

## **ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ПОРОШКА НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА-12 В ПРОЦЕССЕ 3D-ПЕЧАТИ**

В настоящее время активно развиваются методы цифровой цветометрии и морфологического анализа цифровых изображений. Этими методами контролируют цвет, морфологию объектов анализа, устанавливая количественное соотношение между цветовыми, морфологическими характеристиками и качеством продукции. Цифровые технологии позволяют количественно измерять параметры цвета объектов, их количество и форму, что обуславливает актуальность исследования возможностей компьютерной цветометрии в качественном и количественном анализе материалов, применяемых для 3D-печати.

Цель исследования состояла в разработке методик, основанных на компьютерной обработке изображений, применимых для оценки старения полиамидного порошка, используемого в цикле 3D-печати методом селективного лазерного спекания [1]. Изучались порошки для 3D-принтеров на основе полиамида-12 (ПА-12) марки PA2200. ПА-12 представляет собой алифатический гетероцепной линейный полимер белого цвета, получаемый полимеризацией лактама аминокислоты в присутствии воды и кислотных катализаторов. Изделия из ПА-12 работоспособны при температуре от  $-60$  до  $60$  °С, кратковременно – при  $120$  °С, их водопоглощение не превышает 2,0% [2].

Для моделирования процессов старения порошка в нерабочую зону камеры 3D-принтера устанавливались стеклянные боксы с неплотно закрытой крышкой, наполненные вторичным порошком ПА-12. После образцы проходили весь процесс печати: заполнение рабочей камеры азотом, нагревание до  $175$  °С в течение 24 часов, охлаждение. Об интенсивности окисления в атмосфере воздуха можно судить по контрольному опыту с аналогичными образцами, проведённому при  $175$  °С в термостате с открытыми боксами. В зависимости от продолжительности термического воздействия полиамидный порошок приобретал кремовый оттенок увеличивающейся интенсивности.

Цифровые изображения получали с использованием цифровых фотокамер, планшетных сканеров, web-камер, IP-камер. Представляется интересным использование камер, встроенных в цифровые гаджеты (смартфоны, планшеты) и облачных сервисов для хранения цифровых изображений. Разрешение сканирования – 200 dpi, глубина цвета – TrueColor (32 bit), формат – jpg. Сканирование и первичная обработка

цифровых изображений проводилось с использованием прилагаемого к сканеру программного обеспечения, постобработка – в программе, написанной в среде пакета Mathcad [2]. После ввода в программу графического файла выделялась интересующая область и рассчитывались интегральные параметры цвета моделей RGB. Цветное изображение дифференцировали на три монохромные составляющие: красного R,  $\lambda=700$  нм; зеленого G,  $\lambda=546$  нм; синего B,  $\lambda=436$  нм.

Установлено изменение цвета вторичного порошка ПА-12 в зависимости от продолжительности термического воздействия и газовой среды (табл.). При увеличении времени термического воздействия полиамидный порошок приобретал оттенки увеличивающейся интенсивности.

Таблица. Изменение цвета вторичного порошка в зависимости от продолжительности термического воздействия и газовой среды

Продолжительность термического воздействия, ч	0	24	48	72	96
Цвет образца (среда – азот)					
Цвет образца (среда – воздух)					

Можно выделить три определяющих фактора, вызывающих деградацию свойств смешанного порошка: изменение фазового равновесия в полимере; уменьшение однородности структуры; увеличение молекулярно-массового распределения порошка вследствие термоокислительной деструкции. Очевидно, длительное хранение для последующего использования вторичного порошка не имеет смысла, так как инициаторы деструкции там уже есть.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, В.М. Химическая цветометрия: возможности метода, области применения и перспективы / В.М. Иванов, О.В.Кузнецова // Успехи химии. 2001. Т.70. №5. С. 411-428.
2. Хрипушин, В.В. Оценка качества порошковых материалов для 3D-печати на основе полиамида -12 / В.В. Хрипушин, Н.Я. Мокшина, О.А. Пахомова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2018. Т. 84. № 5. С.36-40.