСТОЯНИЯ АУСТЕНИТНОЙ МАТРИЦЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ AISI 321

Г. В. Снежной

Экспериментально установлено, что механические свойства сталей типа AISI 321 зависят преимущественно от магнитной природы парамагнитной аустенитной матрицы, определяемой суммой магнитных моментов атомов, приходящихся на единицу массы (удельная намагниченность). Показано, что для слабомагнитной исследуемой стали магнитным параметром, с помощью которого можно определять поведение механических свойств, может быть парамагнитная удельная магнитная восприимчивость χ_0 . С увеличением χ_0 уменьшаются значения механических свойств. Предполагается, что наличие низкого содержания P_α δ -феррита (0.005 ... 0.5%) косвенно влияет на величины механических свойств. Показано, что с увеличением P_α уменьшаются числовые значения механических свойств и наоборот, т.е. низкое содержание δ -феррита также может быть мерой (индикатором) поведения механических свойств.

Ключевые слова: временное сопротивление разрыву, предел текучести, удлинение, показатель сопротивления деформации Мартина-Волеса, аустенит, δ -феррит, удельная магнитная восприимчивость.

INFLUENCE OF MAGNETIC STATE AUSTENITIC MATRIX ON MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL AISI 321

G. V. Snizhnoi

Mechanical properties of steels type AISI 321 mainly depend on the magnetic nature of the paramagnetic austenite matrix observed experimentally. Magnetic nature of the paramagnetic austenite matrix sum of the magnetic moments of atoms per unit mass (specific magnetization) is determined. Magnetic parameter with which you can define the behavior of the mechanical properties of weakly studied steels paramagnetic magnetic susceptibility χ_0 offered. With increasing χ_0 values of the mechanical properties decrease. Low content of P_α δ -ferrite 1 (0.005 ... 0.5%) indirectly affect the magnitude of the mechanical properties, it is assumed. With increasing P_α reduces the numerical values of the mechanical properties, and vice versa, is shown. Low content of δ -ferrite can also be a measure (indicator) behavior of mechanical properties is proposed.

Key words: tensile strength, yield strength, elongation, measure of resistance to deformation Martin - Woles, austenite, δ -ferrite, specific magnetic susceptibility.

Сніжної Геннадій Валентинович - канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри мікро- та наноелектроніки, Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна, e-mail: snow@zntu.edu.ua.