

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Олейник М.А., Балякин А.В., Злобин Е.П., Гончаров Е.С.  
Самарский университет, г. Самара, [oleynik1997@mail.ru](mailto:oleynik1997@mail.ru)

*Ключевые слова:* аддитивное производство, прямое лазерное выращивание, термическая обработка, жаропрочные сплавы.

Никелевые жаропрочные сплавы имеют высокую концентрацию легирующих элементов, которые при традиционной схеме получения изделий литьем или обработкой давлением выделяются в виде структур, близких к равновесным. Но при получении никелевых жаропрочных сплавов в виде порошков для аддитивного производства методом распыления или газовой атомизации в них формируется неравновесная структура пересыщенного твёрдого раствора из-за мгновенной кристаллизации. Последующий неравномерный нагрев объёмов сплава за счёт воздействия лазера при прямом лазерном выращивании (ПЛВ), в изделиях формируются остаточные напряжения, приводящие к искажению формы тонкостенных изделий типа турбинных лопаток и крыльчаток при удалении их с платформы [1]. Кроме того, изменяются механические свойства [2]. Наиболее часто для устранения остаточных напряжений или снижения их уровня в большинстве металлических сплавов применяют отжиг.

Для снижения внутренних остаточных напряжений в образцах, изготовленных технологией ПЛВ из металлического жаропрочного сплава ЭП648 было применено два типа термической обработки: отжиг и закалка (табл. 1). Часть образцов подвергалась отжигу, а часть – отжигу с последующей закалкой. Внешний вид образцов представлен на рис. 1.

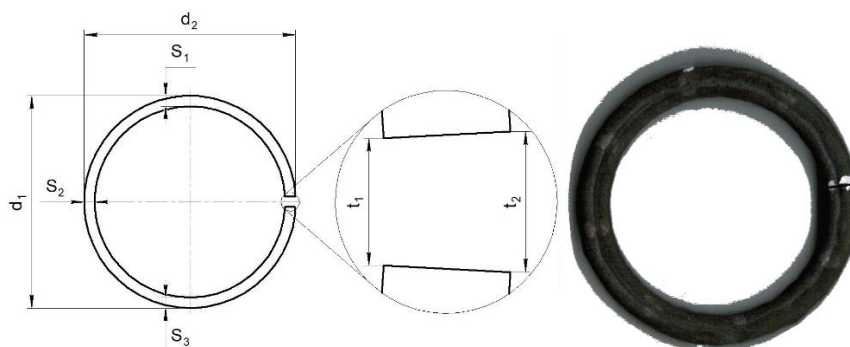


Рисунок 1 – Схема измерения и внешний вид образца

Таблица 1 – План эксперимента

№ образца	Режим термообработки		Зазор	
	Термообработка	Охлаждение	t <sub>1</sub> , мм	t <sub>2</sub> , мм
1	1180 °С, 4 часа	На воздухе	0,25	0,27
2	1180 °С, 4 часа 900 °С, 16 часов	На воздухе	0,29	0,32
3	1180 °С, 4 часа 900 °С, 16 часов	С печью	0,30	0,28
4	Без термообработки		0,71	0,80
5	1180 °С, 4 часа	На воздухе	0,30	0,35
6	1180 °С, 4 часа 900 °С, 16 часов	С печью	0,40	0,30
7	1180 °С, 4 часа	С печью	0,73	0,63
8	1140 °С, 1 час 900 °С, 16 часов	На воздухе	0,32	0,33
9	1140 °С, 4 часа	На воздухе	0,29	0,36

Измерение образцов проводилось в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. На основании величин  $t_1$  и  $t_2$  можно судить о величине остаточных напряжений. Из результатов измерений видно, что наибольшая величина прорези у образца 4, который не подвергался термической обработке, что свидетельствует о накоплении остаточных напряжений в сплавленном материале. Меньшие значения размеров  $t_1$ ,  $t_2$  у остальных образцов говорит о том, что применение термической обработки позволяет снизить остаточные напряжения.

### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме: «Организация высокотехнологичного производства индустриальных ГТД с интеллектуальной системой конструкторско-технологической подготовки для повышения функциональных характеристик» (Соглашение о предоставлении гранта № 075-11-2021-042 от 24.06.2021 г.).

### **Список литературы**

1. Influence of the Fusion Modes on the Microstructure and Formation of Defects in Samples Made of a Heat-Resistant Nickel-Based Alloy Made by Direct Laser Fusion /Oleynik M.A., Balyakin A.V. et al. // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2402.
2. Influence of Direct Metal Deposition Modes on the Shaping of Single Tracks and Walls Made of Heat-Resistant Powder Material / Oleynik M.A., Balyakin A.V., Zlobin E.P. // Materials Science Forum.

### **Сведения об авторах**

Олейник Максим Андреевич, аспирант кафедры ТПД. Область научных интересов: прямое лазерное выращивание.

Балякин Андрей Владимирович, старший преподаватель кафедры ТПД. Область научных интересов: 3D-технологии, CAD/CAM/CAE-системы.

Злобин Евгений Петрович, магистрант кафедры ТПД. Область научных интересов: аддитивные технологии.

Гончаров Евгений Станиславович, аспирант кафедры ТПД. Область научных интересов: аддитивные технологии.

## **THE EFFECT OF HEAT TREATMENT OF WORKPIECES MADE OF HEAT-RESISTANT ALLOYS OBTAINED USING ADDITIVE TECHNOLOGIES**

Oleynik M.A., Balyakin A.V., Zlobin E.P., Goncharov E.S.  
Samara University, Samara, [oleynik1997@mail.ru](mailto:oleynik1997@mail.ru)

*Keywords: additive manufacturing, direct laser cultivation, heat treatment, heat-resistant alloys.*

To reduce the internal residual stresses in the samples made by direct metal deposition technology from the heat-resistant metal alloy EP648, two types of heat treatment were applied: annealing and quenching. Based on the values  $t_1$  and  $t_2$ , it is possible to judge the magnitude of residual stresses. It can be seen from the measurement results that the largest size of the slot is in sample 4, which has not been subjected to heat treatment, which indicates the accumulation of residual stresses in the fused material. Smaller values of sizes  $t_1$ ,  $t_2$  in the remaining samples indicate that the use of heat treatment reduces residual stresses.