

Академик Б. Е. ПАТОН, В. И. ЛАКОМСКИЙ, Г. Ф. ТОРХОВ,
В. А. СЛЫШАНКОВА

**АУСТЕНИТНЫЕ ВЫСОКОАЗОТИСТЫЕ ХРОМОНИКЕЛЕВЫЕ СТАЛИ,
ВЫПЛАВЛЯЕМЫЕ В ПЛАЗМЕННОДУГОВЫХ ПЕЧАХ**

Несколько лет тому назад группой сотрудников Института электро-сварки был разработан способ плазменнотугового переплава металлов и сплавов в водоохлаждаемом кристаллизаторе и аппаратура для его осуществления (1). Ныне плазменнотуговой переплав уже применяется на ряде металлургических заводов для производства сталей и сплавов ответственного назначения.

Отличительной особенностью нового способа специальной электроталлургии является существенная интенсификация процессов взаимодействия плазмообразующих газов с металлическим расплавом. Реакция растворения азота в жидком

железе и его сплавах в плазменнотуговых печах протекает, в частности со скоростями, на порядок большими, чем в других плавильных агрегатах (2). Последнее позволило нам разработать технологию легирования сталей азотом из аргоно-азотной плазмы регулируемого состава и отказаться от применения дорогих азотированных ферросплавов при выплавке азотсодержащих сталей. Используя приемы разработанной технологии, можно выплавлять стали, содержание азота в которых значительно превышает уровни, достигаемые при традиционных методах плавки.

Как известно, в хромо-никелевых сталях азот является эффективным заместителем никеля. Введение в аустенитную нержавеющую сталь 0,15% азота эквивалентно 2—4% никеля, а 0,25% N заменяет от 2,5 до 6,0% Ni. Этим объясняется стремление металлургов ввести в сталь возможно больше азота. Однако в обычных случаях верхний предел содержания азота ограничивается уровнем стандартной растворимости (S_N) этого газа в стали конкретного состава при температуре ликвидус (3).

В плазменнотуговых печах с кристаллизатором, напротив, можно выплавлять стали, содержание азота в которых в 2—4 раза выше значения S_N.

Состав стали

Таблица 1

№ п.п.	Химический, %			Структурный	
	Cr	Ni	N	металлографическая оценка	по Шеффлеру (%), без азота
1	18,3	2,2	0,44	A + M + Ф	M + Ф
2	18,3	6,2	0,59	A	A + M + Ф
3	19,5	4,7	0,33	A + M + Ф	
4	19,5	4,7	0,48	A	
5	21,0	3,0	0,45	A + 10% Ф	
6	21,0	3,0	0,55	A + следы Ф	
7	21,0	3,0	0,58	A	
8	21,0	6,0	0,47	A + 21% Ф	
9	21,0	6,0	0,56	A + следы Ф	
10	21,0	6,0	0,61	A	
11	23,5	6,5	0,42	A + 10% Ф	
12	23,5	6,5	0,45	A + следы Ф	
13	23,5	6,5	0,51	A	
14	28,1	2,3	0,74	A + 25% Ф	Ф
15	27,8	4,8	0,76	A + 11% Ф	
16	26,9	8,2	0,92	A	80% Ф + A

Примечание. А — аустенит, М — мартенсит, Ф — феррит.

Введение в аустенитную нержавеющую сталь 0,15% азота эквивалентно 2—4% никеля, а 0,25% N заменяет от 2,5 до 6,0% Ni. Этим объясняется стремление металлургов ввести в сталь возможно больше азота. Однако в обычных случаях верхний предел содержания азота ограничивается уровнем стандартной растворимости (S_N) этого газа в стали конкретного состава при температуре ликвидус (3).

В плазменнотуговых печах с кристаллизатором, напротив, можно выплавлять стали, содержание азота в которых в 2—4 раза выше значения S_N.

В табл. 1 представлены примеры химического и структурного состава сплавов, выплавленных в плазменнотермической печи. В качестве исходных материалов использовали железо, хром и никель высокой чистоты (сумма примесей в каждом $< 0,1\%$). Структурный анализ сплавов производился после их закалки с 1150°C . Как видно из табл. 1 и рис. 1, достаточно превысить уровень S_N всего лишь в два — два с лишним раза, чтобы получить чисто аустенитную структуру тех сплавов, которые в случае отсутствия азота содержат до 80% феррита.

Влияние высоких концентраций азота на структуру хромоникелевых низкоуглеродистых сталей хорошо видно на рис. 2. Структурные диаграм-

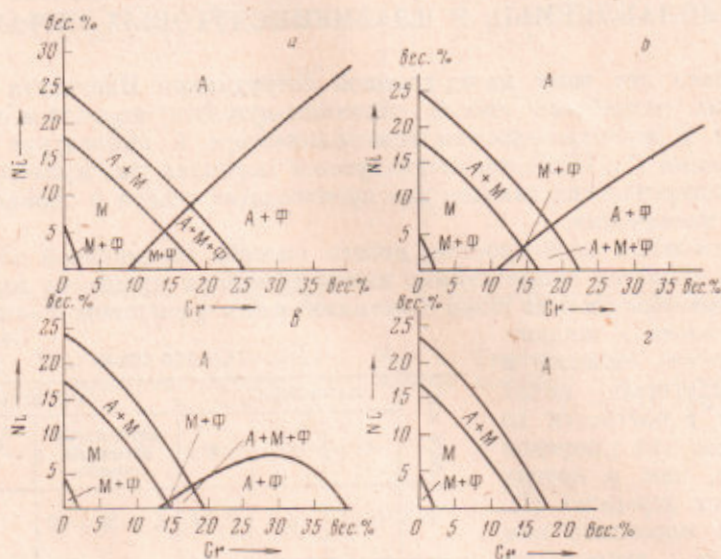


Рис. 2. Структурная диаграмма низкоуглеродистых хромоникелевых сталей с различным содержанием азота [N]: а — $S_{N, 1600^\circ\text{C}}$; б — $2S_{N, 1600^\circ\text{C}}$; в — $3S_{N, 1600^\circ\text{C}}$; г — $4S_{N, 1600^\circ\text{C}}$

мы, представленные на этом рисунке, построены на основе ставшей классической диаграммы Шеффлера (⁴).

Зависимость между Cr и Ni , соответствующая границам определенного типа структур, найдена с учетом азотной сорбционной емкости сплава в жидком состоянии. Для того чтобы условия сорбции азота сплавами различного состава были сравнимы, нами принята одна температура для всех сплавов (1600°C). Стандартную растворимость азота в расплаве ($S_{N, 1600^\circ\text{C}}$) мы вычисляли по уравнению, наилучшим образом описывающему экспериментальные данные (^{5, 6}):

$$S_{N, 1600^\circ\text{C}} = \exp \{ -3,03 - 0,000785[\text{Cr}]^2 + 0,1085[\text{Cr}] - 0,023[\text{Ni}] \}.$$

Специальные опыты по определению никелевого эквивалента азота в исследуемых сплавах показали, что в случае $[\text{N}] > S_N$ значение эквивалента превышает 11,5 (⁶) и составляет 19—22, что ближе к значению, полученному в работе (⁷).

Анализ диаграмм показывает, что увеличение азота в сплавах $\text{Fe}-\text{Cr}-\text{Ni}$ расширяет аустенитную область и при содержании азота, равном $4S_{N, 1600^\circ\text{C}}$ в сплавах с $17,5\%$ хрома и выше, можно, по-видимому, получить чисто аустенитную структуру без никеля (рис. 2г).

Пластическая деформация и термическая обработка высокоазотистых сплавов в печах с нерегулируемой атмосферой не вызывает потери газа с поверхности слитка.

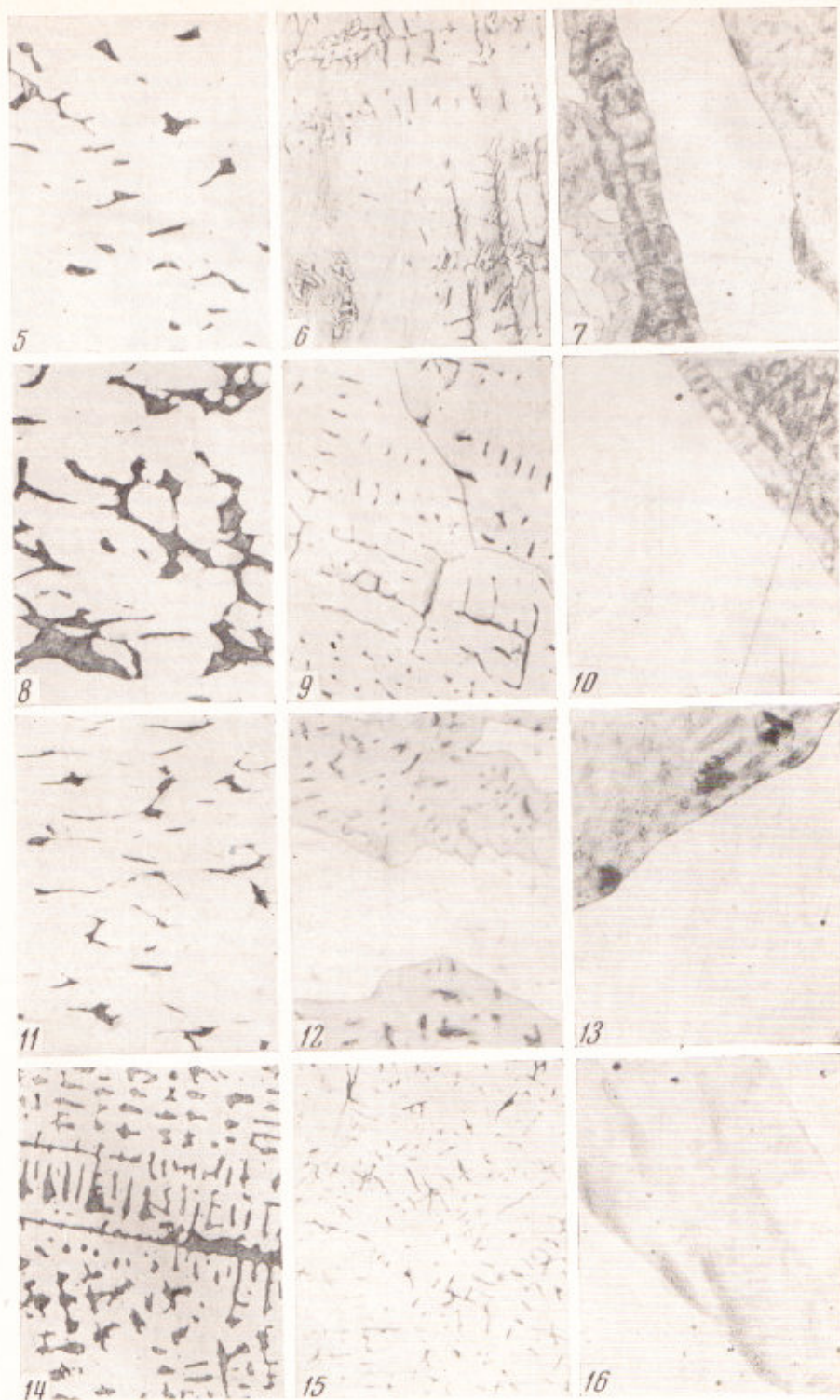


Рис. 1. Структура Cr — Ni — N сталей (цифры соответствуют порядковым номерам в таблице), 100 ×

Нам представляется, что высокоазотистые аустенитные стали, выплавляемые в плазменодуговых печах, найдут широкое применение в химическом, энергетическом, пищевом и торговом машиностроении в качестве коррозионностойких высокопрочных немагнитных материалов.

Институт электросварки им. Е. О. Патона
Академии наук УССР
Киев

Поступило
4 I 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Б. Е. Патон, В. И. Лакомский, Д. А. Дудко и др., Автоматическая сварка, № 8, 3 (1966). ² В. И. Лакомский, Г. Ф. Торхов, ДАН, 183, № 1, 87 (1968). ³ В. И. Лакомский, Г. Ф. Торхов, Физ. и хим. обработки материалов, № 4 (1971). ⁴ A. L. Schaeffler, Metal Progress, 56, 6, 680 (1949). ⁵ Г. М. Григоренко, Г. Ф. Торхов, В. И. Лакомский, ДАН, 194, № 4, 881 (1970). ⁶ L. P. Guse, K. W. Andrews, J. Iron and Steel Inst., 8, 415 (1960). ⁷ И. Н. Мелькумов, В. В. Тонилия, Металловедение и термообработка, № 3, 47 (1969).