

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ

УДК 621.791.75:[621.791.011]

А. Ф. Князьков, В. Л. Князьков, С. А. Князьков, К. С. Карабаев

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ СВАРКИ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ЭЛЕКТРОДАМИ ТИПА Э-09Х1МФ

Паропроводы высокого давления предприятий энергетики, а также технологические трубопроводы предприятий металлургической и химической промышленности, работающие при температуре до 585°C, изготавливаются в настоящее время в основном из теплоустойчивых хромомолибденонадиевых сталей 12Х1МФ и 15Х1М1Ф. К качеству сварных соединений трубопроводов, изготовленных из указанных марок сталей, предъявляются высокие требования с целью обеспечения их безопасной эксплуатации. При монтаже и ремонте трубопроводов сварные соединения часто выполняются в стесненных условиях. Отсутствие возможности поворота сварного соединения в удобное для сварки положение создает дополнительные проблемы в обеспечении качества. С целью улучшения формирования шва во всех пространственных положениях, регулирования объема сварочной ванны, увеличения скорости кристаллизации, повышения устойчивости горения дуги применяют сварку модулированным током [1;2]. Сварка модулированным током позволяет обеспечивать оптимальный режим плавления электрода и регулировать объем сварочной ванны в зависимости от обстановки в зоне сварки, пространственного положения и теплонасыщения кромок детали.

При сварке модулированным током электродами с покрытием появляется возмож-

ность изменения (модулирования) тепловой мощности дуги по заранее установленному алгоритму, с учетом требований технологического процесса. Пример способа модулирования

сварочного тока приведен на рис.1.

При выборе режимов сварки с импульсной модуляцией объем сварочной ванны зависит в основном от выбора величины

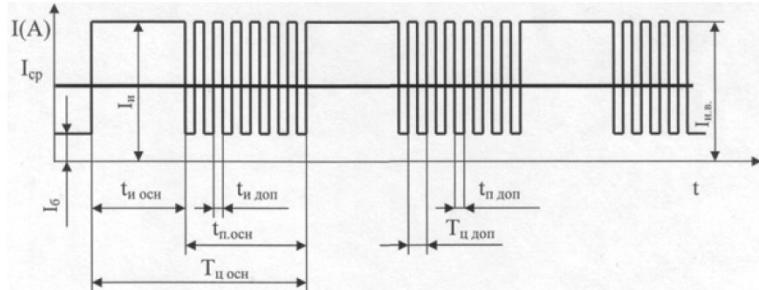


Рис.1. Способ сварки модулированным током с дополнительными импульсами:

- I_i – ток импульса; - I_b – базовый ток (паузы); - I_{cp} – средний ток; - $I_{i,v}$ – ток вспомогательного импульса; - $t_{i,osn}$ – продолжительность основного импульса; - $t_{p.osn}$ – продолжительность основной паузы; - $t_{i,dop}$ – продолжительность дополнительного импульса; - $t_{p,dop}$ – продолжительность дополнительной паузы; - $T_{i,osn}$ – продолжительность основного цикла модуляции сварочного тока; - $T_{i,dop}$ – продолжительность цикла дополнительной модуляции сварочного тока в период паузы

Таблица 1
Химический состав электродов тип Э-09Х1МФ

C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %	S %	P %
0,06- 0,12	0,15- 0,40	0,5- 0,9	0,8- 1,25	0,4- 0,7	0,1- 0,3	0,025	0,03

Таблица 2

Параметры режимов и химический состав наплавленного металла при стационарном процессе сварки

№ п/п	I, A	C %	Si %	Mn %	Cr %	V %	Mo %	S %	P %
1	40	0,108	0,26	0,94	1,09	0,189	0,59	0,008	0,035
2	60	0,087	0,240	0,84	0,99	0,151	0,56	0,009	0,034
3	80	0,079	0,210	0,73	0,97	0,118	0,56	0,009	0,031
4	100	0,075	0,148	0,58	0,93	0,084	0,57	0,010	0,027
5	120	0,069	0,149	0,492	0,87	0,075	0,56	0,012	0,024
6	140	0,068	0,105	0,437	0,86	0,062	0,55	0,012	0,026

среднего тока сварки, который должен находиться в пределах, установленных нормативной документацией [3]. Например, для стационарного режима при использовании электродов марки ЦЛ-39 типа Э-09Х1МФ ток сварки находится в пределах интервала 65-85А. Плавление данного электрода происходит при токе импульса, значительно превышающем установленный верхний предел допустимого тока 85А для стационарного режима сварки. Для электродов с основным типом покрытия, характерен крупнокапельный перенос металла [4]. На рис. 2 а и 2 б представлены осциллограммы процесса сварки модулированным током, из которых видно, что в пределах режимов указанных в табл. 3, металл (импульсы тока короткого замыкания - I_{kz}) дугового промежутка каплей металла, происходят в основном во время импульса тока - I_u электрода плавится и переходит в сварочную ванну в основном в период протекания тока импульса или непосредственно после протекания тока импульса в период основной паузы.

Одним из преимуществ, способов сварки модулированным током электродами с покрытием является возможность установления оптимального тока импульса, при котором будут проявляться лучшие сварочно-технологические свойства данных электродов. Для сварки вышеуказанных сталей применяют электроды типа Э-09Х1МФ.

Специальные свойства сварных соединений хромомолибденованадиевых сталей (в данном случае, это максимальная рабочая температура °С, при которой регламентированы показатели длительной прочности наплавленного металла и металла шва [5]) в основном зависят от их химического состава, проверяемого при входном контроле электродов в соответствии с требованиями [3]. Содержание хрома, молибдена

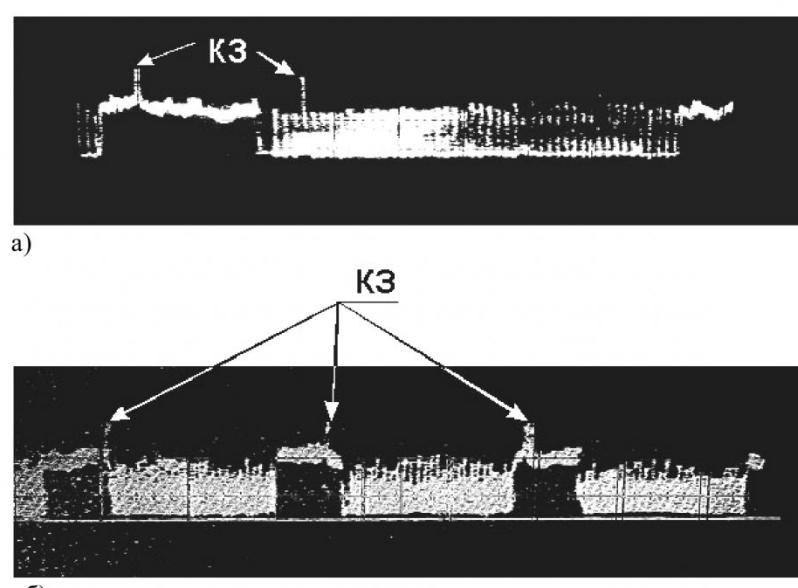


Рис. 2. Осциллограммы процесса сварки модулированным током:

а) замыкание дугового промежутка каплей металла, переходящего с электрода в сварочную ванну в период протекания тока импульса - I_u , где I_{kz} – ток короткого замыкания

б) замыкание дугового промежутка каплей металла, переходящего с электрода в сварочную ванну в период протекания тока импульса - I_u и непосредственно после импульса

и ванадия в наплавленном электродами типа Э-09Х1МФ металле весьма мало. Поэтому превышение установленного нормативной документацией тока может привести к снижению содержания легирующих

элементов в шве и тем самым отрицательно повлиять на специальные свойства металла шва. Допустимый интервал химического состава электродов тип Э-09Х1МФ приведен в табл. 1 [5].

Таблица 3
Параметры режимов сварки модулированным током

№ п/п	I_u (А)	t_{on} (мс)	t_{off} (мс)	$f_{всп.имп.}$ (Гц)	$t_{всп.имп.}$ (мс)	I_p (А)	n	I_{cp} (А)
7	150	200	200	100	2	30	20	88,5
8	150	200	500	100	2	30	50	81,4
9	150	200	700	100	2	30	70	75,3
10	180	200	200	100	2	30	20	108,4
11	180	200	500	100	2	30	50	94,3
12	180	200	700	100	2	30	70	86,6

№ п/п - (клеймо партии образцов)

Таблица 4
Химический состав металла, наплавленного электродами
типа Э-09Х1МФ при сварке модулированным током

№ п/п	C %	Si %	Mn %	Cr %	V %	Mo %	S %	P %
7	0,098	0,25	0,94	1,02	0,175	0,56	0,008	0,035
8	0,125	0,40	1,05	1,03	0,198	0,55	0,006	0,036
9	0,117	0,38	1,10	1,01	0,198	0,55	0,006	0,036
10	0,090	0,23	0,90	1,03	0,152	0,55	0,008	0,034
11	0,090	0,21	0,82	1,00	0,131	0,54	0,009	0,034
12	0,098	0,26	0,84	1,01	0,165	0,52	0,008	0,033

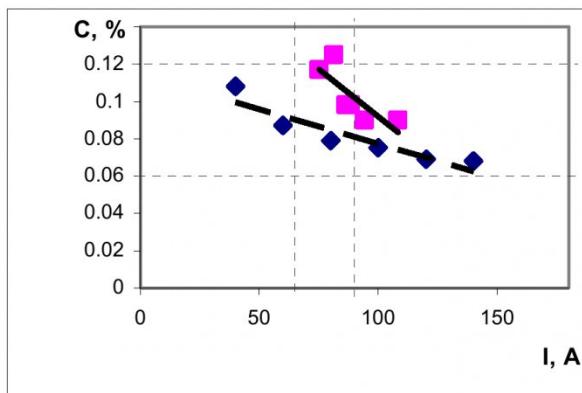


Рис. 3

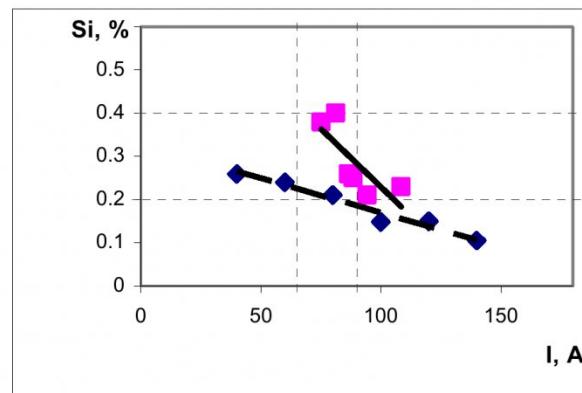


Рис. 4

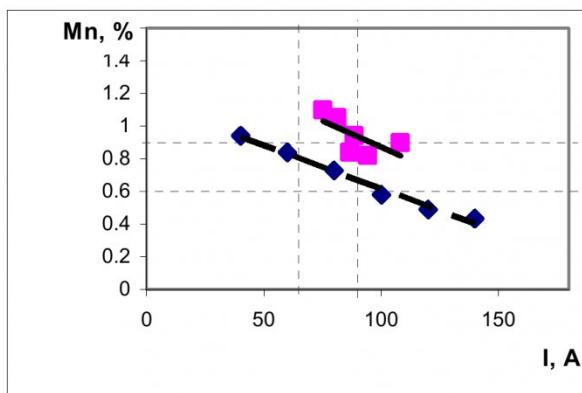


Рис. 5

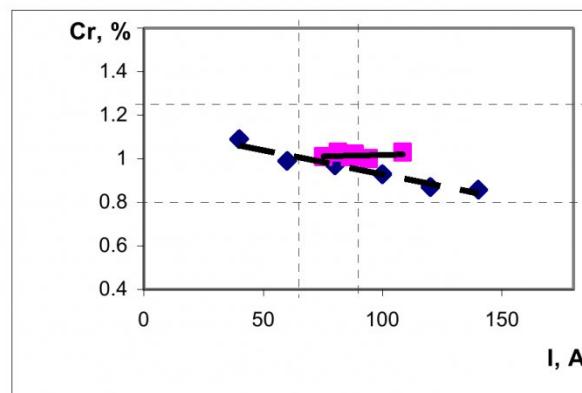


Рис. 6

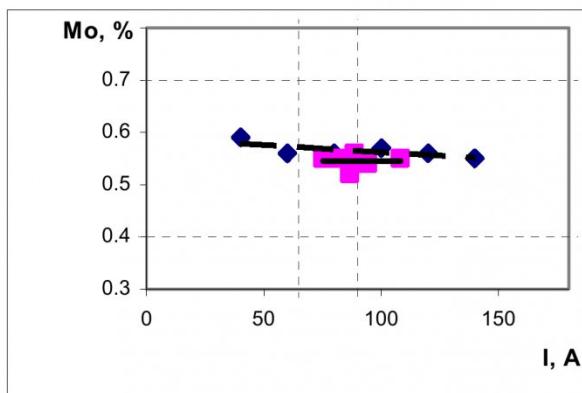


Рис. 7

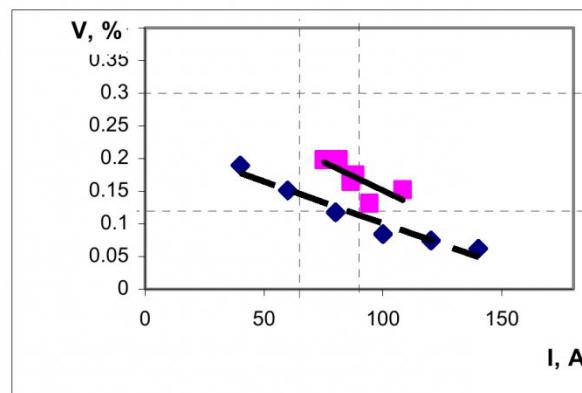


Рис. 8

Изменение содержания в наплавленном электродами марки ЦЛ-39 типа Э-09Х1МФ металле углерода – С, кремния – Si, марганца – Mn, хрома – Cr, молибдена – Mo и ванадия – V при стационарном режиме в зависимости от силы тока ♦ и при сварке модулированным током ■ в зависимости от среднего тока ■

Исследование влияния параметров режима сварки модулированным током на химический состав наплавленного электродами марки ЦЛ-39 типа Э-09Х1МФ металла, проводилось сравнением химического состава при сварке в стационарном режиме и сварке модулированным током. Сварка модули-

рованным током выполнялась со значительным превышением (до 180 А) тока импульса над допустимым нормативной документацией (85 А) током стационарной дуги. Параметры режимов и химический состав наплавленного металла при стационарном процессе сварки приведены в табл. 2.

Параметры режимов и химический состав наплавленного металла при сварке модулированным током приведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Изменение химического состава наплавленного металла в зависимости от среднего тока при сварке модулированным током и тока при стационарном

процессе приведены на рис. 2 - 7. В областях, ограниченных вертикальными и горизонтальными линиями, выделены диапазоны сварочного тока и химического состава наплавленного металла, которые регламентированы нормативной документацией [5].

Наплавка стационарной дугой выполнялась на режимах от 40 до 140А. Лучшие сварочно-технологические свойства электродов были получены при токе сварки 100А. Оценка сварочно-технологических свойств выполнялась [6]. Содержание кремния, марганца и ванадия при оптимальном токе сварки было ниже допустимого предела, установленного нормативным документом [5].

Наплавка с применением технологии сварки модулированным током выполнялась при токах импульса от 150 до 180А. Средний ток изменялся от 75,3, до 108,4А. Химический состав наплавленного металла по результатам исследования находится в пределах, установленных нормативным документом [5].

Применение способа сварки модулированным током расши-

ряет диапазон допустимых токов сварки без потери специальных свойств электродов типа Э-09Х1МФ, что позволяет выполнять сварку при оптимальном токе импульса, когда проявляются лучшие сварочно-технологические свойства электродов с покрытием. Сочетанием продолжительности основного импульса $t_{и.осн}$ и продолжительности основной паузы $t_{п.осн}$ можно выбрать средний ток, который будет определять объем сварочной ванны для конкретных условий сварки. Это позволит повысить качество сварных соединений, особенно при сварке в условиях монтажа и ремонта трубопроводов.

Выводы

1. В наплавленном модулированным током металле содержание углерода, кремния, марганца и ванадия выше, чем при сварке в стационарном режиме.

2. Даже незначительное превышение тока в стационарном режиме сварки может привести к снижению содержания ванадия в металле шва ниже допустимого нормативной документацией.

3. При значительном превышении тока импульса выше заданного нормативной документацией для стационарного режима, содержание в наплавленном металле углерода, кремния, марганца и ванадия находится в пределах интервала, установленного той же нормативной документацией.

4. Содержание хрома и молибдена при всех режимах изменяется незначительно.

5. Повышенное содержание легирующих элементов в наплавленном электродами типа Э-09Х1МФ металле с применением сварки модулированным током относительно стационарного режима сварки позволяет применять его в изученном в настоящей работе интервале режимов.

6. Результаты работы могут быть использованы при аттестации технологии сварки теплоустойчивых сталей модулированным током в соответствии с РД 03-615-03 Порядок применения сварочных технологий при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хромченко Ф.А., Бродская Г.Л., Зислин Г.С. Структура и свойства соединений теплоустойчивой стали, выполненных дуговой сваркой модулированным током. Сварочное производство №12, 1988 г. С. 7-10.
2. Сараев Ю.Н. Импульсные технологические процессы сварки и наплавки. Новосибирск. Наука. 1994. 108с.
3. РД 153-34.1-003-01 Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования (РТМ-1с) М.: ПИО ОБТ, 2001 г.
4. Походня И.К. Газы в сварных швах. М.: Машиностроение, 1972. – С 62-68.
5. ГОСТ 9467-75 Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы. М.: ИПК Издательство стандартов, 1995 г.
6. ГОСТ 9466-75. Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация и общие технические условия. -М.: ИПК Издательство стандартов, 1997 г.

□ Авторы статьи:

Князьков Анатолий Федорович - канд.техн.наук, доц. каф. «Сварочное производство» (Томский политехнический университет)	Князьков Виктор Леонидович - ст. преподаватель каф. «Технология машиностроения»	Князьков Сергей Анатольевич - главный сварщик МВП «Импульс» (г. Томск)	Карабаев Константин Сергеевич - инженер службы металлов и сварки ОАО «ИАЦ «Кузбасстехэнерго», г. Кемерово
---	--	---	---