



ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ ПРИ РЕМОНТЕ КОРПУСА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ НА ОАО «КГМК «КРИВОРОЖСТАЛЬ»

Ю. Н. ЛАНКИН, д-р техн. наук, **В. Г. ТЮКАЛОВ**, **А. А. МОСКАЛЕНКО**, **А. М. ГЕРАСИМЕНКО**, инженеры, **В. А. КОВТУНЕНКО**, **О. П. БОНДАРЕНКО**, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины), **Д. Ю. КУЗЬМЕНКО**, **П. В. МАРЫШЕВ**, **Г. Н. ЧАБАН**, инженеры (ОАО «КГМК «Криворожсталь», г. Кривой Рог)

Приведены механические свойства металла сварного соединения стали 06Г2Б толщиной 45 мм, выполненного способом скоростной электрошлаковой сварки с дополнительным сопутствующим охлаждением. Обоснован выбор способа электрошлаковой сварки для укрупнения блоков и монтажа пояса неохлаждаемой части самонесущего кожуха при ремонте первого разряда доменной печи ДП-9 на ОАО «КГМК «Криворожсталь». Описана технологическая схема с применением нового монтажного аппарата для электрошлаковой сварки АД-381.

Ключевые слова: электрошлаковая сварка, кожух доменной печи, монтажный аппарат, экономнолегированная сталь 06Г2Б повышенной прочности

Крупнейшая в Европе доменная печь ДП-9 вместимостью 5 тыс. м³ ОАО «КГМК «Криворожсталь» введена в строй в 1974 г. Самонесущий кожух печи изготовлен из стали марки 16Г2АФ (ЧМТУ 1-349-68) класса 440 повышенной прочности с нитридным упрочнением толщиной 40 и 45 мм.

В процессе непрерывной эксплуатации в тяжелых специфических условиях в конструкциях печи накопились деформации, дефекты и повреждения, потребовавшие замены ряда участков. Для замены участков неохлаждаемой части кожуха выбран листовой прокат из качественной экономнолегированной малоперлитной стали повышенной прочности 06Г2Б (ТУ У 14-16-150-99), легированной микродобавками молибдена, ниобия, титана, алюминия. Сталь толщиной 45 мм имеет предел текучести не ниже 440 МПа.

В соответствии с проектом капитального ремонта первого разряда домны ДП-9 для самонесущего кожуха применена оригинальная технология, заключающаяся в замене целого пояса высотой 7 м, расположенного на высоте 30 м и состоящего из девяти укрупненных монтажных блоков, соединенных вертикальными стыками. Каждый монтажный блок собран из трех полотнищ. Сварные швы между блоками и полотнищами в блоках выполняли способом электрошлаковой сварки, ко-

торый характеризуется высокой устойчивостью протекания процесса. Это способствует получению сварных соединений стабильно повторяемого качества. К тому же, отсутствие повышенных требований к подготовке кромок, возможность использования стандартных сварочных материалов, высокие производительность и экономичность делают этот способ сварки наиболее приемлемым для выполнения протяженных вертикальных стыковых соединений металла толщиной 30...60 мм, особенно при монтаже.

Поскольку сталь 06Г2Б использовали в строительстве впервые, необходимо было выбрать такой способ электрошлаковой сварки, который позволил бы получить требуемые свойства сварного соединения в монтажных условиях. Успешный опыт применения электрошлаковой сварки с дополнительным сопутствующим охлаждением высокопрочных сталей толщиной 40 мм [1-4] дал возможность рекомендовать этот способ для получения сварных соединений стали 06Г2Б повышенной прочности толщиной 45 мм. Для подтверждения правильности такого выбора в лабораторных условиях Института электросварки им. Е. О. Патона проведены исследования свойств металла сварных соединений. В качестве сварочных материалов использовали сварочную проволоку Св-10НМА (ГОСТ 2246-70) диаметром 3 мм и сварочный флюс АН-8 (ГОСТ 9087-69).

Таблица 1. Результаты испытания металла сварного соединения на растяжение

Место вырезки образцов	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
Металл шва	499,9...506,2	642,3...649,3	23,3...24,7	78,1...78,2
	503,5	645,5	24,2	78,2
Основной металл	428,8...453,8	560,0...572,5	28,0...34,0	83,8...86,5
	436,2	565,9	30,9	84,7
Сварное соединение	—	552,2...557,4 554,8	—	—

Примечание. Здесь и в табл. 2 в числителе указан разбег значений, в знаменателе — среднее.

Целью исследований было определение механических свойств металла шва и околошовной зоны (предела текучести, временного сопротивления, относительного удлинения после разрыва, ударной вязкости, способности металла сварного соединения воспринимать статический изгиб, прочности наиболее слабого участка при статическом растяжении), а также изучение макро- и микроструктуры металла сварного соединения.

Механические свойства металла сварного соединения стали 06Г2Б, выполненного электрошлаковой сваркой с сопутствующим охлаждением (табл. 1, 2), практически не уступают соответствующим свойствам основного металла.

Макро- и микроструктурный анализы показали отсутствие дефектов структуры, пор, трещин, непрочных, опасных закалочных структур и достаточно равномерное распределение твердости по металлу шва, зоны термического влияния и основному металлу.

В образцах металла сварного соединения, испытанных на статический изгиб (угол загиба 145°), трещины отсутствовали.

На основании проведенных исследований разработаны практические рекомендации по технике и технологии скоростной электрошлаковой сварки с дополнительным сопутствующим охлаждением стали марки 06Г2Б толщиной 45 мм при ремонте самонесущего кожуха доменной печи ДП-9 на ОАО «КГМК «Криворожсталь». Основные параметры режима следующие:

количество электродов, шт.	2
сварочный зазор, мм	24+2
сварочный ток, А	1200±100
скорость сварки, м/ч	4±0,5

Разработанная технологическая схема проведения ремонтных работ предусматривала размещение на монтажной площадке рядом с поддоменником спроектированного и изготовленного на КГМК «Криворожсталь» специализированного стенда для электрошлаковой сварки укрупненных монтажных блоков, оборудованного переставными стеллажами и лестницами для перемещения обслуживающего персонала. Три полотнища размером 7000×2400 мм предварительно вальцевали по требуемому радиусу, а затем собирали на стенде в монтажный блок в вертикальном положении. Сборочный зазор фиксировали скобами, размещенными с внутренней вогнутой стороны, а сварочный аппарат перемещали по направляющей рейке – уголку, установленному с выпуклой стороны собранного монтажного блока. Входными и выходными планками при электрошлаковой сварке служили технологические припуски на полотнищах, удаляемые при обрезке укрупненного до требуемых размеров монтажного блока. Обрезку технологических припусков заготовки производили способом газокислородной резки машинным резаком с использованием тележки сварочного аппарата.

На временном стенде на монтажной площадке производили контрольную сборку всех укрупненных блоков в соответствующий пояс кожуха печи. Положение отдельных блоков и всего собранного

Таблица 2. Ударная вязкость металла сварного соединения (образцы с круглым надрезом по Менаже)

Место расположения надреза	KCU, Дж/см ² , при T, °C	
	+20	-40
Шов	<u>215,1...266,8</u> 236,5	<u>90,5...161,1</u> 131,6
2,5 мм от линии сплавления	<u>272,6...360,0</u> 330,9	<u>63,7...261,6</u> 175,1
5 мм от линии сплавления	<u>360,0...360,0</u> 360,0	<u>360,0...360,0</u> 360,0
Основной металл	<u>360,0...360,0</u> 360,0	<u>360,0...360,0</u> 360,0

пояса как на стенде, так и затем на кожухе контролировали с помощью геодезических инструментов. После этого на кожухе доменной печи из пояса, подлежащего замене, вырезали фрагмент. Точность реза обеспечивали посредством применения механизированной резки машинным газокислородным резаком, установленным на тележке сварочного аппарата.

На место вырезанного фрагмента устанавливали соответствующий укрупненный блок, фиксировали его с помощью сборочных приспособлений и выполняли сварку верхнего и нижнего горизонтальных швов. Затем вырезали следующий фрагмент, устанавливали другой укрупненный блок, выполняли электрошлаковую сварку вертикального шва, соединяющего оба установленных монтажных блока. Далее производили сварку верхнего и нижнего швов, соединяющих второй укрупненный блок с кожухом. Затем вырезали еще один фрагмент пояса, устанавливали следующий укрупненный блок, выполняли электрошлаковую сварку шва, соединяю-



Рис. 1. Электрошлаковая сварка вертикального стыка монтажных блоков (вид с монтажной подвесной площадки, расположенной внутри кожуха домы)



Рис. 2. Новый двухэлектродный монтажный аппарат АД-381 для электрошлаковой сварки металла толщиной 30...60 мм

щего вновь установленный блок с предыдущим, а также сварку швов между блоком и кожухом. В таком порядке монтировали все девять укрупненных блоков и электрошлаковым способом сваривали все девять вертикальных швов.

Каждый укрупненный монтажный блок и демонтируемый элемент кожуха транспортировали монтажным краном через внутреннюю купольную часть печи. Технологическая схема предусматривала перемещение сварочного аппарата по внутренней поверхности корпуса. Причем направляющую рейку – уголок аппарата устанавливали на уже вваренном монтажном блоке. Это позволяло (в случае необходимости создания требуемого сборочного зазора) использовать тележку аппарата в качестве базы для газокислородного резака. Сборочный зазор под электрошлаковую сварку между монтажными блоками фиксировали сборочными скобами, установленными с наружной стороны корпуса. Сварочный аппарат, источники питания, кас-

сети со сварочной проволокой размещали на подвесной площадке рядом со сварным швом внутри корпуса домны (рис. 1).

Для осуществления разработанной технологической схемы с учетом особенностей параметров режима сварки (скорость сварки повышена до 4 м/ч) создан новый монтажный аппарат для электрошлаковой сварки АД-381 (рис. 2) [5].

Качество всех сварных швов контролировали визуально-оптическим и ультразвуковым методами контроля. Места остановки и пересечений сварных швов дополнительно контролировали гаммаграфированием. Перед пуском печи в работу, согласно требованиям СНиП III-18-75, проведены испытания самонесущего кожуха на прочность и плотность.

Таким образом, благодаря строгому соблюдению разработанной технологии в запланированные сроки осуществлена уникальная операция по замене отслужившего свой срок металла пояса кожуха домны новой высокопрочной экономнолегированной сталью марки 06Г2Б.

Все вертикальные укрупнительные и монтажные стыки выполняли скоростной электрошлаковой сваркой с дополнительным сопутствующим охлаждением. Суммарная протяженность этих швов составляла 140 м, т. е. примерно 60 % массы всего металла, наплавленного различными способами сварки при ремонте кожуха.

Успешно опробован в производственных условиях специализированный монтажный аппарат нового поколения для электрошлаковой сварки металла толщиной 30...60 мм.

Применение электрошлаковой сварки наряду с высокой производительностью процесса позволило получать требуемые свойства соединений.

1. *Сварка высокопрочной стали 12ГН2МФАЮ / В. Ф. Мусияченко, Б. С. Касаткин, Л. И. Миходуй и др. // Автомат. сварка. — 1982. — № 5. — С. 47-50.*
2. *Выбор режима охлаждения при электрошлаковой сварке стали 14Х2ГМР / И. И. Суцук-Слюсаренко, В. М. Хрундже, И. И. Лычко и др. // Там же. — 1978. — № 7. — С. 43-45.*
3. *Электрошлаковая сварка стали 12ГН2МФАЮ толщиной 40 мм / И. И. Суцук-Слюсаренко, А. А. Москаленко, В. М. Хрундже, В. Г. Тюкалов // Там же. — 1983. — № 11. — С. 58-59.*
4. *Хакимов А. Н. Электрошлаковая сварка с регулированием термических циклов. — М.: Машиностроение, 1984. — 208 с.*
5. *Ковалев В. Д. Автомат АД-381 для электрошлаковой сварки с принудительным формированием вертикальных стыков // Сварщик. — 2003. — № 4. — С. 3.*

Mechanical properties of metal of 45 mm thick 06G2B steel welded joint, made by high-speed electroslag welding with additional concurrent cooling are given. The choice of the electroslag welding method for enlargement of units and erection of girth of a non-cooled part of the self-bearing casing in repair of the first stage of blast furnace DP-9 at «KGMK «Krivorožstal» is substantiated. The process flow diagram using the new apparatus AD-381 for site electroslag welding is described.

Поступила в редакцию 26.02.2004