

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

© 2022 г. Доронин Кирилл Игоревич^{1*}

Научный руководитель: д.т.н. Носов Виктор Владимирович^{1**}

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

* - doronin.k.i@mail.ru; ** - 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.