

УДК 621.791.75.042-422

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ТИПА Св-10ГН1МА ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ ЭСАБ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

И. М. ЛИВШИЦ

ООО «Ижорские сварочные материалы». РФ, г. Санкт-Петербург, г. Колпино, просп. Ленина, 1.
E-mail: iosif.Livshits@omzglobal.com

С целью увеличения ресурса вводимых блоков АЭС ужесточаются требования к сварным соединениям оборудования из стали 10ГН2МФА, в частности по ограничению вредных примесей в металле шва. Выполнена оценка проволоки типа Св-10ГН1МФ производства фирмы ЭСАБ на предмет пригодности ее при производстве отмеченного оборудования. Комплексная оценка химического состава наплавленного металла, механических свойств металла шва после соответствующей термообработки, радиографический контроль соединений, определение критической температуры хрупкости позволили рекомендовать проволоку для применения в атомном машиностроении. Табл. 4.

Ключевые слова: дуговая сварка, энергетическое оборудование, увеличение ресурса, требования к сварным соединениям, сварочная проволока, испытания, рекомендации

Для сварки конструкций атомных энергетических установок из стали марки 10ГН2МФА в соответствии с действующими нормативными документами должна применяться сварочная проволока марки 10ГН1МА, поставляемая по ТУ 14-1-1549–76. Изготовителями этой проволоки являлись российские предприятия ОАО «Серп и Молот», г. Москва (в настоящее время предприятие не работает), ОАО «Электросталь», г. Электросталь Московской обл. и ОАО «Ижсталь», г. Ижевск.

В связи с необходимостью увеличения ресурса и срока службы вновь вводимых блоков АЭС до 60 лет к сварным соединениям стали предъявлять повышенные требования по содержанию вредных примесей, не только таких как сера, фосфор, но и ряда других, в частности кобальта, меди, мышьяка, олова, сурьмы, ванадия, ниобия и др.

Для обеспечения этих требований в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» разработаны специальные технические условия на проволоку Св-10ГН1МА с учетом всех ограничений по химическому составу.

Российские предприятия по ряду причин не в состоянии обеспечить изготовление проволоки Св-10ГН1МА с учетом значительного ужесточения требований по содержанию вредных примесей, так как цена на такую проволоку возрастает в несколько раз. Поэтому ее использование становилось экономически нецелесообразно.

К решению этой задачи подключилась в инициативном порядке фирма ЭСАБ, на одном из своих предприятий изготавливающая проволоку типа Св-10ГН1МА с учетом всех ограничений и достаточно приемлемой ценой.

Требования нормативной документации по химическому составу проволоки и фактический химический состав изготовленной проволоки приведены в табл. 1.

В соответствии с действующей в РФ нормативной документацией применение сварочных материалов импортного производства для изготовления оборудования АЭС возможно только после получения решения. Для оформления такого решения требуется выполнить ряд процедур, включая проведение испытаний сварного соединения (определение химического состава наплавленного металла и механических свойств металла шва).

С этой целью в ООО «Ижорские сварочные материалы» проведены соответствующие испытания. Для испытаний использовались:

– сварочная проволока Св-10ГН1МА диаметром 4,0 мм, плавка 382418, производства ООО «ЭСАБ»;

– плавленный флюс ФЦ-16 производства ООО «Ижорские сварочные материалы».

В качестве основного металла применяли пластины из стали ВСт.3сп размером 700×150×30 мм с предварительной наплавкой кромок электродами ПТ-30, имитирующей сталь 10ГН2МФА.

Испытания проводились в следующем объеме.

1. Определение химического состава наплавленного металла.

Для определения химического состава наплавленного металла контролируемым сочетанием сварочных материалов была выполнена 8-слойная наплавка на пластину из стали ВСт.3сп. Химический состав определяли рентгенофлюоресцентным методом на приборе ARL-1600.

Таблица 1. Химический состав проволоки 10ГН1МА, мас. %

Источник	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	S	P
ТУ 14-1-1549-76	0,08... 0,12	0,15... 0,35	1,10... 1,50	≤ 0,3	1,60... 1,80	0,60... 0,75	-	≤ 0,020	≤ 0,020
ТУ 2730.09.033-2012	0,08... 0,12	0,15... 0,30	1,10... 1,40	-»-	1,50... 1,80	0,60... 0,75	≤ 0,02	≤ 0,010	≤ 0,010
ТУ 2730.09.045-2013	0,08... 0,12	0,15... 0,30	1,10... 1,40	-»-	1,50... 1,80	0,60... 0,75	≤ 0,02	≤ 0,010	≤ 0,010
Плавка 382418	0,102	0,24	1,27	0,12	1,65	0,65	≤ 0,09	≤ 0,0015	≤ 0,007

Продолжение табл. 1

Источник	N	Nb	Ti	Cu	As	Sb	Co	Sn	Al
ТУ 14-1-1549-76	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ТУ 2730.09.033-2012	≤ 0,010	≤ 0,02	≤ 0,05	≤ 0,06	≤ 0,020	≤ 0,005	≤ 0,02	≤ 0,005	≤ 0,05
ТУ 2730.09.045-2013	≤ 0,010	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,06	≤ 0,020	≤ 0,005	≤ 0,02	≤ 0,005	≤ 0,02
Плавка 382418	≤ 0,007	≤ 0,005	≤ 0,001	≤ 0,040	≤ 0,003	≤ 0,002	≤ 0,011	≤ 0,005	≤ 0,013

Таблица 2. Результаты испытаний на статическое растяжение металла шва

Маркировка образцов	Температура испытаний, °C	Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести условный, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
175П-1	+ 20	610	495	26,0	71
		600	490	24,5	71
	+ 350	560	430	18,5	64
		570	425	21,5	65
175П-2	+ 20	600	475	28,0	70
		600	480	28,0	73
	+ 350	550	400	26,0	66
		550	410	23,0	66
Требования ПН АЭ Г-7-010-89 (не менее)	+ 20	539	343	16	55
	+ 350	490	294	14	50

Результаты определения химического состава наплавленного металла приведены в табл. 1.

2. Определение механических свойств металла шва после термической обработки для режимов:

а) отпуск при температуре 650 + 10 °C с выдержкой 9...10 ч (маркировка 175П-1);

б) отпуск при температуре 620 + 10 °C с выдержкой 5...6 ч + отпуск при температуре 650 + 10 °C с выдержкой 36...38 ч (маркировка 175П-2).

Выполненные сварные соединения были подвергнуты визуальному, измерительному и радиографическому контролю. Результаты контроля положительные. Для определения механических свойств металла шва были изготовлены образцы:

– типа II по ГОСТ 6996-66 для испытаний на статическое растяжение при + 20 и + 350 °C;

– типа IX по ГОСТ 6996-66 для испытаний на ударный изгиб и подтверждения критической температуры хрупкости.

Результаты определения механических свойств металла шва на статическое растяжение приведены в табл. 2, а на подтверждение критической температуры хрупкости в табл. 3.

В соответствии с требованиями нормативной документации для сочетания сварочная проволока Св-10ГН1МА + флюс ФЦ-16 установлены

Таблица 3. Результаты испытаний на подтверждение критической температуры хрупкости металла шва

Маркировка образцов	Температура испытаний, °C	Ударная вязкость КСV, Дж/см ²	Процент вязкой составляющей, %
175П-1 (T _{к0} ≤ 15 °C)	+ 15	167...219	94...95
	+ 45	176...225	100
175П-1 (T _{к0} ≤ 10 °C)	- 10	125...156	62...81
	+ 20	174...210	94...97
175П-1 (T _{к0} ≤ 15 °C)	+ 15	147...183	76...92
	+ 45	166...228	88...100
175П-1 (T _{к0} ≤ 10 °C)	- 10	100...168	56...76
	+ 20	135...181	78...90

два значения критической температуры хрупкости (T_{к0}) в зависимости от условий эксплуатации конструкции + 15 и - 10 °C. Подтверждение T_{к0} проводится по специальной методике, когда определяется ударная вязкость при подтверждаемой температуре (+ 15 и -10 °C) и при температуре на 30° выше подтверждаемой, т. е. при + 45 и + 20 °C. В зависимости от полученных результатов и значения предела текучести металла шва подтверждается или не подтверждается T_{к0}.

Таблица 4. Результаты испытаний на ударный изгиб металла шва

Маркировка образцов	Температура испытаний, °С	Ударная вязкость KCV, Дж/см ²	Процент вязкой составляющей, %
175П-1 ($T_{к0} \leq -40^\circ\text{C}$)	10	157...181	77...91
	0	123...168	70...94
	-20	127...140	72...81
	-30	95...111	55...59
	-40	68...96	44...48
175П-2 ($T_{к0} \leq -40^\circ\text{C}$)	10	142...196	74...83
	0	117...152	62...77
	-20	84...125	52...63
	-30	77...113	47...59
	-40	43...87	34...48

Кроме процедуры подтверждения имеется методика определения $T_{к0}$, когда для определение температуры при которой происходит переход от

вязкого к хрупкому разрушению, проводятся испытания ударной вязкости металла шва в широком интервале температур от + 50 до - 100 °С.

Полученные результаты испытаний подтвердили полное соответствие требованиям нормативной документации по химическому составу наплавленного металла и механическим свойствам металла шва (табл. 4).

По результатам испытаний получено подтверждение критической температуры хрупкости $T_{к0} \leq -40^\circ\text{C}$. Для определения критической температуры хрупкости необходимо проводить испытания при более низкой температуре. Однако из-за отсутствия необходимого количества образцов испытания были остановлены.

Таким образом, сварочная проволока Св-10ГН1МА, поставленная фирмой ЭСАБ, полностью соответствует требованиям национальных стандартов, применяемых в атомном энергетическом машиностроении и может быть допущена для сварки оборудования АЭС.

Поступила в редакцию 15.04.2014

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ПАТОН»

www.patonpublishinghouse.com



Журнал «Автоматическая сварка» издается с 1948 г. 12 выпусков в год, ISSN 005-111X. Один из наиболее авторитетных и популярных журналов, издаваемых в СНГ, в области сварки и родственных процессов.

Журнал «The Paton Welding Journal» издается с 2000 г. 12 выпусков в год, ISSN 0957-798X. Полный перевод журнала «Автоматическая сварка» на английский язык.



Журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» издается с 1985 г. 4 выпуска в год, ISSN 0235-3474. В журнале публикуются статьи по технической диагностике сооружений, конструкций и машин, а также по всем методам неразрушающего контроля. Журнал переиздается в полном объеме на английском языке под названием «Technical Diagnostics and Non-Destructive Testing» издательством «Cambridge International Science Publishing», Великобритания.



Журнал «Современная электрометаллургия» издается с 1989 г. 4 выпуска в год, ISSN 0235-3474. Журнал не имеет аналогов в СНГ. Журнал включает разделы: электрошлаковый переплав, электронно-лучевые процессы, плазменно-дуговые процессы, вакуумно-индукционная плавка, общие вопросы металлургии, новые материалы. Журнал переиздается в полном объеме на английском языке под названием «Advances in Electrometallurgy» издательством «Cambridge International Science Publishing», Великобритания.

Подписка по каталогам подписных агентств, а так же через редакцию журналов и сайт издательства.