

## ЛИНЕЙНАЯ СВАРКА ТРЕНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ BT8M-1 и BT25Y

И. М. Гатиятуллин<sup>1</sup>, В. Р. Галимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> rb.myyashik@gmail.com, <sup>2</sup> houndedreaper@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** В данной работе приведено исследование линейной сварки трением разнородных титановых сплавов BT8M-1 и BT25Y между собой. Рассмотрена актуальность применения линейной сварки трением для данных сплавов. Описаны применяемые образцы для линейной сварки трением и режимы сварки. Рассмотрена оценка свариваемости по результатам визуально-измерительного контроля и металлографических исследований. Проведен анализ циклограмм процесса сварки расчет поля температур. Проанализированы записанные в ходе сварки параметров и распределения температуры и проведено сравнение с уже известным сочетанием сплавов BT6 и BT8-1.

**Ключевые слова:** линейная сварка трением; газотурбинный двигатель; сварка разнородных сплавов; титановые сплавы; BT8M-1; BT25Y; сварка.

### ВВЕДЕНИЕ

Линейная сварка трением (ЛСТ) является относительно новым способом, применяющимся практически только для изготовления блисков осевых компрессоров газотурбинных двигателей (ГТД). От традиционной сварки трением линейная отличается тем, что детали совершают возвратно-поступательное движение относительно друг друга.

Современные осевые компрессора ГТД являются многоступенчатыми, в каждой ступени рабочая температура среды и давление различаются – они возрастают по мере приближения к камере сгорания, что требует применения более жаропрочных материалов от ступени к ступени. [1]

В настоящее время отработана технология ЛСТ разнородных титановых сплавов BT6 и BT8-1 [2, 3, 4], применение которых ограничено температурами 350...400 градусов. Применение сварных блисков в компрессорных ступенях, имеющих более высокую эксплуатационную температуру, требует использования более жаропрочных материалов для лопаток и дисков, таких как сплавы BT8M-1 и BT25Y [5].

Поскольку на данный момент возможность применения ЛСТ для соединения титановых сплавов BT8M-1 и BT25Y между собой еще не исследована целью данной работы являлась оценка свариваемости сочетания сплавов BT8M-1 и BT25Y методом ЛСТ.

Для данного исследования были изготовлены параллелепипедные образцы с размерами 13x26x35мм из сплавов BT8M-1 и BT25Y (рис. 1).

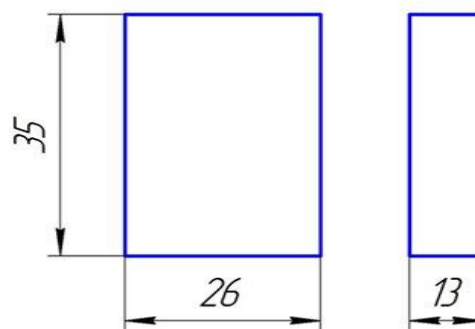


Рис. 1. Образцы для ЛСТ

ЛСТ образцов проводилась на следующих режимах: амплитуда колебаний  $A = 2$  мм; осадка нагрева  $h = 3,5$  мм; частота  $f = 50$  Гц; усилие сварки  $F_{св} = 16$  кН и усилие проковки  $F_{пр} = 35$  кН.

Свариваемость оценивалась по результатам визуально-измерительного контроля и металлографических исследований. При визуально-измерительном контроле была проведена оценка выдавливания грата. Грат выдавливается с двух деталей, во все стороны (рис. 2). Проверили осадку измерением общей длины образцов, заданная осадка была достигнута.

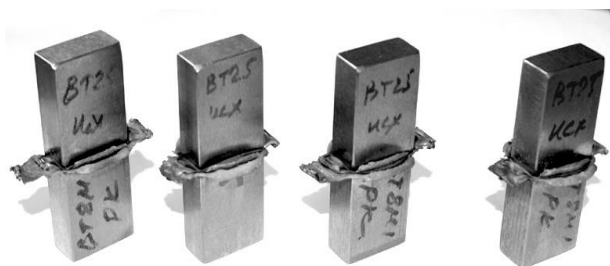


Рис. 2. Сваренные образцы сплавов BT8M-1 и BT25U между собой

Для проведения металлографии изготовили микрошлифы и на инструментальном микроскопе проверили наличие дефектов и провели точные измерения участия в осадке каждого материала (рис. 3).

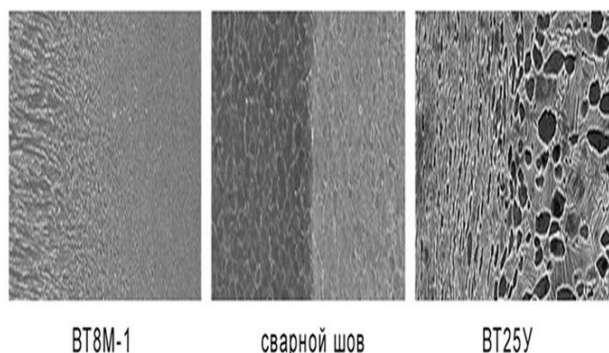


Рис. 3. Металлография сварного шва из сочетания сплавов BT8M-1 и BT25U

Никаких дефектов не было обнаружено. А доля участия материалов приведена на графике в сравнении с другими сочетаниями (рис. 4). Ширина сварного шва разнородных сплавов BT8M-1 и BT25U в среднем равна 1,76мм, где 0,91мм со стороны BT8M-1, а 0,85мм – BT25U.

Кроме того, был проведен анализ циклограмм процесса сварки расчет поля температур по методике, описанной в [6]. Результаты приведены в табл. 1, 2 и рис. 4.

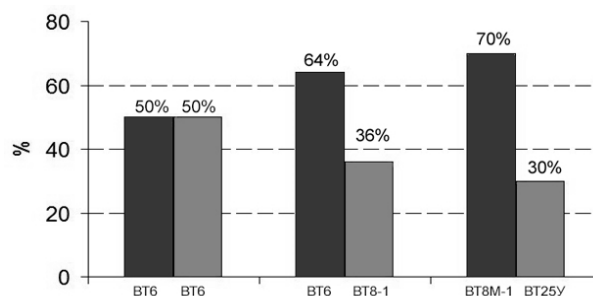


Рис. 4. Доля участия в осадке титановых сплавов между собой при ЛСТ

Таблица 1

Продолжительность ЛСТ разнородных титановых сплавов, сек

№ опыта	1	2	3	4
BT8M-1/ BT25U	1,23	1,25	1,19	1,22
BT6/ BT8-1	1,28	1,41	1,39	1,31

Таблица 2

Сдвиговое усилие при ЛСТ разнородных титановых сплавов, кН

№ опыта	1	2	3	4
BT8M-1/ BT25U	30,3	32,3	32,8	32,1
BT6/ BT8-1	33,1	32,6	32,7	34,1

Из табл. 1 можно видеть, что продолжительность сварки сочетания BT8M1/BT25U в сравнении с сочетанием BT6/BT8-1 она отличается на 12%. А по данным табл. 2 сравнили максимальные сдвиговые усилия между сочетаниями и результат показал, что они отличаются на 5 %.

Данные продолжительности сварки и сдвиговые усилия были взяты в расчет вводимой мощности. Она раскладывается на мощность отводимую в стык и в грат. Значения мощностей находятся в одном уровне для разных сочетаний материалов.

Из полученных данных вводимой мощности и осадке были посчитаны термические циклы для каждого материала (рис. 5). По графикам видно, что температура на расстоянии 1 мм от стыка для каждого материала разная. но опять же в одном диапазоне для разных сочетаний. сама же температура стыка лежит в пределе от 1400 до 1600 как и для одной, так и для другой.

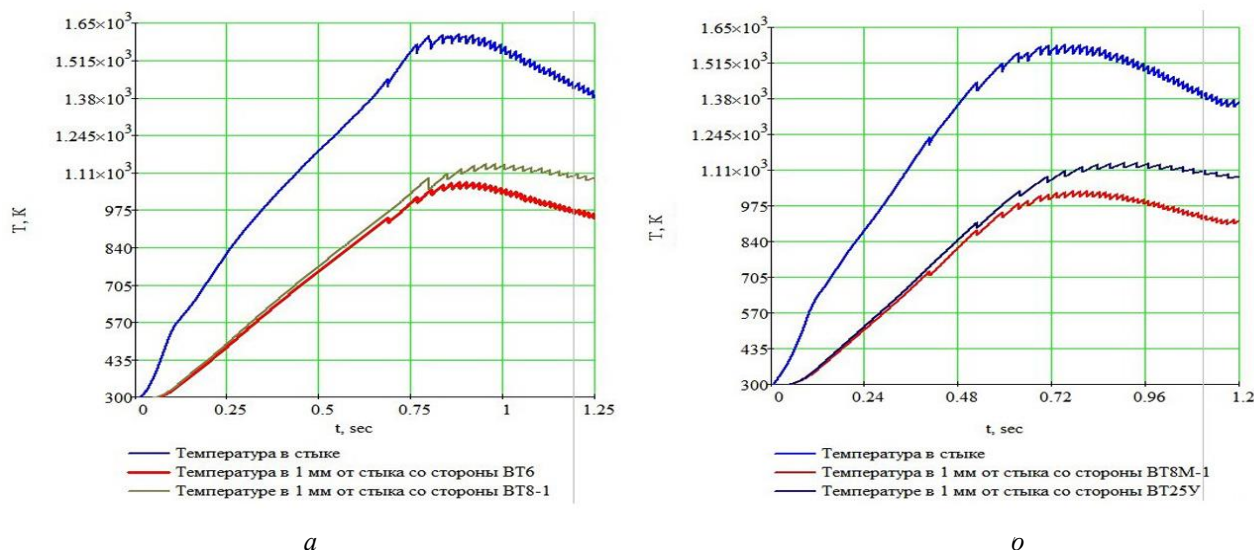


Рис. 5. Термические циклы для разных сочетаний титановых сплавов:  
а – VT6/VT8-1; б – VT8M-1/VT25U

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрена актуальность исследования линейной сварки трением сочетания титановых сплавов VT8M-1 и VT25U в связи, с чем необходимо исследование ЛСТ данных сочетаний. Для исследования свариваемости были проведены сварки предварительно изготовленных образцов.

Согласно предварительной оценке свариваемость сочетания сплавов VT25U/VT8M-1 хорошая – грат выдавливаются по всему периметру сечения, сварной шов свободен от окисных пленок и иных дефектов. Температурные условия в стыке при сварке сочетания VT25U/VT8M-1 по всей видимости мало отличаются от таковых при сварке сочетания VT6/VT8-1.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иноземцев А.А. Газотурбинные двигатели. – Пермь: ОАО "Авиадвигатель", 2006. 1204 с. [A. A. Inozemtsev, *Gas turbine engines*, (in Russian). Perm: OJSC "Aviadvigatel", 2006. ]

2. Медведев А. Ю., Бычков В.М., Селиванов А.С., Павлинич С.П., Даутов С.Х., Супов А.В. Применение линейной сварки трением для соединения сплавов VT6 и VT8-1 // Вестник УГАТУ. 2012. Т.16, №7 (52). – С. 63-67. [A. Yu. Medvedev, V. M. Bychkov, A. S. Selivanov, S. P. Pavlinich, S.H. Dautov and A. V. Supov "The use of linear friction welding for joining alloys VT6 and VT8-1," (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 7 (52), pp. 63-67, 2012. ]

3. Дьяконов Г. С., Измайлова Н.Ф., Бычков В. М. и др. Исследование микроструктуры в зоне сварного шва при

линейной сварке трением титановых сплавов VT6 и VT8 // Вестник УГАТУ. 2012. Т.16, №7 (52). – С. 48-52. [G. S. Dyakonov, N. F. Izmaylova, V. M. Bychkov, et al. "Study of the microstructure in the weld zone during linear friction welding of VT6 and VT8 titanium alloys," (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 7 (52), pp. 48-52, 2012. ]

4. Гринь Р. Р., Караваева М. В., Бычков В. М. и др. Структура и свойства соединений титановых сплавов с ультрамелкозернистой структурой, полученных линейной сваркой трением // Вестник УГАТУ. 2012. Т.16, №7 (52). – С. 43-47. [R. R. Grin, M. V. Karavaeva, V. M. Bychkov, et al. "Structure and properties of compounds of titanium alloys with ultrafine-grained structure obtained by linear friction welding," (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 7 (52), pp. 43-47, 2012. ]

5. Анташев В. Г., Кашапов О. С., Павлова Т. В., Ночовная Н. А. Состояние, проблемы и перспективы создания жаропрочных титановых сплавов для деталей компрессора // Авиационные материалы и технологии. 2007. №1. – С. 69-73. [V. G. Antashev, O. S. Kashapov, T. V. Pavlova, N. A. Nochnaya. "Status, problems and prospects of creating heat-resistant titanium alloys for compressor parts," (in Russian), in *Aviation materials and technologies*, no. 1, pp. 69-73, 2007. ]

6. Медведев А. Ю., Галимов В.Р., Гатиятуллин И. М., Муругова О. В. Конечно-разностная модель температурного поля при линейной сварке трением // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию ООО "Кузбасский центр сварки и контроля". Кемерово: КГТУ, 2019. – С. 80-87. [A. Yu. Medvedev, V. R. Galimov, I. M. Gatiyatullin, O. V. Murugova "The finite-difference model of the temperature field in linear friction welding" // *Innovations in the fuel and energy complex and mechanical engineering. Collection of scientific papers of the II International Scientific and Practical Conference dedicated to the 20th anniversary of the Kuzbass Center for Welding and Control LLC.*, 2019, vol. 1, pp. 80-87. ]

**ОБ АВТОРАХ**

**ГАТИЯТУЛЛИН Ильдар Маликович**, аспирант. каф. СЛАТ.

**ГАЛИМОВ Виталий Рустемович**, ассистент каф. СЛАТ.

**METADATA**

**Title:** Linear friction welding of dissimilar titanium alloys VT8M-1 and VT25U.

**Authors:** I. M. Gatiyatullin<sup>1</sup>, V. R. Galimov<sup>2</sup>

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** 1 rb.myyashik@gmail.com, 2 houndedreaper@mail.ru.

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 33-36, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** This paper presents a study of linear friction welding of dissimilar titanium alloys VT8M-1 and VT25U with each other. The relevance of the use of linear friction welding for these alloys is considered. The used samples for linear friction welding and welding modes are described. An assessment of weldability based on the results of visual measurement control and metallographic studies is considered. The analysis of the cyclograms of the welding process, the calculation of the temperature field. The parameters and temperature distribution recorded during welding were analyzed and a comparison was made with the already known combination of VT6 and VT8-1 alloys.

**Key words:** Linear friction welding; gas turbine engine; welding dissimilar alloys; titanium alloys; VT8M-1; VT25U; welding.

**About authors:**

**GATIYATULLIN, Ildar Malikovich**, postgraduate student 3 year, Ufa state aviation technical University

**GALIMOV, Vitaliy Rustemovich**, assistant Professor, Ufa state aviation technical University