

УДК 621.791.051

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-7-278-14-18

*О. П. Бондарева, Э. В. Седов, И. Л. Гоник, Д. Э. Седов, Р. А. Бескровный***ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ЦИКЛА СВАРКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА
ФЕРРИТО-АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ 08X22H6T И 08X18Г8Н2Т****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: tecmat@vstu.ru

Приведены результаты исследований по влиянию термического цикла сварки на структуру и фазовые превращения в металле зоны термического влияния сварных соединений сталей 08X22H6T и 08X18Г8Н2Т. Показано, что при автоматической сварке под флюсом в сварных соединениях феррито-аустенитных сталей наблюдается падение пластичности. Установлено, что ударная вязкость участка перегрева зоны термического влияния при нормальной температуре имеет высокие значения ударной вязкости, а при температуре испытания минус 20 °С были получены значения ударной вязкости ниже 0,4 МДж/м².

Ключевые слова: зона термического влияния, термический цикл сварки, околошовная зона, ударная вязкость.

*O. P. Bondareva, E. V. Sedov, I. L. Gonik, D. E. Sedov, R. A. Beskrovny***INFLUENCE OF THE WELDING HEAT CYCLE ON THE STRUCTURE
AND PROPERTIES OF 08Cr22Ni6Ti AND 08Cr18Mn8Ni2Ti
FERRITE AUSTENITIC STEELS****Volgograd State Technical University**

The results of researches on influence of thermal cycle of welding on structure and phase transformations in metal of heat-affected zone of welded joints of 08Cr22Ni6Ti and 08Cr18Mn8Ni2Ti steels are presented. It is shown, that at automatic submerged-arc welding of welded joints of ferrite-austenite steels the fall of plasticity is observed. It is established that the impact toughness of overheat section of heat affected zone at normal temperature has high values of impact toughness, and at test temperature of minus 20 °C values of impact toughness below 0.4 MJ/m² were obtained.

Keywords: heat-affected zone, welding heat cycle, seam area, impact toughness.

По сравнению с аустенитными сталями двухфазные стали обладают более высокими значениями предела прочности и предела текучести, что обеспечивает им преимущества по сравнению с аустенитными сталями: становятся возможными более высокие рабочие давления; уменьшается толщина стенок колонн и сосудов, работающих под давлением [1, 2]. Однако характерной особенностью двухфазных феррито-аустенитных сталей является снижение пластичности и стойкости к хрупкому разрушению в процессе сварки, связанное с ростом ферритного зерна, изменением соотношения структурных составляющих [3–5].

Несмотря на большое количество работ, посвященных свариваемости сталей 08X22H6T и 08X18Г8Н2Т, недостаточно изучено влияние термического цикла сварки (ТЦС) на структуру и фазовые превращения в металле зоны термического влияния (ЗТВ) сварных соединений этих сталей толщиной более 10 мм.

Исследования проводили на металле промышленной плавки, осуществляемой в дуговой

электропечи. Химический состав исследуемых сталей представлен в табл. 1. Температура нагрева заготовки под прокатку на лист толщиной 16 мм составляла 1150–1200 °С. Окончательная термообработка листа – закалка в воду от 1000 °С. Листы из сталей 08X22H6T, 08X18Г8Н2Т толщиной 16 мм поставляются согласно ГОСТ 7350–77. Исследования проводили на образцах, вырезанных из основного металла в состоянии поставки и сварных соединений, а также на образцах с имитированной ЗТВ.

Стыковые сварные соединения заготовок толщиной 16 мм были выполнены методом автоматической дуговой сварки под флюсом АН 26, проволокой Св-06Х21Н7БТ (ЭП-500) диаметром 4,0 мм. Режимы сварки сварных соединений приведены в таблице 2. Имитацию термического цикла автоматической сварки осуществляли на установке скоростного электронагрева. В процессе нагрева имитировали участки ЗТВ сварного соединения, выполненные автоматической сваркой под флюсом.

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Ti
08X18Г8Н2Т (КО-3)	0,06	0,43	7,04	18,2	3,23	0,012	0,019	0,32
08X22Н6Т (ЭП-53)	0,06	0,51	0,20	21,4	5,7	0,020	0,015	0,31

Таблица 2

Режимы сварки сталей 08X22Н6Т и 08X18Г8Н2Т

Марка стали	Форма разделки кромок	Погонная энергия сварки, Дж/см	Номер прохода	Сварочный ток I , А	Напряжение на дуге U , В	Скорость сварки $V_{св}$, м/ч
08X22Н6Т	V-образная разделка кромок	628,8	1	400 - 420	29 - 31	25 - 27
			2	400 - 420	29 - 31	25 - 27
			3	400 - 420	29 - 31	25 - 27
			4	550 - 600	38	25
	Без разделки кромок	1183,3	1	600 - 650	40	12
			2	600 - 650	40	12
08X18Г8Н2Т	V-образная разделка кромок	590,9	1	370-400	29 - 31	25 - 27
			2	370-400	29 - 31	25 - 27
			3	370- 400	29 - 31	25 - 27
			4	500 - 520	38	25
	Без разделки кромок	1099,9	1	520 - 540	40	25
			2	520 - 540	40	25

Образцы для механических испытаний из сварных соединений сталей 08X22Н6Т и 08X18Г8Н2Т вырезали поперек шва. Ударную вязкость различных участков зоны термического влияния определяли на образцах с имитированным термическим циклом сварки. Механические испытания осуществляли на ударных образцах тип XI ГОСТ 9454–78 и на разрывных образцах, тип III № 6 ГОСТ 1497–84. Испытания сварного соединения на статический изгиб проводили на образцах XXVI ГОСТ 6996–66.

Для выявления микроструктуры металлографические шлифы подвергали электролитическому травлению в растворе хромового ангидрида, с последующим окрашиванием ферритной составляющей в реактиве Гросбека.

Металлографическим анализом установлено, что основной металл в состоянии поставки имеет феррито-аустенитную структуру с примерно одинаковым количеством структурных составляющих (рис. 1).

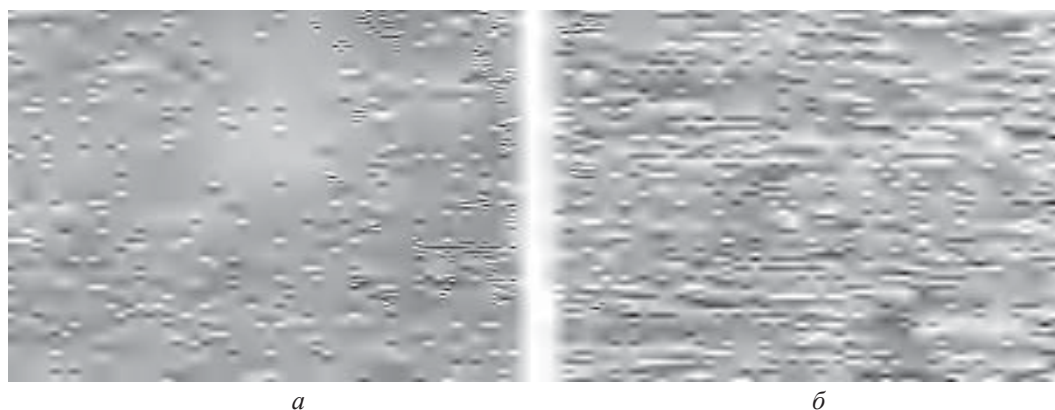


Рис. 1. Микроструктура сталей 08X22Н6Т (а), 08X18Г8Н2Т (б) в состоянии поставки, х 100

Под действием термического цикла сварки в зоне, примыкающей к шву и нагреваемой до температур $1200\text{ }^{\circ}\text{C} - T_{\text{сол.}}$ у исследуемых ста-

лей образуются крупные равноосные зерна феррита, по границам которых выпадает вторичный аустенит (рис. 2).



Рис. 2. Микроструктура металла участка перегрева ЗТВ сварных соединений сталей 08X22H6T (а), 08X18Г8Н2Т (б), $\times 100$

Сварку пластин осуществляли с разделкой и без разделки кромок. Для одной и той же толщины металла погонная энергия сварки была разной. Так, для случая сварки пластин без разделки кромок сварку производили в два прохода, за счет существенно больших значений $I_{\text{св}}$

и $U_{\text{д}}$. Сварку пластин со скосом кромок осуществляли на более «мягком» режиме, за четыре прохода.

Результаты механических испытаний исследуемых сталей в исходном состоянии и их сварных соединений представлены в табл. 3.

Таблица 3

Механические свойства сталей 08X22H6T и 08X18Г8Н2Т и их сварных соединений

Марка стали	Основной металл				Погонная энергия сварки, Дж/см	Форма разделки кромок	Сварное соединение			
	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ_5 %	Ψ , %			$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ_5 , %	Ψ , %
08X22H6T	680	410	40	45	628,8	V-образная разделка кромок	671	400	34	45
					1183,3	Без разделки кромок	670	395	35	46
08X18Г8Н2Т	650	365	35	32	628,3	V-образная разделка кромок	630	365	35	32
					1183,3	Без разделки кромок	628	363	33	34

Анализ результатов механических испытаний на статическое разрушение сварных соединений из стали 08X22H6T (без разделки и с разделкой кромок) показывает, что сварные соединения имеют более низкие значения предела прочности, предела текучести, относительного удлинения, чем основной металл. Значения относительного сужения для основного металла и сварного соединения находятся на одном уровне. Для сварных соединений из стали 08X18Г8Н2Т также наблюдается снижение зна-

чений предела прочности с 650 до 628 МПа, а значения предела текучести, относительного удлинения и относительного сужения соответствуют значениям основного металла (см. табл. 3). Следует отметить, что разрушение сварных соединений, из исследуемых марок сталей, происходило по шву, что свидетельствует о том, что применяемые сварочные материалы отличаются более низкими прочностными свойствами, чем основной металл и требуют доработки.

Результаты испытаний на ударный изгиб основного металла, металла шва и различных участков ЗТВ, а также угол загиба сварных соединений представлены в табл. 4.

Результаты испытаний на ударный изгиб сварных соединений сталей 08X22H6T и 08X18Г8Н2Т свидетельствуют о том, что металл сварного шва имеет высокую ударную вязкость как при нормальной температуре, так и при температуре минус 20 °С.

В ЗТВ сварных соединений феррито-аустенитных сталей следует выделить три участка, охрупчивание которых связано с нагревом при различных температурах. Непосредственно к шву примыкает участок, нагреваемый при сварке до температур, примерно от 1200 °С до

$T_{\text{сол}}$, способствующих интенсивному росту зерна (участок перегрева). Затем располагается участок, который подвергается воздействию температур активного карбидообразования (500–800 °С). Свойства следующего участка могут быть обусловлены влиянием температур 300–500 °С, на этом участке проявляется склонность металла к 475-градусной хрупкости. Следует отметить, что в «чистом» виде в реальных сварных соединениях возможно наличие лишь третьего участка, в то время как участок перегрева подвержен воздействию всех указанных температур, а металл, нагреваемый в области карбидообразования, в процессе охлаждения некоторое время будет находиться при 300–500 °С.

Таблица 4

Ударная вязкость и угол загиба сварных соединений сталей 08X22H6T и 08X18Г8Н2Т

Марка стали	Форма разделки кромок	Погонная энергия сварки, Дж/см	Ударная вязкость KCV, МДж/м ²										Угол загиба, α ⁰
			Основной металл		Шов		Зона термического влияния						
							1200–Т _{сн}		500–800		300–500		
			20 °С	-20 °С	20 С	-20 С	20 С	-20 С	20 С	-20 С	20 С	-20 С	
08Х22Н6Т	V-образная разделка кромок	628,8	1,20	0,60	1,35	0,87	1,05	0,26	1,00	0,50	1,11	0,60	76
	Без разделки кромок	1183,3	То же	То же	1,10	0,70	1,00	0,24	0,95	0,40	1,08	0,55	68
08Х18Г8Н2Т	V-образная разделка кромок	628,8	1,10	0,50	1,43	0,89	1,28	0,28	1,00	0,45	1,15	0,43	61
	Без разделки кромок	1128,3	То же	То же	1,20	0,60	1,10	0,26	1,10	0,42	1,00	0,42	51

Ударная вязкость участка перегрева ЗТВ исследуемых сталей, нагреваемого до температуры от 1200 °С до $T_{\text{сол}}$, при нормальной температуре имеет высокие значения ударной вязкости, а при температуре испытания минус 20 °С были получены значения ударной вязкости ниже 0,4 МДж/м², что не удовлетворяет требованиям ОСТ 26-291-79. Ударная вязкость металла других участков ЗТВ сталей 08X22H6T и 08X18Г8Н2Т при всех температурах испытаний для сварки с разделкой кромок выше по сравнению со сваркой без разделки кромок и соответствует требованиям ОСТ 26-291-79 (см. табл. 4).

Для исследуемых марок сталей угол загиба, согласно ОСТ 26-231-79, должен быть равен 80°. При испытании на статический изгиб определяли способность стыкового сварного соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб.

Эта способность характеризуется углом изгиба α, при котором в растянутой зоне образца образуется первая трещина, развивающаяся в процессе испытания. Результаты испытаний сварных соединений показывают, что угол загиба сварных соединений сталей 08X22H6T и 08X18Г8Н2Т, выполненных автоматической дуговой сваркой под флюсом, ниже требований ОСТ 26-291-79 (табл. 4). Для обеих сталей угол загиба сварных соединений, выполненных с разделкой кромок выше, чем при сварке без разделки кромок. Для стали 08X22H6T угол загиба составляет 76 и 68°, соответственно. Для стали 08X18Г8Н2Т – 61 и 51°, соответственно. Большие значения угла загиба сварных соединений, выполненных с V-образной разделкой кромок, по-видимому, связаны с меньшей величиной погонной энергии сварки. При загибе всех образ-

цов трещины образовывались в участке перегрева ЗТВ сварного соединения, т. е. в зоне крупного ферритного зерна.

Выводы:

1. Установлено, что при автоматической сварке под флюсом в сварных соединениях сталей 08Х22Н6Т и 08Х18Г8Н2Т наблюдается падение пластичности. Разрушение сварных соединений происходило по шву, что свидетельствует о том, что применяемые сварочные материалы отличаются более низкими прочностными свойствами, чем основной металл и требуют доработки.

2. Результаты испытаний на ударный изгиб металла сварного шва имеют высокие значения ударной вязкости как при нормальной температуре, так и при температуре минус 20 °С.

3. Ударная вязкость участка перегрева ЗТВ при нормальной температуре имеет высокие значения ударной вязкости, а при температуре испытания минус 20 °С были получены значения ударной вязкости ниже 0,4 МДж/м². Это связано с ростом ферритного зерна, изменением соотношения структурных составляющих – феррита и аустенита.

4. Ударная вязкость металла других участков ЗТВ, при всех температурах испытаний,

для сварки с разделкой кромок выше по сравнению со сваркой без разделки кромок и соответствует требованиям ОСТ 26-291-79.

5. Результаты испытаний сварных соединений показывают, что угол загиба сварных соединений сталей ниже значений ОСТ 26-291-79. При загибе всех образцов трещины образовывались в участке перегрева ЗТВ сварного соединения, т. е. в зоне крупного ферритного зерна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сокол, И. Я. Двухфазные стали / И. Я. Сокол. – М. : Металлургия, 1974. – 216 с.
2. Каховский, Н. И. Сварка нержавеющей сталей / Н. И. Каховский. – Киев : Техника, 1968. – 312 с.
3. 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.
4. Бондарева, О. П. Влияние термического цикла сварки и термоциклической обработки на свойства и характер разрушения стали 08Х18Г8Н2Т / О. П. Бондарева, Э. В. Седов, О. Б. Крючков // Деформация и разрушение материалов. – 2021. – № 11. – С. 28–33.
5. Исследование показателей ударной вязкости стали 08Х21Н6М2Т при различных температурах / О. П. Бондарева, Э. В. Седов, И. Л. Гоник, Д. Э. Седов, О. Б. Крючков // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 7 (266) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2022. – (Серия «Металлургия»). – С. 44–47.