

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Семенов В. М., Кабацкий А. В., Красовский С. С., Хорошайло В. В.

Целью работы являлась разработка технологического процесса электрошлаковой сварки сталей 25ГС, 20ХНМФ, 20Х2МА и 35. Выбраны сварочные материалы, обеспечивающие получение механических свойств сварных соединений данных сталей, близких к механическим свойствам основного металла. Изучена свариваемость сталей с определением оптимальной скорости сварки, исключающей образование кристаллизационных трещин, проведены металлографические исследования. Разработанный технологический процесс может быть использован для изготовления и ремонта изделий из изученных сталей с использованием электрошлаковой сварки.

Метою роботи була розробка технологічного процесу електрошлакового зварювання сталей 25ГС, 20ХНМФ, 20Х2МА і 35. Обрано зварювальні матеріали, що забезпечують отримання механічних властивостей зварних з'єднань даних сталей, близьких до механічних властивостей основного металу. Вивчено зварюваність сталей з визначенням оптимальної швидкості зварювання, що виключає утворення кристалізаційних тріщин, проведені металографічні дослідження. Розроблений технологічний процес може бути використаний для виготовлення та ремонту виробів з вивчених сталей з використанням електрошлакового зварювання.

The aim of the work was the development of electroslag welding technology of steels 25ГС, 20ХНМФ, 20Х2МА and 35. The welding materials, allowing obtainsng the mechanical properties of welded joints of these steels, similar to the mechanical properties of the base metal, were selected. The weldability of steel, including with the definition of the optimum welding speed, preventing the of crystallization crack formation, was investigated, the metallographic studies also were conducted. The developed technological process can be used for the manufacture and repair of constructions made of the studied steels using electroslag welding.

Семенов В. М.

докт. техн. наук., проф. ДГМА

Кабацкий А. В.

канд. техн. наук, доц. каф. ИиИГ ДГМА
draw@dgma.donetsk.ua

Красовский С. С.

канд. техн. наук, доц. каф. ИиИГ ДГМА

Хорошайло В. В.

инж., ассистент каф. ИиИГ ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК.621.791.793.

Семенов В. М., Кабацкий А. В., Красовский С. С., Хорошайло В. В.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Разработка технологии при использовании электрошлаковой сварки для изготовления и ремонта изделий из низко- и среднеуглеродистых низколегированных сталей, как и для других способов сварки плавлением, включает в себя решение двух важных вопросов [1, 2]: выбор сварочных материалов, обеспечивающих получение требуемых механических свойств после соответствующей термической обработки, выбор режимов сварки, гарантирующих качество сварных соединений.

Используемые при сварке конструкционных сталей сварочные проволоки, как правило, имеют низкое содержание углерода (обычно ниже, чем содержание углерода в стали). Это объясняется стремлением уменьшить склонность швов к образованию трещин [2, 3]. Однако уменьшение содержания углерода в проволоках и соответственно в шве снижает его прочностные свойства. Поэтому для получения необходимых свойств применяют легированные проволоки. Их применение при сварке легированных сталей (20ХНМФ, 20Х2МА) создает опасность образования трещин в шве. Поскольку одним из основных параметров, влияющих на образование трещин в шве, является скорость сварки, при разработке технологического процесса необходимо определять оптимальную ее величину.

Целью данной работы являлось исследование и разработка технологического процесса электрошлаковой сварки сталей 25ГС, 20Х2МА, 20ХНМФ и 35, нашедших широкое применение для изготовления крупных сварных заготовок с помощью электрошлаковой сварки, с определением оптимальной скорости сварки.

Выбор сварочных материалов и режимов осуществляли путем электрошлаковой сварки образцов. После ЭШС одни образцы подвергали нормализации с отпуском, другие – только отпуску. Определяли механические свойства, химический анализ сварных соединений. Испытывали металл шва, а также основной металл. Испытание на статическое растяжение осуществляли на разрывных образцах с диаметром расчетного сечения 6 мм (тип образца П по ГОСТ 6996-66). Вязкость определяли при испытаниях на ударный изгиб надрезанных образцов в соответствии с ГОСТ 6996-66.

Для отработки технологии ЭШС с определением оптимальной скорости сварки использовали методику [4], позволяющую получить количественный критерий оценки склонности металла шва к образованию горячих трещин. Согласно этой методике образцы 20×80×150 мм из стали Ст. 3 сваривают исследуемой проволокой. В процессе кристаллизации металл шва растягивали, искусственно создавая жесткость сварного соединения, соответствующую жесткости при сварке крупных заготовок. На специальной установке сваривали образцы с различной скоростью. Для обнаружения трещин изготавливались макрошлифы. При наличии трещины скорость сварки уменьшали, а при отсутствии – увеличивали. Таким образом, определяли оптимальную скорость сварки, при которой в шве не отмечалось образование трещин.

Выбранная таким способом оптимальная скорость проверялась путем электрошлаковой сварки образцов из исследуемых сталей толщиной 200–300 мм, близкой к толщине свариваемых изделий. Образцы сваривались на различной скорости сварки, включая и оптимальную, полученную по вышеупомянутой методике.

Работу выполняли с использованием сталей 25ГС, 20ХНМФ, 20Х2МА и стали 35. Механические свойства после нормализации с отпуском и химический состав изучаемых сталей приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Механические свойства сталей

Марка стали	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	KSV , кДж/м ²	Толщина, мм
25ГС	298	514	18,9	38,2	108	220
20ХНМФ	500	680	17,1	43,0	60,0	1000
20Х2МА	450	610	19,0	47,0	90,0	330
35	260	502	23,7	43,6	45,0	280

Таблица 2

Химический состав изучаемых сталей

Марка стали	Химический состав, %								
	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V
25ГС	0,23	1,15	0,80	0,013	0,010	0,16	0,18	–	–
20ХНМФ	0,18	0,52	0,30	0,021	0,023	1,38	1,40	0,45	0,1
20Х2МА	0,19	0,60	0,27	0,022	0,018	0,30	2,30	0,30	–
35	0,38	0,70	0,30	0,036	0,036	0,20	0,22	–	–

Механические свойства и химический состав исследуемых сталей соответствовал техническим условиям. При электрошлаковой сварке использовали сварочные материалы, которые выбирали с учетом получения необходимых механических свойств. Сварку осуществляли с использованием флюса АН-8.

Исходя из условия обеспечения необходимых механических свойств, а также используя имеющиеся опытные производственные данные и литературные источники [1, 2], для сварки вышеупомянутых сталей опробовали следующие сварочные проволоки (табл. 3).

Режимы электрошлаковой сварки образцов представлены в табл. 4. Сварку осуществляли под флюсом АН-8 при глубине шлаковой ванны 40–50 мм.

Анализ табл. 1 и 2 показывает, что для получения механических свойств металла шва, близких к механическим свойствам основного металла, рекомендуется применять при сварке стали 25ГС проволоку Св-08Г2СМ; для стали 35 – Св-10Г2; для стали 20Х2МА – Св-08ХН2М; для стали 20ХНМФ – Св08ХН2М+пластина 20ХНМФ.

Определение оптимальной скорости сварки осуществляли предварительно на специальной установке (рис. 1) и окончательно при сварке крупных образцов. Установка для растяжения металла шва в процессе его кристаллизации состоит из двигателя 8, подвижного 2 и неподвижного 3, захватов, в которых крепился образец 1, и медных начальных и выводных планок 6 и 7 соответственно.

Образцы из стали Ст. 3 сваривали проволоками Св-08ХН2М, Св-08Х2ГСМ, Св-10Г2. Скорость деформации металла шва в процессе кристаллизации оставалась постоянной $A=14$ мм/мин. Эта деформация создает условия жесткости сварного соединения, имеющие место при электрошлаковой сварке крупных изделий. Образцы сваривали с различной скоростью. При сварке использовали флюс АН-8. Результаты испытаний и фотографии макрошлифов представлены на рис. 2.

Габариты образцов из исследуемых сталей и режимы их электрошлаковой сварки представлены в табл. 6. Для выявления трещин изготавливали продольные макрошлифы, которые травили 10% раствором азотной кислоты.

Таблица 3

Сварочные проволоки

Сталь	Проволока
25ГС	Св-10Г2; Св-08ХГ2СМ;
20Х2МА	Св-10Г2; Св-08ХН2М
20ХНМФ	Св-18ХМА + пластина 09Г2С; Св-08ХН2М + пластина 20ХНМФ
35	Св-08ГА; Св-10Г2

Таблица 4

Режимы электрошлаковой сварки

Основные параметры режима	Марка стали							
	25ГС		35		20Х2МА		20ХНМФ	
	Толщина, мм							
	220	240	280	250	330	330	1000	1350
Напряжение, В	48-50	50-52	51-53	48-52	51-53	51-53	45-48	45-48
Количество проволок, шт.	3	3	3	3	3	3	10	10
Скорость подачи проволоки, м/ч	240	240	220	220	220	220	130	130
Расстояние между проволоками, мм	10	80	95	86	118	118	110	118
Сварочная проволока	Св-10Г2	Св-08ХГ2СМ	Св-08ГА	Св-10Г2	Св-10Г2	Св-08ХН2М	Св-18ХМА	Св-08ХН2М
Пластина мундштука	–	–	–	–	–	–	09Г2С	20ХНМФ

Таблица 5

Механические свойства сталей

Марка стали	Марка сварочной проволоки и пластины	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	KSV , кДж/м ²	Толщина, мм	Термическая обработка
25ГС	Св-10Г2	300	510	28,7	51,5	57	200	Отпуск 600 ⁰ С
	Св-10Г2	282	495	22,5	38,0	97	200	Нормализация 910 ⁰ С, отпуск 600 ⁰ С
	Св-08ХГ2СМ	320	530	24,0	52,5	35	240	
35	Св-08ГА	251	467	23,7	50,0	70	280	Нормализация 850 ⁰ С, отпуск 580 ⁰ С
	Св-10Г2	300	504	34,3	65,7	110	280	
20Х2МА	Св-10Г2	285	503	26,7	48,3	101	350	Нормализация 920 ⁰ С, отпуск 620 ⁰ С
	Св-08ХН2М	290	525	25,5	45,2	115	350	
20ХНМФ	Св-18ХМА + пластина 09Г2С	345	574	22,1	50,1	68	1000	Нормализация 920 ⁰ С, отпуск 640 ⁰ С
	Св-08ХН2М + пластина 20ХНМФ	607	752	15,2	33,0	47	1350	

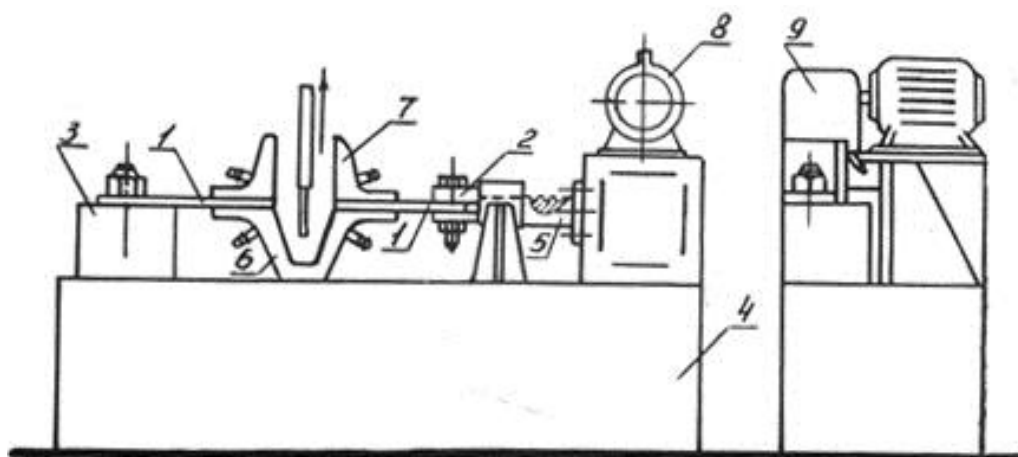


Рис. 1. Схема установки для исследования

Исследованиями установлено следующие значения критической скорости сварки для используемых проволок: для Св-10Г2 критическая скорость составляет 1,25 м/час; для Св-08ХН2М – 0,75 м/час; для Св-08ХГ2СМ – 0,50 м/час. Эти скорости получены при ЭШС образцов из стали Ст. 3, т.е. без влияния химического состава основного металла. Поэтому окончательный выбор оптимальной скорости сварки осуществляли для образцов из исследуемых сталей. При этом сварку производили при использовании скоростей, включающих и критическую скорость, полученную по вышеупомянутой методике.

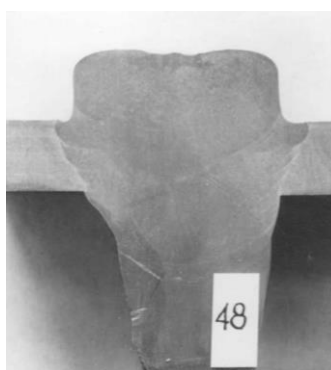
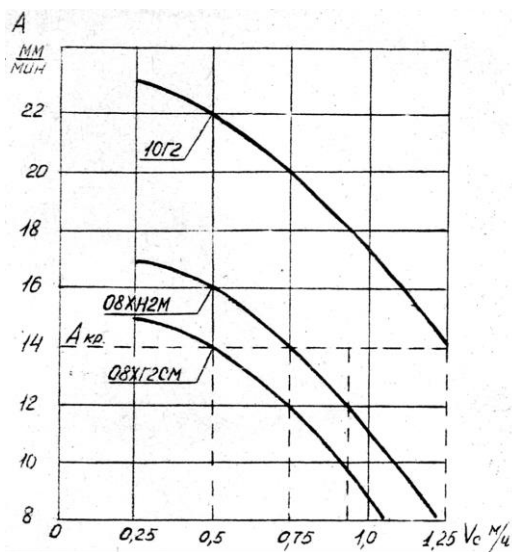


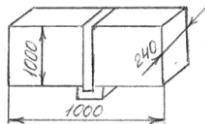
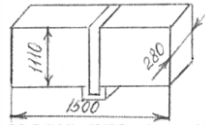
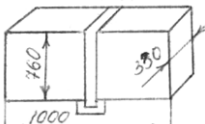
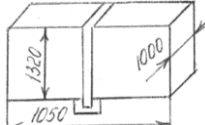
Рис. 2. График определения критической скорости сварки (а) и фотографии макрошлифов образцов (б).

В результате исследований установлено, что величина оптимальной скорости сварки при использовании выбранных сварочных материалов следующая: для стали 35 – 1,0 м/ч (толщина металла 280 мм), для стали 20Х2МА – 0,7 м/ч (толщина металла 330 мм) и для стали 20ХНМФ – 0,6 м/ч (толщина металла 1000 мм).

Полученные данные могут быть использованы для электрошлаковой сварки изделий из изученных сталей.

Таблица 6

Данные по определению оптимальной скорости сварки

Марка стали	Толщина, мм	Скорость сварки, м/ч	Напряжение, В	Сварочная проволока	Глубина шлаковой ванны, мм	Наличие трещины	Эскиз образца
25ГС	240	1,2 1,0	48-50	Св-08ХГ2СМ	40-50	Есть Нет	
35	280	1,2 1,0	50-51	Св-10Г2	40-50	Есть Нет	
20Х2МА	350	0,8 0,7	48-50	Св-08ХН2М	40-50	Есть Нет	
20ХНМФ	1000	0,8 0,6	46-48	Св-08ХН2М +20ХНМФ	40-50	Есть Нет	

ВЫВОДЫ

1. Исследован и разработан технологический процесс электрошлаковой сварки с выбором сварочных материалов, обеспечивающих получение механических свойств металла шва, близких к механическим свойствам основного металла. Рекомендуется применять флюс АН-8 и следующие сварочные материалы: для стали 25ГС – проволоку Св-08Г2СМ; для стали 35 – Св-10Г2; для стали 20Х2МА – Св-08ХН2М; для стали 20ХНМФ – Св08ХН2М+пластина 20ХНМФ.

2. Изучена склонность металла шва к образованию горячих трещин с определением оптимальной скорости сварки; ее величина при использовании выбранных сварочных материалов следующая: для стали 35 – 1,0 м/ч (толщина металла 280 мм), для стали 20Х2МА – 0,7 м/ч (толщина металла 330 мм) и для стали 20ХНМФ – 0,6 м/ч (толщина металла 1000 мм).

3. Разработанный технологический процесс может быть использован для электрошлаковой сварки изделий из изученных сталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов В. М. Изготовление крупных конструкций с применением электрошлаковой сварки. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 228 с.
2. Семенов В. М. Ресурсосберегающие технологии при производстве сварных заготовок / В. М. Семенов, А. В. Жартовский, В. И. Кабацкий [и др.] – Краматорск : ДГМА, 2009. – 160 с.
3. Семенов В. М. Влияние легирующих элементов на склонность металла шва к образованию горячих трещин при электрошлаковой сварке / В. М. Семенов, В. Д. Кассов, А. В. Иванык [и др.] // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – № 1 (30). – С. 149–152.
4. Семенов В. М. Экспрессные методы оценки и прогнозирования качества сварных соединений при электрошлаковой сварке / В. М. Семенов // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – № 1 (18). – С. 279–284.

Статья поступила в редакцию 26.10.2015 г.