

I СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ. ОПІР РУЙНУВАННЮ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

УДК 669.1:537.621.4:539.374.6

Канд. физ.-мат. наук Г. В. Снежной¹, д-р техн. наук В. Е. Ольшанецкий¹,
канд. физ.-мат. наук В. Л. Снежной²

¹ Запорожский национальный технический университет, ² Запорожский национальный университет;
г. Запорожье

О ВИДАХ И ГРАНИЦАХ СОСТОЯНИЙ СТАБИЛЬНОГО И НЕСТАБИЛЬНОГО АУСТЕНИТА Fe-Cr-Ni СТАЛЕЙ

Предложена магнитометрическая диаграмма, позволяющая установить области нестабильного и относительно стабильного аустенита в хромоникелевых сталях. Для получения информации, касающейся вопросов его стабильности, использован высокоточный метод определения универсального критерия парамагнетизма аустенита (удельная магнитная восприимчивость χ_0) с учетом перераспределения атомов хрома и никеля при образовании ферритной фазы. Сделана попытка объяснить экстремальное изменение параметра χ_0 в зависимости от содержания никеля в аустенитной фазе.

Ключевые слова: нестабильный и относительно стабильный аустенит, никель, магнитная восприимчивость, феррит.

Введение

Известно, что основной структурной составляющей Fe-Cr-Ni сталей является аустенит, который условно разделяют без указания соответствующих границ на нестабильный, умеренно нестабильный и стабильный [1–3]. Многие исследователи в качестве критерия стабильности деформированных (20–30 %) аустенитных нержавеющих сталей принимают отсутствие $\gamma \rightarrow M$ превращения при комнатной температуре [4]. Например, при пластической деформации 15–20 % в стали 12X18H9T повышается интенсивность магнитного насыщения, что указывает на образование мартенсита и свидетельствует о неустойчивости аустенита данной стали к фазовым переходам [5]. Изучению фазовых превращений в аустенитных хромоникелевых сталях магнитными методами посвящено много работ, например [6–8]. Неустойчивость аустенита и изменение парамагнитного состояния аустенита (мерой которого является удельная магнитная восприимчивость χ_0) рассматривалось при воздействии температурно-силовых факторов в работах [6, 7, 9, 10–12]. Однако сами вопросы стабильности и нестабильности аустенита, а также существование их границ все еще недостаточно изучены (в литературе практически отсутствует подобная информация). Поэтому представляет интерес более детально разобраться в этих вопросах.

Цель настоящей работы: попытаться обобщить и систематизировать эти проблемные вопросы и, используя новые экспериментальные данные, выявить границу, разделяющую состояния стабильности и нестабильности аустенита в Fe-Cr-Ni сталях при комнатной температуре в зависимости от содержания никеля.

Эксперименты и результаты, их обсуждение

Опыты проводили на образцах аустенитных хромоникелевых сталей четырех групп. К первой группе относили трубные заготовки промышленного производства $\varnothing 110 \dots 170$ мм. Вторую группу составляли опытные стали, полученные в литейной лаборатории Запорожского национального технического университета. В третью группу входили промышленные стержни диаметром 4 мм, применяемые для сварочных электродов. К четвертой группе принадлежали стали, подтверждающие предложенную в данной работе магнитометрическую диаграмму стабильности и нестабильности аустенита при комнатной температуре в зависимости от содержания никеля.

Химический состав всех групп сталей приведен в таблице 1. Количественное содержание P_α феррита и мартенсита в объемных процентах и удельную парамагнитную восприимчивость χ_0 аустенита определяли по методикам [13–15].

Таблица 1 –Химический состав исследованных Fe-Cr-Ni сталей (% масс.)

№ плавки	Марка стали	Группы сталей	Состав, масс, %					
			C	Cr	Ni	Ti	Mn	Si
1	09X18H9T	I группа	0,09	17,90	8,50	0,58	1,46	0,43
2	08X18H9T		0,08	17,30	8,85	0,53	1,30	0,40
3	11X18H10T		0,11	17,20	9,80	0,56	1,29	0,44
4	10X18H10T		0,10	17,50	10,65	0,48	1,26	0,36
5	05X18H10T		0,05	17,64	10,97	0,36	1,52	0,42
6	10X18H12T		0,10	17,90	11,20	0,48	1,35	0,55
7	08X17H8T	II группа	0,08	16,5	7,52	0,45	0,96	1,20
8	10X17H9T		0,10	17,1	8,57	0,46	1,12	1,21
9	11X17H11T		0,11	16,6	10,63	0,48	0,97	1,25
10	10X17H12T		0,10	16,7	11,99	0,45	0,95	1,18
11	07X17H13T		0,07	16,8	13,15	0,47	1,15	1,15
12	09X17H15T		0,09	16,5	14,47	0,45	1,03	1,22
13	10X17H16T	0,10	16,6	15,76	0,46	0,98	1,20	
14	08X16H26	III группа	0,08	15,084	26,38	0,014	1,19	0,52
15	25X14H34T		0,245	13,82	34,0	0,439	0,77	0,477
16	10X23H18	IV группа	0,10	22,6	18,70	–	0,94	0,44
17	10X16H13		0,13	15,83	13,70	–	1,37	1,07
18	14X17H18		0,14	16,808	17,770	–	1,48	1,18
19	12X15H16		0,12	14,874	15,541	–	1,57	0,95
20	12X18H9T		0,12	17,854	9,420	0,252	1,316	0,250
21	12X18H10T		0,12	18,089	10,463	0,460	1,582	0,304
22	12X18H10T	0,12	17,797	10,867	0,486	1,505	0,304	

Далее рассмотрим особенности проведения экспериментальных исследований. В I группе сталей образцы размером $\sim 2 \times 2 \times 2$ мм³ вырезали из трубных заготовок, а затем проводили их химическое травление для снятия поверхностных напряжений. Затем образцы использовали для магнитометрических измерений [13, 14]. Для подобного рода исследований из сталей II группы вырезали образцы размером $\sim 3 \times 3 \times 3$ мм³ из середины закаленных слитков, предварительно нагретых до 1050 °С, с выдержкой 30 мин, а затем закаленных в воду. Стали I и II группы соответственно были близки по содержанию хрома и других элементов, т.е. плавки I и II группы подбирались так, чтобы такие элементы, как C, Cr, Ti, Mn, Si содержались в сталях примерно в одинаковых количествах.

К сталям III группы относились промышленные стержни с повышенным содержанием никеля. Высота вырезанных образцов из этих сталей составляла ~ 3 мм. Промышленные стали IV группы служили объектом экспериментальной проверки предложенной в данной работе магнитометрической диаграммы стабильности

и нестабильности аустенитных Fe-Cr-Ni сталей. В табл. 2 приведены найденные исходные значения количеств P_α феррита и удельной магнитной восприимчивости χ_0 аустенита при изменении содержания никеля при комнатной температуре.

На рис. 1 представлена магнитометрическая диаграмма, полученная на основании проведенных исследований и дающая, на наш взгляд, достаточно полную характеристику, касающуюся областей неустойчивого и устойчивого аустенита. На графике (см. рис. 1) в точке O (минимум приведенной зависимости), соответствующей содержанию никеля $11,0 \pm 0,5$ % масс. %, отложе-

на граничная относительная величина $\eta_{cp} = \left(\frac{n_{Ni}}{n_{Fe}} \right)$ в

условных единицах, где n_{Ni} – атомная концентрация в стали никеля, n_{Fe} – железа. Согласно диаграмме, можно наблюдать возрастание χ_0 по обе стороны минимального значения этого параметра (точка O на диаграмме). Такое разное поведение зависимости функции

$\chi_0 = f(\eta_{sp})$ можна спробувати пояснити тим, що стали лівий «ветви» являються двухфазними (А+Ф), що посилює парамагнетизм аустенита (χ_0 зростає) з відносним збільшенням вмісту нікелю в останньому [16]. При цьому з збільшенням кількості феррита (від 0,03 % до 4, 20 %) від точки О до точки В зростає удільна магнітна вразливість χ_0 аустенита (від $2,80 \cdot 10^{-8}$ до $44,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$). По суті крива ОВ характеризує плавний перехід А→Ф з зниженням вмісту нікелю від точки О до точки В (збільшенням кількості феррита). Тому на основі робіт [17, 18] можна передбачити, що зростання χ_0 на ділянці ОВ зумовлено поступовим переходом до домінуючого ферромагнітного взаємодію між сусідніми атомами аустенита і дальнього антиферромагнітного.

В однофазній області (права частина діаграми) від точки О до точки С значення χ_0 також збільшуються. Точки 14 і 16 (номери відповідають табл. 3) лежать

в зоні практичного відсутності поліморфного перетворення аустенита.

Ураховуючи низьку розчинність нікелю в ферриті, можна вважати, що при його утворенні в аустеніті змінюється співвідношення атомів заліза і нікелю на користь нікелю (через відведення значущої кількості атомів заліза в атомну структуру феррита в процесі фазового переходу). Це, природно, веде до збільшення χ_0 аустенита, оскільки в ньому зростає кількість елемента, на початку являючись носієм ферромагнетизму. Таке збільшення вмісту нікелю в аустеніті досягає максимуму при збільшенні загального вмісту хрому в ферритній масі [16]. Що стосується правої частини діаграми на рис. 1, то при повному відсутстві феррита зростання χ_0 прямо пов'язано з збільшенням кількості атомів нікелю, який за природою є ферромагнетиком, і в результаті цього аустенітна фаза набуває схильності до посилення парамагнітного стану.

Таблиця 2 – Значення χ_0 , кількості феррита P_α і вмісту нікелю в досліджуваних сталях

№ п/п	Марка сталі	Групи сталей	Вміст Ni, %	Кількість феррита P_α , %	Удільна магнітна вразливість χ_0 аустенита, $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$
1	09X18H9T	I група	8,50	3,60	15,0
2	08X18H9T		8,85	3,10	10,0
3	11X18H10T		9,80	1,12	6,1
4	10X18H10T		10,65	0,33	4,00
5	05X18H10T		10,97	0,09	3,20
6	10X18H12T		11,20	0,00	2,80
7	08X17H8T	II група	7,52	4,20	44,9
8	10X17H9T		8,57	0,34	14,0
9	11X17H11T		10,63	0,03	3,8
10	10X17H12T		11,99	0,00	3,05
11	07X17H13T		13,15	0,00	3,25
12	09X17H15T		14,47	0,00	3,61
13	10X17H16T	15,76	0,00	4,00	
14	08X16H26	III група	26,38	0,00	4,64
15	25X14H34		34,0	0,00	14,26
16	10X23H18	IV група	18,70	0,00	3,3
17	10X16H13		13,70	0,00	3,58
18	14X17H18		17,770	0,00	4,45
19	12X15H16		15,541	0,00	3,75
20	12X18H10T		9,420	0,078	2,39
21	12X18H10T		10,463	0,00	3,27
22	12X18H10T		10,867	0,00	3,32

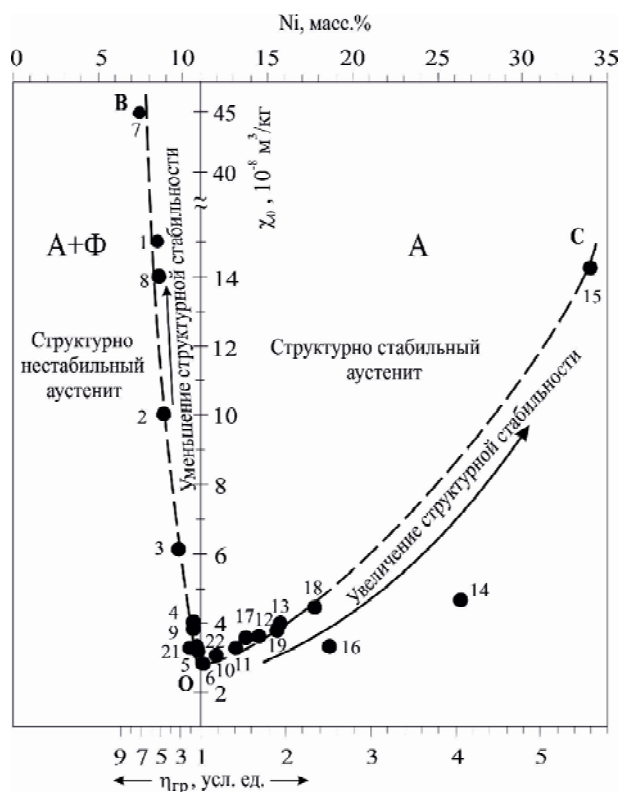


Рис. 1. Магнитометрическая диаграмма видов и границ стабильности и нестабильности аустенита Fe-Cr-Ni сталей при комнатной температуре в зависимости от содержания никеля (масс. %) и соотношения атомных концентраций никеля и железа η_{gr} в стали. Верхняя часть кривой OB – более структурно нестабильный, а нижняя – менее структурно нестабильный аустенит. Нижняя часть кривой OC – менее стабильный, а верхняя – более стабильный аустенит. Точки соответствуют номерам табл. 2

В работах [3, 6, 9–12, 18–24, 26–28] установлено, что при пластической деформации сжатием положение истинной деформационной мартенситной точки M_d зависит от парамагнитного состояния аустенита, которое описывается удельной магнитной восприимчивостью χ_0 и которая, в свою очередь, зависит от содержания никеля (см. табл. 2). Смещение этой точки M_d в сторону возрастания указывает на повышение стабильности аустенита. Следовательно, по значениям χ_0 можно оценивать степень структурной стабильности и нестабильности аустенитных хромоникелевых сталей.

Доказательством справедливости предложенной магнитометрической диаграммы могут служить экспериментальные данные, полученные в работах [3, 6, 10–12, 19, 21, 23–25]. В табл. 3 представлены значения исходной удельной парамагнитной восприимчивости χ_0 аустенита, стартовой магнитной восприимчивости χ_s при зарождении мартенсита деформации, значения количеств феррита P_α , а также показаны истинные деформационные мартенситные точки M_d сталей в зависимости от содержания никеля при комнатной температуре.

Для наглядности последняя зависимость показана на рис. 2. Как видим, с увеличением χ_0 возрастают значения деформационных мартенситных точек M_d

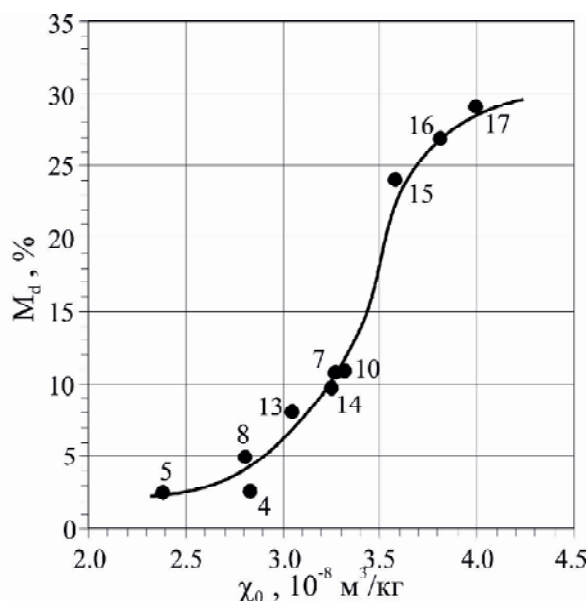


Рис. 2. Зависимость истинной деформационной мартенситной точки M_d от удельной магнитной восприимчивости аустенита χ_0 Fe-Cr-Ni сталей [3, 6, 10, 11, 21, 24, 25] (точки соответствуют номерам табл. 3)

Отметим, что график рис. 2 относится к правой «ветви» диаграммы (см. рис. 1), в которой практически отсутствует ферритная фаза. Таким образом, стали, имеющие весьма низкое содержание феррита ($\sim < 0,1\%$), не нарушают поведение χ_0 в начальной стадии правой «ветви» диаграммы. Это объясняется тем, что при содержании феррита 0,06–0,08 % магнитные моменты феррита и аустенита в образце равны [14]. В нашем случае, для образцов (точки 4 и 5, см. табл. 3), содержащих количество феррита $P_\alpha = 0,06\%$ и $0,078\%$ соответственно, лежат в районе этого интервала, что позволяет пренебречь незначительным содержанием феррита и такие стали считать практически парамагнитными.

Следовательно, повышение положения истинных мартенситных точек M_d для сталей, соответствующих граничному и большему содержанию никеля, подтверждает достоверность предложенной диаграммы, касающейся видов и границ состояний относительно стабильных и нестабильных Fe-Cr-Ni сталей.

На рис. 3 показано возрастание положения точки M_d с увеличением содержания никеля для сталей, соответствующих правой «ветви» диаграммы, что подтверждает повышение их стабильности с увеличением параметра χ_0 .

Из кривой зависимости P_α от концентрации никеля (рис. 4) следует, что содержание никеля $\sim 11\%$ подтверждает границу раздела сталей, содержащих и не содержащих феррит. Это совпадает с граничным содержанием никеля на предложенной диаграмме рис. 1.

Таблиця 3 – Значення χ_0 , кількість феррита P_α , істинних деформаційних мартенситних точок M_d , стартової магнітної восприимчивості χ_s в залежності від вмісту нікеля

№	Марка сталі	Содержание нікеля, %	$\chi_s, 10^{-8}$ м ³ /кг	$M_d, \%$	$\chi_0, 10^{-8}$ м ³ /кг	$P_\alpha, \%$	Источник
1	08X17H8T	7,52	–	–	44,9	4,20	*
2	09X18H9T	8,50	–	–	15,0	3,60	[23]
3	08X18H9T	8,85	–	–	10,0	3,10	[23]
4	102X18H9-У	9,20	3,06	2,8	2,82	0,06	[24]
5	12X18H10T	9,42	8,5	2,40	2,39	0,078	[25]
6	X18H10	9,80	–	–	6,1	1,12	[23]
7	12X18H10T	10,463	3,94	10,73	3,27	0,00	[21]
8	08X18H10T	10,567	3,23	4,85	2,81	0,00	[11]
9	10 X18H10T	10,65	–	–	4,00	0,33	[23]
10	12X18H10T	10,867	4,6	10,90	3,32	0,00	[10]
11	05X18H10T	10,97	–	–	3,20	0,09	[23]
12	10X18H12T	11,20	–	–	2,8	0,00	[12]
13	10X17H12T	11,99	3,05	7,95	3,05	0,00	[6]
14	07X17H13T	13,15	3,25	9,73	3,25	0,00	[6]
15	10X18H13	13,70	3,83	23,98	3,58	0,00	[3]
16	09X17H13T	14,47	3,61	26,9	3,81	0,00	[6]
17	10X17H16T	15,76	4,5	29,0	4,00	0,00	[6]
18	14X17H18	17,77	–	>67	4,45	0,00	[19]
19	10X23H18	18,7	–	>56	3,30	0,00	[3]

* - измерения и расчеты, выполненные по методике [13]

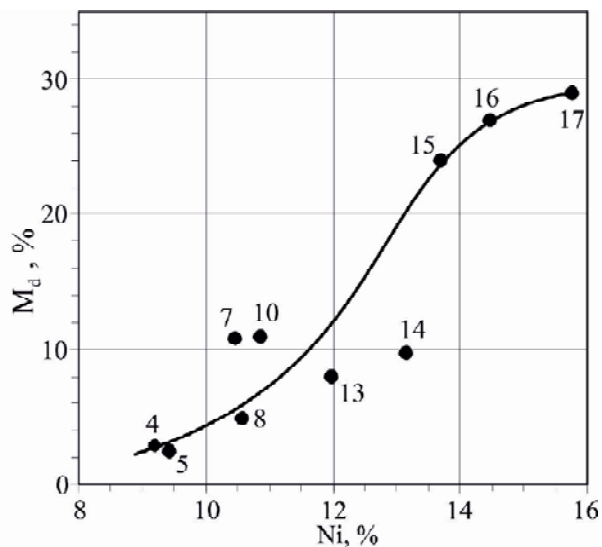


Рис. 3. Залежність істинної деформаційної мартенситної точки M_d від вмісту нікеля в Fe-Cr-Ni сталях [3, 6, 10–12, 21, 23–25] (точки відповідають номерам табл. 3)

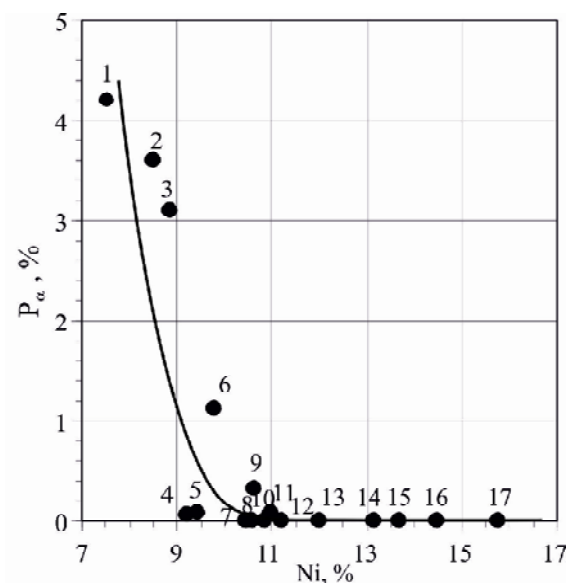


Рис. 4. Залежність кількості феррита P_α від вмісту нікеля в Fe-Cr-Ni сталях (точки відповідають номерам табл. 3)

Тот факт, что с увеличением степени деформации аустенитных сталей повышается количество мартенситных фаз (ϵ и α'), можно попытаться объяснить тем, что с повышением внутренних напряжений (при деформации сжатием и увеличении содержания никеля) возрастает энергия дефектов упаковки (рис. 5). Это не позволяет «захлопываться» большим вакансионным дискам с образованием их дефектов упаковки гексагонального типа. Поскольку, как считается, в условиях пластической деформации, в нашем случае сжатием, α' -мартенсит образуется преимущественно на ϵ -мартенсите, «подкладка» которого является дефектом упаковки указанного типа. Это, скорее всего, и объясняет причину повышенной структурной стабильности аустенита в этих сталях с повышенным содержанием никеля (рис. 5).

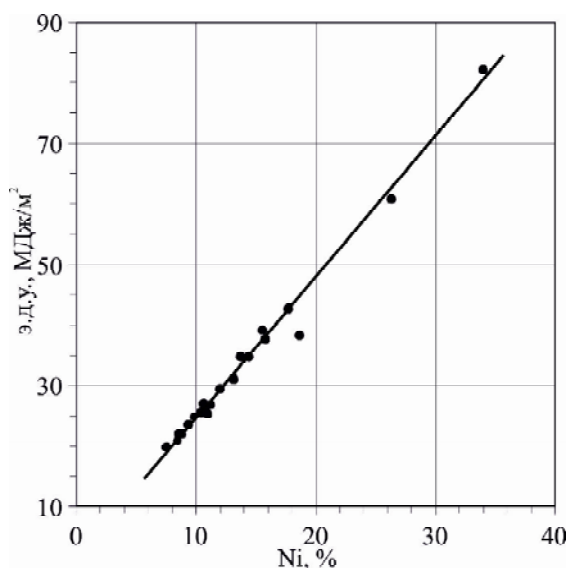


Рис. 5. Зависимость энергии дефектов упаковки от содержания никеля в Fe-Cr-Ni сталях (расчет выполнен по формуле, приведенной в [29])

Выводы

1. Показано, что нестабильность аустенита присуща сталям, содержащим феррит, а относительная стабильность – не содержащих или содержащих весьма низкое количество ферритной фазы.

2. Установлена условная граница содержания никеля ($11,0 \pm 0,5\%$) при переходе от структурно нестабильных к стабильным аустенитным Fe-Cr-Ni сталям.

3. Предложена магнитометрическая диаграмма видов и степени стабильных и нестабильных аустенитных хромоникелевых сталей, основанная на зависимости удельной парамагнитной восприимчивости аустенита от содержания никеля при комнатной температуре.

Список литературы

1. Малинов Л. С. Ресурсосбережение за счет применения экономно-легированных сплавов и упрочняющих технологий, обеспечивающих получения многофазных ме-

тастабильных структур и управление структурными и фазовыми превращениями (обзор) / Л. С. Малинов, В. Л. Малинов // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2011. – №1. – С. 93–105.

2. Чейлях А. П. Возможности создания метастабильных состояний аустенита в сплавах на основе железа / А. П. Чейлях // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2002. – № 2. – С. 31–34.
3. Ольшанецкий В. Е. О формировании двух типов мартенситных фаз при пластической деформации аустенитной хромоникелевой стали / В. Е. Ольшанецкий, Г. В. Снежной // Физика и техника высоких давлений. – 2013. – Т. 23. – № 2. – С. 78–87.
4. Каховский Н. И. Сварка нержавеющей сталей / Каховский Н. И. – К. : Техніка, 1968. – 312 с.
5. Гуляев А. П. Нержавеющие хромомарганцевоникельзотистые стали с титаном, ниобием и молибденом / А. П. Гуляев, Ю. С. Медведев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1962. – № 2. – 21 с.
6. Ольшанецкий В. Е. О структурной и магнитной стабильности аустенита в хромоникелевых и марганцевых сплавах при холодной деформации / В. Е. Ольшанецкий, Г. В. Снежной, В. Н. Сажнев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2015. – № 1.
7. Применение магнитных методов для исследования эволюции структуры в аустенитных нержавеющей сталях после длительной эксплуатации энергоблоков на АЭС / [В. А. Десненко, Л. С. Ожигов, Ж. С. Ажажа и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение». – 2009. – №4 (2). – С. 241–246.
8. Влияние состава и температуры на перераспределение легирующих элементов в процессе холодной деформации Fe-Cr-Ni сплавов / [А. И. Дерягин, В. А. Завалишин, В. В. Сагарадзе, и др.] // ФММ. – 2008. – Т. 106. – № 3. – С. 301–311.
9. Фазовые превращения в хромоникелевых сталях 18-10 со стабильным и нестабильным аустенитом / Г. В. Снежной, В. Г. Мищенко, В. Л. Снежной // Сб. научных трудов «Стародубовские чтения 2011». Серия «Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2011. – С. 641–647.
10. Сніжної Г. В. Зародження мартенситу деформації в хромонікелевих сталях аустенітного класу / Г. В. Сніжної // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2011. – Т. 47. – № 3. – С. 84–89.
11. Snizhnoi G.V. Magnetic state of the deformed austenite before and after martensite nucleation in austenitic stainless steels / G. V. Snizhnoi, M. S. Rasshchupkyna // Journal of Iron and Steel Research, International. – 2012. – Vol. 19. – № 6. – P. 42–46.
12. Сніжної Г. В. Залежність магнетованости аустеніту від концентрації нікю в структурно нестабільних корозійностійких крицях / Г. В. Сніжної, В. Г. Міщенко, В. Л. Сніжної // Металлофізика і новітні технології. – 2010. – Т. 32. – № 3. – С. 281–287.
13. 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.
14. 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. – № 2. – С. 363–366.
15. Ольшанецкий В. Е. О физической трактовке мартенситной точки / В. Е. Ольшанецкий, В. Л. Снежной // ФММ. – 1973. – Т. 36. – № 4. – С. 894–896.
 16. Снежной В. Л. Определение низких содержаний альфа-фазы в аустенитных хромоникелевых сталях и влияние магнитного поля на $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение : дис. ... кандидата физ.-матем. наук : 046 – физика твердого тела / Снежной Валентин Лукьянович / Днепропетровск, 1968. – 130 с.
 17. Ромашев Л. Н. Изменение магнитных свойств стали вблизи мартенситной точки / Л. Н. Ромашев, Л. Д. Ворончихин, И. Г. Факиров // ФММ. – 1973. – Т. 36. – № 2. – С. 291–294.
 18. Снежной Г. В. Эволюция магнитного состояния аустенита при холодной пластической деформации аустенитных хромоникелевых сталей / Г. В. Снежной, В. Г. Мищенко, В. Л. Снежной // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2014. – № 2. – С. 20–25.
 19. Снежной Г. В. Зарождение первых порций ϵ - и γ' -мартенситов деформации в аустенитных хромоникелевых сталях / Г. В. Снежной, В. Г. Мищенко, В. Л. Снежной // Сб. научных трудов «Стародубовские чтения 2015». Серия «Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2015. – С. 307–313.
 20. Ольшанецкий В. Е. Об особенностях развития мартенситных превращений в никель содержащих аустенитных сталях при деформации сжатием / В. Е. Ольшанецкий, Г. В. Снежной // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2013. – № 2. – С. 20–25.
 21. Снежной Г. В. Магнитное состояние аустенита вблизи истинной деформационной мартенситной точки хромоникелевых сталей аустенитного класса / Г. В. Снежной // ФММ. – 2011. – Т. 111. – № 6. – С. 599–604.
 22. Снежной Г. В. О возможности классификации по магнитному состоянию степени стабильности аустенитных Fe-Cr-Ni сталей / Г. В. Снежной, В. Г. Мищенко, В. Л. Снежной // Сб. научных трудов «Стародубовские чтения 2014». Серия «Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2014. – Вып. 73. – С. 102–106.
 23. Снежной Г. В. Контроль количества d -феррита в сталях типа 18–10 методом определения парапроцессной магнитной восприимчивости / Г. В. Снежной // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 10 (87). – С. 22–25.
 24. Сніжної Г. В. Магнетна поведінка аустеніту на початку утворення мартенситу деформації в криці 10X18H9-Y / Г. В. Сніжної // Фізика і хімія твердого тіла. – 2011. – Т. 12. – № 3. – С. 748–752.
 25. Снежной Г. В. О возможности контроля малых деформаций аустенитных хромоникелевых сталей магнитометрическим методом / Г. В. Снежной // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 9(76). – С. 131–135.
 26. Сніжної Г. В. Магнітний стан аустеніту сталі 08X20H9Г2Б після криогенної обробки / Г. В. Сніжної, С. В. Бобирь // Фізика і хімія твердого тіла. – 2014. – Т. 15. – № 4. – С. 814–817.
 27. Ольшанецкий В. Е. О высокоточной оценке истинных мартенситных точек в специальных сталях аустенитного и аустенитно-мартенситного классов при изменении температурно-силовых факторов / В. Е. Ольшанецкий, Г. В. Снежной // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2012. – № 1. – С. 15–21.
 28. Снежной Г. В. О структурной и магнитной стабильности аустенита / Г. В. Снежной, В. Е. Ольшанецкий, В. Н. Сажнев // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2014. – № 1. – С. 36–40.
 29. Gholizadeh H. The influence of interstitial carbon on the γ -surface in austenite / H. Gholizadeh, C. Draxl, P. Puschnig // Acta Materialia. – 2013. – Т. 61. – С. 341–349.

Одержано 27.05.2015

Сніжної Г.В., Ольшанецкий В.Ю., Сніжної В.Л. Про види і межі станів стабільного і нестабільного аустеніту Fe-Cr-Ni сталей

Запропоновано магнітометричну діаграму, що дозволяє встановити зони нестабільного і відносно стабільного аустеніту в хромоникелевих сталях. Для отримання інформації, яка стосується питань його стабільності використано високоточний метод визначення універсального критерію парамагнетизму аустеніту (питома магнітна сприйнятливості c_0) з урахуванням перерозподілу атомів хрому і нікелю при утворенні феритної фази. Зроблено спробу пояснити екстремальну зміну параметра c_0 залежно від вмісту нікелю в аустенітній фазі.

Ключові слова: нестабільний і відносно стабільний аустеніт, нікель, магнітна сприйнятливості, ферит.

Snizhnoi G., Ol'shanetskii V., Snizhnoi V. Types and boundary of condition stable and unstable austenite Fe-Cr-Ni steels

Magnetometric chart for identify areas of unstable and relatively stable austenite in chromium-nickel steels is offered. Precise method for determining the universal criterion of paramagnetism austenite (specific magnetic susceptibility c_0) to study the stability of the austenite has been used. Redistribution of chromium and nickel at formation of the ferrite phase was taken into account. The extreme behavior of the parameter c_0 depending on nickel content in austenitic phase is explained.

Key words: unstable and relatively stable austenite, nickel, magnetic susceptibility, ferrite.