

# КОНТРОЛЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗДЕЛИЙ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

© 2022 г. Доронин Кирилл Игоревич<sup>1\*</sup>

Научный руководитель: д.т.н. Носов Виктор Владимирович<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский Горный университет, 199106 Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2

\* - [doronin.k.i@mail.ru](mailto:doronin.k.i@mail.ru); \*\* - [nosovvv@list.ru](mailto:nosovvv@list.ru).

Аддитивное производство стало одним из направлений четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0). Рост интереса обусловлен снижением затрат на производство и возможностью получать изделия сложной геометрии для деталей и ответственных узлов с минимальным количеством технологических операций. Последние достижения в области 3D-печати позволяют синтезировать изделия из конструкционных материалов, что значительно повысило применимость данной технологии во многих областях промышленности. В зависимости от поставленной задачи могут использоваться различные способы нанесения слоев (SLS, SLM, EBF и др.). Для металлов популярность набирает технология селективного лазерного сплавления (SLS), основанная на консолидации зерен мелкодисперсного порошка под воздействием инфракрасного лазерного излучения (диаметр частиц  $d \approx 50$  мкм, длина волны излучения  $\lambda \approx 1,06$  мкм).

Технологии послойного изготовления предусматривают неоднородную структуру материала с определенными макроскопическими дефектами. Усадка материала при резком остывании после воздействия лазерного излучения и сложная местная геометрия вызывает локальное напряженно-деформированное состояние макроструктуры, которое в свою очередь и является причиной появления несплошностей [1]. Образовавшиеся микротрещины на межзеренных и межфазных границах, поры, включения и другие дефекты влияют на механические свойства всего изделия, что сказывается на его эксплуатационных характеристиках. Помимо дефектов на качество влияет:

- технология аддитивного производства (грануляция, экструзия);
- принцип реализации технологии (режим, направление сканирования);
- качество исходного материала (порошок, проволока).

Вышеперечисленные аспекты обуславливают необходимость контроля физико-механических свойств изделий, изготовленных с помощью аддитивных технологий.

Неразрушающий контроль изделий, полученных с помощью аддитивных технологий, – сложная инженерная задача. Основная особенность состоит в подборе видов и методов контроля, так как анизотропия получаемой структуры определяет неравномерное распределение механических свойств. Для нахождения дефектов часто используется радиографический метод (томография), подходящий для поиска включений и пор [2].

Данный тип дефекта часто образуются вследствие необходимости использования среды с инертным газом во время изготовления. Пористость является фактором, снижающим устойчивость материала к усталостным нагрузкам, т.е. связана с механическими свойствами получаемого изделия. Ультразвуковой контроль позволяет косвенно определить модуль упругости материала, но данный метод осложняется анизотропией материала и конструктивными особенностями изделий сложной геометрии. Также перспективным является применение многоуровневой модели процесса разрушения на основе регистрации сигналов, полученных с помощью метода акустической эмиссии [3].

Для исследования механических свойств предлагается использовать метод инструментального индентирования, позволяющий получить данные о физико-механических характеристиках испытуемого образца в микро- и нанометровом диапазонах, т.к. твердость является косвенной комплексной характеристикой сопротивления упруго-пластической деформации. Основные контролируемые параметры – твердость  $H$ , модуль упругости  $E$ , коэффициент упругого восстановления материала  $R$ . Аппаратурой, реализующей данный метод, является сканирующий нанотвердомер «Наноскан-4D», который позволяет измерять механические свойства объекта контроля на различных масштабных уровнях. Расчет параметров происходит с помощью полученной кривой нагрузка-деформация [4].

В данной работе рассмотрены технологические вопросы изготовления изделий с помощью метода селективного лазерного спекания и основные виды дефектов, возникающие в процессе производства. Рассмотрено применение метода инструментального индентирования для определения физико-механических параметров изделий аддитивного производства на образцах из коррозионно-стойкой стали аустенитного класса 12X18H10T. Результаты исследований можно использовать для снижения неопределенности измерений при применении других физических методов неразрушающего контроля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшин Н.П., Мурашов В.В., Евгенов А.Г., Григорьев М.В., Щипаков Н.А., Василенко С.А., Краснов И.С. Классификация дефектов металлических материалов, синтезированных методом селективного лазерного сплавления, и возможности методов неразрушающего контроля для их обнаружения // Дефектоскопия. 2016. № 1. С. 48—55.
2. Алёшин Н.П., Григорьев М.В., Щипаков Н.А., Прилуцкий М.А., Мурашов В.В. Применение методов неразрушающего контроля для оценки качества деталей непосредственно в процессе аддитивного производства // Дефектоскопия. 2016. № 9. С. 64—71.
3. Nosov V. V., Grigoriev E. V. Micromechanics, nanophysics and non-destructive testing of the strength of structural materials // Materials Physics and Mechanics. 2019. V. 42. №6. P. 804-824.
4. Головин И.Ю. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение, 2009. 312 с.