

УДК 621.791.08; 791.001:04

## ДЕФЕКТЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Э. В. ТУРЫК**

Институт сварки, Польша. 44-100, г. Гливице, ул. Б. Чеслава, 16-18. E-mail: eugeniusz.turyk@is.gliwice.pl

Проанализированы характерные дефекты сварочной проволоки и стальных шпилек для дуговой приварки, влияющие на качество сварных соединений. Недопустимые дефекты проволоки обусловлены повышенным суммарным содержанием в них азота, водорода и кислорода, высокой жесткостью, некачественной намоткой на катушки, а шпилек — несоответствием требованиям по химическому составу и механическим свойствам. Библиогр. 6, табл. 1.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, сварочные материалы, стальная проволока и шпильки, недопустимые дефекты материалов, качество сварных соединений

Несмотря на то, что качеству сварочных материалов уделяется большое внимание [1–4], эта проблема до сих пор остается актуальной. Анализ, выполненный в последнее время в ряде отраслей промышленности, показал, что низкое качество сварочных материалов является причиной около 35 % брака сварных конструкций в год [5]. Производственный опыт также показывает, что свойства сварочных материалов, изготовленных разными фирмами по одному и тому же стандарту, отличаются, а их дефекты оказывают отрицательное влияние на качество сварных конструкций. По этой причине для ответственных конструкций вместо стандартных сварочных материалов рекомендуется применение материалов повышенного качества, например, для сварки методом T.I.M.E. рекомендуется электродная проволока Thyssen K52 T типа G3Si1 [6].

Целью настоящей работы является определение критических (недопустимых) дефектов некоторых сварочных материалов, которые должны служить причиной отказа от их применения в промышленности. В качестве объекта исследований выбраны омедненная сплошная проволока марки G3Si1 по ISO 14341A (аналог Св-08Г2С-О), применяемая для сварки методом МАГ, и приварные шпильки SD1, которые используются в мостостроении.

**Характеристика дефектов омедненной электродной проволоки G3Si1.** Определение критических дефектов проволоки проведено на основе результатов сравнительных испытаний качества более пятидесяти сварочных проволок марки G3Si1 по ISO 14341A диаметром 1,2 мм, польского и зарубежного производства, с сертификатом о приемке 3.1 или актом заводских испытаний 2.2 по EN 10204.

*Оценка качества сварных соединений.* Прочностные свойства соединений стали S355J2+N

(аналог 17ГС), выполненных проволоками G3Si1 методом МАГ в защитном газе M21 (72 % Ar+18 % CO<sub>2</sub>) с применением стандартных режимов, и высокопроизводительным методом T.I.M.E. в газовой смеси TIME-Gas (65 % Ar, 26,5 % He, 8 % CO<sub>2</sub> и 0,5 % O<sub>2</sub>) соответствуют требованиям ISO 15614-1. Однако ударная вязкость ряда швов характеризуется значительным разбросом результатов испытаний, вызванным наличием пор в металле шва в плоскости надреза образцов. Радиографический контроль стыковых соединений типа «Y» толщиной 12 мм показал, что уровень пористости соответствует требованиям пунктов B, C, D по ISO 5817, но не соответствует требованиям пункта D.

По результатам контрольного анализа химический состав всех проволок по содержанию углерода, кремния, марганца, фосфора и серы соответствовал требованиям стандарта EN 440 и EN ISO 14341. Методом высокотемпературной экстракции было определено содержание азота, кислорода и водорода в проволоках в состоянии поставки и после удаления поверхностного омедненного слоя (номинальный диаметр проволоки 1,2 мм, а диаметр без поверхностного слоя 1,0...1,05 мм). Характерные результаты анализа газов в проволоках приведены в таблице.

После удаления слоя меди суммарное содержание газов в проволоках уменьшилось, причем разница  $\Delta R$  составляет от 13,1 до 93,3 ppm. Снижение содержания водорода и кислорода после удаления поверхностного слоя свидетельствует о том, что проволока в слое меди и/или под этим слоем содержит органические загрязнения (технологическую смазку). Можно принять, что показатель  $\Delta R$  является критерием оценки степени чистоты поверхностного слоя проволоки перед омеднением. При оценке качества проволоки существенно также суммарное содержание в ней газов. Проведенные испытания показали усиленную пористость швов, выполнен-

Содержание газов в сварочных проволоках марки G3Si1 по ISO 14341A, ppm

Номер проволоки	Состояние проволоки	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	S	ΔR	K
3	+Cu	58	84	3,2	145,2	13,1	-4,8
	0	57	73	2,1	132,1		
5	+Cu	53	136	9,4	198,4	29,8	48,4
	0	53	110	5,6	168,6		
16	+Cu	28	67	5,2	100,2	27,9	-49,8
	0	25	45	2,3	72,3		
18	+Cu	65	145	6,1	216,1	55,9	66,1
	0	64	94	2,2	160,2		
22	+Cu	157	137	3,0	297,0	14,7	147
	0	157	123	2,3	282,3		
49	+Cu	30	28	3,7	61,7	22,3	-88,3
	0	25	12	2,4	39,4		
53	+Cu	67	163	4,1	234,1	93,3	84,1
	0	65	74	1,8	140,8		

Примечание. Состояние проволоки: «+Cu» — омедненная, «0» — без поверхностного слоя; S — суммарное содержание азота, кислорода и водорода в проволоке;  $\Delta R = S_1 - S_2$ , где  $S_1, S_2$  — суммарное содержание газов соответственно в омедненной проволоке и в проволоке без поверхностного слоя;  $K = \Delta R + S_2 - 150$ .

ных проволоками с показателем  $K > 50$  ppm (к ним относятся проволоки № 18, 22 и 53 по таблице). Условие  $K \leq 0$  выполняется проволоками № 3, 16 и 49. В случае, когда показатель  $K$  сварочной проволоки превышает 50 ppm, можно рекомендовать, в зависимости от требований, предъявляемых к сварным соединениям, проведение неразрушающего контроля на наличие пористости сварных швов, выполненных такой проволокой.

На основе полученных результатов можно считать, что недопустимым дефектом исследуемых омедненных проволок является суммарное содержание в них азота, водорода и кислорода, превышающее 200 ppm, т. е. в случае, если критерий  $K > 50$  ppm. Для ответственных конструкций рекомендуется применение проволок с суммарным содержанием этих газов не более 150 ppm.

*Оценка качества намотки проволоки.* Стандарт ISO 544 требует, чтобы намотка проволок на катушки обеспечивала равномерную подачу проволоки при механизированных способах сварки. Большинство из исследованных проволок были намотаны заводами-изготовителями на катушки или на проволочные каркасные кассеты с рядной намоткой по схеме «виток к витку» и только две из них были намотаны без соблюдения этого требования. Однако даже при использовании некоторых катушек с рядной намотанными проволоками периодически наблюдалась неравномерная их подача при механизированной сварке. Причиной была неправильно подобранная ширина катушки, не учитывающая допуски на номинальный диаметр проволоки, что приводило к нарушению рядности намотки. Возмущения и остановка подачи электродной проволоки наблюдались также в случае сварки двумя проволоками без ряд-

ной намотки. Некачественная намотка проволоки на катушки заводом-изготовителем или потребителем не соответствует требованиям стандарта ISO 544, пункт 5.2 и является недопустимым дефектом.

*Оценка подъема (жесткости) витков проволоки.* Оценка подъема витков проволоки (плоскостность витка, лежащего на горизонтальной поверхности плиты) проводили по результатам ручной размотки проволоки с катушки. Требования стандарта ISO 544, по которому подъем витка не должен превышать 50 мм для катушек с наружным диаметром более 200 мм, отвечает большинство проволок. У некоторых проволок отмечено различие подъема верхних витков кассеты диаметром 300 мм и витков после израсходования около половины проволоки из кассеты. Витки проволоки из верхнего слоя отвечали требованиям стандарта ISO 544, а витки из среднего слоя этой же кассеты не отвечали этим требованиям, что свидетельствует о неоднородной жесткости проволоки по длине, в пределах одной кассеты. Слишком высокая жесткость сварочной проволоки вызывает колебания торца электрода, которые могут быть причиной несплавлений, непровара корня шва и т. д. По этой причине неоднородная жесткость проволоки является недопустимым дефектом.

*Оценка стабильности диаметра проволоки.* Диаметр проволоки оценивали по требованиям стандарта ISO 544, согласно которому допустимые отклонения диаметра проволоки 1,2 мм составляют от +0,01 до -0,04 мм. Требованиям стандарта по диаметру не отвечало только 5,7 % проволок (верхнее максимальное отклонение диаметра проволок составляло + 0,02 мм). Повышенный диаметр проволоки приводит к износу канала медного мундштука и может вызвать необходимость его преждевременной замены. Однако заметного влияния на качество сварных соединений отклонение диаметра проволоки от номинального размера не оказывает и этот недостаток проволоки признан допустимым.

*Оценка шероховатости поверхности проволоки.* Шероховатость поверхности проволоки может приводить к повышенному износу канала токоподводящего мундштука при сварке. У исследованных проволок шероховатость поверхности находится в пределе от 8 класса (параметр Ra = 0,63 мкм) до 10 (Ra = 0,16 мкм). Шероховатость поверхности проволоки определяет долговечность медных мундштуков и гибких каналов подачи электродной проволоки шланговых держателей полуавтоматов, но не влияет существенно на стабильность процесса и качество сварных соединений. В связи с этим повышенная шерохова-

тость поверхности проволоки признана допустимым дефектом.

*Другие характеристики медного покрытия.* Качество сцепления слоя меди со стальной проволокой и качество поверхности проволоки не регламентируются стандартами, но оказывают влияние на оценку проволоки сварщиком, например, по равномерности цвета поверхности проволоки, количеству отслоившейся меди в подающем механизме и необходимости часто чистить канал подачи электродной проволоки. В процессе испытаний были отмечены значительные отличия этих показателей у исследованных проволок. В частности, на некоторых проволоках при навивке на керн диаметром, равным по диаметру проволоке, отмечалось отсутствие отслаивания медного покрытия, на других же трещины, надрывы и отслаивание покрытия были достаточно интенсивными. Однако дефекты, связанные с этими показателями, не влияют существенно на качество сварных соединений и не регламентируются стандартами, поэтому решение о покупке такой проволоки принимается потребителем.

*Сварочно-технологические свойства проволоки.* На практике оценку сварочно-технологических свойств проволоки проводят на основе интенсивности разбрызгивания и стабильности процесса. Был определен коэффициент  $\psi_p$  потерь на разбрызгивание в зависимости от режима сварки (ток сварки 100...340 А) у всех исследованных проволок. Замеры показали, что для 56,6 % исследуемых проволок  $\psi_p = 2,3...8,7$  % (условная оценка проволоки хорошая), для 37,7 % проволок  $\psi_p = 5,9...12,3$  % (удовлетворительная) и для 5,7% проволок  $\psi_p = 7,0...15,5$  % (неудовлетворительная). В оценке потребителей (сварщиков) процесс сварки проволоками группы  $\psi_p = 7,0...15,5$  % был нестабильный и эти проволоки подвергались рекламации. Слишком большое разбрызгивание является недопустимым дефектом проволоки. В случае сварки проволокой марки G3Si1 по ISO 14341A диаметром 1,2 мм в защитном газе M21 недопустимым дефектом проволоки является разбрызгивание  $\psi_p > 12,3$  %.

**Характеристика дефектов стальных шпилек для дуговой приварки.** Определение недопустимых дефектов стальных шпилек для дуговой приварки, изготавливаемых по стандарту ISO 13918:2007, проведено на основе результатов сравнительных испытаний качества семи типов шпилек-упоров SD1, зарубежного и польского производства, типоразмеров 10×100, 19×150, 22×150 и 25×175 мм. Эти шпильки применяются в ответственных конструкциях, например, в мостостроении. Согласно документам о качестве шпильки выполнены из стали S235J2G3+C450 (аналог СтЗсп) по EN 10025:2002.

*Визуальный осмотр шпилек.* Все исследуемые шпильки-упоры соответствуют требованиям стандарта ISO 13918:2008, пункт 5.3.6.1 и в них нет дефектов изготовления.

*Контроль размеров шпилек.* Все исследуемые шпильки соответствуют требованиям по форме и размерам стандарту ISO 13918:2008, пункт 5.3.1.6. Отмеченные небольшие отклонения длины шпилек или их диаметра, если они соответствуют внутреннему диаметру керамических колец UF для приварки шпилек типа SD, можно классифицировать как малозначительный дефект.

*Контроль механических свойств материала шпилек.* Испытания на растяжение показали, что предел текучести и временное сопротивление материала всех шпилек выполняют требования для стали S235J2G3 + C450 ( $\sigma_T \geq 225$  МПа,  $\sigma_B \geq 450$  МПа) и шпилек SD1 ( $\sigma_T \geq 350$  МПа,  $\sigma_B \geq 450$  МПа). Требования к относительному удлинению ( $A_5 \geq 24$  % по EN 10025:2002, табл. 5 и  $A_5 \geq 15$  % по ISO 13918:2008, табл. 2) не выполняли шпильки SD1 — 19×150 мм производства фирмы условно «1» и SD1 — 22×150 мм производства фирмы условно «4». Материал этих шпилек не выполнял также требования значения энергии ударной вязкости минимум 27 Дж (испытания по Шарпи образцов с V-образным надрезом) при температуре -20 °С (шпильки «1» — 8,8 и 6,0 Дж, шпильки «4» — 5,5 и 5,0 Дж), а все остальные шпильки соответствовали этому требованию. Несоответствие материала шпилек требованиям по механическим свойствам является недопустимым дефектом.

*Контроль химического состава.* Химический анализ показал, что материал исследуемых шпилек (сталь S235J2G3 + C450) соответствует требованиям стандарта EN 10025, кроме указанных выше шпилек «1» и «4». Содержание кремния (ниже 0,07 %) и алюминия (ниже 0,020 %) в материале этих шпилек не соответствует содержанию, требуемому для спокойной стали. Несоответствие требованиям по химическому составу материала шпилек является недопустимым дефектом.

## Выводы

1. Недопустимые дефекты омедненной сварочной проволоки марки G3Si1 по ISO 14341A:

- суммарное содержание азота, водорода и кислорода в проволоках, превышающее 200 ppm (при сварке в газовой смеси M21);

- слишком высокая жесткость проволоки, т. е. подъем витка проволоки на горизонтальной плоскости более 50 мм;

- некачественная намотка проволоки на катушки или кассеты;

## Конференция «Сварочные материалы»

– слишком большое разбрызгивание (при сварке проволокой диаметром 1,2 мм в смеси М21 коэффициент потерь на разбрызгивание  $\psi_p > 12,3\%$ ).

2. Недопустимые дефекты металлических шпилек SD1 для дуговой приварки:

– несоответствие требованиям по механическим свойствам материала шпилек, особенно по ударной вязкости;

– несоответствие требованиям по химическому составу материала шпилек.

1. Походня И. К. Сварочные материалы: состояние и тенденции развития // Автомат. сварка. – 2003. – № 3. – С. 9–20.

2. Воропай Н. М., Бринюк М. В. Технологические свойства омедненной сварочной проволоки // Сварщик. – 2002. – № 4. – С. 16–20.

3. Улучшение сварочно-технологических свойств проволоки Св-08Г2С / Н. М. Воропай, В. Г. Дегтярев, П. В. Игнатченко и др. // Автомат. сварка. – 1976. – № 8. – С. 61–65.

4. Воропай Н. М. Влияние состояния поверхности электродной проволоки на перенос металла при сварке в защитных газах // Там же. – 1977. – № 3. – С. 68–69.

5. Денисов Л. С. Сварка и качество. – Минск: Право и экономика, 2012. – 186 с.

6. Помранке И., Цвинкерт Г. Особенности дуговой сварки в защитных газах со струйно-вращательным переносом электродного металла // Автомат. сварка. – 1998. – № 11. – С. 40–47.

Поступила в редакцию 30.04.2014

## Правильно-отрезные станки РОТЕКС

Фирма **РОТЕКС®** выполняет весь комплекс работ по разработке, изготовлению, монтажу и пусконаладке оборудования для всего цикла производства сварочных электродов, работы по комплексной модернизации действующих производств и отдельных машин, производит поставку оснастки (в т.ч. твердосплавной) и РТИ как собственной номенклатуры, так и по ТУ Заказчика.

Среди всего комплекта оборудования для производства сварочных электродов, изготавливаемого ООО РОТЕКС, важное место занимают станки для правки и рубки проволоки.

Ранее нашим предприятием изготавливались станки с рубкой проволоки в сопровождении с длиной стержня 250/350/450 мм с точностью по длине (по ГОСТ)  $\pm 2$  мм. Сегодня, в связи с повышением требований к точности по длине стержня, освоено изготовление станков с рубкой в упор. Стандартные размеры стержней, производимых на наших станках: длина от 250 до 450 мм, необходимая длина (любая в указанном диапазоне) выставляется по упору, диаметры от 2,5 до 6 мм. Отклонение по длине стержня  $\pm 0,3$  мм. Скорость рубки на длине 450 мм до 200 шт./мин.

Станок имеет две пары подающих и одну пару тянущих роликов, пятисухарный правильный барабан с твердосплавными сухарями. Зарядка проволоки в правильный барабан механизирована и не требует изменения настройки сухарей. Скорости подачи проволоки, вращения правильного барабана и рубки регулируются в широком диапазоне частотными преобразователями.

Под запрос потребителей разработан станок для рубки проволоки, использующейся при сварке в защитных газах, из титановых сплавов, высоколегированных сталей, алюминиевых и медных сплавов длиной от 250 до 800 мм, диаметром от 1,6 до 6 мм.

Основной узел — правильный барабан с вращающимися правильными роликами, который обеспечивает подачу и правку проволоки. Барабан подпружинен и может перемещаться вдоль оси, компенсируя остановку проволоки в момент рубки. Механизм рубки — качающийся нож, заблокированный с направляющей рейкой. Нож приводится кулачком, связанным с постоянно вращающейся осью маховика электромагнитной муфты. Сигнал на включение муфты подается при достижении выправленной проволокой концевого выключателя, установленного на необходимую длину от 250 до 800 мм.

Для исключения деформации тонких, не жестких проволок, перед барабаном устанавливается тормозной узел, останавливающий движение проволоки в момент рубки.

Станок может быть оснащен устройством для клеймения стержней.

Для рубки сварочной проволоки на крупную, используемую в качестве присадочного материала для сварки под слоем флюса, разработан станок МРП-30, позволяющий рубить проволоку диаметром от 0,8 до 4,0 мм с производительностью до 30 кг/ч.

Станки комплектуются безынерционным размоточным устройством УРБ-1,3, состоящим из станины, на которую надевается не вращающаяся бухта проволоки массой до 1,3 т, вращающегося от натяжения проволоки поводка, конуса ограждения. Направление размотки бухты любое.

С характеристиками оборудования РОТЕКС  
можно ознакомиться на сайте [www.rotex.ru](http://www.rotex.ru)