

## ЛИНЕЙНАЯ СВАРКА ТРЕНИЕМ СТАЛТИТАНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ: ЭКСПЕРИМЕНТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

В. Р. ГАЛИМОВ

galimov.vitalij-r01@net.ugatu.su

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

**Аннотация.** В статье проработана методика проведения собственного поискового эксперимента по сварке стали 40Х со сплавом ВТ6. Полученные в результате экспериментальные данные о вводимой при сварке мощности, деформации деталей и характере фазовых превращений в зоне формирующегося сварного соединения предполагается использовать для конечно-разностного моделирования температурного поля при сварке, что позволит в первую очередь получить представление о процессах и условиях, формирующих наблюдаемые после сварки структуры.

**Ключевые слова:** сварка трением; биметаллические ротора; сталь-титан; моделирование теплового поля; метод конечных разностей.

### ВВЕДЕНИЕ

Обзор отечественных и зарубежных исследований показывает перспективы развития методов получения биметаллических заготовок. Среди перспективных методов выделяют аддитивные технологии, диффузионную сварку и сварку трением.

Среди зарубежных работ обнаружены исследования по сварке сталей с титаном и его сплавами [1–2]. В работах рассматривается принципиальная возможность сварки, исследуются процессы взаимной диффузии и образования интерметаллидных фаз. Поведение материалов при сварке изучены слабо, результаты механических испытаний пока также недостаточно высоки для применения сварки для узлов авиационных двигателей.

На основе обзора и изучения стальных и титановых материалов, применяемых в газотурбинных двигателях, принято решение использовать в поисковых экспериментах сочетание стали 40Х с титановым сплавом ВТ6. Доступность материалов облегчат стадию исследования процесса формирования сварных соединений материалов с резко отличающимися теплофизическими свойствами.

### УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для сварки образцов было принято использовать параметры режима, соответствующие таковым при сварке деталей из сплава ВТ6 между собой [3] (табл. 1). Размеры образцов: 13\*26\*35 мм для обоих материалов. Количество сварок – 3.

Таблица 1

**Параметры режима сварки**

Параметр	Частота, Гц	Амплитуда, мм	Давление сварки, МПа	Давление проковки, МПа	Осадка, мм
Значение	50	2	100	100	2

В результате были получены 3 образца (рис. 1). Внешний осмотр показал наличие раздельного грата у стальной и титановой детали, степень деформирования титановой детали больше. Также на стальном образце видна значительная область, подвергшаяся окислению, что говорит о высокой температуре на удалении от границы трения.



Рис. 1. Сваренные сталетитановые образцы

Образцы были подвергнуты нарезке на шлифы для измерения размеров шва и степени осадки. В ходе нарезки два образца были разрушены под действием сил резания. Изучение поверхности показало отсутствие плотного схватывания образцов между собой, что говорит об отсутствии сварного соединения как такового, а только о некоем «слипании» деталей друг с другом. Третий образец не разрушился в процессе подготовки шлифа. Микро- и макро-структура представлены на рис. 2.

Измерение размеров образцов показало, что осадка, приходящаяся на титановую деталь, составляет 80% от общей осадки. Полученные результаты будут использованы для моделирования в следующем разделе.

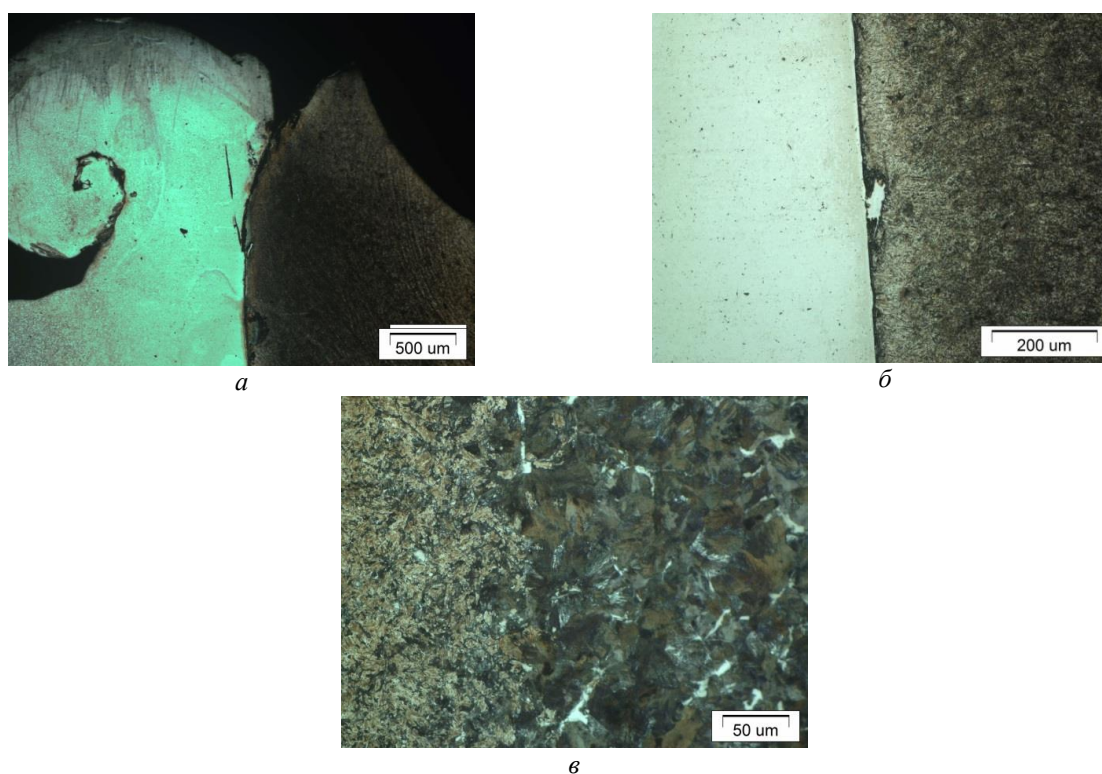


Рис. 2. Шлиф сварного соединения: а – стык возле места выхода графа, увеличение  $\times 5$ ; б – стык возле места выхода графа, увеличние  $\times 50$ ; в – граница между зоной термического влияния и основным металлом в стальном образце ( $\times 50$ )

#### ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ

Данные о процессе линейной сварке трением представляются в виде циклограмм. В ходе анализа данных об осадке было обнаружено, что все 3 сварки были завершены до достижения заданной осадки в 2 мм (рис. 3). Это, очевидно, связано с ограничением по длительности процесса на опытной установке. Кроме того, кривые осадки для двух экспериментов, соот-

ветствующих разрушившимся образцам, имеют нехарактерный вид (рис.3, б). Третья кривая имеет вид, аналогичный кривой осадки для титановых сплавов (рис.3, а).

Анализ сдвиговой силы на данном этапе не показывает заметных отклонений по сравнению со сваркой однородных титановых сплавов.

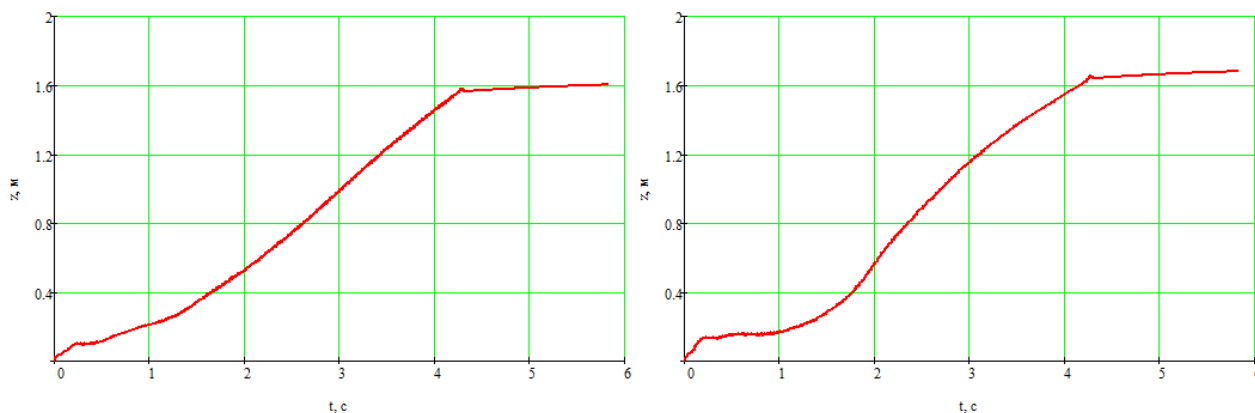


Рис. 3. Кривые осадки сваренных образцов: а – сварившегося образца, б – разрушившихся образцов

Исходя из результатов анализа данных о процессе, можно сделать следующие выводы:

1) При данных параметрах режима на используемой установке невозможно получить сварные образцы с заданной степенью осадки. Необходимо увеличить величину осадки за счет повышения давления, либо использовать оборудование, позволяющее осуществлять более длительный процесс осадки.

2) У разрушившихся образцов наблюдаются аномальные отклонения в форме кривой осадки. Данное явление требует дополнительного изучения

Данные об измерениях образцов были использованы для проведения моделирования температурных полей. Для расчетов применялась конечно-разностная модель, разработанная для оценки тепловых полей при сварке разнородных титановых сплавов [4].

Результаты расчета термических циклов в нескольких сечениях сварного соединения показаны на рис. 4. По графикам видно, что температура продолжает расти до стадии остановки, когда трение прекращается. Однако, обнаружено, что пиковая температура доходит до 2000 К, что можно считать завышенным значением. Очевидно, это связано с тем, что теплопроводность стали выше, в виду чего граничные условия, использованные для случая сварки титановых сплавов, необходимо корректировать.

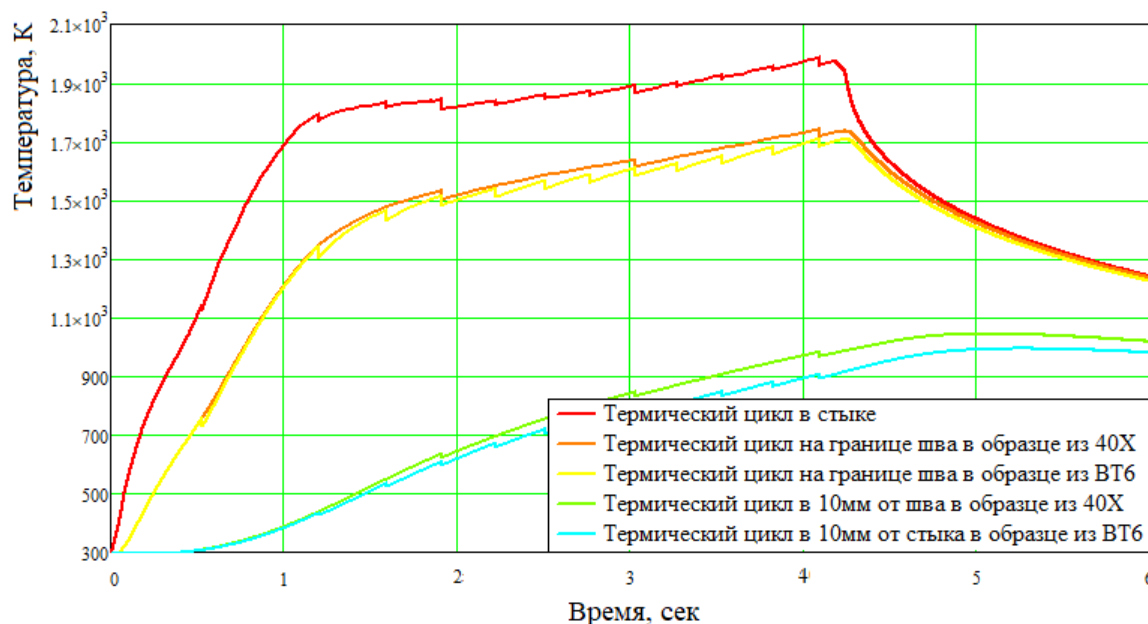


Рис. 4. Термический цикл сварки сталтитанового соединения

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной статье представлены результаты эксперимента по сварке трением титанового сплава VT6 со сталью 40X.

Внешний вид образцов и микроструктура говорит о потенциальной возможности получения таких соединений, однако полученные образцы не обладали достаточной прочностью.

Анализ кривых осадки показал недостаточную степень осадки деталей, что может быть причиной низкой прочности соединений.

Результаты моделирования тепловых полей в процессе сварки с применением модели, используемой для разнородных титановых сплавов, говорят о невозможности применения ее без внесения дополнительных поправок и последующей верификации.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Honggang Dong, Lianzhen Yu, Dewei Deng, Wenlong Zhou. Direct Friction Welding of TiAl Alloy to 42CrMo Steel Rods. // Materials and Manufacturing Processes, 30, 1104-1108(2015). <https://doi.org/10.1080/10426914.2014.973576>
2. Antonello Astarita, Fabio Scherillo, Michele Curioni. Study of the Linear Friction Welding Process of Dissimilar Ti-6Al-4V–Stainless Steel Joints. // Materials and Manufacturing Processes, 31, 2115–2122(2016). <https://doi.org/10.1080/10426914.2016.1151048>
3. Linear friction welding of two-phase titanium alloys VT6 and VT8-1 / Medvedev A.Y., Bychkov V.M., Selivanov A.S., Pavlinich S.P., Dautov S.K., Supov A.V. // Welding International. – 2015. – Vol. 29. – № 1. – p. 66-69. DOI: 10.1080/09507116.2014.888191
4. Конечно-разностная модель температурного поля при линейной сварке трением (научная статья, английский язык) [Finite Difference Model of Temperature Fields in Linear Friction Welding]/ Journal Solid State Phenomena. – 2020. –Vol.303. – P.175-180. – URL <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.303.175> (дата обращения: 11.05.2020). Рецензируемый научный журнал, входящий в международную реферативную базу данных SCOPUS ISSN1012-0394, 1662-9787, 1662-9779

**ОБ АВТОРАХ**

**ГАЛИМОВ Виталий Рустемович**, аспирант 1-го года обучения ИАТМ.

**METADATA**

**Title:** Algorithm calibration machine with parallel kinematics.

**Author:** V. R. Galimov

**Affiliation:** Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** galimov.vitalij-r01@net.ugatu.su

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (24), pp. 13-16, 2021. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** The article elaborates a technique for conducting our own search experiment on welding steel 40X with VT6 alloy. The resulting experimental data on the power input during welding, the deformation of parts and the nature of phase transformations in the zone of the forming welded joint are supposed to be used for finite-difference modeling of the temperature field during welding, which will allow, first of all, to get an idea of the processes and conditions that form those observed after welding structures..

**Key words:** friction welding; bimetallic shafts; thermal field modelling; finite difference method;

**About author:**

**GALIMOV, Vitalit Rustemovich**, postgraduate student 1 year, Ufa state aviation technical University.