



ПРИСАДОЧНАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ СВАРКИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ23 В УЗКИЙ ЗАЗОР

В. Ю. БЕЛОУС, инж., В. Н. ЗАМКОВ, д-р техн. наук, И. К. ПЕТРИЧЕНКО, инж.,
В. Ф. ТОПОЛЬСКИЙ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проанализирован опыт практического применения сварки в узкий зазор конструкций из титана и титановых сплавов и показаны преимущества этой технологии. Отмечена перспективность магнитных способов управления сварочной дугой.

Ключевые слова: аргодуговая сварка, сварка в узкий зазор, титановые сплавы, узкощелевая разделка, магнитоуправляемая дуга, механические свойства

Эффективность применения титановых ($\alpha + \beta$)-сплавов в сварных конструкциях прежде всего зависит от того, насколько близки показатели механических свойств и служебных характеристик сварных соединений и основного металла. Поскольку основная часть сварочных работ при изготовлении титановых конструкций проводится способом аргодуговой сварки вольфрамовым электродом, то соединение элементов толщиной более 3 мм выполняется с разделкой кромок [1], для чего требуется применение присадочной проволоки. Посредством последней при аргодуговой сварке решают две задачи [2]: технологическую (заполнение разделки кромок и создание полномерного шва) и металлургическую (регулирование химического и фазового составов металла шва).

Свойства металла сварных соединений во многом зависят от правильного выбора присадочной проволоки, что особенно важно при сварке металла большой толщины, когда шов состоит преимущественно из металла присадочной проволоки.

В данной работе рассматривается влияние состава присадочной проволоки на механические свойства сварных соединений сплава ВТ23, выполненных в узкий зазор вольфрамовым электродом в аргоне магнитоуправляемой дугой [3].

Согласно данным работы [4], для сварки толстолистового сплава ВТ23 рекомендуется использовать проволоку марки СП15 [5]. Однако более поздние исследования показали [2], что оптимальные результаты при сварке этого сплава обеспечиваются при применении проволоки марки ВТ203 (табл. 1). Прочность сварных соединений, выполненных с ее использованием (после отжига при

750 °С, 30 мин), и прочность самого сплава практически одинаковы при удовлетворительной ударной вязкости KCU металла шва ($\sigma_B = 1100...1120$ МПа, $a_n = 30...35$ Дж/см²), а долговечность сварных соединений до разрушения (при максимальном напряжении цикла 570 МПа) составляет $(5...6) \cdot 10^4$ циклов.

В работе [2] подчеркивается, что эти результаты получены при сварке пластин толщиной 20 мм, массовых долях в металле шва 70 % основного металла и 30 % металла присадочной проволоки. К сожалению, не указаны ни форма разделки кромок, ни способ сварки. В то же время следует отметить, что такое соотношение количества основного и присадочного металла в шве представляет собой частный случай и может быть получено лишь при вполне определенных разделке кромок, способе и режиме сварки. Следовательно, рекомендации статьи [2] не являются общими для сплава ВТ23 и требуют уточнения.

Задача состояла в том, чтобы сравнить свойства сварных соединений, выполненных (при прочих равных условиях) с использованием присадочных проволок ВТ203 и СП15, и выбрать ту, которая обеспечит более высокие показатели характеристик сварных соединений. Чтобы оценить качество швов при разных массовых долях в них присадочного и основного металлов, сваривали образцы сплава ВТ23 толщиной 8 и 20 мм.

Сварку образцов толщиной 8 мм выполняли без разделки кромок за один проход со сквозным проплавлением пластин вольфрамовым электродом в аргоне [1]. Образцы толщиной 20 мм сваривали в узкий зазор вольфрамовым электродом в аргоне магнитоуправляемой дугой за четыре прохода (табл. 2).

Таблица 1. Химический состав присадочных проволок

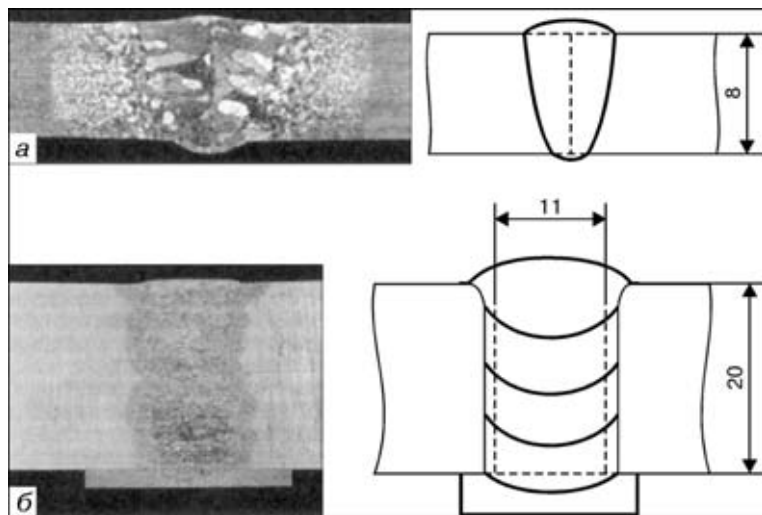
Марка проволоки	Массовая доля элементов, %					Мо _{экв} мас. %
	Al	Mo	V	Nb	Zr	
ВТ203	4,5...5,8	0,8...1,5	1,3...3,2	1,7...2,5	2,2...3,5	3,5
СП15	3,5...5,5	2,0...3,5	2,0...3,5	2,5...4,5	1,0...2,0	5,0

Примечание. 1. В обеих проволоках основа — титан. 2. В проволоке ВТ203 содержится 1...2 % Sn.

Таблица 2. Режимы сварки образцов

Толщина металла, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч
8	390	12,5	15,0	15,0
20	420	11,0	8,0	85,0

Примечания. 1. Диаметр присадочной проволоки составляет 2,5 мм. 2. Магнитная индукция в зоне сварки при сварке образцов толщиной 20 мм равна 9 мТл.



Макроструктуры сварного соединения сплава ВТ23 толщиной металла 8 (а) и 20 мм (б)

Таблица 3. Химический состав металла швов

Толщина металла, мм	Марка проволоки	Массовая доля легирующих элементов, %							
		Al	Mo	V	Nb	Zr	Sn	Cr	Fe
8	ВТ203	5,11	1,89	4,28	0,31	0,43	0,24	0,91	0,37
	СП15	5,02	2,03	4,26	0,67	0,22	—	0,94	0,41
20	ВТ203	5,07	1,20	2,67	1,88	2,55	1,41	0,09	0,06
	СП15	4,43	2,15	2,56	4,07	1,36	—	0,12	0,10

Примечание. Основа — титан.

На рисунке представлены макроструктуры и схемы сварных соединений. Количество присадочной проволоки в металле шва, выполненного со сквозным проплавлением, можно рассчитать исходя из отношения площади усиления к общей площади шва, что составляет примерно 15 %. При сварке в узкий зазор на указанных режимах стенки зазора (по всей их высоте) проплавляются на глубину 0,45 мм, а соотношение присадочного и основного металлов в шве практически не зависит

Таблица 4. Механические свойства сварных соединений

Толщина металла, мм	Марка проволоки	Термическая обработка	σ_b , МПа	KCV, Дж/см ²	Место разрушения образцов при растяжении
8	ВТ203	Отжиг	1080...1130 1105	17...20 19	По металлу шва и ЗТВ
		Отжиг и старение	1135...1145 1138	14...18 15	По металлу шва
	СП15	Отжиг	1090...1124 1109	21...24 22	По металлу шва и ЗТВ
		Отжиг и старение	1137...1142 1140	19...22 20	»»
20	ВТ203	Отжиг	952...987 974	21...25 22	По металлу шва
		Отжиг и старение	993...1029 1007	19...23 20	»»
	СП15	Отжиг	996...1030 1020	28...32 30	»»
		Отжиг и старение	1070...1100 1090	24...30 27	По металлу шва и ЗТВ

Примечание. В числителе приведен разбег значений, а знаменателе — среднее значение.

от толщины свариваемого металла. В наших экспериментах количество присадочного металла в шве должно быть не менее 90 %. Результаты химического анализа металла швов подтвердили эти приближенные оценки (табл. 3).

После сварки одну часть соединений отжигали при температуре 780 °С в течение одного часа, затем охлаждали на воздухе, а другую — после сварки и отжига подвергали упрочняющему двухступенчатому старению [6], после чего определяли их механические свойства (табл. 4).

Согласно полученным результатам, прочностные характеристики сварных соединений на металле толщиной 8 мм не зависят от марки присадочной проволоки. Примерно одинакова и ударная вязкость металла швов, выполненных с присадочными проволоками СП15 и ВТ203. Это связано с тем, что при сварке со сквозным проплавлением без разделки кромок доля присадочного металла в металле шва невелика, а химический состав швов, сваренных с разными присадочными проволоками, отличается незначительно. Уровень свойств сварных соединений в данном случае определяется химическим составом основного металла и режимом термической обработки. Таким образом, если сварка сплава ВТ23 осуществляется за один проход без разделки кромок, то для получения полноценного шва в качестве присадочного металла можно рекомендовать проволоки СП15 и ВТ203, а с учетом выводов работы [4] — и проволоку СП14.

Как отмечалось выше, в сварных соединениях, выполненных в узкий зазор, шов на 90 % состоит из присадочного металла. Поэтому свойства сварных соединений здесь определяются составом проволоки. В состоянии после отжига и упрочняющей термической обработки прочность сварных соединений и ударная вязкость швов были существенно выше в том случае, когда сварку осуществляли с присадочной проволокой СП15. Полученные результаты (табл. 4) подтверждают выводы работы [4] относительно эффективности применения проволоки СП15 для выполнения швов с разделкой кромок на сплаве ВТ23.

Оценку долговечности при повторно-статическом нагружении проводили только для сварных соединений, полученных на металле толщиной 20



мм. Использовали круглые образцы диаметром рабочей части 8,5 мм. Максимальное напряжение цикла составляло 570 МПа. Испытания показали, что сварные соединения, выполненные с присадочной проволокой ВТ203 (независимо от режима термической обработки), выдержали $(44...53) \cdot 10^3$ циклов до разрушения, а с присадочной проволокой СП15 — $(26...35) \cdot 10^4$ циклов. Эти результаты свидетельствуют о том, что швы, сваренные с присадочной проволокой СП15, характеризуются более высоким уровнем механических свойств и лучшей работоспособностью в условиях повторно-статических нагрузок.

Таким образом, сварку сплава ВТ23 в узкий зазор вольфрамовым электродом в аргоне магнитоуправляемой дугой следует проводить с присадочной проволокой марки СП15. Ее применение обеспечивает прочность сварных соединений на уровне не менее 90 % прочности самого сплава как

в состоянии после отжига, так и после упрочняющей термической обработки, а также долговечность до разрушения более $2 \cdot 10^5$ циклов.

1. *Металлургия и технология сварки титана и его сплавов* / С. М. Гуревич, В. Н. Замков, В. Е. Блазук и др. — Киев: Наук. думка, 1986. — 240 с.
2. *Лукин В. И., Лоскутов В. М., Редниц В. В.* Присадочные материалы для сварки конструкционных титановых сплавов // Свароч. пр-во. — 2002. — № 5. — С. 37–41.
3. *Paton V. E., Zamkov V. N., Prilutsky V. P.* Narrow-groove welding proves its worth on thick titanium // Welding J. — 1996. — № 5. — P. 37–41.
4. *Прочность сварных соединений сплава ВТ23 при повторно-статическом нагружении* / В. Ф. Топольский, С. И. Кишкина, Л. А. Стронина и др. // Автомат. сварка. — 1983. — № 7. — С. 42–44.
5. *Замков В. Н., Топольский В. Ф., Тяко И. К.* Проволока для сварки титановых ($\alpha + \beta$)-сплавов // Там же. — 1996. — № 7. — С. 51–52.
6. *Пути повышения прочности сварных соединений двухфазных титановых сплавов* / В. Н. Замков, Н. А. Кушниренко, В. Ф. Топольский и др. // Там же. — 1980. — № 3. — С. 49–52.

Experience of practical application of narrow-gap welding of structures of titanium and titanium alloys has been analyzed, and advantages of this technology are demonstrated. Good prospects for application of magnetic methods of welding arc control are noted.

Поступила в редакцию 04.12.2002



ПРОБЛЕМЫ СВАРКИ, МЕТАЛЛУРГИИ И РОДСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

VIII Международная научно-техническая конференция

октябрь 2003 г.

г. Тбилиси

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Ассоциация сварщиков Грузии
Институт металлургии и материаловедения
им. Ф. Н. Тавадзе АН Грузии
Межгосударственный научный совет по сварке
и родственным технологиям
Грузинский технический университет
Институт электросварки им. Е. О. Патона
НАН Украины
Международная ассоциация «Сварка»
Департамент Грузии по науке и технологиям
Союз научных и инженерных обществ Грузии
Международная нефтяная корпорация Грузии
Инженерная академия Грузии
Государственный военный научно-технический
центр «Дельта»
Балканский союз металлургов



ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

Сварка
Металлургия
Материаловедение
Коррозия и защита металлов
Экология, безопасность человека и природы
Родственные технологии

Справки по тел.: +(955 32) 227511, факс: +(955 32) 221965 Якобашвили С. Б.
тел.: +(955 32) 370267 Бараташвили И. Б.