

солютно точно совмещения участков поверхности для записи профилограмм и видеосъёмки и, кроме того, разной размерностью профилограмм и видеоизображений. Таким образом, и в этом случае параметры шероховатости торцовых поверхностей ро-

лика, найденные с помощью измерительного оптико-электронного комплекса, вполне согласуются с аналогичными параметрами, измеренными с помощью профилографа модели SJ — 201P.

УДК 669.245:621.762

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ ИЗ ПОРОШКА СТАЛИ 316L**

©2016 В.Г. Смелов, А.В. Сотов, А.В. Агаповичев, В.А. Волкодаев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### **RESEARCH OF STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE PRODUCTS OBTAINED BY SELECTIVE LASER MELTING OF POWDER STEEL 316L**

Smelov V.G., Sotov A.V., Agapovichev A.V., Volkodaev V.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*The structure and mechanical properties of samples from the steel powder 316L that are produced by selective laser melting. Conducted a chemical and grain size analysis of the starting material. Examined the static test specimens tensile fracture morphology of samples. It is shown that parts are made of the steel powder, can be used under cyclic loads due to the high ductility of the material.*

В последнее время наблюдается значительный рост применения аддитивных технологий при производстве сложнопрофильных деталей. Одним из направлений аддитивных технологий является технология селективного лазерного сплавления (СЛС).

Несмотря на то, что технология СЛС значительно шагнула вперед за последнее время, её использование ограничено в связи с появлением дефектов в выращенных деталях, например, таких как поры и трещины. Поэтому исследование влияния технологии СЛС на механизм формирования структуры и механических свойств спекаемого материала представляет собой значительный интерес.

В работе [1] представлены результаты исследования пористости сплавленного материала в зависимости от параметров обработки (мощность лазера, скорости сканирования, диаметра пучка лазера, толщины слоя). Однако в ней не рассмотрены механические свойства полученных образцов. Также в настоящее время появились более современные методы исследования получен-

ных образцов на наличие внутренних дефектов, такие как компьютерная томография.

Объектами исследования являются порошки нержавеющей стали 316L и образцы, полученные из этого материала, методом СЛС.

Выращивание образцов производилось на установке SLM 280HL. Установка имеет камеру построения размером 280×280×350 мм и оснащена иттербиевым волоконным лазером мощностью 400 Вт. Выращивание образцов производилось в среде инертного газа (азот).

Результаты анализа элементного состава металлического порошка стали 316L, полученного с помощью микрорентгеноспектрального анализа, соответствуют стандарту ASTM A240.

Установлено что порошок стали 316L, в основном, имеет правильную сферическую форму. В качестве характерных дефектов порошка можно выделить дефекты в виде сателлитов и «аморфного» панцыря, присущие для порошков, полученных методом газовой атомизации. Частицы

порошка стали 316L имеют внутреннюю литую (дендритную) структуру.

Гранулометрический анализ с помощью светового микроскопа Метам ЛВ-31 со специальным программным обеспечением показал, что количество гранул размером до 12 мкм превышает 48%, что может свидетельствовать о неэффективно проведенной предварительной газодинамической сепарации порошка. Количество частиц размером от 10 до 40 мкм составляет порядка 35%. Наличие порошинок размером от 10 мкм и более 40 мкм не препятствует нормальному формированию слоя при работе установки. Гистограмма распределения фракционного состава порошка представлена на рис. 1.

Для проведения механических испытаний была изготовлена партия цилиндрических образцов из стали 316L на технологических режимах, рекомендованных производителем установки SLM 280 HL для этого материала. Механические испытания проведены согласно ГОСТ 1497-84, с использованием напольной системы INSTRON 8802.

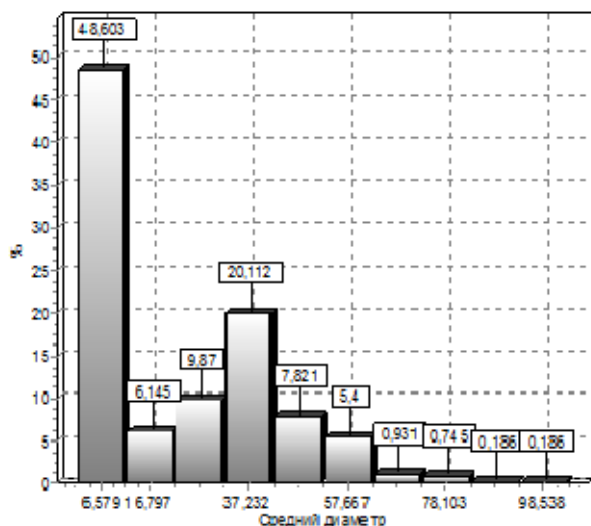


Рис. 1. Гистограмма распределения фракционного состава порошка стали 316L

Из результатов испытаний видно, что предел прочности СЛС-сплава превышает предел прочности стали 316L, полученной традиционными технологиями. По относительному удлинению СЛС-сплав превосходит литой материал, но уступает прокатанному варианту сплава.

С целью изучения характера разрушения образцов были выполнены фрактографические исследования с использованием растрового электронного микроскопа Tescan Vega. На поверхности излома можно наблюдались многочисленные поры диаметром до 50 мкм.

Для исследования микроструктуры образца в области разрыва был изготовлен поперечный шлиф. В области разрыва образца присутствовали дефекты в виде пор различного размера и формы. Наличие пор не привело к разрушению образца в месте их залегания.

Так как основным видом дефектов, возникающих внутри сплавленного материала являются поры, то для их выявления возможно использовать установку ХТ Н 225 компании X-Tek Nikon Metrology для компьютерной томографии. Исследование показало, что по всей высоте образца присутствуют поры диаметром до 50 мкм.

Порошок стали 316L исследованного гранулометрического и химического состава может быть использован для изготовления деталей типа полномасштабных цилиндрических образцов на растяжение методом СЛС с применением установки SLM 280 HL, проведена компьютерная томография образцов.

Обнаруженные в результате фрактографических исследований на поверхности излома поры диаметром до 50 мкм связаны скорее с особенностями выбранных режимов СЛС. С помощью компьютерной томографии выявлены поры в объеме образца.

В дальнейшем планируется провести компьютерное моделирование физических процессов при сплавлении металлического порошка с целью исследования влияния основных технологических параметров, таких как мощность лазерного излучения, скорость сканирования, толщина спекаемого слоя и т.д., на пористость с целью её минимизации.

#### Библиографический список

1. Yasa E., Craeghs T., Badrossamay M., Kruth JP. Rapid manufacturing research at the Catholic University of Leuven. In: RapidTech 2009: US-TURKEY workshop on rapid technologies, Istanbul.