

УДК 621.791.72.052

В. А. Перерва, Е. В. Карпович

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СПЛАВА VT6S, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ ПОЛЫМ КАТОДОМ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ РАЗДЕЛКЕ КРОМОК

Рассмотрена сварка высокопрочного титанового сплава VT6S, применяемого в конструкциях ракетно-космической и авиационной техники. Исследована возможность внедрения процесса сварки горячим полым катодом в вакууме для изготовления шарбаллонов. Исследование проводилось на анализе полученных макроструктур сплава VT6S, выполненных дуговой сваркой полым катодом в вакууме при различной разделке кромок.

Ключевые слова: высокопрочные титановые сплавы, макроструктура, полый катод, сплавление кромок.

Розглянуто зварювання високоміцного титанового сплаву VT6S, застосовуваного в конструкціях ракетно-космічної та авіаційної техніки. Досліджено можливість впровадження процесу зварювання гарячим порожнистим катодом у вакуумі для виготовлення шарбалонів. Дослідження проводилося на аналізі отриманих макроструктур сплаву VT6S, виконаних дуговим зварюванням порожнистим катодом у вакуумі при різній обробці кромок.

Ключові слова: високоміцні титанові сплави, макроструктура, порожнистий катод, сплавлення кромок.

Welding is considered a high-strength titanium alloy vt6s, used in the construction of rocket-space and aviation tech-nicks. The possibility of the introduction of the welding process is hot-integer cathode in a vacuum for the production of ball-balloon. The study was conducted on the analysis of the obtained alloy macrostructures VT6S you-arc welding complements the hollow cathode in a vacuum at different cutting edges

Keywords: high strength titanium alloys, mfcrostructure, hollow cathode, fusion edges.

Введение. Создание современного авиационного двигателя – сложнейший комплексный процесс, базирующийся на новейших достижениях в области аэро- и термодинамики, материаловедения, технологии, прочности, электроники, информатики. Важные задачи, решаемые при проектировании двигателей новых поколений, – снижение стоимости производства и эксплуатации, в том числе путем упрощения конструкции и снижения количества деталей и узлов с применением сварки [1]. Авиационная промышленность была первым потребителем титана. Создание летательных аппаратов со скоростями, близкими к скорости звука и превосходящими ее, определило ряд технических и экономических требований к конструкционным материалам, из которых изготавливаются корпуса самолетов, обшивки и двигатели.

В производстве изделий авиации и ракетостроения наибольшее распространение получил высокопрочный титановый сплав VT6S [2]. Основным видом сварки деталей из высокопрочного титанового сплава VT6S в настоящее время является сварка погруженной дугой. Структурные превращения, происходящие при дуговой сварке в шве и околошовной зоне, зачастую оказывают негативное влияние на показатели конструктивной прочности соединений [3].

Перспективним способом получения неразъемных соединений из титанового сплава ВТ6С является сварка полым катодом в вакууме.

При сварке плавлением металла толщиной от 5 мм наибольшей проблемой является получение гарантированного сплошного проплавления. В связи с этим нормативной документацией устанавливается необходимость выполнения специальной разделки кромок свариваемых изделий. Применение разделки кромок свариваемых деталей позволяет заменить двустороннюю сварку на одностороннюю, позволяя избежать излишнего тепловложения в металл, и устранить кантовку свариваемых изделий. Это особенно важно при сварке крупногабаритных конструкций и изделий сложной формы с пересекающимися сварными швами в нескольких плоскостях [4].

Постановка задачи. Задачей данной работы является исследование макроструктуры сварных соединений сплава ВТ6С, выполненных дуговой сваркой полым катодом в вакууме при различной разделке кромок.

Материалы и оборудование исследований. Исследования проводились на образцах из высокопрочного титанового сплава ВТ6С с размерами 200 x 150 x 5 мм и 250 x 150 x 8 мм. Химический состав данного сплава представлен в табл. 1 [5]. Образцы изготавливались из пластин, отожженных при различных температурах с выдержкой 40 мин и охлаждением на воздухе.

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

Отработка технологии сварки полым катодом была проведена в лаборатории сварки на базе установки для электроннолучевой сварки ЭЛУ-5 с наклоном катода под углом 20° (рис.1).

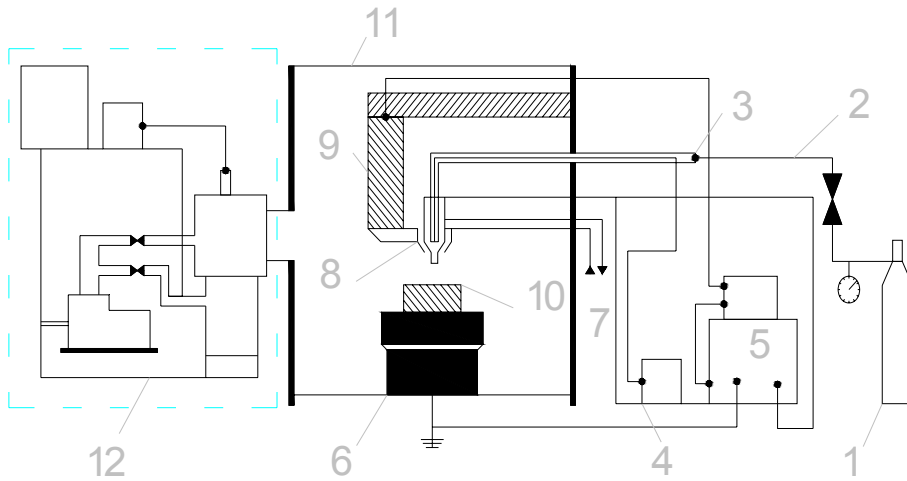


Рис. 1. Принципиальная схема установки для сварки горячим полым катодом в вакууме:

- 1 – аргон, 2 – натекатель, 3 – переходник осциллятора, 4 – осциллятор, 5 – источник питания, 6 – манипулятор, 7 – вода, 8 – горелка, 9 – головка, 10 – изделие, 11 – вакуумная камера, 12 – вакуумная система

Сварка плоских образцов-имитаторов проводилась на установке, состоящей из вакуумной камеры с системой откачки, предметного стола с продольным и поперечным перемещением, источника питания ВДУ-504, горелки ТПК-300.

Результаты исследований. Определение оптимальных условий сварки полым катодом, обеспечивающих требуемые геометрические параметры сварного шва, выполнялось по экспериментальным сваркам пластин толщиной 5 мм и 8 мм с различной разделкой кромок.

Для выявления качественных изменений формирования шва в зависимости от подготовки свариваемых поверхностей сваривали стыковые соединения без зазора (рис. 2, 3), с фиксированным зазором 0,6–1 мм (рис. 4, 5), с разделкой свариваемых кромок со стороны проплава (рис. 6).

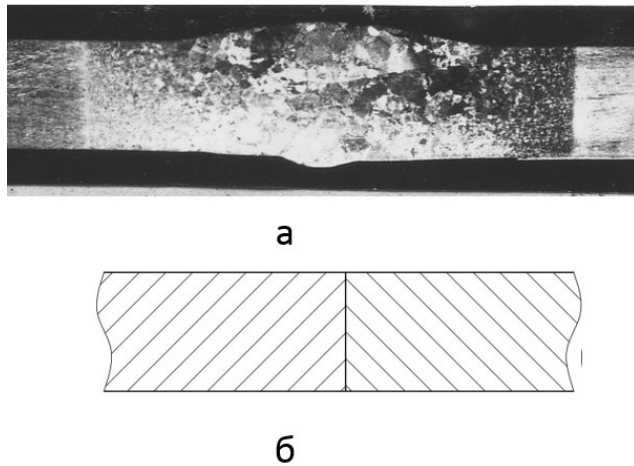
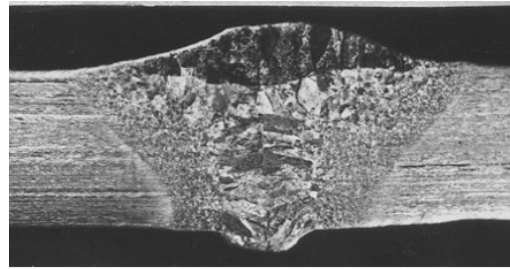
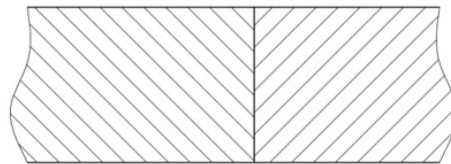


Рис. 2. Макроструктура (а) (x1,5) образца № 1, сваренного полым катодом без разделки кромок (б) для толщины 5 мм



а



б

Рис. 3. Макроструктура (а) (x1,5) образца № 2, сваренного полым катодом без разделки кромок (б) для толщины 8 мм

Сборка образцов под сварку встык и с зазором дает различные значения геометрических параметров швов, характеризующих плавность перехода проплава к основному металлу. Особенно это показательно для образцов большой толщины 8 мм. Предварительный визуальный осмотр показал, что при сварке с зазором 0,6–1 мм высота проплава уменьшается, чешуйчатость не наблюдается. Дальнейшее увеличение зазора для плоских образцов не желательно, т.к. теряется положительный эффект зазора, образуется подрез со стороны проплава и большое занижение шва.

В связи с тем, что сборка образцов с зазором определенной толщины затруднена, была опробована сварка с фиксированным зазором для толщины 8 мм. В корне шва фрезеровали фиксирующий выступ высотой 1 мм, шириной зазора 0,6 мм и 1 мм. Это облегчает сборку и исключает стягивание пластин из-за их деформации в процессе сварки (рис. 4, б и 5, б).

Сравнительный анализ макроструктуры сварных соединений пластин толщиной 8 мм показал, что у образцов, сваренных с фиксированным зазором (рис. 4, а; рис. 5, а), ширина шва a и проплава b практически не изменились (рис. 7, табл. 2), а высота усиления шва h_1 и высота проплава h_2 уменьшилась на 10–20 % и 77 % соответственно. Полученная форма сварного шва позволяет использовать данный вид разделки кромок для получения сварных конструкций с замкнутыми внутренними полостями.

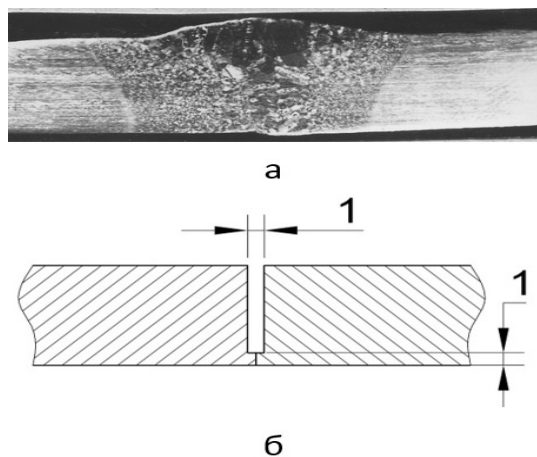


Рис. 4. Макроструктура (а) (x1,5) образца № 3, сваренного полым катодом с разделкой кромок (б) для толщины 8 мм

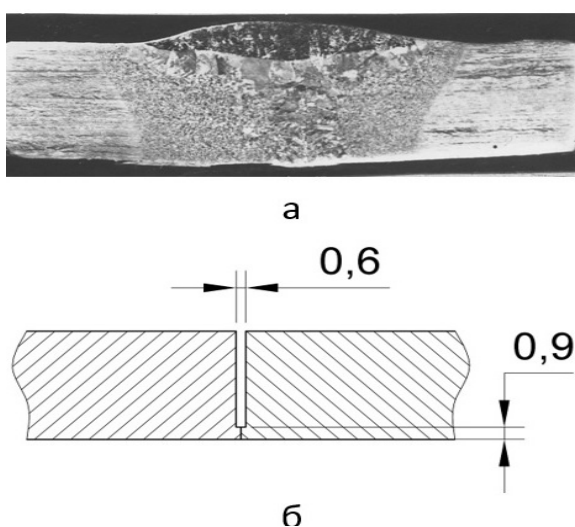
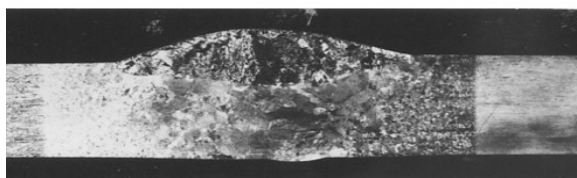
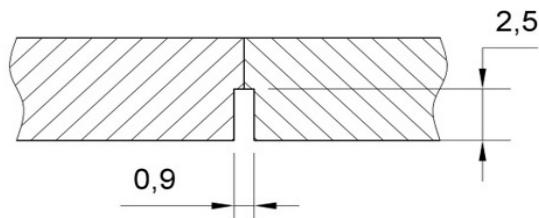


Рис. 5. Макроструктура (а) (x1,5) образца № 4, сваренного полым катодом с разделкой кромок (б) для толщины 8 мм

При сварке пластин толщиной 5 мм была применена также разделка кромок со стороны проплава в виде прямоугольной проточки 0,9 x 2,5 мм. Внешний осмотр швов, сваренных с указанной подготовкой кромок, не показал значительного улучшения формирования шва (рис. 6): ширина шва a увеличилась на 12 %, высота усиления h_1 – на 67 %, ширина проплава b уменьшилась на 17 %, высота h_2 – на 37,2 %. Увеличение a и h_1 является недопустимым, так как полученные размеры сварного соединения превышают указанные в ГОСТ 5264-80 для толщины пластин 5 мм ($a = 10$ мм, $h_1 = 2$ мм).



а



б

Рис. 6. Макроструктура (а) (x1,5) образца № 5, сваренного полым катодом с разделкой кромок (б) для толщины 5 мм

Металлографические исследования проводились на образцах, вырезанных из сварного шва и основного металла на расстоянии 20 мм от края пластин. Исследования макроструктур и изломов сварных соединений, полученных сваркой полым катодом в вакууме, показали отсутствие дефектов типа флокенов, горячих и холодных трещин. В соединениях отсутствуют поры, несплошности, непровары.

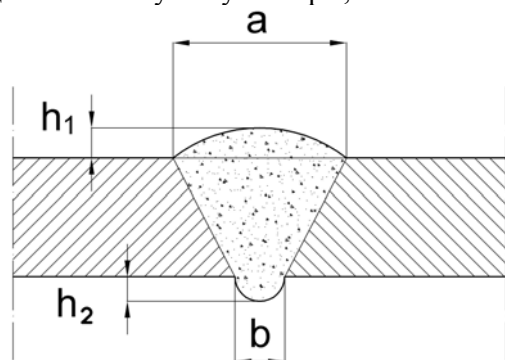


Рис. 7. Схема основных геометрических размеров сварного шва

Таблица 2

Геометрические размеры сварного шва, полученные после сварки полым катодом

№ обр.	Толщина пластины, мм	a , мм	b , мм	h_1 , мм	h_2 , мм	N , кВт
1	5	12,5	3,4	0,9	0,4	7
2	8	15	4,5	2	1,1	9,5
3	8	15	3,5	1,6	0,25	8
4	8	16	4,5	1,8	0,5	8,4
5	5	14	2,8	1,5	0,25	5,7
6	8	15	4,5	2,3	1,1	8

Анализ результатов проведенных исследований показал, что сварку соединений из титанового сплава ВТ6С толщиной 5 мм и 8 мм наиболее целесообразно выполнять методом сварки полым катодом в вакууме. При этом должна быть выполнена разделка кромок с фиксированным зазором. Указанные условия подготовки кромок под сварку обеспечивают полное проплавление свариваемых деталей по толщине, требуемые геометрические характеристики сварного шва, отсутствие дефектов в сварном соединении и снижение мощности сварки на 11–16 %.

Выводы. В процессе сварки соединений из титанового сплава ВТ6С толщиной 5 мм и 8 мм полым катодом в вакууме исследовалось влияние различной разделки кромок на геометрические параметры сварного шва.

В результате исследований установлено, что наилучшие условия формирования сварного соединения обеспечиваются при разделке свариваемых кромок с фиксированным зазором величиной 0,6–1 мм. При этом выполняется полное проплавление свариваемых деталей по толщине, геометрические характеристики сварного шва соответствуют величинам, указанным в ГОСТ 5264-80, отсутствуют дефекты в сварном соединении и мощность сварки снижается на 11–16 %.

Результаты исследований показали перспективность применения метода сварки полым катодом для получения сварных соединений из высокопрочного титанового сплава ВТ6С в производстве.

Библиографические ссылки

1. **Неровный В. М.** Повышение эффективности дуговой сварки в вакууме титановых сплавов / В. М. Неровный // Сварка и диагностика. – 2012. – № 5. – С. 18–22.
2. **Pererva V.A.** Development of penetration zone size prediction technique for hollow-cathode welding technology of spherical titanium tanks / V.A. Pererva, E.V. Karpovich, A.V. Fedosov // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2016. – P. 47–52. Doi: 10.15587/1729-4061.2016.59790.
3. **Перерва В. А.** Прогнозирование размеров зоны проплавления для технологии сварки полым катодом с различной разделкой кромок / В. А. Перерва, Е. В. Карпович, А. В. Федосов, Е. А. Джур // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. – № 2 (129). – 111 с.
4. ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств. – М. : Изд-во стандартов, 2006. – 44 с.
5. **Ильин А.А.** Титановые сплавы. Состав, структура, свойства : справочник / А.А. Ильин, Б.А. Колачев, И.С. Полькин. – М. : ВИАСМАТИ, 2009. – 520 с.

Надійшла до редколегії 09.06.2016