

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

## МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

Материалы с многоуровневой иерархически  
организованной структурой и интеллектуальные  
производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.

Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-253

**IN SITU ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ НА МАКРО- И МЕЗУРОВНЯХ  
ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В СВАРНОМ ШВЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0  
ПРИ ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЕМ**

<sup>1</sup>Абзаев Ю.А., <sup>1</sup>Клопотов А.А., <sup>2</sup>Слободян М.С., <sup>3</sup>Курган К.А., <sup>1</sup>Устинов А.М., <sup>3</sup>Клопотов В.Д.

<sup>1</sup>*Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск*

<sup>2</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

Сварные соединения при изготовлении изделий и конструкций из титановых сплавов достаточно широко используются в различных летательных аппаратах. В процессе сварки в зоне сварного шва образуется сварочная ванна и при кристаллизации диссипация тепловой энергии приводит к изменению структурно-фазового состояния и механических свойств как в зоне сварного шва, так и в зоне термического влияния (ЗТВ) [1]. Очевидно, что разные виды сварки приводят к разным структурно-фазовым изменениям в сплавах на основе титана и как следствие механические свойства сварных соединений зависят от видов сварки.

Сварное соединение является местом концентраторов напряжений в конструкциях. Наличие концентраторов напряжений кроме того, что приводят к значительному росту напряжений в области концентраторов, но и создают сложные (чаще всего объемные) неоднородные напряженные состояния. Наличие таких неоднородных распределений напряжений проявляется в создании сложных деформационных полей в области концентратора напряжений и оказывает значительное влияние на развитие упругих и пластических деформаций и, что в конечном итоге, приводит к созданию трещин. Таким образом, несущая способность конструкций очень сильно зависит от деформационных процессов, происходящих в области концентраторов напряжений [2]. Поэтому необходимы как экспериментальные, так и теоретические детальные исследования напряженного и деформированного состояний в местах концентрации внешних механических воздействий.

Для анализа напряженно-деформированного состояния в области концентраторов напряжений в настоящее время широко используются методы бесконтактный оптический регистрации распределений деформационных полей на поверхности объектов на основе трехмерной цифровой оптической системы Vic-3D [3].

В данной работе представлены результаты *in situ* исследования на мезо- и макромасштабном уровнях эволюции деформационных полей на поверхности в области сварного соединения в титановом сплаве ВТ1-0 при растяжении методом корреляции цифровых изображений в зависимости от видов сварки.

В исходном состоянии образцы из сплава ВТ1-0 обладали микрокристаллической структурой со средним размером зерна порядка 5 мкм. Перед сварным соединением эти пластины были разрезаны на две равные части. Затем, были изготовлены две серии образцов в зависимости от видов сварки. Сварной шов был перпендикулярен оси растяжения. В первую серию вошли образцы, полученные при помощи ручной дуговой аргоновой сварки. Вторая серия образцов получена при помощи электронно-лучевой сварки. Электронно-лучевую сварку двух титановых пластин проводили на промышленной установке ЭЛС-0,5-6 с вакуумной камерой. Максимальная мощность электронно-лучевого пучка составляла 6 кВт с диаметром в зоне сварки ~ 0,5 мм.

Для получения данных при помощи цифровой оптической системы Vic-3D на поверхности образцов были созданы спекл-картины (стохастическое расположение черных точек на белом фоне).

Деформационные воздействия растяжением на образцы со сварными швами проводили на испытательной машине «INSTRON 3386». Эволюцию деформационных полей при испытаниях фиксировали при помощи оптической измерительной системы VIC-3D [3].

На рис. 1 и 2 представлены спекл-картины распределений вертикальных относительных деформаций  $\varepsilon_{yy}$  на поверхности образца, полученных сваркой двух титановых пластин ВТ1-

0, при одноосном растяжении при разных усредненных деформациях по рабочему полю образцов в зависимости для разных видов сварки. На приведенных спекл-картинах видно, что при одинаковых усредненных деформациях по всему рабочему полю образцов деформация в области сварного шва, полученном методом аргонно-дуговой сварки имеет более сложное строение и значительно больше, чем сварное соединение, полученное электронно-лучевым методом.

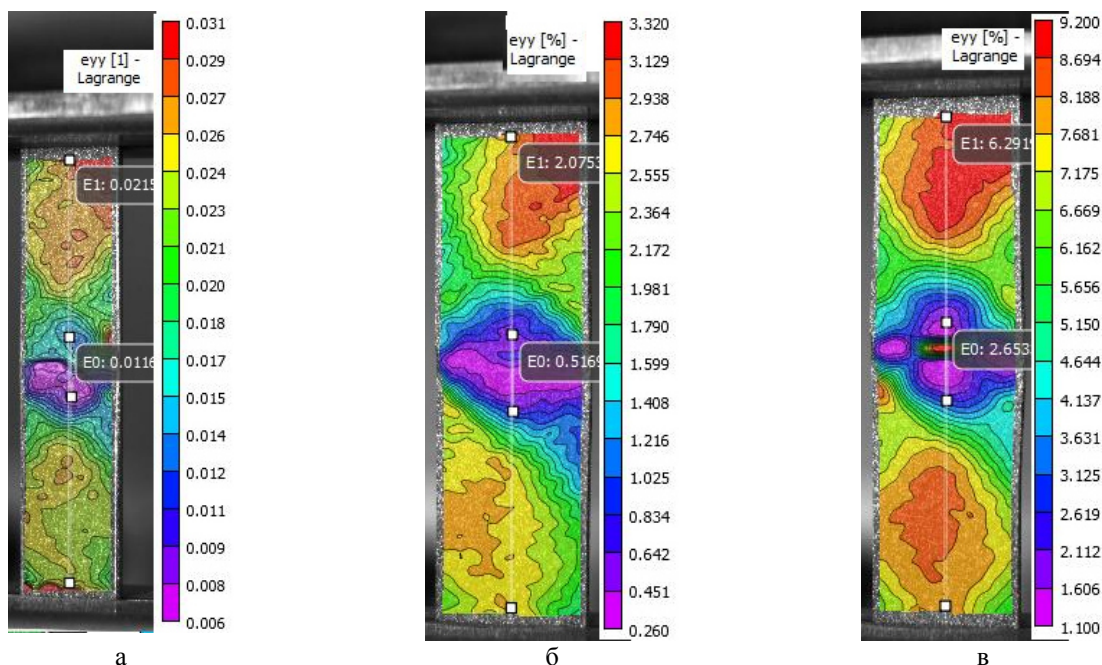


Рис. 1. Спекл-картины распределений вертикальных относительных деформаций  $\varepsilon_{yy}$  на поверхности образца, полученного сваркой двух титановых пластин ВТ1-0, при одноосном растяжении при разных усредненных деформациях по рабочему полю образцов: сварка электронно-лучевым методом (а), (б); аргонно-дуговая сварка(в), (г)

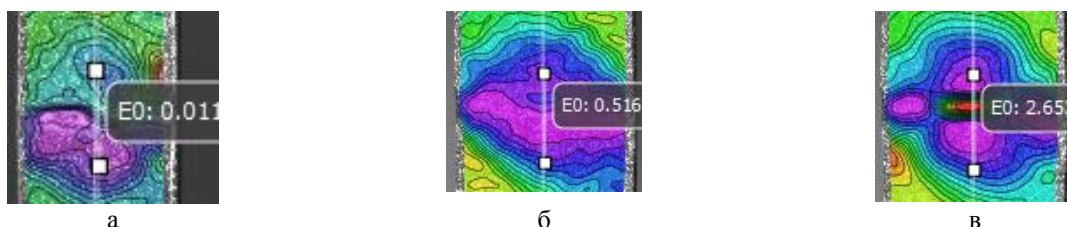


Рис. 2. Спекл-картины распределений вертикальных относительных деформаций  $\varepsilon_{yy}$  на поверхности образца в области сварного шва, полученного сваркой двух титановых пластин ВТ1-0, при одноосном растяжении при разных усредненных деформациях по рабочему полю в области сварного соединения: сварка электронно-лучевым методом (а), (б); аргонно-дуговая сварка(в), (г)

*Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерств науки и высшего образования РФ (номер проекта FEMN-2020-0004).*

1. В.А. Клименов, С.Ф. Гнюсов, А.И. Потекаев, А.А. Клопотов, Ю.А. Абзаев и Курган К.А. др. Структура и свойства микрокристаллического и субмикрокристаллического титанового сплава ВТ1-0 в области шва при электронно-лучевой сварке. Известия ВУЗов. Физика. 2017. Т.60, №6. С.62-70.
2. Мавлютов Р.Р. Концентрация напряжений в элементах авиационных конструкций. М: Наука, 1981. 140 с.
3. Sutton M.A., Orteu J.J., Schreier H. Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. - University of South Carolina, Columbia, SC, USA, 2009. 364 p.