

Григорьев В. В., Муравьев В. И., Бахматов П. В.
V. V. Grigoriev, V. I. Muravyev, P. V. Bakhmatov

**ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ НЕРАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ
СИЛОВЫХ ТИТАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ,
ВЫПОЛНЕННЫХ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ**

**CHANGES IN THE PROPERTIES OF PERMANENT JOINTS DEPENDING
ON THE MANUFACTURING PROCESSES OF LARGE-SIZE POWER TITANIUM
STRUCTURES OF AIRCRAFT MADE BY ELECTRON BEAM WELDING**

Григорьев Владимир Владимирович – аспирант кафедры «Авиастроение», заведующий лабораториями факультета машиностроительных и химических технологий Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27; тел. 8(914)183-02-99. E-mail: grigorev.vlv@gmail.com.

Vladimir V. Grigoriev – Post-graduate Student, Aircraft Engineering Department, Head of Laboratories at the Faculty of Mechanical Engineering and Chemical Technologies, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str.; tel. 8(914)183-02-99. E-mail: grigorev.vlv@gmail.com.

Муравьев Василий Илларионович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник управления научно-исследовательской деятельностью Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: vmuravyev@mail.ru.

Vasily I. Muravyev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Research Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin str., 27. E-mail: vmuravyev@mail.ru.

Бахматов Павел Вячеславович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии сварочного и металлургического производства Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: mim@knastu.ru.

Pavel V. Bakhmatov – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Welding and Metallurgical Production Technology, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str.; tel. 8(914)160-76-54. E-mail: mim@knastu.ru.

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты оценки влияния технологических процессов на свойства неразъёмных соединений, выполняемых электронно-лучевой сваркой титановых сплавов. Установлено, что доминирующее влияние на образование субмикроструктуры оказывает наличие в приповерхностном слое капиллярно-конденсированных загрязнений. Определено, что термическая обработка за короткий промежуток времени позволяет получить удовлетворительные прочностные свойства и, соответственно, минимизировать дефектность неразъёмных соединений, выполняемых сваркой.

Summary. This paper presents the results of evaluating the impact of technological processes on the properties of permanent joints performed by electron beam welding of titanium alloys. It was found that the dominant influence on the formation of submicroporosity is exerted by the presence of capillary-condensed mud in the near-surface layer. It is determined that heat treatment in a short period of time allows you to obtain satisfactory strength properties and, accordingly, minimize the defects of permanent joints performed by welding.

Ключевые слова: титановые сплавы, термическая обработка, неразъёмные соединения, механические свойства, электронно-лучевая сварка, силовые конструкции, фазовые превращения.

Key words: titanium alloys, heat treatment, permanent joints, mechanical properties, electron beam welding, power structures, phase transformations.

УДК 621.791.722

Титановые сплавы широко используются для изготовления ответственных изделий авиационной техники (передних кромок крыла, стабилизатора, элеронов), а также для создания силового набора фюзеляжа и крыла оперения [1]. Удовлетворительная свариваемость титана и его сплавов открывает широкую перспективу для создания неразъёмных соединений (НС), выполненных электронно-лучевой сваркой силовых конструкций летательных аппаратов (ЛА) [2].

На сегодняшний день существенным недостатком образования неразъёмных соединений сваркой титановых сплавов является появление различных дефектов, в основном пор, достигающих в диаметре более 50 нм. При этом их наличие приводит к существенному снижению механических свойств [3].

Целью данной работы является оценка воздействия технологических процессов на качество образования неразъёмных соединений, выполненных электронно-лучевой сваркой, и изменения их свойств в зависимости от образования специфических дефектов, присущих данному виду сварки.

Для исследования применялись титановые темплеты из сплавов BT20 и BT23, соответствующие максимальному количеству дефектов, выявленных в процессе серийного производства силовых титановых конструкций. Подготовку и сборку образцов производили по традиционной технологии. После подготовительных операций производили электронно-лучевую сварку в установке КЛ-144 с последующим визуальным контролем и раскрытием темплетов для проведения радиографического и разрушающего контроля. В последующем была выполнена термическая обработка по традиционной технологии (в вакуумной печи УВН 1500 отжиг при 750 °С в течение 30 мин, старение в течение 10 ч при температуре 550 °С) и экспериментальной (в печи сопротивления Graficabro при температуре 980 °С выдержка образцов в течение 15, 30, 60, 90, 120 с).

Установлено, что наличие в приповерхностном слое стыкуемых кромок капиллярно-конденсированной влаги приводит в процессе сварки к образованию субмикропор в зоне сплавления и пор в структуре неразъёмного соединения. Наличие цепочек субмикропор в зоне сплавления фиксируется на радиографических снимках в виде тёмных полос, при этом их наличие приводит к снижению прочностных свойств и к отсутствию таких характеристик, как удлинение и сужение.

Исследованиями термической обработки неразъёмных соединений в температурном интервале фазовых превращений установлено, что скоростной нагрев сварного шва титанового сплава позволяет за короткий промежуток времени (90...120 с) полностью завершить процесс фазового превращения и улучшить механические свойства по сравнению со свойствами основного металла. При этом выявлена стадийность процесса фазового превращения в неразъёмных соединениях титановых сплавов (см. рис. 1).

Образование субмикропустот вызвано недостаточной энергией электронного луча за счёт частичного плавления по границам зёрен из-за различия диффузионных процессов.

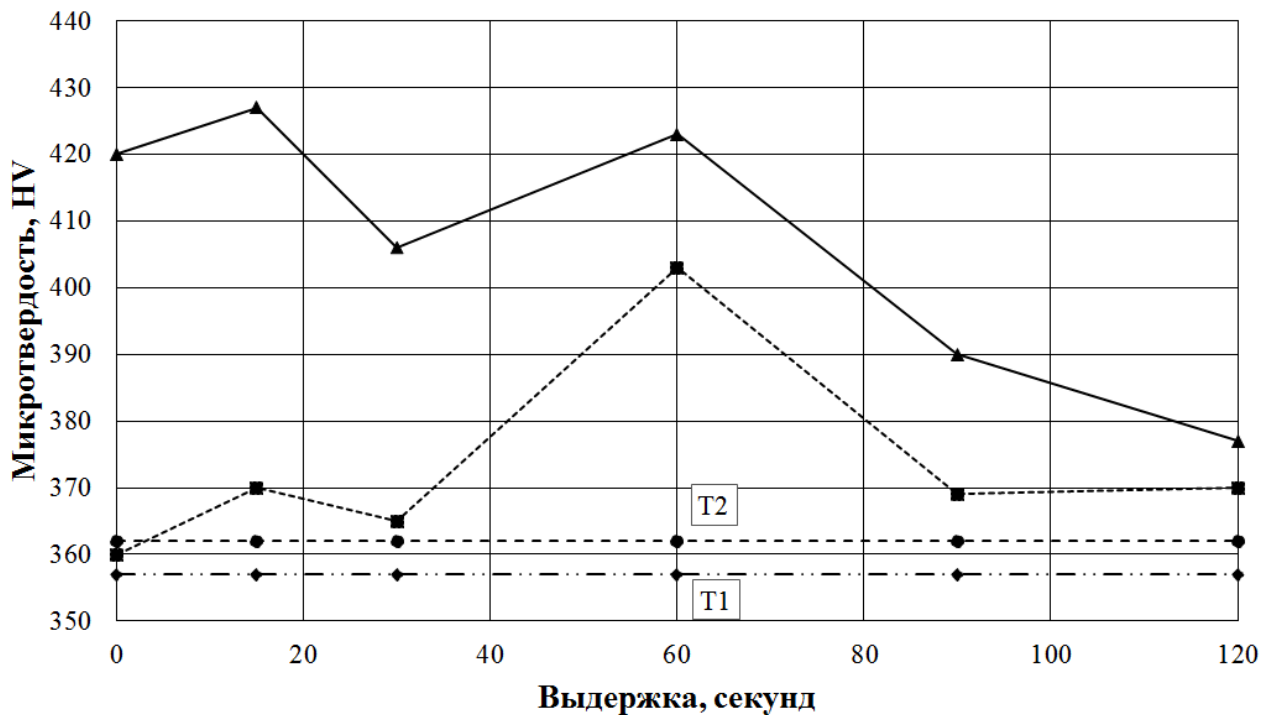


Рис. 1. Кинетика изменения микротвёрдости сварного шва образцов из сплава ВТ20 в зависимости от режимов ЭЛС и термообработки: Т1 – термическая обработка по режиму 650 °С, 2 ч, воздушная электропечь; Т2 – 750 °С, 30 мин в вакуумной печи; —▲— – микротвёрдость металла шва; ---■--- – микротвёрдость металла околошовной зоны

Наиболее перспективным способом в области исключения специфических дефектов может служить осцилляция электронного луча в процессе образования неразъёмного соединения с выявлением условий существования жидкометаллической ванны [4], а также минимизация капиллярно-конденсированной влаги в приповерхностном и поверхностных слоях стыкуемых кромок при использовании форсированных режимов механической обработки фрезерованием [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Эффективность применения титана и его сплавов в авиастроении / А. Г. Братухин, В. И. Муравьев, Б. И. Долотов и др. // *Авиационная промышленность*. – 1997. – № 4. – С. 3-9.
2. *Металлургия и технология сварки титана и его сплавов* / С. М. Гуревич, В. Н. Замков, В. Е. Блащук и др.; под ред. В. Н. Замкова. – 2-е изд., доп. и перераб. – Киев: Наукова думка, 1986. – 240 с.
3. Григорьев, В. В. Исследование влияния дефектов электронно-лучевой сварки на процессы разрушения титановых сплавов / В. В. Григорьев, В. И. Муравьев, П. В. Бахматов // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2020. – № 3. – С. 23-34.
4. Осцилляция электронного луча как средство улучшения формирования корня сварного шва и облегчения контроля сквозного проплавления при электронно-лучевой сварке / С. В. Варушкин, В. Я. Беленький, Н. А. Зырянов, А. А. Кылосов // *Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение*. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 151-159.
5. Саблин, П. А. Динамика сил резания при высокоскоростном фрезеровании / П. А. Саблин, К. А. Жигалкин // *Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике*. – 2019. – № II-1 (38). – С. 41-49.