

ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ  
РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ СВАРКИ ЛИСТОВ ИЗ СТАЛИ  
МАРКИ 14ХГН2МДАФБ

Заббаров Р., Уваров В.В. и Уварова В.С.

Одной из основных задач современного технического развития является повышение технико-экономических показателей работы машин, механизмов и инженерных сооружений на основе снижения их удельной металлоемкости, увеличения эксплуатационной надежности и долговечности. В ее решении важная роль принадлежит применению в машиностроении сварных конструкций из высокопрочных сталей.

Необходимость эффективного использования этих сталей для сварных конструкций различного назначения и в первую очередь грузоподъемных механизмов, выдвинула ряд научных и технических задач. К важнейшим из них относится разработка и практическое освоение технологии изготовления сварных конструкций из высокопрочных сталей, обеспечивающих получение качественных сварных соединений, удовлетворяющих требованиям и техническим возможностям серийного производства.

В качестве перспективных свариваемых высокопрочных сталей в последнее время часто используют экономнолегированные низкоуглеродистые термоупрочняемые стали с карбонитридным упрочнением [1, 2]. Типовым представителем этой группы сталей является марка 14ХГН2МДАФБ. Эта сталь используется как в однородных сварных конструкциях из данной марки, так и при сварке конструкций с использованием других марок сталей, в частности, 09Г2С. При сварке листовых конструкций из сталей

указанного класса возникает ряд технологических проблем, связанных с возникновением дефектов в сварном шве. В связи с этим основной задачей данной работы являлось изучение сварных соединений (швов) с помощью металлографического анализа, проведения комплекса механических и технологических испытаний и разработка рекомендаций по выбору оптимальных режимов сварки.

Для исследований из листов сталей вырезались стандартные карточки. Сварка производилась полуавтоматическая в среде защитных газов плавящимся электродом диаметром 1,2 мм. Режимы сварки: сварочный ток 190..250 а, напряжение на дуге 24..26 В, длина вылета проволоки 12..15 мм, расход газов 14..16 л/мин, скорость сварки 10..20 м/час. Варианты сварки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Варианты сварки

Толщина свариваемых карточек	Условия сварки	Сварочная проволока и защитная среда	№ карточки
1	2	3	4
6	Односторонний шов без предварительного и послесварочного подогрева с естественным охлаждением		1 3 5 7

1	2	3	4
6	Односторонний шов с предварительным подогревом до 120°C и послесварочным подогревом до 150°C с замедленным охлаждением	СВ-08Г2С, в смеси	
		<u>78%Ar+22%CO<sub>2</sub></u>	2
		<u>СВ-08Г2С в CO<sub>2</sub></u>	4
		<u>СВ-08ХН2ГМЮ в CO<sub>2</sub></u>	6
		СВ-08ХН2ГМЮ в смеси	
		<u>78%Ar+22%CO<sub>2</sub></u>	8
4	Двухсторонний шов без предварительного и послесварочного подогрева с естественным охлаждением	СВ-08Г2С, в смеси	
		<u>78%Ar+22%CO<sub>2</sub></u>	1
		<u>СВ-08Г2С в CO<sub>2</sub></u>	3
		<u>СВ-08ХН2ГМЮ в CO<sub>2</sub></u>	5
		СВ-08ХН2ГМЮ в смеси	
		<u>78%Ar+22%CO<sub>2</sub></u>	7
4	Односторонний шов с предварительным подогревом до 120°C и послесварочным подогревом до 150°C с замедленным охлаждением	СВ-08Г2С, в смеси	
		<u>78%Ar+22%CO<sub>2</sub></u>	2
		<u>СВ-08Г2С в CO<sub>2</sub></u>	4
		<u>СВ-08ХН2ГМЮ в CO<sub>2</sub></u>	6
		СВ-08ХН2ГМЮ в смеси	
		<u>78%Ar+22%CO<sub>2</sub></u>	8

Примечание : 1) при сварке листов толщиной 6 мм использованы однородные карточки из стали 14ХГН2МДФАБ,

2) при сварке листов толщиной 4 мм использованы в каждом из вариантов как однородные карточки из стали 14ХГН2МДФАБ, так и разнородные материалы - сталь 14ХГН2МДФАБ в сочетании со сталью 09Г2С.

Для достоверного прогнозирования наиболее рациональных работоспособных вариантов сварки был проведен комплекс механических и технологических испытаний, который включал:

- испытание сварного соединения на статическое растяжение;
- испытание сварного соединения на статический изгиб;
- испытание металла различных участков сварного соединения на ударный изгиб (надрезанные образцы)
- измерение твердости металла сварного соединения

Основные результаты исследований приведены в таблицах 2 и 3.

При испытаниях на растяжение образцов, не имеющих дефектов в шве, выявлен вязкий характер разрушения, о чем свидетельствует как мелкозернистый вид излома, так и угол наклона поверхности разрушения к оси образца, близкий к  $45^{\circ}$ . Само разрушение проходило в металле сварного шва. На отдельных образцах, имевших дефекты в шве, характер разрушения был иным.

Испытания сварных соединений на статический изгиб показали, что возникновение первых трещин происходило в зоне действия максимальных растягивающих напряжений на внешней поверхности образца. В большинстве случаев трещина располагалась в середине сварного шва, а в ряде испытаний - со смещением от середины к границе сплавления, что связано с пониженным качеством шва. Об этом же свидетельствуют и довольно низкие углы загиба на этих образцах.

При испытании сварных соединений на ударный изгиб все образцы, за исключением одного, разрушились. Начало разрушения, судя по излому, возникало в центре концентратора, а затем на большинстве образцов с надрезом в середине шва поверхность разрушения выходила на границу сплавления.

Таблица 2

Сводные данные о свойствах металла сварных швов на карточках толщиной 6 мм из стали 14ХГН2МДАФБ, сваренным по различным вариантам.

№ вари- анта	Сварочная прово- лока и газовая среда	Условия сварки	№ кар- точки	Средние значения и диапазон изменения свойств				
				$\sigma_s$ , кгс/мм <sup>2</sup>	угол загиба $\alpha$ , град	KCV 20°C, кгс*м/см <sup>2</sup>	при KCV кгс*м/см <sup>2</sup>	KCV при -40C, кгс*м/см <sup>2</sup>
I	2	3	4	5	6	7	8	
I	СВ -08Г2С, в смеси 78%Ar+22%CO <sub>2</sub>	без подогрева	1	86,9 (84,1-89,7)	31,5 (26,5-36,5)	7,46 (4,6-9,4)	5,25 (3,7-6,35)	
		С подогревом и замедленным охлаждением	2	80,5 (80-81,0)	60,5 (58-63)	7,83 (7,24-8,62)	6,05 (5,0-6,7)	
II	СВ -08Г2С в CO <sub>2</sub>	без подогрева	3	54 (50-58)	37 (29-35)	6,1 (5,83-6,08)	5,1 (4,74-5,6)	

Окончание табл. 2

	С предварительн. подогревом и замедленным охлаждением	4	48,6 (45,5..51,6)	62 (62..62)	7,51 (6,9..7,8)	6,28 (6,1..6,57)
III	СВ-08ХН2ГМЮ в CO <sub>2</sub>	5	88,5	62 (59*..85)	5,87 (2,08*..9,3)	4,47 (2,8*..6,15)
	С предварительн. подогревом и замедленным охлаждением	6	75 (71,5..78,9)	52 (42..62)	6,27 (6,25..6,8)	4,87 (4,66..5,08)
IV	СВ-08ХН2ГМЮ в смеси 78%Ar+22%CO <sub>2</sub>	7	77 (74..80)	50 (45,5..54,5)	6,73 (6,57..7,0)	5,12 (5,0..5,22)
	С предварительн. подогревом и замедленным охлаждением	8	83,3 (73,6..93,1)	62,5 (56..69)	8,1 (5,65..44,9)	5,76 (4,91..6,76)

\* - значения свойств на образцах с дефектами сварки

Таблица 3  
Сводные данные о свойствах металла сварных швов на карточках толщиной 4 мм, сваренных по различным вариантам

№ варианта	Сварочная проволока и газовая среда	Условия сварки	№ карточки	Свариваемые материалы*	Средние значения и диапазон изменения свойств				
					$\sigma_b$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Угол загиба $\alpha$ , град	КCV при 20°С, кгс*м/см <sup>2</sup>	КCV при 40С, кгс*м/см <sup>2</sup>	КCV при 40С, кгс*м/см <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	5	7	8	9	
1	СВ-08ГС, в смеси 78%Al+22%CO <sub>2</sub>	без подогрева	1	МТ	91,5 (91,4..91,7)	40 (32..48)	7,52 (6,84..7,9)	5,83 (5,0..6,66)	
		С	2	ТТ	91,4 (87..95,5)	47 (47..47)	7,5 (6,8..8,1)	5,3 (3,5..7,7)	

II	СВ-08ГЭС в СО <sub>2</sub>	охлаждением без подогрева	3	МГ	46,6 (47,2..46,1)	81,5 (80..83)	8,74 (5,4..15)	8,2 (7,7..9)
		С предварительн. подогревом и замедленным охлаждением	4	ГТ	67,6 (47,7..87,7)	62 (48..75)	6,55 (5,8..7,2)	7,7 (7,5..7,9)
III	СВ-08ХН2ГМЮ в СО <sub>2</sub>	без подогрева	5	МГ	81 (80..82)	55 (48..62)	6,0 (5,5..6,58)	5,23 (4,7..5,5)
		С предварительн. подогревом и замедленным охлаждением	6	ГТ	86 (81..91)	25 (12*..38)	7,6 (6,3..8,6)	7,5 (3,75..9,2)
IV	СВ-08ХН2ГМЮ	без подогрева	7	МГ	94,4	66	10,3	8,8



Окончание табл. 3

	в смеси 78%Ar-22%CO <sub>2</sub>	С предварительн. подогревом и замедленным охлаждением	8	ТТ	(94,1..94,8) 87,3 (86,5..88,2)	(4..68) 63 (58..68)	(8,3..11,6) 8,0 (6,5..10)	(4,7..10,6) 6,9 (5,0..7,47)
--	-------------------------------------	---	---	----	--------------------------------------	---------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

\* - образец с дефектом сварки;

\*\* - условные обозначения сваряемых материалов харточек: М - мягкий материал из стали 09Г2С с НВ-130, Т - твердый материал из стали 14ХГН2МДАФБ с НВ-300-400

Образцы с надрезом по границе сплавления разрушались по этой границе. Поэтому значения ударной вязкости для образцов с различным местом надреза мало отличаются друг от друга. В некоторых образцах с надрезом по середине шва поверхность разрушения целиком проходила по шву. Такие образцы имели более высокую ударную вязкость по сравнению с образцами, надрезанными по границе сплавления. Как правило, поверхность излома имеет мелкозернистую структуру. Однако в ряде образцов наблюдается крупнозернистый характер излома с занимаемой площадью от 30 до 100% поверхности разрушения. Отдельные образцы имели дефекты сварки (горячие трещины, непровары и пр.). Они разрушались при малых значениях ударной вязкости, характер поверхности излома их был отличен от характера излома бездефектных образцов. Испытания на ударный изгиб при  $-40^{\circ}\text{C}$  имели такой же характер излома, как и при испытаниях при нормальной температуре. Снижение ударной вязкости за счет охлаждения оказалось небольшим и данная температура испытания лежит явно выше порога хладноломкости.

Анализ комплексных механических и технологических свойств в сочетании с химическими и рентгеновскими данными, изучением характера изломов и макро-микроструктур позволил сделать следующие выводы:

1. Все изученные варианты сварки дают достаточно пластичный и вязкий шов с практически одинаковым характером структуры и мелкозернистым изломом. Отклонения наблюдаются лишь в тех образцах, где имеются дефекты сварки.
2. Наиболее высокое металлургическое качество с наименьшим количеством неметаллических включений наблюдается в швах, сваренных проволокой СВ-08ХН2ГМЮ.

3. Следует расположить варианты сварки в следующем предпочтительном порядке

а) сварка проволокой СВ-08ХН2ГМЮ в смеси газов  $78\%Ar+2\%CO_2$  с предварительным подогревом до  $120^{\circ}C$  и послесварочным подогревом до  $150^{\circ}C$  и последующим замедленным охлаждением;

б) сварка проволокой СВ-08Г2С в смеси газов  $78\%Ar+2\%CO_2$  с предварительным и послесварочным подогревом до тех же температур и последующим замедленным охлаждением;

в) сварка проволокой СВ-08Г2С в смеси газов  $78\%Ar + 22\%CO_2$  без подогрева.

Проведенный анализ результатов исследований позволил предложить следующие рекомендации:

1. для получения качественного сварного соединения в сталях с карбонитридным упрочнением типа 14ХГН2МДАФБ одним из основных условий является применение предварительного подогрева и последующего замедленного послесварочного охлаждения с регламентированной скоростью. Для этого рекомендуется использовать теплоизоляционную защиту (подогретый песок, асбест и т.п.), строго контролировать принятые стандартами режимы сварки и скорости охлаждения.
2. В качестве защитной среды при сварке данной марки стали применять газовую среду из  $78\%Ar + 22\%CO_2$ .
3. Исследованные марки сварочной проволоки СВ-08ХН2ГМЮ и СВ-08Г2С могут применяться для получения качественных сварных соединений при выполнении указанных рекомендаций.

#### Библиографический список

1. Гольдштейн М.И. и др. Карбонитридное упрочнение низколегированных сталей. Сталь, №9, 1977, с.883-836.
2. Мусияченко В.Ф. Свариваемость и технология сварки высокопрочных сталей. Киев, Наукова думка, 1983, с.64.