

УДК 621.791.051

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-7-302-81-84

О. П. Бондарева, Э. В. Седов, Д. Э. Седов

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОПЫТНЫХ ПЛАВОК СТАЛИ ТИПА 02X17Г8НЗ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: tecmat@vstu.ru.

Приведены результаты исследований структуры и свойств феррито-аустенитной стали 08X18Г8Н2Т, а также сталей опытных плавок марки 02X17Г8НЗ. Показано, что при низком содержании углерода экономно легированные коррозионно-стойкие стали типа 02X17Г8НЗ отличаются высокими прочностными свойствами, пластичностью и стойкостью к хрупкому разрушению. Установлено, что микролегирование кальцием и церием повышает устойчивость сталей к воздействию высоких температур под влиянием термического цикла сварки, в результате чего у металла сохраняется высокая ударная вязкость при пониженных температурах.

Ключевые слова: феррито-аустенитная сталь, прочность, твердость, ударная вязкость, термический цикл сварки

O. P. Bondareva, E. V. Sedov, D. E. Sedov

INVESTIGATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF EXPERIMENTAL STEEL MELTS OF TYPE 02Cr17Mn8Ni3

Volgograd State Technical University

The results of studies of the structure and properties of ferrite-austenitic steel 08Cr22Mn8Ni2Ti, as well as experimental smelting steels of the 02Cr17Mn8Ni3 grade are presented. It is shown that economically alloyed corrosion-resistant steels of type 02Cr17Mn8Ni3 have high strength properties, ductility and resistance to brittle fracture at low carbon content. It has been found that microalloying with calcium and cerium increases the resistance of steels to high temperatures under the influence of the thermal welding cycle, as a result of which the metal retains high impact strength at low temperatures.

Keywords: ferrite-austenitic steels, strength, hardness, impact strength, thermal welding cycle

В химической, нефтегазовой, пищевой и других отраслях промышленности все более широкое применения находят экономно легированные двухфазные феррито-аустенитные стали [1–4]. Существенным недостатком данных сталей является снижение пластических характеристик, связанное с охрупчиванием ферритной фазы металла под влиянием высоких температур эксплуатации, а также под воздействием температур сварочного нагрева в металле околосварной зоны [2, 3, 5]. Возможными путями повышения стойкости к охрупчиванию данных сталей является уменьшение содержания углерода, а также модификация

структуры за счет микролегирования кальцием и церием [4].

В данной работе проводили исследования структуры и свойств феррито-аустенитной стали 08X18Г8Н2Т, которая является одной из самых востребованных среди сталей подобного типа, а также сталей опытных плавок марки 02X17Г8НЗ. Опытные плавки отличались пониженным содержанием углерода, имели разное соотношение в содержании хрома и никеля, что обеспечивало изменение фазового состава данной стали, а также разный уровень микролегированности кальцием и церием. Химический состав исследуемых сталей приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей

Сталь марки	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ca	Ce	Ti
08X18Г8Н2Т	0,060	0,43	7,0	18,2	3,23	–	–	0,32
02X17Г8НЗ плавка 1	0,036	0,40	7,0	17,0	2,64	–	–	–
02X17Г8НЗЧ плавка 2	0,018	0,43	7,2	15,9	2,60	0,05	0,036	–
02X17Г8Н2Ч плавка 3	0,024	0,41	7,0	15,4	1,30	0,05	0,006	–

Опытные плавки сталей проводились в вакуумно-индукционной печи. Из слитков массой 50 кг методомковки изготавливались прутки квадратной формы размерами 14×14 мм. Полученные образцы подвергались закалке при температуре 1000 °С, охлаждение в воде. Исследование свойств металла проводили в исходном состоянии и после нагрева, который осуществлялся на специальной установке, который имитирует высокоскоростной нагрев, соответствующий термическому циклу сварки (ТЦС). Имитация ТЦС производилась со скоростью 80 °С/с, при этом максимальная температура составляла 1300 °С, охлаждение осуществляли на воздухе.

Механические свойства образцов из исследуемых марок сталей определяли при испытании на растяжение по ГОСТ 1497–2023, твер-

дость по Виккерсу на приборе ТПП-2 по ГОСТ 2999–75. Для оценки влияния термического воздействия на склонность сталей к хрупкому разрушению проводились испытания на ударную вязкость на образцах тип XI по ГОСТ 9454–78.

Структурные исследования в металле осуществляли с использованием световой микроскопии (Leica DMI 8), химический состав фаз определяли с помощью рентгеноспектрального анализа (SuperProbe-773). Для выявления структуры металла производили электролитическое травление в щавелевой кислоте, фазы выявляли окрашиванием в реактиве Гросбека. Процентное соотношение фаз оценивали линейным методом.

По результатам проведенных исследований установлено, что наиболее высокая пластичность обнаружена у стали 02X17Г8НЗ плавки 1 (табл. 2).

Таблица 2

Механические свойства исследуемых сталей

Сталь марки	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	HV
	МПа		%		
08X18Г8Н2Т	650	350	22,0	—	200
02X17Г8Н3 плавка 1	927	479	24,0	69,9	163
02X17Г8Н3Ч плавка 2	1140	485	19,3	62,3	209
02X17Г8Н2Ч плавка 3	1233	684	16,7	55,6	233

Однако прочностные характеристики данной стали, среди других опытных плавок были наименьшими ($\sigma_b = 927$ МПа, $\sigma_{0,2} = 479$ МПа).

Наибольшая прочность характерна для стали плавки 3 с добавками кальция и церия ($\sigma_b = 1233$ МПа, $\sigma_{0,2} = 684$ МПа), при этом ее пластичность ($\delta = 16,7$ %, $\psi = 55,6$ %) существенно ниже пластичности металла других плавок, а также стали 08X18Г8Н2Т. При увеличении содержания в стали никеля и хрома, что

соответствует металлу плавки 2, прочность оказалась несколько меньше, а пластичность больше, по сравнению с металлом плавки 3. Значения твердости по Виккерсу хорошо коррелируют с показателями прочности (табл. 2).

Испытания металла на ударную вязкость проводились после нагрева заготовок за счет имитации ТЦС.

Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения ударной вязкости исследуемых сталей

Сталь марки	Ударная вязкость KCV, МДж/м ² при различных температурах		
	20 °С	- 20 °С	- 40 °С
08X18Г8Н2Т	1,28	0,28	0,20
02X17Г8НЗ плавка 1	1,20	0,96	0,95
02X17Г8НЗЧ плавка 2	1,20	1,06	0,98
02X17Г8Н2Ч плавка 3	1,46	0,71	0,53

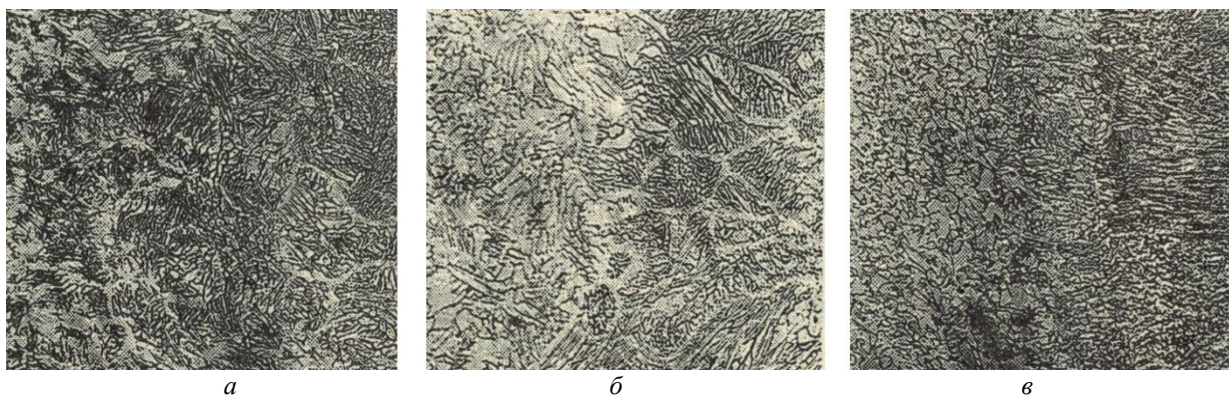
Из результатов видно, что у всех исследованных марок сталей после сварочного нагрева

при температурах испытания 20 °С сохраняются высокие значения ударной вязкости. У стали

промышленной выплавки 08X18Г8Н2Т при испытаниях в области отрицательных температур происходит резкое снижение показателей с 1,28 до 0,20 МДж/м². Среди исследованных сталей опытных плавки видно, что даже при отрицательных температурах металл сохраняет высокие значения ударной вязкости на уровне 0,53–1,06 МДж/м². Образцы, изготовленные из металла плавки 3, при температуре 20 °С имеют самые высокие значения KCV – 1,46 МДж/м², однако испытания при отрицательных температурах у данного металла выявлены понижен-

ные значения KCV (0,71 МДж/м² при испытании -20 °С и 0,53 МДж/м² при испытании -40 °С). Наиболее равные значения показателей ударной вязкости при всех температурах испытаний обнаружены у металла плавки 2 (KCV = 0,98–1,20 МДж/м²). Данная плавка произведена с микролегированием кальцием и церием, причем содержание церия в данной стали максимальное 0,036 % (см. табл.1).

Исследования микроструктуры образцов стали 02X17Г8НЗ различных опытных плавки после сварочного нагрева приведены на рисунке.



Микроструктура металла опытных плавки стали 02X17Г8НЗ после воздействия термического цикла сварки (х500):

а – плавка 1; б – плавка 2; в – плавка 3

В феррито-аустенитных сталях, в исходном состоянии, структура представляется двумя фазами: α -фазой (феррита) и γ -фазой (аустенита). После закалки α -фаза преобразуется в фазу δ -феррита и мартенсита. Как видно из рисунка, в микроструктуре металла опытных плавки после сварочного нагрева заметны изменения в морфологии феррита – он приобретает игольчатое строение. Можно предположить, что указанные различия в механических свойствах сталей опытных плавки связаны с их различным фазовым составом. Так сталь плавки 3 содержит максимальное количество α -фазы. Уменьшение содержания хрома и отсутствие титана, являющиеся ферритизаторами структуры, приводит к значительному уменьшению процентного содержания δ -феррита по сравнению со сталью 08X18Г8Н2Т. Уменьшение содержания никеля до 1,3 % делает аустенит неустойчивым и часть его превращается в мартенсит, поэтому высокую прочность и низкую пластичность стали плавки 3 можно объяснить наличием 40 % мартенсита. Плавка 2 отличается от плавки 3 более высоким содержанием никеля 2,64 % и церия 0,036 %. Никель, являясь аустенизатором структуры, увеличивает содер-

жание аустенита и уменьшает содержание δ -феррита. Увеличение содержания церия приводит к тому, что весь δ -феррит имеет глобулярную форму, в отличие от плавки 3. Плавка 2 имеет более низкие значения прочности и ударной вязкости, так как имеет более высокое содержание хрома, по сравнению с плавкой 3. Такое изменение связано с уменьшением количества мартенсита, увеличением вязкой составляющей аустенита и более мелкой глобулярной формой δ -феррита. Металл плавки 1 отличается от плавки 2 большим содержанием хрома 16,6 % и отсутствием церия и кальция. Плавка 1 имеет высокие значения пластичности – относительное удлинение 24 % и более низкую прочность по сравнению с плавками 2 и 3, при этом фазовый состав характеризуется максимальным содержанием аустенита.

Выводы

1. Показано, что при низком содержании углерода экономно легированные коррозионно-стойкие стали типа 02X17Г8НЗ отличаются высокими прочностными свойствами, пластичностью и стойкостью к хрупкому разрушению.

2. Выявлено, что микролегирование кальцием и церием повышает устойчивость сталей

к воздействию высоких температур под влиянием ТЦС, в результате чего у металла сохраняется высокая ударная вязкость при пониженных температурах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бондарева, О. П.* Влияние термического цикла сварки и термоциклической обработки на свойства и характер разрушения стали 08X18Г8Н2Т / О. П. Бондарева, Э. В. Седов, О. Б. Крючков // Деформация и разрушение материалов. – 2021. – № 11. – С. 28–33.
2. *Бондарева, О. П.* Влияние термоциклической обработки на структуру и свойства металла околошовной зоны сварных соединений феррито-аустенитных сталей / О. П. Бондарева, Э. В. Седов, И. Л. Гоник // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 7. – С. 45–48.
3. *Каховский, Н. И.* Сварка высоколегированных сталей / Н. И. Каховский. – Киев : Техника, 1978. – 375 с.
4. *Салтыков, С. А.* Стереометрическая металлография / С. А. Салтыков. – М. : Металлургия, 1976. – 271 с.
5. *Бондарева, О. П.* Влияние погонной энергии сварки на структуру и свойства сварных соединений феррито-аустенитных сталей 08X18Г8Н2Т и 08X22Н6Т / О. П. Бондарева, Э. В. Седов, Д. Э. Седов, Р. А. Бескровный // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7 (290) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2024. – (Серия «Металлургия»). – С. 71–76.