

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА ВТ6С, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ ПОЛЫМ КАТОДОМ

Введение

В последние годы наблюдается значительный рост объема применения титановых сплавов в различных отраслях промышленности. Помимо традиционного использования в аэрокосмической технике и кораблестроении, титановые сплавы стали широко применять в химическом машиностроении [1]. Существует тенденция более широкого использования высокопрочных титановых сплавов, например, ВТ6С, ВТ14, ВТ23 ($\sigma_B = 835 \dots 1400$ МПа). Значительное количество сварных соединений толщиной 5...10 мм получено сваркой погруженной дугой [2]. Основные недостатки применяемого метода связаны с тем, что при дуговых методах сварки вольфрамовым электродом длина дуги является весьма чувствительным параметром процесса сварки, с изменением которого существенно изменяется проплавливающая способность и, следовательно, геометрия сварного шва [3].

Применение процесса электронно-лучевой сварки для сварки титановых сплавов решает недостатки дуговых способов. Уникальные свойства этого способа сварки (автономность по отношению к свариваемому изделию, возможность сварки в глубоких щелевых разделках, высокая удельная плотность энергии в пятне нагрева и т.п.), позволили разработать экономичные конструкции, обеспечить возможность получения соединений металлов, ранее не свариваемых [4]. Однако наряду с существующими положительными свойствами процесса ЭЛС имеется и ряд недостатков. Сложность оборудования, применение высокого ускоряющего напряжения и, как следствие, наличие дополнительной защиты от рентгеновского излучения, необходимость обслуживания установки высококвалифицированным сварщиком-оператором все это затрудняет широкое внедрение сварки электронным лучом.

Стремление объединить преимущества вакуумной защиты с простой надежностью оборудования для дуговой сварки плавлением привело к созданию сварки полым катодом в вакууме [5].

Способ сварки в вакууме полым катодом позволяет исключить указанные недостатки погруженной дугой и получить дугу с одинаковой проплавливающей способностью при колебаниях ее длины в большом диапазоне. Кроме того, сварка полым катодом в вакууме обеспечивает высокую степень защиты металла, повышенную концентрацию тепловой энергии и не требует применения сложного дорогостоящего оборудова-

ния, как при электронно-лучевой сварке. Однако данный метод сварки имеет ограниченное применение в производстве из-за недостаточной изученности самого процесса, отсутствия систематических данных по сварочным свойствам полого катода и, как следствие, отсутствия методик для выбора параметров режима сварки полым катодом [6].

Целью данной работы является исследование и внедрение процесса дуговой сварки горячим полым катодом в вакууме.

Постановка задачи

Задачей данной работы является исследование механических свойств сварных соединений сплава ВТ6С выполненных дуговой сваркой полым катодом в вакууме на соответствие требованиям технической документации при криогенных температурах.

Материалы и оборудование исследований

Применение титана и его сплавов в криогенной технике связано с высокой коррозионной стойкостью, низким коэффициентом термического расширения, малыми теплопроводностью и теплоемкостью при высокой удельной прочности и значительной пластичности. Все эти свойства, сохраняющиеся до низких температур, дают возможность использовать сплавы титана в качестве конструкционного материала для изделий ответственного назначения с рабочей температурой до -196°C , а высокая прочность и пластичность титана и его сплавов сохраняются вплоть до температуры жидкого He (-269°C) [7].

У технически чистого титана $\sigma_{0,2}$ и σ_b при охлаждении повышаются почти в 2÷2,5 раза. При охлаждении до -196°C увеличивается и относительное удлинение [8].

Таблица 1 – Химический состав сплава ВТ6С

Химический элемент	Содержание, %
Fe	до 0.25
C	до 0.1
Si	до 0.15
V	3.5 - 4.5
N	до 0.05
Ti	87.685 - 91.2
Al	5.3 - 6.5
Zr	до 0.3
O	до 0.15
H	до 0.015
Примесей	прочих 0.3

Исследования проводились на образцах из высокопрочного титанового сплава ВТ6С с размерами 200x150x5мм и 250x150x8мм. Химический состав данного сплава представлен в таблице 1 [9]. Образцы изготавливались из отожженных при различных температурах пластин с выдержкой 40 мин. и охлаждением на воздухе.

Отработка технологии сварки полым катодом была проведена в лаборатории сварки на базе установки для электроннолучевой сварки ЭЛУ-5 (Рис.1).

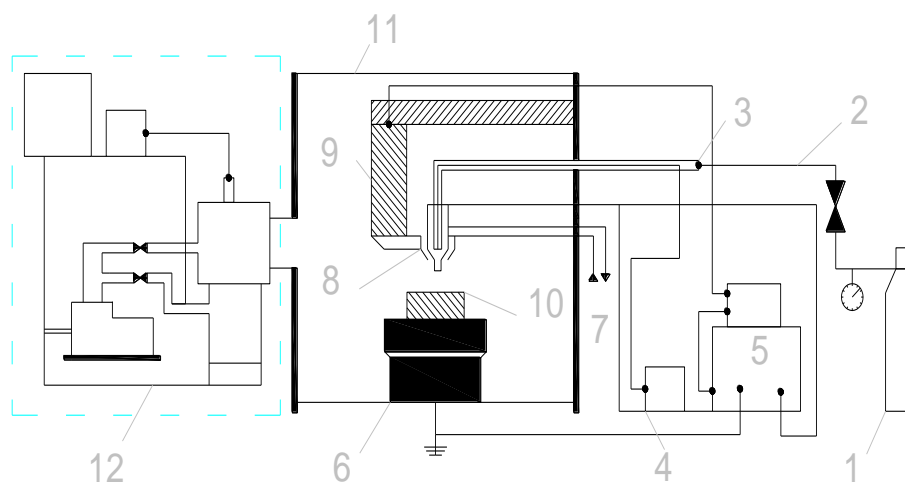


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки для сварки горячим полым катодом в вакууме

- 1 – Аргон, 2 – Натекаатель, 3 – Переходник осциллятора, 4 – Осциллятор, 5 – Источник питания, 6 – Манипулятор, 7 – Вода, 8 – Горелка, 9 – Головка, 10 – Изделие, 11 – Вакуумная камера, 12 – Вакуумная система.

Был оборудован пост для механизированной сварки полым катодом плоских образцов-имитаторов. С применением горелки ТПК-300 была собрана установка, при этом были использованы вакуумная камера с системой откачки, предметный стол с продольным и поперечным перемещением, источник питания ВДУ-504 и головка с механизмом слежения по высоте дуги.

Результаты исследований

Для исследования механических свойств сваренные пластины в количестве 18 шт. толщиной 5мм. и 22 шт. толщиной 8мм разрезались на темплеты, из которых изготавливались стандартные образцы для определения временного сопротивления разрыву σ_B и удельной ударной вязкости a_k .

Исследовались и анализировались на соответствие технологическим требованиям все образцы, сваренные в процессе отработки техно-

логического процесса сварки горячим полым катодом в вакууме и погруженной дугой в контролируемой среде. Технологические требования к сварным соединениям изделий из сплава ВТ6С представлены в таблице 2.

Определение σ_B и a_K сварных пластин производилось в жидком азоте при отрицательной температуре на двух-трех образцах из каждой пластины.

Испытание прочности сварного соединения производилось по методике РМО 1137-61 на образцах типа С18-1 ГОСТ 6996-66, а на ударную вязкость на образцах типа С10 ГОСТ 6996-66 по методике с выдержкой при -196°C в течении 10 мин. (после прекращения бурного кипения азота) [10]. Замер температуры термопарой не производился.

Таблица 2 – Технологические требования к сварным изделиям из сплава ВТ6С

Свойства	Основной металл при $+20^\circ\text{C}$	Сварное соединение. при $+20^\circ\text{C}$	Основной металл при -196°C	Сварное соединение при -196°C
Предел прочности σ_B , кгс/мм ²	≥ 850	≥ 770	≥ 1400	≥ 1150
Ударная вязкость a_K , кгс·м/см ²	≥ 40	≥ 37	≥ 30	≥ 25

Результаты механических испытаний представлены в виде графических зависимости на рисунке 2 ÷ 7.

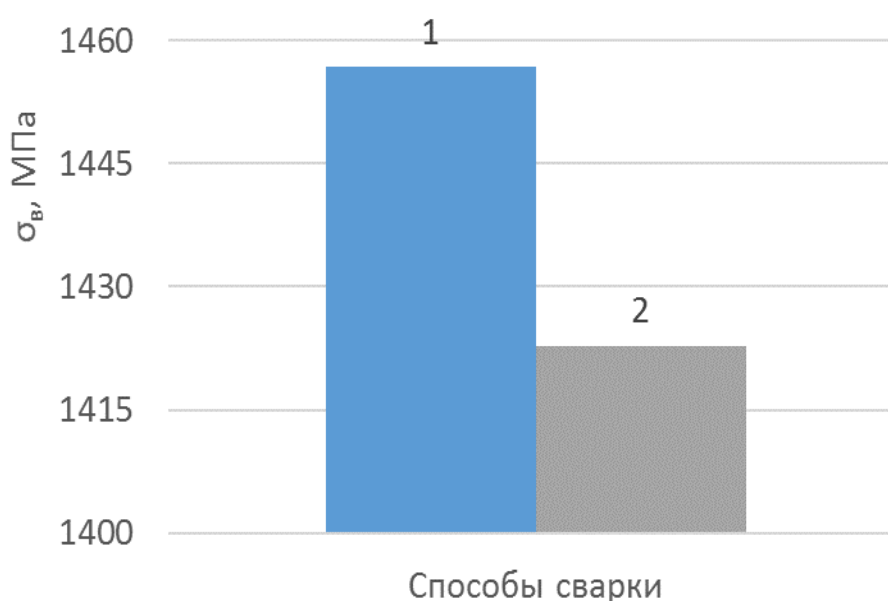


Рисунок 2 – Среднее значение прочности для толщины пластин 5мм: 1 – сварка полым катодом, 2 – сварка погруженной дугой

Значение прочности при криогенной температуре в обоих способах сварки удовлетворяет технологическим требованиям, которые предъявляются к изделию. Среднее значение прочности при сварке полым катодом толщин 5мм и толщин 8мм выше чем при сварке погруженной дугой (Рис. 2 и 3) и составляет 1457 МПа и 1416 МПа соответственно.

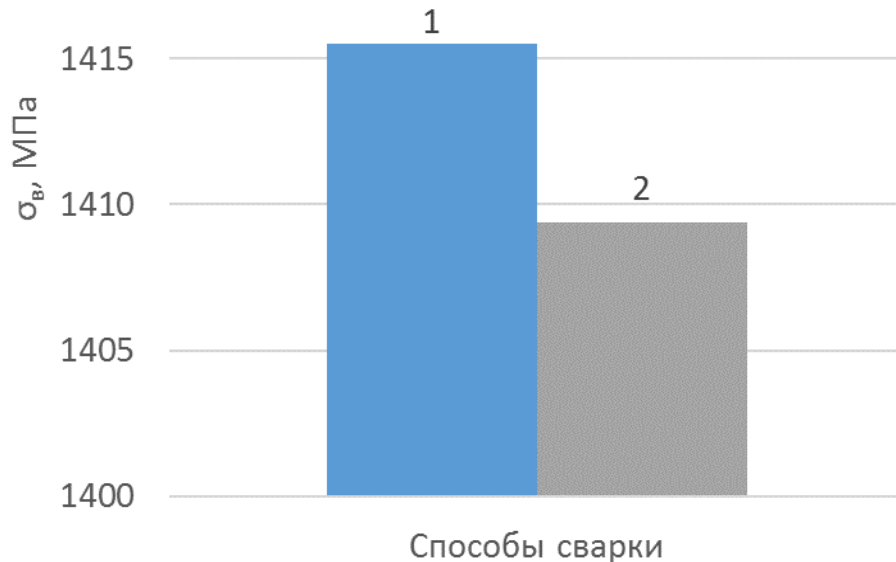


Рисунок 3 – Среднее значение прочности для толщины пластин 8мм:
1 – сварка полым катодом, 2 – сварка погруженной дугой

Из анализа представленных данных видно, что разброс значений прочности от среднего значения при сварке полым катодом в два раза меньше чем при сварке погруженной дугой (Рис. 4).

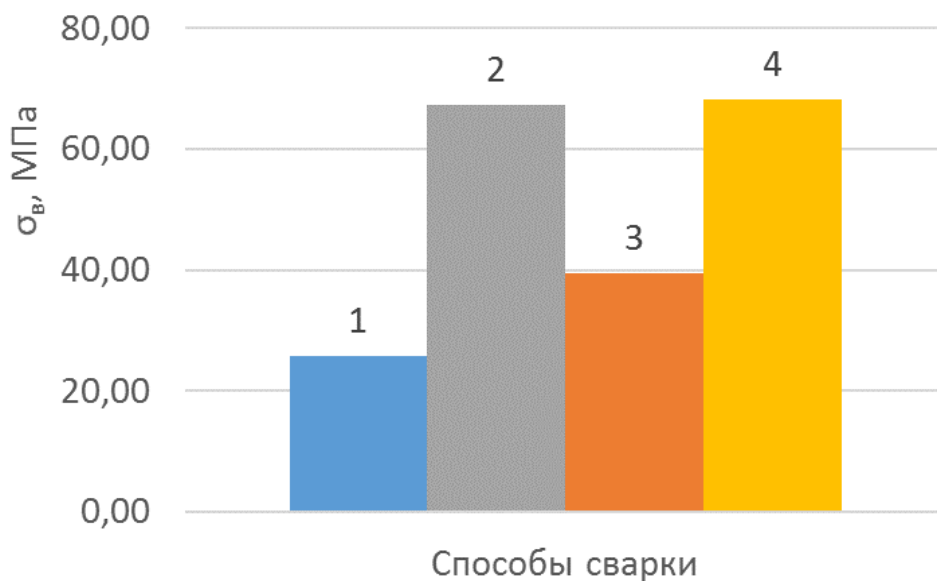


Рисунок 4 – Разброс значений прочности:
1 – сварка полым катодом пластин толщиной 5мм, 2 – сварка погруженной дугой пластин толщиной 5мм, 3 – сварка полым катодом пластин толщиной 8мм, 4 – сварка погруженной дугой пластин толщиной 8мм.

Величина ударной вязкости сплава ВТ6С показывает его высокую степень сопротивления хрупкому разрушению при криогенной температуре.

Сравнив значения, полученные двумя способами сварки, видно, что, сварные соединения толщиной 5мм при сварке полым катодом обладают ударной вязкостью выше, а при толщине пластин 8мм наблюдается повышение при сварке погруженной дугой (Рис. 5 и 6).

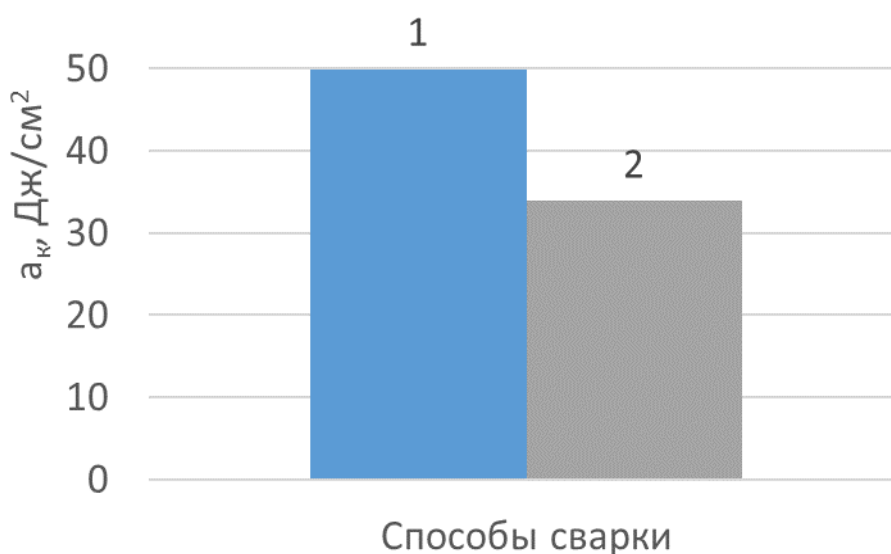


Рисунок 5 – Среднее значение ударной вязкости для толщины пластин 5мм:

1 – сварка полым катодом, 2 – сварка погруженной дугой

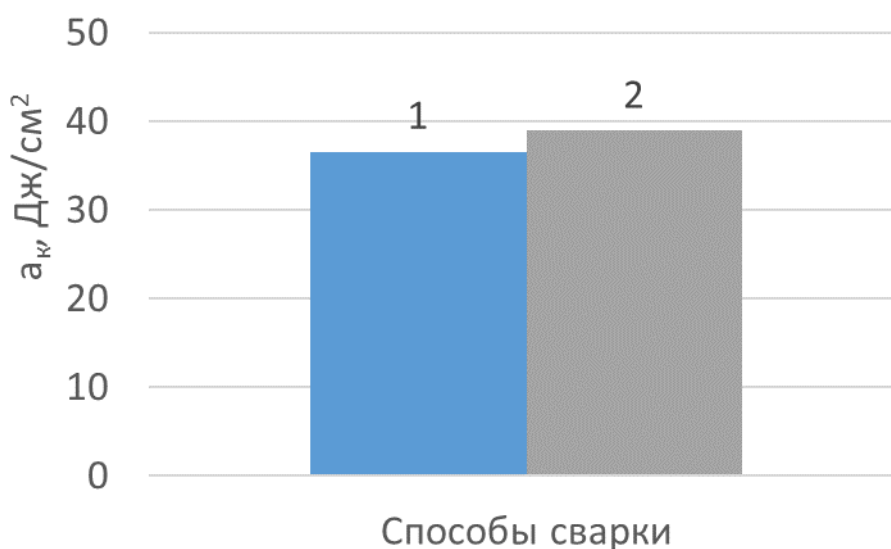


Рисунок 6 – Среднее значение ударной вязкости для толщины пластин 8мм:

1 – сварка полым катодом, 2 – сварка погруженной дугой

Как видно из Рис. 7 разброс значений ударной вязкости в два раза выше при сварке погруженной дугой для толщины пластин 5мм, но этот разброс выравнивается для пластин 8мм (Рис.7).

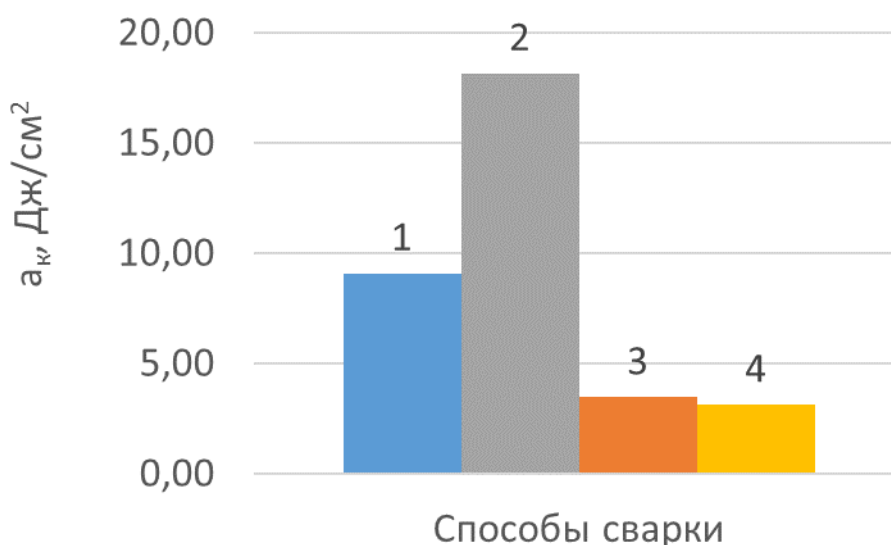


Рисунок 7 – Разброс значений ударной вязкости:

1 – сварка полым катодом пластин толщиной 5мм, 2 – сварка погруженной дугой пластин толщиной 5мм, 3 – сварка полым катодом пластин толщиной 8мм, 4 – сварка погруженной дугой пластин толщиной 8мм.

Выводы

Проведенные исследования показали, что механические свойства образцов при температуре -196°C вырезанных из пластин, сваренных полым катодом в вакууме полностью отвечают технологическим требованиям.

Сравнение полученных результатов с используемым способом сварки погруженной дугой дает следующие положительные результаты:

- увеличение среднего значения прочности;
- уменьшение значений разброса прочности в два раза;
- увеличение ударной вязкости для толщины 5мм.
- уменьшение значений разброса ударной вязкости в два раза для толщины 5мм.

Полученные результаты механических характеристик сварного шва и зоны термического влияния показывают преимущества этой сварки при изготовлении шаробаллонов. Высокая степень производительности делают данную технологию перспективной.

Список использованных источников

1. Южмаш: Емкости, работающие под высоким давлением (шаробаллоны) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.yuzhmash.com/production/index/ptn?id=32>

2. Неровный, В. М. Повышение эффективности дуговой сварки в вакууме титановых сплавов [Текст] / В. М. Неровный // Сварка и диагностика. – 2012. – № 5. – С. 18–22.

3. Senkara, J. Contemporary car body steels for automotive industry and technological guidelines of their pressure welding [Text] / J. Senkara // Welding International. – 2013. – Vol. 27, Issue 3. – P. 184–189. Doi: 10.1080/09507116.2011.600028

4. Щербаков, А. В. Физико-математическая модель исследования процессов теплопередачи при электронно-лучевой сварке изделий произвольной формы [Текст] / А. В. Щербаков, А. Л. Гончаров, М. А. Портнов // Сварочное производство. – 2011. – № 11. – С. 6–13.

5. Nerovnyi, V. M. Hollow cathode arc discharge as an effective energy source for welding processes in vacuum [Text] / V. M. Nerovnyi, A. D Khakhalev // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2008. – Vol. 41, Issue 3. – P. 2452–2459. doi: 10.1088/0022-3727/41/3/035201

6. Pererva, V.A., Karpovich E.V., Fedosov A.V. Development of penetration zone size prediction technique for hollow-cathode welding technology of spherical titanium tanks, Eastern-European journal of enterprise technologies, 2016, pp. 47 – 52. Doi: 10.15587/1729-4061.2016.59790

7. Лариков, Л. Н. Структура и свойства металлов и сплавов. Тепловые свойства металлов и сплавов [Текст]: справочник / Л. Н. Лариков, Ю. Ф. Юрченко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 438 с.

8. Пелецкий, В. Э. Теплофизические свойства титана и его сплавов [Текст]: справочник / В. Э. Пелецкий, В. Я. Чеховской, Э. А. Бельская; за ред. А. Е. Шейндлин. – М.: Металлургия, 1985. – 102 с.

9. Ильин А.А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справочник. / А.А. Ильин, Б.А. Колачев, И.С. Полькин. - М.: ВИАСМАТИ, 2009. - 520 с.

10. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. – М.: Изд-во стандартов, 2006 – 44 с.

Поступила в редакцию 20.04.2016.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. Е.А. Джур,
Днепропетровский национальный университет
им. Олеса Гончара, г. Днепропетровск.*