

УДК.621.791.793

Семенов В. М., Чигарев В. В.

ВЛИЯНИЕ ХРОМА НА СТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА ШВА Cr-Ni-Mo-V СТАЛИ ПРОТИВ ОБРАЗОВАНИЯ ГОРЯЧИХ ТРЕЩИН ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ

При изготовлении крупных заготовок из сталей повышенной прочности для роторов мощных турбогенераторов, специфика работы которых требует постоянства электротехнических характеристик всего изделия, помимо требований по равнопрочности, главным требованием также является получение химического состава шва, аналогичного основному металлу. В практике сварочного производства для обеспечения этого требования химический состав сварочных электродов выбирают аналогичный составу свариваемых заготовок с учетом возможного выгорания отдельных элементов в процессе сварки [1].

Для деталей роторного оборудования используют поковки массой 150...300 т из высокопрочных сталей, обеспечивающих в сечениях 2200×2500 мм прочностные свойства на уровне: $\sigma_T = 600$ МПа и $\sigma_B = 800$ МПа. Разработана легированная сталь 25ХНЗМФ, обеспечивающая этот уровень свойств после специальной термообработки. Предварительные исследования показали, что швы, выполненные электродами из этой стали с пониженным содержанием хрома, имеют повышенную склонность к образованию горячих трещин. При комплексном легировании шва элементами: Mn, Si, Mo, в условиях электрошлаковой сварки хром почти не влияет на склонность к образованию горячих трещин. Однако можно ожидать, что поведение хрома будет иным при композиции легирующих элементов, соответствующих стали 25ХНЗМФ, особенно при использовании флюсов различного состава.

Известно влияние состава флюса на качество сварных соединений, в частности на стойкость против образования пор в сварных швах [2]. В работах [3, 4] исследовали влияние легирующих элементов на сопротивляемость металла шва образованию трещин при электрошлаковой сварке легированных сталей с использованием кислого АН-348 и основного АНФ-6 флюсов. Установлено, положительное влияние флюса АНФ-6 системы $Ca-F_2-CaO-Al_2O_3$ на стойкость металла шва против образования горячих трещин. При использовании этого флюса исключается возможность образование легкоплавких силикатных включений, а образуются включения типа алюминатов, имеющих высокую температуру плавления, и с позиции образования горячих трещин не представляют опасности. Указано также, что для снижения концентрации водорода в сварочной ванне необходимо ограничивать доступ водородосодержащих газов в зону сварки. Флюсы характеризуют содержанием водорода (зависит от способа изготовления: путем сухой грануляции или плавлением) и температурой его термической десорбции. Эти свойства определяют содержание диффузионного водорода в металле шва, которое может достигать при использовании флюса АН-348 величины $9,5 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$. Указанные выше сведения, имея большую научную ценность, могут быть использованы как общий руководящий материал, не затрагивая конкретных случаев. Поэтому для каждого конкретного случая необходимо выполнять дополнительные исследования, учитывающие состав стали, сварочные материалы и дающие количественную оценку.

Целью работы является оптимизация состава сварочных материалов для ЭШС легированных сталей повышенной прочности.

Было изучено комплексное влияние содержания хрома и основности флюса на чувствительность к образованию трещин в шве, содержащем, помимо кремния и марганца, также никель, молибден и ванадий.

Исследования выполняли с использованием экспрессной методики [5], которая позволяла получить количественную оценку влияния состава флюса, режима сварки и химического

состава металла шва на склонность его к образованию трещин. Для устранения искажающего влияния основного металла на металл шва, в качестве опытных образцов применяли образцы из стали Ст3 размером $20 \times 80 \times 180$ мм. В качестве электродов использовали кованные пластины сечением 10×70 мм² из сталей: 25НЗМФ, 25ХНЗМФ и 25Х2НЗМФ, которые отличались только содержанием хрома. Для сравнения, при электрошлаковой сварке образцов применяли кремнемарганцовистый флюс АН-348 и нейтральный по кислороду флюс АНФ-6. Сварку выполняли на режиме:

- для флюса АН-348: сварочный ток $I = 850$ А; напряжение $U = 44$ В; скорость сварки $v_c = 0,5$ м/ч; глубина шлаковой ванны $h = 35...40$ мм;
- для флюса АНФ-6: $I = 1200$ А; $U = 33$ В; $v_c = 0,6$ м/ч; $h = 25...30$ мм.

Первоначальную скорость деформации в процессе кристаллизации, согласно методике, для стали 25ХНЗМФ принимали равной $A_{кр} = 10$ мм/мин. Сваренные образцы исследовали: определили химический состав шва и изготовили макрошлифы сварного соединения. Травление макрошлифов производили 5 %-ым раствором азотной кислоты. На рис. 1 приведены макрошлифы и микроструктура швов с горячими трещинами.

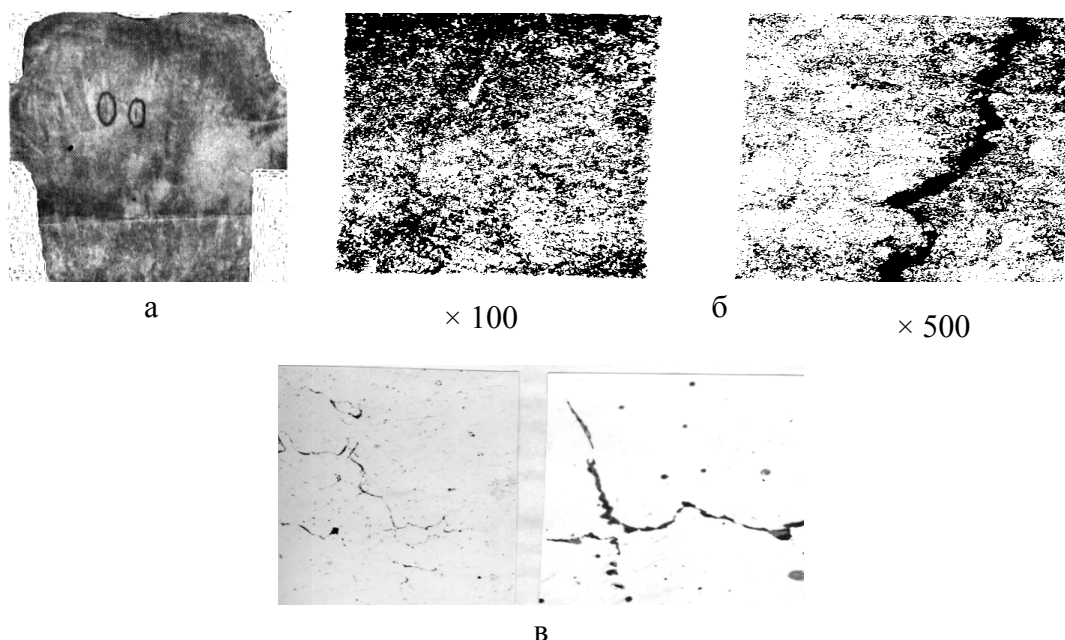


Рис. 1. Макрошлиф (а), микроструктура (б) с трещинами в шве по границам зерен (в)

Таблица 1

Химический состав флюсов, %

Компоненты	Тип флюса	
	Нейтральный	Основной
SiO ₂	37,3	3,4
Al ₂ O ₃	17,2	19,0
CaO	30,3	55,8
MgO	7,0	1,7
MnO	7,1	1,6
FeO	0,2	0,8
Fe ₂ O ₃	1,0	1,0
CaF ₂	15,0	57,0

Химический состав используемых электродов, металла шва и разница между ними приведены в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав электродов, шва и разница (Δ) между ними, %

Марка электрода, шов	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Mo	V
25НЗМФ	0,25	0,28	0,38	0,07	3,8	0,015	0,07	0,35	0,10
Шов	0,22	0,10	0,38	0,07	3,5	0,017	0,010	0,41	0,06
Δ	0,03	0,18	0,00	0,00	0,3	+0,02	+0,03	+0,06	0,04
20ХНЗМФ	0,25	0,21	0,49	0,88	3,8	0,015	0,07	0,36	0,10
Шов	0,21	0,14	0,46	0,64	3,5	0,015	0,011	0,41	0,06
Δ	0,04	0,07	0,03	0,24	0,3	0,00	+0,04	+0,05	0,04
25Х2НЗМФ	0,27	0,30	0,50	1,96	3,8	0,014	0,011	0,35	0,11
Шов	0,23	0,22	0,50	1,39	3,5	0,018	0,011	0,39	0,07
Δ	0,05	0,08	0,0	0,57	0,30	+0,04	0,00	+0,04	0,04

Анализ результатов химического анализа показал разницу между количественным содержанием элементов в шве и электродном металле.

Металл шва обеднен углеродом на 0,03...0,05 %, кремнием – на 0,04...0,03 %, хромом – на 0...0,5 %, никелем – на 0,4 %. Изменений содержания марганца и молибдена практически не наблюдалось. По степени потерь эти элементы расположены в следующем порядке: хром – 70 %; ванадий – 60 %; кремний – 40 %; никель – 28 % и углерод – 12 %.

С целью обнаружения трещин были изучены поверхности макрошлифов. Результаты показали, что поверхности макрошлифов, выполненные под флюсом АН-348 при $A = 10_{кр}$ мм/мин имели трещины на всех трех швах. Следующие образцы сваривались при скорости деформации 6 мм/мин. Просмотр шлифов позволил обнаружить в шве на стали 25НЗМФ трещины небольших размеров, расположенные по центру шва. На шлифах швов стали 25ХНЗМФ и 25Х2НМФ трещины не обнаружены. Далее скорость деформации на сталях 25ХНЗМФ и 25Х2НЗМФ была увеличена до 8 мм/мин, а на стали 25НЗМФ снижена до 4 мм/мин. В результате выявлены трещины в швах первых двух сталей и не обнаружены в шве, сваренном электродами из стали 25НЗМФ. Аналогичные эксперименты были проведены при использовании флюса АНФ-6. И в этом случае были обнаружены трещины, но меньшего размера. Таким образом, результаты показали, что увеличение содержания хрома в металле шва хромоникельмолибденованадиевых сталей до 2 % повышает критерий оценки сопротивляемость его образованию горячих трещин с $A_{кр} = 4$ мм/мин до 6 мм/мин. Использование флюса АНФ-6 вместо АН-348 повышает этот критерий. Результаты исследований представлены на рис. 3.

Тем самым подтвержден вывод работы [3] о меньшей склонности к образованию горячих трещин швов, выполненных под флюсом АНФ-6. Сопоставление результатов химического анализа и склонности металла швов к образованию горячих трещин показало, что с увеличением содержания хрома в шве сопротивляемость его образованию трещин повышается (приблизительно на 20 %).

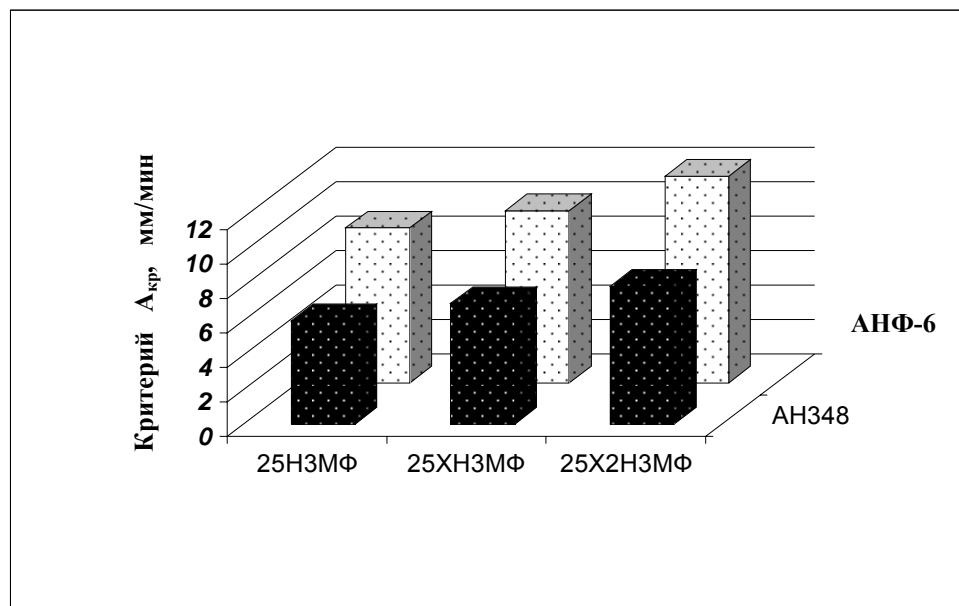


Рис. 2. Влияние хрома и характера флюса на склонность легированных сталей к образованию горячих трещи ($A_{кр}$)

Показано, что для повышения качества швов при ЭШС легированной Cr-Ni-Mo-V стали оптимальным составом сварочных материалов должен быть состав 25X2H3MФ и флюс АНФ-6. Проведенные исследования подтвердили достаточную чувствительность использованной экспрессной методики для оценки стойкости швов против образования кристаллизационных трещин.

Сопоставление результатов химического анализа и склонности металла швов к образованию горячих трещин показало, что с увеличением содержания хрома в шве сопротивляемость его образованию трещин повышается (приблизительно на 20 %).

ВЫВОДЫ

Установлено, что металл шва с большим (до 2 %) содержанием хрома при данной Cr-Ni-Mo-V композиции легирующих элементов в стали обладает повышенной сопротивляемостью против образования горячих трещин.

Показано, что использование флюса АНФ-6 в сравнении с флюсом АН-348 увеличивает сопротивляемость шва против образования трещин при ЭШС высокопрочных сталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суцук-Слюсаренко И. И. Основные и сварочные материалы для электрошлаковой сварки / И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко, В. М. Семенов. – К. : Наукова думка, 1981. – 111 с.
2. Гончаров И. А. Низководородный сварочный флюс, обеспечивающий повышенную стойкость швов к образованию пор / И. А. Гончаров, В. С. Пальцевич, В. С. Токарев // Труды Международной конференции «Современные проблемы сварки и ресурса конструкций». – ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины : Киев, 2003. – С. 21.
3. Дудко Д. А. Особенности взаимодействия электродного металла со шлаком при ЭШС / Д. А. Дудко, И. И. Суцук-Слюсаренко, А. М. Пальти // Автоматическая сварка. – 1989. – № 12. – С. 9–11.
4. Суцук-Слюсаренко И. И. Новый флюс для электрошлаковой сварки низколегированных сталей повышенной прочности / И. И. Суцук-Слюсаренко, И. И. Лычко, В. И. Галинин // Автомат. сварка. – 1981. – № 8. – С. 65–67.
5. Семенов В. М. Экспрессные методики оценки и прогнозирование качества сварных соединений при электрошлаковой сварке / В. М. Семенов // Научный Вестник ДГМА : сб. научн. тр. – Краматорск, 2010. – № 2 (19). – С. 154–159.